

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
Del 17 al 21 de octubre de 1994.

| FECHA | HORARIO | TEMA | PROFESOR |
|---------------|-------------------|---|----------------------------------|
| Lunes 17 oct. | 9:00 a 14:00 hrs. | Bases y Sub-Bases Estabilizadas. | Ing. Roberto Sosa Garrido |
| | 14:00 a 15:30 | Comida. | |
| | 15:30 a 18:30 | Pavimentos Adoquinados. | Ing. Gabriel García Altamirano |
| Martes 18 | 9:00 a 14:00 | Diseño de Pavimentos Urbanos. | Ing. Manuel Zárate Aquino |
| | 14:00 a 15:30 | Pavimentos y Pisos Industriales. | |
| | 15:30 a 18:30 | Comida. Taller. | Ing. Manuel Zárate Aquino |
| Miércoles 19 | 9:00 a 11:30 | Emulsiones Asfálticas. | Ing. Julián Sanz Liévana |
| | 11:30 a 14:00 | Morteros Asfálticos y Morteros - Asfálticos Mejorados. | Ing. Jorge Aguilar |
| | 14:00 a 15:30 | Comida. | |
| | 15:30 a 18:30 | Recuperación y Reciclaje de Pavi- mentos Flexibles. | Ing. Rafael Limón Limón |
| | | Lineamientos sobre Recuperación y - Reciclaje de Pavimentos Flexibles. | |
| | | Taller. | Ing. Rafael Limón Limón |
| Jueves 20 | 9:00 a 10:30 | Mantenimiento Menor en Pavimentos | Ing. Francisco Edo. Rodarte Lazo |
| | 10:30 a 14:00 | Rígidos y Flexibles. | |
| | 14:00 a 15:30 | Comida. | |
| | 15:30 a 18:30 | Mantenimiento Menor en Pavimentos | Ing. Benjamín Barreda Amigón |
| | | Rígidos y Flexibles. | |
| | | Taller. | Ing. Benjamín Barreda Amigón |
| Viernes 21 | 9:00 a 11:30 | Geomembranas, Georedes y Geotextiles. | Ing. Javier Herrera Lozano |
| | 11:45 a 13:00 | Asfaltos Abulados. | |
| | 13:00 a 14:00 | Concreto Reforzados con Fibras Cortas. | Ing. Mario Tena Berna |
| | 14:00 a 15:30 | Comida. | |
| | 15:30 a 17:00 | Pavimentos de Concreto Compacto con | Ing. Donato Figueroa Gallo |
| | | Rodillos. | |
| | 17:15 a 18:30 | Tierra. | Ing. Manuel Zárate Aquino |

CURSO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
 FECHA: Del 17 al 21 de octubre de 1994.

| CONFERENCISTA | DOMINIO DEL TEMA | USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES | COMUNICACION CON EL ASISTENTE | PUNTUALIDAD |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------|
| ING. RÓBERTO SOSA GARRIDO | | | | |
| ING. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO | | | | |
| ING. MANUEL ZARATE AQUINO | | | | |
| ING. JULIAN SANZ LEIVANA | | | | |
| ING. JORGE AGUILAR | | | | |
| ING. RAFAEL LIMON LIMON | | | | |
| ING. FRANCISCO FERNANDO RODARTE L. | | | | |
| ING. BENJAMIN BARRERA AMIGON | | | | |
| ING. JAVIER HERRERA LOZANO | | | | |
| ING. MARIO TENA BERNAL | | | | |
| ING. DONATO FIGUEROA GALLO | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

| | |
|--|--|
| ORGANIZACION Y DESARROLO DEL CURSO | |
| GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL CURSO | |
| ACTUALIZACION DEL CURSO | |
| APLICACION PRACTICA DEL CURSO | |

EVALUACION DEL CURSO

| CONCEPTO | CALIF. |
|--|--------|
| CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO | |
| CONTINUIDAD EN LOS TEMAS | |
| CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO | |
| | |

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

... ..

... ..

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

... ..

... ..

... ..

... ..

PAVIMENTOS ADOQUINADOS

ING. ROBERTO SOSA GARRIDO

TABLA 4

**VALORES DE CALIDAD PARA
MATERIALES DE SUB-BASES
GRANULARES
Y REVESTIMIENTOS**

| CARACTERÍSTICA | CALIDAD | | |
|--|----------|----------|-----------------------|
| | DESEABLE | ADECUADA | REVESTIMIENTO |
| Granulometría Zona Granulométrica (Anexo: Fig. Nº 1) | 1 - 2 | 1 - 3 | 1 - 3 |
| Tamaño máximo (mm) | 51 | 51 | 76 |
| % Finos (Mat. < 0.074 mm) | 15 máx | 25 máx | 10 mín 20 máx |
| Límite Líquido (w _L) (%) | 25 máx | 30 máx | 40 máx |
| Índice Plástico (I _P) (%) | 6 máx | 10 máx | 15 máx |
| Compactación (%) AASHTO modificada | 100 mín | 100 mín | 95 mín AASHTO est. |
| Equivalente Arena (%) | 25 mín | 20 mín | -- |
| C. B. R. (%) Compact. dinámica (1) | 40 mín | 30 mín | 30 mín |
| Desgaste Los Angeles 500 revoluciones (%) | 40 máx | -- | -- |

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

TABLA 5

**VALORES DE CALIDAD PARA
MATERIALES DE BASES
GRANULARES**

| CARACTERISTICA | CALIDAD | |
|---|----------|----------|
| | DESEABLE | ADECUADA |
| Granulometría Zona Granulométrica (Anexo: Fig. 2) | 1 - 2 | 1 - 3 |
| Tamaño máximo (mm) | 38 | 51 |
| % Finos (Mat. < 0.074 mm) | 10 máx | 15 máx |
| Límite Líquido (w_L) (%) | 25 máx | 30 máx |
| Índice Plástico (I_P) (%) | 6 máx | 6 máx |
| Equivalente Arena (%) | 50 mín | 40 mín |
| Compactación (%) AASHTO modificada | 100 mín | 100 mín |
| C. B. R. (%) Compact. dinámica (1) | 100 mín | 80 mín |
| Desgaste Los Angeles 500 revoluciones (%) | 40 máx | 40 máx |

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

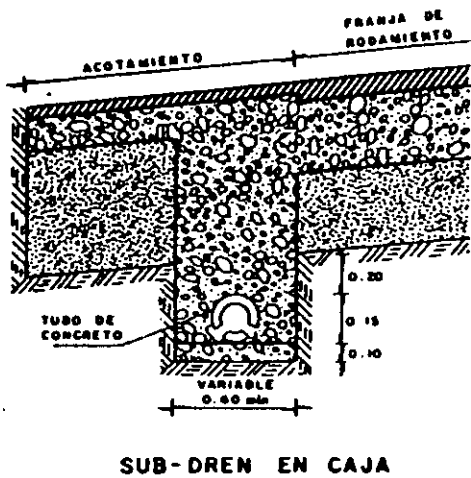
TABLA 7

**GUIA DE ALGUNAS SECCIONES
ESTRUCTURALES RECOMENDABLES
PARA CARRETERAS**

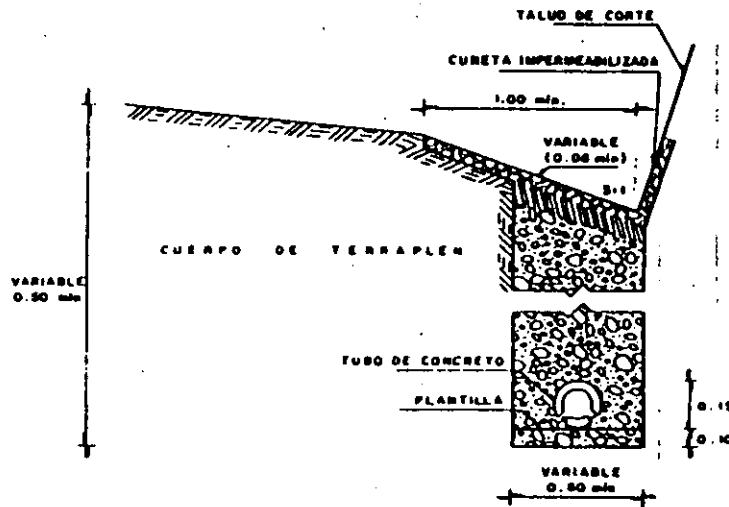
Estructuración y Calidad de capas superiores según el Tipo de Obra Vial

| TIPOS | SUBRASANTE (cm) | SUB BASE (cm) | BASE (cm) | CARPETA ASF. (cm) |
|------------------|----------------------------------|------------------|--------------|----------------------------|
| | E S P E S O R C A L I D A D | | | |
| OBRA VIAL I | 40 Deseable | 15 Deseable | 20 Deseable | 7-10 Deseable (1) |
| OBRA VIAL II | 40 Adecuada | 15 Deseable | 20 Deseable | 5 Deseable |
| OBRA VIAL III | 40 Tolerable | 15 Tolerable | 20 Tolerable | Tratamientos con riegos |
| OBRA VIAL IV | 30 Tolerable | --- | --- | Revestimiento 15 |

(1) Un espesor mayor puede ser necesario, tras un análisis de vida útil esperada.

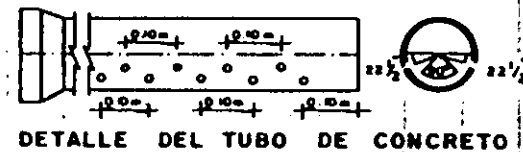
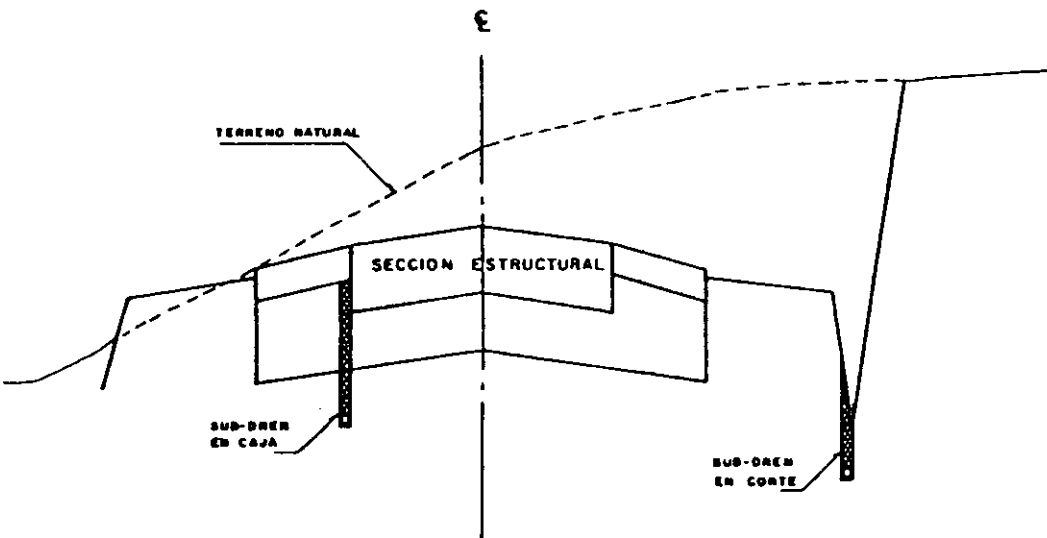
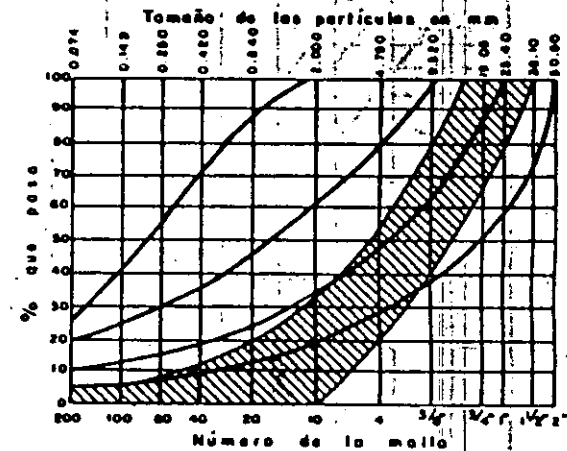


SUB-DREN EN CAJA



SECCION DE SUB-DREN EN CORTE

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL FILTRANTE



NOTAS:

1. Para el material filtrante podrán emplearse agregados triturados de los bancos prepuestos para pavimentos, con tamaño máximo de 38 mm.
2. La curva granulométrica del material filtrante deberá estar en la zona sombreada de la gráfica de composición granulométrica. Este material deberá cumplir además: $LL < 25\%$, $IP < 6\%$.
3. La plantilla donde descansa el tubo perforado deberá formarse en todos los casos, con el mismo material filtrante del subdrén, dándole un espesor mínimo de 0.05 m.
4. El tubo de concreto será de 0.15 m de diámetro interior, mínimo, con perforaciones de 9.5 mm ($3/8$) separadas 0.10 m centro a centro, según el detalle del tubo.
5. Pendiente mínima del tubo será de 0.5%.
6. El material filtrante se colocará en capas de 0.20 m de espesor aproximado, un poco húmedo y espesado ligeramente para lograr su acomodo.
7. Se deberá prever la colocación de registros en cambios de dirección y a cada 50 m, para la inspección y limpieza del mismo.
8. Acotaciones en metros. Mín. significa dimensiones mínimas.

FIG. SUB-DRENES EN ZANJA
(PROYECTO TIPO)

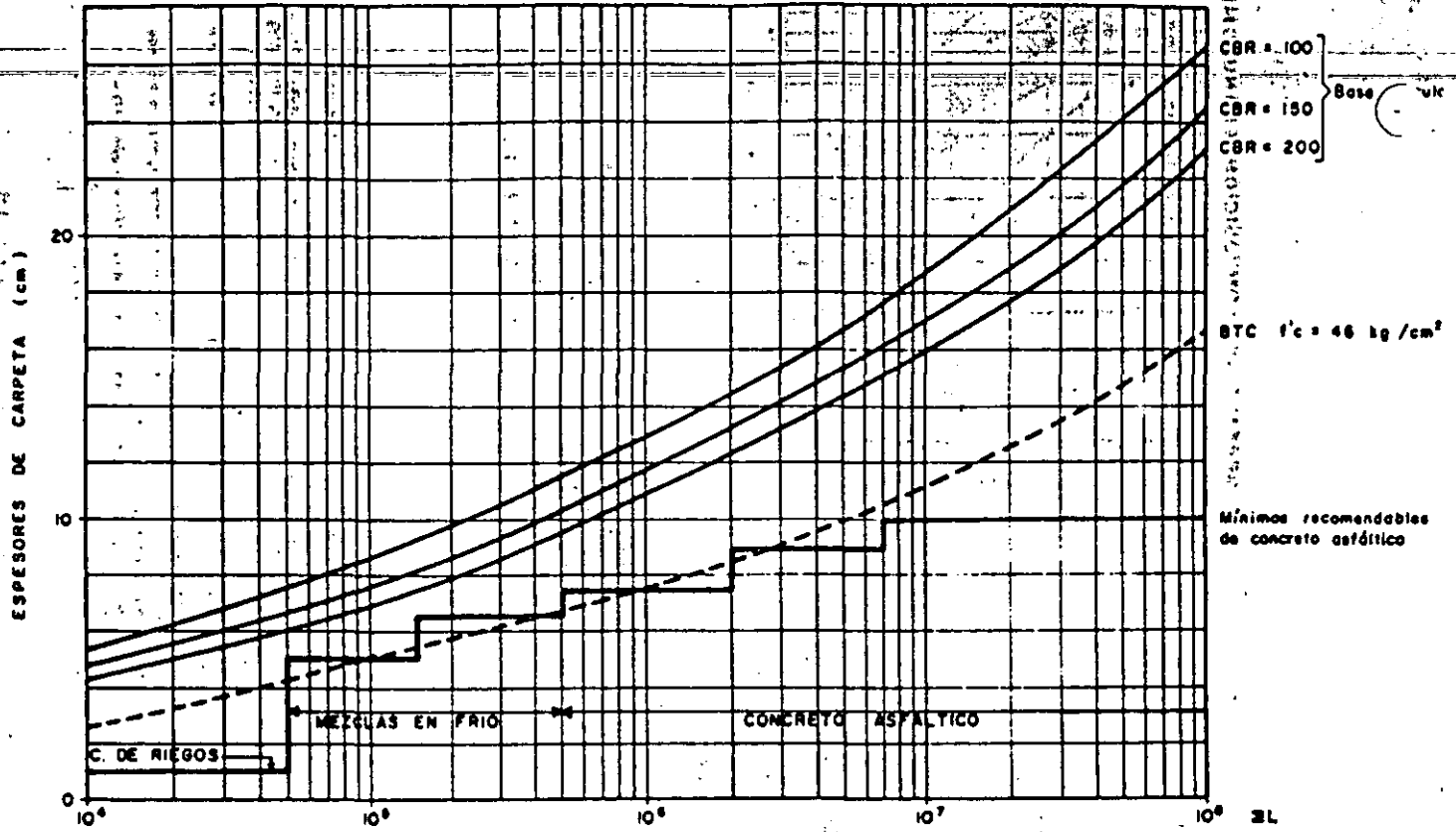


FIG. ESPESES MÍNIMOS DE DISEÑO, PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO, CONFORME A LA INEGUALDAD $d_2 \geq \frac{SN_1}{0.1}$ DE LA AASHTO (1986), PARA DIVERSAS CONDICIONES DE LA BASE.

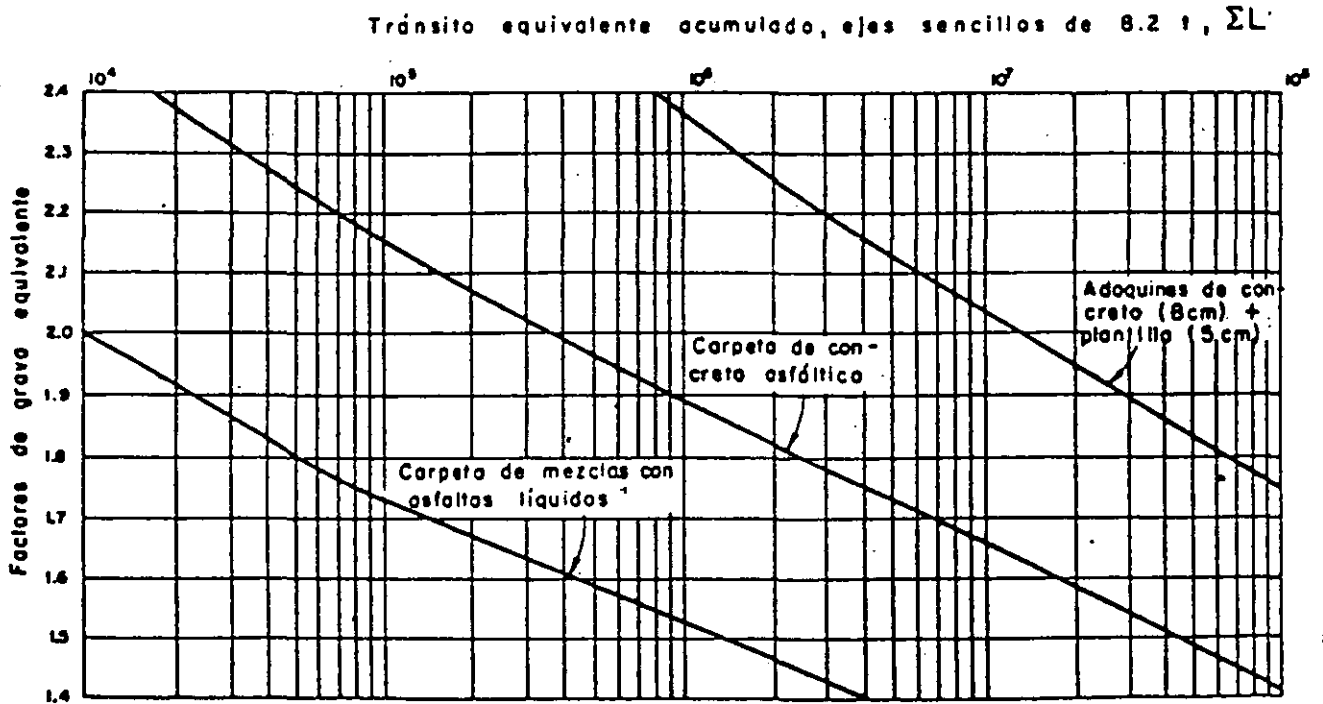
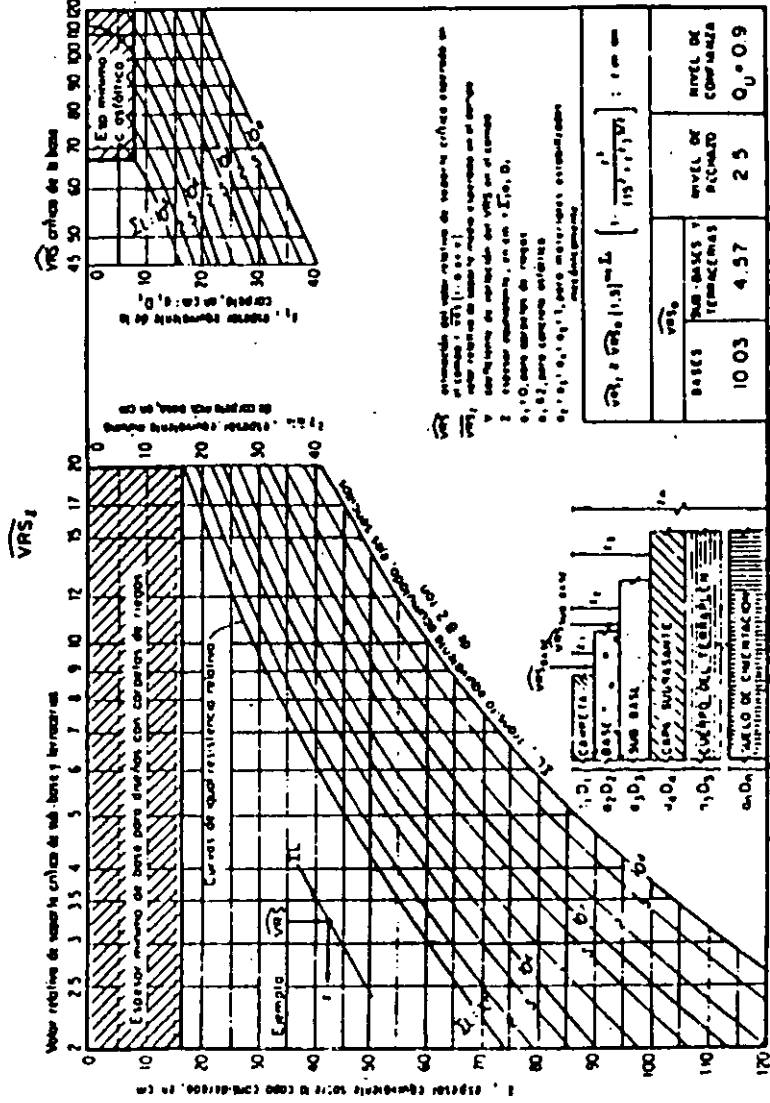
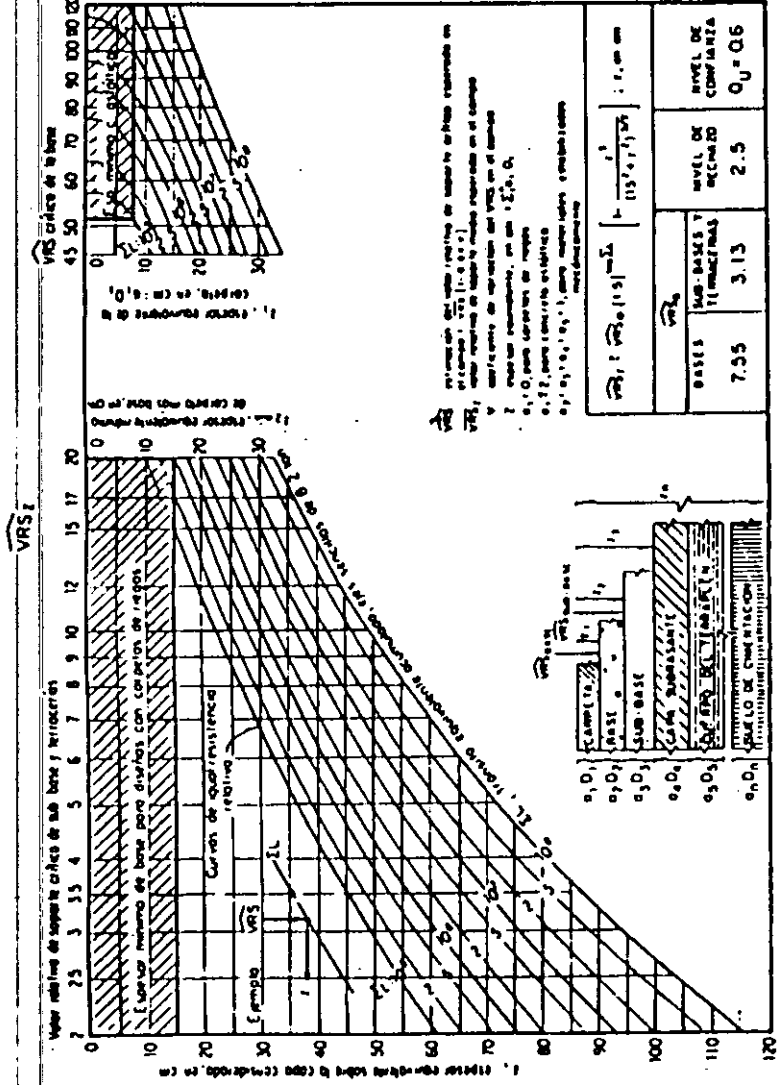
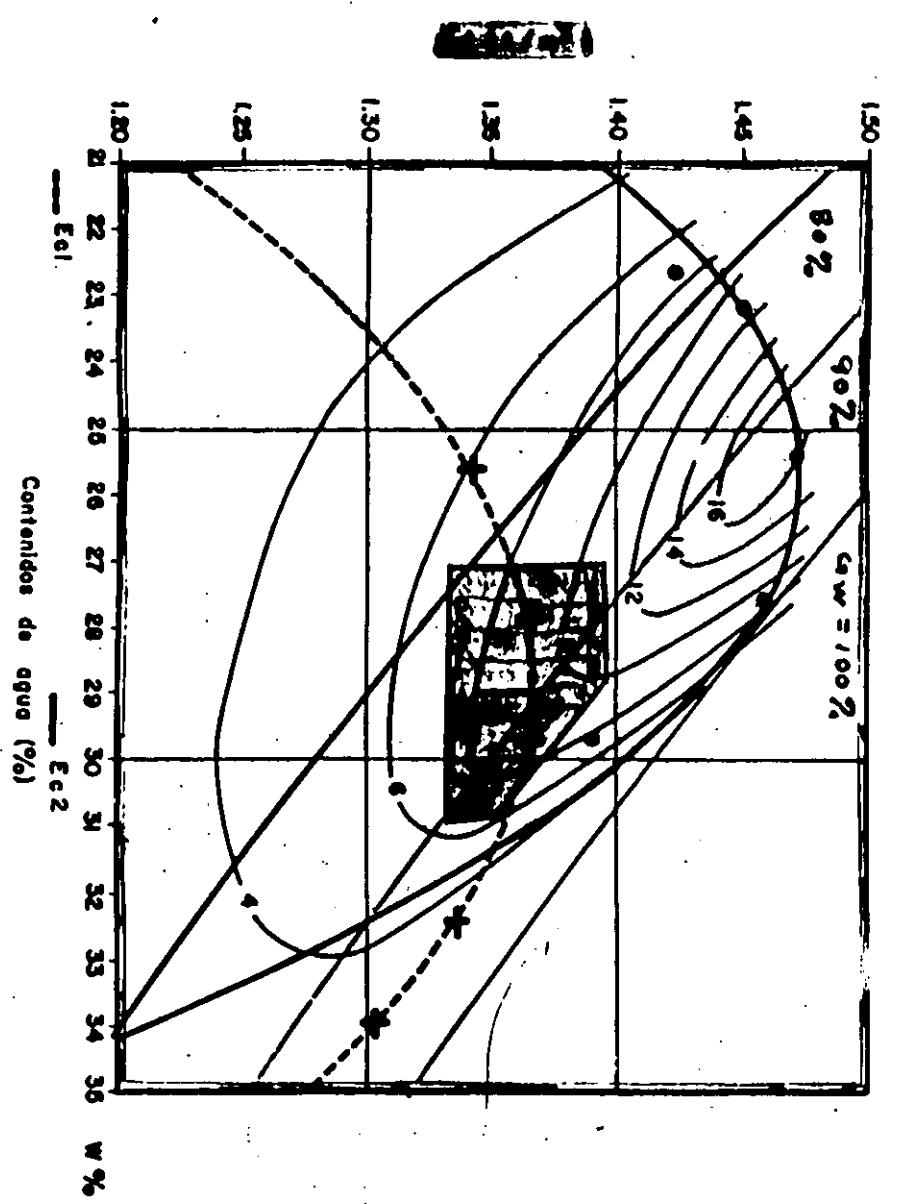
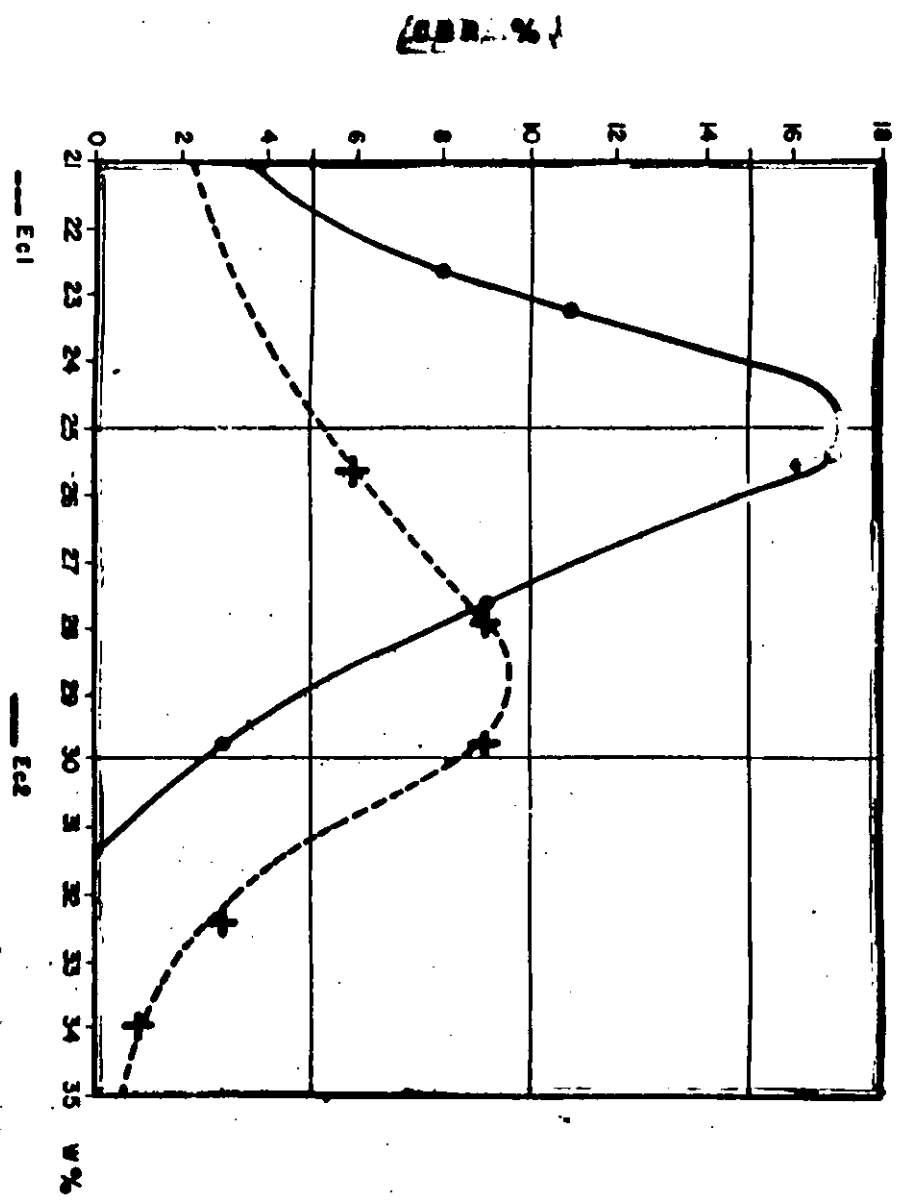


Fig. 27 Factores de grava equivalente para superficies de rodamiento de calles y carreteras



Codifica para diseño estructural de bases con pavimento flexible

RANCO "EL REBEDERO" (Barr. Cuerpo de Inge.)



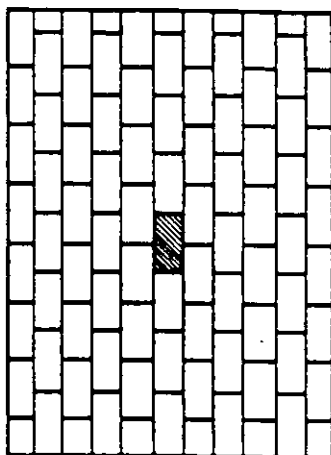
| PROPIEDADES FUNDAMENTALES | ENSAYES TÍPICOS PARA SU VALUACIÓN | MÉTODO DE PRUEBA | DENOM. ASTM | TERRENO | TERRAC | SUB-BASE | CARPETA | L | |
|--|---|--|--|-------------------------|------------|-----------|---------|--------------|--|
| | | | | DE CIMENT | Y SUURS | Y BASE | ASF | DE CONCR. | |
| D E F O R M A B I L I D A D | COMPRESIBILIDAD | consolidación | odómetro | 2435 | ===== | | | | |
| | EXPANSIBILIDAD | contenido de agua "in situ" | por secado | 2216 | ===== | ===== | | | |
| | | límites de consistencia (WL, WP y WC) | límite líquido | 423 | ===== | ===== | | | |
| | | | límite plástico | 424 | ===== | ===== | | | |
| | | límite de contrac. | 427 | ===== | ===== | | | | |
| | | contracción lineal (CL) | | T107 | ===== | ===== | | | |
| | | peso volumétrico "in situ" (γ_d) | muestra inalterada | 2937 | ===== | ===== | | | |
| | | | cono de arena | 1556 | ===== | ===== | | | |
| | | | membrana de hule | 2167 | ===== | ===== | | | |
| | | estándar | N.02 | ===== | ===== | | | | |
| | muestra inalterada | MS-10 | ===== | ===== | | | | | |
| | Cuerpo de lngs. | MS-10 | ===== | ===== | | | | | |
| | presión de expansión (p_{exp}) | Hveem | 2744 | ===== | ===== | | | | |
| | sat. bajo presión | odómetro | | ===== | ===== | | | | |
| D E F O R M A B I L I D A D | DEFORNABILIDAD FLÁSTICA (DEFORNACION PERMANENTE) | límites de consistencia (WL, WP y WC) | límite líquido | 423 | ===== | ===== | | | |
| | | | límite plástico | 424 | ===== | ===== | | | |
| | | límite de contrac. | 427 | ===== | ===== | | | | |
| | | contracción lineal (CL) | | T107 | ===== | ===== | | | |
| | | equivalente de arena (EA) | | 2419 | ===== | ===== | | | |
| | | estabilidad (R, suelos) | Hveem | 2844 | ===== | ===== | | | |
| | | estabilidad (S, mezc. asf.) | Hveem | 1560 | ===== | ===== | | | |
| | | flujo plástico | Marshall | 1559 | ===== | ===== | | | |
| | | compresión triaxial (ϵ) | no cons. no dren. cons. no drenada cons. drenada | 2850 | ===== | ===== | | | |
| | | | Texas H. y. Dept. | 3397 | ===== | ===== | | | |
| | perfilómetros (ISA, Δ) | regla de 3 m AASHU CHLGE | SC1 | ===== | ===== | | | | |
| | perfilógrafos (ISA, Δ , IF) | transversal Calif. Hwy. Dept. Mays Ride Meter | SC1 C-526 | ===== | ===== | | | | |
| D E F O R M A B I L I D A D | DEFORNABILIDAD ELÁSTICA (FATIGA) | deflexómetros (δ) | Viga Bentelmar Calif. Hwy. Dept. Dynaflect | C-356 L-356 C-356 | ===== | ===== | | | |
| | | deflexión en pba. de placa (δ) | repetitiva | 1195 | ===== | ===== | | | |
| | | módulo de resiliencia (suelos) (mezclas asfálticas) | triaxial dinámica tensión indirecta | 4123 | ===== | ===== | | | |
| D E F O R M A B I L I D A D | DURABILIDAD | densidad y absorción | agregado grueso agregado fino | 127 128 | ===== | ===== | | | |
| | | desgaste | Los Angeles | 535 | ===== | ===== | | | |
| | | sanidad | intemp. acelerado | 68 | ===== | ===== | | | |
| | | índice de durabilidad (ID) | agreg. grueso y fino | 3744 | ===== | ===== | | | |
| | | forma de las partículas (IL) | índice del lajeo | B912 | ===== | ===== | | | |
| D E F O R M A B I L I D A D | PERMEABILIDAD | granulometría (G, S, F) | por mallas hidrómetro | 422 422 | ===== | ===== | | | |
| | | permeámetros (k) | de carga constante | 2434 | ===== | ===== | | | |
| | | | de carga variable de aire | 3637 | ===== | ===== | | | |
| D E F O R M A B I L I D A D | FRICCIÓN SUPERFICIAL | texturómetros (p) | p meter | E-670 | ===== | ===== | | | |
| | | | péndulo de fricción | E-303 | ===== | ===== | | | |

INDICE CARACTERIZACION DE MATERIALES EN LAS ESTRUCTURAS VIALES

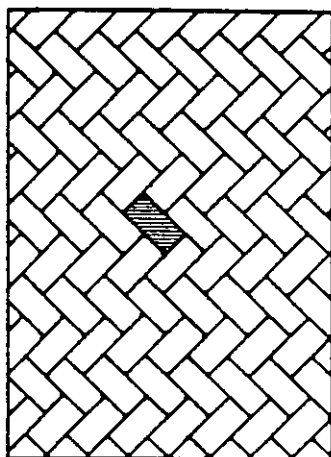
| PROPIEDADES FUNDAMENTALES | | ENSAYES TÍPICOS PARA SU VALUACION | METODO DE PRUEBA | DENOM. ASTM | TERRENO DE CIMENT | TERRAZO Y SUBRS | SUB-BASE Y BASE | CAFETA ASF | LOSA DE CONCR |
|--|---|-----------------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------------|---------------|
| ESTRUCTURACION Y CLASIFICACION | contenido de agua "in situ" (w) | por secado | aparato nuclear | 2216 3017 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | peso volumétrico "in situ" (γ_d) | muestra inalterada | cono de arena | 2937 1556 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | | membrana de hule | aparato nuclear | aparato nuclear | 2167 2922 2950 | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | límites de consistencia (wL, wP) | límite líquido | límite plástico | 423 424 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | granulometría (G, S, F) | por mallas | finos por lavado | 422 1140 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | forma de las partículas (IL) | índice del lajeo | | 8012 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| CONFECTABILIDAD (γ_{rel} y w_{opt}) | por impactos tipo Proctor | AASHTO estándar | AASHTO modificada | 698 1557 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | por presión estática | Forter estándar | | N. 06 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | por amasado (suelos) | Hveem | | 2744 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | por vibración (e_{max}) | mesa vibratoria | | 2049 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | por impactos (mez. asf.) | Marshall | | 1559 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | por amasado (mez. asf.) | Hveem | | 1561 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE | compresión simple (q_u) | suelos | estabilizaciones | 2166 1633 2650 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | compresión triaxial (c, θ) | no cons. no dren. | cons. no drenada | cons. drenada | Texas Hwy. Dept. | 3397 | _____ | _____ | _____ |
| | capacidad de carga (pruebas de placa) | repetitiva (S) | no repetitiva (K) | 1195 1196 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | valor relativo de soporte (C_{hr}) | muestra inalterada | de campo "in situ" | estándar | MS-1 44 N. 06 MS-10 | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | estabilidad (R) y pres. estud. | Hveem (suelos) | Hveem (mez. asf.) | 2644 1560 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | estabilidad (S) | | | | | _____ | _____ | _____ | _____ |
| RESISTENCIA A LA TENSION | cohesímetro | Hveem | | 1560 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | estabilidad | Marshall | | 1559 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | módulo de resistencia (e'_{1-2}) | flexión en vigas | tensión indirecta | C-683 4123 | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | módulo de tensión (S_T) | | | | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |

NOTAS. B: British Standards
 SCT: K o N, Secretaria de Comunicaciones y Transportes
 MS: The Asphalt Institute
 T: Texas Hwy. Dept.
 C: California Hwy. Dept.
 resto: American Standards of Testing and Materials

En trosiopo



En petalillo



Intercuñados

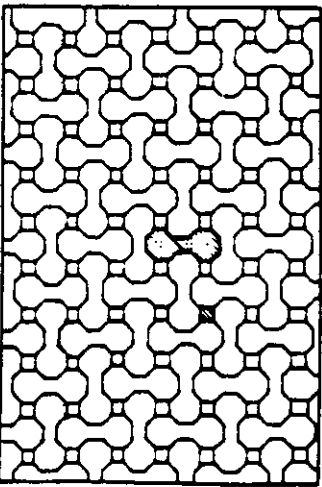
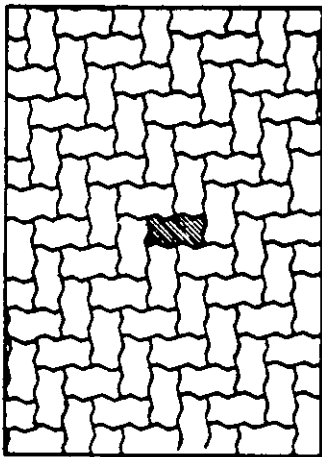
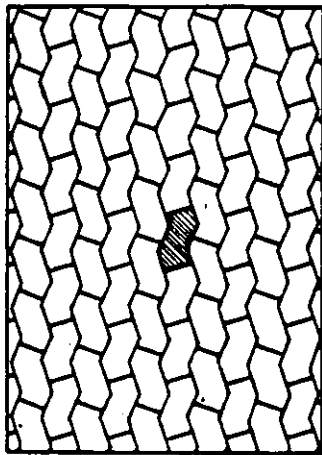
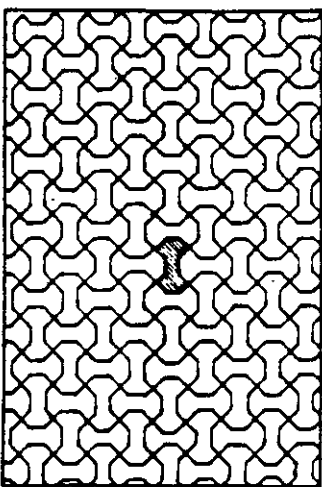
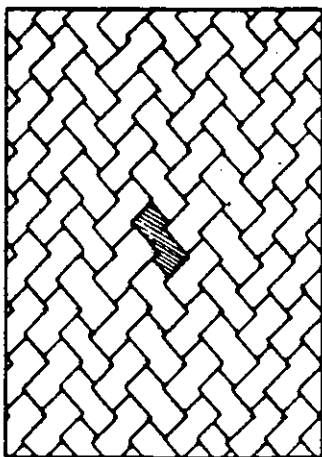
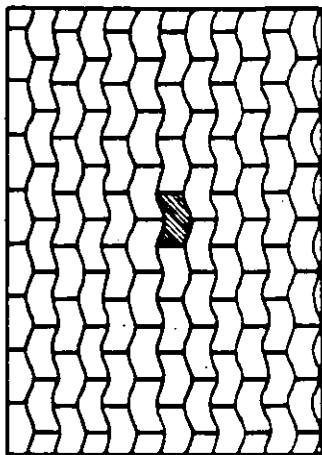
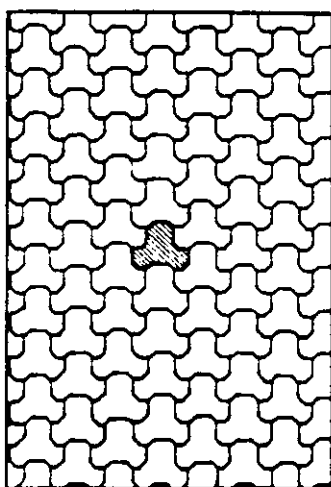


Fig.

Diversas formas y arreglos de adoquín

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS. METODO II-UNAM

TIPO: Autopista
 Longitud (km): 204.5
 Corona (m): 14
 vida útil (años): 20
 Du = 0.90

3.12.1991

ESCOFO S.A de C.V

PROYECTO: Mazatlán - Culiacán
 TRAMO: Est. Dimas - La Cruz de Elota
 SUBTRAMO: Km 65+000 a Km 90+000
 ORIGEN: El Venadillo, Sin.

Tránsito:
 TDPA-1 1,664
 t 3.0 %
 A 55 %
 B 8 %
 C 37 %

A) ANALISIS DE TRANSITO. EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS. DE 8.2 t DE PESO

| W/eje (t) | FDC | FDB | Años: | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|--------------|--------|-------|--------|----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| EJES SIMPLES | | | Kd | | | | | | | | |
| 14.5 | 0.02% | 0.00% | 18.828 | 1 | 3 | 4 | 10 | 16 | 23 | 31 | 40 |
| 13.6 | 0.04% | 0.00% | 13.638 | 1 | 4 | 7 | 14 | 23 | 33 | 45 | 58 |
| 12.7 | 0.90% | 0.00% | 9.634 | 19 | 60 | 103 | 223 | 362 | 524 | 710 | 927 |
| 11.8 | 3.10% | 3.35% | 6.613 | 57 | 176 | 302 | 652 | 1,057 | 1,527 | 2,072 | 2,704 |
| 10.9 | 5.60% | 6.25% | 4.390 | 69 | 212 | 364 | 786 | 1,275 | 1,843 | 2,500 | 3,263 |
| -10.0 | 9.60% | 9.80% | 2.802 | 74 | 228 | 392 | 846 | 1,372 | 1,983 | 2,690 | 3,511 |
| 9.1 | 10.60% | 6.15% | 1.707 | 46 | 141 | 243 | 525 | 851 | 1,230 | 1,668 | 2,177 |
| 8.2 | 10.48% | 4.35% | 0.982 | 25 | 78 | 134 | 289 | 469 | 677 | 919 | 1,199 |
| 7.3 | 9.50% | 0.30% | 0.527 | 11 | 35 | 60 | 130 | 211 | 304 | 413 | 539 |
| 6.4 | 8.48% | 0.00% | 0.259 | 5 | 15 | 26 | 57 | 92 | 133 | 180 | 235 |
| 5.4 | 6.35% | 0.00% | 0.113 | 2 | 5 | 9 | 18 | 30 | 43 | 59 | 77 |
| 4.5 | 2.35% | 0.00% | 0.042 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 8 | 11 |
| 3.6 | 0.98% | 0.00% | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| EJES TANDEM Y TRIPLES | | | Kd | | | | | | | | |
| 25.4 | 0.83% | 0.00% | 16.426 | 30 | 94 | 162 | 349 | 566 | 818 | 1,110 | 1,449 |
| 23.6 | 2.32% | 0.00% | 11.326 | 59 | 183 | 313 | 677 | 1,098 | 1,587 | 2,153 | 2,809 |
| 21.8 | 4.61% | 0.00% | 7.554 | 78 | 242 | 415 | 897 | 1,456 | 2,103 | 2,853 | 3,723 |
| 20.0 | 7.20% | 0.00% | 4.844 | 78 | 242 | 416 | 898 | 1,458 | 2,106 | 2,858 | 3,729 |
| -18.2 | 11.42% | 0.00% | 2.964 | 76 | 235 | 404 | 872 | 1,415 | 2,044 | 2,773 | 3,619 |
| 16.3 | 14.56% | 11.90% | 1.714 | 66 | 204 | 350 | 757 | 1,227 | 1,773 | 2,406 | 3,140 |
| 14.5 | 11.60% | 30.80% | 0.924 | 38 | 117 | 201 | 435 | 705 | 1,019 | 1,382 | 1,833 |
| 12.7 | 8.23% | 18.72% | 0.455 | 13 | 39 | 67 | 144 | 234 | 337 | 458 | 597 |
| 10.9 | 6.23% | 7.52% | 0.200 | 4 | 11 | 19 | 40 | 66 | 95 | 129 | 168 |
| 9.1 | 4.21% | 1.05% | 0.075 | 1 | 2 | 4 | 9 | 14 | 20 | 27 | 36 |
| 7.3 | 3.10% | 0.00% | 0.022 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| 5.5 | 2.70% | 0.00% | 0.005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Tránsito Acum en miles | ILD = | 753 | 2,327 | 3,998 | 8,632 | 14,004 | 20,232 | 27,453 | 35,823 |
| | ILo = | 685 | 2,118 | 3,639 | 7,957 | 12,746 | 18,417 | 24,989 | 32,608 |

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y para su debida publicación y observancia, expido el presente Decreto en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veintiocho días del mes de junio de mil novecientos noventa y uno.- Carlos Salinas de Gortari.- Rúbrica.- El Secretario de Gobernación, Fernando Gutiérrez Barrios.- Rúbrica.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

DECRETO que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de las Leyes de obras públicas y de adquisiciones, arrendamientos y prestación de servicios relacionados con bienes muebles.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

~~En nombre del~~ CARLOS SALINAS DE GORTARI, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

DECRETO

“EL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS DECRETA:

~~SE REFORMA, ADICIONA Y DEROGA DIVERSAS DISPOSICIONES DE LAS LEYES DE OBRAS PUBLICAS Y DE ADQUISICIONES, ARRENDAMIENTOS Y PRESTACION DE SERVICIOS RELACIONADOS CON BIENES MUEBLES.~~

ARTICULO PRIMERO.- Se reforman los artículos 29 bis, en su primer párrafo; 31, fracción VII; 32; 35, fracciones I y II; 36, tercer párrafo; 46; 47, párrafos primero y segundo; 58 bis en su primer párrafo; 66, párrafos primero y tercero, y se adiciona el artículo 10 de la Ley de Obras Públicas, para quedar como sigue:

Artículo 10.- En lo no previsto por esta ley serán aplicables, supletoriamente, el Código Civil para el Distrito Federal en materia común y para toda la República en materia federal y el Código Federal de Procedimientos Civiles.

Artículo 29 bis.- Las dependencias y entidades que realicen obras por administración directa o mediante contrato y los contratistas con quienes aquéllas contraten, observarán las disposiciones que en materia de construcción rijan en el ámbito estatal y municipal.

Artículo 31.-

I a VI.-

VII.- La experiencia o capacidad técnica que se requiera para participar en el concurso, de acuerdo con las características de la obra, y

VIII.-

Artículo 32.- Todo interesado que satisfaga los términos de la convocatoria tendrá derecho a presentar proposiciones. Para tal efecto, las dependencias y entidades no podrán exigir requisitos adicionales a los previstos en el artículo anterior y en el reglamento de esta ley.

Artículo 33.-

I.- La Tesorería de la Federación, por actos o contratos que se celebren con las dependencias a que se refieren las fracciones I y II del artículo 10. de esta ley y con la Procuraduría General de la República;

II.- La Tesorería del Distrito Federal, por actos o contratos que se celebren con el Departamento del Distrito Federal y la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal;

III y IV.-

Artículo 36.-

I a III.-

Si una vez considerados los criterios anteriores resultare que dos o más propuestas satisfacen los requisitos de la convocatoria, el contrato se adjudicará a quien presente la proposición siguiente más baja

Artículo 46.- Cuando durante la vigencia de un contrato de obra, ocurran circunstancias de orden económico no previstas en el contrato, pero que de hecho y sin dolo, culpa, negligencia o ineptitud de cualquiera de las partes, determinen un aumento o reducción de los costos de los trabajos aún no ejecutados, dichos costos podrán ser revisados, conforme lo determinen las partes en el respectivo contrato. Las dependencias o entidades emitirán la resolución que acuerde el aumento o reducción correspondiente.

Artículo 47.- El Contratista comunicará a la dependencia o entidad la terminación de los trabajos que le fueron encomendados y ésta verificará que los trabajos estén debidamente concluidos dentro del plazo que se pacte expresamente en el contrato.

Una vez que se haya constatado la terminación de los trabajos en los términos del párrafo anterior, la dependencia o entidad procederá a su recepción dentro del plazo que para tal efecto se haya establecido en el propio contrato. Al concluir dicho plazo, sin que la dependencia o entidad haya recibido los trabajos, éstos se tendrán por recibidos.

Artículo 58 bis.- Tratándose de licitaciones públicas, los contratistas o licitantes que hubieran participado en ellas podrán inconformarse por escrito, indistintamente, ante la dependencia o entidad convocante o ante la Contraloría, dentro de los diez días naturales siguientes al fallo del concurso o, en su caso, al del día siguiente a aquél en que se haya emitido el acto relativo a cualquier etapa o fase del mismo, incluyendo actos posteriores al fallo que impliquen la imposición de condiciones diferentes a las de la convocatoria.

Artículo 66.- Quienes infrinjan las disposiciones contenidas en esta ley o las normas que con base en ella se dicten, serán sancionados por la Secretaría con multa equivalente a la cantidad de cinco a trescientas veces el salario mínimo general elevado al mes vigente en el Distrito Federal en la fecha de la infracción.

Cuando proceda, la Contraloría podrá proponer a la Secretaría la imposición de multas a los contratistas, en los términos del párrafo anterior, y a la dependencia o entidad contratante la rescisión administrativa del contrato en que incida la infracción.

ARTICULO SEGUNDO.- Se derogan el capítulo II del título segundo denominado "Del Padrón de Contratistas de Obras Públicas" que comprende los artículos 19 a 25; el párrafo segundo del artículo 66 y el artículo 74 de la Ley de Obras Públicas.

ARTICULO TERCERO.- Se reforman los artículos 29, párrafo primero; 33, fracciones I y II; 34, segundo párrafo; 46, párrafo primero y 58, primer párrafo, de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Prestación de Servicios relacionados con Bienes Muebles, para quedar como sigue:

Artículo 29.- Todo interesado que satisfaga los requisitos de la convocatoria, las bases y las especificaciones de la licitación tendrá derecho a presentar proposiciones. Para tal efecto, las dependencias y entidades no podrán exigir requisitos adicionales a los previstos por esta ley y su reglamento.

Artículo 33.-

I.- La Tesorería de la Federación, por actos o contratos que se celebren con las unidades de la Presidencia de la República, las secretarías de Estado y departamentos administrativos y con la Procuraduría General de la República;

II.- La Tesorería del Distrito Federal, por actos o contratos que se celebren con el Departamento del Distrito Federal y con la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal;

III y IV.-

Artículo 34.-

Si resultare que dos o más proposiciones satisfacen los requerimientos de la convocante, el pedido o contrato se adjudicará a quien presente la proposición solvente más baja.

Artículo 46.-

Los proveedores que hubieran participado en las licitaciones podrán inconformarse por escrito, indistintamente, ante la dependencia o entidad que haya convocado o ante la Contraloría, dentro de los diez días naturales siguientes al fallo del concurso o, en su caso, al del día siguiente a aquél en que se haya

emitido el acto relativo a cualquier etapa o fase del mismo, incluyendo actos posteriores al fallo que impliquen la imposición de condiciones diferentes a las de la convocatoria.

Artículo 58.- Quienes infrinjan las disposiciones contenidas en esta ley, serán sancionados por la Secretaría con multa equivalente a la cantidad de cinco a trescientas veces el salario mínimo general elevado al mes, veinte en el Distrito Federal en la fecha de la infracción.

(Derogado).

ARTICULO CUARTO.- Se derogan el capítulo II del título segundo denominado "Del Padrón de Proveedores" que comprende los artículos 20 a 25; el último párrafo del artículo 38; la fracción III del artículo 39 y el segundo párrafo del artículo 58 de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Prestación de Servicios relacionados con Bienes Muebles.

TRANSITORIOS

ARTICULO PRIMERO.- El presente Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO SEGUNDO.- Los recursos administrativos que se encuentren en trámite al momento de entrar en vigor el presente Decreto, relacionados con la suspensión o cancelación del registro en el Padrón de Contratistas de Obras Públicas o en el Padrón de Proveedores, serán sobrecuidados.

ARTICULO TERCERO.- Los reglamentos de la Ley de Obras Públicas y de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Prestación de Servicios relacionados con Bienes Muebles, deberán reformarse en consecuencia, en un término no mayor de 180 días a partir de la publicación del decreto en el Diario Oficial de la Federación.

México, D.F., a 2 de julio de 1991.- Dip.- Sami David David, Presidente.- Sen. Fernando Silva Nieto, Presidente.- Dip. Juan Manuel Verdugo Rosas, Secretario.- Sen. Eliase Rangel Gaspar, Secretario.- Rúbricas.

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y para su debida publicación y observancia, expido el presente Decreto en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal a los once días del mes de julio de mil novecientos noventa y uno.- Carlos Salinas de Gortari.- Rúbrica.- El Secretario de Gobernación.- Fernando Gutiérrez Barrios.- Rúbrica

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DECRETO que reforma el artículo 45 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

CARLOS SALINAS DE GORTARI, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

DECRETO

"EL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, DECRETA:

SE REFORMA EL ARTICULO 45 DE LA LEY DE NAVEGACION Y COMERCIO MARITIMOS

ARTICULO UNICO.- Se reforma el artículo 45 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo para quedar como sigue:

ARTICULO 45.- Los particulares mediante concesión otorgada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, podrán construir y explotar obras de atraque e instalaciones de administración privada en los puertos. Las concesiones deberán incluir entre otras condiciones, las relativas a los programas de inversión, de desarrollo, de expansión, de calidad de servicio y aquellas bajo las cuales se llevará a cabo la construcción y explotación de dichas obras incluyendo, de ser el caso, la prestación de servicios portuarios y marítimos, públicos o a terceros mediante contrato.

INTRODUCCION A LA LEY DE OBRAS PUBLICAS

La actividad profesional en el ramo de la Construcción, como cualquier otra, está regida por ciertas Leyes y Reglamentos.

Podemos desenvolvemos en dos sectores: el Público y el Privado y de acuerdo con ello serán las disposiciones jurídicas que debemos cumplir, so pena de hacernos acreedores a las sanciones económicas, o de otro tipo, que en ellas se estipulan.

Para el Sector Público la Ley más importante es la Ley de Obras Públicas y su Reglamento, para el Privado, el Reglamento de Construcciones del D.F.

La Ley es de orden público e interés social y su objeto es regular el gasto y las acciones relativas a la Planeación, Programación, Presupuestación, Ejecución, Conservación, Mantenimiento, Demolición y Control de la Obra Pública que realicen las distintas Dependencias Oficiales, los Organismos Descentralizados, las Empresas de Participación Estatal Mayoritaria y los Fideicomisos Públicos.

Esta Ley entró en vigor el 10. de enero de 1981, substituyendo a la Ley de Inspección de Contratos y Obras Públicas que cubrió el periodo comprendido del 4 de enero de 1966 al 31 de diciembre de 1980.

La Ley se complementa con su Reglamento publicado el 11 de septiembre de 1981.

La importancia de ambos reside en que dentro del Presupuesto Anual de Egresos de la Federación, la asignación a la Obra Pública representa un gran porcentaje.

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F..

CRONOLOGIA.

- | | |
|----------|---|
| 14 12 76 | Reglamento de Construcciones del D.F. |
| 11 10 85 | Se crea el comité de Reconstrucción del Area Metropolitana de la Ciudad de Mexico |
| 17 10 85 | Normas de Emergencia en materia de construcción para el D.F. |
| 03 07 87 | Nuevo Reglamento de Construcciones para el D.F. |

LEYES Y REGLAMENTOS EN VIGOR EN EL D.F.

- Reglamento de Construcciones.
- Normas Técnicas Complementarias.
- Ley del Desarrollo Urbano del D.F.
- Programa Director para el Desarrollo Urbano.
- Reglamento de Zonificación.
- Ley sobre el Régimen de Propiedad en Condominio.

| TITULO | T E M A | CAPITULO | TEMA Y ARTIC. |
|---------|---|----------|---|
| Primero | Disposiciones Generales | único | 1o. al 5o. |
| Segundo | Vias Públicas y Otros Bienes de uso común. | I | Generalidad 6o. al 9o. |
| | | II | Uso de la Vía Pública. 10 al 18. |
| | | III | Instalaciones Subterráneas y Aereas en la Vía Pública 19 al 24. |
| | | IV | Nomenclatura 25-28. |
| | | V | Alineamiento y uso del Suelo 29-31. |
| | | VI | Restricciones a las Construcciones 32-38. |
| Tercero | Directores Responsables de obra y Corresponsables | I | Directores Responsables de Obra 39-43. |
| | | II | Corresponsables 44-52. |
| Cuarto | Licencias y Autorizaciones. | I | Licencias y Autorizaciones 53-62. |
| | | II | Ocupación de las Construcciones 63-71. |

Quinto Proyecto
Arquitectónico

- I Requerimientos del Proyecto Arquitectónico 72-80.
- II Requerimientos de Habitabilidad y Funcionamiento 81.
- III Requerimientos de Higiene Servicios y Acondicionamiento Ambiental. 82-92.
- IV Requerimientos de Comunicación y Prevención de Emergencias.
- SECC 1A. Circulaciones y Elementos de Comunicación 93-115.
- SECC 2a. Previsiones contra Incendio 116-137.
- SECC 3a. Dispositivos de Seguridad y Protección 138-144.
- V Requerimientos de Integración al Contexto e Imagen Urbana 145-149.
- VI Instalaciones.
- SECC 1a. Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias 150-164.
- SECC 2a. Instalaciones Eléctricas 165-169.
- SECC 3a. Instalaciones de Combustibles. 170.

SECC

| | | | |
|-------|--|------|--|
| Sexto | Seguridad Estructural de las Construcciones | I | Disposiciones Generales 172-175. |
| | | II | Características Generales de las Edificaciones 176-181. |
| | | III | Criterios de Diseño Estructural 182-195. |
| | | IV | Cargas Muertas 196-197. |
| | | V | Cargas Vivas 198-201. |
| | | VI | Diseño por Sismo 202-212 |
| | | VII | Diseño por Viento 213-216. |
| | | VIII | Diseño de Cimentaciones 217-232. |
| | | IX | Construcciones dañadas 233-236. |
| | | X | Obras provisionales y modificaciones 237-238. |
| | | XI | Pruebas de carga 239-240. |

| | | | |
|---------|---------------|-----|--|
| Séptimo | Construcción. | I | Generalidades 241-249. |
| | | II | Seguridad e Higiene en las obras 250-254. |
| | | III | Materiales y Procedimientos de Construcción 255-260. |
| | | IV | Mediciones y Trazos 261-263. |
| | | V | Excavaciones y Cimentación |

nes 264-267.

VI Dispositivo para Transporte vertical en las obras. 268-270.

VII Instalaciones 271-275.

VIII Fachadas 276-279.

Octavo Uso, Operación, y Mantenimiento. Único Uso y conservación de predios y edificios. 280-286.

Noveno Ampliación de Obra de Mejoramiento. Único Ampliaciones 287-289.

Décimo Demoliciones Único Medidas preventivas en demolición. 290-297.

Décimo Explotación de yacimientos de materiales pétreos. Primero

- I Disposiciones Generales y Licencia 298-307.
- II Titulares de los yacimientos pétreos 308-310.
- III Peritos Responsables de la Explotación de Yacimientos 311-317.
- IV Explotación de Yacimientos 318-322.

Décimo Segundo Medidas de Seguridad. Único Medidas de Seguridad. 323-327.

Décimo Tercero
Visitas de Inspección,
Sanciones y Recursos.

I Visitas de Inspección
328-335.

II Sanciones 336-347.

III Recursos 348-353.

Transitorios

Artículo 10. a Décimo
Tercero.

SINTESIS DEL TITULO TERCERO.

DIRECTORES RESPONSABLES DE OBRA Y CORRESPONSABLES.

CAPITULO I.

Directores Responsables de Obra.

Art. 43 Son obligaciones del Director Responsable de obra:

I. Dirigir y vigilar la obra asegurándose de que tanto el proyecto, como la ejecución de la misma, cumplan con lo establecido en los ordenamientos y demás disposiciones a que se refiere el inciso b) de la fracción I del artículo anterior, la Ley de Salud para el Distrito Federal, así como el Programa Parcial correspondiente.

El Director Responsable de obra deberá contar con los Corresponsables a que se refiere el artículo 44 de este Reglamento en los casos que en ese mismo artículo se numeran. En los casos no incluidos en dicho artículo el Director Responsable de Obra podrá definir libremente la participación de los Corresponsables.

El Director Responsable de Obra deberá comprobar que cada uno de los Corresponsables con que cuente según sea el caso, cumpla con las obligaciones que se indican en el artículo 47.

II. Responder de cualquier violación a las disposiciones de este Reglamento. En caso de no ser atendidas por el interesado las instrucciones del Director Responsable de Obra, en relación al cumplimiento del Reglamento, deberá notificarlo de inmediato al Departamento por conducto de la Delegación correspondiente, para que éste proceda a la suspensión de los trabajos.

III. Planear y supervisar las medidas de seguridad del personal y terceras personas en la obra, sus colindancias y en la

via pública, durante su ejecución.

IV. Llevar en las obras un libro de bitácora foliado y encuadernado en el cual se anotarán los siguientes datos:

a) Nombre, atribuciones y firmas del Director Responsable de Obra y de los Corresponsables, si los hubiere y del residente.

b) Fecha de las visitas del Director Responsable de Obra y de los Corresponsables.

c) Materiales empleados para fines estructurales o de seguridad.

d) Procedimientos generales de construcción y de control de calidad.

e) Descripción de los detalles definidos durante la ejecución de la obra.

f) Nombre o razón social de la persona física o moral que que ejecute la obra.

g) Fecha de iniciación de cada etapa de la obra.

h) Incidentes y accidentes.

i) Observaciones e instrucciones especiales del Director Responsable de Obra, de los Corresponsables y de los inspectores del Departamento.

V. Colocar en lugar visible de la obra un letrero con su nombre y, en su caso, de los Corresponsables y sus números de registro, números de licencia de la obra y ubicación de la misma.

VI. Entregar al propietario una vez concluida la obra, los planos registrados actualizados del proyecto completo en original y memorias de cálculo.

VII. Refendar su registro de Director Responsable de Obra cada 3 años, y cuando lo determine el Departamento por modificaciones al Reglamento o a las Normas Técnicas complementarias.

VIII. Elaborar y entregar al propietario de la obra al término de ésta, los manuales de operación y mantenimiento a que se refiere el artículo 284 de este Reglamento, en los casos de las obras numeradas en el artículo 53 del mismo.

Artículo 44. Corresponsables.

I. Corresponsables en Seguridad Estructural, para las obras de los grupos A y B1 del artículo 174 de este Reglamento.

II. Corresponsables en Diseño Urbano y Arquitectónico, para los siguientes casos:

a) Conjuntos habitacionales, hospitales, clínicas y centros de salud, instalaciones para exhibiciones, baños públicos, estaciones y terminales de transporte terrestre, aeropuertos, estudios cinematográficos y de televisión y espacios abiertos de uso público de cualquier magnitud.

b) Las edificaciones ubicadas en zonas de patrimonio histórico, artístico y arqueológico de la Federación o del Distrito Federal.

c) El resto de las edificaciones que tengan más de 3000 m² cubiertos, o más de 25 m de altura, sobre nivel medio de banqueta, o con capacidad para más de 250 concurrentes en los locales cerrados, o más de 1000 concurrentes en locales abiertos.

III. Corresponsables en Instalaciones para los siguientes casos:

a) En los conjuntos habitacionales; baños públicos; lavanderías, tintorerías, lavado y lubricación de vehículos; hospitales; clínicas y centros de salud; instalaciones para exhibiciones; crematorios; aeropuertos; agencias y centrales de teléfonos y teléfonos; estaciones de radio y televisión; estudios cinematográficos; industria pesada y mediana; plantas, estaciones y subestaciones; cárcamos y bombas; circos y ferias, de cualquier magnitud.

b) El resto de las edificaciones que tengan más de 3000 m², o más de 25 m de altura sobre nivel medio de banqueta o más de 250 concurrentes.

Artículo 52. El Departamento, previa opinión de la Comisión de Administración de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, podrá determinar la suspensión de los efectos de su registro a un Director Responsable de Obra o Corresponsable en cualquiera de los siguientes casos:

I. Cuando haya obtenido su inscripción proporcionando datos

falsos o cuando dolosamente presente documentos falsificados o información equivocada en la solicitud de licencia o en sus anexos.

II. Cuando a juicio de la Comisión de Administración de Directores Responsables de Obra y Corresponsables no hubiera cumplido sus obligaciones en los casos en que haya dado su responsiva.

III. Cuando haya reincidido en violaciones a este Reglamento.

IV. Tratándose de persona moral responsable de la obra, cuando deje de contar con los servicios profesionales a que se refieren los artículos 42 fracción II. inciso b) y 46 fracción II inciso b) de este Reglamento.

La suspensión se decretará por un mínimo de tres meses y hasta un máximo de seis meses. En casos extremos podrá ser cancelado el registro sin perjuicio de que el Director Responsable de Obra o Corresponsable subsane las irregularidades en que haya incurrido.

SINTESIS DEL TITULO DECIMO TERCERO.

VISITAS DE INSPECCION, SANCIONES Y RECURSOS..

CAPITULO I.

Visitas de Inspección.

CAPITULO II.

Sanciones.

Artículo 336. El Departamento, en los términos de este Capítulo, sancionará con multas a los propietarios o poseedores, a los Titulares, a los Directores Responsables de Obra, a los Corresponsables, a los Peritos Responsables y a quienes resulten responsables de las infracciones comprobadas en las visitas de inspección a que se refiere el Capítulo anterior.

Artículo 337. El Departamento para fijar la sanción deberá tomar en cuenta las condiciones personales del infractor, la gravedad de la infracción y las modalidades y demás circunstancias en que la misma se haya cometido.

P: Cuando podrá el Departamento suspender o clausurar las obras en ejecución?

R: Según el Artículo 339 en los siguientes casos:

- I. Cuando previo dictámen técnico emitido u ordenado por el Departamento se declare en peligro inminente la estabilidad o seguridad de la construcción o yacimiento.
- II. Cuando la ejecución de una obra, de una demolición o explotación de yacimiento se realice sin las debidas precauciones y ponga en peligro la vida o la integridad física de las personas o pueda causar daños a bienes del Departamento o a terceros.
- III. Cuando la construcción o explotación de un yacimiento no se ajuste a las medidas de seguridad y demás protecciones que señala este Reglamento.

IV. Cuando no se de cumplimiento a una orden de las previstas por el artículo 323 de este Reglamento, dentro del plazo que se haya fijado para tal efecto.

Artículo 323 Medidas de Seguridad. Cuando el Departamento tenga conocimiento de que una edificación, estructura, instalación o yacimiento pétreo presente algún peligro para las personas o los bienes, previo dictámen técnico, requerirá a su propietario o poseedor con la urgencia que el caso amerite, que realice las reparaciones, obras o demoliciones necesarias, de conformidad con la Ley.

V. Cuando la construcción no se ajuste a las restricciones impuestas en la Constancia de Uso del Suelo, Alineamiento y Número Oficial.

VI. Cuando la construcción o explotación de un yacimiento se ejecute sin ajustarse al proyecto aprobado o fuera de las condiciones previstas por este Reglamento y por sus Normas Técnicas Complementarias.

VII Cuando se obstaculice reiteradamente o se impida en alguna forma el cumplimiento de las funciones de inspección o supervisión reglamentaria del personal autorizado por el Departamento.

VIII Cuando la obra o la explotación de un yacimiento se ejecute sin licencia.

IX. Cuando la licencia de construcción o de explotación de un yacimiento sea revocada o haya terminado su vigencia.

X. Cuando la obra o la explotación de un yacimiento se ejecute sin la vigilancia del Director Responsable de Obra o los Corresponsables, en su caso, en los términos de este Reglamento.

XI. Cuando se usen explosivos sin los permisos correspondientes.

Artículo 341. Monto de las multas al Director Responsable de Obra, al Corresponsable, al propietario o poseedor, al Titular, al Perito Responsable o a las personas que resulten responsables.

Artículo 347. El Departamento podrá revocar toda autorización, licencia o constancia cuando:

- I. Se haya emitido con base en informes o documentos falsos o erróneos o emitidos con dolo o error.
- II. Se hayan expedido en contravención al texto expreso de alguna disposición de este Reglamento.
- III. Se haya expedido por autoridad incompetente.

La revocación será pronunciada por las autoridades de la que haya emanado el acto o resolución de que se trate, en su caso, por el superior jerárquico de dicha autoridad.

PODER EJECUTIVO**SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO**

OFICIO por el cual se modifica la concesión otorgada a Unión de Crédito Industrial de Celaya, S.A. de C.V.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público.- Comisión Nacional Bancaria y de Seguros.- Dirección de Uniones de Crédito.- Oficio No. 601-II-62126.- Exp.: 721.1(U-438)/1.

ASUNTO: CONCESION.—Se modifica la que se indica.

UNION DE CREDITO INDUSTRIAL DE CELAYA, S.A. DE C.V.

Rayón Sur No. 100 - 3er. piso
38070 - Celaya, Gto.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 8o., fracción XI de la Ley General de Organizaciones y Actividades Auxiliares del Crédito y en base a la aprobación de la reforma a la cláusula octava de su escritura constitutiva, acordada por su Asamblea General Extraordinaria de Accionistas celebrada el 27 de marzo último, esta Comisión ha tenido a bien modificar la fracción II del SEGUNDO TERMINO de la concesión otorgada el 19 de abril de 1988 a esa Sociedad, para quedar como sigue:

II.—El capital social autorizado será de \$ 600'000,000.00 (SEISCIENTOS MILLONES DE PESOS 00/100 M.N.), representado por 1,600 acciones serie "A" que constituyen el capital sin derecho a retiro y 800 acciones serie "B" que integran el capital con derecho a retiro, todas ellas con un valor nominal de \$ 250,000.00 (DOSCIENTOS CINCUENTA MIL PESOS 00/100 M.N.) cada una.

Atentamente,

México, D. F., a 17 de noviembre de 1989.- El Vicepresidente, José A. Alvarez Jáuregui.- Rúbrica.

(R.—0011)

OFICIO por el cual se modifica la concesión otorgada a Unión de Crédito de la Industria de Transformación Yucateca, S.A. de C.V.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público.- Comisión Nacional Bancaria y de Seguros.- Dirección de Uniones de Crédito.- Oficio No. 601-II-62137.- Exp.: 721.1(U-419)/1.

ASUNTO: CONCESION.—Se modifica la que se indica.

UNION DE CREDITO DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION YUCATECA, S.A. DE C.V.

Calle 30 No. 153
sobre Circuito Colonias
Col. García Gineres
97070 - Mérida, Yuc.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 8o., fracción XI de la Ley General de Organizaciones y Actividades Auxiliares del Crédito y en base a la aprobación de la reforma a la cláusula octava de su escritura constitutiva, acordada por su Asamblea General Extraordinaria de Accionistas celebrada el 29 de agosto último, esta Comisión ha tenido a bien modificar la fracción II del SEGUNDO TERMINO de la concesión otorgada el 30 de julio de 1987 a esa Sociedad, para quedar como sigue:

II.—El capital social autorizado será de \$ 1,000'000,000.00 (UN MIL MILLONES DE PESOS 00/100 M.N.), representado por 60,000 acciones serie "A" que constituyen el capital sin derecho a retiro y 40,000 acciones serie "B" que integran el capital con derecho a retiro, todas ellas con un valor nominal de \$ 10,000.00 (DIEZ MIL PESOS 00/100 M.N.) cada una.

Atentamente,

México, D. F., a 17 de noviembre de 1989.- El Vicepresidente, José A. Alvarez Jáuregui.- Rúbrica.

(R.—0012)

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO

DECRETO por el que se reforma y adiciona el Reglamento de la Ley de Obras Públicas.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

CARLOS SALINAS DE GORTARI, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere la fracción I del Artículo 87 de la Constitución Política de los Es-

tados Unidos Mexicanos, he tenido a bien expedir el siguiente

DECRETO POR EL QUE SE REFORMA Y ADICIONA EL REGLAMENTO DE LA LEY DE OBRAS PUBLICAS

ARTICULO PRIMERO.—Se reforman los artículos 2o., 3o., 6o., 7o., 8o., 9o., 12, 16, fracciones V y VIII, 23 párrafo primero, 24, 25, 26, 27, 29, 31 fracciones IV, V, VI y VII, 32, 34, 36 fracción II, 37,

40, 42 fracción II, 44, 47 fracción VI, 49 párrafos primero y segundo, 50 párrafo segundo de la fracción II, 51 fracciones I y III, 52 a 59. Los artículos 55 a 57 integrarán un Capítulo V denominado "De las Obras por Administración Directa". El actual Capítulo V pasa a ser VI y estará integrado por los artículos 58 y 59, para quedar como sigue:

"ARTICULO 2o.—Las dependencias y entidades en la realización de obras públicas y en la contratación de servicios relacionados con las mismas, se sujetarán a lo establecido en la Ley, este Reglamento y las demás disposiciones administrativas que sobre la materia expida la Secretaría.

Los órganos de gobierno de las entidades emitirán, de conformidad con su legislación específica, las políticas, bases y lineamientos a que se refiere el artículo 1o. de la Ley, las cuales contendrán:

I. Los procedimientos que permitan la adecuada planeación, programación y presupuestación de cada obra pública, estableciéndose los criterios que habrán de adoptarse para la realización de las acciones, actos y contratos que lleven a cabo, a fin de racionalizar los recursos disponibles;

II. Las directrices que habrán de establecer y observar los directores generales o sus equivalentes, a fin de que los criterios a que se refiere el artículo 6o. bis de la Ley, se adopten e instrumenten en la administración de la entidad bajo las modalidades que al efecto determinen;

III. La forma, términos, porcentajes, vigencia y cancelación a los que deberán sujetarse las garantías que deban constituir las personas físicas o morales que contraten la ejecución de obra pública o presten servicios relacionados con la misma en lo referente a la seriedad de las proposiciones, para la correcta inversión de los anticipos que en su caso reciban y para el cumplimiento de los contratos;

IV. Las circunstancias en que se podrá diferir el fallo de adjudicación del contrato respectivo y los procedimientos y condiciones al efecto;

V. Los procedimientos que se observarán para la aplicación de penas convencionales a los contratistas en los contratos de obras y de servicios;

VI. Los procedimientos que se aplicarán para fundamentar y elaborar el dictamen respectivo en los casos de adjudicación de contratos, que de conformidad con la Ley puedan estar exceptuados de licitación pública, y

VII. Las directrices conforme a las cuales llevarán a cabo el control de cada una de sus obras en los términos del artículo 61 de la Ley."

"ARTICULO 3o.—Las disposiciones administrativas que con fundamento en la Ley expida la Secretaría, las hará del conocimiento de las dependencias y, cuando corresponda, de los órganos de gobierno de las entidades para su aplicación.

Cuando dichas disposiciones se refieran a las condiciones que deberán observar en la contratación y ejecución de las obras y servicios relacionados con éstos, se publicarán en el Diario Oficial de la Federación.

Para efectos de lo dispuesto en el último párrafo del artículo 6o. de la Ley, la Secretaría expedirá disposiciones administrativas para los contratos de obras y servicios relacionados con las mismas, así como para los acuerdos para la ejecución de obras y servicios por administración directa, en los siguientes aspectos:

I. Normas y reglas administrativas para que las dependencias y entidades, lleven a cabo la planeación, programación y presupuestación de obras públicas que realicen, así como de las acciones para efectuar los procesos de adjudicación, contratación y finiquito de las mismas;

II. Criterios para efectuar los procesos referentes a licitación, evaluación de proposiciones, ejecución, recepción y finiquito de las obras públicas;

III. Procedimientos para el análisis, cálculo e integración de los precios unitarios de los conceptos de obra;

IV. Procedimientos para efectuar los ajustes de los costos de los insumos que intervienen en los precios unitarios;

V. Procedimientos para efectuar las modificaciones a los contratos, en monto o plazo para absorber las imprecisiones de la programación y presupuestación de las obras que se presenten durante su ejecución, y

VI. Procedimientos para la suspensión de las obras o rescisión de los contratos."

"ARTICULO 6o.—Las dependencias y entidades en la planeación de las obras públicas, realizarán los estudios de preinversión que se requieran para definir la factibilidad técnica, económica y social de la realización de la obra."

"ARTICULO 7o.—En la planeación de las obras o servicios relacionados con las mismas por administración directa, las dependencias y entidades deberán considerar la disponibilidad real del personal adscrito a las áreas de proyecto y construcción de que dispongan, así como los recursos de maquinaria y equipo de construcción de su propiedad.

Esta disposición deberá establecerse en los convenios que se celebren con las entidades federativas conforme al artículo 7o. de la Ley."

"ARTICULO 8o.—La dependencia encargada de la planeación de un conjunto de obras en cuyo estudio, proyecto o construcción intervengan dos o más dependencias o entidades será responsable de proponer y promover ante éstas, la adecuada coordinación de las diversas intervenciones de las propias ejecutoras."

ARTICULO 90.—Las dependencias al determinar el programa de realización de cada obra, deberán prever los periodos o plazos necesarios para la elaboración de los estudios y proyectos específicos, así como los requeridos para llevar a cabo las acciones de convocar, licitar, contratar y ejecutar los trabajos conforme a lo dispuesto en la Ley y este Reglamento.

ARTICULO 12.—Para que las dependencias o entidades puedan realizar obras y servicios relacionados con las mismas en los términos del artículo 29 de la Ley, es indispensable que los servidores públicos responsables de la adjudicación, contratación y ejecución, verifiquen que se cuente con la disponibilidad presupuestal correspondiente.

En dichas obras se deberán prever los impactos económicos, sociales y ecológicos que se originen con su ejecución, y de realizarse cerca de o en un centro de población, deberán ser acordes con los programas de desarrollo urbano que determine la ley de la materia, cuando para ello con las autorizaciones correspondientes.

ARTICULO 16.—

I a IV.

V. Relación de maquinaria y equipo propio o de otras empresas filiales;

VI y VII.

VIII. Inscripción en el Registro Federal de Contribuyentes y, de acuerdo con las disposiciones legales aplicables, en la Cámara que le corresponda;

IX o XI.

ARTICULO 23.—Las personas físicas o morales que participen en la contratación de obras públicas, lo harán siempre y cuando posean plena capacidad para celebrar los contratos respectivos, de conformidad con las disposiciones legales que regulan su actividad social o comunitaria; se encuentren inscritas en el Padrón de Contratistas de Obras Públicas, pudiendo en los casos del artículo 50, de este ordenamiento estar inscritos solamente en el de Proveedores del Gobierno Federal; hayan cubierto la cuota anual que al efecto establezca la Ley Federal de Derechos y contribuciones los demás requisitos que disponen la Ley y este Reglamento.

ARTICULO 24.—Para asegurar la seriedad de las proposiciones en los concursos que celebren las dependencias, el proponente deberá entregar:

I. Cheque cruzado expedido por el mismo con cargo a cualquier institución de crédito, o fianza otorgada por institución de fianzas debidamente autorizada.

La garantía por la que el proponente opte, será a favor de la Tesorería que le corresponda en los términos del artículo 35 de la Ley. La convocante convertirá la garantía otorgada en favor de la Tesorería que corresponda, conforme a lo previsto en el artículo 35 de la Ley; cuando ésta se realice en materia de inversión autorizada expedida a favor de la Tesorería que corresponda, conforme a lo previsto en el artículo 35 de la Ley; cuando ésta se realice en materia de un ejercicio presupuestal, la fianza se substituirá por otra equivalente al diez por ciento del importe de los trabajos aun no ejecutados, incluyendo en dicho importe los montos relativos a los ajustes de costos y convenios, si los hubiere.

II. La fianza deberá ser presentada dentro de los quince días hábiles siguientes, contados a partir de la fecha en que el contratista hubiere recibido copia del fallo de adjudicación o del contrato suscritos.

III. La garantía subsistirá hasta la total amortización del anticipo correspondiente, en cuyo caso, la contratante, dando conocimiento a la Tesorería que le corresponde en los términos de la Ley, lo notificará por escrito a la institución otorgadora para su cancelación.

ARTICULO 25.—Los contratistas garantizarán el importe de la proporción:

El monto de la garantía será del cinco por ciento del importe de la proporción.

I. La garantía será por la totalidad del monto concedido y se constituirá mediante fianza otorgada por institución de fianzas debidamente autorizada a favor de la Tesorería que corresponda, conforme a lo dispuesto en el artículo 35 de la Ley, que será presentada previamente a la entrega del anticipo, dentro de los quince días hábiles, contados a partir de que el contratista reciba copia del contrato o del acta de adjudicación y para los ejercicios subsiguientes de la fecha de notificación señalada en la siguiente fracción;

II. Para el trámite de la garantía de la primera exhibición, la convocante proporcionará al contratista copia del contrato suscrito por éste o copia del acta de fallo de adjudicación; para los ejercicios subsiguientes, se notificará por escrito, el monto del anticipo concedido para la compra y producción de materiales, equipos de instalación permanente y demás insumos, conforme a la inversión autorizada, y

III. La garantía subsistirá hasta la total amortización del anticipo correspondiente, en cuyo caso, la contratante, dando conocimiento a la Tesorería que le corresponde en los términos de la Ley, lo notificará por escrito a la institución otorgadora para su cancelación.

ARTICULO 26.—La garantía que se otorgue a la dependencia para el cumplimiento del contrato se ajustará a lo siguiente:

I. Se constituirá fianza por el diez por ciento del importe de la obra contratada, mediante póliza de institución autorizada expedida a favor de la Tesorería que corresponda, conforme a lo previsto en el artículo 35 de la Ley; cuando ésta se realice en materia de un ejercicio presupuestal, la fianza se substituirá por otra equivalente al diez por ciento del importe de los trabajos aun no ejecutados, incluyendo en dicho importe los montos relativos a los ajustes de costos y convenios, si los hubiere.

II. La fianza deberá ser presentada dentro de los quince días hábiles siguientes, contados a partir de la fecha en que el contratista hubiere recibido copia del fallo de adjudicación o del contrato suscritos.

III. La garantía subsistirá hasta la total amortización del anticipo correspondiente, en cuyo caso, la contratante, dando conocimiento a la Tesorería que le corresponde en los términos de la Ley, lo notificará por escrito a la institución otorgadora para su cancelación.

ARTICULO 27.—La garantía que se otorgue a la dependencia para el cumplimiento del contrato se ajustará a lo siguiente:

I. Se constituirá fianza por el diez por ciento del importe de la obra contratada, mediante póliza de institución autorizada expedida a favor de la Tesorería que corresponda, conforme a lo previsto en el artículo 35 de la Ley; cuando ésta se realice en materia de un ejercicio presupuestal, la fianza se substituirá por otra equivalente al diez por ciento del importe de los trabajos aun no ejecutados, incluyendo en dicho importe los montos relativos a los ajustes de costos y convenios, si los hubiere.

II. La fianza deberá ser presentada dentro de los quince días hábiles siguientes, contados a partir de la fecha en que el contratista hubiere recibido copia del fallo de adjudicación o del contrato suscritos.

III. La garantía subsistirá hasta la total amortización del anticipo correspondiente, en cuyo caso, la contratante, dando conocimiento a la Tesorería que le corresponde en los términos de la Ley, lo notificará por escrito a la institución otorgadora para su cancelación.

gastos de traslado de la maquinaria y equipo de construcción e inicio los trabajos, la contratación deberá otorgar hasta un diez por ciento de la asignación presupuestal aprobada en el primer ejercicio posterior a esta fracción;

III. Para la compra y producción de materiales de construcción, la adquisición de equipos que se instalen permanentemente y demás insumos se deberá otorgar, además del anticipo para inicio de los trabajos, hasta un veinte por ciento de la asignación aprobada al contrato en el ejercicio de que se trate; cuando las condiciones de la obra lo requieran, el porcentaje podrá ser mayor, en cuyo caso será necesario la autorización escrita del titular de la dependencia o entidad o de la persona en quien este haya delegado por escrito tal facultad.

Los pagos podrán efectuarse en una o varias exhibiciones, de acuerdo con lo pactado en el contrato; En las convocatorias para la adjudicación de los contratos de obras públicas y en la invitación para presentar proposición para los servicios relacionados con las mismas, se deberán indicar los porcentajes que se otorgarán por concepto de anticipos; V. No se otorgarán anticipos para el o los convenios que se celebren en los términos del artículo 41 de la Ley, ni para los importes resultantes de los ajustes de costos del contrato o convenios, que se generen durante el ejercicio presupuestal de que se trate;

VI. La amortización deberá efectuarse proporcionalmente con cargo a cada una de las estimaciones por trabajos ejecutados que se formen, debiéndose liquidar el faltante por amortizar en la estimación final.

El porcentaje inicial de amortización será el resultado de dividir la o las cantidades recibidas por concepto de anticipos entre el importe de la obra; para la amortización de exhibiciones sucesivas, deberá adicionarse el porcentaje anterior el que resulte de dividir el monto de la o las cantidades recibidas entre el importe de la obra aun no ejecutada, en la fecha en que las mismas sean entregadas al contratista;

VII. En el supuesto señalado en la fracción III y para los efectos de la aplicación del artículo 46 de la Ley, el importe del o los ajustes resultantes deberá

por éste; para ejercicios sucesivos, el mismo plazo contará a partir de la fecha en que la inversión autorizada se notifique por escrito al contratista. Si transcurrido el plazo respectivo no se hubiera otorgado la fianza, la dependencia podrá determinar la rescisión administrativa del contrato;

III. Para los efectos del artículo 48 de la Ley, el contratista garantizará los trabajos dentro de los quince días hábiles siguientes a la recepción formal de los mismos, substituyendo la fianza vigente por otra equivalente al diez por ciento del monto total acordado para responder de los defectos que resulten de la realización de los mismos, de vicios ocultos o de cualquier otra responsabilidad en que hubiere incurrido en su ejecución. La vigencia de esta garantía se- rido en su ejecución o partir de la fecha de término de un año contado a partir de la fecha de terminación de los trabajos, lo que se hará constar en el acta de recepción formal de los mismos, al término del cual, de no haber inconvencimiento de la dependencia, la institución afianzadora procederá a su cancelación automática. En caso de presentarse vicios ocultos, la dependencia deberá comunicarlo de inmediato y por escrito a la contratista y a la afianzadora, y cuando las obras o los servicios relacionados con los mismos, en los términos previstos en el contrato relativo, consten de partes que puedan considerarse terminadas y cada una de ellas completa o utilizables a juicio de la dependencia y se haya pactado su recepción en el propio contrato, la fianza se suspenderá en lo conducente, a lo dispuesto en la fracción anterior y deberá otorgarse para cada una de las partes de los trabajos recibidos;

ARTICULO 27.- El otorgamiento de los anticipos se deberá pactar en los contratos de obra y en los de servicios relacionados con las mismas, conforme a las siguientes bases:

I. Los importes de los anticipos concedidos, deberán ser puestas a disposición del contratista con anterioridad a la fecha que para inicio de los trabajos se establece en la convocatoria y en las bases de la licitación, mismo que se estipulará en el contrato respectivo; el atraso en la entrega del anticipo, será motivo para diferir sin modificar, en igual plazo, el programa de ejecución pactado y formalizar mediante convenio la nueva fecha de iniciación de los trabajos. Cuando el contratista no entregue la garantía de los anticipos dentro del plazo señalado en la fracción I del artículo 25 de este Reglamento, no procederá el diferimiento y por lo tanto deberá iniciar la obra en la fecha establecida.

Los contratistas, en su proposición, deberán condicionar para el análisis de financiamiento de los trabajos, el importe de los anticipos;

II. Para que el contratista realice en el sitio de los trabajos la construcción de sus oficinas, almacenes, bodegas e instalaciones y, en su caso, para los

afectarse en un porcentaje igual o al de los anticipos concedidos, y

VIII. Para la amortización de los anticipos en los casos de rescisión de contrato, el saldo por amortizar se reintegrará a la dependencia o entidad en un plazo no mayor de quince días hábiles contados a partir de la fecha en que le sea comunicada la rescisión al contratista, para lo cual se le reconocerán los materiales que tenga en obra o en proceso de adquisición debidamente comprobado mediante la exhibición correspondiente, conforme a los datos básicos de precios del concurso, considerando los ajustes de costos autorizados a la fecha de rescisión, siempre y cuando sean de la calidad requerida, puedan utilizarse en la obra y el contratista se comprometa por escrito a entregarlos en el sitio de los trabajos.

En los contratos respectivos se deberá pactar que en caso de que el contratista no reintegre el saldo por amortizar, deberá pagar gastos financieros conforme a una tasa que será igual a la establecida por la Ley de Ingresos de la Federación, en los casos de prórroga para el pago de crédito fiscal. Los gastos financieros se calcularán sobre el saldo no amortizado y se computarán por días calendario desde que se venció el plazo hasta la fecha en que se ponga la cantidad a disposición de la contratante."

"ARTICULO 29.—Para los efectos del tercer párrafo del artículo 57 de la Ley, los plazos para la inscripción, preparación de proposiciones y acto de apertura de ofertas, serán fijados por la convocante de acuerdo al monto, características, especialidad, condiciones y complejidad de los trabajos.

Se deberá convocar por escrito a cuando menos tres personas y comprobar que éstas cuentan con la especialidad requerida para el concurso, de conformidad con el Padrón de Contratistas de Obras Públicas. Los interesados que acepten participar quedarán obligados a presentar propuesta, la cual deberá ser admitida por la convocante y deberán ser apercibidos de que el incumplimiento de esta obligación será motivo para que la dependencia o entidad solicite a la Secretaría la aplicación del artículo 24 de la Ley.

Para llevar a cabo la adjudicación se deberá contar con un mínimo de tres propuestas, en caso de no contar con éstas, se declarará desierto el concurso y se convocará nuevamente.

La adjudicación del contrato, invariablemente deberá ser a favor de la persona cuya proposición solvente resulte la económicamente más baja en las términos del artículo 34 del presente ordenamiento."

"ARTICULO 31.—
I. a III.....

IV. Datos básicos de costos de materiales puestos en el sitio de los trabajos, de la mano de obra y del uso de la maquinaria de construcción;

V. Analisis de precios unitarios de los conceptos

solicitados, estructurados con costos directos, costos indirectos, costos de financiamiento de los trabajos y cargo por utilidad. El procedimiento de análisis de los precios unitarios, podrá ser por asignación de recursos calendarizados o por el rendimiento por hora o turno.

Los costos directos incluirán los cargos por concepto de materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria y equipo de construcción.

Los costos indirectos estarán representados como un porcentaje del costo directo, dichos costos se desglosarán en los correspondientes a la administración de oficinas centrales, de la obra y seguros y fianzas.

El costo de financiamiento de los trabajos, estará representado por un porcentaje de la suma de los costos directos e indirectos; para la determinación de este costo deberán considerarse los gastos que realizará el contratista en la ejecución de los trabajos, los pagos por anticipos y estimaciones que recibirá y la tasa de interés que aplicará, debiendo adjuntarse el análisis correspondiente.

El cargo por utilidad, será fijado por el contratista mediante un porcentaje sobre la suma de los costos directos, indirectos y de financiamiento;

VI. Programas de ejecución de los trabajos, utilización de la maquinaria y equipo de construcción, adquisición de materiales y equipos de instalación permanente, así como utilización del personal técnico, administrativo y de servicios encargado de la dirección, supervisión y administración de los trabajos, en la forma y términos solicitados, y

VII. Relación de maquinaria y equipo de construcción indicando si es de su propiedad, y su ubicación física.

"ARTICULO 32.—La dependencia o entidad invitará al acto de apertura de proposiciones a la Cámara que corresponda y a las dependencias que conforme a sus atribuciones deban asistir, así como a otros servidores públicos o representantes del sector privado que considere conveniente, con una anticipación no menor de cinco días hábiles a la fecha del acto."

"ARTICULO 34.—La dependencia o entidad convocante para determinar la solvencia de las proposiciones y efectuar el análisis comparativo y dictamen a que se refiere el artículo 36 de la Ley, deberá considerar:

A.—En los aspectos preparatorios para el análisis comparativo de las proposiciones:

I. Constatar que las proposiciones recibidas en el acto de apertura, incluyan la información, documentos y requisitos solicitados en las bases de la licitación; la falta de alguno de ellos o que algún rubro en lo individual esté incompleto, será motivo para desechar la propuesta;

II. Comprobar que el contrato cuenta, en su registro en el Padrón de Contratos de Obras Públicas, con la especialidad para la obra específica de que se trate; que esté al corriente en el pago de los derechos correspondientes y que cumpla con los demás aspectos de carácter legal que se hayan establecido en las bases de la licitación;

III. Verificar, en el aspecto técnico, que el programa de ejecución sea factible de realizar con los recursos considerados por el contratista en el plazo solicitado y, que las características, especificaciones y calidad de los materiales que deban suministrarse, sean de considerarse en el listado correspondiente, sean de las requeridas por la dependencia o entidad, y

IV. Revisar, en el aspecto económico, que se hayan considerado para el análisis, cálculo e integración de los precios unitarios, los salarios y precios vigentes de los materiales y demás insumos en la zona o región de que se trate; que el cargo por maquinaria y equipo de construcción, se haya determinado con base en el precio y rendimiento de éstos considerados como nuevos y acorde con las condiciones de ejecución del campo de trabajo correspondiente; que el monto del costo indirecto induya los cargos por instalaciones, servicios, sueldos y prestaciones del personal técnico y administrativo y demás cargos de naturaleza analógica y; que en el costo por financiamiento se haya considerado la repercusión de los anticipos. Las proposiciones que satisfagan todos los aspectos señalados en las fracciones anteriores, se calificarán como solventes y, por tanto, sólo éstas serán consideradas para el análisis comparativo, debiéndose desachar las restantes.

B.—En los aspectos preparatorios para la emisión del fallo:

I.—Elaborar un dictamen, con base en el resultado del análisis comparativo, que sirva como fundamento para que el titular o el servidor público a quien haya delegado esta facultad, emita el fallo correspondiente, y

II. Señalar en el dictamen mencionado, los criterios utilizados para la evaluación de las proposiciones; los lugares correspondientes a los participantes cuyos propuestas sean solventes, indicando el monto de cada una de ellas y las proposiciones desechadas con las causas que originaron su exclusión.

El contrato respectivo deberá asignarse a la persona que de entre los proponentes haya presentado la postura solvente más baja. En caso de que todas las proposiciones fueran desechadas, se declarará desierto el concurso.

ARTÍCULO 36.

II. El programa de ejecución de los trabajos, detallado por conceptos, consignando por periodos las cantidades por ejecutar e importes correspondientes.

Los programas anteriormente señalados, deberán ser de instalación permanente.

Los programas anteriormente señalados, deberán convenirse con la dependencia o entidad y se entregará a la firma del contrato o dentro de los veinte días hábiles siguientes al de la fecha de adjudicación.

ARTÍCULO 37.—Cuando por circunstancias imprevisibles la dependencia se encuentre imposibilitada para decir el fallo en la fecha prevista en el acto de presentación de proposiciones, podrá diferir por una sola vez su calificación, debiendo comunicar previamente por escrito a los interesados e involucrados la nueva fecha que hubiere fijado, la que en todo caso quedará comprendida dentro de los veinte días hábiles siguientes contados a partir de la fecha fijada en primer término.

ARTÍCULO 40.—Sin perjuicio de las medidas que se convengan en función de las particularidades de cada contrato, cuyos modelos dará a conocer la Secretaría, formará parte de las estipulaciones del propio contrato lo referente a:

I. La autorización de la inversión para cubrir el compromiso derivado del contrato y la partida presupuestal que se acordará, así como la fecha de inicio y terminación de los trabajos;

II. Porcentajes, número y fechas de las exhibiciones y amonización de los anticipos para inicio de los trabajos y para compra o producción de los materiales;

III. Forma y términos de garantizar la correcta inversión de los anticipos, el cumplimiento del contrato y en su caso, convenios;

IV. Plazos, forma y lugar de pago de las estimaciones de trabajos ejecutados, así como de los ajustes de costos;

V. Monitores de las penas convencionales que se aplicarán por día de atraso imputable al contratista, en la entrega de partes o elementos estructurales o de instalaciones, defensas e identificables de la obra para el uso de terceros o para iniciar los trabajos en que intervengan otros contratistas en la misma área de trabajo, o por incumplimiento en la fecha pactada en el contrato para la terminación de la obra.

Los días de atraso se determinarán a partir de las fechas de terminación fijadas en el programa de ejecución que se refiere al artículo 36 fracción II de este Reglamento, con los ajustes acordados por las partes. Las penas señaladas son independientes de que se convengan para asegurar el interés que se tiene en el trabajo y sea sin perjuicio de la facultad que tienen las

dependencias y entidades para exigir el cumplimiento del contrato o rescindirlo, y

la que conste este hecho, que contendrá como mínimo:

VI. Procedimiento de ajuste de costos que deberá ser propuesto desde las bases del concurso por la dependencia o entidad, de entre alguno de los señalados en el artículo 50 de este Reglamento, el cual deberá permanecer vigente durante el ejercicio del contrato."

I. a VI
Con una anticipación no menor de diez días hábiles, a la fecha en que se levante el acta de recepción lo comunicarán a la Contraloría, a fin de que si lo estima conveniente, nombre representantes que asistan al acto.

"ARTICULO 42, —"

"ARTICULO 50, —"

II. Precio alzado, el importe de la remuneración o pago total fijo que deba cubrirse al contratista por la obra totalmente terminada y ejecutada en el plazo establecida conforme al proyecto, especificaciones y normas de calidad requeridas y cuando sea el caso, probada y operando sus instalaciones.

I y II
En los procedimientos anteriores, la revisión será promovida por la dependencia o entidad o a solicitud escrita del contratista, la que se deberá acompañar de la documentación comprobatoria necesaria dentro de un plazo que no excederá de veinte días hábiles siguientes a la fecha de publicación de los relativos de precios aplicables al ajuste de costos que solicite; la dependencia o entidad dentro de los veinte días hábiles siguientes, con base en la documentación aportada por el contratista, resolverá sobre la procedencia de la petición, y

Los contratos que se celebren bajo esta modalidad, no serán susceptibles de modificarse en monto o plazo ni estarán sujetos a ajustes de costos."

III.

"ARTICULO 44.—En el caso de incumplimiento en los pagos de estimaciones y de ajustes de costos, la dependencia o entidad, a solicitud del contratista, deberá pagar gastos financieros conforme a una tasa que será igual a la establecida por la Ley de Ingresos de la Federación en los casos de prórroga para el pago de crédito fiscal. Los cargos financieros se calcularán sobre las cantidades no pagadas y se computarán por días calendario desde que se venció el plazo, hasta la fecha en que se pongan las cantidades a disposición del contratista.

"ARTICULO 51, —"

Tratándose de pagos en exceso que haya recibido el contratista, éste deberá reintegrar las cantidades pagadas en exceso, más los intereses correspondientes, conforme a una tasa que será igual a la establecida por la Ley de Ingresos de la Federación en los casos de prórroga para el pago de crédito fiscal. Los cargos se calcularán sobre las cantidades pagadas en exceso en cada caso y se computarán por días calendario desde la fecha del pago hasta la fecha en que se pongan efectivamente las cantidades a disposición del organismo ejecutor. Lo previsto en este párrafo se deberá pactar en los contratos respectivos."

I. Los ajustes se calcularán a partir de la fecha en que se haya producido el incremento o decremento en el costo de los insumos, respecto de la obra faltante de ejecutar conforme al programa de ejecución pagado en el contrato o en caso de existir atraso no imputable al contratista, con respecto al programa que se hubiese convenido.

"ARTICULO 47, —"

Cuando el atraso sea por causa imputable al contratista, procederá el ajuste de costos exclusivamente para la obra pendiente de ejecutar conforme al programa que se encuentre en vigor;

I. a V

VI. Rendir informes periódicos y final del cumplimiento del contratista en los aspectos legales, técnicos, económicos, financieros y administrativos."

II.

"ARTICULO 49.—La dependencia o entidad, si esta última es de aquellas que se encuentren bajo el supuesto señalado en el penúltimo párrafo del artículo 47 de la Ley, dentro de los plazos establecidos en el mismo artículo, constatará la terminación de los trabajos realizados por contrato o por administración directa y deberá levantar acta de recepción en

III. Los precios originales del contrato permanecerán fijos hasta la terminación de los trabajos contratados. El ajuste se aplicará a los costos directos, conservando constantes los porcentajes de indirectos y utilidad originales durante el ejercicio del contrato, el costo por financiamiento estará sujeto a las variaciones de la tasa de interés propuesta a que se refiere la fracción V del artículo 31 de este Reglamento;

IV. y V.

"ARTICULO 52.—Para los efectos de los artículos 42 y 43 de la Ley, las dependencias y entidades podrán suspender o rescindir los contratos de obras o de servicios ajustándose a lo siguiente:

I. Cuando se determine la suspensión de la obra o rescisión del contrato, por causa no imputable al contratista, la dependencia o entidad pagará, a soli-

cidad del contratista, los trabajos ejecutados, así como los gastos no recuperables. El contratista dentro de los veinte días hábiles siguientes, contados a partir de la fecha de la notificación escrita de la contratante sobre la suspensión o rescisión, deberá presentar estudio que justifique su solicitud; dentro de igual plazo la dependencia o entidad deberá resolver sobre la procedencia de la petición, para lo cual se deberá celebrar convenio entre las partes, y

II. En caso de rescisión del contrato por causas imputables al contratista, la dependencia o entidad procederá a hacer efectivas las garantías y se abstendrá de cubrir los importes resultantes de trabajos ejecutados aun no liquidados, hasta que se otorgue el finiquito correspondiente, lo que deberá efectuarse dentro de los treinta días hábiles siguientes a la fecha de notificación de la rescisión. En dicho finiquito deberá preverse el sobrecosto de los trabajos aun no ejecutados, así como lo relativo a la recuperación de los materiales y equipos que, en su caso, le hayan sido entregados.

Lo anterior es sin perjuicio de las responsabilidades que pudieran existir.

La dependencia o entidad procederá a la rescisión del contrato cuando el contratista no inicie los trabajos en la fecha pactada, suspenda injustificadamente los trabajos o incumpla con el programa de ejecución por falta de materiales, trabajadores o equipo de construcción y no repare o reponga alguna parte de la obra rechazada que no cumpla con las especificaciones de construcción o normas de calidad, así como cualquier otra causa que implique contravención a los términos del contrato.

No implicará retraso en el programa de ejecución de la obra y por tanto no se considerará como incumplimiento del contrato y causa de su rescisión, cuando el atraso tenga lugar por la falta de pago de estimaciones y del ajuste de costos dentro de los plazos establecidos en el artículo 43 de este Reglamento, de información referente a planos, especificaciones o normas de calidad, de entrega física de las áreas de trabajo y de entrega oportuna de materiales y equipos que deba suministrar la contratante, así como cuando la dependencia o entidad hubiere ordenado por escrito la suspensión de los trabajos.

Las propias dependencias y las entidades cuyos presupuestos se encuentren incluidos en el Presupuesto de Egresos de la Federación o del Departamento del Distrito Federal o reciban transferencias con cargo a dichos presupuestos, darán cuenta a la Secretaría y a la Contraloría dentro de los diez días hábiles siguientes a la suspensión o rescisión sobre las causas que la motivaron.

En los contratos se deberá estipular que las partes convienen que cuando la dependencia o entidad determine justificadamente la rescisión administrativa

del contrato, la decisión correspondiente se comunicará por escrito al contratista, exponiendo las razones que al efecto se tuvieran para que éste, dentro del término de veinte días hábiles contados a partir de la fecha en que reciba la notificación de rescisión, manifieste lo que a su derecho convenga, en cuyo caso la dependencia o entidad resolverá lo procedente, dentro del plazo de veinte días hábiles siguientes a la fecha en que hubiere recibido el escrito de contestación del contratista.

Lo previsto en este artículo es sin perjuicio de que los contratistas se inconformen por escrito ante la autoridad correspondiente dentro de los diez días hábiles siguientes al del acto motivo de dicha inconformidad, para lo cual deberán acompañar a su inconformidad las pruebas documentales necesarias."

"ARTICULO 53.—En todos los casos de rescisión de contrato o de suspensión definitiva de los trabajos que se efectúen por administración directa, la dependencia o entidad deberá levantar acta circunstanciada, donde se haga constar el estado que éstas guardan; en dicho acta se asentarán las causas que motivaron la rescisión o suspensión definitiva. En caso de suspensiones temporales no se requerirá levantar acta circunstanciada.

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor se imposibilite la continuación de los trabajos, el contratista podrá suspender la obra. En este supuesto, si opta por rescindir el contrato lo solicitará a la dependencia o entidad, la cual decidirá dentro de los veinte días hábiles siguientes al de la solicitud; en caso de negativo, será necesario que el contratista obtenga de la autoridad judicial la declaratoria correspondiente."

"ARTICULO 54.—Las dependencias y entidades, por sí o a petición de la Secretaría ó de la Contraloría, podrán suspender las obras contratadas o que se realicen por administración directa o rescindir los contratos cuando no se hayan atendido las observaciones que estas dependencias hubieren formulado con motivo del incumplimiento de las disposiciones de la Ley y demás aplicables."

CAPITULO V

De las Obras por Administración Directa

"ARTICULO 55.—Las dependencias y entidades podrán realizar obras por administración directa, siempre que posean la capacidad técnica y los elementos necesarios para tal efecto, consistentes en maquinaria y equipo de construcción, personal técnico, trabajadores y materiales que se requirieron para el desarrollo de los trabajos respectivos y podrán según el caso:

I. Utilizar la mano de obra local complementaria que se requiera, lo que invariablemente deberá llevarse a cabo por obra determinada;

II. Alquilar el equipo y maquinaria de construcción complementario;

III. Utilizar los materiales de la región;

IV. Contratar instalados, montados, colocados o aplicados los equipos, instrumentos, elementos prefabricados terminados y materiales que se requieran, y

V. Utilizar los servicios de fletes y acarreos complementarios que se requieran.

En la ejecución de las obras por administración directa, bajo ninguna circunstancia podrán participar terceros como contratistas, sean cuales fueren las condiciones particulares, naturaleza jurídica o modalidades que éstos adopten, incluidos los sindicatos, asociaciones y sociedades civiles y demás organizaciones o instituciones similares; exceptuándose lo señalado en la fracción IV que antecede.

El acuerdo para la ejecución de las obras por administración directa deberá contener como mínimo, la mención de los datos relativos a la autorización de la inversión respectiva; el importe total de la obra y monto a disponer para el ejercicio correspondiente; la descripción general de la obra y las fechas de iniciación y terminación de los trabajos."

ARTICULO 55.— Los programas de ejecución, de utilización de recursos humanos y de utilización de maquinaria y equipo de construcción de cada una de las obras que se realicen por administración directa, deberán elaborarse conforme a lo siguiente:

I. El programa de ejecución se desagregará en etapas, conceptos y actividades, señalando fechas de iniciación y terminación de cada una de ellas; las cantidades de obra que se ejecutarán mensualmente, así como sus importes correspondientes y el importe total de la producción mensual;

II. El programa de utilización de recursos humanos, deberá consignar la especialidad, categoría, número requerido y percepciones totales por día, semana o mes. El programa incluirá al personal técnico, administrativo y obrero, encargado directamente de la ejecución de los trabajos, y

III. El programa de utilización de la maquinaria y equipo de construcción, deberá consignar las características del equipo, capacidad, número de unidades y total de horas efectivas de utilización, calendarizados por semana o mes. La residencia de supervisión a que se refiere el artículo 47 de esta Reglamentación, será responsable directamente de la ejecución, supervisión, vigilancia, control y revisión de los trabajos y tendrá las mismas obligaciones a que se refiere el artículo mencionado.

Los órganos de control interno de las dependencias y entidades, verificarán que se dé estricto cumplimiento a la realización de las acciones señaladas para las obras por administración directa."

ARTICULO 56.— El presupuesto de cada una

de las obras que se realice por administración directa, será el que resulte de aplicar a las cantidades de trabajo del catálogo de conceptos, los costos unitarios analizados y calculados con base en las especificaciones de ejecución, normas de calidad de los materiales y procedimientos de construcción previstos. Dicho presupuesto se integrará además con los siguientes importes:

I. De los equipos, mecanismos y accesorios de instalación permanente, los cuales incluirán los fletes, maniobras, almacenaje y todos aquellos cargos que se requieran para transportarlos al sitio de los trabajos;

II. De las instalaciones de construcción necesarias para la ejecución de los trabajos y en su caso, de su desmantelamiento, así como los fletes y acarreos de la maquinaria y equipo de construcción y los seguros correspondientes;

III. De las construcciones e instalaciones provisionales destinadas a servicios administrativos, médicos, recreativos, sanitarios y de capacitación, campamento y comedores que se construyan en el sitio de la obra, así como del mobiliario y equipo necesario para éstas;

IV. De los sueldos, salarios, viáticos o cualquier otra remuneración que reciba el personal técnico, administrativo y de servicios encargados directamente en la ejecución de los trabajos, de conformidad con el programa de utilización de recursos humanos, y

V. De los equipos de transporte aéreo, marítimo o terrestre, con sus respectivos cargos por combustibles y lubricantes, así como de los materiales de consumo en oficinas, calendarizados por mes.

En el presupuesto a que se refiere este artículo no podrán incluirse cargos por imprevistos, erogaciones adicionales o de índole similar.

Se entenderá por costo unitario, el correspondiente a la suma de cargos por concepto de materiales, mano de obra y utilización de maquinaria y equipo de construcción, sea propio o rentado."

CAPITULO VI

De los Servicios Relacionados con la Obra Pública

ARTICULO 57.— Los contratos de servicios relacionados con la obra pública a que se refiere el artículo 26 de la Ley, sólo se podrán celebrar cuando en las unidades responsables no se disponga cuantitativa o cualitativamente de los elementos, instalaciones y personal para llevarlos a cabo.

Se consideran servicios relacionados con la obra pública todo el trabajo que tenga por objeto concebir, diseñar, proyectar y calcular los elementos que integran un proyecto de obra pública, así como los relativos a las investigaciones, asesorías y consulto-

rias especializadas, la supervisión de la ejecución de las obras y de los estudios que tengan por objeto rehabilitar, corregir o incrementar la eficiencia de las instalaciones.

Quedan comprendidos como servicios relacionados con las obras públicas:

- I. La planeación, anteproyecto y diseño de ingeniería civil, industrial y electromecánica;
- II. La planeación, anteproyecto y diseños arquitectónicos y artísticos;
- III. Los estudios técnicos de agrología y desarrollo pecuario, hidrología, mecánica de suelos, topografía, geología, geotécnica, geofísica, geotérmica, oceanografía, meteorología, aerofotogrametría, ambientales, ecológicos y de ingeniería de tránsito;
- IV. Los estudios económicos y de planeación de preinversión, factibilidad técnico-económica, evaluación, adaptación, tenencia de la tierra, financieros, de desarrollo y restitución de la eficiencia de las instalaciones;
- V. Los trabajos de coordinación, supervisión y control de obra e instalaciones, laboratorio de análisis y control de calidad, laboratorio de mecánica de suelos y de resistencia de materiales y radiografías industriales, preparación de especificaciones de construcción, presupuesto base o la elaboración de cualquier otro documento para la licitación de la adjudicación del contrato de obra correspondiente;
- VI. Los trabajos de organización, informática y sistemas;
- VII. Los dictámenes, peritajes y avalúos, y
- VIII. Todos aquellos de naturaleza análogo.

Los contratistas que hayan realizado, o vayan a realizar por sí o a través de empresas que forman parte del mismo grupo los servicios señalados en la fracción V de este artículo, no podrán participar en el concurso correspondiente. Esta disposición deberá establecerse en la convocatoria o en la invitación que se extienda a las personas seleccionadas y se pactará en el contrato respectivo.

Igual restricción es aplicable para los contratistas que presten servicios de los señalados en la fracción VII de este artículo, en los casos en que se requiera dirimir diferencias entre el contratista y la contratante.

Esta restricción no será aplicable cuando la licitación comprenda la ejecución de la obra incluido el proyecto.

ARTICULO 19 - Los contratos de servicios relacionados con la obra pública, además de las estipulaciones que se mencionan en el artículo 40 de este Reglamento, deberán incluir como anexos integrantes del contrato, según la complejidad y características, lo siguiente:

I. Los términos de referencia que deberán precisar entre otras, el objetivo del servicio, descripción y

alcance, las especificaciones generales y particulares, así como los servicios y suministros proporcionados por la contratante, producto esperado, forma de presentación y los servicios y suministros proporcionados por el contratista;

II. Programa de ejecución de los trabajos desagregados en fases o etapas, conceptos y actividades, señalando fechas de iniciación y terminación, así como las interrupciones programadas cuando sea el caso;

III. Programa de utilización de recursos humanos indispensables para el desarrollo del servicio, anotando especialidad, categoría y número requerido, así como las horas-hombre necesarias para su realización por semana o mes y los totales y sus respectivos importes;

IV. Programa de utilización del equipo científico y en general, del requerido para la ejecución del servicio, anotando características, número de unidades y total de horas efectivas de utilización, calendarizadas por semana o mes;

V. Presupuesto del servicio desagregado en conceptos de trabajo, unidades de medición y forma de pago, precios unitarios, importes parciales y total de la proposición, y

VI. La metodología que se aplicará y las fuentes de información a que recurrirán para determinar los índices o relativos que servirán de base para la visión de los costos de los trabajos aún no ejecutados a que se refiere el artículo 46 de la Ley.

Las dependencias y entidades cuando adjudiquen directamente un contrato de servicios relacionados con la obra pública, deberán elaborar un dictamen en el que manifiesten las causas que motivaron la adjudicación a favor del seleccionado.

ARTICULO SEGUNDO - Los artículos 13 con un segundo párrafo, 22 con un último párrafo y 43 con un último párrafo, para quedar como sigue:

ARTICULO 13 -
La asignación presupuestal que resulte para cada contrato, servirá como base para aplicar, en su caso, el porcentaje pactado por concepto de anticipo.

ARTICULO 22 -
I. a III.
Cuando desaparezcan las causas que originaron la negativa de inscripción, el interesado podrá iniciar nuevamente los trámites de solicitud de inscripción.

ARTICULO 43 -
I. a III.
Los servidores públicos de las áreas técnica administrativas que prevean, autoricen o efectúen los pagos en las dependencias y entidades, serán responsables en su ámbito de competencia del estricto

cumplimiento de este artículo, y deberán establecer y observar los procedimientos, forma y términos previstos para los trámites correspondientes."

ARTICULO TERCERO.—Se reforman los artículos 28 párrafo primero, fracciones I, II y IV, adicionándose los párrafos penúltimo y último y 30 fracción II y se adiciona con una fracción VIII, para quedar como sigue:

ARTICULO 26.—Para los efectos de las fracciones III y VII del artículo 31 de la Ley, las dependencias y entidades exigirán exclusivamente a los interesados que cumplan con los requisitos siguientes:

I. Capital contable mínimo requerido con base en los últimos estados financieros auditados o en su última declaración fiscal;

II. Registro en el Padrón de Contratistas de Obras Públicas que contenga la o las especialidades para ejecutar la obra específica de que se trate o cuando sea el caso, la documentación a que se refieren los artículos 19 y 20 de este ordenamiento. La exigencia de especialidades genéricas, sólo procederá para la realización de trabajos que requieran de la aplicación de todas las claves en ellas contenidas;

III.....

IV. De acuerdo con las disposiciones legales aplicables, registro actualizado en la Cámara que le corresponda;

V. a VII.....

Tratándose de obras financiadas con créditos externos otorgados al Gobierno Federal o con su aval, las bases, lineamientos y requisitos para la inscripción serán establecidos en cada caso por la Secretaría, atendiendo a las condiciones, circunstancias, montos y complejidad de los trabajos.

Habiéndose satisfecho los requisitos señalados y, según el caso, pagada a la dependencia o entidad el costo de la documentación e información necesaria para preparar su proposición, el interesado quedará inscrito y tendrá derecho a presentarla."

ARTICULO 31......

II. Porcentajes, forma y términos del o los anticipos que se concedan y tratándose de entidades, datos sobre la garantía de seriedad en la proposición;

III a VII.....

VIII. Los criterios detallados para la adjudicación que dispone la fracción VIII del artículo 31 de la Ley."

ARTICULO CUARTO.—Se abroga la fracción VIII y IX del artículo 31.

TRANSITORIOS

PRIMERO.—El presente Decreto entrará en vigor, al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.—Se abroga el Acuerdo que establece las normas que deberán observarse en la ejecución de obras públicas publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 1984; se abrogan las "Bases y normas generales para la contratación y ejecución de obras públicas, aplicables a todos los proyectos y obras que realicen las dependencias a que se refiere la Ley de Inspección de Contratos y Obras Públicas"; se deroga la sección 3.7 denominada "De los trabajos menores de conservación y mantenimiento" de las "Reglas generales para la contratación y ejecución de las obras públicas y de servicios relacionados con las mismas", publicadas en el Diario Oficial de la Federación de fechas 26 de enero de 1970 y 1o. de junio de 1982, respectivamente, y todas aquellas disposiciones que se opongan al presente Decreto.

TERCERO.—Para efectos de lo dispuesto en el artículo tercero transitorio del Decreto que reforma la Ley de Obras Públicas publicado en el Diario Oficial de la Federación de 7 de enero de 1988, en un plazo que no excederá de sesenta días hábiles contados a partir de la fecha en que entre en vigor este Decreto, los órganos de gobierno de las entidades paraestatales emitirán las políticas, bases y lineamientos que conforme a la Ley de Obras Públicas y a este Decreto les corresponde, tomando en consideración las características, necesidades, objetivos y metas de las propias entidades. Hasta en tanto se lleve a cabo lo anterior, seguirán siendo aplicables a las entidades las disposiciones reglamentarias y administrativas que correspondan a las dependencias.

Dado en la Residencia del Ejecutivo Federal a los tres días del mes de enero de mil novecientos noventa.- El Presidente de la República Mexicana, Carlos Salinas de Gortari.- Rúbrica.- El Secretario de Hacienda y Crédito Público, Pedro Aspe A... Rúbrica.- El Secretario de Programación y Presupuesto, Ernesto Zedillo Ponce de León.- Rúbrica.- La Secretaria de la Contraloría General de la Federación, M^{te.} Elena Vazquez Nava.- Rúbrica.- El Secretario de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Fernando Hiriart Balderrama.- Rúbrica.- El Secretario de Comercio y Fomento Industrial, Jaime Serra Puche.- Rúbrica.- El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Jorge de la Vega Domínguez.- Rúbrica.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

ADOQUINES DE CONCRETO

ING. ROBERTO SOSA GARRIDO

BREVE HISTORIA*

La idea de utilizar los adoquines para la pavimentación de caminos es muy antigua. Hoy en día existen muchos ejemplos de obras de este tipo, construidas por los romanos.

La pavimentación a base de adoquines de piedra todavía es muy común, en lugares que son transitados por vehículos pesados, o donde la apariencia de la superficie pavimentada destaca por su importancia; pero este auge ha declinado un tanto, debido a su elevado costo y a su deficiente calidad rodante. La versión moderna de los adoquines de piedra, son los adoquines de concreto, los cuales son igualmente duraderos y presentan una buena apariencia; sin embargo, su colocación es sencilla y barata y, además, proporciona una calidad rodante conveniente, para vehículos que transitan a baja velocidad (50-60 km/h).

El uso de adoquines de concreto para la pavimentación de caminos, tuvo un papel preponderante en los Países Bajos, durante la década de

* *N. del T.* En esta parte se detalla con cierta minuciosidad esta historia, mientras que en la segunda parte no se es tan específico. (Se escogió este término, por ser el más objetivo).

Adoquines de concreto

los cincuenta. Desde entonces, su empleo se ha incrementado notablemente, tanto en los países mencionados, como en muchos otros países europeos.

Hay que tener presente que, si bien la apariencia de los adoquines ha ejercido, sin lugar a duda, una gran influencia en cuanto al auge de su uso, sus aplicaciones en la práctica han ayudado considerablemente a

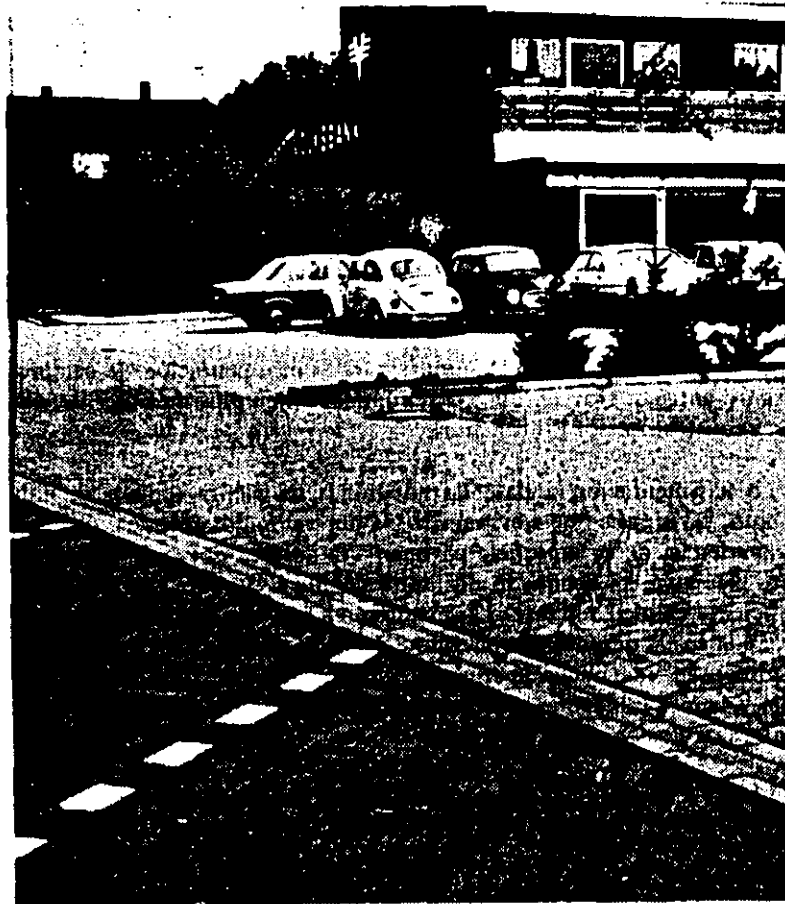


Figura 1. Marcas de los lugares para automóviles en un estacionamiento, formados con adoquines, cuya parte superior está pintada de blanco.

extender su empleo y, en la actualidad, se ha incrementado este tipo de pavimentación en el Reino Unido, al igual que en otros países. En Inglaterra, existen muchos fabricantes de adoquines de concreto, la mayoría de los cuales es miembro de la *Interlocking Paving Association (Interpave)*.

El acceso a las instalaciones que con frecuencia están situadas abajo de las avenidas, puede ocasionar un grave problema, cuando es necesario romper y volver a colocar el pavimento. Ahora bien, con los adoquines de concreto, este problema se reduce al mínimo y su costo, por tanto, disminuye.

Una vez que la superficie del camino ha sido rota, los adoquines se pueden levantar y recuperar, para usarlos de nuevo. Por otra parte, las autoridades responsables del mantenimiento, sólo necesitan contar con una pequeña cantidad de adoquines, para sustituir algunos que se dañaron al excavar la zanja. Los vehículos pueden transitar sobre los adoquines de concreto, inmediatamente después de que han sido colocados de nuevo, por lo que la reparación es imperceptible.

Las marcas y los colores en los caminos, se pueden indicar con facilidad. Para este propósito, podrán utilizarse adoquines de concreto ya coloreados, los cuales tienen una duración indefinida, aunque pueden ser levantados y sustituidos por otros adoquines del mismo color, que el de aquellos que se encuentran más próximos. La figura 1 muestra lo sencillo que es marcar los espacios para los automóviles en un estacionamiento.

La distribución de los caminos modernos en las áreas habitacionales, con frecuencia es compleja. Para ello, se planifican curvas y se varía el ancho de los caminos, con el fin de darle mayor importancia a la urbanización, así como hacer el mejor uso del suelo y restringir el movimiento y la velocidad del tránsito. Esta complejidad incrementa, de manera considerable, los problemas tanto en la construcción, como en el costo de los caminos habituales; pero en cambio, los problemas se reducen, cuando se emplean los adoquines.



Figura 2. Característica urbanización residencial.

Las figuras 2 y 3 muestran urbanizaciones residenciales típicas, en las que se se ha utilizado la pavimentación con adoquines de concreto.

Un camino residencial presenta dos etapas principales en su duración: en la etapa inicial, soporta vehículos pesados, los cuales transportan materiales de construcción; pero en cambio, una vez que las casas son habitadas, los caminos son transitados por vehículos relativamente ligeros.



Figura 3. Característica urbanización residencial.



Figura 4. Parada de autobuses.

Durante la primera etapa, la superficie del camino puede ser deformada o dañada por el derrame de materiales. Cuando los adoquines de concreto son usados como capa de superficie, estos problemas podrán resolverse en cualquiera de las dos formas siguientes:

1. Como la colocación de los adoquines no requiere el uso de una costosa planta especializada en pavimentación, el acabado final puede coincidir fácilmente con la terminación de las casas, y permite que los vehículos que transportan materiales de construcción, circulen sobre la sub-base. Cuando se aplica este método, se corre un riesgo considerable de dañar la sub-base; pero, normalmente, este tipo de daños se puede rectificar con facilidad.

2. Los adoquines se pueden colocar antes de la construcción de las casas, y deberá considerarse la posibilidad de que algunas áreas se deformarán o se dañarán y, por tanto, será necesaria una reparación. Esta será relativamente sencilla y, cuando quede terminada, será indetectable. Los métodos a seguir en el proceso de reinstalación, se describen en el capítulo 4 de esta parte.

El cliente y el contratista deberán elegir el método de reinstalación, aunque las dos alternativas que se sugieren, se han utilizado con éxito.

Algunas superficies de los caminos, se vuelven resbaladizas debido al derrame de aceites, pero esto no sucede con los adoquines, aun cuando la superficie se manche. Esta resistencia al aceite, es probablemente una de las principales razones para su elección en la pavimentación de estacionamientos para automóviles y camiones, de paradas de autobuses y de áreas de servicio en las gasolineras. Las figuras 4 y 5 muestran ejemplos de lo citado con anterioridad.

Con esta primera parte se pretende informar sobre el diseño, los detalles y la construcción de caminos residenciales pavimentados con adoquines de concreto. Asimismo, está fundamentada en los conocimientos



Figura 5. Area de servicio de una gasolinera.

adquiridos en las obras realizadas en otros países, y en la investigación efectuada en Inglaterra, por la *Cement and Concrete Association*, en colaboración y con la asesoría de ingenieros y de arquitectos reconocidos. A su vez, se dispone de cláusulas con las especificaciones para caminos, las cuales están sujetas a aprobación².

En otros países, los adoquines tienen gran aceptación en la pavimentación para áreas industriales, tales como: los astilleros, las terminales para contenedores y las vías de acceso dentro de las fábricas, en donde las cargas son muy pesadas y el terreno se encuentra, a menudo, en malas condiciones.

Esta primera parte no aborda estas aplicaciones, pero se describen en la segunda parte y en *Concrete block paving for specialized traffic -- a design method*¹

1.1 Diseño estructural

1.1.1 Terminología

Un camino pavimentado con adoquines de concreto, incluye los siguientes elementos:

1. Sub-base.
2. Plantilla -- una capa de 5 cm de arena fina.
3. Adoquinado -- los propios adoquines.
4. Guarnición -- un borde firme, para evitar que los bloques se desplacen.

Estos cuatro elementos sostienen la disposición de los adoquines. Esto se puede observar en la figura 6. Ahora bien, la guarnición se obtiene por medio de dos detalles de bordes típicos.

Se puede usar cualquier tipo de guarnición, siempre que sea lo suficientemente resistente para soportar los daños ocasionados por los vehículos que transitan por el camino, y que accidentalmente exceden su

velocidad. Generalmente se utiliza una guarnición principal para los caminos urbanos; pero, para caminos transitados por vehículos muy ligeros, es preferible emplear una guarnición, como la que se muestra en la figura 7.

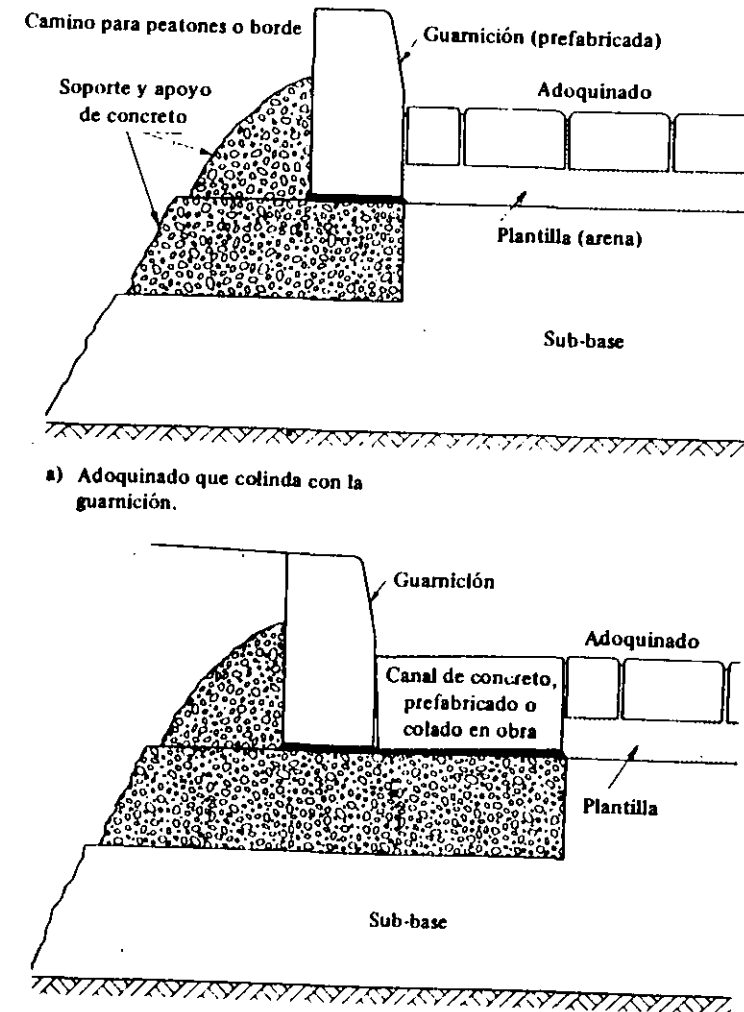
1.1.2 Cuatrapeo

El cuatrapeo evita que cualquier adoquín se desplace en relación a los adoquines adyacentes. El adoquinado consta de adoquines que encajan perfectamente; los espacios entre ellos (por lo general entre 2 y 3 mm) se llenarán de polvo y de partículas de arena. Estas últimas impiden que un solo adoquín se desplace, ya que permiten asegurar que la carga vertical sea soportada por dicho adoquín, por los adoquines adyacentes y, en menor grado, por los que están más distantes. Por lo tanto, la aplicación de una carga al pavimento, provoca que éste tenga un comportamiento "flexible"

El cuatrapeo también impide que las fuerzas producidas por vehículos que frenan o que aceleran, desplacen a los adoquines horizontalmente, situación conocida con el nombre de "deslizamiento". Ahora bien, si se permite que se presente un desplazamiento horizontal de cierta importancia, las juntas se abrirán y se perderá el cuatrapeo vertical, por lo que se destruye la capacidad de los adoquines para distribuir la carga.

Es preciso proporcionarle al pavimento juntas horizontales, ya sea por el uso de adoquines de forma patentada, o al colocar adoquines rectangulares siguiendo el modelo de petatillo (figura 8a). Los primeros pueden colocarse cuatrapeados, como se muestra en la figura 8b, con el eje longitudinal a un ángulo aproximado de 90° , respecto del eje de circulación, o bien, en un petatillo, como se muestra en la figura 8c. En cualquier pavimento transitado por vehículos, los adoquines rectangulares se deben colocar solamente en forma de petatillo.

Figura 6. Detalles característicos del borde para caminos pavimentados con adoquines de concreto. La contención se muestra colocada sobre una cimentación dentro de la sub-base. Si se usa una sub-base de concreto, la contención se apoyará directamente sobre ella.



b) Adoquinado que colinda con el canal de concreto.

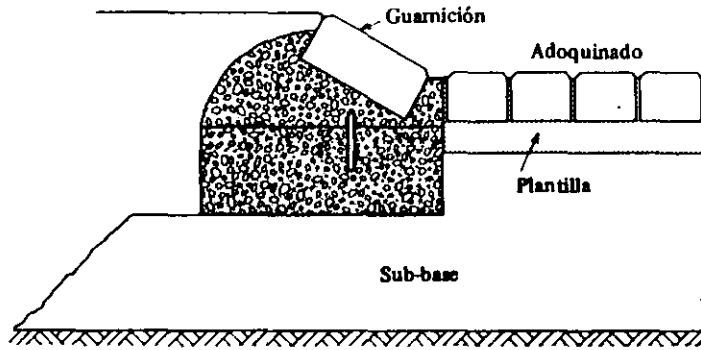


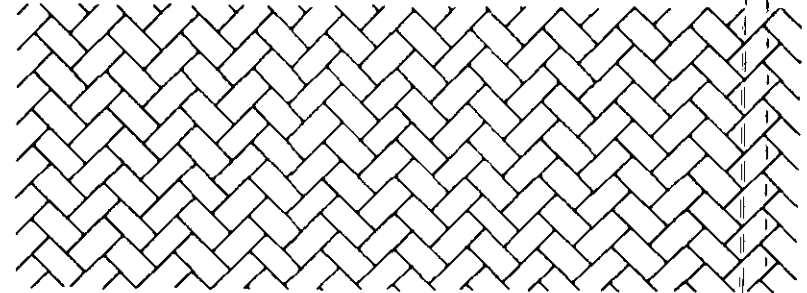
Figura 7. Sección transversal, que muestra un adoquín inclinado colocado sobre una cimentación de la contención, cubriendo el borde.

1.1.3 Sub-base

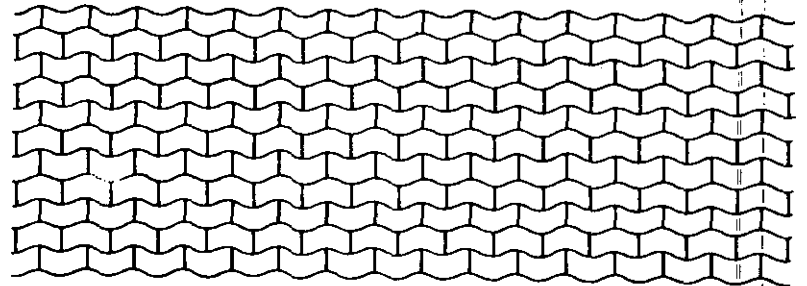
La pavimentación con adoquines de concreto se puede colocar directamente sobre una sub-base, diseñada de acuerdo con las normas de las *Road Note 29*³, donde la base, la capa y la superficie de rodamiento se sustituyen con los adoquines y con 5 cm de arena. Knapton⁴, demostró que los adoquines tienen una capacidad de distribución de carga, similar a la del asfalto compactado de 16 cm. Ahora bien, si esto se toma como base para el diseño, es posible utilizar las *Road Note 29*, a fin de determinar el espesor de la sub-base, para cualquier subrasante y la duración esperada en diversos caminos, que soporten hasta 1.5 millones de ejes estándar.

Los caminos *tipo 1* y *tipo 2* —como se definen en las *Road Note 29*—, se diseñan normalmente para una duración aproximada de 40 años y, los del *tipo 3*, para 20 años. Para fines prácticos, en la tabla 1 se proporcionan los espesores que se requieren para la sub-base en cinco diferentes tipos de subrasante, utilizando la duración recomendada en el diseño. Estos espesores se escogieron, suponiendo que el manto freático está a más de 60 cm por debajo del nivel de formación; en caso de que sea mayor, se deberán utilizar los espesores proporcionados entre paréntesis.

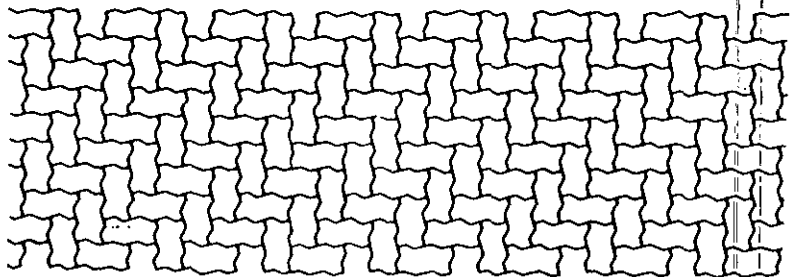
Figura 8. Modelos para la colocación de adoquines, para obtener una unión horizontal entre ellos.



a) Adoquines rectangulares colocados en forma de petatillo (estos adoquines nunca deben estar colocados en cuatrapeo en la pavimentación de caminos, ya que la unión no sería adecuada).



b) Adoquines con forma patentada, colocados en cuatrapeo.



c) Adoquines con forma patentada, colocados en petatillo.

Hay que tener en cuenta, que probablemente sea necesario excavar y reemplazar cualquiera de los puntos débiles en la formación con material de la sub-base.

Los materiales para la sub-base incluyen aquellos detalles que se especifican en las normas 803, 805, 806, 807 u 815, de las *Specification for road and bridge works*⁵. Los materiales contenidos en dichas normas no son recomendables, ya que pueden ser susceptibles a la humedad, la cual penetrará entre las juntas de los adoquines recién colocados.

Si la sub-base es transitada con frecuencia, obviamente, sufrirá algún daño, y se tendrá que reparar antes de colocar el pavimento.

El acabado final de la superficie de la sub-base, debe ser el mismo que el del camino terminado, a fin de mantener una profundidad uniforme de la plantilla de arena. Ahora bien, el acabado final de la sub-base no debe exceder el límite de ± 2 mm del nivel especificado.

Una alternativa para la construcción de la sub-base consiste en diseñar una losa delgada de concreto, que sirva primordialmente, como un camino de transporte para el tránsito de ese mismo lugar. En una serie de investigaciones efectuadas en Estados Unidos, se sometieron losas de concreto, con diferentes espesores, y con sub-bases y sin ellas, a un tránsito pesado controlado, hasta que ocurrió la falla⁶

Los valores calculados por la CBR (*California Bearing Ratio*) para las subrasantes, abarcan un porcentaje del 20/o hacia arriba.

Los resultados de este trabajo indican que una losa de concreto de 7.5 cm de espesor, colocada directamente sobre una subrasante, con un CBR de 20/o o más, soportará hasta 0.3 millones de ejes estándar de 8.2 toneladas, antes de que ocurra una falla. Esto es mucho más que el peso del tránsito normal, empleado para transportar materiales que se usarán en la construcción de mil casas y, por lo tanto, se puede llegar

Tabla 1. Espesores de la sub-base flexible (en cm), para diversos tipos de subrasantes y caminos, cuando el manto freático está a más de 60 cm por debajo del nivel de formación*.

| Tipo de camino | Tipo de subrasante | | | | | |
|--|-------------------------|--------------|------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| | Vida de diseño (años) † | Arcilla dura | Sedimento | Arcilla con sedimentos | Arcilla arenosa | Arena o grava arenosa bien graduadas |
| 1. Callejón u otro camino residencial de menor importancia. | 40 | 40 (55) | 40 (55) | 19 (30) | 14 (23) | 8 (8) |
| 2. Camino transversal, o camino que soporta rutas regulares de autobuses hasta de 25 vehículos de servicio público al día, en ambas direcciones. | 40 | 45 (60) | 45 (60) | 22 (34) | 17 (26) | 15 (15) |
| 3. Camino transversal importante, que soporta rutas regulares de autobuses con 25 o 50 vehículos de servicio público al día, en ambas direcciones**. | 20 | 44 (59) | 44 (59) | 21 (34) | 16 (26) | 15 (15) |

* Las cifras entre paréntesis se deben usar, si el manto freático es menor de 60 cm, por debajo del nivel de formación.

† Si se deben tomar en cuenta otras vidas de diseño, se debe tomar como referencia, las *Road Note 29*.

** Se deberán consultar las *Road Note 29*, si la subrasante fuera susceptible a las heladas.

a la conclusión de que este espesor de la losa, es el adecuado para el camino de transporte en las etapas iniciales y, finalmente, que se puede utilizar como sub-base para la pavimentación con adoquines.

Debido a que se le debe aplicar un revestimiento al concreto, éste se puede construir sin juntas o sin refuerzos, provocando con ello un agrietamiento. Por lo tanto, hay que tener cuidado para asegurar que la losa no tenga ningún punto con un espesor menor de 7.5 cm, y que la tolerancia en la superficie esté dentro de ± 2 cm.

Por otra parte, el tamaño máximo de los agregados del concreto empleado, deberá ser de 2 cm, con un alto porcentaje de trabajabilidad, y deberá diseñarse para que tenga la resistencia característica de un cubo de concreto a los 28 días, de 30 N/mm^2 *

A su vez, se deberá impedir el tránsito sobre la losa durante 14 días. Ahora bien, si se desea acelerar su uso para el tránsito, se podrá utilizar una mezcla con mejores propiedades, que alcance una resistencia característica a los 28 días de 40 N/mm^2 , y permitir así la circulación del tránsito a los 2 o 3 días, siempre que la temperatura ambiente esté por encima de los 10°C , entre el momento de la colocación del concreto y la apertura al tránsito.

1.1.4 Plantilla

La plantilla consta de una capa de arena fina, que no tenga más del 3% de sedimentos y de arcilla por peso, ni más del 10% retenido en una malla de 0.5 cm. Esta se extiende para obtener un espesor, una vez compactada, de 5 cm. El perfil de la arena sin compactar, deberá ser semejante al de la superficie terminada.

1.1.5 Adoquinado

El adoquinado está constituido por los adoquines de concreto. Una serie de especificaciones para éstos, se proporciona en la tercera parte de esta publicación.

Hay que tener en cuenta que los adoquines se deben colocar de tal manera, que se origine un cuatrapeo. Para pavimentos residenciales, no es necesario utilizar adoquines con un espesor mayor de 8 cm, aun cuando se incluyan paradas de autobuses y áreas de carga. En caminos del tipo 1, en las entradas de automóviles y otras áreas que soportan un tránsito muy ligero, se pueden usar adoquines con un espesor no menor de 6 cm, pero hay que recordar que siempre será necesario colocarlos, siguiendo un modelo de cuatrapeo.

1.1.6 Guarnición

La guarnición es de gran importancia para evitar que los adoquines se desplacen, que las juntas se abran y que el cuatrapeo se destruya. En la figura 6 se muestra el uso de guarniciones prefabricadas, con canal o sin él, colocadas previamente, para proporcionar la contención.

El cortar los adoquines para que se ajusten contra un canal o contra una guarnición a nivel, es más rápido que cortarlos para que se ajusten a una guarnición vertical, ya que el obrero que coloca los adoquines, puede ver fácilmente dónde se deben efectuar los cortes; en cambio, cuando los adoquines se colocan contra una guarnición vertical, es necesario hacer mediciones, lo cual provoca atrasos en el ritmo de trabajo.

1.2 Diseño de detalles

1.2.1 Drenaje

Cuando el pavimento de adoquines ha estado en servicio durante poco tiempo, se sellan las juntas que se encuentran entre los adoquines. Por lo tanto, se deberá proporcionar un drenaje superficial, siguiendo la técnica establecida.

* $1 \text{ N/mm}^2 = 10.2 \text{ kg/cm}^2$

Adoquines de concreto

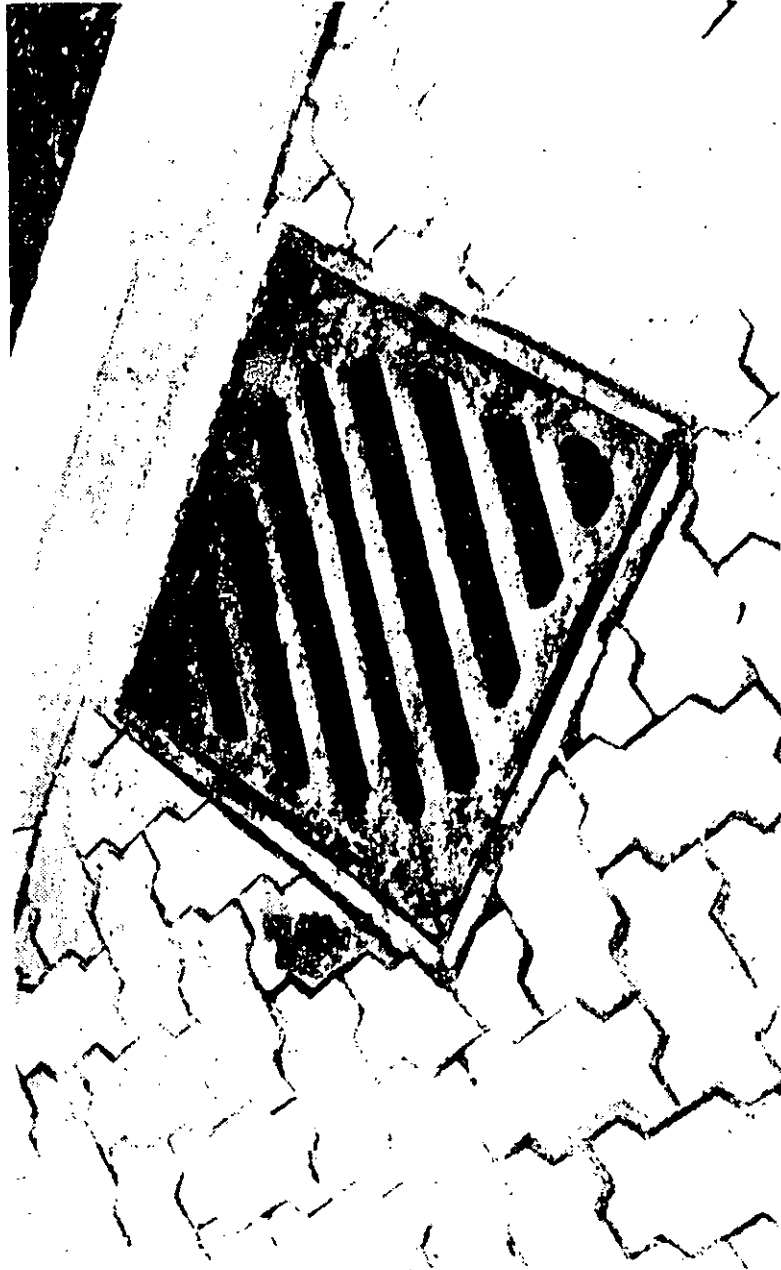


Figura 9. Entrada de alcantarilla.

Por otra parte, con el fin de prevenir la formación de charcos, se recomienda que la pendiente tenga una inclinación mínima de 1:40. Cuando la pendiente por bombeo del camino sea menor de 1:40, son recomendables también los canales de drenaje frente a las guarniciones. Estos canales pueden construirse con unidades estándar de concreto prefabricado. En ningún caso se deben colocar canales de drenaje, cuando las pendientes sean menores de 1:180⁷

1.2.2 Detalles de las alcantarillas y de las tapas para inspección

Como se describe en el inciso 3.4, los adoquines pueden cortarse para que encajen perfectamente, en caso de que se presenten obstáculos. Las figuras 9 y 10, muestran los detalles característicos para colocar los adoquines alrededor de una rejilla de alcantarilla, y de las tapas para inspección.

1.2.3 Diseño geométrico

Los cambios en lo ancho de los caminos, las curvas y las uniones no presentan serias dificultades, debido a que los adoquines son pequeños, y se pueden colocar fácilmente para adaptarse a cualquier disposición del camino. En la figura 11 se muestran algunas situaciones representativas de lo anteriormente expresado.

1.2.4 Líneas y otras marcas

Con el empleo de adoquines de diferentes colores, se pueden diseñar marcas permanentes en un pavimento, para indicar las paradas de autobuses, las áreas de estacionamiento para automóviles, los pasos para peatones y los carriles de tránsito.



Figura 10. Cubiertas de inspección.

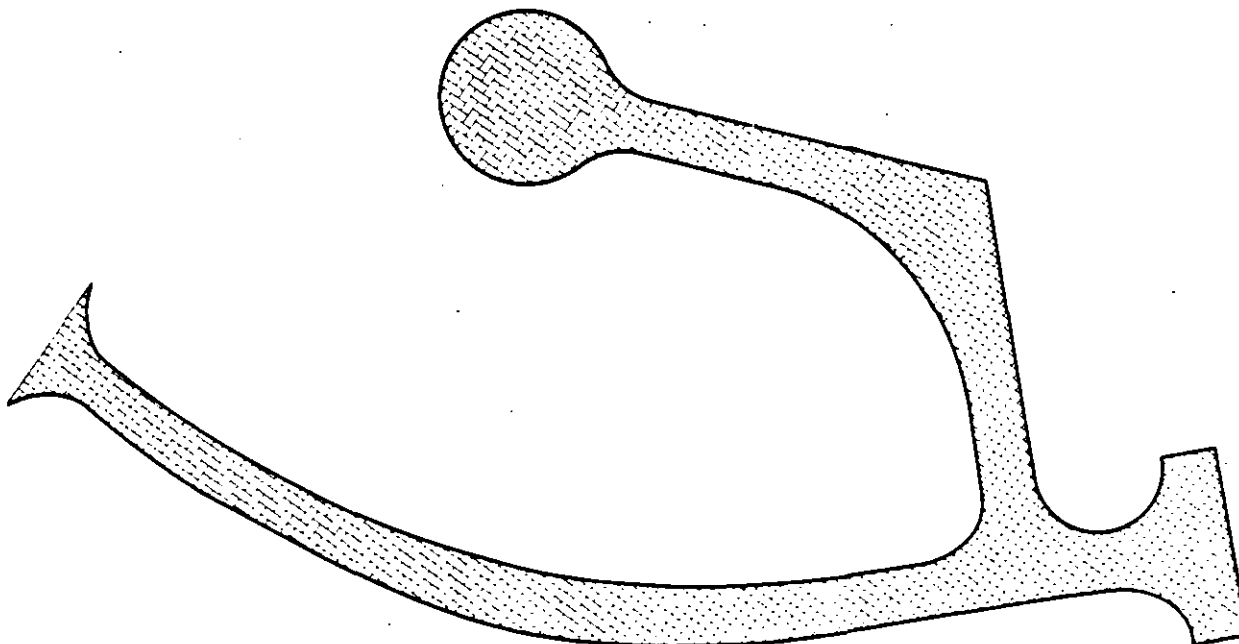


Figura 11. Colocación de adoquines en un camino residencial. Se ha exagerado la escala de los adoquines para que se aprecie mejor el modelo. Observe que no hay ninguna necesidad de cambiar la orientación de los adoquines para seguir la línea del camino.

2.1 Generalidades

Con el propósito de que los métodos de diseño descritos en el capítulo 2 puedan aplicarse, y se pueda obtener una pavimentación funcional y agradable a la vista, es necesario seguir ciertos procedimientos durante su construcción.

En esta parte se describen, brevemente, las técnicas que tienen una mayor aceptación y los estándares que se pretenden lograr, para la colocación de los adoquines. Por otra parte, una información más detallada se encuentra en el libro *Laying concrete block paving*⁸, en el cual también se estudia la organización en la obra. Aunque esta última no tiene un efecto directo sobre la apariencia, o el comportamiento de la pavimentación con adoquines de concreto, hay que tener en cuenta que una buena planificación y un trabajo bien organizado, mejorarán en parte el ritmo de colocación de los adoquines y, por consiguiente, se reducirán los costos.



Figura 12. Enrasado entre las guarniciones.

2.2 Preparación de la sub-base, con el propósito de colocar la plantilla

Es muy frecuente que la plantilla y el adoquinado, no se coloquen sino hasta que las operaciones de construcción de las casas estén terminadas, a fin de evitar que los adoquines se manchen con los desechos y los desperdicios de los constructores. Ahora bien, hay que tener en mente que, antes de colocar la plantilla, la superficie de la sub-base deberá limpiarse, y se deberá reparar cualquier área defectuosa.

2.3 Construcción de la plantilla

El espesor requerido de la arena no compactada para la plantilla, dependerá del contenido de humedad, de la granulometría y del grado de compactación previa. La arena de la plantilla necesita extenderse a una altura mayor que la de la capa compactada de 5 cm.

Ahora bien, la cantidad de sobrecarga será aproximadamente de 1.5 cm, pero es mejor determinar el valor exacto por medio de experimentos. Es sumamente útil mantener constante la granulometría y el contenido de humedad de la arena, a fin de evitar el tener que ajustar la sobrecarga durante la construcción. Por otra parte, es necesario asegurarse de que el espesor de la arena no compactada, se mantenga correcto, haciendo revisiones periódicas del nivel de la superficie del pavimento.

Una vez esparcida la arena, ésta se debe emparejar con una regla, hasta obtener el nivel deseado. Para caminos con un ancho menor de 4.5 m, se podrán utilizar las guarniciones como guías de enrase (figura 12), pero en caminos más anchos, es necesario colocar rieles temporales de enrase, para así nivelar la plantilla (figura 13).

Durante el esparcimiento de la arena y el enrase, los trabajadores no deberán pararse sobre la arena, ya que se presentaría una compactación previa irregular, causando con ello imperfecciones en la superficie final del camino. Es recomendable evitar enrasar grandes distancias de arena frente a la cara de los adoquines, para así reducir el riesgo de que se presente alguna alteración.

2.4 Construcción del adoquinado

La construcción del adoquinado comprende tres etapas: la colocación de los adoquines, el corte de los mismos en los bordes de las avenidas y, finalmente, el vibrado del área terminada. Las recomendaciones que aquí se dan, se aplican solamente a la forma más sencilla de colocación, en la que todos los adoquines tienen la misma forma. Donde se usen formas especiales, como los adoquines para bordes o para formas radiales, se deberán seguir las instrucciones del fabricante.

Las primeras hileras de adoquines se deben colocar con sumo cuidado, para evitar que se desplacen los adoquines ya colocados. Una vez que las primeras hileras hayan sido colocadas, las otras se podrán colocar rápidamente y con firmeza, como se muestra en la figura 14. Hay que tener en cuenta que en esta etapa, no se debe tratar de cortar los adoquines, para ajustarlos a los bordes.

La persona que coloca los adoquines debe trabajar partiendo de los adoquines ya colocados, y debe evitar alterar tanto la arena enrasada, como la última hilera de adoquines ya colocada. Asimismo, debe verificar, paso a paso, que los adoquines encajen perfectamente. Por su parte, las áreas con aberturas anchas se deberán quitar y volver a colocarse.

A las formas difíciles de manejar en los bordes, se les debe dar un acabado partiendo los adoquines con un cortadora (figura 15), o con un cincel y un martillo. La figura 16, muestra cómo se coloca en su lugar un aduquín cortado. Por otra parte, se debe evitar el uso de adoquines muy pequeños o delgados, ya que es probable que se destruyan durante el vibrado.

Las rejillas de las alcantarillas, las tapas de acceso y las de inspección, deben tratarse de manera similar con respecto a los bordes, teniendo especial cuidado de asegurarse que los adoquines, al ser compactados, queden ligeramente más arriba (3 mm aproximadamente) que cualquier entrada de drenaje.

Algunas tapas de inspección y entradas de las alcantarillas, se fabrican con fierro fundido, reforzadas con perfiles verticales salientes. La colocación de los adoquines para el trabajo con fierro fundido, se simplificará si se efectúa un colado de concreto, reforzado unos días antes de



Figura 13. Enrasado entre rieles temporales de enrase.



Figura 14. Colocación de los adoquines.

Adoquines de concreto

la colocación de los adoquines, a fin de cubrir los perfiles. También se deben evitar las alcantarillas con goteras laterales, ya que es posible que con el vibrado, la arena de la plantilla penetre en la alcantarilla, a menos que se tomen medidas especiales.

Una vez que se haya completado un tramo de camino, incluyendo a los bordes, los adoquines se deberán vibrar con una placa vibradora, como se ejemplifica en la figura 17. El número de veces que se deberá pasar la placa vibradora, dependerá de varios factores y se precisará por medio de experimentos en la obra. El número de veces determinado deberá ser suficiente, para proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, y así evitar que los vehículos provoquen una mayor compactación. Normalmente será suficiente usar la placa vibradora dos o tres veces.

El vibrado no se deberá llevar a cabo en un metro aproximadamente en los adoquines sueltos; por otra parte, durante la noche, se debe dejar sin vibrar la menor cantidad posible del adoquinado.

Por último, se cepillará la arena sobre la superficie y la placa vibradora se pasará sobre ésta, dos o tres veces, para así terminar el cuatrapeo, y rellenar las juntas. Una vez terminado el vibrado, podrá hacerse uso del camino.

Las pequeñas aberturas que quedan en los bordes de la avenida, o alrededor de las entradas en las alcantarillas y en las tapas de acceso, se pueden llenar con un mortero de cemento-arena, no menor de 1:4, siempre que sea necesario.

2.5 Organización en la obra

2.5.1 Planificación

La colocación de los adoquines puede efectuarse con rapidez y con muy poco equipo, siempre y cuando el trabajo se haya planificado en forma correcta, para evitar manejos innecesarios. En esta parte, sólo es posible indicar los principios básicos de la organización en la obra. Estos



Figura 15. Corte de los adoquines con una cortadora hidráulica.



Figura 16. Colocación en un borde de un adoquín cortado.

principios podrán modificarse, de acuerdo a las características propias de cada obra.

La pavimentación con adoquines de concreto se puede abrir al tránsito, inmediatamente después del vibrado. Esto permite el acceso de los camiones, prácticamente hasta el lugar de la colocación, con el fin de transportar más adoquines, reduciendo así su manejo. A su vez, el trabajo se deberá planear muy bien, para aprovechar esta posibilidad.

Se deben apilar cantidades suficientes de arena, que quede frente al lugar de la colocación, de preferencia un poco antes de iniciar la instalación de adoquines, de tal manera que se permita que la pila de arena alcance un contenido constante de humedad. Como una ayuda adicional, para reducir la variación en el contenido de humedad, se deberán cubrir las pilas de arena. Esta serie de precauciones proporciona una valiosa ayuda en las etapas de colocación y de enrase.



Figura 17. Uso de una placa vibradora para compactar el adoquinado.

2.5.2 Enrasado

En una pavimentación, la operación del enrasado requerirá el trabajo de tres hombres, dos de ellos llevando la regla de enrase y otro ayudando a rastrillar la arena (además del chofer del camión de volteo). Si estos tres hombres forman el equipo de colocación, emplearán entre un 10 y un 15% de su tiempo, para esparcir y enrasar la arena. Este tiempo variará de acuerdo a la complejidad de la propia obra.

2.5.3 Suministro de los adoquines frente al lugar de la colocación

Los fabricantes pueden entregar los adoquines sobre tarimas, atados o empaquetados. Hay que considerar que si los adoquines se descargan, esto puede afectar, considerablemente, los costos de traslado de los adoquines en la obra y, sobre todo, puede dañar algunos de ellos.

Las entregas diarias, a su vez, se deben planificar de tal manera, que el camión del fabricante se acerque lo más posible al frente del lugar de la colocación, permitiendo con ello que se reduzca la distancia de movimiento, tanto de los adoquines como de los hombres del equipo de construcción. Si se entregan varias cargas al mismo tiempo, se perderá en gran parte esta ventaja, excepto en aquellos casos en que el frente del lugar de la colocación sea amplio. Por ejemplo, en el patio de juegos de una escuela, o en un estacionamiento.

2.5.4 Transportación de los adoquines en la obra

La transportación de los adoquines desde las tarimas hasta el frente del lugar de la colocación, puede representar más del 40% del tiempo de trabajo del equipo de colocación y, con frecuencia, es el factor principal para controlar el rendimiento de un hombre en un día.



Figura 18. Organización en la obra. El trabajador toma los adoquines de una tabla, mientras otro hombre transporta una tabla en la carretilla.

El trabajador necesitará tener los adoquines cerca de él y a lo largo del frente del lugar de la colocación, depositándolos sobre los adoquines ya colocados. Es obvio que su rendimiento bajará, si se ve obligado a alcanzar los adoquines; tampoco podrá trabajar adecuadamente, al tomar los adoquines que están apilados en las tarimas. Por lo tanto, se necesitará de otro hombre, para que lleve los adoquines desde las tarimas hasta donde está el trabajador encargado de colocarlos.

Ahora bien, para distancias hasta de dos metros aproximadamente, los adoquines pueden ser transportados por un solo hombre, pero para distancias mayores, es necesario emplear transportación mecánica.

La figura 18 muestra un método sencillo de transporte, que consiste en unas tablas de 2 m de largo, y capaces de transportar dos hileras de adoquines. Un hombre coloca los adoquines en las tablas desde las tarimas, mientras que otro transporta dichas tablas sobre una carretilla, hasta donde está el trabajador que coloca los adoquines, y regresa con las tablas vacías hasta el lugar de carga.

Este sistema de transporte, permite que los adoquines se depositen cerca del trabajador que los coloca. Esto es sumamente práctico para distancias aproximadas de 30 m. Cuando no es posible evitar distancias mayores, se puede usar un montacargas, para así acelerar el transporte de los adoquines; de cualquier forma, este sistema se puede utilizar para descargar el camión de suministro.

El transporte de adoquines sobre una superficie que no haya sido vibrada, causará algunas irregularidades en el pavimento, debido a que algunos de los adoquines ya colocados, presionarán desigualmente sobre la plantilla. Esta irregularidad desaparecerá, una vez que la superficie recibe el vibrado por última vez.

2.5.5. Colocación de los adoquines

Usualmente, un solo hombre trabaja a la vez en la colocación de adoquines, ayudado por otros dos que, en un momento dado, lo pue-

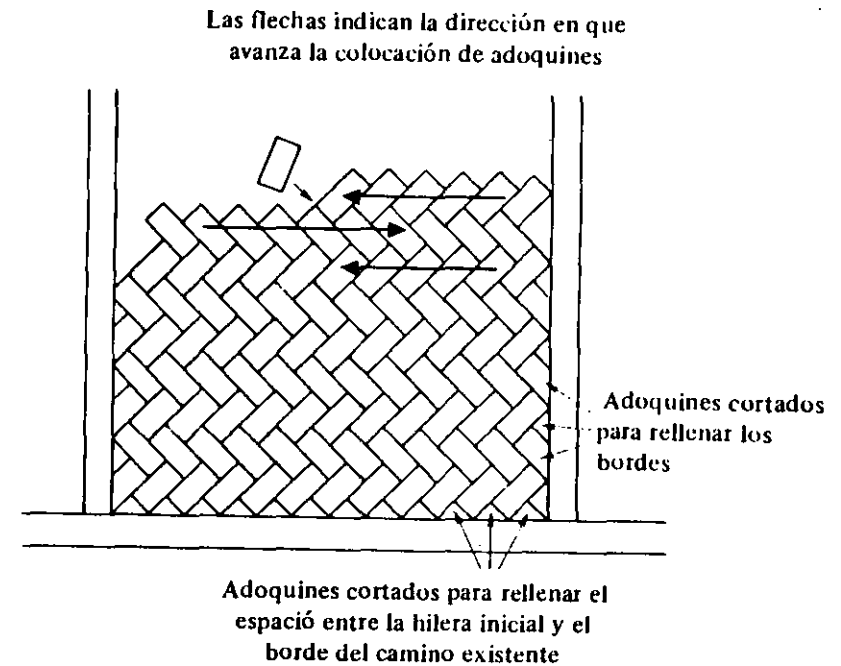


Figura 19. Método de colocación siguiendo un modelo de petatillo, el cual permite que sólo un trabajador labore en la superficie.

den sustituir. El equipo de trabajo deberá rotarse constantemente, para así reducir el cansancio.

Por otra parte, la figura 19 muestra el proceso de construcción con un modelo de petatillo, en el cual la dirección de la colocación se alterna en cada hilera. Es preciso destacar que con este método, sólo es posible que trabaje un hombre en el frente del lugar de la colocación,

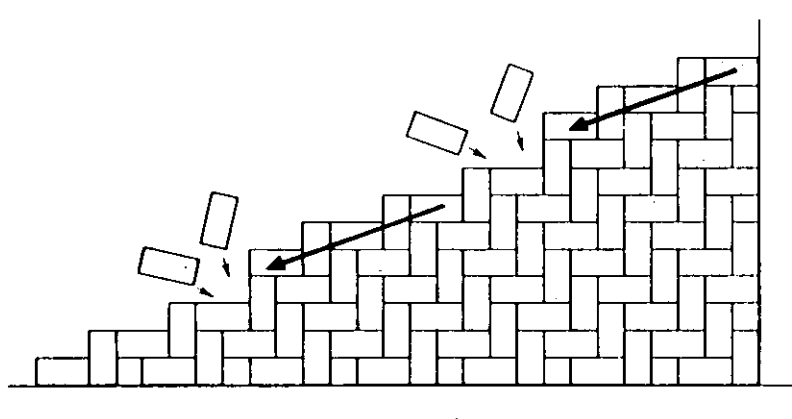


Figura 20. Método de colocación siguiendo un modelo de petatillo, el cual permite que trabaje más de un hombre en la superficie. Observe el cambio en la orientación de los adoquines, en relación con la plantilla.

Si se adopta este método, que aparece en la figura 20, los adoquines se colocan por pares y, como la dirección del trabajo no cambia de una hilera a la otra, entonces podrá trabajar más de un hombre al mismo tiempo. Esto puede traer como consecuencia, enormes ventajas en una área extensa, la cual permite que los adoquines se coloquen en un frente amplio.

2.5.6 Ajuste perfecto de los bordes

No es necesario hacer el corte de los adoquines para que ajusten en los bordes, hasta que no se haya cubierto una área extensa, pero es preciso que los adoquines cortados sean colocados antes de que se efectúe

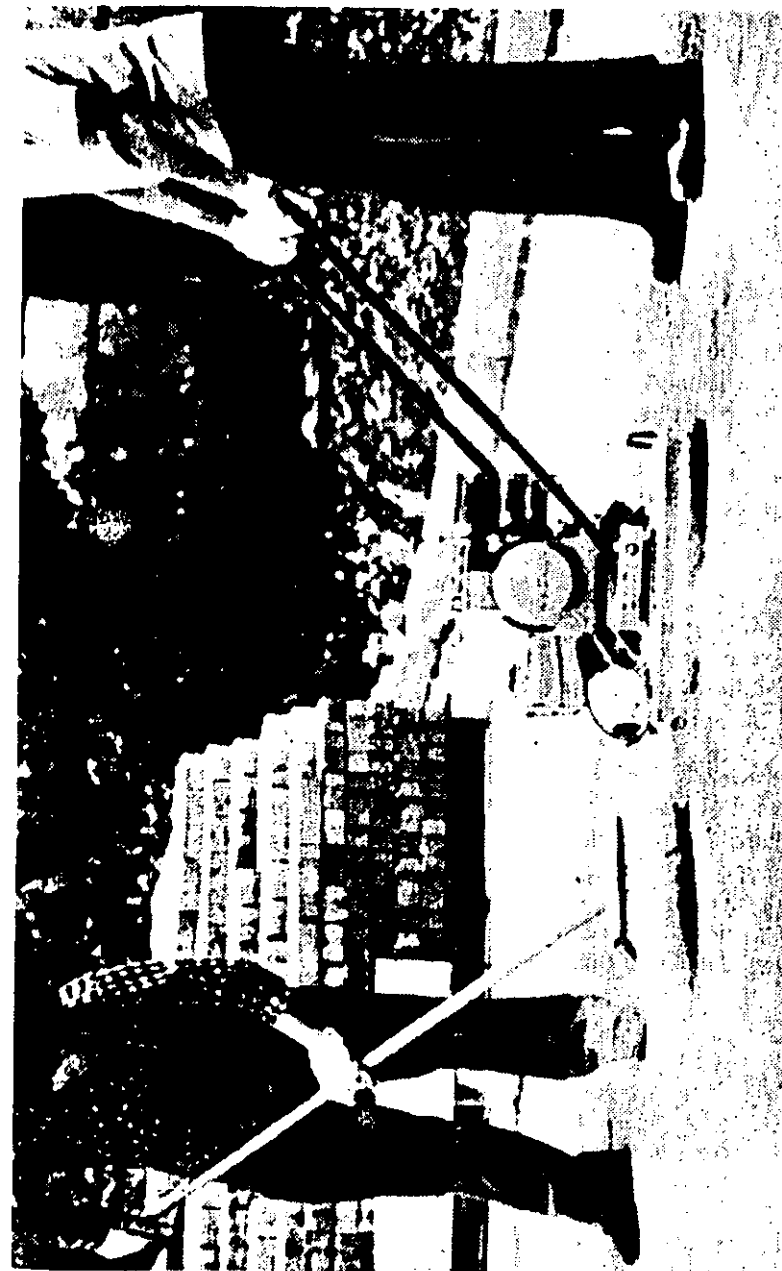


Figura 21. — Vibrado final y cepillado de la arena.

el vibrado. Cabe la posibilidad de necesitar más hombres cuando, en caminos estrechos, el corte para los bordes sea grande en relación con el área total.

2.5.7 El vibrado

El vibrado es un trabajo en el cual no se invierte mucho tiempo; por lo general, sólo se requiere pasar dos o tres veces una placa de acero, para fijar completamente los adoquines. El vibrador debe mantenerse alejado de los lados que no tienen apoyo y de los extremos en las áreas cubiertas, de manera que los adoquines no se desplacen en estas áreas.

Ahora bien, después del vibrado inicial, se pasará el vibrador dos o tres veces más, durante las cuales se cepilla la arena que está sobre los adoquines para llenar las juntas (figura 21). Una vez hecho esto, será posible abrir el camino al tránsito.

Para adoquines de 6 a 6.5 cm de espesor, el vibrador deberá tener una fuerza centrífuga de 7 a 16 kN, y una placa de 0.2 a 0.4 m². En cambio, para adoquines de 8 cm de espesor, el vibrador deberá tener una fuerza centrífuga de 16 a 20 kN, y una placa de 0.35 a 0.50 m². También es recomendable usar una frecuencia de 75 a 100 Hz.

2.5.8 Productividad

Como se dijo anteriormente, para alcanzar el índice máximo de productividad, se requiere de una buena planificación y de una amplia cooperación entre los miembros del equipo de trabajo. Para la

pavimentación de caminos, se obtiene una productividad de 25 a 50 m²/hombre-día. Por lo general, el equipo estará formado por tres hombres, salvo en el caso de que el enrase sea complejo. En áreas extensas de pavimentación sencilla, se ha logrado una productividad que rebasa los 50 m²/hombre-día, de donde se deduce que el frente amplio del lugar de la colocación, presenta grandes ventajas.

3.1 Generalidades

La principal ventaja de los adoquines de concreto, comparados con otros materiales modernos usados en la pavimentación, consiste en que se pueden recuperar para volverse a usar en áreas donde hayan ocurrido hundimientos locales, que son el resultado de zanjas rellenadas en forma inadecuada, o por otras causas. También las áreas manchadas con mortero o con aceite derramado, pueden cambiarse con facilidad, y una vez hecha la reinstalación, las reparaciones serán prácticamente invisibles. Incluso es posible reemplazar los adoquines en forma individual; por ejemplo, para modificar los lugares en los estacionamientos, identificándolos con adoquines de color.

3.2 Ruptura de los adoquines

Las juntas entre los adoquines, después de estar colocados algún tiempo, quedan sellados, lo que dificulta la remoción de los adoquines; por esta razón, no pueden extraerse los adoquines con herramientas ma-

nales. Será preciso romper algunos de ellos, para permitir que los adoquines adyacentes se levanten y se recuperen para ser utilizados de nuevo en la reinstalación misma.

Ahora bien, el número de adoquines individuales, que será necesario extraer o romper, dependerá propiamente de la manera en que se lleve a cabo la reparación. Por ejemplo, en una pequeña zanja puede resultar más económico romper una hilera de adoquines, aproximadamente en el centro de dicha zanja. Por otra parte, para una depresión local del terreno, que puede deberse a una falla parcial de la subrasante o de la sub-base, será necesario romper de cinco a seis adoquines en el centro de la depresión.

3.3 Cambio de los adoquines y de la plantilla

Una vez que se hayan quitado algunos adoquines, la abertura puede aumentar de tamaño, si se levantan más adoquines. Uno de los métodos usados para levantar adoquines, consiste en utilizar un zapapico que se clava hasta la plantilla. A las caras laterales de los adoquines, se adhirirán algunos desperdicios, que será preciso quitar antes de apilar : adoquines para volverlos a usar. Los raspadores de pintura y los cepillos de alambre son herramientas apropiadas para la limpieza. A menos que se limpien perfectamente los adoquines, no será posible volverlos a usar.

Después de levantar los adoquines, la arena de la plantilla se puede traspalear y, en caso necesario, se almacena la arena para volver a usarla. Es obvio que en esta operación se perderá parte de la arena, por lo cual se necesitará agregar más.

3.4 Excavación y reinstalación de la sub-base y de la subrasante

Se debe adoptar una técnica práctica y de fácil aplicación, utilizando, siempre que sea posible, el material obtenido de la excavación como relleno, siempre que éste se compacte totalmente. Cuando existan dificultades en la compactación, se podrá utilizar concreto de baja resistencia, como una posible opción.

Los materiales de relleno compactados deficientemente, se colocarán debajo de los adoquines, como se haría con cualquier otro material flexible de recubrimiento. Si esto ocurriera, se podría levantar y colocar de nuevo los adoquines; pero es preferible descartar esta segunda alternativa, asegurando una buena compactación del relleno, tanto en el nivel de la subrasante como en el de la sub-base.

En aquellas áreas donde se presenta un asentamiento local, la causa principal de la falla deberá reconocerse y, si es necesario, la profundidad de la sub-base deberá ser aumentada para prevenir que vuelva a surgir este problema. El nivel de la superficie de cualquier sub-base reinstalada, deberá coincidir con los niveles de la sub-base más próxima.

3.5 Reinstalación de la plantilla

Este procedimiento se lleva a cabo, como si fuera una nueva construcción. Se puede enrasar la arena de la superficie del camino existente, utilizando para ello una regla de madera. Las áreas que no se puedan alcanzar con la regla, podrán enrasarse hasta emparejarlas, con una llana.

3.6 Reinstalación de los adoquines

Este proceso se lleva a cabo en la misma forma, como si fuera una nueva obra; pero tomará más tiempo, porque al final de cada hilera, es posible que sea necesario forzar un adoquín para colocarlo en su posición normal (figura 22).

Cualquiera de los adoquines, que se encuentran en los bordes y que se han aflojado, deberá quitarse, limpiarse y volverlo a colocar a medida que avanza el proceso de reinstalación. Ahora bien, si los adoquines han sido limpiados apropiadamente, su reinstalación será relativamente sencilla. A continuación se vibran los adoquines hasta que lleguen al nivel normal, y se rellenan las juntas. Una vez efectuada esta operación, se podrá permitir el acceso al área reparada.

4.1 Adoquines

4.1.1 Generalidades

Los adoquines de concreto, usados en la construcción de caminos, deben ser de buena calidad para resistir el daño originado por el tránsito y por las variaciones en la temperatura; el efecto nocivo de las heladas sobre cualquier superficie pavimentada, aumenta considerablemente con el uso de sales descongelantes.

El concreto de buena calidad para pavimentaciones, debe tener una resistencia característica a los 28 días, obtenida en un cubo de prueba de 30 N/mm^2 y con un contenido aproximado de 4.5% de aire retenido, que lo hace resistente a los efectos nocivos de las sales descongelantes. Pero el concreto utilizado para adoquines de pavimentación debe

* $1 \text{ N/mm}^2 = 10.2 \text{ kg/cm}^2$

Adoquines de concreto

tener, a fin de asegurar su durabilidad, un contenido alto de cemento, ya que los adoquines se fabrican en prensas vibratoras, a partir del concreto demasiado seco, para poder retener el aire.

Ahora bien, para asegurarse de que la superficie no se desgaste, sino que conserve una microtextura, que le proporcione una resistencia aceptable a los deslizamientos a baja velocidad, no deberán usarse arenas que contengan más del 25^o/o de materiales solubles en ácidos.

Por otra parte, para asegurar el cuatrapeo entre los adoquines, éstos deben fabricarse con medidas exactas, lo que permite colocarlos con espacios sumamente pequeños entre las propias juntas.

4.1.2 Especificaciones

En la actualidad, no existen **Normas Británicas** para los adoquines de concreto, pero algunas se encuentran en preparación. En la tercera parte de esta publicación, el lector podrá encontrar las **Especificaciones para adoquines de concreto**, que estarán vigentes hasta que se publiquen dichas normas y, por lo tanto, serán muy útiles tanto para los usuarios, como para los fabricantes.

4.1.3 Materiales

En las especificaciones citadas con anterioridad, no se establece prácticamente ninguna restricción en cuanto a la forma del adoquín; pero se persigue asegurar que el adoquín pueda ser levantado con una mano y que, cuando se coloque en forma correcta, ajustará perfectamente en el otro.

Es conveniente que la relación longitud-ancho sea igual a 2; pero para permitir a los fabricantes una cierta libertad en el diseño de la forma, las Especificaciones permiten que la relación oscile entre 1.5 y 2.5. Por otra parte, la uniformidad del tamaño es de primordial importancia en el desarrollo posterior del cuatrapeo, y también se establecen los requisitos para la desviación máxima que se permite, de acuerdo a los tamaños estipulados.



Figura 22. Reinstalación de los adoquines sobre la reparación terminada de una zanja.

Adoquines de concreto

Como las Especificaciones se enfocan a la fabricación de adoquines para diversos tipos de áreas pavimentadas, no se estipula ningún espesor determinado. Ahora bien, para la mayoría de los caminos residenciales, se recomienda un espesor de 8 cm, pero para los callejones (caminos tipo I) se pueden emplear espesores de 6 a 6.5 cm.

4.1.4 Requisitos de resistencia

La resistencia característica de los adoquines, una vez entregados y aprobados de acuerdo al método descrito en las Especificaciones de esta publicación, no deberá ser menor de 50 N/mm².

4.1.5 Prueba de muestreo

En las Especificaciones —ver tercera parte—, se proporcionan los lineamientos para pruebas y muestreos realizados por el comprador y, cuando sea necesario, se llevarán a cabo pruebas independientes, por el fabricante o por el comprador.

4.2 Tolerancias en la construcción

4.2.1 Generalidades

Como se ha mencionado anteriormente, no existen aún las normas que proporcionen los requisitos, para mantener una regularidad en las superficies de los caminos diseñados para tránsito a baja velocidad. Al examinar los caminos residenciales existentes, se hace notorio que, a pesar de que la regularidad de la superficie está por lo general debajo de los estándares proporcionados en las *Specification for road and bridge works*⁵, resultan satisfactorias para el propósito a que están destinados.

Los pavimentos con adoquines de concreto, se pueden construir con facilidad, siguiendo los estándares usados en la mayor parte de los pavimentos urbanos existentes. Los siguientes párrafos indican las tolerancias que son adecuadas tanto para el usuario, como prácticas para el constructor. Se podrán encontrar más detalles en el libro *Concrete block paving - model specification clauses for roads subject to adoption*².

4.2.2 Sub-base

El perfil de la superficie de la sub-base deberá ser el mismo que el requerido para la superficie del camino terminado, y deberá estar a 2 cm del nivel de diseño.

4.2.3 Plantilla

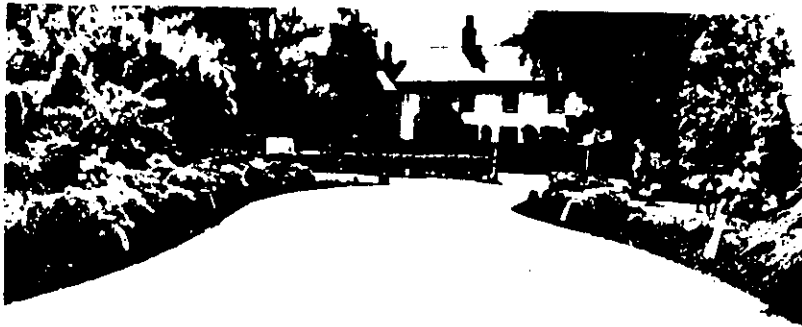
El perfil de la plantilla no compactada, deberá ser similar al requerido para el camino terminado. La plantilla deberá emparejarse hasta alcanzar el nivel necesario, antes del lugar donde se colocarán los adoquines.

4.2.4 Adoquinado

El nivel de la superficie terminada deberá estar dentro de la tolerancia de 1 cm del nivel de diseño. La deformación máxima dentro de la superficie terminada, medida con una regla de 3 m, colocada paralelamente a la línea de eje del camino, no deberá exceder 1 cm, excepto en las partes de la avenida, donde las curvas verticales necesitan una mayor desviación. El nivel entre dos adoquines adyacentes, no deberá diferir en más de 0.2 cm.

4.2.5 El camino terminado

La última figura de esta parte, muestra la salida del Centro de Investigación de la *Cement and Concrete Association*, en Wexham Springs, Inglaterra, el cual se construyó siguiendo los lineamientos anteriormente citados.



BIBLIOGRAFIA

Libros, informes y artículos

1. LILLEY, A. A.;
Concrete block paving for specialized traffic - a design method, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1978, 11 págs., ADS/36.
2. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION;
Concrete block paving - model specification clauses for roads subject to adoption, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1978, publicación 46.026.
3. TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY;
A guide to the structural design of pavements for new roads, tercera edición, Londres, H. M. Stationery Office, 1970, 36 págs., Road Note 29.
4. KNAPTON, J.;
The design of concrete block roads, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1976, 6 págs., Informe técnico 42.515.
5. DEPARTMENT OF TRANSPORT, SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT AND WELSH OFFICE;
Specification for road and bridge works, Londres, H. M. Stationery Office, 1976, I-XIV, 194 págs.
6. HIGHWAY RESEARCH BOARD;
The AASHO Road Test, Washington, D. C., National Academy of Sciences, National Research Council, 1962, Informes especiales 61A y 61E.
7. CONCRETE SOCIETY, THE;
A guide to good practice for road edge details, Informe de una cuadrilla de trabajo de la Concrete Society, Londres, 1974, 36 págs., Informe técnico núm. 10 de la Concrete Society, publicación 51.073.
8. LILLEY, A. A. Y COLLINS, J. R.;
Laying concrete block paving, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1976, 15 págs., publicación 46.022.

2ª parte

**ADOQUINES
DE CONCRETO
PARA
TRANSITO PESADO**

A. A. Lilley y B. J. Walker

BREVE HISTORIA

Durante muchos años, los adoquines de concreto se han empleado exitosamente para revestir caminos de tránsito pesado y otros pavimentos en grandes áreas industriales. La dureza de los adoquines es proporcional además, considerable resistencia al impacto y no sufren daños estructurales a causa de los derrames de aceite.

Por otra parte, en áreas propensas a hundimientos diferenciales del terreno, una superficie de adoquines de concreto se comporta de una manera "flexible", pero mantiene su continuidad. En caso de que el hundimiento local sea excesivo, y de que sea necesario recompactar la base, los adoquines pueden ser levantados y ser colocados nuevamente para someterlos de inmediato a la circulación de vehículos. Esto significa que los adoquines de concreto pueden constituir una excelente solución para diversos problemas que surjan, cuando se trabaja en materia de pavimentación industrial.

En los siguientes capítulos, el lector podrá contar con una guía para el diseño y para la construcción de pavimentos, que comprende a las carreteras y al tránsito de vehículos, que deban soportar más de 1.5 millones de ejes estándar.

El diseño de caminos que soportan tránsito menos pesado, se describe detalladamente en **Adoquines de concreto para tránsito ligero**, primera parte de esta obra; mientras que para las áreas de tránsito especializado con cargas axiales mayores que las permitidas en caminos públicos, se proporciona un método de diseño en *Concrete block paving for specialized traffic - a design method*¹. En la tercera parte de este libro se señalan las especificaciones para los caminos que serán revestidos con adoquines de concreto, y que estarán sujetos a la aprobación, por parte de las autoridades locales.

Los adoquines de concreto proporcionan una superficie idónea para muchas formas de pavimentación, donde los vehículos transitan a bajas velocidades (entre 50 y 60 km/h), incluyendo varios tipos de caminos, patios de carga, áreas de almacenamiento, pavimentos para muelles y terminales de carga, descarga y de empaque.

Los pavimentos industriales a menudo son sometidos a esfuerzos considerables en su superficie, debido a los gatos de camiones de remolque, a las ruedas compactas de poco diámetro, a los soportes pesados de depósitos, o a los materiales almacenados (por ejemplo, elementos de hierro fundido). Estos esfuerzos pueden causar, aun en los mejores materiales viscosos y elásticos para superficie, serias deformaciones, grietas o perforaciones provocadas por un esfuerzo cortante.

Además, los problemas se agravan debido al derrame de aceite que ocurre sobre muchos pavimentos industriales. Cabe enfatizar, finalmente, que el revestimiento con adoquines de concreto evita estos problemas.

DISEÑO

1.1 Generalidades

En la figura 1, se muestra la construcción de un pavimento de adoquines de concreto, el cual deberá soportar más de 1.5 millones de ejes estándar durante el diseño. Además de la terracería, los elementos de la construcción comprenden:

1. Sub-base.
2. Base.
3. Plantilla - una capa de 5 cm de arena fina.
4. Adoquinado - los propios adoquines.
5. Guarnición.

La base no es necesaria en los pavimentos que deban soportar un total menor de 1.5 millones de ejes estándar, por lo que es preciso consultar la primera parte de este libro.

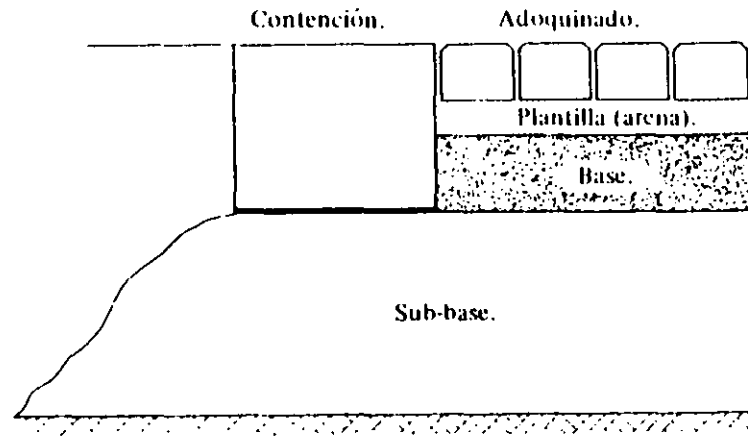


Figura 1. Sección transversal de un pavimento con superficie de adoquines de concreto. (No es necesaria la base, cuando está diseñado para soportar menos de 1.5 millones de cargas de ejes estándar. En la primera parte de este libro se estudian los requisitos referentes a los caminos para tránsito ligero.)

En el borde del pavimento, es necesario algún tipo de guarnición o de contención, para evitar que se desplacen tanto los adoquines como la plantilla. La guarnición puede constar de cualquier estructura firme, como puede ser un borde a nivel del pavimento o a un nivel superior, o bien, el pavimento existente, si éste es sólido. Mientras la guarnición sea lo suficientemente resistente para soportar cualquier daño, causado por el impacto o por el empuje de los vehículos que transiten sobre el pavimento, será satisfactoria.

El cuatrapeo evita el desplazamiento de un adoquín, en relación con los adoquines adyacentes. Ahora bien, el adoquinado consta de adoquines que encajan perfectamente uno al lado del otro, y los espacios entre ellos (por lo general entre 2 y 3 mm) se llenan con polvo y con partículas de arena. Estas partículas impiden que algún adoquín sea desplazado,

ya que permiten que la carga vertical aplicada sobre cada adoquín, sea soportada por el mismo, por los adoquines adyacentes y, en menor grado, por los más distantes. Por lo tanto, la aplicación de una carga al pavimento, provoca que éste se comporte de una manera "flexible".

Las uniones también evitan que las fuerzas, originadas por la acción de frenar y por la aceleración de los vehículos, produzcan un desplazamiento horizontal de los adoquines, ocasionando con ello, la falla conocida como "deslizamiento".

Es necesario que haya juntas horizontales en la pavimentación, las cuales se obtienen, ya sea usando adoquines de forma patentada, o colocando adoquines rectangulares, siguiendo el modelo de petatillo. Los primeros, pueden colocarse cuatraperados (como se ilustra en la figura 2a), con el eje longitudinal, con un ángulo aproximado de 90° respecto del eje de circulación, o bien, en petatillo (como se muestra en la figura 2b). En cualquier pavimento transitado por vehículos, los adoquines rectangulares deberán estar colocados únicamente en forma de petatillo (véase la figura 1c).

Si llega a presentarse un desplazamiento horizontal considerable, las juntas se abrirán y las uniones verticales se perderán, con lo cual se destruye la capacidad de los adoquines para distribuir la carga.

Cualquier pavimento debe diseñarse de tal manera, que resista una deformación excesiva o una falla estructural, que son el resultado de la acumulación de los efectos nocivos producidos por los vehículos que transitan por él. La influencia destructora de un vehículo, depende principalmente de las cargas axiales.

En la tabla 8 de las *Road Note 29*³, se enumera la influencia relativa a las cargas axiales de 9000 a 18 000 kg, y éstas se comparan con un "eje estándar" de 8 160 kg, el cual se da como una unidad de destrucción. En la figura 3 se proporcionan gráficamente estos datos. La mayoría de los pavimentos soportan tránsito pesado y ligero, por lo que la primera etapa de cualquier diseño, consiste en calcular la cantidad total de las distintas cargas axiales, que el pavimento debe resistir durante su diseño planeado.

* Esta cifra se ha redondeado a 8,000 kg según el *Technical Memorandum núm. 116/78*, publicado en abril de 1978.

Adoquines de concreto

Una vez que se conoce el total de las cargas axiales individuales, éstas pueden ser convertidas - utilizando los datos de la figura 3 -, a un número equivalente de ejes estándar, y después ser integradas. En el apéndice de esta parte, se dan algunos ejemplos de la manera en que esta operación se calcula.

En casi todas las áreas pavimentadas se canalizan con frecuencia los movimientos del tránsito y, como consecuencia de ello, determinadas áreas del pavimento son sometidas a un tránsito más intenso, que el soportado por otras. Aunque teóricamente es posible economizar, lo cual se logra variando el diseño para tomar en cuenta el tránsito canalizado, esto se llega a hacer rara vez, debido a que muchos de los ahorros posibles, se perderían a causa de la gran complejidad de los trabajos efectuados en el suelo y de la construcción de la sub-base. Un factor adicional que se opone a las variaciones en el diseño, es el que impide cualquier cambio posterior en el plan de trabajo que se desea lograr.

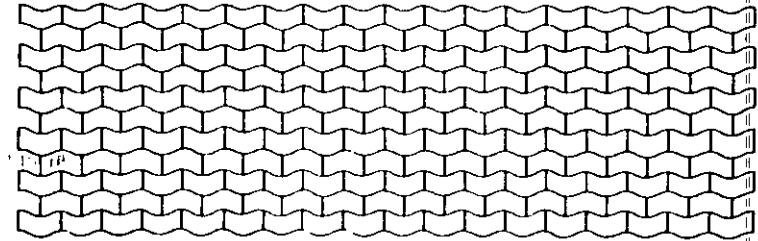
1.2 Subrasante

Esta puede estar constituida por el terreno natural o por un material de terraplén. Su valor de soporte tendrá una influencia decisiva en el diseño y en el comportamiento del pavimento. En la tabla 3 de las *Road Note 29*³, se proporcionan los valores calculados por la CBR (*California Bearing Ratio*), para diferentes suelos que se encuentran en la Gran Bretaña, compactados con su contenido natural de humedad.

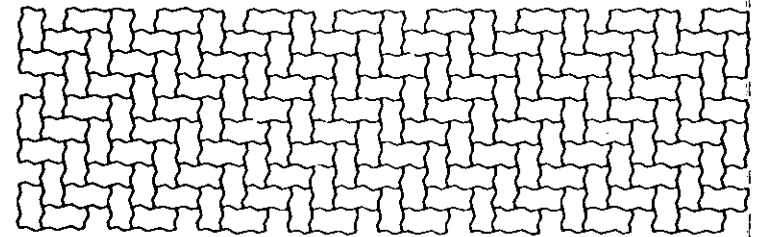
Ahora bien, debido a que los valores de soporte del suelo se ven afectados por la humedad, dicha tabla proporciona dos valores para cada tipo de suelo: si el manto freático es de 60 cm o menos bajo el nivel de la terracería, se debe adoptar el valor CBR más bajo, para fines de diseño.

El *Technical Memorandum n.º. 116/78*, del Departamento de Transporte, recomienda que cuando el valor CBR de la subrasante pueda ser menor a un 50%, es necesaria una capa adicional, y ésta debe tener un valor CBR de -por lo menos- 50% más que el de la subrasante. En los lugares donde los materiales de la subrasante varían y, por lo tanto, los valores CBR también varían, se debe adoptar el valor más bajo para el diseño, a menos que el porcentaje en cuestión sea demasiado pequeño, en cuyo caso se puede quitar el material pobre, y reemplazarlo con uno de mejor calidad.

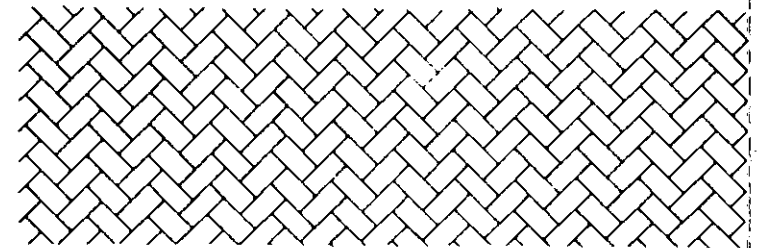
Figura 2. Modelos de colocación de adoquines para obtener una unión horizontal entre ellos.



(a) Adoquines diseñados, colocados en cuatrapeo.



(b) Adoquines diseñados, colocados en petatillo.



(c) Adoquines rectangulares, colocados en petatillo; (en los caminos, los adoquines rectangulares nunca deberán colocarse en cuatrapeo, ya que la unión sería deficiente).

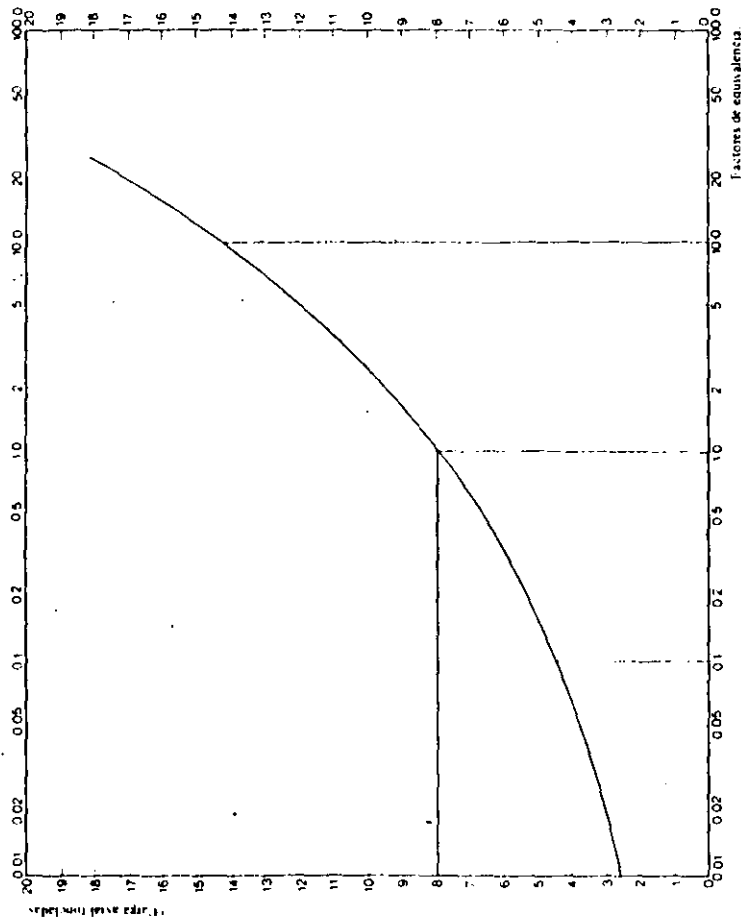


Figura 3. La influencia desfavorable relativa de las diferentes cargas axiales.

1.3 Sub-base

La figura 6 de las *Road Note 29*³, muestra los espesores de la sub-base requeridos para diferentes valores CBR de la subrasante, así como las diferentes cantidades acumulativas de los ejes estándar. El valor de soporte de algunos tipos de suelo es afectado en forma desfavorable por la congelación. Por otra parte, dichas Especificaciones recomiendan, para la mayoría de los caminos donde se emplee este tipo de materiales, que la profundidad total de la construcción sobre el nivel de la terracería no sea menor de 45 cm.

Knapton⁴ demostró que los adoquines de concreto y la plantilla de arena, tienen una capacidad para distribuir la carga, similar a la del asfalto de 16 cm compactado. Si se toma en cuenta esta propiedad, de acuerdo a la figura 7 de las citadas Especificaciones³, se puede observar que los pavimentos de adoquines de concreto pueden soportar 1.5 millones de ejes estándar.

Para cualquier pavimento de adoquines de concreto en que se utilice una base sobre la sub-base, se pueden aprovechar los materiales que se detallan en las cláusulas 803, 804, 805, 806, 807 y 815, de la *Specification for road and bridge works*⁵

1.4 Base

Para las bases que se encuentran abajo de las superficies de adoquines de concreto, se aconseja el uso de material cohesivo. En los pavimentos diseñados para soportar más de 5 millones de ejes estándar, se deben emplear materiales que cumplan con las cláusulas 807, 810, 811 y 812 de la *Specification for road and bridge works*⁵. Para los pavimentos que soportan menos de 5 millones de ejes estándar, los materiales que cumplan con las cláusulas 805 y 806 pueden agregarse a la lista anterior.

Al comparar las figuras 7, 8 y 9 de las *Road Note 29*³, es posible igualar las capacidades de carga del asfalto compactado, del macadán denso y de las bases hechas de concreto de baja resistencia, con las de sus revestimientos.

Adoquines de concreto

Ahora bien, si se hace esta comparación al nivel de 1.5 millones de ejes estándar y se tienen en cuenta las conclusiones de Knapton⁴, se puede comprobar que una capa de 22.5 cm de concreto y revestimiento de baja resistencia, una capa de 17 cm de macadán y revestimientos densos, una carpeta de 16 cm de asfalto compactado y los adoquines de concreto para pavimentación colocados sobre una plantilla de arena, tienen capacidades similares de carga.

Por tanto, utilizando los datos de las figuras 7, 8 y 9 de las *Road Note 29*, y deduciendo la capacidad equivalente de carga de los adoquines, será posible calcular el espesor de cualquier base requerida entre aquéllos, en los casos particulares que se presenten. Para obtener una mayor utilidad de ellos, los cálculos se han realizado para los distintos materiales de base cohesivos, y los resultados se muestran en la figura 4 de este libro.

Por otra parte, por razones exclusivamente prácticas, las bases combinadas con cemento, no deberán tener un espesor menor de 10 cm, y los materiales bituminosos no deberán tener un espesor menor de 7.5 cm.

1.5 Plantilla

Esta es una capa compacta con un espesor de 5 cm de arena fina y limpia, la cual no contiene más de 3% de sedimentos y de arcilla, ni más de 10% por peso retenido en una malla de 5 mm. Dicha capa se compacta después de que se han colocado los adoquines, aplicándoles a éstos una determinada cantidad de vibrado, con un vibrador de placa, el cual provoca que una parte de la arena penetre en las juntas de los adoquines y los una parcialmente.

1.6 Adoquinado

Los adoquines de concreto que forman el pavimento, son piezas rectangulares o pueden presentar otra forma, lo suficientemente pequeñas como para que puedan ser alzadas y ser colocadas con una mano. Existe

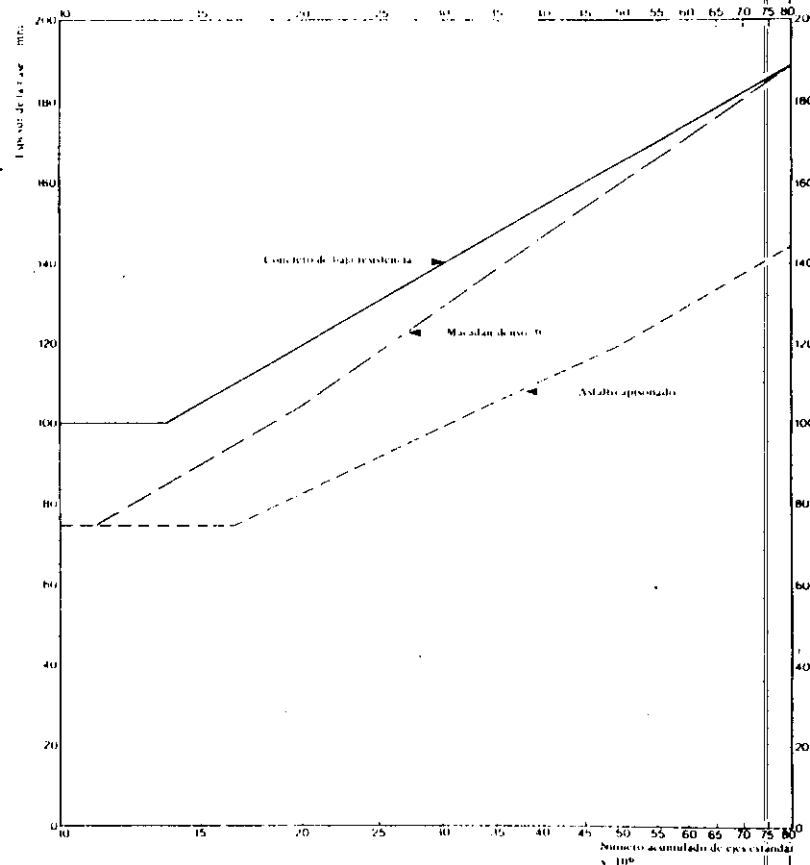


Figura 4. Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

un proyecto de especificaciones que puede utilizarse para la fabricación de adoquines*, y es posible que el citado proyecto constituya la base para la elaboración de un reglamento británico, que actualmente se está preparando.

Los adoquines fabricados según este reglamento, serán duraderos y resistirán los efectos de las sales descongelantes. Los requisitos para la clase de agregado fino que se usa en la fabricación de adoquines, fueron establecidos con el fin de evitar que éstos se desgasten rápidamente y se tornen resbaladizos. Las tolerancias en cuanto a las dimensiones, se hacen con el propósito de asegurar que los adoquines puedan ser colocados uno junto al otro, y permiten que se forme una unión cuando las juntas se llenen finalmente con arena.

El espesor mínimo para adoquines utilizados, tanto en la pavimentación de cualquier camino, por el que transiten vehículos pesados, como en la pavimentación industrial, deberá ser de 8 cm. No existen pruebas de que el uso de adoquines con mayor espesor, mejore la capacidad de distribución de carga, pero podría haber menor riesgo de giro en los adoquines, si éstos se encuentran sometidos a un tránsito muy intenso, lo cual puede ser la razón de su adopción en algunos pavimentos industriales, en otros países.

1.7 Drenaje

Al igual que en otras formas de revestimiento, en el pavimento con adoquines de concreto, se necesitan instalaciones de drenaje para el agua de la superficie, así como la formación de pendientes. Es posible que una pequeña cantidad del agua de la superficie pueda penetrar en las juntas de los adoquines recién colocados, pero posteriormente las juntas se sellarán con detrito, lo cual se facilita por los depósitos de aceite y hule.

* *cfr.* tercera parte de este libro.

Con objeto de prevenir la formación de charcos, las pendientes transversales a los canales de drenaje, no deberán ser menores a la proporción 1:40. Si es necesario, las pendientes longitudinales al canal de drenaje, pueden reducirse a la proporción 1:180⁸, usando para ello canales de concreto prefabricado. Los adoquines deberán colocarse a un nivel ligeramente más alto (aproximadamente de 0.3 cm), en relación a los canales de drenaje y a las alcantarillas.

2.1 Generalidades

Con objeto de lograr una producción óptima durante el periodo de la construcción, es esencial la planificación en cuanto a la colocación del pavimento. El método general se describe en *Laying concrete block paving*⁷, pero en la pavimentación de áreas muy grandes, se puede lograr un mayor rendimiento, a través de la mecanización de la colocación de la plantilla y del manejo de los adoquines en la obra.

En este capítulo se pretende proporcionar una serie de normas para obtener buenos resultados en el trabajo, combinadas de tal manera que se logre una producción óptima.

2.2 Sub-base

Las sub-bases deberán construirse, de acuerdo a las normas y a los métodos estipulados por las *Specification for road and bridge works*⁵, las cuales exigen para la superficie de la sub-base, una tolerancia de ± 1 cm a -3 cm del nivel de diseño. Por otra parte, donde el revesti-

miento de adoquines esté colocado directamente sobre una sub-base, es preferible permitir una tolerancia de ± 2 cm, a fin de reducir la posibilidad de que se presenten profundidades excesivas en la plantilla de arena.

2.3 Base

La base también deberá construirse, de acuerdo a los métodos y a las normas estipulados por el Departamento arriba mencionado, el cual indica que las tolerancias de superficie para las bases deberán ser de ± 1.5 cm. En el caso de los revestimientos de adoquines de concreto, una tolerancia de ± 2 cm, será satisfactoria; sin embargo, si se logran mayores tolerancias, éstas serán de utilidad en la construcción, y así mejorarán la uniformidad del revestimiento final.

2.4 Guarnición

Todos los bordes de un adoquinado de concreto necesitan de una guarnición, para evitar que los adoquines se desplacen fuera de su lugar, que las juntas se abran y que la unión entre éstas se pierda. Ahora bien, en áreas donde el pavimento de adoquines de concreto se encuentre en servicio, antes de que la colocación de éstos se haya efectuado por completo, se deben tomar medidas para impedir que los vehículos pasen a una distancia menor de 1 m, de una orilla sin guarnición. Si desafortunadamente algunos adoquines, que estén en un borde y sin protección, se desplazan, será necesario retirarlos y colocar de nuevo la plantilla, antes de continuar con el procedimiento.

2.5 Plantilla

La arena se distribuye uniformemente, y después se colocan los adoquines, que en seguida son sometidos a un vibrado, hasta que alcanzan el nivel adecuado. Durante el vibrado, se provoca que una pequeña cantidad de la arena, que forma la plantilla, penetre en las juntas a causa de la presión ejercida, con lo que se obtiene la unión inicial entre los adoquines. Para permitir su compactación, deberá esparcirse determinada cantidad de arena para la plantilla.

Normalmente, un espesor de aproximadamente 1.5 cm, es útil para que se forme una profundidad compacta requerida de 5 cm. El valor real de la compactación depende de la granulometría y del contenido de humedad de la arena, por lo que quizá sea necesario determinarlo a

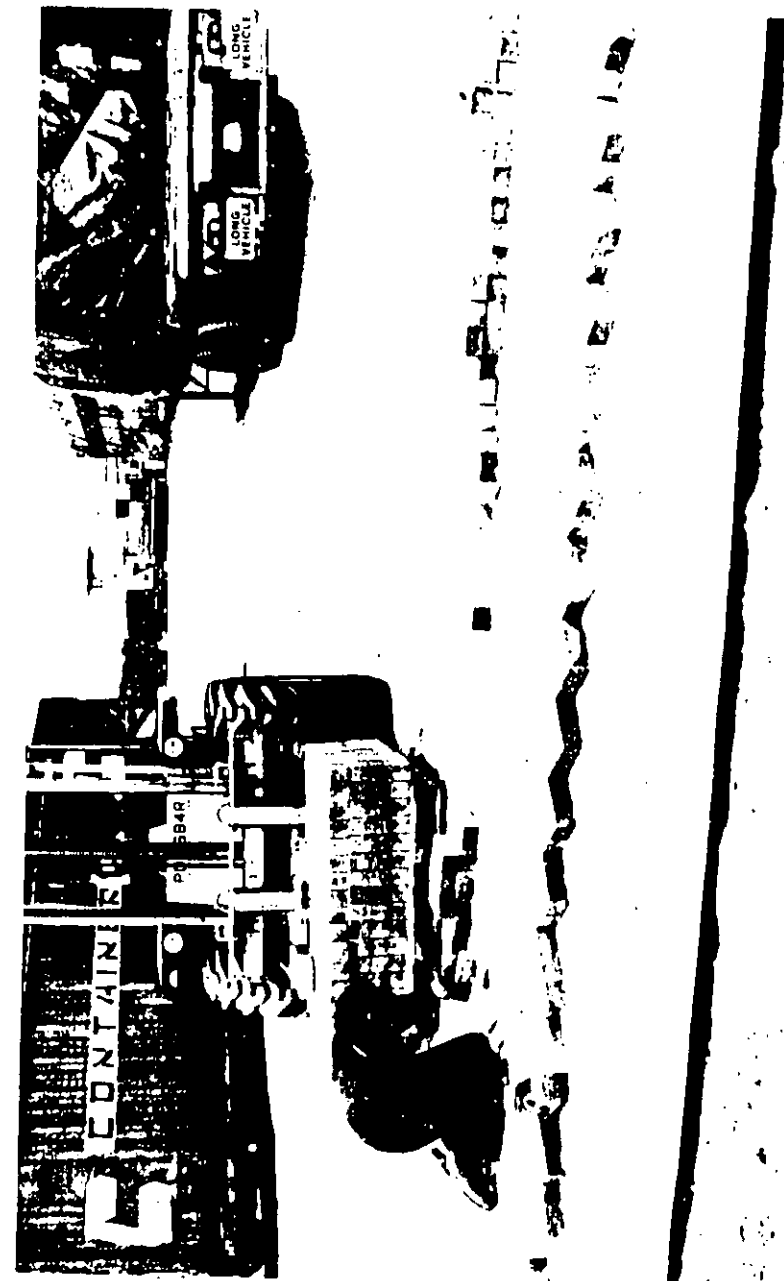


Figura 5. Manejo de adoquines para una nueva terminal de carga en general.

Adoquines de concreto

través de experimentos. El mantener constantes el contenido de humedad y la granulometría de la arena, ayudará a obtener una superficie regular en el trabajo terminado. A su vez, es conveniente apilar la arena antes de la colocación de los adoquines.

En obras menores, la arena puede distribuirse y nivelarse manualmente, pero en áreas mayores, resultaría más económico mecanizar dichas actividades. Cualquiera que sea el método empleado, la arena deberá esparcirse uniformemente, y tendrá una densidad compacta lo suficientemente uniforme, antes de iniciar la colocación de los adoquines.

2.6 Adoquinado

El adoquinado consta de adoquines de concreto, colocados uno junto al otro y unidos por juntas llenas de arena. Los adoquines deberán entregarse en la obra, colocados sobre tarimas, atados o empaquetados. Después del vibrado final, los vehículos de reparto deberán descargar los adoquines en un lugar muy próximo al sitio de su colocación, a fin de reducir el acarreo de éstos. Por tal motivo, la pavimentación con adoquines deberá empezarse en la propia entrada de la obra.

En la figura 5, se muestra un ejemplo del manejo de adoquines en el sitio de la pavimentación. Con frecuencia, en un camino que será pavimentado, un trabajador que coloca adoquines, auxiliado por otros dos o tres trabajadores, rinde al máximo, y rara vez se necesita más de una persona para colocar los adoquines. Por otra parte, en grandes áreas abiertas es posible obtener muchas ventajas, al contar con más de una persona que coloque los adoquines, debido al tamaño de la superficie que deberá ser pavimentada, pero siempre hay que tener en cuenta que se debe planificar la orientación correcta de los adoquines.

En la figura 6 se muestra el plano de una obra con una área abierta de gran extensión, dividida por un camino de acceso entre dos edificios. El modelo de colocación ilustrado, muestra los adoquines colocados a un ángulo de 45°, respecto de la línea del camino, con una orientación seleccionada de tal manera que --aunque sólo un colocador de adoquines pueda trabajar en la superficie de colocación, mientras se adelanta el trabajo en la obra-- en cuanto el adoquinado haya rebasado el camino, se formen dos superficies de colocación, cada una de las cuales permitirá el trabajo de más de un colocador.

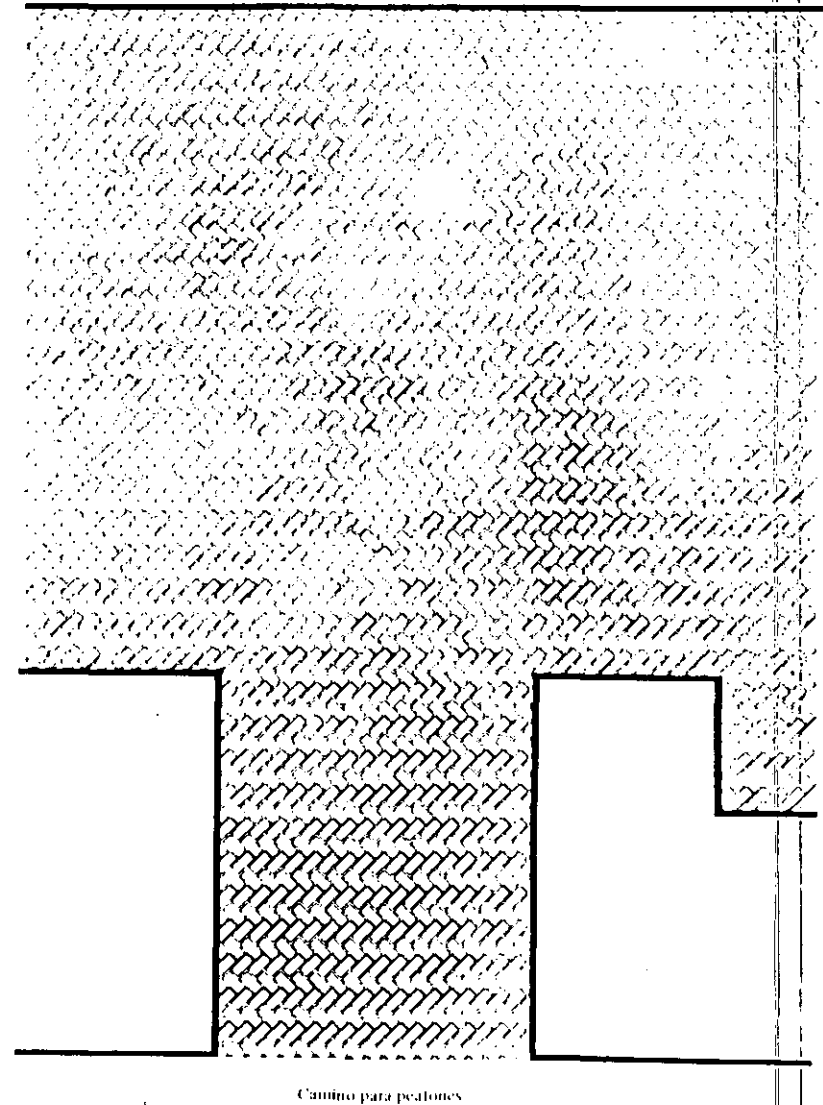


Figura 6. Plano que muestra un método de colocación de adoquines, para una extensa área abierta, con un camino de acceso entre dos edificios. (Los adoquines no están a escala.)

Este esquema específico podría haberse planificado con los adoquines colocados a un ángulo de 90° , respecto de la línea del camino, pero esto habría impuesto limitaciones al número de colocadores que podrían emplearse en el área abierta. Por otra parte, se podría haber reducido el corte de los adoquines adyacentes a los bordes, así que la selección del modelo de colocación debe considerarse, de acuerdo a las dimensiones de la obra y a otra serie de limitaciones que surjan. La figura 7 muestra la colocación de adoquines sobre una superficie de colocación extensa.

Un método alternativo para trabajar en el sitio que se muestra en la figura 6, consiste en colocar a través del camino, una línea de canales de acceso prefabricados, donde el camino se une al área antes mencionada. Así, el lugar puede considerarse como dos áreas separadas, y los modelos de colocación para cada una podrán planificarse, para lograr reducir la cantidad de cortes, y permitir también que una cantidad óptima de los colocadores se emplee en dicha área.

En todas las áreas transitadas por vehículos, los adoquines rectangulares deben colocarse con un modelo de petatillo, a fin de que se produzca una unión contra los empujes horizontales, originados por el tránsito.

2.7 Corte de los bordes

Con frecuencia es necesario cortar los adoquines colocados hasta la guarnición en los canales de drenaje, o alrededor de las rejillas de registro o de las alcantarillas de drenaje. Es fácil hacer esto con una cortadora hidráulica (figura 8), y también se pueden emplear un cincel ancho y un martillo. Los huecos pequeños que aún queden, pueden llenarse con arena, pero donde los adoquines formen un canal de drenaje contra un reborde sobresaliente, es preferible utilizar una proporción de 4 tantos de arena por 1 tanto de mortero de cemento.

2.8 El vibrado

Con un vibrador de placa se vibran los adoquines y se compacta la plantilla con objeto de producir una superficie plana. Para lograr lo anterior, son suficientes, normalmente, dos o tres aplicaciones con el vibrador de placa, sin que sea crítico el momento en que éstas se efectúan, aunque deberán llevarse a cabo cuando se haya terminado un área razonable de pavimento, y antes de terminar la jornada de trabajo.



Figura 7. Una superficie extensa de colocación en una terminal de carga y descarga.



Figura 8. Cortadora hidráulica de adoquines.

El vibrador de placa deberá tener una cara de acero con una área plana de 0.35 a 0.5 m², y la fuerza centrífuga deberá ser de 16 a 20 kN, cuando el vibrador opera con una frecuencia que varía de 75 a 100 Hz. Al vibrado inicial, siguen otras etapas en las cuales se emplea el vibrador de placa, en las que se cepilla la arena que está sobre los adoquines, para rellenar las juntas. Tal vez sea necesario repetir esta operación algunos días después, pero mientras tanto, el pavimento puede ser sometido a la circulación de vehículos.

REINSTALACION DEL ADOQUINADO

3.1 Generalidades

Quizá alguna vez, durante el tiempo de duración del pavimento, sea necesario horadar la superficie de éste, para reparar o instalar servicios subterráneos, o bien, para efectuar alguna reinstalación necesaria, provocada por un hundimiento. Ahora bien, cualquiera que sea el problema, es posible quitar los adoquines y recuperar la mayoría para usarlos de nuevo.

Las juntas entre los adoquines que han estado colocados durante algún tiempo, llegan a sellarse, dificultando el levantamiento de éstos. Si por esta razón no resulta factible extraer los adoquines con herramientas de mano, es probable que sea necesario romper algunos de ellos para poder sacar los demás, y así recuperarlos para utilizarlos de nuevo en el mismo lugar. En el caso de una zanja, posiblemente sea más rápido romper una línea completa de adoquines a lo largo del eje central de aquélla.

Una vez aflojados, los adoquines que no han sido rotos se levantan, se limpian y se apilan para volver a usarlos. Hay que tener en cuenta

Adoquines de concreto

que es muy importante limpiarlos perfectamente, para quitarles el detrito y la arena adheridos a sus lados. Sin esta limpieza, su reinstalación sería difícil.

La excavación y la reparación de zanjas deberán realizarse siguiendo una técnica adecuada y reconocida, asegurándose de que el relleno quede compacto. Debido a que en la práctica es difícil hacer una buena reparación en algunos tipos de suelos, mucha gente prefiere emplear un material más estable para este relleno, como es el concreto de baja resistencia.

Si la necesidad de reparación surge de un defecto o de una falla que se presenta en la sub-base o en la subrasante, se tendrá que hacer una excavación y una recompactación. Por otra parte, para facilitar el acceso a las capas inferiores y su pronta reparación, será necesario trasladar los adoquines más allá de los límites de la excavación.

Una vez que la zanja ha sido recompactada a su nivel correcto, se esparce y se nivela la plantilla, para lo cual se utilizan como guía los adoquines ya colocados. Los adoquines que anteriormente se habían levantado, se colocarán y se vibrarán de nuevo, tal como si se presentara un nuevo trabajo.

APENDICE EJEMPLOS DE DISEÑO

En este apéndice, se proporcionan dos ejemplos para mostrar los principios de diseño, que se aplican en pavimentos recubiertos con adoquines de concreto. Estos ejemplos están simplificados, en comparación con la mayoría de los casos reales, y con ellos no se pretende reemplazar el conocimiento en materia de ingeniería, tan necesario en el diseño, en las especificaciones, como en la construcción de cualquier área de pavimento extensa.

Ejemplo 1:

Un pavimento industrial deberá soportar 50 movimientos de un vehículo triaxial por día. Dos de los ejes cargan 8 000 kg cada uno, y el tercero, 7 500 kg. Otros vehículos de dos ejes, cada uno con una carga de 10 000 kg, usarán el pavimento 160 veces en total por día. La duración del pavimento es de 20 años, y se toman en cuenta 300 días hábiles por año.

La subrasante es una arcilla limosa y tiene un valor estimado CBR de 5^o/_o. El manto freático está un metro abajo del nivel de excavación.

Por medio de la figura 3, deberán determinarse tanto los factores de equivalencia, como el número de ejes estándar por día.

| Movimientos de vehículos | Número de ejes | Factor de equivalencia | Ejes estándar por día | | | |
|--------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-----|---|------------|
| 50 | x | 2 | x | 1.0 | = | 100 |
| 50 | x | 1 | x | 0.7 | = | 35 |
| 160 | x | 2 | x | 2.5 | = | 800 |
| | | | | | | <u>935</u> |

Por lo tanto, el número total de ejes estándar, esperado durante la vida de diseño, es:

$$= 20 \text{ años} \times 300 \text{ días} \times 935 \text{ ejes estándar}$$

$$= 5\,610\,000 \text{ ejes estándar}$$

A partir de un análisis de la figura 6 de las *Road Note 29*, se obtendrán los espesores de la sub-base igual a 22 cm. Ahora bien, para determinar el espesor de la base, se tendrá que utilizar la figura 4 de este libro, e inmediatamente se verá que, debido a que la cantidad de ejes estándar es menor a 10 millones, las consideraciones prácticas determinan

así el espesor de la base. Por consiguiente, el espesor será, ya sea de 10 cm de concreto de baja resistencia, o bien, de 7.5 cm de material bituminoso cohesivo.

El diseño del pavimento es, como se indica a continuación:

| | | |
|------------|-----------------------|---|
| Adoquinado | 8 cm | adoquines de concreto |
| Plantilla | 5 cm | arena fina |
| Base | 10 cm | concreto de baja resistencia |
| Sub-base | <u>22 cm</u> 45 cm | de cualquier material, para la que cumpla con lo establecido en la referencia 5 |

Debido a que el espesor total es de 45 cm, proporcionará a la subrasante una protección adecuada contra la congelación.

Ejemplo 2:

Un camino de acceso a un almacén, diseñado para soportar vehículos triaxiales, que descargados pesan 15 000 kg, y cargados, 30 000 kg, las respectivas cargas distribuidas uniformemente sobre cada uno de los tres ejes. El mismo camino podrá soportar vehículos comerciales con un promedio de 1.1 ejes estándar cada uno.

Sobre el camino, los vehículos triaxiales harán cada día 600 movimientos de carga y de descarga, y los vehículos comerciales harán 2 200 movimientos de carga por día.

El camino será diseñado para que dure 20 años y estará en servicio 350 días al año.

Por medio de la figura 3, deberán determinarse tanto los factores de equivalencia para los vehículos triaxiales, como el número de ejes estándar por día.

| Peso del vehículo (kg) | Peso del eje (kg) | Factor de equivalencia | Movimientos del vehículo | Número de ejes por vehículo | Número de ejes estándar |
|------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 30 000 | 10 000 | 2.5 | 600 | 3 | 4 500 |
| 15 000 | 5 000 | 0.15 | 600 | 3 | 270 |
| — | — | 1.1 | 2 200 | — | 2 420 |
| | | | | | 7 190 |

Por lo tanto, el número total de ejes estándar, para los 20 años de vida de diseño, será:

$$= 20 \text{ años} \times 350 \text{ días} \times 7\,190 \text{ ejes estándar}$$

$$= 50\,400. \text{ En números redondos} = 50 \text{ millones de ejes estándar.}$$

En la figura 6 de las *Road Note 29*, el espesor de la sub-base requerido, debe ser igual a 45 cm.

A partir de la figura 4 de este libro, se determina que una base de concreto de baja resistencia, debe tener un espesor de 16.5 cm. El diseño del pavimento es, como se indica a continuación:

| | | |
|------------|---------|--|
| Adoquinado | 8 cm | adoquines de concreto |
| Plantilla | 5 cm | arena fina |
| Base | 16.5 cm | concreto de baja resistencia |
| Sub-base | 45 cm | de cualquier material, para la que cumpla con lo establecido en la referencia 5* |

* Sin embargo, el Departamento de Transporte, en su *Technical Memorandum núm. H6/78*, publicado en abril de 1978, recomienda que debido a que el valor CBR de la subrasante es menor 5^o/o- se deberá colocar otra capa, cuyo espesor variará según su propio valor CBR.

BIBLIOGRAFIA

Libros, informes y artículos

1. LILLEY, A. A.; *Concrete block paving for specialized traffic - a dosing method*, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1978, 11 págs., ADS/36.
2. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION; *Concrete block paving - model specification clauses for roads subject to adoption*, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1978, publicación 46.026.
3. TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY; *A guide to the structural design of pavements for new roads*, tercera edición, Londres, H. M. Stationery Office, 1970, 36 págs., Road Note 29.
4. KNAPTON, J.; *The design of concrete block roads*, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1976, 6 págs., Informe técnico 42.515.
5. DEPARTMENT OF TRANSPORT, SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT AND WELSH OFFICE; *Specification for road and bridge works*, Londres, H. M. Stationery Office, 1976, 194 págs.
6. DEPARTMENT OF TRANSPORT, SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT AND WELSH OFFICE; *Notes for guidance on the specification for road and bridge works*, Londres, H. M. Stationery Office, 1976, 128 págs.
7. LILLEY, A. A. Y COLLINS, J. R.; *Laying concrete block paving*, Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1976, 15 págs., publicación 46.022.
8. CONCRETE SOCIETY, THE; *A guide to good practice for road edge details*, Informe de una cuadrilla de trabajo de la Concrete Society, Londres, 1974, 36 págs., Informe técnico núm. 10 de la Concrete Society, publicación 51.073.

3^a parte

**ESPECIFICACIONES
PARA ADOQUINES
DE CONCRETO**

Cement and Concrete Association

ESPECIFICACIONES

1. OBJETIVOS

Estas especificaciones proporcionan los requisitos necesarios para la fabricación de los adoquines de concreto, ya sean patentados o rectangulares, empleados en la pavimentación de áreas transitadas por vehículos y peatones. Cuando se hayan publicado las **Normas Británicas (BS)** –que actualmente están en preparación– relativas a los adoquines de concreto, este texto ya no será vigente.

2. REFERENCIAS

Las **Normas Británicas** actuales, a las que se hace referencia en estas especificaciones, aparecen en la última página de este libro.

3. CEMENTO

El cemento utilizado en la fabricación de adoquines para pavimentación, cumplirá con una de las siguientes **Normas Británicas**: BS 12, BS 146 y BS 4027.

Adoquines de concreto

4. AGREGADOS

4.1 Calidad

A excepción de los requisitos de granulometría, los agregados finos y gruesos cumplirán con las normas BS 882, o con las BS 1047.

El agregado fino* (es decir, aquel material que pasa por una malla de 5 mm) no contendrá más del 25% por peso de material soluble en ácidos, ya sea en la fracción retenida, o en la fracción que pasa por una malla de 600 μm . El material soluble en ácidos, se define como el material que se disuelve en una solución estándar de ácido clorhídrico, según la cantidad señalada en el Apéndice A.

4.2 Tamaño máximo

El tamaño máximo del agregado, teóricamente, como se define en las BS 882 y BS 1047, no deberá ser mayor de 2 cm.

5. OTROS MATERIALES

5.1 Cenizas volantes

Cuando se haga uso de cenizas volantes, éstas deberán satisfacer los requisitos de la BS 3892, y deberán tener una superficie específica dentro de la zona B. El contenido total de sulfato de la mezcla de concreto, expresado como SO_3 , no deberá exceder del 4% por peso del cemento. El contenido de sulfato se calculará de acuerdo al contenido de aquel elemento en el cemento, en los agregados (donde exista la posibilidad de aplicarlos) y en las cenizas volantes, según se determinó en pruebas llevadas a cabo de acuerdo a los requisitos estipulados por las BS 12, BS 1047 y BS 3892.

* NOTA: Resistencia al derrapamiento. Los resultados obtenidos por el uso de la máquina acelerada de desgaste, del Laboratorio de Investigación de Caminos y Transportes, para el control de calidad de pavimentos de concreto, han demostrado que, cuando todo o parte del agregado fino está formado por arena silícea natural, se mantiene una resistencia adecuada al derrapamiento. En el caso de los adoquines para pavimentación, es posible que algún otro agregado fino proporcione una resistencia similar y adecuada al derrapamiento; pero, mientras no se haga esto evidente, se prefiere que el agregado fino, utilizado en la fabricación de los adoquines debe contener, como mínimo, 25% de arena silícea natural.

5.2 Pigmentos

Cualquier pigmento aplicado en la coloración de los adoquines deberá cumplir con la BS 1014.

5.3 Aditivos

Los aditivos no deberán tener ningún efecto en el concreto.

6. ACABADOS

El vendedor y el comprador o su representante, podrán llegar a un acuerdo en cuanto a los acabados de superficies especiales, o en relación a las capas de la superficie. Ahora bien, cualquier capa especial de la superficie se deberá colar como parte integral del adoquín. Por otra parte, todas las aristas deberán ser uniformes y estar limpias.

Al hacer un pedido de productos coloreados, las personas antes referidas, acordarán el color deseado. A su vez, indicarán si el producto estará coloreado total o parcialmente.

7. FABRICACION

La temperatura del concreto deberá mantenerse siempre sobre 0°C, a saber:

- ningún material, que haya estado a temperaturas menores de 0°C, se podrá usar hasta que esté completamente descongelado;
- la temperatura del molde deberá ser mayor de 0°C;
- la temperatura del concreto, al momento del colado, deberá ser por lo menos de 5°C.

Después de su fabricación, los adoquines deberán almacenarse, a fin de evitar la excesiva pérdida de humedad, y deberán protegerse de algunos daños, especialmente de aquellos causados por las heladas, durante las primeras etapas de curado.

Aloquines de concreto

8. DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

8.1 Dimensiones

La proporción de la longitud, en relación con el ancho en el plano, no deberá ser menor de 1.5 ni mayor de 2.5, y el ancho no deberá ser menor de 8 cm ni mayor de 11.5 cm. Los adoquines rectangulares, por su parte, deberán tener una longitud de 20 cm y un ancho de 10 cm.

8.2 Tolerancias

Los adoquines se someterán a pruebas, de acuerdo a lo descrito en el Apéndice B, y serán medidos como se indica en el Apéndice C.

8.2.1 *Espesor*

El espesor de cualquiera de los diez adoquines de muestra, deberá comprender el valor de ± 3 mm del espesor especificado.

8.2.2 *Longitud*

La longitud de cualquiera de los diez adoquines de muestra, deberá comprender el valor de ± 2 mm de la longitud especificada.

8.2.3 *Ancho*

El ancho de cualquiera de los diez adoquines de muestra, deberá comprender el valor de ± 2 mm del ancho especificado.

8.2.4 *Cuadratura*

Cada lado deberá ser normal tanto en la cara superior como en la inferior, tomando en cuenta que la diferencia entre las dos lecturas medidas, descritas en el Apéndice C.2.2, no exceda de 2 mm. Hay que tener en cuenta que cuando el diseño de un tipo especial de adoquín incluye lados perfilados, su perfil no se desviará más de 2 mm de lo especificado por el fabricante.

8.2.5 *Superficie de rodamiento*

La superficie de rodamiento deberá ser menor del 70% del área total del plano, cuando aquella sea el área limitada por un radio específico.

9. RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión característica de cualquiera de los diez adoquines, no será menor de 50 N/mm², cuando uno se somete a prueba, de acuerdo al método descrito en el Apéndice D, y cuando se le haya aplicado el factor de corrección apropiado, tomado de la tabla I, a fin de adaptar el efecto de la proporción espesor/ancho del adoquín y la influencia de cualquier bisel o radio.

TABLA I. Factores de corrección para la resistencia a la compresión.

| Espesor del adoquín (mm) | Tipo de adoquín | |
|--------------------------|-----------------|----------|
| | Liso | Biselado |
| 60 o 65 | 1.00 | 1.06 |
| 80 | 1.04 | 1.11 |
| 100 | 1.08 | 1.16 |

10. CERTIFICADO DEL FABRICANTE

Con cierta regularidad, el fabricante vigilará que, en el momento de la entrega, los adoquines cumplan con los requisitos de estas especificaciones. Si el comprador lo requiere, podrá solicitar un certificado de calidad al fabricante.

11. INSTALACIONES PARA EL MUESTREO

El comprador o su representante tendrán acceso, siempre que ello sea razonable, al lugar donde se fabrican o almacenan los adoquines, con el propósito de someter a prueba tanto los materiales como los adoquines terminados, revisando al mismo tiempo, el proceso de fabricación y marcado de los adoquines. El vendedor hará, libre de gastos extras, arreglos para proporcionar dichas instalaciones, la mano de obra necesaria para la revisión, las pruebas, la inspección y el marcado de los adoquines, antes de su entrega, ya que es necesario asegurarse de que los adoquines cumplan con los requisitos especificados.

12. ADOQUINES MUESTRA PARA PRUEBAS

12.1 Generalidades

Cuando se requiera, las muestras deberán tomarse del envío correcto, de acuerdo con lo enunciado en el Apéndice B, ya sea del total o de una parte del pedido. Estas muestras se podrán tomar, en base a lo consignado en los incisos 12.2 o 12.3, y serán un modelo característico o del pedido.

12.2 Muestreo por parte del comprador

Para revisar las dimensiones establecidas en el apartado 8 y la resistencia estipulada en el apartado 9, el comprador puede tomar antes o inmediatamente después del envío, diez adoquines de muestra por cada pedido de 20 000 o menos. Para pedidos mayores de 20 000, se pueden tomar diez adoquines de muestra por cada pedido.

12.3 Muestreo para pruebas independientes

Cuando se decida que es necesario llevar a cabo pruebas independientes, según se indica en el apartado 14, se tomará una muestra al azar entre diez adoquines, la cual se marcará en presencia del vendedor y del comprador.

13. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Si alguno de los resultados obtenidos en las pruebas, no cumple con los requisitos de los apartados 8 y 9, se considerará que el grupo

de 20 000 adoquines, ya sea todo o parte del pedido, tampoco obedecerá dicha especificación.

14. PRUEBAS INDEPENDIENTES

14.1 Muestreo y pruebas

Si lo solicitaran el vendedor o el comprador, se efectuarían las pruebas independientes en un laboratorio de pruebas, escogido por ambas partes, cuyos resultados deberán aceptarse. Las muestras requeridas para estas pruebas se seleccionarán de acuerdo al apartado 12, se medirán y se probarán en base a lo señalado en los apartados 8 y 9, y los resultados se estimarán, como se indica en el apartado 13.

14.2 Costo de las pruebas

A menos que se especifique lo contrario en el momento de firmar el pedido, el costo de las pruebas independientes se pagará como se precisa a continuación:

- a) *por el vendedor*, en caso de que los resultados muestren que los adoquines no cumplen con las especificaciones;
- b) *por el comprador*, en caso de que los resultados muestren que los adoquines cumplen con las especificaciones.

APENDICE A

A. DETERMINACION DE LA PORCION SOLUBLE EN ACIDO DEL AGREGADO FINO

A.1 Equipo

El equipo estará compuesto por los siguientes elementos:

- a) una balanza que soporte 100 g y cuente con una precisión de 0.1 g;
- b) un matraz cónico de boca ancha con capacidad de 500 ml;
- c) papeles filtro Whatman del núm. 40;
- d) embudo de filtro y soporte;
- e) frasco para lavar;
- f) cilindro medidor, con una capacidad de medición de 25 ml;
- g) cápsula de evaporación;
- h) placa calentadora eléctrica;
- i) horno capaz de mantener una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

A.2 Materiales

Solución de ácido clorhídrico (4N). Se preparará tomando 360 ml de ácido clorhídrico concentrado (grado técnico) de una densidad de 1.18 y diluyéndolo con agua destilada hasta completar un volumen de 1 litro.

Agua destilada.

A.3 Método

Se obtendrán 50 g como muestra representativa del agregado fino, utilizando uno de los métodos definidos en la norma BS 812.

Esta muestra se secará en el horno a 105°C con un peso constante, M_1 . Un papel filtro Whatman del núm. 40, deberá secarse también en el mismo horno y deberá pesarse (peso constante M_2).

Posteriormente se pondrá la muestra en el matraz cónico de 500 ml; se añadirán 25 ml de ácido clorhídrico estándar, y luego se agitará la mezcla. Cuando haya cesado la efervescencia, se añadirán 25 ml de ácido clorhídrico estándar y se agitará de nuevo. Esta operación se repetirá hasta que la efervescencia cese por completo.

Cuando al añadir más ácido no se produzca más efervescencia, el matraz se pondrá al fuego hasta que la solución esté caliente, pero no hirviendo. Si hay efervescencia al calentar, se dejará que ésta termine, y se probará la solución caliente, agregándole ácido clorhídrico estándar, con el propósito de ver si ocurre más efervescencia. Cuando no pase esto, la solución caliente se decantará a través del papel filtro Whatman del núm. 40, previamente pesado.

Al residuo no disuelto del agregado que queda en el matraz, una vez decantado el ácido, se le añadirán 50 ml de agua destilada caliente pero no hirviendo, y luego se agitará el matraz. El agua se decantará a través del papel filtro, y este proceso de lavado se repetirá cinco veces.

Por otra parte, el residuo se lavará a continuación en una cápsula de evaporación junto con el papel filtro, y se evaporará en un horno a fin de secarlo, a una temperatura de 105°C para alcanzar un peso constante. El agregado y el papel filtro secos se pesarán, para obtener M_3 .

A.4 Cálculos

Masa de la muestra original seca: M_1 g

Masa del papel filtro seco: M_2 g

Masa del papel filtro y la muestra seca, después del tratamiento: M_3 g

Masa del residuo de la muestra seca, después del tratamiento: $M_4 = M_3 - M_2$ g

Pérdida de masa, debido al tratamiento con ácido: $M_1 - M_4$ g

Porcentaje de pérdida de masa, debido al tratamiento con ácido: $\frac{M_1 - M_4}{M_1} \times 100\%$

APENDICE B

B. METODOS PARA MUESTREO DE ADOQUINES

B.1 Muestreo en movimiento

Siempre que sea factible, se tomarán las muestras mientras las unidades están en movimiento, es decir, durante la carga o la descarga. En este caso, se tomará al azar un adoquín de cada una de las diez secciones del pedido que se deberá probar, las cuales son aproximadamente iguales.

B.2 Muestreo de un lote

El lote, o la parte designada del mismo, se dividirá en diez secciones real o imaginariamente, y se tomará un adoquín al azar de cada sección. El patrón de muestreo acordado previamente será tal, que los adoquines se tomarán de la parte alta y de los lados de las secciones que sean accesibles, así como de la parte interior de la pila. Cuando se necesiten dos o más muestras de diez adoquines, para representar diferentes porciones de la pila, se deberá emplear el mismo procedimiento en cada

Adoquines de concreto

determinado número de adoquines. Las muestras se marcarán de tal manera, que el número de adoquines escogidos de la pila, representado por la muestra, quede claramente definido.

B.3 Almacenamiento de las muestras

Los adoquines que se tomen como muestra, deberán protegerse de daños y de cualquier tipo de contaminación hasta que se sometan a prueba.

APENDICE C

C. METODO PARA MEDIR TANTO LAS DIMENSIONES, EL AREA TOTAL EN PLANTA, COMO EL AREA DE LA SUPERFICIE DE DESGASTE

C.1 Determinación del espesor, del largo y del ancho

C.1.1 Equipo

El equipo estará formado por:

- a) Calibradores de acero;
- b) una regla de acero que mida hasta 30 cm, con una precisión de 0.5 mm.

C.1.2 Espesor

El espesor de la muestra se medirá con los calibradores de acero, en cuatro puntos diferentes, cercanos a los 0.5 mm. El valor medio de estas mediciones deberá ser lo más próximo a 0.5 mm.

Adoquines de concreto

C.1.3 Largo y ancho

El largo y el ancho se medirán usando los calibradores o la regla de acero hasta alcanzar 0.5 mm de precisión. La localización precisa de los puntos para estas mediciones, se hará de común acuerdo entre el vendedor y el comprador.

C.2 Determinación de la cuadratura

C.2.1 Equipo

El equipo constará de:

- a) Una escuadra de ingeniero, o
- b) un patrón perfilado;
- c) un manómetro calibrado.

C.2.2 Procedimiento

Con el mango de la escuadra o del patrón perfilado en contacto con la cara superior o inferior del adoquín, un lado del adoquín deberá estar en contacto con la hoja de nivelación de la escuadra o del patrón. La prueba se llevará a cabo, midiendo con el manómetro calibrado el espacio libre que haya entre la escuadra o el patrón y el lado del adoquín en puntos de 10 mm de cada borde superior e inferior. Esta medición deberá efectuarse en seis puntos diferentes alrededor del adoquín.

C.3 Determinación del área total del plano o superficie de desgaste

El área total del plano o superficie de desgaste, según se definió en el subinciso 8.2.5, podrá calcularse multiplicando el largo por el ancho.

El método, que a continuación se presenta, podrá usarse como una alternativa.

C.3.1 Equipo

El equipo estará constituido por:

- a) una balanza que soporte 100 g, y cuente con una precisión de 0.01 g;

- b) hojas de cartulina delgada de espesor uniforme;
- c) un lápiz afilado;
- d) un calibrador-marcador de dos piernas desiguales, (véase la figura 1);
- e) unas tijeras afiladas;
- f) una regla de acero con graduaciones de 0.5 mm.

C.3.2 Procedimiento

Se tomará un adoquín de cada diez. Su área, medida como se describe a continuación, se deberá usar en el cálculo de la resistencia a la compresión de la muestra.

El adoquín se colocará con la superficie de desgaste hacia arriba sobre la cartulina, y se trazará su perímetro con un lápiz. La forma así obtenida, se cortará exactamente y se pesará con una precisión de 0.01 g.

Asimismo, se cortará en forma exacta un rectángulo de 20 x 10 cm de la misma cartulina, el cual se pesará con la precisión indicada anteriormente.

El área se calcula con la siguiente operación:

$$A_s = \frac{20\,000 W_s}{W}$$

donde A_s = área del adoquín en cm^2 ;

W_s = peso en g, de la cartulina con la forma del adoquín de muestra;

W = peso en g, del rectángulo de cartulina de 20 x 10 cm.

C.3.3 Área de la superficie de desgaste

Si el adoquín tiene un bisel o un radio, y es necesario determinar el área de la superficie de desgaste, se podrá dar otro uso al rectángulo de cartulina, de la siguiente manera:

El ancho del bisel o del radio se medirá en cuatro puntos diferentes; el valor medio se determinará, y el calibrador se ajustará a este valor.

Posteriormente, se utilizará el calibrador para trazar una línea alrededor del contorno del rectángulo de cartulina. Este último se deberá cortar exactamente, y se pesará con una precisión de 0.01 g.

El cálculo anterior se repetirá usando el peso del nuevo rectángulo.

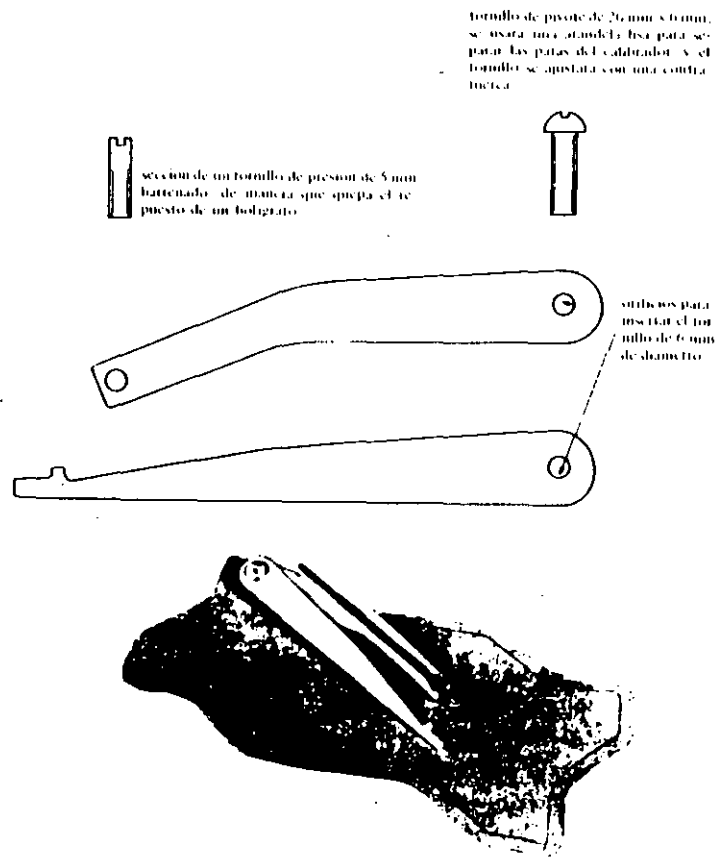


Figura 1. Calibrador de patas desiguales.

APENDICE D

D. PRUEBA PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

D.1 Máquina para la prueba

La máquina para la prueba podrá ser de cualquier tipo confiable, con la capacidad suficiente para efectuar la prueba y que sea capaz de aplicar la cantidad de carga especificada. Con respecto a la duración y frecuencia de la aplicación de carga, se deberá cumplir tanto con los requisitos de la norma BS 1610, como con los del inciso 2.1 de la norma BS 1881, parte 4.

D.2 Procedimiento de prueba

Las muestras deberán someterse a prueba en condiciones húmedas, después de haber estado almacenadas por lo menos durante 24 horas en agua, a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Antes de sumergir los adoquines en el agua, será preciso determinar el área suficiente, de acuerdo al método descrito en el Apéndice C.

Las placas de la máquina se limpiarán con un paño, y se deberá quitar cualquier residuo de arenilla suelta u otro material, que se encuentre en las caras de contacto del adoquín. Por otra parte, se usará triplay de 4 mm de espesor como empaque, el cual se colocará entre las caras superior e inferior de la muestra y las placas de la máquina; estas tablillas deberán ser 5 mm, por lo menos, más grandes que el adoquín. Es necesario emplear empaques nuevos para cada muestra que se someta a prueba.

El adoquín se deberá colocar en la máquina con la superficie de desgaste hacia arriba, de tal manera que los ejes longitudinal y transversal de aquél, queden alineados con los ejes de las placas de la máquina.

La carga no se deberá aplicar de golpe y, además, se aumentará continuamente a una velocidad aproximada de 15 N/mm² por minuto, hasta que no se pueda soportar una carga mayor. También se deberá registrar la carga máxima aplicada al adoquín.

La resistencia a la compresión de cada adoquín de muestra, deberá calcularse dividiendo la carga máxima entre el área total del plano, representada por A₁, y multiplicando el resultado por el factor correspondiente, tomado de la tabla 1, apartado 9. Dicha resistencia se expresará con una precisión de 1 N/mm².

D.3 Procedimiento de cálculo

La resistencia característica se calculará tomando como base los valores propios de los diez adoquines, como fueron determinados en el inciso D.2.

A su vez, la desviación estándar se determinará a partir de la muestra de diez adoquines, utilizando la fórmula:

$$s = \frac{\sum (f_i - f_m)^2}{9}$$

$$s = \frac{\sum f_i^2 - \frac{(\sum f_i)^2}{10}}{9}$$

(la segunda fórmula es más adecuada, cuando se utiliza una calculadora)

- donde s = desviación estándar (N/mm²);
- f_i = la resistencia a la compresión de cada una de las muestras (N/mm²);
- f_m = media aritmética (promedio) de las resistencias a la compresión de todas las muestras (N/mm²).

La resistencia característica, representada por f_k, se calcula de la siguiente manera:

$$f_k = (f_m - 1.64s)$$

La resistencia característica se registrará con una precisión de 1 N/mm².

D.4 Ejemplos:

D.4.1 Cálculos, utilizando la fórmula 1 indicada en el apartado D.3.

| Número del adoquín | Resistencia del adoquín f _i (N/mm ²) | f _i - f _m | (f _i - f _m) ² |
|--------------------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 61.5 | 2.0 | 4.00 |
| 2 | 58.0 | -1.5 | 2.25 |
| 3 | 55.5 | -4.0 | 16.00 |
| 4 | 56.6 | -3.0 | 9.00 |
| 5 | 65.0 | 5.5 | 30.25 |
| 6 | 59.5 | 0 | 0 |
| 7 | 66.5 | 7.0 | 49.00 |
| 8 | 55.0 | -4.5 | 20.25 |
| 9 | 60.0 | 0.5 | 0.25 |
| 10 | 57.5 | -2.0 | 4.00 |

Σ = 595

Σ = 135

$$\text{Resistencia promedio del adoquín} = f_m = \frac{595}{10} = 59.5 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_m)^2}{9}} = \sqrt{\frac{135}{9}} = 3.87 \text{ N/mm}^2$$

Adoquines de concreto

Obtención de la resistencia característica:

$$\begin{aligned}
 f_k &= (f_m - 1.64s) \\
 &= (59.5 - 1.64 \times 3.87) \\
 &= 59.5 - 6.35 \\
 &= 53 \text{ N/mm}^2 \text{ al valor más aproximado de } 1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Resistencia promedio del adoquín} = f_m = \frac{595}{10} = 59.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{\sum f_i^2 - \frac{(\sum f_i)^2}{10}}{9}} \\
 &= \sqrt{\frac{35537.5 - \frac{(595)^2}{10}}{9}} \\
 &= 3.87 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

D.4.2 Cálculos, utilizando la fórmula 2 indicada en el apartado D.3.

| Número del adoquín | Resistencia del adoquín f_i (N/mm ²) [*] | $(f_i)^2$ |
|--------------------|---|--------------------|
| 1 | 61.5 | 3782.25 |
| 2 | 58.0 | 3364.00 |
| 3 | 55.5 | 3080.25 |
| 4 | 56.5 | 3192.25 |
| 5 | 65.0 | 4225.00 |
| 6 | 59.5 | 3540.25 |
| 7 | 66.5 | 4422.25 |
| 8 | 55.0 | 3025.00 |
| 9 | 60.0 | 3600.00 |
| 10 | 57.5 | 3306.25 |
| | $\Sigma = 595$ | $\Sigma = 35537.5$ |

La resistencia característica se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 f_k &= (f_m - 1.64s) \\
 &= (59.5 - 1.64 \times 3.87) \\
 &= (59.5 - 6.35) \\
 &= 53 \text{ N/mm}^2 \text{ al valor más aproximado de } 1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

* N/mm² = 10.2 kg/cm²

PUBLICACIONES DEL BSI, REFERIDAS
A ESTA TERCERA PARTE:

| | |
|---------|---|
| BS 12 | <i>Portland cement (ordinary and rapid-hardening).</i> |
| BS 146 | <i>Portland-blastfurnace cement.</i> |
| BS 812 | <i>Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers.</i> |
| BS 882 | <i>Aggregates from natural sources for concrete (including granolithic).</i> |
| BS 1014 | <i>Pigments for Portland cement and Portland cement products.</i> |
| BS 1047 | <i>Air-cooled blastfurnace slag coarse aggregate for concrete.</i> |
| BS 1610 | <i>Methods for the load verification of testing machines.</i> |
| BS 1881 | <i>Methods of testing concrete for strength.</i> |
| BS 3892 | <i>Pulverized-fuel ash for use in concrete.</i> |
| BS 4027 | <i>Sulphate-resisting Portland cement.</i> |



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AREAS URBANAS

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

OCTUBRE 1994.

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

" DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AREAS URBANAS "

El notable incremento de la población de nuestro País, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc., que es necesario satisfacer muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos para éllo.

De esta manera es frecuente observar el crecimiento de áreas urbanas en las que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc., problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente, por demandar para éllo la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel municipal, o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

En el renglón de servicios municipales, destaca el relativo a la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en sí reviste desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación y mantenimiento.

Este último aspecto, el relativo a la conservación y mantenimiento de los pavimentos de una población, debe considerarse trascendental en el desarrollo de una área urbana, toda vez que para su ejecución puede llegar a requerir inversiones tan importantes, - que ahogue económicamente el municipio, restringiendo las inversiones necesarias en otros renglones, o bien, se descuide completamente, con los consiguientes problemas que esta decisión trae' consigo.

Por todo lo anterior, se considera fundamental en la planeación y desarrollo de áreas urbanas en general, y en el caso de - los pavimentos en particular, la aplicación de técnicas racionales para la planeación y diseño de las diversas obras así como - el empleo de pólíticas apropiadas de financiamiento y administración de los recursos monetarios.

En lo que se refiere al caso de los pavimentos para áreas urbanas, el establecimiento de tales pólíticas de financiamiento y administración está íntimamente ligado al diseño de los mismos, - ya que, como se verá más adelante, tales aspectos constituyen -- unos de los factores determinantes en la elección del tipo de pavimento.

Para los fines de este artículo, se considerará al pavimento como una estructura constituida por varias capas, subbase, base y superficie de rodamiento, apoyadas sobre el terreno natu -

ral o sobre una capa subrasante. La superficie de rodamiento puede ser una carpeta de concreto asfáltico, losa de concreto hidráulico o adoquines.

Para propósitos de diseño, el ingeniero debe contar con la información y herramientas necesarias para lograr un diseño adecuado del pavimento.

La información de partida o parámetros de diseño presentan las condiciones bajo las cuales el pavimento debe funcionar durante su vida útil.

Los parámetros de diseño pueden clasificarse en los grupos siguientes:

Parámetros de : Tránsito y cargas
ambientales
de construcción
de diseño estructural
de mantenimiento
operacionales
restrictivos

A continuación se comentarán brevemente los aspectos principales que constituyen los parámetros, analizados desde un punto

de vista conceptual, Posteriormente se desarrollarán con alguna amplitud los aspectos básicos incluyendo algunos métodos de diseño de pavimentos.

1.- Parámetros de Tránsito y Cargas.- Están constituidos por la información consistente en la caracterización de los diferentes tipos de vehículos que integran o integrarán el tránsito. Los datos requeridos son los siguientes:

- Tipos de vehículos
- Cargas por ejes
- Número de aplicaciones
- Distribución del tránsito durante el año
- Canalización del tránsito

Se encuentra un rango muy amplio en el tránsito, puede estar constituido desde unos cuantos automóviles al día, - en zonas residenciales, hasta fuertes volúmenes de camiones pesados en áreas industriales, comerciales y agrícolas. Todo este rango puede encontrarse en una misma área. En el caso de rehabilitación de pavimentos se cuenta desde luego con mayor información de este tipo; cuando se trata de proyecto de pavimentos, se tropieza con el problema de la estimación del tránsito, sobre todo en lo que concierne a la -- proyección del mismo hacia el futuro. Para solucionar este problema pueden tomarse modelos de situaciones semejantes.

Existen situaciones en que el tránsito tiene variaciones notables durante el año, coincidiendo por ejemplo con período de cosechas, de producción o turismo, que es conveniente tomar en cuenta. Así mismo, puede ocurrir que el tránsito pesado se canalice por un carril determinado, o bien que transiten vehículos cargados en un sentido y descargados en el otro.

Igualmente es conveniente tomar en consideración el tránsito de construcción, que en ocasiones llega a ser el más importante en la vida de un pavimento.

2.- Parámetros Ambientales.- Entre los principales pueden señalarse los siguientes:

- Tipo de suelo
- Topografía
- Régimen pluviométrico
- Drenaje superficial y subdrenaje
- Temperatura ambiente.

Puede mencionarse que los parámetros incluidos en este grupo son muy importantes, ya que influyen con carácter principal en el diseño de un pavimento. Es por ello necesario identificar los tipos de suelos sobre los que se construirán los pavimentos y caracterizarlos mediante las pruebas de la-

boratorio establecidas al respecto. En el caso de la topografía del área, es también necesario tomarla en cuenta, ya que, además de estar ligada al drenaje del área, en ocasiones originará cortes y terraplenes que pueden afectar el comportamiento de un pavimento. Como es sabido, por otra parte, el agua bien sea pluvial o freática, puede llegar a constituir un serio problema para un pavimento; el proyecto de un drenaje superficial adecuado, así como algunas obras de subdrenaje pueden redituarse en un comportamiento exitoso. Finalmente puede decirse que la temperatura ambiente y sus variaciones deben ser tomadas en cuenta en el proyecto, ya que pueden en un momento dado constituir un aspecto vital para el mismo por ejemplo, inestabilidad de mezclas asfálticas por excesivo calor, agrietamientos en las mismas por bajas temperaturas, e incluso debe ser tomadas en cuenta en el momento de la construcción, mediante recomendaciones y especificaciones apropiadas.

A diferencia de lo que ocurre en carreteras, generalmente la rasante está obligada, impidiendo movimientos de terracerías, lo que obliga a desplantar el pavimento sobre el terreno natural, cualquiera que sea su calidad y cercanía al nivel de aguas freáticas.

3.- Parámetros de Construcción.- Entre los principales pueden señalarse los siguientes:

- Control de Calidad
- Experiencia del personal
- Disponibilidad del equipo

Como puede verse, estos parámetros pueden llegar a desechar un diseño o tipo de pavimento, por ejemplo uno de tipo rígido en una región en que no se cuente con los recursos necesarios para producir un concreto hidráulico de calidad, o bien un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico, si en las cercanías no existe una planta que lo produzca.

A propósito del control de calidad, conviene hacer hincapié en que éste debe tener un carácter preventivo, y como tal, debe iniciarse con el proyecto mismo. De esta manera, el control de calidad debe comprender aspectos que cubren desde selección de contratistas, pasando por estudio de bancos hasta revisión de especificaciones, tolerancias y pruebas. Por otra parte, el control de calidad debe ser ejercido por todos los que participan en el proyecto y no solamente por el organismo encargado de su control.

4.- Mantenimiento.- Pueden señalarse los siguientes:

- Nivel de mantenimiento

- Tipo de rehabilitación
- Disponibilidad de fondos
- Relación con los usuarios

Como puede observarse, estos parámetros están relacionados con aspectos económicos del proyecto, así como de carácter social. Estos parámetros consisten en evaluar cada diseño desde el punto de vista de mantenimiento que requieren para conservar un nivel de servicios durante la vida de diseño, el costo que esto significa, la disponibilidad de fondos para éllo y la reacción del usuario ante el programa de mantenimiento. En el caso de las áreas urbanas este último aspecto llega a ser de gran importancia.

5.- Parámetros de diseño estructural. En este grupo pueden mencionarse los siguientes:

- Características de la subrasante
- Tipo y calidad de los materiales disponibles.
- Estabilización de suelos.
- Disponibilidad de equipo de pruebas.

En el caso de las áreas urbanas pueden presentarse situaciones un tanto distintas a las que ocurren en carreteras, ya que en cierta forma se está obligado a emplear materiales locales, aún cuando éstos no sean de la calidad deseable, o bien puede llegar el caso de que los bancos utilizados se encuentren en proceso de agotamiento. Esto hace necesario por

lo tanto, que se lleve a cabo una utilización inteligente de los materiales, incluyendo prácticas de estabilización y tratamiento de los materiales con cemento portland, cemento asfáltico y otros productos, para mejorar la calidad de los materiales.

6.- Parámetros Operacionales.- Se refieren a los siguientes aspectos:

- Control de tránsito durante la construcción
- Control de tránsito durante mantenimiento
- Control de tránsito durante la reconstrucción
- Comodidad para el usuario.

Contemplan aspectos en que se ve involucrado el usuario, y su importancia aumenta en la medida en que crece el tránsito, ya que en estas condiciones la intensidad del mismo impide efectuar trabajos de mantenimiento. Se tiene así mismo el aspecto de la comodidad con que el usuario transita, lo cual debe también vigilarse, a través de la calidad de rodamiento atribuida a cada diseño.

7.- Parámetros restrictivos. Se pueden mencionar los siguientes:

- Máximos costos admisibles, a niveles inicial, mantenimiento y operacional.
- Vida de diseño
- Lapso para la primera reconstrucción importante.
- Lapsos entre reconstrucciones importantes.
- Impacto en el ambiente.

Se refieren fundamentalmente a aspectos económicos como puede verse, así como a las interferencias que se produzcan en el tránsito motivadas por trabajos de mantenimiento. Asimismo puede

señalarse a este nivel el aspecto de integrar el pavimento a una unidad arquitectónica o ambiental, como en el caso de empedrados y adoquinados.

De acuerdo con el diagrama del sistema conceptual, el siguiente paso es proceder al diseño del pavimento, aplicando varios de los métodos disponibles y de los cuales se tenga el suficiente conocimiento, experiencia y confianza. Cada uno de los diseños propuestos debe ser evaluado a continuación, desde el punto de vista de la predicción de su comportamiento, a nivel de

CONCLUSIONES

- 1.- Un pavimento urbano en esencia no es distinto al de una carretera o aeropista, y por lo tanto la metodología desarrollada al respecto tiene aplicación a este caso. Sin embargo debemos reconocer claramente que los parámetros que intervienen en el diseño acusan diferencias importantes que deben tomarse en cuenta apropiadamente. Por ejemplo el tránsito, aún cuando los vehículos son iguales a los carreteros, su distribución suele ser bastante diferente; en consecuencia los datos estadísticos que se disponen en nuestro País, a propósito de Carreteras, no pueden ser aplicados a zonas urbanas, careciéndose en este sentido de la información básica, ya que hasta la fecha no existe ningún organismo coordinador de este tipo, y la aplicación de modelos desarrollados en otros países para áreas urbanas no deja de ser riesgosa. De ahí la necesidad de llamar la atención en este punto sobre la necesidad de que reunamos esfuerzos para reunir la información necesaria para la solución racional de este problema.
- 2.- Es público y notorio que nuestros pavimentos urbanos, como regla general se encuentran en muy malas condiciones, ya que su

vida útil suele ser muy reducida, lo cual debe preocuparnos seriamente a los ingenieros, ya que quizás seamos los profesionales que mayor influencia y responsabilidad tenemos en este aspecto. Son múltiples las causas de esta situación; quizás las más importantes sean las siguientes:

- a.- Falso concepto de la economía. Queremos a toda costa -- construir pavimentos baratos, sin caer en la cuenta de que esto, como regla general, conduce a una actitud nefasta, aún cuando en apariencia tratamos de justificarla aduciendo falta de recursos económicos, lo cual no deja de ser un sofisma.
- b.- Cierta falta de conciencia en la importancia que tiene la aplicación de la tecnología apropiada, tanto en el proyecto como en la Construcción del mismo. A menudo los pavimentos son construídos sin ningún estudio previo, siguiendo el juicio personal de algún ingeniero, no siempre suficientemente calificado, o incluso de algún sub-profesional que aplica su propia intuición.
- c.- En los mejores casos, cuando se llega a disponer de un proyecto adecuado, el control de calidad durante la obra suele dejar mucho que desear, con el consiguiente demérito.
- d.- Reglamentación de fraccionamientos.
- e.- Comunicación entre técnicos y planificadores con economistas.

diseño de pavimentos de concreto en ciudades*

RESUMEN

En este artículo se proporcionan procedimientos para el diseño de pavimentos de concreto en calles. Se discuten los factores relacionados con el diseño: espesor, vida del diseño, calidad del concreto, resistencia de la sub-rasante, diseños geométricos, juntas y especificaciones. Se incluye además, información sobre el tránsito y gráficas de diseño.

SUMMARY

In this paper procedures are given for the design of concrete street pavements. Factors involved in design are discussed: thickness, design life, concrete quality, subgrade strength, geometrics, jointing, and specifications. Traffic data and design charts are included.

* Publicado originalmente en "Concrete Information", Portland Cement Association, PCA, con el título "Design of concrete pavement for city streets", 1974.

Las normas establecidas por una comunidad para diseñar y construir sus calles, deben asegurar que los pavimentos tengan un largo período de vida útil, con poco mantenimiento. El exceso de mantenimiento que requieren los pavimentos inadecuados (tales como bacheo y aplicación periódica de capas de sellado), constituye una fuga innecesaria del dinero de los impuestos. Si la inversión se hace construyendo pavimentos adecuados de concreto hidráulico en los que se tienen períodos de vida útil mayores de 50 años, y gastos reducidos de mantenimiento se pueden tener ahorros de dinero que se utilicen en mejoras permanentes del capital.

Los pavimentos de concreto se diseñan considerando tanto el factor económico como un largo período de vida útil. A continuación se presentan los factores relacionados con el diseño de los pavimentos de concreto para lograr el costo anual más bajo posible:

1. Clasificación de calles y de tránsito (incluyendo su volumen y los pesos por eje)
2. Diseño del espesor
3. Vida de diseño
4. Calidad del concreto
5. Resistencia de la sub-rasante y sus características
6. Diseño geométrico
7. Juntas
8. Especificaciones de construcción

CLASIFICACION DE CALLES Y TRANSITO

Los estudios exhaustivos sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la ciudad, pueden proporcionar la información necesaria para el diseño de pavimentos municipales. Una forma práctica de

abordar el problema consiste en establecer un sistema de clasificación de calles. Las calles de características similares tienen esencialmente la misma densidad de tránsito y la misma intensidad de carga por eje. En el presente boletín informativo se utilizan las siguientes clasificaciones de calles:

Calles residenciales ligeras

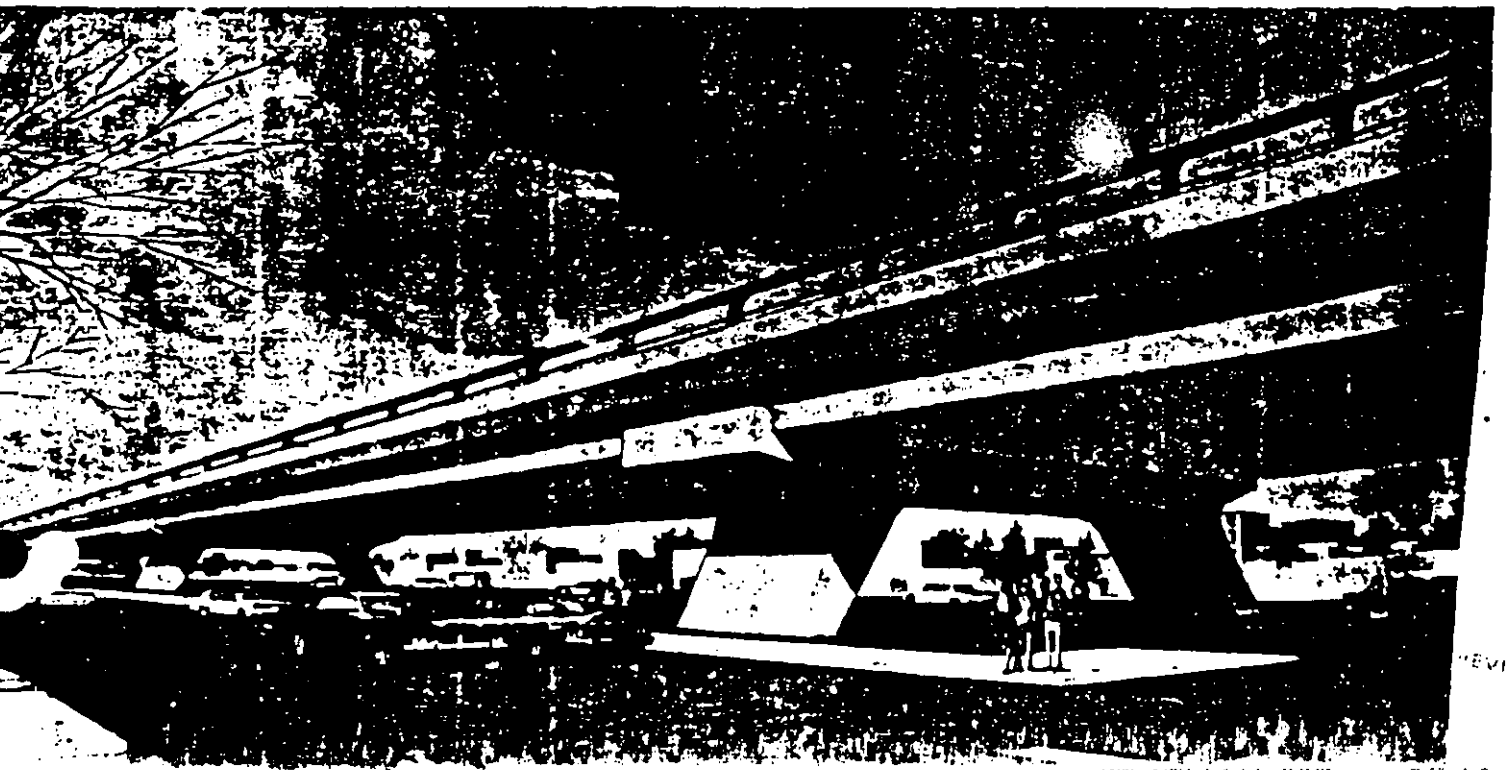
Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos. Las calles residenciales ligeras dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día (vpd), de 1^o a 2^o de tránsito comercial pesado (camiones de dos ejes y seis ruedas o mayores). Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 16.3 ton y de 9 ton máximas sobre eje sencillo.

Calles residenciales

Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las avenidas residenciales ligeras, pero dan servicio a más casas (60 a 140), incluyendo a aquellas que se encuentran en calles cerradas. En ciudades con un patrón de urbanización del tipo de rejilla, el tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares, y ocasionalmente algún camión pesado. Los volúmenes de tránsito varían de 300 a 700 vpd, con un 1^o a 2^o de tránsito comercial pesado por día (vcppd).

Calles colectoras residenciales

Los colectores residenciales reciben todo el tránsito de las calles residenciales de un área y lo distri-



Vías rápidas

Las vías rápidas se diseñan para mover grandes volúmenes de tránsito a velocidades relativamente altas, para las que se justifican diseños extensos y meticulosos que no se incluyen aquí.

Calles comerciales

Estas calles constituyen una categoría especial. Proporcionan acceso a tiendas, y al mismo tiempo sirven al tránsito en los distritos céntricos de negocios. Estas calles se congestionan frecuentemente. Las velocidades de tránsito son bajas. Sin embargo, sus volúmenes de tránsito son relativamente altos con un porcentaje bajo de paso de camiones.

Calles industriales

Las calles industriales dan acceso a las áreas o parques industriales. El volumen total de tránsito puede estar en los rangos más bajos, pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente grande.

Las clasificaciones de calles que aquí se describen, no tienen forzosamente que corresponder a las clasificaciones empleadas en cualquier área metropolitana. Sólo se dan a conocer para indicar en forma general los volúmenes y los pesos por eje de los vehículos que utilizan las avenidas. Estas clasificaciones se resumen en la Tabla No. 1. Los valores son razonables pero deberán compararse y afinarse con el conocimiento de los patrones locales de tránsito.

buyen a los sistemas de calles mayores. Pueden ser de gran longitud y dar servicio a 140 y 300 hogares o más, y tener volúmenes de 700 y 1500 vpd, con 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial pesado.

Calles colectoras

Las calles colectoras son las que sirven a varios ramales y pueden tener varios kilómetros de longitud. Pueden servir a rutas de autobuses y a manobras de camiones en una determinada área, aunque no lo hagan a través de rutas. Los volúmenes de tránsito varían de 2000 a 6000 vpd, con 3^o/o a 5^o/o de tránsito comercial pesado. Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 17.2 ton y de 10.8 ton máxima sobre eje sencillo.

Arterias

Las arterias llevan tránsito desde y hacia vías rápidas y sirven a movimientos mayores de tránsito en áreas metropolitanas que no cuentan con servicio de vías rápidas. Las rutas de autobuses y camiones, así como las rutas federales y estatales numeradas, van comúnmente sobre arterias. Para propósitos de diseño, las arterias están divididas en arterias menores, arterias y arterias mayores, dependiendo del tipo y capacidad de tránsito. Es posible que una arteria menor tenga menos carriles y lleve menos volumen total de tránsito, y sin embargo el porcentaje de camiones pesados que la transitan puede sea mayor que el de una arteria de seis carriles.

Tabla No. 1. Clasificación de calles y espesor normal del pavimento de concreto

| Clasificación de calle | Vpd o TDA, ambos sentidos | Lotes, No. | Vehículos comerciales pesados, 2 ejes, 6 ruedas y mayores | | Espesor Normal del Pavimento de Concreto, (cms) | Máxima carga por eje, toneladas | |
|------------------------|---------------------------|------------|---|---------------|---|---------------------------------|----------|
| | | | Porcentaje | Número al día | | Tándem | Sencillo |
| Residencial ligera | 200 | 20-30 | 1-2 | 3-5 | 12.7-15.2 | 16.3 | 9 |
| Residencial | 300-700 | 60-140 | 1-2 | 5-11 | 12.7-15.2 | 16.3 | 9 |
| Cólector residencial | 700-1,500 | 140-300 | 1-2 | 11-23 | 15.2-17.8 | 16.3 | 9 |
| Colector | 2,000-6,000 | | 3-5 | 80-240 | 15.2-17.8 | 17.2 | 10.8 |
| Arteria menor | 3,000-7,000 | | 10 | 300-700 | 17.8 | 20.8 | 15.8 |
| Arteria | 6,000-13,000 | | 5-7 | 360-780 | 20.3 | 25.4 | 13.6 |
| Arteria mayor | 14,000-28,000 | | 5 | 700-1,400 | 20.3-22.8 | 29.4 | 18.1 |
| Comercial | 11,000-17,000 | | 3-5 | 440-680 | 20.3 | 25.4 | 13.6 |
| Industrial | 2,000-4,000 | | 15-20 | 350-700 | 22.8 | 29.4 | 18.1 |

DISEÑO DEL ESPESOR

Para elaborar un diseño completo es necesario conocer las cargas por eje de vehículos pesados que se esperan durante el período de vida del diseño, así como la resistencia a la tensión por flexión del concreto hidráulico y el valor soporte de la subrasante. A continuación se delinearán tres métodos de diseño.

METODO DE DISEÑO 1

Se utiliza la Tabla No. 1 para determinar el rango de espesor del concreto que normalmente se emplea en cada tipo de calle.

METODO DE DISEÑO 2

Al final de este boletín, informativo, se proporciona una serie de seis gráficas de diseño. Fueron desarrolladas para una clasificación de calles como se indica a continuación:

Gráficas 1 y 2 para calles residenciales ligeras, residenciales y colectores residenciales.

Gráfica 3 para colectores.

Gráfica 4 para arterias menores.

Gráfica 5 para arterias y calles comerciales.

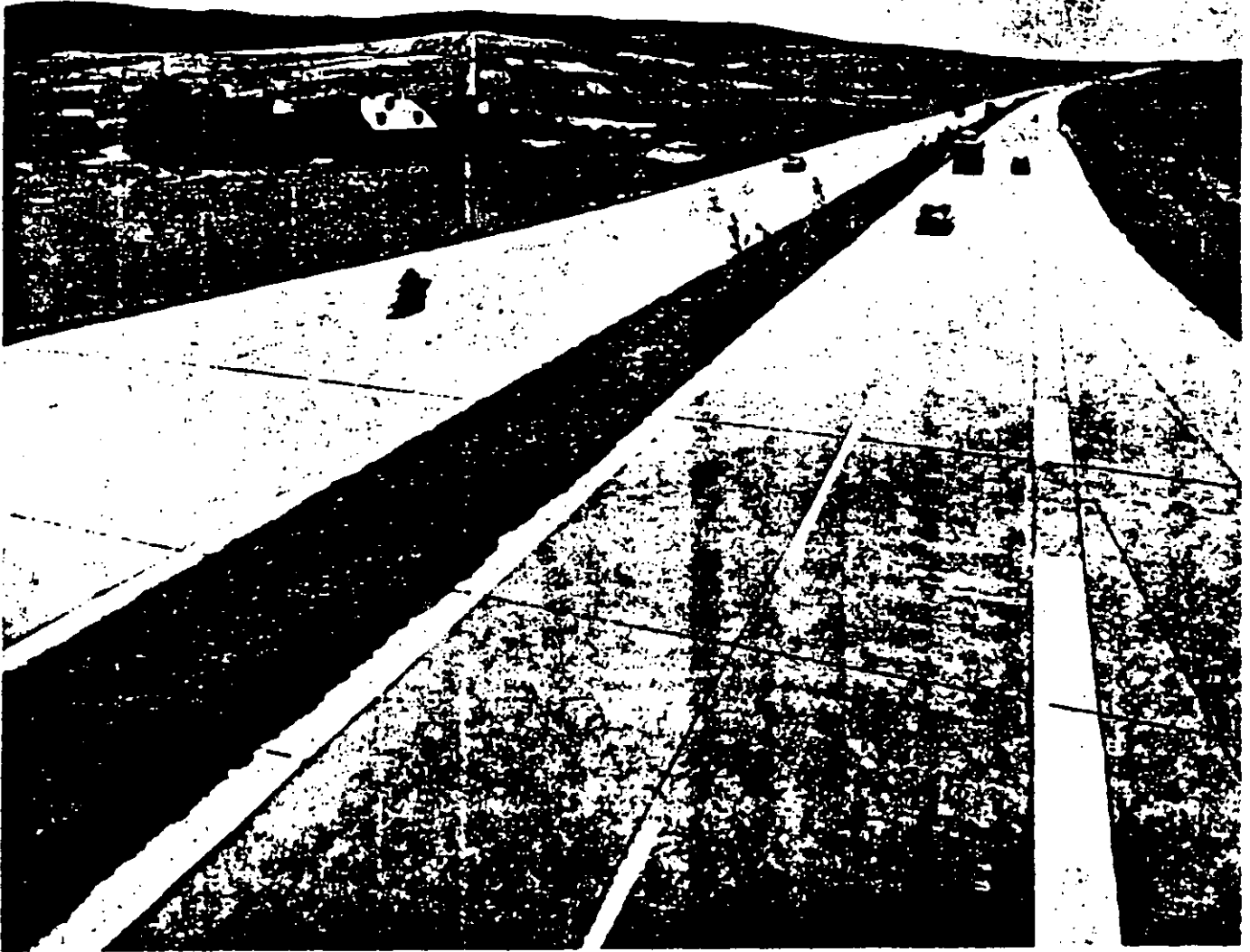
Gráfica 6 para arterias mayores y calles industriales.

Utilizando la gráfica correspondiente, se procede de la siguiente manera:

1. Encontrar si los pesos máximos por eje, que se muestran en la Tabla No. 1, corresponden a los que operan en la localidad. Los valores de la Tabla No. 1 son razonables, pero probablemente son más pesados que los que se prevén generalmente. ^{1,2}
2. Decidir acerca del período de vida de diseño de la calle.
3. Estimar el porcentaje medio por día de vehículos comerciales pesados que podrían circular en ambos sentidos durante la vida del diseño. Si no se cuenta con esta información, se deberá hacer un conteo del tránsito de camiones pesados. Si no se hace ningún conteo, se puede usar la información sobre tránsito de la Tabla No. 1 como guía. Una alternativa en el caso de calles residenciales, consiste en estimar el número de lotes o casas ubicados en la zona donde la calle dará servicio.



4. Normalmente se utiliza para el diseño el módulo de ruptura (MR) del concreto, a los 28 días de edad. Véase el capítulo denominado "Calidad del concreto".
5. El valor soporte de la subrasante se expresa por medio del módulo de reacción "k". Este módulo de la subrasante se determina mediante pruebas de placa. Asimismo, se puede estimar a partir de pruebas de correlación, o puede obtenerse de las guías, que se dan en la sección "Características y resistencia de la subrasante".
6. Utilizando la gráfica de diseño se entra por el lado izquierdo con el dato de tránsito (vcppd), y se proyecta una línea horizontal hacia la línea MR. En seguida se continúa verticalmente hasta encontrar la línea del valor de "k", y horizontalmente, se llega a la escala que da el espesor de la losa. (La línea punteada en cada gráfica es un ejemplo).



METODO DE DISEÑO 3

El tercer método es un análisis completo de diseño, recomendado para grandes municipios, utilizando una información adecuada de tránsito, materiales y suelos. Ver "Diseño del espesor para pavimentos de concreto" de la Asociación del Cemento Portland³. (En particular el método PCA modificado).

En el método modificado, se toman en cuenta los contuos del tránsito de camiones y se lleva a cabo una clasificación de vehículos. Esto es particularmente importante, ya que el porcentaje de tractores con semi-remolque acoplado y camiones combinables puede ser diferente en algunos tipos de calles, de aquellos que se reportan en una tabla típica elaborada con un aparato de medición de cargas W-4. Los departamentos de autopistas, en colaboración con la Administración Federal de Autopistas,

realizan estudios sobre tránsito y aparatos de medición de cargas, cuyos resultados se resumen en un conjunto de tablas numeradas de la W-1 a la W-8. En la tabla W-4, se tabula el número de cargas por eje por grupos para cada tipo de camión. Usando la sección urbana de estos estudios, es posible hacer una clasificación simplificada del conteo de camiones y distribuir entonces las cargas por eje para cada tipo de camión, de acuerdo al patrón de distribución de pesos que se encuentra en la tabla W-4.

Las cargas por eje más pesadas, sirven de norma para el diseño del espesor del concreto, pero estas cargas, que se dan en la tabla W-4, frecuentemente ocurren sólo en unas cuantas rutas. Por lo tanto, si la información se usa para hacer distribuciones de cargas en un área cuyas condiciones de tránsito son diferentes, resulta recomendable excluir los grupos de carga no relacionados, cuando se use la información de cargas W-4.



En rutas mayores con carriles múltiples, se debe considerar la distribución de vehículos comerciales en cada carril. Para calles con dos carriles en cada sentido, es razonable suponer que del 85% al 90% de los vehículos comerciales transitarán por el carril derecho.

PERIODO DE VIDA DEL DISEÑO

Conociendo el tránsito, se puede diseñar un pavimento de concreto para cualquier período de vida que se desee; sin embargo, frecuentemente resulta difícil predecir ciertos cambios en el tránsito. Para caminos y calles densamente transitadas, el tránsito futuro puede tener una influencia considerable en el diseño. Por otra parte, los cambios en el tránsito de calles residenciales y poco transitadas, generalmente tienen escaso significado para el diseño. Es común utilizar un período de cincuenta años como base en el diseño de pavimentos, especialmente para las calles clasificadas como residenciales, ya que rara vez se someten a reorganización o realineación. Para los diseños que aquí se presentan, se utilizaron períodos de vida del diseño de 35 y 50 años.

CALIDAD DEL CONCRETO

Las mezclas de concreto para pavimentar se diseñan:

1. Para proporcionar una durabilidad satisfactoria bajo las condiciones a las que se someterá el pavimento.
2. Para producir la resistencia deseada a la flexión.

Ya que los esfuerzos críticos en pavimentos de concreto se deben a la flexión más que a la compresión, la resistencia a la flexión (expresada como MR) se utiliza en el diseño de pavimentos de concreto. Bajo condiciones promedio, el concreto con un MR (ASTM C78, cargadas en los tercios del claro) de 38.5 Kg/cm² a 49 Kg/cm² a 28 días, es el más económico.

En áreas afectadas por heladas, los pavimentos de concreto sujetos a muchos ciclos de congela-

miento y deshielo, deben protegerse contra sales descongelantes⁴. Es esencial que la mezcla tenga una relación baja de agua/cemento, un contenido de cemento adecuado, suficientes cantidades de aire incluido, un curado y un período de secado con aire apropiados. Las cantidades de aire incluido que se necesitan para obtener un concreto resistente al intemperismo varían con el tamaño máximo de los agregados. Se recomiendan los siguientes porcentajes:

| Tamaño máximo de los agregados (cm) | Aire incluido (%) |
|-------------------------------------|-------------------|
| 3.81 | 5 ± 1 |
| 1.90 & 2.54 | 6 ± 1 |
| 0.95 & 1.27 | 7.5 ± 1 |

Además de hacer más resistente el pavimento de concreto al intemperismo, las cantidades de aire incluido se recomiendan mientras el concreto se encuentra en estado plástico, mejorándolo en los siguientes aspectos:

1. Prevención de la segregación
2. Aumento de la trabajabilidad
3. Reducción del sangrado
4. Reducción de la cantidad de agua necesaria para una trabajabilidad satisfactoria.

Debido a estos benéficos y esenciales efectos tanto en concreto plástico como endurecido, la inclusión de aire se debe incorporar a todos los diseños de las mezclas de pavimentos de concreto.

El agua del mezclado también tiene una influencia crítica en la durabilidad y resistencia del concreto. Cuanto menor sea la cantidad de agua en el mezclado con un determinado contenido de cemento para producir una mezcla plástica y trabajable, mayor será la durabilidad del concreto. La experiencia en el laboratorio y el campo, muestra que para obtener una durabilidad satisfactoria del pavimento, la relación agua/cemento no deberá exceder de 0.53 y el contenido de cemento no debe ser menor de 280 kilogramos por metro cúbico. En áreas donde se presenten frecuentes heladas y deshielos,

y donde la aplicación de agentes de sedimentación son comunes, la relación agua/cemento no deberá exceder de 0.50, con un contenido de cemento mínimo de 304 kilogramos por metro cúbico.

Se puede encontrar información adicional sobre el diseño de mezclas en "Diseño y control de mezclas de concreto".⁶

CARACTERISTICAS Y RESISTENCIA DE LA SUB-RASANTE

Debido a su rigidez, el pavimento de concreto tiene una resistencia a la flexión y una capacidad de carga notables. Por tanto, las presiones debajo del pavimento de concreto son muy leves y se distribuyen sobre áreas relativamente extensas. Esta cualidad del concreto de distribuir cargas pesadas, hace innecesario construir sub-rasantes resistentes de gruesas capas de piedra triturada o grava. En vista de lo anterior, se pueden construir pavimentos de concreto económicos, que tendrán un buen comportamiento, en casi todos los suelos.*

Los suelos de la sub-rasante deben ser de material y densidad uniformes para que el pavimento tenga un comportamiento satisfactorio. Las zonas blandas que aparezcan durante la construcción deberán excavar y recompactarse con el mismo tipo de material que se encuentra en la sub-rasante adyacente. No se puede obtener un soporte uniforme simplemente retacando material granular extra sobre la zona blanda.

Cuando se tiene una sub-rasante razonablemente uniforme, se puede lograr una reducción substancial de la contracción excesiva y la ondulación producida por los suelos expansivos, mediante un control adecuado de la humedad y la densidad durante la compactación. La compactación de suelos expansivos con humedades arriba de la óptima de 2 a 3 puntos (en porciento), como lo señala el método estándar AASHTO, mantiene los caminos de volumen dentro de un mínimo. También reduce la acción diferencial de congelación en los climas norteros. Se debe poner especial cuidado en compactar el relleno alrededor de los tubos de drenaje, instalaciones de drenaje y otras estructuras permanentes en el área pavimentada.* No debe permitirse que la sub-rasante se seque antes de construir el pavimento.

El valor de soporte de la sub-rasante se expresa como valores de "k", o módulo de reacción de la sub-rasante, y se determina mediante pruebas de placa o mediante correlación con otros suelos de los cuales se conocen los valores de "k".** Para el diseño de calles, generalmente se utilizan los siguientes valores de "k".

| "k" Kg/cm ³ | "k" lb/in ³ | Tipo de suelo | Calificación |
|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------|
| 2.77 | 100 | Limos y Arcillas | Satisfactorio |
| 5.54 | 200 | Suelos arenosos | Bueno |
| 8.30 | 300 | Grava arenosa | Excelente |

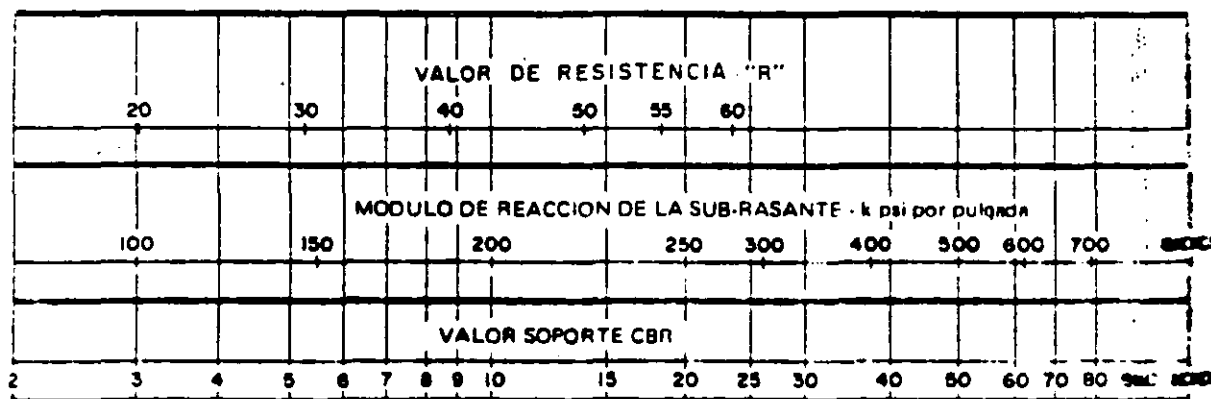


Fig. 1. Correlaciones aproximadas entre los valores de soporte de los suelos.

* En "Sub-rasantes y Sub-bases para Pavimentos de Concreto"⁶ se proporciona una información detallada de los requerimientos de materiales, diseño y compactación.

** Los procedimientos adecuados se proporcionan en "Especificación de trinchera de servicio"⁷
 Para aquellos ingenieros familiarizados con el método de la California o valores de resistencia R, se muestra una correlación en la Figure No. 1.

Aunque en la mayoría de las calles metropolitanas no se requieren sub-bases en los pavimentos de concreto. En el caso de pavimentos de vías rápidas o arterias por las que transita una cantidad grande de camiones pesados (entre 100 y 200 vcppd en ambos sentidos o más), se necesitan sub-bases para evitar que el material fino de la sub-rasante sea extraído por bombeo. Cuando se necesitan sub-bases, éstas deberán construirse con cuidado.

DISEÑO GEOMETRICO

Servicios

La práctica común en los nuevos ramales, indica que las instalaciones de servicio se coloquen a la derecha del ramal, fuera del área pavimentada para facilitar el mantenimiento y la instalación de nuevos servicios. Se deben evaluar las necesidades presentes y futuras, y tomar previsiones para satisfacerlas. La planeación previa puede evitar que en el futuro se tengan que levantar secciones ya pavimentadas para aumentar las instalaciones de drenaje.

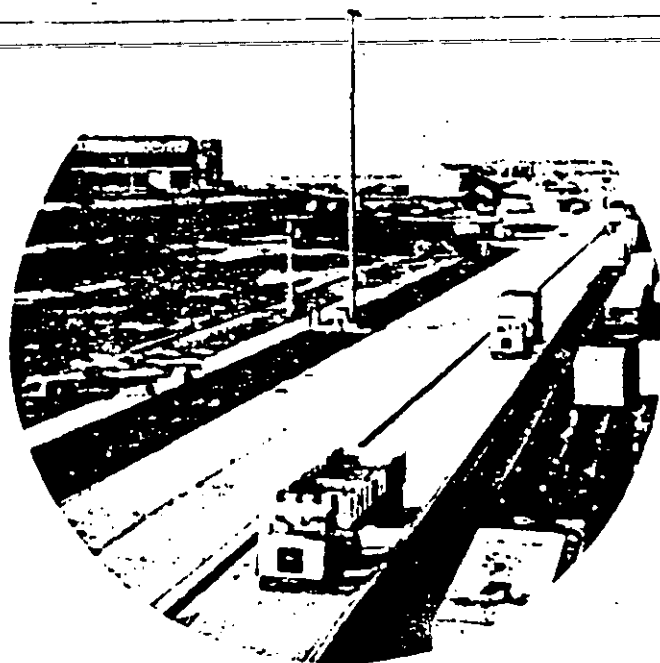
Guarniciones integrales

Una de las formas más prácticas y económicas de construir pavimentos de concreto para las calles metropolitanas, es hacerlas con la guarnición integrada a la sección. Una guarnición integral se construye junto con el pavimento en una sola operación —llevando a cabo todo el trabajo de concreto simultáneamente. La guarnición se construye fácilmente con una cercha y una regla recta mientras se coloca el concreto. Las guarniciones integrales se pueden construir casi con cualquier sección transversal que se desee.

La construcción de guarniciones integrales ofrece al diseñador un factor de seguridad adicional debido al engrosamiento de la sección de la orilla que forma la guarnición. Las tensiones y deflexiones en la orilla del pavimento se reducen, aumentando por consiguiente la capacidad estructural del pavimento. Las ventajas inherentes y la economía de la construcción integral de la guarnición, hacen recomendable su consideración para pavimentos de calles metropolitanas.

Anchos de las calles

Los anchos de las calles varían de acuerdo al tránsito que van a soportar. El ancho mínimo que se recomienda, excepto en casos pocos comunes, es de 7.5 m, con una pendiente transversal máxima de 2 cm por metro. Es deseable que los anchos y pendientes transversales de un mismo carril sean constantes.



Normalmente, los carriles de tránsito tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros. No se recomiendan carriles con un ancho superior a 3.66 metros porque la experiencia demuestra que los conductores tienden a rebasar en carriles anchos, ocasionando accidentes.

Los carriles de estacionamiento tienen normalmente un ancho de 2.13 a 2.44 metros. Un carril de 2.13 metros se utiliza en los lugares donde predominan los automóviles de pasajeros, el carril de 2.44 metros es para dar acomodo a camiones. No se recomiendan carriles de estacionamiento de 1.83 metros de ancho. En las grandes avenidas, los carriles de estacionamiento tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros y también se pueden usar como carriles de tránsito o retorno.

En las calles en las que se prohíbe estacionarse, generalmente se destina un carril de 0.61 metros de ancho a lo largo de la guarnición, como espacio no transitable.

JUNTAS

Las juntas deben diseñarse cuidadosamente y construirse de manera que se asegure su buen funcionamiento. Con excepción de las juntas de construcción, que dividen el trabajo de pavimentación en jornadas convenientes, las juntas en pavimentos de concreto se usan para mantener la tensión dentro de los límites de seguridad y evitar la formación de grietas irregulares. En "Pavimento con guarnición integral, secciones típicas y detalles" 8.9, se dan sugerencias para los detalles de las juntas de calles residenciales.

Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales se colocan para controlar el agrietamiento longitudinal. Generalmente se espacian para hacerlas coincidir con las marcas de los carriles —a intervalos de 2.44 a 3.66 metros. El espaciamiento de las juntas no deberá ser mayor de 3.96 metros, a menos que la experiencia local haya demostrado que los pavimentos se desempeñan satisfactoriamente. La profundidad de las juntas longitudinales deberá ser por lo menos igual a la cuarta parte del espesor del pavimento más 1.25 cm.

La mayoría de los pavimentos con guarnición integral de las calles metropolitanas, se sostienen mediante el relleno detrás de las guarniciones, lo que elimina la necesidad de usar juntas fijadoras longitudinales hechas con varillas o tornillos de tensión.

Juntas transversales

Las juntas transversales de contracción se usan para controlar el agrietamiento transversal. Las juntas de contracción liberan (1) esfuerzos de tensión que ocurren cuando las losas se contraen y (2) esfuerzos de alabeo causados por diferenciales de temperatura y contenidos de humedad dentro de la losa. La mayoría de las juntas de contracción se construyen por medio de aserrado después de que el concreto endurece, ya sea moldeado a mano, o insertando un material prefabricado dentro del concreto plástico. La selección del método se basa, generalmente, en las condiciones ambientales que prevalecen durante la construcción, las características del agregado, y los costos de operación. En cualquier caso, la profundidad de las juntas en las calles metropolitanas deberá ser igual a la cuarta parte del espesor del pavimento.

La malla de acero o alambre que distribuye, como normalmente se emplea, sólo sirve para sostener las orillas de las grietas fuertemente unidas. Las cantidades de acero que se emplean en esta práctica, no aumentan notoriamente la resistencia estructural del pavimento. Si las juntas transversales de contracción se espacian adecuadamente, no aparecerá agrietamiento intermedio, y la distribución de acero se deberá omitir. Por lo tanto, es necesario determinar el espaciamiento de las juntas de contracción que controle el agrietamiento. Generalmente, éste es de 4.57 a 6.1 metros. La mejor guía es la experiencia obtenida en calles que se encuentran en servicio.

La necesidad de contar con dispositivos de transferencia de carga en las juntas de contracción, depende de las condiciones de la sub-rasante y del servicio al que está destinado el pavimento. No se necesitan barras lisas en pavimentos residenciales u otras calles de tránsito ligero, pero se pueden necesitar en arterias diseñadas para soportar los volúmenes y pesos del tránsito de camiones¹⁰.

Cuando se espacian correctamente las juntas transversales de contracción, no se necesitan juntas de expansión, excepto en objetos fijos e intersecciones asimétricas, teniendo en cuenta que:

1. El pavimento se construye con materiales de características de expansión normales.
2. Las juntas de expansión se espacian a intervalos cortos que evitarán la formación de grietas intermedias.
3. El pavimento se construye cuando la temperatura ambiente está por arriba del punto de congelamiento.

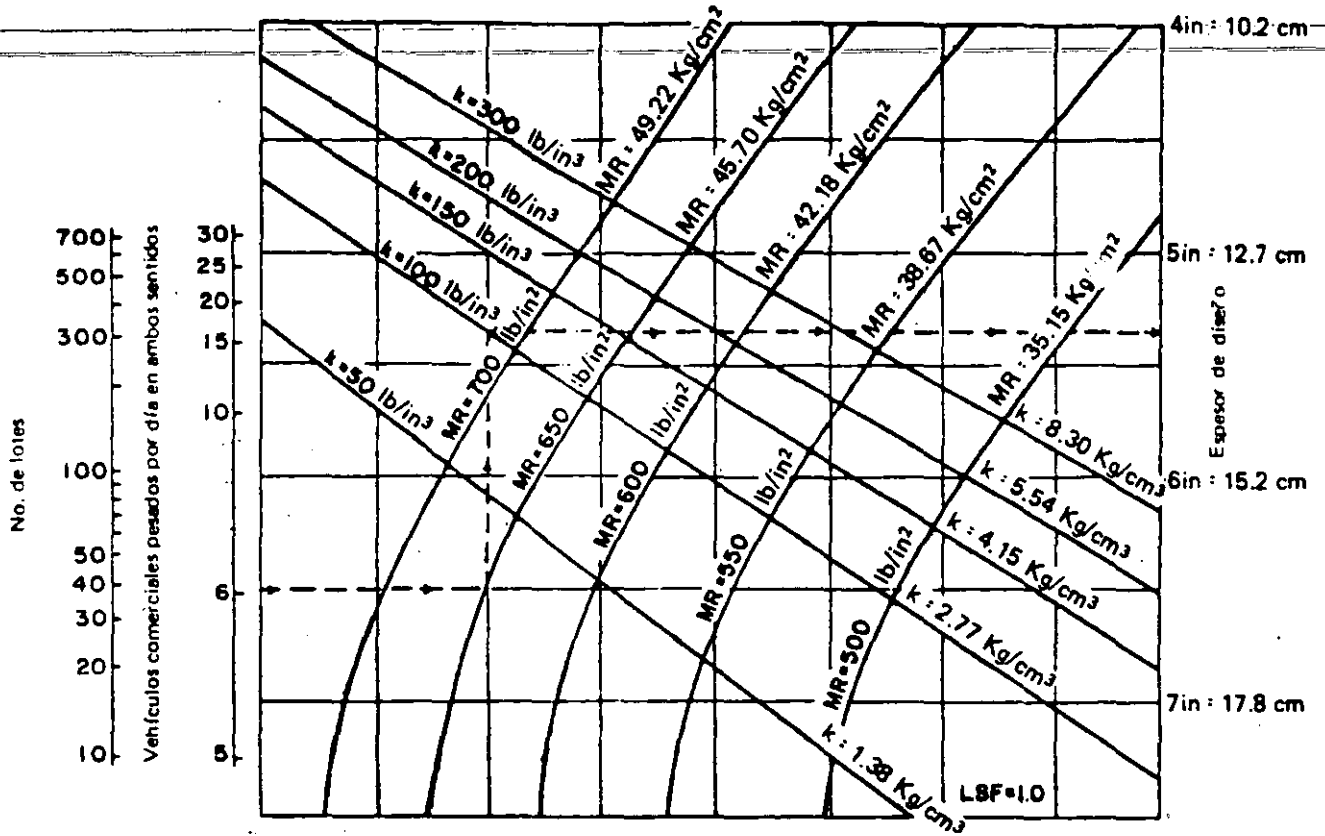
Si el pavimento se construye en clima frío, o si se utiliza material de características expansivas anormales, se hacen necesarias las juntas expansivas —espaciadas a intervalos de 183 a 244 metros.

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

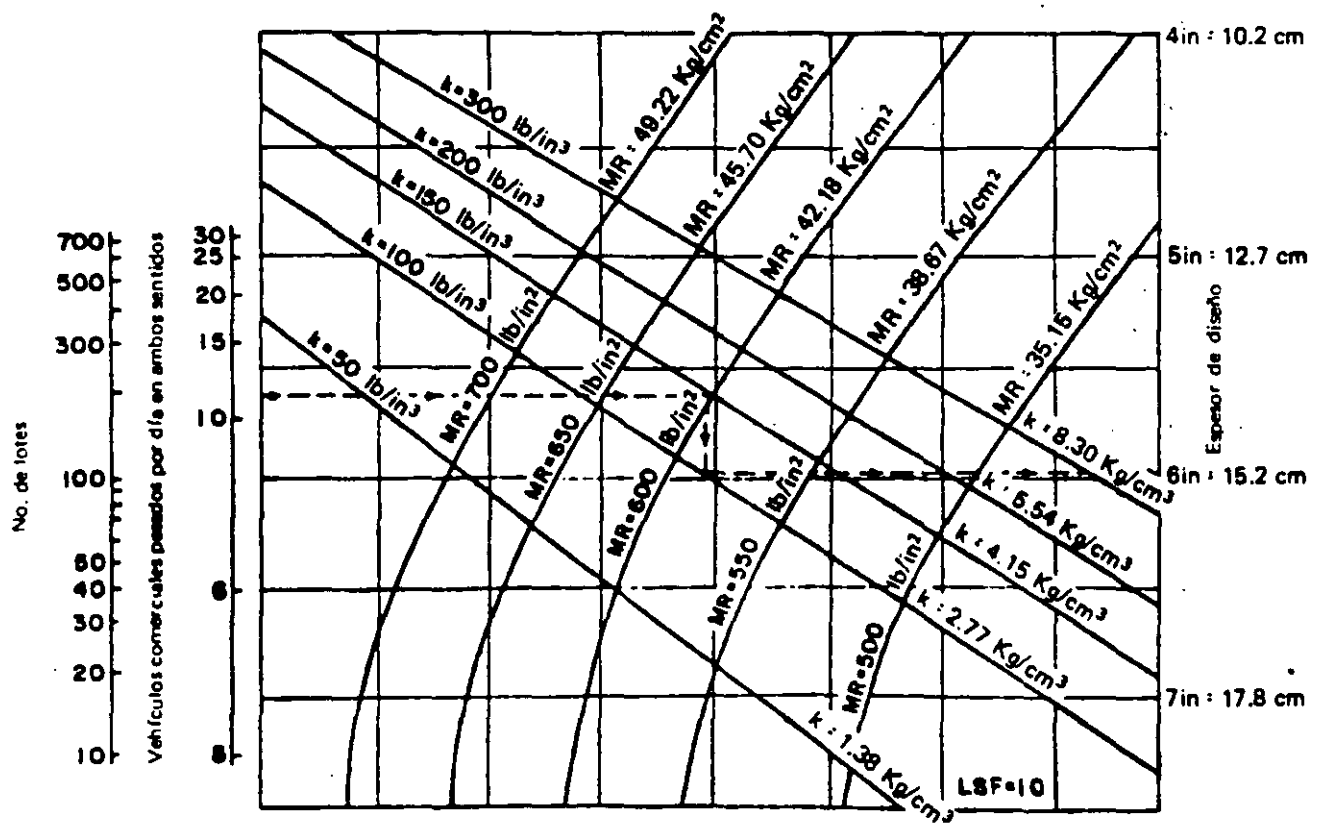
No importa qué tan meticulosamente se diseñe una estructura; no podrá desempeñar la función que de ella se pretende a menos que se tomen todas las precauciones en su construcción, para asegurar la calidad de mano de obra en el resultado final. Para esto se necesitan las especificaciones correctas. Pero las especificaciones no son suficientes si no se apoyan adecuadamente en una inspección competente. La Asociación de Cemento Portland tiene disponibles especificaciones para el pavimento de calles metropolitanas¹¹.

REFERENCIAS

1. Wilson R. E., "Residential Traffic Volumes, Types, Weights," 1965 Yearbook, American Public Works Association, pag. 131-145.
2. Robbins, E. Guy, and Warnes, Cloyd E., "Traffic Data for Concrete Pavement Design", *Transportation Engineering Journal, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, TE1, Paper 9555, February 1973, pag. 17-29.
3. *Thickness Design for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1966. ✓
4. *Scale-Resistant Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1964.
5. *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association, 1968. ✓
6. *Subgrades and Subbases for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1971. ✓
7. *Backfilling Utility Trenches*, Portland Cement Association, 1964.
8. *Integral Curb Pavement, Typical Sections and Details*, Portland Cement Association, 1965.
9. *Integral Curb Pavement, Typical Sections and Details for Residential Streets*, Portland Cement Association, 1965.
10. *Joint Design for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1961. ✓
11. *Suggested Specifications for Construction of Integral Curb Concrete Streets*, Portland Cement Association, 1965.



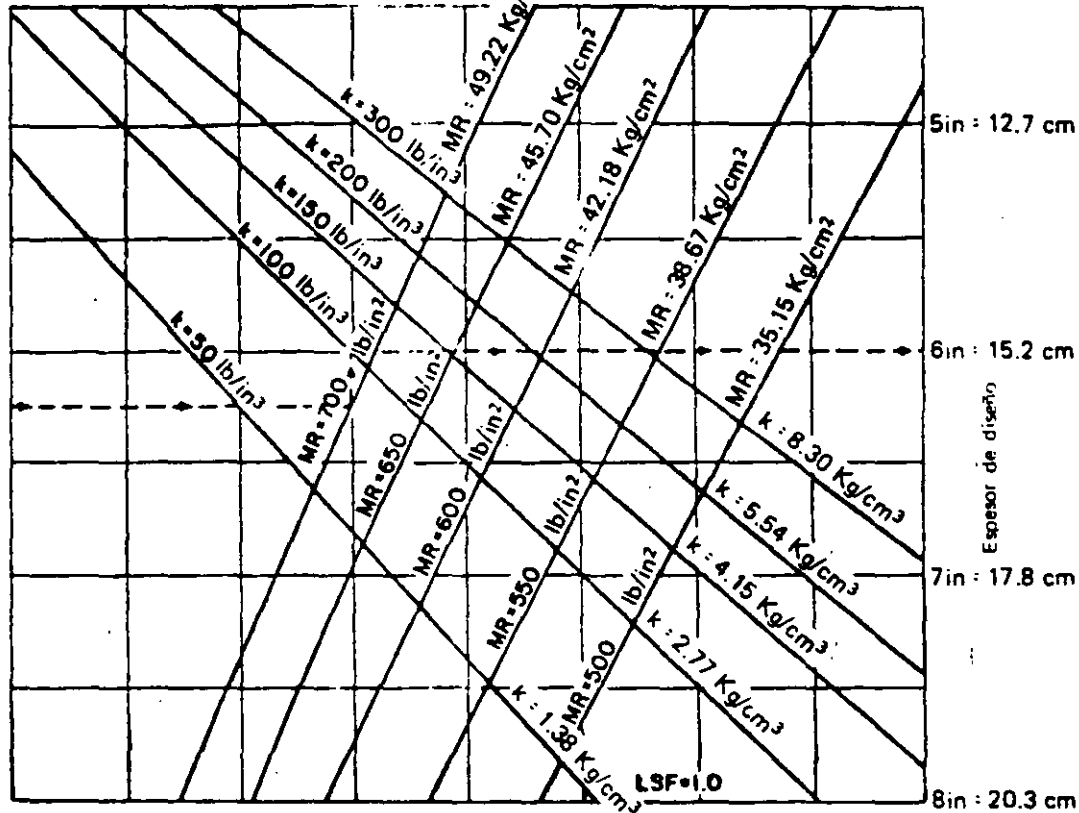
Gráfica No. 1 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un periodo de diseño de 35 años.



Gráfica No. 2 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un periodo de diseño de 50 años.

Ventefolios comerciales pesados por día en ambos sentidos

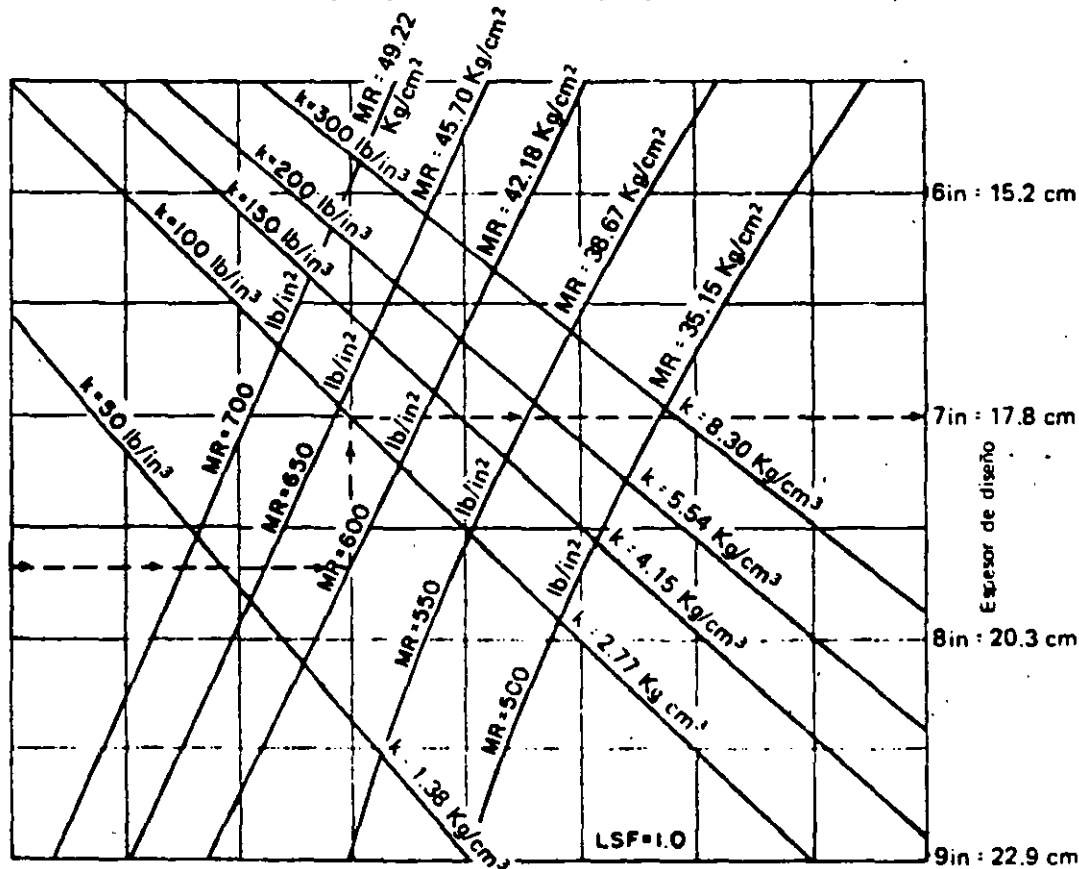
300
200
100
50
20
20
50 años
35 años



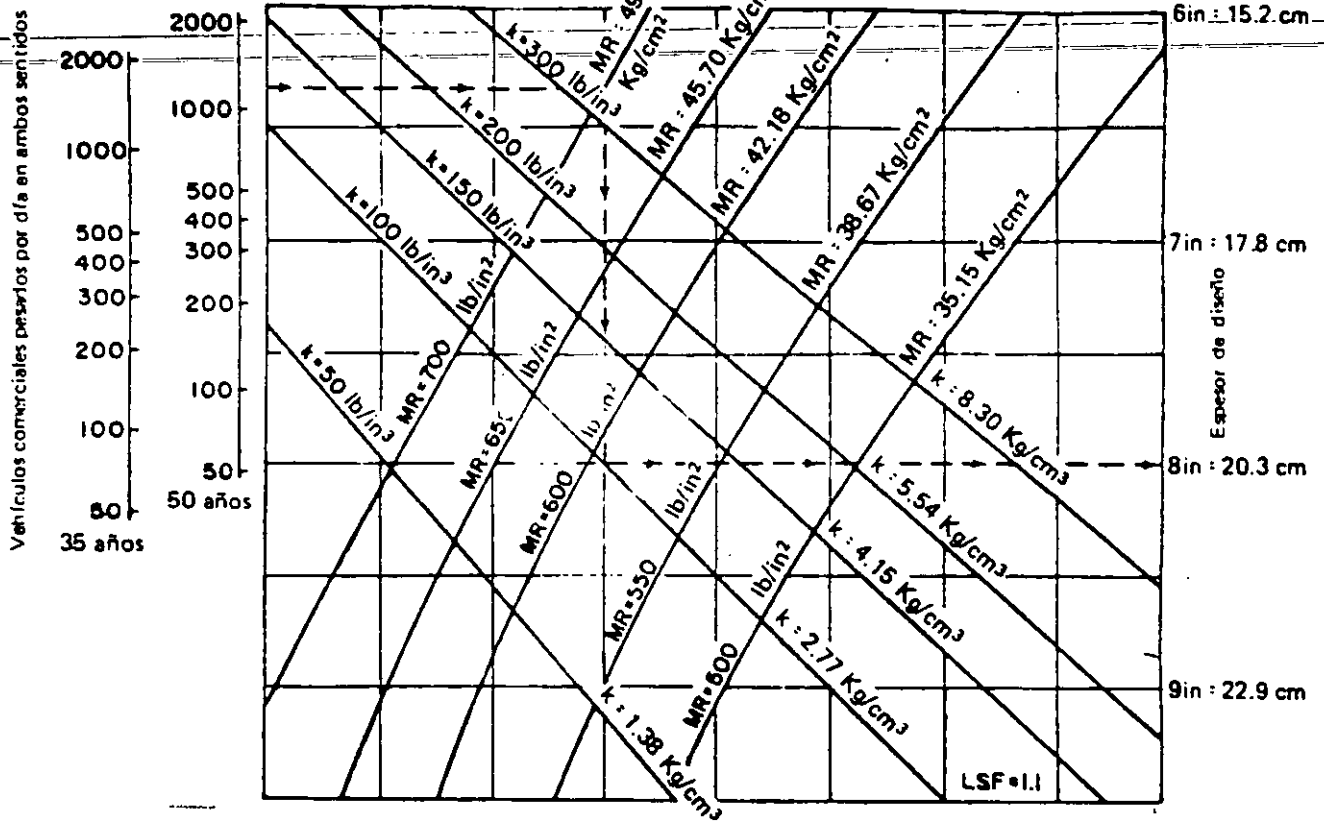
Gráfica No. 3 Gráfica de diseño del espesor para calles colectoras para períodos de diseño de 35 y 50 años.

Ventefolios comerciales pesados por día en ambos sentidos

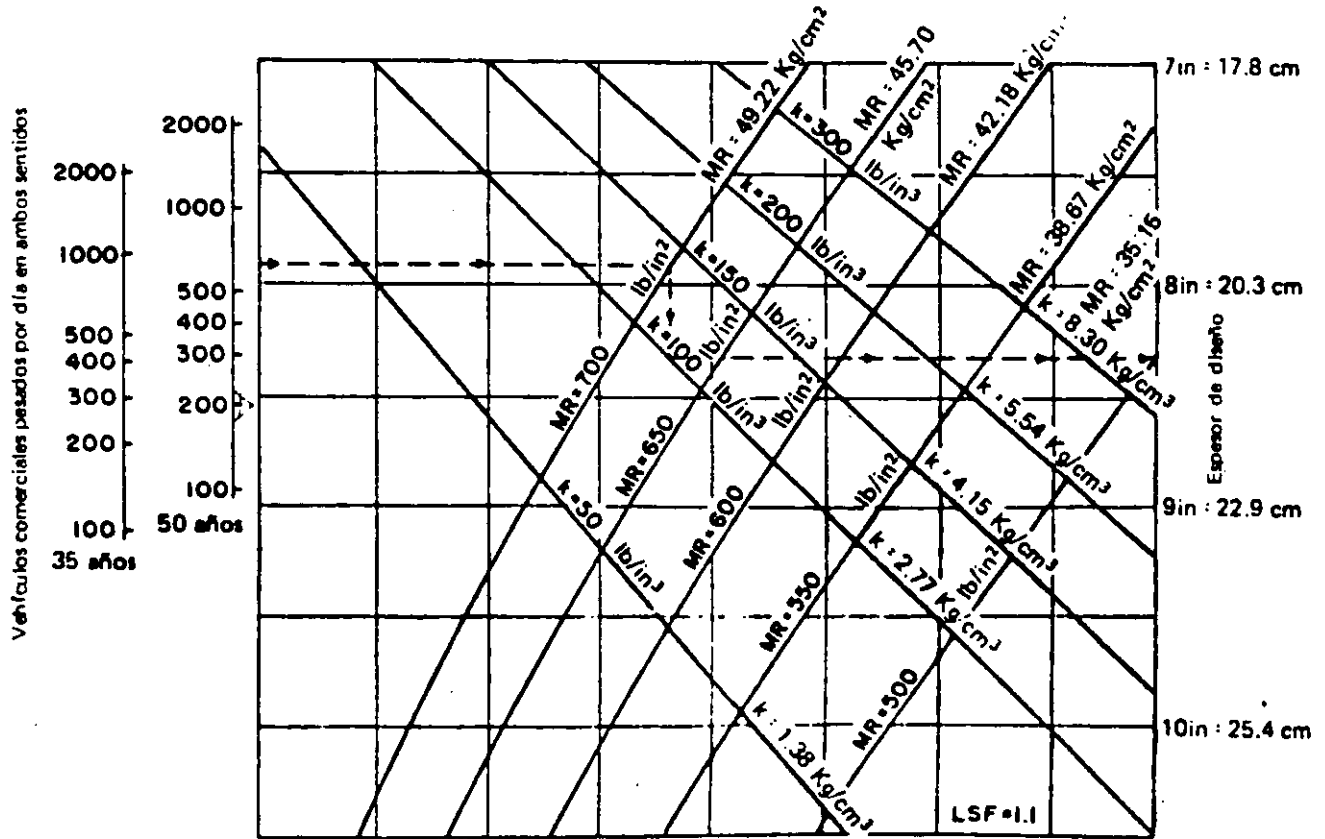
1000
500
400
300
200
100
50
50 años
35 años



Gráfica No. 4 Gráfica de diseño del espesor para arterias menores para períodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 5 Gráfica de diseño del espesor para arterias y calles comerciales para períodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 6 Gráfica de diseño del espesor para arterias mayores y calles industriales para períodos de diseño de 35 y 50 años.

PAVIMENTOS URBANOS

CALLES

RESIDENCIALES

COMERCIALES

FABRILES

AVENIDAS

AUTOPISTAS URBANAS

ESTACIONAMIENTOS

TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS

ASFALTICOS (FLEXIBLES)

LOSAS DE CONCRETOS (RIGIDOS)

COMPUESTOS

ADOQUIN

CARACTERISTICAS DE LOS PAVIMENTOS URBANOS

- FORMAN UNA EXTENSA RED EN UNA ZONA LIMITADA
- DIFERENCIAS EN USO, CARGAS, NECESIDADES ETC.
- LIMITACIONES GEOMETRICAS (ANCHO, RASANTES, OBSTACULOS)
- INSTALACIONES SUBTERRANEAS
- PRESIONES ECONOMICAS, POLITICAS, SOCIALES

①

PAVIMENTO

ESTRUCTURA CONSTITUIDA POR VARIAS CAPAS DE MATERIALES, QUE TIENE POR OBJETO PERMITIR EL TRANSITO DE VEHICULOS EN FORMA COMODA, SEGURA Y EFICIENTE, CON UN COSTO MINIMO.

UN PAVIMENTO ADECUADO ES EL QUE LLEGA A LA FALLA FUNCIONAL DESPUES DE HABER RESISTIDO EL TRANSITO DE PROYECTO HASTA LLEGAR A LA CALIFICACION DE RECHAZO, CON EL MENOR COSTO POSIBLE.

- TRANSITO
- TEMPERATURA
- PRECIPITACION PLUVIAL
- TOPOGRAFIA
- ASPECTOS REGIONALES' CLIMA, GEOLOGIA, TERRENO DE CIMENTACION, SISMICIDAD, HIDROLOGIA.
- PROPIEDADES INTRINSECAS, DERIVADAS DE CARACTERISTICAS TALES COMO ORIGEN, COMPOSICION GRANULOMETRICA, ALTERACION, PERMEABILIDAD, ETC.
- RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS.
 - UTILIZACION
 - PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION
 - GRADO DE COMPACTACION
 - TALUDES
 - BANQUETAS Y BERMAS
 - ESCALONES
 - MUROS DE CONTENCION
 - OBRAS DE DRENAJE
 - OBRAS DE SUBDRENAJE
 - OBRAS DE COMPLEMENTARIAS
- CONSTRUCCION.

CAUSAS DE FALLA

- PROYECTO INADECUADO
- MATERIALES DE CALIDAD DEFICIENTE
- CONSTRUCCION DEFICIENTE O INAPROPIADA
- CONSERVACION DEFICIENTE.

TERRENO DE CIMENTACION

DEFINICION:

PARTE DE LA CORTEZA TERRESTRE EN QUE SE APOYA LA ESTRUCTURA DE LA OBRA VIAL, Y QUE ES AFECTADA POR LA MISMA.

FUNCION:

- SOPORTAR LA OBRA VIAL

TIPOS:

ROCA.- GENERALMENTE NO PRESENTA PROBLEMAS.

INTERESA CONOCER:

- INALTERABILIDAD ANTE AGENTES ATMOSFERICOS.
- PERMEABILIDAD
- TRABAJABILIDAD

SUELOS.- PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS IMPORTANTES.

INTERESA CONOCER:

- RESISTENCIA AL INTEMPERISMO
- ESTABILIDAD VOLUMETRICA
- ESTABILIDAD QUIMICA
- RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
- PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA DE LA ERUSION.

TERRACERIAS

DEFINICION

CONJUNTO DE CORTES Y TERRAPLENES QUE PROPORCIONAN EL APOYO A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO Y CONSTITUYEN LA OBRA VIAL.

FUNCIONES

- SOPORTAR AL PAVIMENTO EN CONDICIONES RAZONABLES DE RESISTENCIA Y DEFORMACION.
- PROPORCIONAR EL NIVEL NECESARIO DE SUBRASANTE
- PROTEGER AL PAVIMENTO, CONSERVANDO SU INTEGRIDAD EN TODO TIEMPO

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LAS TERRACERIAS

- CUERPO DE TERRAPLEN
- CAPA SUBRASANTE
ES LA CAPA QUE SIRVE DE APOYO AL PAVIMENTO.

FUNCIONES

- TRANSICION ENTRE CUERPO DE TERRAPLEN Y PAVIMENTO
- TRANSMITIR ESFUERZOS
- SUPERFICIE DE TRABAJO
- APOYO DEL PAVIMENTO. INTERVIENE EN EL DISEÑO DE SU ESPESOR, E INFLUYE EN EL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO.

CARACTERISTICAS

- RESISTENCIA ADECUADA PARA SOPORTAR LAS CARGAS TRANSMITIDAS POR EL PAVIMENTO, POR PESO PROPIO Y TRANSITO.
- RESISTENCIA A LOS FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE QUE PUEDAN AFECTAR SU RESISTENCIA, DURABILIDAD, ESTABILIDAD VOLUMETRICA, ESTABILIDAD QUIMICA, ETC.
- ECONOMIA Y ASPECTOS FUNCIONALES

ALTERNATIVAS

- TUNELES
- VIADUCTOS

CONCEPTOS ESTABLECIDOS A PARTIR DE LA PRUEBA AASHO

- DIFERENCIACION ENTRE FALLA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL
- INDICE DE SERVICIO Y CALIFICACION ACTUAL
- NIVEL DE RECHAZO.
- COMPORTAMIENTO
- INDICE DE ESPESOR

TRAMO DE PRUEBA AASHO (1956 - 1960)

CONCEPTOS DERIVADOS DE ENSAYO

1.- CONCEPTO DE FALLA

FUNCIONAL

ESTRUCTURAL

2.- INDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)

3.- NIVEL DE RECHAZO

4.- ESPESOR EQUIVALENTE Y NUMERO ESTRUCTURAL

$$TI = 0.44 D_1 + 0.14 D_2 + 0.11 D_3$$

PAVIMENTO

| | | |
|-----------------------------|---------|---------------------------------------|
| <u> </u> | 1 - 6" | CONCRETO ASFALTICO |
| <u> </u> | 0 - 9" | BASE DE GRAVA TRITURADA BIEN GRADUADA |
| | 0 - 16" | GRAVA |
| <u> </u> | | ARENA ARCILLOSA |

CARGAS

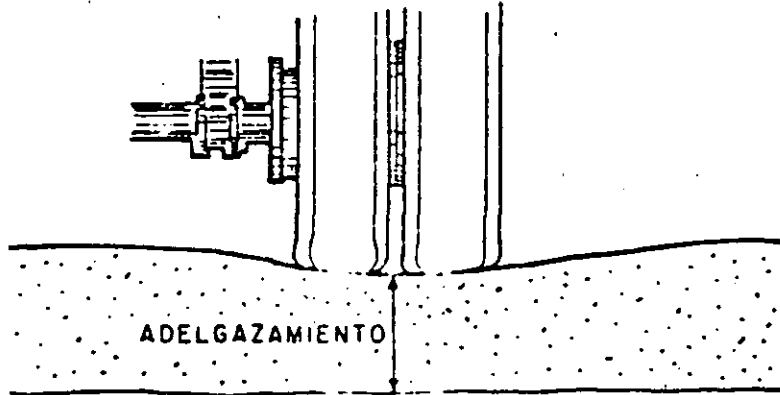
EJES SENCILLOS DE 2 A 30 KIPS
EJES TAMBIEN DE 24 A 48 KIPS

ESTRUCTURAL.- COLAPSO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO O DE ALGUNO DE SUS COMPONENTES, DE TAL MANERA QUE EL PAVIMENTO ES INCAPAZ DE SOPORTAR LAS CARGAS O BIEN, SE REDUCE A UNA INTERRUPCION EN SU CONTINUIDAD O INTEGRIDAD. PUEDE DEGENERAR EN FALLA FUNCIONAL.

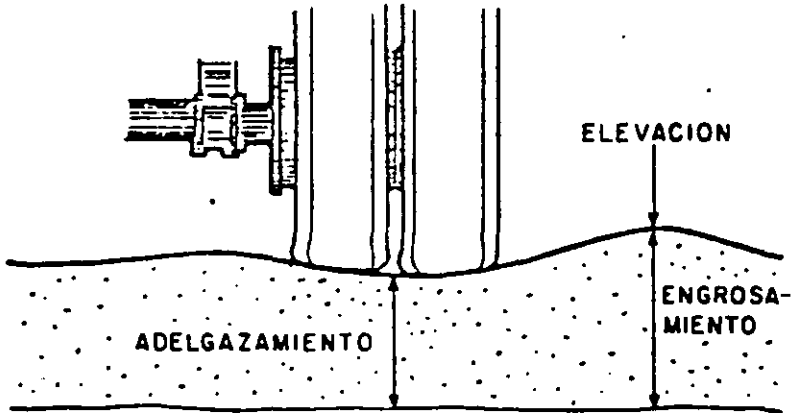
TIPO DE FALLA

FUNCIONAL.- EL PAVIMENTO NO CUMPLE CON SU FUNCION PRIMORDIAL, PROVOCANDO INCOMODIDAD E INSEGURIDAD EN EL USUARIO, ASI COMO ESFUERZOS IMPREVISTOS EN LOS VEHICULOS. NO SIEMPRE ESTA ACOMPAÑADA DE FALLA ESTRUCTURAL.

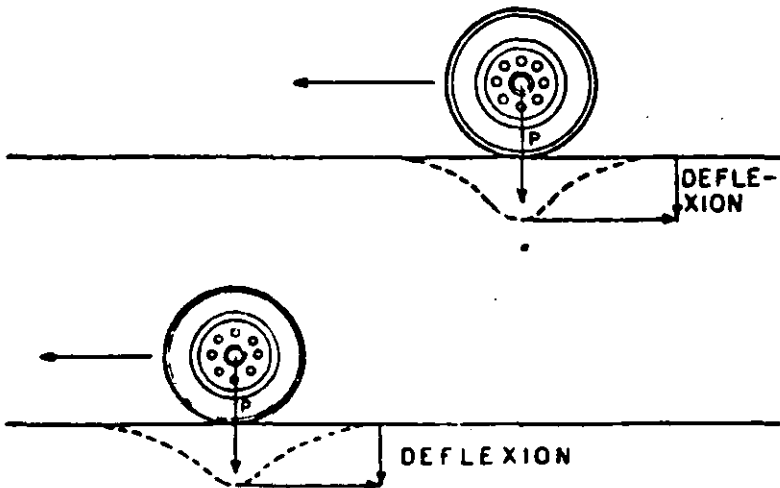
a) DENSIFICACION



b) DEFORMACION PLASTICA



1) DEFORMACION PERMANENTE



2) DEFORMACION POR DEFLEXION TRANSITORIA

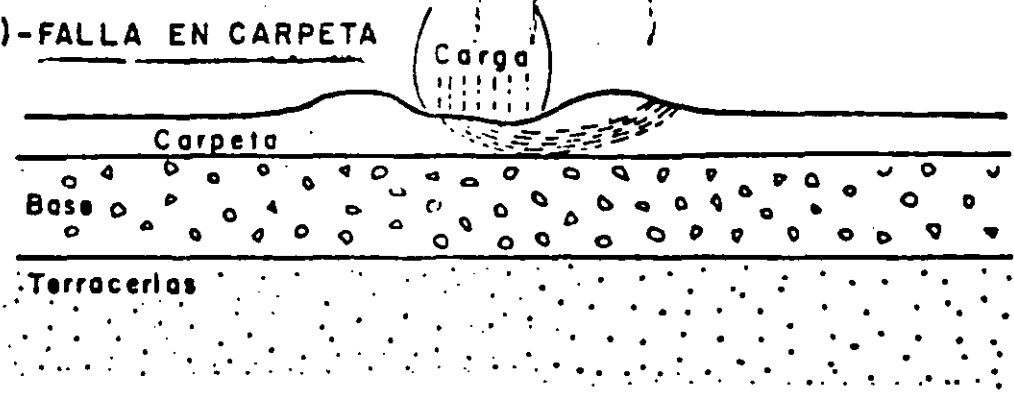
FORMAS PRINCIPALES DE DETERIORO QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

| DETERIORO | CAUSA GENERAL | CAUSA ESPECIFICA QUE LO PRODUCE |
|----------------------------------|---|---|
| AGRIETAMIENTOS O FRACTURAS | ASOCIADAS CON EL TRANSITO | CARGAS REPETIDAS (FATIGA) DESLIZAMIENTO (PRODUCIDO POR ESFUERZOS AL FRENAR) GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO) |
| | NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO | CAMBIOS TERMICOS CAMBIOS DE HUMEDAD CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES |
| DEFORMACIONES | ASOCIADAS CON EL TRANSITO | RODERAS (POR CARGAS REPETIDAS) FLUJO PLASTICO |
| | NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO | EXPANSION (PRODUCIDA POR ARCILLAS EXPANSIVAS O POR CONGELAMIENTO) DEFORMACIONES POR CONSOLIDACION |
| DESINTEGRACION | SE ASOCIA CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES, MAS QUE CON CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL. NO SE CONSIDERA EN LA FASE INICIAL DE DISEÑO. | |

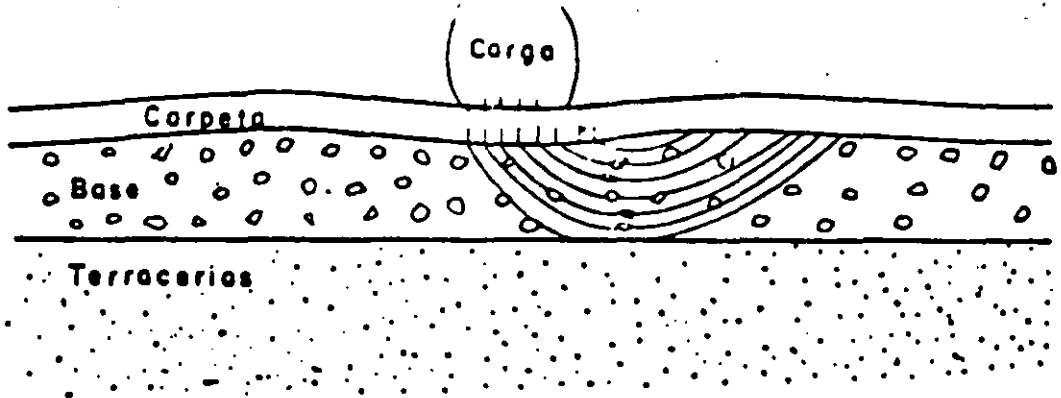
038

TIPOS DE FALLA

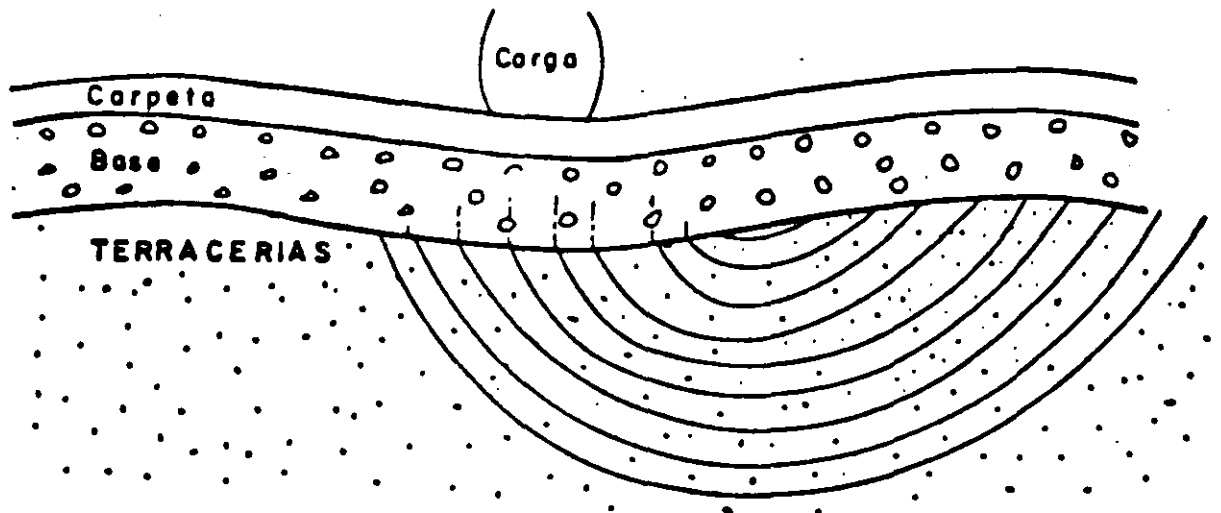
a) - FALLA EN CARPETA



b) - FALLA EN LA BASE



c) FALLA GENERAL DEL TERRENO DE CIMENTACION



- INDICE DE SERVICIO

ESTIMACION DE LA SERVICIABILIDAD DE UN TRAMO DE PAVIMENTO, OBTENIDA A PARTIR DE MEDICIONES FISICAS.

PAVIMENTO FLEXIBLE

$$I_s = 5.03 - 1.9 \text{ LOG } (1+sv) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 \frac{2}{RD}$$

PAVIMENTO RIGIDO

$$I_s = 5.41 - 1.8 \text{ LOG } (1+sv) - 0.09 \sqrt{C + P}$$

DONDE:

SV = VARIANCIA DE LA PENDIENTE

C = LONGITUD DE AGRIETAMIENTO POR CADA 100 M²

P = AREA BACHADA POR CADA 100 M²

RD = PROFUNDIDAD DE LAS DEFORMACIONES EN RODADAS MEDIDAS CON REGLA DE 1.2 M.

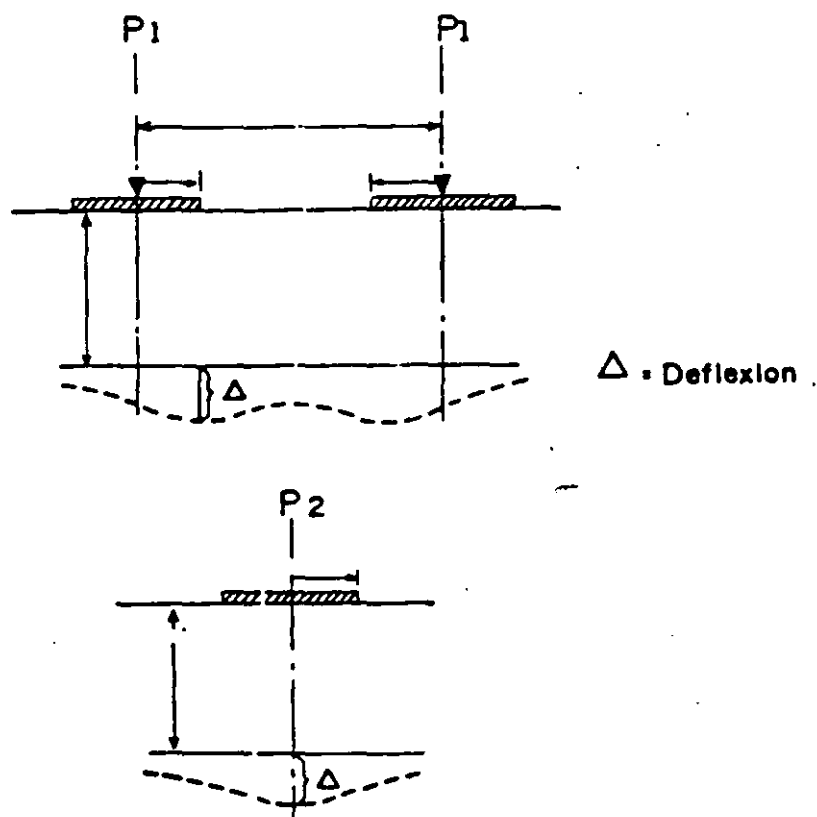
INDICE DE ESPESOR

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$SN = 0.44 D_1 + 0.14 D_2 + 0.11 D_3$$

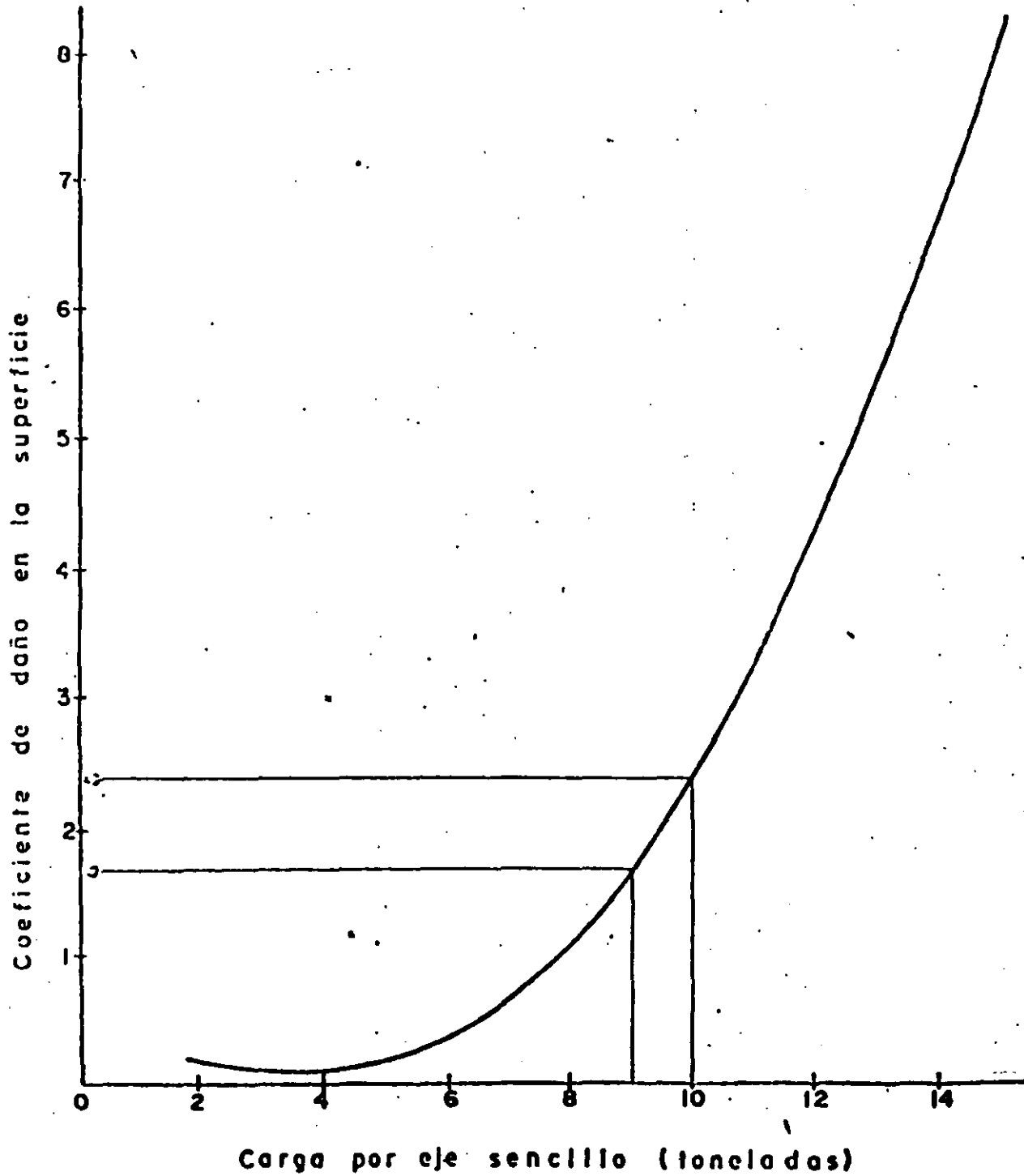
| | |
|----------------------------|----|
| CARPETA CONCRETO ASFALTICO | D1 |
| BASE GRAVA TRITURADA | D2 |
| SUBBASE GRAVA Y ARENA | D3 |

CONCEPTO DE CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA



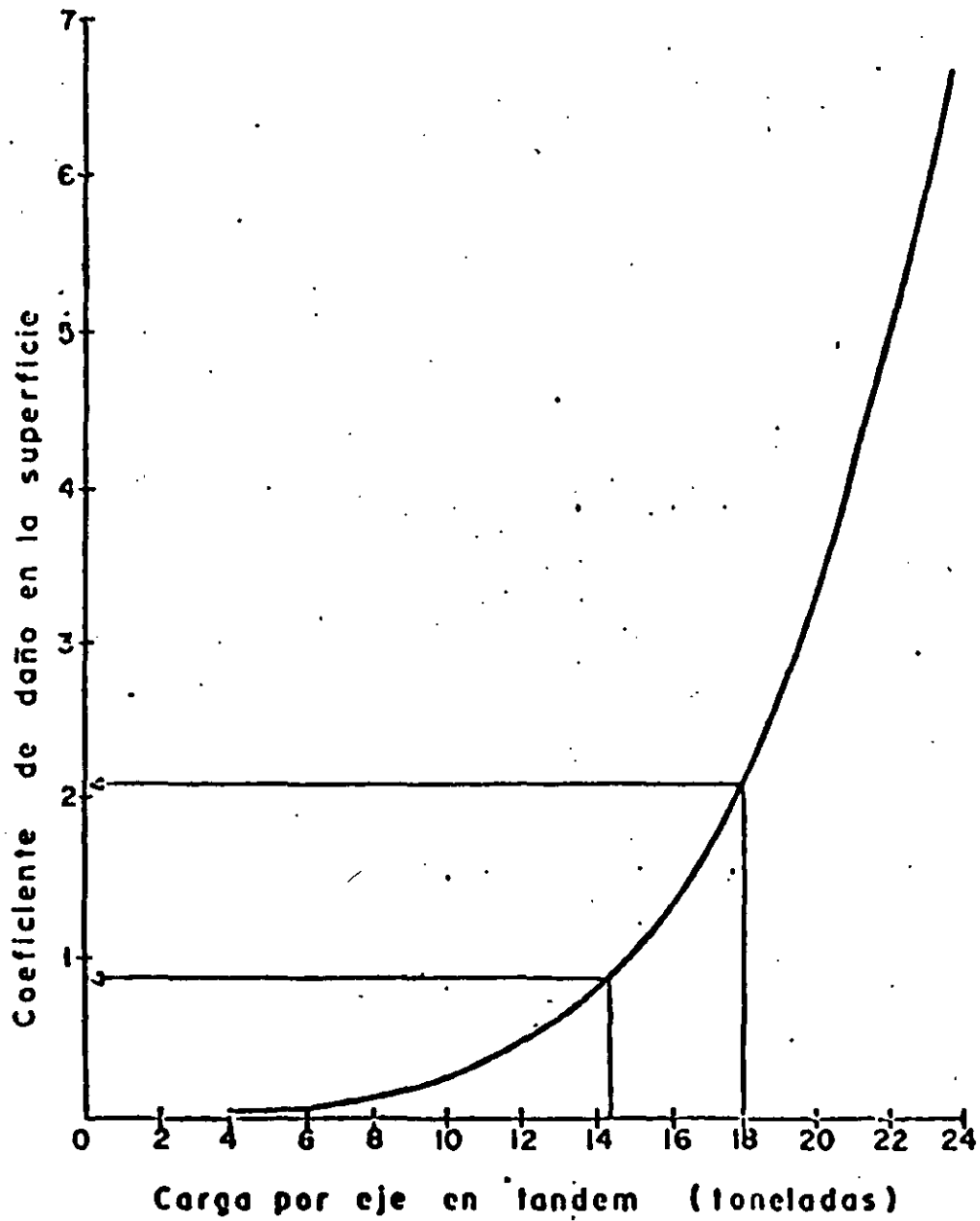
CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA (ESWL)

Se define como la carga que actuó en una rueda sencilla, que produce en un lugar dado de la estructura de un pavimento, el mismo efecto que el producido por una carga aplicada en un sistema de ruedas múltiples.



| Carga por eje sencillo | Coeficiente de daño |
|------------------------|---------------------|
| 2.0 Toneladas | 0.003 |
| 4.0 " | 0.05 |
| 6.0 " | 0.28 |
| 8.0 " | 0.90 |
| 10.0 " | 2.21 |
| 12.0 " | 4.60 |
| 14.0 " | 8.40 |

FIG. 2 VARIACION DEL COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA DE DAÑO PARA DIFERENTES PESOS POR EJE SENCILLO.



| Carga por eje en tandem | Coeficiente de daño |
|-------------------------|---------------------|
| 4.0 Toneladas | 0.005 |
| 8.0 " | 0.08 |
| 9.0 " | 0.129 |
| 12.0 " | 0.40 |
| 16.0 " | 1.29 |
| 20.0 " | 3.16 |
| 24.0 " | 6.55 |

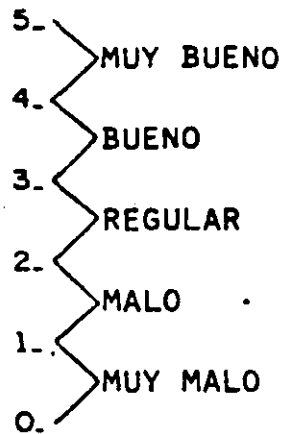
FIG. 3 VARIACION DEL COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA DE DAÑO PARA DIFERENTES PESOS POR EJE TANDEM.

SERVICIABILIDAD.-

CAPACIDAD DE UN PAVIMENTO PARA CUMPLIR CON SU FUNCION, PROPORCIONANDO AL USUARIO UN VIAJE COMODO Y SEGURO EN CONDICIONES NORMALES DE TRANSITO.

- CALIFICACION ACTUAL.-

PROMEDIO DE LAS CALIFICACIONES INDIVIDUALES QUE -- EMITE UN GRUPO DE PERSONAS, SOBRE LA SERVICIABILIDAD DE UN TRAMO DE PAVIMENTO.



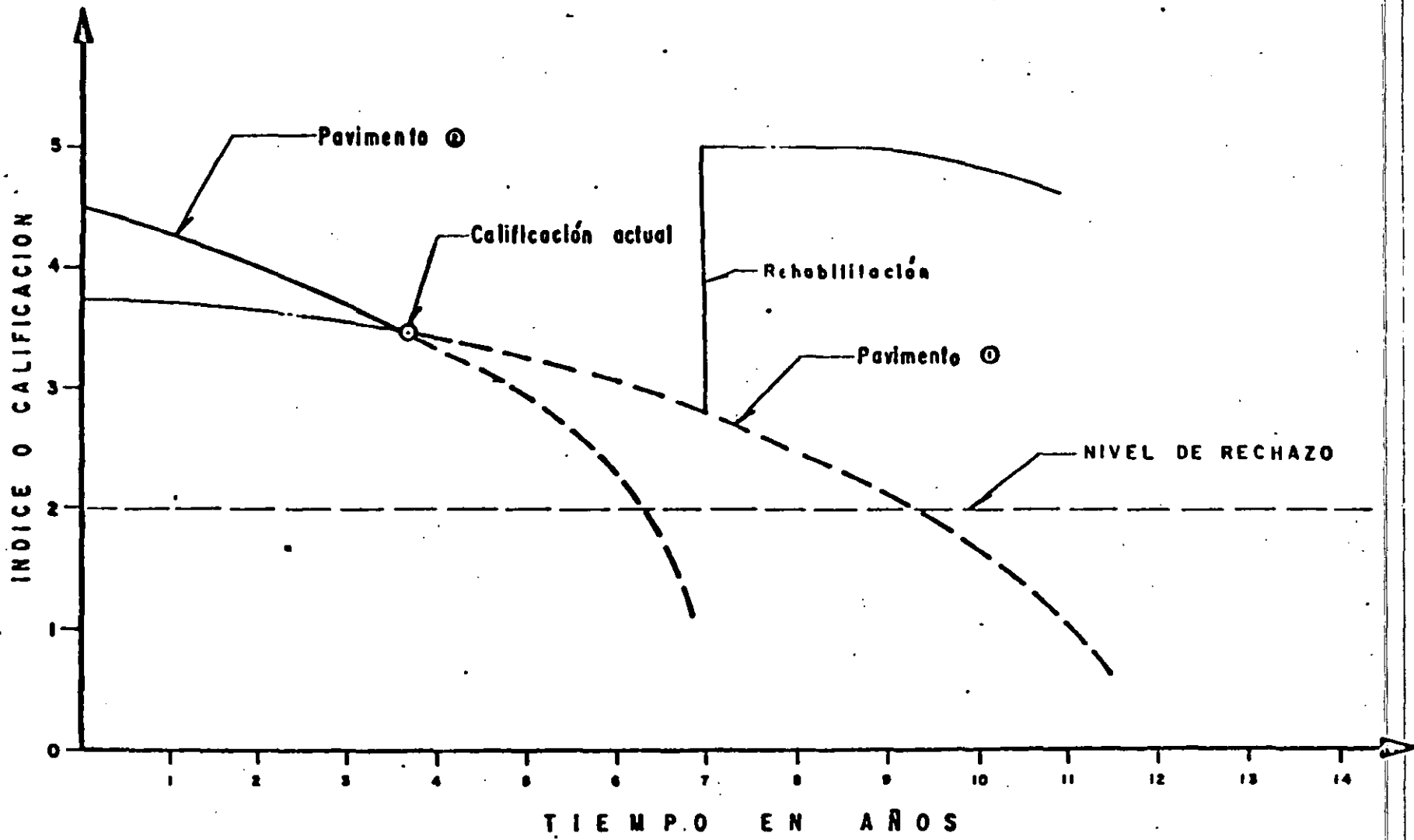
(13)

- NIVEL DE RECHAZO

MINIMO NIVEL DE SERVICIABILIDAD ACEPTADO EN UN TRAMO DE PAVIMENTO, SE ELIGE EN FUNCION DE LA CATEGORIA DE LA CARRETERA.

- COMPORTAMIENTO

VARIACION DE LA SERVICIABILIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO, SE DETERMINA MEDIANTE EVALUACIONES PERIODICAS DEL PAVIMENTO.



047

3

18

FIGURA N° 13

FACTORES DE DISEÑO

- 1.- TRANSITO
MAGNITUD, CONFIGURACION, Y REPETICION DE CARGAS Y SU DISTRIBUCION EN LA SECCION TRANSVERSAL

- 2.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES
 - RESISTENCIA
 - DEFORMABILIDAD BAJO CARGAS
 - VARIACIONES VOLUMETRICAS
 - DURABILIDAD
 - PERMEABILIDAD Y CAPILARIDAD
 - ETC.

- 3.- CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES
 - REGIMENES PLUVIOMETRICOS Y DE TEMPERATURA
 - OROGRAFIA E HIDROLOGIA.

- CARGA
 - Magnitud de las cargas
 - Configuración de las llantas y espaciamientos entre ellas
 - Número de ejes
 - Presión de inflado
 - Presión de contacto
 - Superficie del área de contacto
 - Número de repetición de cargas, cambios anuales y estacional
 - Tasa de crecimiento
 - Distribución de tránsito en la sección transversal
 - Vida de proyecto del pavimento antes de que requiera una reconstrucción
 - Criterio de falla
 - Tipo de impacto.

- REGIONALES
 - Temperatura
 - Régimen de precipitación
 - Precipitación media anual
 - Nivel freático
 - Geología
 - Topografía.

- ESTRUCTURALES
 - Características de las capas que constituyen el pavimento
 - Espesores
 - Resistencias
 - Deformabilidad
 - Disponibilidad de materiales
 - Costo
 - Respuesta bajo condiciones regionales

- COMPORTAMIENTO
 - Seguridad
 - Serviciabilidad
 - Durabilidad
 - Depende de la interacción entre características estructurales, solicitaciones de tránsito, clima, regionales y -- tipo de conservación.

- CONSERVACION
 - Tipo de conservación requerido
 - Frecuencia

- CRITERIOS DE DECISION
 - Disponibilidad de fondos
 - Costos de construcción, conservación, operación
 - Confiabilidad
 - Seguridad, calidad de operación y tipo de conservación
 - Impacto ambiental.

- CONSTRUCCION
 - Control de calidad
 - Disponibilidad de equipo y personal
 - Nivel tecnológico
 - Recursos industriales.

FACTORES AMBIENTALES

LITOLOGIA
 CLIMATOLOGIA
 ALTERACION DE VOCAS
 ECOLOGIA.

HIDROGEOLOGIA, EROSION.

ESTRATIGRAFIA.-

DISPOSICION DE SUELOS Y ROCAS
 PERFIL DE ALTERACION.

MORFOLOGIA Y TOPOGRAFIA

DISPOSICION DE ZONAS DE CORTE Y TERRAPLEN

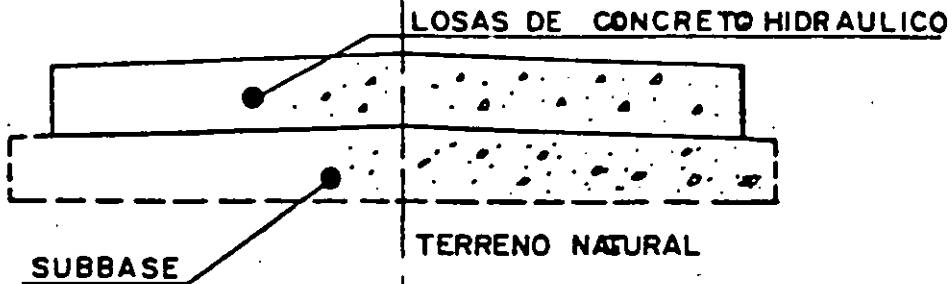
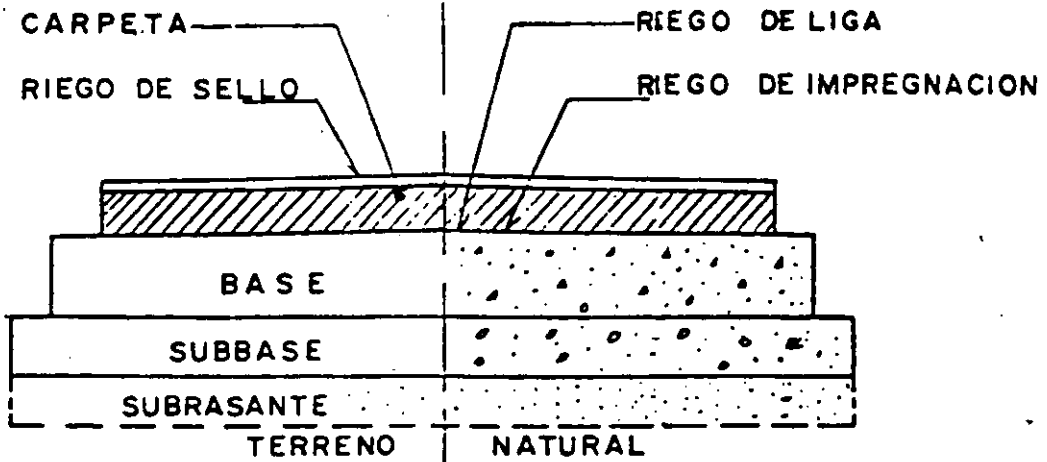
SUELOS Y ROCAS

SUELOS PLASTICIDAD
 VARIACION VOLUMETRICA
 RESISTENCIA
 RIGIDEZ

DRENAJE, SUBDRENAJE

ESTABILIDAD DE CORTES.

ESTRUCTURAS
PAVIMENTO ASFALTICO
(FLEXIBLE)



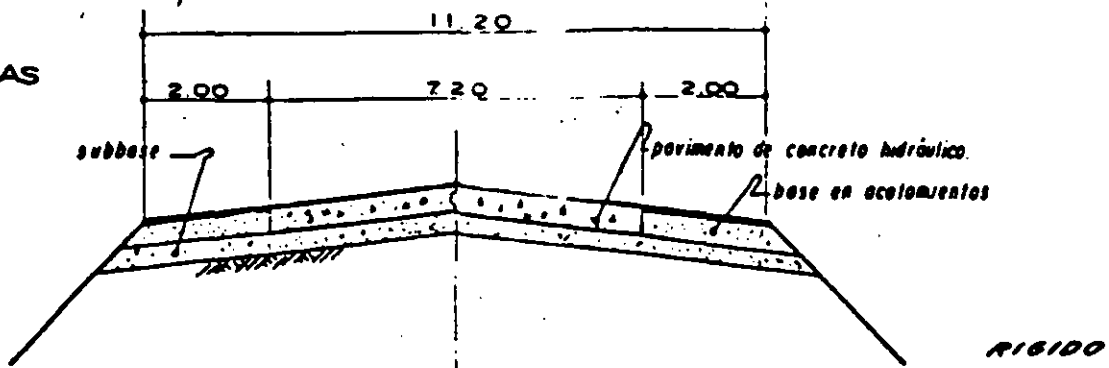
PAVIMENTO DE CONCRETO
(RIGIDO)

SECCIONES TÍPICAS DE PAVIMENTOS

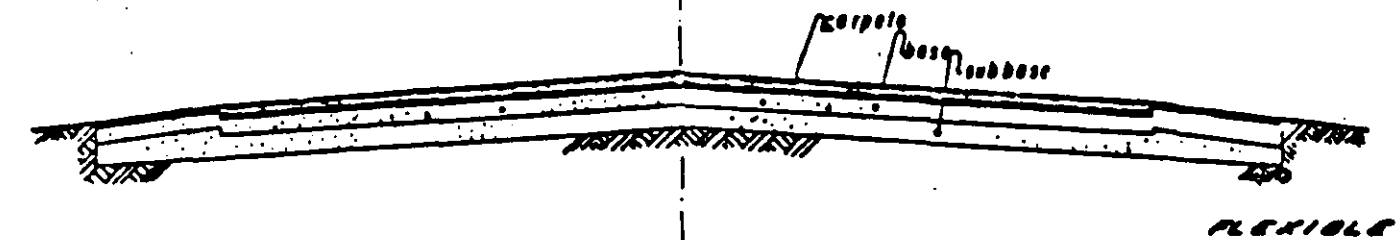
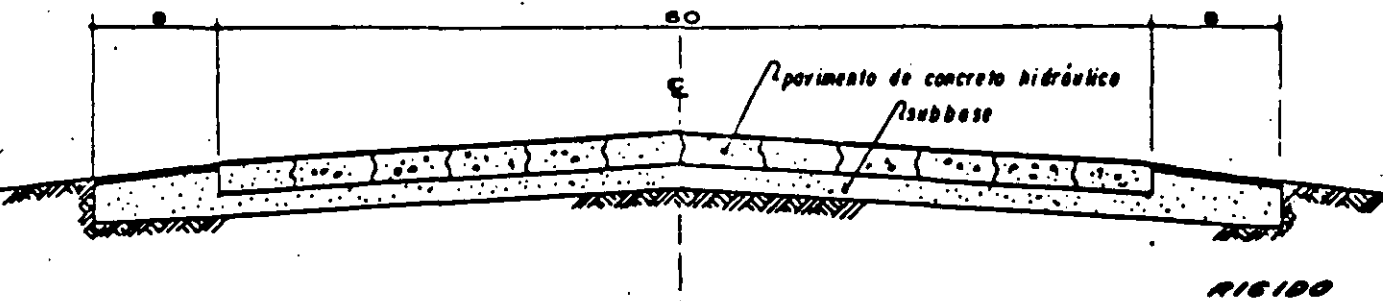
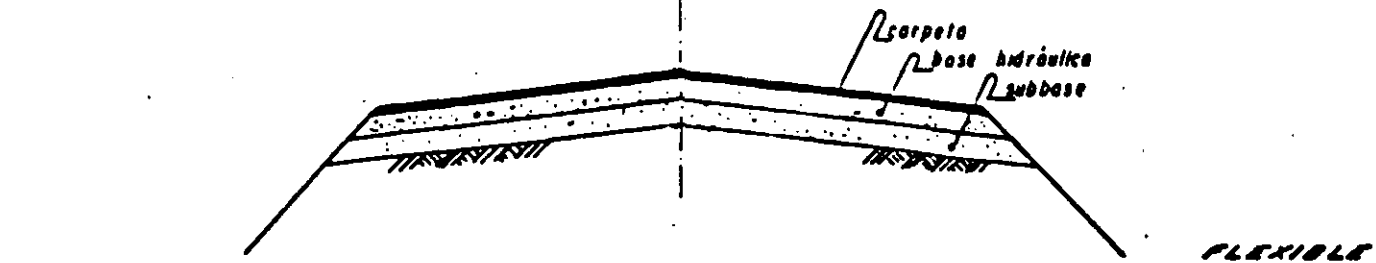
052

23

1. CARRETERAS



2. AEROPUERTOS



3. CALLES

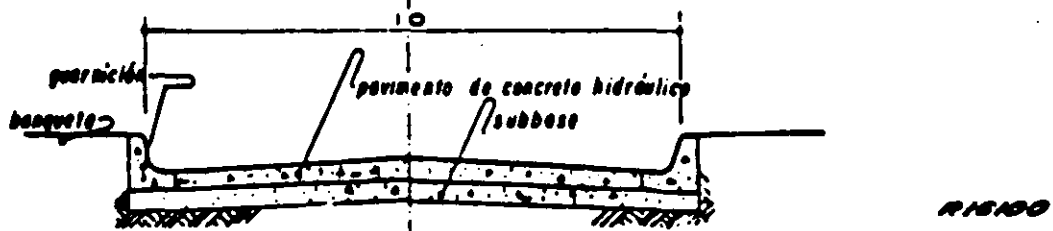
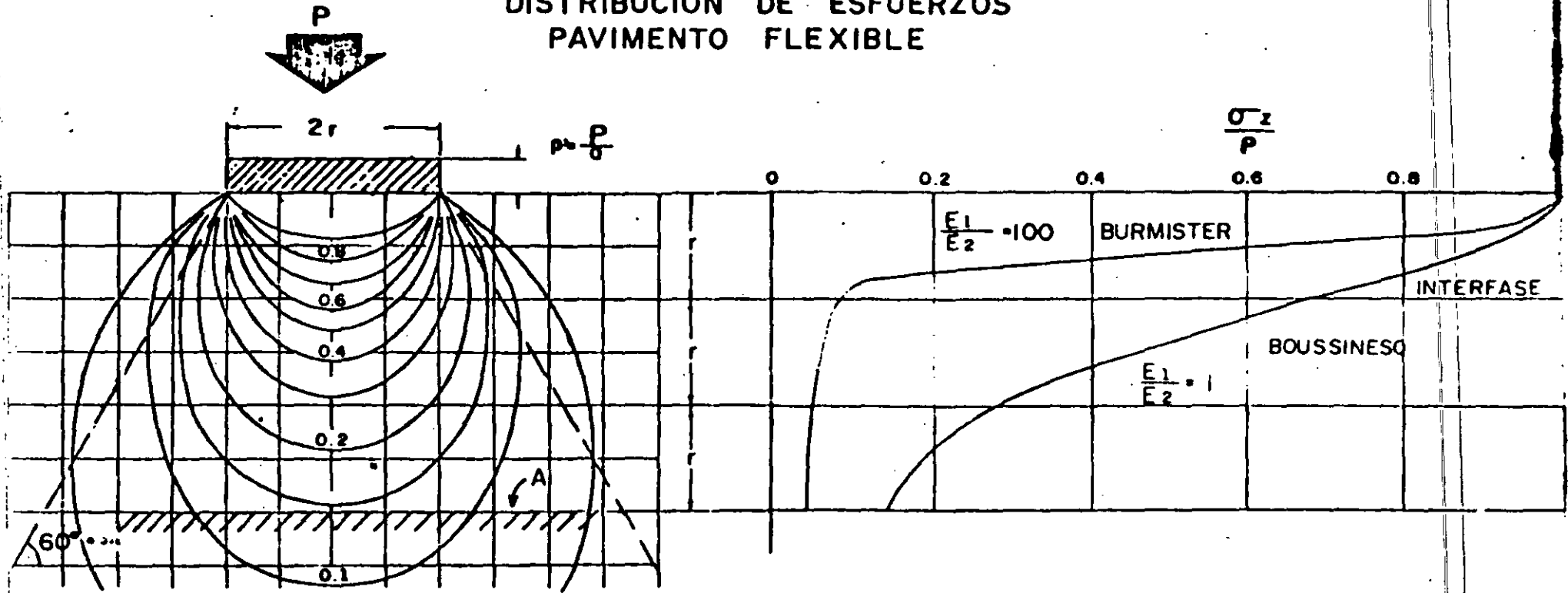


FIGURA Nº 1

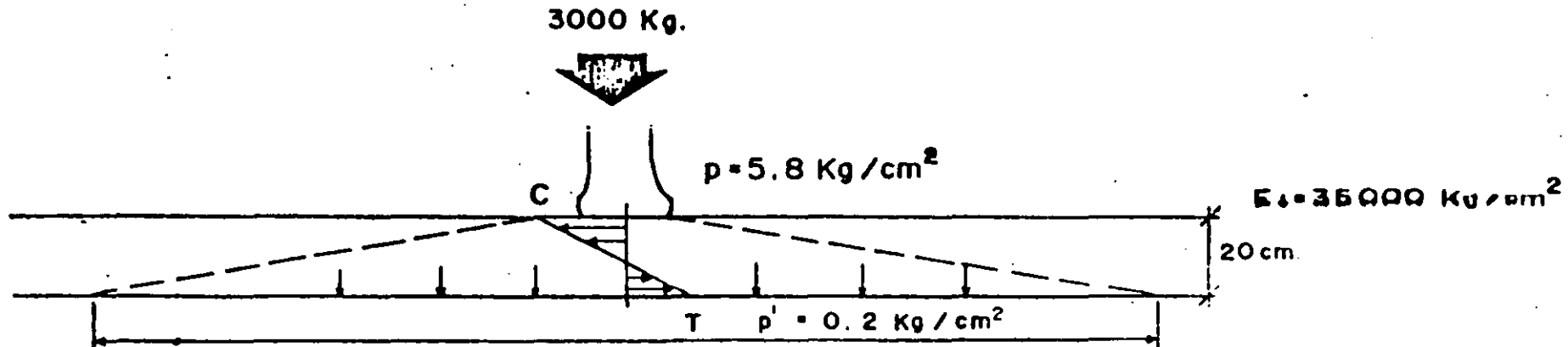
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PAVIMENTO FLEXIBLE



$$p = \frac{P}{A}$$

$$p' = p \frac{a}{A}$$

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS
PAVIMENTO RIGIDO



$$E_2 = 500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$300 < \frac{E_1}{E_2} < 1000$$

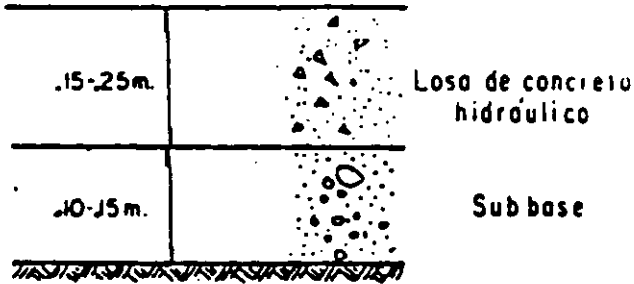
FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DEL PAVIMENTO

- SUBBASE.-** TRANSMITIR ESFUERZOS A LA CAPA SUBRASANTE
TRANSICION ENTRE BASE Y SUBRASANTE
REDUCIR EFECTOS DE CAMBIOS VOLUMETRICOS Y REBOTE ELASTICO
REDUCIR COSTO DEL PAVIMENTO
- BASE.-** SOPORTAR ADECUADAMENTE LAS CARGAS Y DISTRIBUIR ESFUERZOS A LAS CAPAS SUBYACENTES EN FORMA ADECUADA.
- CARPETA.-** PROPORCIONAR UNA SUPERFICIE ESTABLE, UNIFORME, --
IMPERMEABLE Y DE TEXTURA APROPIADA.

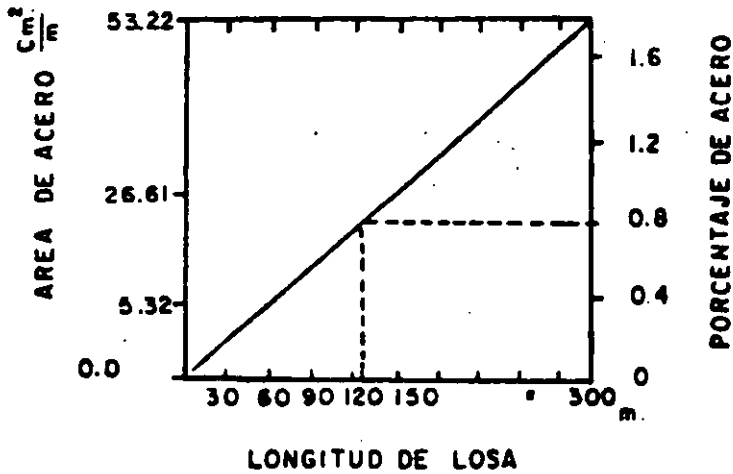
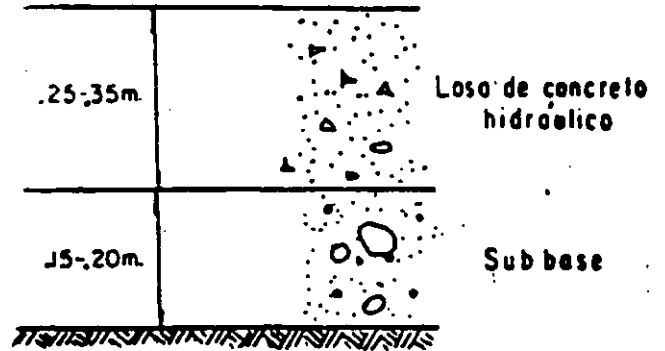
ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

(30)

CARRETERAS Y CALLES

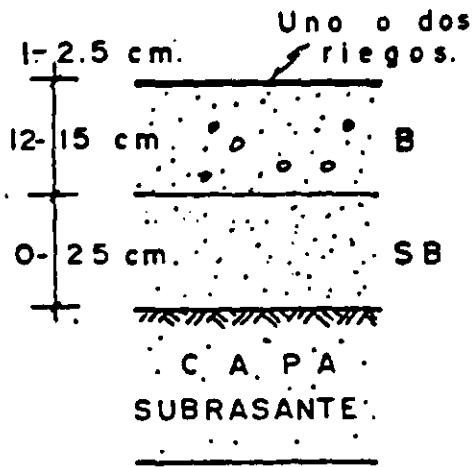


AEROPUERTOS

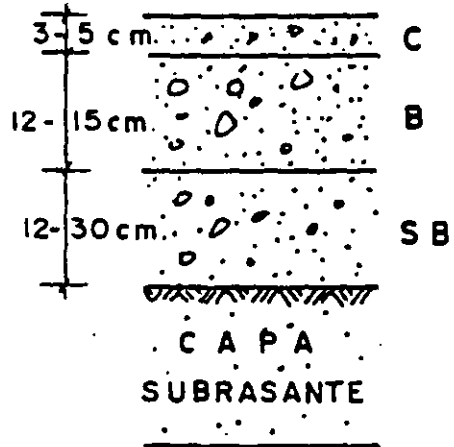


ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO CARRETERO.

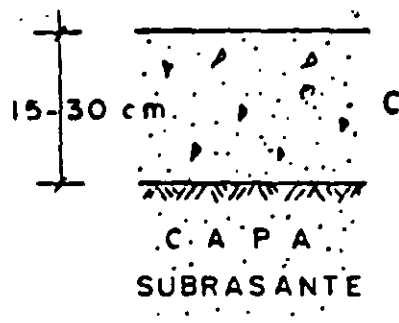
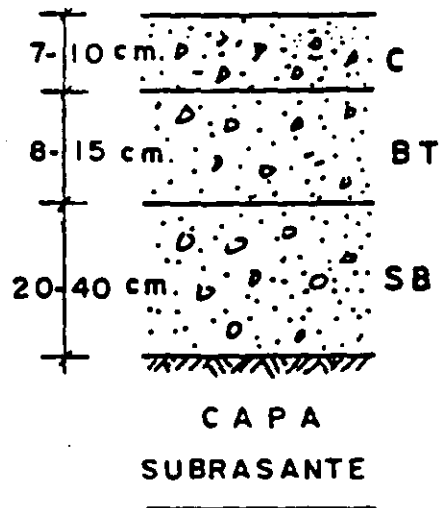
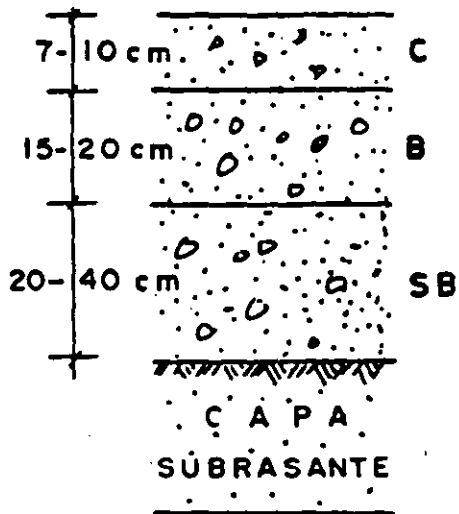
LIGERO



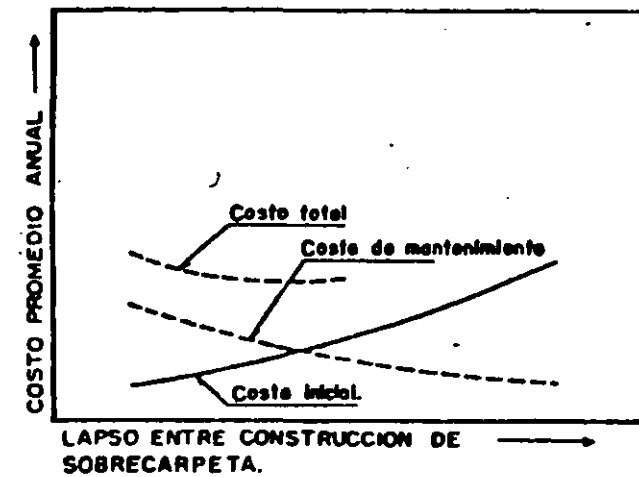
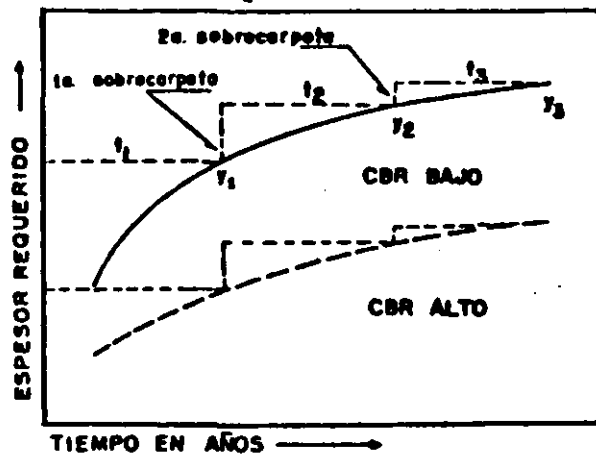
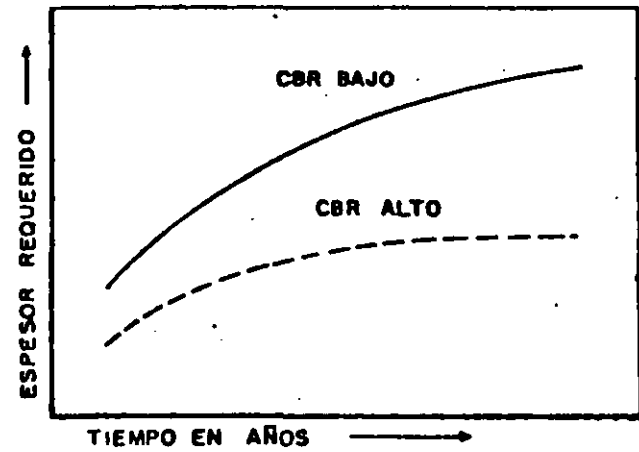
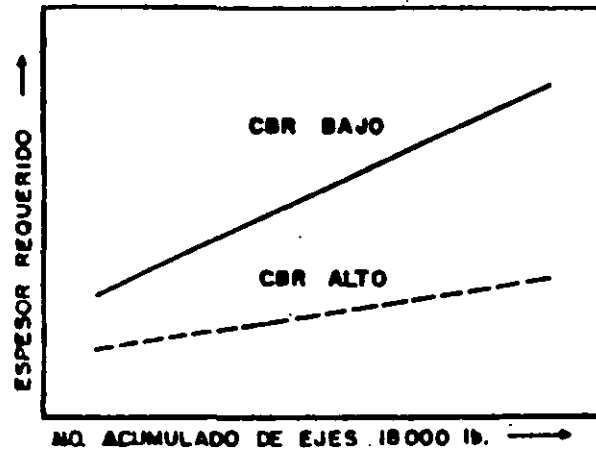
MEDIANO



PESADO



EL ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE VARIA ENTRE 30 Y 50 cm.



**Factores que determinan la elección
del Tipo de Pavimento, adicionales
al económico.**

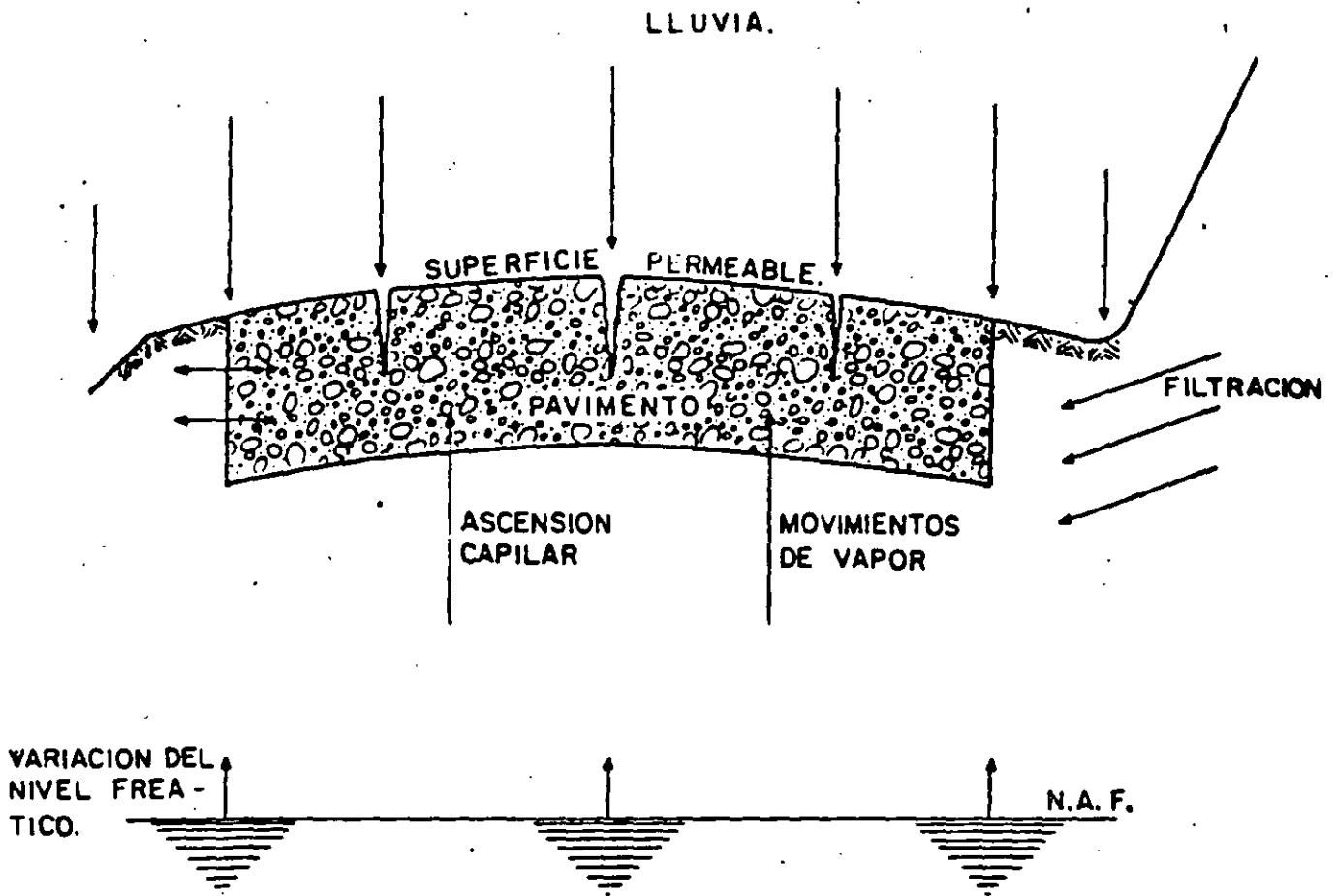
- a) Confiabilidad**
- b) Limitaciones en el mantenimiento y
conservación**
- c) Equipos y prácticas de construcción**
- d) Disponibilidad presente y futura de
los materiales requeridos.**

TABLA I. COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

| Concepto | Rígido | Flexible |
|-----------------------------------|---|---|
| 1.- Calidad de Rodamiento | Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre losas suelen ser fuente permanente de problemas. Este inconveniente se atenua notoriamente en losas con acero de refuerzo, al aumentarse sensiblemente el espaciamiento entre juntas. | Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento. |
| 2.- Funcionalidad | Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser más ventajoso. La falla más común se manifiesta por agrietamientos, los cuales no suelen afectar la funcionalidad. | Cuando el tránsito es intenso suele ser común la formación de baches y roderas, que afectan seriamente la funcionalidad del pavimento |
| 3.- Agrietamiento | Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas. Sin embargo, estas suelen ser de poca trascendencia. | El agrietamiento suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento. |
| 4.- Resistencia al derrapamiento. | En ambos tipos de pavimento se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial del pavimento rígido suele ser más estable que la del flexible. | |

TABLA I. COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES
(Continuación)

| Concepto | Rígido | Flexible |
|----------------------------------|---|---|
| 5.- Facilidad de - reparación | Requiere alta especialización | Es relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada. |
| 6.- Visibilidad | En general la visibilidad es mejor - que en el pavimento flexible | |
| 7.- Durabilidad | Substancialmente mayor que la del pa- vimento flexible. | |
| 8.- Construcción - por etapas | No aplicable a este tipo de pavimen- to, a menos que se recurra a capas - bituminosas | Muy favorable |
| 9.- Costos | Los costos de construcción inicial - son mayores, siendo en cambio meno-- res los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en cada caso. | Posibilidad de diferir in- versiones al construir por etapas. |
| 10.- Confiabilidad | En condiciones críticas ó particular- mente difíciles, ofrece mayores ga-- rantías que el flexible. | |



FORMAS EN QUE PUEDE ENTRAR
EL AGUA AL PAVIMENTO.

MECANISMOS CON QUE EL AGUA ACTUA
SOBRE TERRACERIAS Y PAVIMENTO.

- 1.- EROSION
- 2.- TUBIFICACION
- 3.- VARIACIONES VOLUMETRICAS
EXPANSION
CONTRACCION
- 4.- FUERZAS DE FILTRACION
- 5.- REDUCCION DE LA RESISTENCIA
AL ESFUERZO CORTANTE.
- 6.- DISOLUCION
- 7.- ACUAPLANEO Y DERRAPAMIENTO
- 8.- ESFUERZOS ADICIONALES SOBRE ESTRUCTURAS

METODOS DE SOLUCION DE
DRENAJE SUPERFICIAL

CORTES

CUNETAS

CONTRACUNETAS

TERRAPLENES

ALCANTARILLAS

LAVADEROS

BORDILLOS

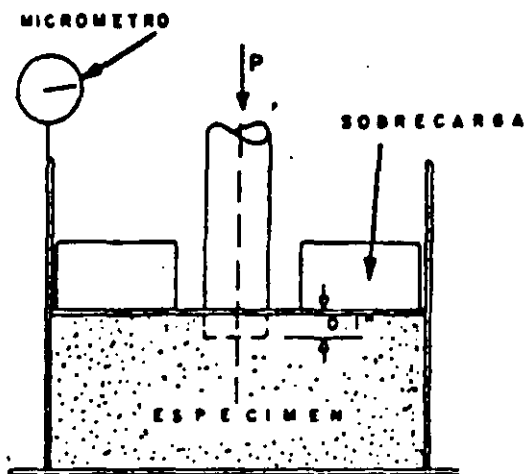
AREAS DE ESTACIONA
MIENTO Y CALLES

DRENES

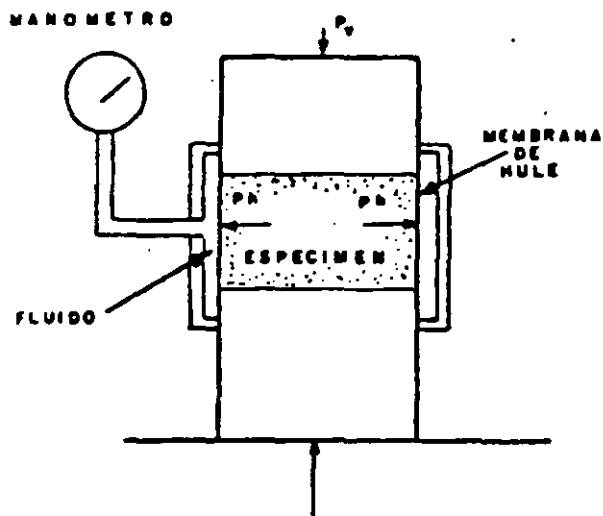
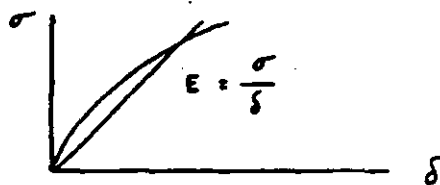
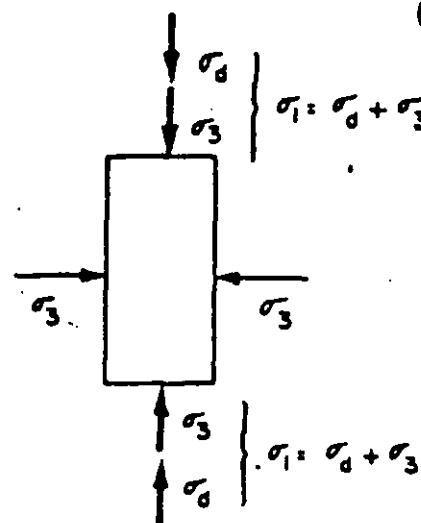
ATARJEAS Y COLADERAS PLUVIALES

CONTROL DE HUMEDAD

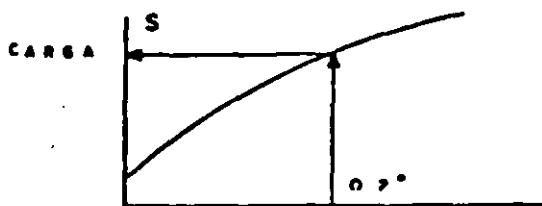
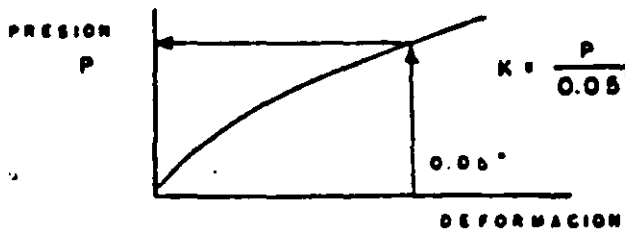
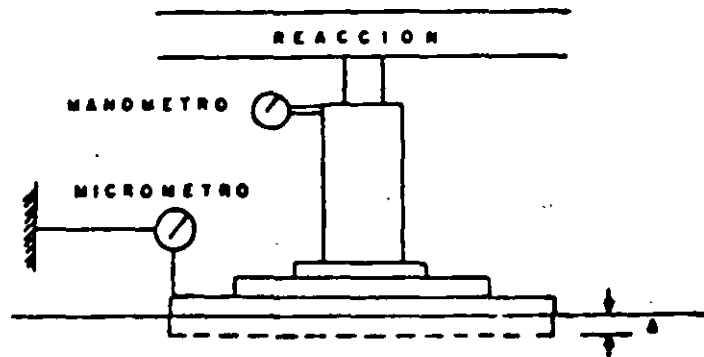
- 1.- MANTENER EL PAVIMENTO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO NATURAL
- 2.- DRENAJE SUPERFICIAL ADECUADO
- 3.- SUBDRENAJE Y SISTEMAS DE INTERCEPCION DE AGUA
- 4.- MANTENER EL NAF BAJO
- 5.- SELLAR SUPERFICIES
- 6.- CAPAS DRENANTES



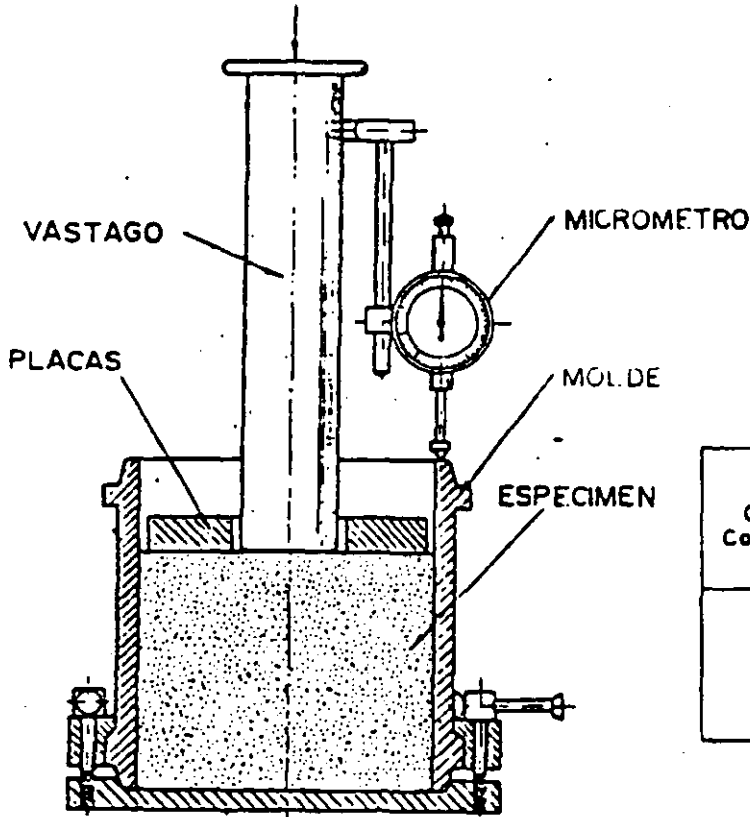
$$CBR = \frac{P_{0.1}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v}\right) 100$$

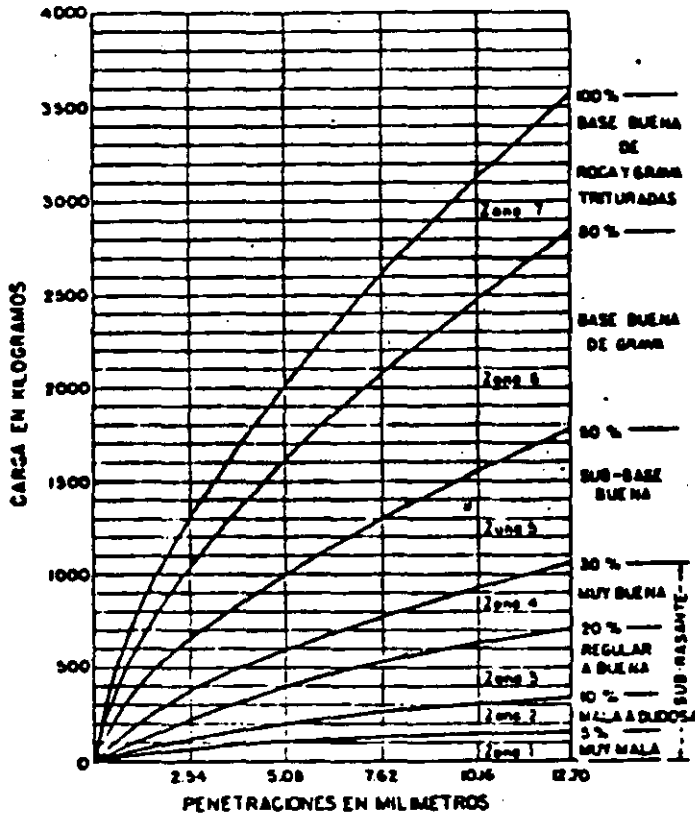


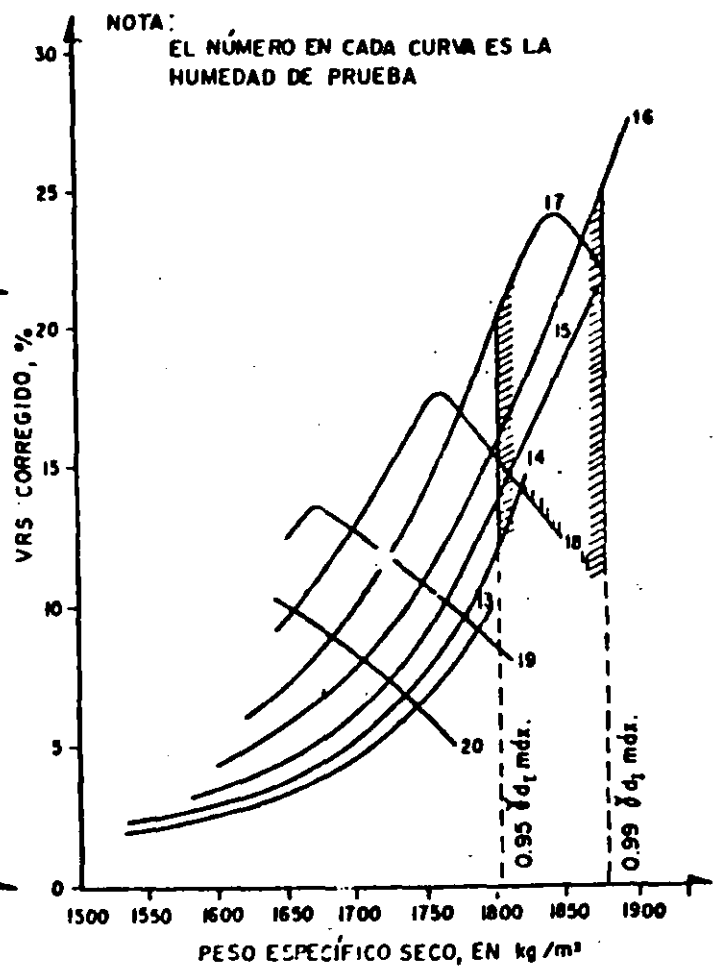
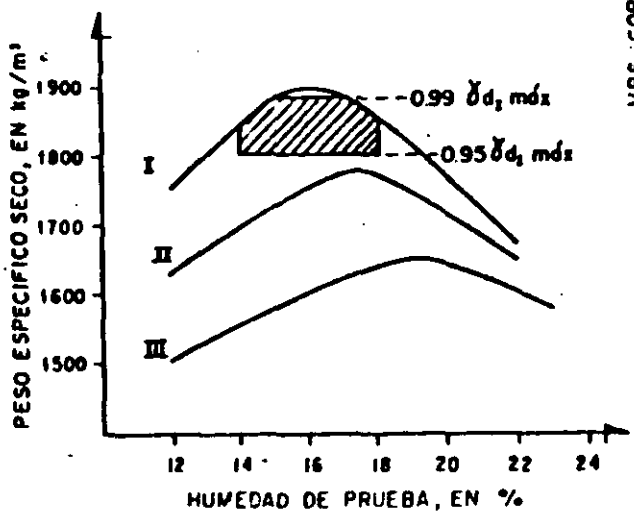
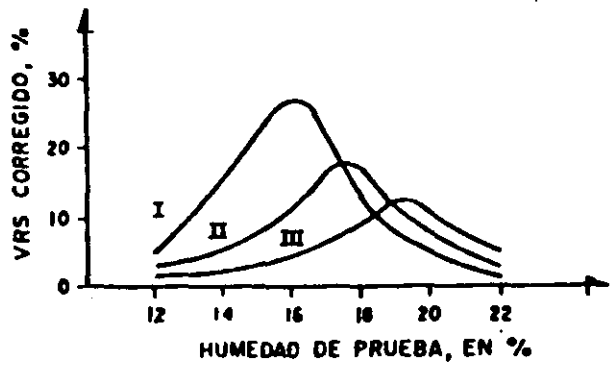
DEFORMACION PROMEDIO PARA 10 REPETICIONES



PRUEBA MODIFICADA . S.O.P.

| Grado de Compactación % | Variante 1 Buen drenaje precipitación baja a media. | Variante 2 Drenaje deficiente, precipitación media a alta. |
|-------------------------|--|---|
| 100 | W_o | W_o |
| 95 | W_o | $W_o + 1.5$ |
| 90 - 75 | W_o | $W_o + 3.0$ |



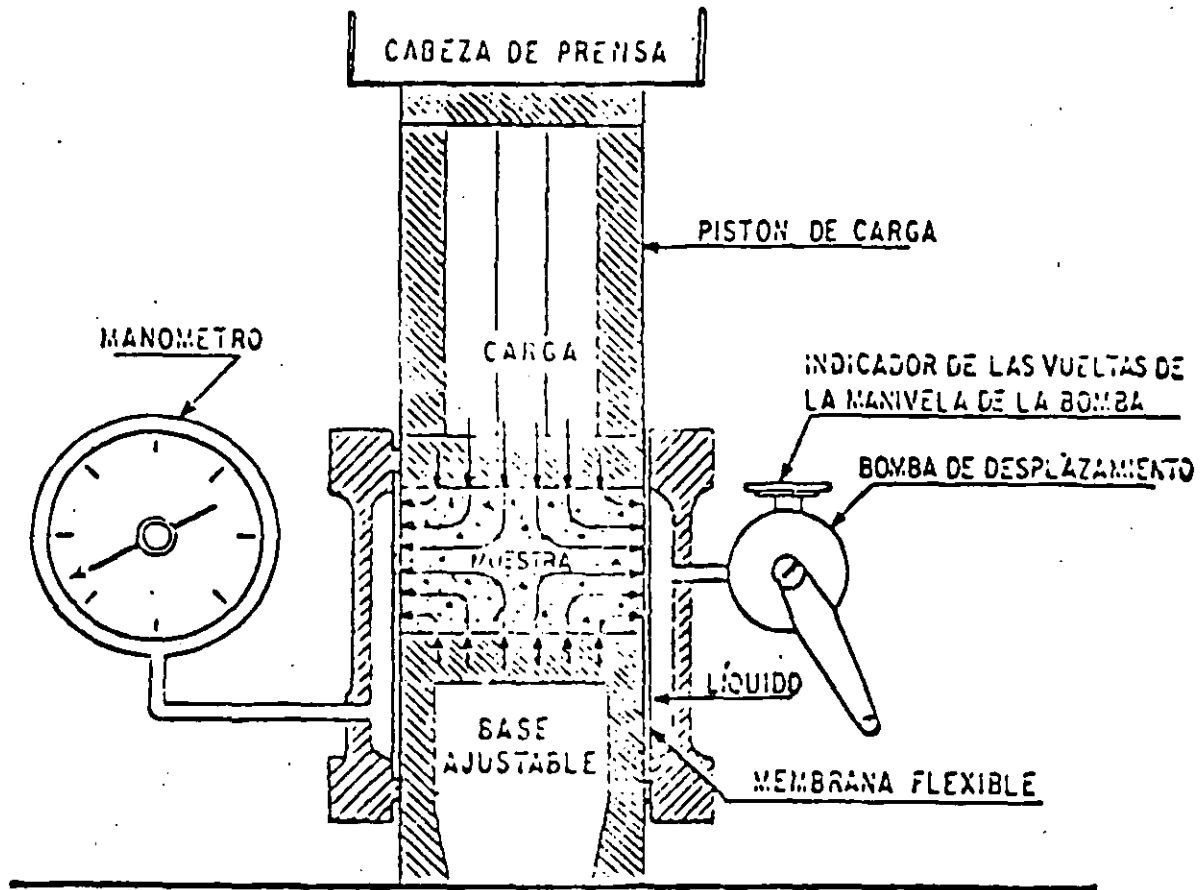


METODO CUERPO DE INGENIEROS



ESTABILOMETRO

45



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v} \right) 100$$

$$T = K \frac{P \sqrt{A} \text{Log} r}{\sqrt[5]{c}} \left(\frac{P_h}{P_v} = 0.1 \right)$$

En donde:

T = espesor del pavimento

k = constante (0.0175)

P = presión de inflado de las llantas

A = área de contacto

r = número de repeticiones de esfuerzos

c = Valor del cohesiómetro.

P_h = presión horizontal transmitida

P_v = presión vertical aplicada (160 psi)

(2)

CATEGORIA DE SUBRASANTE

| CATEGORIA | MATERIAL | CBR % | K lb/pulg ³ |
|-----------|-----------------------------------|----------|---------------------------|
| MUY BUENA | GW, GP, GM, GC SW, SP, SM, SC. | > 10 | > 200 |
| BUENA | ML, CL, OL | 6 A 10 | 150 A 200 |
| MALA | MH, CH, OH | 3 A 6 | 100 A 150 |

MATERIALES PARA TERRACERIAS

| TIPO | | ACOMODO | CUERPO DE TERRAPLEN | CAPA SUBRASANTE | |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|---|----------------------------|--|
| FRAGMENTOS | GRANDES | CON TRACTOR | PUEDEN USARSE ACOMODADOS POR CAPAS, DEL ESPESOR MINIMO COMPATIBLE CON EL TAMAÑO MAXIMO. | NO DEBEN USARSE | |
| | MEDIANOS | Y/O EQUIPO | | | |
| | CHICOS | CONSTRUCCION | | | |
| PELLOS | GRAVAS | COMPACTADOS CON EL EQUIPO ESPECIFICO | GRADO DE COMPACTACION: 90% AASHTO - T - 99 AASHTO - T - 180 | GRADO DE COMPACTACION: 95% | |
| | ARENAS | | | ML | NO DEBEN USARSE CUANDO CBR 5% Y EXPANSION 5% |
| | | | | CL | |
| | | | | OL | |
| | FINOS | | | MH ₁ | NO DEBEN USARSE EN AEROPISTAS. |
| | | | | CH ₁ | |
| OH ₁ | | NO DEBEN USARSE | | | |
| | MH ₂ | NO DEBEN USARSE | | | |
| | CH ₂ | | | | |
| | OH ₂ Pt | | | | |

071

(18)

PRINCIPALES PROPIEDADES DE UN SUELO

- 1 ESTABILIDAD VOLUMETRICA
- 2 RESISTENCIA MECANICA
- 3 PERMEABILIDAD
- 4 DURABILIDAD
- 5 COMPRESIBILIDAD

C R I T E R I O S

- ACEPTAR EL MATERIAL TAL Y COMO ESTA Y EFECTUAR EL DISEÑO DE ACUERDO CON LAS RESTRICCIONES IMPUESTAS POR LA CALIDAD DEL MATERIAL.

- REMOVER Y DESECHAR EL SUELO DEL LUGAR Y SUSTITUIRLO POR UN SUELO DE CARACTERISTICAS ADECUADAS.

- ALTERAR O CAMBIAR LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL EXISTENTE, DE TAL MANERA QUE SE OBTENGA UN MATERIAL QUE REUNA EN MEJOR -- FORMA LOS REQUISITOS IMPUESTOS, O CUANDO MENOS QUE LA CALIDAD OBTENIDA SEA ADECUADA.

METODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

MECANICOS

COMPACTACION

FISICOS

CONFINAMIENTO

CONSOLIDACION

VIBRACION

MEZCLAS DE SUELOS

QUIMICOS

ESTABILIZACIONES Y TRATAMIENTOS

- CEMENTO PORTLAND

- ASFALTO

- CAL

- OTROS.

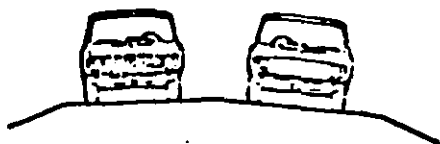
ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS

- TIPO DE SUELO Y SU UTILIZACION EN EL PAVIMENTO
- TIPO DE PRODUCTO Y SUS CARACTERISTICAS
- EXPERIENCIA DEL PROYECTISTA Y DEL CONSTRUCTOR
- REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
- DISPONIBILIDAD DE EQUIPO
- PROGRAMA CONSTRUCTIVO
- ANALISIS DE COSTOS.

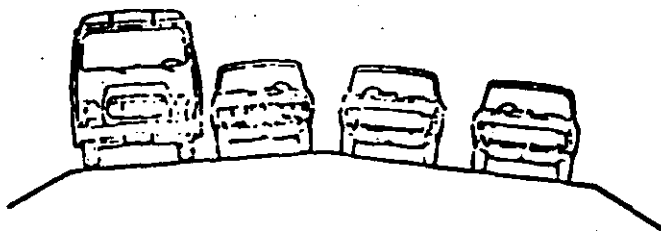
CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS PRODUCTOS
DE AGREGADOS Y CEMENTO PORTLAND.

| PRODUCTO | CONSISTENCIA | CONTENIDO DE AGUA | MATERIALES | MEZCLADO | COMPACTACION |
|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------|
| SUELO CEMENTO | NO PLASTICA SECA | W _{OPT} | SUELOS ARENOSOS | MOTOCONFORMADORA, MANUAL. | RODILLOS |
| BASE TRATADA CON CEMENTO | NO PLASTICA SECA | W _{OPT} | GRANULARES, BIEN GRADUADOS | PLANTA FIJA O MOVIL | RODILLOS |
| CONCRETO POBRE ECONOMOCRETO | PLASTICA | A/C | AGREGADOS DE BAJO COSTO, RECICLADOS | PLANTA | VIBRADO |
| CONCRETO | PLASTICA | A/C | AGREGADOS PARA CONCRETO | PLANTA | VIBRADO |

CARRETERAS



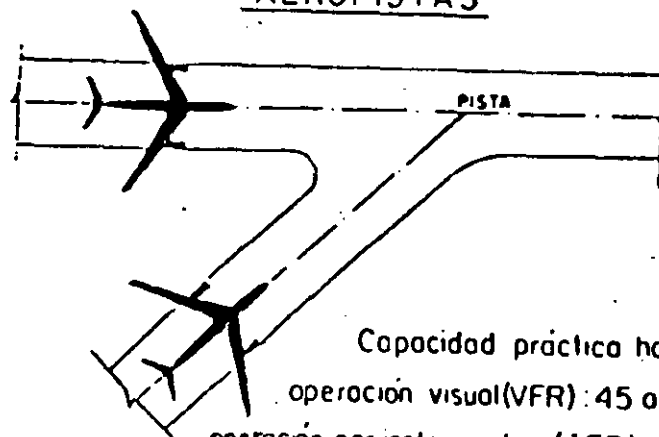
Capacidad máxima por carril:
2,000 automóviles / hora.
(a 50 - 60 km./hr.)



Capacidad máxima.-
Carril de adentro: 2,200 automóviles/hora.
Carril de afuera: 1,700 automóviles/hora.
(a 60 km/hr.)

Frecuencia del tránsito.

AEROPISTAS



Capacidad práctica horaria.-
operación visual (VFR): 45 a 99 op/hr
operación por instrumentos (IFR) 42 a -
53 op /hr.

NOTA: El valor mayor es para
pistas que solo reciben
aviones bimotores y
monomotores.
El valor menor es para
pistas que reciben una
mezcla de aviones en
que el 60% son
cuatrirreactores o aviones
mayores.

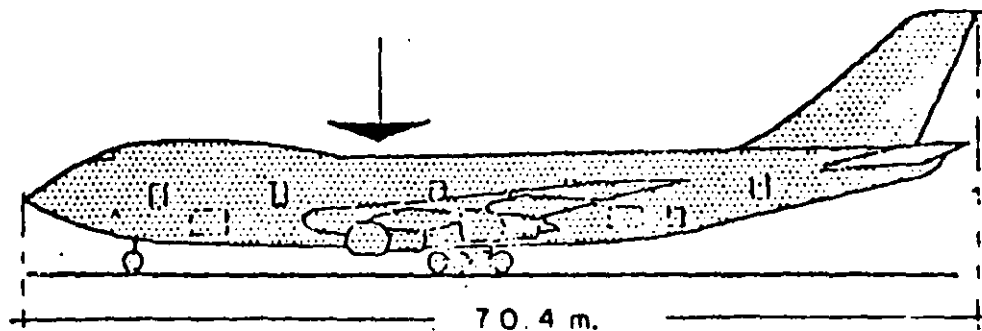
⑤

Peso total = 34 ton.



B - 7 4 . 7

Peso total = 374 ton



Numero de llantas Carga por rueda (max.)

16 principales _____ 1 800 kg.

2 direccionales _____ 2 500 kg.

Numero de llantas

Carga por rueda (max.)

16 principales _____ 21,500 kg.

2 auxiliares _____ 15,000 kg.

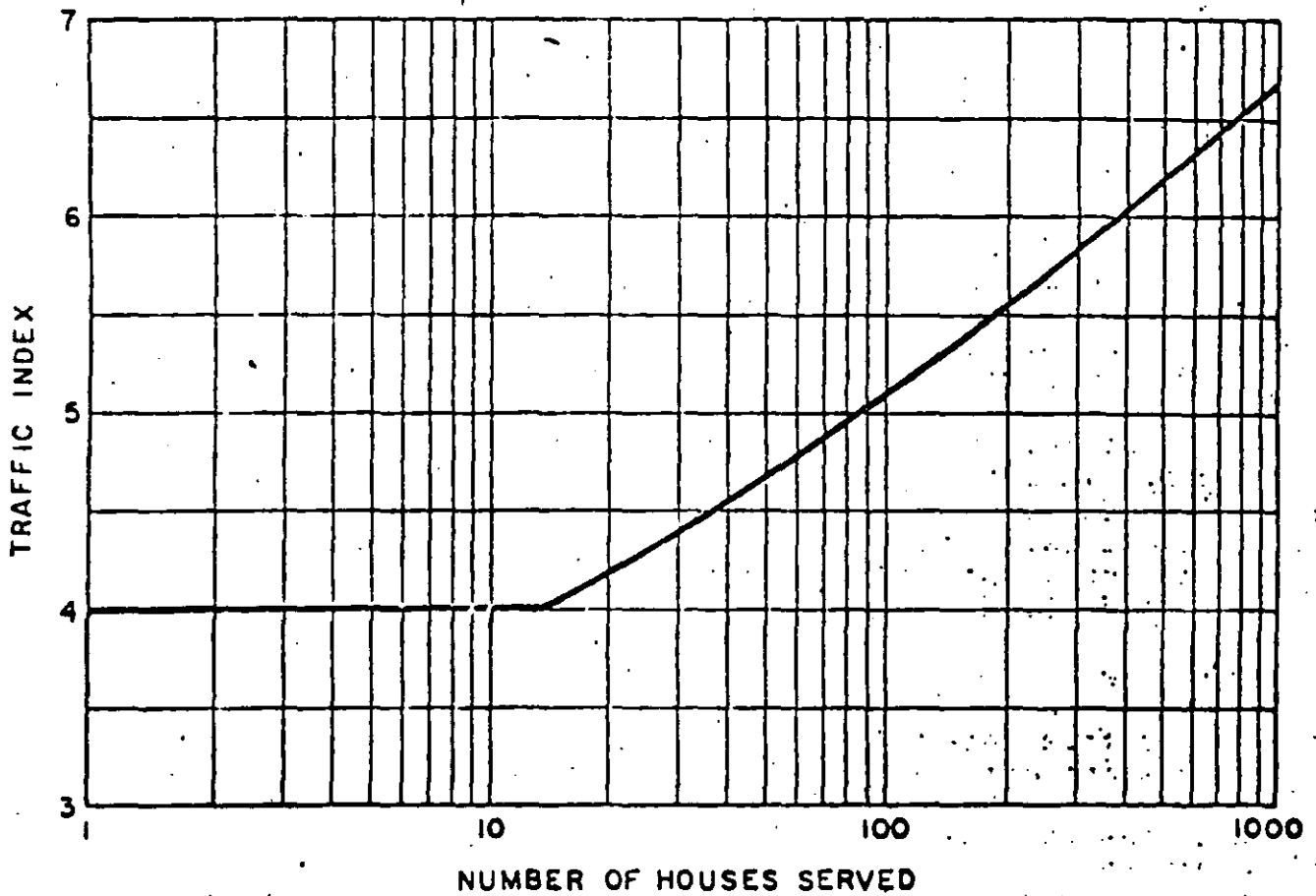
078

50

INTENSIDAD DE LAS CARGAS



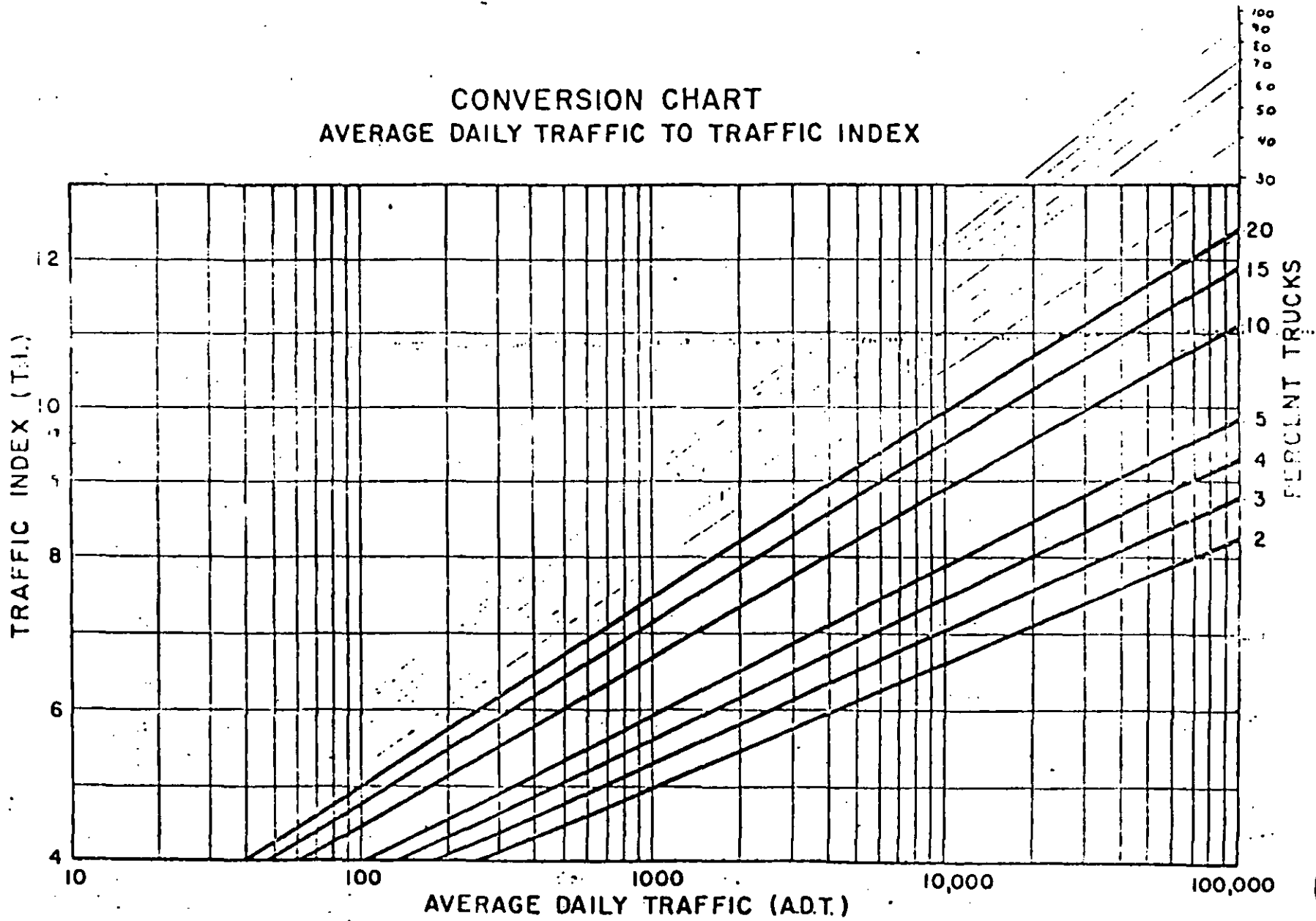
CHART FOR ESTIMATION OF TRAFFIC INDEX
USING A HOUSE COUNT



Notes: For use only within subdivisions for residential and residential collector streets.

Chart is based on a 10-year design life.

CONVERSION CHART
 AVERAGE DAILY TRAFFIC TO TRAFFIC INDEX



080



METODO BASICO

Tránsito diario en dos direcciones = 500 vpd
 Dirección del tránsito en 2 carriles = 50 y 50%
 Porcentaje de camiones = 25%
 Tasa de incremento por año = 5.5 %

$p = 2; SN = 4.$

| CARGA POR EJE (KIPS) | EJES SENCILLOS POR CADA 100 CAMIONES | | | EJES EN TANDEM POR CADA 100 CAMIONES | | |
|----------------------|--------------------------------------|--------|---------------|--------------------------------------|------|-------|
| | NUMERO | F | NxF | NUMERO | F | NxF |
| Menos de 3 | 75.3 | 0.0002 | 0.02 | | | |
| 3-5 | 29.9 | 0.002 | 0.06 | | | |
| 5-7 | 10.5 | 0.01 | 0.11 | | | |
| 7-9 | 3.4 | 0.03 | 0.10 | | | |
| 9-11 | 4.2 | 0.08 | 0.34 | | | |
| 11-13 | 3.0 | 0.18 | 0.54 | | | |
| 13-15 | 4.1 | 0.35 | 1.43 | 0.1 | 0.03 | 0.01 |
| 15-17 | 9.3 | 0.61 | 5.78 | 0.5 | 0.05 | 0.03 |
| 17-19 | 11.0 | 1.00 | 11.00 | 1.5 | 0.08 | 0.12 |
| 19-21 | 8.0 | 1.55 | 12.40 | 2.0 | 0.12 | 0.24 |
| etc. | | | | | | |
| | | | Totales 46.99 | | | 14.99 |

Ejes equivalentes por cada 100 camiones = 46.99 + 14.99 = 61.98
 Tránsito inicial de 18 000 LB por eje equivalente

$$\frac{500}{2} \times 0.25 \left(\frac{61.98}{100} \right) = 38.7$$

Tránsito acumulado para un periodo de 10 años

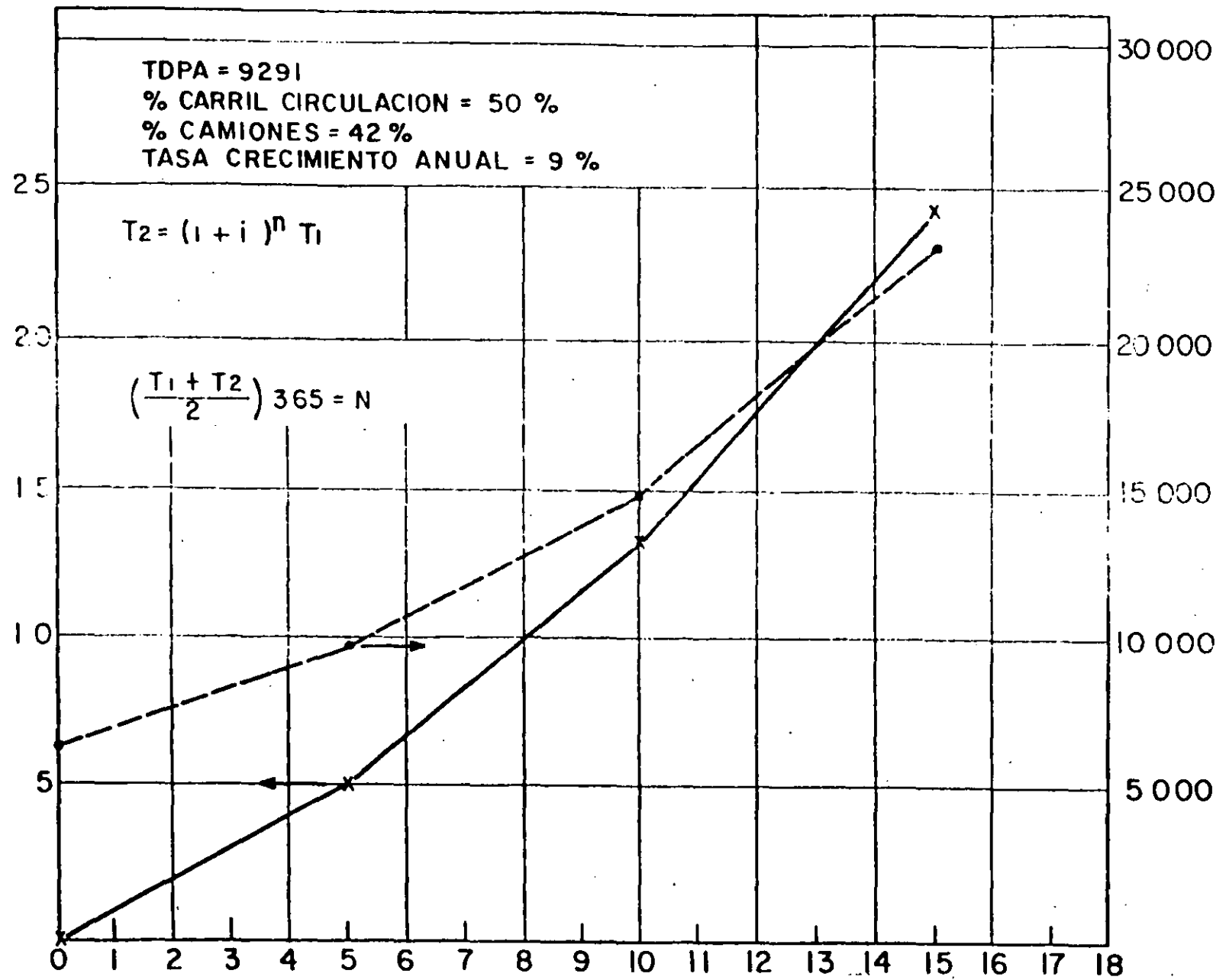
$$\sum_{t=0}^n EAL = \frac{EAL_0 (365)}{\log_e (1 + i)} \left[(1 + i)^n - 1 \right]$$

$$\approx EAL = \frac{38.7 \times 365}{0.0535} \left[(1.055)^{10} - 1 \right] = 186\ 818$$

o bien, efectuando los cálculos por cada año:

| Fin del año | $(1 + i)^n$ | Total en el año |
|-------------|-------------|---|
| 1 | 1.000 | $38.7 \left(\frac{1 + 1.055}{2} \right) (365) = 14\ 5$ |
| 2 | 1.055 | $38.7 \left(\frac{1.055 + 1.113}{2} \right) (365) = 15\ 3$ |
| 3 | 1.113 | $38.7 \left(\frac{1.113 + 1.174}{2} \right) (365) = 16\ 2$ |
| etc. | | TOTAL 186 818 |

NUMERO ACUMULADO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 KN
(MILLONES)



PROYECCION DEL TRANSITO, AÑOS

(62)

082

(69)

1.- FASES DEL PROYECTO

- ESTRUCTURACION Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS.
- NORMAS DE CALIDAD Y FUENTES DE APROVISIONAMIENTO DE MATERIALES.
- NORMAS DE CONSTRUCCION.
- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO.

(65)

1.- FASE DEL PROYECTO.

- ESTRUCTURACION Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS (P. FLEX). DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA, TIPO Y UBICACION DE LAS JUNTAS (P. RIGIDOS)
- FIJACION DE LAS NORMAS DE CALIDAD Y DE LAS FUENTES DE APROVISIONAMIENTO DE MATERIALES.
- ESPECIFICACIONES GENERALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION
- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO.

2.- QUE DEBEMOS HACER:

(66)

✓ ESTUDIOS ESPECIFICOS.

EXPLORACION Y MUESTREO A LO LARGO DE LA RUTA

ENSAYES DE LABORATORIO

ANALISIS DE TRANSITO

CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES

RECURSOS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES

3.- QUE DEBEMOS TENER:

(67)

- BUEN CONOCIMIENTO DE LOS DIFERENTES FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO.
- CIERTO DOMINIO DE VARIOS DE LOS PRINCIPALES METODOS DESARROLLADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS
- FAMILIARIDAD CON LAS NORMAS QUE REGULAN LA CALIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES.
- EXPERIENCIA Y BUEN JUICIO.

TRANSITO

- AERONAVE DE DISEÑO O TRANSITO EQUIVALENTE
- NUMERO DE APLICACIONES
- PESO TOTAL DE OPERACION
- CONFIGURACION DEL TREN DE ATERRIZAJE O NUMERO DE EJES
- PRESIONES DE INFLADO Y DE CONTACTO
- CANALIZACION DE TRANSITO

CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO Y DE LOS MATERIALES PARA PAVI-
MENTACION

- PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS
- CARACTERISTICAS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES EN LA ZONA

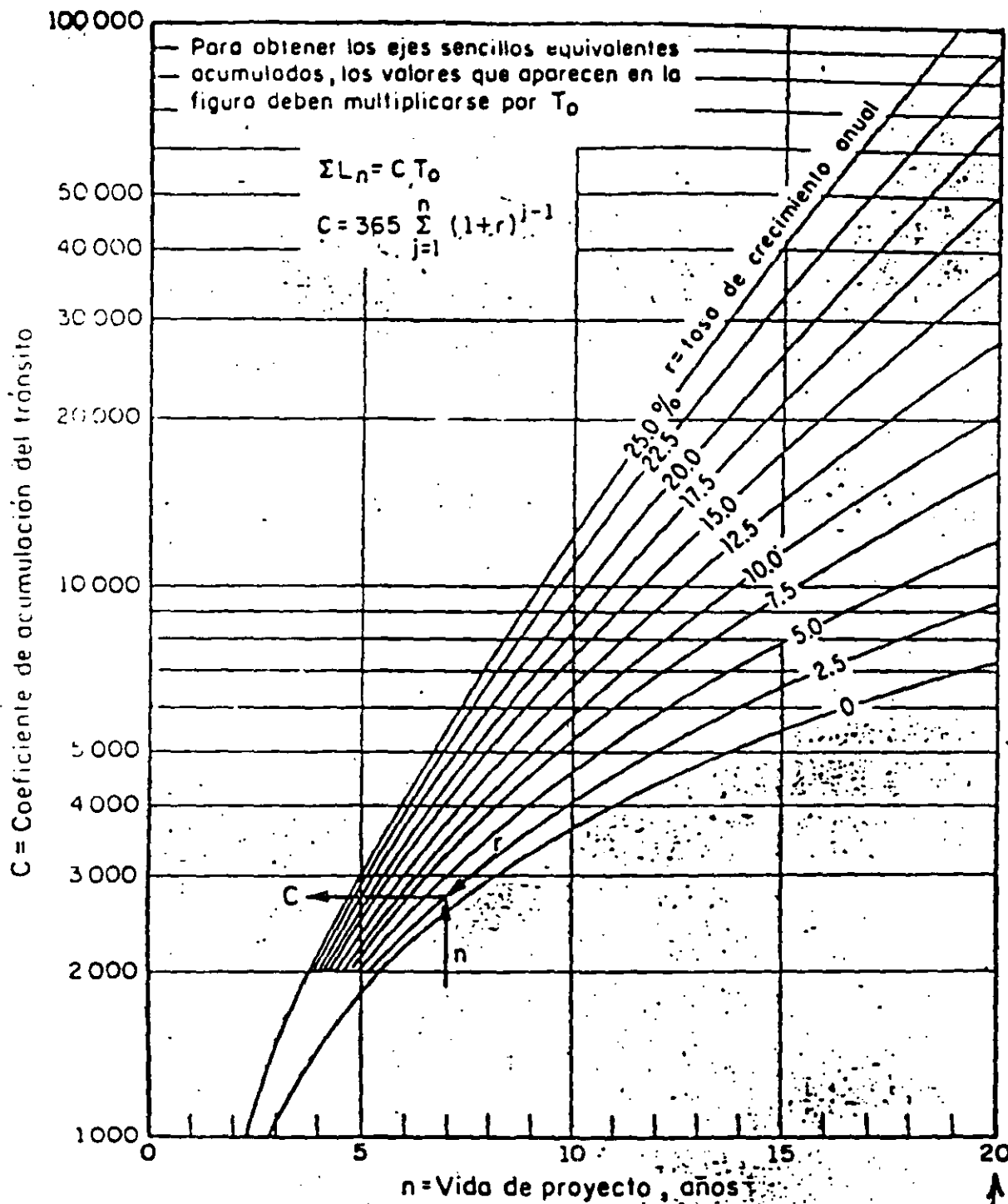
CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS Y FACTORES AMBIENTALES

- VARIACION DE LA TEMPERATURA
- REGIMEN PLUVIOMETRICO
- DRENAJE Y SUBDRENAJE
- POSICION DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS
- TOPOGRAFIA

P R O Y E C T O

- 1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA. TIPO Y UBICACION DE LAS JUNTAS.
- 2.- NORMAS PARA LA CONSTRUCCION PREVIA DEL APOYO AL PAVI
MENTO. (Terracerías, capa subrasante, sub-base)
- 3.- ESPECIFICACIONES GENERALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION
- 4.- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO

0865
086



ΣL_n tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

C coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r

T_0 tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \Sigma N_i F_i + \Sigma N_i' F_i'$$

N_i, N_i' promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados respectivamente), durante el primer año de servicio

F_i, F_i' coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 ton

Fig. A.3. Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

| TIPO DE VEHICULO | COMPOSICION DEL TRANSITO (1) | COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS (2) | | COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS (3) - (1) - (2) | COEFICIENTES DE DAÑO | | NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton | |
|--|---------------------------------|---|--------|---|--|--|--|---|
| | | CARGADOS | VACIOS | | CARPETA Y BASE Z: 0 (4) | SUB-BASE Y TERRACERIAS Z: 30 (5) | CARPETA Y BASE (6) = (3) x (4) | SUB-BASE Y TERRACERIAS (7) = (3) x (5) |
| A2 | 0.339 | CARGADOS | 1.0 | 0.339 | 0.004 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| | | VACIOS | 0.0 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| A'2 | 0.144 | CARGADOS | 0.6 | 0.086 | 0.538 | 0.023 | 0.046 | 0.002 |
| | | VACIOS | 0.4 | 0.058 | 0.536 | 0.000 | 0.031 | 0.000 |
| B2 | 0.097 | CARGADOS | 0.8 | 0.078 | 2.000 | 1.589 | 0.156 | 0.124 |
| | | VACIOS | 0.2 | 0.019 | 2.000 | 0.360 | 0.030 | 0.007 |
| C2 | 0.274 | CARGADOS | 0.7 | 0.192 | 2.000 | 1.589 | 0.384 | 0.305 |
| | | VACIOS | 0.3 | 0.082 | 2.000 | 0.018 | 0.164 | 0.001 |
| C3 | 0.072 | CARGADOS | 0.9 | 0.065 | 3.000 | 1.170 | 0.195 | 0.077 |
| | | VACIOS | 0.1 | 0.007 | 3.000 | 0.030 | 0.021 | 0.000 |
| T2-S1 | 0.025 | CARGADOS | 0.7 | 0.018 | 3.000 | 3.072 | 0.054 | 0.055 |
| | | VACIOS | 0.3 | 0.007 | 3.000 | 0.027 | 0.021 | 0.000 |
| T2-S2 | 0.049 | CARGADOS | 0.9 | 0.044 | 4.000 | 2.661 | 0.176 | 0.117 |
| | | VACIOS | 0.1 | 0.005 | 4.000 | 0.033 | 0.020 | 0.000 |
| SUMAS | 1.000 | — | 7.0 | 1.000 | EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO (8) | | 1.307 | 0.688 |
| COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$ = AÑOS DE SERVICIO = 9 = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7.5 % DPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500 CD CARRIL PROYECTO = 0.5 | | | | | TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO (9) | 250 | 250 | |
| | | | | | C_T (10) | 4463.89 | 4463.89 | |
| | | | | | ΣL (11) = (8) x (9) x (10) | 1458578 | 767790 | |

Fig 5. Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado (EL)

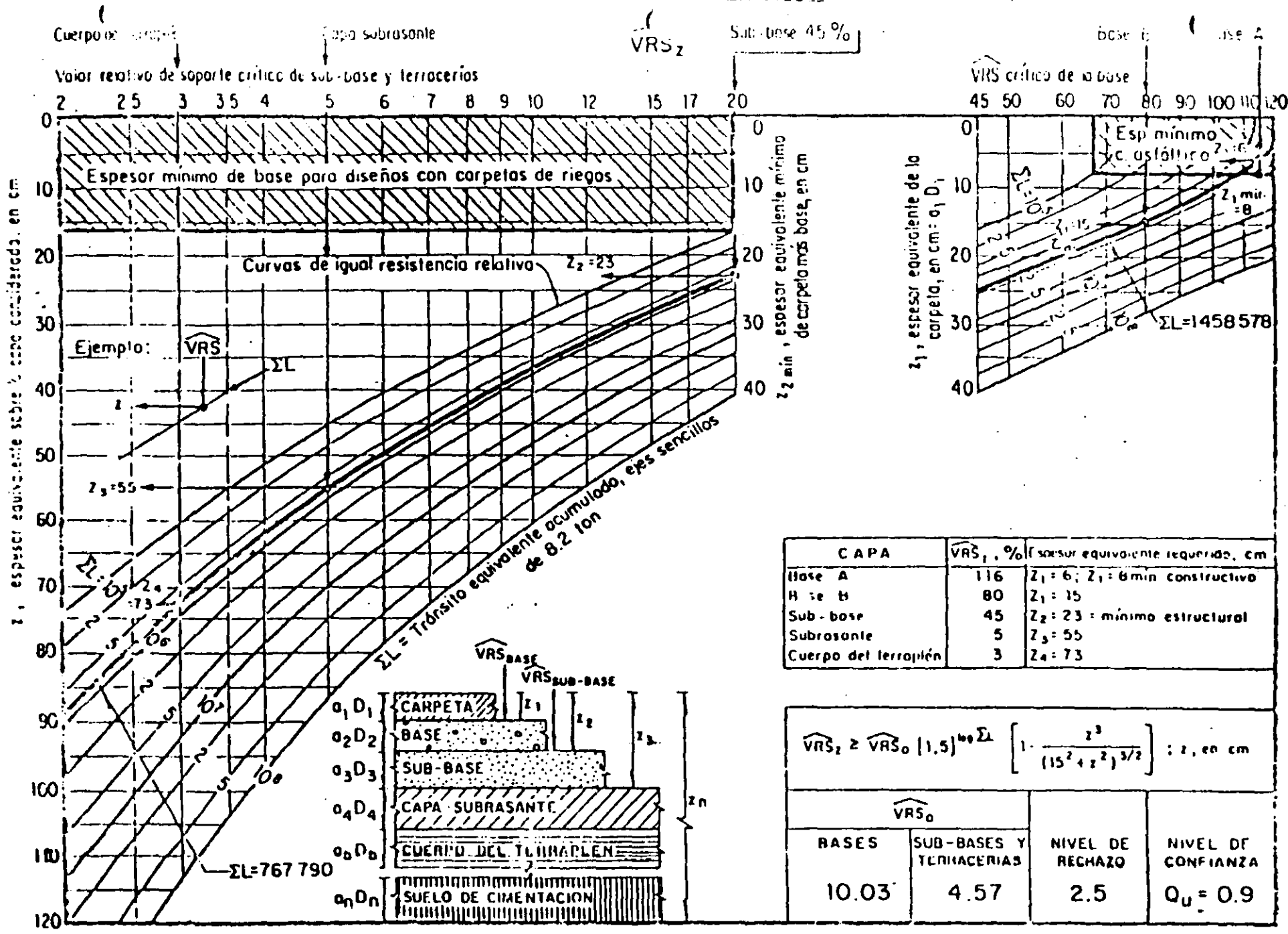
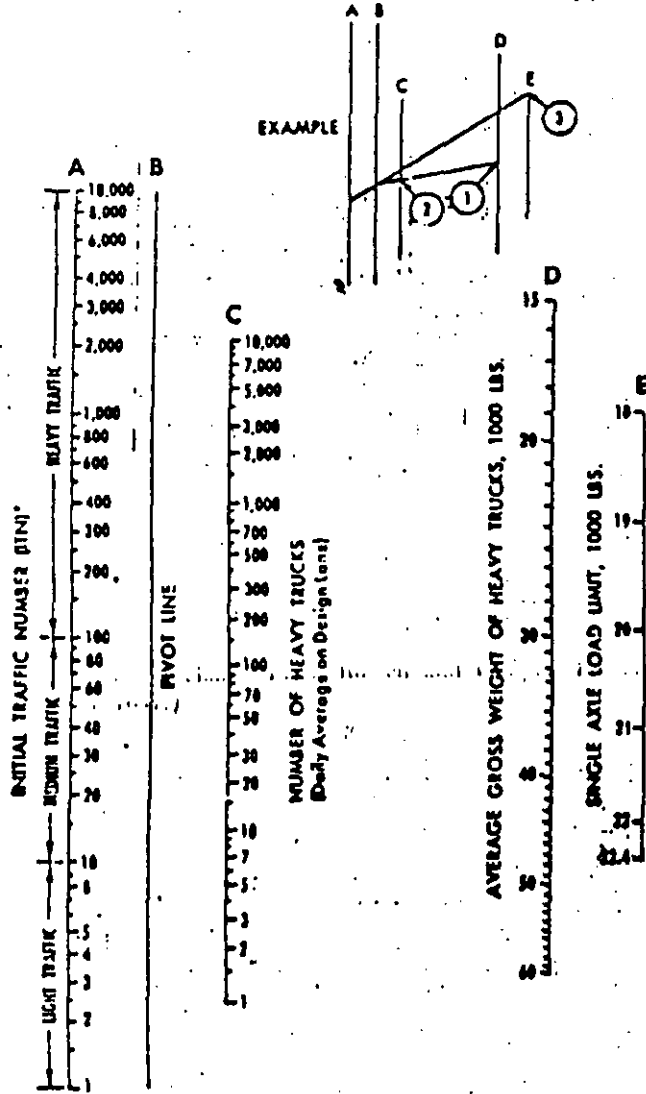


Fig 8. Ejemplo: gráfica para diseño de espesores de capas de carreteras con pavimento flexible

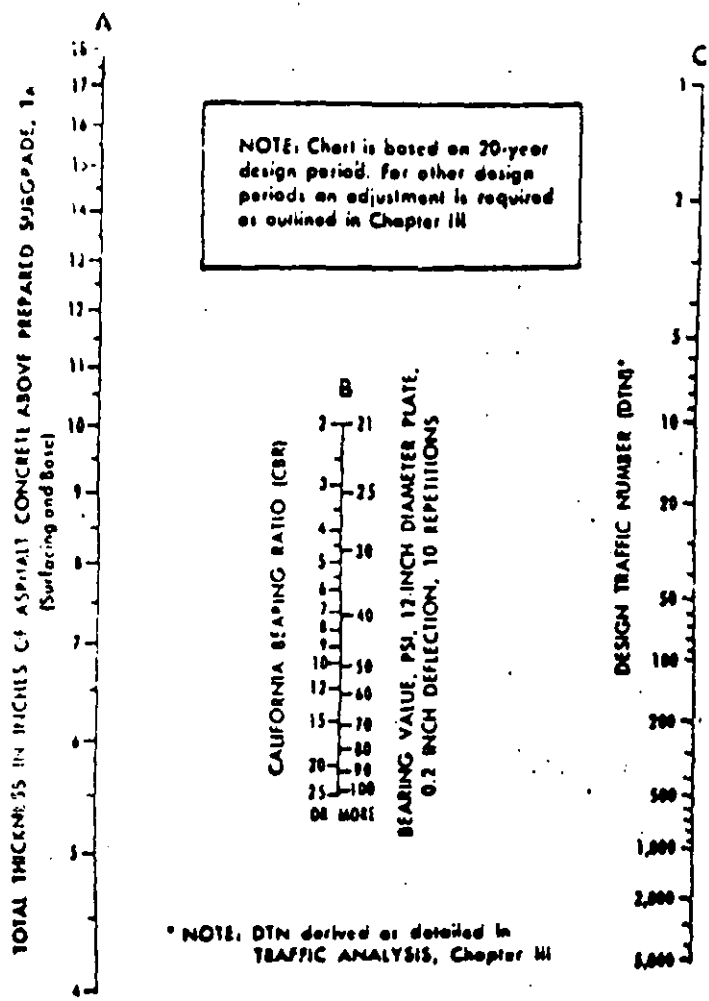
(91)



* ITN value may require correction where the IDT of automobiles and light trucks is relatively high. See Figure III-2

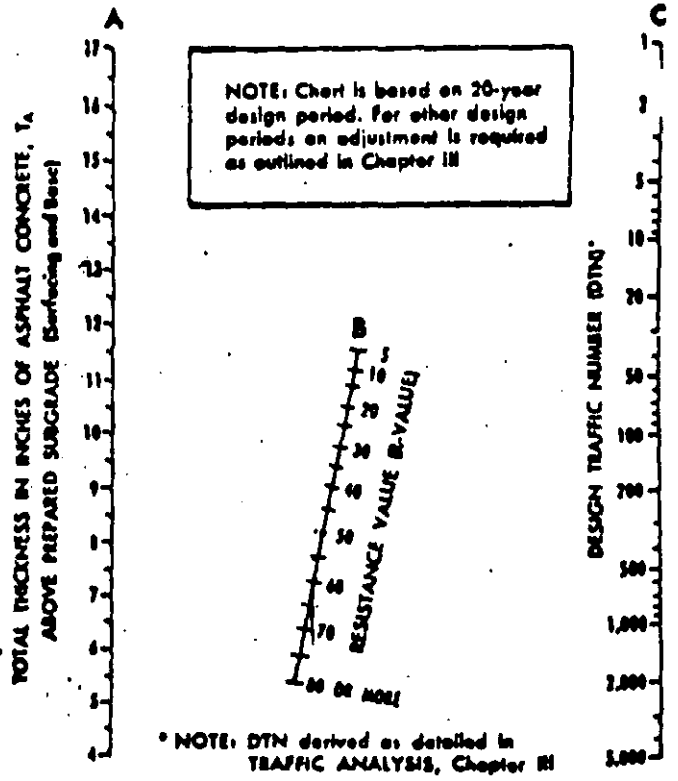
Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

Figure III-1—Traffic analysis chart



Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

Figure V-1—Thickness design chart for asphalt pavement structures using subgrade soil CBR or Plate-Bearing values



Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

Figure V-2—Thickness Design Chart (Resistance Value)

92

(93)

TABLE 15.8. Surface Thickness Requirements*

| Design DTN | Hot Mix- Sand Asphalt (in.) | Liquid/Emulsified Asphalt | |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | | A ^b (in.) | B ^c (in.) |
| < 10 | 2 | 2 | 3 |
| ≥ 10 and < 100 | 3 | 3 | 4 |
| ≥ 1000 | 4 | 4 | 5 |

* From The Asphalt Institute.

^b A—Use if TAI Type IV aggregate gradation used.

^c B—Use if aggregate gradation other than Type IV used.

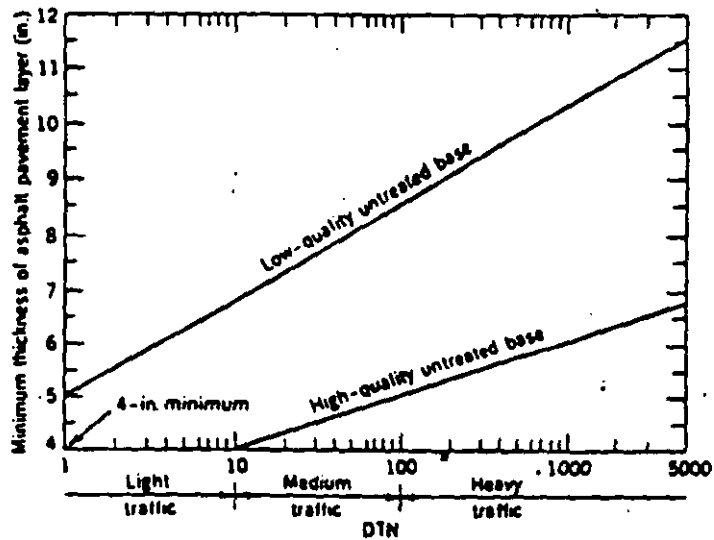


Figure 15.16. Recommended surface thickness for untreated base pavements. (From The Asphalt Institute.)



TOLERANCIAS

| | |
|--|------------------------------|
| Pendiente transversal con respecto a la de proyecto profundidad máxima de las depresiones observadas, - determinadas colocando una regla metálica de tres - metros de longitud; paralela y normalmente al eje | ± 0.50 % |
| Espesores: | 1.5 cm |
| En el 85% como mínimo del número total de espesores determinados: | ex ≥ 0.90 % |
| En el 15% como máximo del número total de espesores determinados: | 0.8 % ex ≥ 0.9 % |
| En el 5% como máximo del número total de espesores - determinados: | 0.7 % ex ≥ 0.8 % |
| Carpetas. | |
| Pendiente transversal con respecto a la de proyecto profundidad máxima de las depresiones observadas, - determinadas colocando una regla metálica de tres - metros de longitud paralela y normalmente al eje. | ± 0.25% |
| Espesores: | 0.5 cm. |
| En el 90% como mínimo del número total de espesores determinados. | 0.5 cm. |
| En el 10% restante del número total de espesores | de (-0.5 cm). a (-1.0 cm) |
| Coeficiente de fricción, determinado en condiciones de pavimento mojado, con dispositivo Mu meter. | 0.35. |
| Índice de perfil, determinado con perfilógrafo lon- gitudinal tipo California | 20 pulg/milla |

TIPOS DE LIGANTES

ALQUITRANES

ASFALTOS

CEMENTO ASFALTICO

ASFALTOS
REBAJADOS

ASFALTOS LIQUIDOS

EMULSIONES
ASFALTICAS

FR 0, 1, 2, 3, 4.

FM 0, 1, 2, 3, 4.

FL 0, 1, 2, 3, 4.

ANIONICAS

ROMPIMIENTO

RAPIDO

MEDIO

LENTO

CATIONICAS

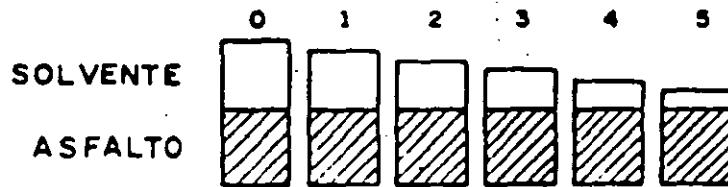
ROMPIMIENTO

RAPIDO

MEDIO

LENTO

ASFALTOS REBAJADOS
PROPORCION DE SOLVENTES



TIPO DE SOLVENTE

| | |
|----------------------|---------------|
| FRAGUADO RAPIDO (FR) | NAFTA |
| FRAGUADO MEDIO (FM) | KEROSENA |
| FRAGUADO LENTO (FL) | ACEITE LIGERO |

TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS

(103)

- 1) DE RIEGOS (UNO O VARIOS)
- 2) MEZCLAS ELABORADAS EN FRIO
 - a) EN EL LUGAR, CON MOTOCONFORMADORA
 - b) EN PLANTA MOVIL
 - c) EN PLANTA ESTACIONARIA
- 3) MEZCLAS EN CALIENTE, ELABORADAS EN PLANTA FIJA (CONCRETOS ASFALTICOS)

CONTENIDO DE SILICE (SiO₂) EN %

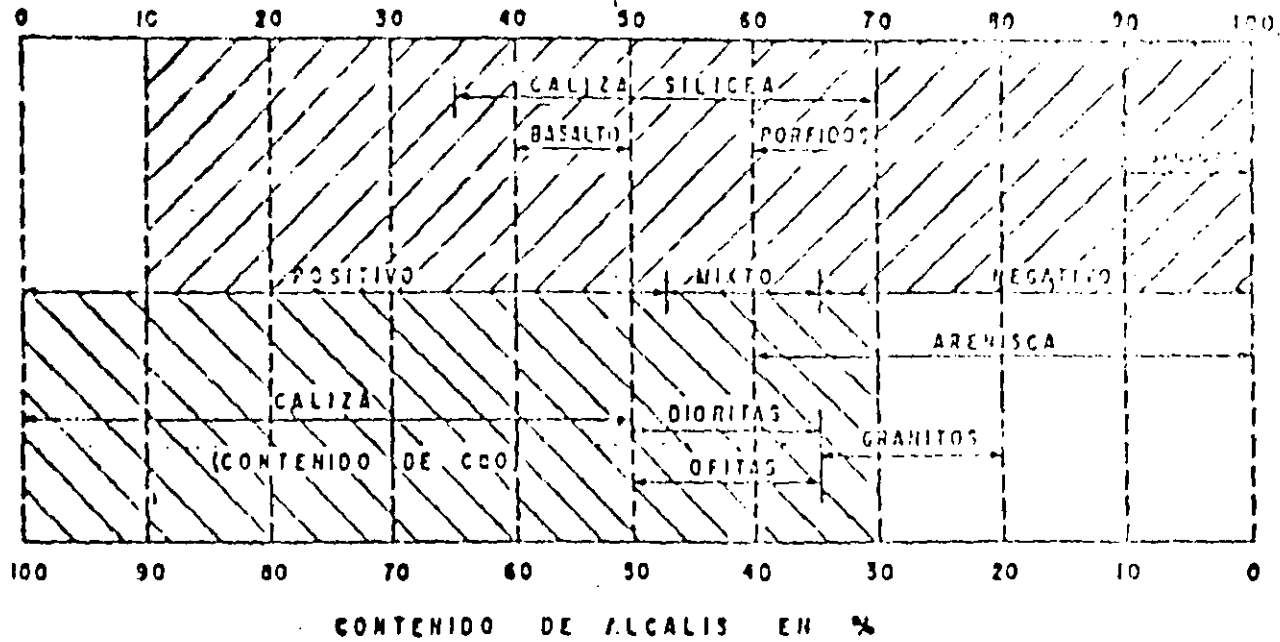


Figura VI.6- Clasificación de los Agregados.

PROPIEDADES DESEABLES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

- 1.- ESTABILIDAD
- 2.- DURABILIDAD
- 3.- FLEXIBILIDAD
- 4.- RESISTENCIA A LA FATIGA
- 5.- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- 6.- IMPERMEABILIDAD
- 7.- TRABAJABILIDAD.

106

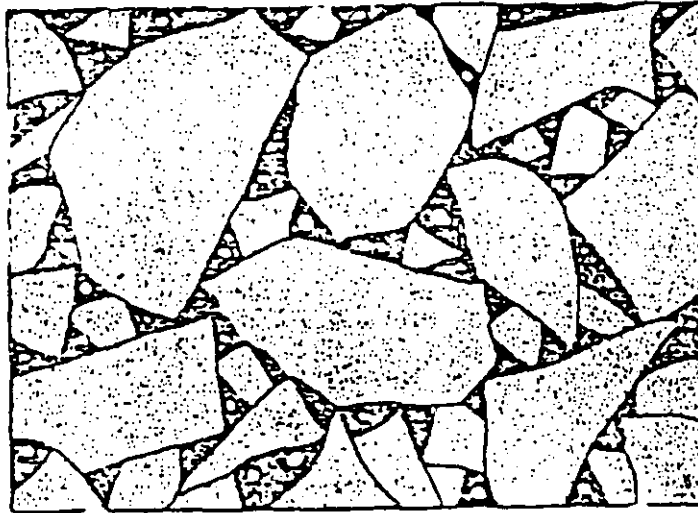


FIG. 4-3 — Esquema de la estructura formada por los áridos y el ligante asfáltico.

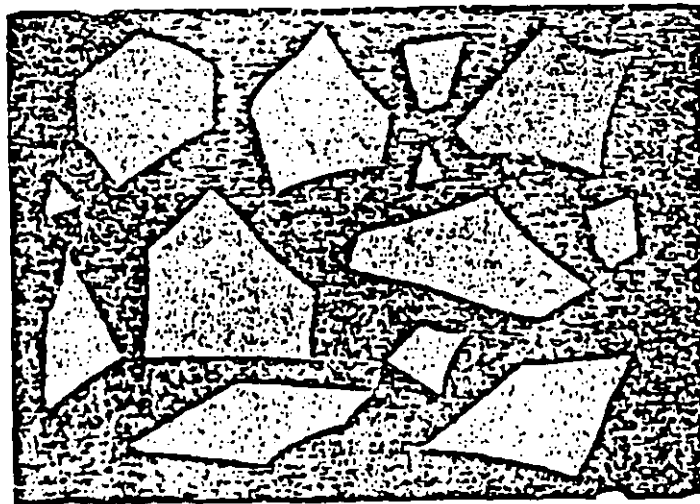
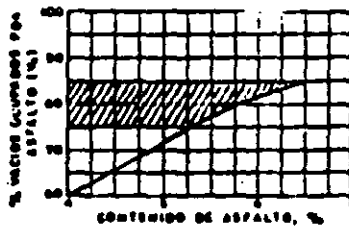
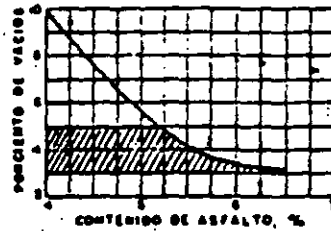
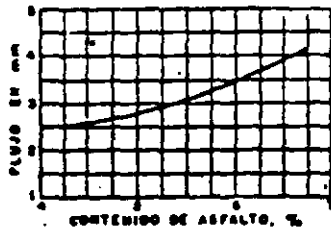
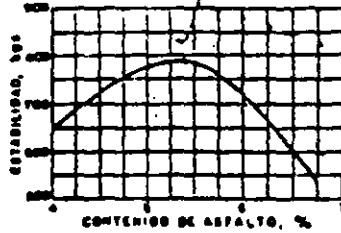
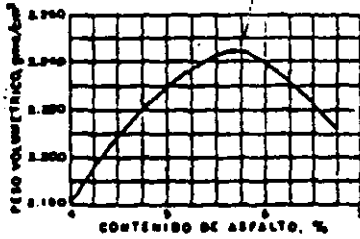


FIG. 4-4 — Esquema de una mezcla con exceso de ligante asfáltico.

GRAFICAS OBTENIDAS
PRUEBA MARSHALL

(110)



CARPETA ASFALTICA

AGREGADOS

GRANULOMETRIA
NATURALEZA DE LOS FINOS
DUREZA Y SANIDAD
FORMA Y TEXTURA DE PARTICULAS
ADHERENCIA CON ASFALTO

PRODUCTO ASFÁLTICO

CONSISTENCIA
DUCTILIDAD
SOLUBILIDAD
PRUEBA DE LA MANCHA
PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA
ETC.

TIPO DE CONCRETO EMPLEADO EN LA CONSTRUCCION DE LOSAS

- 1 - CONCRETO SIMPLE (CON O SIN JASAJUNTAS)
- 2 - CONCRETO CON REFUERZO LIGERO (MALLAS DE CALIBRE DELGADO)
- 3 - CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO
- 4 - CONCRETO PRESFORZADO
- 5 - CONCRETO FIBROSO

PRINCIPALES ACCIONES QUE AFECTAN LAS
LOSAS DE PAVIMENTO

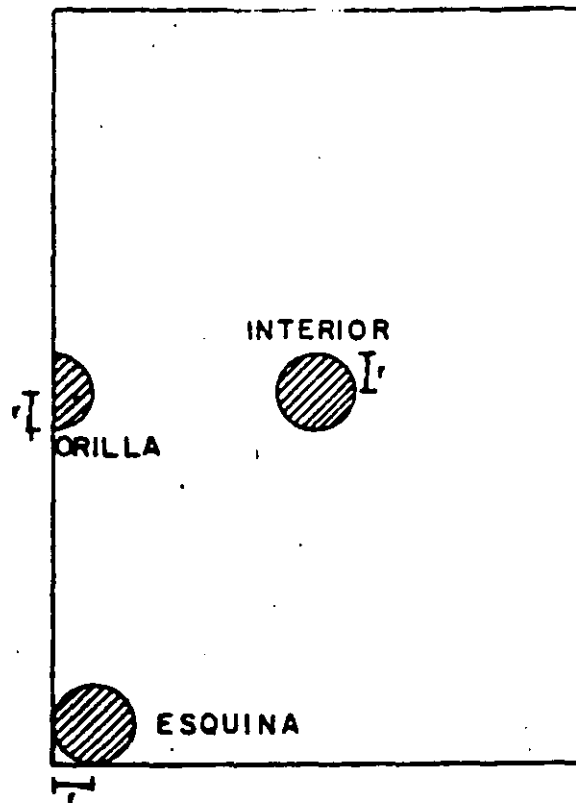
- TRANSITO
- VARIACIONES DE TEMPERATURA
- OTRAS (VARIACIONES EN EL CONTENIDO DEL AGUA DEL SUELO, CONTRAC-
CION DEL CONCRETO DURANTE EL FRAGUADO, FENOMENO DE ---
"BOMBEO", HELADAS, ETC.).

HIPOTESIS DE LA TEORIA DE WESTERGAARD

(11)

- 1.- LOSA HOMOGENEA, ELASTICA E ISOTROPA
- 2.- REACCION DEL APOYO VERTICAL Y PROPORCIONAL A LAS DEFLEXIONES,
(LIQUIDO DENSO).

(119)



LAS TRES POSICIONES DE LAS CARGAS
EN UNA LOSA DE CONCRETO

(120)

ECUACIONES DE WESTERGAARD

$$\sigma_i = 0.275(1+\mu) \frac{P}{h^2} \left[\log \left(\frac{Eh^3}{Kb^4} \right) - 54.54 \left(\frac{L}{c_1} \right)^2 c_2 \right]$$

$$\sigma_i = 0.31625 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{L}{b} \right) + 1.0693 \right]$$

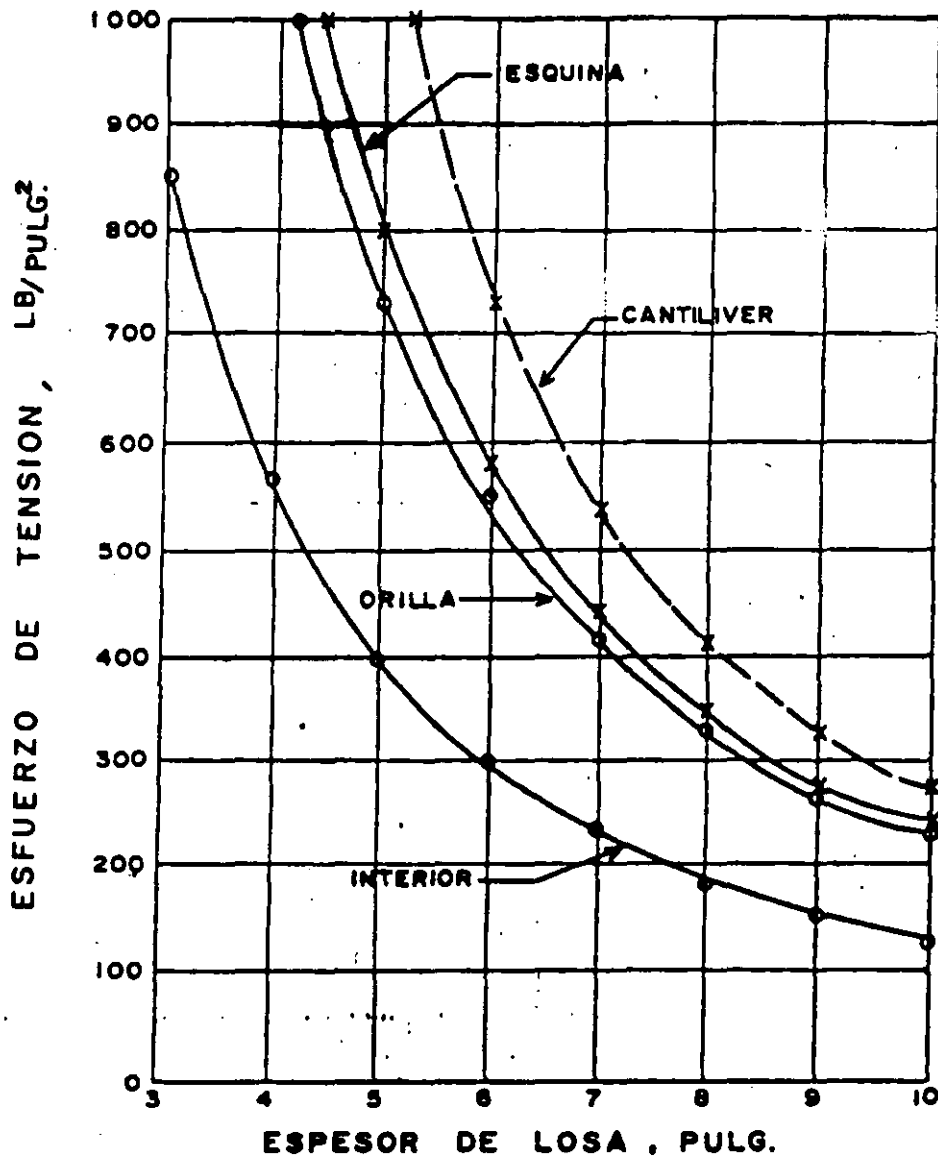
$$\sigma_c = 0.57185 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{L}{b} \right) + 0.3593 \right]$$

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$$

$$b = \sqrt{1.2 a^2 + h^2} - 0.675 h$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}}$$

ESFUERZOS DE TENSION PRODUCIDOS POR CARGAS



$$P = 8960 \text{ lb.}$$

$$K = 200 \text{ lb/pulg}^3.$$

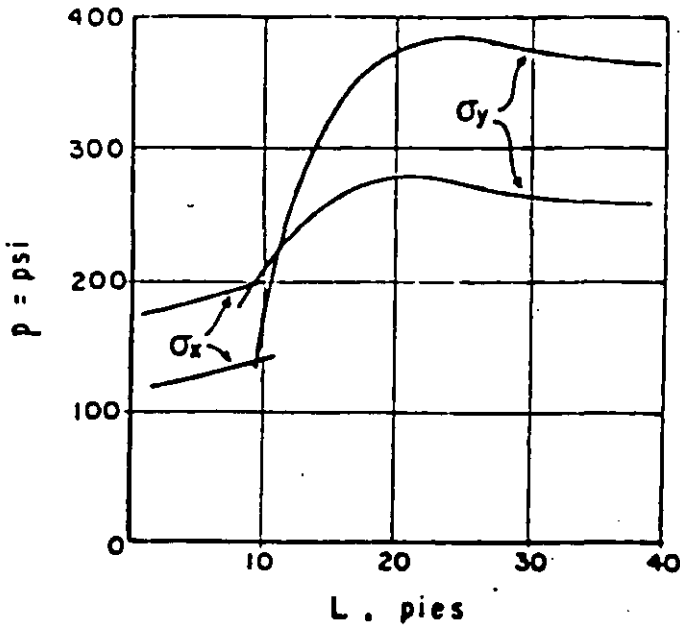
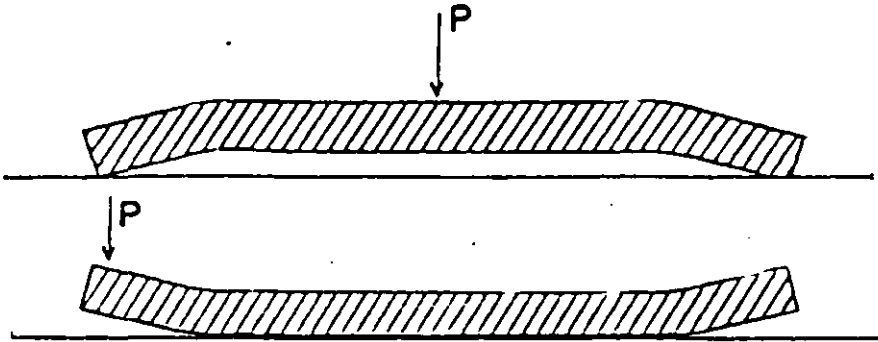
$$E = 5 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2.$$

$$\mu = 0.24$$

$$\text{presión inflado} = 105 \text{ lb/pulg}^2.$$

ESFUERZOS POR ALABEO

(123)



$$\sigma = \frac{E \epsilon_t \Delta t}{2} \left(\frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right)$$

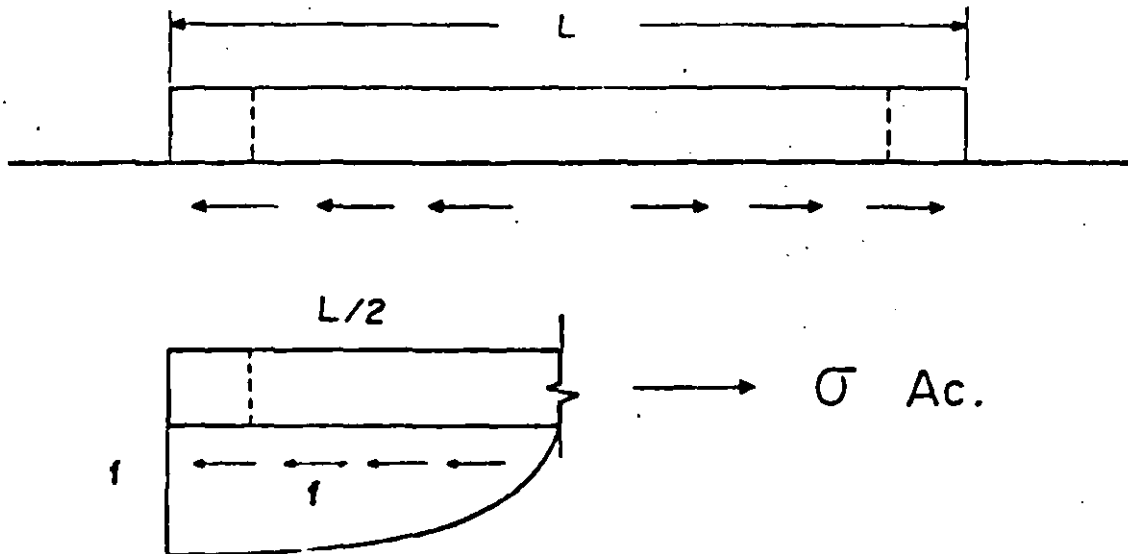
ϵ_t = Coef. de dilatación.

Δt = Diferencia de temperatura

$$C_1, C_2 = f(L/2)$$

(24)

ESFUERZOS POR RESTRICCIÓN.



$$\sigma_{Ac} = \frac{WLf}{2 \times 12}$$

$$\therefore \sigma = \frac{W \cdot L \cdot f}{24 h}$$

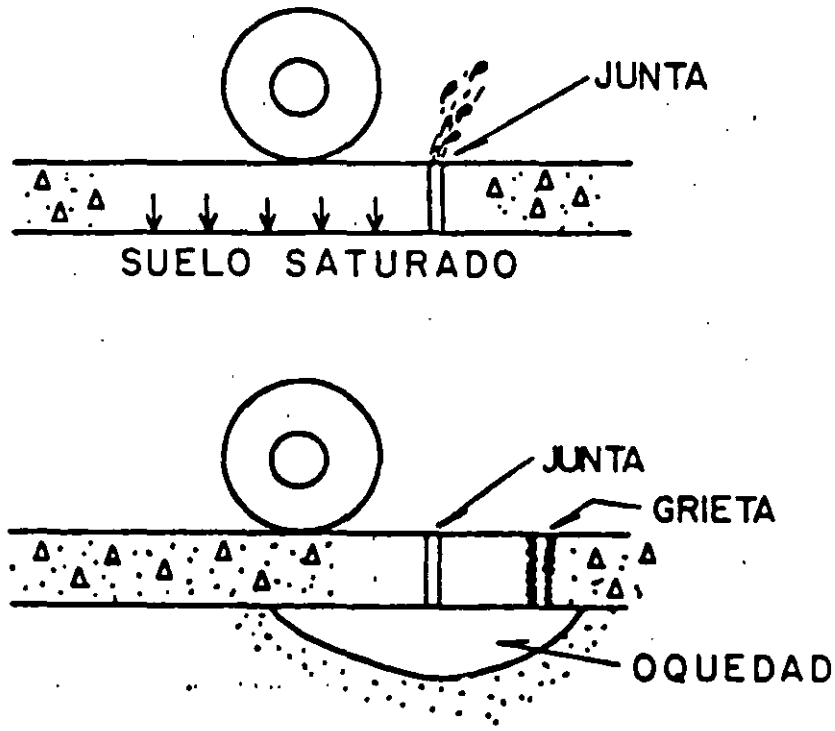
W = Peso de la losa

L = Longitud de la losa

f = Coeficiente de fricción

h = Espesor de la losa.

 FENOMENO DE BOMBEO



126

¿ ES NECESARIO EL REFUERZO ?

NO, CUANDO HAY SOPORTE UNIFORME Y ESPACIAMIENTOS CORTOS ENTRE JUNTAS.

SI, CUANDO SE REQUIEREN ESPACIAMIENTOS GRANDES ENTRE JUNTAS, O CUANDO ESTAS SON INACEPTABLES FUNCIONALMENTE.

(127)

$$A_s = \frac{F L W}{2 f_s}$$

A_s = AREA DE ACERO, EN pulg² POR PIE DE ANCHO

F = DISTANCIA ENTRE JUNTAS, EN PIES

W = PESO DE LA LOSA, EN LIBRAS/pie²

F = COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN LA SUBRASANTE

f_s = ESFUERZO DE TENSION DEL ACERO, psi.

WELDED WIRE FABRIC
1/2" 65,000 PSI

STEEL BAR MAT
1/2" 60,000 PSI

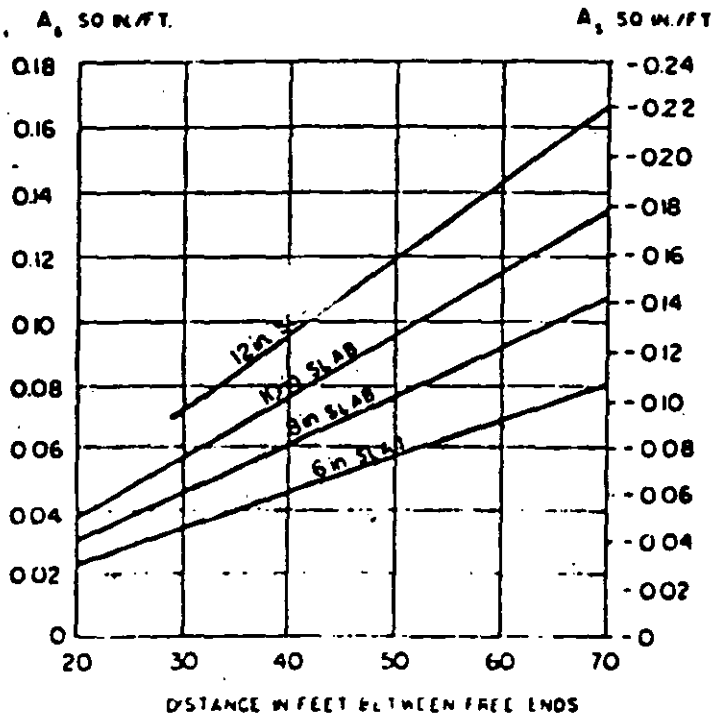


Fig. 15. Selection chart for distributed steel.

ESPACIAMIENTO DE JUNTAS DE CONTRACCION PARA
PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE, NO REFORZADO.

(28)

| TIPO DE AGREGADO | ESPACIAMIENTO (M) |
|-------------------------------|-------------------|
| GRANITO TRITURADO | 7.5 - 9 |
| CALIZA TRITURADA | 6 - 9 |
| CALIZA CON PEDERNAL TRITURADA | 6 - 7.5 |
| GRAVA SILICOSA | 4.5 - 6 |
| GRAVA MENOR QUE 3/4 | 4.5 - 6 |
| REZAGA | 4.5 - 6 |

(129)

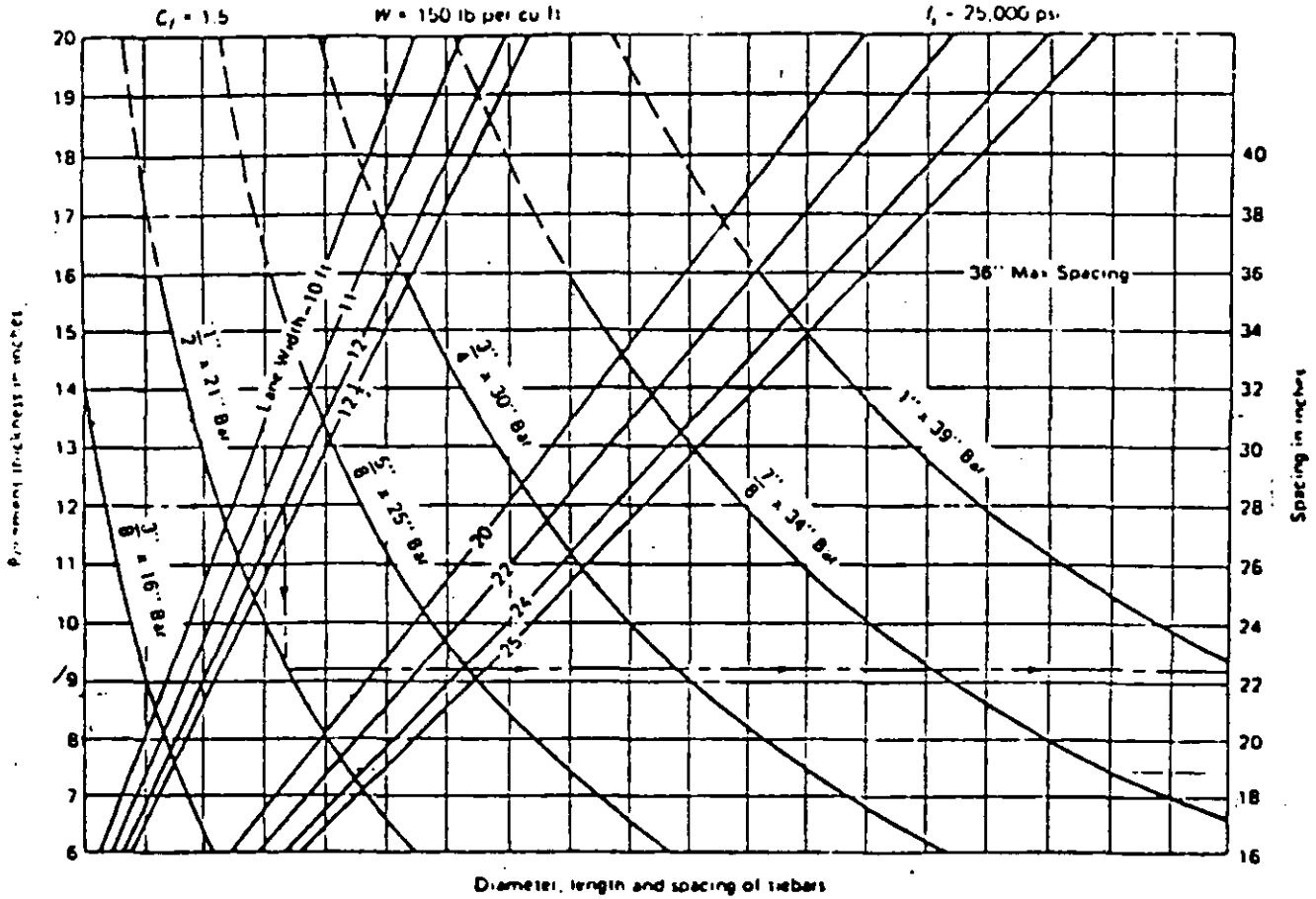


Fig. 22-22 Recommended tiebar dimensions and spacings.

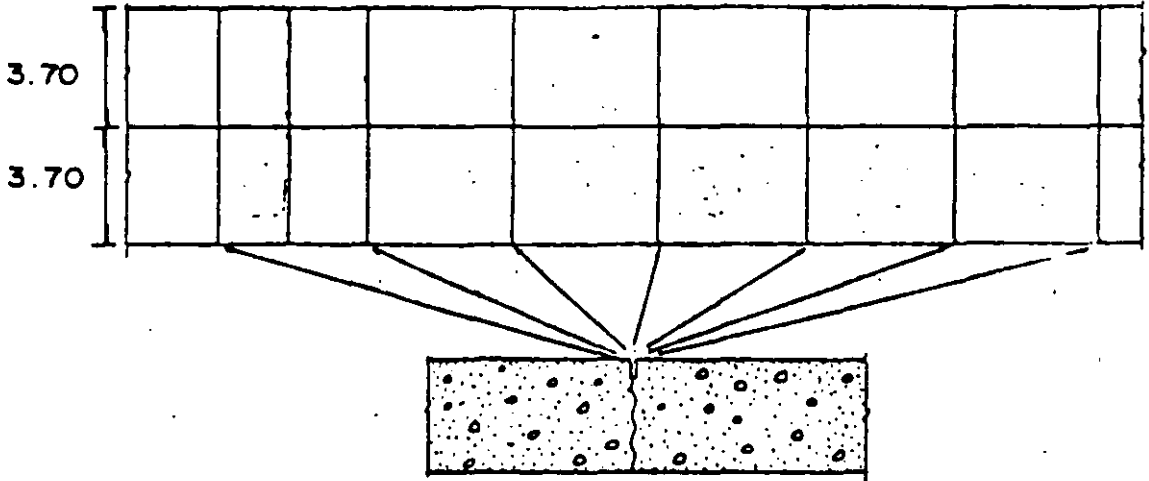
TABLE 22-9 Recommended Size and Spacing of Dowel Bars

| Slab Depth, in. | Dowel Diameter, in. | Total Dowel Length*, in. | Dowel Spacing, in c. to c. |
|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| 5-6 | ¾ | 16 | 12 |
| 7-8 | 1 | 18 | 12 |
| 9-11 | 1¼ | 18 | 12 |
| 12-16 | 1½ | 20 | 15 |
| 17-20 | 1¾ | 22 | 18 |
| 21-25 | 2 | 24 | 18 |

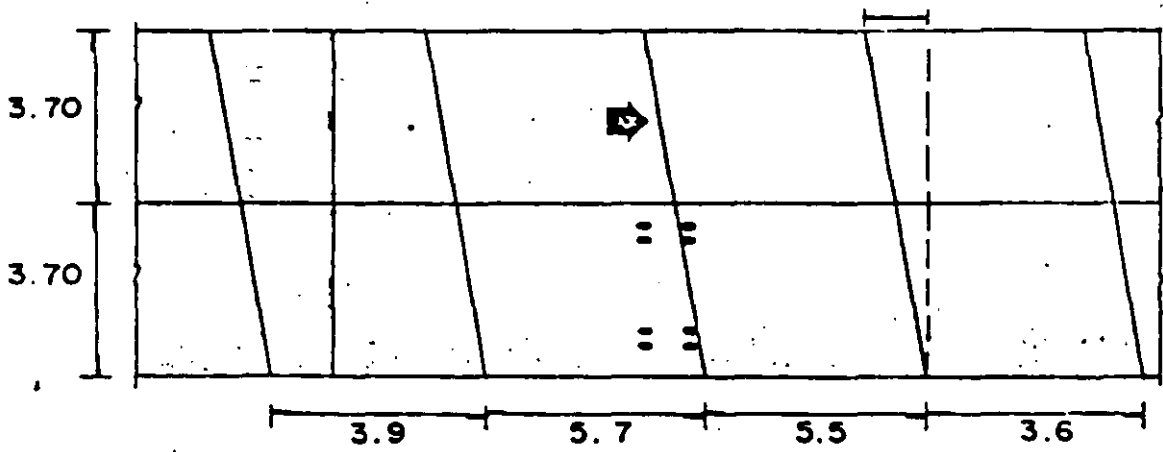
* Allowance made for joint openings and minor errors in positioning of dowels

JUNTAS DE CONTRACCION

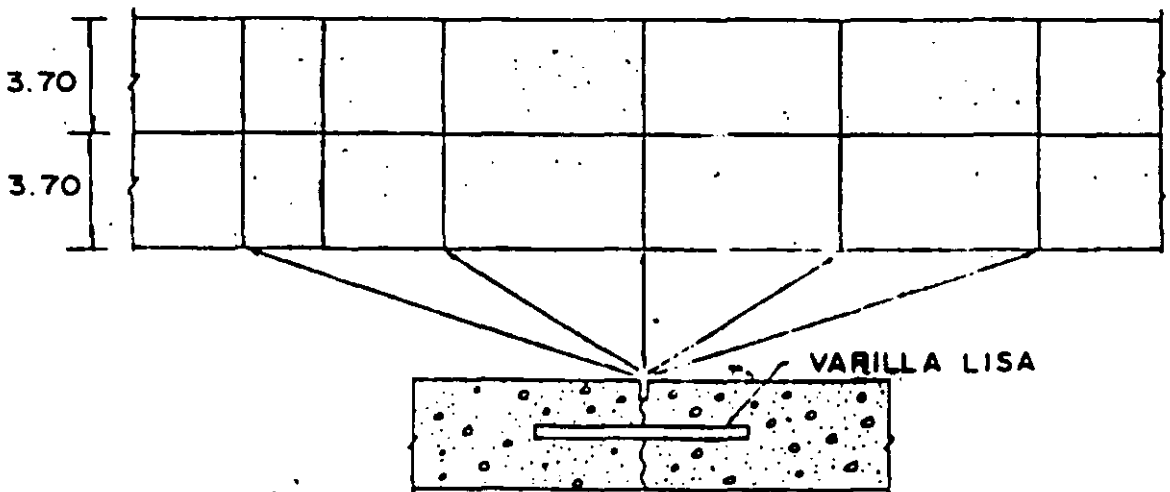
(130)



JUNTAS ESVAJADAS



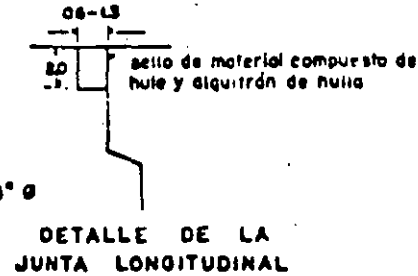
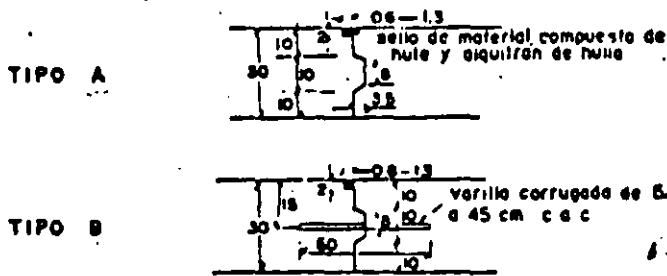
JUNTAS CON PASAJUNTA LISO



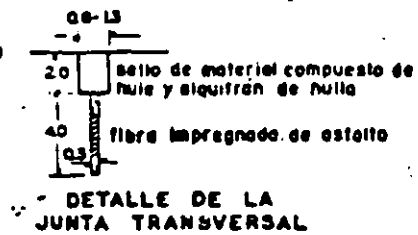
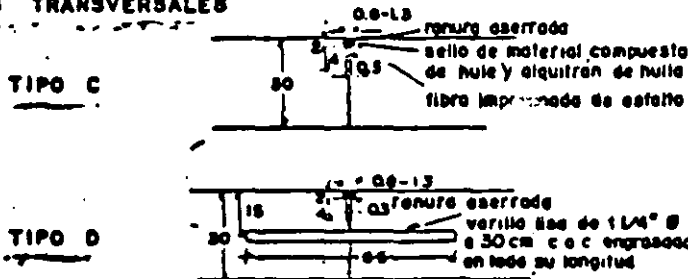
B

134

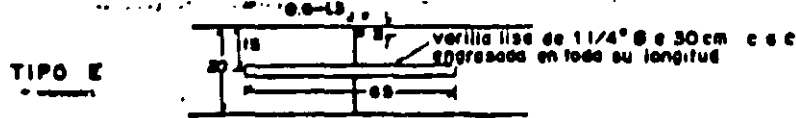
JUNTAS LONGITUDINALES



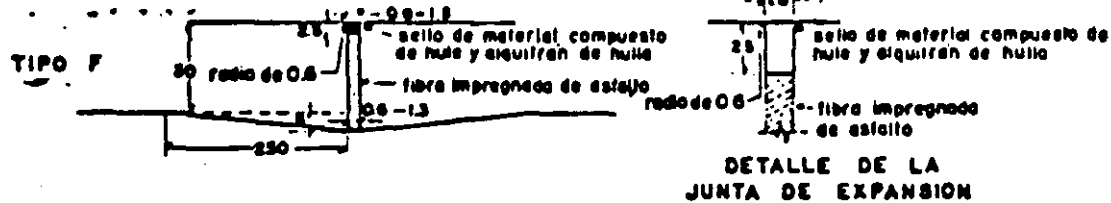
JUNTAS TRANSVERSALES



JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION



JUNTA DE EXPANSION



12.- Tolerancias.12.1.- Losas de concreto.-

Pendiente transversal con respecto a la de proyecto

(132)
+ 0.1%

12.2.- Profundidad máxima de las depresiones observadas, determinadas colocando una regla metálica de 5 m. en dirección paralela y con espaciamentos en el sentido transversal no mayores de 2.00 m.

5 mm.

12.3.- Espesores.

En el 80% como mínimo del número total de espesores determinados

$e_r \geq e$

En el 20% como máximo del número total de espesores determinados

$e_r \geq e - 5 \text{ mm.}$

El espesor de las losas se obtendrá por medición directa en la losa, cuando sea posible, o por medio de corazones.

12.4.- Resistencia.

El 80% como mínimo de los valores determinados en las pruebas de módulo de resistencia a la tensión por flexión a los 28 días.

$M.R. \geq 45 \text{ kg/cm}^2$

El 20% restante no podrá tener

$M.R. \leq 41 \text{ kg/cm}^2$

Asimismo el promedio de las resistencias obtenidas en cuatro ensayos consecutivos deberá ser

$\geq 45 \text{ kg/cm}^2$

12.5.- Coefficiente de fricción.

≥ 0.35

12.6.- Indice de Perfil

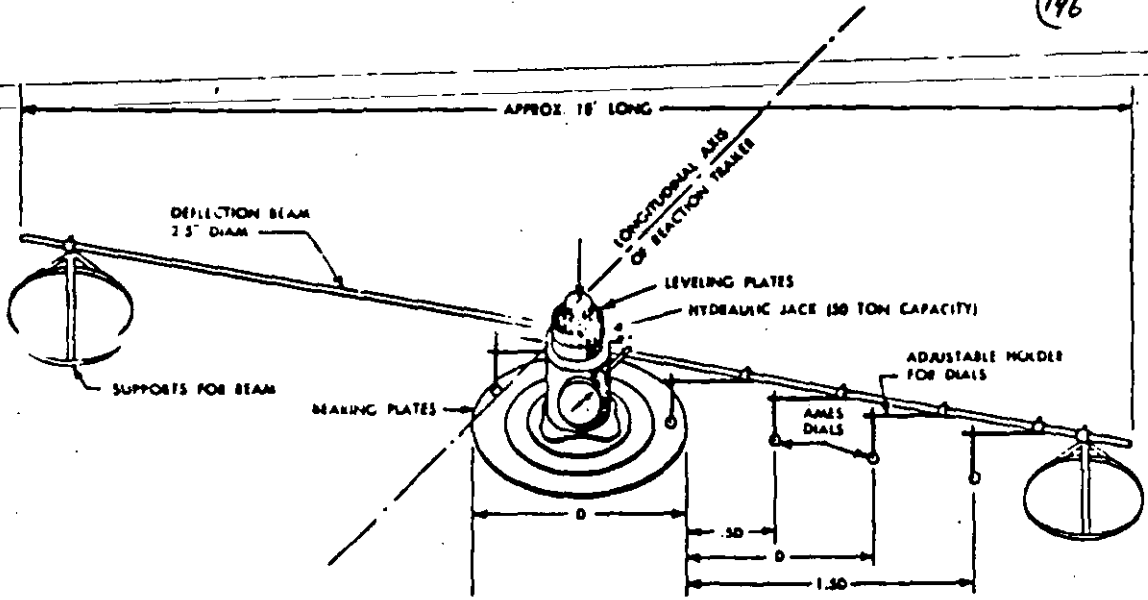
$\leq 20 \text{ pulg/mi}$
11

12.7.- Desviación máxima medida en perfilograma

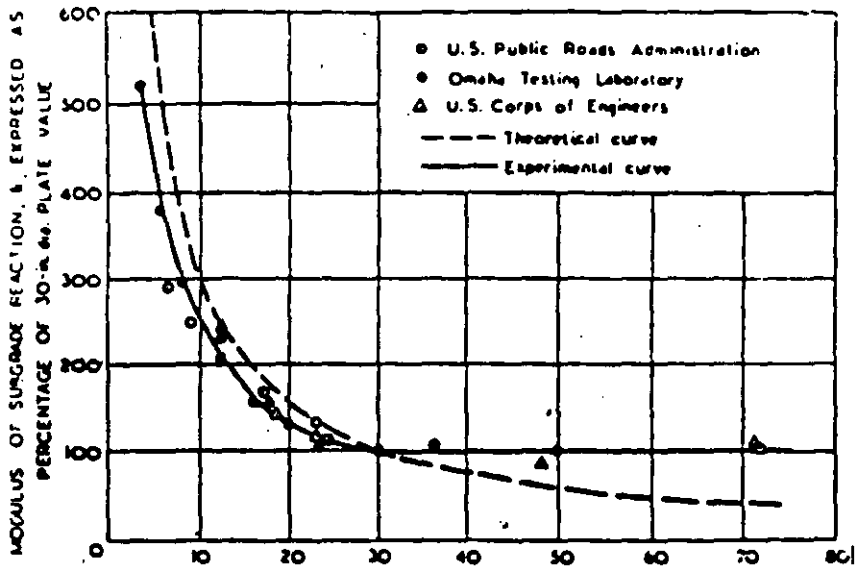
0.3 pulgada

ASPECTOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

- 1.- CALIDAD DEL CONCRETO.- SELECCION DE MATERIALES Y SU PROPORCIONAMIENTO, PARA OBTENER RESISTENCIA Y DURABILIDAD ADECUADAS.
- 2.- DISEÑO DE SUBRASANTE Y SUBBASE.- TECNICAS DE PREPARACION Y CONSTRUCCION QUE ASEGUREN UN APOYO UNIFORME Y PERMANENTE -- PARA LAS LOSAS
- 3.- DISEÑO DE ESPESORES.- SE REQUIERE QUE LOS ESFUERZOS FLEXIONANTES PRODUCIDOS POR EL TRANSITO, NO SUPEREN EL LIMITE DE SEGURIDAD.
- 4.- DISEÑO DE JUNTAS.- DEFINICION DE LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE JUNTAS, PARA REDUCIR LA FORMACION DE GRIETAS POR TEMPERATURA Y CONTRACCION

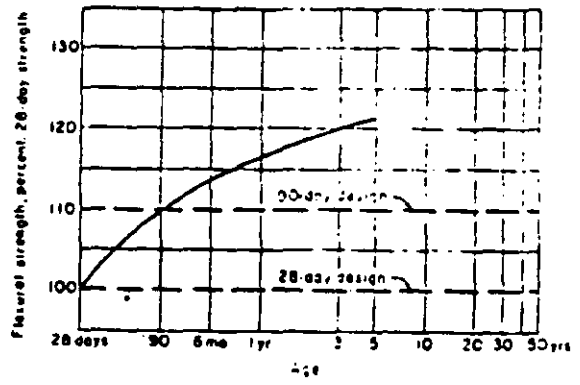
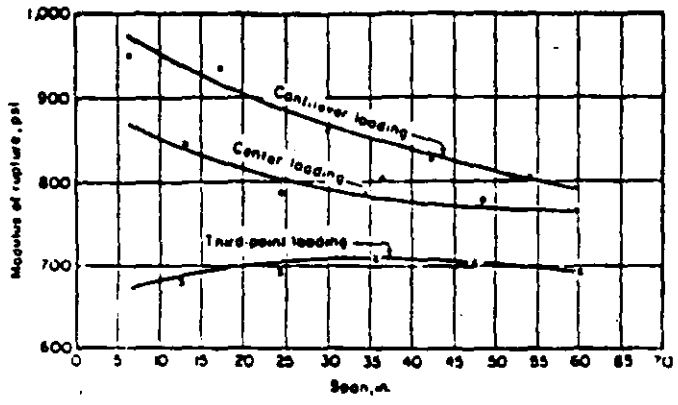


PRUEBA DE PLACA



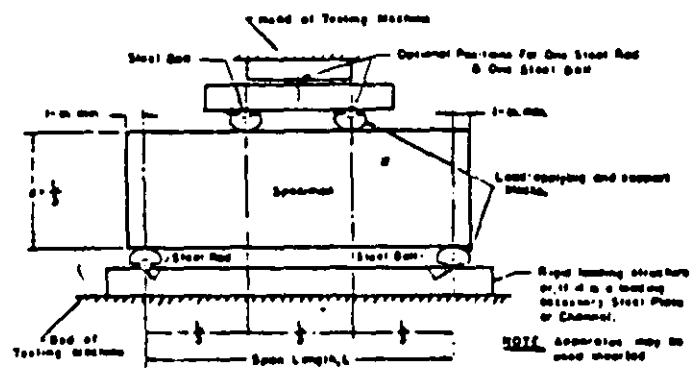
DIAMETRO, PLACA, PULG.

148



$$MR = K\sqrt{f'c} \quad 8 \leq K \leq 10$$

$$DMR = MR 90 \left(1 - \frac{CV}{100}\right) M$$



149

FIG. 1.—Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

150

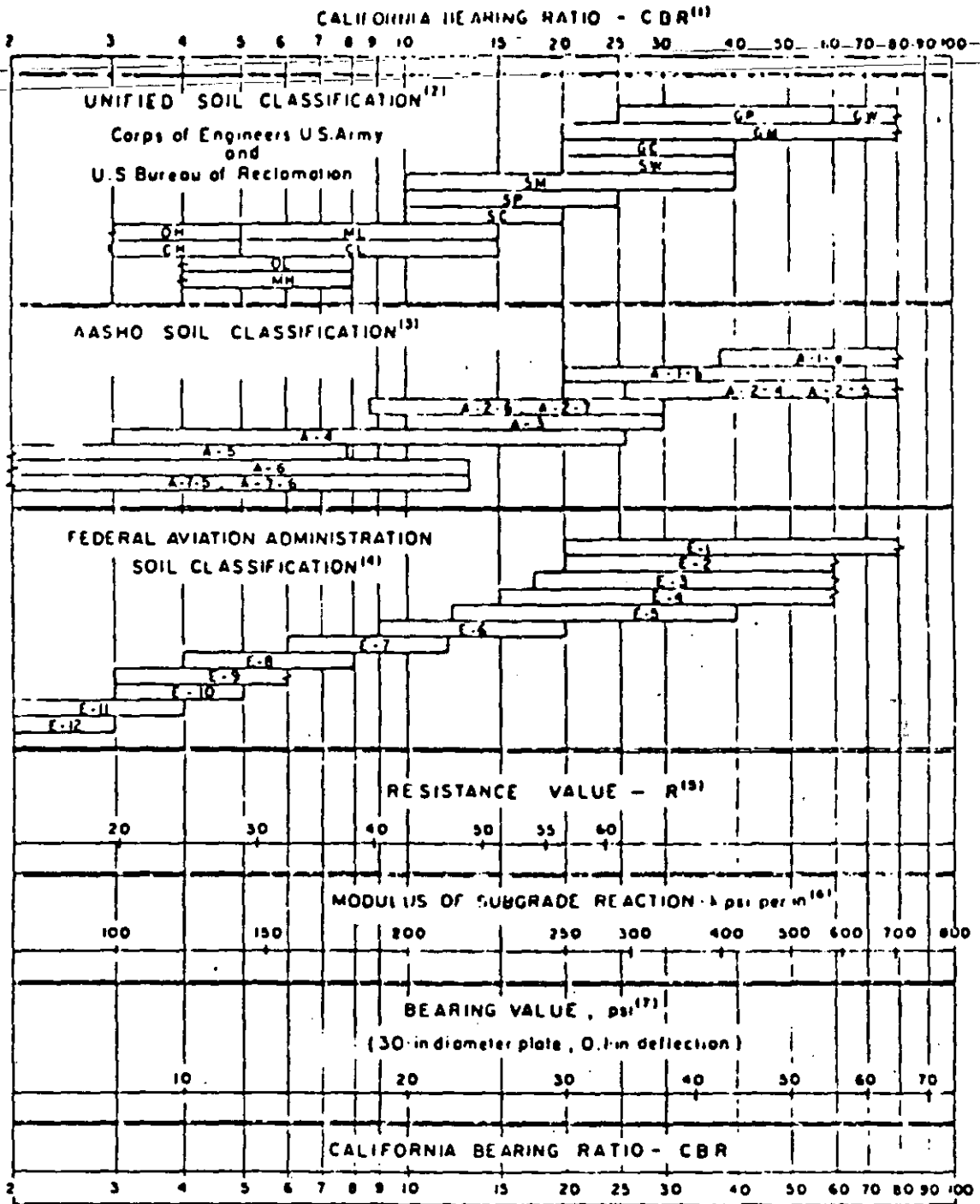


Fig. 22-1 Soil classification, resistance value, k-value, and bearing value vs. California bearing ratio.

(1) For the basic idea, see Porter, O. J., "Foundations for Flexible Pavements," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting*, 22, 100-136, 1942.

(2) "Characteristics of Soil Groups Pertaining to Roads and Airfields," Appendix B, *The United Soil Classification System*, U.S. Army Corps of Engineers, Technical Memorandum 3 357, 1953.

(3) "Classification of Highway Subgrade Materials," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-fifth Annual Meeting*, 25, 376-392, 1945.

(4) *Airport Paving*, U.S. Department of Commerce, Federal Aviation Agency, (pp. 11-16, May, 1948) Estimated using values given in *FAA Design Manual for Airport Pavements*.

(5) Hveem, F. N., "A New Approach for Pavement Design," *Engineering News Record*, 141(7), 174-179, July 8, 1948. R is factor used in California Statistatone Method of Design.

(6) See Middlebrooks, T. A., and Bertram, G. E., "Soil Tests for Design of Runway Pavements," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting*, 22, 152, 1942. k is factor used in Westergaard's analysis for design of concrete pavement.

(7) See (6), page 184.

PREMISAS DE DISEÑO

(151)

1.- CARACTERIZACION DEL CONCRETO

$$MR_D = MR_{28} \left(1 - \frac{C.V.}{100} \right) M$$

2.- CARACTERIZACION DEL APOYO DE LA LOSA

 K_D

3.- CARACTERIZACION DEL TRANSITO

- ATENDIENDO A LA CLASIFICACION DE CARGAS
- ATENDIENDO A UNA CARGA DE REFERENCIA (EQUIVALENTE)

4.- CARACTERIZACION DE ASPECTOS AMBIENTALES

1.- MODULO DE REACCION, K

(152)

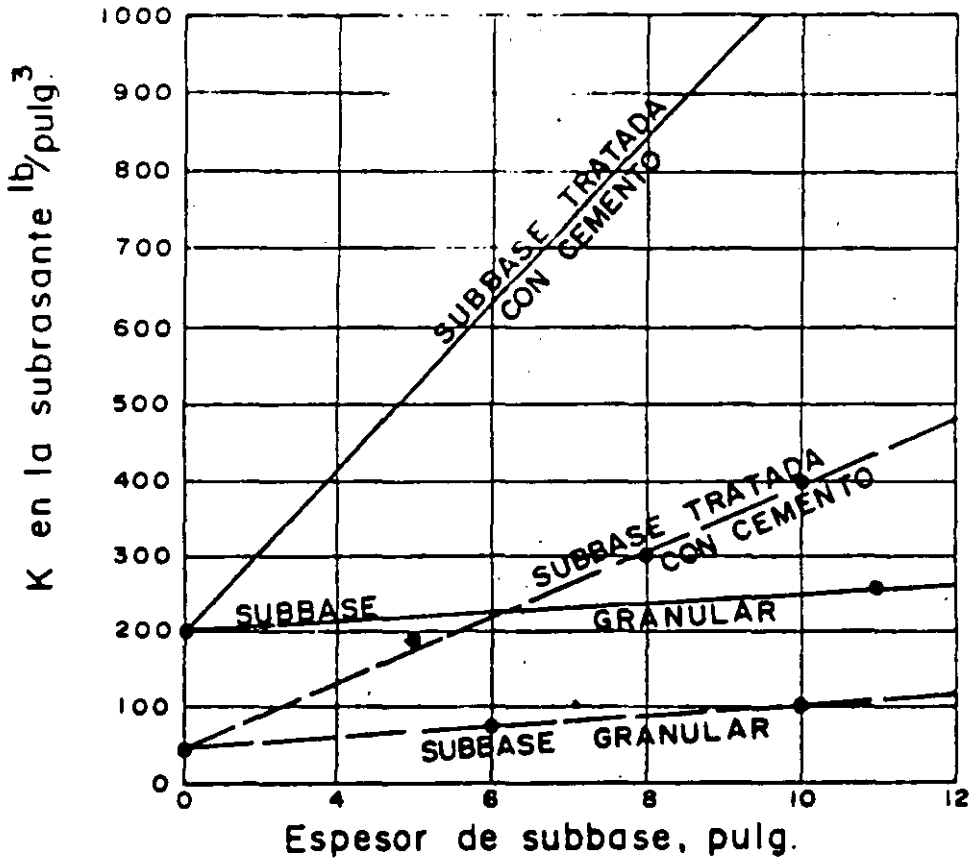
2.- MODULO DE RUPTURA

$$MRD = MR_{90} \left(1 - \frac{CV}{100} \right) M.$$

3.- FACTORES DE SEGURIDAD

1.7 a 2.0 - Plataforma, rodajes
cabeceras, pisos --
hangares

1.4 a 1.7 - Porción central de
pistas, salidas al-
ta velocidad.



INFLUENCIA DEL ESPESOR Y TIPO DE SUBBASE EN EL VALOR DE K.

(57)

| Relación de esfuerzos y N° de repeticiones de carga permisibles | | | |
|---|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Relación de esfuerzos * | Repeticiones permisibles | Relación de esfuerzos | Repeticiones permisibles |
| 0.51** | 400.000 | 0.69 | 2.500 |
| 0.52 | 300.000 | 0.70 | 2.000 |
| 0.53 | 240.000 | 0.71 | 1.500 |
| 0.54 | 180.000 | 0.72 | 1.100 |
| 0.55 | 130.000 | 0.73 | 850 |
| 0.56 | 100.000 | 0.74 | 650 |
| 0.57 | 75.000 | 0.75 | 490 |
| 0.58 | 57.000 | 0.76 | 360 |
| 0.59 | 42.000 | 0.77 | 270 |
| 0.60 | 32.000 | 0.78 | 210 |
| 0.61 | 24.000 | 0.79 | 160 |
| 0.62 | 18.000 | 0.80 | 120 |
| 0.63 | 14.000 | 0.81 | 90 |
| 0.64 | 11.000 | 0.82 | 70 |
| 0.65 | 8.000 | 0.83 | 50 |
| 0.66 | 6.000 | 0.84 | 40 |
| 0.67 | 4.500 | 0.85 | 30 |
| 0.68 | 3.500 | | |

* Esfuerzo producido por la carga dividido entre el MR.

** Para relaciones de esfuerzos menores que 0.50 el número de repeticiones es ilimitado.

158

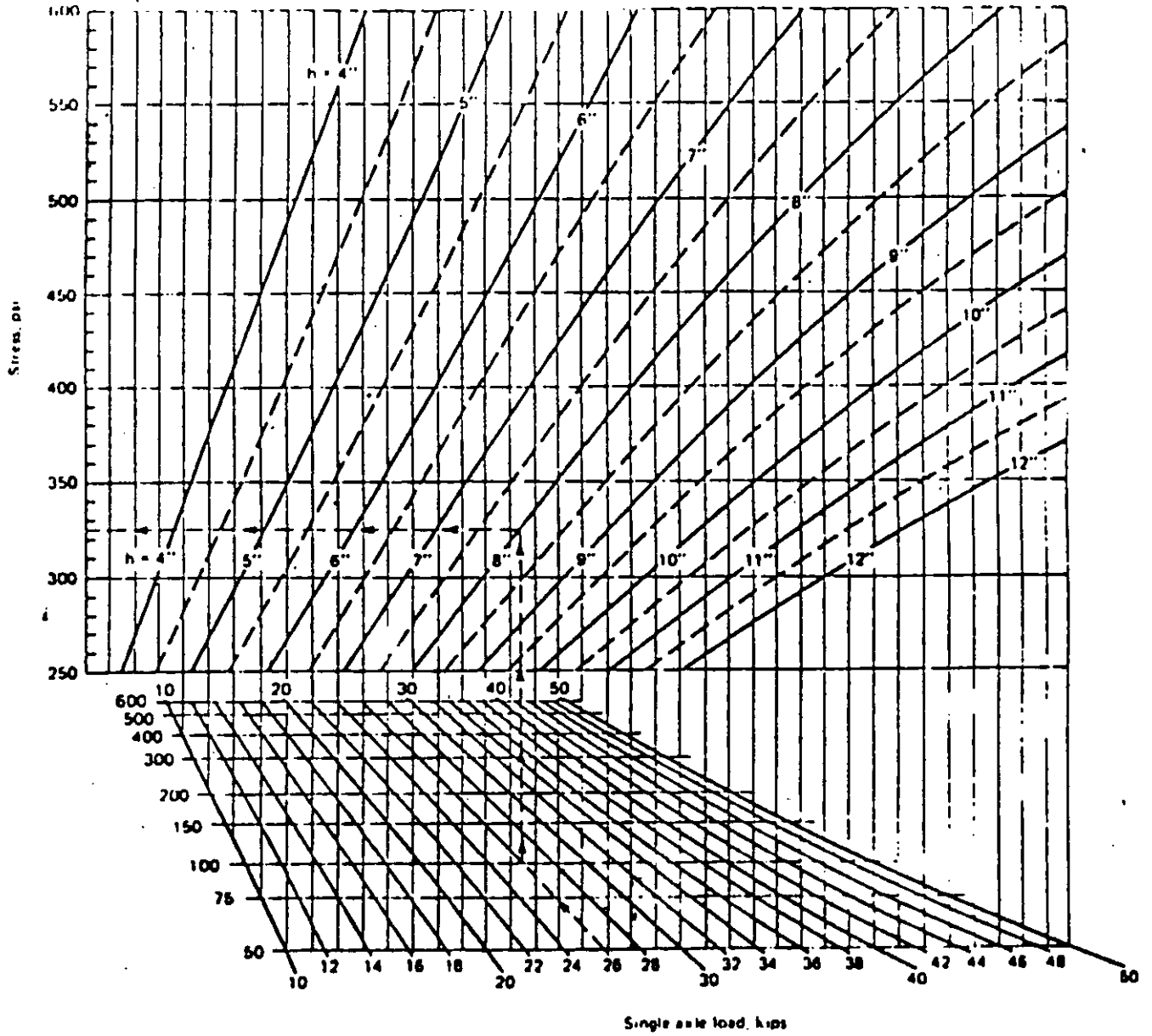


Fig. 22.2 Stress chart for single axle loads.

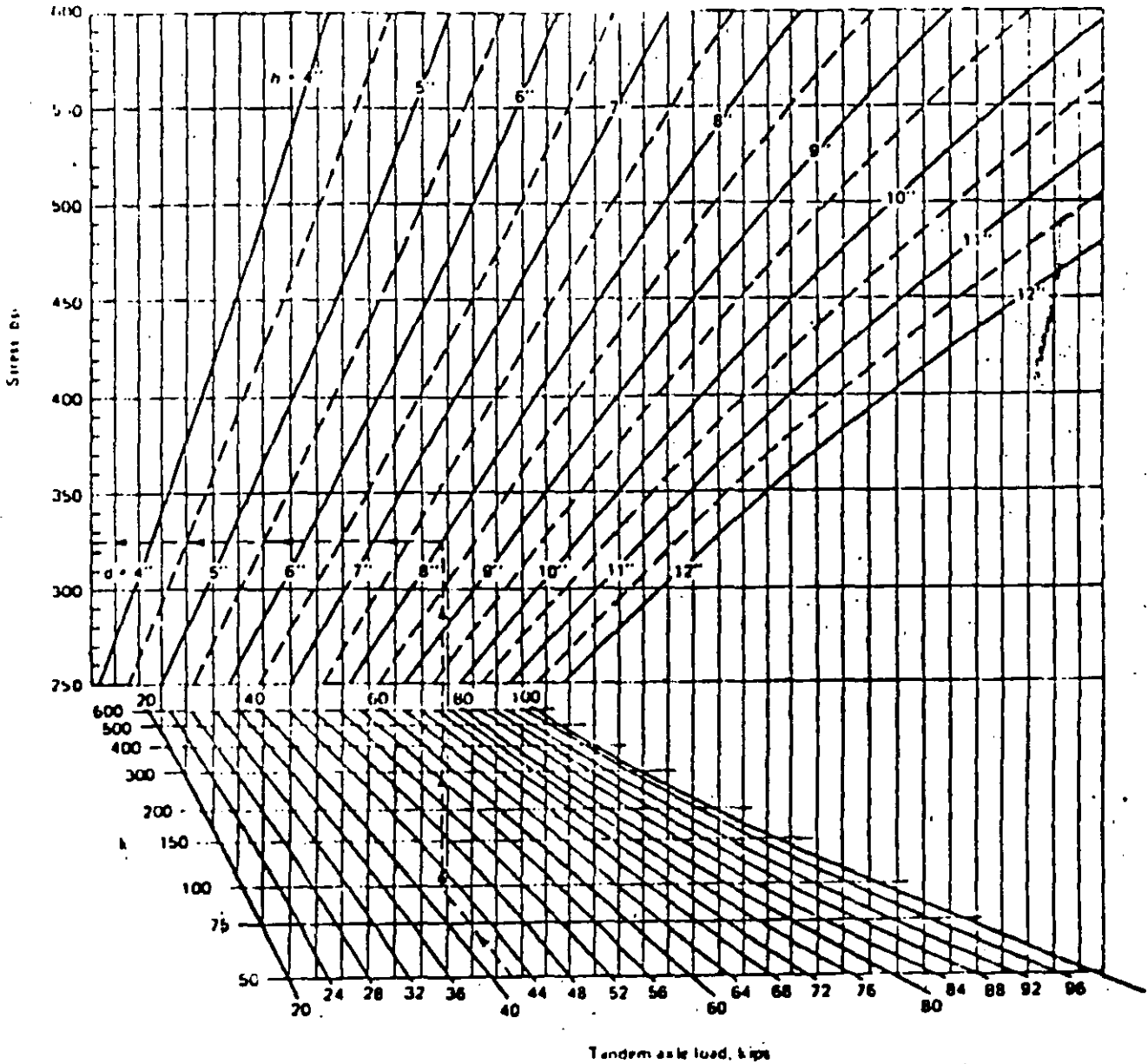


Fig. 22-3 Stress chart for tandem axle loads.

Datos:

Subrasante, $K=100$

Factor seguridad (L.S.F.)=1.2

MR=700 psi.

Espesor de prueba = 8.5 pulg.

(160)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------|---------------|----------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Cargas Lbs | Cargas Kip | Esfuerzo | Relación Esfuerzos | Repeticiones Admisibles | Repeticiones Esperadas | Resistencia o factor Usado % |
| Lbs | Kip | psi | | Lbs | No. | % |

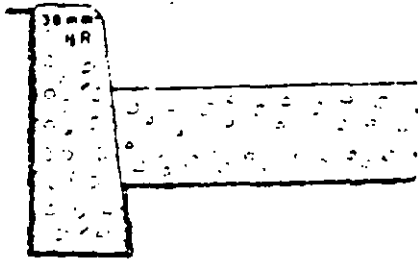
Ejes sencillos

| | | | | | | |
|----|------|---------------------|------|----------------------|---------|---------------------------------|
| 30 | 76.0 | 367 | .52 | 300,000 | 3,700 | 1 |
| 28 | 53.6 | 353 | .51 | 400,000 | 3,700 | 1 |
| 26 | 31.2 | 328 | <.50 | ilimitado | 7,400 | 0 |
| 24 | 26.8 | - | - | - | 195,000 | 0 |
| 22 | 26.4 | - | - | - | 754,000 | 0 |
| | | [de Fig. 22-2] | | [de Table 22-4] | | [Col. 6 - Col. 5 x 100] |

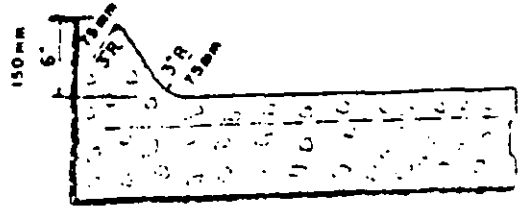
Ejes tandem

| | | | | | | |
|----|------|---------------------|------|----------------------|---------|---------------------------------|
| 54 | 64.8 | 413 | .59 | 42,000 | 3,700 | 9 |
| 52 | 62.4 | 398 | .57 | 75,000 | 3,700 | 5 |
| 50 | 60.0 | 387 | .55 | 130,000 | 36,270 | 28 |
| 48 | 57.6 | 375 | .54 | 180,000 | 36,270 | 20 |
| 46 | 55.2 | 361 | .52 | 300,000 | 57,530 | 19 |
| 44 | 52.8 | 346 | <.50 | ilimitado | 179,790 | 0 |
| 42 | 50.4 | - | - | - | - | 0 |
| 40 | 48.0 | - | - | - | - | 0 |
| | | [de Fig. 22-3] | | [de Table 22-4] | | [Col. 6 - Col. 5 x 100] |

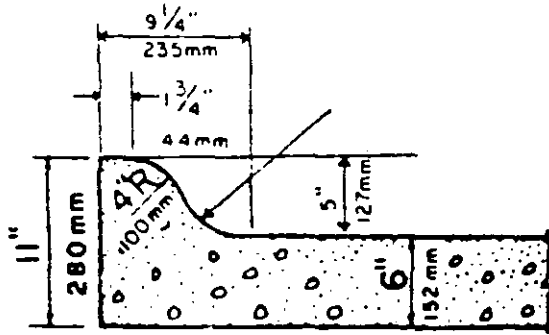
TOTAL 83



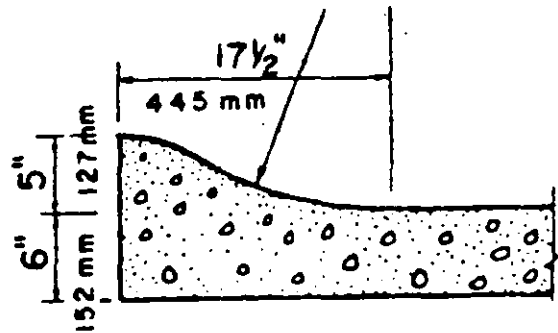
(a)



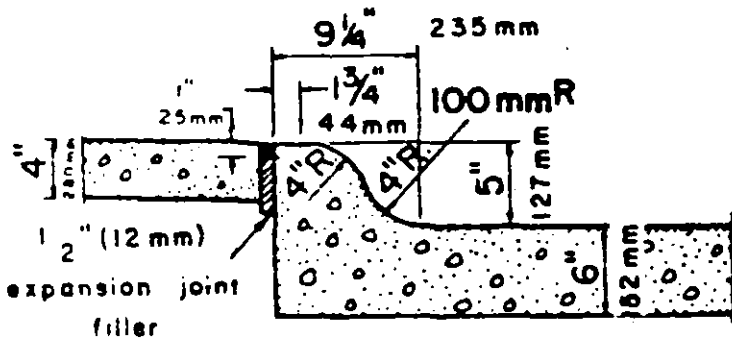
(b)



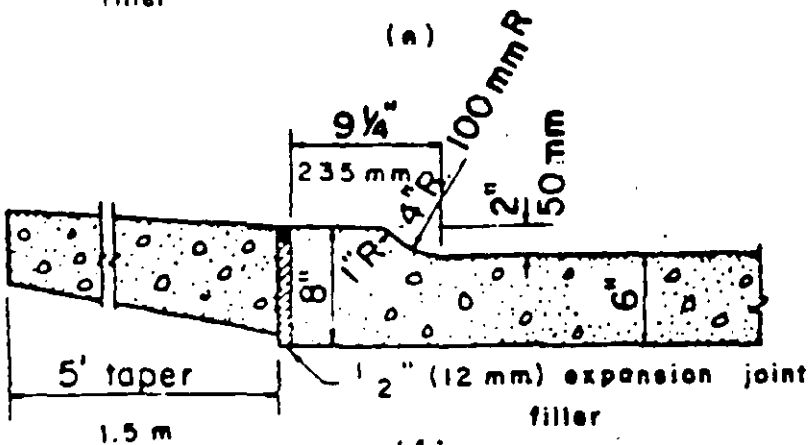
(c)



(d)



(e)



(f)

FIG. 14 TYPICAL CURBS

- (a) SEPERATE CURB
- (b) COMBINED CURB
- (c) INTEGRAL CURB
- (d) ALTERNATE INTEGRAL CURB
- (e) INTEGRAL CURB @ WALK WAYS
- (f) INTEGRAL CURB @ DRIVE WAYS

TABLE 10 BASE COURSE TYPES⁰

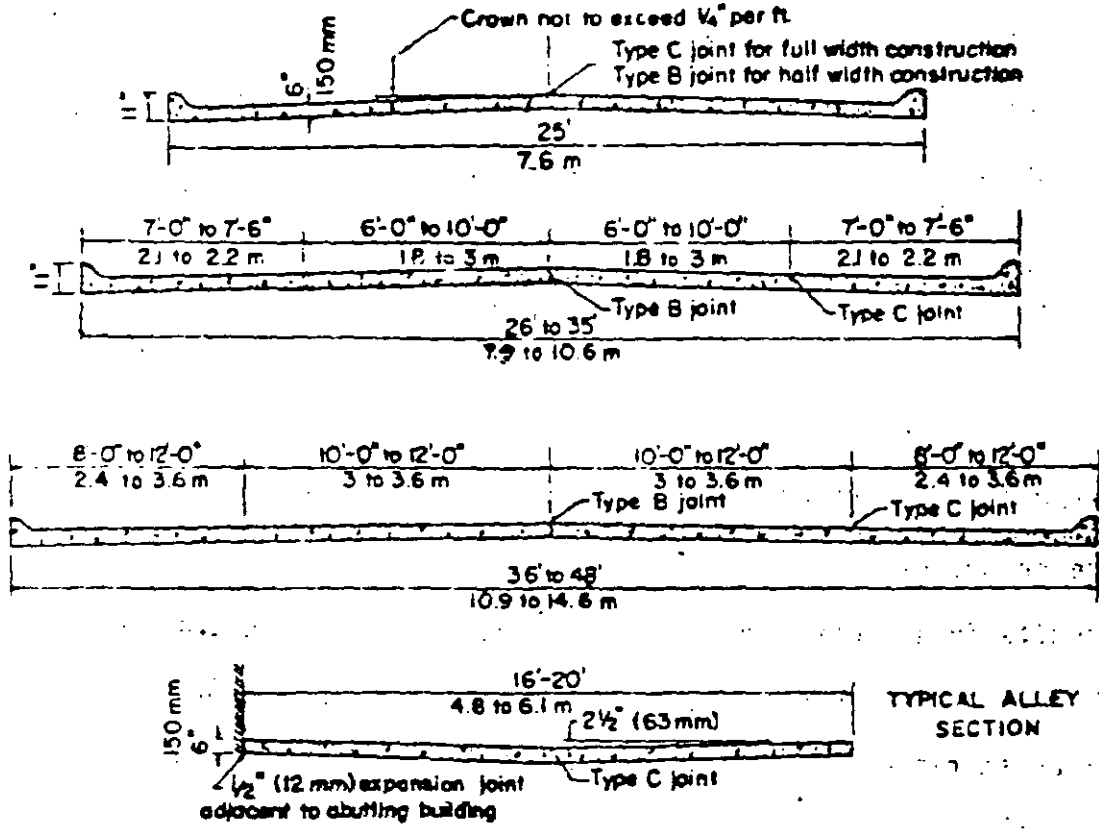
| Specification | Type A (Open Graded) | Type B (Dense Graded) | Type C (Cement Treated) | Type D (Lime Treated) | Type E (Bituminous Treated) | Type F (Granular) |
|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Sieve Analysis, % passing: | | | | | | |
| 1½ in. | 100 | 100 | 100 | | | 100 |
| ¾ in. | 60-90 | 85-100 | | | | |
| No. 4 | 35-60 | 50-80 | 65-100 | | | 65-100 |
| No. 40 | 10-25 | 20-35 | 25-50 | | | 25-50 |
| No. 200 | 0-7 | 5-12 | 5-20 | | | 0-15 |
| (The minus No. 200 material should be held to a practical minimum.) | | | | | | |
| Compressive strength: psi at 28 days | | | 400-750 | 100 | | |
| Stability: | | | | | | |
| Hveem stabilometer | | | | | 20 min | |
| Hubbard-Field | | | | | 1000 min | |
| Marshall-stability | | | | | 500 min | |
| Marshall-flow | | | | | 20 max | |
| Soil Constants: | | | | | | |
| Liquid limit | 25 max | 25 max | | | | 25 max |
| Plasticity index ^a | N.P. | 6 max | 10 max ^d | | 6 max ^d | 6 max |

^a From AASHO Interim Guide.

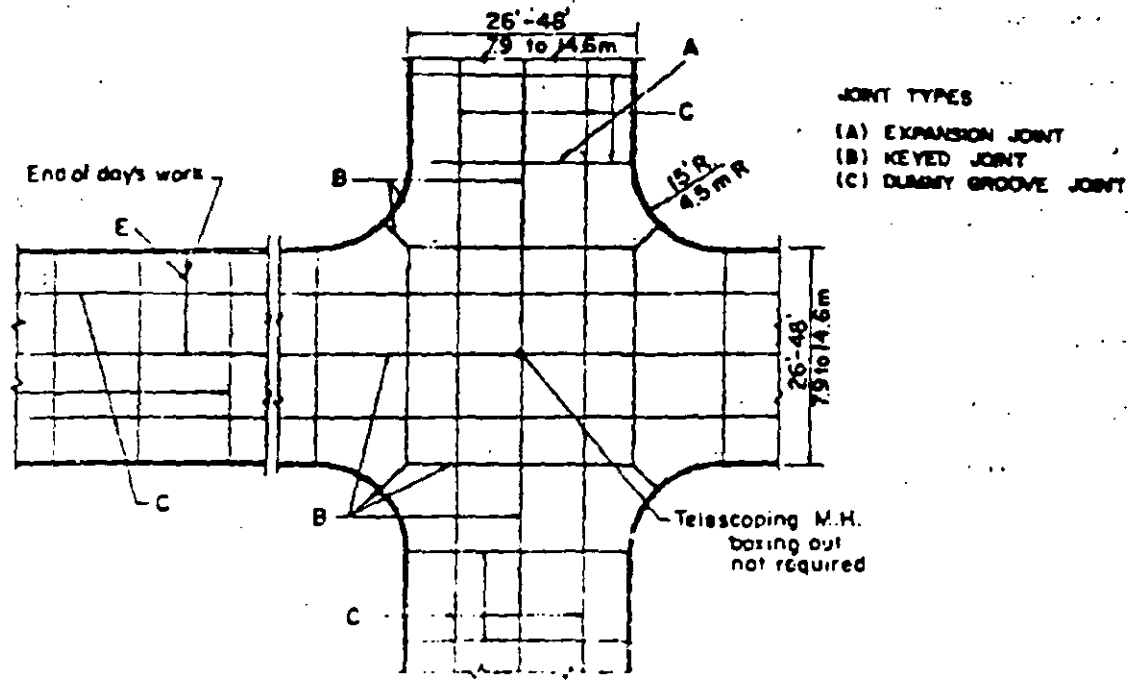
^b To be determined by complete laboratory analysis, taking into consideration the ability of the stabilized mixture to resist under-slab erosion.

^c As performed on samples prepared in accordance with AASHO Designation T 87.

^d These values apply to the mineral aggregate prior to mixing with the stabilizing agent.



(a)



(b)

FIG. 15 (a) TYPICAL URBAN JOINT LAYOUT
 (b) TYPICAL INTERSECTION

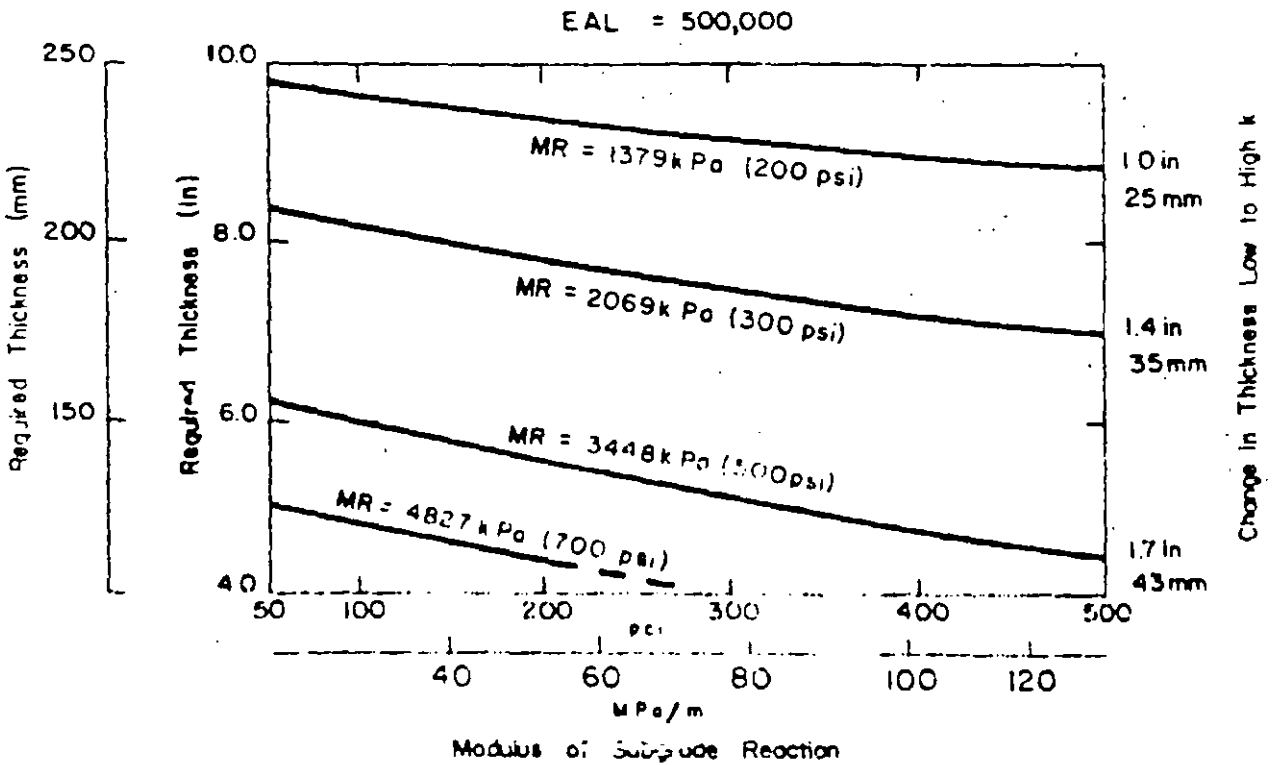
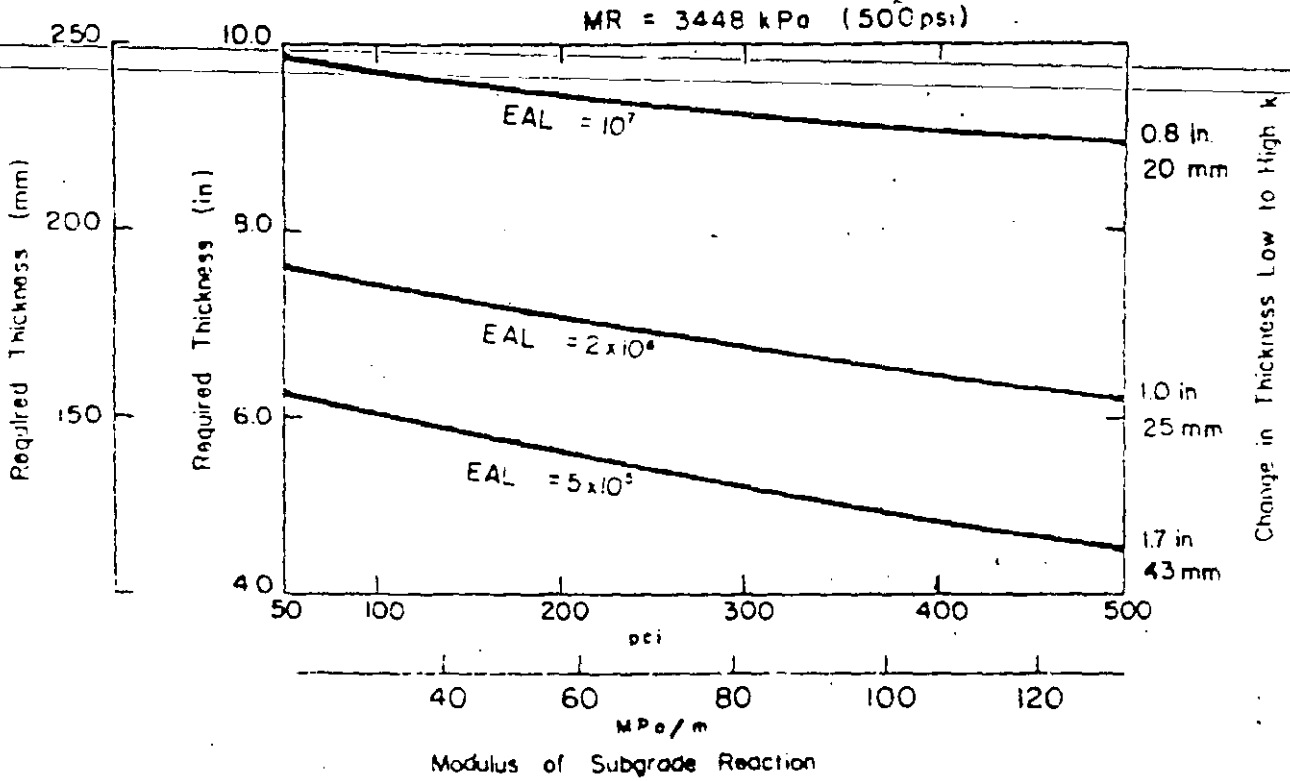


FIG. 18 EFFECT OF M.R., k AND EAL ON THICKNESS

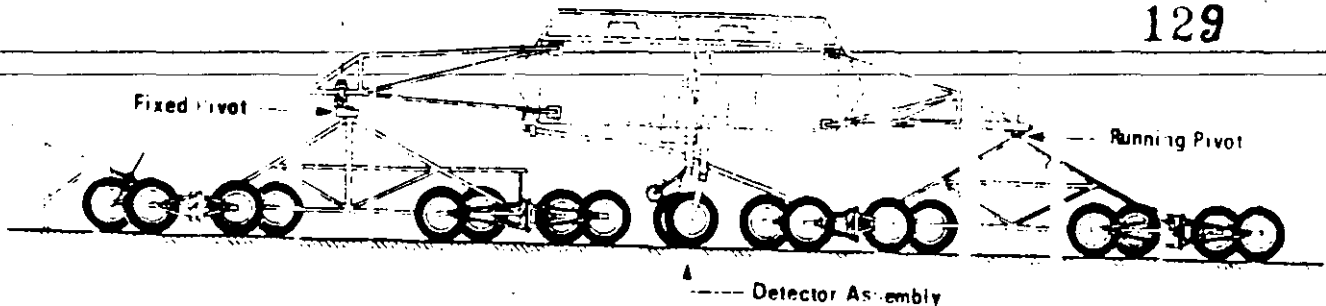
EVALUACION

MEDICION PERIODICA DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PAVIMENTO:

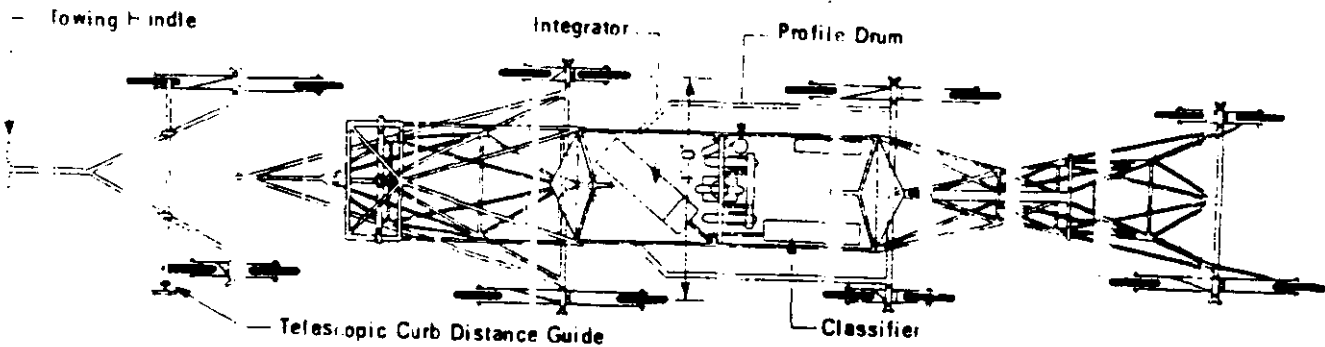
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- RUGOSIDAD
- DETERIOROS
- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

CAPTA Y TRANSMITE INFORMACION ACERCA DE LA FORMA EN QUE EL PAVIMENTO CUMPLE CON SUS FUNCIONES.

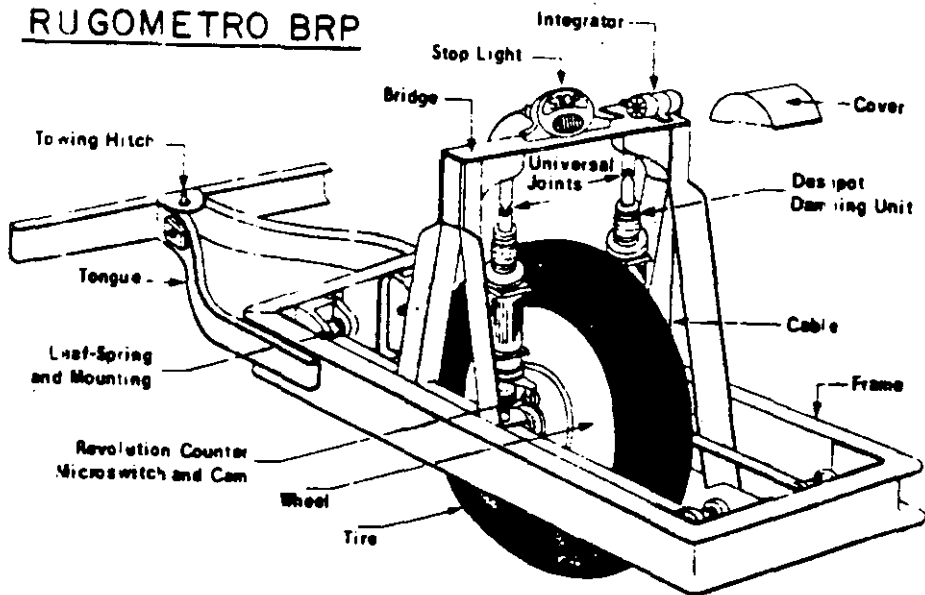
PERMITE: COMPROBAR LAS PREDICCIONES DEL PROYECTO-PROGRAMAR LOS TRABAJOS DE REHABILITACION-MEJORAR LOS MODE--
LOS DE DISEÑO-MEJORAR TECNICAS DE CONSTRUCCION Y
DE MANTENIMIENTO, PRONOSTICAR LA VIDA UTIL DEL PA
VIMENTO.



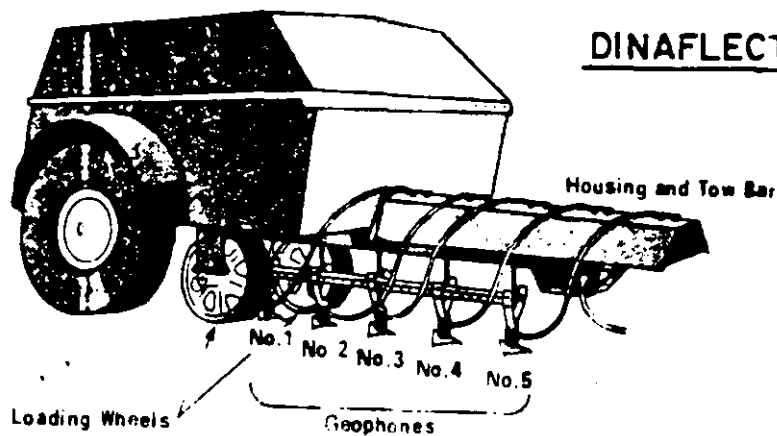
PERFILOGRAFO RRL

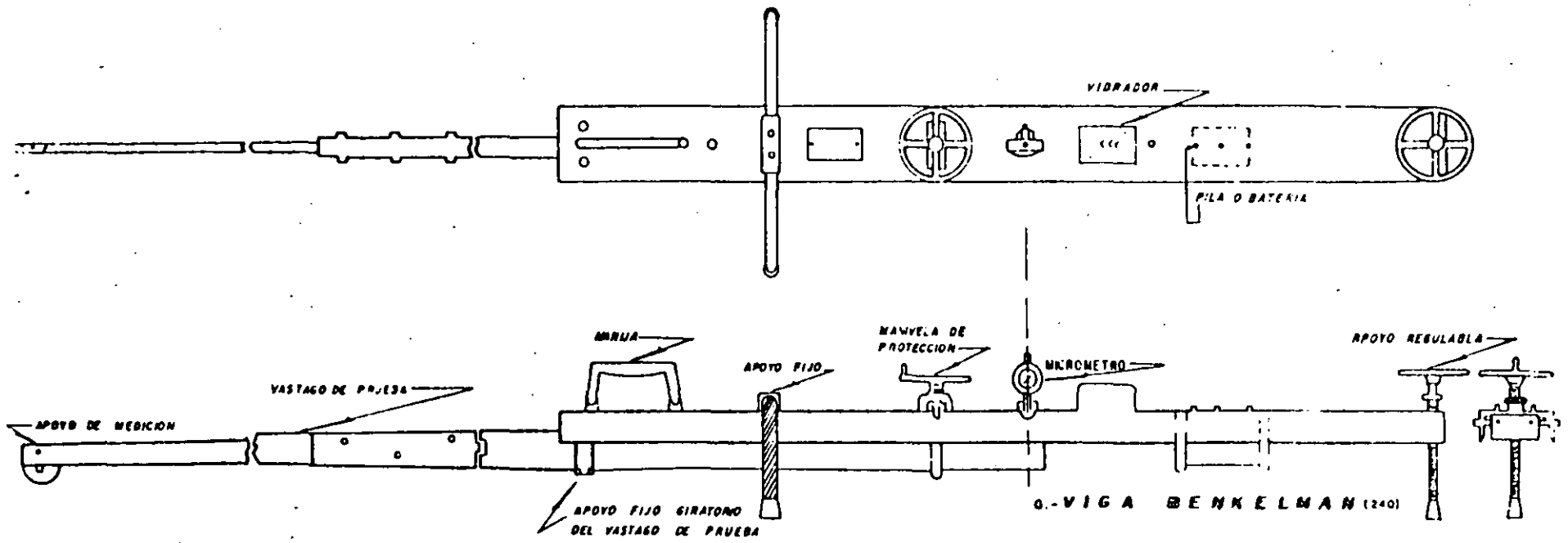


RUGOMETRO BRP



DINAFLECT





PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO CENTRAL DE PARIS (212)

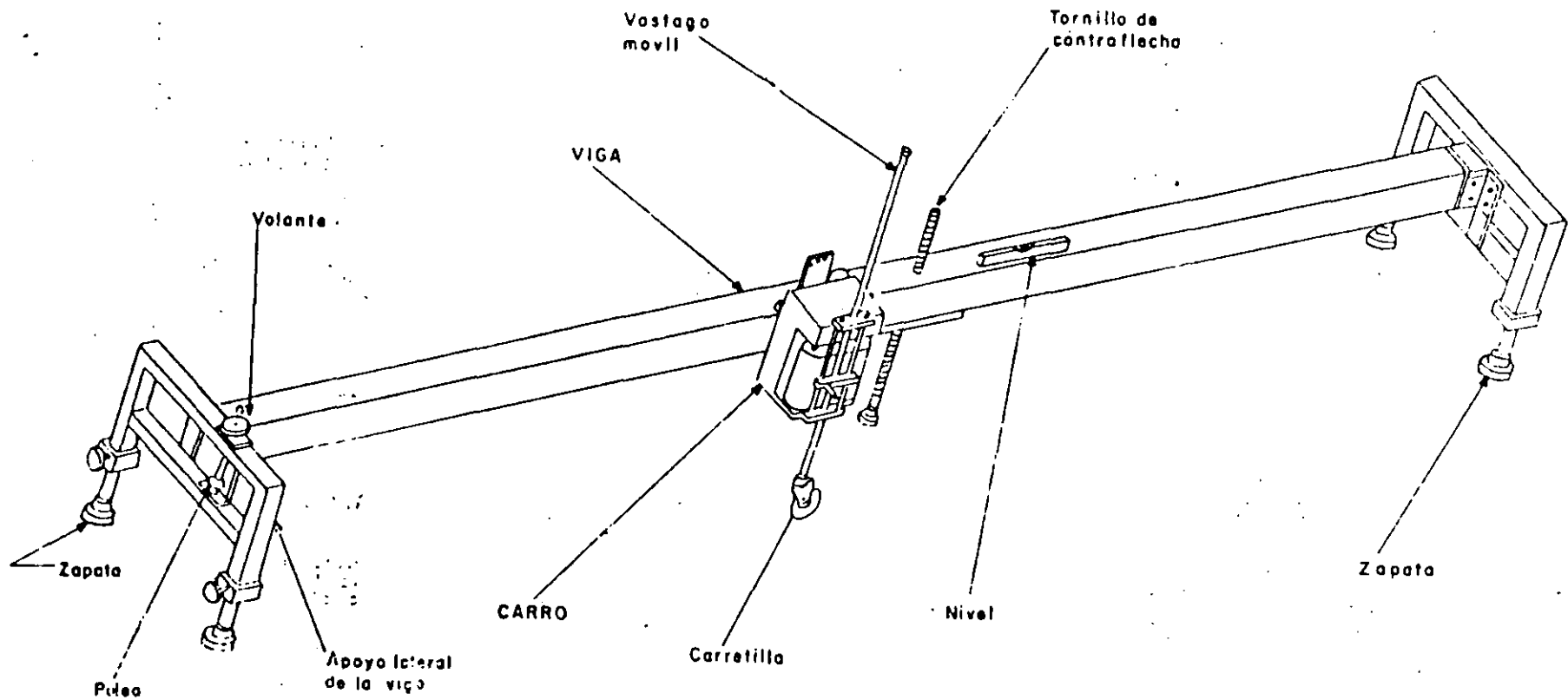
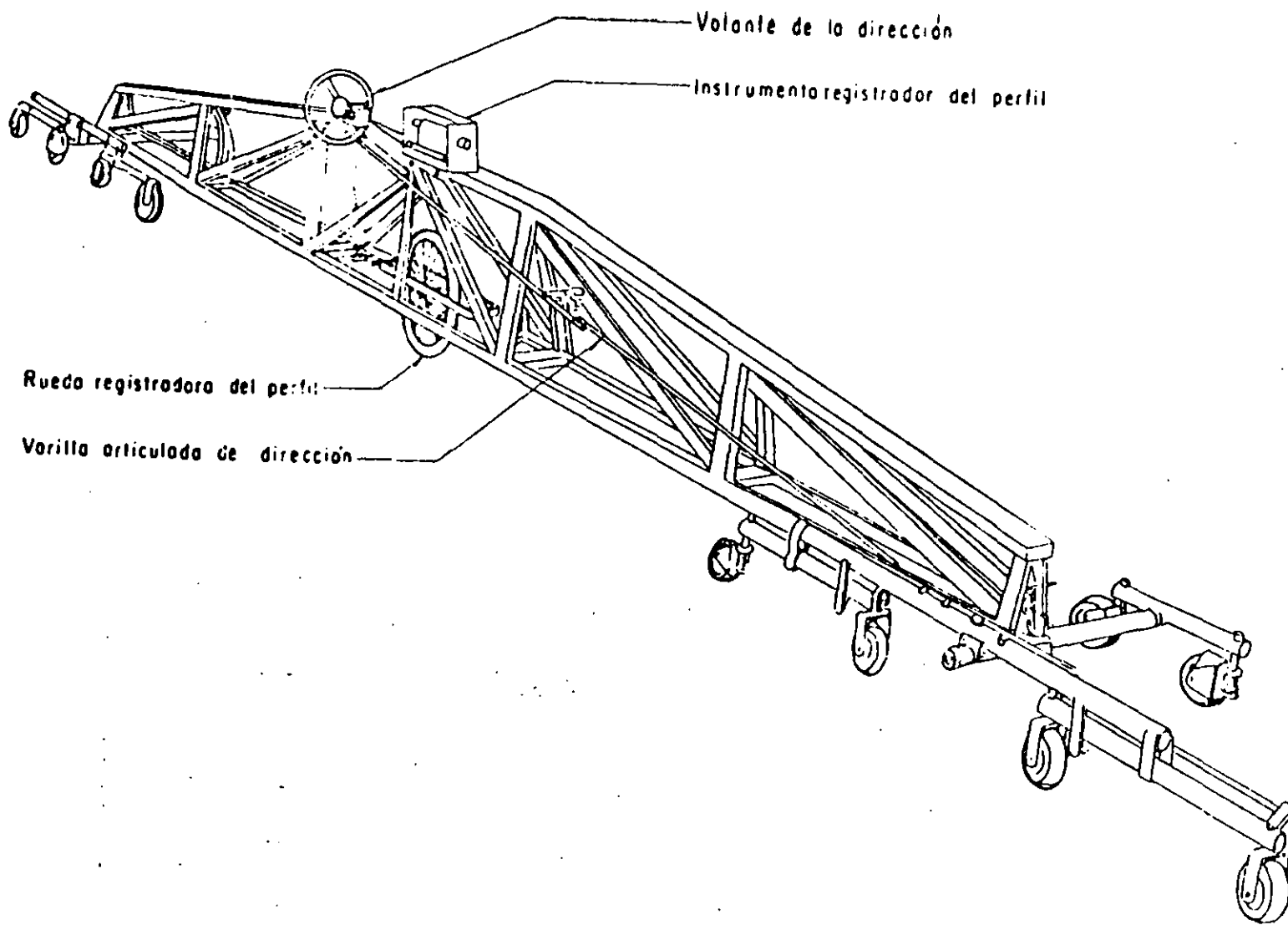


FIGURA Nº 21



PERFILOGRAFO LONGITUDINAL TIPO HVEEM (400)

FIGURA Nº 10

REHABILITACION

- FINALIDAD:

- 1.- CORREGIR LOS DETERIOROS EXISTENTES EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.
- 2.- PREVENIR DETERIOROS FUTUROS EN EL PAVIMENTO.
- 3.- ADAPTACION A NECESIDADES DEL TRANSITO FUTURO.

- PROCEDIMIENTOS MAS GENERALES

- 1.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.
- 2.- SOBRECARPETAS (ASFALTICAS, CONCRETO HIDRAULICO, BASE HIDRAULICA Y CARPETA)
- 3.- AMPLIACIONES
- 4.- OBRAS DE DRENAJE.

- FUNCION

- 1.- PROPORCIONAR UNA ADECUADA CALIDAD DE RODAMIENTO.
- 2.- PROPORCIONAR LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO NECESARIA.
- 3.- PROPORCIONAR LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL ADECUADA PARA SOPORTAR EL TRANSITO FUTURO.
- 4.- MEJORAR LAS CONDICIONES GEOMETRICAS DEL CAMINO.

- CARACTERISTICAS

- ADECUADA
- OPORTUNA

CRITERIOS DE DECISION PARA JUSTIFICAR LA
NECESIDAD DE EFECTUAR LA REHABILITACION
DE UN PAVIMENTO

- NIVEL DE SERVICIO
- CALIDAD DE RODAMIENTO
- SEGURIDAD
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- CONDICIONES SUPERFICIALES
- COSTOS DE OPERACION, MANTENIMIENTO, ETC.

TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

| TIPO | | APLICACION |
|------|--|--|
| - | TRATAMIENTOS SUPERFICIALES | |
| | RANURADO REBAJADO PRODUCTOS QUIMICOS | CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAMAMIENTO. |
| | CALAFATEO | RELLENO DE GRIETAS |
| | SLURRY SEAL RIEGOS DE SELLO | CORREGIR TEXTURA Y DERRAMAMIENTO, IMPERMEABILIZAR, MEJORAR APARIENCIA. |
| - | BACHEO | |
| | SUPERFICIAL | CORREGIR FALLAS DE CARPETA. |
| | PROFUNDO | CORREGIR AREAS DEBILES |
| - | RENIVELACIONES | CORREGIR DEFORMACIONES |
| - | RECICLADO | CORREGIR FALLAS DE CARPETA, REJUVENECERLA Y FORZARLA. |
| - | SOBRECARPETA | REFUERZO, ESTRUCTURAL Y CONTRA FATIGA. |
| - | MODERNIZACIONES | ADECUAR PARA TRANSITO -- MAS IMPORTANTE, AMPLIACIONES Y RECTIFICACIONES MEJORAR DRENAJE. |
| - | RECONSTRUCCION | ADAPTACION PARA UN TRANSITO MAS PESADO. |

TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

| TIPO | APLICACION |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - RESTAURACION DE JUNTAS - CALAFATEO DE GRIETAS | <p>MEJORAR LA FUNCION DE LAS JUNTAS E IMPERMEABILIZAR.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - TRATAMIENTOS SUPERFICIALES <ul style="list-style-type: none"> RANURADO REBAJADO PRODUCTOS QUIMICOS | <p>CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - RECONSTRUCCION DE LOSAS, INTEGRAL O PARCIAL | <p>RESTITUIR ESTRUCTURA</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - SOBRECARPETAS ASFALTICAS O REFUERZO DE CONCRETO HIDRAULICO | <p>MEJORAR TEXTURA Y DERRAPAMIENTO, REFUERZO ESTRUCTURAL.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - MODERNIZACIONES Y RECONSTRUCCION | <p>ADECUAR PARA TRANSITO MAS PESADO Y MAS IMPORTANTE. MEJORAR ALINEAMIENTO Y DRENAJE.</p> |

METODOS PARA VALUAR EL ESPESOR
REQUERIDO DE SOBRECARPETA

- 1.- ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LA ESTRUCTURA EXISTENTE Y LA RECOMENDABLE, SEGUN UN -- DETERMINADO METODO DE DISEÑO.

- 2.- ANALISIS DEL PAVIMENTO, A PARTIR DE LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN SU CONJUNTO, DETERMINADA POR PRUEBAS REALIZADAS SOBRE LA ESTRUCTURA REAL DEL MISMO.
 - MEDICIONES DE DEFLEXIONES.
 - PRUEBAS DE PLACA.

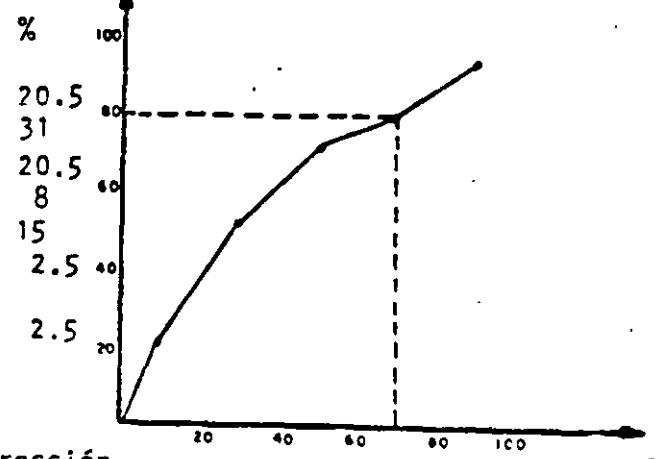
DEFLEXIONES.

| | |
|-------|--------|
| 0.040 | 0.060 |
| 0.044 | 0.040 |
| 0.020 | 0.024 |
| 0.088 | 0.036 |
| 0.088 | 0.032 |
| 0.084 | 0.024 |
| 0.072 | 0.000 |
| 0.012 | 0.016 |
| 0.036 | 0.028 |
| 0.024 | 0.056 |
| 0.020 | 0.016 |
| 0.056 | 0.028 |
| 0.076 | 0.024 |
| 0.084 | 0.016 |
| 0.120 | 0.016 |
| 0.100 | 0.032 |
| 0.158 | 0.048 |
| 0.100 | 0.042 |
| 0.080 | |
| 0.044 | N = 39 |
| 0.044 | |

F

| |
|-----------|
| 1 - 20 |
| 21 - 40 |
| 41 - 60 |
| 61 - 80 |
| 81 - 100 |
| 101 - 120 |
| 121 - 140 |
| 141 - 160 |

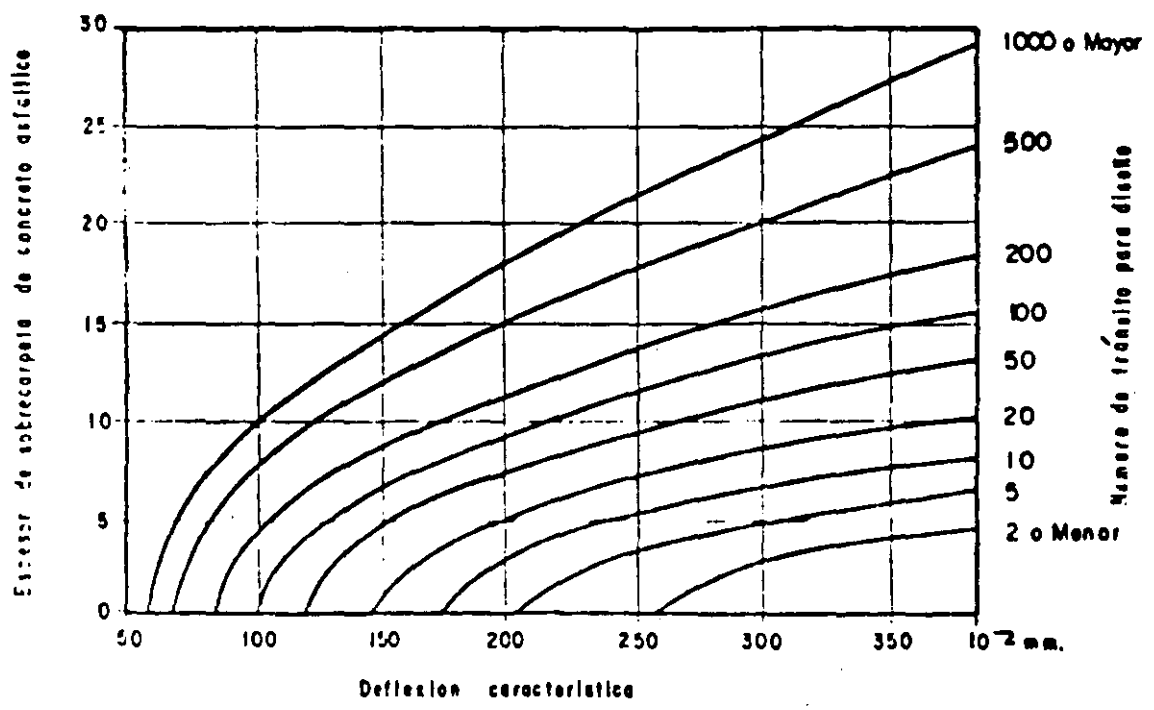
| |
|----------------|
| 8 |
| 12 |
| 8 |
| 3 |
| 6 |
| 1 |
| $\frac{1}{39}$ |



De la fig. 25 la corrección por temperatura será:
 espesor de la carpeta h= 11cms.
 temperatura 26°C.
 $f_c = 0.8$
 $P_{80c} = 0.8 \times 0.7 = 0.56$

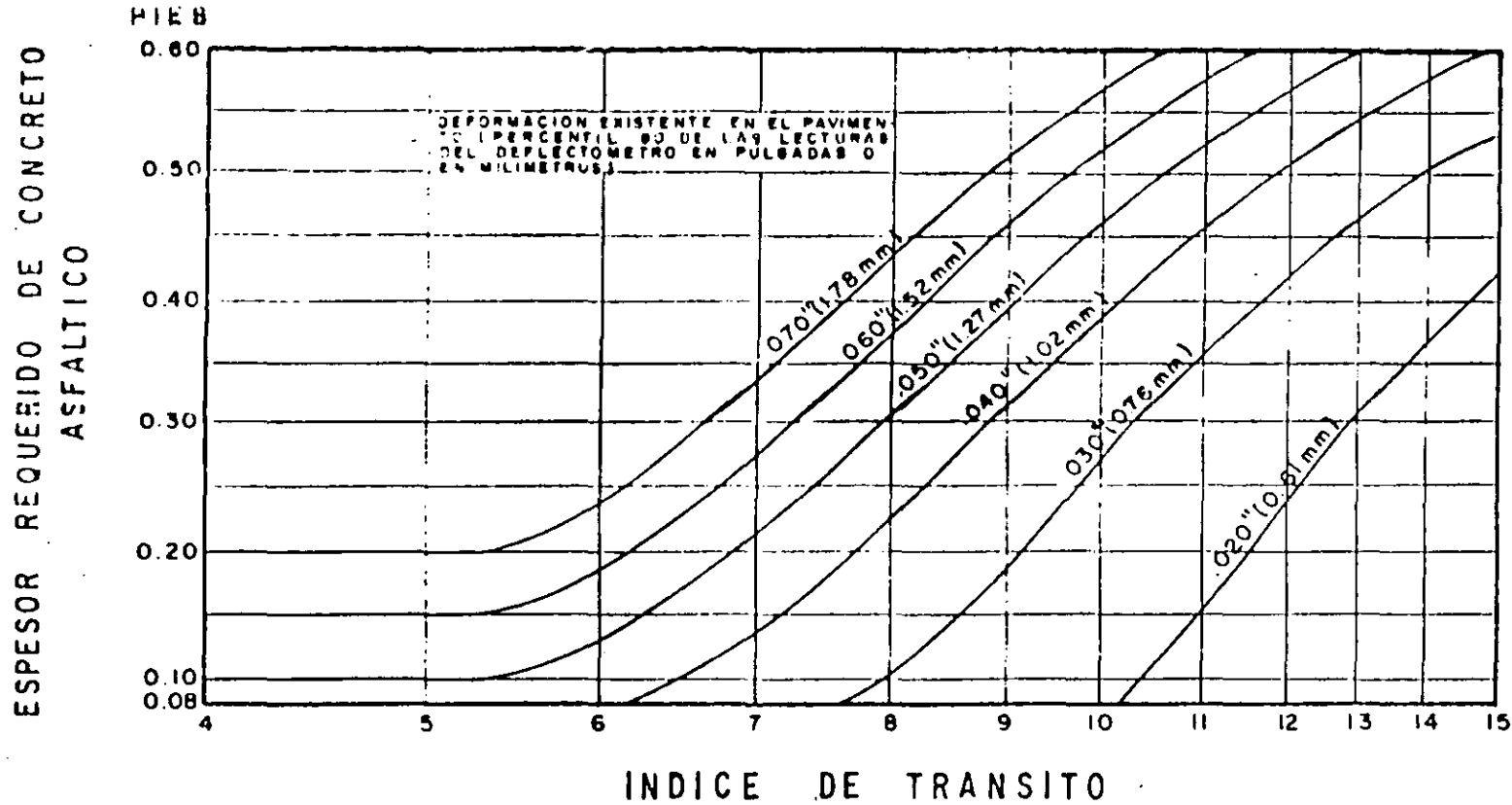
$P_{eo} = 0.70$

a. - ANALISIS ESTADISTICO PARA LA OBTENCION DE LA DEFLEXION.



b - Espesores de sobrecarpeta de refuerzo, en función de la deflexión característica del pavimento, según el Instituto Norteamericano del Asfalto. (17)

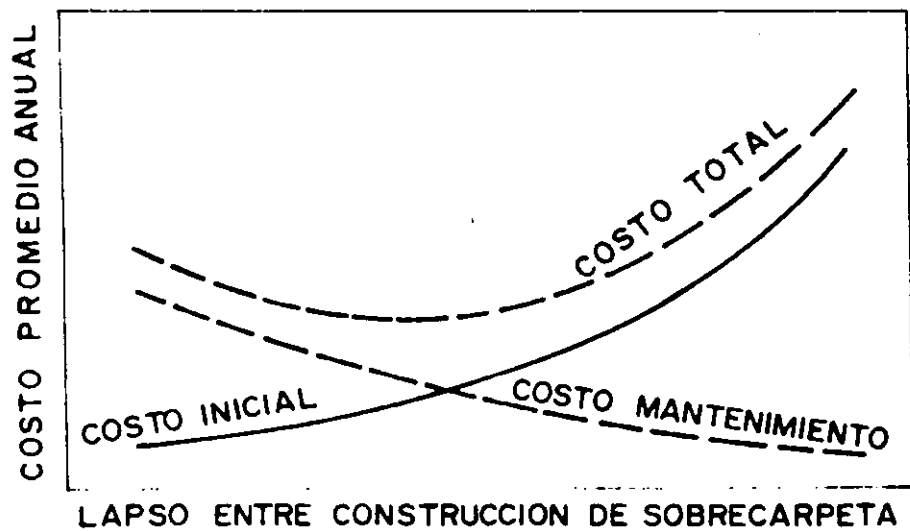
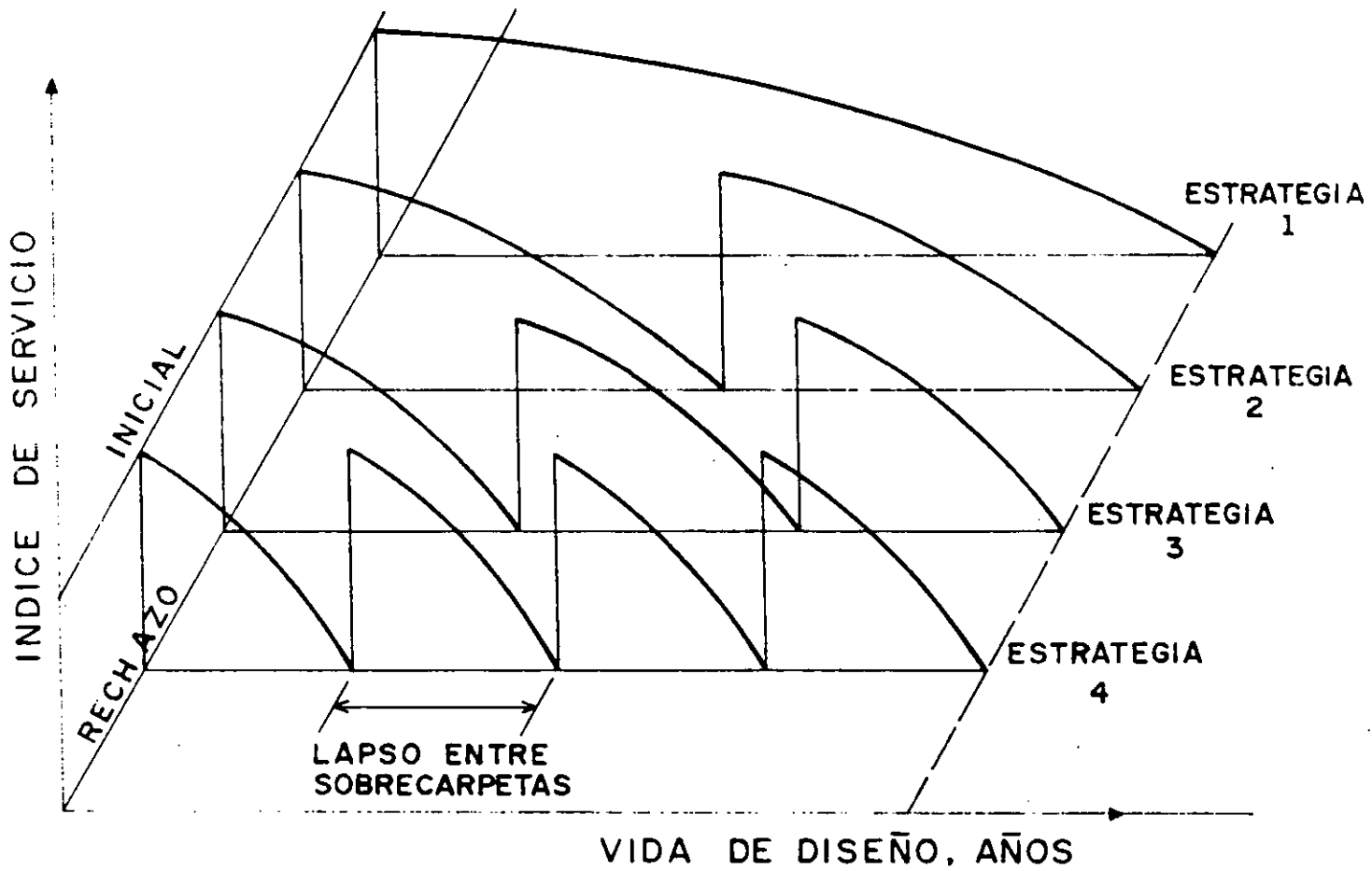
GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA SOBRECARPETA DE CONCRETO ASFALTICO, A PARTIR DE LA DEFLECCION MEDIDA EN EL PAVIMENTO. (CALIFORNIA)

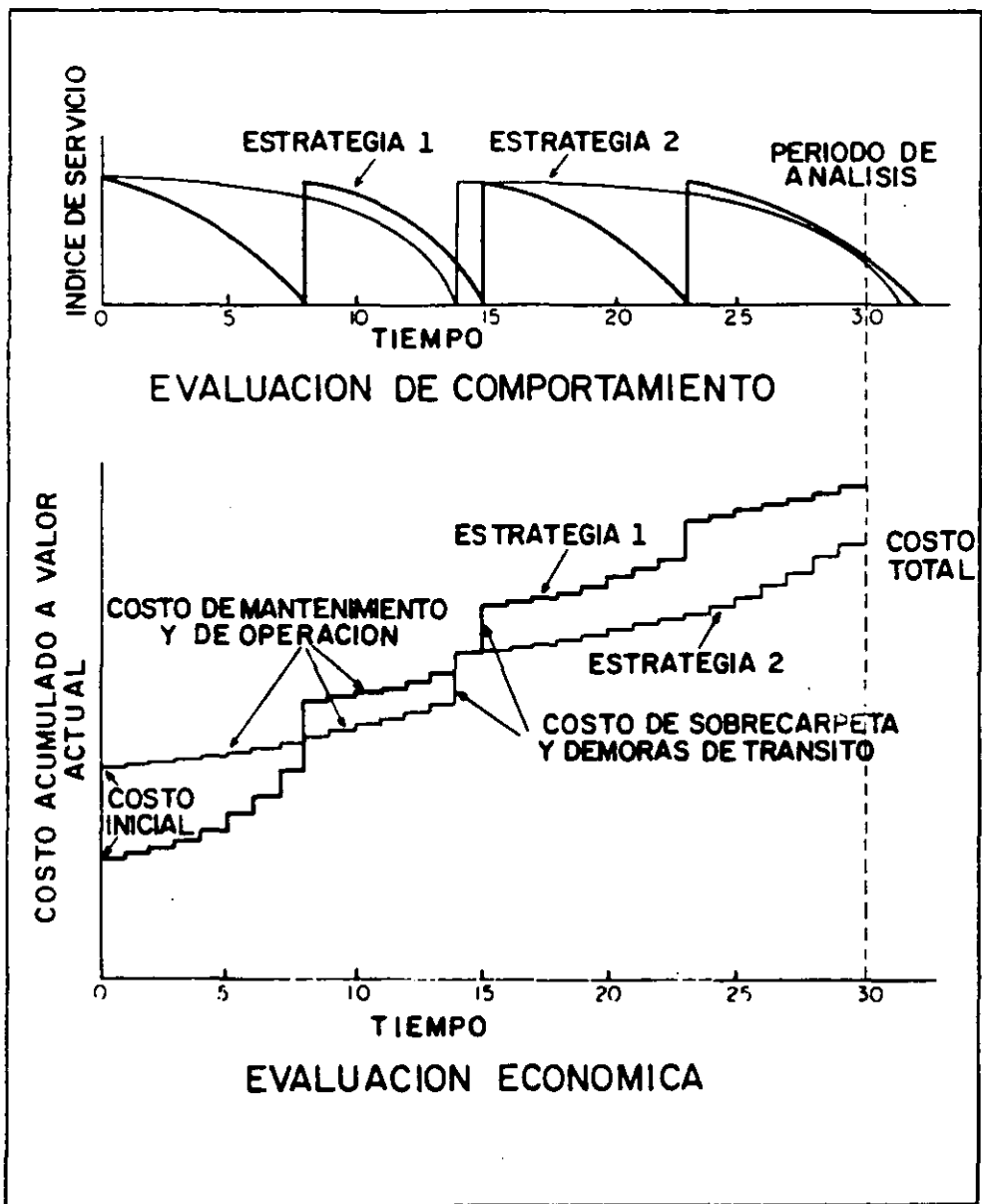


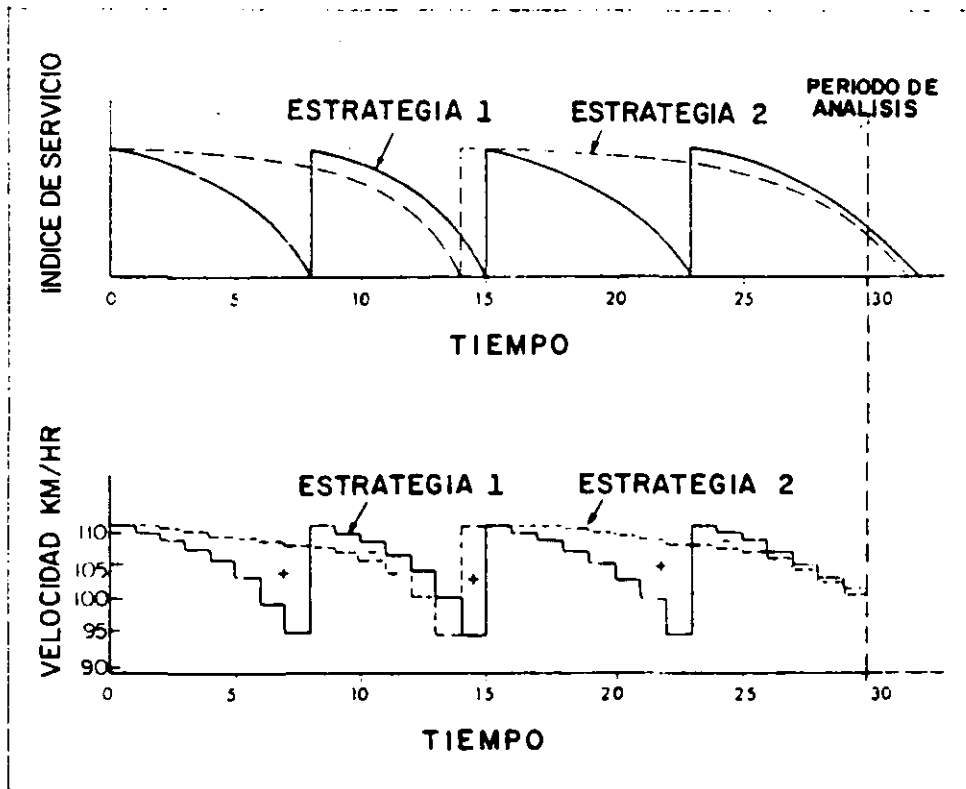
(3)

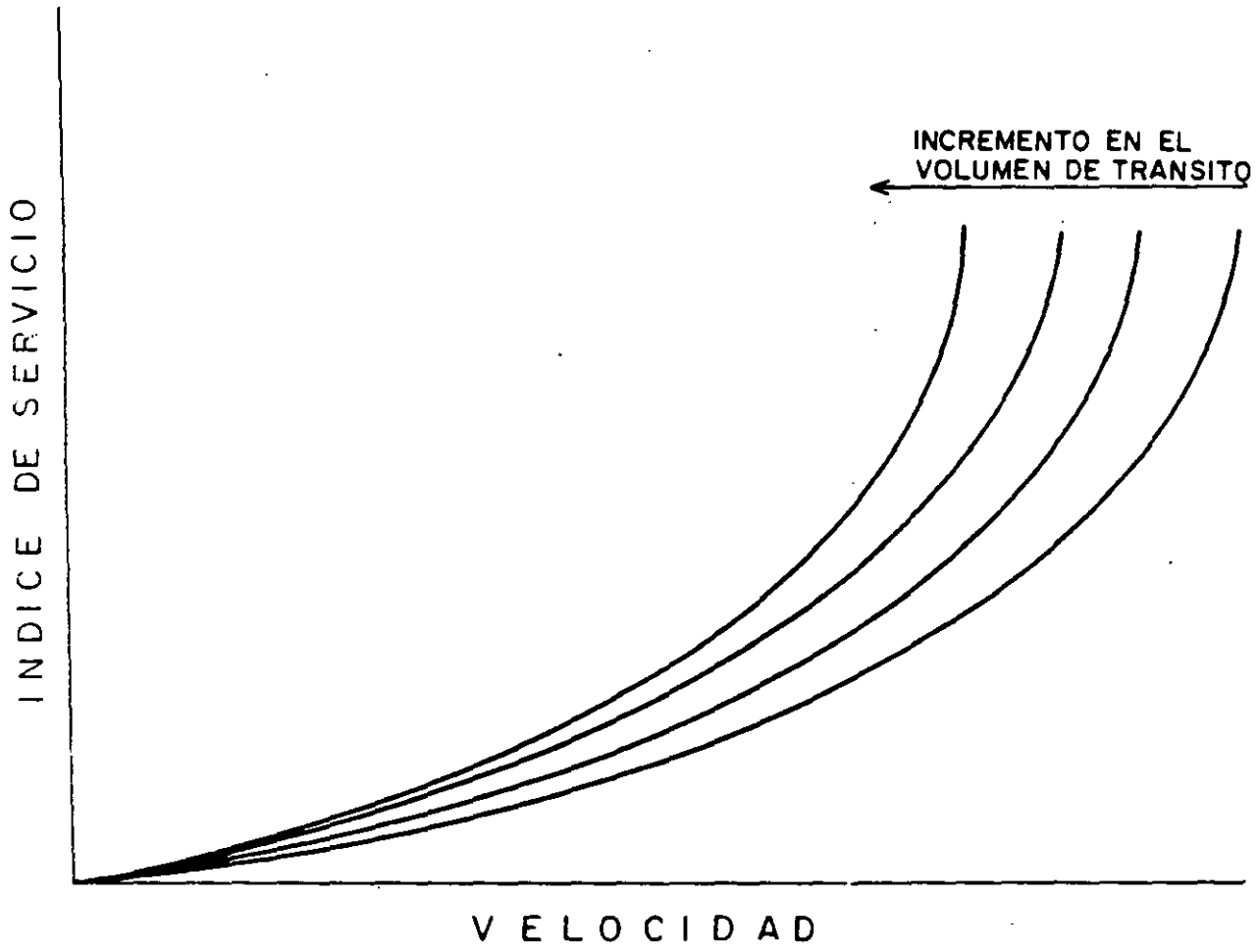
| CLASIFI- CACION. | DESCRIPCION DEL MATERIAL. | FACTORES DE CONVERSION. |
|---------------------|--|----------------------------|
| I | Terreno natural en todos los casos | 0.0 |
| II | a).- Subrasantes construidas con materiales granulares, con algo de limo o arcilla e $IP \leq 10$ b).- Subrasante de suelos muy plásticos con $IP > 10$; estabilizadas con cal. | 0.0-0.2 |
| III | a).- Bases o subbases granulares bien graduadas con $CBR > 20$, el limite superior se usa si el $IP \leq 6$ y el inferior si $IP > 6$. b).- Subbase y bases de suelo cemento, con materiales con $IP \leq 10$ y poco cemento. | 0.2-0.3 |
| IV | a).- Base granular de alta calidad ($CBR > 80$). b).- Carpetas asfálticas muy agrietadas y deformadas. c).- Pavimento de concreto hidráulico roto en piezas menores de 2 pies, se usa el rango superior cuando tiene subbase, limite inferior cuando sólo hay subrasante. d).- Bases de suelo cemento muy agrietadas. | 0.3-0.5 |
| V | a).- Carpeta y bases asfálticas muy agrietadas pero poco deformadas. b).- Pavimentos de concreto hidráulico agrietados y con algunas fallas. c).- Bases de suelo cemento poco agrietadas. | 0.5-0.7 |
| VI | a).- Carpetas de concreto asfáltico con pocas grietas y poca deformación. b).- Bases asfálticas poco agrietadas. c).- Concreto hidráulico poco agrietado. | 0.7-0.9 |
| VII | a).- Concreto asfáltico incluyendo bases de concreto asfáltico con muy pocas grietas y pocas deformaciones en las huellas de rodada. b).- Concreto hidráulico, sellado y pocas grietas. c).- Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica estable, sin bombeo y con pocas grietas reflejadas. | 0.9-1.0 |

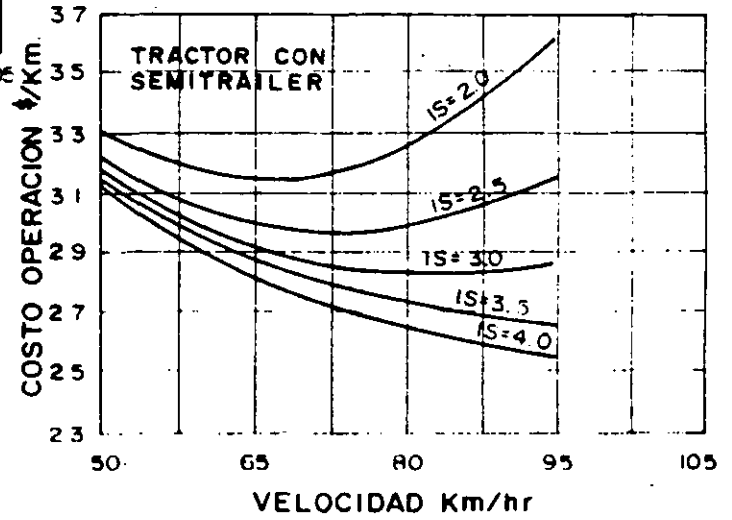
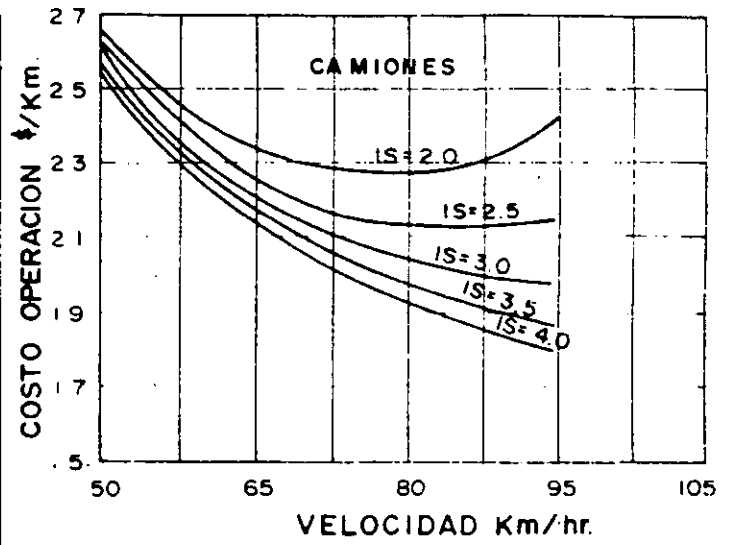
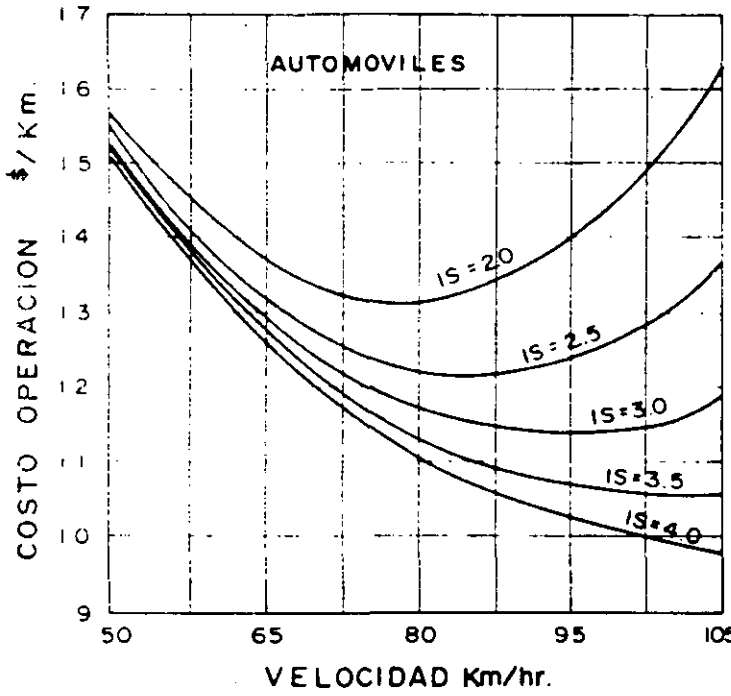
ANALISIS DE ESTRATEGIAS

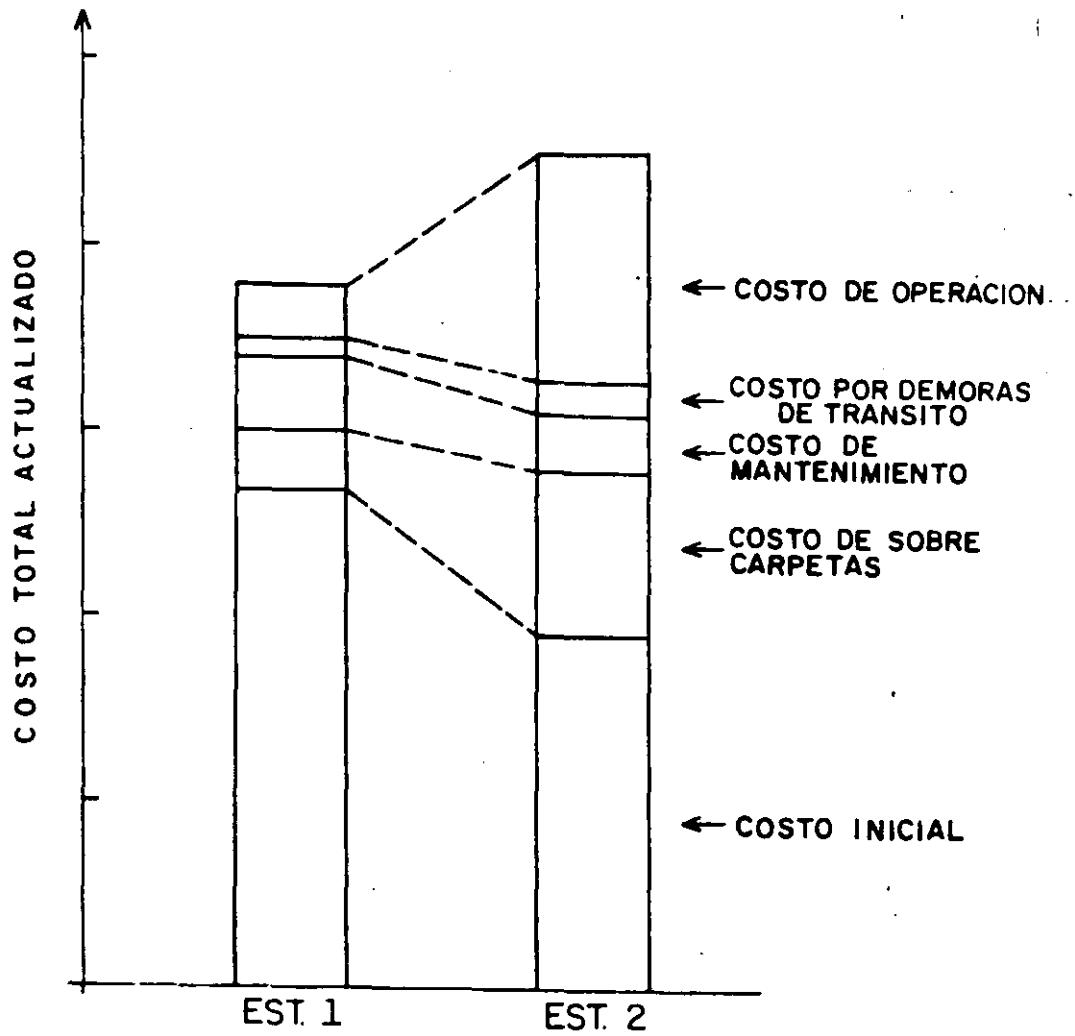
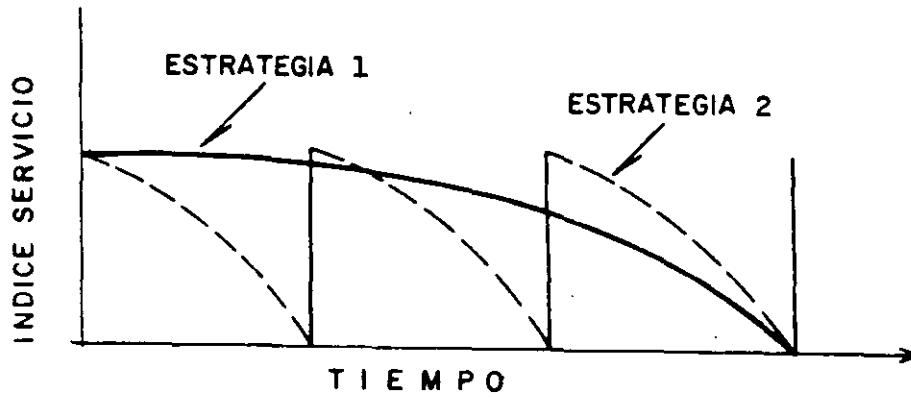














FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE SUELOS FINOS TRATADOS CON CAL
Y CEMENTO

ING. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO

COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE SUELOS

FINOS TRATADOS CON CAL Y CEMENTO

Nguyen Dac Chi
Jean Mulders

Los estudios realizados en el laboratorio, presentados por M. Morel en el artículo " Pruebas de Laboratorio del tratamiento con cal y cemento de suelos finos " , mostraron que las características mecánicas en compresión o en tracción de limos tratados con cal y cemento son al menos iguales a aquellas de gravas tratadas.

Estos estudios de resistencias mecánicas para la primera etapa de carga, fueron completados por un estudio de comportamiento bajo cargas repetidas o pruebas de fatiga. Este es el objeto del presente artículo.

Las pruebas se realizaron con cuatro suelos finos, los más representativos. Con uno de los materiales se estudió la influencia de la densidad, del contenido de agua, de la edad y de la inmersión.

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Los cuatro suelos estudiados son :

- Una arena granítica de la región de Saint-Brieuc
- Un limo de la región de Rouen
- Un limo de la región de Lille
- Una arcilla de la región de Autun

Las curvas granulométricas de estos materiales están representadas en la Figura 1.

El limo mencionado de Rouen prevalece en la localidad de Paeul y la arcilla de Autun es proveniente de la autopista A 36 Beaune-Dole La Tabla 1 de las características de estos materiales.

T R A T A M I E N T O

Los materiales fueron tratados con 1% de cal y 7% de cemento CPJ 45.

La arena granítica de Saint-Brieuc, el limo de Rouen y la arcilla de Autun fueron tratadas con la cal de Boran de la cual el 82.6% pasa por la abertura de 80 μ m y el 85% de cal libre.

El limo de Lille se trató con cal de Fretin de la cual el 70% pasa por la abertura 80 μ m y el 80% de cal libre.

Las cales utilizadas tienen las mismas características que aquellas empleadas en las regiones consideradas.

DATOS DE COMPACTACION

Los datos de compactación de los diferentes materiales: el peso volumétrico seco δ_d y el contenido de agua óptimo $W\%$ para la prueba Proctor modificada están dados en la Tabla II.

ELECCION DE FORMULAS DE MATERIALES

Las fórmulas y las modalidades estudiadas están representadas en la Tabla III.

La arcilla de Autun fue probada a los 90 días mientras que con otros materiales, los estudios se hicieron a los 90 y 360 días. Sobre el limo de Rouen, que es de uso común, se estudió la influencia del peso volumétrico, del contenido de agua y de la inmersión, y un estudio de la curva de fatiga se realizó.

PREPARACION DE LOS MATERIALES; COMPACTACION Y CONSERVACION DE PROBETAS.

PREPARACION DEL MATERIAL

El material necesario para la fabricación de seis probetas se mezcló una sola vez en un mezclador cerrado, reproduciendo lo mejor posible las condiciones de mezclado en la obra. Después de la homogenización en seco de la cal y el material durante dos minutos se incorporó el agua necesaria y se mezcló durante cinco minutos.

El material obtenido se conservó en bolsas cerradas. El cemento se agregó después de 1 h 30 min a 48 horas de acuerdo a la naturaleza del material y se mezcló durante cinco minutos.

La tabla 10 da el tiempo que separa la mezcla con la cal al momento en que se agrega el cemento.

COMPACTACION Y CONSERVACION DE PROBETAS.

La compactación se realizó en un molde de duraluminio (Fig. 2). El molde se compone de una plantilla, de dos semi-moldes y de un pistón. El material se extiende en el molde y la compactación se hace con la ayuda de una prensa hidráulica; la fuerza de presión máxima es de 6 toneladas.

Las probetas se conservaron :

- Siendo curadas a 20°C en sacos cerrados

- Estando en inmersión, la inmersión en agua a 20°C después de 7 días de conservación en curado.

PRUEBAS

Las pruebas de fatiga se realizaron a flexión en probetas trapezoidales empotradas en su base. El método de prueba e interpretación de resultados siguen la metodología de estudio en fatiga de materiales tratados con ligantes hidráulicos.

Antes de las pruebas de fatiga propiamente dichas, se realizaron las pruebas de flexión (Fig. 3), para determinar la resistencia a la flexión RF y el módulo al 30% del esfuerzo de ruptura E30F.

Las pruebas de fatiga se realizaron con una frecuencia de aplicación de la carga de 50 H² (Fig. 2). Dándose una gran dispersión de resultados, un número grande de pruebas se realizó y se buscó determinar la amplitud del esfuerzo inicial T7 que lleva a la ruptura por fatiga después de los ciclos de carga.

Los resultados de flexión siendo ligeramente dispersos entre una serie y la otra, efectuamos pruebas de fatiga de niveles de amplitud de esfuerzo diferentes pero correspondientes a valores de \sqrt{N}/RF constantes.

Las medidas de deformación son en principio determinadas con la ayuda de reglas pegadas. Sin embargo para los materiales estudiados la presencia de finos en la superficie de la probeta dificulta el pegado satisfactorio de las reglas. Para este estudio, las deformaciones fueron a partir de la medición de la flecha de la probeta.

Para las probetas conservadas en inmersión y sometidas a pruebas en inmersión, al sacarla del agua la base y la parte superior de la probeta se secan al aire a fin de poder colocar el casco y la solera. La probeta es enseguida resurgida en el agua para la prueba (Fig. 5).

Para estudiar la curva completa de fatiga del material 3, las pruebas se realizaron a 3 niveles de esfuerzo correspondiendo a números de carga a la ruptura variando entre 10^4 y 10^6 .

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Recordemos las notaciones utilizadas a lo largo del artículo.

NOTACIONES

| | |
|---------------|--|
| RF | Resistencia <u>ala</u> ruptura en flexión. |
| E30F | Módulo secante en flexión a 30% del esfuerzo de ruptura. |
| \sqrt{N} '6 | Esfuerzo estimado para obtener la ruptura a 10^6 ciclos de carga |

| | |
|--|--|
| $\bar{\sigma}_6$ | Esfuerzo correspondiente a la ruptura a 10^6 ciclos de carga. |
| $N(\bar{\sigma}_6)$ | Número de ciclos de carga correspondiente al nivel de esfuerzo $\bar{\sigma}_6$. |
| $SN(\bar{\sigma}_6)$ | Desviación-tipo de $\lg N$ para el nivel de esfuerzo $\bar{\sigma}_6$. |
| ϵ_{di} | Deformación para las primeras cargas. |
| ϵ_{d10} | Deformación al 1/10 de la duración total. |
| ϵ_{d90} | Deformación con 9/10 de la duración total. |
| E_{di} | Módulo con las primeras cargas. |
| E_{d10} | Módulo al 9/10 de la duración total. |
| $\lambda = \frac{\epsilon_{d90} - \epsilon_{d10}}{\epsilon_{d10}}$ | Coficiente caracterizando la evolución de la rigidez del material entre el 0.1 y el 0.9 de la duración total del material. |

La Figura 6 da el significado físico de alguno de estos parámetros.

RESULTADOS DE PRUEBAS EN FLEXION

La tabla V da los resultados de pruebas en flexión.

CORRELACION : RESISTENCIA A FLEXION - MODULO

La Figura 7 muestra la correlación entre la resistencia en flexión RF y el módulo secante E_{30F} al 30% del esfuerzo de ruptura.

En la misma gráfica estan representadas las zonas representativas de arenas y gravas tratadas.

Podemos observar que para un mismo nivel de resistencia a la ruptura en flexión RF , el módulo de suelos finos tratados con cal y cemento es alrededor de 2 veces más bajo que aquellos de arenas y de 3 a 4 veces más bajo que los de gravas.

EVOLUCION DE LA RF CON LA EDAD, LA NATURALEZA DE LOS MATERIALES Y LA COMPACTACION

La Figura 8 da los valores de RF de los diferentes suelos en función de la edad. La comparación se realizó con los materiales compactados al 90% del δ d máx y con el contenido de agua óptimo.

Remarcamos que entre 0 y 90 días las velocidades de incremento de resistencia son muy diferentes según el material, dado que las resistencias son muy diferentes a los 90 días. A los 360 días, las resistencias a flexión de los materiales estudiados son muy semejantes y se aproximan a 2 Mpa.

La comparación de las pruebas 3 y 4 muestra que una disminución del peso volumétrico de 100 a 90% del δ d máx. disminuye la resistencia en un 25% y el módulo secante en flexión en un 27%.

La influencia de la compactación en las características mecánicas parece ser de menor importancia - en los limos que sobre las gravas tratadas, las que en las mismas condiciones pueden disminuir la resistencia de 40 a 50%.

INFLUENCIA DE LA INMERSION

La comparación de resultados obtenidos sobre el limo de Rouen con las pruebas 5 y 7, muestra que a 360 días el valor de RF cuando el material está sumergido disminuye de 1.87 a 1.4 MPa, siendo de - 25% mientras que a los 90 días (materiales 1 y 3), la inmersión hace disminuir la RF de 1.03 a - - 0.95 MPa, siendo el 7.7%. La influencia de la inmersión en los resultados no es apreciable más que a largo plazo. Esto es sin duda debido a la penetración a largo plazo del agua en el material.

Para dos materiales idénticos conservados en inmersión pero con una prueba realizada al aire libre para uno, y en inmersión para el otro (materiales 1 y 6) los resultados mostraron que la inmersión durante la prueba no parece influir en las resistencias a flexión. lo anterior puede explicarse - por el hecho que la prueba de flexión es una prueba rápida que no permite al agua que rodea la probeta durante la prueba, influir en las características del material por penetración (lo cual no parece ser el caso para la prueba de fatiga).

Se observaron resultados análogos y del mismo orden de magnitud para las arenas de inmersión.

RESULTADOS DE PRUEBAS EN FATIGA

ESTUDIO DE LA CURVA COMPLETA DE FATIGA

La Tabla VI representa los resultados de fatiga obtenidos a tres niveles de esfuerzo.

La Figura 9 representa el porcentaje de deformaciones acumuladas en la escala de Henry en función - del $\lg N$ para 3 niveles de esfuerzo correspondientes a los valores de \sqrt{J}/RF iguales a 0.68, 0.58 y 0.44. Los valores medios de $\lg N$ son respectivamente de 1.02×10^4 (A), 9×10^4 (B) y 55×10^4 (C) Podemos remarcar que los puntos representativos están bien alineados, lo cual demuestra que el histograma de $\lg N$ para constante se asemeja a una distribución normal.

La Figura 10 representa las curvas de fatiga obtenidas siguiendo los resultados tomados en cuenta a partir de los puntos A, B, C correspondiendo a 3 niveles de esfuerzos de prueba y el punto D correspondiente a la falla después de una sola carga.

El trazo de la recta 1, corresponde al método que utilizamos para las pruebas comunes, la curva de fatiga está representada por la recta que pasa por el punto D ($\sqrt{J}/RF = 1$; $N = 1$) y el punto C - -

($\sqrt[6]{N}$ y N^6), punto correspondiente al valor de N^6 el más cercano posible a 10^6 .

La recta 2 fue obtenida por regresión con los 4 puntos A, B, C, D. Tiene la ecuación :

$$\sqrt[6]{RF} = -0.092 \lg N + 1.014$$

Con un coeficiente de correlación de 0.98.

La recta 3 está obtenida por regresión entre 3 puntos A, B y C. Tiene la ecuación :

$$\sqrt[6]{RF} = -0.147 \lg N + 1.28$$

Con $r = 0.99$. Los valores demuestran que la semejanza de la curva de fatiga a una recta es bastante aceptable en el caso del material estudiado.

Las rectas (1), (2) y (3) trazadas siguiendo 3 hipótesis diferentes dan valores de $\sqrt[6]{6/RF}$ iguales - respectivamente a 0.403, 0.4065 y 0.460. La diferencia máxima con relación al valor medio, es de 5%.

Lo anterior confirma la validez de la metodología de prueba utilizada para los otros tipos de materiales tratados con ligantes hidráulicos (determinación de la curva de fatiga mediante los puntos D y C estando muy próximos a $N = 10$).

La figura 11, muestra la correlación entre λ , que caracteriza la velocidad de propagación de fisuras en el material y el $\sqrt[6]{RF}$.

Comprobamos que la propagación de fisuras es mayor mientras más grande es la relación $\sqrt[6]{RF}$ (una - duración más corta). Aclaremos que esta observación no es particularmente válida cuando se consideran materiales diferentes.

COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE DIFERENTES MATERIALES

La Tabla VII agrupa los resultados a la fatiga de diferentes materiales.

a) COMPARACION DE LOS MODULOS ESTÁTICO Y DINÁMICO

La Figura 12 muestra la correlación entre el módulo dinámico E_{di} y el módulo en flexión E_{30F} . E_{di} y E_{30F} pueden relacionarse por la siguiente relación lineal:

$$E_{di} = 0.67 E_{30F} + 0.90$$

con un coeficiente de correlación $r = 0.98$

El módulo dinámico es aproximadamente 30% inferior al módulo de flexión.

Este resultado aparentemente sorprendente (se esperaba un módulo dinámico superior al estático) puede ser explicado por el hecho de que las pruebas se realizaron con una frecuencia de 50 Hz. La medición de la deformación inicial, que debe teóricamente hacerse con la primera carga, no pudo ser determinada hasta después de 30 segundos de prueba (duración del montaje y medición) con 1500 ciclos de carga; durante este período, la evolución muy rápida de la deformación explica que el valor E_{di} medido sea inferior a E_{30F} .

Esta observación debe llevarnos a tener en cuenta este abatimiento del módulo en los cálculos de estructuras, la disminución mayor se encuentra en la zona de 104 MPa.

b) DUREZA DE LOS MATERIALES

La dureza $\sqrt{6/RF}$ caracteriza la resistencia del material a las cargas repetidas.

- Variación de la resistencia en función de los materiales y su edad.

La figura 13 representa los valores de resistencia estudiados en función de su edad.

Si consideramos los valores a 360 días, para los materiales compactados al 96% de su peso volumétrico seco máximo con el contenido de agua óptimo el limo de Rouen tiene la mayor dureza con un valor de 0.66, después están las arenas graníticas de Saint-Brieux y el limo de Lille que tienen respectivamente los valores de 0.47 y 0.46. En cuanto a la arcilla de Autun, la resistencia a 90 días es muy baja dado que no es mayor que 26.

La dureza de materiales decrece ligeramente en función de la edad, excepto para el limo de Rouen.

Las diferencias de comportamiento entre el limo de Rouen y los otros materiales son debidas sin duda, a su baja sensibilidad al agua (IP bajo y estructura más cerrada).

- Variación de la dureza en función de otros factores.

Los razonamientos siguientes están fundados únicamente sobre los estudios realizados sobre el limo de Rouen, a 90 días; toda extrapolación a otros materiales debe por tanto hacerse con prudencia.

* Influencia de la densidad (fórmula 3 y 4).

Mientras que el módulo y la resistencia RF varían con la densidad del material, la dureza del material permanece constante ($\sqrt{6/RF} = 0.398$ y 0.403)

* Influencia del contenido de agua (fórmulas 2 y 3).

Quando el contenido de agua pasa del valor óptimo a un valor de 2% mayor, la dureza pasa del valor de 0.40 a 0.58. Un contenido de agua elevado parece ser benéfico para la resistencia del material estudiado.

* Influencia de la inmersión.

La comparación de resultados de materiales conservados en inmersión con aquellos conservados en cura do (pruebas 1 y 3) - la prueba de fatiga siendo realizada al aire libre - muestra que a los 90 días la inmersión tiene un efecto benéfico la dureza pasa de 0.40 a 0.53. En contra partida, a los 360 días (pruebas 5 y 7), la inmersión tiene una influencia nefasta, la dureza baja de 0.66 a 0.44. Una inmersión prolongada tiene por lo tanto un efecto muy sensible sobre la dureza.

Para un material conservado en inmersión, cuando la prueba de fatiga se realiza al aire libre o en inmersión (pruebas 1 y 6), la dureza baja de 0.56 a 0.36 o sea el 32%. La inmersión durante la prueba de fatiga es por lo tanto muy negativa.

La disminución de la dureza puede ser explicada por una penetración más fácil del agua en el material cuando es sometida a cargas alternadas se ve por lo tanto, la gran vulnerabilidad de las capas subrasantes con suelos tratados sujetos simultáneamente a un tráfico y a una inmersión prolongada.

- Correlación entre la dureza y la resistencia a la flexión.

Se está intentando verificar si hay una relación entre $\sqrt{6/RF}$ a fin de estimar la dureza para el valor RF. La figura 14 muestra que no hay una correlación simple entre los valores de $\sqrt{6/RF}$ y RF- y la estimación de la dureza, es decir que la resistencia a la fatiga para el valor de la resistencia en flexión, puede conducir a errores de estimación no despreciables.

- Correlación entre la dureza del material y el módulo al 10% de la duración de vida del material (Ed10)

Se comprobó, que generalmente que mientras más rígido es el material, y por lo tanto menos viscoelástico, mayor es su dureza.

La figura 15 presenta la dureza en función del Ed10. Se observa en la Figura que no hay una correlación entre la dureza y el módulo Ed10 del material. Es probable que en el caso de los suelos -

finos estudiados no exista una relación entre el módulo del material y su comportamiento visco-elástico.

- Correlación entre la dureza y el coeficiente

El coeficiente $\lambda = (\xi_{d90} - \xi_{d10}) / d_{10}$ caracteriza la velocidad de propagación de fisuras en el material cuando es sometido a cargas repetidas. Se intenta verificar si hay una relación entre $\sqrt{6}/RF$ y λ .

La Figura 16 representa la variación de la dureza en función de λ

La ecuación de la recta de regresión lineal entre la dureza y λ es :

$$\sqrt{6}/RF = -0.061 \lambda + 0.53$$

El coeficiente de correlación es $r = 0.71$. Aunque este valor sea relativamente bajo se puede admitir que hay una cierta correlación entre la dureza y λ .

Vemos que cuando λ es grande, la dureza es baja y si λ es inferior a 10%, el valor de $\sqrt{6}/RF$ es superior a 0.45 que en general caracteriza un buen comportamiento en fatiga.

c) RESISTENCIA DE LA RUPTURA 6

El valor de $\sqrt{6}$ caracteriza el esfuerzo admisible del material para 10^6 ciclos de carga. Es este el valor que interviene en el cálculo estructural de pavimento.

La figura 17 presenta los valores de $\sqrt{6}$ de diferentes materiales, vemos que a los 360 días sin inmersión los limos de Rouen, de Lille y la arena granítica de Saint-Brieuc tienen valores de $\sqrt{6}$ cercanos a 1 MPa (0.92, 1.04 y 0.98 MPa, respectivamente).

Las pruebas realizadas sobre probetas conservadas en inmersión con el limo de Rouen mostraron :

- Una disminución de $\sqrt{6}$ del 32% (0.50 a 0.34 MPa) después de 90 días en las pruebas realizadas al aire libre o en inmersión; esta disminución se debe esencialmente a la disminución del valor de la dureza y no al valor de RF (prueba 1 y 6).
- Una disminución de $\sqrt{6}$ del 11% (0.92 a 0.82 MPa) después de 360 días, la prueba fue realizada al aire libre. Es probable que el ensaye en inmersión sea también nefasto para los limos a la edad de 360 días.

La influencia del contenido de agua de compactación cuando este varia entre la humedad óptima y la

humedad óptima + 2% parece no tener influencia en el valor de $\sqrt[6]{N}$ (prueba 2 y 3).

- Dispersión de resultados

La dispersión de resultados está caracterizada por la desviación standard del $\lg N$ correspondiente al nivel $\sqrt[6]{6}$ y se denota $SN(\sqrt[6]{6})$. La media obtenida a partir de 12 pruebas es de 0.71 valor inferior a la media de los valores generalmente obtenidos en las gravas-cemento que varia de 0.9 a 1 y en las gravas-escoria que varia de 1 a 1.1.

Este valor de dispersión de $\lg N$ se obtuvo con materiales mezclados y compactados en el laboratorio. Es probable que en las condiciones de fabricación de materiales en la dispersión sea más grande que la obtenida en laboratorio.

- Índice de calidad elástica

El índice de calidad elástica IQE se calculó a partir de la pareja resistencia-módulo en tensión directo (RT, E). Este índice toma en cuenta el comportamiento en fatiga considerando las siguientes hipótesis para los materiales:

- La dureza del material $\sqrt[6]{6}/RF$ a los 10^6 ciclos de carga es igual a 0.5;
- la relación RT/RF de la resistencia a la tensión directa entre la resistencia a flexión es igual a 0.5.

Estas hipótesis nos llevan por lo tanto a que $\sqrt[6]{6} = RT$.

Los resultados de pruebas de fatiga permiten estimar el índice de calidad elástica exacto del material a partir de $\sqrt[6]{6}$ y de Ed_{10} sin utilizar las hipótesis anteriores. Ed_{10} que es el módulo del material a 10% de su duración total es representativo del módulo medio del comportamiento del material durante la duración total de la prueba.

La figura 18 muestra los puntos representativos de $(\sqrt[6]{6}, Ed_{10})$ para los diferentes materiales. Los valores del $(IQE)_6$ están comprendidos entre 20 y 40 cm, que corresponden a un buen comportamiento (excepto para la arcilla de Autun que tiene un $(IQE)_6$ superior a 50 cm.

CONCLUSIONES :

Los principales resultados son los siguientes :

- No hay una correlación directa entre la dureza de material o la resistencia a los 10^6 ciclos de carga RF o el módulo del material. Esta comprobación hace difícil la estimación del comporta-

miento en fatiga del material a partir de la resistencia a la primera carga.

La prueba de fatiga es por lo tanto la única que permite caracterizar correctamente el comportamiento del material dentro de la estructura del camino.

- Existe una deficiente correlación con el coeficiente λ (el cual da una estimación de la velocidad de propagación de fisuras en el material. Una investigación minuciosa sobre la velocidad de propagación de fisuras permitiría sin duda prever el comportamiento en fatiga del material.
- La dureza del material es variable y sus valores varían de 0.20 a 0.65 de acuerdo al material.
- Sobre un material sumergido, las cargas repetidas tienen un efecto, mucho más destructor que si el material no está sumergido (disminución del $\sqrt{6}$ del orden del 30%). Lo anterior muestra la vulnerabilidad de este tipo de material sujeto a una inmersión prolongada.
- Los limos tratados con cal y cemento tienen en general buenos resultados en pruebas de fatiga. Los (IQE)6 están comprendidos entre 20 y 40 cm cuando las edades varían entre 90 y 360 días. A los 360 días los (IQE)6 son siempre inferiores a 25 cm, valores que muestran que sus calidades son iguales sino es que superiores a aquellos obtenidos con gravas tratadas.

Estos resultados han sido obtenidos con materiales mezclados y compactados en laboratorio. Es necesario verificar si los medios de fabricación y de colocación en obra sobre el camino permiten obtener estos mismos.

- Los limos tratados con cal y cemento tienen globalmente, buenas características mecánicas. Las características en fatiga son frecuentemente mal relacionadas con aquellas obtenidas en las pruebas con una sola carga es prudente tenerlo en cuenta en los cálculos de la estructura del pavimento.

A reserva de investigaciones más avanzadas sobre los medios de fabricación y de puesta en obra, las características mecánicas obtenidas sobre estos tipos de materiales permiten vislumbrar su utilización en la construcción de caminos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION PAVIMENTOS
I I**

**ESTABILIZACION DE SUELOS EXPANSIVOS CON
CAL Y SAL COMUN**

**M. EN I. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO
MEXICO, D.F.
PALACIO DE MINERIA**

I. FUNDAMENTOS

En virtud de que actualmente el país atravieza por una crisis económica muy grande y dado que cada día los materiales tradicionales para usarse en la construcción son más escasos y por consecuencia más caros, surge la necesidad de emplear aquellos materiales que usualmente se desechaban porque sus características de calidad y resistencia dejaban mucho que desear agregando le un aditivo, éste es el caso de los suelos expansivos de la Cd. de Querétaro, los cuales en estado natural y sujetos a cambios de humedad sufren cambios de volumen; además con el aumento en el contenido natural de agua disminuyen su resistencia. Lo anterior ocasiona deterioros y fallas en pavimentos y construcciones unifamiliares de un solo nivel y se refleja en pérdidas cuantiosas de recursos económicos.

El presente artículo describe los resultados de estabilización de estos suelos expansivos que se hicieron con el fin de mejorar sus características de calidad y resistencia, añadiéndoles un aditivo que resulta económico como es el caso de la cal y de la sal común; describo las variaciones que sufren los suelos expansivos en su resistencia y deformabilidad, a corto plazo, teniendo como máximo un periodo de curado de ocho días y en las condiciones en las que se compactaron los mismos, las cuales variaron entre el 90 y el 95% de su peso volumétrico seco máximo, según la prueba Proctor y tratándose de mantener su humedad óptima.

II. TRABAJOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO

Para realizar esta investigación, del tipo práctico, se busco una zona en que hubiera un volumen potencial de esta arcilla activa y se tomó material de la Cd. Industrial de Querétaro Benito Juárez, a la izquierda del km - - 8+000 de la carretera México-Hiedras Negras, tramo Querétaro-Lim. de Edos. Gro/Cto., con origen en la Ciudad de Querétaro, que es una arcilla activa - expansiva en volumen suficiente.

Las pruebas de laboratorio que se realizaron fueron las siguientes:

1. Granulometría.
2. Límites de consistencia (límite líquido y límite plástico).
3. Clasificación SUCS.
4. Prueba Proctor Estándar de compactación.
5. Pruebas de resistencia a la compresión simple o compresión unidimensional no confinada.
6. Pruebas de expansión libre y con saturación bajo carga.
7. Pruebas para medir la presión de expansión.
8. Pruebas de valor relativo de soporte estándar.

Todas estas pruebas se realizaron sin aditivo y con aditivo empleando cal y sal común en porcentajes hasta de 2, 4, 6, 8 y 10% en peso, tuvieron como objeto medir los cambios de plasticidad (pruebas 1, 2 y 3), de resistencia (pruebas 4, 5, 7 y 8) y cambios de deformación (prueba 6) en forma inmediata, cuando mucho con 8 días de curado.

Es conveniente aclarar que para medir los cambios en las propiedades mecánicas con y sin aditivos en muestras alteradas representativas obtenidas del lugar, primero se secaron al medio ambiente, a continuación se disgregaron hasta llegar a tamaños que pasaban la malla #4 y en los casos, según se indica, hasta tamaños que pasaban la malla # 100.

Es conveniente hacer el comentario de que el disgregar el material hasta que pasara la malla # 200, aunque desde el punto de vista teórico es lo más adecuado, desde el punto de vista práctico elevaría considerablemente los costos de producción y no se lograría el objeto de abatir costos, además de que se requeriría una plataforma y equipo especial para poder realizarlo; este es el fundamento que se uso para disgregar solo los materiales a tamaños que pasaran la malla # 4.

Lo anterior lleva a la reflexión de que aunque desde el punto de vista teórico se produce un cambio iónico entre las partículas de arcilla y los aditivos empleados, esto en este trabajo no se realiza totalmente por el hecho de que no se llega en su totalidad al tamaño de partículas, pues quedan grumos los cuales, según se pudo observar, son cementados por los aditivos empleados.

III. RESULTADOS OBTENIDOS

A. Para el caso de la estabilización con cal se puede afirmar lo siguiente:

1. La plasticidad de la arcilla activa disminuye con el incremento en el porcentaje de cal, siendo el óptimo del orden del 6%. En las figuras 1, 2, 3 y 4 se muestra gráficamente lo anterior.
2. La resistencia al corte medida en compresión simple aumenta hasta en un 160% con respecto a la original, como se muestra en la figura 5.
3. Respecto a la expansión libre, ésta se abate considerablemente con un porcentaje muy bajo de cal del 2% y prácticamente con un 4% de cal se minimiza; según se muestra en la figura 6, lo cual se interpreta como que la deformación se reduce.

4. En cuanto a la presión de expansión con un porcentaje de cal muy pequeño del orden 2% se minimiza, disminuyendo en 773%, como se muestra en la figura 7.
5. Por lo que respecta al valor relativo de soporte, éste aumenta en forma inimaginable en un 1000%; como se muestra en la figura 8, ya que de un VRS estándar igual a 2% sin aditivo, pasó a 234% con 8% de cal y con un 2% de cal se obtuvo un valor igual al 33%, que ya es muy adecuado para emplearlo en capas subrasantes.

Debe aclararse que en todos los casos los porcentajes de compactación a los que se hicieron las pruebas variaron entre 90 y 95% de su peso volumétrico seco máximo, referido a la prueba Proctor.

- B. En el caso de la sal común se puede afirmar, en base a los resultados obtenidos, que su peso volumétrico seco máximo como se muestra en la figura 9, aumenta con el incremento de sal y que se abate la plasticidad con el incremento en el porcentaje de sal como se puede observar en las figuras 11, 12 y 13, es decir, se tiene mayor control sobre estos materiales, también se reduce la expansividad a medida que se incrementa el porcentaje de sal siendo el óptimo a partir de un 6%.

Respecto al valor relativo de soporte éste permanece constante, como se muestra en la figura 14.

En este caso vale la pena aclarar que la mezcla se hizo en seco y que al agregarse una cantidad de agua cercana a la óptima, no se consiguió que todos los cristales de sal se disolvieran y se intercambiaran con los iones de las partículas de los minerales de arcilla, lo anterior ocasionó una mezcla de estructura heterogénea, creando algunas zonas de mayor resistencia. No se agregó la sal en solución con agua porque era muy difícil de controlar su porcentaje.

IV. CONCLUSIONES

- A) Para el caso de usar como aditivo cal las conclusiones son las siguientes:

1. En primera instancia se puede afirmar que, para las arcillas activas de la Cd. Industrial Benito Juárez de Querétaro, el agregar cal en pequeños porcentajes, entre 4 y el 6%, mejora considerablemente las características de calidad y resistencia de los materiales y estos pueden emplearse en capas subrasante, sub-base y firmes para piso, lo que podría abatir considerablemente los costos de construcción.

2. Habida cuenta de que el trabajo realizado fue a corto plazo, puesto que el tiempo que transcurrió para que se lograra la estabilización del suelo fue cuando mucho de 8 días y dado que algunos autores indican que el proceso es reversible, con el incremento en el contenido natural de agua, existe el fantasma de contestar a esa interrogante, aunque ya se tiene experiencia en otros países de que el proceso no es 100% reversible. Dado lo anterior es deseable proseguir esta investigación midiendo las características de calidad y resistencia a mediano plazo, es decir, para tiempos en los que se deje el material estabilizado arcilla-cal compactado, sumergido o sujeto a un flujo de agua, por un lapso de 60 ó 90 días.
 3. Se hicieron pruebas de estabilización con material de la arcilla que pasaba la malla No. 4 y con el que pasaba la malla No. 100 y los resultados fueron semejantes, pues lo que sucedió es que la cal enclaustraba el grumo de arcilla, minimizando su actividad. Lo anterior es muy importante pues en la práctica solo se podrá pulverizar el material a tamaños de la malla No. 4.
 4. Es necesario hacer un mezclado adecuado para propiciar el cambio iónico y tratar de formar ligaduras fuertes, que no sufran cambios volumétricos grandes con los correspondientes cambios de humedad.
 5. Se ha visto en el campo que un por ciento menor a tres, dificulta mucho el mezclado, por lo que se recomienda usar porcentajes mayores a 3%.
 6. Se debe revisar que el índice de acidéz del agua de mezclado sea pequeño, pues de otra manera la cal se inhibe y pierde su acción estabilizadora.
- B) Para el caso de usar sal como aditivo las conclusiones a las que se pudo llegar son:
1. La sal común disminuye la plasticidad pero no aumenta la resistencia al esfuerzo cortante.
 2. El mezclado en seco no logrará el objetivo del intercambio iónico en su totalidad, pues quedan algunos cristales de sal entre la estructura que se forma al realizar la mezcla, lo que propicia una estructura heterogénea.

3. Se puede emplear como pretratamiento en proporción del 4 al 6% en peso.
4. En el caso de usarla como aditivo y no como pretratamiento, se debe analizar la variación de las propiedades mecánicas de esta arcilla activa estabilizada con sal y compactada a mediano y largo-plazo sujeta a inmersión o flujo de agua, por lapsos de 60 a 90 días.

Se debe aclarar que todos estos trabajos se han realizado con el apoyo de distintos alumnos, los cuales a través de sus trabajos - de tesis han ejecutado los trabajos en el Laboratorio.

A la fecha ya se están haciendo pruebas de laboratorio a mediano-plazo para conocer el comportamiento en cuanto a resistencia y de formación de estos materiales estabilizados.

A t e n t a m e n t e ,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

M. en I. Gabriel García Altamirano.

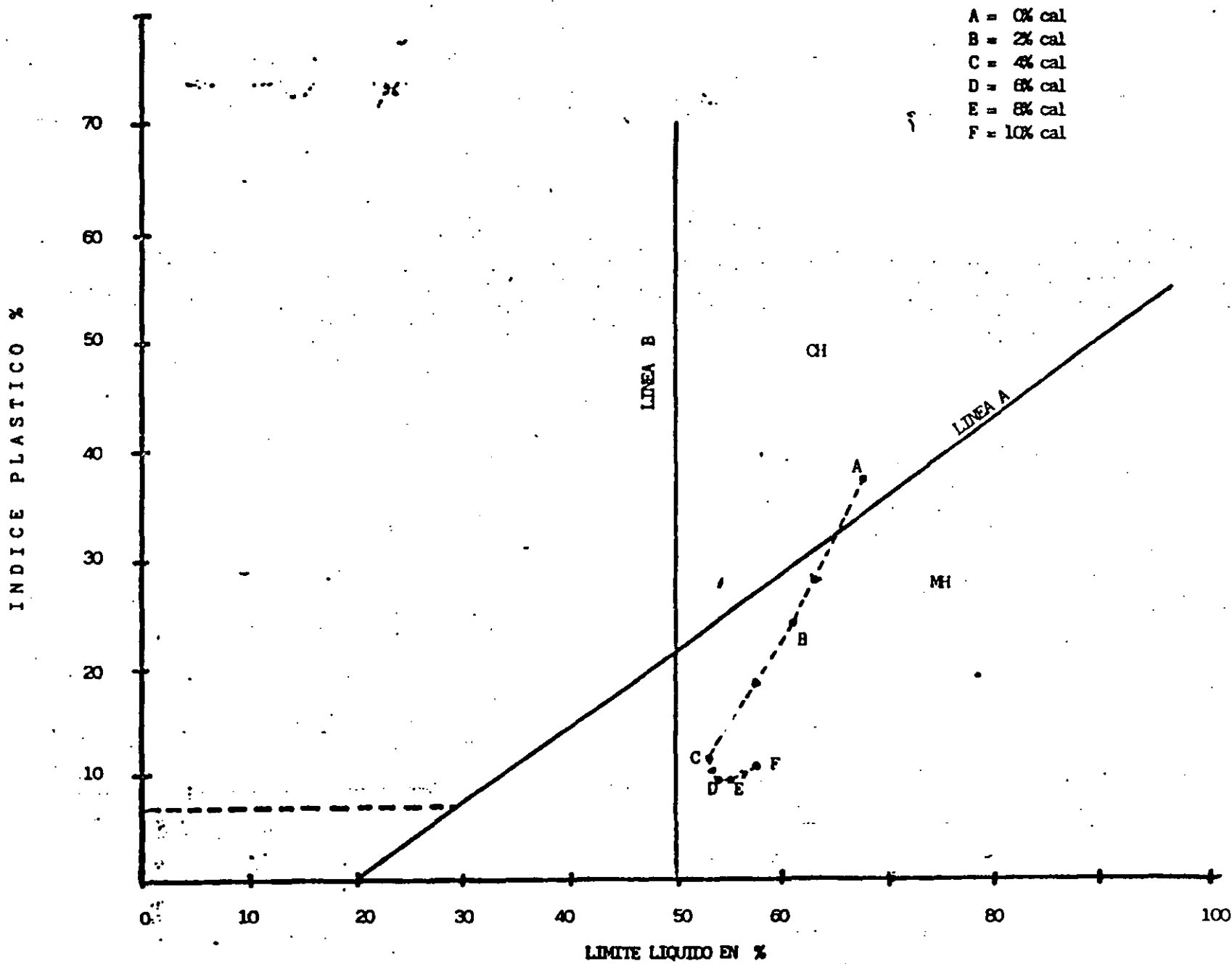


FIGURA 4. CLASIFICACIÓN SCS VS % DE CAL

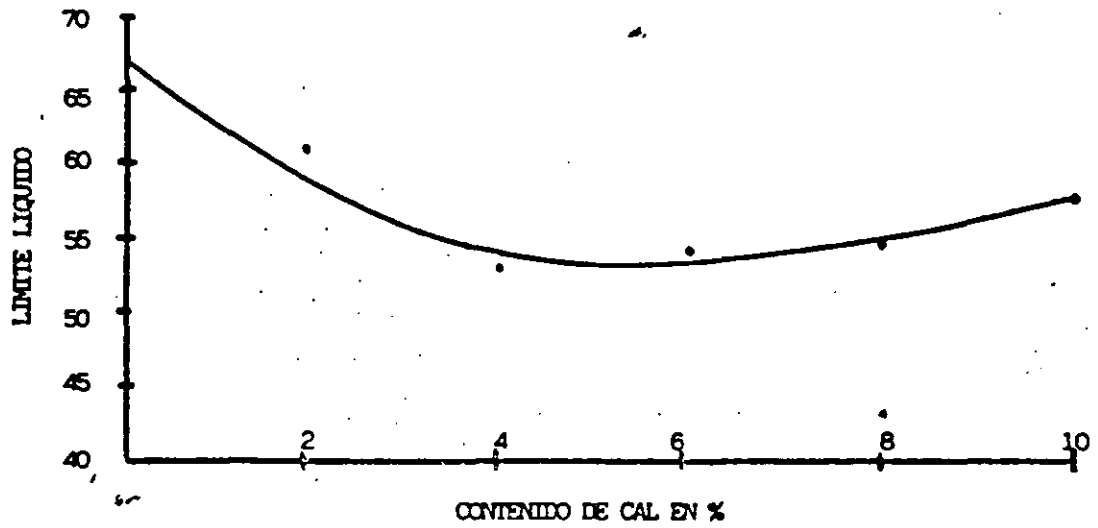


FIG. 1.- VARIACION DEL LIMITE LIQUIDO VS % DE CAL

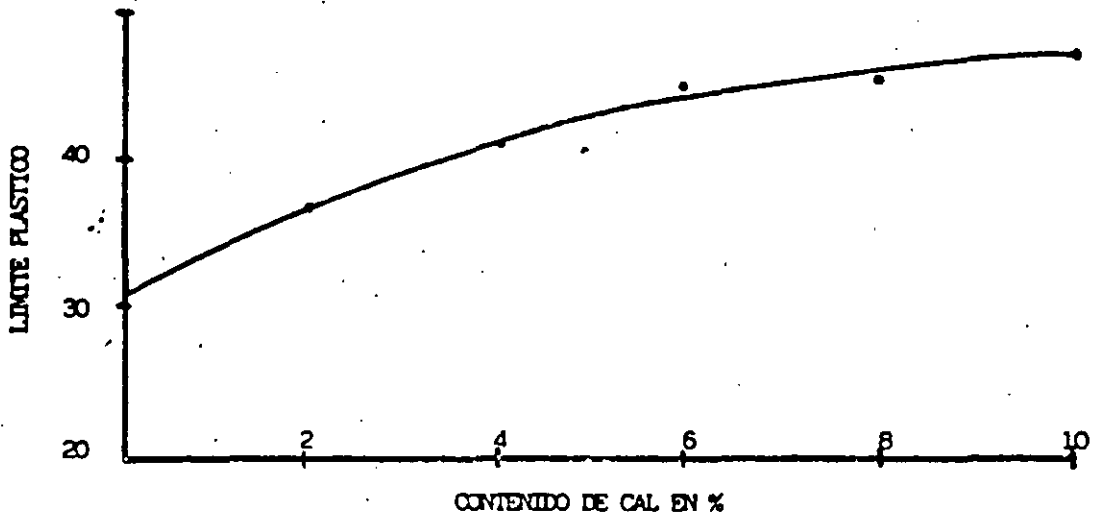


FIG. 2.- VARIACION DEL LIMITE PLASTICO VS % DE CAL

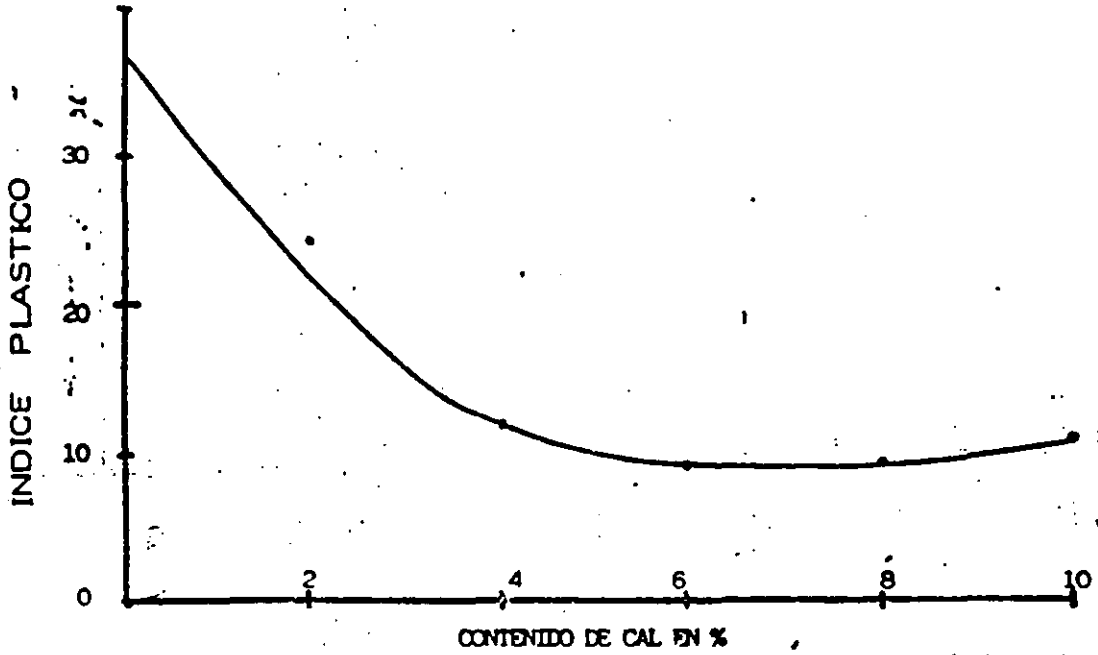
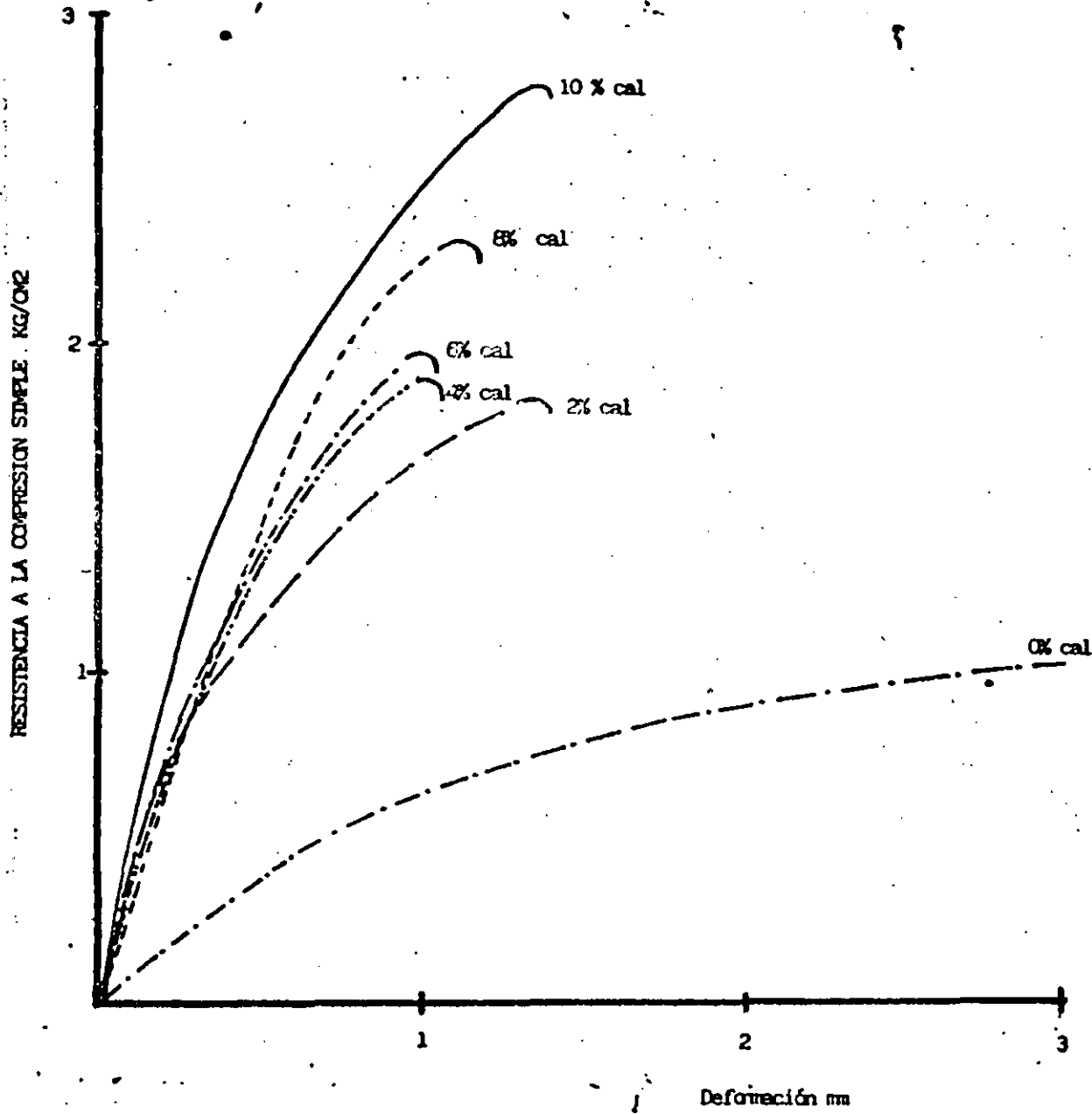


Fig 3.- Variación del índice plástico vs % de cal.

Fig. 5.-Resultados de La Prueba de Resistencia a La Compresión Simple



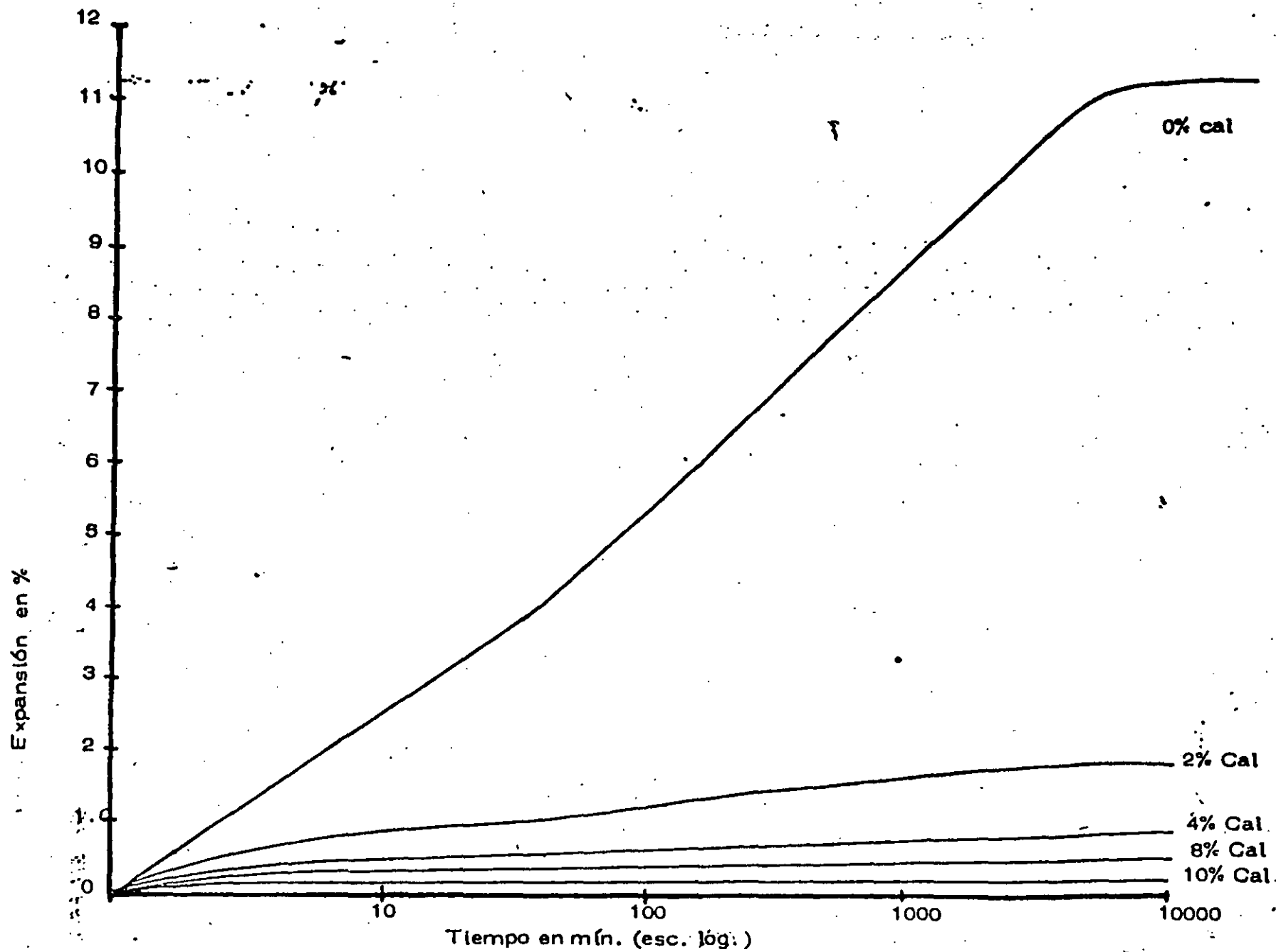


Fig. 6.- Por ciento de expansión vs tiempo para diferentes % de cal.

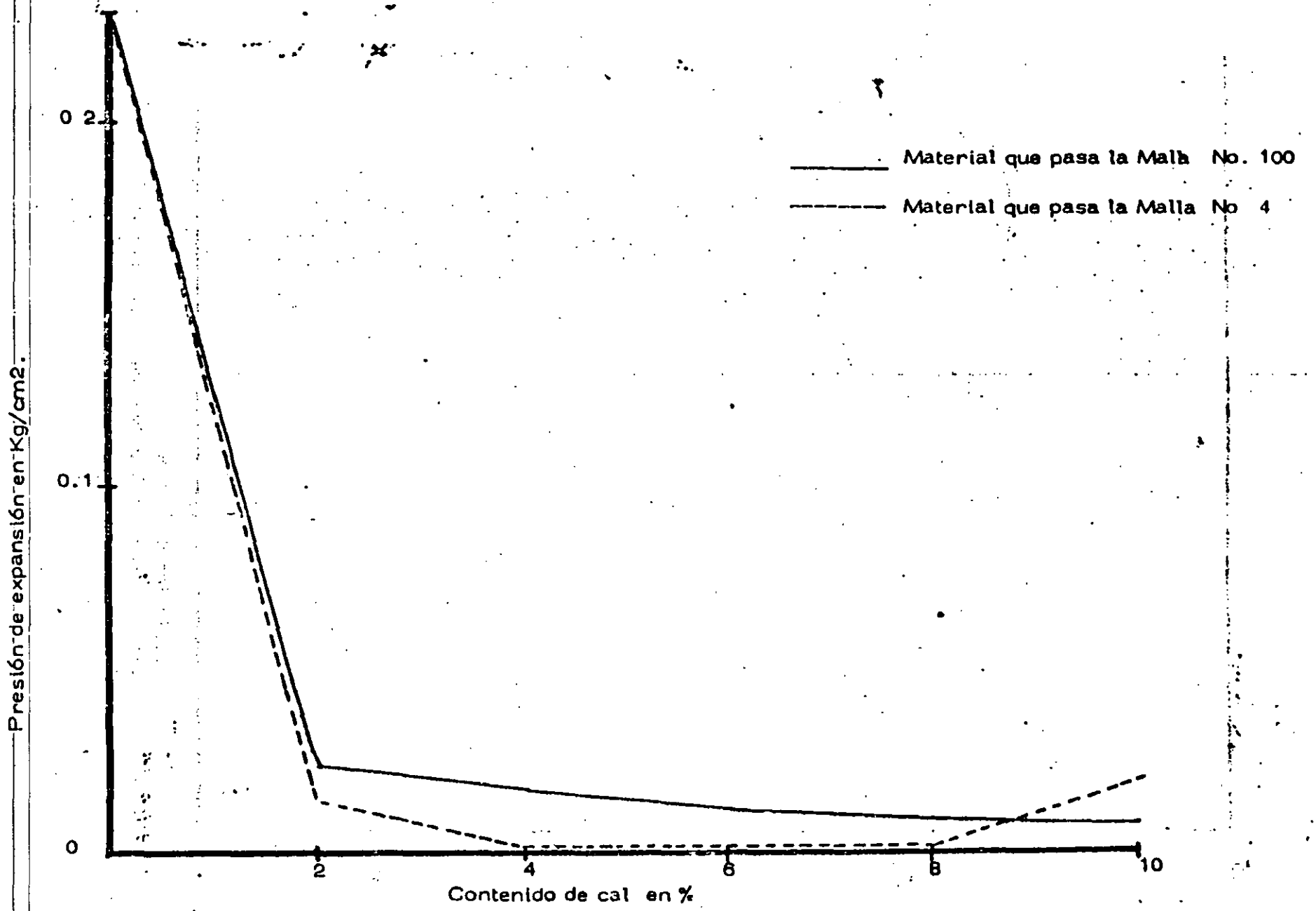


FIG. 7.- Presión de expansión vs por cientos de cal

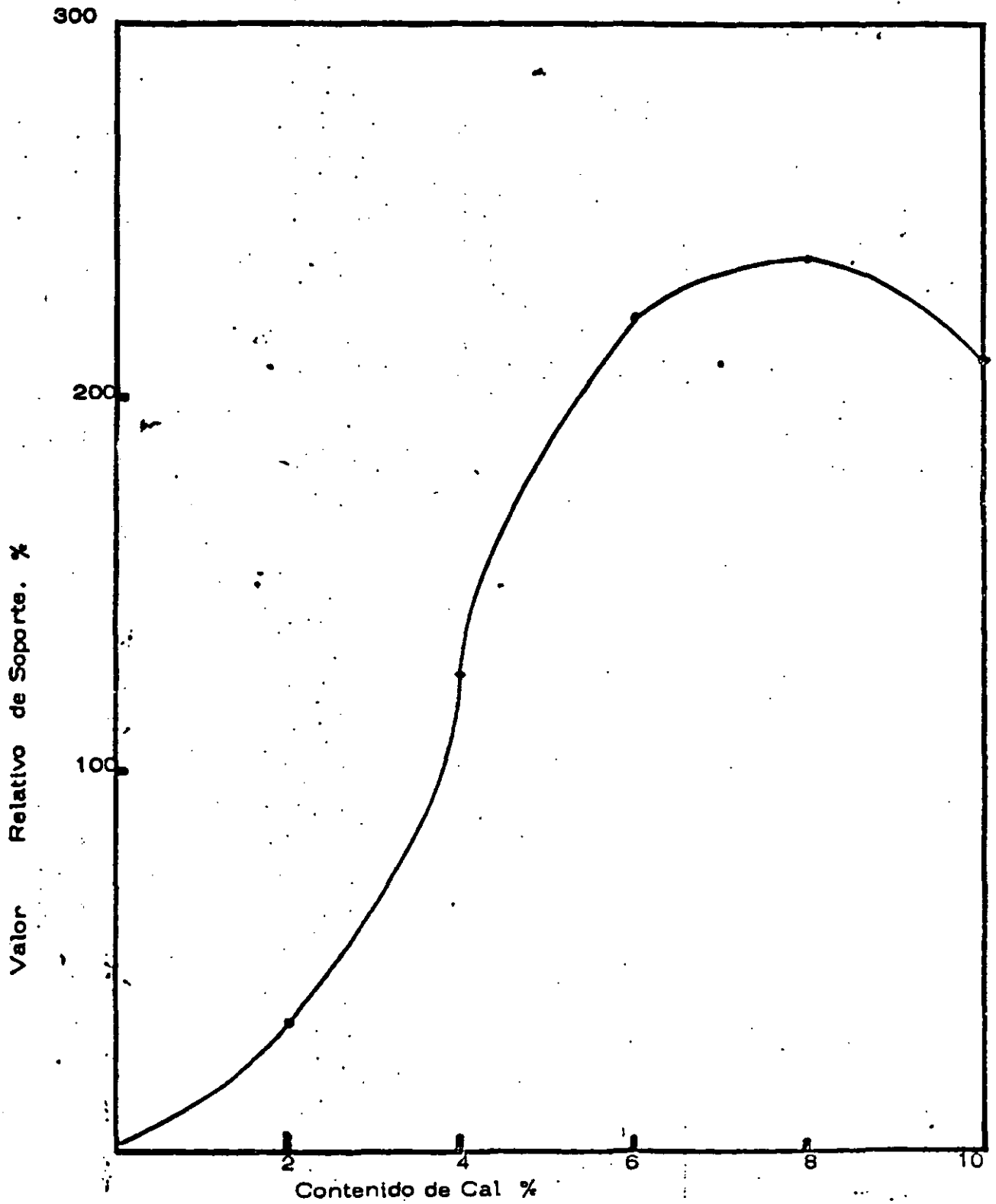


Fig. 8 Valor Relativo de Soporte vs Porcentaje de Cal.

ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS CON SAL

PESO VOLUMETRICO SECO
MAXIMO (TON/M3)

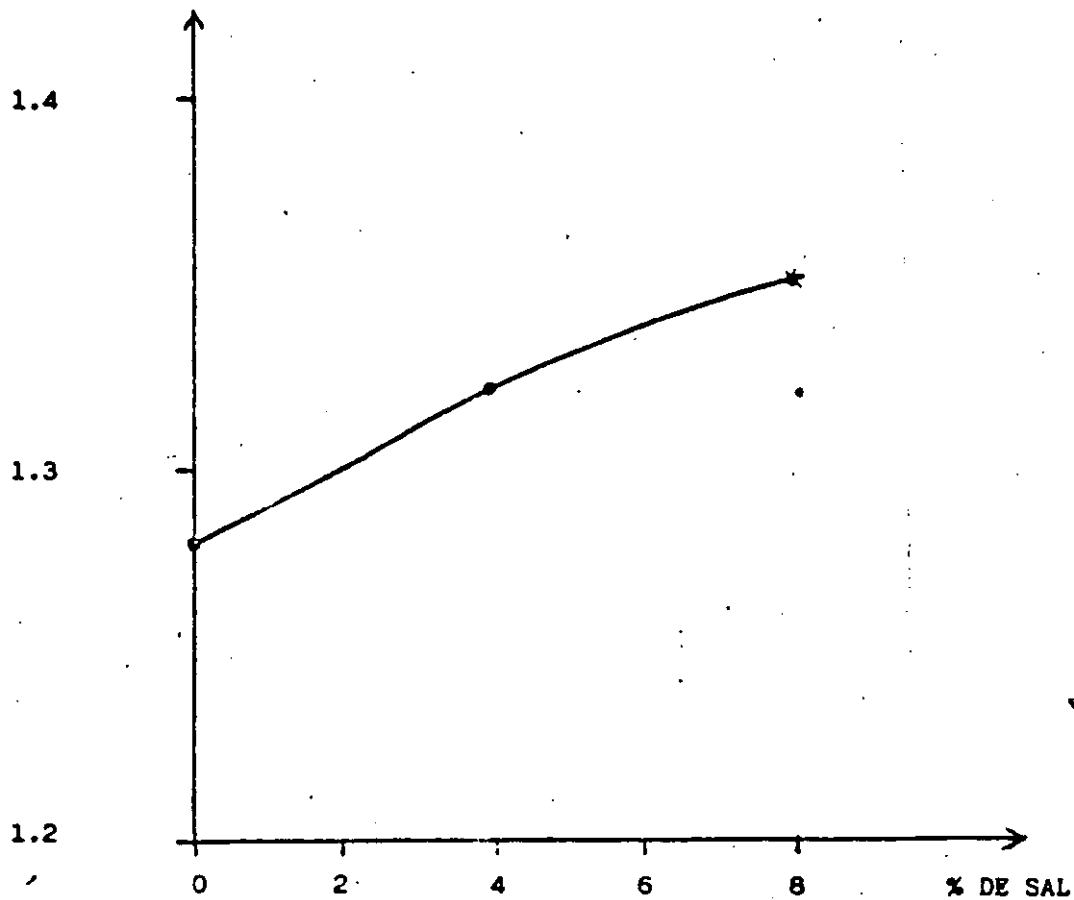


FIG. 9 VARIACION DEL PESO VOLUMETRICO CON EL CONTENIDO DE SAL.

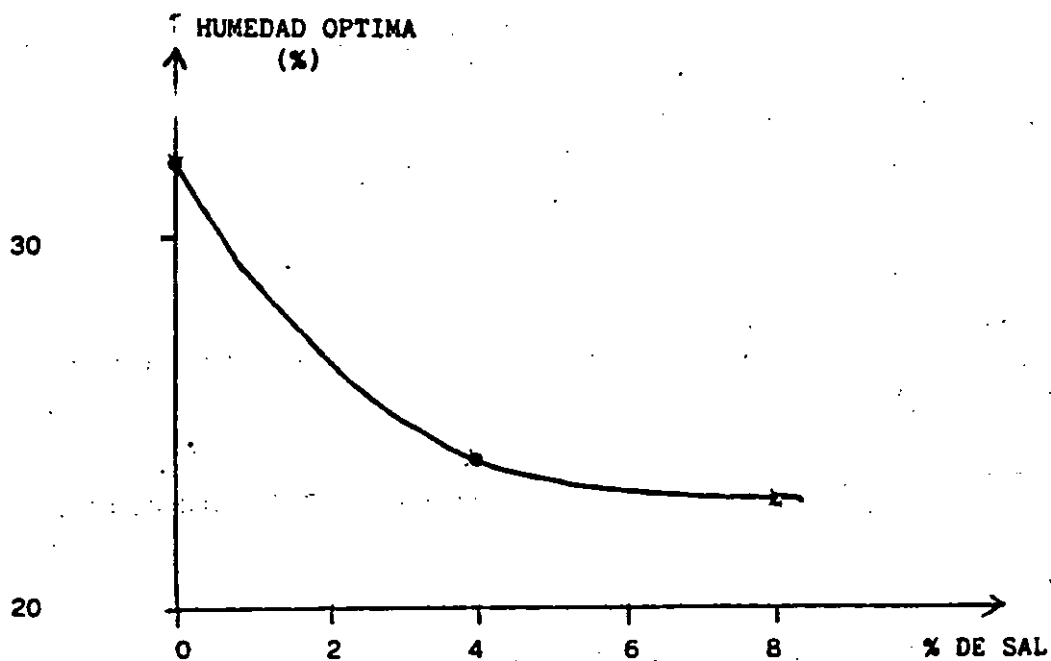


FIG. 10 VARIACION DE LA HUMEDAD OPTIMA CON EL CONTENIDO DE SAL.

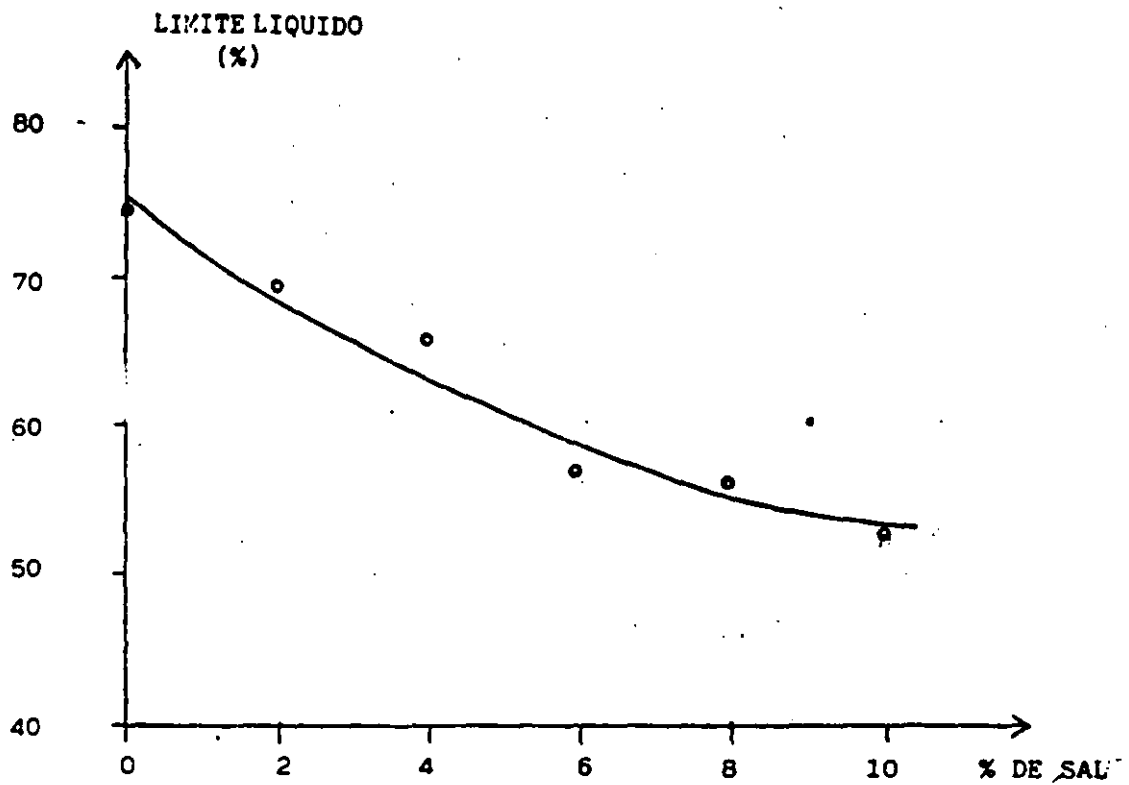


FIG. 11 VARIACION DEL LIMITE LIQUIDO CON EL CONTENIDO DE SAL.

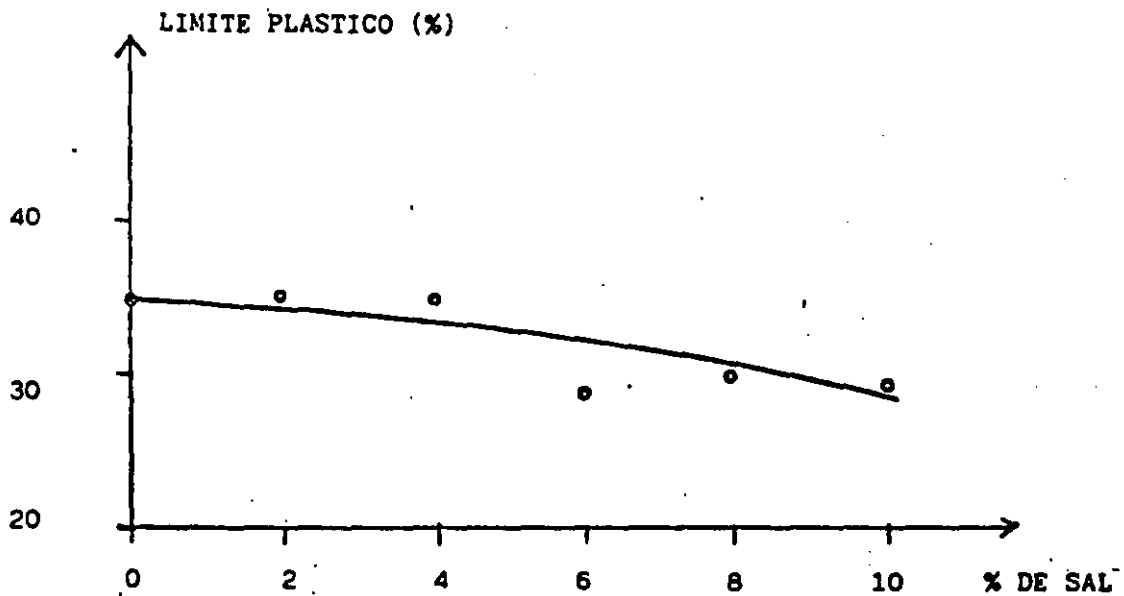


FIG. 12 VARIACION DEL LIMITE PLASTICO CON EL CONTENIDO DE SAL.

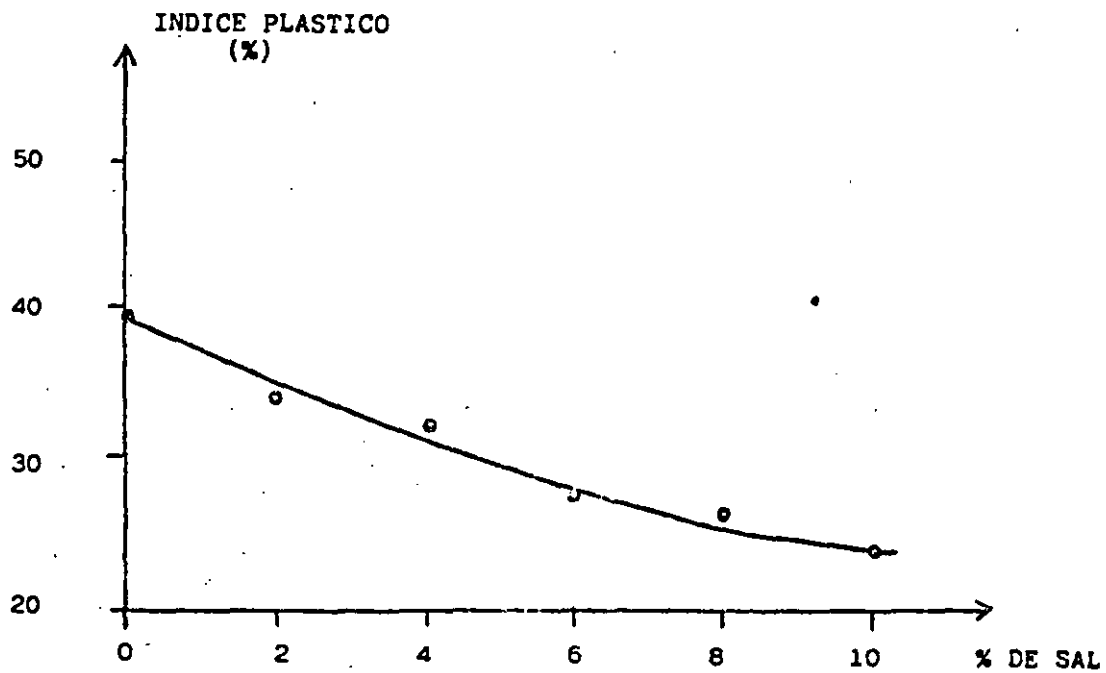


FIG. 13 VARIACION DEL INDICE PLASTICO
CON EL CONTENIDO DE SAL

ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS CON SAL

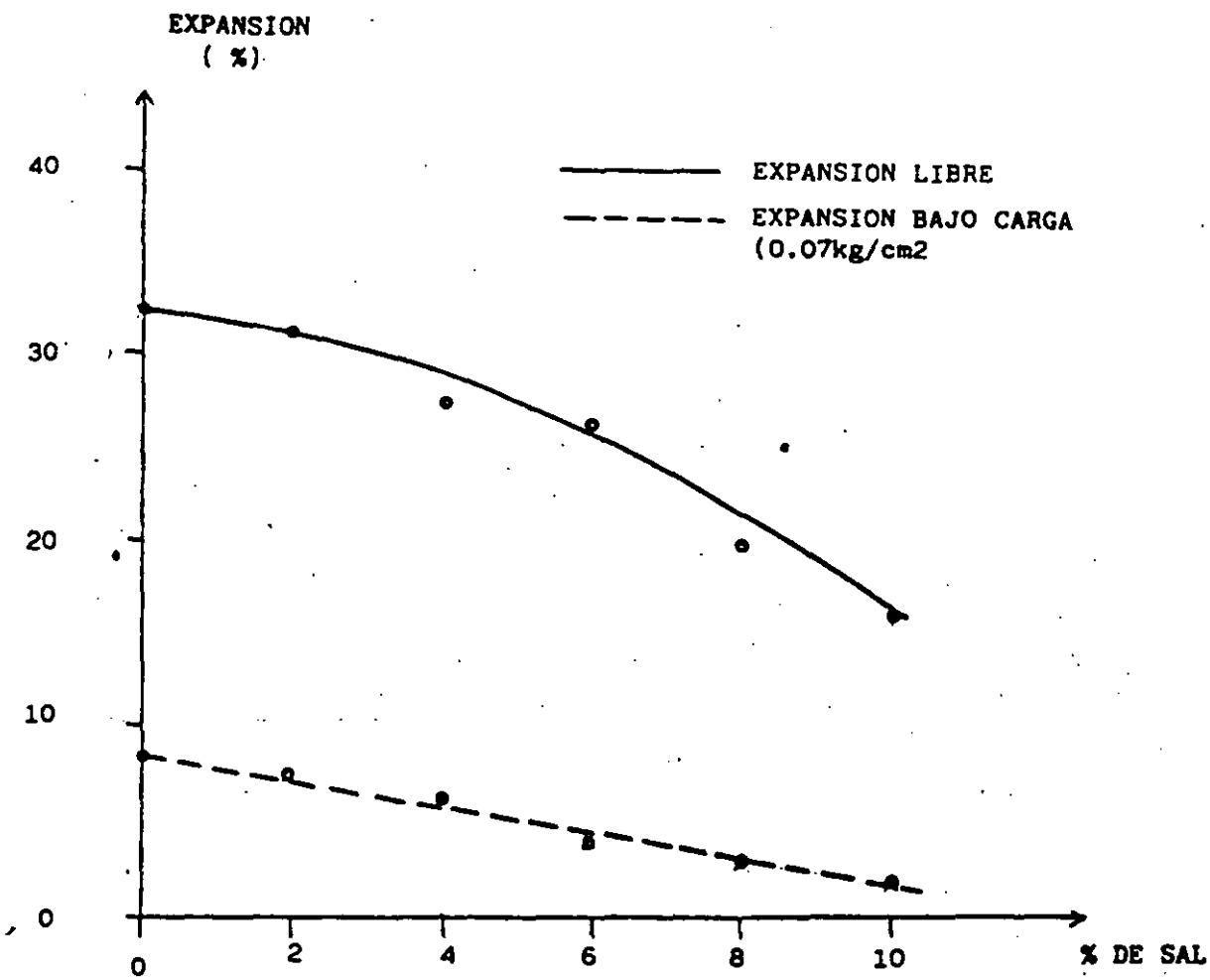


FIG. 14 VARIACION DE LA EXPANSION LIBRE Y DE LA EXPANSION BAJO CARGA CON CONTENIDOS DE SAL.

ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS CON SAL



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

PROYECTOS

ING. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO

I. PROYECTO DE CARRETERAS

Características geométricas

Características geotécnicas

II. PROYECTO DE DRENAJE

Formas de las cuencas y diferentes tipos de alcantari_
llas u obras menores.

III. PROYECTO DE PAVIMENTOS

Tipos de pavimento

Reconstrucción

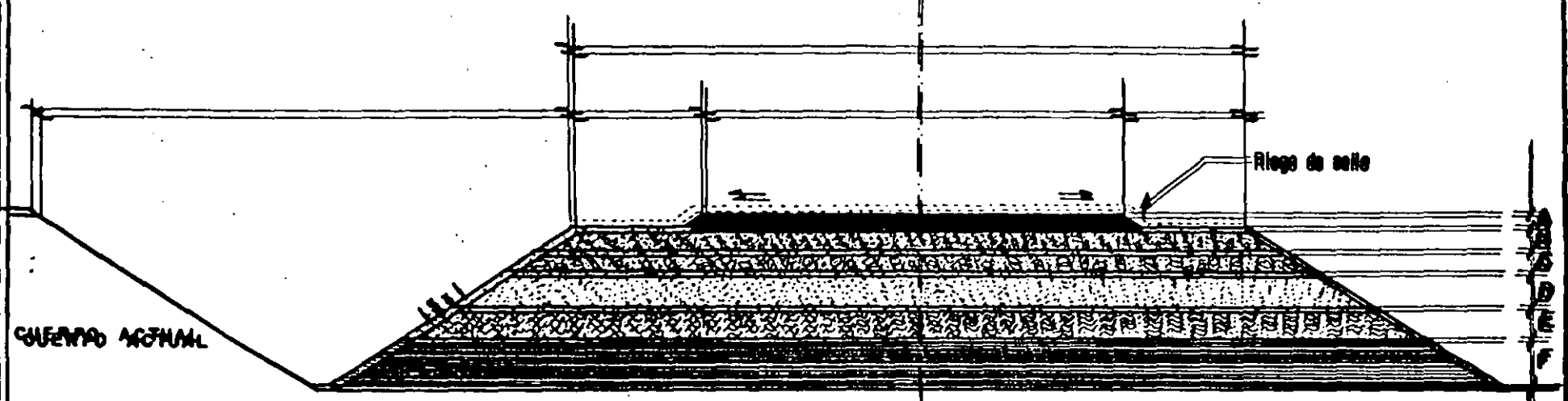
Rehabilitación

IV. CONTROL DE CALIDAD

V. OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

VI. ESTUDIOS Y PROYECTO DE PUENTES .

SECCION ESTRUCTURAL



I N

LEYENDA

1- CUBIERTO DEL TERRAZO EN VARIABLE

2- GRASA SUBYACENTE DE CIL.

3- GRASA SUBYACENTE DE CIL.

4- GRASA DE SUBYACENTE DE CIL.

5- GRASA DE BARRA DE CIL.

6- CONCRETO DE CONCRETO ASFALTICO DE CIL.

DEBIDO FUERA DE ESCALA, ASER EN 1/4"

| | |
|---|-------|
| S E C T O R | |
| DIR. GRAL. DE CONSERVACION DE SUB-DIRECCION DE PROYECTOS | |
| CARRETERA: | |
| TRAMO: | |
| SUBTRAMO: | |
| ORIGEN: | KIL. |
| de 19 | de 19 |

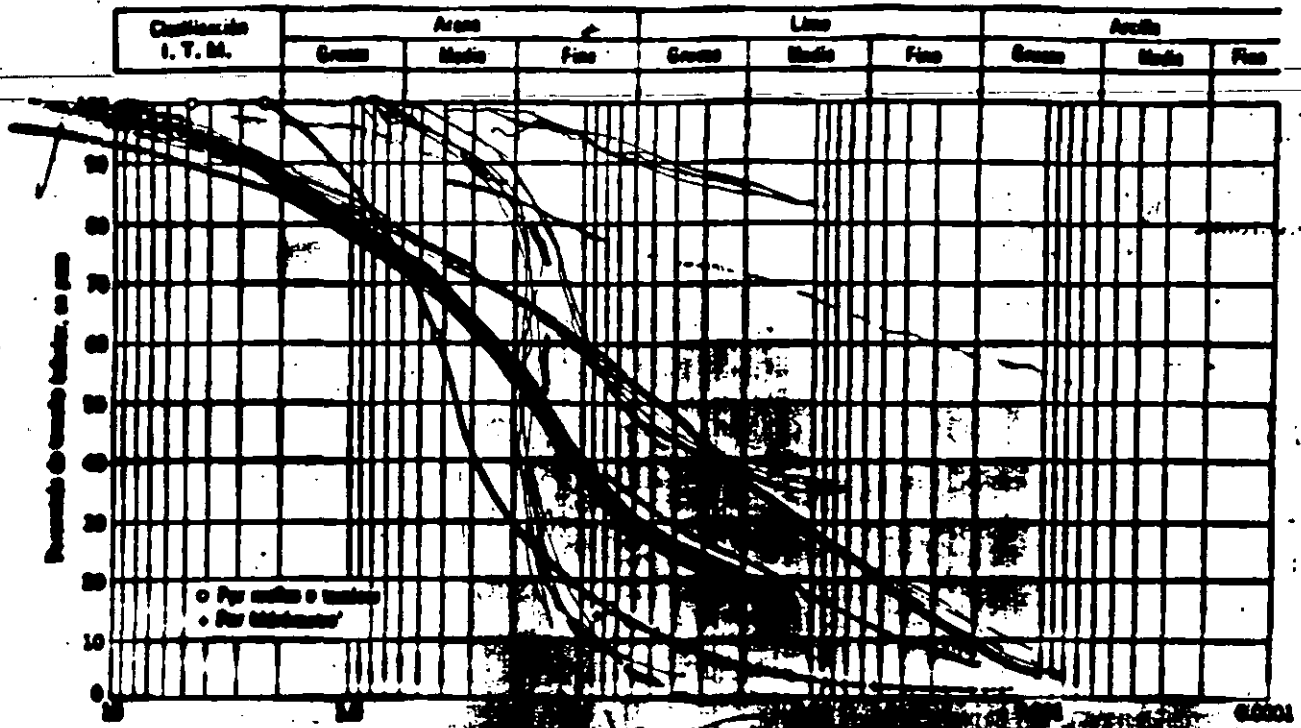


Fig. 2.3. Clasificación de suelos (según U.S. Dept. of Agr., 1951)

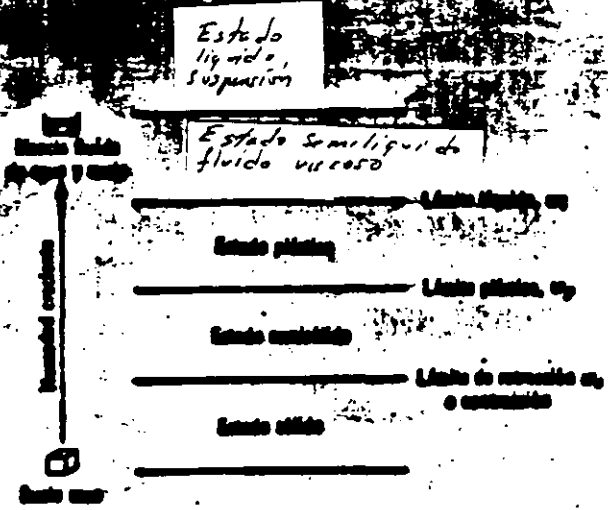


Fig. 3.4. Límites de Atterberg e índices con otros métodos.

Tabla 3.4 Límites de Atterberg de minerales arcillosos

| Mineral | Cation de cambio | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice de plasticidad (%) | Límite de retracción (%) |
|-----------------|------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| Montmorillonita | Na | 710 | 54 | 656 | 9.9 |
| | K | 660 | 50 | 610 | 9.3 |
| | Ca | 510 | 81 | 429 | 10.5 |
| | Mg | 410 | 60 | 350 | 14.7 |
| | Fe | 290 | 75 | 215 | 10.3 |
| | Fe ²⁺ | 160 | 75 | 87 | — |
| Ella | Na | 120 | 33 | 87 | 13.4 |
| | K | 120 | 30 | 90 | 17.5 |
| | Ca | 100 | 45 | 55 | 14.8 |
| | Mg | 95 | 46 | 49 | 14.7 |
| | Fe | 110 | 40 | 70 | 15.3 |
| | Fe ²⁺ | 70 | 46 | 24 | — |
| Oxalita | Na | 33 | 32 | 1 | 26.8 |
| | K | 40 | 29 | 11 | — |
| | Ca | 30 | 27 | 3 | 24.5 |
| | Mg | 34 | 31 | 3 | 22.7 |
| | Fe | 30 | 27 | 3 | 29.2 |
| | Fe ²⁺ | 26 | 33 | 7 | — |
| Atapulgita | H | 270 | 150 | 120 | 7.6 |

Datos de Cornell, 1951.

○ Después de cinco ciclos de humedecimiento y secado.

Índice de plasticidad

$$I_p \text{ ó } IP = w_L - w_P$$

Índice de fluidez:

I_f = Pendiente de la curva de fluidez (relación entre la humedad y el número de golpes, a escala logarítmica)

Índice de tenacidad:

$$I_t = \frac{I_p}{I_f}$$

Relación humedad-plasticidad B
 Índice de liquidez LL ó I_L = $\frac{w_n - w_p}{w_l - w_p}$

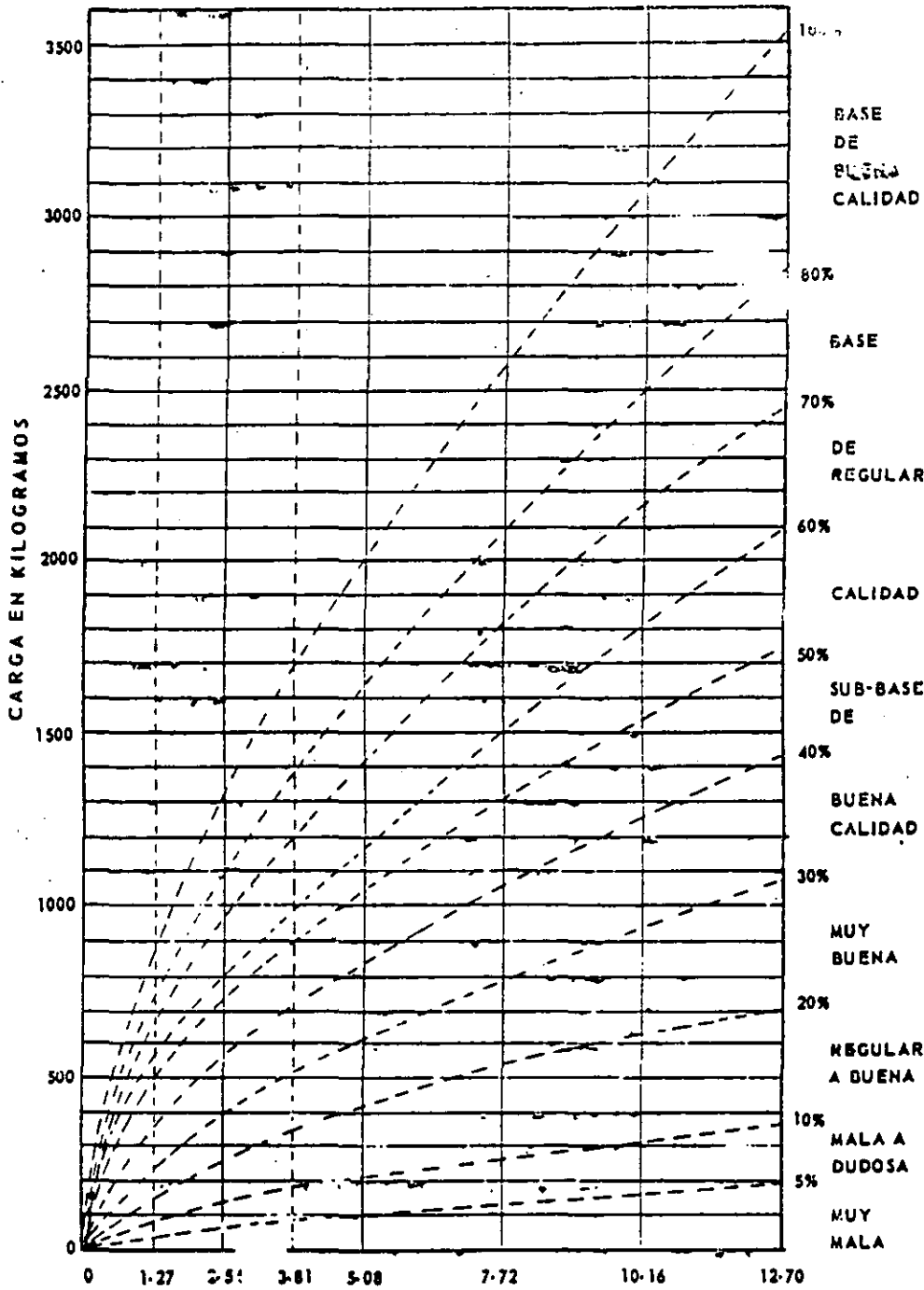
w_n = humedad natural.

DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS Y CONTROL DE CALIDAD

DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

FECHA _____ ENSAYE _____ OPERADOR _____



PORTER SATURADO

P. SECO _____

P. HUMEDO _____

AGUA AGREGADA _____

ALTURA MOLDE _____

ALTURA FALTANTE _____

ALTURA DEL MAT. _____

AREA _____

VOLUMEN _____

Wm _____

Wd _____

W OPT. _____

% EXP. _____

% V. R. S. _____

PENETRACIONES

1.27 _____

2.54 _____

3.81 _____

5.08 _____

7.62 _____

10.16 _____

12.70 _____

SUB-RASANTE

PENETRACION EN MILIMETROS



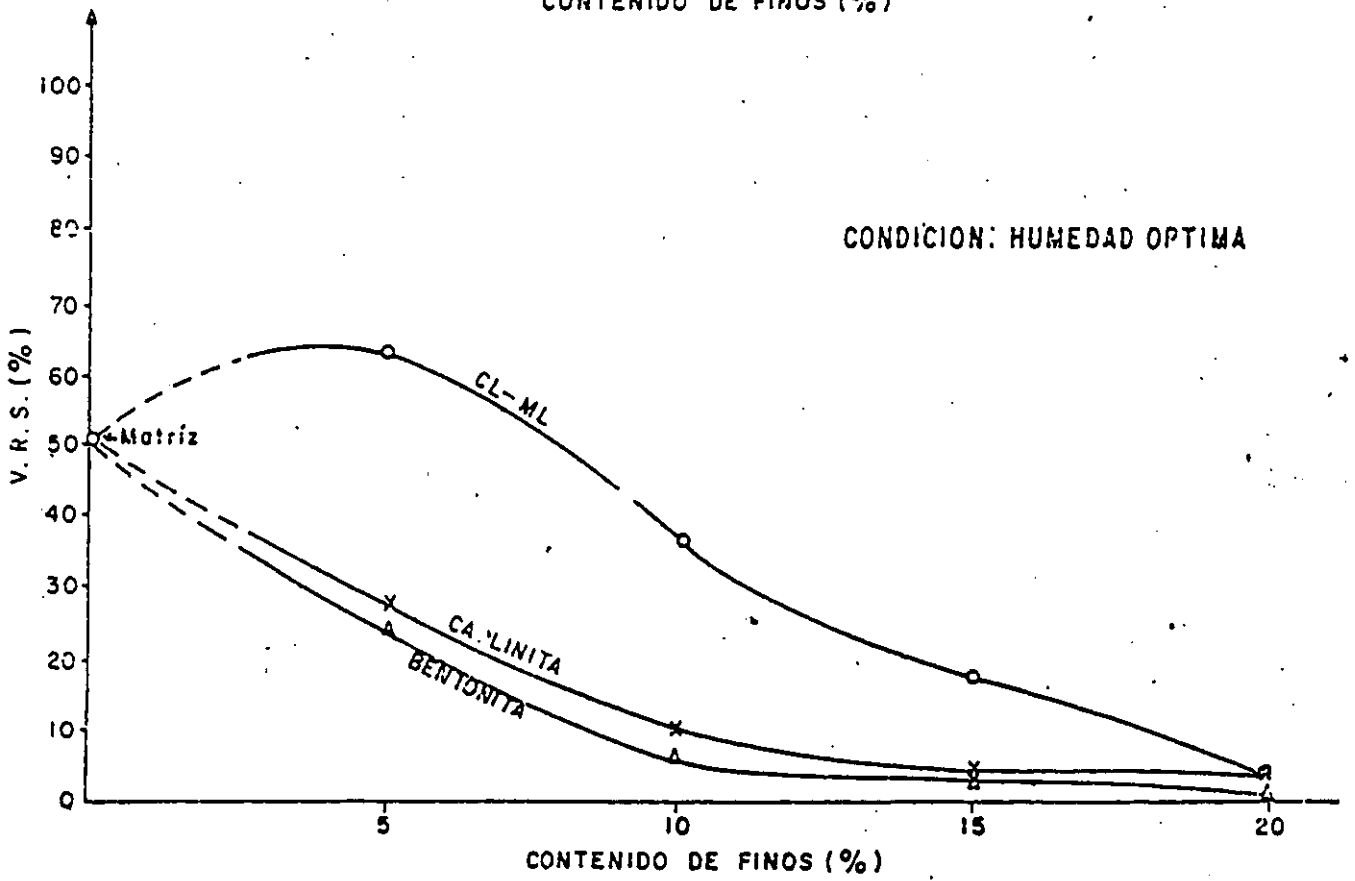
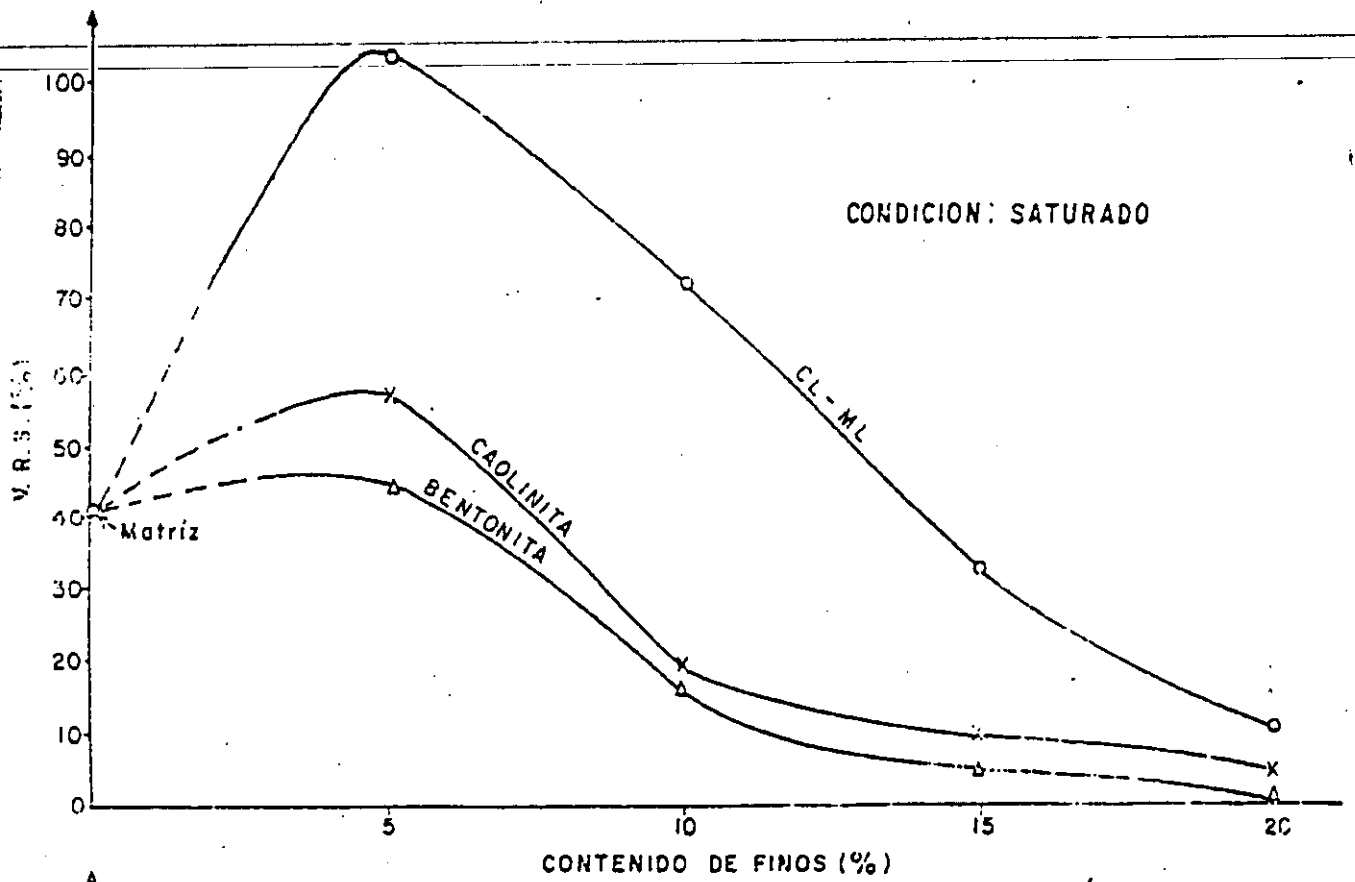
MOLDE NUM. _____

EXTENSION NUM. _____

LECTURA I= _____

LECTURA F= _____

FORMULO: _____



CURVAS V.R.S. CONTENIDO DE FINOS EN (%)
 COMPACTACION AASHTO ESTANDAR.

CORRELACION ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE MATERIALES
Y LOS VALORES RELATIVOS DE SOPORTE ESTANDAR

| TIPO DE SUELO, SEGUN EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS | RANGOS DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE |
|--|--------------------------------------|
| Arcillas de alta plasticidad | Menor o igual a 5 |
| Limos y arcillas de alta plasticidad con materia orgánica | Menor o igual a 5 |
| Limos de alta plasticidad o suelos orgánicos de baja plasticidad | Menor o igual a 5 |
| Arcillas o limos de baja plasticidad | Entre 5 y 15 |
| Arenas arcillosas | De 10 a 20 |
| Arenas mal gravadas | De 10 a 25 |
| Arenas limosas | De 10 a 40 |
| Arenas bien graduadas o gravas arcillosas | De 20 a 40 |
| Gravas limosas | Mayor de 20 |
| Gravas mal graduadas | Entre 25 y 60 |
| Gravas bien graduadas | Mayor de 60 |

| TIPO | SUB-TIPOS | SIMBOLO DE GRUPO | CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO | PRUEBAS ESPECIFICAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS SECCS MAXIMOS | RECOMENDACIONES PARA SU USO | | |
|--------------------|---|----------------------------------|--|---|--|---|---|
| | | | | | CUERPO DEL TERRAPIEN | CAPA DE SUB-FUNDAENTE EN TERRAPIENES Y CORTES | |
| FRAGMENTOS DE ROCA | GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m | Fg Fgm Fgo Fgmo Fgmn | Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrapien, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que al simple volteo no constituye un acomodo adecuado. | NO DEBEN USARSE | |
| | MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm | Fm Fme Fmg Fmcg Fmgn | Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrapien, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores. | NO DEBEN USARSE | |
| | CHICOS MAYORES DE 7.5 cm y MENORES DE 20 cm | Fc Fcm Fcg Fcmg Fcmn | Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrapien, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores. | NO DEBEN USARSE | |
| S U E L O S | GRUESOS | GRAVAS | GW GF GM GC | Porter Porter Porter Porter | 90% de Compactación | 95% de Compactación | |
| | | ARENAS | SW SP SM SC | Porter Porter Porter Proctor SOP | | | |
| | FINOS | LIMITES LIQUIDO MENOR DE 60 | ML CL OL | Susceptibles de compactarse con equipo especial. | | | Porter para Ip < 6 Proctor SOP para Ip > 6 Proctor SOP Proctor SOP |
| | | LIMITES LIQUIDO ENTRE 60 Y 100 | MH ₁ CH ₁ OH ₁ | | | | Proctor SOP Proctor SOP Proctor SOP |
| | | LIMITES LIQUIDO MAYOR DE 100 | MH ₂ CH ₂ OH ₂ | | | | |
| | ALTAMENTE ORGANICOS | TURBA | PT | | | | |

El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible construir por capas, todo el cuerpo del terrapien. Las masas de fragmentos de roca y pedruzcos, en que predominan éstos, podrán, en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactarse con equipo especial, aunque no pueden determinarse el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terrapien y el proyecto deberá especificar a seguir en estos casos.

En los casos de suelos en que por su baja compactación no está bien definida la prueba que debe aplicarse para determinar el peso volumétrico seco máximo se efectuarán las pruebas Proctor SOP y Porter, optando por aquella que dé un peso volumétrico seco máximo más alto.

No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte estimado menor de 5% o expandido mayor de 5%.

NOTAS: En cuanto a los porcentajes de compactación y de expansión de los suelos, que aparecen en el presente cuadro, se ha de notar que puede haber algunas excepciones, en más o en menos, que deberá ser objeto de estudios especiales y especificaciones complementarias.

CUADRO NUMERO 2
CLASIFICACION DE MATERIALES PARA TERRACERIAS

| TIPO | SUB-TIPOS | SIMBOLO DE GRUPO | CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO | PRUEBAS ESPECIFICADAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS SECOS MAXIMOS | RECOMENDACIONES PARA SU USO | | | | |
|--------------------|---|----------------------------------|--|--|--|---|--|---------------------------------------|---|
| | | | | | CUERPO DEL TERRAPLEN | CAPA SUB-BASANTE EN TERRAPLENES Y CORTES | | | |
| FRAGMENTOS DE ROCA | GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m | Fg Fgm Fgs Fgms Fgsm | Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado. | NO DEBEN USARSE | | | |
| | MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm | Fm Fms Fmg Fmgs Fmgs | Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores. | NO DEBEN USARSE | | | |
| | CHICOS MAYORES DE 7.6 cm y MENORES DE 20 cm | Fe Fem Fcg Fcmg Fesm | Susceptibles de acomodarse por bandas con tractor y/o con el equipo de construcción. | | Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores. | NO DEBEN USARSE | | | |
| S U E L O S | GRUESOS | GRAVAS | GW GP GM GC | <p align="center">SIEMPRE ESTANDAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE OTRA PRUEBA</p> <p>En casos especiales el proyecto deberá indicar el procedimiento a seguir en el control de la compactación.</p> | <p align="center">90% de compactación</p> <p>no de hecho como materiales con un valor relativo de espesor sobre de menor de 10% o expansión mayor de 3%.</p> | <p align="center">95% de Compactación</p> | | | |
| | | ARENAS | SW SP SM SC | | | | | | |
| | FINOS | LIMITES LIQUIDO MENOR DE 30 | ML CL OL | | | | Susceptibles de compactarse con equipo especial. Para este tratamiento | <p align="center">NO DEBEN USARSE</p> | <p align="center">95% de Compactación en carreteras. En Aeropistas no deben usarse.</p> |
| | | LIMITES LIQUIDO ENTRE 30 Y 100 | MH ₁ CH ₁ OH ₁ | | | | | | |
| | | LIMITES LIQUIDO MAYOR DE 100 | MH ₂ CH ₂ OH ₂ | | | | | | |
| | ALTAMENTE ORGANICOS | TURBA | Pt | | | | | | |

El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no se pueda construir por capas, todo o parte del terraplén. Las mezclas de fragmentos de roca y suelos en que predominen éstos, podrán, en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactarse con equipo especial, aunque su prueba determinará el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto especificará el procedimiento a seguir en estos casos.

No deberán usarse materiales con valor relativo de espesor natural menor de 10% o expansión mayor de 3%.

VALORES APROXIMADOS DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS

COM PACIDADES DE LOS SUELOS GRANULARES

| <u>DESCRIPCION</u> | <u>INDICE DE COMPACTACION</u> | <u>ÁNGULO DE FRICCION INTERNA</u> | <u>IDENTIFICACION DE CASO</u> |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| MUY SUELTA | DE 0 A 15% | MEJOR DE 25° | UNA ESTACA DE MADERA FACILMENTE PENETRA |
| SUELTA | DE 15 A 35% | DE 25 A 30° | PODETRA FACILMENTE UNA VARILLA DE REFUERZO HERRAJA. PUNTA |
| COMPACTAD MODERADA | DE 35 A 65% | DE 30 A 35° | PODETRA FACILMENTE UNA VARILLA DE REFUERZO HERRAJA. CON UN MARTILLO |
| COMPACTA | DE 65 A 85% | DE 35 A 40° | PODETRA DE 25 A 50 CM UNA VARILLA DE REFUERZO HERRAJA. CON MARTILLO |
| MUY COMPACTA | DE 85 A 100% | MAJOR DE 40° | SOLAMENTE PODETRA UNA VARILLA DE REFUERZO HERRAJA. CON UN MARTILLO |

CONSISTENCIA DE LOS SUELOS COHESIVOS
VALOR APROXIMADO DE LA RESISTENCIA

| <u>CONSISTENCIA</u> | <u>IDENTIFICACION DE CASO</u> | <u>AL CORTE</u> | | |
|-------------------------------|---|----------------------|-------------------|----------------|
| | | <u>KILOPASCALLES</u> | <u>LIBRA/PUEZ</u> | <u>TU/PUE</u> |
| MUY Blanda | EL PUNTO PENETRA FACILMENTE VARIOS CM. | MEJOR DE 12 | MEJOR DE 250 | MEJOR DE 1.25 |
| Blanda | EL PULGAR PENETRA FACILMENTE VARIOS CM. | DE 12 A 25 | DE 250 A 500 | DE 1.25 A 2.5 |
| CONSISTENCIA MODERADA (FIRME) | EL PULGAR PENETRA VARIOS CM CON UN ESFUERZO MODERADO | DE 25 A 50 | DE 500 A 1000 | DE 2.5 A 5.0 |
| FIRME (SOLIDA) | EL PULGAR SE MARCA FACILMENTE PERO PENETRA SOLAMENTE CON GRANDES ESFUERZOS. | DE 50 A 100 | DE 1000 A 2000 | DE 5.0 A 10.0 |
| MUY FIRME (MUY SOLIDA) | LA UÑA DEL PULGAR RAYA EL MATERIAL FACILMENTE | DE 100 A 200 | DE 2000 A 4000 | DE 10.0 A 20.0 |
| UÑA | LA UÑA DEL PULGAR RAYA EL MATERIAL CON DIFICULTAD | MAJOR DE 200 | MAJOR DE 4000 | MAJOR DE 20.0 |

| CARACTERISTICAS | ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA. | | |
|--|--|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Contracción lineal, en por ciento. | 6.0 Máx. | 4.5 Máx. | 3.0 Máx. |
| Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm^2 | 3.5 Mín. | 3.0 Mín. | 2.5 Mín. |
| Valor cementante para materiales redondeados y lisos en kg/cm^2 | 5.5 Mín. | 4.5 Mín. | 3.5 Mín. |
| Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento. | 50 Mín. | | |
| Equivalente de arena, en por ciento. | 20 Mín. (Tentativo) | | |

TABLA 1.8.- Requisitos para la capa de sub-base.

| CARACTERISTICAS | ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA. | | | | | |
|---|--|------|-----|------|-----|------|
| | 1 | | 2 | | 3 | |
| Límite líquido, en porcentaje. | 30 | Máx. | 30 | Máx. | 30 | Máx. |
| Contracción lineal, porcentaje. | 4.5 | Máx. | 3.5 | Máx. | 2.0 | Máx. |
| Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ² . | 3.5 | Mín. | 3.0 | Mín. | 2.5 | Mín. |
| Valor cementante, para materiales redondos y lisos, en kg/cm ² . | 5.5 | Mín. | 4.5 | Mín. | 3.5 | Mín. |

TABLA 1.9.- Requisiciones para la capa de base.

| INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS | Valor relativo de soporte es- tandard | Equivalente de arena (Tentativo) | Indice de durabi- lidad (Tentativo) |
|---|---|--|--|
| Hasta 1,000 vehículos pesados al día..... | 80 Mín. | 30 Min. | 35 Mín. |
| Más de 1,000 vehículos pesados al día..... | 100 Mín. | 50 Mín. | 40 Mín. |

Los vehículos pesados incluyen los autobuses y los camiones en todos sus tipos.

TABLA 1.10 REQUISICIONES PARA LA CAPA DE BASE

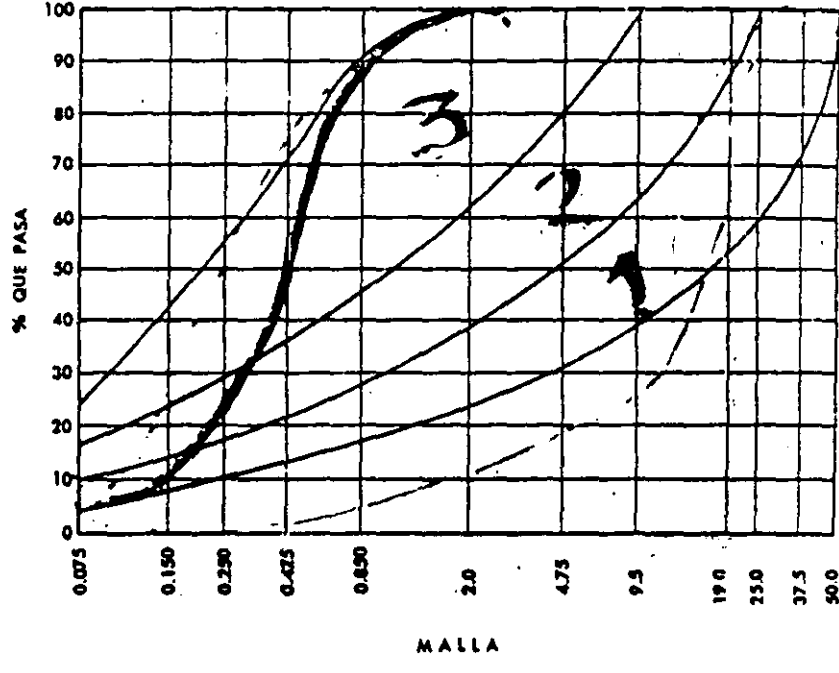
INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SU-3-BASE Y BASE

| | |
|---|------------------------|
| OSMA _____ | ENSAYE N° _____ |
| LOCALIZACION _____ <small>(CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)</small> | FECHA DE RECIBO _____ |
| | FECHA DE INFORME _____ |

| | |
|---------------------------|---|
| DATOS DEL MUESTREO | MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE <input type="checkbox"/> BASE <input type="checkbox"/> |
| | DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL _____ |
| | CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO _____ |
| | TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO _____ |
| | UBICACION DEL BANCO _____ |

| | | |
|------------------------------------|--|--|
| P.E. SECO SUELTO kg/m ³ | | |
| P.E.S. MAXIMO kg/m ³ | | |
| HUMEDAD OPTIMA % | | |
| P.E. DEL LUGAR kg/m ³ | | |
| HUMEDAD DEL LUGAR % | | |

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



| COMPOSICION GRANULOMETRICA | MALLA % RETENIDO | |
|----------------------------|------------------------|---------|
| | | EN 50.0 |
| | EN 37.5 | |
| | % QUE PASA | |
| | 50.0 | |
| | 37.5 | |
| | 25.0 | |
| | 19.0 | |
| | 7.5 | |
| | 4.75 | |
| | 2.00 | |
| | 0.85 | |
| | 0.425 | |
| | 0.250 | |
| | 0.150 | |
| | 0.075 | |

| | |
|---|---|
| V.L.S. (ESTANDAR) % EXPANSION % VALOR CEMENTANTE kg/cm ² EQUIVALENTE DE ARENA % | PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Núm. 7.5 ABSORCION % DENSIDAD DURABILIDAD |
|---|---|

| PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Núm. 0.425 | |
|---|------------------------|
| LIMITE LIQUIDO % | EQUIV. HUM. DE CAMPO % |
| LIMITE PLASTICO % | CONTRACCION LINEAL % |
| INDICE PLASTICO % | CLASIFICACION SOP |

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|------------------|-------------------------|---------|
| EL LABORATORISTA | EL JEFE DEL LABORATORIO | Vo. So. |
|------------------|-------------------------|---------|

DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE OBRAS PUBLICAS

SUB-DIRECCION DE PROYECTOS

DEPARTAMENTO DE PROYECTO GEOTECNICO

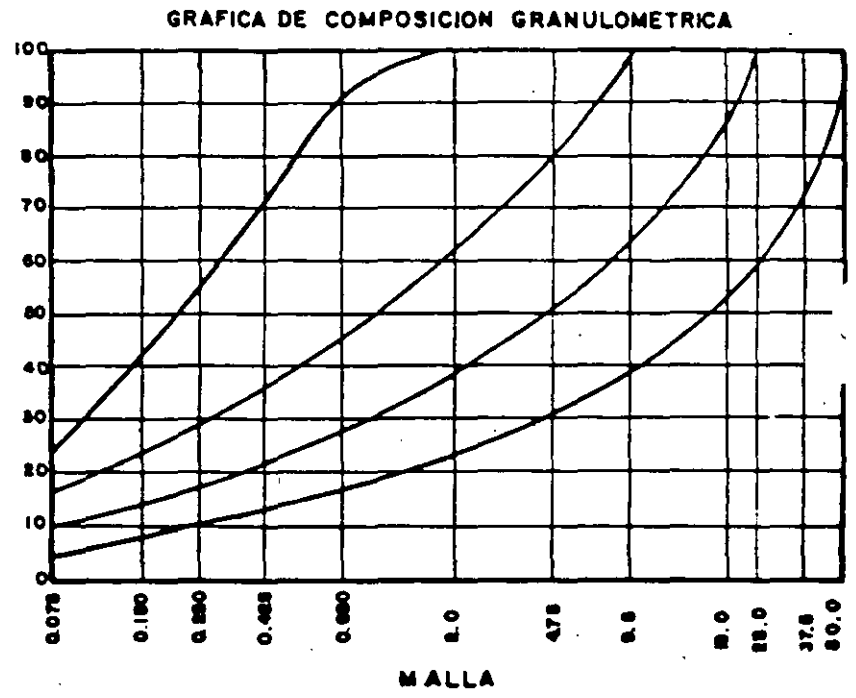
S.C.T.

REPORTE DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

| | |
|--|------------------------|
| OBRA _____ | ENSAYE N° _____ |
| LOCALIZACION _____ <small>(CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)</small> | FECHA DE RECIBO _____ |
| | FECHA DE INFORME _____ |

| | |
|---------------------------|---|
| DATOS DEL MUESTREO | MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE <input type="checkbox"/> BASE <input type="checkbox"/> |
| | DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL _____ |
| | CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO _____ |
| | TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO _____ |
| | UBICACION DEL BANCO _____ |

| | | | |
|----------------------------|--|--|--|
| P.E. SECO SUELTOR kg/m^3 | | | |
| P.E. MAXIMO kg/m^3 | | | |
| HUMEDAD OPTIMA % | | | |
| P.E. DEL LUGAR kg/m^3 | | | |
| HUMEDAD DEL LUGAR % | | | |



| COMPOSICION GRANULOMETRICA | MALLA % RETENIDO | |
|----------------------------|------------------|--|
| | EN 800 | |
| EN 37.5 | | |
| | % QUE PASA | |
| 80.0 | | |
| 37.5 | | |
| 25.0 | | |
| 15.0 | | |
| 7.5 | | |
| 4.75 | | |
| 2.00 | | |
| 0.85 | | |
| 0.425 | | |
| 0.250 | | |
| 0.150 | | |
| 0.075 | | |

| |
|----------------------------|
| V.R.S. (ESTANDAR) % |
| EXPANSION % |
| VALOR CEMENTANTE kg/cm^2 |
| EQUIVALENTE DE ARENA % |

| |
|---|
| PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA N° 80 |
| ABSORCION % |
| DENSIDAD |
| DURABILIDAD |

| | |
|--|-----------------------|
| PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N° 0.425 | |
| LIMITE LIQUIDO % | EQUIV. NUM DE CAMPO % |
| LIMITE PLASTICO % | CONTRACCION LINEAL % |
| INDICE PLASTICO % | CLASIFICACION SOP |

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

C A L C U L O D E E S P E S O R E S

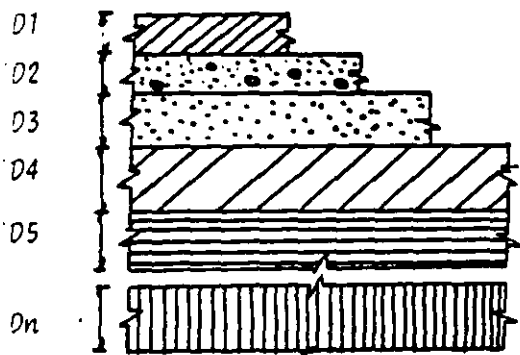
HIPOTESIS

COMPOSICION DEL TRANSITO : A = 40% B = 20% C = 40%

TASA DE CRECIMIENTO : 9%

| <div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg);"> TDPA VRS en % </div> | 2000 | 4000 | 6000 | 10000 |
|---|--|----------|------|-------|
| 2 | EN TODOS LOS CASOS ES MAYOR A 1.0 M EN GRAVA EQUIVALENTE | | | |
| 3 | 92 / 81 | 100 / 90 | | 108 / |
| 5 | 56 | 60 | 62 | 65 |
| 10 | 42 | 46 | 47 | 49 |
| 15 | 36 | 38 | 40 | 42 |

EQUIVALENCIAS SEGUN INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.



$a_1 = 0$, para carpetas de riegos

$a_2 \leq 2$ para concreto asfáltico

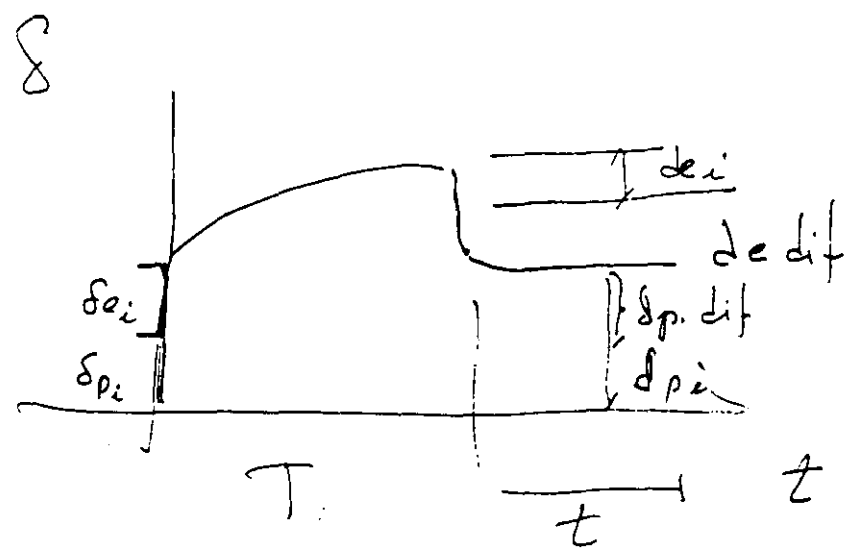
$a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 1$ para materiales

esencialmente granulares e inertes
estabilizados mecánicamente.

Características: — Suelos granulares
 — compactados
 Forma de los granos
 Distribución granulométrica
 Resistencia individual de las partículas
 Excesiva presión hidrostática

Suelos cohesionados
 Historia previa de consolidación
 Drenaje de los suelos
 Velocidad de aplicación de cargas
 Sensibilidad de las estructuras

Deformación:
 Nivel de esfuerzos
 Tiempo
 Temperatura



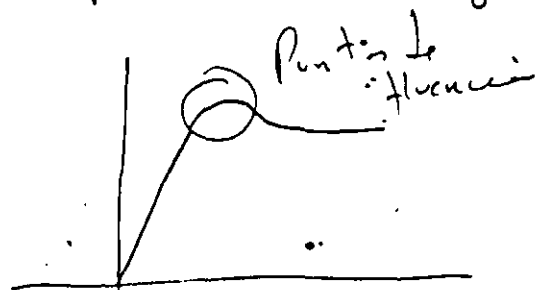
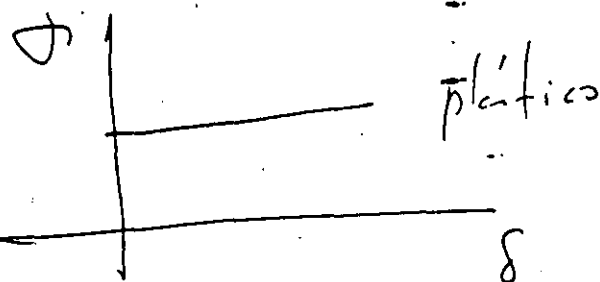
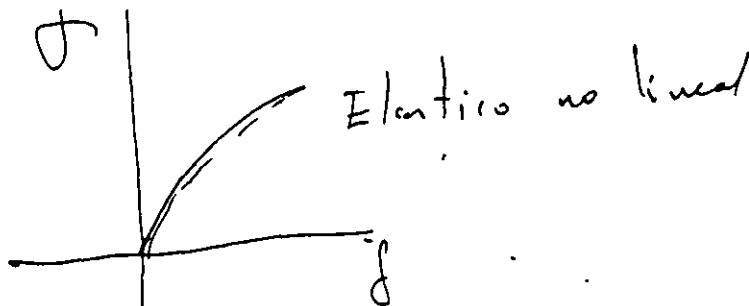
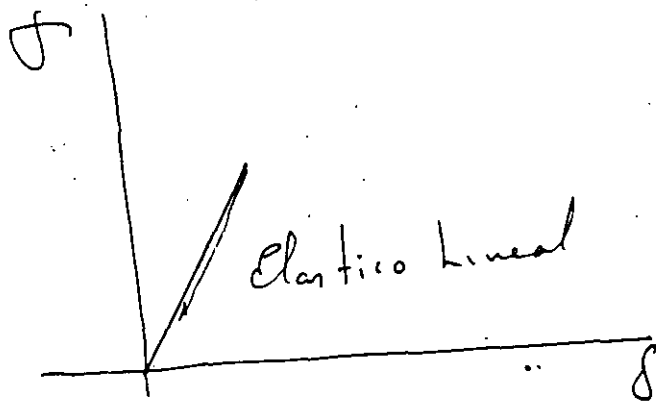
Fallas de las estructuras

Resistencia

Deformación

Relación Esfuerzo - Deformación

Modelos



Modelos viscosos

$$\dot{x} = \frac{1}{\eta} p \dot{t}$$

TABLA I
TERRACERIA

| CARACTERISTICA | DESEABLE | ADECUADA | TOLERABLE |
|---------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tamaño máx. (mm) | 76 | 1500 ó 0.5 espesor de capa | 2000 ó 0.5 espesor de capa |
| % < malla N° 200 | 30 máx. | ---- | ---- |
| W_L (%) | 40 máx. | 50 máx. | 60 máx. |
| I.P. (%) | --- | --- | 25 máx. |
| AASHTO Estandar (%) | 95 mín. | 90 ± 2 ó Bandeado | 90 ± 2 ó Bandeado |
| CBR (%) | 5 mín. | 5 mín. | 3 mín. |
| Expansión (%) | --- | --- | 3 |

TABLA II
SUB-RASANTE

| CARACTERISTICA | DESEABLE | ADECUADA | TOLERABLE |
|---------------------|----------|-------------|-------------|
| Tamaño máx. (mm) | 75 | 75 | 75 |
| % < malla N° 200 | 25 máx. | 35 máx. | ---- |
| W_L (%) | 30 máx. | 40 máx. | 50 máx. |
| I.P. (%) | 10 máx. | 20 máx. | 25 máx. |
| AASHTO Estandar (%) | 100 mín. | 100 ± 2 | 100 ± 2 |
| CBR (%) | 20 mín. | 15 mín. | 15 mín. |

TABLA III
SUB-BASES Y REVESTIMIENTO

| CARACTERISTICA | DESEABLE | TOLERABLE | REVESTIMIENTO |
|----------------------|----------|-----------|---------------------------------|
| Tamaño máx. (mm) | 75 | 75 | 75 |
| % < malla N° 200 | 15 máx. | 25 máx. | 10 - 25 |
| Zona granulométrica | 1 y 2 | 1 a 3 | ----- |
| W_L , (%) | 25 máx. | 30 máx. | 35 máx. |
| I. P. (%) | 6 máx. | 10 máx. | 4 - 10 |
| E.A. (%) | 40 mín. | 30 mín. | ----- |
| * AASHTO. Modif. (%) | 100 mín. | 100 mín. | 100 mín. (AASHTO. Estandar) |
| CBR. (%) | 40 mín. | 30 mín. | 30 mín. |

* AASHTO T 180-78

TABLA IV
BASES

| CARACTERISTICA | DESEABLE | ADECUADA |
|--------------------------|----------|----------|
| Tamaño máx. (mm) | 76 | 76 |
| % malla N° 200 | 10 máx. | 15 máx. |
| Zona granulométrica | 1 y 2 | 1, 2 y 3 |
| W_L (%) | 25 máx. | 30 máx. |
| I. P. (%) | 6 máx. | 6 máx. |
| E.A. (%) | 50 mín. | 40 mín. |
| * AASHTO. Modf. (%) | 100 mín. | 100 mín. |
| CBR (%) | 100 mín. | 80 mín. |
| Desgaste Los Angeles (%) | 40 máx. | 40 máx. |

* AASHTO T180-78

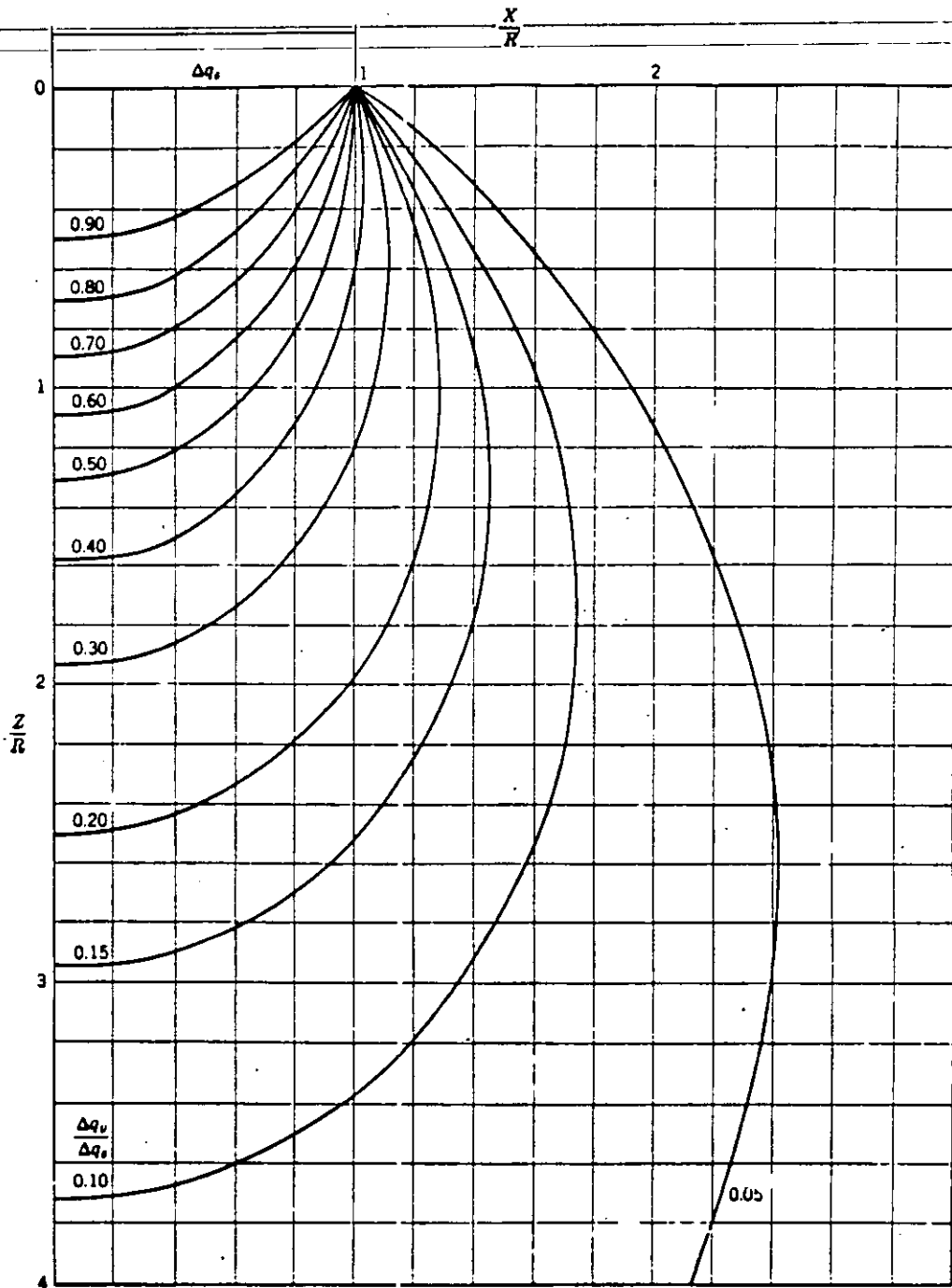


Fig. 8.4. Esfuerzos verticales producidos por una carga uniforme sobre una superficie circular.

La obtención de la solución elástica para unas determinadas cargas y condiciones de contorno o frontera es bastante tediosa. En este libro no nos interesa la forma de obtener estas soluciones, sino más bien, la forma de emplearlas. En este capítulo se incluyen varias soluciones en forma gráfica.

Carga uniforme sobre una superficie circular. Las Figs. 8.4 y 8.5 dan los esfuerzos producidos por una presión normal uniformemente repartida Δq_0 que actúa sobre una superficie circular de radio R en la superficie de un semi-

espacio elástico³. Estos esfuerzos ueben añadirse a los esfuerzos geostáticos iniciales. La Fig. 8.4 proporciona los

³ En general, los esfuerzos calculados a partir de la teoría de la elasticidad son funciones del coeficiente de Poisson μ . Esta magnitud se definirá en el capítulo 12. Sin embargo, los esfuerzos verticales debidos a los esfuerzos normales aplicados en superficie son siempre independientes de μ , así como los esfuerzos originales por una carga en faja. Por ello, de los gráficos representados en este capítulo sólo los de la Fig. 8.5 dependen de μ y corresponden a $\mu = 0.45$.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

BASES Y SUB-BASES

NUEVOS MATERIALES DE CONSTRUCCION
PARA PAVIMENTOS

ING. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO

Aquellas que lo son, se llaman "minerales arcillosos". Dentro de los minerales arcillosos hay varios grupos con diferentes composiciones químicas.

Los minerales arcillosos son silicatos de aluminio hidratado con estructura cristalina relativamente complicada, aunque anteriormente a 1920 se les creía amorfos.

De acuerdo a su arreglo cristalino se dividen en tres grupos generales, y se ha visto que todos los minerales arcillosos pertenecientes a un grupo, tienen propiedades ingenieriles similares.

Según Grim éstos grupos son: Grupo de la Caolinita, Grupo de la Montmorillonita, y Grupo de la Illita.

La naturaleza de las ligaduras o uniones que mantienen juntos a los átomos de un mineral arcilloso, es la base fundamental para entender el comportamiento de una partícula arcillosa, y por lo tanto de una masa formada por estas partículas.

Aunque las estructuras moleculares son complicadas, se ha encontrado que los diferentes minerales arcillosos están hechos principalmente por dos bloques constructivos o unidades estructurales:

- 1) Tetraedro de sílica (SiO_2), consiste en un átomo de Silicio rodeado por 4 átomos de Oxígeno colocados en los vértices de un tetraedro.
- 2) Octaedro de hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) que contiene un átomo de aluminio en el centro de un octaedro, en cuyos vértices hay átomos de Oxígeno o radicales OH.

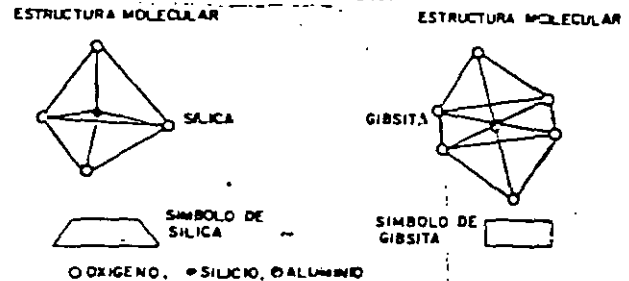


Figura No. 1 Unidades estructurales o bloques constructivos, con los que se forman los minerales arcillosos.

Varios tetraedros se pueden unir para formar una lámina, en cuya base hay un plano con átomos de Oxígeno, en un arreglo que visto en planta es hexagonal cuyas ligaduras están satisfechas, porque cada Oxígeno es compartido por tetraedros adyacentes. En la parte media hay un plano de átomos de Silicio sobre los cuales hay Oxígenos que están libres de combinarse con cationes externos porque su valencia está incompletamente satisfecha.

Varios octaedros pueden unirse a lo largo de sus aristas por medio de átomos de Oxígeno compartidos,

¿ POR QUE SE EXPANDEN LAS ARCILLAS ?

De acuerdo al estado actual de los conocimientos, posiblemente el mejor camino para tratar de explicar el mecanismo de expansión de las arcillas, es por medio de la Física de Suelos, que utiliza algunos conceptos de Minerología, Física y Físico - Química.

Cuando las partículas del suelo son pequeñas, los minerales de los que están compuestas, influyen en el comportamiento de las propiedades ingenieriles del suelo.

Esta influencia en su comportamiento, se debe al aumento del efecto de las fuerzas que hay entre moléculas, alojadas en las superficies de las partículas adyacentes, conforme el tamaño de las partículas disminuyen.

En una partícula pequeña, las moléculas que forman su superficie, constituyen un porcentaje grande del número total de moléculas que forman la partícula. por lo tanto, las fuerzas que actúan en estas moléculas tienen un efecto importante en el comportamiento de las partículas y por lo tanto, en el comportamiento de la masa del suelo.

Para que las fuerzas de superficie tengan efectos importantes, las partículas deben tener un diámetro menor a una micra (10^{-4} cm) lo que en Físico-Química es el límite superior de los coloides.

La mayor parte de las arcillas, se forman por reacciones químicas más que por procesos físicos, y estas reacciones determinan la naturaleza de la arcilla final así como su comportamiento.

No todas las partículas minerales pequeñas son plásticas al agregarles ciertas cantidades de agua.

Caolinita. - Debido a que las valencias de los átomos de Oxígeno en la parte superior de una lámina de sílica, y a su espaciamiento, es posible que se una a una lámina de gibsita para formar una capa eléctricamente neutra que es una lámina de mineral arcilloso llamado caolín.

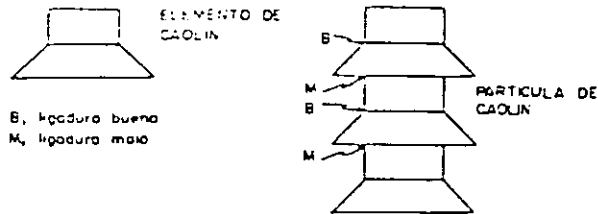


Figura No. 2 Unidades estructurales que forman un elemento y una partícula de caolín.

Láminas sucesivas de los cristales pueden estibarse una sobre la otra para formar partículas de caolín. Las fuerzas que unen a las capas de caolín son del tipo de ligaduras de hidrógeno, entre O_2 y (OH) .

Diferentes formas de estibar o sobreponer las capas de caolín da origen a diferentes minerales arcillosos del grupo general y se les llama minerales polimorfos de caolín.

A pesar de que láminas de sílica y gibsita pueden sobreponerse indefinidamente, las partículas de caolín se encuentran en la naturaleza en forma de placas hexagonales con diámetros del orden de 0.5 a 1.0 micra y de 0.05 micras de espesor.

Montmorilonita. - Si la sílica y la gibsita se sobreponen de la manera indicada en la figura, se obtiene el mineral arcilloso llamado montmorilonita, constituido por 3 elementos primarios. Láminas sucesivas de sílica y gibsita pueden sobreponerse en forma distinta, resultando las variaciones polimórficas de la montmorilonita.

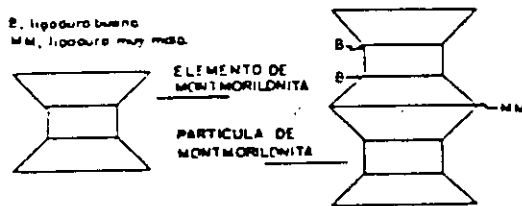


Figura No. 3 Unidades estructurales que forman un elemento y una partícula de montmorilonita.

La ligadura entre capas es entre iones de Oxígeno que son débiles, con respecto a las capas de caolinita, donde se unen oxígenos con oxidrilos, por lo tanto las moléculas de agua pueden entrar entre las diferentes capas de montmorilonita y además, las mo-

léculas de agua tienen las dimensiones y la geometría adecuadas, por lo que la montmorilonita tiene fuertes características expansivas y hasta 6 capas moleculares de agua se pueden meter entre las capas de montmorilonita. Debido a la compatibilidad geométrica entre la montmorilonita y las moléculas de agua, se requieren temperaturas de $200^{\circ}C$ a $300^{\circ}C$ para eliminar esa agua.

En la montmorilonita es posible que algunos tetraedros tengan un arreglo en el que algunos tetraedros tienen la base hacia abajo y el vértice hacia arriba y otros tetraedros tienen la base hacia arriba y el vértice hacia abajo, en vez de que todas tengan la base hacia abajo y el vértice hacia arriba como en la caolinita.

Debido a la ligadura tan débil entre capas adyacentes de Oxígeno, generalmente las capas de montmorilonita son sumamente pequeñas, y se encuentran en la naturaleza formando placas con un diámetro del orden de 0.05 micras y un espesor 400 veces menor, o sea, 0.000125 micras.

Como en la caolinita, las plaquitas tienen cargas negativas en la superficie y cargas positivas y negativas en los bordes rotos.

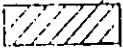
Generalmente estos elementos no son eléctricamente neutros debido a sustituciones de $(Al)^{+3}$ por $(Si)^{+4}$ que ocurren en los tetraedros y sustituciones de $(Mg)^{+2}$ y $(Fe)^{+2}$ por $(Al)^{+3}$, que ocurren en las láminas de octaedros, por lo tanto, hay un exceso de carga negativa en diferentes lugares de la partícula, la cual se trata de equilibrar con cationes intercambiables que se localizan entre los elementos de arcilla o en sus superficies externas.

Los cationes en el agua como el Sodio Na^{+} , Ca^{+} , K^{+} , etc., son atraídos a las placas de arcilla que tienen carga negativa, y hay un continuo intercambio. Clasificando a algunos de los cationes más comunes, en orden decreciente de acuerdo a su actividad, tenemos Sodio, Litio, Potasio, Calcio, Magnesio, Oxidrillo, por lo que la cal, yeso y cemento Portland, así como el cloruro de calcio líquido, reducen la actividad y estabilizan al suelo al sustituir al Sodio por Calcio.

Ilita. - Es similar a la montmorilonita, pero más átomos de Silicio han tenido cambios isomorfos con Aluminio, por lo tanto, hay una carga neta negativa mayor, que en su mayor parte, está balanceada por iones no intercambiables de Potasio, que ocupan el espacio entre átomos de Oxígeno adyacentes, en los planos de las bases, por lo tanto, las dos capas de mineral están más fuertemente ligadas que en la montmorilonita, por lo que la ilita no se expande tanto en presencia de agua como la montmorilonita, aunque se expande más que la caolinita.

Este mineral se encuentra en la naturaleza formando partículas que tienen un diámetro del orden de 0.5 micras y un espesor de 50 veces menor.

REPUBLICA MEXICANA.



Zonas con suelos
expansivos.
(1969)

VIII CPMSIF - PCSMFE, 16-21 AGOSTO 1987 - CARTAGENA - COLOMBIA

Estabilización de Arcillas Activas con Aditivos
Expansive Clay Stabilization with Additives

G. García

Profesor de la ENEP Aragón, UNAM. Ejecutivo de Proyecto de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas, S.C.T., México.

SINOPSIS

El presente artículo analiza la variación en las características de calidad, resistencia y deformación de las arcillas activas de la Ciudad de Querétaro, estabilizadas en el laboratorio con cal, sal común, pretratamiento de cal y tratamiento con cemento Portland; en el primer caso a corto y mediano plazo y en los demás solo a corto plazo, con el fin de producir materiales de mejor calidad que los originales a un costo razonable con características apropiadas, para emplear se en la construcción de distintas capas de pavimento, pues los materiales inertes de buena calidad empleados actualmente, cada día son más difíciles de obtener en la naturaleza y por tanto más costosos.

I. INTRODUCCION

En la República Mexicana existen regiones donde aparecen arcillas activas o expansivas del tipo montmorilonítico; este tipo de suelos como todos sabemos son muy buenos para emplearse en la agricultura pero pésimos para usarlos como materiales de construcción o de apoyo para estructuras, en las condiciones en las que se encuentran, pues tienen fuertes cambios volumétricos con los correspondientes cambios en sus contenidos de agua; una cosa semejante sucede con su resistencia al esfuerzo cortante, lo cual se refleja en deterioros de las diferentes estructuras donde aparecen este tipo de materiales.

La literatura que existe al respecto indica que al agregar aditivos como la cal, sal común, o cemento Portland se logra un intercambio iónico entre las partículas de montmorilonita y los componentes químicos de estos aditivos que hacen estable al suelo, es decir aumenta su resistencia y disminuye su deformación; también se sugiere en las investigaciones hechas, que antes de usarlas en determinada región, como regla general, en cada caso se hagan los análisis de laboratorio correspondientes. (Fernández C. 1982), (Rico A., del Castillo H. 1982). (Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento de Suelos de Granulometría Fina, G. Morel, 1984).

El presente trabajo abordará la investigación, en el laboratorio, del tratamiento de arcillas con los aditivos mencionados anteriormente, con el fin de producir materiales que se puedan emplear en las diferentes capas que constituyen una

sección estructural o pavimento, de tal forma que tengan características de calidad y resistencia iguales o mejores que las de los materiales empleados tradicionalmente de acuerdo a las Normas de Calidad y Resistencia que tiene nuestra República Mexicana para caminos de primer orden.

II. TRABAJO DE CAMPO Y DE LABORATORIO

Para conocer si las arcillas expansivas al añadirles aditivos como la sal común, la cal en lapsos a corto y a mediano plazo y el cemento Portland, pero en este último caso con un pretratamiento a base de un 3% de cal, tienen iguales o mejores características de calidad y resistencia que los materiales que se usan tradicionalmente para la construcción de pavimentos como son las gravas y las arenas, con un pequeño porcentaje de finos no plásticos, se hizo en el laboratorio una investigación práctica; para ello se seleccionó una zona potencial de arcilla expansiva que siempre se desecha como es la de la Ciudad Industrial de Querétaro y se mezcló en el laboratorio con diferentes porcentajes de aditivos sujetos a diferentes condiciones, como se describen a continuación en la Tabla I.

| ADITIVO | PORCENTAJE EN PESO DE SUELO SECO | TIEMPO DE PREPARACION DE LA MEZCLA | PORCENTAJE DE COMPACTACION | TIEMPO DE INMERSION EN AGUA | OBSERVACIONES |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| CAL | DE 2 A 10 | UN DIA | 90% | NINGUNO | --- |
| CAL | 4 | 60 DIAS | 95% | 60 DIAS | FOR SER UN VALOR CERCANO AL OPTIMO. |
| SAL COMUN | DE 2 A 10 | 3 DIAS | 95% | NINGUNO | SE CUBRIO CON BOLSA DE POLIETILENO PARA PROPICIAR LA REACCION |
| CAL Y CEMENTO | DE 4 A 8 | DE 1 A 3 DIAS | 90% | NO SE CONSIDERO NECESARIO | SE USO CAL COMO PRETRATAMIENTO PARA ABATIR LA PLASTICIDAD Y CEMENTO PORTLAND COMO CEMENTANTE |

T A B L A I

Para hacer las mezclas en general, se cribó todo el material por la Malla No. 4 4.76×10^{-3} m, se determinó la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo en la Prueba Proctor, a continuación se determinaron los distintos porcentajes de aditivo de acuerdo al peso volumétrico para los distintos grados de compactación; la mezcla se hizo en estado seco y se fue humedeciendo el material hasta alcanzar la humedad necesaria; a continuación se dejó un lapso para que se propiciara el intercambio iónico y con el fin de que no perdiera humedad se les cubrió con bolsas de polietileno, la muestra quedó así preparada para realizar las siguientes pruebas:

- Pruebas Índice: Granulometría, límite líquido, límite plástico y contracción lineal.
- Prueba de resistencia: Valor relativo de soporte estándar, resistencia a la compresión unidimensional no confinada y ensayos triaxiales rápidos.
- Prueba de deformación: Saturación bajo carga y expansión libre.

II.A Comentarios respecto a la preparación de las mezclas.

1. En todos los casos se cuidó de no quemar la materia orgánica, por lo que la temperatura a las que se sometieron las muestras en el horno fue del orden de los 60°. Las pruebas cuya preparación vario entre 24 y 72 horas se deminarán en lo sucesivo a corto plazo.
2. En general las pruebas dado que no se llegaba a cribar el material al tamaño de las partículas, del orden de las micras (10^{-6} m), no se lograba el 100% de intercambio iónico; la razón esencial de cribar los materiales hasta la Malla No. 4 (4.76×10^{-3} m) y no hasta la No. 200 (7.4×10^{-5} m) fue que en la realidad eso no resultaba práctico para preparar las muestras en el lugar, por lo que se puede afirmar que cuando se usó cal además de un intercambio iónico, también se propiciaba una cementación. Para realizar los límites de Atterberg, si se cribó el material hasta la Malla No. 40 - - - - (4.2×10^{-4} m) y para hacer la granulometría hasta la Malla No. 200 - - - - (7.4×10^{-5} m).
3. En algunos casos como el del pretratamiento con cal y estabilización con cemento Portland dada la plasticidad de éste último al agregarse agua se tenía una mezcla muy fluida y no se podían hacer los límites de consistencia, por lo que se dejó reposar la mezcla con intervalos variables entre 24 y 72 horas.
4. Para el caso de la sal común como el porcentaje se controlaba respecto al peso seco de los granos de sal y al preparar la muestra, no se alcanzaba a diluir la totalidad del aditivo, por lo que se considera que el intercambio iónico fue muy pobre, lo que se refleja en los resultados obtenidos.
5. Las pruebas que se hicieron a mediano plazo con cal, previamente se compactaron los materiales se extrajeron del molde, se les puso una membrana de plástico perforado para que penetrara el fluido y se le sumergió en agua durante 60 días.

III. ANALISIS DE RESULTADOS

III.A. Propiedades Índice

III.A.1 Granulometría.-El análisis granulométrico indicó que el 99.77% pasaba la Malla No. 200 (7.4×10^{-5} m), es decir, se trata de un suelo esencialmente fino.

III.A.2 Plasticidad.-De acuerdo con la carta de plasticidad, la arcilla activa está clasificada como un CH, como se muestra en la Figura 1, pues el límite líquido es mayor de 50%, con índice de plasticidad hasta de 54% y límite de contracción del orden del 10%; lo cual, según el criterio de Holtz y Gibbs corresponde a una arcilla que puede ser de alto grado de expansividad.

Como se puede observar en la Figura 1, al agregarle distintos aditivos el resultado fue el siguiente:

- El comportamiento suelo-cal a corto plazo indica que a mayor porcentaje de aditivo menor plasticidad, sin embargo, con el tiempo y sumergida la muestra en agua durante sesenta días, la plasticidad vuelve a incrementarse pero no en la misma magnitud que en estado natural, lo cual se puede interpretar como que se logró en algún porcentaje el intercambio iónico y al hacer la preparación para determinar los límites de consistencia se destruye la cementación que da la cal y se modifica la estructura.

- Por lo que respecta a la sal común se abate la plasticidad pero en forma moderada, pues el intercambio iónico fue muy pobre, pues en la mezcla así formada aparecían todavía cristales de sal.
- La mezcla hecha con el pretratamiento de 3% de cal y diferentes porcentajes de cemento Portland fue la que dió mejores resultados, y se puede afirmar que con un 3% de cemento Portland la plasticidad se abate considerablemente, pasando a ser un limo prácticamente de baja plasticidad.

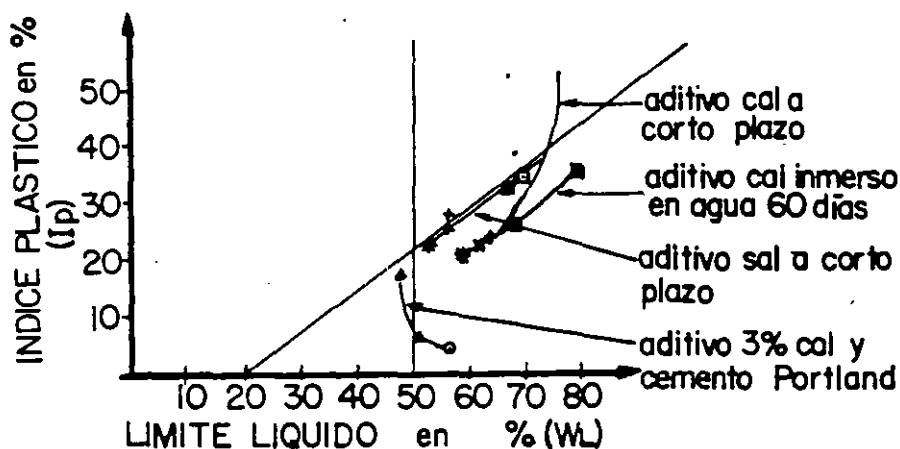


FIGURA 1. CARTA DE PLASTICIDAD, RESULTADOS DE ESTABILIZACION DE SUELOS.

NOMENCLATURA

| | |
|------|-------|
| • 0% | ○ 5% |
| ▲ 1% | ◊ 6% |
| ◻ 2% | x 8% |
| ▲ 3% | * 10% |
| ■ 4% | |

III.B. Resistencia

Para conocer la variación de la resistencia al esfuerzo cortante se analizaron varios parámetros como son:

III.B.1 Valor relativo de soporte estándar.-Este parámetro se usa en la República Mexicana para determinar la calidad de los materiales a emplearse en las diferentes capas que integran la Sección Estructural de un pavimento.

En la Figura 2 se puede observar que el valor relativo de soporte sin aditivos es del orden del 2%, sin embargo al agregárseles aditivos se tienen las siguientes variaciones:

Al agregarle cal y a corto plazo, este valor aumenta hasta 184% para un 8% de cal, pero al sumergirlo durante sesenta días disminuye su valor relativo de so-

porte; por ejemplo pasa de 176% a corto plazo a 114% después de sumergirlo en agua durante sesenta días con un 6% de cal, una cosa semejante sucede con el 4% de cal; sin embargo, se puede afirmar que la cal no se lavó y actuó como cementante, por ejemplo para un 4% de cal se puede usar como subrasante y/o sub-base y para un 6% de cal se puede emplear hasta para base.

Una cosa semejante sucede con la pre-estabilización con cal y estabilización con cemento Portland, en este caso la cal se usó para abatir la plasticidad y hacer más manuable el material y el cemento se usó como tal; la trayectoria que se obtuvo indica que con un 3% de cal y porcentajes variables entre 1 y 5% de cemento Portland se pueden usar estas mezclas para sub-bases y bases.

Por lo que respecta a la sal el valor relativo de soporte no registró cambio alguno.

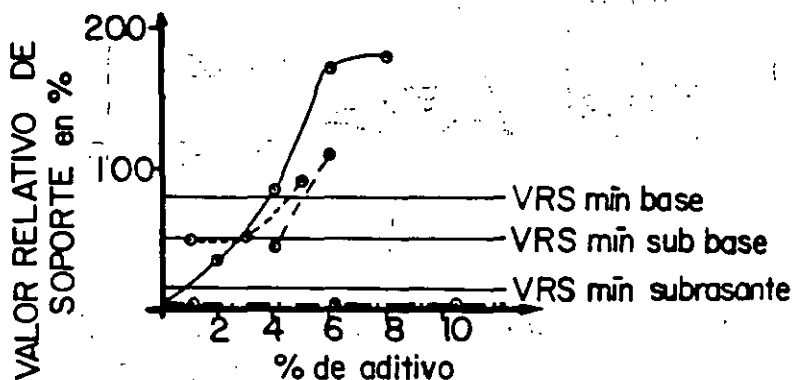


FIGURA 2. VARIACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CON DISTINTOS ADITIVOS.

| N O M E N C L A T U R A | | | |
|-------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| SIMBOLO | PRETRATAMIENTO | ADITIVO | INMERSION EN AGUA |
| —○—○— | NINGUNO | CAL | NINGUNA |
| —○- - -○- | 3% CAL | CEMENTO PORTLAND | NINGUNA |
| ○- - -○ | NINGUNO | CAL | SESENTA DIAS |
| ○- - -○ | NINGUNO | SAL COMUN | NINGUNA |

III.B.2 Resistencia a la compresión simple.--A manera de ejemplo en la Figura 3, se dan los resultados que són representativos de los resultados obtenidos.

En la Fig. 3 se puede observar que el material sin aditivo compactado al 90% ó al 95% de su peso volumétrico seco máximo en prueba Proctor, tuvo un comportamiento del tipo plástico; en cambio al agregarle cal, el comportamiento es del tipo frágil. Sin embargo, se puede afirmar, para este caso, que al estar sumergida la muestra en agua durante sesenta días con un 4% de cal, al labrar la muestra y probarla, la resistencia varía de 178.5 kPa en condiciones iniciales-

a 426.8 kPa en condiciones finales, es decir, se incrementa un 239% debido a que existe un curado de la muestra al estar sumergida en agua durante 60 días, aunque la estructura del material se vuelve rígida, por lo que en caso de emplear estos materiales para formar diferentes capas de pavimento se debe tener cuidado de que se apoyen sobre materiales que no tengan grandes deformaciones puesto que no pueden trabajar a la tensión y se agrietarían.

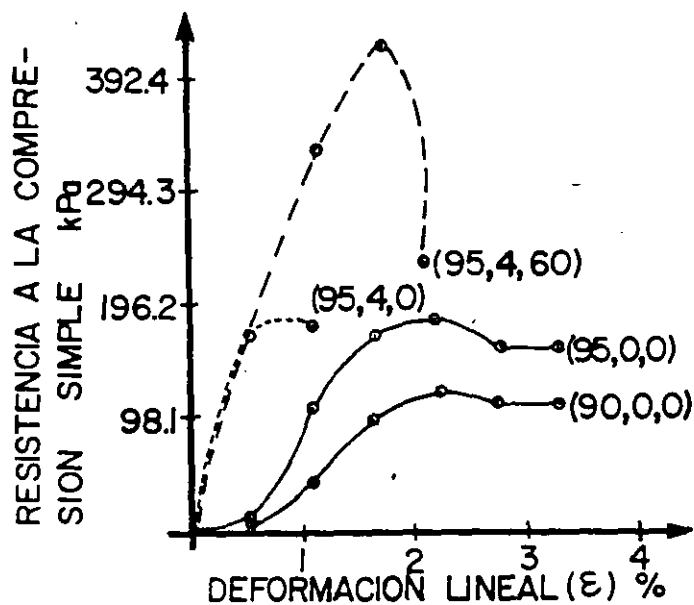


FIGURA 3. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE BAJO DIFERENTES CONDICIONES

NOMENCLATURA :

(a, b, c)

a - grado de compactación

b - % de cal

c - tiempo de inmersión en días.

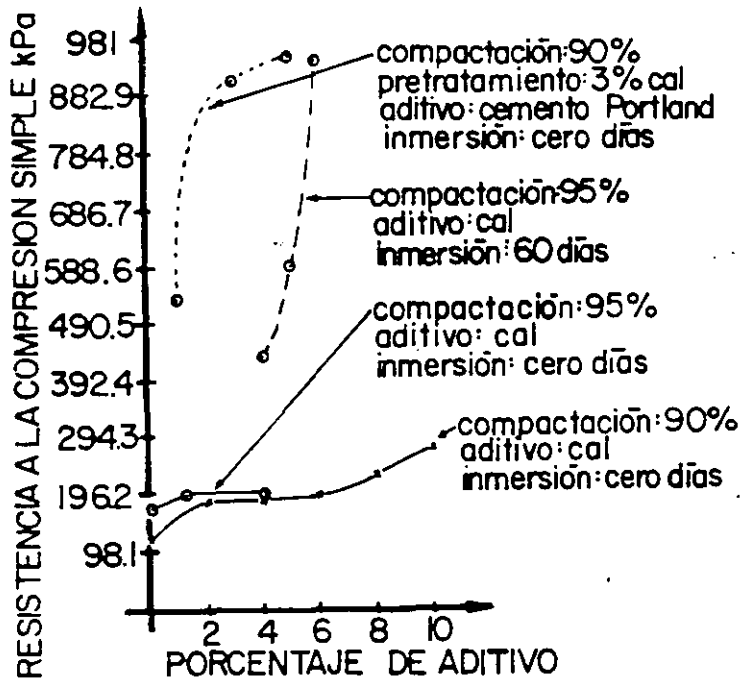


FIGURA 4. VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CON DIFERENTES TIPOS DE ADITIVOS

En la Figura 4, se encuentra la evolución de la resistencia a la compresión simple bajo diferentes condiciones y con distintos aditivos en la que se puede observar lo siguiente:

- Para condiciones a corto plazo con cal se encuentra que a medida que se incrementa el porcentaje de ésta aumenta la resistencia a la compresión simple.
- Para condiciones finales estando las muestras sumergidas en agua la muestra se cura y la resistencia a la compresión simple aumenta asintóticamente al grado de que para un 6% de cal, y 95% de compactación alcanza un valor de 951.6 KPa que representan las condiciones a mediano plazo que puede ser la condición a la que puede estar sujeta en la realidad.
- Una cosa semejante sucede con el pretratamiento de cal y usando como aditivo cemento Portland a corto plazo, la muestra nuevamente se vuelve a curar, incrementando considerablemente su resistencia aún con pequeños porcentajes de cemento Portland.

III.B.3 Triaxiales rápidas.- Los resultados para diferentes grados de compactación y distintos porcentajes de aditivos se encuentran en la Figura 5.

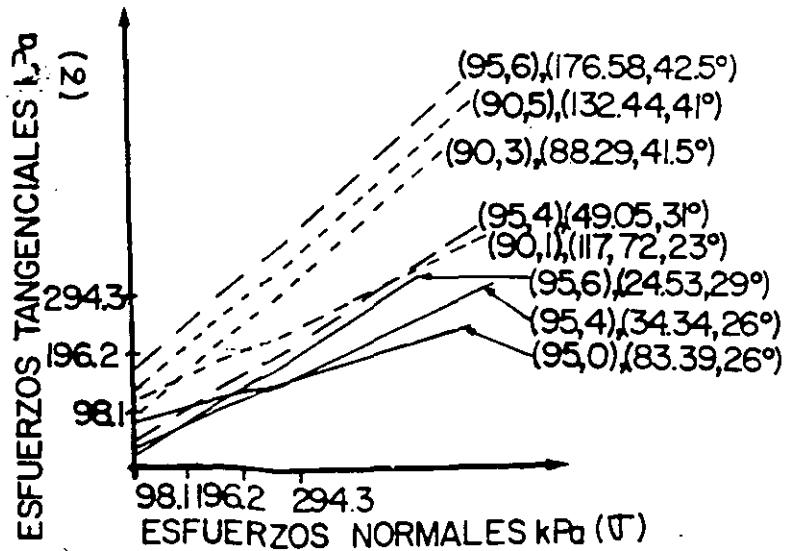


FIGURA 5. RESULTADOS DE ENSAYES DEL TIPO TRIAXIAL RÁPIDO.

N O M E N C L A T U R A :

Condiciones a corto plazo : Con cal
 Con cal y cemento
 Sesenta días en inmersión aditivo cal.

(a, b), (c, d)

a = grado de compactación en %

b = % de aditivo

c = cohesión inicial

d = ángulo de fricción interna en grados.

Del análisis de las envolventes de falla, para este caso, se puede afirmar que - la mezcla suelo-cal en diferentes porcentajes a mediano plazo, sumergida en agua y con el tiempo aumenta su resistencia con respecto a las condiciones iniciales, a corto plazo para iguales grados de compactación.

También se puede afirmar que al agregar el 4% de cal, la resistencia al corte a mediano plazo sumergida y al mismo grado de compactación, es menor que la que no tiene aditivos para esfuerzos normales menores a 98.1 kPa; lo cual se puede interpretar como que en ese rango la cementación no fue suficiente y perdió resistencia, no sucede lo mismo con la mezcla de 6% de cal a mediano plazo incluso -- fue la prueba que dió mejores resultados, pues fue suficiente para cementar el suelo y propiciar los cambios iónicos.

Respecto a las mezclas suelo-cal-cemento a corto plazo, en todos los casos la resistencia al corte fue más grande que en condiciones naturales o con cal a corto plazo.

III.C. Deformabilidad

Para determinar los cambios volumétricos, se hizo la prueba de expansión libre y de saturación bajo carga, con la humedad correspondiente al 90 ó 95% de compactación, respectivamente, y se le agregó agua hasta lograr la saturación del material, dejando la muestra el tiempo necesario hasta que ya no registrara deformaciones, los resultados se muestran gráficamente en la Figura 6.

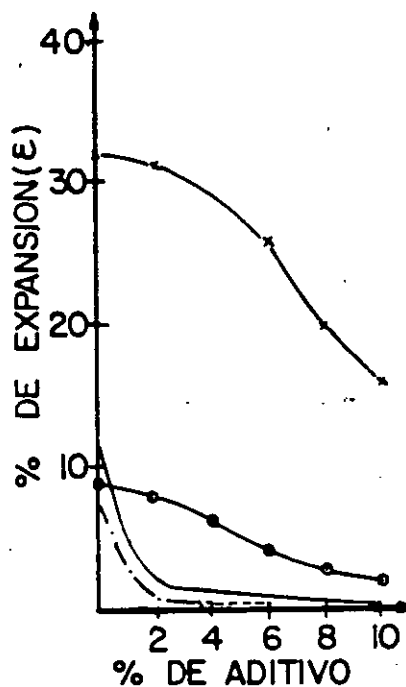


FIGURA 6. RESULTADOS DE EXPANSIVIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA Y CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ADITIVOS.

NOMENCLATURA :

| SIMBOLO | PRETRATAMIENTO | GRADO DE COMPACTACION | ADITIVO | OBSERVACIONES |
|---------|----------------|-----------------------|---------|-------------------------|
| ————— | NINGUNO | 90% | CAL | EXPANSION LIBRE |
| ----- | NINGUNO | 95% | CAL | PRESION DE 9.81kPa |
| *-----* | NINGUNO | 95% | SAL | EXPANSION LIBRE |
| ----- | 3% CAL | 95% | CEMENTO | NO REGISTRO MOVIMIENTOS |
| ○-----○ | NINGUNO | 95% | SAL | PRESION DE 6.87kPa |

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Sin aditivo y sin carga a mayor grado de compactación mayor expansión, pues al 95% la expansión fue del 32.5% y al 90% registró un valor de 11.5%.
- Agregándole al suelo cal y compactándolo al 90% la expansión se abate considerablemente, los grados de saturación que se alcanzaron fueron del 100% y la mezcla se dejó en el consolidómetro hasta que no registrara cambios volumétricos.
- Si ahora al suelo se le agrega cal, se compacta al 95% pero se le pone una presión de 9.31 kPa, y se deja saturar, la expansión es menor que en el caso anterior.
- La mezcla suelo sal común abate la expansión pero no en las condiciones deseadas, pues compactada al 95% sin sobrecarga disminuye cuando mucho hasta el 16% y con una presión de 6.87 kPa llega al 2%.
- Las pruebas que se hicieron con la mezcla suelo cal-cemento no registraron cambios volumétricos.

IV. CONCLUSIONES

1. El intercambio iónico no se logró en su totalidad porque no se disgregó el material hasta la Malla No. 200 (7.4×10^{-5} m), pues no es práctico hacerlo en el tiempo con el equipo disponible, solo se llegó a disgregar el material hasta la Malla No. 4 (4.76×10^{-3} m), sin embargo para propiciar la reacción química se dejó reposar el material con la humedad necesaria entre uno y tres días, lo que se denominó a corto plazo, y se preparaban las muestras con cal y sumergían en agua durante sesenta días para los ensayos denominados a mediano plazo.
2. En las mezclas suelo-cal se lograba un intercambio iónico y una cementación; en cambio para la mezcla suelo-sal común (cloruro de sodio) se propiciaba un intercambio iónico pobre.
3. Los aditivos usados abatieron la plasticidad de la arcilla expansiva, en el inciso III.A.2 se puede ver que la mezcla 3% de cal y 3% de cemento Portland fue la que dio mejores resultados; la cal también da buenos resultados encontrándose un óptimo entre 4% y 6% y la sal común (cloruro de sodio) fue la que dio los resultados más pobres.

4. Al sumergir la muestra compactada y estabilizada con cal en agua, durante sesenta días no se lavó la cal, sino que la muestra se curó, pudiéndose usar para subrasante, sub-base o base, dependiendo del porcentaje de cal como se muestra en la Figura 2.

La resistencia al esfuerzo cortante tanto en compresión simple unidimensional como en triaxiales rápidas tiende a incrementarse como se muestra en la Figura 5, siendo el porcentaje óptimo de cal el del 6%.

5. La mezcla suelo, 3% de cal y de 1% a 5% de cemento Portland, adquiere valores relativos de soporte adecuados para sub-base o base.
6. El comportamiento de los materiales estabilizados es del tipo de falla frágil a diferencia del comportamiento plástico que tiene el material sin aditivo, según se muestra en la Figura 3.
7. Respecto a la expansión que se produce, al saturar la muestra con distintos aditivos se puede afirmar, para este caso, que la cal la minimiza y que si se le aplica una presión de 9.81 kPa se tienen expansiones todavía más pequeñas, como se observa en la Figura 6, la mezcla suelo-cal-cemento no tiene cambios volumétricos y la mezcla suelo-sal común no se recomienda para evitar la expansión.
8. Se puede concluir que los resultados obtenidos en el Laboratorio, fundamentan el uso de arcillas expansivas con aditivos como la cal, y el cemento - pues para este caso, produce materiales de calidad y resistencia semejantes a los que tradicionalmente se usan para subrasantes, sub-bases y bases para pavimentos; respecto a la sal común (cloruro de sodio) sólo se recomienda para abatir la plasticidad. Por otra parte, con el fin de evitar los cambios de humedad se sugiere que la sección estructural siempre se arrope.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

1. Fernández C. Mejoramiento y Estabilización de Suelos. Limusa México 1982.
2. Rico A., del Castillo H. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen 2 Limusa. México 1982.
3. Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento de Suelos de Granulometría Fina. G. Morel. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées No. 133. 1984.

NOTA: Por este conducto quiero dejar constancia del apoyo que me brindó tanto la Universidad Nacional Autónoma de México como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; al mismo tiempo quiero agradecer a todas aquellas personas que aportaron ideas y puntos de vista, a todos aquellos alumnos que contribuyeron a realizar las pruebas y a todas aquellas personas que hicieron posible la presentación de este trabajo.

NUEVOS MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA PAVIMENTOS

G. García Altamirano

Instituto Tecnológico de la Construcción, A. C., y Facultad de Ingeniería, UNAM

RESUMEN Los materiales adecuados para construir sub-bases y bases, como las gravas y arenas, cada día son más costosos por su escasez, grandes distancias de acarreo o proceso de obtención, lo que incide en el costo de los pavimentos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de otras alternativas de igual o mejor calidad y resistencia a menor costo, como son: estabilizar arcillas activas de la ciudad de Querétaro con sal común, cloruro de calcio, cal y cemento tipo Portland preestabilizadas con cal; usar arenas limosas de la zona metropolitana de la Ciudad de México estabilizadas con cemento tipo Portland y preestabilizadas con cal. Se obtienen sus porcentajes óptimos y se aclara que algunas alternativas cumplen ampliamente con las normas de calidad y en otros casos solo se abate la plasticidad, ofreciendo otras alternativas para diseñar y construir pavimentos.

1. INTRODUCCION

En la República Mexicana aparecen zonas potenciales de arcillas activas o expansivas que, sujetas a cambios en el contenido de agua, producen cambios volumétricos y cambios en su resistencia al esfuerzo cortante, lo cual propicia que se desechen estos materiales, pues emplearlos en su forma natural para pavimentos provocaría fallas en su estructura. También es un hecho que los recursos naturales, como las gravas, cada día son más difíciles de encontrar pues muchos bancos, debido a la infraestructura que se ha construido, se han agotado y las distancias de acarreo son cada vez más grandes. Por último, se tienen regiones, como en Tamaulipas y en Veracruz, donde no se encuentran bancos de gravas, teniendo que transportarlas desde puntos muy lejanos.

Lo anterior incide en el costo de los pavimentos, la información que se tiene al respecto indica que se han abatido los costos de construcción de pavimentos empleando arcillas activas y/o limos arenosos o arenas limosas agregándoles aditivos, con el fin de producir materiales de igual o mejor calidad y resistencia que los utilizados usualmente, pero teniendo siempre cuidado de que el costo de explotación y producción sea menor; también se recomienda que en cada región se realicen las pruebas de laboratorio correspondientes, pues no es aconsejable extrapolar los resultados obtenidos.

Este trabajo tiene por objeto mostrar los resultados de la investigación práctica, en el laboratorio, del tratamiento de los siguientes materiales: arcilla activa de la ciudad de Querétaro estabilizada con cloruro de sodio (llamado en lo sucesivo sal), cloruro de calcio, cal a corto plazo e inmersas las

muestras así preparadas en agua a mediano plazo, cemento tipo Portland (llamado en lo sucesivo cemento), preestabilizada con cal; arenas limosas de bancos potenciales de la zona metropolitana de la Ciudad de México, estabilizadas con cemento tipo Portland (llamado en lo sucesivo cemento), previa estabilización con cal.

Con el fin de conocer la evolución que tienen sus propiedades mecánicas de calidad, resistencia y deformación, para poder determinar, en el laboratorio, si cumplen con las normas para emplearse en las diferentes capas que constituyen la sección estructural de un pavimento, es decir, producir materiales de mejor calidad y ofrecer al ingeniero otras alternativas de proyecto y construcción de pavimentos, lo que redundará en una mejor administración de los recursos que ofrece la naturaleza.

Algunas de estas alternativas ya se han construido en forma aislada en la República Mexicana y no se ha sistematizado la información ni se ha establecido un modelo como el que se presenta en el cuerpo del presente trabajo.

2. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Para conocer cómo evolucionan las propiedades de calidad y resistencia de los materiales, se seleccionaron, para las arcillas activas, las de la Ciudad Industrial de Querétaro y, para las arenas limosas, las del Banco San Isidro, ubicado en el Km 4+000, aproximadamente, del tramo Los Reyes-Santa Bárbara, con origen en Los Reyes, Estado de México. La selección fue en función del volumen de material, pero se podían haber seleccionado otros sitios.

En el laboratorio el material se disgre

hasta que pasara la malla No. 4, 4.7×10^{-3} m, porque a ese tamaño nominal es factible, en la obra, después de secar los materiales, disgregarlos en plataforma con arado; no se llevó la disgregación hasta el tamaño de las partículas porque el proceso en el campo saldría muy costoso; de esta manera en ambos materiales quedaron grumos y/o partículas del material, por lo que en el caso de las arcillas activas no se propicia el intercambio iónico total.

Los tipos de aditivos, porcentajes y condiciones de prueba se describen en las tablas 1 y 2.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Propiedades índice

Para la arcilla activa los resultados aparecen en la fig 1. De su análisis se puede afirmar que:

- (i) Con todos los aditivos empleados se abate la plasticidad.
- (ii) Las mezclas que dieron mejores resultados fueron, por orden de efectividad, las siguientes:
 - las del 3% de cal con porcentajes del 1 al 5% de cemento, y
 - las del 4 al 6% de cal inmersas en agua; sin embargo, o muestran un proceso reversible o después de 60 días de estar sumergidas en agua, aún destruyendo la estructura que habían adquirido, se tenía que disgregar el material hasta que pasara la malla 40 (4×10^{-3} m), no regresaban a su plasticidad original, lo cual indicaba que se había propiciado el intercambio iónico en un cierto porcentaje.

La arena limosa mostró que al realizar la mezcla y agregarle el agua correspondiente, el material se plastifica, aunque posteriormente se forman grumos angulosos, pues al hacer la granulometría y aún lavando el material el grumo no se disgregó, ya que en estado natural el 49% pasaba la malla No. 200 (76×10^{-6} m) y con 7% de cal y 3% de cemento sólo pasó la malla No. 200 el 16% y la curva granulométrica tiene una mejor graduación.

3.2 Resistencia

Para medir la evolución que tiene la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales se empleó el valor relativo de soporte estándar, muy usado en la tecnología de pavimentos, así como la prueba de compresión unidimensional no confinada y los ensayos de la prueba triaxial rápida, no consolidada, no drenada.

3.2.1 El valor relativo de soporte evolucionó de la manera indicada en las tablas 3 y 4.

Para el caso de la arcilla activa estabilizada con cal, las muestras que se sumergieron en agua durante 7, 14, 28 y 60 días mostraron que el material estabilizado se cura con el tiempo, como se muestra en la fig 2, lo único que se observó al sacar el molde porter del agua fue que presentaba una pequeña nata de 3×10^{-3} m de espesor en las partes superior e inferior de los moldes.

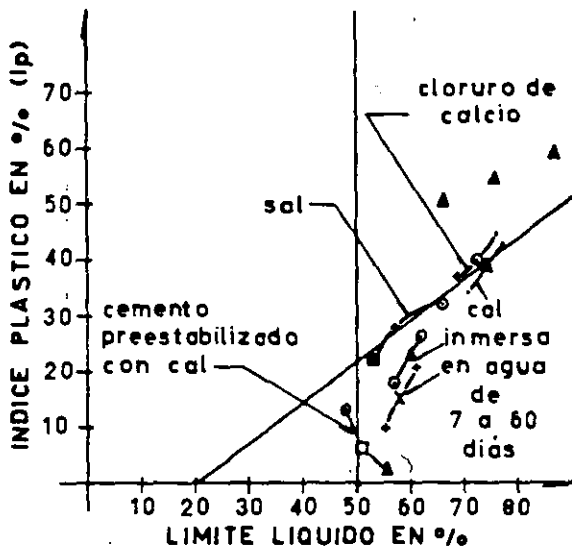
Los valores relativos de soporte y la expansión lineal que recomiendan las normas mexicanas para que los materiales se usen en subbases y bases para pavimentos de carreteras de primer orden los cumplen ampliamente las alternativas 3 a 5, 7, 8, 11, así como las 15 a 20, la decisión de cuál emplear será objeto de un estudio económico.

Tabla 1. Aditivos y porcentajes con los que se estabilizó la arcilla activa

| Porcentaje de compactación | Aditivo | Porcentaje en peso de suelo seco | Observaciones |
|----------------------------|-------------------|----------------------------------|---|
| 90 | cal | 2 a 10 | Preparación mezcla: un día |
| 95 | cal | 4 a 6 | Inmerso en agua por 7, 14, 28 y 60 días |
| 95 | sal | 2 a 10 | Preparación mezcla: un día |
| 90 | cloruro de calcio | 2 a 6 | Preparación mezcla: un día |
| 90 | cal y cemento | 4 a 8 de cemento | Pretratamiento con 3% de cal y un tiempo de preparación de la mezcla de tres días |

Tabla 2. Aditivos y porcentajes con los que se estabilizó la arena limosa

| Porcentaje de compactación | Aditivo | Porcentaje en peso de suelo seco | Observaciones |
|----------------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 95 | cal | 3 a 7 | Preparación mezcla: un día |
| 95 | cal y cemento | 3 de cemento | Preestabilizado con 3, 5 y 7% de cal |



Nomenclatura

- Δ sin aditivos
- 1% de aditivo
- 2% de aditivo
- 3% de aditivo
- 4% de aditivo
- ▲ 5% de aditivo
- + 6% de aditivo
- x 8% de aditivo
- 10% de aditivo

Fig. 1 Evolución de la plasticidad de la arcilla activa

3.2.2 La resistencia a la compresión simple se hizo en los casos en que los materiales se habían estabilizado con cal y/o cemento, porque fueron los que incrementaron su resistencia; los resultados se muestran en las tablas 5 y 6.

El análisis de la tabla 5 indica que la resistencia a la compresión unidimensional de la arcilla activa con aditivos aumenta, excepto para el 4% de cal con tiempo de preparación de la muestra de 1 día, y en el caso de estar sumergida la mezcla suelo-cal en agua, ésta aumenta con el tiempo de inmersión. También se puede afirmar que la mezcla suelo-cal-cemento da mayor resistencia a la compresión unidimensional que la mezcla suelo-cal.

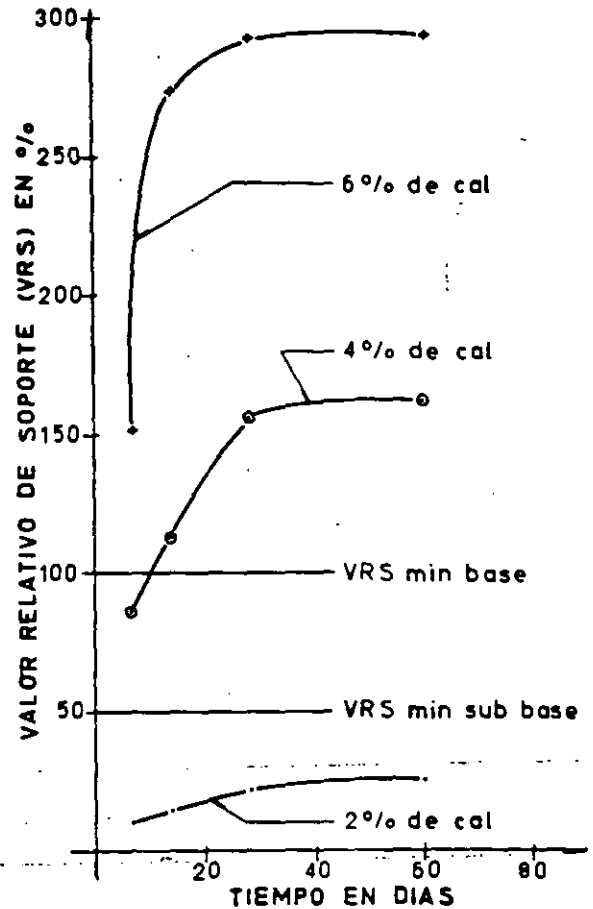


Fig. 2 Evolución del VRS con el tiempo

Los resultados de la tabla 6 indican que la resistencia a la compresión unidimensional no confinada (indicada por compresión simple) se incrementa con la cal y todavía más al hacer la mezcla suelo-cal-cemento.

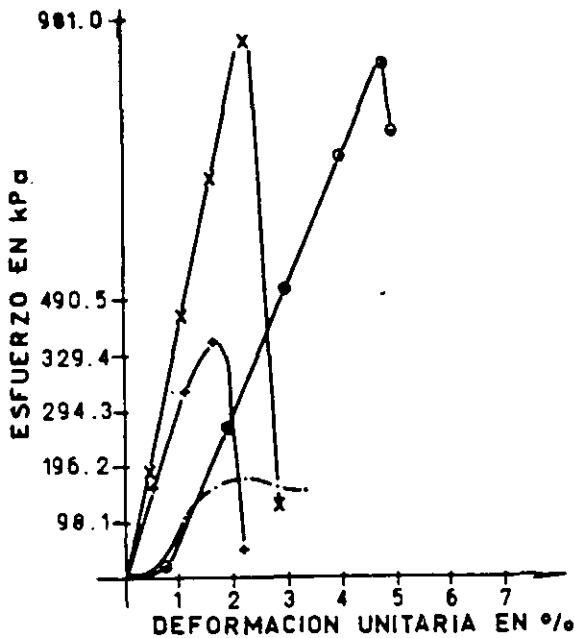
Sin embargo, a mayor resistencia, como se observa en la fig 3, el comportamiento del material cambia de una falla plástica a una frágil, es decir, el nuevo material llega a la falla con deformaciones muy pequeñas, lo cual se debe considerar en el diseño y construcción de las secciones estructurales.

Tabla 3. Evolución del VRS para la arcilla activa estabilizada con diferentes tipos y porcentajes de aditivos

| Aditivo | Porcentaje en peso de suelo seco | Alternativa No. | VRS, % de expansión | Observaciones |
|-------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|---|
| Sin aditivo | 0 | 1 | 2.1, 38 | Material que debe de-secharse |
| Cal | 2 | 2 | 36 | Tiempo de preparación de la muestra: un día |
| | 4 | 3 | 85, 1.05 | |
| | 6 | 4 | 176, 0.29 | |
| | 8 | 5 | 184, 0.12 | |
| Cal | 2 | 6 | 25, 7.86 | Sumergido el molde porter en agua durante 60 días |
| | 4 | 7 | 161, 0.58 | |
| | 6 | 8 | 294, 0.27 | |
| Cemento | 1 | 9 | 48, 3 | Prestabilizada con 3% de cal |
| | 3 | 10 | 52, 5 | |
| | 5 | 11 | 88, 3 | |
| Sal | 2, 4 6, 8 y 10 | 12 | 2 | No se incrementa la resistencia |
| Cloruro de Calcio | 2, 4 y 6 | 13 | 2.3 a 2.9 | No se incrementa la resistencia |

Tabla 4. Evolución del VRS para la arena limosa con diferentes tipos y porcentajes de aditivos

| Aditivo | Porcentaje en peso de suelo seco | Alternativa No. | VRS, % de expansión | Observaciones |
|-------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|--|
| Sin aditivo | 0 | 14 | 54, 0.5 | Puede emplearse para subrasante y/o sub-base |
| Cal | 3 | 15 | 97, 0.2 | Tiempo de preparación de la muestra: un día |
| | 5 | 16 | 125, 0.1 | |
| | 7 | 17 | 137, 0.1 | |
| Cemento | 3 | 18 | 173, 0.1 | Prestabilización con 3% de cal |
| | 3 | 19 | 188, 0.8 | Prestabilización con 5% de cal |
| | 3 | 20 | 234, 0.1 | Prestabilización con 7% de cal |



Nomenclatura

- arcilla activa sin aditivo, compactada al 95%
- arcilla activa con 3% de cal y 3% de cemento, compactada al 90%
- + arcilla activa con 4% de cal y 60 días de inmersión en agua, compactada al 95%
- x arcilla activa con 6% de cal y 60 días de inmersión en agua, compactada al 95%

Fig. 3 Evolución de la resistencia a la compresión unidimensional no confinada con aditivos

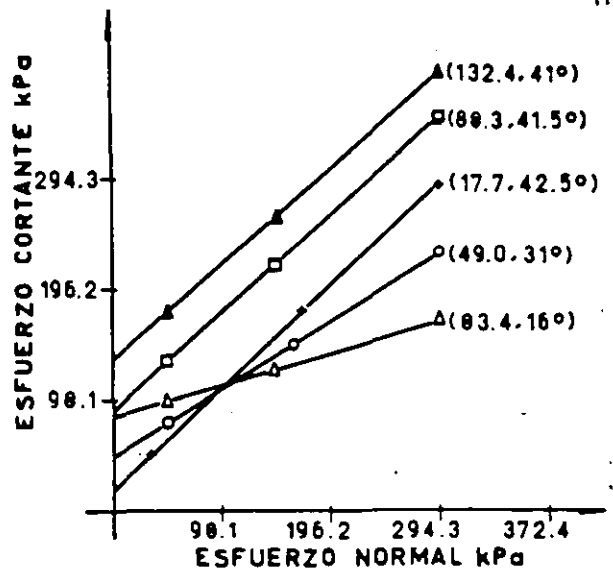
3.2.3 Los ensayos de pruebas triaxiales rápidas se hicieron para conocer cuál era la evolución real de la resistencia al esfuerzo cortante, los resultados se muestran en las figs 4 y 5.

El análisis de las envolventes de falla se puede afirmar, para este caso, que al mezclar aditivos como cal y/o cemento, el ángulo de fricción interna se incrementa y que las mezclas que dan mejores resultados son las de suelo-cal-cemento.

Del análisis de la fig 5 se puede afirmar, para este caso, que:

- con diferentes porcentajes de cal se incrementa el ángulo de fricción interna de 11.5 a 32°
- al agregársele además de la cal el cemento, aumenta tanto su cohesión aparente como su ángulo de fricción interna, pues la cohesión aparente evoluciona de 61.8 a 122.6 kPa y el ángulo de fricción interna aumenta de 11.5 a 32.8°; la mezcla ha producido un material cuya resistencia al esfuerzo cortante se ha incrementado respecto

a la que tenía sin aditivos. En este caso a las muestras así formadas se les saturó antes de llevarlas a la falla.



Nomenclatura

- (a, b)
 a = cohesión aparente, en kPa
 b = ángulo de fricción interna, en grados
- △ sin aditivos y 95% de compactación
 - con 4% de cal, inmersa en agua durante 60 días y 95% de compactación
 - + con 6% de cal, inmersa en agua durante 60 días y 95% de compactación
 - 3% de cemento, pre-estabilizada con 3% de cal y 90% de compactación
 - ▲ 5% de cemento, pre-estabilizada con 3% de cal y 90% de compactación

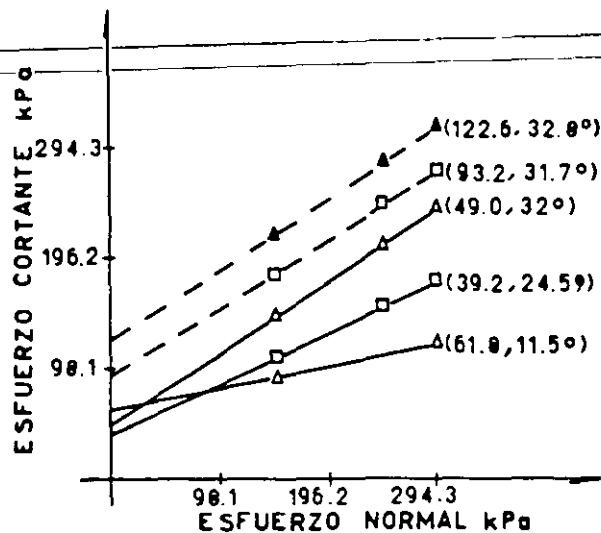
Fig. 4 Resultados de ensayos del tipo triaxial rápido para la arcilla activa

3.3 Deformabilidad

Los cambios volumétricos sólo se midieron en la arcilla activa, pues es la que los presentaba con los cambios en los contenidos de agua; la prueba empleada fue la de expansión libre y los resultados se muestran en la tabla 7.

Del análisis de la tabla 7, para este caso, se puede afirmar lo siguiente:

- sin aditivo a mayor grado de compactación, mayor expansión .
- al agregarle el 2% de cal la expansión decrece de 32.5 a 2% y al incrementar el porcentaje de cal a 8% disminuye todavía más la expansión libre hasta 0.6%



Nomenclatura

- (a, b)
- a = cohesión aparente, en kPa
- b = ángulo de fricción interna, en grados
- △ — △ sin aditivo y 95% de compactación
- — □ 3% de cal y 95% de compactación
- ▲ — ▲ 5% de cal y 95% de compactación
- - - □ 3% de cemento, 3% de cal y 95% de compactación
- ▲ - - ▲ 5% de cemento, 3% de cal y 95% de compactación

Fig. 5 Resultados de ensayos del tipo triaxial rápido para la arena limosa

- con el 10% de sal, se abate la expansión libre de 32.5% a 15%, lo cual para fines de diseño de secciones estructurales de pavimentos no es adecuado.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación práctica que se hizo, en el laboratorio, para mejorar las características de calidad y resistencia de las arcillas activas de Querétaro y las arenas limosas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con aditivos como la cal, el cemento, la sal y el cloruro de calcio conducen, para estos casos, a las siguientes conclusiones:

- a) No se logró el intercambio iónico total para la arcilla activa, pues no se disgregó el material hasta el tamaño de sus partículas, del orden de 10^{-6} m, porque no es costeable hacerlo en el campo, sólo se disgregó el material hasta la malla No. 4 (4.76×10^{-3} m); sin embargo para propiciar la reacción química se dejó reposar el material un día con la humedad necesaria.
- b) Con la cal y el cemento se lograron cementar los grupos de material, formando una estructura de mejor calidad y resistencia tanto en la arcilla activa como para la arena limosa.

c) La plasticidad en la arcilla activa, se abate con todos los aditivos empleados siendo las mezclas más efectivas las de 3% de cal con porcentajes del 1% al 5% de cemento y las de 4% y 6% de cal inmersas en agua durante 60 días.

En la arena limosa en cambio la plasticidad aumenta al agregarles cal y/o cemento.

- d) Para la mezcla arcilla activa-cal, el aditivo no se lava al sumergir en agua la muestra durante 60 días, sino que las muestras se curan, pues incrementan su resistencia con el tiempo de inmersión.
- e) Las normas de calidad y resistencia para que los materiales se usen en la formación de sub-bases y bases las cumplan ampliamente, en cuanto a su resistencia, las siguientes mezclas:

- arcilla activa con 4 a 8% de cal
- arcilla activa con 1 a 5% de cemento, preestabilizadas con cal
- arena limosa con 3 a 7% de cal
- arena limosa con 3% de cemento, preestabilizada con 3% a 7% de cal

f) Las mezclas arcilla activa con sal o cloruro de calcio no incrementaron el valor relativo de soporte estándar (VRS)

g) La resistencia a la compresión unidimensional no confinada para las mezclas con cal y con cemento preestabilizadas con cal para los materiales ensayados aumenta con el incremento del porcentaje de aditivo de la siguiente manera.

- mezcla arcilla activa-cal aumenta hasta en 1000% con 6% de cal
- mezcla arcilla activa-cal aumenta hasta en 1000% con 3% de cal y 1% de cemento
- mezcla arena limosa-cal aumenta hasta en 400% con 5% de cal
- mezcla arena limosa-cemento-cal aumenta hasta en un 500% aproximadamente con 3% de cemento y 7% de cal

También cambia el comportamiento del material pues pasa de una falla plástica, sin aditivo, a una falla frágil con aditivo, lo cual se debe tener en cuenta en el diseño y construcción de la sección estructural.

h) La resistencia en prueba triaxial indica que en los materiales ensayados con cal y/o cemento el ángulo de fricción interna del material se incrementa y las mezclas que dan mejores resultados son las siguientes:

- arcilla activa con cemento preestabilizada con cal
- arena limosa con cemento preestabilizada con cal

Tabla 5. Evolución de la resistencia a la compresión unidimensional para la arcilla activa estabilizada con cal y cemento preestabilizada con cal

| Aditivo | Compactación en % | Resistencia a la compresión simple kPa | Observaciones |
|---------------------------|-------------------|--|---|
| Sin aditivo | 95 | 175.6 | Contenido de agua mayor al óptimo |
| 4% de cal | 95 | 170.6 | Contenido de agua mayor al óptimo. Tiempo de preparación: un día |
| 4% de cal | 95 | 490.4 | Inmersa la muestra durante 60 días en agua |
| 6% de cal | 95 | 1167.0 | Inmersa la muestra durante 60 días en agua |
| 3% de cal y 1% de cemento | 90 | 456.0 | Contenido de agua mayor al óptimo, preparación inmediata |
| 3% de cal y 1% de cemento | 90 | 514.9 | Contenido de agua cercano al óptimo, se deja la muestra en cuarto húmedo durante 24 h |
| 3% de cal y 3% de cemento | 90 | 907.2 | Contenido de agua cercano al óptimo, se deja la muestra en cuarto húmedo durante 24 h |
| 3% de cal y 5% de cemento | 90 | 941.5 | Contenido de agua cercano al óptimo. se deja la muestra en cuarto húmedo durante 24 h |

Tabla 6. Evolución de la resistencia a la compresión unidimensional para la arena limosa estabilizada con cal y con cemento previa estabilización con cal

| Aditivo | Compactación en % | Resistencias a la compresión simple kPa | Observaciones |
|---------------------------|-------------------|---|-------------------------------------|
| Sin aditivo | 95 | 60.8 | Contenido de agua cercano al óptimo |
| 3% de cal | 95 | 89.3 | Contenido de agua cercano al óptimo |
| 5% de cal | 95 | 264.8 | Contenido de agua cercano al óptimo |
| 3% de cal y 3% de cemento | 95 | 190.3 | Contenido de agua cercano al óptimo |
| 5% de cal y 3% de cemento | 95 | 369.9 | Contenido de agua cercano al óptimo |
| 7% de cal y 3% de cemento | 95 | 294.2 | Contenido de agua cercano al óptimo |

Tabla 7. Expansión libre de la arcilla activa con diferentes aditivos

| Aditivo | Compactación en % | Expansión libre en % |
|-------------|-------------------|----------------------|
| Sin aditivo | 90 | 11.5 |
| Sin aditivo | 95 | 32.5 |
| 2% de cal | 95 | 2.0 |
| 4% de cal | 95 | 1.0 |
| 8% de cal | 95 | 0.6 |
| 10% de sal | 95 | 15.0 |

- i) Respecto a la expansión de la arcilla activa, los resultados obtenidos dejando a las mezclas el tiempo necesario para que no haya movimientos y propiciando el 100% de grado de saturación indican que al agregar un pequeño porcentaje de cal (2%) la expansión libre se minimiza. Para la arena limosa no fue necesario medir la expansión libre por tratarse de un material inerte.
- j) En resumen se puede afirmar que los resultados obtenidos en el laboratorio, fundamentan que se puedan tener otras opciones para formar las capas de sub-base y base, distintas a las usadas tra-

dicionalmente y que su empleo debe ser objeto de un estudio económico, tomando en cuenta que los recursos no renovables como las gravas se pueden emplear para otras obras de infraestructura en donde no es posible sustituirlas.

- k) El trabajo presenta un modelo para decidir, en base a las pruebas de laboratorio, si la mezcla realizada cumple con las Normas de Calidad y Resistencia para emplearlas en lugar de las mezclas de arenas, gravas y finos inertes que se usan tradicionalmente para pavimentos de carreteras de primer orden, sin embargo se deben hacer tramos de prueba para observar su comportamiento y verificar en el campo las dificultades que se pueden tener, con el equipo disponible en la República Mexicana, para hacer las mezclas y construir las secciones estructurales.

REFERENCIAS

1. Fernández, C., (1982) Mejoramiento y Estabilización de Suelos, Limusa, pp. 252-255 y 273-289
2. Rico, A., Del Castillo, H. (1982) La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Limusa, Vol. pp. 505-533 y 545
3. G. Morel (1984) Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento de Suelos de Granulometría Fina. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées No. 133

Mejoramiento de suelos para Pavimentos

G. García
Jefe del Área de Investigación del
Instituto Tecnológico de la Construcción.

SINOPSIS

El presente artículo analiza las características de calidad y resistencia de algunos limos arenosos de la Cd. de México, los cuales al agregarles un aditivo como la cal y el cemento Portland producen materiales de igual o mejor calidad que los que se emplean tradicionalmente para formar las capas de sub-base y/o base de un pavimento; pues los materiales inertes de buena calidad como las gravas cada día son más difíciles de obtener en la naturaleza y por lo tanto más costosos.

I. INTRODUCCION

Para apoyar el desarrollo industrial de la República Mexicana se han construido obras de Ingeniería Civil como calzadas, carreteras, construcciones industriales y de edificación principalmente, que han empleado recursos naturales no renovables como las gravas; lo cual ha conducido en algunos casos, como es la Zona Metropolitana de la Cd. de México, a que cada día se tengan que transportar de distancias más lejanas con el consiguiente incremento en su costo, por ejemplo a precios actuales un kilómetro de ampliación de carretera de dos a cuatro carriles tiene un valor del orden de los \$700'000,000.00/km , lo cual nos lleva a la necesidad de producir materiales y técnicas de construcción que abatan estos precios unitarios.

Esta problemática la han enfrentado la mayoría de los países industrializados; la literatura que existe al respecto indica que se ha resuelto este problema usando los limos arenosos, los cuales al agregarles aditivos como la cal y el cemento Portland se transforman en materiales que tienen una calidad igual o mejor que los usados tradicionalmente, es decir aumenta su resistencia y disminuye su deformación; sin embargo, se sugiere en las investigaciones realizadas, que antes de emplearlos en cada región se hagan los análisis de laboratorio correspondientes (Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento Portland de Suelos de Granulometría fina, G.Morel 1984)

Este trabajo abordará la investigación, en el Laboratorio, del tratamiento del material de un banco potencial formado por limos arenosos de la Zona Metropolitana de la Cd. de México con los aditivos mencionados anteriormente, con el fin de producir materiales para emplearse en la construcción de sub-bases y/o bases de tal forma que tengan características de calidad y resistencia iguales o mejores que los materiales empleados tradicionalmente de acuerdo a las Normas de Calidad y Resistencia que para carreteras tiene la República Mexicana y así ofrecerle al Ingeniero otras alternativas de proyecto y construcción de pavimentos

II. TRABAJO DE CAMPO Y DE LABORATORIO

Para conocer como varían las características de calidad y resistencia de los limos arenosos de la Ciudad de México al agregárseles cal y cemento Portland, se seleccionó el banco Sn Isidro ubicado en el Km 4+000, aproximadamente, del tramo Los Reyes - Santa Bárbara - Chalco con origen en Los Reyes, Edo. de México.

El banco Sn Isidro tiene una extensión útil en 1989 de 90 hectáreas con un espesor probable de aprovechamiento del orden de los 5.0 m. lo que da un volumen mayor a 4'000,000 m³, se ha programado tener producción por un lapso de tres años. Este banco es propiedad del ejido de Ixtapaluca y está formado por un cono cinerítico en el que superficialmente aparece una arena limo arcillosa la cual descansa sobre un basalto alterado.

En el laboratorio el material se disgregó hasta que pasara por la malla de 4.76 mm y se mezcló con diferentes porcentajes de aditivos sujetos a diferentes condiciones, como se describe a continuación

| ADITIVO | PORCENTAJE EN PESO DE SUELO SECO | TIEMPO DE PREPARACION DE LA MEZCLA | PORCENTAJE DE COMPACTACION |
|---------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|
| * CAL | 3,5 y 7 | 1 día | 95% |
| ** CAL Y CEMENTO PORTLAND | A los anteriores porcentajes se les agregó el 3% de cemento Portland. | 1 día | 95% |

OBSERVACIONES:

* A las muestras se les dejó el tiempo necesario en agua para que se saturaran antes de probarlas.

** No fué necesario saturarlas pues el cemento Portland con agua se cura.

El material se disgregó hasta la malla N° 4 (4.76 mm) porque se considera que en el campo y en plataforma con un arado hasta ese tamaño se puede hacer la disgregación, se determinaron en estado natural la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo en la prueba Proctor, la mezcla con los aditivos se hizo en estado seco y se fué humedeciendo el material hasta alcanzar la humedad necesaria, la muestra quedó así preparada para realizar las siguientes pruebas:

Pruebas Índice: Granulometría, Límites Líquido y plástico y clasificación SUCS

En resumen de las pruebas índice se puede concluir que al realizar la mezcla y agregarle la humedad correspondiente el material inicialmente se plastifica aunque , posteriormente se forman grumos angulosos y la cementación aumenta lo que da por resultado una mayor resistencia a la matriz así formada que la que puede tener en forma natural como se comprueba en las pruebas de resistencia realizadas.

III.B. Pruebas de compactación

En la fig 4 se puede observar que al agregarsele cal, el peso volumétrico seco máximo disminuye , en cambio la humedad óptima se incrementa en un 10 % ; en cambio al agregarle además 3% de cemento Portland la humedad óptima tiende hacia el valor en estado natural y el peso volumétrico seco máximo se incrementa ligeramente respecto al obtenido con diferentes porcentajes de cal.

Lo anterior se presenta porque al agregarsele cal ésta es más ligera que el material compactado y al formarse grumos de material aglutinados por la cal comercial como cementante el conjunto tiene un menor peso volumétrico y absorbe más agua.

III.C. Pruebas de resistencia

III.C.1. Valor Relativo de Soporte. Este valor compactado al 95% de su peso volumétrico seco máximo correspondiente, como se indica en la fig.3 se incrementa del 54% en estado natural a valores entre 97% y 137% con porcentajes de cal variando entre 3 y 7% y al agregarsele a la mezcla el 3% de cemento Portland aumenta entre 173% y 234 respectivamente; si consideramos que las Normas de Calidad y Resistencia de la República Mexicana y la experiencia que se ha tenido en carreteras indican que materiales que tienen un VRS del 100% son adecuados para usarse en las bases de los pavimentos , podemos concluir que éstos materiales mejorados con cal y/o cemento Portland cumplen ampliamente con las especificaciones.

III.C.2. Prueba de resistencia a la compresión unidimensional no confinada (compresión simple). En la fig. 6 se observa que conforme se incrementa el porcentaje de cal y/o el de cemento Portland la resistencia a la compresión simple aumenta de 6.3 Ton/m² a 36.3 Ton/m² , sin em-

bargo la mezcla cambia de un comportamiento semiplástico a uno semirígido ; lo anterior se traduce en la realidad en que aunque tiene mayor resistencia el material así formado acepta menores deformaciones antes de producirse la falla, por lo que no se debe emplear este proceso en suelos blandos o que estén sujetos a grandes deformaciones, pues se tendría un fracaso rotundo.

III.C.3. Prueba Triaxial Rápida con saturación.- Para determinar cual es la evolución real de la resistencia al esfuerzo cortante se hicieron ensayos triaxiales rápidos pero en el caso del mejoramiento con cal y en estado natural se le dió un gradiente de agua con el fin de saturar los materiales y verificar si se diluía la cal, para el caso del cemento Portland no fué necesario hacerlo pues ya se conoce que al agregarlo como cementante, y añadiéndole agua, con el tiempo, la mezcla se cura , es decir aumenta su resistencia.

En la fig. 7 se puede observar que la mezcla así obtenida con diferentes porcentajes de cal se incrementa el ángulo de fricción interna de 11.5° en estado natural hasta 32° y en algunos casos aumenta la cohesión aparente, en cambio al agregársele además cemento Portland tanto aumenta su cohesión aparente como su ángulo de fricción interna, pues el ángulo de fricción interna sigue incrementándose hasta 32.8° y en este caso definitivamente se incrementa la cohesión, ya de 6.3 Ton/m^2 en estado natural hasta 12.5 Ton/m^2 con estos aditivos, cambiando a una cohesión permanente, es decir se ha formado una mezcla cuya resistencia al esfuerzo cortante se ha incrementado respecto a la que tenía en estado natural, el material se ha mejorado.

IV. COSTOS

Para obtener las resistencias que indican las normas mexicanas de calidad y resistencia de materiales inertes para usarlos en sub-bases y bases se requiere emplear entre el 75% y el 90% de arenas y gravas; por otra parte estos materiales requieren tener cierta granulometría que hace necesario que se apliquen procesos de trituración parcial y en algunos casos total para carreteras de primer orden, pues se necesita que las gravas sean angulares y tengan un porcentaje mínimo de finos, con el fin de obtener el valor relativo de soporte mínimo de 100% , en cambio para el mejoramiento de suelos sólo se utilizarán materiales de buena calidad para

terraceras que son más baratos y sólo se tendrá que incrementar el costo en hacer el mezclado en plataforma y en seco con la cal y el cemento Portland.

Para que la mezcla no sea un fracaso debe realizarse en época de estiaje.

V. CONCLUSIONES

De los resultados de la investigación práctica de laboratorio que se hizo para mejorar los suelos se puede concluir lo siguiente:

1. Al agregarse cal comercial y cemento Portland como aditivos a los limos arenosos de un banco potencial de la Zona Metropolitana de la Cd. de México, se forman grumos que actúan como partículas angulosas, se tiene un menor porcentaje de finos y existe una mejor graduación de la mezcla así formada.

2. Con los aditivos el peso volumétrico seco máximo disminuye debido a que la cal es más ligera que el material natural.

3. La mezcla compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo incrementa su resistencia al esfuerzo cortante como se indica a continuación:

* El valor relativo de soporte se incrementó del 54% en estado natural a valores entre 97% y 137% con porcentajes de cal variando entre 3 y 7% y todavía aumentó con el 3% de cemento Portland a valores variables entre 173 y 234% respectivamente. Lo anterior indica que el material así formado satisface ampliamente las Normas de Calidad y Resistencia de la República Mexicana para usarlo en la construcción de sub-bases y bases para pavimentos de carreteras y aeropuertos.

* La resistencia a la compresión simple se incrementó de 6.3 ton/m² compactado el material en estado natural a más de 30 ton/m² con los aditivos, es decir aumenta del orden del 500% sin embargo el material cambia de un comportamiento semiplástico a uno semirígido, una cosa semejante sucede con la resistencia al esfuerzo cortante obtenida en la prueba triaxial rápida, pero previa saturación, pues se incrementa el ángulo de fricción interna y la cohesión aparente de la siguiente manera :

el ángulo de fricción interna varía de 11.5° en estado natural hasta 32.8° con ambos aditivos

la cohesión aparente se incrementa de 6.3 hasta 12.5 Ton/m² con la cal y el cemento Portland convirtiéndose en una cohesión real que aumenta conforme se cura la muestra ; sin embargo es conveniente aclarar que el material compactado pasa de un comportamiento semiplástico en estado natural a uno semirígido con aditivos.

4. En resumen se puede afirmar que los resultados obtenidos en el laboratorio fundamentan ampliamente que si se logra un mejor comportamiento mecánico de los materiales limo arenosos al mezclarlos con cal y cemento Portland, obteniéndose materiales que cumplen ampliamente con los requisitos para emplearlos en la construcción de sub-bases y bases para carreteras y aeropistas. También los resultados indican que las mezclas recomendadas son aquellas que contengan entre el 3% y el 5% de cal con 3% de cemento Portland, sin embargo no se recomienda colocarlos sobre materiales deformables, pues el comportamiento de los materiales mejorados es semirígido.

5. Para lograr la mezcla en el campo se debe hacer en plataforma, previamente se deberá haber disgregado el material con un arado hasta que los grumos tengan un diámetro nominal de 0.476 cm , lo que se puede lograr con éste tipo de equipo, posteriormente en seco se hará el mezclado con cal y el cemento Portland, lo anterior obliga a que éste proceso sólo se puede realizar en época de estiaje, pues en época de lluvias sería un fracaso.

6. Respecto al costo, se considera que los materiales tradicionalmente usados para la construcción de sub-bases y bases se deben triturar por lo menos parcialmente y que para ello se requiere de la instalación y uso de una planta trituradora en cambio para el mejoramiento de suelos sólo se necesita en una plataforma, hacer la mezcla como se indicó en el inciso anterior ,lo que se considera que reduce el costo considerablemente.

7. Por otra parte los recursos naturales no renovables como las gravas se pueden emplear para otras obras de infraestructura, en las que son indispensables y de esta manera administraremos más adecuadamente estos recursos.

Es conveniente aclarar que antes de tomar la decisión de emplear la alternativa propuesta en este artículo, se propone observar el comportamiento de tramos de prueba, puesto que en nuestro país aunque existen casos

aislados en los que se han empleado estas soluciones no se les ha llevado un seguimiento para conocer su comportamiento real.

Comentario final. El presente trabajo intenta presentar un sistema para decidir en base a las pruebas de laboratorio si la mezcla mejorada cumple ampliamente con las normas de calidad y resistencia para emplearlas en lugar de los materiales tradicionalmente usados para la construcción de sub-bases y bases para pavimentos, el cual puede ser de gran utilidad para los proyectistas y constructores, sobre todo en aquellos lugares en donde no se puedan obtener gravas o éstas se deban traer de distancias muy lejanas, en otras palabras se le presentan al ingeniero otras opciones con el fin de que administre más adecuadamente su naturaleza.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- 1.- Fernández C. Mejoramiento y Estabilización de Suelos. Limusa México 1982
- 2.- Rico A., del Castillo H. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen 2 Limusa. México 1982
- 3.- Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento de Suelos de Granulometría Fina. G.Morel Bulletin de Liaison des Laboratoires des Pons et Chaussées N°. 133 1984

NOTA.-Agradezco a las autoridades del Instituto Tecnológico de la Construcción A.C. el apoyo que me dieron para realizar este trabajo y en especial el del Ing. Rómulo Munguía Salazar Director del I.C.I.C.

Por este conducto también quiero dejar constancia de la labor de todas las personas que aportaron ideas y puntos de vista, así como de los técnicos que realizaron las pruebas y del profesional que estructuró los programas de computadora para el formato de este trabajo.

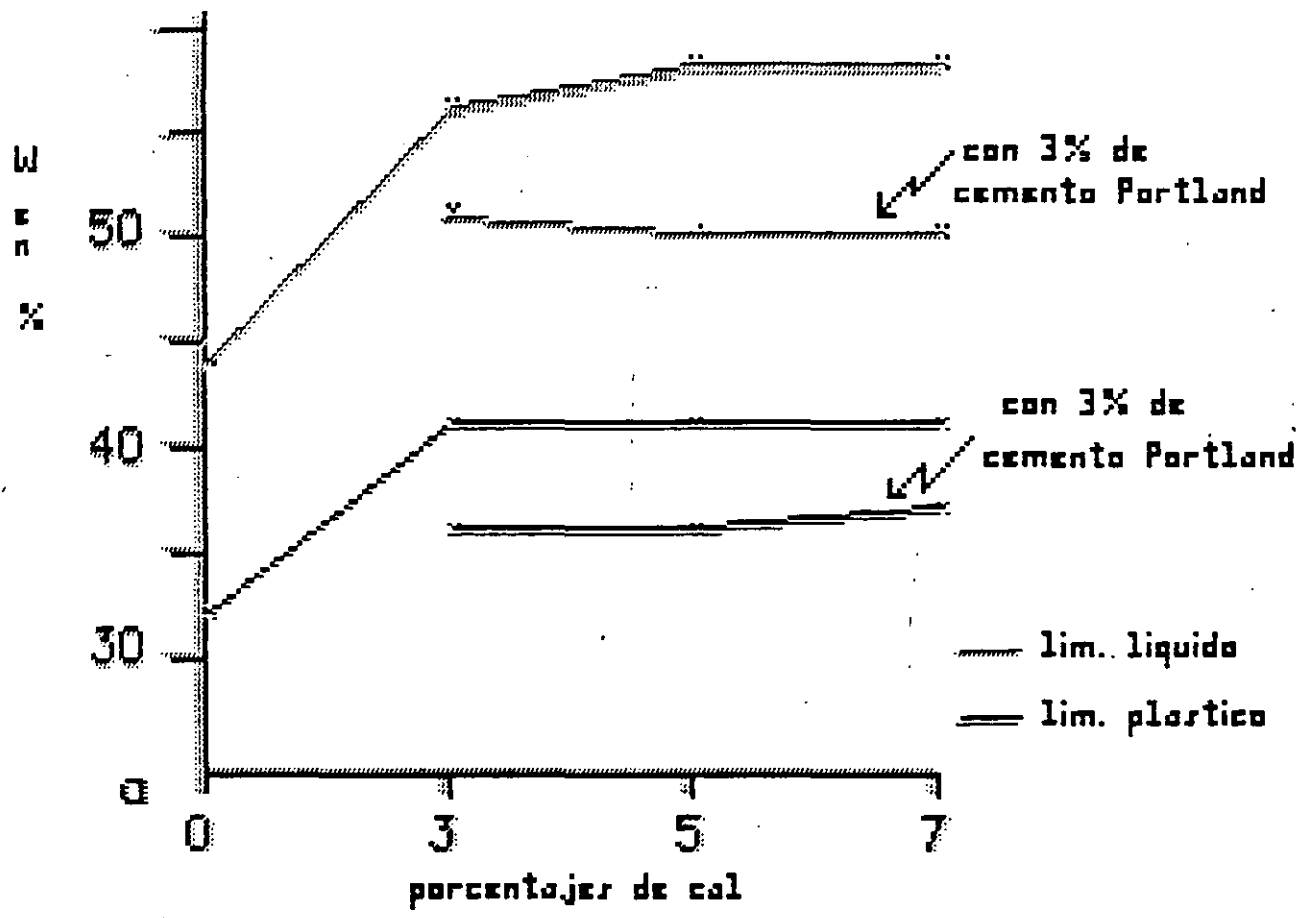


FIG. 3.-Variacion de los limites liquido y plastico

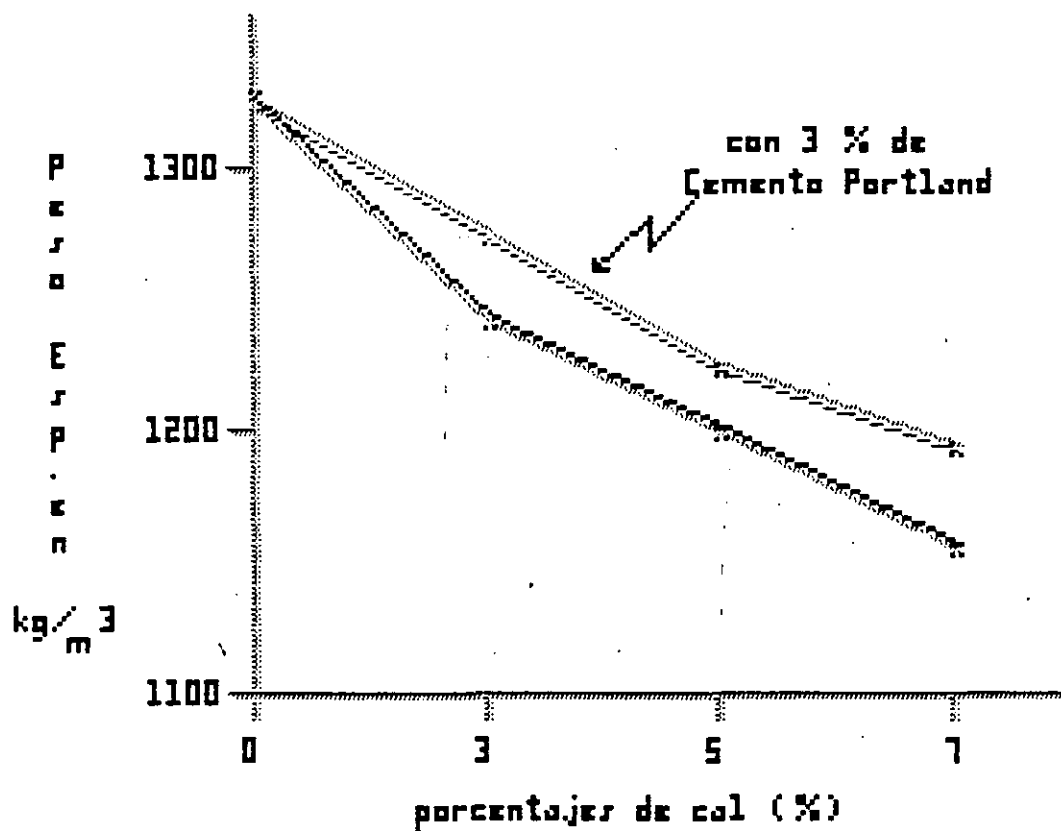


FIG.4.-Variacion del peso volumetrico seco maximo en prueba proctor

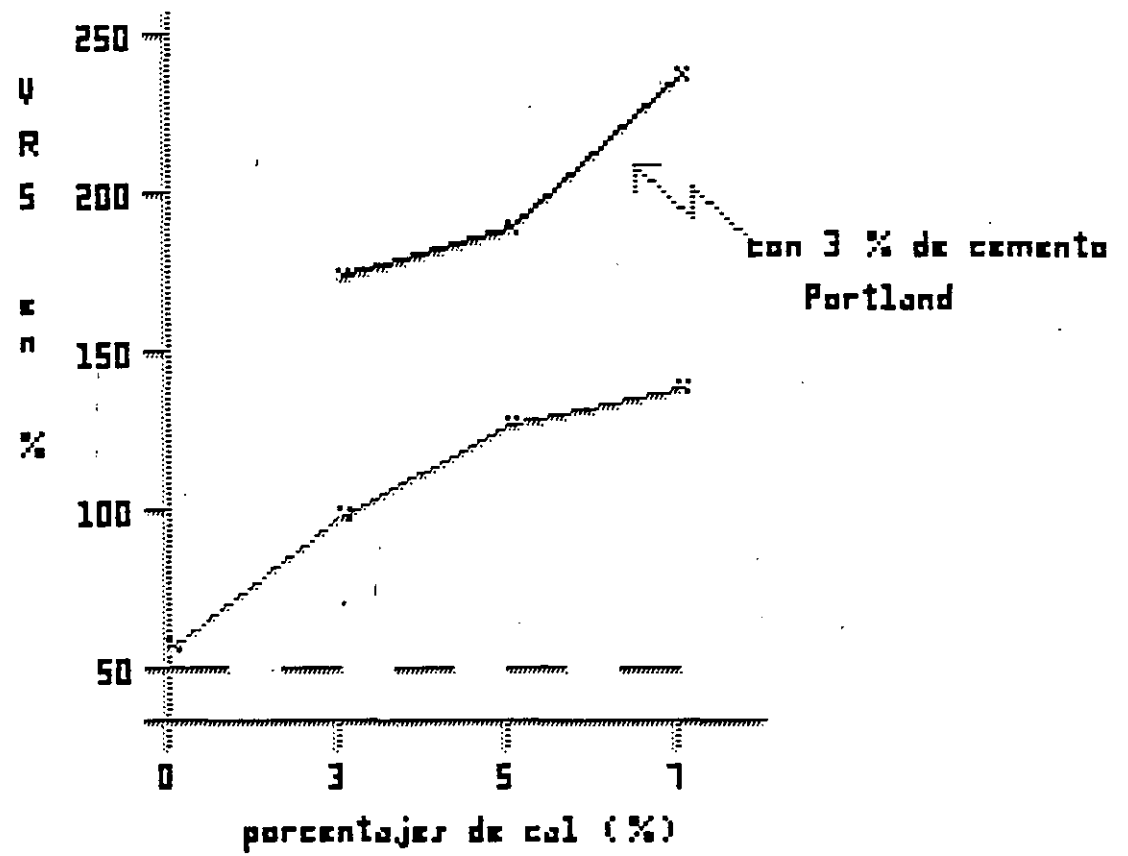


FIG.5.- Evolucion del Valor Relativo de Soporte

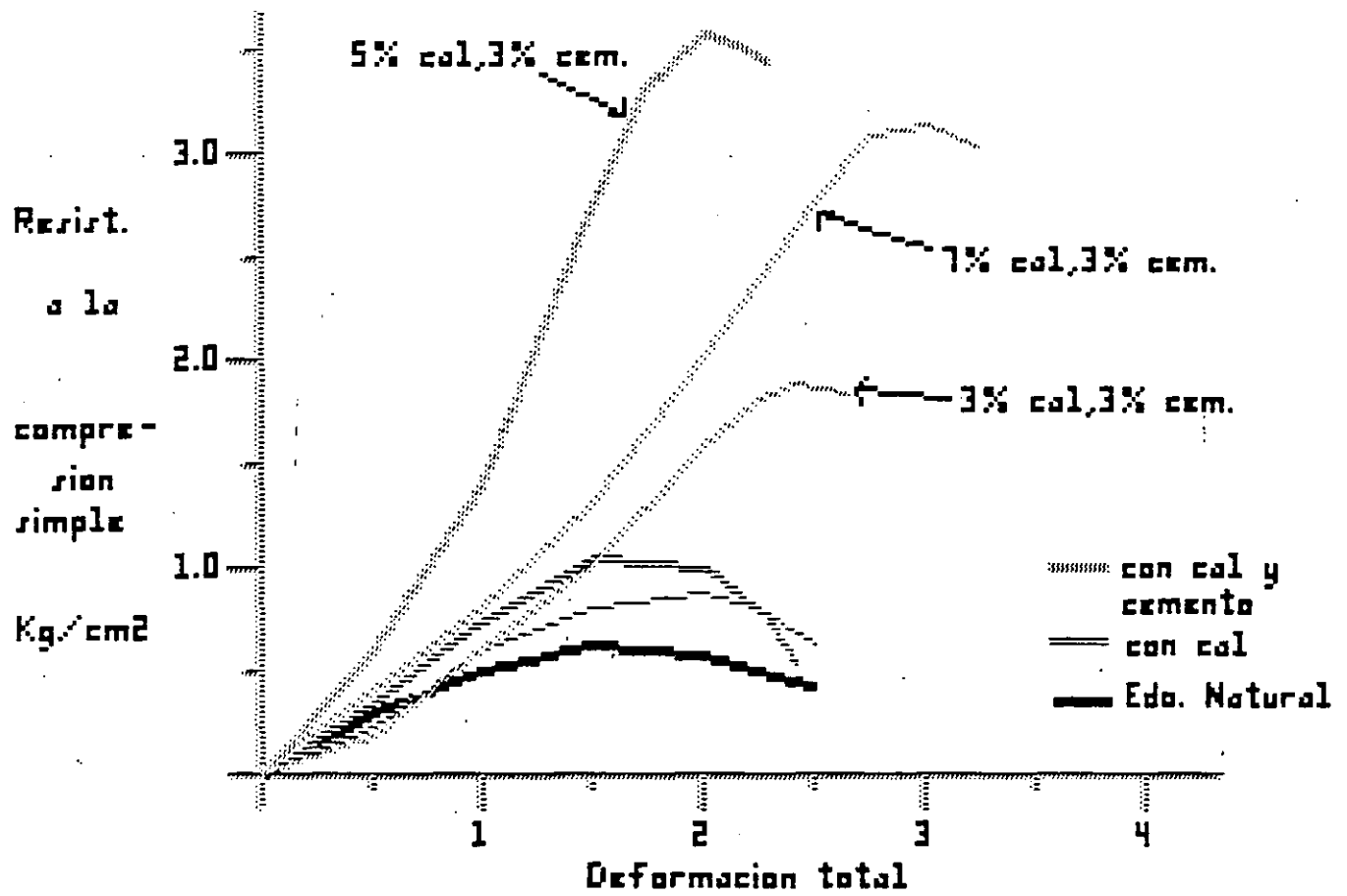


FIG. 6.- Variación de la resistencia a la compresión simple

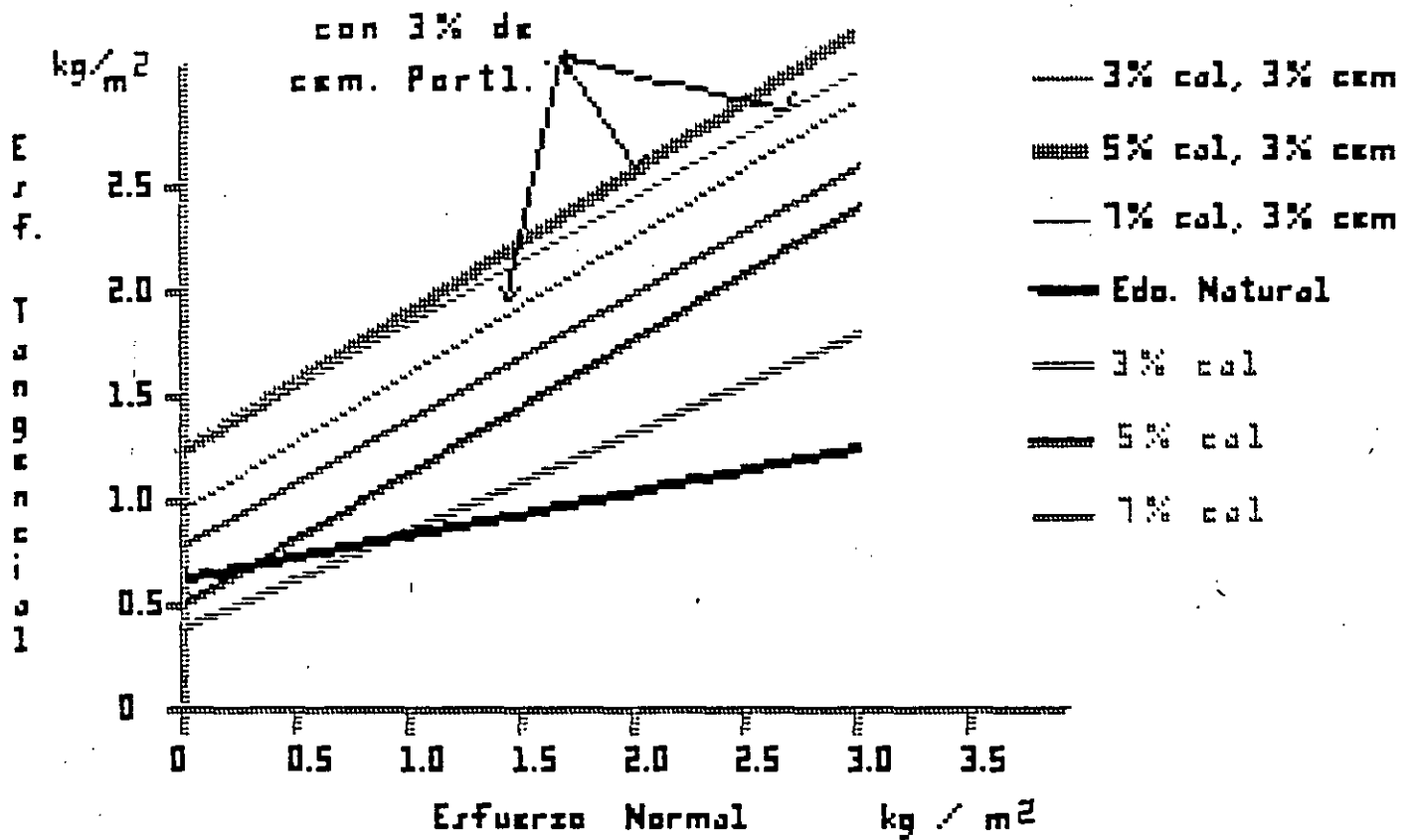


FIG.7.- Resultados de ensayos de la Prueba Triaxial Rapida



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS
PARA AREAS URBANAS

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS PARA AREAS URBANAS

Manuel Zárate Aquino*

El notable incremento de la población en nuestro país, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc., que es necesario satisfacer muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos para ello.

En esta manera es frecuente observar el crecimiento de áreas urbanas en las que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc., problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente porque demandan la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel municipal, o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda, con el consecuente rezago, que año tras año se incrementa, hasta conducir a situaciones verdaderamente críticas.

En el renglón de los servicios municipales, destaca el relativo a la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en sí reviste desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación y mantenimiento.

* Ingeniero Civil, Geosol, S.A.

Este último aspecto, el relativo a la conservación y mantenimiento de los pavimentos de una población, debe considerarse trascendental en el desarrollo de una área urbana, ya que para su ejecución puede requerir inversiones tan importantes que ahogue económicamente el municipio, restringiendo las inversiones necesarias en otros renglones, o bien, se descuide completamente con los consiguientes problemas que esta decisión trae consigo.

Por lo anterior, se considera fundamental en la planeación y desarrollo de áreas urbanas en general, y en el caso de los pavimentos en particular, la aplicación de técnicas racionales para la planeación y diseño de las diversas obras, así como el empleo de políticas apropiadas de financiamiento y administración de los recursos monetarios.

En lo que se refiere al caso de los pavimentos para áreas urbanas, el establecimiento de tales políticas de financiamiento y administración está íntimamente relacionado con su propio diseño y mantenimiento ya que, como se verá más adelante, tales aspectos constituyen unos de los factores determinantes en la elección del tipo de pavimento.

Los pavimentos urbanos tienen mucho en común con los carreteros, sin embargo los primeros tienen algunas peculiaridades que les dan un carácter especial.

- a) Forman una extensa red en una área relativamente pequeña. En términos generales puede suponerse que por cada kilómetro cuadrado de área urbana existen 20 km de vialidades, y que una ciudad de unos 100 km² de extensión tendrá por lo tanto una red vial del orden de los 2000 km, cifra mayor muchas veces que la red de carreteras de la entidad en que se ubique esa ciudad.

- b) Presentan importantes diferencias de uso, magnitud de cargas, necesidades, etc. La red vial urbana debe satisfacer las demandas de tránsito que le imprimen las necesidades propias de su vida cotidiana. existen zonas fabriles, comerciales, residenciales, etc., que tienen sus características y necesidades propias, las cuales se reflejan en las características de sus vialidades, como geometría, espesor y tipo de pavimento, velocidad de circulación, etc.
- c) Existen limitaciones geométricas importantes. La traza urbana, el concepto urbanístico, arquitectónico y funcional de la ciudad, imponen limitaciones importantes a las vialidades urbanas, como por ejemplo su geometría, nivel de rasante, etc.
- d) La presencia de instalaciones subterráneas dentro de las vialidades constituyen un factor muy importante que debe considerarse en su proyecto. Las vialidades alojan redes de agua potable, drenaje, electricidad, teléfonos, etc, que deben ser respetados por su carácter vital dentro del concepto urbano.
- e) Los pavimentos urbanos están sujetos a la constante calificación del público. A diferencia de las carreteras, en el caso urbano los pavimentos son también utilizados y por lo tanto calificados por los peatones, que juzgan su estado y apariencia. Existen intensas presiones de carácter económico, político y social, que deben ser consideradas en el diseño y conservación de los pavimentos urbanos, tales como su apariencia, comodidad y seguridad, amén de su economía.

Los aspectos anteriores son muy importantes y deben ser tomados en cuenta por el Organismo encargado de la vialidad urbana.

El éxito del pavimento depende de su planeación, diseño y construcción. Son actividades que deben estar ligadas y ser manejadas integralmente en su tecnología para proporcionar pavimentos sobre una base racional.

La tecnología de los pavimentos ha sido tradicionalmente prescriptiva y determinística. Prescriptiva en el sentido de que los diseñadores han establecido límites para factores tales como deflexión, estabilidad, etc., en un intento para evitar la falla prematura, más bien que predecir tipo y grado de falla que pudiera ocurrir y el tiempo en que pudiera presentarse bajo un estado específico de condiciones. Es determinístico en el sentido de que la ecuación o modelos predicen una sola respuesta y no consideran la variación estadística o factores de confianza.

Recientemente ha cambiado el concepto de diseño a estrategia, en donde se define un diseño optimizado, que involucra no sólo la mejor construcción inicial y la sección estructural, sino que también la mejor combinación de materiales, políticas de construcción, políticas de mantenimiento y de refuerzo.

Es así como se ha desarrollado el concepto actualmente conocido como Sistema de Administración de Pavimentos (Pavement Management System), en un afán de obtener los máximos beneficios y racionalizar el uso de los conocimientos y tecnologías disponibles.

Un sistema de administración de pavimentos (SAP) es un instrumento permanente, actualizado, y sistemático para conocer la realidad, identificar y formular objetivos deseables, proponer y analizar alternativas, apoyar la toma de decisiones y evaluar el funcionamiento de las acciones implantadas para actualizar el conocimiento de la situación real. Constituye un proceso que permite organizar, coordinar y controlar todas las actividades que afectan el costo y vida de los pavimentos y su aplicación aumenta la posibilidad de tomar decisiones correctas, al considerar todos los factores relevantes y las alternativas en forma coordinada, haciendo un mejor uso de la tecnología disponible, mediante una correcta coordinación y procesos de retroalimentación. La misión básica del SAP es proporcionar al público un sistema vial seguro y eficiente incluyendo su construcción y conservación perpetua, para obtener la mayor calidad al menor costo.

Para el establecimiento y funcionamiento del SAP es necesario crear una entidad que tenga la capacidad técnica y administrativa para su manejo. Esta entidad debe disponer de un banco de datos en constante actualización, que le permita conocer los costos de construcción, conservación y operación, características del tránsito, de los materiales disponibles, del comportamiento de los pavimentos, etc. Asimismo deberá manejar los aspectos de financiamiento, relación costo-beneficio, etc. De igual manera deberá encargarse de la capacitación del personal técnico y administrativo que tendrá a su cargo la aplicación del SAP y, finalmente el Organismo promoverá la investigación de temas especiales e importantes dentro del ámbito de aplicación del SAP.

Para la aplicación de un SAP existe una metodología cuya estructura general se presenta en la fig 1.

La primera fase consiste en realizar una investigación del estado físico de los pavimentos, incluyendo el aspecto funcional, formando un inventario de todas las vialidades, clasificándolas según su importancia desde el punto de vista del tránsito que soportan y su relación con el contexto urbano. En esta fase es importante analizar las condiciones estructurales y funcionales de los pavimentos, relacionándolas con los requerimientos que a futuro se les solicitarán.

Un aspecto importante es establecer una calificación del estado de los pavimentos desde el punto de vista funcional, la denominada Índice de Servicio Urbano (ISU), y seguir su evolución con respecto al tiempo. En el caso urbano este índice está compuesto por dos factores, que son el Índice de Servicio (IS), derivado del concepto establecido en el Tramo de Prueba AASHO, y el Índice de Apariencia (IA), que toma en cuenta el aspecto estético de los pavimentos desde el punto de vista del usuario, automovilista o peatón.

En general el (ISU) tiene la siguiente expresión:

$$(ISU) = 0.7 (IS) + 0.3 (IA)$$

Además de la forma en que el (ISU) varía a través del tiempo, existen otros indicadores que manifiestan la forma en que los pavimentos se demeritan, como su capacidad estructural, resistencia al derrapamiento, severidad de los deterioros, así como los costos de mantenimiento y operación, que se incrementan con el tiempo, a medida que un pavimento se deteriora y es necesario incrementar los trabajos de mantenimiento, a la vez que aumentan los costos de operación por el mal estado del pavimento, que se traduce en mayor deterioro de las unidades, menores velocidades de circulación, demoras por desvíos y paradas por reparaciones de los pavimentos.

A este respecto conviene mencionar que la velocidad de operación disminuye a medida que el (ISU) decrece, y que investigaciones realizadas en otros países indican que la reducción de la velocidad por este concepto puede traducirse en un incremento en los costos de operación, con cargo al usuario, de 6 a 20 centavos de dólar, por vehículo y kilómetro. Puede verse la importancia de este concepto al aplicarlo a los miles de vehículos que hacen uso diariamente del sistema vial urbano.

Al analizar los conceptos anteriores resultarán evidentes las deficiencias del sistema vial, las que se traducen en la necesidad de rehabilitar los pavimentos actuales y la de construir nuevos pavimentos para expandir la red actual. Estas deficiencias se traducirán en requerimientos para mejorar la estructura, durabilidad, seguridad y comodidad de los pavimentos, así como la geometría de las vialidades para darles la capacidad necesaria, etc. La información y experiencia obtenidos de estos análisis servirán para el proyecto de los nuevos pavimentos requeridos.

El siguiente paso será el de efectuar los análisis económicos que conduzcan, junto con la consideración de otros criterios de decisión, a la asignación de prioridades.

Conviene para ello considerar en primer lugar varias estrategias de rehabilitación de pavimentos actuales o de construcción de nuevos pavimentos, en su caso, teniendo en cuenta sus costos iniciales, de mantenimiento y de operación, disponibilidad de materiales, equipos y tecnología, etc. Será necesario por otra parte considerar la disponibilidad de fondos y su recuperación, beneficios económicos, aspectos de planeación en el crecimiento del área urbana, así como los aspectos sociales y políticos involucrados. De esta manera será posible programar las prioridades, y proceder a su proyec

to y construcción, planeando a continuación su próximo y necesario mantenimiento, para asegurar el uso eficiente de la red y no ocasionar la pérdida de este patrimonio, manteniendo un nivel de servicio homogéneo en la red y dentro de las exigencias de comodidad y seguridad que merece el usuario.

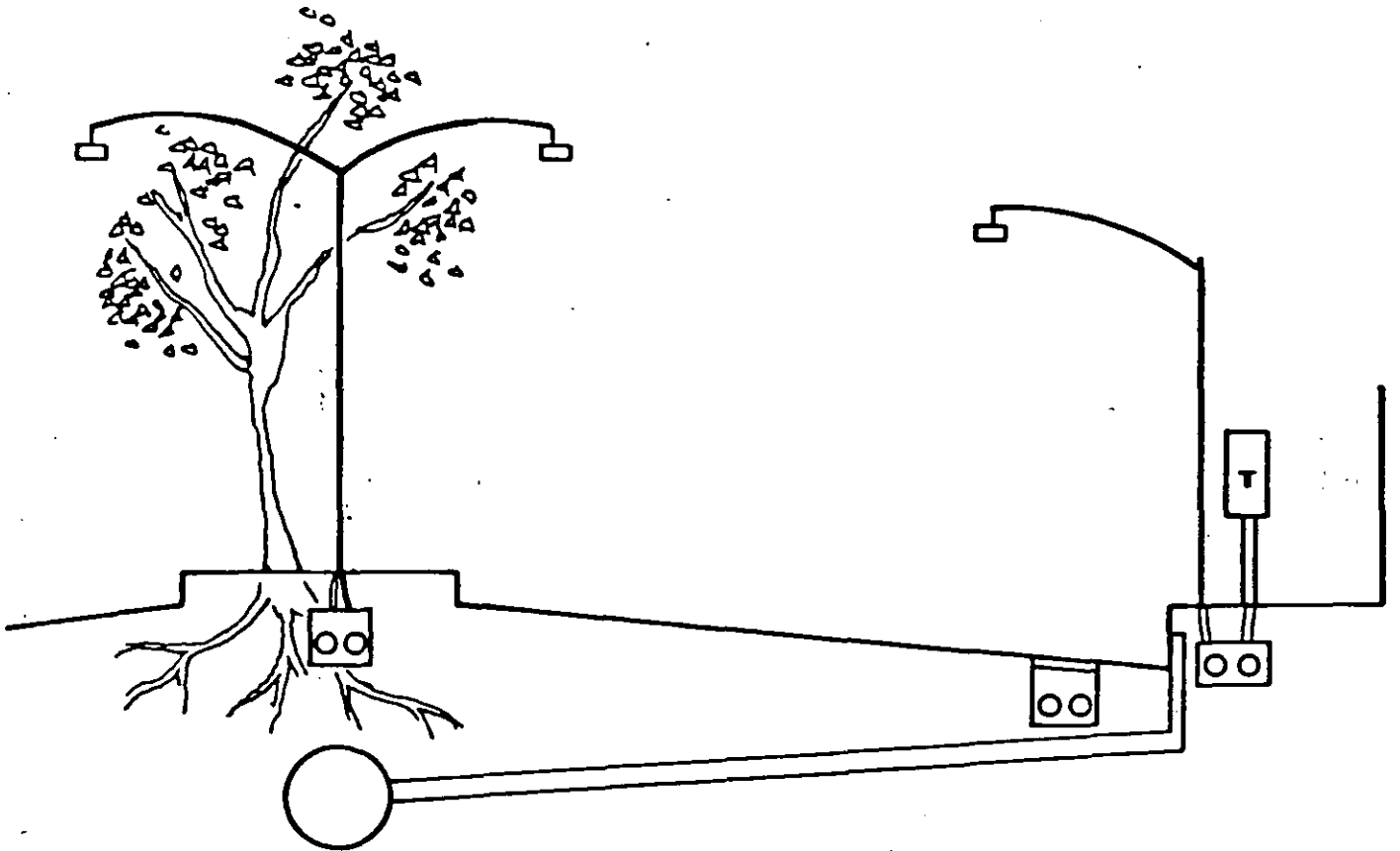
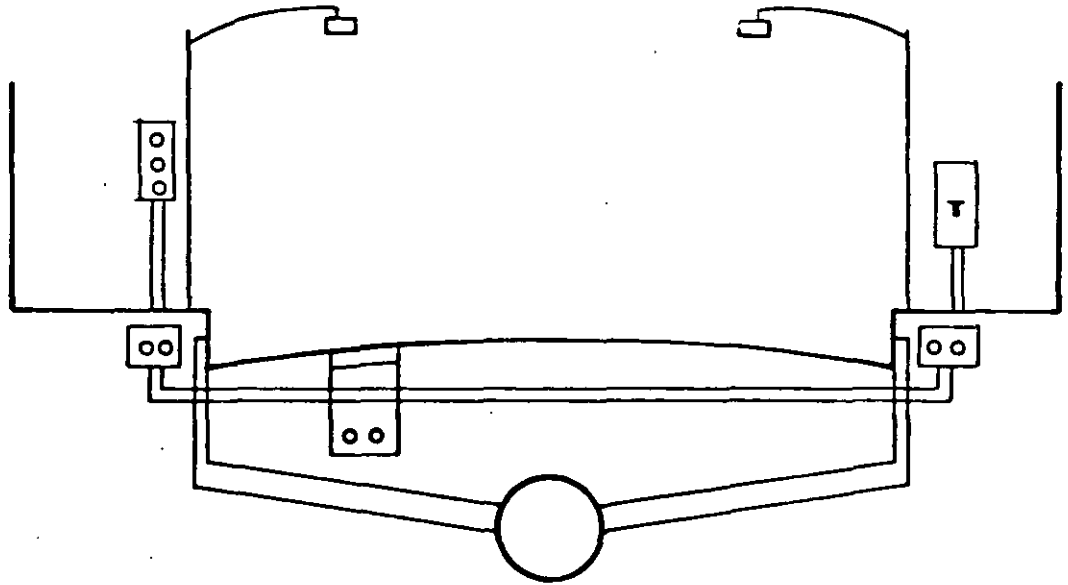
A partir de este momento, la evaluación periódica de la red, la investigación de los aspectos débiles, la actualización de conocimientos, etc., permitirá de retroalimentación del sistema y su permanente aplicación en forma eficiente.

Conclusiones

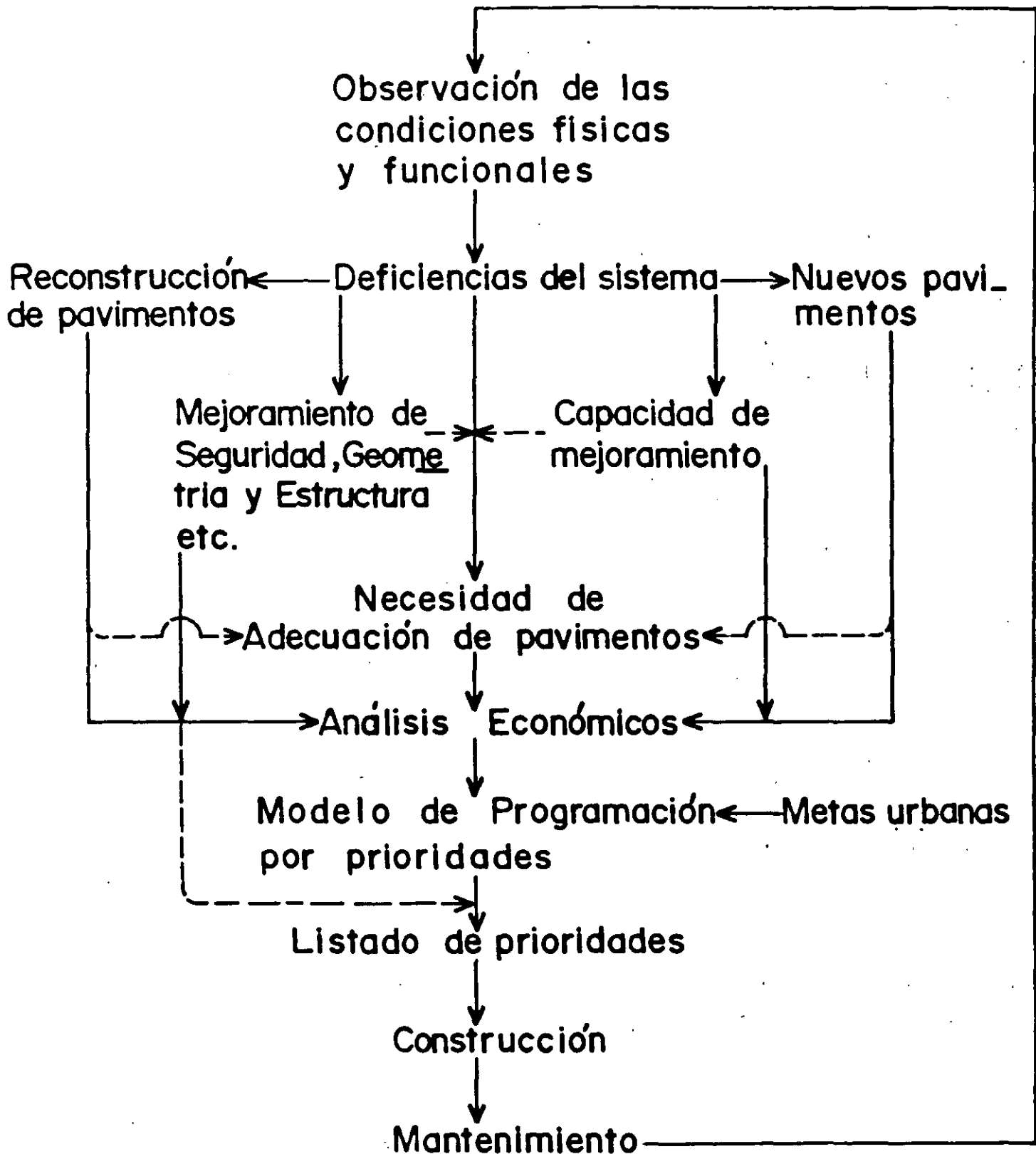
Con respecto al manejo de los pavimentos en áreas urbanas, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

- 1.- Es muy conveniente establecer un Sistema de Administración de Pavimentos Urbanos por las grandes ventajas que éste proporciona, manteniendo la operación de la red vial en condiciones máximas de eficiencia, dentro del marco económico existente.
- 2.- Así mismo debe implantarse un reglamento, que establezca los lineamientos técnicos y legales para el proyecto y construcción de los pavimentos, de tal manera que éstos no se conviertan en una pesada carga para la ciudad.
- 3.- Es necesaria la creación de un Organismo autónomo que se encargue de la permanente aplicación del sistema, así como de la actualización y capacitación del personal técnico y administrativo que lo integre. De igual manera, es importante

la investigación en rubros tales como costos, materiales, -
nuevas técnicas de construcción y mantenimiento, control de
calidad, etc., que permitan darle modernidad y eficiencia -
al sistema.



ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACION DE CARRETERAS URBANAS



A SIGNACION DE PRIORIDADES

- BENEFICIOS ECONOMICOS IDENTIFICABLES (LIBRAMIENTOS)
- PREDETERMINADAS O DE PLANEACION (NUEVAS CALLES)
- ASPECTOS SUBJETIVOS, BENEFICIOS NO CUANTIFICABLES (ASPECTOS POLITICOS)

INDICE DE SERVICIO URBANO (ISU)

CONCEPTO DE SERVICIABILIDAD, COMPOR_TAMIENTO Y APARIENCIA.

$$ISU = 0.7(IS) + 0.3(IA)$$

IS = INDICE DE SERVICIO

IA = INDICE DE APARIENCIA

1.- Clasificación de calles según

Tránsito.

Geometría.

Controles geométricos.

Aspectos económicos y sociopolíticos.

Problemas del subsuelo o terrenos
de cimentación.

2.- Definición del tipo de pavimento

Tránsito.

Vida útil.

Costo. (Inicial, conservación, operación)

Urbanismo, estética.

Aspectos sociopolíticos.

Factibilidad. (Materiales, equipos,
experiencia)

Conservación.

Controles geométricos.


CARACTERISTICAS DEL Nivel de Servicio

- debe ser homogéneo
- es un derecho adquirido
- mayor exigencia de seguridad y comodidad

REQUERIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PMS

- Organización técnica y administrativa.
- Banco de datos.
- Bancos de materiales.
- Investigación.
- Capacitación del personal.

COSTOS

- COSTO INICIAL
 - COSTO DE MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION
 - COSTO DE OPERACION
- 
- VEHICULO
 - DEMORAS
 - ACCIDENTES
 - INCOMODIDAD

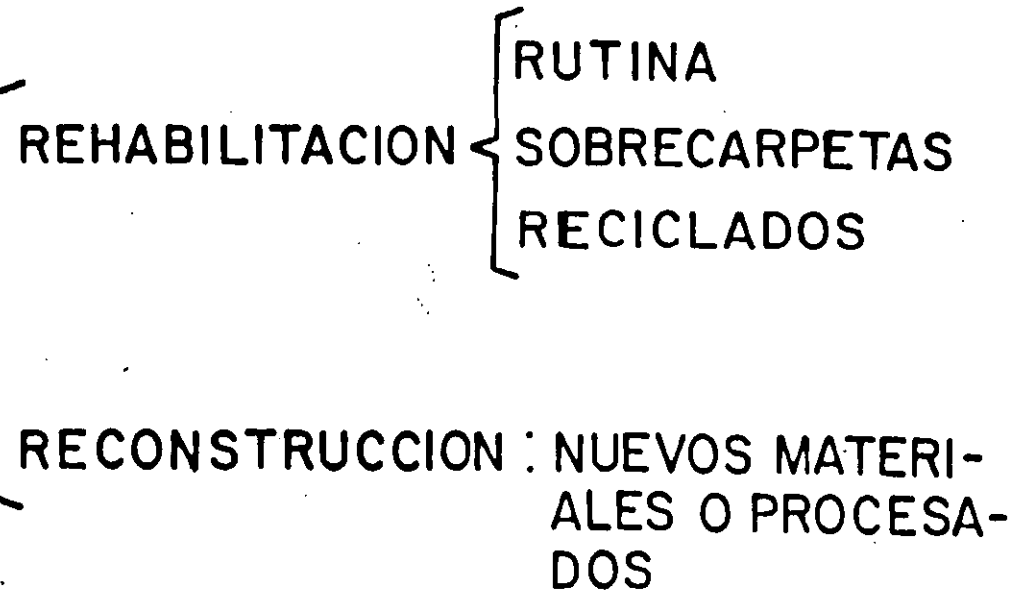
PROGRAMACION DE PRIORIDADES

- COSTO – BENEFICIO
- COSTO ACTUALIZADO
- RESTRICCIONES
- INFLACION E INTERESES
- DISPONIBILIDAD DE FONDOS

ESTRATEGIAS

- PAVIMENTOS NUEVOS: TIPOS DE PAVIMENTO Y SU USO RACIONAL

- PAVIMENTOS ANTIGUOS



INTERESES PRINCIPALES

Usuario (Conductor y peatón)

Características geométricas
fluidez de tránsito

Comodidad de rodamiento
visibilidad nocturna

Resistencia al derrapamiento

Estética o apariencia

Autoridades

- Seguridad
- Resistencia estructural
- Durabilidad
- Apariencia

Concreto Rodillado

Características

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Economía. (15-30 %)
- Goza de las ventajas del suelo cemento y del concreto normal.
- Equipo de construcción sencillo

Usos

Pavimento para tránsito pesado, de baja velocidad, en donde la textura y rugosidad no son muy importantes.

Diseño

Parámetros : Módulo de reacción.
Tránsito.
Módulo de ruptura.

Agregados : Tamaño máximo: 19 mm
Bien graduada.
Contenido en finos. 5-10%
Límite líquido. 20% máx
Índice plástico. 4% máx

Relación agua-cemento : 0.3-0.4 %

Proporcionamiento : Cemento para llenar los
vacíos con pasta.

Puzolanos ó cenizas
volantes : 20 a 40 % CP.

Retardantes e
inclusores de aire

- Equipo :
- Planta mezcladora para suelo cemento, bases estabilizadas ó concreto concreto asfáltico.
 - Camiones volteo.
 - Extendedora.
 - Rodillo vibratorio.(10 T)(4 pasadas)
 - Rodillo neumático. (20 T)
 - Rodillo metálico. (5-10 T)

- Curado:
- Agua (24 hr.)
 - Membrana
 - Telas húmedas

Control de calidad : Contenido de agua.

Granulometría.

Calibración de la planta.

Peso volumétrico compacto.

Cilindros y vigas.

Depresiones y espesor.

Juntas

Frias.- Deben evitarse.

Colocación a 25 y 30m

Frescas.- La colocación del
concreto es antes
de los 90 min.

Contracción.- Aserradas entre
15 y 25 m
durante los las
primeras 24 hr.
deben sellarse.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

PAVIMENTOS URBANOS

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

CLASIFICACION DEL SISTEMA VIAL URBANO.

| | | |
|------------------------|---|--|
| SUBSISTEMA PRIMARIO | AUTOPISTAS | A NIVEL ELEVADAS O VIADUCTOS INFERIORES. |
| | ARTERIAS PRINCIPALES | |
| | ARTERIAS | |
| SECUNDARIO | CALLES COLECTORAS | |
| | CALLES LOCALES | |
| | CICLOPISTAS | |
| | CALLES PEATONALES | |
| AREAS DE TRANSFERENCIA | ESTACIONAMIENTOS | |
| | TERMINALES | URBANAS SUBURBANAS FORANEAS |
| | ESTACIONES | |
| VIAS | VIAS DE TRANVIA | |
| | VIAS DE FERROCARRIL METROPOLITANO (METRO) | |
| | VIAS DE FERROCARRIL SUBURBANO | |
| | VIAS DE FERROCARRIL REGIONAL | |

JERARQUIZACION DEL SISTEMA

VIAL URBANO POR RAZONES

DE:

SEGURIDAD

FUNCIONALIDAD

POLITICAS DE PLANEACION

PROGRAMAS DE TRABAJO

PROGRAMAS DE INVERSION

SUBSISTEMA PRIMARIO

Define la estructura general de la ciudad
Comunica las zonas que forman la ciudad
Maneja elevados volúmenes de tránsito
Facilita largos recorridos
Enlaza la Ciudad con la red de carreteras

SUBSISTEMA SECUNDARIO

Conecta el tránsito general por las propiedades colindantes con el sistema primario.
Desplazamientos cortos
Bajo volumen de tránsito.

AREAS DE TRANSFERENCIA

Se realiza un cambio de medio de transporte.
Se alojan fuera de la vía pública.

VIAS FERREAS

Requieren derecho de vía
Requieren elementos de conexión con otros medios de transporte
Requieren dispositivos de control en las intersecciones con otros subsistemas, o pasos a desnivel.

LAS VIALIDADES CUBREN DEL 25 AL 30% DEL AREA URBANA.

| TIPO DE VIA | ESPACIAMIENTO KM | PORCIENTO DE LA LONGITUD TOTAL. |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| AUTOPISTAS Y ARTERIAS PRINCIPALES | 1.5 | 5 |
| ARTERIAS | 1.5-5.0 | 20 |
| CALLES COLECTORAS | 0.5-1.0 | 15 |
| CALLES LOCALES | 0.1 | <u>60</u> |
| | | 100 |

EJE ACUMULADOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN 10 AÑOS, CARRIL DE DISEÑO.

| | |
|------------|---------------|
| TIPO I.- | $\geq 10^7$ |
| TIPO II.- | $10^6 - 10^7$ |
| TIPO III.- | $< 10^6$ |

PROFUNDIDAD MINIMA DE LAS CEPAS PARA ALOJAR
TUBERIAS DE AGUA POTABLE Y DRENAJE.

| AGUA POTABLE | | DRENAJE | |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| DIAMETRO (m) | PROF. (m) | DIAMETRO (m) | PROF. (m) |
| 0.025 | 0.7 | 0.20 | 1.5 |
| 0.051 | 0.7 | 0.30 | 1.5-2.5 |
| 0.063 | 1.0 | 0.38 | 2.0-3.0 |
| 0.076 | 1.0 | 0.45 | 2.5-3.5 |
| 0.101 | 1.0 | 0.60 | 2.5-3.5 |
| 0.152 | 1.1 | 0.76 | 2.5-3.5 |
| 0.203 | 1.15 | 0.91 | 2.5-3.5 |
| 0.254 | 1.20 | 1.07 | 2.5-3.5 |
| 0.305 | 1.25 | 1.22 | 2.5-4.0 |
| 0.355 | 1.30 | 1.52 | 4.0-6.0 |
| 0.406 | 1.40 | 1.83 | 4.0-8.0 |
| 0.457 | 1.45 | 2.13 | 4.5-8.0 |
| 0.506 | 1.50 | 2.44 | 5.0-9.0 |
| 0.609 | 1.65 | 3.15 | 5.0-7.0 |
| 0.762 | 1.85 | 3.50 | 6.0-8.0 |
| 0.914 | 2.20 | | |

Tabla 8.1 Materiales para pavimentos

| Elemento | Grado de compactación mínimo, en % | Prueba de referencia | Espes. mínimo de capa, en cm | Material y especificación de calidad |
|---|---|---|------------------------------|--|
| 1. Terreno de cimentación | 85, en los 15 cm superiores cuando sea posible | Próctor estándar | 15 cm superiores | Natural escarificado y/o estabilizado |
| 2. Cuerpo del terraplén | 95, en el primer metro de vialidad tipo I | Próctor estándar | - | Producto de cortes o proveniente de banco. Ver 4.01.01.015.A |
| | 90, en el resto de espesor de vialidades tipos I y II | Próctor estándar | | |
| 3. Capa subrasante | 100, en todo el espesor | Próctor estándar | 15 | Proveniente de banco. Ver 4.01.01.015.A |
| 4. Subbase de pavimento flexible | 100, en todo el espesor | Próctor modificada en vialidades tipos I y II y estándar en vialidades tipo III | 15 | Proveniente de banco. Ver 4.01.01.015.B |
| 5. Base de pavimento flexible y subbase de pavimento rígido | 100, en todo el espesor | Próctor modificada | 15 | Proveniente de banco. En pavimentos flexibles puede tratarse con cemento Portland o asfáltico. Ver 4.01.01.015.C |
| 6. Carpeta asfáltica | 95, en todo el espesor | Marshall | 10 | Concreto asfáltico. Ver 4.01.01.015.E |
| 7. Capa de arena para apoyo de adoquín | | - | 5 | Proveniente de banco. Ver 4.01.01.002.B |
| 8. Losas de concreto | | - | - | Concreto hidráulico para pavimento rígido. Ver 4.01.01.015.F |
| 9. Adoquín | | - | - | Adoquines para pavimento. Ver 4.01.01.015.G |

C. CARRILES

FIGURA A - INMEDIATO A LA ACERA, EN EL MISMO SENTIDO DEL TRANSITO

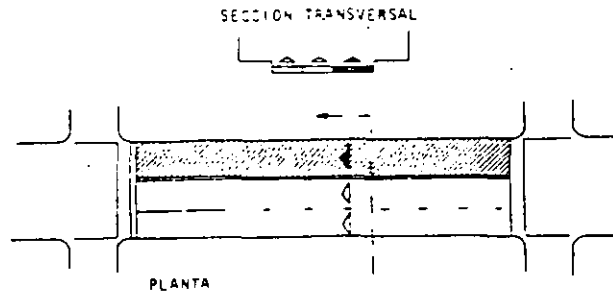


FIGURA B - INMEDIATO A LA ACERA, EN CONTRAFLUJO

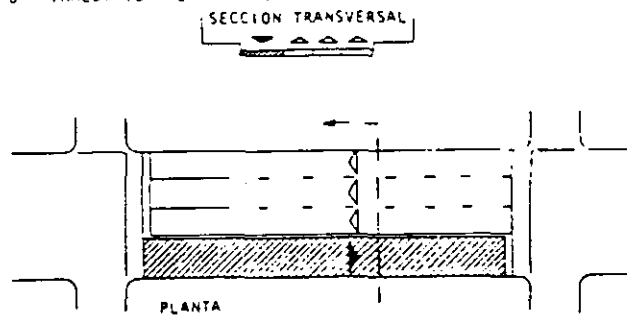
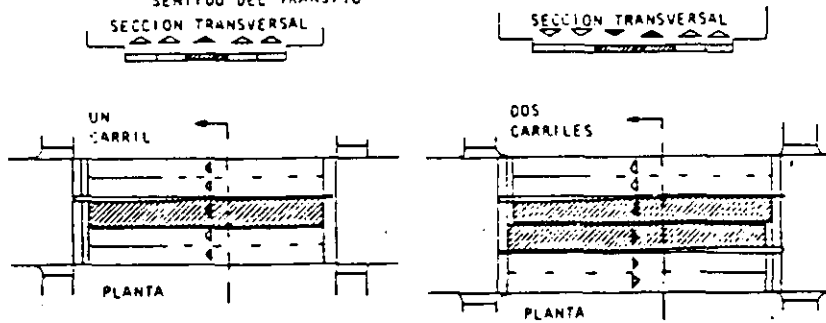
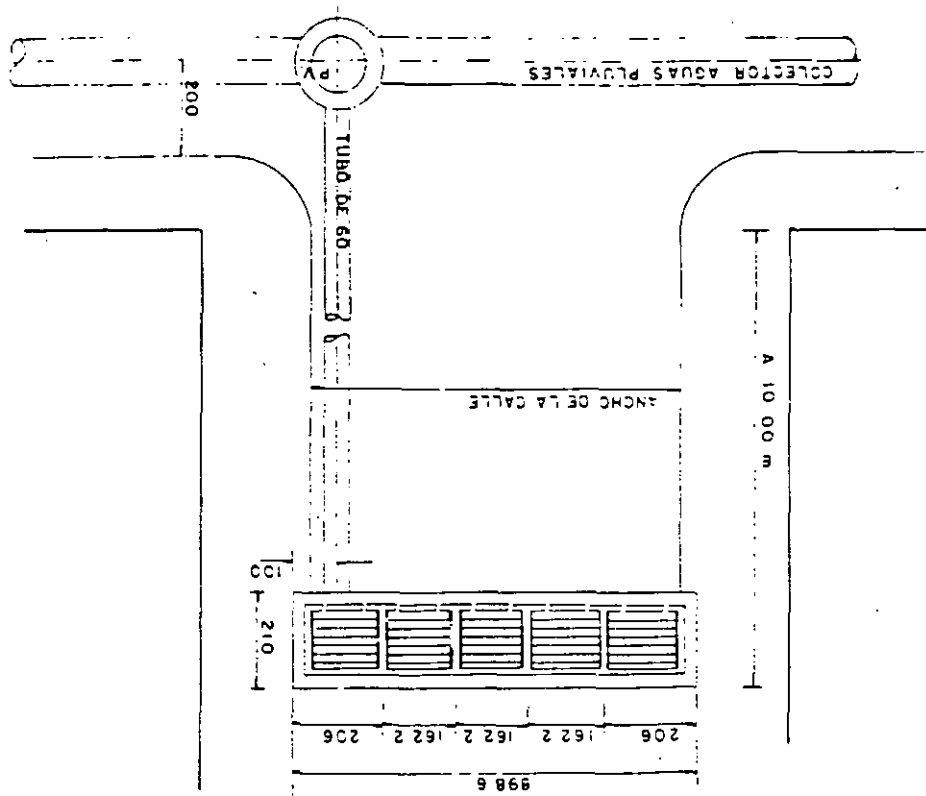
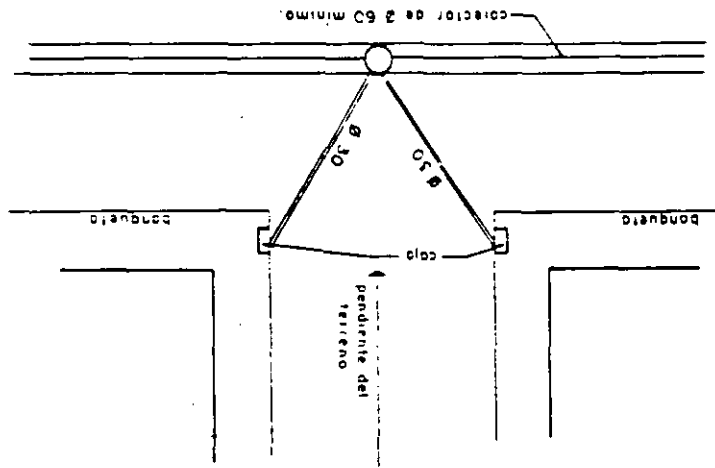
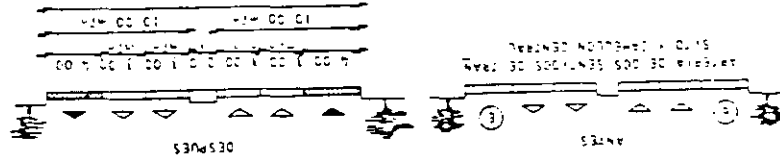
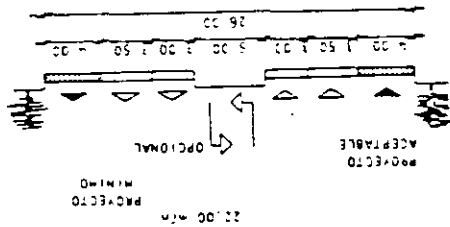
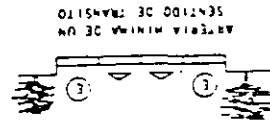
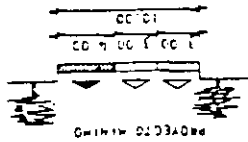
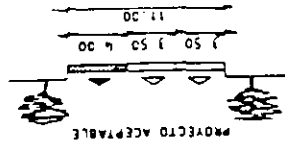


FIGURA C. - EN LA PARTE CENTRAL DE LA CALZADA, EN EL MISMO SENTIDO DEL TRANSITO

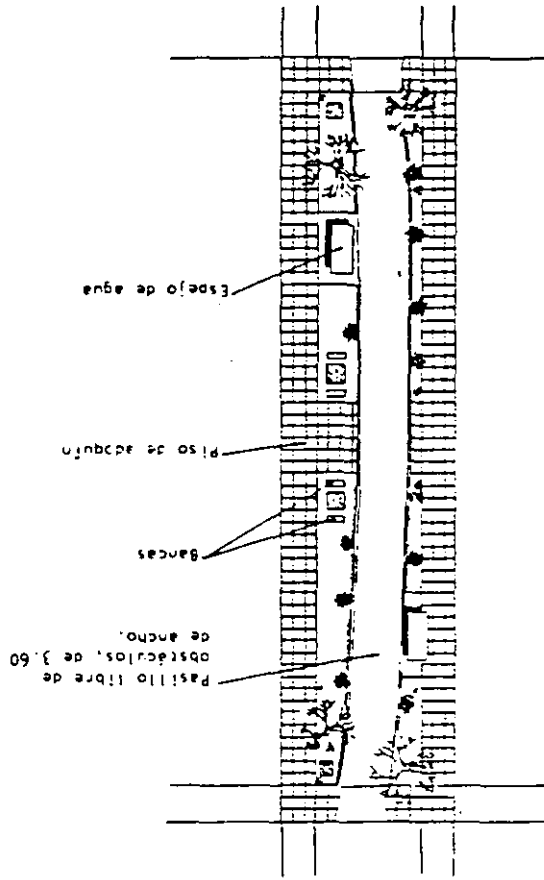




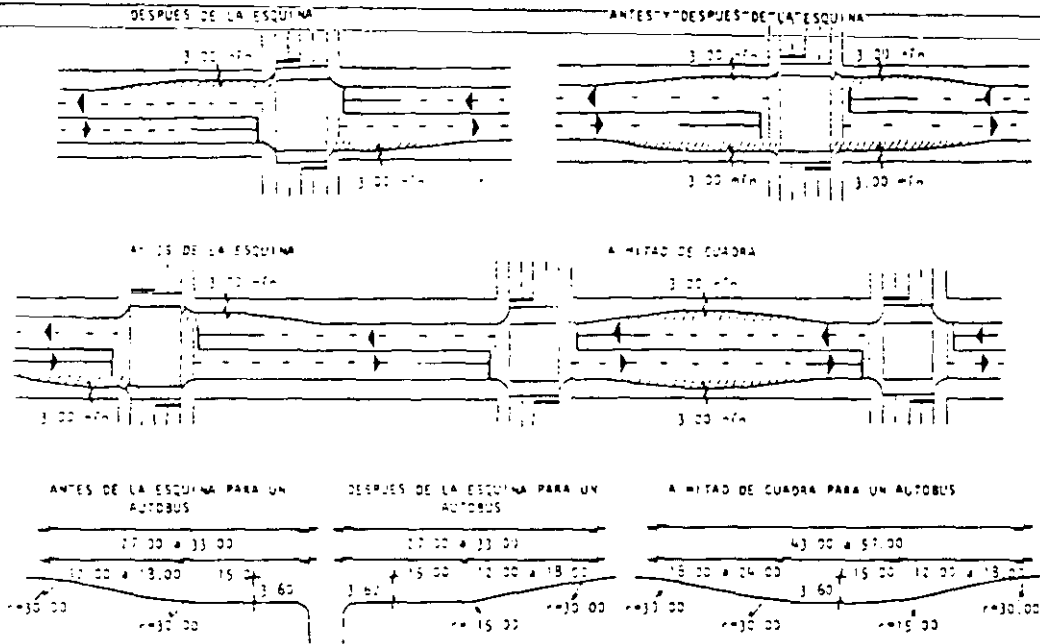


PLANOS REALIZADOS PARA EL PLAN CARRETERO
 EXISTENTE PARA LOS ASESORES Y COLABORADORES A LA
 AREA EN EL MISMO SENTIDO DEL TRANSITO.

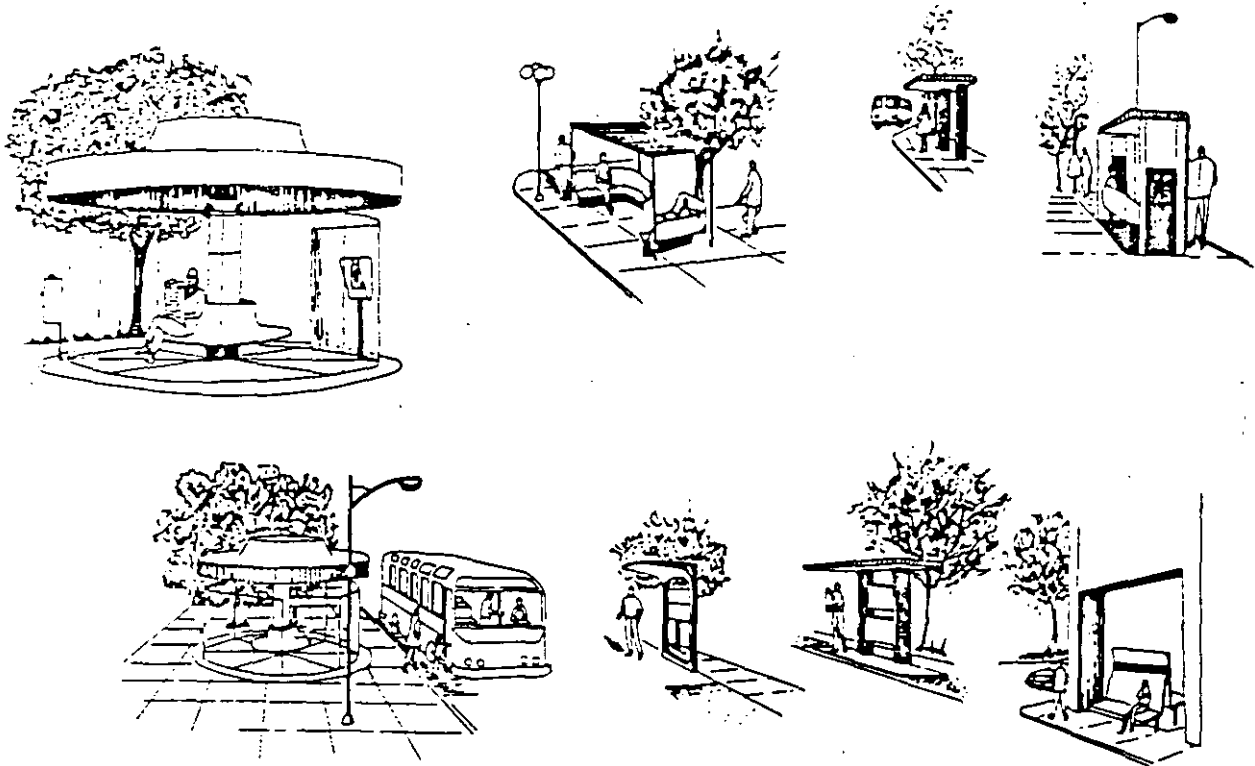
CALLE PEATONAL



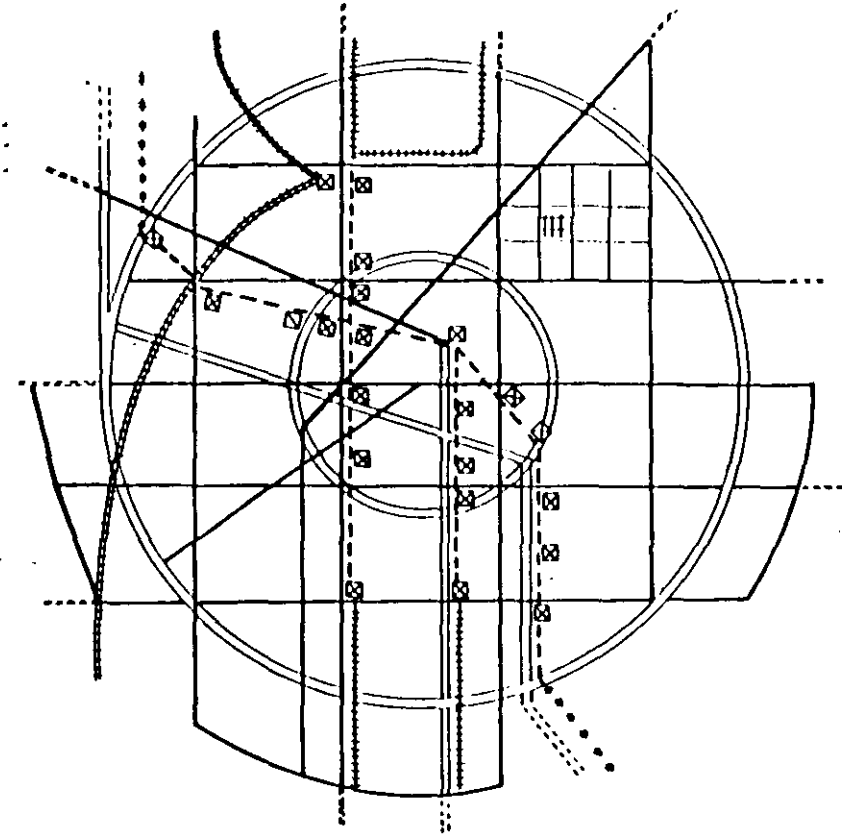
DISEÑO MÍNIMO PARA PARADAS DE AUTOBUS



D. - PARADEROS TIPO PARA AUTOBUSES



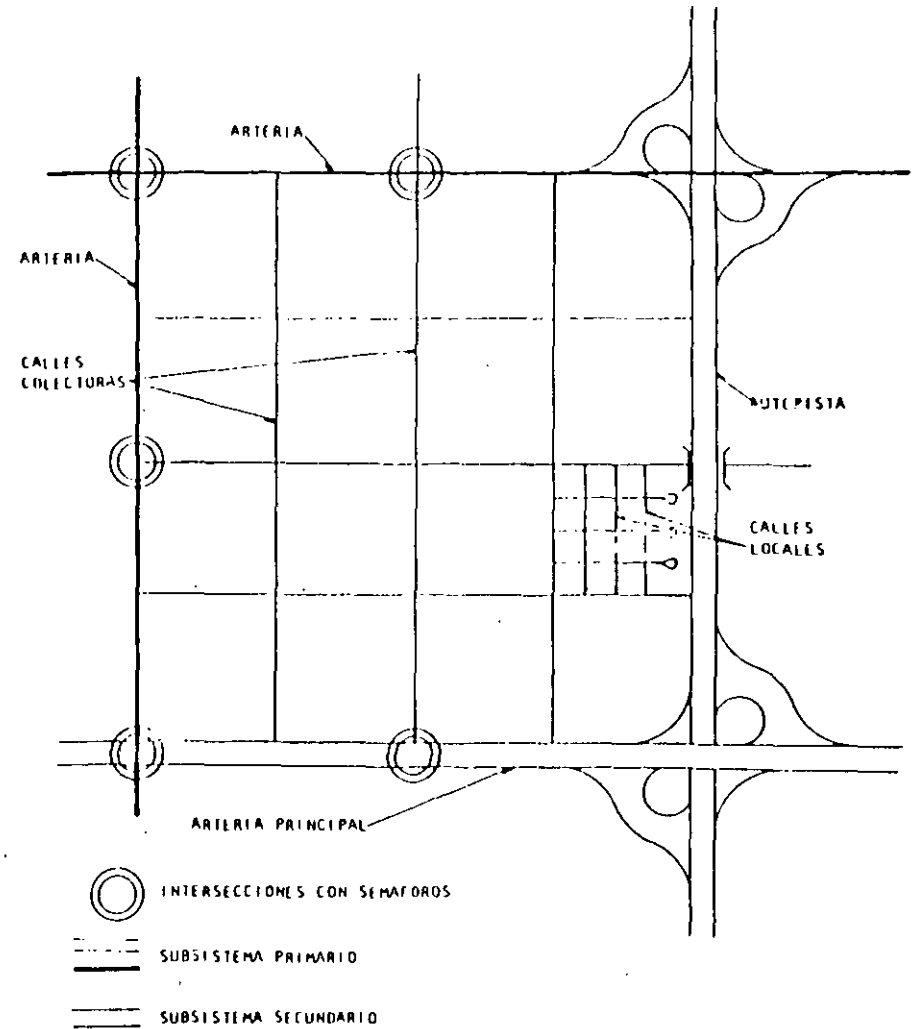
ESQUEMA DE UN SISTEMA VIAL URBANO



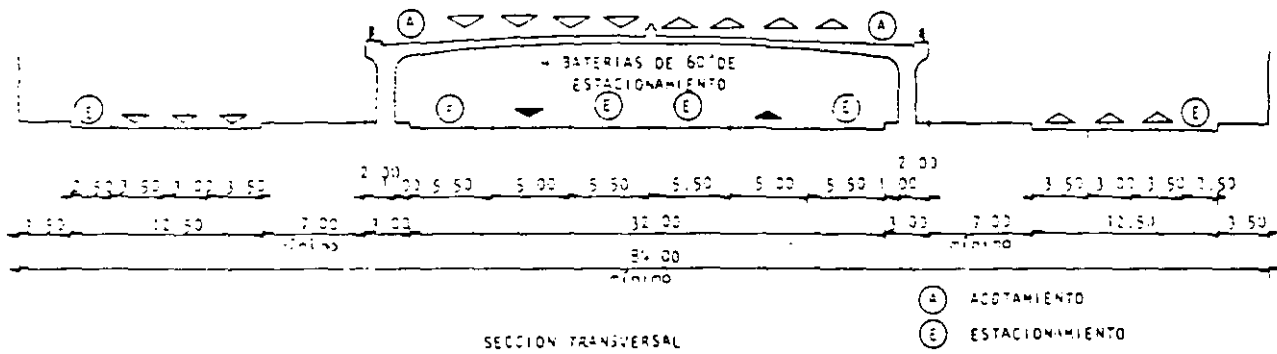
| SIMBOLOGIA | SUBSISTEMAS VIALES |
|------------|--|
| | Primario |
| | Secundario |
| | Areas de transferencia |
| | Vías de tranvía |
| | Vías del ferrocarril Metropolitano (Metro) |
| | Vías del ferrocarril suburbano |
| | Vías del ferrocarril regional |

ESQUEMA DE LOS SUBSISTEMAS VIALES URBANOS

PRIMARIO Y SECUNDARIO

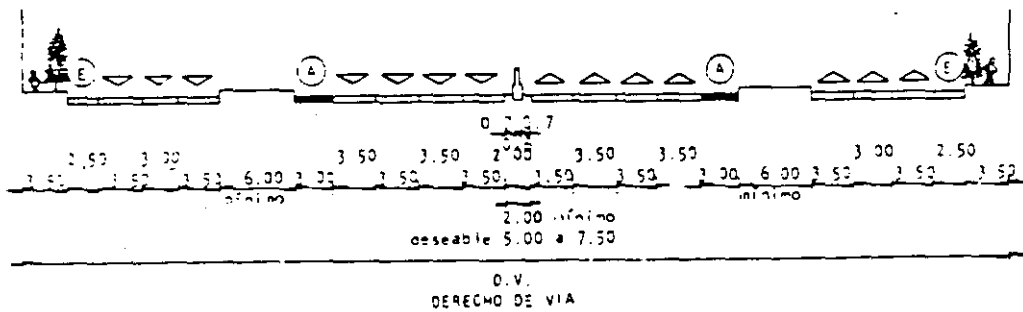


- INTERSECCIONES CON SEMAFOROS
- SUBSISTEMA PRIMARIO
- SUBSISTEMA SECUNDARIO



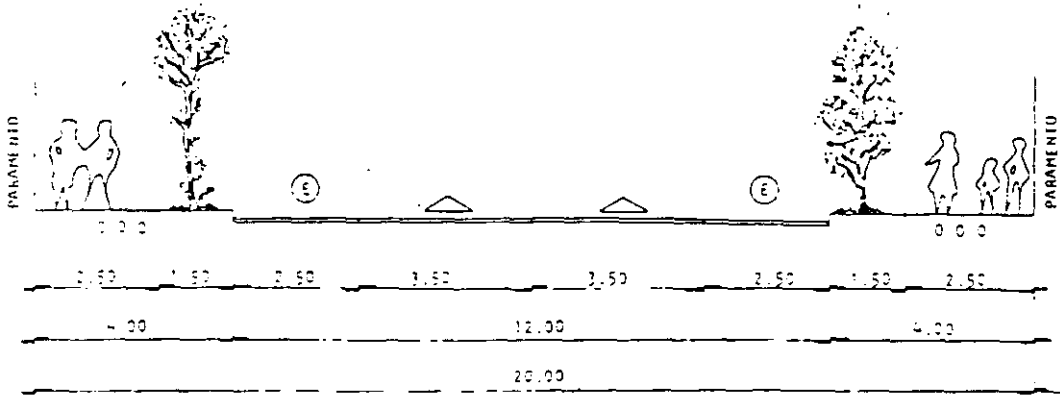
ARTERIA A NIVEL O INFERIOR

SECCION TRANSVERSAL



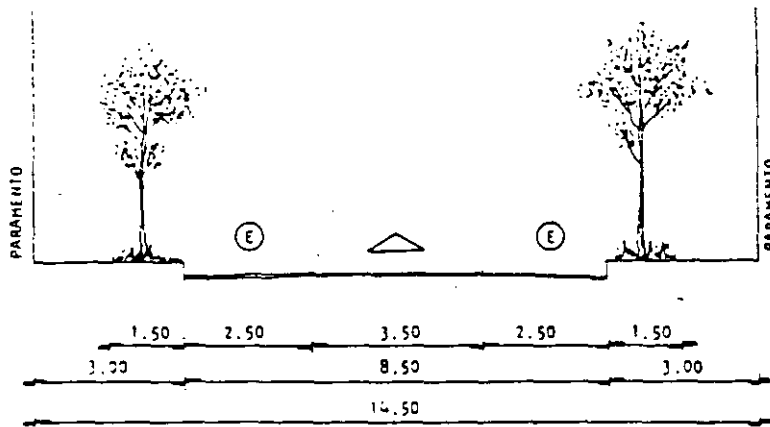
CALLE COLECTORA

SECCION TRANSVERSAL

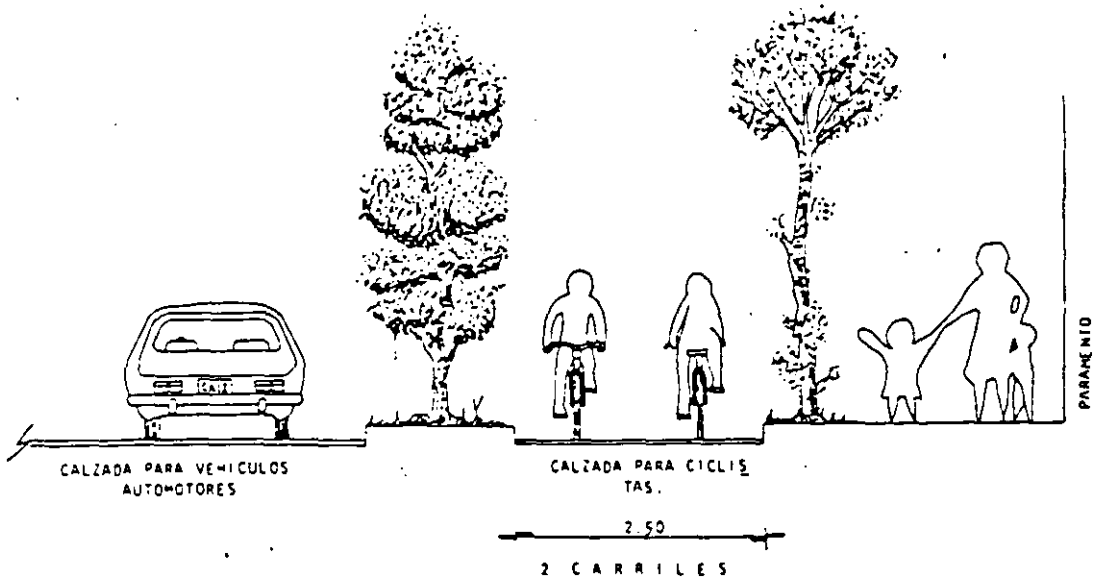


CALLE LOCAL

SECCION TRANSVERSAL



CICLOPISTAS



construcción de pisos de concreto*

RESUMEN

Este artículo trata exclusivamente sobre los aspectos constructivos de pisos de concreto. Se demuestra la necesidad existente de seguir una planeación adecuada para obtener los resultados deseados, sin importar el tamaño del proyecto. Obviamente, el grado requerido de habilidad y conocimientos de los operarios aumenta día tras día, de tal manera que en la mayor parte de los ejemplos incluidos en este trabajo existe la necesidad de proporcionar adiestramiento especial al personal o de emplear subcontratistas especializados.

SUMMARY

This article deals exclusively with construction aspects of concrete floors. It demonstrates the need for construction planning that should be followed to give the desired results, irrespective of project size. Obviously, the degree of operator skill and knowledge called for is increasing, so that in most instances there is the need for special staff training or the employment of specialist subcontractors.



* Publicado originalmente en NZ Concrete Construction, Vol. 19, No. 1, febrero de 1975, Wellington, Nueva Zelanda.

INTRODUCCION

La construcción de pisos de concreto de buena calidad no es difícil, si se tiene cuidado en los aspectos importantes del trabajo. Aunque se necesitan habilidad y juicio, éstos pueden adquirirse rápidamente si se consideran los equipos y técnicas que han sido desarrollados en los últimos años.

Aún así, siguen habiendo muchos pisos construidos con fallas o defectos, usualmente debidos a la falta de atención prestada a los puntos fundamentales. El trabajo deficiente no es, de ninguna manera, más barato, de aquí que estas notas vuelvan a destacar los puntos que requieren de la atención del constructor.

Son pocos los aspectos importantes de la calidad de los pisos de concreto construidos sobre el terreno. En primer lugar está la calidad de la superficie; su terminado requiere de más cuidado, tiempo y esfuerzo, que otras obras de concreto. A menos que se tomen las debidas precauciones, la superficie del piso podría contener concreto de calidad inferior al que existe debajo de la superficie. Esta situación no sería satisfactoria, pues la superficie debe contener el mejor concreto; hay que tomar en cuenta que es la parte que sufre el desgaste y usualmente requiere de una precisión dimensional casi absoluta. En segundo lugar, considerando las grandes áreas, es necesario controlar los agrietamientos que se pueden presentar al contraerse el concreto durante su endurecimiento y secado. En tercer lugar, el piso debe soportar las cargas para las que fue diseñado, sin sufrir daños ni ajustes, particularmente hundimientos diferenciales a causa de desalineaciones en las juntas. Finalmente, el piso debe ser, en muchos casos, a prueba de humedad.

PLANEACION

Los constructores y contratistas experimentados conocen los beneficios de planear detalladamente las operaciones constructivas. Se puede optimizar la eficiencia de cada operación y coordinar las diferentes operaciones, de manera que la interferencia mutua sea mínima. Los costos se reducen, se evitan errores y problemas y se mejora la calidad del trabajo.

En las obras de concreto y especialmente en la construcción de pisos, se impone una secuencia fundamental desde el momento en que se agrega el agua al primer volumen de concreto por vaciar; antes de efectuar esta operación, todo debe estar preparado. De aquí en adelante se debe suministrar el concreto en la proporción adecuada. Y no deben fallar los preparativos para su manejo, colocación, compactación, nivelación y curado, pues de lo contrario podrían presentarse problemas en la cons-

Figura 1.- Franja de orilla incluyendo bases de columna que ya han sido construidas.



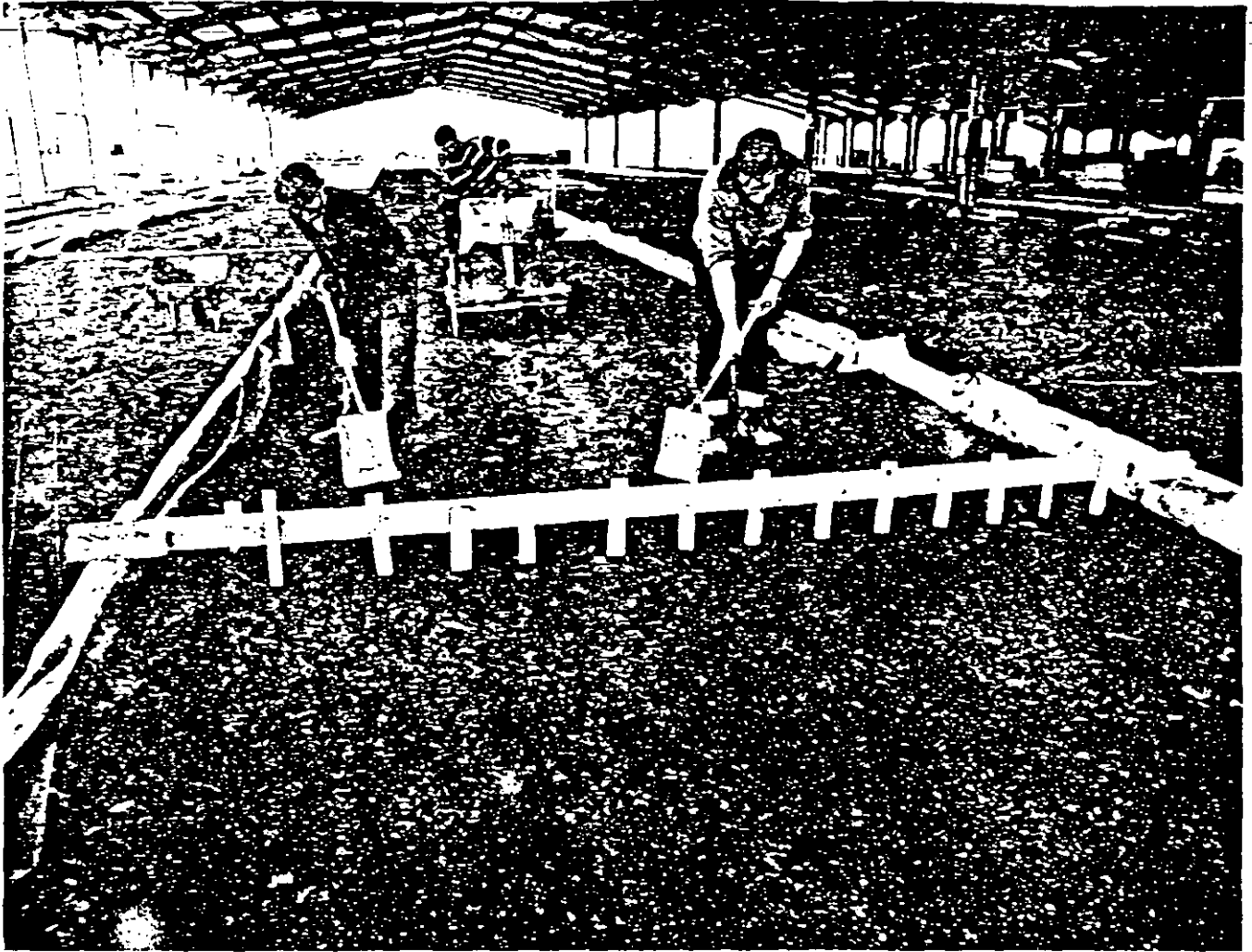


Figura 2.- Ajuste de la sub-base con nivel simple. Al fondo de la fotografía, compactación de la sub-base con una pequeña aplanadora.

trucción. Así que además de los beneficios generales que proporciona, la planeación adecuada es un ingrediente vital del trabajo eficiente.

En la planeación de un piso de concreto sobre el terreno, el clima es un factor de primera importancia. La base y los caminos de acceso pueden reblandecerse en caso de haber lluvia antes de vaciar el concreto. El agua que se puede acumular en la sub-base o en las depresiones para las vigas de cimentación debe ser retirada. Si llueve durante, o inmediatamente después del vaciado, el agua puede dañar la superficie del concreto. La temperatura influye mucho sobre el tiempo que toma el concreto para alcanzar un estado satisfactorio de dureza, que permita su acabado. Este estado es de corta duración y se presenta más rápidamente en condiciones de calor que de frío y humedad.

El plan de construcción debe tomar primero en cuenta los requerimientos planteados por planos y

especificaciones. Luego debe permitir efectuar, en forma ordenada y eficiente, cada uno de los pasos necesarios para producir los resultados deseados. Dentro de estos parámetros se introducen las medidas que hacen posible reducir costos y coordinar el trabajo con otros trabajos locales. Un buen plan toma en cuenta lo cómodo que resulta un trabajo sin tensiones o emergencias previsibles.

La maquinaria, el equipo y la fuerza de trabajo deben ser adecuados para alcanzar el objetivo propuesto; debe considerarse también que se pueden presentar condiciones climatológicas desfavorables.

Las secuencias de construcción de pisos bajo techo eliminan una parte de los riesgos. Debe haber espacio para grúas, bombas, circulación de carretillas y acceso libre a las mezcladoras en cualquier condición climatológica. El trabajo debe estar planeado de manera que se minimicen los daños a la

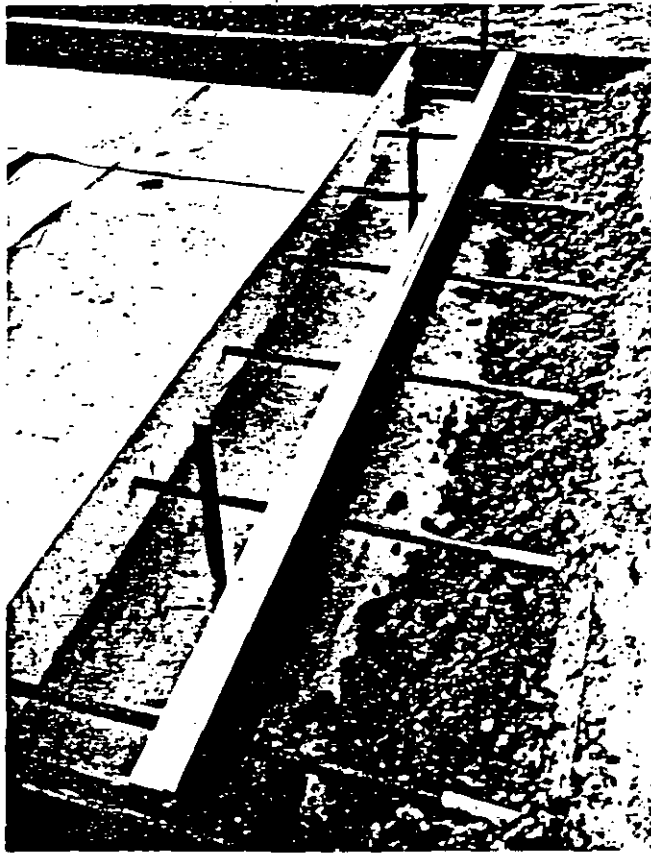


Figura 3.- Montaje de una junta de expansión.

cimbra, a la sub-base y al acero de refuerzo. Se debe vaciar la cantidad adecuada de concreto sin que haya segregación, para que no se necesite demasiado traspaleo. Con frecuencia se requieren toldos y cubiertas. Los preparativos para el curado deben hacerse a la mayor brevedad posible. Los planes deben proveer lo necesario para disponer del agua requerida para los trabajos. Asimismo, deben prever que el equipo y la maquinaria pueden descomponerse.

En obras mayores es conveniente construir primero una franja angosta de concreto al nivel, junto a las paredes o columnas existentes (figura 1). Si las vigas de cimentación y las zapatas han sido colocadas previamente, sus excavaciones no estarán abiertas y, en consecuencia, tampoco se verán expuestas a ningún daño. Asimismo, se facilitará la compactación de la sub-base y la formación de bordes; el espesor uniforme del concreto hará más sencillo su acabado uniforme.

La elección entre la construcción y acabado en franjas y el nivelado húmedo depende de varios factores, incluyendo la forma en que se pretenda manejar el concreto. Excepto en trabajos grandes, la construcción y el acabado en franjas requiere de juntas y cimbras extras. Por otra parte, el nivelado húmedo hace necesario que el vaciado sea sistemático. Esto asegura que la compactación sea

total y evita que haya juntas frías. Las niveladoras vibratorias limitan la amplitud de los espacios de construcción por franjas a 4.5 m.

SUB-BASE DE CIMENTACION

Drenaje. El drenaje en la sub-base debe contener rellenos permeables o desagües. Es necesario que el drenaje tenga una salida para retirar el agua del área. El personal de construcción debe darse cuenta de la importancia del drenaje, si se desea que los cimientos sean resistentes y los pisos se mantengan secos.

Sub-base. El terreno y el relleno deben soportar firmemente al piso de concreto. Deberá removerse toda la parte superior del terreno, el relleno mal compactado y el material suave y sustituirlos en el área por relleno granular bien cribado y compactado y nivelado a la altura especificada.

Muchas especificaciones cubrirán la preparación del terreno en detalle; sus requerimientos varían en relación al espesor del dren, a la carga del piso y a la importancia de crear una sub-base granular contra brotes de humedad.

El relleno debe ser compactado en capas no más gruesas de 150 mm, pasando de 6 a 8 veces un tambor vibratorio u otro equipo de compactación (figura 2). Los vehículos con ruedas u orugas tienen poca presión de contacto y no son adecuados para compactar el relleno.

Para lograr una sub-base granular adecuada es necesario colocar un mínimo de 100 mm de agregado granular, que haya sido pasado en su totalidad a través de un tamiz de 10 mm.

El dren se recubre entonces con una capa de 25 mm de arena gruesa, que ayuda a lograr los niveles correctos en el terminado. Esto reduce el peligro de que la membrana subyacente se perforo durante la construcción. Los niveles finales se logran comprobándolos con un nivel rígido y corrigiéndolos por medio de una pala (figura 3).

CIMBRA

La precisión final de la superficie de un piso de concreto depende mucho del cuidado y firmeza con que se fijan y nivelan las cimbras laterales.

Estas deben ser rígidas y de preferencia hechas de acero. Si se usa madera, sus superficies deberán cubrirse con tiras de acero o sección angular. En caso de que se requieran uniones precisas que no se astillen con el uso, las cimbras deberán tener bordes angulares afilados, sin importar el tipo de material que se esté usando. Y para que las reglas de computación se deslicen fácilmente sobre ellas, es importante que permanezcan limpias y sin daños.

Deberá tenerse mucho cuidado con la colocación de las cimbras laterales, pues su efecto sobre los niveles de la losa terminada es muy importante. Se deben colocar con una tolerancia de ± 2 mm respecto al nivel de referencia; los extremos de las cimbras adyacentes deben quedar al mismo nivel. Para algunos pisos especiales, las cimbras laterales deben quedar colocadas todavía con más precisión si se desea lograr que su superficie sea tan regular como se requiere.

Las cimbras deben quedar apoyadas contra el material compactado de la sub-base y presionadas firmemente hacia la parte subyacente. Tal vez sea conveniente usar una cama continua de arena y mortero bajo las cimbras, donde las especificaciones exijan una gran precisión (niveles mínimos de tolerancia). La vibración y el movimiento de una cimbra floja afectarán el nivel del piso.

JUNTAS

Un piso bien hecho depende de que las juntas actúen según fueron diseñadas; es necesario observar con esmero los requerimientos de planos y especificaciones. Las juntas de dilatación, provistas de una extensión compresible hacia el extremo desunido (figura 3), permiten que la losa se expanda. Donde las especificaciones lo permitan, existe la alternativa de aflojar la barra de alineación en el concreto primario y retirarla después de terminada la obra. Antes de comenzar la losa adyacente, hay que reinsertar la barra en el orificio formado; en caso de que haya juntas de expansión, ésta debe sacarse de 10 a 20 mm.

Las juntas de control pueden ser aserradas (figura 4) o moldeadas (figura 5), hasta una profundidad que fluctúa entre $1/3$ y $1/2$ del espesor del piso. El aserrado se debe efectuar antes de que se formen grietas, entre 8 y 24 horas después de terminada la superficie del piso. Los pisos vaciados bajo techo quedan menos expuestos a los cambios de temperatura, por lo que el aserrado puede demorarse de 2 a 3 días. Entre más duro esté el concreto, más tardado será el aserrado; la experiencia determinará entonces cuándo debe ser efectuado, para evitar agrietamientos por contracción y para no causar el desalojamiento de los agregados. Hay que tener en cuenta que el agrietamiento prematuro también puede deberse a un curado inadecuado.

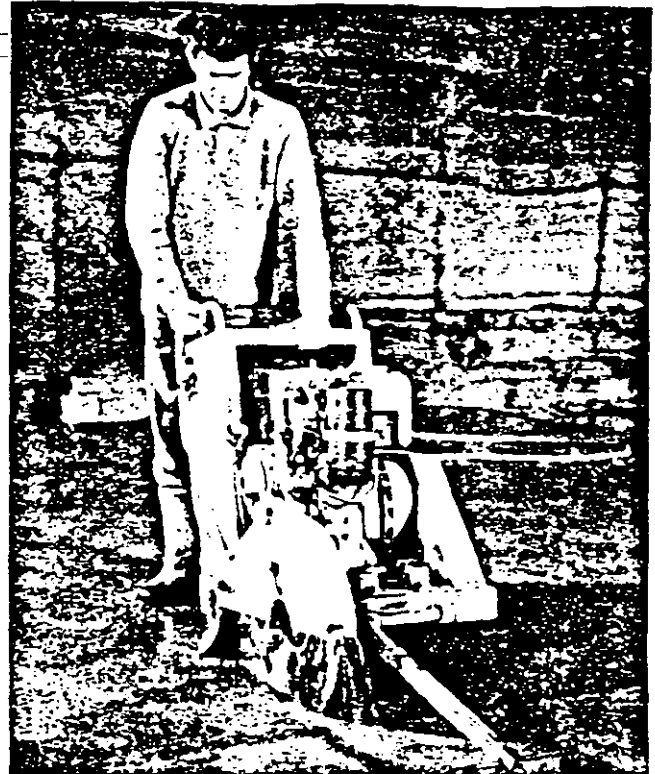


Figura 4.- Formación de una junta de control aserrada.

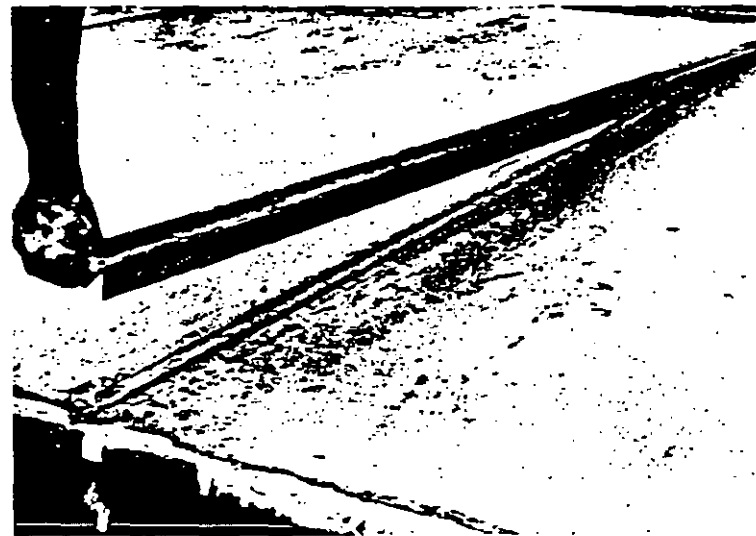


Figura 5.- Formación de una junta de control húmeda.



Figura 6.- Colocación de malla de refuerzo en una junta de cor

Figura 7.- Vista general de operaciones, que muestra el proceso de nivelación por medio de doble vibración, el vibrado de la orilla de la losa a base de un vibrador de inmersión y, a la derecha, el apisonamiento y marcado al nivel de la malla de ref. antes de su colocación.

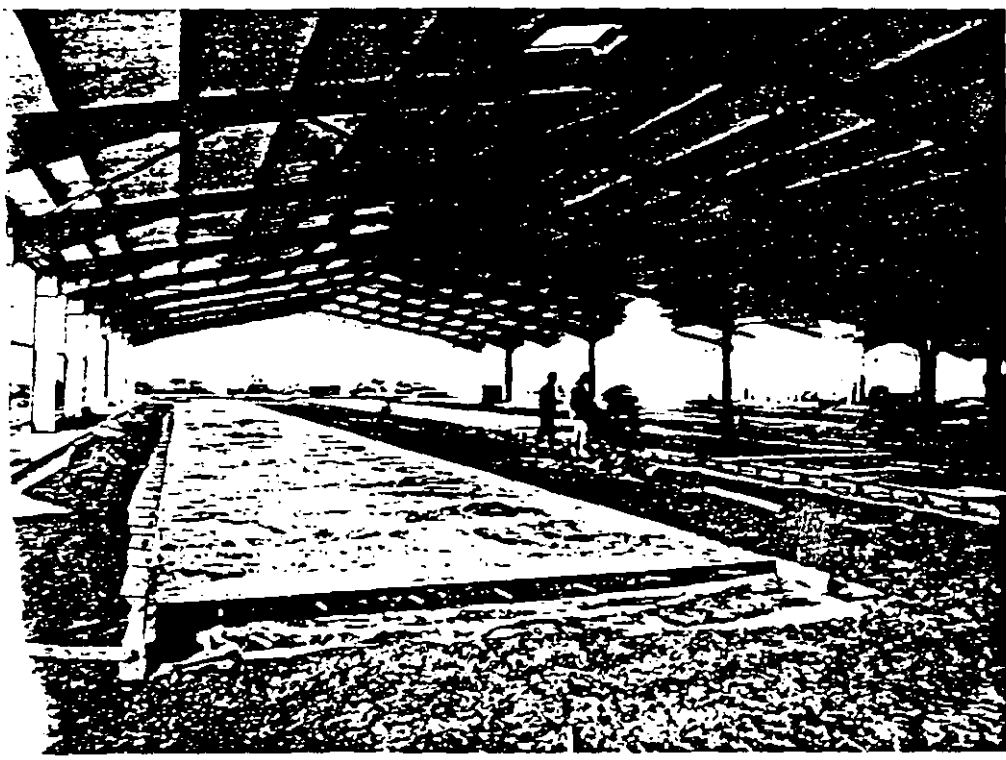


Figura 8.- Construcción de un piso a base de franjas largas.

REFUERZO

Para controlar los agrietamientos se requiere un refuerzo de malla, colocado hacia la superficie del piso. La malla debe quedar bien fijada en los espaciadores, con apoyo suficiente para asegurar que no penetrará en la capa de arena subyacente. De acuerdo a las especificaciones, puede ir traslapada sobre una capa inicial de concreto y luego compactada de manera que la superficie, al nivel del refuerzo, sea regular (figuras 6 y 7). Después de esto se nivela el concreto.

MEZCLA DE CONCRETO

Algunos puntos de las especificaciones del concreto son controlados por el diseñador; otros, tales como la proporción de la mezcla, su granulometría y su trabajabilidad, serán controlados por el constructor de acuerdo a sus propios métodos de construcción.

El concreto que el constructor elige para una losa determina la facilidad de su manejo y acabado. No importa qué tipo de concreto se use, el control de la uniformidad de la mezcla es importante si se desea mantener un acabado superficial consistente.

El tipo de cemento Portland, el tamaño máximo de la arena, la resistencia final del concreto y posiblemente el mínimo de cemento para una losa, son elegidos por el diseñador o especificador, según sean los fines para los que se construye. El concreto especificado debe ser de alta calidad, con una $f'c$ de 17.5 MPa*, donde las superficies de la losa vayan a ser cubiertas por nuevas capas de concreto o losetas de vinil, y de 25 MPa y más, cuando la superficie sujeta al desgaste sea la de concreto, dependiendo, claro está, del uso que se le vaya a dar al piso.

La trabajabilidad se mide generalmente por el reventamiento; las especificaciones indican con frecuencia un valor máximo permisible de 50 mm, dejando al contratista la elección de las medidas de control que se adecúen a su método de trabajo.

Idealmente, el concreto debe ser cohesivo, difícilmente segregable y no debe producir demasiado sangrado hacia la superficie. La mezcla de concreto bombeada posee normalmente estas características, pero su trabajabilidad debe ser mantenida en un nivel convenientemente bajo, de manera que en la losa se produzca un mínimo de lechado (una capa débil de arena/cemento) durante la compactación y el terminado.

* Un MPa, equivale a 10.2 kg/cm²

El agregado fino es un componente importante del concreto, pues idealmente no debe contener demasiado material de este tipo. Por el contrario, cuando un agregado fino contiene demasiado material burdo, se dificulta el acabado del concreto. Si falta material de tamaño mediano, habrá agua fluyendo hacia la superficie, y si hay demasiado material fino, se contraerá y agrietará la superficie. La mezcla con un porcentaje de arena fina desde el 38 al 40% posee características aceptables de acabado. Debe evitarse el uso de material suave o poroso que cause contracciones por secado mayores al 0.06%. La dimensión máxima del material debe ser de 20 mm, para losas hasta de 150 mm de espesor. Para losas más gruesas, el material no debe exceder los 40 mm.

MÉTODOS DE VACIADO

Para controlar las contracciones de un piso de concreto, los diseños deben proveer juntas de contracción espaciadas regularmente o dispositivos que permitan el movimiento o induzcan el agrietamiento en lugares predeterminados. Antes se acostumbraba vaciar los pisos en áreas alternadas, cosa que ya pasó a ser obsoleta, desde que se implantó la tendencia moderna de vaciar el concreto en áreas continuas. La construcción de pisos es una operación especializada, que se optimiza construyendo en forma continua todo el piso, mientras que el sistema alternado presenta algunas dificultades al acceso de vehículos y equipo.

Cuando contábamos con menos conocimientos sobre el diseño de losas de concreto, existía la creencia de que la construcción alternada permitía una precompactación y que esto favorecía su empleo. Sin embargo, el procedimiento ha quedado descartado, pues ahora sabemos más sobre el diseño de losas y su comportamiento.

COLOCACION DEL CONCRETO

En cualquier método de transportación resulta esencial colocar el concreto directamente en el lugar donde se necesite. Esto evitará una duplicación de manejos y eliminará el peligro de segregaciones y variaciones en el nivel final de la losa, debidas a que los volúmenes de concreto mal colocados tienden a precompactarse. En cambio, cuando el concreto se esparce uniforme y directamente desde el equipo de transportación, se disminuye el trabajo de los operarios.

El concreto debe ser esparcido a un nivel adecuado de sobrecarga, tal como se describe en la sección sobre compactación.

NIVELADO HUMEDO

El nivelado húmedo es una técnica cuyo uso se ha extendido recientemente. Las cimbras y regias de nivelación se colocan alrededor de la losa, pero se omiten las guías intermedias. En su lugar se esparcen reticularmente pequeñas cantidades de concreto antes del trabajo de acabado y después se compactan y emparejan a la altura (figura 9) determinada por el nivel rígido o por las estacas colocadas previamente. Entre estos puntos de referencia, el concreto se esparce, compacta y nivela en franjas (figura 10). Las franjas sirven como niveles húmedos, de acuerdo a las cuales se vacía, se compacta y se termina el resto del piso.

COMPACTACION DEL CONCRETO

Al hacer la mezcla, el aire atrapado debe ser eliminado compactando el concreto, para que sea resistente y durable. La compactación debe ser efectuada antes de que el agua de la mezcla fluya hacia la superficie.

Entre más agua se use en el concreto, más fácil será compactarlo, pero el concreto más húmedo toma más tiempo para su acabado y es más débil, particularmente en la superficie. No se le debe agregar agua al concreto para facilitar su esparcimiento o compactación, ni por cualquier otra razón.

El nivel del concreto bajara a medida que el aire atrapado sea eliminado por el proceso de compactación. Por lo tanto, el nivel inicial de vaciado debe ser más alto que las cimbras laterales, es decir, se debe sobrecargar el molde. La altura de esta sobrecarga de concreto ha de ser de una quinta parte de la losa ya compactada. Como método para producir una sobrecarga uniforme de concreto se recomienda usar una regla de compactación, que se recorre a lo largo de las cimbras laterales, sobre el área sobrecargada de concreto (figura 8).

Con vibradores mecánicos de inmersión o niveladoras vibratorias (figura 7), se pueden compactar totalmente losas de 25-50 mm. Los vibradores de inmersión pueden compactar fácilmente losas de concreto de 100 mm de espesor y más. También algunas niveladoras vibratorias, con vibradores eficientes, son adecuadas para compactar capas hasta de 150 mm de espesor.

En caso de que las niveladoras deban compactar losas más gruesas, las capas no deberan exceder de 150 mm, a menos que se pueda demostrar, a través de pruebas sustanciales o por experiencia, que alguna niveladora en particular es capaz de compactar mayores espesores en una sola operación. Las capas inferiores pueden ser compactadas por medio de una niveladora ranurada. Donde se usen nivelado-

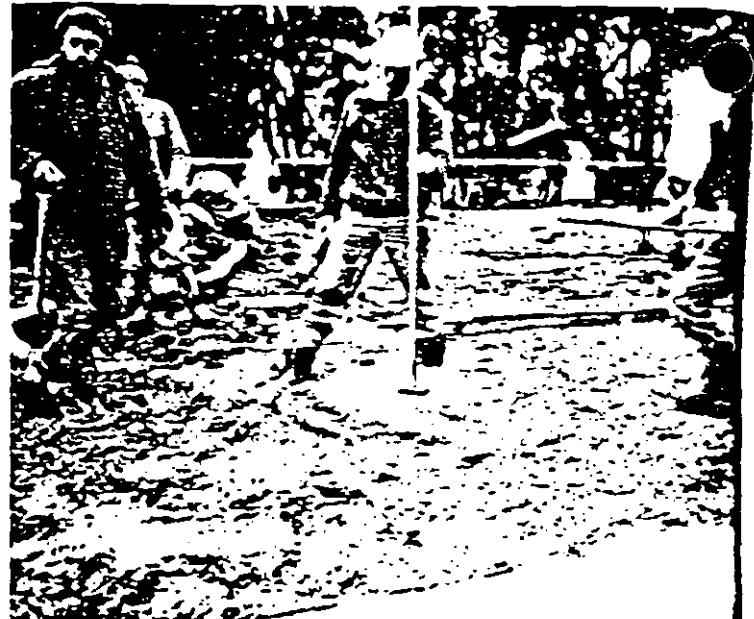


Figura 9.- Nivelado húmedo. Antes se colocan niveles de referencia.

Figura 10.- Los "niveles húmedos" se nivelan entre los puntos de referencia.



Figura 11.- Tercera etapa en la construcción de un piso de concreto hasta el nivelado húmedo.

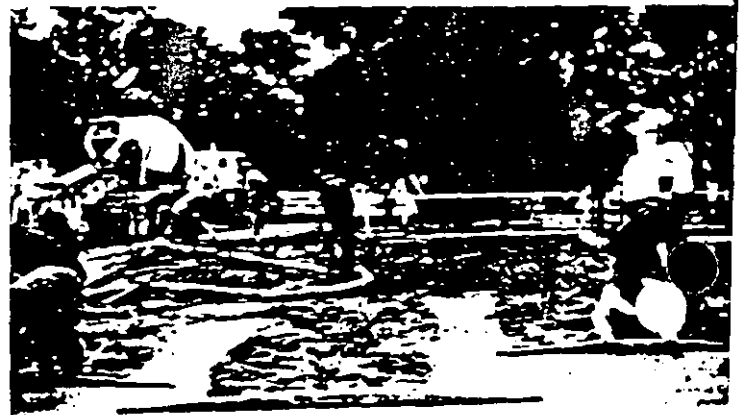




Figura 12.- Nivelado por medio de una regla de madera y las orillas de la cimbra.

ras vibratorias para compactar un piso de concreto, será aconsejable usar un vibrador de inmersión en la parte perimetral adyacente a las cimbras laterales; es esencial usar uno cerca de los bordes de las losas ya existentes, una vez llenados los espacios.

Las niveladoras vibratorias son menos efectivas en la compactación cerca de las cimbras laterales y bordes de las losas. Cuando la compactación sea efectuada por medio de una niveladora doble, debe tratarse de que la máquina funcione a un solo paso constante, para evitar la producción de lechado excesivo en la superficie. El constructor debe emplear a los trabajadores necesarios para controlar el movimiento constante de esta máquina y mantener la sobrecarga de concreto frente a la regla de ataque.

NIVELADO DEL CONCRETO

Es importante que la superficie del concreto sea nivelada de acuerdo a las especificaciones, antes de comenzar el proceso de acabado. Ni el allanado ni el pulido deben ser considerados como métodos para corregir desniveles graves.

Una vez compactada una losa gruesa por medio de un vibrador de inmersión, su superficie ha de ser nivelada usando una niveladora doble a paso uniforme.

Si la losa ha de ser pulida, la superficie de concreto nivelada por medio de un vibrador doble debe ser mejorada usando una regla aplanadora con mango grande (ver figura 13). La regla debe

usarse transversalmente al ancho de la losa, inmediatamente después de la compactación, con el fin de corregir todas las pequeñas irregularidades y mejorar los niveles. Antes de usarla por primera vez, deberá retirarse la mayor parte del agua que haya en la superficie. Una segunda aplicación después de desaparecido el espejo de agua de la superficie mejorará aún más el nivelado. La primera operación con la regla no debe demorarse tanto que ya no pueda corregir las ondulaciones superficiales de la losa. Asimismo, no debe trabajarse en exceso para no producir lechado. Cuando se use la regla, el traslape máximo de las pasadas deberá ser de 50 mm aproximadamente, eliminando así la posibilidad de que aparezcan demasiadas marcas dejadas por el borde de la hoja.

En caso de que la losa vaya a ser aplanada totalmente, ha de emplearse una niveladora de doble regla, para dejar la superficie bien nivelada. Después podrá continuarse con la operación de aplanado en otra fase. Una vez nivelado el concreto, la losa deberá dejarse reposar durante algún tiempo antes de comenzar con las diversas técnicas de acabado. El desagüe por vacío puede iniciarse en este punto.

DESAGUE POR VACIO

Especialmente en climas fríos y húmedos, el trabajo tradicional de acabado de las losas involucra una demora inevitable, mientras el concreto endurece lo suficiente para poder efectuar la primera operación de aplanado. Es bastante común que los operarios trabajen tiempo extra debido a esta demora. El problema se puede superar retirando el exceso de agua del concreto por medio de un pro-

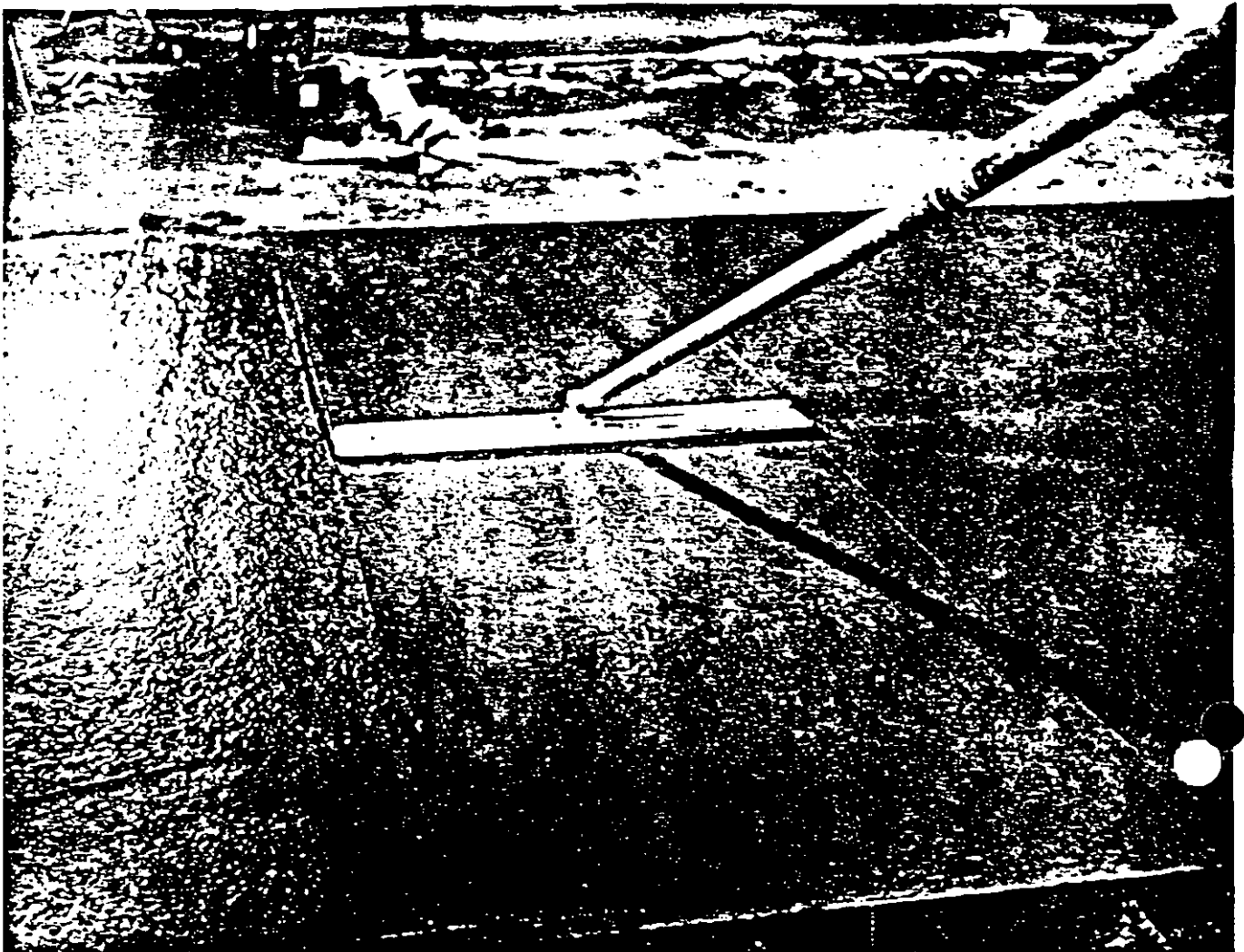


Figura 13.- La superficie fresca de concreto es nivelada por medio de una regla allanadora de mango grande.

peso de vacío, inmediatamente después de la compactación inicial y el nivelado de la losa.

Para desaguar el concreto, la losa se cubre primero con una fina hoja de filtro y una estera rígida de succión, dependiendo del equipo que vaya a ser utilizado. Este se conecta a la bomba de vacío a través de una manguera flexible de plástico transparente (ver la figura 14). Unos segundos después de arrancar la máquina, se crea un vacío bajo la estera; el concreto se comprime y el agua sale desde una profundidad de 300 mm por lo menos. Debido a que sobre la losa hay una hoja de filtro, muy poco cemento se pierde en la extracción del agua. El vacío ha de ser aplicado de 2 1/2 a 3 1/2 minutos por cada 25 mm de profundidad de la losa.

Después de 20 minutos de desagüe de una losa de 150 mm de espesor, el concreto estará lo suficientemente rígido para soportar el peso de un hombre. Así se le podrá dar la primera aplanada, tan pronto como se retiren las esteras de filtro y succión. Muchas veces el acabado se puede efectuar 2 horas después de esta operación inicial mientras que, sin desagüe, se necesitarían 3 horas o más extras de tiempo de espera. El tiempo real de las operaciones de acabado varía según la mezcla de concreto empleada y el clima prevaleciente.

Se deben seguir cuidadosamente las sugerencias del fabricante de sistemas de desagüe y sus instrucciones especiales sobre mantenimiento y operación del equipo.

ACABADO POR APLANADO MECANICO

El aplanado mecánico se efectúa no para mejorar la calidad del acabado superficial logrado con el método manual tradicional sino para producirlo con mayor velocidad, probablemente hasta 6 veces más rápido en áreas grandes (figura 15). Cuando el constructor usa la técnica por primera vez, el éxito dependerá mucho de su criterio. El proceso debe ser considerado de acabado y no de compactación, pues comienza después de que la losa ha sido totalmente compactada y nivelada con precisión.

Es importante demorar el aplanado final y el nivelado hasta que el espejo de agua haya desaparecido de la superficie del concreto y éste se encuentre lo suficientemente duro como para que la pisada de un hombre no penetre más de 3 mm (figura 16).

Existen tres tipos básicos de accesorios para estas máquinas: discos circulares de acero sólido, grandes hojas allanadoras de acero y hojas pulidoras de acero más pequeñas. Algunas máquinas están construidas para aceptar los tres tipos de equipo y deben permitir la inclinación variable de las hojas pulidoras. Hay máquinas con tres o con cuatro hojas; estas últimas tienen casi siempre el motor más grande, pues en áreas muy extensas se necesita más potencia.

Los discos o las grandes hojas allanadoras deben usarse en el primer aplanado, para eliminar las marcas dejadas por el equipo de compactación y nivelado y terminar la superficie de la losa. Las hojas pulidoras más pequeñas deben usarse para la primera, la segunda y tal vez hasta la tercera operación de pulido. Durante ellas habrá que inclinar las hojas sucesivamente a mayores ángulos, a medida que el concreto se vaya endureciendo.

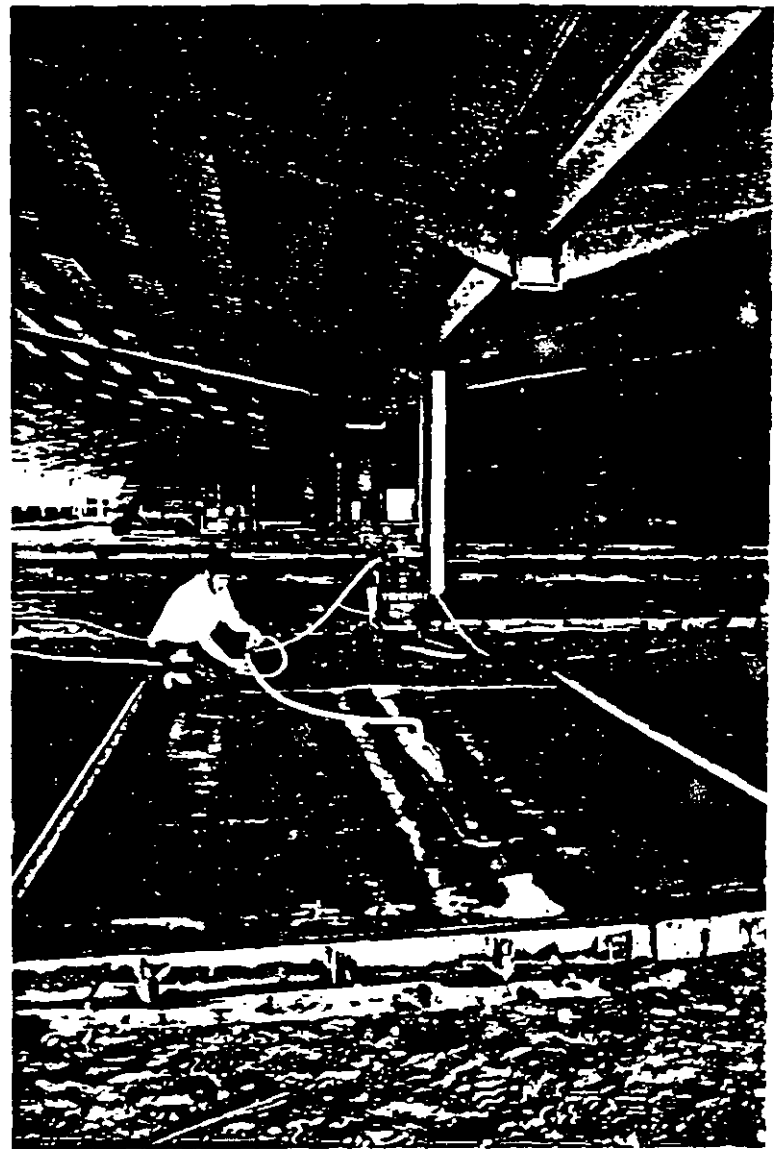
Es posible que, al usar una regla aplanadora luego de compactar un piso por medio de una niveladora doble, se produzca una superficie adecuada para ser terminada aplicando una pulidora mecánica, sin necesidad del aplanado mecánico. En este caso es importante programar la operación con la regla aplanadora; si se deja para muy tarde no podrá eliminar las ondulaciones superficiales, como lo haría una máquina aplanadora más pesada.

Es posible que en la parte perimetral de la losa sea conveniente pulir el concreto manualmente y así mejorar la calidad del acabado en las juntas.

ACABADO POR PULIDO MECANICO

El acabado por pulido de las losas lleva a veces mucho tiempo de espera mientras el concreto se endurece. El desagüe por vacío puede ayudar mucho a superar este problema. El pulido mecánico de las superficies de concreto reduce aún más el tiempo

Figura 14.- Equipo de vacío para desaguar el concreto.



total de construcción, ya que el concreto no necesita ser pulido el día en que se vacía. El desagüe por vacío no se debe usar cuando la losa se va a terminar por pulido mecánico y se ha empleado la regla aplanadora para nivelarla.

El nivelado inicial del concreto es muy importante, ya que con el pulido posterior se pretende remover sólo una ligera capa de aproximadamente 1 mm. de espesor, así como pequeñas arrugas y no irregularidades mayores. En caso de que haya irregularidades grandes, entonces se requerirá pulirlas mucho antes de poder tratar las áreas más bajas. Es posible que en la parte perimetral de la losa sea conveniente pulir manualmente el concreto y así mejorar el acabado de las juntas. De hecho se puede lograr un buen acabado inicial si se siguen las recomendaciones para las cimbras laterales, la compactación del concreto y el uso eficiente de la regla aplanadora.

El pulido mecánico se debe efectuar usando una pulidora mecánica de concreto, de baja velocidad,



Figura 15.- Aplanado mecánico.

Figura 16.- Prueba de huellas llevada a cabo antes del nivelado y aplanado final.

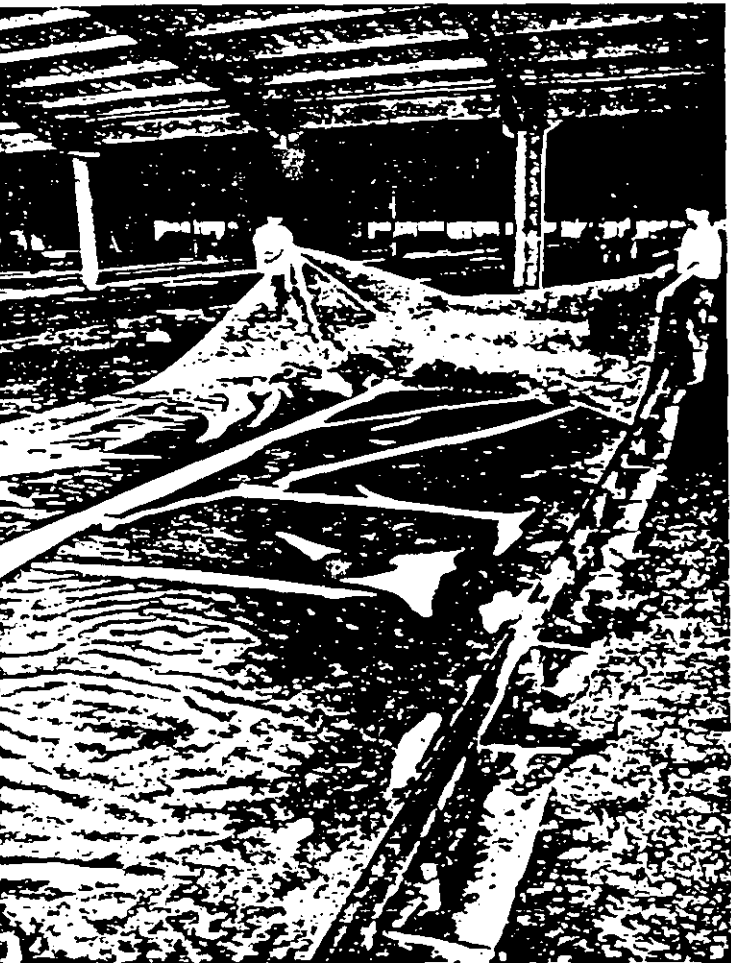


aguijada con 10 piedras de esmeril duras. No son adecuadas las pulidoras de alta velocidad, pues éstas producirían un acabado bruñido.

Es conveniente efectuar el pulido mientras el concreto es reciente. Para obtener mayor economía en el uso de piedras en el acabado, hay que pulir entre el primero y el séptimo día después de vaciada la losa. Se debía comenzar tan pronto el concreto esté lo suficientemente duro como para evitar que se desprendan de su superficie partículas de arena, formando hondonadas profundas. Normalmente será después de 24 o 48 horas de vaciada la losa y dependerá del tipo de mezcla, de la temperatura ambiental y de las condiciones climatológicas.

Para saber si una superficie está lista para ser pulida, deberá haberse una prueba rápida con la cuboira en una pequeña área de la losa. Si se desprenden partículas de arena, deberán efectuarse pruebas a intervalos de 6 y 12 horas hasta que la máquina pule sin desgastar la superficie.

Figura 17.- Colocación de una hoja de polietileno para efectuar el curado.



CURADO

Las especificaciones indican que los pisos de concreto deben curarse, manteniéndolos continuamente húmedos, por lo menos durante siete días, si se desea obtener la mayor dureza posible. El curado evita que la losa se seque prematuramente y permite al concreto llegar a su resistencia total.

El curado adecuado aumenta la resistencia al desgaste y reduce los agrietamientos. Una forma segura de curar las losas de concreto es cubriendo la superficie con hojas de plástico (figura 17), tan pronto se pueda, sin marcarias. El plástico debe rodear y cubrir los bordes y quedar bien fijo, con el fin de evitar que el aire penetre entre él y la losa. Otro método seguro para curar el concreto es usando una membrana de curado, que debe esparcirse sobre la losa tan pronto como esté terminada. Hay que tener cuidado de ver que la membrana no afecte a la penetración de endurecedores o selladores, que vayan a ser aplicados posteriormente.

No es muy conveniente curar el concreto cubriéndolo con arcilla o arena húmeda; el constructor podrá darse cuenta de que el trabajo que toma humedecer las losas continuamente hace al proceso menos económico que cuando se utilizan hojas de plástico.

Durante las operaciones de vaciado y acabado debe protegerse el concreto contra corrientes de aire fuertes. Una vez quitado el plástico después del curado, debe permitírsele al concreto secar por unos días, con lentitud, sin aplicarle calor artificial. Las superficies serán mejores y más resistentes si el período es de 7 días o más.

PROTECCION DEL ACABADO

Las losas deberán quedar protegidas cuando sean vaciadas en una fase inicial de la construcción y su acabado final sea el allanado o pulido mecánicos. No debe permitirse pasar sobre superficies recientemente terminadas (2 días para la gente y 7 para vehículos con llantas). Ciertamente, el tiempo dependerá del concreto. En climas fríos tarda más en endurecer.

El polietileno usado para el curado ayudará, hasta cierto punto, a proteger la superficie del concreto.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos a la Cement and Concrete Association de Londres el habernos proporcionado gran parte de la información contenida en este artículo así como muchas de las ilustraciones.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

PISOS INDUSTRIALES

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

OCTUBRE

PISOS INDUSTRIALES

REQUISITOS

FACILIDAD DE COLOCACION

FACILIDAD DE OBTENER EL ACABADO DESEADO

RESISTENCIA A LA ABRASION

RESISTENCIA AL ATAQUE DE PRODUCTOS QUIMICOS

RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

RESISTENCIA A CAMBIOS DE TEMPERATURA

EFEECTO DE DUCTOS EMBEBIDOS

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

COLORACION

ORNAMENTACION

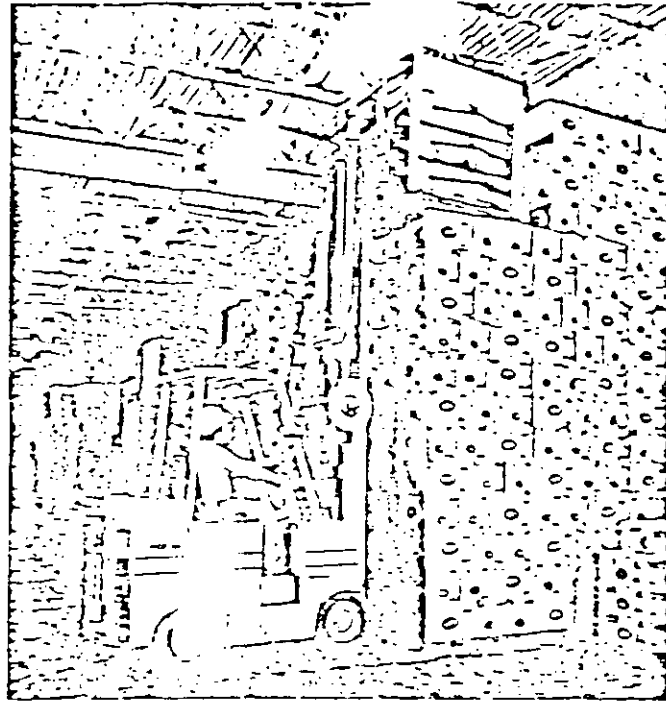


Fig. 3. Traffic and load data are needed for design of industrial concrete floors on ground.

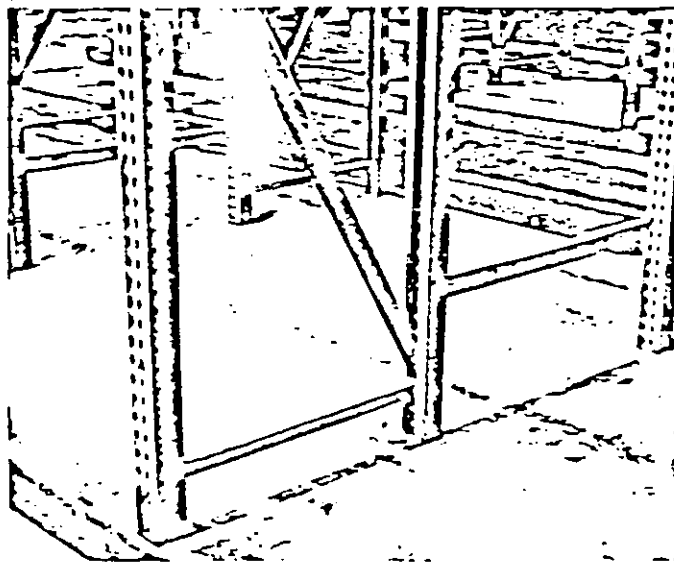


Fig. 5. Loaded legs supporting high-rack storage must have base plates of adequate size to prevent bearing or shear failure in the slab.

CLASES DE PISOS

| CLASE | TRANSITO | USO | CONSIDERACIONES ESPECIALES |
|-------|--|--|---|
| 1 | PEDESTRE LIGERO | RESIDENCIAL | PENDIENTE, ACABADO PARA RECUBRIMIENTO, USO DE LLANAS METALICAS |
| 2 | PEDESTRE | OFICINAS, IGLESIAS ESCUELAS, HOSPITALES RESIDENCIAL ORNAMENTAL | ACABADO NO DESLIZANTE, USO DE LLANAS METALICAS. COLOR, AGREGADOS EXPUESTOS, LAVABLE, USO DE LLANAS METALICAS |
| 3 | LIGERO PEDESTRE Y RUEDAS DE HULE | ESTACIONAMIENTOS, BANQUETAS | BOMBEO, JUNTAS, INCLUSOR DE AIRE, LLANA MECANICA Y RAYADO. |
| 4 | PEDESTRE Y RUEDAS DE HULE | INDUSTRIAL Y COMERCIAL LIGERO. | CURADO CUIDADOSO, USO DE LLANA METALICA Y RAYADO ANTIDESLIZANTE. |
| 5 | PEDESTRE Y RUEDAS DE HULE, DESGASTE POR ABRASION | INDUSTRIAL. ACABADO INTEGRAL. | CURADO CUIDADOSO, AGREGADOS DUROS, LLANA MECANICA Y RAYADO |
| 6 | PEDESTRE Y RUEDAS METALICAS, ABRASION SEVERA | INDUSTRIAL PESADO. DOS CAPAS LIGADAS. | AGREGADOS ESPECIALES, TRATAMIENTO SUPERFICIAL USO DE LLANAS METALICAS POTENTES. |
| 7 | CLASES 3, 4, 5 y 6 | DOS CAPAS NO LIGADAS | MALLA DE REFUERZO, ELIMINACION DE LIGA CON EL PAVIMENTO |

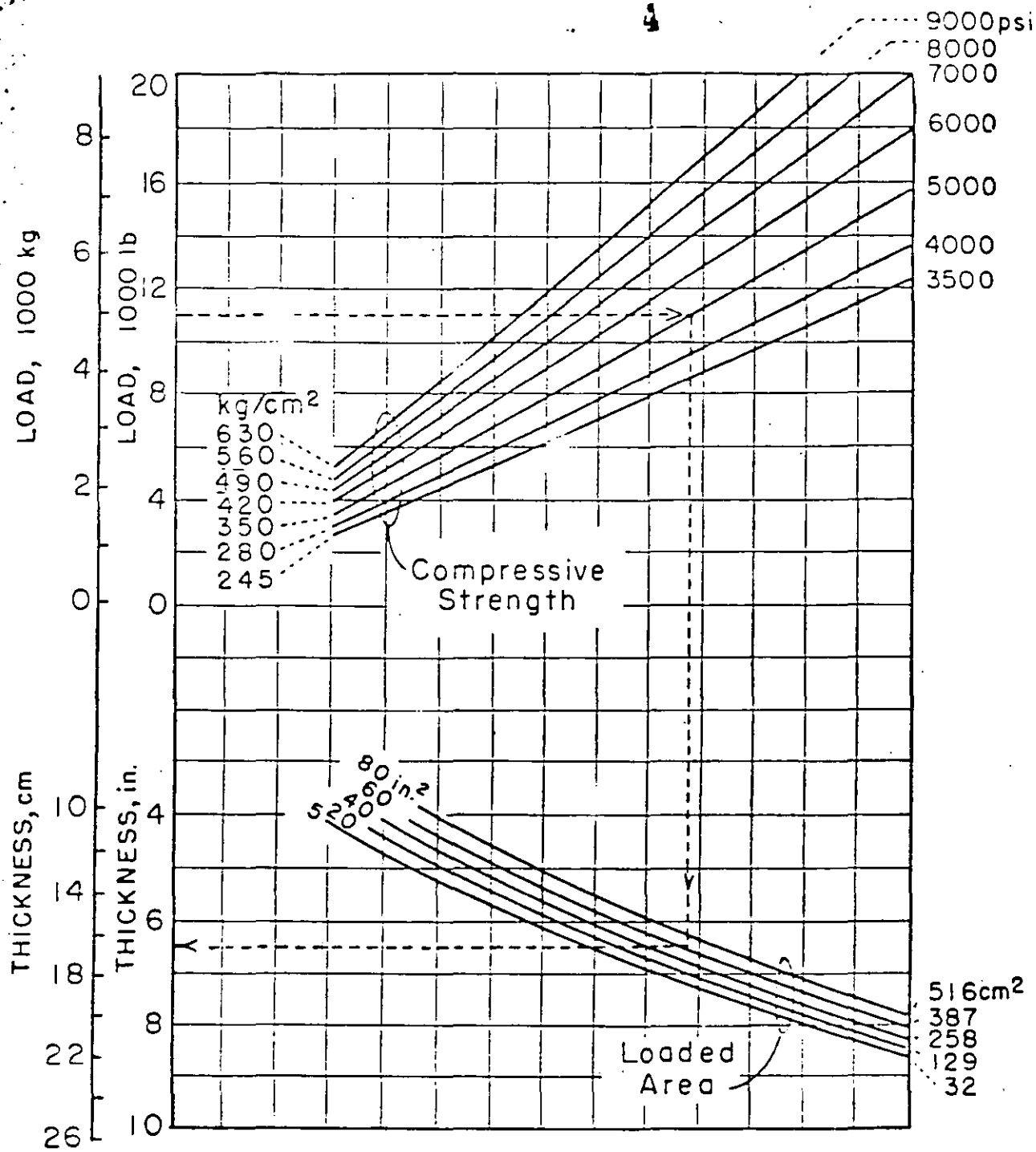


Fig. 2.1.1—Floor thickness requirements based on wheel load and compressive strength

NOTES ON DERIVATION AND USE OF FIG. 2.1.1

The chart provides a rough approximation of thickness requirements based on the following assumptions: (a) that the subgrade is entirely uniform; (b) that the slab is adequately thickened at the edges; and (c) that necessary impact factors have been added. Thickness requirements are actually a function of flexural strength. For convenience, however, this chart is drawn in terms of compressive strength, even though there is not necessarily a predictable relationship between flexure and compressive strengths. In preparing the chart, conversion to compressive strength was based on an assumed allowable flexural tensile stress which, in English units, is $f_t = 4 \sqrt{f_c}$ psi, or, in metric units, $f_t = 1.22 \sqrt{f_c}$ kgf/cm².

Use of the chart is illustrated by the dashed line. For a slab to be constructed of 5000-psi (350-kgf/cm²) concrete on which there will be considerable traffic from trucks having 11,000 lb (5000 kg) load per wheel, each of which has an area of contact with the slab of 60 in.² (387cm²). The designer enters the chart at a load of 11,000 lb and moves horizontally to the right to the intersection with the 5000-psi curve for compressive strength. He then proceeds vertically downward to the intersection with the 60-in.² (387cm²) curve. Finally, moving horizontally to the left of the chart he reads the required thickness of 6.5 in. (16.5 cm).
If trucks are to pass over isolation joints that have no provision for load transfer, such as at doorways, the slab should be thickened by approximately 50 percent and tapered to the required thickness at a slope of not more than 1 in 10.

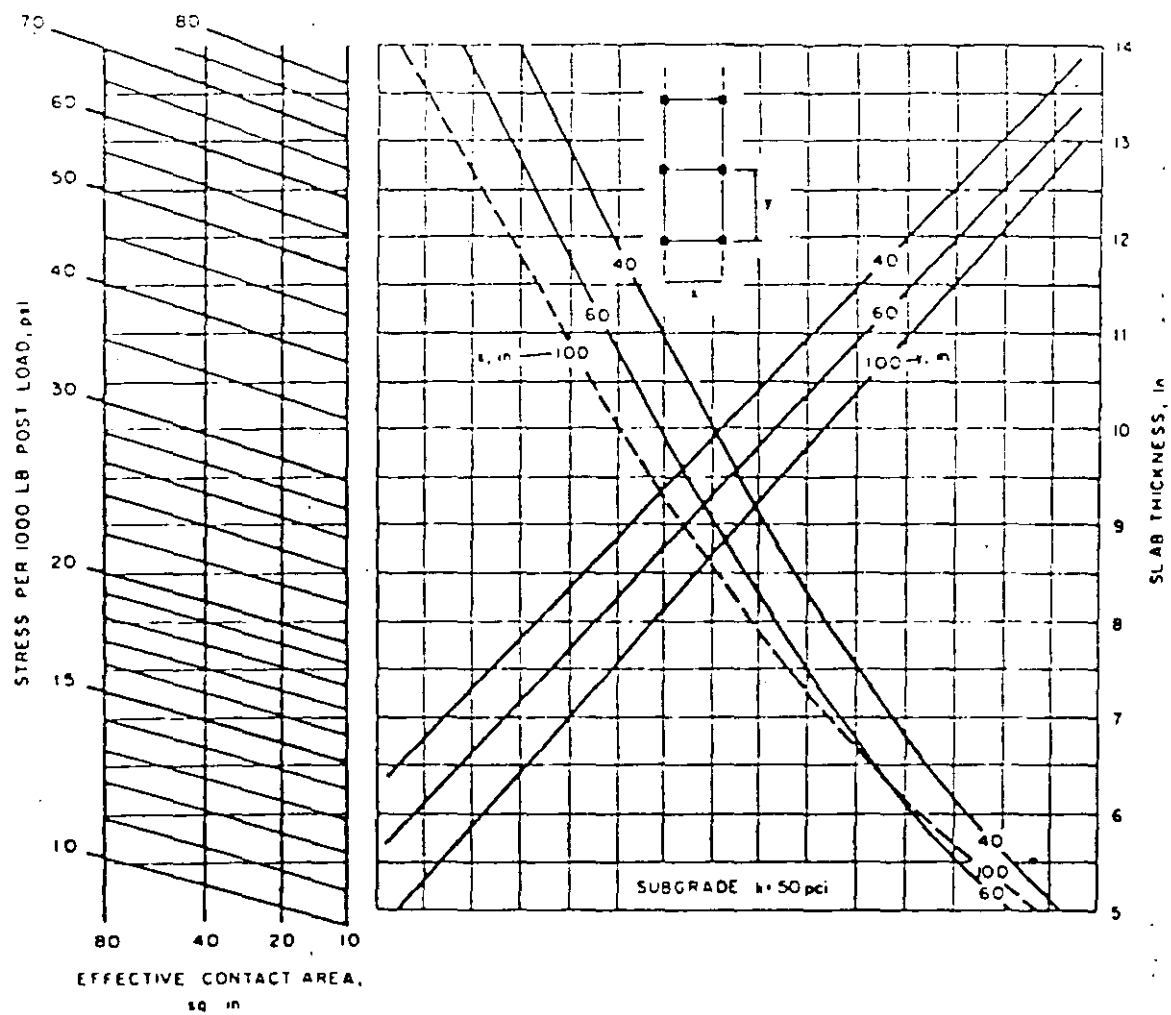


Fig. 6. Design chart for post loads, subgrade $k = 50$ pci.

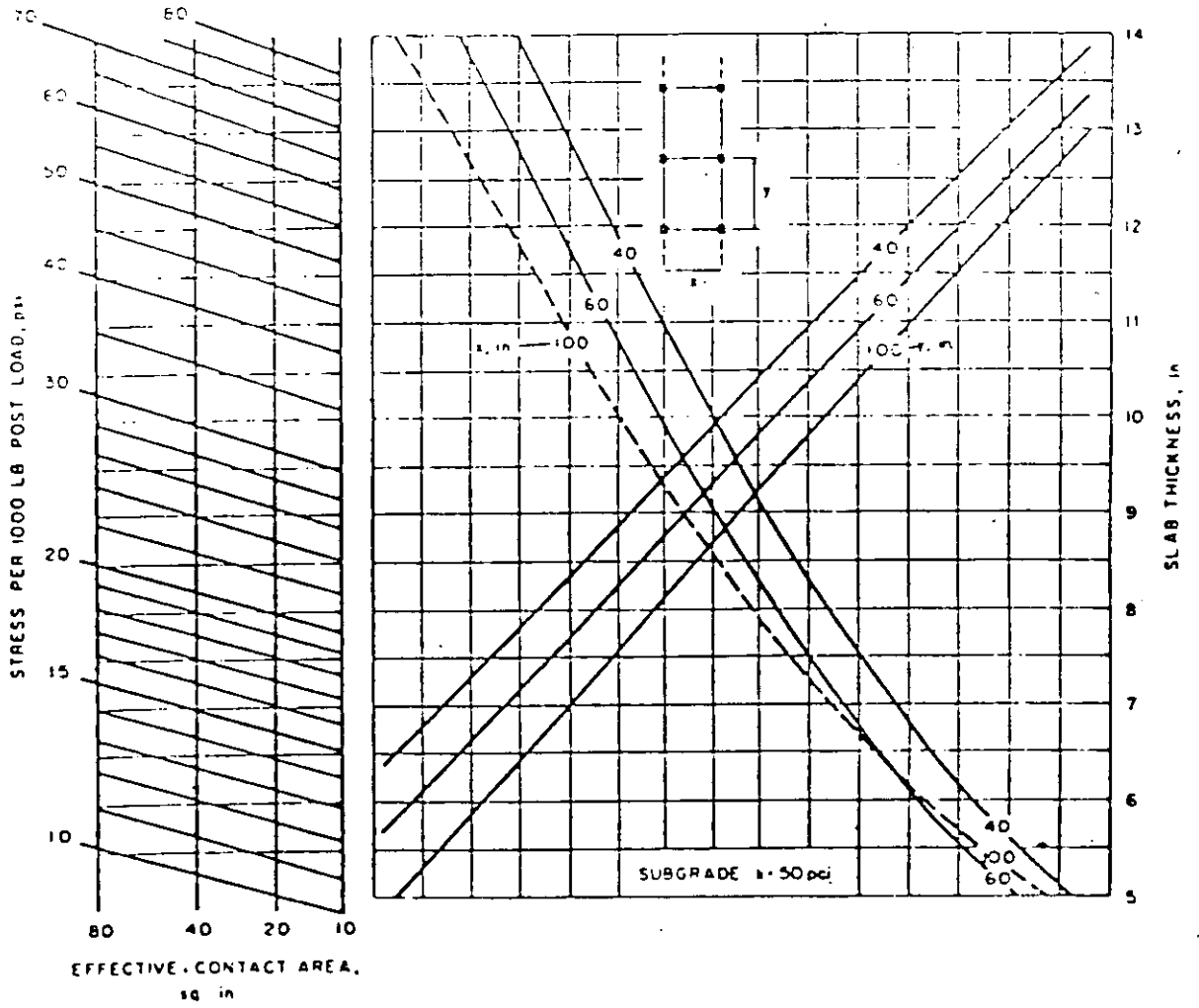


Fig. 6. Design chart for post loads, subgrade $k = 50$ pci.

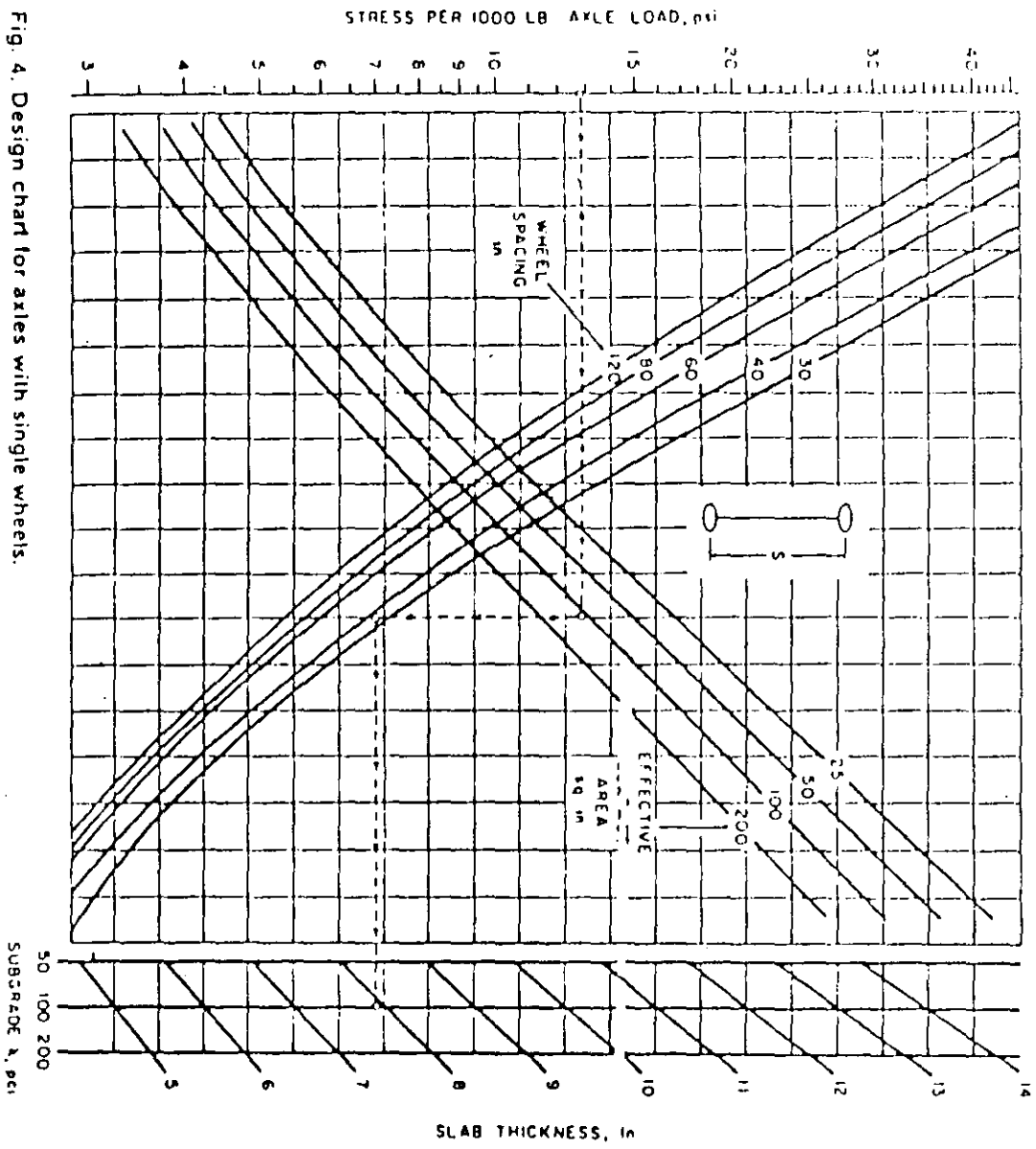


Fig. 4. Design chart for axles with single wheels.

Datos del vehículo

| | |
|-----------------------------------|---|
| Carga por eje | 25 kilolibras (eje con ² ruedas sencillas) |
| Separación entre ruedas | 37 pulgadas |
| Número de ruedas | 2 |
| Presión de inflado de las llantas | 110 libras/pulgada ² |

$$\begin{aligned} \text{Área de contacto de la llanta} &= \frac{\text{carga por rueda}}{\text{presión de inflado}} \\ &= \frac{25\,000/2}{110} = 114 \text{ pulgadas}^2 \\ &\quad (\text{suficiente, no es necesaria la corrección}) \end{aligned}$$

Datos de la subrasante y del concreto

Módulo de reacción de la subrasante, K : 100 libras/pulgada³

Módulo de ruptura a la flexión en el concreto, MR : 640 libras/pulgada²

Etapas de diseño

- Factor de seguridad, SF :

Para las operaciones frecuentes de vehículos en tránsito canalizado, es necesario seleccionar un factor de seguridad que permita repeticiones ilimitadas de esfuerzo y que será de 2.0.

- Esfuerzo del trabajo del concreto, $W'S$:

$$W'S = \frac{MR}{SF} = \frac{640}{2.0} = 320 \text{ libras/pulgada}^2$$

- Esfuerzo producido en la losa por cada 1 000 libras de carga por eje

$$\frac{W'S}{\text{carga por eje, kilolibras}} = \frac{320}{25} = 12.8 \text{ libras/pulgada}^2 / 1\,000 \text{ libras}$$

- Se entra a la gráfica de la figura 2.1.1.2, empezar a la izquierda con un esfuerzo de 12.8 libras/pulgada², después desplazarse hacia la derecha hasta llegar al área de contacto de 114 pulgadas²; bajar hasta la separación entre las ruedas de 37 pulgadas y posteriormente hacia la derecha para encontrar el espesor de la losa que resulta de 7.9 pulgadas sobre la línea correspondiente al módulo de reacción de la subrasante K de 100 libras por pulgada³. Se deberá utilizar un espesor de 8 pulgadas.

| | |
|--------------------------------------|--|
| CARGA POR EJE DE RUEDAS SENCILLAS | 25 000 lbs |
| ESPACIAMIENTO ENTRE RUEDAS | 27 pulg. |
| NUMERO DE RUEDAS | 2 |
| PRESION DE INFLADO | 110 psi |
| AREA DE CONTACTO | $\frac{25\ 000/2}{110} = 114\ \text{pulg}^2$ |
| MODULO DE REACCION K | 100 pci |
| RESISTENCIA A LA FLEXION MR | 640 psi |

PASOS DE DISEÑO:

1.- FACTOR DE SEGURIDAD: PARA TRANSITO CANALIZADO Y NUMERO ILIMITADO DE OPERACIONES: 2

2.- CALCULO DEL ESFUERZO DE TRABAJO

$$FS = \frac{MR}{FS} = \frac{640}{2} = 320\ \text{psi}$$

3.- ESFUERZO POR CADA 1000 lbs DE CARGA POR EJE

$$\frac{320}{25} = 12.8\ \text{psi}/1\ 000\ \text{lb.}$$

4.- ENTRAR CON 12.8, HASTA ENCONTRAR 114 pulg² DE AREA DE CONTACTO, BAJAR A 37 pulg DE ESPACIAMIENTO, A LA DERECHA SE LEE 7.9 pulg PARA k = 100 pci. SE USARA UN ESPESOR DE 8 pulg.

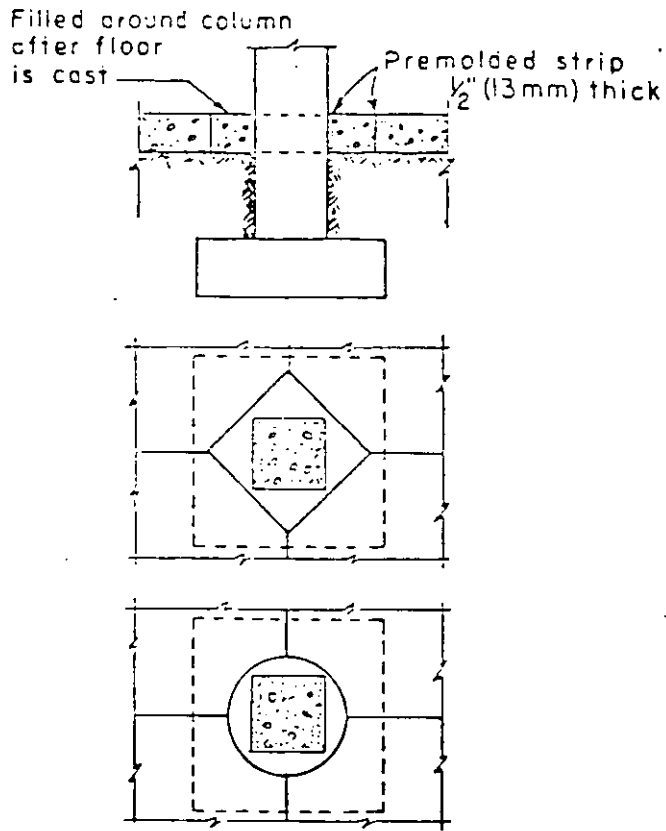


Fig. 2.2.1—Isolation joints at columns and walls

Handwritten notes:
 2cm
 1-1/4

FLOOR AND SLAB CONSTRUCTION

302.7

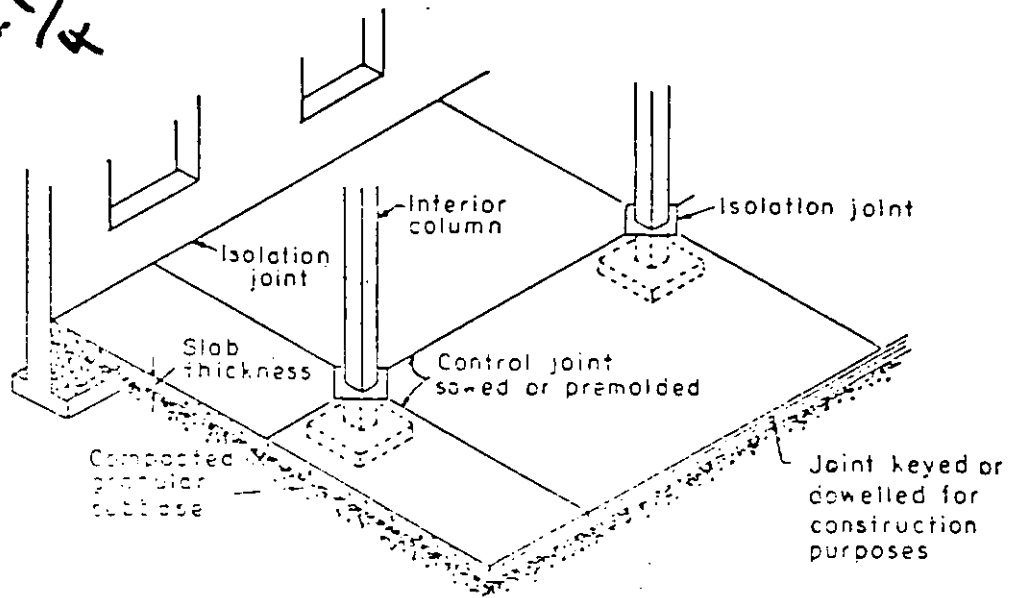


Fig. 2.2—Location of isolation and control joints

DURABILIDAD DE LOS PISOS

1.- USO DE MATERIALES ADECUADOS

- 1.1.- AGREGADOS DUROS
- 1.2.- AGREGADOS ESPECIALES
- 1.3.- EMULSIONES DE RESINAS
- 1.4.- CEMENTOS ESPECIALES

2.- PROYECTO ADECUADO

- 2.1.- JUNTAS
- 2.2.- ESPESOR

3.- CUIDADOS EN LA CONSTRUCCION

- 3.1.- PREPARACION DE LA BASE
- 3.2.- ENRASE Y PULIDO
- 3.3.- JUNTAS.
- 3.4.- CURADO.

TECNICAS DE ACABADO

- 1.- COLOCACION DE RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES POR ESPOLVOREAMIENTO DE AGREGADOS PUROS.
- 2.- ACABADO INTEGRAL, COLOCANDO UN MORTERO ANTES DE QUE LA LOSA ENDUREZCA
- 3.- ACABADO ADICIONAL, APLICANDO UN MORTERO SOBRE LA LOSA ENDURECIDA.

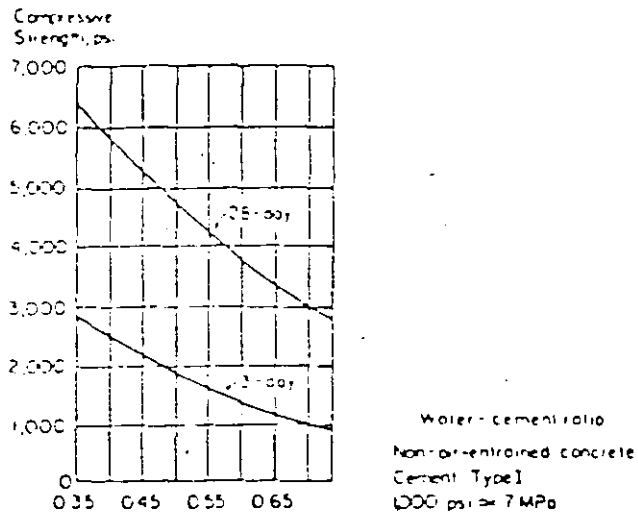


Fig. 1. Recommended minimum strengths for industrial and commercial floors on ground.

Table 2. Minimum Cement Requirements

| Maximum size of aggregate, in | Cement, lb per cubic yard |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1 1/2 | 470 |
| 1 | 520 |
| 3/4 | 540 |
| 1/2 | 590 |
| 3/8 | 610 |

Table 3. Approximate Relationship Between Compressive and Flexural Strength

| Compressive strength, psi | Flexural strength, psi |
|---------------------------|------------------------|
| 3500 | 445-590 |
| 4000 | 480-640 |
| 4500 | 500-670 |
| 5000 | 535-710 |
| 6000 | 585-780 |
| 7000 | 630-840 |

Table 6. Allowable Distributed Loads, Unjointed Aisle (Nonuniform Loading, Variable Layout)

| Slab thickness, in. | Subgrade k^* pci | Allowable load, psf** | | | |
|---------------------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | | Concrete flexural strength, psi | | | |
| | | 550 | 600 | 650 | 700 |
| 5 | 50 | 535 | 585 | 635 | 685 |
| | 100 | 760 | 830 | 900 | 965 |
| | 200 | 1,075 | 1,175 | 1,270 | 1,370 |
| 6 | 50 | 565 | 640 | 695 | 750 |
| | 100 | 830 | 905 | 980 | 1,055 |
| | 200 | 1,175 | 1,255 | 1,390 | 1,495 |
| 8 | 50 | 680 | 740 | 800 | 865 |
| | 100 | 980 | 1,045 | 1,135 | 1,220 |
| | 200 | 1,355 | 1,460 | 1,600 | 1,725 |
| 10 | 50 | 750 | 830 | 895 | 965 |
| | 100 | 1,070 | 1,170 | 1,265 | 1,365 |
| | 200 | 1,515 | 1,655 | 1,790 | 1,930 |
| 12 | 50 | 830 | 905 | 980 | 1,055 |
| | 100 | 1,175 | 1,260 | 1,390 | 1,495 |
| | 200 | 1,650 | 1,810 | 1,965 | 2,115 |
| 14 | 50 | 895 | 980 | 1,050 | 1,140 |
| | 100 | 1,270 | 1,365 | 1,500 | 1,615 |
| | 200 | 1,795 | 1,960 | 2,120 | 2,285 |

Reproduced from Slab Thickness for Industrial Concrete Floors on Grade, Portland Cement Association publication IS195D

* k or subgrade k regard increase in k due to subbase
 **For allowable stress equal to one-half flexural strength
 Based on aisle and load widths giving maximum stress

Table 5. Allowable Distributed Loads, Unjointed Aisle (Uniform Load, Fixed Layout)

| Slab thickness, in. | Working stress, psi | Critical aisle width, ft*** | Allowable load, psft | | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | At critical aisle width | At other aisle widths | | | | |
| | | | | 6-ft aisle | 8-ft aisle | 10-ft aisle | 12-ft aisle | 14-ft aisle |
| Subgrade $k = 50$ pci† | | | | | | | | |
| 5 | 300 | 5.6 | 610 | 615 | 670 | 815 | 1,050 | 1,215 |
| | 350 | 5.6 | 710 | 715 | 785 | 950 | 1,225 | 1,420 |
| | 400 | 5.6 | 815 | 820 | 895 | 1,085 | 1,400 | 1,620 |
| 6 | 300 | 6.4 | 670 | 675 | 695 | 780 | 945 | 1,175 |
| | 350 | 6.4 | 785 | 785 | 810 | 910 | 1,100 | 1,370 |
| | 400 | 6.4 | 895 | 895 | 925 | 1,040 | 1,260 | 1,570 |
| 8 | 300 | 8.0 | 770 | 800 | 770 | 800 | 880 | 1,010 |
| | 350 | 8.0 | 900 | 935 | 900 | 935 | 1,025 | 1,180 |
| | 400 | 8.0 | 1,025 | 1,070 | 1,025 | 1,055 | 1,175 | 1,350 |
| 10 | 300 | 9.4 | 845 | 930 | 855 | 850 | 885 | 960 |
| | 350 | 9.4 | 995 | 1,085 | 1,000 | 990 | 1,035 | 1,120 |
| | 400 | 9.4 | 1,130 | 1,240 | 1,145 | 1,135 | 1,185 | 1,285 |
| 12 | 300 | 10.8 | 915 | 1,065 | 955 | 915 | 925 | 965 |
| | 350 | 10.8 | 1,065 | 1,240 | 1,115 | 1,070 | 1,080 | 1,125 |
| | 400 | 10.8 | 1,220 | 1,420 | 1,270 | 1,220 | 1,230 | 1,290 |
| 14 | 300 | 12.1 | 980 | 1,225 | 1,070 | 1,000 | 980 | 995 |
| | 350 | 12.1 | 1,145 | 1,430 | 1,245 | 1,170 | 1,145 | 1,160 |
| | 400 | 12.1 | 1,310 | 1,630 | 1,425 | 1,335 | 1,310 | 1,330 |

† k or subgrade k regard increase in k due to subbase
 **Critical aisle width is based on one-half flexural strength. Critical aisle width has maximum negative bending moment. Aisle width is at aisle centerline due to loads on each side of aisle. For other aisle widths, bending moment is a function of aisle width.
 †††Assumes aisle width of 300 in. or greater. It varies only slightly for other aisle widths. Allowable stress is one-half flexural strength.
 ††††There is an exception in Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade from which this table is reproduced. For aisle widths of 20 ft or more, the allowable loads are based on the following:

FOR FLOOR CONCRETE

| Sieve designation | | Percent passing | | |
|-------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Standard | Alternate | Normal weight aggregate | Lightweight aggregate | Heavy duty toppings, Class 6 floors |
| 9.51 mm | 3/8 in. | 100 | 100 | 100 |
| 4.76 mm | No. 4 | 95-100 | 95-100 | 95-100 |
| 2.38 mm | No. 8 | 80-90 | — | 65-80 |
| 1.19 mm | No. 16 | 50-75 | 40-80 | 45-65 |
| 595 μ | No. 30 | 30-50 | 30-65 | 25-45 |
| 297 μ | No. 50 | 10-20 | 10-35 | 5-15 |
| 149 μ | No. 100 | 2-5 | 5-20 | 0-5 |

TABLE 5.2.1—RECOMMENDED SLUMP AND STRENGTH FOR EACH CLASS OF CONCRETE FLOOR

| Floor class | 28-day compressive strength,* psi | Maximum slump, ^b in. | 28-day compressive strength, kgf/cm ² | Maximum slump, cm |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|-------------------|
| 1 | 3500 | 4 | 245 | 10 |
| 2 | 3500 | 4 | 245 | 10 |
| 3 ^c | 3500 | 4 | 245 | 10 |
| 4 | 4000 | 3 | 280 | 7.5 |
| 5 | 4500 | 3 | 315 | 7.5 |
| 6 Base | 3500 | 4 | 245 | 10 |
| 6 Topping ^d | 5000-5000 | 1 | 350-560 | 2.5 |
| 7 ^e | 4000 | 3 | 280 | 7.5 |

*Compressive strength at 28 days should be at least 1800 psi (125 kgf/cm²). Strength refers to compressive strength of cylinders that have been continuously moist cured, made and tested according to applicable ASTM Standards at 3 and 28 days. The average of any five consecutive strength tests of the laboratory cured specimens representing each class of concrete shall be equal to or greater than the specified strength and not more than 20 percent of the strength tests shall have values less than the specified strength.

^bSlump of not more than 3 in. (7.5 cm) if structural lightweight aggregates are used. See Section 5.2.3.

^cFor concrete made with normal weight aggregate and exposed to freezing and thawing or deicing salts, air content must conform to the limits given in Table 5.2.5a. Structural lightweight aggregate concrete must have the air contents given in Table 5.2.5b.

^dThe amount of cement or strength required will depend on the severity of abrasive exposure. The ranges shown will cover most situations.

^eMaximum aggregate size not more than one-third the thickness of unbonded topping.

TABLE 5.2.2 — MINIMUM CEMENT REQUIREMENTS FOR METHOD A*

| Maximum size of aggregate, in. | Cement, lb per cu yd | Maximum size of aggregate, mm | Cement, kg/m ³ |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 1/2 | 470 | 38 | 279 |
| 1 | 520 | 25 | 308 |
| 3/4 | 540 | 19 | 320 |
| 1/2 | 590 | 12.7 | 350 |
| 3/8 | 610 | 9.5 | 362 |

*These mixes are specifically for normal weight aggregate. Different mixes may be needed for lightweight aggregate concrete (see Reference 28). For structural slabs the minimum requirements of this recommended practice, of ACI 318, and of the contract drawings and specifications must be met.

When details of finish or appearance are in question, a trial slab may be required. See Method B.

TABLE 5.2.5a — RECOMMENDED AIR CONTENT FOR RESISTANCE TO FREEZING AND THAWING*

| Maximum size of coarse aggregate | | Air content, by volume |
|----------------------------------|----|------------------------|
| in. | mm | Percent |
| 3/4 | 19 | 5 ± 2 |
| 1 | 25 | 7 ± 2 |
| 1 1/2 | 38 | 6 ± 2 |
| 2 | 50 | 5 ± 1 1/2 |
| 2 1/2 | 63 | 4 ± 1 1/2 |

*For concrete made with normal weight aggregate.

TABLE 5.2.5b — RECOMMENDED AIR CONTENT FOR CONCRETE MADE WITH STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATES

| 28-day compressive strength | | Air content, percent by volume | |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|--|
| psi | kgf/cm ² | For workability, etc. | For resistance to freezing and thawing |
| 3000-4500 | 210-315 | 4 to 7 | 6 to 9 |
| over 4500 | over 315 | 3 to 6 | 6 to 9 |

TABLA 5.2.7 CONTENIDO DE AIRE PARA CONCRETOS NORMALES Y PESADOS

| Tamaño nominal máximo del agregado | | Contenido típico de aire para concretos | Contenido promedio de aire recomendado para concretos con aire incluido, porcentaje | | |
|------------------------------------|----|---|---|---------------------|-------------------|
| Pulgadas | mm | normales | Exposición ligera | Exposición moderada | Exposición severa |
| 3/8 | 10 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 7.5 |
| 1/2 | 13 | 2.5 | 4.0 | 5.5 | 7.0 |
| 3/4 | 19 | 2.0 | 3.5 | 5.0 | 6.0 |
| 1 | 25 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 |
| 1 1/2 | 38 | 1.0 | 2.5 | 4.5 | 5.5 |

Tolerancias: Para promedios de aire de 6% o superiores: $\pm 2\%$
 Para promedios de aire inferiores a 6%: $\pm 1.5\%$

6.1 CONTROL DEL PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

Sin importar si el concreto se mezcla en la obra o es premezclado, los materiales deben estar proporcionados dentro de los límites siguientes:

| | |
|-------------------------|-----------|
| Cemento | $\pm 1\%$ |
| Agua agregada | $\pm 1\%$ |
| Agregados grueso y fino | $\pm 2\%$ |
| Aditivos y pigmentos | $\pm 3\%$ |

Excepto para el mezclado de pequeñas cantidades en la obra, el cemento debe ser pesado en otra báscula que no sea la empleada para pesar los agregados. Si el proporcionamiento se hace por bultos, no deben usarse fracciones de bulto.

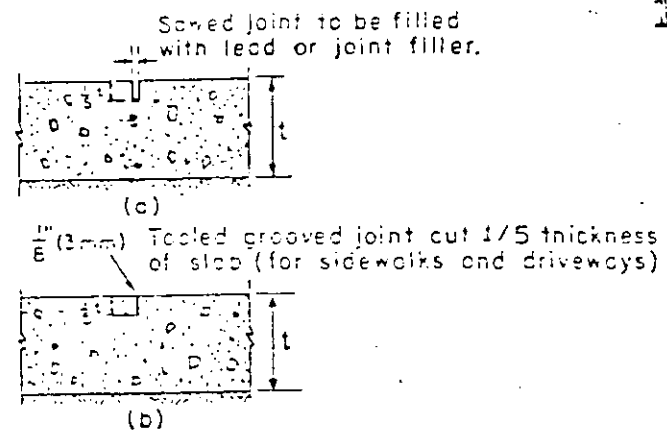


Fig. 2.2.2—Types of control joints

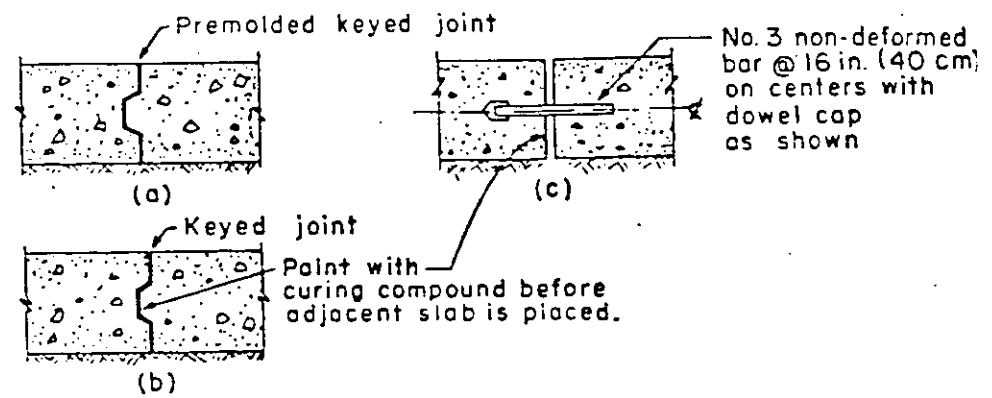
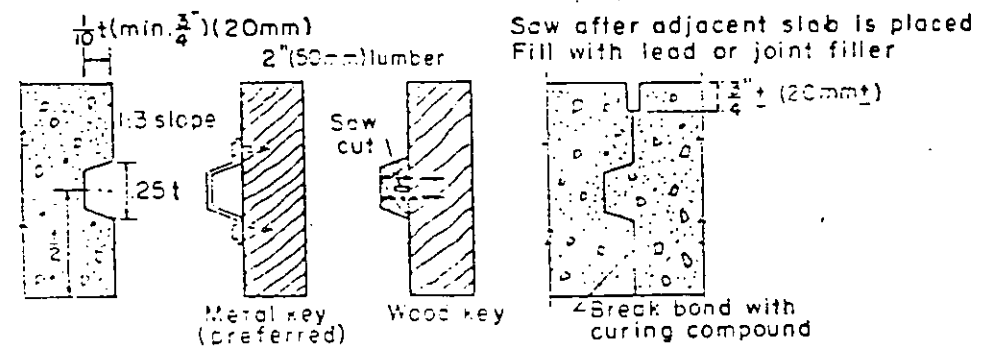


Fig. 2.2.3a—Types of construction joints



Note: For wood key beveled 1 x 2-in (25 x 50mm) strip is adequate for 5- to 8-in. (125-200mm) thick slab

Fig. 2.2.3b—Bulkhead details for construction joints

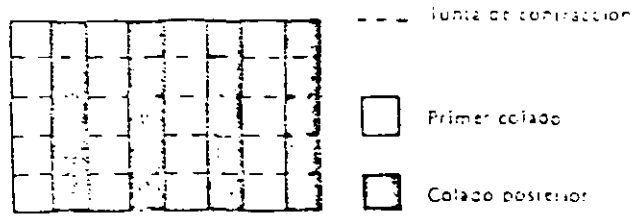


Fig. 6.4.1.a. Colado en franjas

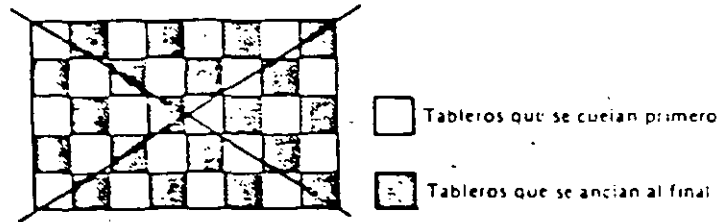
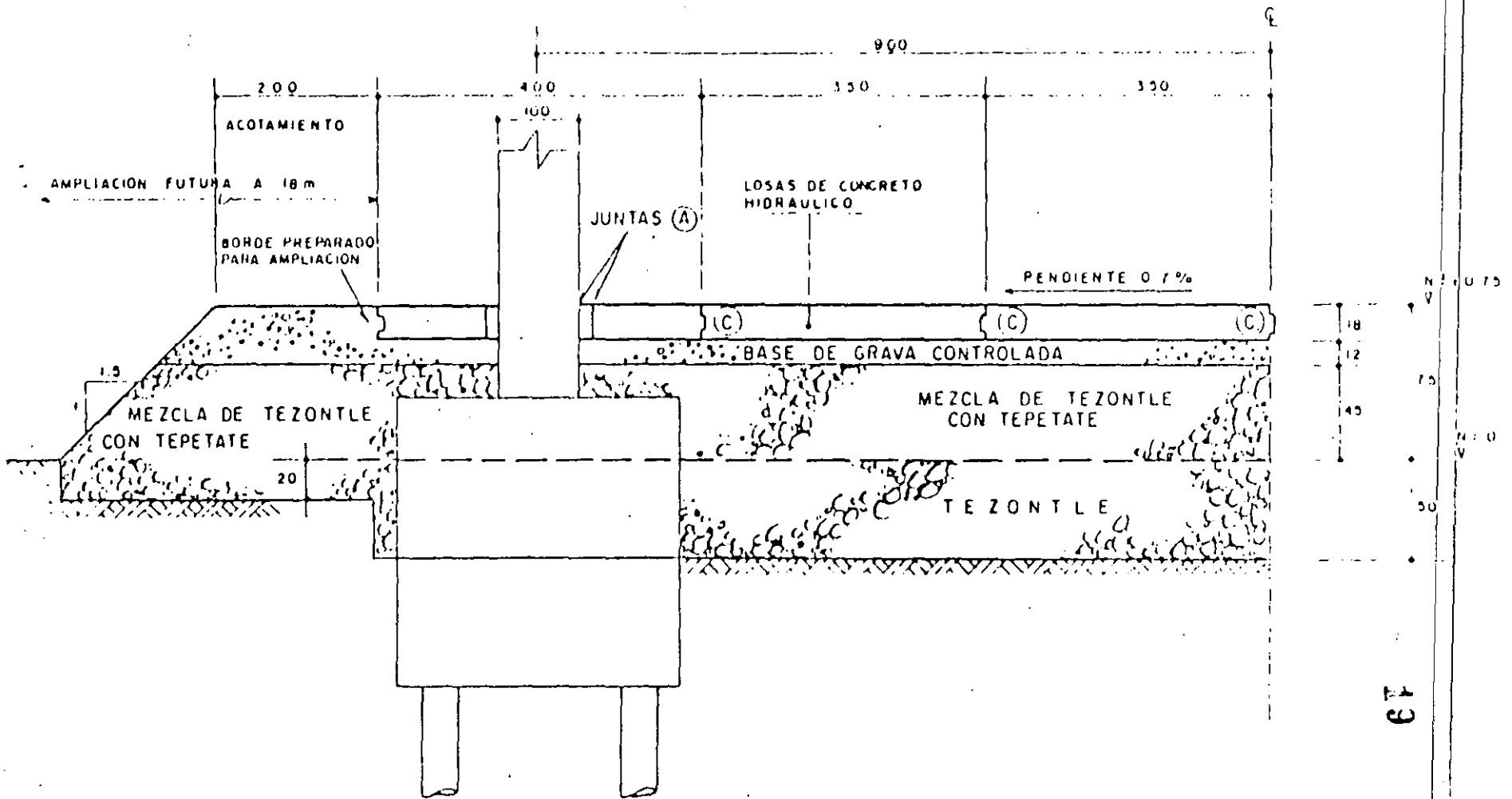


Fig. 6.4.1. b. Colado en forma de tablero de ajedrez (no recomendable)

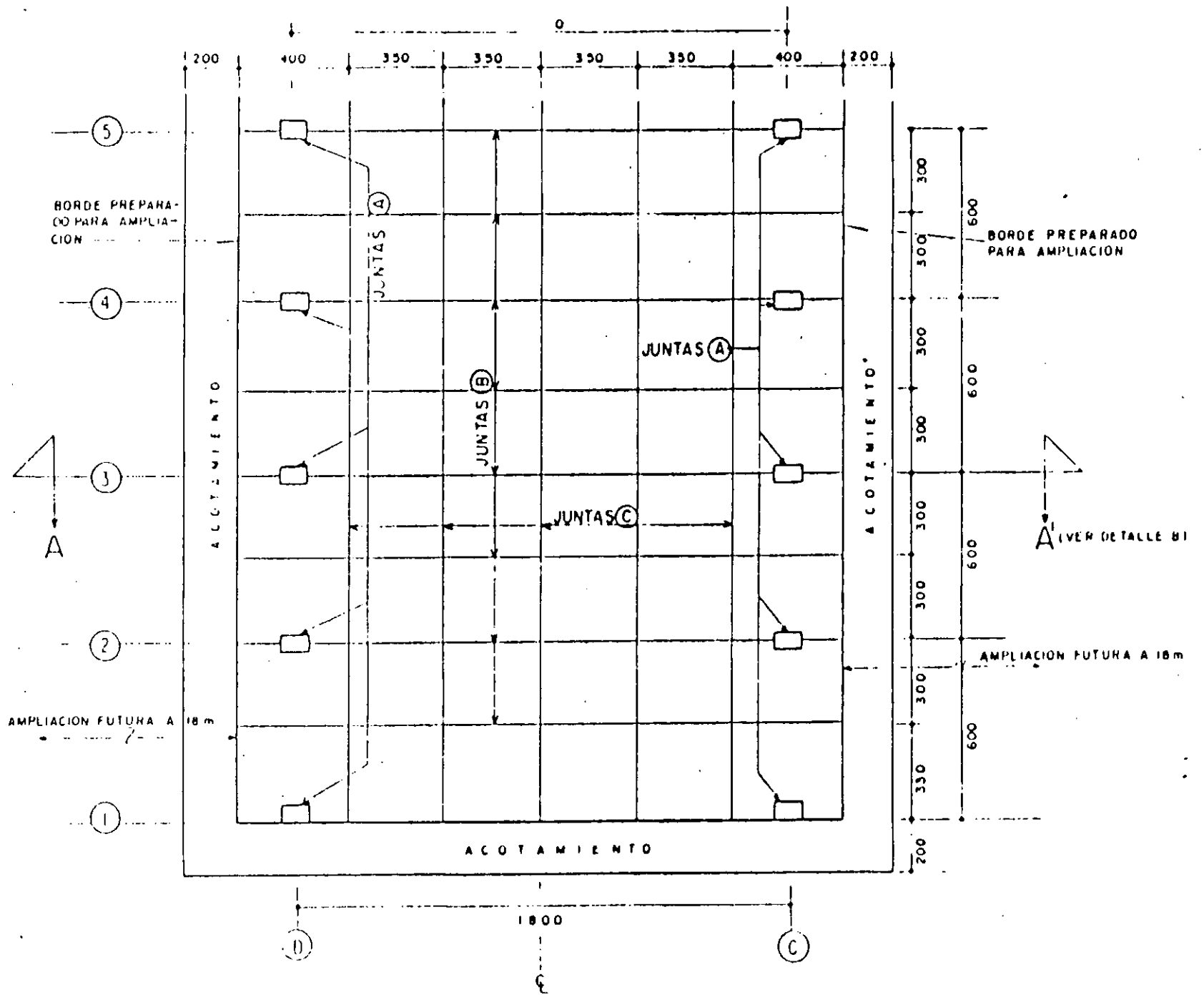


MEDIO CORTE A-A'

ESC. HOR. 1:75
 ESC. VER. 1:30

15

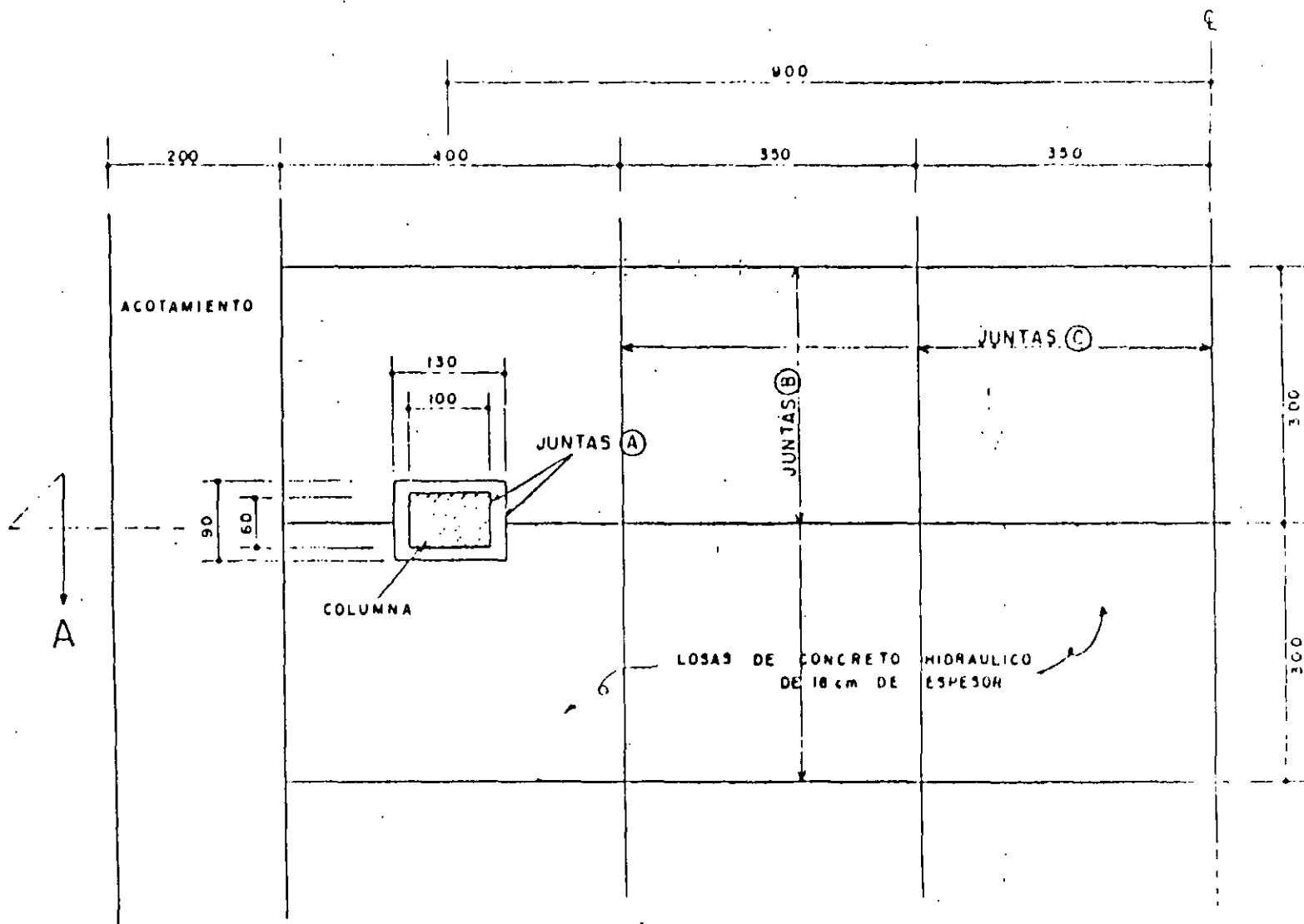
20



PLANTA

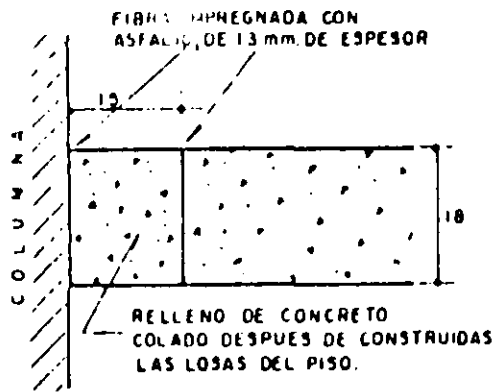
DETALLE DE DISTRIBUCION DE LOSAS Y TIPOS DE JUNTAS

ESCALA 1:200

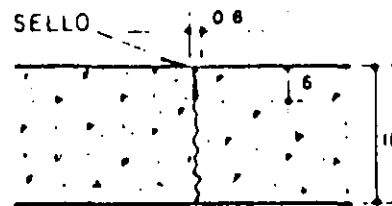


DETALLE B

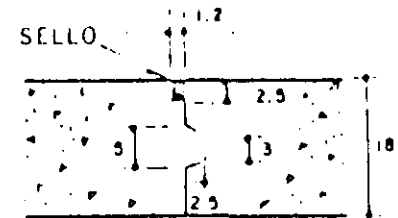
ESCALA 1:75



JUNTA (A)



JUNTA (B)
(TRANSVERSAL)



JUNTA (C)
(LONGITUDINAL)

DETALLES DE LAS JUNTAS

ESCALA 1:10

TABLE A1 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

| Material | Effect | Coatings and surface treatments | Thicker barriers | Mortars |
|--------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------------|
| *Fruit juices | Hydrofluoric, other acids, and sugar cause disintegration (see also fermenting fruits, grains, vegetables, extracts) | AS, Ep, Hy, Vn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, AB | Fu, Ph, Ep |
| Gas water* | Ammonium salts seldom present in sufficient quantity to disintegrate | Bimn | Bk, Tl, Bimn, Ep | Fu, Ep |
| Gasoline | Liquid loss by penetration | Cl-R, Ep, Neo, PE, Vn | Bk, Tl, Neo, Ph | Fu, Ph, Ep |
| *Glucose | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Ep, Hy, Neo, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, Neo, Bu-R | Fu, Ph, Ep |
| *Glycerine | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, S-R, Vn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, Vn, Neo | Fu, Ph, S, Ep |
| *Grain | See fermenting fruits, grains, vegetables, extracts | | | |
| *Honey | Not harmful | Ep, PE, Vn | Bk, Tl | Ep, Fu |
| Horse fat | Solid fat disintegrates slowly, melted fat more rapidly | Ep, PE, Vn | Bk, Tl, Vn, PE, Ep | Fu, Ph, PE, Ep |
| Humic acid | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Ep, Fu | Fu, Ph |
| *Hydrochloric acid, 10 percent | Disintegrates rapidly, including steel | AS, Bimn, Cl-R, Ep, Hy, SBD-R, S-R, Vn | Bk, Tl, Bimn, Vn, Bu-R | Fu, Ph, S, Ep |
| *Hydrochloric acid, 30 percent | Disintegrates rapidly, including steel | SBD-R, S R, Vn | Bk, Tl, Bimn, Vn, Bu-R | Fu, Ph, S, Si, Ep |
| *Hydrochloric acid, 37 percent | Disintegrates rapidly, including steel | SBD-R, Vn | Bk, Tl, Bimn, Vn | Fu, Ph, Si |
| Hydrofluoric acid, 10 percent | Disintegrates rapidly, including steel | Bimn, Cl-R, Ep, Hy, SBD-R, Vn | CBk, Bimn, Vn, Bu-R, Lead, Pfn* | Fu, Ph, S, Ep, PE |
| Hydrofluoric acid, 30 percent | Disintegrates rapidly, including steel | Hy, SBD-R, Vn | CBk, Bimn, Vn, Bu-R, Lead, Pfn* | Ph, Fu, S |

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

| Material | Effect | Coatings and surface treatments | Thicker barriers | Mortars |
|-------------------------------|---|--|------------------------------|-------------------|
| Hydrofluoric acid, 40 percent | Disintegrates rapidly, including steel | SBD-R, Vn | CBk, Bu-R, Lead | Ph, Fu, S |
| Hydrofluoric acid, 75 percent | Disintegrates rapidly, including steel | | CBk, Bu-R, Lead | Ph, S |
| Hydrogen sulfide | Not harmful but in moist, oxidizing environments converts to sulfuric acid (see text), disintegrates slowly | AS, Ep, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, Vn | Fu, Ph, S, Ep, PE |
| Hypochlorous acid, 10 percent | Disintegrates slowly | SBD-R, Vn | Bk, Tl, PE, Bimn, Vn | PE, Si |
| Iodine | Disintegrates slowly | AS, Cl-R, Ep, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bu-R | Fu, Ph, Si |
| Iron chloride | See ferric chloride, ferrous chloride | | | |
| Iron sulfate | See ferric sulfate, ferrous sulfate | | | |
| Iron sulfide | See ferric sulfide | | | |
| Iron vitriol | See ferrous sulfate | | | |
| Kerosene | Liquid loss by penetration of concrete | Ep, PE, S-R, Vn | Bk, Tl, Vn, Bu-R, Neo | Fu, Ph, PE, Ep |
| *Lactic acid, 5 percent | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, Vn, Neo | Fu, Ph, Ep, PE |
| *Lactic acid, 25 percent | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF | Bk, Tl, Bimn, Vn, Neo | Fu, Ph, PE |
| *Lamb fat | Solid fat disintegrates slowly, melted fat more rapidly | Ep, PE, Vn | Bk, Tl, Vn, PE | Fu, Ph, PE, Ep |
| *Lard and lard oil | Lard disintegrates slowly, lard oil more rapidly | Ep, PE, Vn | Bk, Tl, Vn, PE | Fu, Ph, PE, Ep |
| Lead nitrate | Disintegrates slowly | AS, Bimn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn | Bk, Tl, Bimn, Vn, Lead, Pfn* | Fu, Ph, S, Ep, PE |

TABLE A1—KEY TO SYMBOLS USED

| Symbol | Material | Symbol | Material |
|---------|---|----------|---|
| AB | Acrylonitrile-butadiene | Lead | Lead |
| AS | Alkali silicate (see Notation 5, Table A2) | Mg/ZnSiF | Magnesium or zinc fluosilicate (see Notation 5, Table A2) |
| Asph | Asphalt | Neo | Neoprene |
| Bk | Brick (used with mortars of Column 5) | N-R | Natural rubber |
| Btmn | Bituminous (asphalt or coal tar) | PbO | Litharge |
| Buna-SR | Butadiene-styrene rubber | PbSiF | Lead fluosilicate (See Notation 5, Table A2) |
| Bu R | Butyl rubber | PC | Portland cement |
| CA | Calcium aluminate cement | PE | Polyester |
| CBk | Carbon brick (used with mortars of Column 5) | Pfn | Paraffin |
| Cl-R | Chlorinated rubber | Ph | Phenolic |
| CT-Ep | Coal tar-epoxy | S | Sulfur |
| Ep | Epoxy | SBD-R | Styrene-butadiene rubber |
| FC | Fireclay | Si | Silicate |
| Fu | Furan | SiC | Silicone |
| GBk | Carbon and graphite brick (used with mortars of Column 5) | S-R | Polysulfide rubber |
| Hy | Chlorosulfonated polyethylene (Hypalon) | Tl | Tile or vitrified brick (used with mortars of Column 5) |
| | | U | Urethane |
| | | Vn | Vinyl |

TABLE A2—KEY TO SPECIAL NOTATIONS

| | |
|---|---|
| * | Sometimes used in food processing or as food or beverage ingredient. Ask for advisory opinion of Food and Drug Administration regarding coatings for use with food ingredients. |
| a | Waters of pH higher than 6.5 may be aggressive if they also contain bicarbonates. (Natural waters are usually of pH higher than 7.0 and seldom lower than 6.0, though pH values as low as 0.4 have been reported. For pH values below 3, protect as for dilute acid.) |
| b | Frequently used as a deicer for concrete pavements. If the concrete contains too little entrained air or has not been aged more than one month, repeated application may cause surface scaling. For protection under these conditions, see "deicing salts." |
| c | Carbon dioxide dissolves in natural waters to form carbonic acid solutions. When it dissolves to extent of 0.9 to 3 parts per million it is destructive to concrete. |
| d | Frequently used as deicer for airplanes. Heavy spillage on runway pavements containing too little entrained air may cause surface scaling. |
| e | In addition to the intentional fermentation of many raw materials, much unwanted fermentation occurs in the spoiling of foods and food wastes, also producing lactic acid. |

| | |
|----|---|
| f | Contains carbonic acid, fish oils, hydrogen sulfide, methyl amine, brine, other potentially reactive materials. |
| g | Water used for cleaning coal gas. |
| h | However, in those limited areas of the United States where concrete is made with reactive aggregates, disruptive expansion may be produced. |
| i | For solutions up to about 10 percent concentration. |
| j | Not for drinking water pipes. |
| k | Polyesters only. |
| l | Followed by tartaric acid solution. |
| n | Composed mostly of nitrogen, oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, and water vapor. Also contains unburned hydrocarbons, partially burned hydrocarbons, oxides of nitrogen, and oxides of sulfur. Nitrogen dioxide and oxygen in sunlight may produce ozone, which reacts with some of the organics to produce formaldehyde, peracetylitrates, and other products. |
| o | These either contain chromium trioxide and a small amount of sulfate, or ammonium chromic sulfate (nearly saturated) and sodium sulfate. |
| p | Many types of solutions are used, including: (a) Sulfate—Contain copper sulfate and sulfuric acid. (b) Cyanide—Contain copper and sodium cyanides and sodium carbonate. (c) Rochelle—Contain these cyanides, sodium carbonate, and potassium sodium tartrate. (d) Others such as fluoborate, pyrophosphate, amine, or potassium cyanide. |
| q | Contains lead fluosilicates and fluosilicic acid. |
| r | Reference here is to combustion of coal, which produces carbon dioxide, water vapor, nitrogen, hydrogen, carbon monoxide, carbohydrates, ammonia, nitric acid, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, soot, and ashes. |
| s | Increases resistance to attack but does not prevent it. |
| t | High melting, <i>f</i> = lower end of temperature range. |
| u | Porous concrete which has absorbed considerable molten paraffin and then been immersed in water after the paraffin has solidified has been known to disintegrate from sorptive forces. |
| v | Contains nickelous chloride, nickelous sulfate, boric acid, and ammonium ion. |
| w | May contain various mixtures of blood, fats and oils, bile and other digestive juices, partially digested vegetable matter, urine, and manure, with varying amounts of water. |
| x | Usually contains zinc sulfate in sulfuric acid. Sulfuric acid concentration may be low (about 6 percent in "low current density" process) or higher (about 22-28 percent in "high current density" process). |
| .. | Sand-filled. |

TABLA 5.2.1 REVENIMIENTO Y RESISTENCIA RECOMENDADOS PARA CADA CLASE DE PISO DE CONCRETO

| Clase de piso | Resistencia a la compresión a los 28 días ^a | Revenimiento ^b | Resistencia a la compresión a los 28 días ^a | Revenimiento ^b |
|---------------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | libras/pulgada ² | pulgadas | MPa | mm |
| 1 | 3 000 | 4 | 21 | 100 |
| 2 | 3 500 | 4 | 24 | 100 |
| 3 | 3 500 | 4 | 24 | 100 |
| 4 | 4 000 | 3 | 28 | 75 |
| 5 | 4 500 | 3 | 31 | 75 |
| 6 Base | 3 500 | 4 | 24 | 100 |
| 6 Capa de desgaste ^c | 5 000-8 000 | 1 | 35-55 | 25 |
| 7 ^e | 4 000 | 3 | 28 | 75 |

^a La resistencia a la compresión a los 3 días para pisos de la clase 2 a la 7 debe ser por lo menos de 1 800 libras/pulgada cuadrada (12 MPa).

La resistencia se refiere a la resistencia a la compresión de cilindros, que han sido curados continuamente con agua, fabricados y probados de acuerdo con las normas ASTM pertinentes, a los 3 y 28 días. Para cada requisito de resistencia, a determinada edad, el nivel de resistencia del concreto se considerará satisfactorio si los promedios de todos los conjuntos de tres pruebas de resistencia consecutivas resultan iguales o superiores a los valores recomendados en la tabla, y si ninguna prueba individual de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que la resistencia recomendada, en más de 500 libras/pulgada cuadrada (3.5 MPa).

^b Revenimiento no mayor que 3 pulgadas (75 mm) si se utilizan agregados ligeros.

Para una guía en cuanto a las tolerancias razonables para el revenimiento del concreto, vease la norma ASTM C 94 "Especificación estándar para concreto premezclado".

^c Para concreto que contiene agregado de peso normal y que está expuesto al congelamiento y deshielo, el contenido de aire debe ajustarse a los límites de la tabla 5.2.7.a, y a una relación máxima agua/cemento de 0.50 (equivalente aproximadamente a 3 800 libras/pulgada cuadrada o 26 MPa). Si se van a emplear sales descongelantes, el contenido de aire debe ajustarse a los mismos límites de la tabla, pero la relación máxima agua/cemento será de 0.45 (equivalente aproximadamente a 4 300 libras/pulgada cuadrada o 30 MPa).

Los concretos estructurales con agregado ligero deben tener el contenido de aire especificado en la tabla 5.2.7.b. Para concretos ligeros sujetos al congelamiento y deshielo, las recomendaciones para el contenido de aire y cemento deben confirmarse con el fabricante del agregado ligero.

^d La cantidad de cemento o resistencia requerida dependerá de la severidad de la exposición a la abrasión. Esta escala cubre la mayoría de las situaciones.

^e Tamaño máximo del agregado no mayor que 1/3 del espesor de la capa de desgaste no ligada.

ESPEORES MINIMOS

| CLASE | ESPEOR MINIMO CM. |
|-------|--------------------------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 10-12.5 |
| 3 y 4 | 12.5 |
| 5 | 15 |
| 6 | RECUBRIMIENTO 2-4 LOSA 12.5 |
| 7 | RECUBRIMIENTO 6.5 |



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

EMULSIONES ASFALTICAS

MORTEROS ASFALTICOS

ING. JORGE AGUILAR

OCTUBRE

LIGANTES O CEMENTANTES

ASFALTICOS

GENERALIDADES

Se denominan ligantes asfálticos a una gama de productos que tienen en común su aspecto, color y poder aglomerante debiéndose estas similitudes a estar constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos de distintos tipos.

CLASIFICACION

Atendiendo a su origen, podemos clasificarlos en naturales y artificiales.

Naturales.- Se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales. Como ejemplo, tenemos las rocas asfálticas, Gilsonitas, Asfaltites y Asfalto de Trinidad.

Artificiales.- Los obtenidos a través de un proceso industrial partiendo de un producto natural. Este tipo de cementante es el más utilizado en la construcción.

Los cementantes artificiales los podemos clasificar en:

- a). Asfaltos de destilación o penetración: Se obtienen en las Refinerías como residuo de la columna de destilación por vacío de los crudos de petróleo, son los llamados cementos asfálticos. (Fig. 1)
- b). Alquitranes de Hulla: Se obtienen de la reconstrucción del residuo

LIGANTES ASFALTICOS:

NATURALES: ROCAS ASFALTICAS

- Gilsonitas
- Asfaltites
- Asfalto de Trinidad

ARTIFICIALES:

- Alquitranes
- Asfaltos de destilación o penetración.
- Asfaltos fluidificados
- Emulsiones asfálticas

ORIGEN DEL PETROLEO:

TEORIA INORGANICA: Reacción de carburos metálicos con el agua, y/o reacción de metales alcalinos con bióxido de carbono, produciendo hidrocarburos.

TEORIA ORGANICA: Transformación por descomposición de restos animales y vegetales.

que se produce en la destilación del carbón de hulla. Estan compuestos fundamentalmente por dos fracciones: la brea de alquitrán y los aceites de hulla.

- c). **Asfaltos Fluidificados y Fluxados:** Son asfaltos de destilación a los que se añade un solvente procedente de la destilación del petróleo en el primer caso y de la destilación del alquitrán en el segundo.

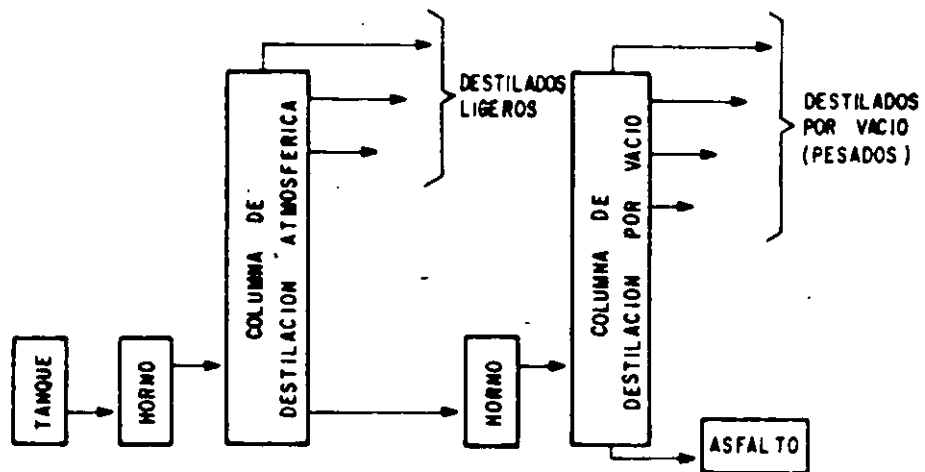


FIG. 1 ESQUEMA DE LA OBTENCION DE ASFALTO DE DESTILACION

- 1). **Ligantes o cementantes modificados:** Compuestos por mezclas de diversos productos, como pueden ser: Asfalto-Alquitrán, Alquitrán-Vinilo, Alquitrán-Epoxi, Alquitrán-Poliuretano, Asfalto-Caucho, Asfalto-Elastómero, Asfalto-Epoxi.
- 2). **Emulsiones asfálticas:** Son dispersiones de un cementante asfáltico artificial en agua.

COMPOSICION
DEL ASFALTO .

ASFALTO: Compuestos constituidos por la mezcla de gran número de hidrocarburos de diversos tipos, asociados en proporciones muy variables en un estado coloidal.

Sus componenetes se suelen subdividir en - tres grupos:

- Asfaltenos
- Resinas
- Aceites

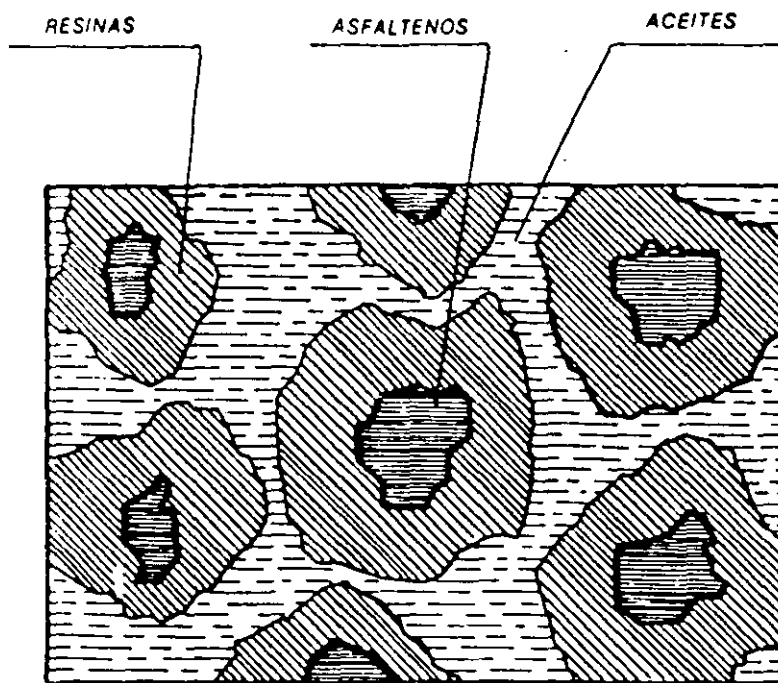


FIGURA 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS COMPONENTES DEL ASFALTO

PRINCIPALES
PROPIEDADES
DE LOS ASFALTOS

CONSISTENCIA:

Estado físico en un momento determinado. Depende de la temperatura (sólido, semisólido o líquido)

VISCOSIDAD:

Resistencia que presenta un material a ser deformado, en función de la velocidad de aplicación de una carga, debida al rozamiento interno de sus moléculas.

PUNTO DE REBLANDECIMIENTO:

Temperatura a la que se alcanza un determinado grado de fluidez (punto de fusión). Es una prueba de la resistencia a la deformación.

PENETRACION:

Prueba empleada para la determinación de las propiedades de fluencia.

DUCTILIDAD:

Capacidad para sufrir alargamientos sin disgregar su masa.

PUNTO DE INFLAMACION:

Temperatura a la que puede ser calentado el asfalto sin peligro de que se incendie en presencia de una flama.

SOLUBILIDAD:

Medida de la pureza del asfalto.

TABLA No. 1 NORMAS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFALTICOS

| CARACTERÍSTICAS | GRADO DEL CEMENTO ASFALTICO | | | |
|--|-----------------------------|--------|--------|--------|
| | Núm. 3 | Núm. 6 | Núm. 7 | Núm. 8 |
| Penetración, 100 g, 5 seg, 25°C, grados | 180-200 | 80-100 | 60-70 | 40-50 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C, seg, mínimo | 60 | 85 | 100 | 120 |
| Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo | 220 | 232 | 232 | 232 |
| Punto de reblandecimiento, °C | 37-43 | 45-52 | 48-56 | 52-60 |
| Ductilidad, 25°C, cm, mínimo | 60 | 100 | 100 | 100 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 |
| Prueba de la película delgada, 50 cm ² , 5 h, 163°C: Penetración retenida, por ciento, mínimo | 40 | 50 | 54 | 58 |
| Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo | 1.4 | 1.0 | 0.8 | 0.8 |

TABLA No. 3 NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO

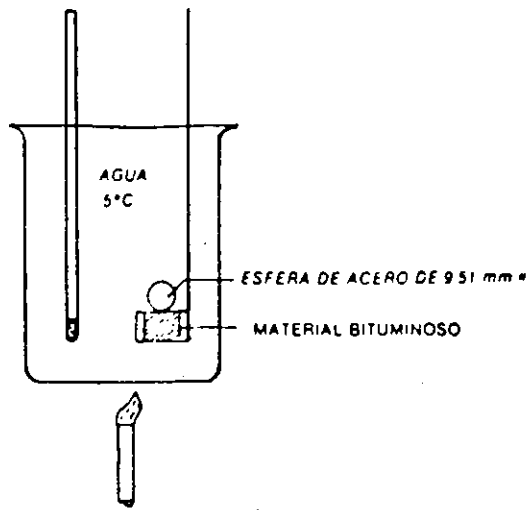
| CARACTERÍSTICAS | GRADO | | | | |
|--|--------|--------|---------|---------|---------|
| | FR-0 | FR-1 | FR-2 | FR-3 | FR-4 |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | |
| Punto de inflamación (copa abierta de Tag) °C mínimo | — | — | 27 | 27 | 27 |
| Viscosidad Saybolt-Furol: | | | | | |
| A 25°C, seg. | 75-150 | — | — | — | — |
| A 50°C, seg. | — | 75-150 | — | — | — |
| A 60°C, seg. | — | — | 100-200 | 250-500 | — |
| A 82°C, seg. | — | — | — | — | 125-250 |
| Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C. | | | | | |
| Hasta 190°C, mínimo | 15 | 10 | — | — | — |
| Hasta 225°C, mínimo | 55 | 50 | 40 | 25 | 8 |
| Hasta 260°C, mínimo | 75 | 70 | 65 | 55 | 40 |
| Hasta 315°C, mínimo | 90 | 88 | 87 | 83 | 80 |
| Residuo de la destilación a 360°C, por ciento del volumen total por diferencia, mínimo | 50 | 60 | 67 | 73 | 78 |
| Agua por destilación, %, máximo | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| PRUEBAS EN RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | |
| Penetración, grados | 80-120 | 80-120 | 80-120 | 80-120 | 80-120 |
| Ductilidad en centímetros, mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 |

TABLA No. 4 NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| | FM-0 | FM-1 | FM-2 | FM-3 | FM-4 |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | |
| Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo | 38 | 38 | 66 | 66 | 66 |
| Viscosidad Saybolt-Furol: | | | | | |
| A 25°C, seg. | 75-150 | — | — | — | — |
| A 50°C, seg. | — | 75-150 | — | — | — |
| A 60°C, seg. | — | — | 100-200 | 250-500 | — |
| A 82°C, seg. | — | — | — | — | 125-250 |
| Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C. | | | | | |
| Hasta 225°C, máximo | 25 | 20 | 10 | 5 | 0 |
| Hasta 260°C, | 40-70 | 25-65 | 15-55 | 5-40 | 30 máx. |
| Hasta 315°C, | 75-93 | 70-90 | 60-87 | 55-85 | 40-80 |
| Residuo de la destilación a 360°C, por ciento del volumen total por diferencia, mínimo | 50 | 60 | 67 | 73 | 78 |
| Agua por destilación, %, máximo | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | |
| Penetración, grados | 120-300 | 120-300 | 120-300 | 120-300 | 120-300 |
| Ductilidad en centímetros, mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 |

TABLA No. 5 NORMAS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | |
|---|--------|--------|---------|---------|---------|
| | FL-0 | FL-1 | FL-2 | FL-3 | FL-4 |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | |
| Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo | 66 | 66 | 80 | 93 | 107 |
| Viscosidad Saybolt-Furol: | | | | | |
| A 25°C, seg. | 75-150 | — | — | — | — |
| A 50°C, seg. | — | 75-150 | — | — | — |
| A 60°C, seg. | — | — | 100-200 | 250-500 | — |
| A 82°C, seg. | — | — | — | — | 125-250 |
| Destilación: Destilado total a 360°C, por ciento en volumen | 15-40 | 10-30 | 5-25 | 2-15 | 10 máx. |
| Agua por destilación, %, máximo | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, %, mínimo | 40 | 50 | 60 | 70 | 75 |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | |
| Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, seg. | 15-100 | 20-100 | 25-100 | 50-125 | 60-150 |
| Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm, mínimo | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 | 99.5 |



PRINCIPIO

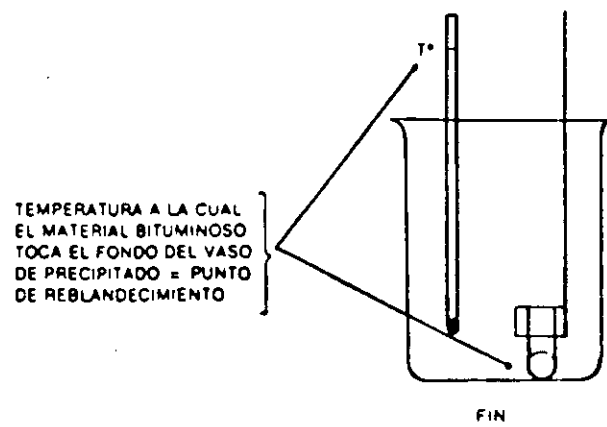
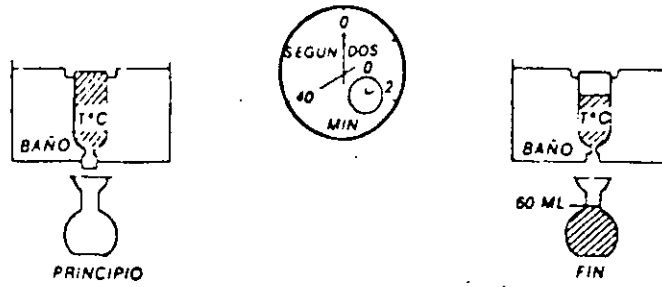


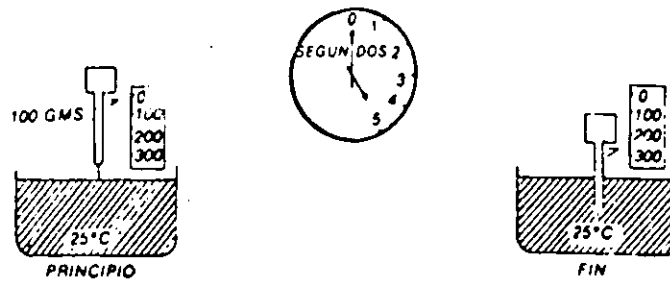
FIGURA 9. PRUEBA DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

A PRUEBA DE VISCOSIDAD



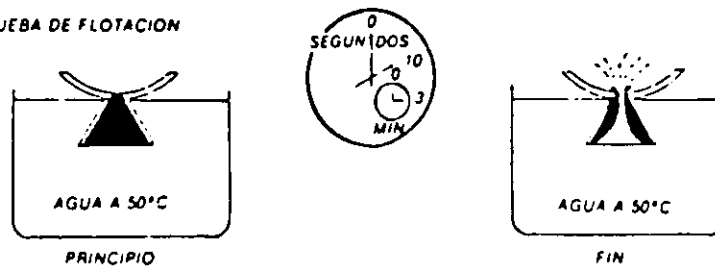
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 160 SEG A 7°C

B PRUEBA DE PENETRACION



PENETRACION 25°C, 100 GMS Y 5 SEG

C PRUEBA DE FLOTACION



PRUEBA DE FLOTACION 190 SEG 50°C

FIGURA 8. PRUEBAS DE CONSISTENCIA DEL ASFALTO

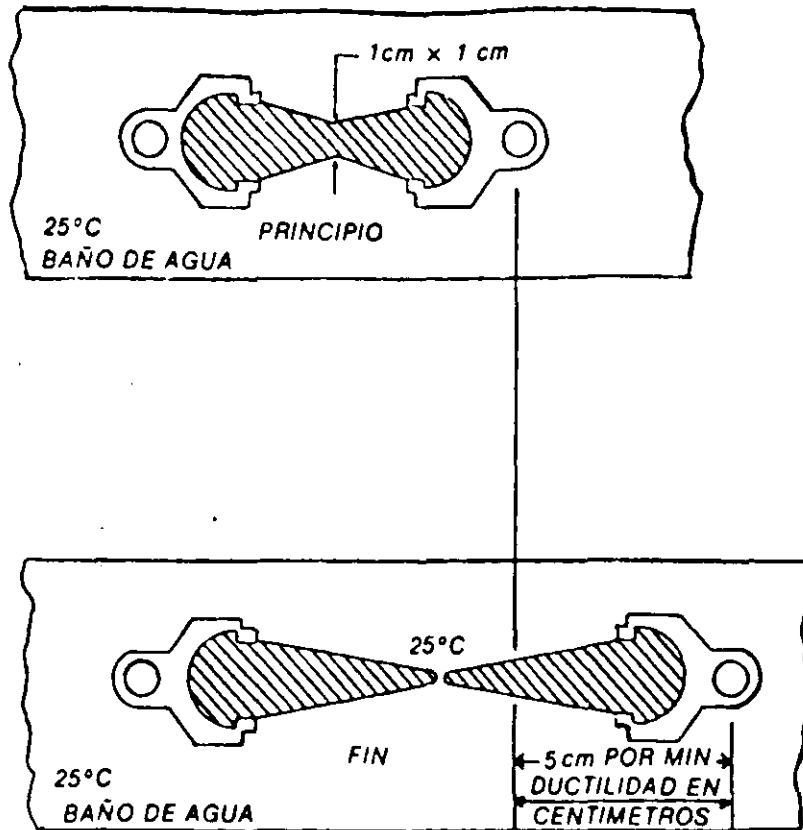
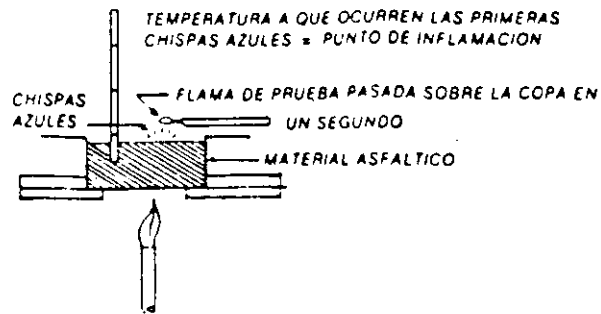
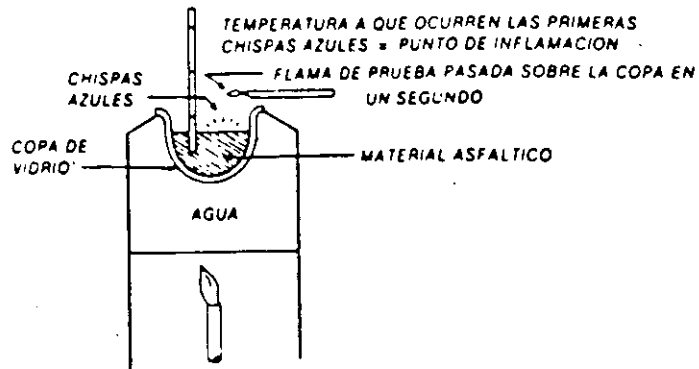


FIGURA 10. PRUEBA DE DUCTILIDAD

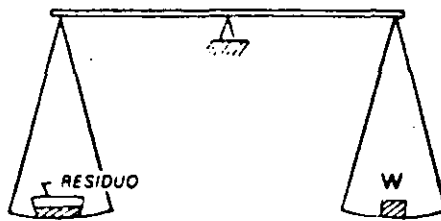
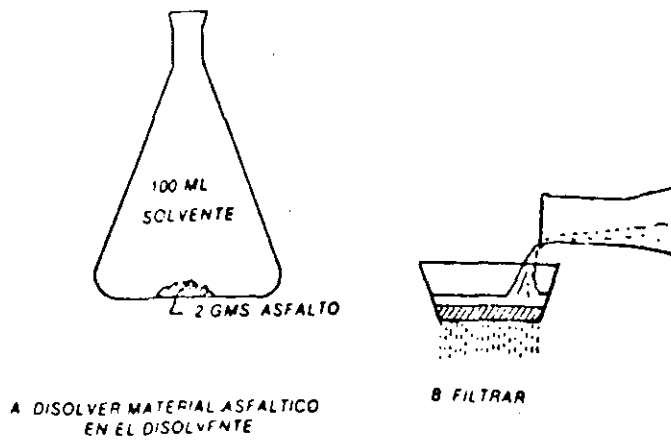


COPA ABIERTA DE CLEVELAND
CEMENTOS ASFALTICOS Y ASFALTOS REBAJADOS FL




COPA ABIERTA DE TAG
REBAJADOS FR Y FM

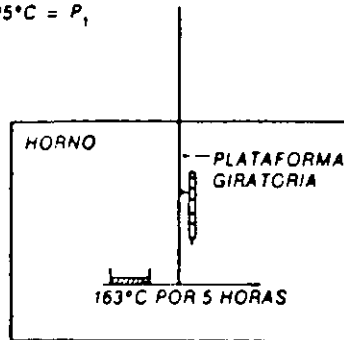
FIGURA II. PRUEBA DE PUNTO DE INFLAMACION



C PESAR RESIDUO

**FIGURA 12. PRUEBA DE SOLUBILIDAD EN
TETRACLORURO DE CARBONO**


 50 GMS
 ANTES DE LA PRUEBA
 PESO = w_1
 PENETRACION A 25°C = P_1



$$\text{PERDIDA POR CALENTAMIENTO, \%} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

$$\text{PENETRACION RETENIDA, \%} = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$



 DESPUES DE LA PRUEBA
 PESO = w_2
 PENETRACION A 25°C = P_2

FIGURA 13. PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA

EMULSIONES ASFALTICAS

GENERALIDADES

La emulsión asfáltica es un ligante o cementante asfáltico, que se obtiene al dispersar un ligante asfáltico, en agua, en forma de pequeñas partículas con diámetro entre 3μ y 9μ . Al conjunto de pequeñas gotas de ligante asfáltico se le llama fase discontinua y al medio en el cuál están dispersas, fase continua. (Fig. 2)

Para conseguir la dispersión de estos dos líquidos que no son miscibles entre sí, se utilizan agentes químicos denominados emulsionantes o emulsificantes.

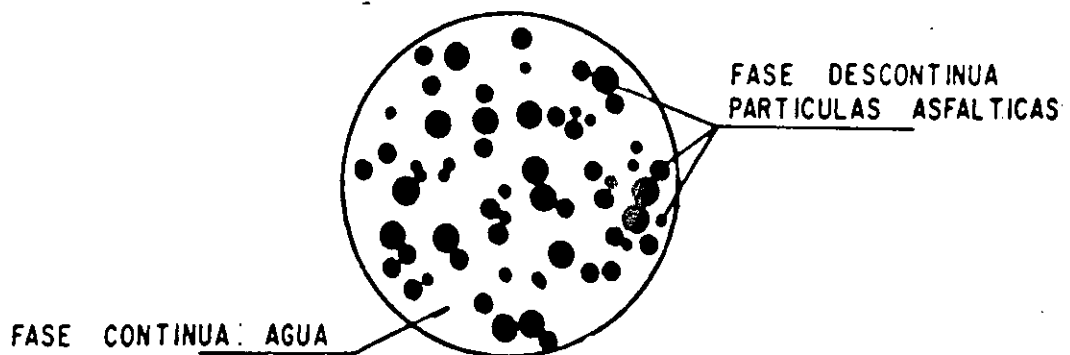


FIG. 2

COMPONENTES DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Los componentes básicos de las emulsiones son:

- 1) Ligante o cementante asfáltico.

- 2) Emulsionantes.
- 3) Agua
- 4) Aditivos

1) **Ligantes asfálticos.**— Los más utilizados son:

Asfalto de destilación
Asfaltos fluidificados y fluxados
Mezclas asfalto-alquitrán

2) **Emulsionantes.**— El emulsionante cumple una triple misión dentro de las emulsiones, que es: -

- a) Facilitar la dispersión del ligante asfáltico en el agua.
- b) Conservar la emulsión como tal, en el tiempo. Esto se consigue al cargar las partículas de asfalto con cargas eléctricas que se repelen entre si.
- c) Favorecer la cubrición de los agregados por el ligante asfáltico al estar éste cargado eléctricamente.

Según la característica química de los mismos, los emulsionantes pueden ser: aniónicos y catiónicos.

Los emulsionantes aniónicos; son en general sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja, con fórmula general:
R-COONa.

Los emulsionantes catiónicos son los productos de reacción de ácidos inorgánicos fuertes (ácidos clorhídrico, principalmente), con aminas grasas, con fórmula general: **R-NH₂-Cl**

3) **Agua.**— El agua no necesita condiciones muy estrictas, salvo en las emulsiones de tipo aniónico, en las que hay que cuidar su

dureza.

- 4) **Aditivos.**- En algunos casos especiales, los emulsionantes pueden venir acompañados de aditivos, con el fin de mejorar algunas de las características de las emulsiones, como pueden ser viscosidad, adherencia, etc.

CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Atendiendo a la naturaleza del emulsionante químico utilizado se clasifican en:

- Aniónicas
- Catiónicas

Dicha clasificación va en función de la carga eléctrica que el emulsionante confiere a las partículas del asfalto, según vemos en la (Fig. 3)

Las emulsiones aniónicas presentan buena adherencia con los agregados calizos.

Las emulsiones catiónicas presentan buena adherencia con los agregados silíceos y gran parte de los calizos.

Cuando las partículas de asfalto dispersas en el agua vuelven a unirse entre sí, formando una película, se dice que la emulsión ha roto, en este momento se separa el agua del asfalto.

Este rompimiento químico se produce al poner la emulsión en presencia de los agregados húmedos que se encuentran ionizados positiva o -

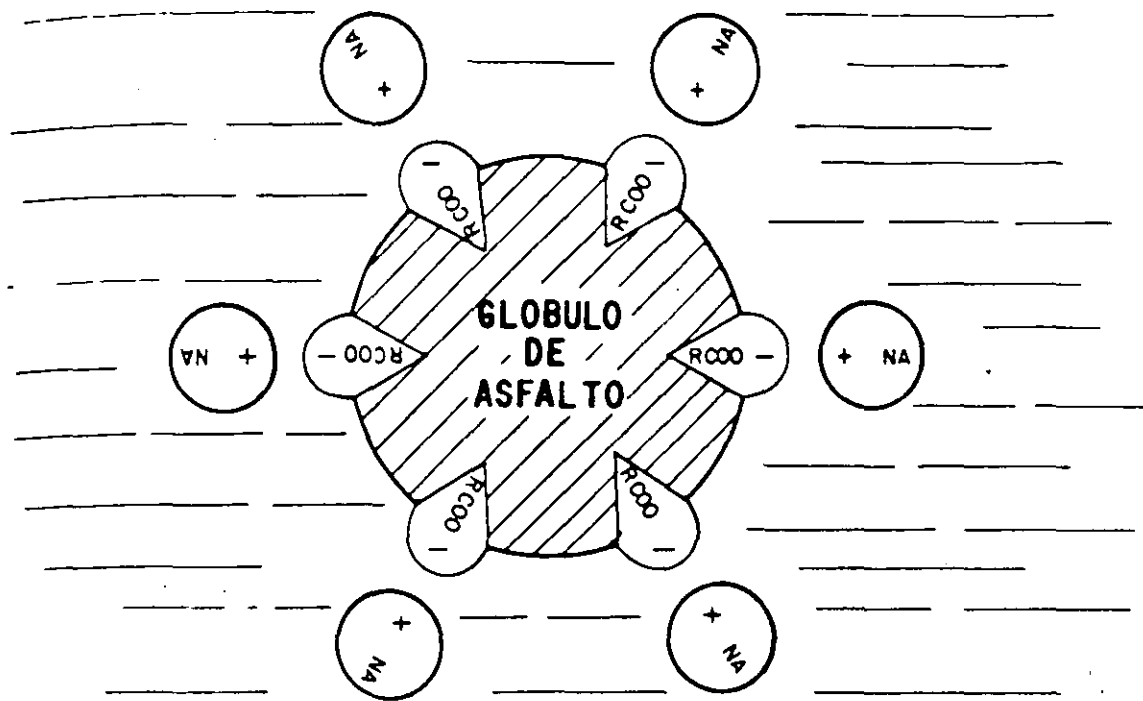


FIG. 3 EMULSION ANIONICA

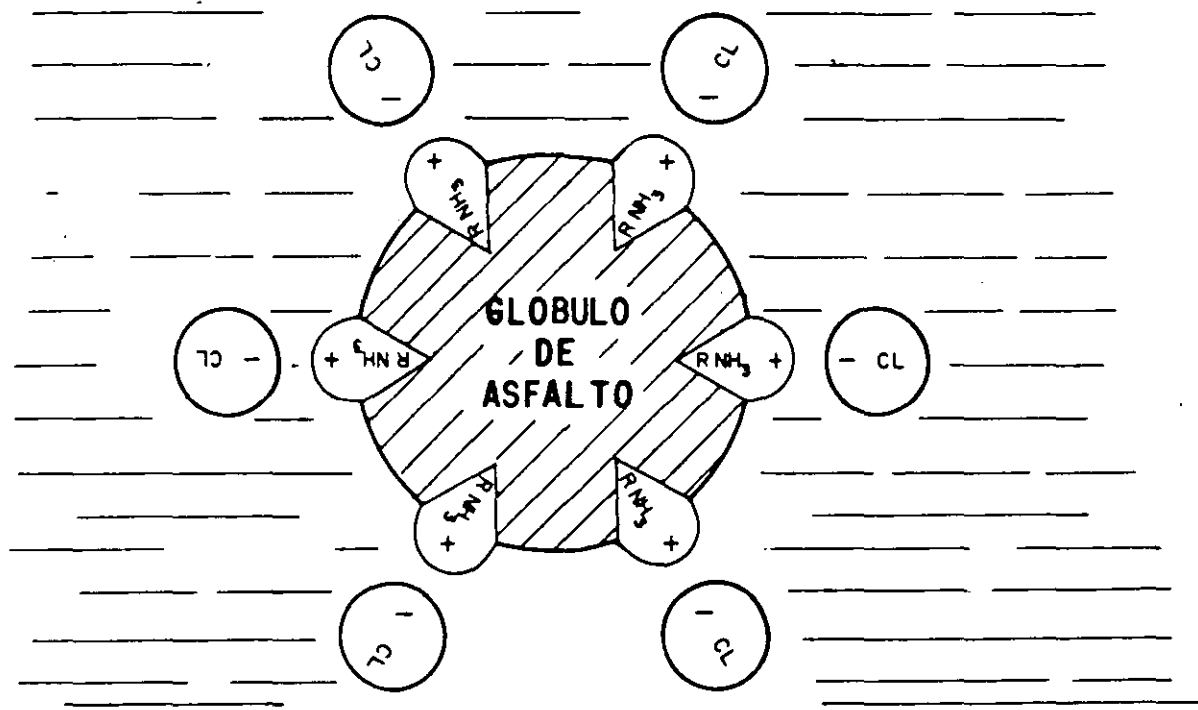
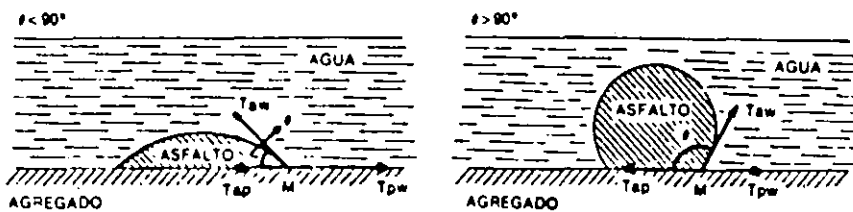


FIG. 3 EMULSION CATIONICA



$$T_{pw} = T_{ap} + T_{aw} \cos \theta$$

$$T_{ap} < T_{aw}$$

(a)

$$T_{pw} = T_{ap} - T_{aw} \cos \theta$$

$$T_{ap} > T_{pw}$$

(b)

En la figura

T_{aw} = Tensión interfacial entre el asfalto y el agua

T_{ap} = Tensión interfacial entre el asfalto y el material pétreo (agregado)

T_{pw} = Tensión interfacial entre el material pétreo y el agua

θ = Ángulo de adhesión

FIGURA 3. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LAS FUERZAS INTERFACIALES QUE ACTUAN EN EL PUNTO DE CONTACTO DE UN GLOBULO DE ASFALTO QUE TOCA AL MATERIAL PETREO EN PRESENCIA DEL AGUA

negativamente según su naturaleza, dando lugar a una atracción electroquímica con las cargas eléctricas opuestas de las partículas de asfalto activadas. (Fig. 3A)



FIG. 3A

Atendiendo a la velocidad de rompimiento de la emulsión, ésta se clasifica en:

- Emulsión de rompimiento rápido.
- Emulsión de rompimiento medio.
- Emulsión de rompimiento lento.

CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES

Carácter Químico.- Es función del emulsionante utilizado. Como ya hemos visto la emulsión puede ser aniónica. ($PH > 7$), y catiónica ($PH < 7$).

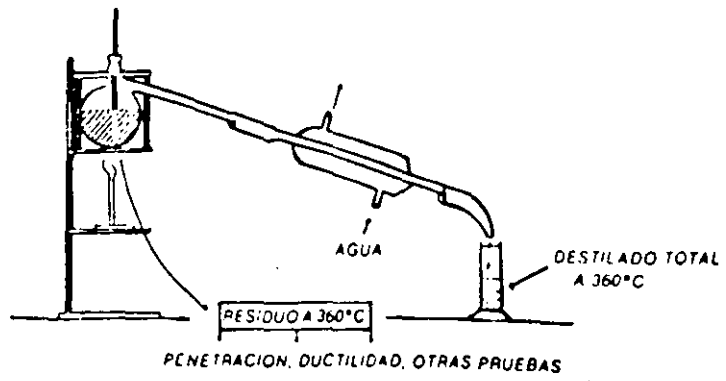


FIGURA 14. PRUEBA DE DESTILACION

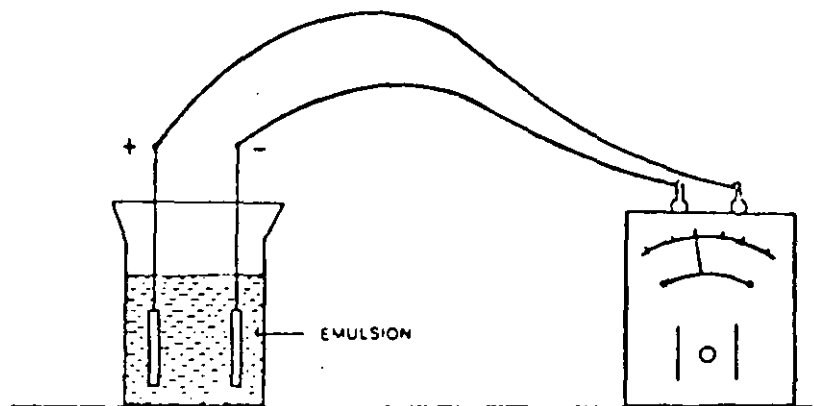


FIGURA 15. PRUEBA DE CARGA DE LA PARTICULA

Velocidad de rompimiento: Es función de distintas variables como son, naturaleza del ligante asfáltico, naturaleza y cantidad del emulsionante, naturaleza de los agregados y naturaleza electroquímica de la propia emulsión (Fig. 4 y 5).

En general las emulsiones aniónicas son de rompimiento más lento que las catiónicas.

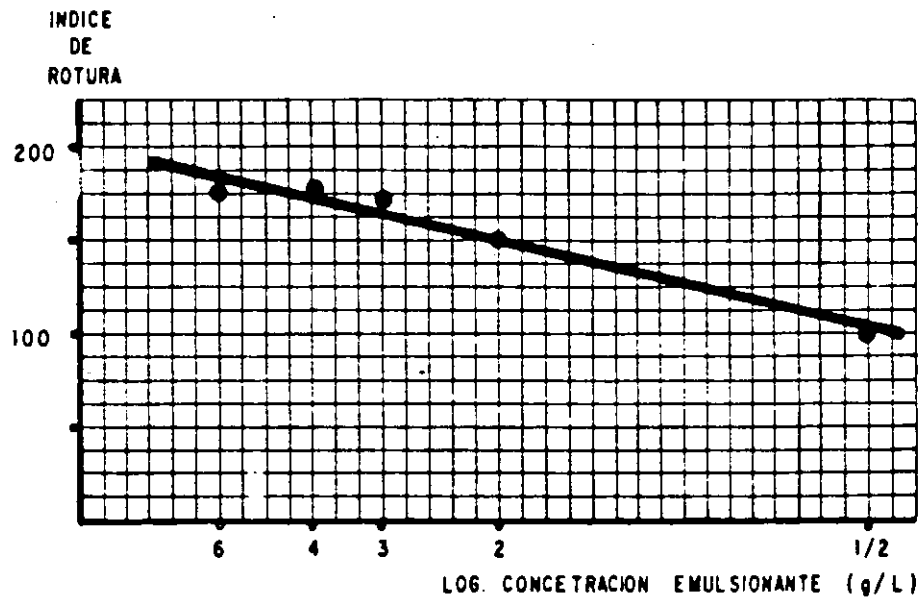


FIG. 4 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE EMULSIONANTE

Estabilidad al almacenamiento: Permite un tiempo mayor o menor entre la fabricación y empleo de la emulsión; depende fundamentalmente de la naturaleza y cantidad del emulsionante y tamaño de las partículas en dispersión.

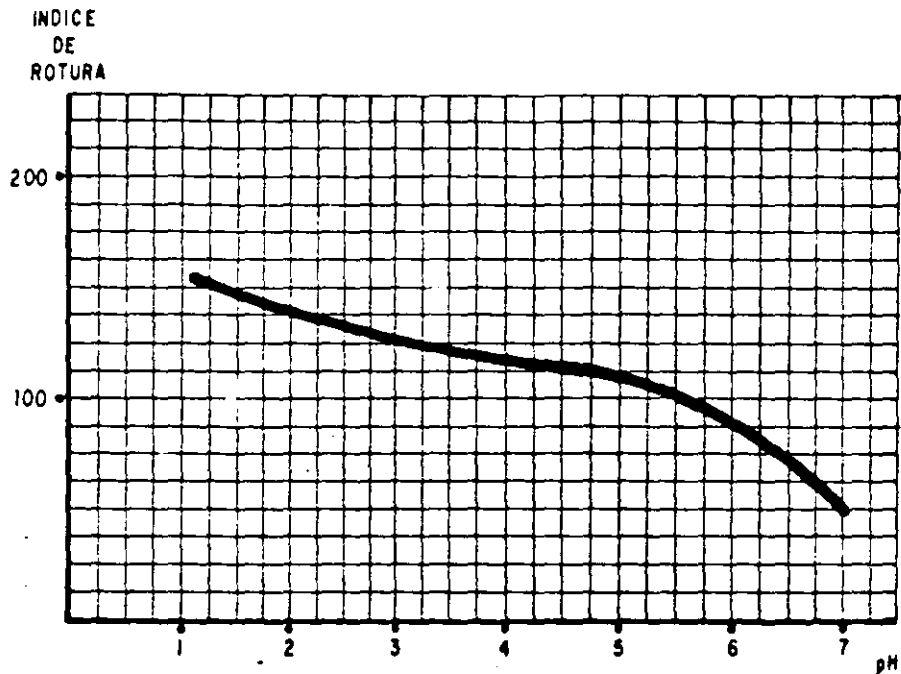


FIG. 5 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA CON EL pH DE LA FASE ACUOSA.

Viscosidad: Es una de las características más importantes pues confiere espesores de película asfáltica adecuados a cada tratamiento.

(Fig. 6 y 7)

Es función del ligante asfáltico y su contenido, así como del tamaño de las partículas del mismo, y la temperatura.

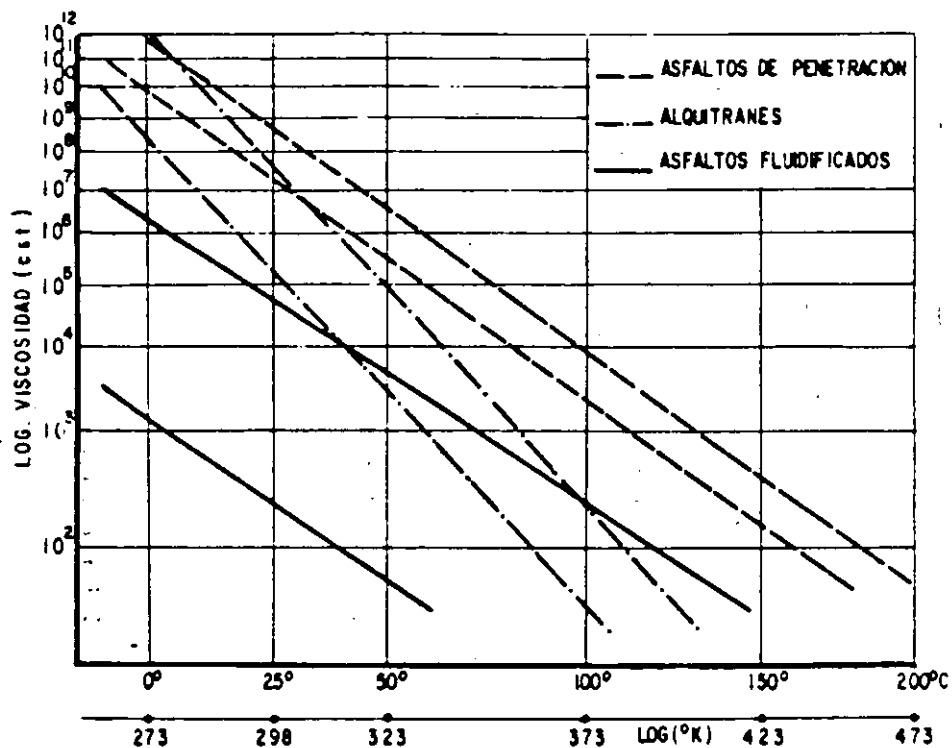


FIG. 6 DIAGRAMAS VISCOSIDAD TEMPERATURA DE DIFERENTES LIGANTES ASFALTICOS.

Adherencia o adhesividad a los agregados: Es sin duda la característica más importante de cualquier ligante asfáltico y por lo tanto también de las emulsiones. Podemos definirla como la capacidad de un ligante o cementante asfáltico para quedar fijo en el agregado, recubriéndolo sin peligro de que se desplace, incluso en presencia de agua o tráfico.

VISCOSIDAD (C. P.)
A. 26° C

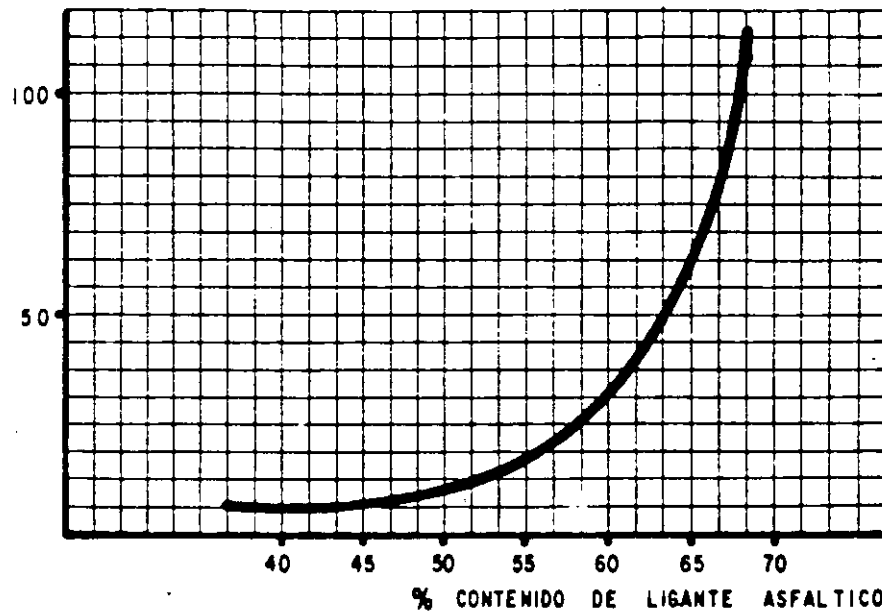


FIG. 7 VISCOSIDAD DE UNA EMULSION EN FUNCION
DEL CONTENIDO DE LIGANTE

Es función de casi todas las variables que intervienen en un tratamiento asfáltico como son: Naturaleza del ligante asfáltico, naturaleza de los agregados, tipo de emulsionante y PH de la emulsión.

FABRICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

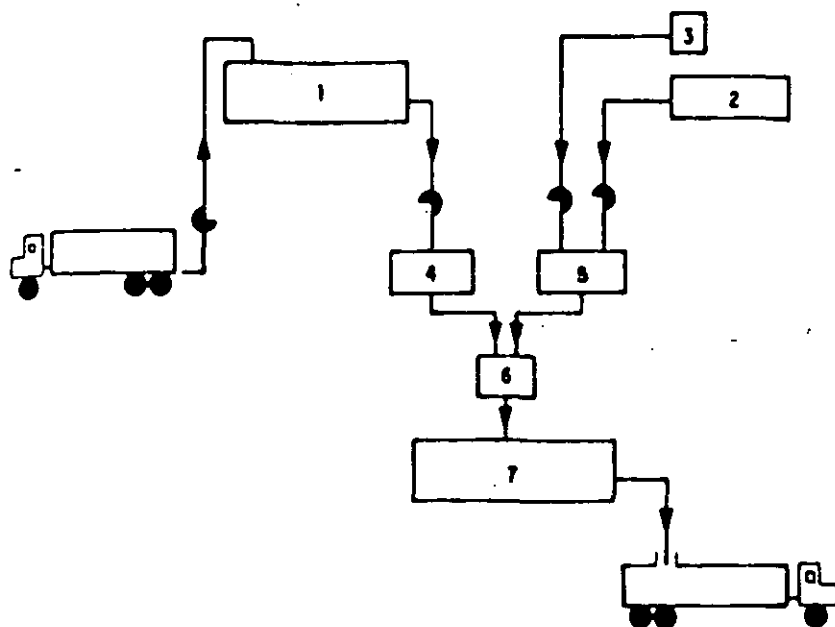
Las emulsiones asfálticas se fabrican en instalaciones industriales especiales, que pueden ser muy sencillas o tener un alto grado de complicación.

En general una fábrica de emulsiones consta de los siguientes elementos:
(Fig. 8)

Sistema de almacenamiento de materias primas (Cemento asfáltico, emulsionantes, fluidificantes, aditivo, ácido, etc.)

Sistema de bombas y tuberías para trasvase, incorporación, mezcla y dosificación de componentes.

Sistema de calentamiento, pudiéndose utilizar fuego directo con quemadores, vapor de agua o aceite térmico.



- 1 - ALMACENAMIENTO DE LIGANTE ASFALTICO
- 2 - ALMACENAMIENTO DE AGUA
- 3 - ALMACENAMIENTO DE EMULSIONANTE
- 4 - DOSIFICADOR DE LIGANTE ASFALTICO
- 5 - DOSIFICADOR DE AGUA - EMULSIONANTE
- 6 - MOLINO DE EMULSION
- 7 - ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES

FIG. 8 ESQUEMA DE UNA FABRICA DE EMULSIONES.

Sistema de fabricación.- Constituido por una máquina capaz de romper en pequeñas partículas el asfalto y dispersarlo en el agua, cuando pasen ambos líquidos por la misma. Para conseguir ésta importantísima operación, se pueden utilizar los siguientes tipos de máquinas:

- Agitadores
- Difusores
- Turbo - mezcladores (Fig. 9)
- Molinos de conos (Fig. 10)

Las máquinas más utilizadas por su mayor producción y calidad son los turbo-mezcladores y los molinos de conos.

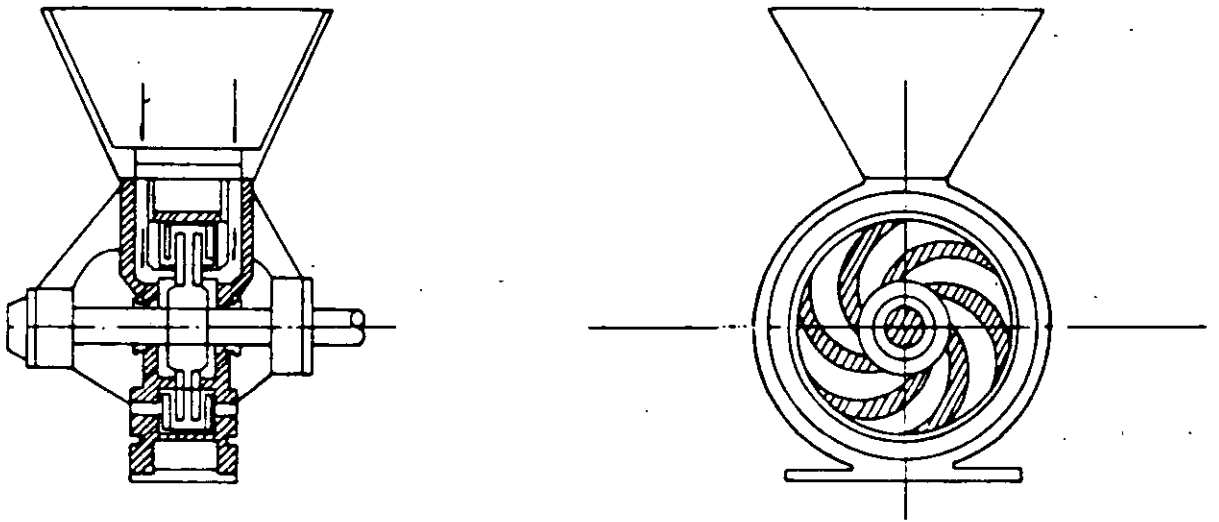


FIG. 9 ESQUEMA DE UN TURBO - MEZCLADOR

Los turbo-mezcladores están compuestos de un estátor y un rotor de paletas curvas, que gira a una velocidad de unas 3,000 rpm. En ellos, se introduce el asfalto caliente y el agua con el emulsionante; la fuerza centrífuga y los choques repetidos producen la rotura en partículas del asfalto y su dispersión en el agua tratada, saliendo finalmente la emulsión fabricada.

Los molinos de conos trabajan sometiendo a los fluidos a una serie de aceleraciones y deceleraciones radiales, que producen grandes y rápidas variaciones de presión, lo que ocasiona la rotura en partículas del asfalto y su dispersión en el agua emulsionada.

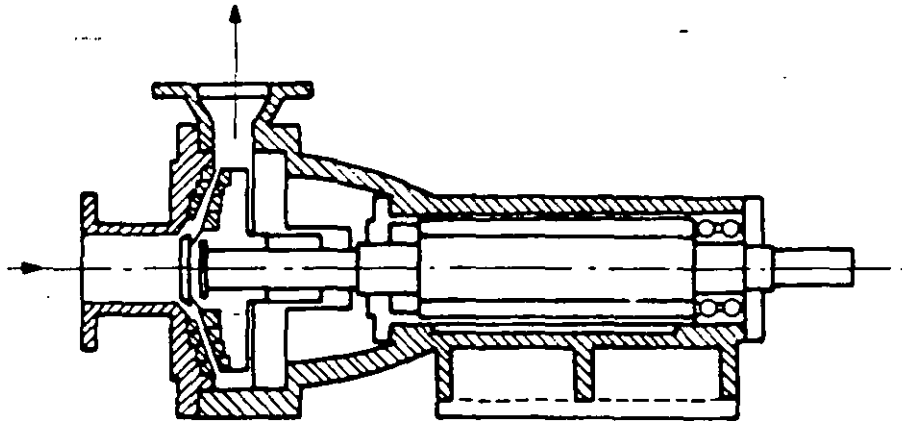


FIG. 10 ESQUEMA DE UN MOLINO DE CONOS.

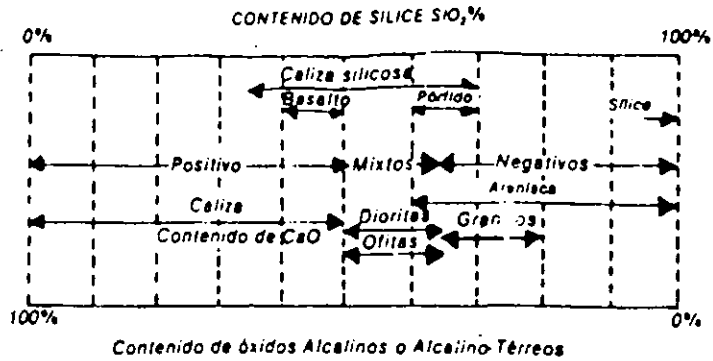


FIGURA 20. CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS PETREOS

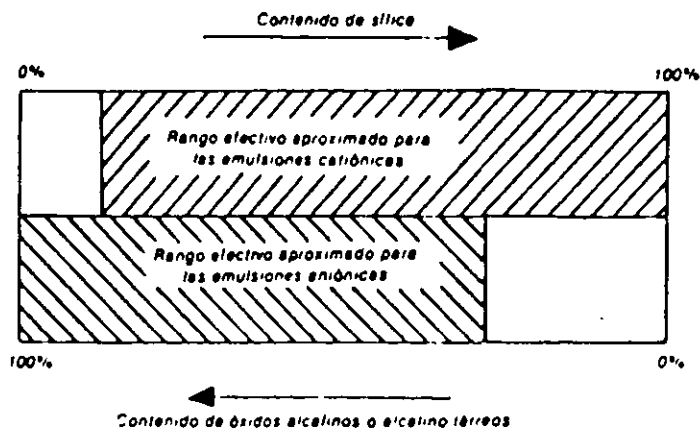


FIGURA 21. RANGO EFECTIVO APROXIMADO DE APLICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS SOBRE VARIOS TIPOS DE AGREGADOS PETREOS

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | |
|--|---------------------|---------|--------------------|--------------------|--------|
| | Romplimiento Rápido | | Romplimiento Medio | Romplimiento Lento | |
| | RR-1 | RR-2 | RM-2 | RL-1 | RL-2 |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, seg | 20-100 | — | 100 mín. | 20-100 | 20-100 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, seg | — | 75-400 | — | — | — |
| Residuo de la destilación, % en peso, mínimo | 57 | 62 | 62 | 57 | 57 |
| Asentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo .. | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Demulsibilidad. | | | | | |
| 35 ml de 0.02N CaCl ₂ , %, mínimo | 60 | 50 | — | — | — |
| 50 ml de 0.10N CaCl ₂ , %, máximo | — | — | 30 | — | — |
| Retenido en la malla No. 20, %, máximo | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Miscibilidad con cemento Portland, %, máximo | — | — | — | 2.0 | 2.0 |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | |
| Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg, grados | 100-200 | 100-200 | 100-200 | 100-200 | 40-90 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo .. | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 |
| Ductilidad, 25°C, cm, mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C a 40°C.

TABLA 7. NORMAS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | | |
|---|---------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|--------|
| | Romplimiento Rápido | | Romplimiento Medio | | Romplimiento Lento | |
| | RR-2K | RR-3K | RM-2K | RM-3K | RL-2K | RL-3K |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, seg | — | — | — | — | 20-100 | 20-100 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, seg | 20-100 | 100-400 | 50-500 | 50-500 | — | — |
| Residuo de la destilación, % en peso, mínimo | 60 | 65 | 60 | 65 | 57 | 57 |
| Asentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo .. | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Retenido en la malla No. 20, % máximo | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). — Prueba de resistencia al agua: | | | | | | |
| Agregado seco, % de cubrimiento, mínimo | — | — | 80 | 80 | — | — |
| Agregado húmedo, % de cubrimiento, mínimo | — | — | 60 | 60 | — | — |
| Miscibilidad con cemento Portland, %, máximo | — | — | — | — | 2 | 2 |
| Carga de la partícula | Positiva | Positiva | Positiva | Positiva | — | — |
| pH, máximo | — | — | — | — | 6.7 | 6.7 |
| Disolvente en volumen, por ciento, máximo | 3 | 3 | 20 | 12 | — | — |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | | |
| Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg, grados | 100-250 | 100-250 | 100-250 | 100-250 | 100-200 | 40-90 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo .. | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| Ductilidad, 25°C, cm, mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C a 40°C. | | | | | | |

II. APLICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

APLICACION DE LAS EMULSIONES

CLASIFICACION DE TRATAMIENTOS ASFALTICOS

De acuerdo con el tipo de aplicación que utilicemos y el sistema de puesta en obra, podemos establecer la siguiente clasificación para el empleo de emulsiones:

| | | |
|-------------------------------|----------------------|--|
| TRATAMIENTOS SUPERFICIALES | Riegos sin Agregados | Impregnación Liga Curado Antipolvo |
| | Riegos Profundos | Semi-penetración Penetración |
| | Riegos con agregados | Riego monocapa Riego multicapa Riego de sello |
| MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO | | Carpetas Abiertas |
| MEZCLAS DENSAS EN FRIO | | Estabilización de Suelos Grava - emulsión Carpetas Densas Lechadas asfálticas |

TABLA 8. PRODUCTOS ASFÁLTICOS QUE SE SUGIERE EMPLEAR EN TRABAJOS DE PAVIMENTACION

| CONCEPTO | CONDICIONES CLIMATICAS EN EL LUGAR, DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA | | | | | |
|---|---|---|--|--|---|---|
| | FRIO** | | TEMPLADO | | CALIENTE | |
| | SECO | HUMEDO | SECO | HUMEDO | SECO | HUMED* |
| RIEGO DE IMPREGNACION * En bases de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En bases de textura media (Zona granulométrica 2) En bases de textura abierta (Zona granulométrica 1) | FM-0 FM-0 ó FM-1 FM-1 ó FM-2 | FM-0 FM-1 FM-2 | FM-0 ó FM-1 FM-1 FM-1 ó FM-2 | FM-0 ó FM-1 FM-1 FM-2 | FM-1 ó FM-2 FM-1 ó FM-2 FM-2 ó FM-3 | FM-1 ó FL-2 FM-2 FM-2 ó FM-3 |
| CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS Con materiales 0, 1, 2 y 3 | FR-2, FR-3 | FR-3 ó ERK | FR-3, ER, ERK | FR-3 ó ERK | FR-3, FR-4, ERK ó ER | FR-3, FR-4, ERK ó ER |
| RIEGOS DE LIGA * Sobre carpetas antiguas o sobre bases impregnadas | FR-2, FR-3, ER, ERK | FR-2, FR-3, ER, ERK | FR-2, FR-3, ER, ERK | FR-2, FR-3, ER, ERK | FR-2, FR-3, FR-4, ER, ERK | FR-2, FR-3, FR-4, ER, ERK |
| CARPETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN EL LUGAR En carpetas de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En carpetas de textura media (Zona granulométrica 2) En carpeta de textura abierta (Zona granulométrica 1) | FR-1, FR-2, FM-2 FR-2 ó FM-2 FR-2 ó FM-2 | FR-2 ó FM-2 FR-2 ó FM-2 FR-2 ó FM-2 | FR-2 ó FM-2 FM-2, FM-3, FR-2, FR-3, FM-3 ó FR-3 | FR-2 ó FM-2 FM-3 ó FR-3 FM-3 ó FR-3 | FR-3 ó FM-3 FM-3 ó FR-3 FM-3 ó FR-3 | FR-3 ó FM-3 FM-3 ó FR-3 FM-3 ó FR-3 |
| MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO PARA ESTA- BILIZACIONES EMPLEANDO EMULSIONES En carpetas de textura cerrada (Zona granulométrica 3) En carpetas de textura media (Zona granulométrica 2) En carpetas de textura abierta (Zona granulométrica 1) | EM, EL, ELK EM, EL, ELK EM, EL ó EMK, ELK | EM, ELK EM, ELK EM, EL, ELK EMK | EM, EL, ELK EM, EL, ELK EM, EL ó EMK ELK | EM, ELK EM, ELK EM, EL, ELK ó EMK | EM, EL, ELK EM, EL, ELK EM, EL ó EMK, ELK. | ELK EM, ELK EMK, ELK. |
| CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO HE- CHO EN PLANTA, EN CALIENTE. | CA-3 ó CA-6 | CA-3 ó CA-6 | CA-3 ó CA-6 | CA-3 ó CA-6 | CA-3 ó CA-6 | CA-3 ó CA-6 |
| RIEGO DE SELLO. Con materiales 3-A ó 3-E. | FR-2, FR-3, ER-ERK | FR-3 ó ERK | FR-3 ó ERK | FR-3 ó ERK | FR-3, FR-4, ERK ó ER | FR-3 FR-4, ERK, ER |
| MORTEROS ASFÁLTICOS. Sobre carpetas antiguas | EL ó ELK | EL ó ELK | EL ó ELK | EL ó ELK | EL ó ELK | EL ó ELK |

CLAVE:

FR.- Asfalto rebajado de fraguado rápido
FM.- Asfalto rebajado de fraguado medio.
FL.- Asfalto rebajado de fraguado lento.
CA.- Cemento asfáltico.

ER.- Emulsión aniónica de rompimiento rápido.
EM.- Emulsión aniónica de rompimiento medio.
ERK.- Emulsión catiónica de rompimiento rápido
EMK.- Emulsión catiónica de rompimiento medio.
ELK.- Emulsión catiónica de rompimiento lento.

NOTAS:

Para la elaboración de la tabla anterior, no se ha considerado el problema de la adherencia entre el material pétreo y el asfalto, por lo cual, para la elección del producto asfáltico adecuado, deberá tomarse en cuenta este aspecto.

Los asfaltos rebajados de fraguada lento (FL), prácticamente ya no se usan en nuestro medio.

- * La base o la carpeta antigua, en el momento de dar el riego, deben estar superficialmente secas.
- ** Cuando se usen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas, no deberá trabajarse cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5°C, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

RIEGOS SIN AGREGADOS

Estos riegos, también llamados en negro, se usan generalmente como tratamientos auxiliares. Por sí mismos raras veces constituyen la superficie de rodamiento de un pavimento.

Podemos resumirlo en los siguientes tipos:

1. Riegos de impregnación

Los riegos de impregnación se efectúan sobre bases hidráulicas o capas granulares no tratadas previamente.

Su función es conseguir una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, limpia de polvo y partículas minerales sueltas, para poder extender adecuadamente las capas asfálticas siguientes.

Se utilizan ligantes asfálticos de escasas viscosidad y que además esta característica se mantenga durante cierto tiempo para que puedan penetrar por capilaridad en las bases. Esto se consigue utilizando asfaltos fluidificados tipo FM, o emulsiones asfálticas de -- rompimiento lento y alto contenido de fluidificantes con dotaciones de aproximadamente 1 kg. por m².

El resultado positivo de este tipo de tratamiento, dependerá, en gran medida, de la cantidad de finos que tenga la base a tratar pues éstos entorpecen la penetración de asfalto.

2. Riegos de liga

Consiste en la aplicación de una película lo más fina posible

de ligante asfáltico sobre una superficie asfáltica o impermeable, para conseguir una buena unión con la capa asfáltica que se va a poner en obra inmediatamente, sobre la citada superficie.

Los ligantes asfálticos adecuados deben ser poco viscosos, con objeto de conseguir un buen reparto sobre la superficie con dotaciones escasas (del orden de 200 a 300 grs/m² de ligante asfáltico residual); además no deben contener fluidificantes en exceso, ya -- que estos reblandecen las capas asfálticas inferior y la que se va a colocar en obra y necesitan un largo período de curado o pérdida de solventes, que va en perjuicio de la rapidez de la obra.

Por ello la tendencia mundial es utilizar casi exclusivamente emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, poco viscosas y poco o nada fluidificadas.

Riegos de curado

Se utilizan como protección para la pérdida por evaporación del agua necesaria para el fraguado de bases estabilizadas con cemento o suelos-cemento. Para ello se utilizan emulsiones de rompimiento rápido sin fluidificantes, que crean una película superficial protectora, con dotaciones de 600 a 800 grs/m² de asfalto residual. En algunas ocasiones se requiere que este riego de curado sirva a la vez como riego de impregnación, en estos casos se utilizarán emulsiones más fluidificadas.

Riegos antipolvo

Se trata de riegos de impregnación realizados sobre caminos de poco tránsito, que van a quedar en operación sin ningún tratamiento asfáltico posterior. Se suelen utilizar emulsiones de rompimiento

lento y poco viscosas, diluidas en agua, con dotaciones de 500 grs/m² de emulsión disuelta en 0.5 litros de agua.

R I E G O S P R O F U N D O S

Antes de emplearse las mezclas asfálticas en pavimentos, el único sistema para disponer de capas espesas tratadas con ligantes asfálticos consistía en conseguir que un ligante asfáltico frío o caliente penetrase entre los huecos de la capa granular, mojando y envolviendo las partículas de agregado.

Esta técnica está hoy en día en clara recesión debido a que se trata de un procedimiento muy artesanal, a la poca seguridad de conseguir un reparto uniforme del asfalto y a la escasa impermeabilidad que se alcanza con las capas tratadas de esta forma.

El sistema de colocación en obra, consiste en la sucesiva aplicación de capas de agregados debidamente compactadas y riegos asfálticos con ligantes que permitan la penetración en todo el espesor de cada capa de agregados.

Como ligantes asfálticos se utilizan asfaltos fluidificados o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido ligeramente fluidificadas con dotaciones de 1 kg. por m² y cm. de espesor del tratamiento, para los riegos de semipenetración.

RIEGOS ASFALTICOS CON AGREGADOS

GENERALIDADES

Consisten en la aplicación de una o varias películas continuas de ligante asfáltico sobre la superficie a tratar y una o varias capas de agregado de cubrición de tamaño uniforme. Las capas de agregados estarán formadas por una sola gravilla en su espesor.

Según la cantidad de capas del tratamiento se pueden clasificar en:

Riegos monocapa: Una sola película de asfalto y una sola capa de agregados. Caso especial de este tratamiento es el llamado monocapa doble engravillado, consistente en una sola aportación de ligante y dos capas de agregado de distinto tamaño, de forma que el pequeño rellena los huecos dejados por el agregado mayor.

Riego multicapa: Es una aplicación sucesiva de varios riegos, monocapa con tamaños generalmente decrecientes en el agregado

Riego de sello: Es un riego monocapa, con agregado de tamaño pequeño (generalmente arena)

APLICACIONES

Los riegos con agregados se utilizan para dotar al pavimento de una superficie rugosa e impermeable.

Este tipo de tratamiento es la técnica más utilizada en la conservación

de carreteras, estando limitado su uso en pavimentos urbanos, zonas de estacionamiento y pistas de aeropuertos debido a las molestias del rechazo de gravillas. Su utilización en autopistas se ha incrementado por el empleo de agregados y ligantes asfálticos de gran calidad.

Los factores negativos más importantes para el uso de los riegos con agregados son: el mal estado de la superficie del pavimento anterior y el mal tiempo climatológico.

En cuanto al factor climatológico, aún cuando el empleo de las emulsiones amplía la época de trabajo, los mejores resultados se obtienen en épocas cálidas.

M A T E R I A L E S

1. Agregados.-

Del agregado depende la textura superficial del tratamiento y por lo tanto su rugosidad, que es factor esencial para la seguridad del usuario. Se deberá conseguir una buena textura inicial y que además se mantenga el mayor tiempo posible, para lo cual se analizarán los siguientes factores relativos al agregado:

- Dureza.- Que se ensaya mediante el desgaste de los Angeles.
- Forma.- Que influye en dos sentidos, pues las partículas en forma de lajas tienden a romperse con mayor facilidad que las cúbicas y además afectan a la dosificación del ligante asfáltico.
- Angularidad.- Que nos determinará el buen rozamiento interno

de las partículas de agregado, indispensable para que trabaje adecuadamente este tipo de tratamiento. En general se considera que una partícula es adecuada cuando tiene, por lo menos, dos caras de fractura.

- **Granulometría.-** Es necesario utilizar agregados cuyas partículas sean de dimensiones lo más uniforme posible.
- **Limpieza.-** Es uno de los factores fundamentales para obtener un buen resultado, pues un agregado sucio produce una falta de adherencia que ocasiona un desprendimiento, prematuro de las partículas.
- **Resistencia al pulimento** Nos dá una medida de la evolución del coeficiente de rozamiento medio del tratamiento.
- **Propiedades químicas** Principalmente composición mineralógica y alterabilidad, condiciones importantes en la elección del tipo de emulsión a utilizar.

2. Ligante asfáltico

Aunque a lo largo de la historia se han utilizado diversos tipos, en la actualidad las emulsiones son los ligantes asfálticos más usados en los riegos asfálticos.

La tendencia actual es emplear emulsiones viscosas de rompimiento rápido, cuidando el contenido de emulsionante y el PH del agua, en función de las características de los agregados a utilizar.

En los últimos años, se han empleado emulsiones fabricadas con ligantes asfálticos mejorados, generalmente con elastómeros o

bien emulsiones modificadas en si mismas (Emulsiones de reología modificada), para conseguir mejores propiedades de viscosidad, adherencia, etc.

EJECUCION DE LOS RIEGOS CON AGREGADOS

Antes de abordar las operaciones específicas del tratamiento se debe prestar atención a la superficie a tratar. Para conseguir un trabajo de calidad, será necesario contar con una superficie que disponga un perfil en buenas condiciones, en caso contrario habría que recurrir a operaciones previas de renivelación y bacheo.

Posteriormente se procede a la aplicación de la emulsión asfáltica. La emulsión se debe aplicar pulverizada sobre toda la superficie a tratar, con dotación adecuada. Para este fin se utilizan cisternas con tren de riego o lanza manual.

Inmediatamente después de la emulsión se extiende el agregado, evitando así que la emulsión rompa antes de la aportación del mismo, lo cuál provocaría una mala adherencia. El equipo que se utiliza para la extensión del agregado es muy variado, aunque podemos clasificarlo dentro de cuatro grupos:

- Distribuidores centrífugos de arena.
- Repartidores adosados a las cajas de los camiones.
- Repartidores remolcados por camiones.
- Repartidores autopropulsados.

La compactación tiene que ser también una operación inmediata a la extensión del agregado, de manera que se pueda aprovechar la baja viscosidad de que todavía dispone el ligante. En la actualidad se

prefiere que la compactación sea hecha por compactadores de neumáticos aunque, principalmente en riegos multicapa, parece conveniente dar una primera pasada con un compactador liso metálico ligero y completar la compactación con el neumático.

MEZCLAS ASFÁLTICAS

GENERALIDADES

Se denominan mezclas asfálticas a las constituidas por un ligante asfáltico en película continua que envuelve a todas las partículas - - de un agregado de cualquier granulometría. Dentro de esta definición se incluyen:

- Los mástic asfálticos, constituidos por finos y asfalto.
- Los morteros asfálticos, constituidos por arena y mástic asfáltico.
- Los aglomerados o carpetas constituidos por un agregado grueso de diversa granulometría y un mortero asfáltico.
- Las lechadas asfálticas, que son morteros asfálticos puestos en obra por vía acuosa.

Cada tipo de mezcla, indicado anteriormente, tiene un comportamiento diferente en el pavimento en cuanto a durabilidad y resistencia, que está condicionado por la propia estructura y composición de la mezcla, por el tipo de cargas exteriores y por el factor climatológico como humedad y calor ambientales.

Las mezclas asfálticas son actualmente el material más usado en firmes flexibles de calidad. Con ellas se consiguen superficies de rodamiento de gran regularidad geométrica y adecuadas para velocidades altas.

CLASIFICACIONES

La primera clasificación tradicional es:

- Mezclas asfálticas en caliente.
- Mezclas asfálticas en frío.

Las mezclas asfálticas en caliente son aquellas en las cuales se calientan previamente el asfalto y los agregados y se maneja, extiende y compacta a temperatura muy superior a la del ambiente.

Las mezclas asfálticas en frío, son aquellas que se fabrican con los agregados fríos, el ligante asfáltico frío o caliente y se manejan extienden y compacta a temperatura ambiental. Además en algunos casos estas mezclas son almacenables.

La segunda clasificación se hace atendiendo al número de huecos o vacíos de la mezcla.

Las mezclas que tienen una vez compactadas una proporción mayor del 12% de vacíos, se denominan abiertas y aquellas que tienen una proporción mínima, cerradas (Generalmente entre el 3% y al 6%).

Otra clasificación se hace atendiendo a la estructura interna de la mezcla. Así podemos establecer una distinción entre mezclas con esqueleto mineral de agregado grueso (que se llamarán aglomerados o carpetas asfálticas) y mezclas sin esqueleto mineral, tipo asfalto fundido o mástic.

En este trabajo nos vamos a referir exclusivamente a las mezclas asfálticas en frío fabricadas con emulsiones.

MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO

GENERALIDADES

Las mezclas abiertas están formadas por un ligante asfáltico que envuelve las partículas minerales del agregado con un alto contenido de vacíos o huecos. Dichas mezclas resisten fundamentalmente por rozamiento interno entre las partículas del agregado.

A diferencia de las mezclas densas, cuando se emplean mezclas abiertas no se intenta conferir una alta rigidez a la estructura del pavimento, dándose el caso de que estados de cargas que dañan a las mezclas densas no son tan perjudiciales para las mezclas abiertas y reciprocamente.

En este tipo de mezclas la durabilidad está condicionada por dos factores fundamentales: El envejecimiento del asfalto y la adherencia pasiva agregado-asfalto.

El problema del envejecimiento está relacionado íntimamente con la dotación del asfalto. En general el aumento de la dotación del asfalto, así como el empleo de ligantes asfálticos con mayor viscosidad o modificados con polímeros o elastómeros, aseguran mayor resistencia al envejecimiento.

La adherencia pasiva del asfalto con los agregados debe asegurarse eligiendo unos agregados de calidad y características adecuadas. En algunos casos, principalmente cuando se utilizan asfaltos fluidificados deberán utilizarse activantes apropiados.

MATERIALES

Agregados.- La propia forma de trabajo por rozamiento interno entre las

partículas, define las características más importantes que se deben pedir a los agregados, como son su dureza, que vendrá definida por el desgaste de los Angeles, su resistencia al pulimiento y su forma y angulosidad, que nos exigirá agregados procedentes de trituración.

Además de estas características la limpieza de los agregados y su buena adherencia con el ligante asfáltico utilizado serán fundamentales.

La granulometría, en estos tipos de mezclas, se separa bastante de las utilizadas en mezclas densas al ser escasa o nulo el contenido de tamaños pequeños y finos del agregado.

La calidad de los finos del agregado tienen una importancia fundamental en el comportamiento de estas mezclas. Una escasa cantidad de finos de buena calidad puede crear con el asfalto un mástic que ayuda a aumentar y rigidizar la película de asfalto alrededor del agregado grueso. Sin embargo, como este tipo de mezclas se fabrican con asfaltos fluidificados o emulsiones asfálticas con fluidificantes, un contenido mayor de finos dificulta la pérdida de los solventes con el consiguiente perjuicio para el endurecimiento de la mezcla.

L I G A N T E A S F A L T I C O

Los ligantes asfálticos utilizados son los asfaltos fluidificados y las emulsiones asfálticas de rompimiento medio fabricadas con asfalto y naftas procedentes del petróleo.

La tendencia actual es utilizar emulsiones con contenidos altos de asfalto, que permiten adiferencia de los fluidificados, adaptar su composición a las características de los agregados y facilitar la

colocación de películas más espesas de asfalto, sin necesidad de calentamiento del ligante.

En los últimos años se han puesto a punto las llamadas emulsiones de alta flotación y las emulsiones con asfaltos modificados con caucho y diversos polímeros, con las que se consiguen mezclas de alta calidad.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

Las plantas de fabricación de mezclas en frío son más sencillas que las de mezclas en caliente, al eliminar los sistemas de calentamiento, tambor secador y recuperador de finos. De esta forma el conjunto queda reducido a una o varias tolvas de agregado, cintas transportadoras, que alimentan a la mezcladora, donde a su vez llega el ligante asfáltico por medio de tuberías desde el tanque de almacenamiento. Este tipo de instalaciones puede ser de tipo fijo o móvil.

Además de las plantas mezcladoras descritas, existen también las plantas móviles del tipo mezcladora-extendedora, muy útiles principalmente en zonas alejadas de plantas de producción; consta de una tolva donde se reciben los agregados, depósitos de emulsión y mezcladora, a la salida de la cual un sinfín distribuye la mezcla, que es repartida mediante una regla como en las extendedoras convencionales.

Para trabajos pequeños y de poca importancia pueden fabricarse en concreteras comunes o incluso a mano.

La extensión de la mezcla puede hacerse con extendedoras convencionales mezcladoras-extendedoras o motoconformadoras.

La compactación puede hacerse con rodillos metálicos lisos vibratorios-

y neumáticos o con combinaciones entre ellos. El empleo del sistema adecuado de compactación vendrá determinado por el espesor de la capa a compactar.

APLICACIONES

Los materiales que constituyen una mezcla de este tipo le confieren dos cualidades fundamentales; posibilidad de almacenamiento (Debido al contenido de fluidificantes de la emulsión) y capacidad drenante (causada por el alto contenido de vacíos que contiene). Estas dos cualidades condicionan la utilización de estas mezclas.

En general las aplicaciones más importantes son las siguientes:

a) Capas espesas de base:

Se trata en general de mezclas con agregados gruesos que sustituyen a los firmes de piedra o macadam tratados por penetración.

Se utilizan en capas gruesas muy abiertas y de escasa rigidez.

Se adaptan perfectamente a los asientos que se puedan producir en las capas inferiores, pero debido a su escasa rigidez, les transmiten también elevadas presiones.

Para su construcción se emplean emulsiones de rompimiento medio pero con escaso contenido de solventes.

b) Operaciones de bacheo:

La facilidad de fabricar estas mezclas por procedimientos elementales y su posibilidad de almacenamiento les confiere un claro empleo en operaciones de bacheo, principalmente en zonas alejadas de

plantas de fabricación.

c) Carpetas:

El empleo de este tipo de mezclas en carpetas ha venido a sustituir a los riegos superficiales multicapa o carpetas de riego, presentando sobre estas diversas ventajas, como son:

- Posibilidad de empleo sobre pavimentos con mala regularidad superficial.
- Flexibilidad ante deflexiones altas y movimientos lentos del pavimento.
- Aportación de un espesor adicional al del firme primitivo.

La permeabilidad de este tipo de carpetas puede presentar ventajas e inconvenientes. Si la capa inferior es de tipo asfáltico, una carpeta abierta permite que el agua drene a través de la capa inferior, siguiendo la pendiente transversal, de esta forma se evitarán las películas de agua sobre la carretera. En los casos en que es necesario impermeabilizar la superficie, la carpeta se sellará con una lechada asfáltica o sello con arena.

MEZCLAS DENSAS EN FRÍO

GENERALIDADES

En muchos casos, el empleo de mezclas densas en caliente no resulta viable bien sea por la situación de las obras, bien por su extensión o costo. La alternativa en estos casos son las mezclas en frío que pueden ponerse en obra a temperatura ambiente y fabricarse en instalaciones sencillas.

Tradicionalmente este tipo de mezclas asfálticas se han venido fabricando con asfaltos fluidificados y emulsiones asfálticas. Sin embargo no consideramos apropiada la utilización de asfaltos fluidificados por la dificultad que entraña la pérdida por evaporación de los solventes debido a la mínima cantidad de huecos de este tipo de mezclas. El empleo de fluidificantes obliga a movimientos de la mezcla y pérdida de tiempo, que encarecen el costo de fabricación y puesta en obra.

CLASIFICACION

Dentro de éste grupo de mezclas densas, podemos establecer de acuerdo a su utilización las siguientes técnicas:

- Suelos estabilizados.
- Grava - emulsión
- Carpeta densas o cerradas
- Lechadas asfálticas.

ESTABILIZACION DE SUELOS

Dentro de las mezclas densas en frío, la más elemental es la resultante

de tratar un suelo natural con un ligante asfáltico. Podemos definirlo como "La mezcla íntima, convenientemente compactada, de suelo, agua y ligante asfáltico, cuyo fin es mejorar las características resistentes del suelo, disminuyendo su capacidad de absorción de agua y aumentando su cohesión, por efecto de la incorporación del ligante asfáltico".

El campo de aplicación de los suelos estabilizados depende, en gran medida, de las condiciones locales. En los países con escasez de agregados y en los que los precios de los productos asfálticos son bajos, ésta técnica puede ser de gran utilidad.

Las principales aplicaciones de los suelos estabilizados son:

- Estabilización de bases granulares.
- Estabilización de caminos económicos.
- Estabilización de acotamientos.
- Estabilización de estacionamiento de vehículos, campos deportivos, etc.

M A T E R I A L E S

Agregados.- Este tipo de estabilizaciones puede realizarse sobre distintos materiales como son: suelos finos, arenas y grava-arena de granulometría más continuas.

Ligante asfáltico.- Se utilizan emulsiones aniónicas y catiónicas de --rompimiento lento en algunos suelos de grava-arena más gruesos.

La emulsión adecuada para cada suelo deberá determinarse previamente mediante ensayos de envuelta y estabilidad.

EJECUCION DE LA OBRA

Aunque la mezcla del suelo con la emulsión puede hacerse en plantas fijas, habitualmente este tipo de trabajos suelen realizarse in situ. La realización de la obra requiere generalmente de los siguientes pasos:

- Disgregación del suelo, lo más eficaz posible.
- Aportación del agua necesaria.
- Riego con la emulsión y mezclado.
- Tendido y compactación de la mezcla.

Las mezcladoras más elementales son las motoconformadoras que unidas a los tanques regadores y equipos de compactación, completan el equipo. También se pueden utilizar mezcladoras móviles tipo pulvimixer, rotavator, etc.

GRAVA - EMULSION

Este tipo de tratamiento podemos considerarlo como un caso especial de los suelos estabilizados. Se trata en estos casos de utilizar agregados con usos granulométricos más estrictos que nos sirvan para obtener capas de bases estabilizadas con asfalto y de gran calidad.

MATERIALES

Los agregados deben cumplir las exigencias que se piden en las bases hidráulicas y deben estar húmedos para conseguir una mejor envuelta, aunque en este tipo de mezclas no es necesario que todos los agregados queden cubiertos por el asfalto. La emulsión debe ser de rompimiento

lento permitiendo de esta forma un tiempo suficiente de envuelta con los agregados.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

Este tipo de mezclas puede fabricarse *in situ* o bien en planta mezcladora utilizando la maquinaria descrita para las carpetas abiertas. La puesta en obra se realiza bien con motoconformadora o bien con extendedoras convencionales o mezcladoras extendedoras, iguales a las utilizadas para las carpetas abiertas.

CARPETAS DENSAS EN FRIO

ASPECTOS GENERALES

Se llama carpeta densa a la formada por un agregado, que con una granulometría determinada forma un esqueleto mineral en el que todas y cada una de las partículas están cubiertas uniformemente por una película de asfalto y cuya mezcla una vez compactada tiene un contenido mínimo de huecos o vacíos.

Este tipo de carpetas densas en frío se han utilizado con mucha frecuencia en este país, aunque para su fabricación se emplean principalmente asfaltos fluidificados.

MATERIALES

Agregados.- Los agregados deben cumplir en general, las mismas especi-

ficaciones que los utilizados para mezclas en caliente.

Ligante asfáltico.- Aunque tradicionalmente se han empleado los asfaltos fluidificados y las emulsiones asfálticas, se considera más apropiado utilizar las emulsiones que evitan las pérdidas de tiempo ocasionadas por la necesaria evaporación de solventes de los asfaltos fluidificados, indispensable para que la carpeta alcance su cohesión final.

Se utilizan emulsiones de rompimiento lento aniónicas o catiónicas y muy estables, que permiten una mezcla adecuada con los agregados.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

Los sistemas de fabricación y puesta en obra son análogos a los descritos para las carpetas abiertas, utilizándose generalmente plantas de fabricación y extendedoras o extendedoras-mezcladoras, cuando se pretende una mejor calidad en la mezcla y su acabado, y motoconformadora si se requieren condiciones menos estrictas.

Las mezclas densas se utilizan principalmente como capas de renivelación intermedias o de rodamiento, constituyendo mezclas de una calidad similar a las de las mezclas en caliente.

LECHADAS ASFÁLTICAS

GENERALIDADES

Podemos definir una lechada asfáltica, también denominada Slurry o mortero asfáltico, como una mezcla compuesta por emulsión asfáltica suficientemente estable, agregado fino bien graduado, material fino y agua, en proporciones tales que se pueda conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua y de pequeño espesor.

A diferencia de las mezclas densas, que tienen un contenido estricto de agua, a las lechadas asfálticas se les puede aumentar la cantidad de agua en forma considerable, hasta darles una consistencia de lechada. De esta forma pueden extenderse en obra en pequeños espesores que no necesitan en principio ser compactados. La cohesión e impermeabilidad final se consigue por un proceso complejo de rompimiento de la emulsión; evaporación del agua y acción del tráfico densificando esta capa superficial.

Con el uso de las lechadas asfálticas se persiguen dos objetivos fundamentales:

- Impermeabilizar superficies de rodamiento abiertas, agrietadas o pobres de asfalto.
- Conseguir una textura superficial, regular, áspera y segura para evitar el deslizamiento de los vehículos.

Los tipos de lechadas asfálticas utilizados son:

- Lechadas aniónicas lentas.

- Lechadas catiónicas lentas.
- Lechadas catiónicas de rompimiento rápido con aditivos o rompimiento controlado.

MATERIALES

Agregados :

Generalmente el agregado consiste en una mezcla de arenas graduadas - (1/4") y finos, utilizándose en muchos casos finos de aportación, como el cemento. Se piden generalmente equivalentes de arena por encima de 40. En casi todos los casos es aconsejable el empleo de agregados de trituración mezclados con un porcentaje de arenas naturales, que favorecen la trabajabilidad y cremosidad de la mezcla.

En el caso de las lechadas con rompimiento controlado con aditivos, se recomiendan agregados de mejor calidad con equivalentes de arena superior a 50.

Emulsión :

En los casos de lechadas asfálticas lentas, se utilizan emulsiones aniónicas o catiónicas muy estables. Cuando se trabaja con lechadas rápidas con aditivos, se utilizan emulsiones catiónicas de rompimiento rápido, controlándose éste, con la aportación del aditivo sobre los agregados.

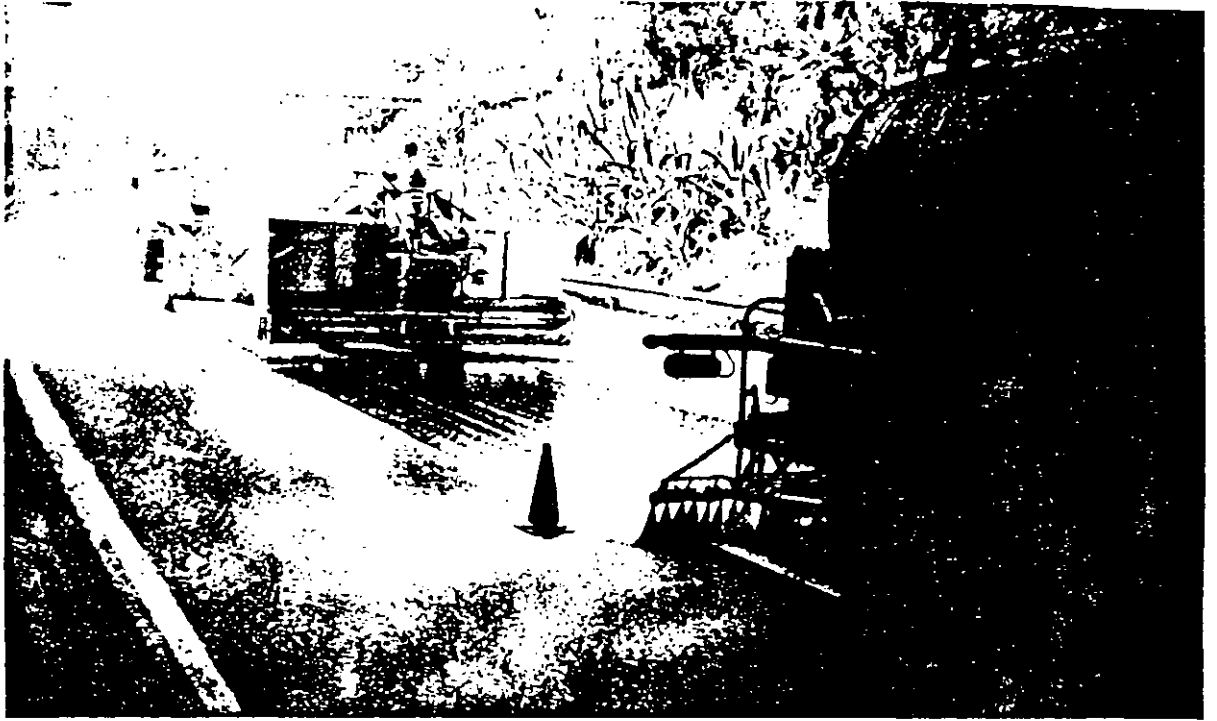
FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

La fabricación y puesta en obra de las lechadas ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. En un principio se utilizaron concretaras y extensión manual; actualmente se dispone de máquinas especiales

autopropulsadas que realizan las operaciones de fabricación y extendido. Las máquinas constan básicamente, de una tolva de agregados y dos depósitos para el agua y la emulsión y uno para el aditivo. Un sistema de extracción del agregado conduce éste a un conjunto mezclador, donde se le añaden, por este orden el agua de preenvuelta, aditivos y la emulsión. La salida del producto se efectúa por un vertedero que descarga sobre una rastra extendidora articulada, que permite adaptarse a la forma del pavimento.

Generalmente las lechadas asfálticas no se compactan, pues el porcentaje de agregado desprendido por el tráfico es mínimo. Solamente en algunos casos, como son pistas de aeropuertos es necesario recurrir a la compactación, que suele hacerse con neumáticos.

La apertura al tráfico es variable, según el tipo de lechada a emplear las técnicas modernas con lechadas de rompimiento rápido, permiten abrir al tráfico en un tiempo que oscila entre 30 minutos y 2 horas, en función de las condiciones atmosféricas.



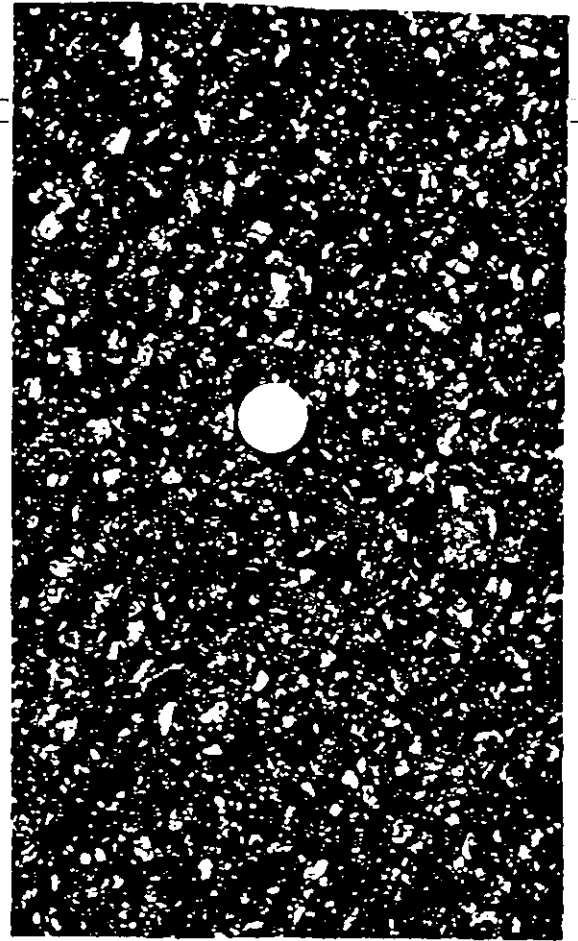
ASPECTOS DEL TENDIDO DE UN SELLO CON MATERIAL 3-A



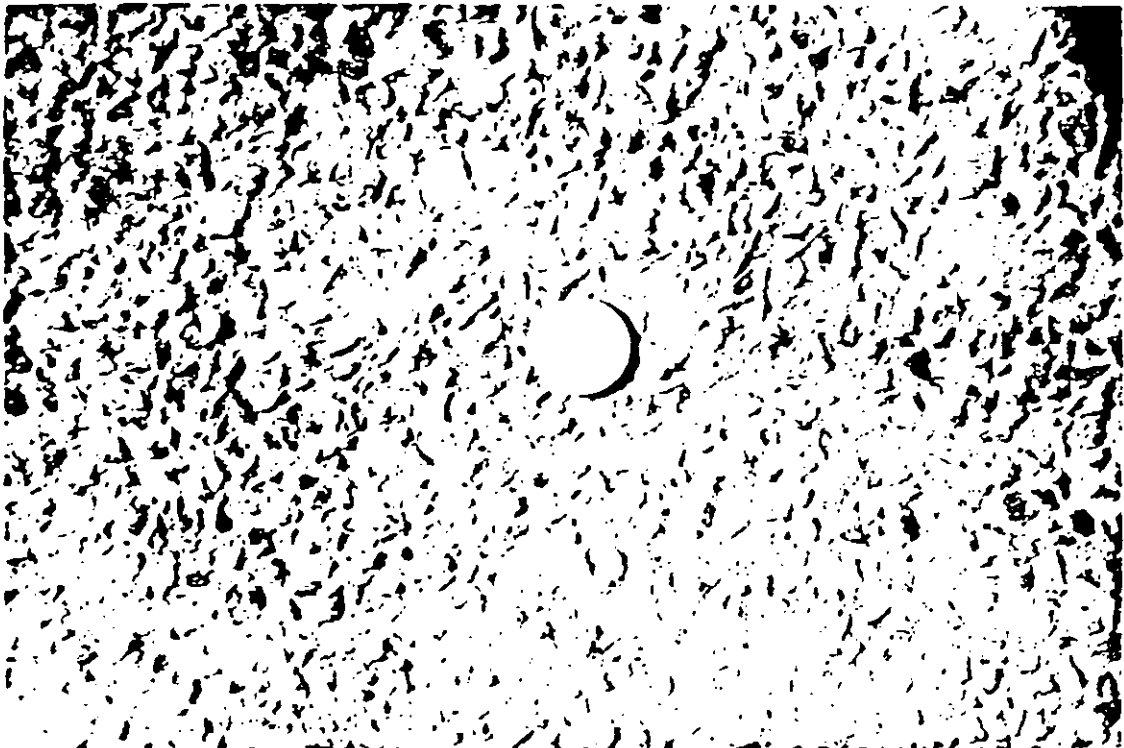
TRABAJOS DE COLOCACION DE BASE NEGRA.



TRIBUIDOR CENTRIFUGO PARA SELLO DE
ENA.



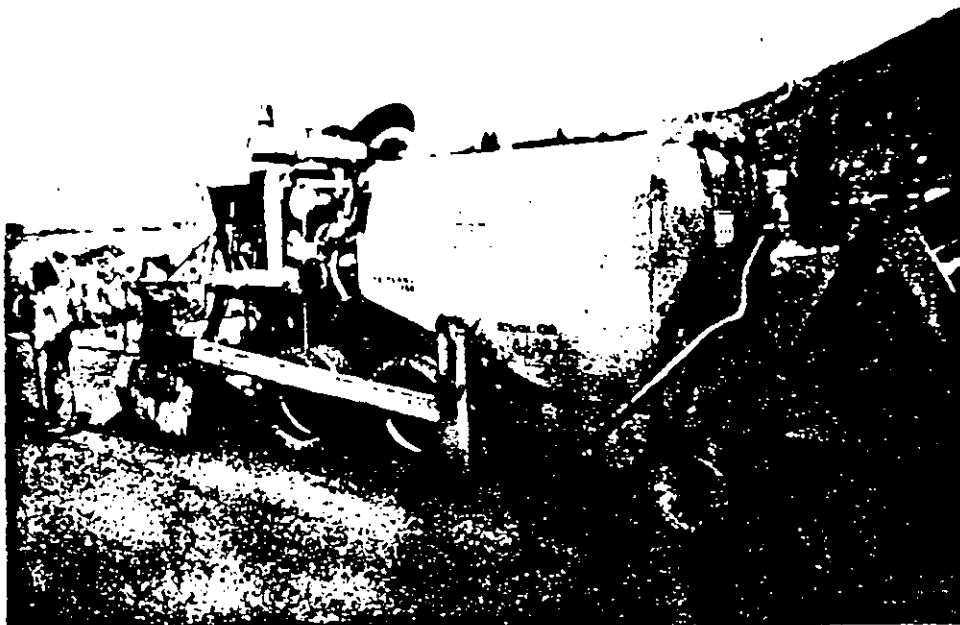
ASPECTOS DE UNA CARPETA ASFALTICA ABIERTA
RECIENTE COLOCADA.



MEZCLA ASFALTICA ABIERTA. TEXTURA DEL TRAMO YA EN SERVICIO.



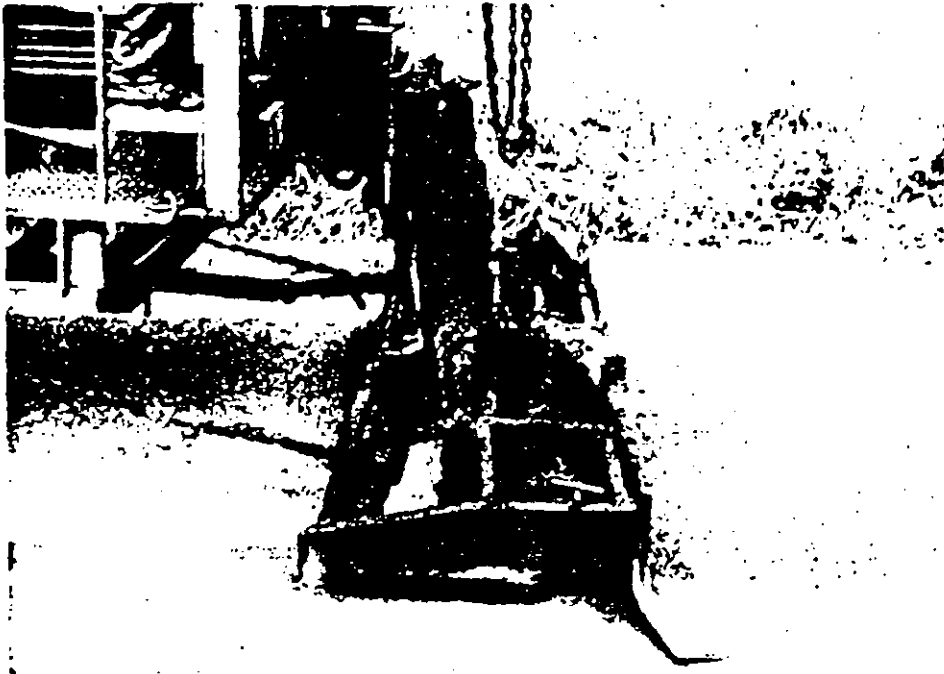
DISTINTOS ASPECTOS DEL TENDIDO DE CARPETA EN FRIO FABRICADA CON EMULSION, EN EL ESTADO DE MICHOACAN.



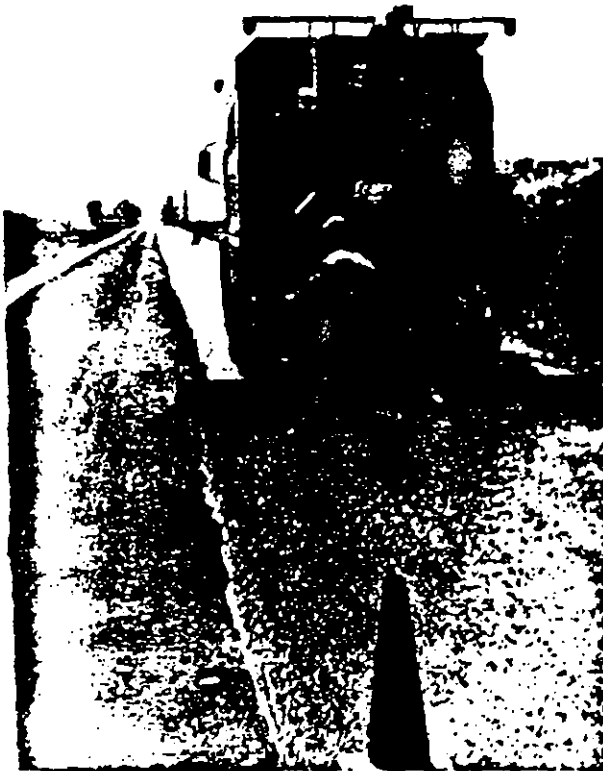
MEZCLADORA-EXTENDEDORA, UTILIZADA PARA LA COLOCACION DE CARPETAS EN FRIO.



ASPECTO DE UNA CARRETERA EN SERVICIO, CUYA CARPETA SE REALIZO CON EMULSION.



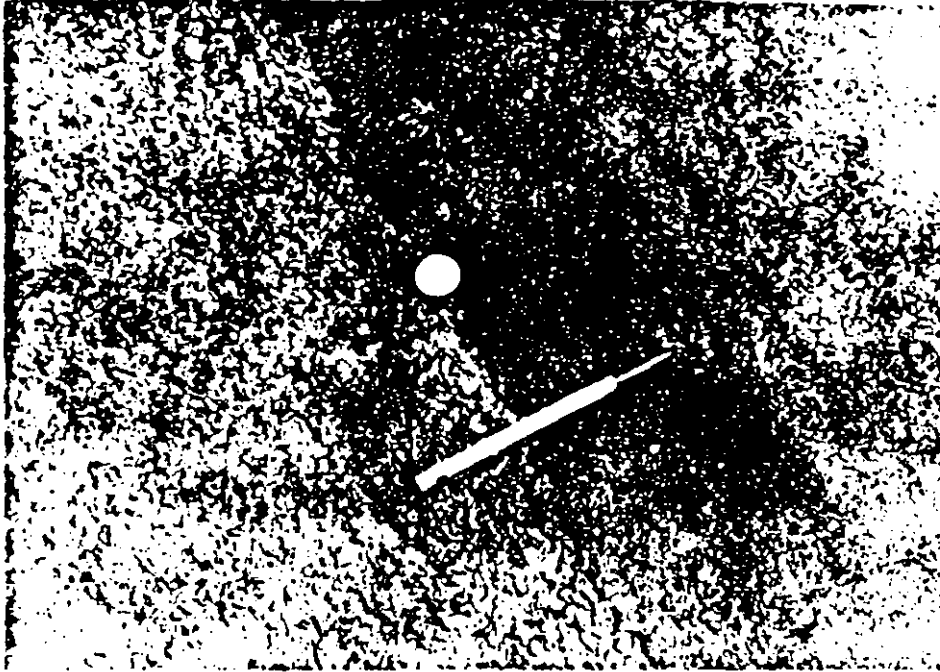
TENDIDO DE LECHADA
ASFALTICA.



DETALLES DE LA MAQUINA
EXTENDEDORA.



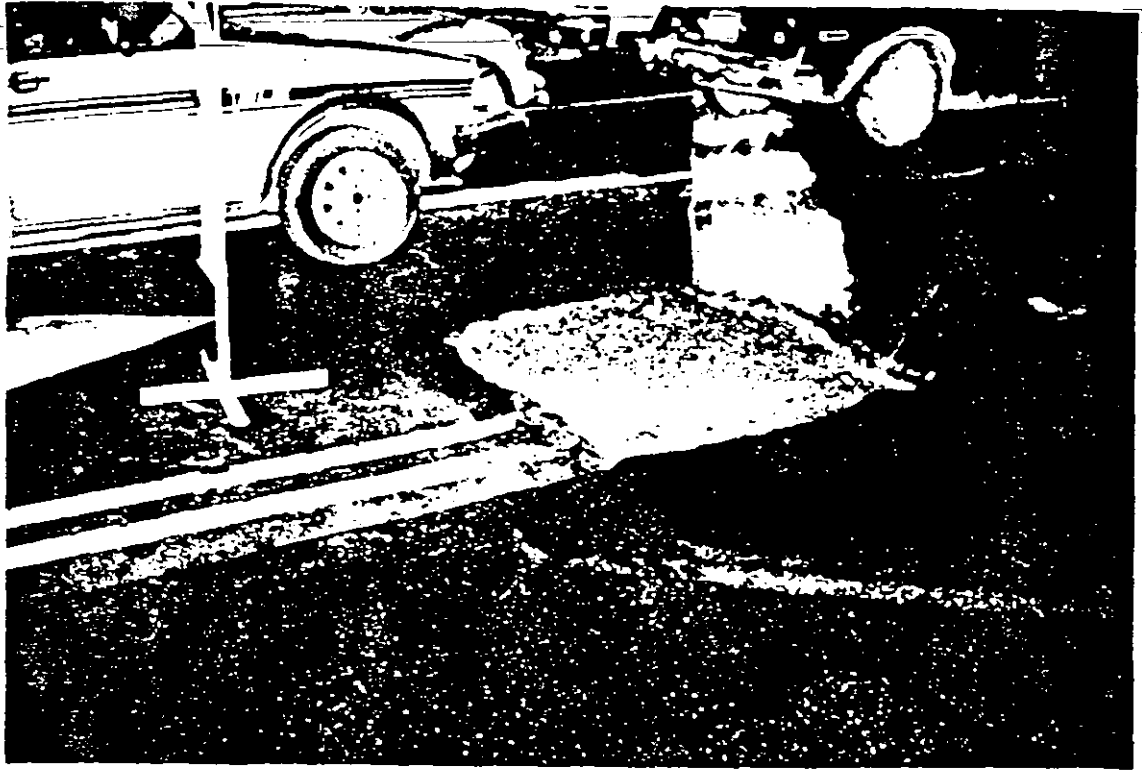
ASPECTOS DEL TENDIDO DE LECHADA ASFALTICA EN CARRETERAS. EN LA PARTE SUPERIOR SE APRECIA LA LECHADA RECIEN EXTENDIDA. LA INFERIOR MUESTRA EL MISMO TRAMO LISTO PARA SER ABIERTO AL TRAFICO.



TEXTURA FINA Y GRUESA DE UNA LECHADA ASFALTICA.



LECHADA ASFALTICA APLICADA EN AUTOPISTAS.



TRABAJOS NOCTURNOS DE TENDIDO DE LECHADA ASFALTICA EN EJES VIALES. (MEXICO. D.F.).

MORTERUS ASFALTICOS

A N T E C E D E N T E S

FALLAS EN PAVIMENTOS:

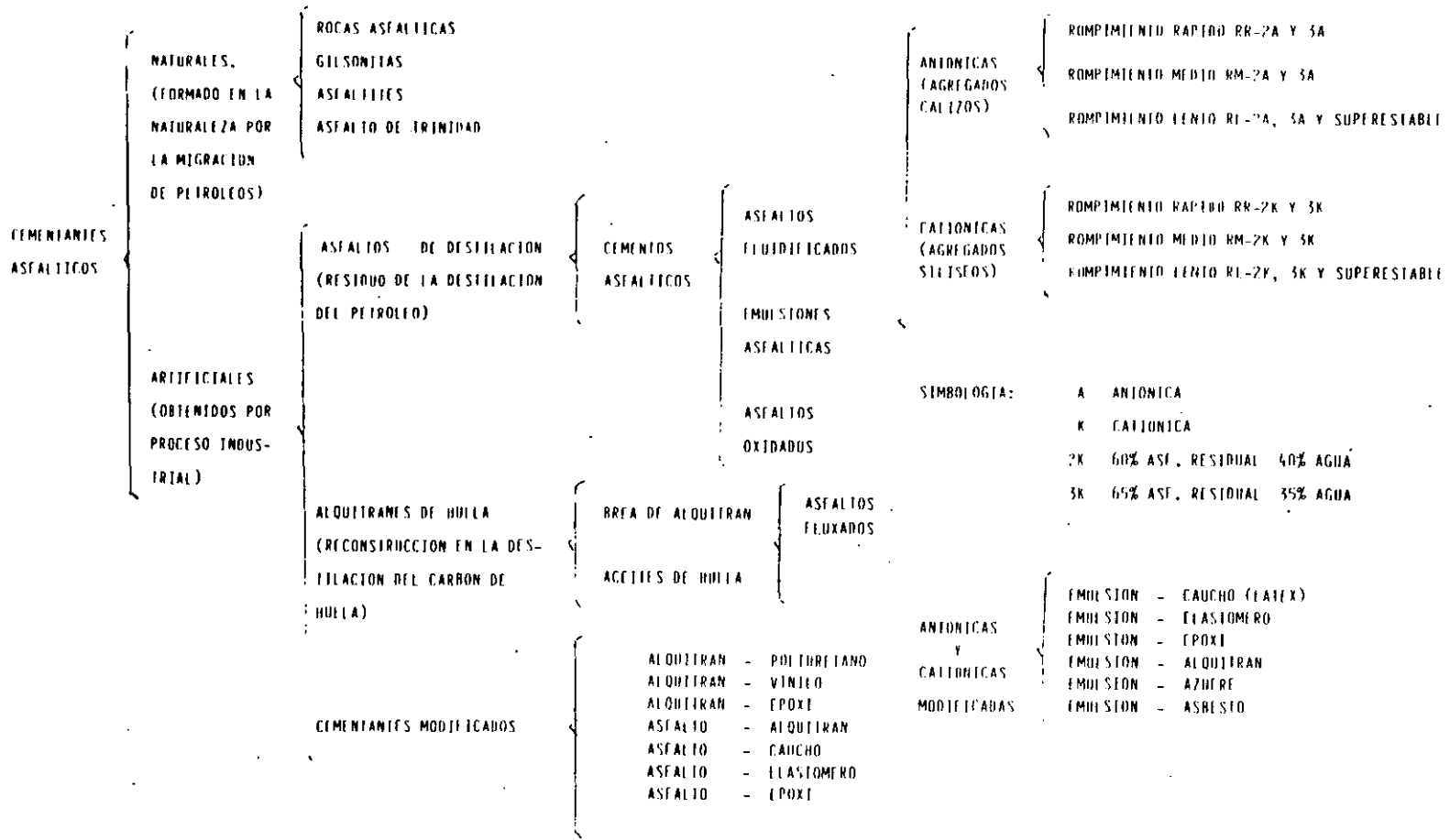
- EROSION DEL PAVIMENTO = DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL PETREO SUPERFICIAL.
- DISGREGACION O DESMORONAMIENTO = SEPARACION DE AGREGADOS PETREOS O TROZOS DE CARPETA.
- SANGRADO O AFLOJAMIENTO DE ASFALTO = REGULARMENTE SE PRESENTA EN EPOCAS DE CALOR Y APARECE UNA PELICULA SUPERFICIAL LISA CON COEF. DE FRICCION BAJO.

CAUSAS : - EXCESO ASFALTO EN MEZCLAS, INADECUADA CONSTRUCCION EN SELLOS, LIGAS, IMPREGNACIONES EXCESIVAS, SOLVENTES QUE ACARREAN ASFALTO.

CORRECCION - RETIRO POR CORTE DEL ASFALTO AFLORADO.

- OXIDACION DEL ASFALTO = EXCESIVO INTEMPERISMO POR AGENTES METEOROLOGICOS O ESCAPE DE MOTORES DE TURBINA A ALTAS TEMPERATURAS, PROVOCA FALTA DE ADHERENCIA DEL ASFALTO AL PETREO.
- FISURAS Y AGRIETAMIENTOS = INDICA FIN A LA VIDA UTIL DEL PAVIMENTO.

CLASIFICACION



69

APLICACION DE LAS EMULSIONES

| | | APLICACION | TIPO Y DOSIACION | CARACTERISTICAS | EQUIPO A UTILIZAR | | |
|----------------------------|----------------------|---|--|---|--|--|--|
| TRATAMIENTOS SUPERFICIALES | RIEGOS SIN AGREGADOS | IMPREGNACION | SOBRE BASES HIDRAULICAS, DA IMPERMEABILIDAD. | RM1, RI1, 2K Y 3K 2 L./M ² | FLUIDIFICADO NO VISCOSO | BARREDORA, PETROLIZADORA. | |
| | | LIGA | UNION DE CAPA ASFALTICA Y SUPERFICIE | RR-2K Y 3K 0.7 L./M ² | NO VISCOSO | BARREDORA, PETROLIZADORA. | |
| | RIEGO CON AGREGADO | RIEGO DE SELLO | MONOCAPA | PELICULA DE LIGANTE Y CAPA DE AGREGADO TRABAJOS MANTENIMIENTO | RR-3K | VISCOSO | BARREDORA, PETROLIZADORA, ESPARCIDOR DE AGREGADOS, A) ADOSADO A LA CAJA CAMION, B) REMOLCADO, C) AUTOPROPULSADO. |
| | | | MULTICAPA | VARIOS RIEGOS MONO CAPA TRAB. MITO. PELICULA DE LIGANTE Y CAPA ARENA MITO. | RR-3K | VISCOSO, AGREG. HUMEDADO Y SECO | COMPACTADORES TANDEM LISO 4-6 TON. Y NEUMATICO 8-12 TON. |
| | | RIEGO DE ARENA | | RR-2K .7 L./M ² | NO VISCOSO | BARREDORA, PETROLIZADORA, DISTRIBUIDOR CENTRALIZADO DE ARENA HUMEDA Y SECA. | |
| MEZCLAS | ABIERTAS | | LIGANTE QUE ENVUELVE AL AGREGADO, TRABAJOS DE BACHO Y CAPAS GRANULARES DRENANTES | RM-3K | MEZCLA ALMAC. VACIOS 12% PEFRE SIN FINOS FLUIDIFICADO Y VISCOSA. | PETROLIZADORA, MOTOCONFORMADORA ESTABILIZADOR, MEZCLADORA, EXTENSORA, REVOLVEDORA, COMPACTADOR LISO VIBRATORIO 8-12 TON., NEUMATICO 12-16 TON. | |
| | CERRADAS | ESTABILIZACION DE SUELOS | MEJORA DE UN SUELO NATURAL. (DISGREGACION) | RM, RI, 2K Y 3K | NO VISCOSO MEZCLA > COHESION. | IDEM MEZCLAS ABIERTAS. | |
| | | GRAVA-EMULSION | BASES ESTABILIZADAS, USO GRANULOMETRICO ESTRECHO | RI, 2K Y 3K Y SUPERESTABLE | PUNTO MEDIO DE VISCOSIDAD | IDEM MEZCLAS ABIERTAS | |
| | | CARPETAS DENSAS | CARPETAS ASFALTICAS GRANULOMETRIA DEFINIDA. | RI, 2K Y 3K Y SUPERESTABLE | IDEM. G. E. | IDEM MEZCLAS ABIERTAS | |
| | MORTEROS ASFALTICOS | IMPERMEABILIZAR Y TEXTURA ASPERA SOBRE CAPAS DE RODAMIENTO. | RRSP + ADITIVO RMSP + ADITIVO RISP | NO VISCOSA PIEDRO ARENA CRITERIO SUCC. | CARGADOR S/NEUMATICOS, SELLADOR AUTOPROPULSADO, COMPACTADOR NEUMATICO 12-16 TON. | | |

DEFINICION

MORTERO ASFALTICO: "MEZCLA ASFALTICA COMPUESTA POR EMULSION ASFALTICA SUFICIENTEMENTE ESTABLE, PETREO FINO BIEN GRADUADO, FILLER Y AGUA, EN PROPORCION TAL QUE SE PUEDA CONSEGUIR UNA CONSISTENCIA ADECUADA - PARA UNA BUENA EXTENSION EN CAPA CONTINUA"

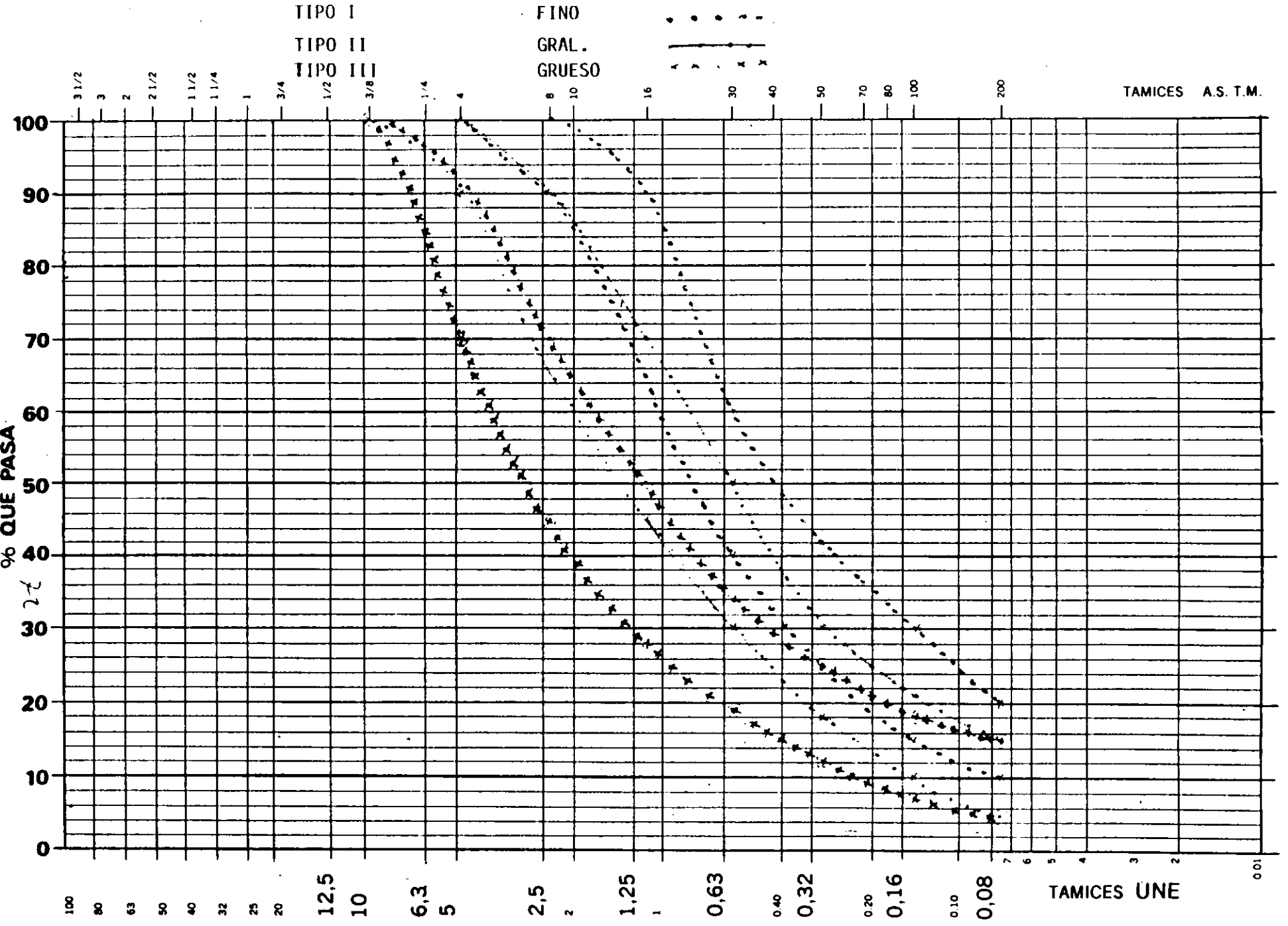
COMPONENTES DEL MORTERO ASFALTICO

AGREGADO PETREO

ORIGEN: PREFERENTEMENTE TRITURACION TOTAL > DEL 70%
 LIMPIEZA: EQUIVALENTE DE ARENA 50 < EQ. < = 70
 DUREZA: DESGASTE DE LOS ANGELES < 40%
 GRANULOMETRIA: ASTM TIPO I, II Y III.
 CONTRACCION LINEAL: < 2 %
 ABSORCION Y PVSS

| <u>M A L L A</u> | | <u>TIPO I</u> <u>% PASA</u> <u>FINO (1/8")</u> | <u>TIPO II</u> <u>% PASA</u> <u>GRAL. (1/4")</u> | <u>TIPO III</u> <u>% PASA</u> <u>GRUESO (3/8")</u> |
|------------------------------------|------------|--|--|--|
| 3/8" | (9.5 MM.) | 100 | 100 | 100 |
| Nº 4 | (4.7 MM.) | 100 | 90-100 | 70-90 |
| Nº 8 | (2.36 MM.) | 90-100 | 65-90 | 45-70 |
| Nº 16 | (1.18 MM.) | 65-90 | 45-70 | 28-50 |
| Nº 30 | (0.6 MM.) | 40-60 | 30-50 | 19-34 |
| Nº 50 | (0.3 MM.) | 25-42 | 18-30 | 12-25 |
| Nº 100 | (0.15 MM.) | 15-30 | 10-21 | 7-18 |
| Nº 200 | (.075 MM.) | 10-20 | 5-15 | 5-15 |
| LIGANTE RESIDUAL % SOBRE PETREO | | 10-16 | 7.3-13.5 | 6.5-12 |
| DOTACION MEZCLA | (KG./M2) | 3-5.5 | 5.5-8 | > 8 |

ANALISIS GRANULOMETRICO





ANALISIS DE AGREGADOS

LABORATORIO CENTRAL

TRABAJO No.

MUESTRA No.

FECHA

DENOMINACION _____

TIPO DE AGREGADO

DENSIDAD APARENTE DEL FILLER EN TOLUENO. — NLT 176 — 74

E. ARENA — NLT 113 / 72

COEF. ACT. IHORTY — NLT 178 / 74

REACCION CIH DEL AGREGADO

REACCION CIH DEL FILLER

HUMEDAD — NLT 102 / 72

DENS. RELATIVA REAL NLT 154 / 76

GRANULOMETRICO

REVISADO

| TAMIZ ASTM | RET. ENTRE TAMICES | | % PASA | RET. ENTRE TAMICES | | % PASA | % PASA MEDIA |
|------------------|--------------------|---|--------|--------------------|---|--------|--------------|
| | PESO | % | | PESO | % | | |
| 3 1/2" | | | | | | | |
| 3" | | | | | | | |
| 2 1/2" | | | | | | | |
| 2" | | | | | | | |
| 1 1/2" | | | | | | | |
| 1 1/4" | | | | | | | |
| 1" | | | | | | | |
| 3/4" | | | | | | | |
| 1/2" | | | | | | | |
| 3/8" | | | | | | | |
| 1/4" | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | |
| PASA | | | | | | | |
| CANTIDAD INICIAL | | | | | | | |

OPERADOR

EMULSION ASFALTICA

SE FABRICAN CON CEMENTO N° 6

CARACTERISTICAS:

| | |
|---|--------|
| PENETRACION 100 G. 5 SEG. 25°C GRADOS | 80-100 |
| VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL A 135°C SEG. MINIMO | 85 |
| PUNTO DE INFLAMACION °C MINIMO | 232 |
| PUNTO DE REBLANDECIMIENTO °C | 45-52 |
| DUCTILIDAD 25°C CM, MINIMO | 100 |
| SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO % MINIMO | 99.5 |
| PRUEBA PELICULA DELGADA 50 CM3, 5 H. 163 °C | . |
| PENETRACION RETENIDA % MINIMO | 50 |
| PERDIDA POR CALENTAMIENTO % MAX. | 1.0 |

NORMAS DE CALIDAD:

EMULSIONES CATIONICAS TABLA 7

EMULSIONES ANIONICAS TABLA 6

A D I T I V O S

MEJORA LA ADHESIVIDAD ENTRE EL PETREO Y EL ASFALTO.

CARACTERISTICAS

AYUDA AL CONTROL DEL ROMPIMIENTO DE LA EMULSION.

APLICACION POP SEPARADO.

A G U A

VIGILAR SU DUREZA.

CARACTERISTICAS

LIMPIA Y/O POTABLE

CEMENTO PORTLAND

CARACTERISTICAS

TIPO I Y II

METODOLOGIA PRACTICA EN LA FABRICACION
DE MORTEROS ASFALTICOS

- 1.- OBTENER LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS PETREOS, PRINCIPALMENTE:
 - GRANULOMETRIA CRITERIO SUCS.
 - PESO VOLUMETRICO
 - EQUIVALENTE DE ARENA
 - CONTRACCION LINEAL
 - PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ANGELES

- 2.- APROXIMACION TENTATIVA DE VALORES BASE.
 - CALCULO TEORICO DEL RESIDUO ASFALTICO
 - APROXIMACION PRACTICA HUMEDAD OPTIMA
 - DEFINICION DE LA EMULSION A UTILIZARSE

- 3.- EJECUCION DE PRUEBAS Y ENSAYES.
 - ABRASION EN HUMEDO
 - TIEMPO DE FLUIDEZ PROBISA
 - PRUEBA FISICA CON EL CAMION SELLADOR

- 4.- DETERMINACION DE LOS VALORES DE DISEÑO.
 - % OPTIMO DE EMULSION
 - % AGUA DE APORTACION
 - % DE FILLER DE ADICION
 - % DE ADITIVO
 - % RESPECTO AL P.V.S.S. PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO DEL PETREO

- 5.- AJUSTES Y CORRECCIONES.
 - PRUEBAS DE TENDIDO CON SELLADOR AUTOPROPULSADO
 - DETERMINACION DEL TIEMPO DE CURADO Y APERTURA AL TRANSITO CON EL COHESIOMETRO

PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO TECNICO DEL RESIDUO ASFALTICO

FORMULA.-

$$R = 2 (0.032a + 0.045b + Kc + Ki)$$

SIMBOLOGIA:

- R = RESIDUO ASFALTICO %
- K = CONSTANTE QUE VARIA DE ACUERDO CON EL % QUE PASA LA MALLA 200
- 0.205%
- 0.186-10%
- 0.1511-15%
- Ki = FACTOR DE CORRECCION POR ABSORCION QUE OSCILA ENTRE 0.7 A 2.0%
- a = % RETENIDO EN MALLA N° 10
- b = % QUE SE RETIENE MALLA N°10 Y SE RETIENE EN N° 20
- c = % QUE PASA LA MALLA N° 200

$$\text{EMULSION NECESARIA} = \frac{\text{RESIDUO ASFALTICO}}{\text{RESIDUO ASFALTICO REPORTADO DE LA EMULSION}}$$

ABRASION EN HUMEDO

1.- ELECCION DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA.

% E \pm 1.5%

% E \pm 1.0%

% E \pm 0.5%

% E

2.- RECOMENDABLE MANTENER CTE. EL FILLER DE APORTACION (CEMENTO CONSTANTE Y UNA VEZ PROBADO EL DESGASTE SE VARIARA ESTE CONTENIDO DE FILLER DE ADICION.

3.- ESPECIMENES CIRCULARES 5" \varnothing Y 5 MM. DE ESPESOR CURADOS A 60°C HASTA PESO CONSTANTE. Y ABRASIONADAS EN AGUA CON GOMAS MEDIANTE UN GIRO SOBRE 2 EJES PARALELOS HASTA 5 MIN. Y 25°C EL AGUA.

FACTOR ABRASION = PESO BASE Y ESPECIMENES - PESO BASE Y ESPECIMEN
DESPUES PRUEBA.

AREA DE DESGASTE DEL ESPECIMEN

EJEMPLO PRACTICO:

MORTERO ASFALTICO EN PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO Y TERRESTRE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN EL AEROPUERTO DE VILLAHERMOSA, TAB.

ESPECIFICACIONES DE AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES A TRAVES DE S.C.T.

1.-SELECCION DE AGREGADOS:

TABLA COMPARATIVA

| <u>BANCO</u> | <u>EQUIV. DE ARENA</u> | <u>DESGASTE LOS ANGELES</u> | <u>GRANULOMETRIA</u> | <u>NATURALEZA</u> | <u>COMENTARIOS</u> |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|
| ACTA | 68 | 5 | ADECUADA | BASALTICA | PARC. TRITURADO |
| TRIT. Y CONSTR. DE CHIAPAS | 75 | 5 | ADECUADA | BASALTICA | PARC. TRITURADO |
| LANDA Y RUBIO | 72 | 40 | ADECUADA | SILICO CALCAREO | TRITURACION TOTAL SELECCION PIEDRA |
| TACSA | 57 | 40 | FUERA LIMITES | BASALTICA | TRIT. TOTAL SIN INTERMEDIOS |
| EL BARRIO (OAXACA) | 29 | 40 | FUERA LIMITES | SILICO CALCAREO | TRIT. TOTAL SUCIO |

- MEJOR LIMPIEZA Y MEZCLA TRITURACION PARCIAL Y TOTAL QUEDANDO TRITURACION Y CONSTRUCCION DE CHIAPAS 75% Y LANDA Y RUBIO 25%.

PESO VOL. 1,560 KG./M3
 EQUIVALENTE ARENA 75
 DESGASTE DE LOS ANGELES 5%
 ABSORCION 1.8%

| | <u>MALLA</u> | <u>% PASA</u> | <u>RETENIDO PARCIAL</u> | <u>% ACUMULADO</u> |
|----|-----------------|---------------|-----------------------------|------------------------|
| | 3/8" | | | |
| Nº | 4 (4.7 MM.) | 97 | 3 | 3 |
| Nº | 8 (2.36 MM.) | 87 | 10 | 13 |
| Nº | 10 (2.0 MM.) | 82 | 5 | 18 |
| Nº | 16 (1.18 MM.) | 61 | 21 | 39 |
| Nº | 20 (0.85 MM.) | 54 | 7 | 46 |
| Nº | 30 (0.60 MM.) | 44 | 10 | 56 |
| Nº | 50 (0.30 MM.) | 23 | 21 | 77 |
| Nº | 100 (0.15 MM.) | 11 | 12 | 89 |
| Nº | 200 (0.075 MM.) | 6.5 | 4.5 | 93.5 |

VER FIGURA Nº 4

RESIDUO TEORICO DE ASFALTO = $2 (0.032 (a) + 0.045 (b) + Kc + Ki)$

$$R = 2 (0.032 * 18 + 0.045 * 28 + 0.18 * 6.5 + 1.8) = 9.612\%$$

a = % RETENIDO EN MALLA Nº 10 = 18%

b = % QUE RETIENE MALLA Nº 10 Y SE RETIENE EN LA Nº 20 = 28

c = % QUE PASA LA MALLA 200 = 6.5%

K = 0.18 (CTE. = .18 6-10% QUE PASA MALLA 200)

Ki = ABSORCION 1.8

$$EMULSION = \frac{9.612}{0.60} = 16.02\%$$

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO PETREO MORTERO ASFALTICO

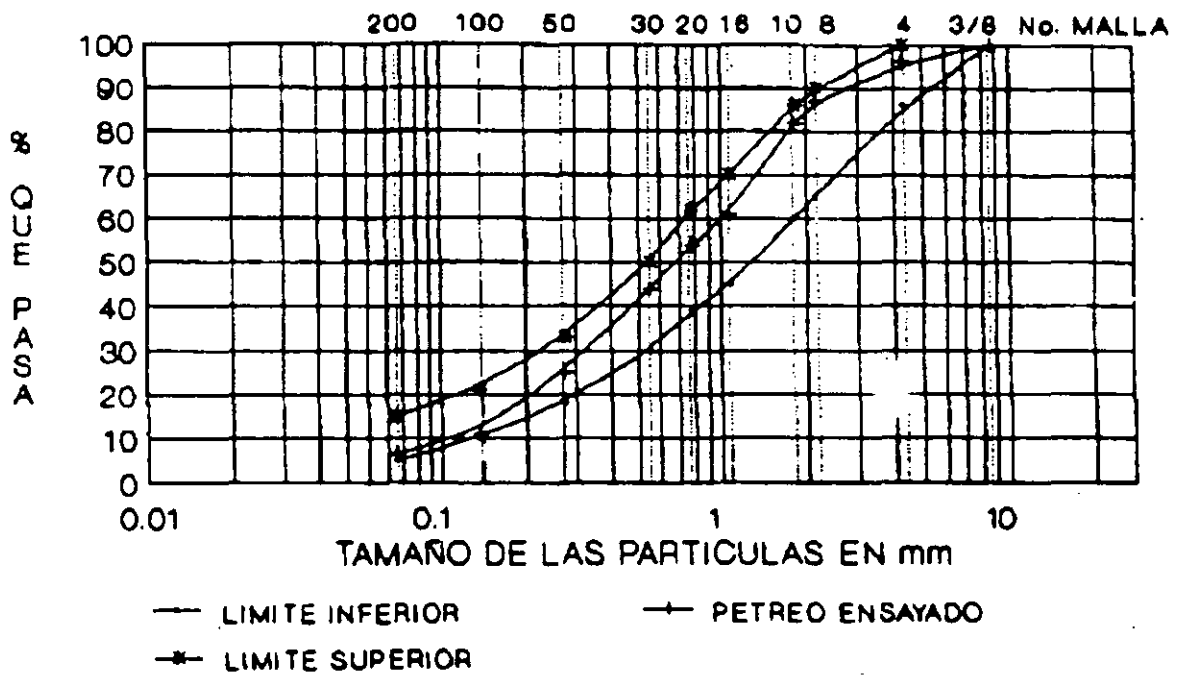
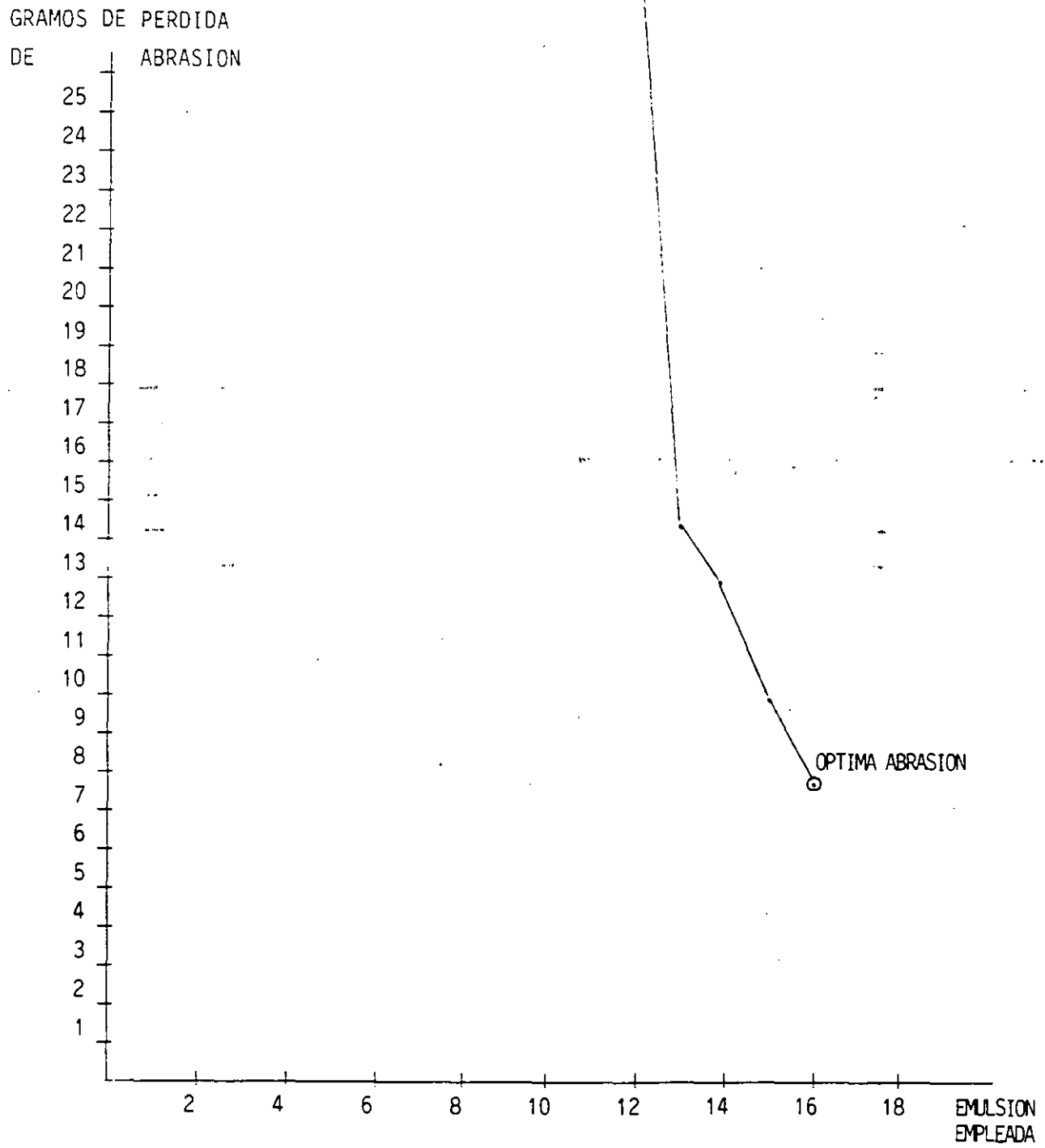


FIGURA 4

GRAFICAS DE ABRASION



SE REALIZA EL ENSAYE DE ENVUELTA Y ABRASION EN HUMEDO QUEDANDO COMO RESULTADO EL SIGUIENTE DISEÑO:

| | |
|------------------|---------------------------------|
| EMULSION | 16% SOBRE EL PESO DEL AGREGADO |
| AGUA TOTAL | 15% SOBRE EL PESO DEL AGREGADO |
| CEMENTO PORTLAND | 0.4% SOBRE EL PESO DEL AGREGADO |
| ADITIVO | 1.4% SOBRE EL PESO DEL AGREGADO |

POR CONDICIONES CLIMATOLOGICAS SU VARIACION ES LA SIGUIENTE:

| | | |
|---------------------|----------------|------------------|
| A MENOR TEMPERATURA | < CANTIDAD DE: | AGUA |
| | | ADITIVO |
| | > CANTIDAD DE: | CEMENTO PORTLAND |
| A MAYOR TEMPERATURA | > CANTIDAD DE: | AGUA |
| | | ADITIVO |
| | < CANTIDAD DE: | CEMENTO PORTLAND |

ENSAYE DE TIEMPO DE FLUIDEZ

REFERENCIA AEROPUERTO VILLAHERMOSA, TABASCO

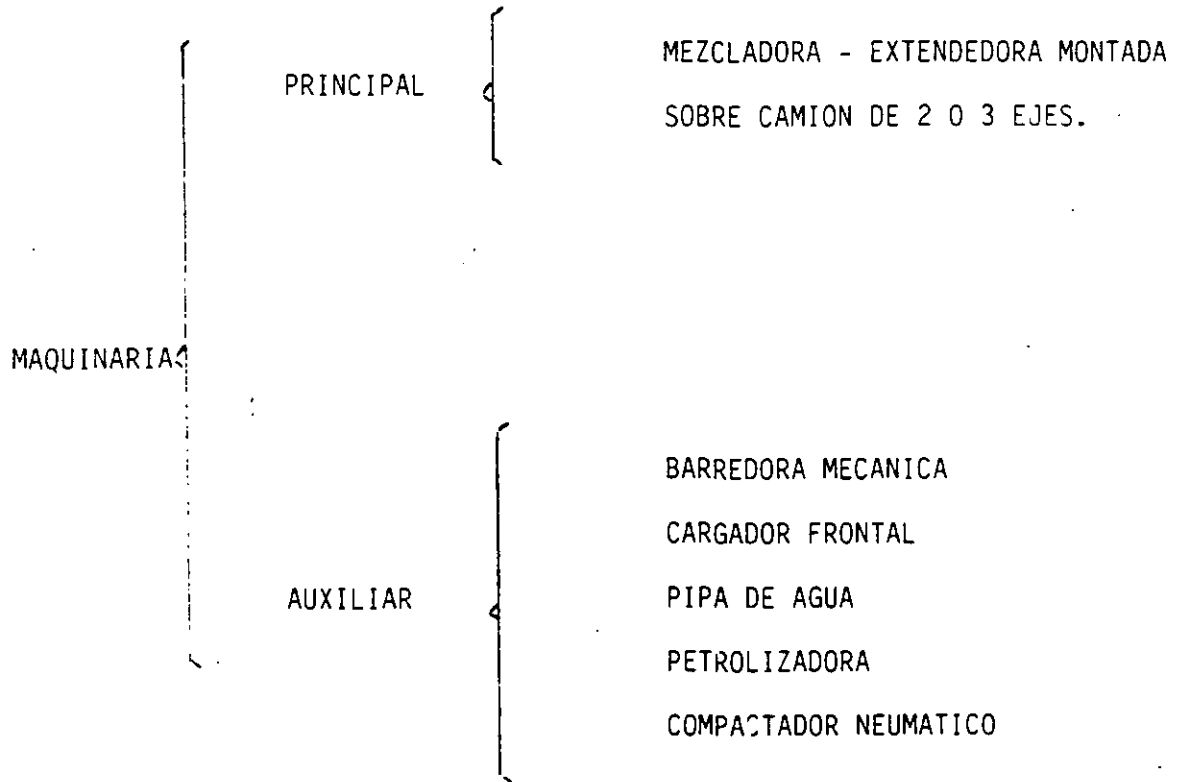
FECHA NOV'90

AGREGADO MEZCLA 75 - 25 P.V.S.S. 1,560

| AGREGADO PETREO | HUMEDAD AGREGADO % | CEMENTO % | AGUA DE APORTACION % | ADITIVO % | EMULSION EMPLEADA % | TEMPERATURA ENSAYO °C | TIEMPO DE FLUIDEZ (SEG) | ROTIURA | COHESION | GRAMOS DE PERDIDA POR ABRACION | ABRACION GR/CM2 (126.67 CM2) |
|--------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 205 | 2 | 0.0 | 15 | 0.0 | 14 | 22 | 2 | INSTANT. | - | | |
| 205 | 2 | 0.0 | 15 | 0.2 | 14 | 22 | 5 | COMPLETA | - | | |
| 205 | 2 | 0.0 | 15 | 0.4 | 14 | 22 | 15 | COMPLETA | - | | |
| 205 | 2 | 0.0 | 15 | 0.8 | 14 | 22 | 25 | COMPLETA | REGULAR | | |
| 205 | 2 | 0.0 | 15 | 1.0 | 14 | 22 | 35 | COMPLETA | REGULAR | | |
| 205 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 14 | 22 | 32 | COMPLETA | BUENA | | |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 12 | 22 | 32 | COMPLETA | BUENA | 28.0 | 0.22 |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 13 | 22 | 34 | COMPLETA | BUENA | 14.5 | 0.11 |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 14 | 22 | 35 | COMPLETA | BUENA | 13 | 0.10 |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 15 | 22 | 34 | COMPLETA | BUENA | 10 | 0.07 |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 16 | 22 | 34 | COMPLETA | BUENA | 8 | 0.06 |
| 410 | 2 | 0.4 | 15 | 1.4 | 15 | 22 | 34 | COMPLETA | BUENA | 10.0 | 0.07 |

8318

PUESTA EN OBRA



EQUIPO
PRINCIPAL

MEZCLADOR
EXTENDEDOR

- TANQUES DE ALMACENAMIENTO: PARA AGUA (CON INDICADOR DE COLUMNA)
- TOLVA DE AGREGADOS (CON 4) DE 450 CON LA VERTICAL Y VIBRADORA DE PARED
- MOTOR AUXILIAR (PROPORCIONA LA FUERZA PARA LA FABRICACION Y MEZCLADO)
- ALMACENAMIENTO DE MATERIALES:
 - BANDA TRANSPORTADORA (ENVIA EL PETREO A LA MEZCLADORA)
 - BOMBA DE EMULSION (ES DE ENGRANES)
 - BOMBA DE AGUA (ES CENTRIFUGA)
 - BOMBA DE ADITIVO (ELECTROBOMBA)
 - ALIMENTADOR DE FINOS (BOMBA HIDRAULICA)

MEDICION COMPONENTES:

- IMPULSION DE BOMBAS Y BANDA TRANSPORTADORA ESTA INTERCONETADA, LA PROPORCION NO SE ALTERA MODIFICANDO LA VELOCIDAD.
- LA CANTIDAD DE AGREGADO SE MIDE EN UNA COMPUERTA VERTICAL A LA SALIDA DE LA TOLVA Y BANDA TRANSPORTADORA (ORIFICIO RECTANGULAR), REGULARLA EN FUNCION DE LAS REVOLUCIONES DEL RODILLO.
- EL GASTO DE LA BOMBA DE EMULSION ESTA DADO EN FUNCION DEL VOLUMEN ALIMENTADO DEL PETREO.
- ALIMENTADOR DE FINOS TRABAJA SIMULTANEAMENTE CON EL DEL PETREO Y SE DOSIFICA POR UN TORNILLO SINFIN QUE REGULA EL VOLUMEN DISEÑADO.
- MEZCLADOR: BATE ENERGICAMENTE Y UNIFORMEMENTE EN EL MENOR TIEMPO LOS MATERIALES, SIENDO EL AGITADOR UN SERPENTIN HELICOIDAL CON TACOS RASCADORES QUE IMPULSAN LA MEZCLA A LA SALIDA. INTEGRACION EN ORDEN DE LOS ELEMENTOS: 1) FILLER SE AGREGA AL PETREO ANTES DE CAER AL MEZCLADOR, 2) ADICION DEL AGUA, 3) ADICION DEL ADITIVO, 4) SE MEZCLA Y SE VIERTE LA EMULSION A LA MITAD DEL RECORRIDO, 5) SALE POR COMPUERTAS LA MEZCLA.
- RASTRA: CAJA QUE EXTIENDE EL MORTERO EN UN ANCHO, ESPESOR Y ACABADO SUPERFICIAL CON EXTENSIONES DE 2.4 A 4.0 M. INCLUYEN CEJAS DE NEOPRENO REEMPLAZABLES PARA DETENER, DISTRIBUIR Y CONDICIONAR EL TERMINADO, SE APOYA EN 3 PATINES DE ACERO PARA LA REGULACION DE LA CANTIDAD DE MORTERO DOSIFICACION QUE VA EN FUNCION DE ALZADO DE GUIAS, PRESION CALIDAD Y DUREZA DE LOS NEOPRENOS Y CONDICIONES DEL PAVIMENTO.
- BARRA ROCIADORA: ESPREAS QUE HUMEDECEN EL PAVIMENTO COMO: ABATIR TEMPERATURA, ELIMINAR FRICCION, ETC. BARRA FRENTE A LA RASTRA.

EQUIPO
AUXILIAR

BARREDORA MECANICA REMOLCADA POR TRACTOR AGRICOLA, SOPLATEADO O BARREDORA AUTOPROPULSADA.

COMPACTADOR NEUMATICO AUTOPROPULSADO DE 4 A 8 TON. CON 4 A 8 PASADAS.

PETROLIZADORA, PIPA DE AGUA Y TANQUES ALMACENADORES.

CARGADOR FRONTAL SOBRE NEUMATICOS.

HERRAMIENTA - APILLAS, JALADORES, EXTENDEDORES, ETC.

COHESIOMETRO

DEFINE.- EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL TIPO DE CURADO EN LOS MORTEROS ASFALTICOS

APARATO - COHESIOMETRO

- GOMA QUE SE DESLIZA EN LA LECHADA PARA PROVOCAR DESPRENDIMIENTOS
- SE INTERRELACIONA EL PAR DE TORSION DESARROLLADO EN EL TIEMPO CON EL TIPO DE CURADO Y TIEMPO DE APERTURA AL TRANSITO.
- CONTIENE UN REGULADOR DE PRESION VARIABLE Y MEDIDOR DEL PAR DE TORSION.
- PROBETAS SIMILARES DE 5" Ø Y DIFERENTES ESPESORES DE ARILLOS.
- SE EFECTUAN MEDIDAS DEL PAR DE TORSION A LOS 5, 15, 30, 60 Y 90 MINUTOS. Y SE GRAFICAN.

TIEMPO DE CURADO = INTERVALO DE TIEMPO EN QUE UN MORTERO ASFALTICO -
NO PUEDE REMEZCLARSE, SIN DESPRENDIMIENTO LATERAL,
PAR DE TORSION DE NO EXISTE EMULSION QUE PUEDA LAVARSE.
12 - 13 KG./CM.

TIEMPO DE PERTURA AL TRAFICO = SE PROCEDE PARA UN INTERVALO DEL PAR
DE TORSION DE 20-21 KG./CM.

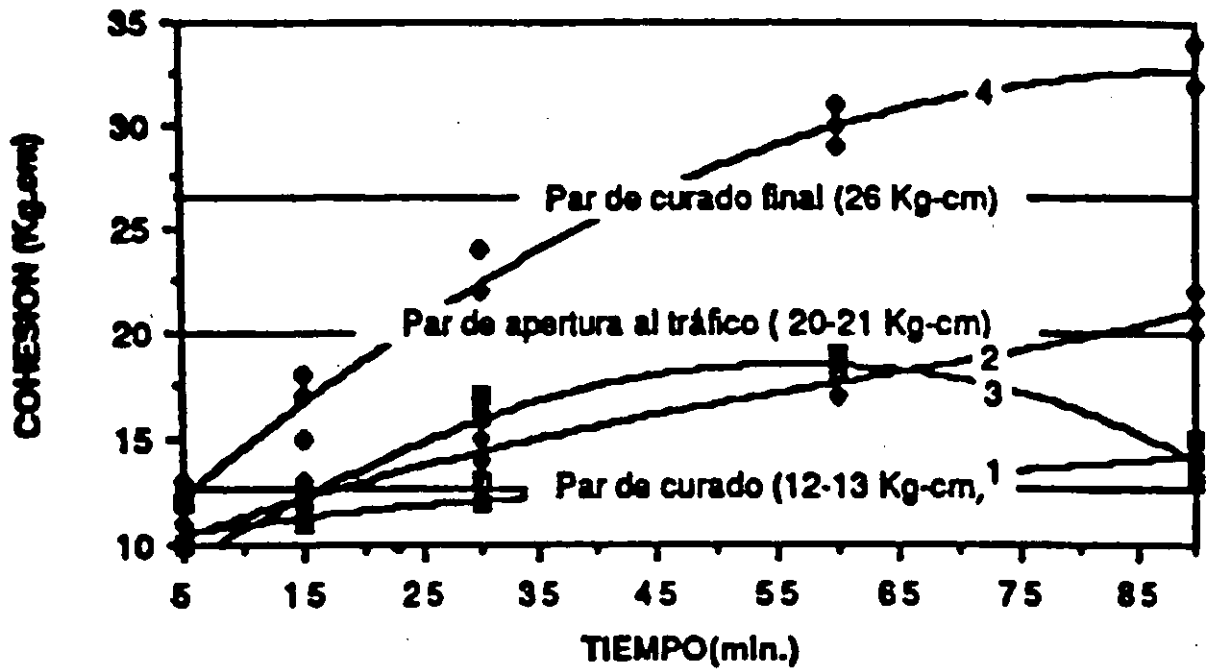
CURADO RAPIDO 30 MINUTOS

LECHADA DE

TIEMPO APERTURA AL
TRAFICO RAPIDO 60 MINUTOS

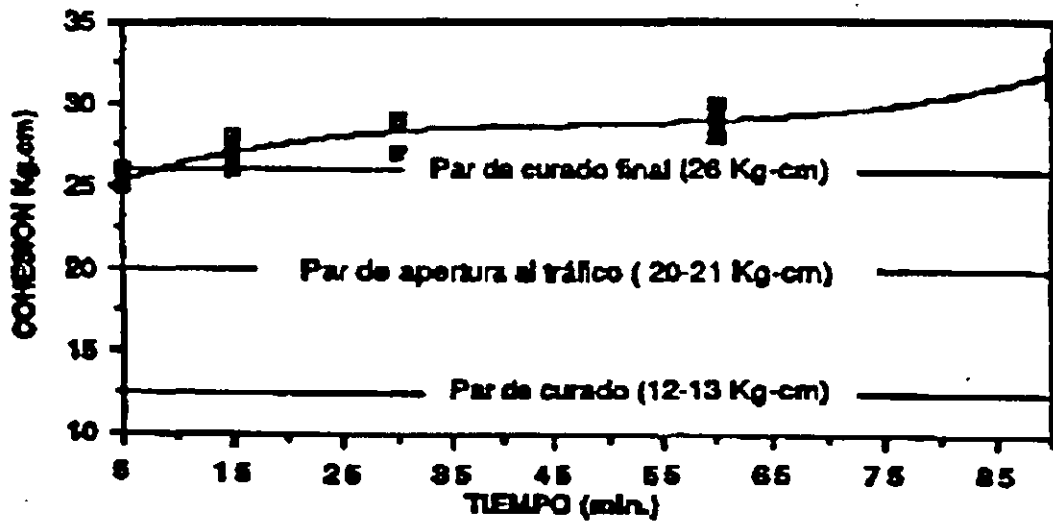
Figura nº1

"COHESIOMETRO"



"COHESIOMETRO"

"COHESIOMETRO"



ENSAYOS EN EMULSIONES

| <u>ENSAYES</u> | <u>FINALIDAD</u> |
|--|---|
| * PRUEBA DE ASENTAMIENTO EN 5 DIAS. ASENTAMIENTO = % ASF. RESIDUAL PROM. PARTE SUP. - % ASF. RESIDUAL PROM. | SE CONSIDERA COMO UN INDICE DE LA ESTABILIDAD QUE CONTIENEN LAS EMULSIONES, PARA SOPORTAR UN ALMACENAMIENTO PROLONGADO. |
| * PRUEBA DE DEMULSIBILIDAD. % DEMULSIBILIDAD = $\frac{\text{ASFALTO COAGULADO} \times 100}{\text{ASF. RESIDUAL}}$ | SE APLICA EN 2 CASOS A EMULSIONES RR Y RL. |
| * PRUEBA DE MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND EN EMULSIONES RL. | DETERMINA LA RESISTENCIA A LA COAGULACION. |
| * PRUEBA DE DESTILACION. | DETERMINA EL CONTENIDO DE AGUA Y RESIDUO ASFALTICO PARA PROCEDER A EFECTUAR PRUEBAS DE PENETRACION Y DUCTILIDAD. |
| * RETENIDO EN MALLA N° 20. | DETERMINA SI LA EMULSION CONTIENE GRUMOS QUE ENTORPEZCAN LA CONDUCCION POR TUBERIAS. |
| * POTENCIAL DE HIDROGENO. | DETERMINA EL P.H. 0-6 CATIONICA 8-15 ANIONICA |

ENSAYES EN CEMENTOS ASFALTICOS

| <u>ENSAYES</u> | <u>FINALIDAD</u> |
|--|---|
| - PUNTO DE INFLAMACION EN CEMENTOS ASFALTICOS. | DETERMINA LA TEMPERATURA CRITICA ARRIBA DE LA CUAL DEBERAN TOMARSE PRECAUCIONES POR PELIGRO DE INCENDIO |
| - VISCOSIDAD EN CEMENTO Y/O EMULSIONES. | DETERMINA EL GRADO DE FLUIDEZ A UNA DETERMINADA TEMPERATURA Y/O EL GRADO DE MANEJABILIDAD. |
| - PENETRACION EN CEMENTO ASFALTICO. | DETERMINA EL GRADO DE DUREZA DEL CEMENTO ASFALTICO. |
| - DUCTILIDAD EN CEMENTOS ASFALTICOS. | DETERMINA EL GRADO DE ALARGAMIENTO MEDIDO EN CM. |
| - SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO DE CEMENTOS ASFALTICOS. | DETERMINAR SI SU ORIGEN ES DEL PETROLEO O CONTIENE ALGUNA CONTAMINACION. |
| - PUNTO DE REBLANDECIMIENTO. | MARCA EL RANGO EN QUE SE REBLANDECE EL CEMENTO A MEDIDA QUE AUMENTA LA TEMPERATURA. |

FACTORES NECESARIOS
DE CONOCIMIENTO EN
LA COLOCACION DE
MORTEROS ASFALTICOS

CONDICIONES
DEL PAVIMENTO

CLIMATOLOGIA
Y OTROS

DISEÑO

TEXTURA PRIMITIVA
REGULARIDAD SUPERFICIAL
PERMEABILIDAD ORIGINAL
FALLAS Y DEFORMACIONES

EPOCA DEL AÑO
TEMPERATURAS AMBIENTES
DIARIAS Y HORARIAS
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO
PRECIPITACIONES POSIBLES
HUMEDAD AMBIENTAL
CONDICIONES DE OBRA

SELECCION DE MATERIALES

DISEÑO DE LA MEZCLA

DEFECTOS ORIGINADOS POR LOS AGREGADOS

| CAUSAS | EFECTOS | CONTROL |
|--|---|--|
| FALTA DE FINOS | TIEMPO DE ROTURA ELEVADO MIGRACIONES DE LIGANTE A LA SUPERFICIE. DESPREDIMIENTO DE GRUESOS. | GRANULOMETRIA TAMIZ 0,080 MM. |
| EXCESO DE FINOS | TIEMPO DE ROTURA MUY CORTO. RIZADO TRANSVERSAL. ELEVADO CONSUMO DE ADITIVO. | GRANULOMETRIA PASA TAMIZ 0,080 MM. |
| SEGREGACIONES DE FILLER EN EL AGREGADO | APARICION DE MANCHAS CLARAS. TEXTURA IRREGULAR. | INSPECCION VISUAL DE AGR GRANULOMETRICO DEL AGREGADO MAYOR HOMOGENEIZACION |
| FINOS MUY SUCIOS | TIEMPO DE ROTURA MUY CORTO FALTA DE ADHESIVIDAD EXCESIVO CONSUMO DE ADITIVO | ENSAYO E.A. |
| CONTAMINACION CON ELEMENTOS GRUESOS | RAYAS LONGITUDINALES | GRANULOMETRIA SOBRE TAMAÑOS |

DEFECTOS ORIGINADOS POR LA EMULSION

| | | |
|---|--|--|
| EMULSION CON BAJA ESTABILIDAD | ROTURAS PARCIALES DE LA MEZCLA CON FORMACION DE GRUMOS. EXCESIVO CONSUMO DE ADITIVO | EMULSION ANIONICA MEZCLA - CON CEMENTO EMULSION CATIONICA TIEMPO DE FLUIDEZ. |
| EMULSION CON ALTA ESTABILIDAD | ROTURA MUY LENTA. | EMULSION ANIONICA MEZCLA - CON CEMENTO. EMULSION CATIONICA TIEMPO DE FLUIDEZ. |
| EMULSION CON SEDI-MENTACION. | DIFERENCIAS DE COLORACION. | INSPECCION VISUAL ALMACENAMIENTO. |
| EMPLEO DE EMULSION CALIENTE | PREMATURA ROTURA DE LA MEZCLA. EXCESIVO CONSUMO DE ADITIVO. | MEDIDA TEMPERATURA EMULSION |
| EMULSION CON INADECUADO CONTENIDO EN LIGANTE. | DEFECTO EXCESO LIGANTE. | RESIDUO POR EVAPORACION |
| EMULSION CON TAMI-ZADO. | ATASCOS EN BOMBAS Y FILTROS | TAMIZADO DE LA EMULSION INSPECCION VISUAL DEL ALMACENAMIENTO |

DEFECTOS ORIGINADOS POR FABRICACION Y MEZCLA

| CAUSAS | EFECTOS | CONTROL |
|--|--|---|
| EXCESO ADITIVO | MALA ADHESIVIDAD. MALA COHESION | PORCENTAJE DE ADITIVO |
| EMPLEO DE ADITIVO INADECUADO | ROTURA PREMATURA MALA TRABAJABILIDAD ROTURAS PARCIALES EN RASTRA EN ANGULOS Y PUNTAS CON POCA AGITACION | PORCENTAJE DE ADITIVO |
| EXCESO DE AGUA DE PREENVUELTA | BAJA CONSISTENCIA DE LA LECHADA DERRAMES SUPERFICIALES DE AGUA DIFERENCIAS DE COLORACION DOTACIONES BAJAS | FUNCIONAMIENTO BOMBA AGUA HUMEDAD DE LOS AGREGADOS ABSORCION DE LOS AGREGADOS |
| DEFECTO DE AGUA DE PREENVUELTA. | MALA TRABAJABILIDAD | FUNCIONAMIENTO BOMBA AGUA HUMEDAD DE LOS AGREGADOS ABSORCION DE LOS AGREGADOS |
| INADECUADA CALIDAD DE LA GOMA DE EXTENSION | RIZADO VARIACIONES DE DORACION TRANSVERSALES. | COMPROBAR GROSOR Y ELASTICIDAD DE LA GOMA |
| MAL CIERRE LATERAL DE LA RASTRA | DERRAMES LATERALES | ESTADO DE GOMAS LATERALES |

DEFECTOS ORIGINADOS POR EL ESTADO DEL FIRME A TRATAR

| CAUSAS | EFECTOS | CONTROL |
|---|---|---|
| GRAVILLAS SUELTAS | RAYAS LONGITUDINALES | SUPERFICIE BARRIDA |
| DEFORMACIONES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO | HETEROGENEIDAD (VELOCIDAD DE ROTURA, COHESION) HETEROGENEIDAD DE TEXTURAS DIFERENCIAS DE COLORACION | OPERACIONES DE BACHEO PREVIO |
| PAVIMENTO CON EXUDACIONES | APARICION DE EXUDACIONES | INSPECCION VISUAL |
| PAVIMENTO POROSO | FILTRACION DE FLUIDOS Y FINOS DIFERENCIAS DE COLORACION | INSPECCION |
| PAVIMENTO SUCIO O CALIENTE | FALTA DE ADHERENCIA AL SOPORTE | COMPROBAR BARRIDO Y LIMPIEZA |
| PAVIMENTO PULIDO | DOTACION ESCASA DEFICIENTE ADHERENCIA AL SOPORTE | COMPROBAR (A1-4 O AL-5) TIPO DE LECHADA |

DEFECTOS ORIGINADOS POR LA CLIMATOLOGIA

| CAUSAS | EFECTOS | CONTROL |
|------------------|--|--|
| LLUVIA | LAVADO DEL AGREGADO. DIFERENCIAS DE COLORACION SEGREGACION DE ARIDOS EN ACOPIOS | PREVISION CLIMATOLOGICA |
| ALTA TEMPERATURA | ROTURA MUY RAPIDA MIGRACIONES DE BETUN A LA SUPERFICIE CON ROTURA SUPERFICIAL. ALTO CONSUMO DE ADITIVO MALA ADHERENCIA AL SOPORTE | PREVISION CLIMATOLOGICA APLICACION DEL AGUA PARA ABATIR LA TEMPERATURA EN PAVIMENTO TRABAJOS EN 6° TEMPERATURA AMBIENTE 40°C |
| BAJA TEMPERATURA | ROTURA LENTA | PREVISION CLIMATOLOGICA |

DEFECTOS ORIGINADOS POR LOS AGREGADOS PETREOS

DEFECTOS ORIGINADOS POR LA EMULSION

DEFECTOS ORIGINADOS POR FABRICACION Y MEZCLA

FALLAS

DEFECTOS ORIGINADOS POR LA EXTENSION

DEFECTOS ORIGINADOS POR EL ESTADO DEL PAVIMENTO

DEFECTOS ORIGINADOS POR EL CLIMA



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

RECUPERACION Y RACLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES ASFALTICOS RECIACLADOS

INF. RAFAEL LIMON LIMON

OCTUBRE

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
MATERIALES ASFALTICOS RECICLADOS**

POR:

T H O M A S W . K E N N E D Y

**PROFESOR DE INGENIERIA CIVIL., VICEPRESIDENTE SUPLENTE DE IN-
VESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE TEXAS EN AUSTIN.**

**ARTICULO PRESENTADO EN EL V CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE -
INGENIERIA DEL TRANSPORTE.,**

Por

THOMAS W. KENNEDY

Profesor de Ingeniería Civil
Vicepresidente Suplente de Investigación
de la Universidad de Texas en Austin

Artículo presentado
en el V Ciclo de Con-
ferencias sobre Inge-
niería del Transpor-
te, Septiembre 11-15, 1978.

R E S U M E N

Este artículo comprende los resultados de un estudio para evaluar la resistencia, la fatiga, y las características elásticas de los materiales asfálticos - reciclados para pavimentación, y para desarrollar un procedimiento de diseño - de la mezcla preliminar.

Se evaluaron las mezclas con diferentes tipos y cantidades de aditivos para -- tres proyectos de reciclamiento en Texas. El primer método de evaluación fue - con la prueba de tensión indirecta con carga estática y con carga repetida. Se obtuvieron estimaciones de la resistencia a la tensión, características elásti- cas resilientes, y las características de fatiga. Se formuló un procedimiento de diseño preliminar de la mezcla, el cual se basó en los resultados de este - estudio y de las pruebas estándar en la mezcla y en el asfalto extraído, así - como en una revisión de la literatura pertinente y de las experiencias pasadas. El objetivo de este procedimiento de diseño preliminar es para permitir a los ingenieros empezar con una rutina de diseño de las mezclas que involucran cemen- tos asfálticos deteriorados reciclados.

Los resultados preliminares indican que las mezclas asfálticas recicladas pueden ser tratadas por medio de la adición de asfalto y/o agentes reciclantes para - producir un material que exhiba propiedades ingenieriles satisfactorias medidas por pruebas de laboratorio en especímenes preparados, así como en corazones toma- dos en el campo.

Se presenta un procedimiento preliminar para obtener la mezcla, el cual puede usarse para diseñar las mezclas recicladas. Futuros trabajos conducirán a modificaciones de este procedimiento. Sin embargo, actualmente se siente que el procedimiento es práctico y capaz de ser usado rutinariamente.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES
ASFALTICOS RECICLADOS.

Por

THOMAS W. KENNEDY

Profesor de Ingeniería Civil-Vice -
presidente Suplente de Investigación
de la Universidad de Texas en Austin.

Artículo presentado en el V Ciclo -
de Conferencias sobre Ingeniería del
Transporte, Septiembre, 11-15, 1978.

I N T R O D U C C I O N

Investigaciones previas han estudiado algunas de las propiedades de las mezclas recicladas; sin embargo, no están disponibles propiedades fundamentales como -- la resistencia a la tensión, características elásticas, comportamiento elástico resiliente, y propiedades de fatiga. Por lo tanto, el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas solicitó que se realizara un estudio preliminar de las mezclas asfálticas recicladas. Los objetivos principales de este estudio fueron: (1) evaluar las propiedades ingenieriles de las mezclas asfálticas recicladas y (2) desarrollar un procedimiento preliminar de diseño de mezclas - asfálticas recicladas.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para lograr los objetivos anteriores se prepararon especímenes en el laboratorio y se obtuvieron corazones de prueba de las mezclas asfálticas recicladas de tres diferentes obras y se probaron a la tensión indirecta usando carga estática y repetida, se evaluaron por comparación de las propiedades de las mezclas recicladas con las propiedades de las mezclas convencionales (Ref.1). Se realizaron también pruebas adicionales y evaluaciones conducidas por el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas, EE. UU.

OBRAS Y ESPECIMENES PROBADOS.

Se proporcionaron especímenes elaborados con las mezclas de tres diferentes obras en construcción en el Estado de Texas, al Centro de Investigación de Carreteras por el Departamento de Carreteras y Transportación. La tabla Núm. 1 contiene el resumen de la información relacionada con la obra. Los especímenes de tres obras pueden dividirse en tres grupos: especímenes preparados en el laboratorio, corazones y especímenes de la mezcla en el campo. Se usaron cuatro tipos de aditivos en las siguientes combinaciones, CA-5, CA-8, reclamite, aceites fluidificantes y CA-8 más reclamite.

Todos los especímenes de laboratorio fueron preparados por el Departamento de Carreteras y Transportación de Texas, de acuerdo con TEX-126-E para los materiales de la base negra y TEX-206-F para los materiales de la carpeta (Ref.2). Los agregados se mezclaron (en bachadas) por peso seco para cumplir las especificaciones de graduación. Tanto los agregados como el aditivo se calentaban y se mezclaban durante aproximadamente tres minutos. Se muestrearon especímenes mezclados en el campo y en la planta, y se recalentaron antes de compactar en el laboratorio. Se colaron entonces las mezclas en hornos precalentados hasta obtener la temperatura de compactación y luego se compactaron usando el compactador giratorio de Texas de acuerdo con TEX-206-F TEX-226-F, Parte II (Ref.2).

Se prepararon por duplicado especímenes para cada grupo de condiciones. Se probó una porción de los especímenes en el Departamento de Carreteras y Transportación de acuerdo con TEX-126-E, Parte III. Los especímenes remanentes se probaron en el Centro de Investigación de Carreteras utilizando las pruebas de tensión indirecta con carga estática y repetida, respectivamente.

Se probaron especímenes de dos tamaños diferentes. Los especímenes de la mezcla superficial y de los corazones tomados en el campo tenían un diámetro nominal de 102 mm y una altura nominal de 51 mm. Se obtuvieron especímenes de las mezclas para la base con un diámetro nominal de 152 mm y altura de 76 mm.

Una tercera parte de los especímenes se sometieron a la prueba indirecta de tensión con carga estática, y dos terceras partes se probaron bajo cargas repetidas para obtener estimaciones de la fatiga y de las propiedades resilientes.

Los estudios previos (Ref. 3 y 4) han mostrado que la relación entre la fatiga final y el esfuerzo de tensión es lineal; por lo tanto, solamente dos niveles de esfuerzo se usaron en la porción de carga repetida de este estudio.

METODO DE PRUEBA

La prueba de tensión indirecta consiste en aplicar a un espécimen cilíndrico - carga de compresión estática o dinámica actuando paralela y a lo largo del plano vertical diametral. La carga de compresión se distribuye a través de la extensión de 13 mm de la pieza de carga de acero, que esta curvada en la cara de contacto para ajustarse al espécimen. Esta configuración de carga produce un esfuerzo relativamente uniforme perpendicular al plano de la carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral hasta causar la falla del espécimen -- partiéndolo a lo largo del diámetro vertical (Fig. Núm.1). La resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, y la relación de Poisson se pueden calcular de la carga medida y de las correspondientes deformaciones verticales y horizontales.

El equipo de prueba fue el mismo que se usó en los estudios previos en el Centro de Investigación de Carreteras e incluye una estructura de carga, un cabezal de carga, y un sistema impulsado con dispositivos electrohidráulicos para aplicar la carga con una velocidad de deformación controlada. El cabezal de carga asegura que las platinas permanezcan paralelas durante la prueba. Una tina de acero curvada para aplicar la carga se adaptó tanto a la platina superior como a la inferior.

La estimación del módulo de elasticidad, relación de Poisson, y deformaciones por tensión, requieren la medición de la deformación vertical y de la horizontal, V_{RI} y H_{RI} de los especímenes. Para la prueba con repetición de carga se midieron las deformaciones horizontales y verticales por medio de medidores longitudinales de variación diferencial (LVDT). En la figura Núm. 2 se ilustra una relación típica de las deformaciones verticales y horizontales "Vs" el tiempo -- junto con el patrón de pulsación correspondiente al tiempo de carga.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA ESTÁTICA.

Se aplicó una precarga de 89 N (9.06 Kgs) al espécimen para prevenir el impacto de la carga y para minimizar el efecto del asentamiento de la pieza metálica de

carga. Entonces, el espécimen se carga con una velocidad de 51 mm por minuto. Las cargas y las deformaciones, en el caso de la prueba realizada, se registraron con dos graficadores X-Y, un registrador de carga y de deformación horizontal y otro registrador de carga y deformación vertical.

De los registros, se obtuvieron las correspondientes cargas, deformaciones verticales y deformaciones horizontales, y de acuerdo con las dimensiones de cada espécimen, se usaron como datos para el programa de computadora (MODLAS 9) con el cual se calcula la tensión y las propiedades elásticas-estáticas de los materiales probados.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA CON CARGA REPETIDA

Al espécimen usado en esta prueba se sometió a una precarga de 89 N (9.06 Kgs) la cual corresponde a un esfuerzo aproximado de 1.1 N/cm^2 (0.105 Kgs/cm^2). A continuación se aplicaron cargas repetidas para producir un esfuerzo total en el rango de 12 a 72 N/cm^2 (1.22 a 7.28 Kgs/cm^2) con una frecuencia de un ciclo por segundo (1 Hz) con una duración de carga de 0.4 segundos y un período de receso de 0.6 segundos. Todas las pruebas se realizaron a 24°C y se continuaron hasta que ocurrió la falla, o sea cuando el espécimen se fracturó completamente. La vida de fatiga N_f es el número de ciclos correspondientes a esta falla.

Las deformaciones individuales horizontales y verticales, H_{RI} y V_{RI} se registran en los ciclos números 25 y 50, y para los ciclos correspondientes aproximadamente a 30, 50 y 70% de la vida de fatiga. Estos porcentajes de la vida de fatiga son de la porción lineal de la relación de deformación.

EVALUACION DE LAS PROPIEDADES INGENIERILES

El análisis de los datos de estos tres folletos se subdividió en (1) propiedades de fatiga, (2) propiedades de resistencia y elasticidad, (3) efecto de los aditivos en las propiedades, y (4) correlaciones.

PROPIEDADES DE FATIGA

Estudios previos (Ref. 3 y 4) han indicado una relación lineal entre la vida de fatiga y el esfuerzo lo cual puede expresarse como:

$$N_f = K_2 \left[\frac{1}{T_T} \right]^{n_2} \quad n_2 = K'_2 \left[\frac{1}{AT} \right]^{n_2}$$

Donde:

N_f es la vida de fatiga, en ciclos

T_T es el esfuerzo de tensión aplicado, en N/cm^2

AT es el incremento de esfuerzo $\approx 4T_T$, N/cm^2

K_2 es la constante del material, que es el antilogaritmo del valor interceptado de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el esfuerzo de tensión.

K'_2 es la constante del material, que es el antilogaritmo del valor interceptado de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el incremento de esfuerzo.

n_2 es la constante del material, que es el valor absoluto de la pendiente de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el esfuerzo de tensión o el incremento de esfuerzo.

En la Fig. Núm. 3 se ilustran las relaciones entre la vida de fatiga y el incremento de esfuerzo. Estudios previos (Refs. 3 y 5) han mostrado que los resultados expresados en términos de diferencia de esfuerzo son más útiles y comparables con los resultados de otros métodos de prueba. Para la prueba de tensión indirecta, la diferencia de los esfuerzos ha mostrado ser aproximadamente igual a $4 T_T$ en o cerca del centro del espécimen.

Debe notarse que las pendientes n_2 fueron esencialmente las mismas, excepto para la mezcla que contiene 2.7% de CA-20 + 0.34% de reclamite.

Los valores de n_2 para los especímenes reciclados variaron de 2.15 a 8.07 .

Estos valores estuvieron en el mismo rango, aun que ligeramente más altos que los reportados previamente para los materiales convencionales de pavimentación (tabla 1). Ya que $1/T$ es siempre menor que 1.0, los valores altos de n_2 generalmente indicarán valores menores que la vida de fatiga.

Los valores de K'_2 para los especímenes reciclados variaron de 3.96×10^8 a 1.11×10^{23} . Estos valores fueron también más altos que los reportados previamente para las mezclas producidas usando métodos y materiales convencionales (tabla 2).

Por lo tanto, los niveles de fatiga generalmente fueron mayores para las mezclas recicladas que para las mezclas convencionales. Sin embargo, un pequeño incremento en el nivel de esfuerzo disminuiría sustancialmente la vida de fatiga como lo indicaron los valores grandes n_2 . Los coeficientes para la determinación de R^2 para diferentes relaciones logarítmicas generalmente vario de 0.79 a 0.93%, indicando una correlación adecuada entre las variables.

Los coeficientes de variación de la vida útil (hasta la fatiga) para las mezclas recicladas variaron desde 3 hasta 67%; estos valores están en general de acuerdo con los previamente reportados para los corazones (Ref. 4) y para los especímenes de campo mezclados en tambor secador (Ref. 7). Estos valores, aunque están calculados basándose solamente en tres observaciones, fueron similares a los obtenidos con los espécimenes mezclados en el campo y con los corazones, indicando que una mayor variación puede ocurrir en las mezclas recicladas.

RESISTENCIA Y PROPIEDADES ELASTICAS CON CARGA ESTATICA

Se determinaron estimaciones de la resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, y relación de Poisson usando la prueba elástica de tensión indirecta y se resumizaron en la (Ref. 1). La Tabla 3 comprendia los resultados de la prueba estática e incluye los promedios y coeficientes de variación, aunque el coeficiente de variación puede no ser muy útil debido al número pequeño de puntos (valores) obtenidos de los especímenes probados y de los valores reportados previamente.

La resistencia y los valores del módulo obtenidos para las mezclas recicladas fueron ligeramente mayores que los obtenidos previamente para las mezclas convencionales. Por lo tanto, basados en la elasticidad con carga estática y en las --

propiedades de resistencia, se considera que el material reciclado se comporta tan bien como las mezclas convencionales.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DINAMICA (CARGA REPETIDA)

La relación entre la deformación permanente y el número de aplicaciones de carga, es lineal entre 10 y 80% de la vida útil (hasta la fatiga), y después de un período de acondicionamiento, los módulos de elasticidad disminuyen con un incremento en el número de aplicaciones de carga (Ref. 3). Para este estudio, se calcularon las propiedades elásticas y aproximadamente 50% de la vida útil hasta la fatiga. La tabla 4 contiene el resumen de los valores de las pruebas y de los coeficientes de variación.

MODULO ELASTICO DE RESILIENCIA INSTANTANEA

Los valores promedio de los módulos elásticos de resiliencia instantanea para los especímenes preparados en el laboratorio a 24°C variaron desde $(172 \times 10^3$ a $692 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$ 17.4×10^3 a $70.21 \times 10^3 \text{ Kgs/cm}^2$) con el coeficiente de variación variando desde 4 a 28%. Rodríguez y Kennedy (Ref. 7) reportaron valores para las mezclas en tambor secador que variaban desde 128×10^3 a $349 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$ (12.95×10^3 a $35.42 \times 10^3 \text{ Kgs/cm}^2$) con coeficientes de variación de 3 a 19%. Los valores del módulo para este estudio fueron mayores que los reportados en evaluaciones previas con mezclas convencionales.

VALOR DE POISSON DE RESILIENCIA INSTANTANEA

Los valores para el módulo de Poisson con resiliencia instantanea de especímenes reciclados preparados en el laboratorio variaron desde 0.04 a 0.68. Los valores previamente reportados para estos módulos a 24°C para las mezclas de concreto - asfáltico convencional de corazones tomados en el campo fueron de 0.44 y 0.57 (Ref. 4) y para los especímenes preparados en el laboratorio fueron de 0.04 a 0.20 (Ref. 3). Por lo tanto los valores de estos módulos de Poisson encontrados en este estudio fueron aproximadamente los mismos que los reportados previamente para las mezclas convencionales.

EFECTO DEL CONTENIDO DE ADITIVO

Una primera característica en el diseño de las mezclas recicladas involucra determinar el tipo y la cantidad requerida de aditivo. Como requerimiento de construcción la viscosidad del aditivo debe ser lo suficientemente baja, y el volumen debe ser suficiente para humedecer y penetrar uniformemente el material asfáltico triturado que va a reciclarse (Ref. 9).

Los efectos de la cantidad y tipo del aditivo en la resistencia a la tensión, módulo de elasticidad con carga estática, módulo resiliente de elasticidad, y vida útil (hasta la fatiga) para las tres obras se ilustran en las figuras 4 a 7. Generalmente, las tres propiedades disminuyen linealmente con el incremento en la cantidad de aditivo. Para los materiales del Distrito 21 el punto sin aditivo es un punto común para los tres tipos de aditivo. El efecto del tipo de aditivo es más evidente para los módulos resilientes que para los módulos estáticos y la resistencia a la tensión. Las diferencias medias entre los valores para los diferentes aditivos son mucho mayores y existen diferencias más grandes entre las pendientes. Los valores de R^2 variaron desde 0.90 a 0.98.

CORRELACIONES

Los estudios previos sobre las mezclas asfálticas convencionales están incluidos y las correlaciones evaluadas entre:

- (1) vida útil (hasta la fatiga) y deformación por tensión.
- (2) vida útil (hasta la fatiga) y relación esfuerzo-deformación, y
- (3) constantes de fatiga n y K .

En este estudio no fue posible desarrollar una relación entre la vida útil (hasta la fatiga) y la deformación por tensión o la relación esfuerzo-deformación para el material reciclado.

Adedimila y Kennedy (Ref. 3) encontraron que existe relación lineal entre n_2 y el logaritmo de K'_2 . Las relaciones obtenidas usando los análisis de regresión para los materiales empleados en este estudio fueron:

$$n_2 = -0.5368 + 0.3793 \log K'_2$$

$$(R^2 = 0.94, S_e = 0.30)$$

$$\log K'_2 = 2.2426 + 2.476 n_2$$

$$(R^2 = 0.94, S_e = 0.78)$$

Las relaciones obtenidas en este estudio mostraron correlaciones francamente altas que son similares a las reportadas en estudios previos (Refs. 3, 4 y 7). Por consiguiente los datos de los estudios previos empleando mezclas convencionales se combinaron con los datos de las mezclas recicladas y se desarrollaron relaciones compuestas.

Estas relaciones son:

$$n_2 = 0.4835 + 0.3756 \log K'_2$$

$$(R^2 = 0.96, S_e = 0.29)$$

y

$$\log K'_2 = 1.652 + 2.5684 n_2$$

$$(R^2 = 0.96, S_e = 0.78)$$

Debido a la alta correlación de los coeficientes obtenidos por la combinación, se concluyó que existe una relación entre n_2 y $\log K'_2$, lo cual posiblemente puede simplificar la estimación de las propiedades de fatiga.

PROCEDIMIENTO PRELIMINAR PARA DISEÑAR LA MEZCLA

Actualmente no hay un procedimiento disponible para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas. Las siguientes recomendaciones se basaron en la experiencia obtenida hasta la fecha y son de tipo preliminar. Se anticipa que se requerirán modificaciones conforme avance la información adicional, y se desarrolle más experiencia.

El problema de diseño comprende: (1) hacer que el asfalto tenga su composición química óptima para la durabilidad. (2) restaurar las características del asfalto hasta una consistencia de nivel apropiado para la mezcla. (3) cumplir con el requerimiento del contenido de asfalto del procedimiento de diseño de la mezcla.

Los pasos necesarios para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas se han subdividido en tres categorías: general, diseño preliminar y diseño final.

GENERAL

- (1) Determinar la graduación del agregado en la mezcla que se va a reciclar.
- (2) Determinar la cantidad de asfalto en la mezcla asfáltica que se va a reciclar.
- (3) Determinar las condiciones finales del agregado, o sea, graduación final después de la adición de un nuevo agregado.
- (4) Determinar el tamaño máximo de las partículas de la mezcla después de la pulverización.

DISEÑO PRELIMINAR

Los objetivos principales de estos procedimientos preliminares son para seleccionar los tipos y cantidades de aditivos que pueden usarse para reacondicionar al asfalto en la mezcla que se va a reciclar, e involucra la selección de un aditivo que suavice el asfalto existente. Existen varios materiales, tales como suavizantes asfálticos, aceites fluidificantes, agentes suavizantes comercialmente disponibles o combinaciones de estos materiales. El primer criterio es para reducir la viscosidad o incrementar la penetración del asfalto hasta que alcance un nivel aceptable o específico. Los pasos básicos se resumen como sigue:

- (1) Extraer y recuperar el asfalto de la mezcla que se va a reciclar (TEX-211-F)
- (2) Mezclar el asfalto extraído con los tipos seleccionados de las cantidades de aditivos.
- (3) Medir la viscosidad (TEX-513-G, TEX-528-C) y/o la penetración (TEX-502-C) del cemento asfáltico tratado.
- (4) Desarrollar las relaciones entre la cantidad de aditivo y la viscosidad y/o penetración.
- (5) Seleccionar aquellas combinaciones que produzcan un aglutinante de la consistencia deseada, considerando penetración y/o viscosidad.
- (6) Seleccionar aquellas combinaciones que garanticen la evaluación posterior. Esta selección puede basarse en el costo, disponibilidad, consideraciones de construcción, confiabilidad y experiencia, etc.

DISEÑO FINAL

Los materiales seleccionados en el diseño preliminar deben evaluarse posteriormente para seleccionar el tipo final y cantidad de aditivo y para determinar si los resultados de las propiedades ingenieriles son aceptables. Los pasos son -- los siguientes:

- (1) Preparar especímenes, por duplicado, de las mezclas conteniendo diferentes porcentajes de los aditivos seleccionados aproximadamente determinados en el diseño preliminar.
- (2) Las pruebas de acuerdo con las normas usadas en el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas son:

- (a) para base negra TEX-126-E, compresión sin confinar, y
- (b) para concreto asfáltico TEX-208-F, estabilómetro.

Otras dependencias deben probar empleando sus pruebas estandar.

- (3) Comparar los resultados con los requeridos en las especificaciones en las mezclas convencionales. Las pruebas normales usadas en el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas, dan los siguientes valores.

- (a) base negra TEX-126-E , para el mejor material de base, la resistencia a la compresión sin confinar no será menor de 3.5 Kgs/cm² a velocidad lenta y de 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

Para el material de base más pobre aceptado, la resistencia a la compresión sin confinar no menor de 2.1 Kgs/cm² a velocidad lenta y 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

- (b) concreto asfáltico TEX-208-F, estabilidad no menor que 30%.

- (4) Prueba de tensión indirecta aplicando carga estática y carga repetida, respectivamente.

Procedimientos tentativos de prueba con aplicación estática se describen en -- la (Ref. 10). En las referencias 11 y 12 están los procedimientos tentativos de prueba de tensión indirecta con carga repetida.

- (5) Comparar los resultados con los obtenidos para las mezclas convencionales. --

Las propiedades que deben considerarse son:

- (a) Resistencia a la tensión.
- (b) Módulo de elasticidad (con carga estática)
- (c) Vida útil (hasta la fatiga), y

(d) Módulo resiliente de elasticidad.

Deben desarrollarse las relaciones entre las propiedades anteriores y la cantidad de aditivo. Los valores resultantes deben considerarse entonces con respecto a los valores deseados para los cuales hay una cantidad limitada de información. La mayoría de las especificaciones marcan valores mínimos de resistencia, etc. Para las mezclas asfálticas recicladas normalmente se necesita reducir los valores por abajo de algunos máximos ya que el asfalto está extremadamente rígido y quebradizo.

(e) Evaluar la trabajabilidad de la mezcla por inspección visual y hacer los ajustes necesarios.

VALORES RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO APLICANDO LA TENSION INDIRECTA

Estudios previos han evaluado la resistencia a la tensión, el módulo estático de elasticidad, el módulo resiliente de elasticidad, y las características de fatiga de mezclas asfálticas preparadas en el laboratorio y de mezclas en servicio. Ya que estos materiales se están comportando satisfactoriamente representan una guía para las propiedades ingenieriles requeridas para las mezclas recicladas.

Basado en los resultados reportados en las referencias 3, 4 y 7 para varios tipos de mezclas asfálticas, se resumen los valores típicos de las propiedades de la mezcla, a continuación. Se necesita experiencia adicional y estudios teóricos para definir el rango de los valores requeridos; sin embargo, por ahora se sugiere que los valores siguientes pueden servir como una guía.

Resistencia a la tensión = 52 - 139 N/cm² (5.25-14.0 kgs/cm²)

Módulo estático de elasticidad = 69,000 - 345,000 N/cm²
(7,000 - 35,000 Kgs/cm²)

Módulo resiliente de elasticidad = 172,000 - 620,000 N/cm²
(17,500 - 63,000 Kgs/cm²)

Vida útil (hasta la fatiga): $n_2 = 2 - 8$

$K_2 = 10^{11} - 10^{18}$

CONCLUSIONES

Este artículo comprendía los resultados de un estudio para evaluar la fatiga y las propiedades elásticas de las mezclas asfálticas recicladas y describe un procedimiento preliminar para el diseño de mezclas. A continuación se resumen las conclusiones y recomendaciones de este estudio:

- (1) Las propiedades ingenieriles de las mezclas recicladas, evaluadas en este estudio, generalmente fueron ligeramente mayores que las mezclas convencionales evaluadas.
- (2) Basados en los resultados de este estudio así como en la experiencia y en los resultados de otros investigadores, se concluye que se pueden obtener mezclas satisfactorias con los materiales reciclados.
- (3) Un procedimiento preliminar de diseño de mezclas se ha presentado y, será modificado cuando se obtengan experiencias adicionales.

LISTA DE FIGURAS

- Fig. Núm. 1 Prueba de tensión indirecta con carga hasta la falla.
- Fig. Núm. 2 Relaciones típicas de carga y deformación "Vs" tiempo para la prueba de tensión indirecta con carga repetida.
- Fig. Núm. 3 Relaciones entre los logaritmos de la vida útil y los esfuerzos -- (diferencia) para las mezclas recicladas de IH 20 - Distrito 5.
- Fig. Núm. 4 Efectos de la cantidad de aditivo sobre la resistencia a la tensión.
- Fig. Núm. 5 Efectos de la cantidad de aditivo sobre el módulo de elasticidad.
- Fig. Núm. 6 Efectos de la cantidad de aditivo sobre el módulo de elasticidad con resiliencia instantánea.
- Fig. Núm. 7 Efectos de la cantidad de aditivo sobre la vida útil.

LISTA DE TABLAS

- Tabla Núm. 1 Descripción de las Obras Recicladas
- Tabla Núm. 2 Resumen de los coeficientes de fatiga y de los exponentes.
- Tabla Núm. 3 Resumen de los resultados de la prueba estática.
- Tabla Núm. 4 Resumen de las Propiedades Elásticas con Carga Repetida

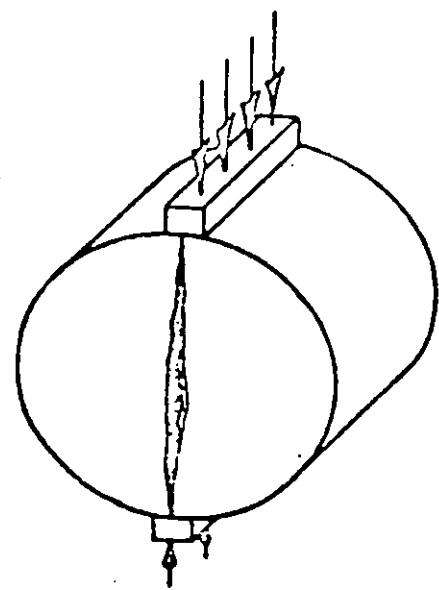


FIG. 1.- PRUEBA DE TENSION INDIRECTA A LA FALLA.

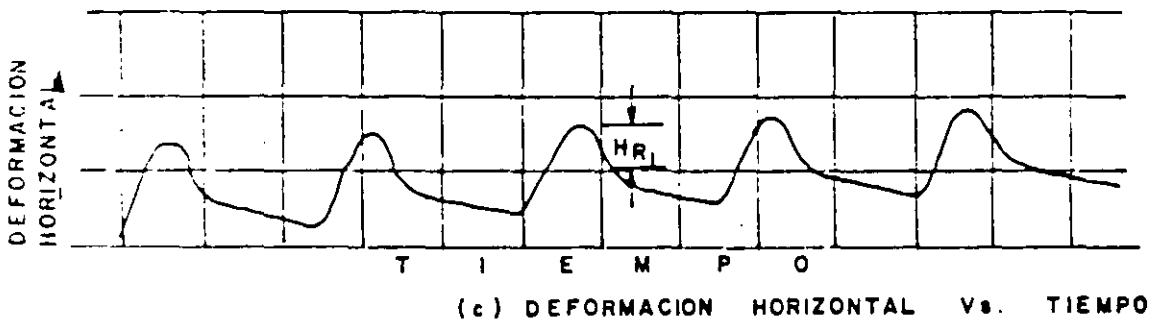
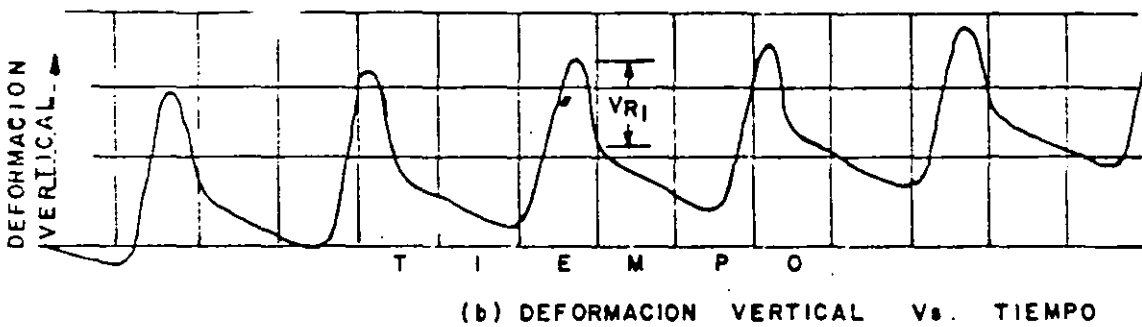
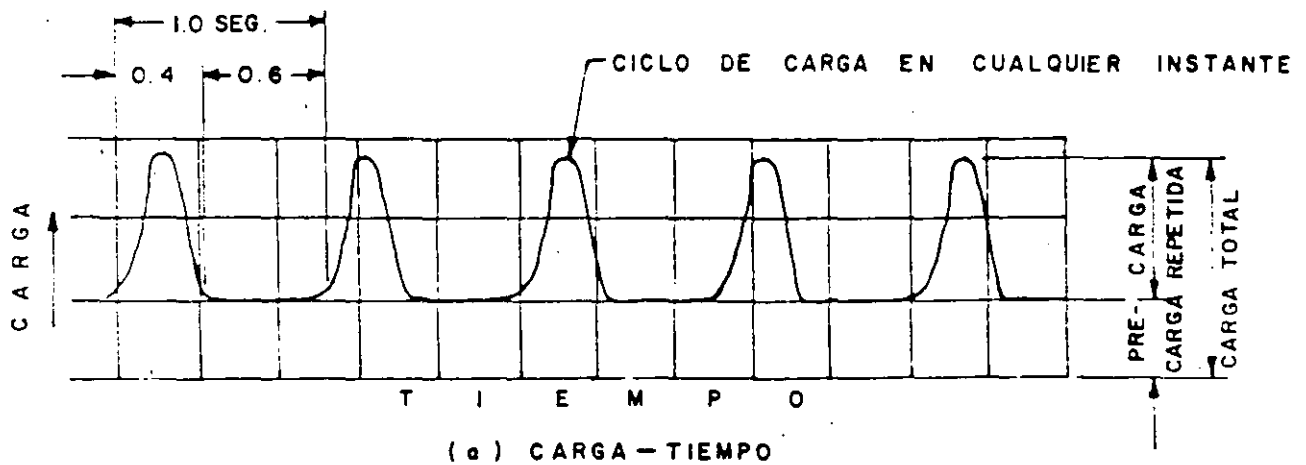


FIG. 2 - RELACIONES TIPICAS DE CARGA Y DEFORMACION "Vs" TIEMPO, PARA LA PRUEBA DE TENSION INDIRECTA CON CARGA REPETIDA.

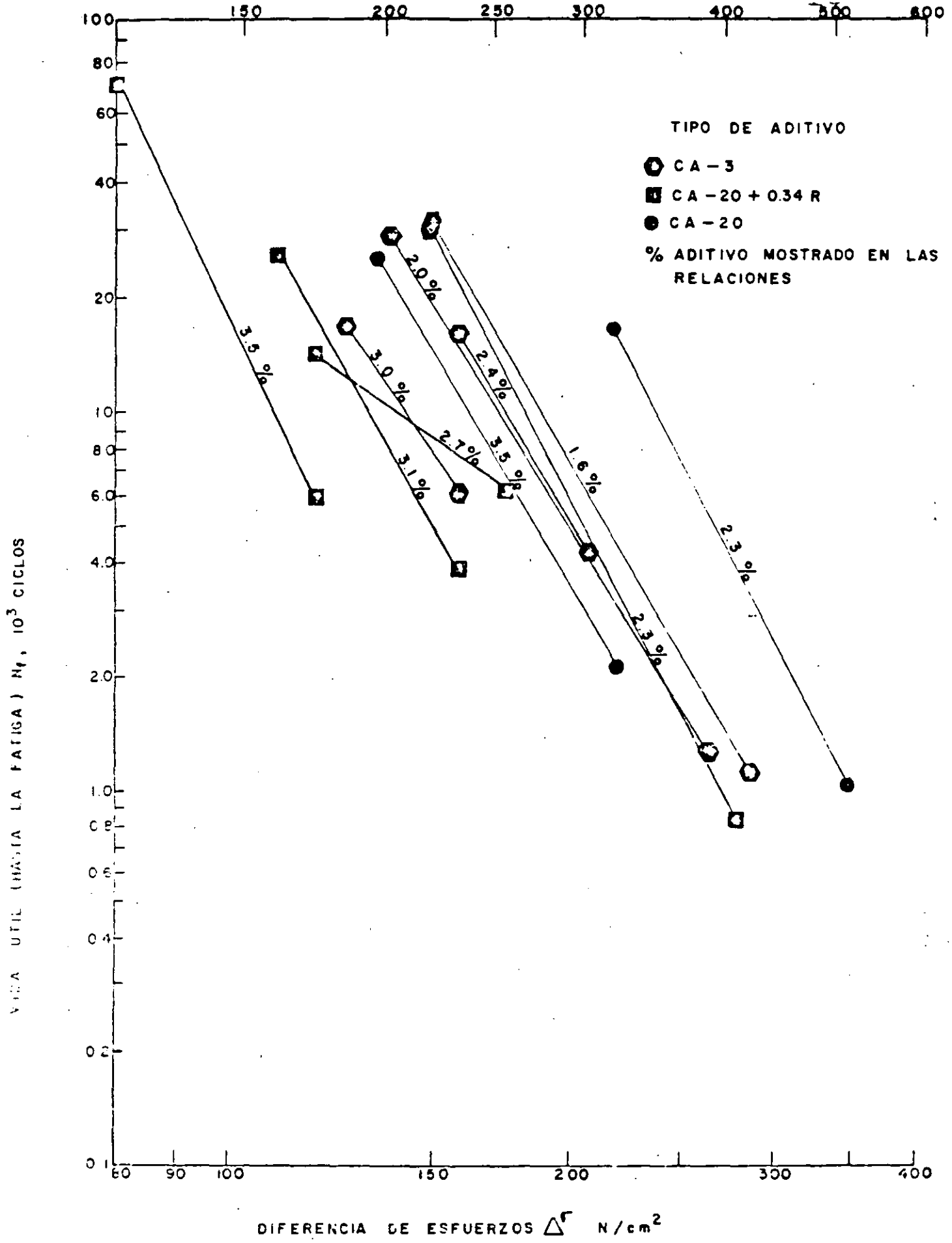


FIG. 3 - RELACIONES ENTRE LOS LOGARITMOS DE LA VIDA UTIL Y LOS ESFUERZOS (DIFERENCIA) PARA LAS MEZCLAS RECICLADAS DE IH 20 —

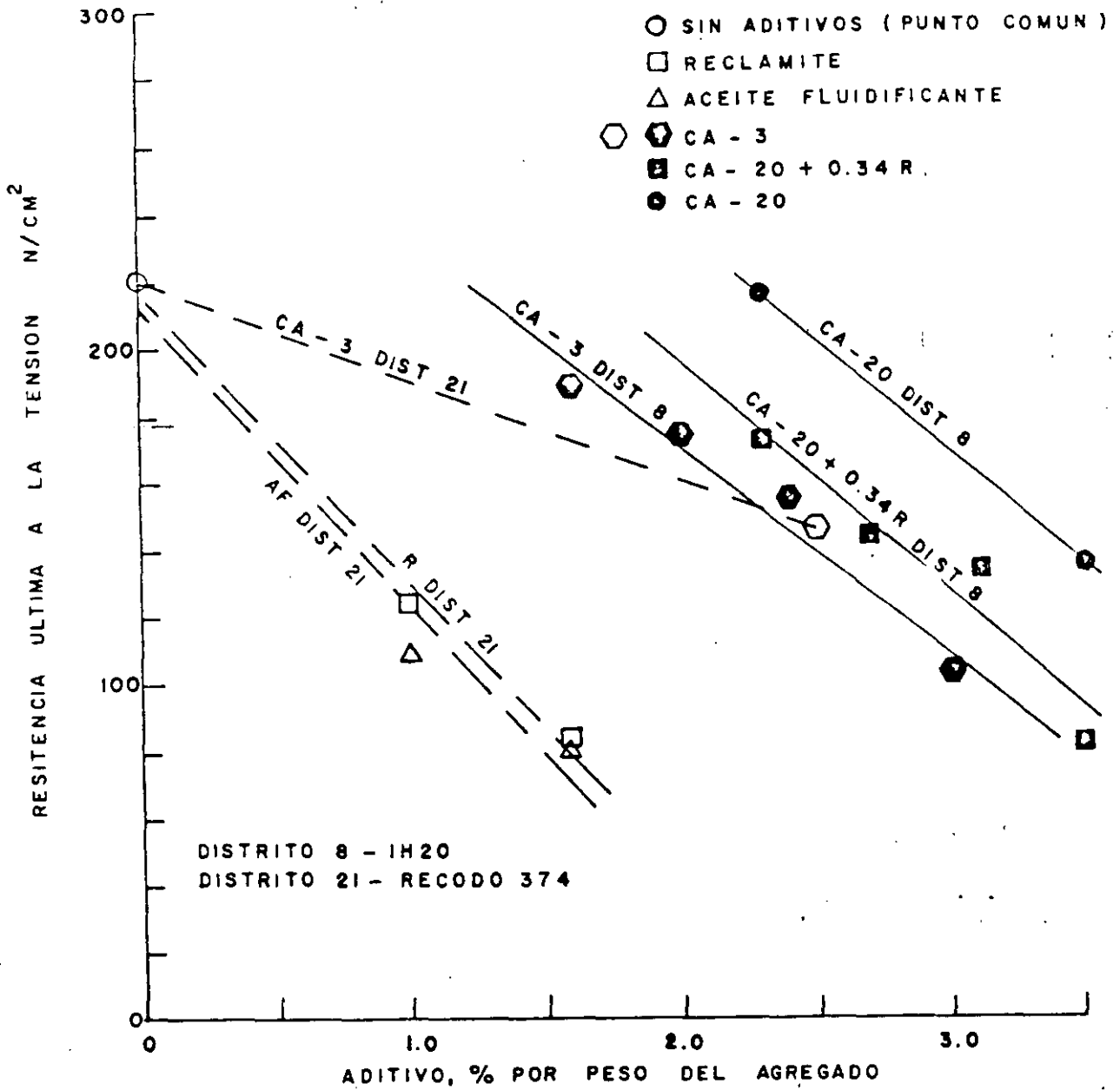


FIG. 4 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSION

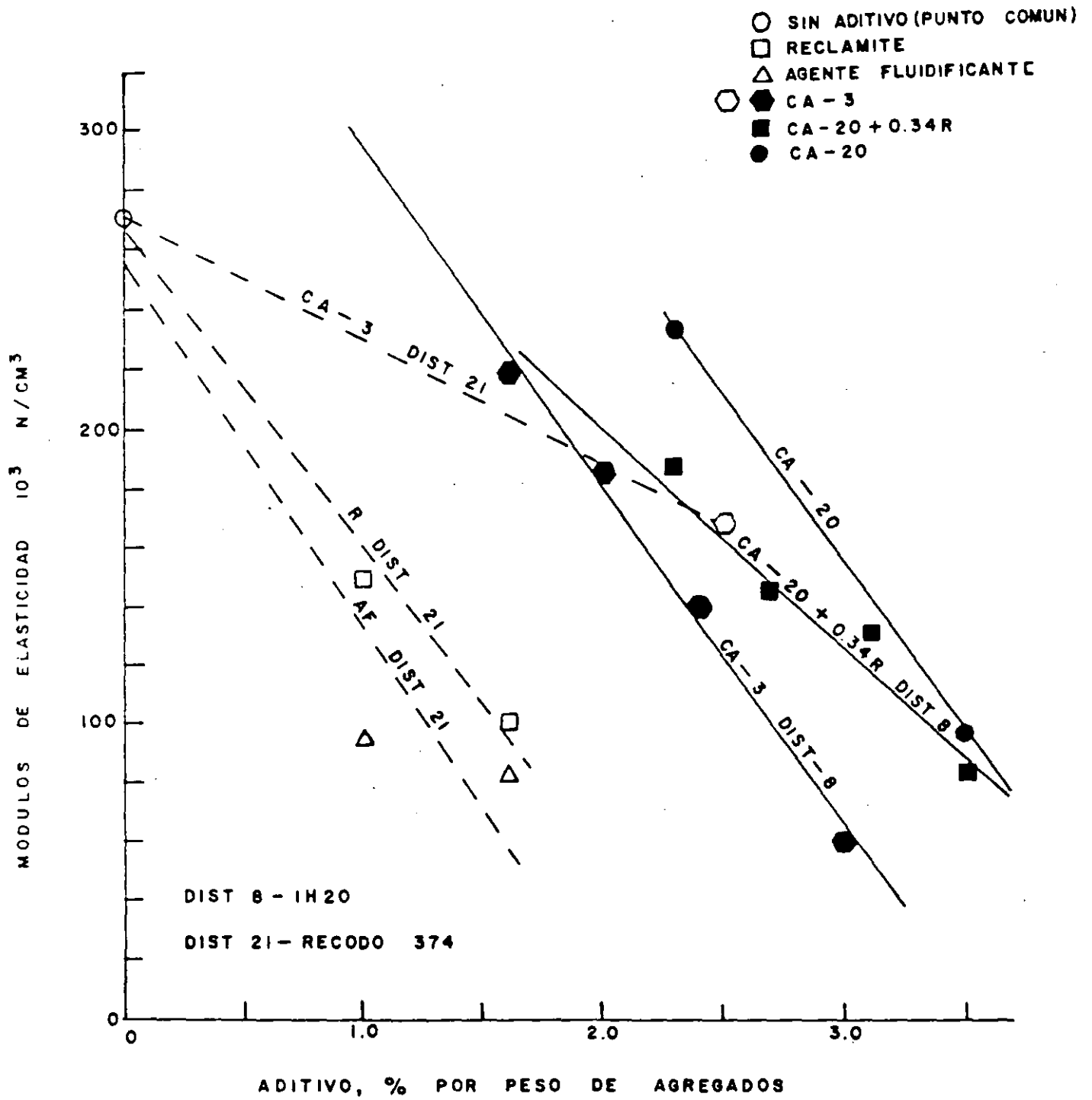


FIG. 5 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD

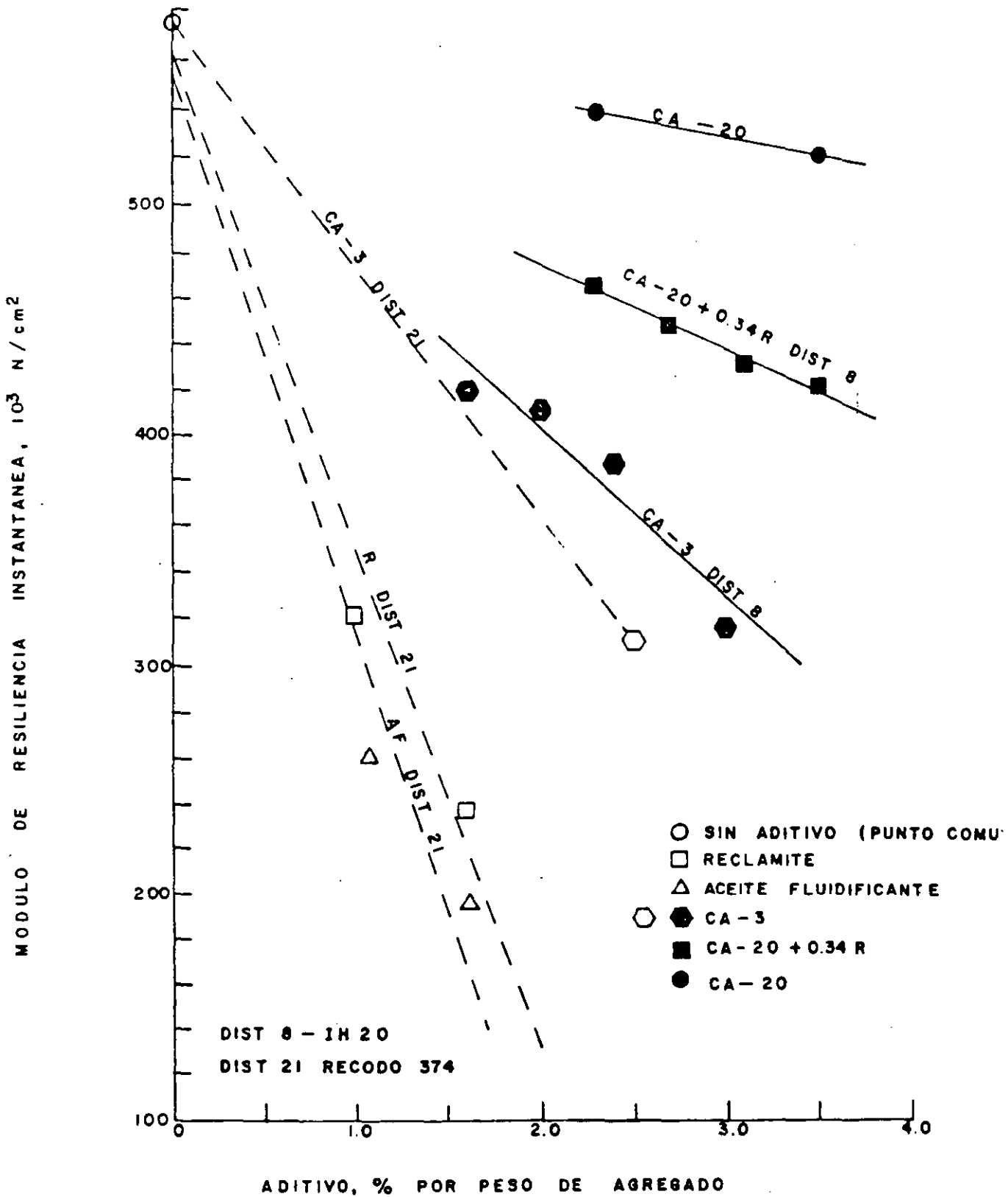


FIG. 6 — EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD CON RESILIENCIA

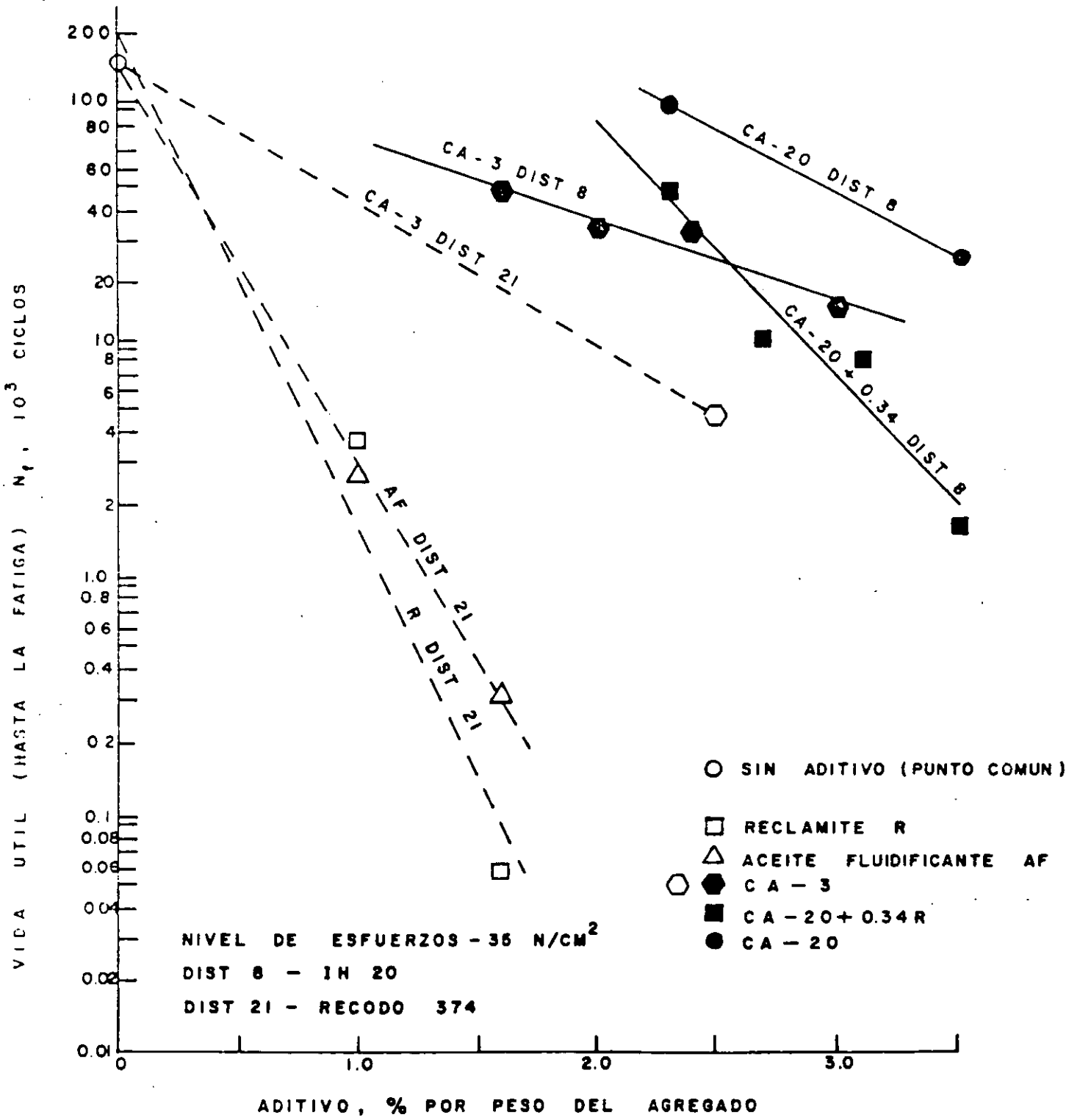


FIG. 7 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA VIDA UTIL

ACLARACIONES

El contenido de este artículo refleja los puntos de vista de los autores, quienes son responsables de los hechos y de la precisión de los datos presentados aquí. El contenido no refleja necesariamente los puntos de vista oficiales o las políticas de Administración Federal de Carreteras. Este artículo no constituye un estándar, especificación, o regulación.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin. Los autores agradecen el patrocinio, del Departamento de Estado de Carreteras y Transportación Pública de Texas, y al Departamento de Transportación de la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

REFERENCIAS

1. Ignacio Pérez y Thomas W. Kennedy, "Evaluación de las Propiedades Ingenieriles de las Mezclas Asfálticas Recicladas". Reporte de la investigación 183-10, Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Septiembre 1977.
2. Procedimientos de Prueba (Manual). Departamento de Carreteras de Texas, Vol. 1 y 2.
3. Adedimila, Adedare S., y Thomas W. Kennedy. "Características Resilientes de Fatiga de las Mezclas Asfálticas con la Prueba de Tensión Indirecta con Carga Repetida", Reporte de la investigación 183-5. Centro de Investigación de Carreteras, de la Universidad de Texas en Austin, Agosto 1975.
4. Navarro, Domingo, y Thomas W. Kennedy, "Características Elásticas y de Fatiga con Carga Repetida de los Materiales Asfálticos Tratados", Reporte de Investigación 183-2. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Enero de 1975.
5. Porter, Byron W., y Thomas W. Kennedy, "Comparación de los Métodos de Prueba por Fatiga de los Materiales Asfálticos", Reporte de Investigación 183-4. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas, Abril de 1975.

6. Monismith, C.S., y H. B. Seed, "Predicción de la Deflexión de los Pavimentos por medio de las Pruebas de Laboratorio", Procedimientos. Segunda Conferencia Internacional sobre el Diseño Estructural de los Pavimentos Asfálticos, Universidad de Michigan, 1967, Págs. 109-140.
7. Manuel Rodríguez y Thomas W. Kennedy, "Las características de Resiliencia y Fatiga de las Mezclas Asfálticas Procesadas en el Mezclador con Tambor Secador", Reporte de Investigación 183-8. Centro de Investigación de Carreteras, de la Universidad de Texas en Austin, Enero de 1977.
8. Monismith, C.L., J.A. Epps, D.A. Kasianchuck, y D.B. McLean, "Comportamiento de las Mezclas Asfálticas sometidas a Flexión Repetida", (para presentarse en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, San Antonio Texas, Febrero de 1977). Reporte Núm. TE-70-5 Instituto de Transportación e Ingeniería de Tránsito, Univ. de Calif., Dic. 1970.
9. Davidson, D.D., Canessa, W., y Escobar, S.J., "Reciclamiento de Pavimentos Asfálticos Deteriorados o Pobres," para presentarse en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, San Antonio Texas, Febrero 1977.
10. Anagnos, James N., y Thomas W. Kennedy, "Método Práctico para realizar la Prueba de Tensión Indirecta" Reporte de Investigación 98-10, Centro de Investigación de Carreteras, Universidad de Texas en Austin, Agosto de 1972.
11. Kennedy, Thomas W., "Caracterización de los Materiales Asfálticos para Pavimento, usando la Prueba de Tensión Indirecta", Procedimientos, Volumen 46 de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica, San Antonio, Texas - 1977.
12. Guillermo González, Thomas W. Kennedy y James N. Anagnos, "Evaluación de las Características Elásticas Resilientes de Mezclas Asfálticas Usando la Prueba de Tensión Indirecta", Reporte de Investigación 183-6, Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Noviembre de 1975.

TABLA 1 - DESCRIPCION DE LAS OBRAS RECICLADAS

| Distrito Condado Obra | Preparación | Núm. de Especímenes | | Tipo de Aditivo | Aditivo % Wt. | Agregado |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|----------|--------------------|------------------|---|
| | | Fatiga | Estática | | | |
| 8 Nolan IH-20 | Laboratorio | 4 | 3 | CA-3 | 2.0 | Caliza triturada del concreto asfáltico viejo con 15% de agregado nuevo, (tamaño, para malla de 1 pulg. y su retiene en la No. 4) |
| | | 5 | 2 | CA-3 | 3.0 | |
| | | 5 | 2 | CA-3 | 2.4 | |
| | | 4 | 2 | CA-3 | 2.0 | |
| | | 5 | 2 | CA-3 | 1.6 | |
| | | 4 | 3 | CA-20 | 3.16 | |
| | | 5 | 2 | Reclamite | 0.34 | |
| | | 5 | 2 | CA-20 | 2.76 | |
| | | 4 | 4 | Reclamite | 0.34 | |
| | | 4 | 4 | CA-20 | 2.36 | |
| | | 4 | 4 | Reclamite | 0.34 | |
| | | 4 | 4 | CA-20 | 1.96 | |
| | | 4 | 2 | Reclamite | 0.34 | |
| | | 4 | 2 | CA-20 | 2.36 | |
| 4 | 2 | Reclamite | 0.20 | | | |
| 4 | 2 | CA-20 | 3.5 | | | |
| 4 | 2 | CA-20 | 2.3 | | | |
| 4 | 3 | Nada* | - | | | |
| 21 Hidalgo Loop 374 | Laboratorio | 5 | 3 | Nada* | - | Caliza triturada del concreto asfáltico - viejo. |
| | | 6 | 3 | CA-3 | 2.5 | |
| | | 5 | 3 | Reclamite | 1.0 | |
| | | 6 | 3 | Reclami- | 1.6 | |
| | | 6 | 3 | Aceite fluidifi- | 1.0 | |
| | | 6 | 3 | Aceite fluidifi- | 1.6 | |
| | Mezcla en el campo | 12 | 6 | Aceite fluidifi- | 2.0 | |
| | | 6 | 6 | Aceite fluidifi- | 1.6 | |
| | | 12 | 6 | CA-3 | 3.0 | |
| | | 6 | 3 | CA-3 | 2.5 | |
| 12 | 6 | Reclamite | 1.6 | | | |
| 21 Hidalgo US-281 | Corazones | 12 | 7 | CA-20 | 1.5 | Caliza Triturada |

* El material reciclado se calentó y compactó sin aditivos o agregados nuevos.

TABLA 2 - RESUMEN DE LOS EXPONENTES Y COEFICIENTES DE FATIGA

(a)

| Material | Exponente n_2 | Fuente |
|--|--------------------|-----------------------------|
| Especímenes de mezclas asfálticas recicladas | 2.15 - 8.07 | - - - |
| Especímenes de concreto asfáltico | 1.85 - 6.06 | Monismith y Seed (Ref.6) |
| Corazones de base negra en -- servicio | 1.58 - 5.08 | Navarro y Kennedy (Ref.4) |
| Especímenes de concreto asfáltico | 3.20 - 3.40 | Adedimila y Kennedy (Ref.3) |
| Especímenes de mezclas en tam bor secador | 1.24 - 2.28 | Rodríguez y Kennedy (Ref.7) |

(b)

| Material | Coefficiente K'_2 | Fuente |
|--|--|--------------------------------|
| Especímenes de mezclas asfálticas recicladas | $3.96 \times 10^8 - 1.11 \times 10^{23}$ | - - - - |
| Especímenes de concreto asfáltico | $4.02 \times 10^7 - 4.30 \times 10^{17}$ | Monismith, entre otros (Ref.8) |
| Corazones de base negra en -- servicio | $1.38 \times 10^6 - 1.24 \times 10^{15}$ | Navarro y Kennedy (Ref.4) |
| Especímenes de concreto asfáltico | $1.44 \times 10^9 - 3.68 \times 10^9$ | Adedimila y Kennedy -- (Ref.3) |
| Especímenes de mezclas en tam bor secador | $7.05 \times 10^5 - 2.52 \times 10^8$ | Rodríguez y Kennedy -- (Ref.7) |

* Con contenido óptimo de asfalto.

TABLA 4 - RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ELASTICAS CON CARGA REPETIDA

| Distrito Cobra | Propiedades | Tratamiento | Nivel de Esfuerzos | | Número de Especímenes | Módulo de Resiliencia Instantánea | | | Valor de Poisson para Resiliencia Instantánea | |
|-------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|--------------------------|---|------------------------------|----------|---|----|
| | | | N/cm ² | Kgs/cm ² | | Promedio, 10 ³ N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²) | Coefficiente de Variación | Promedio | Coefficiente de Variación | |
| 6 IM 20 | Laboratorio | 2.0% CA-3 | 55 | 5.6 | 2 | 453 | 45.89 | - | 0.21 | -- |
| | | 3.0% CA-3 | 30 | 3.1 | 2 | 346 | 35.14 | - | ---- | -- |
| | | 3.0% CA-3 | 40 | 4.1 | 2 | 327 | 33.18 | - | 0.17 | -- |
| | | 3.2% CA-3 | 32 | 3.2 | 2 | 310 | 31.50 | - | 0.05 | -- |
| | | 2.4% CA-3 | 52 | 5.3 | 2 | 394 | 39.97 | - | 0.29 | -- |
| | | 4.0% CA-3 | 40 | 4.1 | 3 | 384 | 38.99 | - | 0.13 | -- |
| | | 2.0% CA-3 | 56 | 6.7 | 2 | 458 | 46.48 | - | 0.16 | -- |
| | | 3.5% CA-3 | 35 | 3.6 | 2 | 365 | 37.03 | - | 0.04 | -- |
| | | 1.6% CA-3 | 72 | 7.3 | 2 | 433 | 43.96 | - | 0.13 | -- |
| | | 3.8% CA-20 | 38 | 3.9 | 3 | 407 | 41.30 | 3 | 0.20 | 60 |
| | | 0.34% R | 30 | 3.1 | 2 | 441 | 44.80 | - | 0.29 | -- |
| | | 3.1% CA-20 | 20 | 2.0 | 2 | 405 | 41.09 | - | 0.34 | -- |
| | | 0.34% R | 40 | 4.1 | 2 | 419 | 42.56 | - | 0.11 | -- |
| | | 2.7% CA-20 | 28 | 2.9 | 3 | 443 | 45.15 | 19 | 0.22 | 52 |
| | | 0.34% R | 45 | 4.6 | 2 | 444 | 45.08 | - | 0.12 | -- |
| | | 2.3% CA-20 | 30 | 3.1 | 2 | 455 | 46.20 | - | 0.14 | -- |
| | | 0.34% R | 70 | 7.1 | 2 | 518 | 52.57 | - | 0.42 | -- |
| | | 3.5% CA-20 | 38 | 3.9 | 2 | 414 | 42.00 | - | 0.17 | -- |
| | | 3.4% CA-20 | 55 | 5.6 | 2 | 500 | 50.75 | - | 0.19 | -- |
| | | 2.3% CA-20 | 34 | 3.4 | 2 | 546 | 55.44 | - | 0.14 | -- |
| 2.5% CA-20 | 87 | 8.8 | 2 | 533 | 54.11 | - | 0.13 | -- | | |
| 0.20% R | 55 | 5.6 | 2 | 550 | 55.86 | - | 0.21 | -- | | |
| 0.20% R | 72 | 7.3 | 2 | 369 | 37.45 | - | 0.19 | -- | | |
| Nada * | 41 | 4.1 | 2 | 458 | 46.48 | - | 0.15 | -- | | |
| | 72 | 7.3 | 2 | 616 | 62.72 | - | 0.39 | -- | | |
| | 45 | 4.6 | 2 | 521 | 52.85 | - | 0.20 | -- | | |

Continua

TABLA 4 - (CONTINUACION)

| Carrizito Obra | Propiedades | Tratamiento | Nivel de Esfuerzos | | Número de Especímenes | Módulo de Resiliencia Instantánea | | | Valor de Esfuerzo en Tensión | |
|-------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|--------------------------|--|------------------------------|-----------|------------------------------|-----|
| | | | N/cm ² | Kgs/cm ² | | Promedio 10 ³ N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²) | Coefficiente de Variación | Promedio | Coefficiente de Variación | |
| 21 Recodo 374 | Laboratorio | Nada * | 57 | 5.8 | 2 | 692 | 70.71 | - | --- | --- |
| | | 2.5% CA-3 | 40 | 4.1 | 2 | 465 | 47.18 | - | --- | --- |
| | | | 38 | 3.9 | 3 | 310 | 31.50 | - | 0.34 | --- |
| | | 1.0% R | 26 | 2.7 | 3 | 313 | 31.78 | 5 | 0.37 | 40 |
| | | | 40 | 4.1 | 3 | 337 | 34.23 | 8 | 0.41 | 27 |
| | | 1.6% R | 20 | 2.0 | 2 | 305 | 30.94 | - | --- | --- |
| | | | 20 | 2.0 | 3 | 246 | 24.99 | 10 | 0.66 | 27 |
| | | 1.0% AF | 12 | 1.2 | 3 | 228 | 23.17 | 15 | 0.52 | 27 |
| | | | 38 | 3.9 | 3 | 278 | 28.21 | 5 | 0.41 | 27 |
| | | 1.6% AF | 26 | 2.7 | 2 | 245 | 24.85 | - | 0.35 | --- |
| | | | 20 | 2.0 | 3 | 211 | 21.42 | 5 | 0.51 | --- |
| | | 14 | 1.4 | 3 | 184 | 18.62 | 12 | 0.36 | 24 | |
| | Campo | 1.6% AF | 28 | 2.9 | 3 | 172 | 17.43 | 5 | 0.39 | 15 |
| | | | 13 | 1.3 | 3 | 217 | 21.98 | 5 | 0.43 | --- |
| | | 2.0% AF | 40 | 4.1 | 3 | 200 | 20.30 | 5 | 0.32 | 27 |
| | | | 16 | 1.6 | 3 | 188 | 19.04 | 6 | 0.22 | 14 |
| | | 2.0% AF | 30 | 3.1 | 3 | 174 | 17.64 | 3 | 0.33 | 24 |
| | | | 13 | 1.3 | 3 | 207 | 21.00 | 10 | 0.25 | 25 |
| | | 1.6% R | 26 | 2.7 | 3 | 265 | 26.88 | 2 | 0.32 | 24 |
| | | | 20 | 2.0 | 3 | 261 | 26.45 | 9 | 0.35 | 24 |
| | | 1.6% R | 51 | 5.2 | 2 | 275 | 27.93 | - | 0.37 | --- |
| 20 | | | 2.0 | 2 | 237 | 24.08 | - | 0.30 | --- | |
| 2.5% CA-3 | | 50 | 5.0 | 3 | 305 | 30.94 | 5 | 0.31 | --- | |
| | | 30 | 3.1 | 3 | 285 | 28.91 | 12 | 0.17 | --- | |
| 3.0% CA-3 | 50 | 5.0 | 3 | 330 | 33.46 | 9 | 0.20 | --- | | |
| | 28 | 2.9 | 3 | 335 | 34.44 | 6 | 0.15 | --- | | |
| 3.0% CA-3 | 40 | 4.1 | 3 | 358 | 36.33 | 7 | 0.35 | 15 | | |
| | 25 | 2.5 | 3 | 307 | 31.15 | 3 | 0.30 | --- | | |
| 21 UC 251 | Corazones | 15% CA-20 | 15 | 1.5 | 5 | 224 | 22.75 | 9 | 0.33 | --- |
| 11 | | | 1.1 | 6 | 263 | 26.39 | 6 | 0.35 | --- | |
| Intervalo | | | | | | 172 - 546 (240 - 797) | 2-16 | 0.04-0.65 | 27 | |

* El material resiculado se calentó y compactó sin aditivo o agregado nuevo.

R = Resiculado

AF = Aceite-Fluorificantes



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES LINEAMIENTOS
PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTOS
(RECUPERACION DE LOS MATERIALES)

ING. RAFAEL LIMON LIMON

LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO -
DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION
(RECUPERACION DE LOS MATERIALES)

P O R :

J O H N . A . E P P S

REUNION ANUAL DE RECICLADO DE PAVIMENTOS EN NUEVA YORK, USA.

(JON A. EPPS)

I. Introducción

A. Tipos de Reciclamiento (Tabla 1)

1. Superficial
2. En el lugar
3. Planta Central

B. Ventajas y Desventajas de las Técnicas de Reciclamiento (Tabla 2)

II. Guía para el Reciclamiento de los Pavimentos

A. Presentación Gral. (Fig. 1)

B. El Reciclamiento como una Alternativa de Rehabilitación (Fig. 2)

C. Selección de la Alternativa de Reciclamiento más adecuada (Fig. 3)

D. Factores que se consideran (Tabla 3)

1. Condiciones Superficiales
2. Condición Estructural
3. Textura
4. Resistencia al Derrapamiento
5. Tránsito
6. Otros Factores

E. Criterios para la Selección

1. Condición Superficial (Tabla 4)
2. Condición Estructural (Tabla 5)
3. Textura (Tabla 6)
4. Resistencia al Derrapamiento
5. Resumen del Criterio (Tabla 7)

III. Economía y Energía

A. Datos de Costo

1. Operaciones de Reciclamiento (Tablas 8 y 9)
2. Operaciones de Mantenimiento (Tabla 10)
3. Operaciones de Construcción (Tabla 11)

B. Datos de Energía

1. Operaciones de Reciclamiento (Tabla 12)
2. Operaciones de Mantenimiento (Tabla 13)
3. Operaciones de Construcción (Tabla 14)

C. Análisis

IV. Diseño de las Mezclas (Apéndice G)

A. Propiedades de los Materiales que se van a Reciclar

1. Asfalto
2. Agregados

B. Selección del Modificador y del Agregado Adicional

C. Pruebas y Evaluación

TABLA 1 - OPCIONES PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS

| Categoría | Método | Descripción | | |
|---|--|--|---|----|
| S U P E R F I C I A L | Desbastado en Caliente | Sin Agregado Adicional | A1 | |
| | | Con agregado adicional | A2 | |
| | | Escarificación en Caliente | Escarificación en caliente solamente | A3 |
| | | | Escarificación en caliente más un re- cubrimiento delgado o agregado | A4 |
| | | | Escarificación en caliente más un re- cubrimiento grueso | A5 |
| | Molido Superficial | Molido superficial solamente | A6 | |
| | | Molido superficial más recubrimiento delgado | A7 | |
| | | Molido superficial más recubrimiento grueso | A8 | |
| E N E L L U G A R | Concreto Asfáltico-Carpeta menor a 2" | Mejoras estructurales menores sin - aglutinante nuevo | B1 | |
| | | Mejoras estructurales menores con - aglutinante nuevo | B2 | |
| | | Mejoras estructurales mayores sin - aglutinante nuevo | B3 | |
| | | Mejoras estructurales mayores con - aglutinante nuevo | B4 | |
| | Concreto Asfáltico-Carpeta mayor a 2" | Mejoras estructurales menores sin - aglutinante nuevo | B5 | |
| | | Mejoras estructurales menores con - aglutinante nuevo | B6 | |
| | | Mejoras estructurales mayores sin - aglutinante nuevo | B7 | |
| | | Mejoras estructurales mayores con - aglutinante nuevo | B8 | |
| P L A N T A C E N T R A L | Proceso de Mezcla en Frío | Mejoras estructurales menores sin - aglutinante nuevo | C1 | |
| | | Mejoras estructurales menores con - aglutinante nuevo | C2 | |
| | | Mejoras estructurales mayores sin - aglutinante nuevo | C3 | |
| | | Mejoras estructurales mayores con - aglutinante nuevo | C4 | |
| | Proceso de Mezcla en Caliente | Mejoras estructurales menores sin - aglutinante nuevo | C5 | |
| | | Mejoras estructurales menores con - aglutinante nuevo | C6 | |
| | | Mejoras estructurales mayores sin - aglutinante nuevo | C7 | |
| | | Mejoras estructurales mayores con - | | |

| Tipos de Pavimentación | Ventajas | Desventajas |
|------------------------|---|--|
| Superficial | <ul style="list-style-type: none"> • Reduce el agrietamiento por reflexión. • Facilita la trabazón entre el pavimento superior y el subpavimento delgado. • Proporciona una transición entre la nueva subcapa y la cuneta puente, pavimento, etc. que resiste el desprendimiento (evita la incrustación). • Une las zonas ásperas. • Trata una variedad de tipos de desperfectos de pavimentos (desprendimiento, llorido, asperezas, surcamientos rodadas, asfalto oxidado, fallas) a un costo razonable. • Mejora la resistencia al derrapamiento. • Interrupciones mínimas del tránsito. | <ul style="list-style-type: none"> • Mejora estructural mínima. • La absorción de agua puede ser limitada en algunos casos, pero puede ser controlada con algunos tipos de agregados. • Reparación limitada de los pavimentos lisos o que fluyen excesivamente. • Algunos problemas de contracción y expansión. • La vegetación cercano a la carretera puede ser dañada. • Mezclas con agregados débiles pueden ser dañadas por un palanillo, no se resquebrajan con cualquier equipo. |
| En el lugar | <ul style="list-style-type: none"> • Mejoras estructurales significativas. • Trata todos tipos y grados de desperfectos del pavimento. • Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas. • Se puede mejorar la resistencia a los efectos del congelamiento. • Mejora la calidad de rodadura. | <ul style="list-style-type: none"> • El control de calidad no es tan exacto como en planta central. • Interrupciones de tránsito. • El equipo de pavimentación requiere mantenimiento. • Costoso. • No puede realizarse fácilmente en los pavimentos de concreto rígido. |
| Control | <ul style="list-style-type: none"> • Mejoras estructurales significativas. • Buen control de calidad. • Trata todos los tipos y grados de desperfectos del pavimento. • Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas. • Mejora la resistencia al derrapamiento. • Mejora la resistencia a los efectos del congelamiento. • Los problemas geométricos pueden resolverse fácilmente. • Mejor control si debe aplicarse la adición de aglutinante u/o agregados. • Mejora la calidad de la superficie de rodadura. | <ul style="list-style-type: none"> • Incrementa las interrupciones. • Puede haber problemas de contaminación del aire en el lugar de la planta. |

TABLA 3 - RESUMEN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

| Características | Valor | Comentario |
|---|-------|------------|
| Localización | | |
| Tamaño de la obra (long.en Kms) | | |
| Clase de camino | | |
| Sección recta del pavimento existente (incluye información, espesor y tipo de las capas del pavimento original; fecha, espesor y tipo de las rehabilitaciones subsecuentes y de las actividades de mantenimiento) | | |
| Geométricas (número de carriles, ancho, extensión vertical, otras restricciones) | | |
| Características de Tránsito PDT - Promedio diario de cargas por eje equivalente de 18 kip | | |
| Características de la sub base | | |
| Condiciones superficiales (tipo - de clasificación del pavimento -- PRS) | | |
| Condiciones estructurales, (deflexión, recubrimiento requerido de - 0.01 cms) | | |
| Textura (índice de servicio) | | |
| Resistencia al derrapamiento (SN40) | | |
| Otros: Factores (distancia a la -- fuente de los agregados y el aglutinante, equipo disponible y experiencia del contratista) | | |

06
 TABLA 5 - SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLAMIENTO PARA MEJORAR LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL BASÁNDOSE EN LA DEGRADACIÓN DEL PAVIMENTO.

| MÉTODOS DE RECICLAMIENTO | | | ESQUEMA DE LA MEJORA OBTENIDA | | |
|---|----|---|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | Nivel de | Mejoras de | Mejoras de |
| Derbastado en Caliente | A1 | Sin agregado adicional | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | A2 | Con agregado adicional | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Escarificación en Caliente | A3 | Escarificación en caliente solamente | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | A4 | Escarificación en caliente más una capa delgada de concreto asfáltico -- 1.5 cms. compacta. | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | A5 | Escarificación en caliente más recubrimiento grueso 2 cms. compacto. | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Método de molido superficial | A6 | Moler la parte superficial solamente | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | A7 | Molido superficial en capa delgada - nueva | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | A8 | Molido superficial en capa gruesa - nueva | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Concreto Asfáltico menor a -- 2 pulgs. -- | B1 | Mejoras estructurales sin -- nuevo aglutinante | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B2 | Mejoras estructurales con -- nuevo aglutinante | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B3 | Mejoras estructurales sin nuevo aglutinante | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B4 | Mejoras estructurales con nuevo aglutinante | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Concreto Asfáltico mayor a -- 2 pulgs. -- | B5 | Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B6 | Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B7 | Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | B8 | Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Proceso de mezcla en frío | C1 | Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | C2 | Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | C3 | Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | C4 | Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| Mejoras de resistencia en caliente | D5 | Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | D6 | Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | D7 | Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |
| | D8 | Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo | | Mejoras de resistencia | Mejoras de durabilidad |

07 TABLA 6 - SELECCION DE LAS TECNICAS DE RECICLAMIENTO, BASANDOSE EN LA TEXTURA DEL PAVIMENTO

| TIPO DE CAMINO | Indice de Servicio | CARRETERA URBANA INTERESTATAL | | | | PRIMARIA | | | | SECUNDARIA | | | | CÁLLES URBANAS | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|---------|---------|------|----------|---------|---------|------|------------|---------|---------|------|----------------|---------|---------|------|
| | | +3.0 | 2.5-2.9 | 2.0-2.4 | -2.0 | +3.0 | 2.5-2.9 | 2.0-2.4 | -2.0 | +3.0 | 2.5-2.9 | 2.0-2.4 | -2.0 | +3.0 | 2.5-2.9 | 2.0-2.4 | -2.0 |
| Método de Reciclamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desbastado en caliente sin agregado adicional | A1 | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | | | ■ | ■ |
| Desbastado en caliente con agregado adicional | A2 | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | | | ■ | ■ |
| Escarificación en caliente | A3 | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | | | ■ | ■ |
| Escarificación en caliente y recubrimiento -- delgado | A4 | | | ■ | ■ | | | | ■ | | | | | | | | ■ |
| Escarificación en caliente y recubrimiento -- grueso | A5 | | | | ■ | | | | | | | | | | | | ■ |
| Molido de la parte superficial | A6 | | ■ | ■ | | | | | ■ | | | | | | | | |
| Molido de la parte superficial y recubrimiento delgado | A7 | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Molido de la parte superficial y recubrimiento grueso | A8 | | | | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 7 - RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS PRELIMINARES DE RECICLAMIENTO

| MÉTODOS DE RECICLAMIENTO | | | ESTRUC- TURAS | TRABAJO MANO DE OBRAS | TRABAJO MÁQUINA | TRABAJO MATERIAL | TRABAJO ENERGÍA |
|-------------------------------------|---|----|------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Desarrollo en Caliente | Sin agregado adicional | A1 | | | | | |
| | Con agregado adicional | A2 | | | | | |
| Escarificación en Caliente | Escarificación en caliente solamente | A3 | | | | | |
| | Escarificación en caliente sin agregado delgado de concreto asfáltico 1.5 cm. compactos | A4 | | | | | |
| | Escarificación en caliente más sobrecapa gruesa 8 cm. compactos | A5 | | | | | |
| Método triturado superficial | Moler la parte superficial solamente | A6 | | | | | |
| | Molido superficial en capa delgada nueva | A7 | | | | | |
| | Molido superficial en capa gruesa nueva | A8 | | | | | |
| Concreto Asfáltico menor a 2 pulgs | Mejoras mejoras estructurales sin nuevo aglutinante | B1 | | | | | |
| | Mejoras mejoras estructurales con nuevo aglutinante | B2 | | | | | |
| | Mejoras estructurales sin nuevo aglutinante | B3 | | | | | |
| | Mejoras estructurales con nuevo aglutinante | B4 | | | | | |
| Concreto Asfáltico mayor a 2 pulgs. | Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo | B5 | | | | | |
| | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | B6 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo | B7 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo | B8 | | | | | |
| Proceso de mezcla en frío | Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo | C1 | | | | | |
| | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | C2 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo | C3 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo | C4 | | | | | |
| Proceso de mezcla en caliente | Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo | C5 | | | | | |
| | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | C6 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo | C7 | | | | | |
| | Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo | C8 | | | | | |

111
 TABLA E - CONTINUACION

| Categoría | Método | Descripción | Codificación | Costo Representativo por M ² | | Otro |
|-----------------------|----------------------------|---|--------------|---|---------------|---|
| | | | | Procedio | Rango | |
| C. Puesta de concreto | Proceso de mezcla en frío | Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo | C1 | 122.24 | 87.36-122.12 | Remover, triturar y reemplazar hasta 4" de profundidad con 2" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | C2 | 35.20 | 68.16-102.24 | Remover, triturar, mezclar y reemplazar hasta 4" de profundidad con 1" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo | C3 | 131.76 | 144.84-218.68 | Remover, triturar y reemplazar hasta 6" de profundidad con 4" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo | C4 | 142.30 | 113.60-170.40 | Remover, triturar, mezclar y reemplazar hasta 6" de profundidad con 4" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | C5 | 113.76 | 88.04-133.48 | Remover, triturar y reemplazar hasta 4" de profundidad con 1.5" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | Proceso de mezcla caliente | Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo | C6 | 93.72 | 73.34-113.60 | Remover, triturar, mezclar y reemplazar hasta 4" de profundidad con 1.5" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo | C7 | 157.44 | 150.52-224.36 | Remover, triturar y reemplazar hasta 6" de profundidad con 3" de concreto asfáltico, control de tránsito |
| | | Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo | C8 | 147.68 | 119.23-176.06 | Remover, triturar, mezclar y reemplazar hasta 6" de profundidad con una 1" de concreto asfáltico. |

76

| Categoría | Método | Descripción | Codificación | Costo Representativo por M ² | | Observaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|--|--------------|---|--------------|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | | | Previdido | Pago | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Revestido de concreto | Con agregado adicional | A1 | 54.25 | 9.94-25.56 | Calentar, desmenuzar, limpiar, lavar, etc. control de tránsito | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Con agregado adicional | A2 | 12.76 | 8.52-22.72 | Especial agregado, lavado, etc. control de tránsito y limpieza | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Empalmado en caliente | Empalmado en caliente | A3 | 9.37 | 7.10-22.72 | Calentar, escarificar, desmenuzar, lavar, etc. control de tránsito (especificación de 3-4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Empalmado en caliente más sobrecapa de concreto asfáltico 1.5 cms. compacto | A4 | 31.24 | 22.72-39.76 | Calentar, escarificar, lavar, etc. control de tránsito 30 kgs. de concreto asfáltico para control de tránsito (especificación de 3-4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Escarificación en caliente | A4 | 21.20 | 17.04-25.40 | Calentar, escarificar, desmenuzar, lavar, etc. riesgo de slurr, etc. control de tránsito para el tránsito controlado de tránsito | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Escarificación en caliente más sobrecapa de concreto asfáltico 1.5 cms. compacto | A5 | 93.72 | 73.84-113.60 | Calentar, escarificar, lavar, etc. control de tránsito 170 kgs. de concreto asfáltico para control de tránsito (especificación de 3-4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

TABLA 9 - COSTOS DE LAS OPERACIONES DE RECICLAMIENTO COMUN

08

| OPERACIONES DE RECICLAMIENTO | COSTOS REPRESENTATIVOS POR M2.-CENTIMETROS EN PESOS | |
|--|---|-----------|
| | PROMEDIO | RANGO |
| Calentamiento y desbastado del pavimento - profundidad 3/4" | 1.83 | 1.10-3.67 |
| Calentar y esscarificar el pavimento 3/4" - de profundidad | 2.93 | 1.10-5.13 |
| Pavimento molido (triturado) en frío | 4.40 | 2.20-7.34 |
| Triturar, pulverizar y compactar pavimento existente menor a 2" de concreto asfáltico | 1.47 | 0.95-2.57 |
| Triturar, pulverizar estabilizar y compactar el pavimento existente menor a 2" de - concreto asfáltico | 2.57 | 1.47-2.93 |
| Triturar, pulverizar y compactar pavimento existente mayor a 2" de concreto asfáltico | 1.83 | 1.10-2.93 |
| Triturar, pulverizar, estabilizar y compactar pavimento existente mayor a 2" de concreto asfáltico | 2.93 | 1.93-3.67 |
| Remover y triturar el concreto hidráulico | 3.67 | 2.20-5.13 |
| Remover y triturar el concreto asfáltico | 2.20 | 1.47-3.67 |
| Proceso en frío-remover, triturar, colocar compactar, control de tránsito (proceso en frío) sin estabilizador | 2.93 | 2.20-4.40 |
| Proceso en frío-remover, triturar, mezclar en el lugar, compactar, control de tránsito (proceso en frío) con estabilizador | 3.67 | 2.57-5.13 |
| Proceso en caliente-remover, triturar, mezclar colocar, compactar, control de tránsito con estabilizador | 5.13 | 3.67-7.34 |

* Los costos son por metro cuadrado-centímetros excepto donde se liste.

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO MODIFICADORES

INTRODUCCION

El reciclamiento de los pavimentos asfálticos viejos, comunmente requiere consideración especial ya que el aglutinante con frecuencia se endurece y es quebradizo. Los modificadores del asfalto pueden utilizarse para reblandecer estos aglutinantes viejos y así producir mezclas con propiedades similares a la de los materiales asfálticos convencionales. El método que se describe a continuación permite al ingeniero seleccionar los tipos y cantidades de los modificadores asfálticos para producir la mezcla deseada. El método es aplicable tanto para las operaciones de reciclamiento en caliente como en frío e incluye modificadores tales como agentes rejuvenecedores suavizantes, aceites fluidificantes y cementos asfálticos suaves. El método consiste en los siguientes pasos generales:

1. Evaluación de los materiales recuperados
2. Determinación de la necesidad de agregados adicionales
3. Selección del tipo y cantidad de modificador
4. Preparación y pruebas de las mezclas
5. Selección de las combinaciones óptimas de agregados nuevos y modificadores asfálticos.

La Filosofía general de este avance es la de utilizar los materiales reciclados, agregado nuevo y modificador para producir una mezcla con propiedades tan cercanas a la de una mezcla de concreto asfáltico nuevo, como sea posible. Se han utilizado métodos de prueba estandar donde es posible. El procedimiento para la mezcla se muestra en la figura G1 y ha sido modelado después de las sugerencias referidas en G1 a G4. Los números dentro de un círculo en el diagrama de flujo se refieren a los tópicos presentados a continuación.

MUESTRAS DE CAMPO (1)

Se deben obtener, de los pavimentos que van a ser reciclados, muestras representativas. Una evaluación visual del pavimento se debe hacer junto con una revisión de los registros de construcción y mantenimiento para determinar diferencias significantes en el material que va a ser reciclado en la sección del pavimento. Las secciones del camino con diferencias significantes en los materiales no deben agruparse por que la uniformidad y la predicción de los resultados serán inciertos. Las localizaciones dentro de un proyecto pueden determinarse al azar usando-

el procedimiento descrito en la Ref. G5. Se deben usar cuando menos 5 o 6 localizaciones y una mezcla compuesta total de aproximadamente 200 libras se recomienda para la evaluación en el laboratorio. Si se desea, se pueden también obtener corazones de prueba y usarse para comparación de las propiedades originales y recicladas tales como estabilidad y módulo resiliente (M_R) (G6).

EXTRACCION Y RECUPERACION DEL ASFALTO Y LOS AGREGADOS (2)

Las pruebas de extracción y recuperación deben realizarse en cada lugar muestreado. Los resultados de estas pruebas junto con las mediciones del espesor hechas en los corazones, deben ayudar a determinar la uniformidad de la sección bajo consideración para el reciclamiento. Se debe recuperar suficientemente asfalto para permitir la combinación con los modificadores asfálticos para pruebas posteriores.

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS (3)

Los agregados recuperados de las muestras en el paso (2), descrito anteriormente, se deben probar por granulometría durabilidad (como las pruebas de abrasión, Los Angeles), valor de pulido, si es apropiado. Si las propiedades de los agregados no son adecuadas para la mezcla final especificada, entonces se necesitará agregado adicional para combinarse con la mezcla vieja para cumplir estos requerimientos. Típicamente, la graduación no será adecuada si los pavimentos viejos consisten de capas múltiples y diversos tipos de mantenimiento.

La graduación debe determinarse en todas las muestras extraídas mientras que pruebas tales como la de abrasión de Los Angeles y la del Valor del Pulido deben determinarse en las muestras representativas seleccionadas. Estos datos pueden utilizarse para determinar la uniformidad de la obra. El Valor de Pulido necesita considerarse solamente si la mezcla reciclada se va a utilizar para la carpeta.

AGREGADOS NUEVOS (4)

Los agregados nuevos pueden adicionarse a la mezcla por uno o más de los propósitos siguientes:

1. Requerimientos para satisfacer la graduación
2. Requerimientos de resistencia al derrapamiento para las carpetas
3. Problemas de contaminación del aire asociados con el calentamiento, Reciclamiento en planta central
4. Requerimientos de espesor.

Las normas de graduación para las mezclas recicladas deben ser aquellas requeridas actualmente por la agencia especificadora o ASTM D3515.

Para proporcionar la resistencia al derrapamiento inicial y en forma duradera para las carpetas asfálticas recicladas, puede ser necesario combinar el agregado grueso sin pulir con el pavimento reciclado. Parece que 40% en volumen de la fracción retenida en la malla Núm. 4 que no esté pulida proporciona la buena textura contra el derrapamiento en las carreteras con volumen de tránsito moderado a alto.

Las normas para la calidad del aire en las operaciones en caliente o en planta central necesitan el uso de un mínimo de aproximadamente 30% en volumen de agregado nuevo. Este requisito se reducirá gradualmente según se mejoren las operaciones de reciclamiento en caliente presentadas por los fabricantes de equipo o por los contratistas.

Si se requiere colocar el pavimento reciclado con una sección de mayor espesor de material asfáltico estabilizado, por algún requerimiento especial de diseño estructural del pavimento. Esto puede lograrse combinando agregados nuevos con el material reciclado o con capas adicionales de materiales nuevos estabilizados con asfalto. Si se van a utilizar las operaciones en caliente en planta central, parece práctico mezclar los agregados nuevos con el pavimento reciclado.

DEMANDA DE ASFALTO (5)

La cantidad de asfalto necesaria para lograr el reciclamiento de los materiales puede estimarse de la siguiente ecuación:

$$D_T = V_R D_R + V_N D_N \quad (1)$$

Donde:

$$D_R = D_{CKE} - A_R \quad (2)$$

Y

D_R = asfalto requerido para recuperar el agregado reciclado, en por ciento

D_{CKE} = D_{CKE} derivado de los agregados recuperados o reciclados, en por ciento

A_R = contenido de asfalto de los agregados recuperados o reciclados

D_N = valor del D_{CKE} de los agregados recuperados o reciclados, por ciento

V_R = volumen de los agregados reciclados en las mezclas

V_N = volumen de los agregados nuevos en las mezclas

Debe hacerse notar que si no se van a utilizar agregados nuevos, la ecuación (1) se convierte en la ecuación (2).

El asfalto necesario determinado de esta manera es una estimación confiable y debe utilizarse como punto de partida para diseñar la mezcla. Debe notarse también que el asfalto necesario se satisfará con el modificador, que puede ser un agente suavizante, un rejuvenecedor, un aceite fluidificante, cemento asfáltico suave o combinación de los anteriores.

PROPIEDADES DEL ASFALTO (6)

El asfalto recuperado de las muestras, en el paso (2), se debe probar para determinar el contenido de asfalto, penetración a 25°C y viscosidad a 60°C. El contenido de asfalto, la penetración y la viscosidad deben determinarse de todas las muestras extraídas. Estos datos pueden usarse para determinar la uniformidad de la obra.

DETERMINAR EL TIPO Y LA CANTIDAD DE LOS MODIFICADORES (7) (8)

El tipo y la cantidad de los modificadores puede seleccionarse utilizando la Fig. G2 o G3 y la Tabla G1 o G2 junto con una definición de la penetración o mejor aún de la viscosidad del aglutinante en el proceso de la mezcla reciclada y en un conocimiento de la demanda de asfalto de la mezcla reciclada que se obtuvo en el paso (5), ecuación 1. Por ejemplo, considerar lo siguiente:

1. Valor del CKE obtenido del material recuperado o reciclado, $D_{CKE} = 5.0\%$
2. Por ciento de asfalto en el material recuperado o reciclado, $A_R = 4\%$
3. Viscosidad del asfalto envejecido 20,000 poises
4. Agregado nuevo adicional, $V_N = 30\%$
5. Valor del CKE en los agregados nuevos, $D_N = 6\%$
6. Viscosidad deseada del asfalto reciclado = 2,000 poises

La demanda de asfalto puede calcularse de la ecuación (1) y (2)

$$D_T = V_R D_R + V_N D_N \quad (1)$$

$$D_P = D_{CKE} - A_R \quad (2)$$

$$D_R = 5.0 - 4.0 = 1.0$$

$$D_T = (0.70) (1.0) + (.30) (6.0)$$

$$D_T = 2.5\%$$

~~El máximo porcentaje de modificador por peso de aglutinante total en la mezcla~~ -
reciclada es el siguiente:

$$\frac{D_T}{D_R A_R + D_T} \times 100$$

$$= \frac{2.5}{(.70)(4.0) + 2.5} \times 100$$

$$= 47\%$$

Aplicando la Fig. G1 la viscosidad del modificador puede aproximarse. Se entra a la figura con el volumen en por ciento del modificador con viscosidad más baja (47%) y la viscosidad deseada del aglutinante reciclado para localizar el punto A. El punto A se relaciona con la viscosidad del aglutinante recuperado y la línea proyectada, para obtener la viscosidad del modificador. La Tabla G1 indica que el modificador de grado A o B sería el adecuado.

Debe hacerse notar que el cemento asfáltico nuevo y el modificador asfáltico pueden utilizarse para formar el aglutinante nuevo. Si se seleccionó un cemento asfáltico suave y un modificador, será razonable considerar que un modificador de grado A, sería seleccionado.

PRUEBAS DEL MODIFICADOR (9)

Se deben obtener muestras de los modificadores que van a hacer usados y sujetarse a las pruebas para establecer su comportamiento con respecto a las especificaciones (Tabla G1 o G2), así como determinar la viscosidad del modificador con objeto de obtener un contenido más real de dicho modificador (Fig. G2 o G3), se presenta una lista parcial de los distribuidores de modificadores, Tabla G3.

MEZCLA DEL MODIFICADOR CON EL ASFALTO RECUPERADO (10)

Las combinaciones con el modificador pueden consistir de un cemento asfáltico y un suavizante, y deben mezclarse con el asfalto recuperado y sujetarse a las pruebas de viscosidad y penetración para determinar si la viscosidad prevista (penetración) de la mezcla fue exacta. Se sugiere que se hagan dos mezclas, una de 5% arriba y una de 5% abajo del por ciento de agente reciclante determinado en los pasos 7 y 8, aproximadamente debe utilizarse de 75 a 100 gramos de asfalto recuperado para cada mezcla. Una tercera mezcla puede requerirse para confirmar la penetración o viscosidad deseada.

Algunos modificadores reciclantes pueden no ser compatibles con el asfalto recu-

perado. Por consiguiente, debe ejecutarse una prueba de película delgada en la mezcla de asfalto recuperado-modificador que fue seleccionada. Una relación de la viscosidad envejecida a la viscosidad original de menos de 5 indicará que el agente reciclante es compatible con el asfalto recuperado.

MEZCLAS PRELIMINARES (11)

Se deben fabricar cinco mezclas diferentes de los agregados reciclados, agregados nuevos si se desea, y un modificador. Se deben fabricar tres especímenes de cada muestra y sujetarse a la prueba de estabilidad y a las pruebas para determinar el contenido de vacíos. Estas pruebas preliminares deben variar el porcentaje de nuevo cemento asfáltico y/o el tipo y cantidad de agente suavizante, aceite fluidificante, y rejuvenecedor. Es útil que un ingeniero experimentado esté presente durante la operación de mezclado y moldeo así como en las subsecuentes mezclas de prueba que pueden depender de la apariencia de las primeras mezclas de prueba. Debe tenerse en cuenta que los modificadores comúnmente tienen una reacción retardada para suavizar.

Deben utilizarse las operaciones estándar para el mezclado y el moldeo. Un procedimiento decorado en horno después del mezclado y antes de la compactación tal como el que se usa en California parece ser deseable.

EVALUACIONES DE LAS MEZCLAS (12)

Las tres mezclas mejores evaluadas en el paso (11) deben evaluarse en detalle -- con respecto a las propiedades que pueden usarse en el diseño de espesores del pavimento y para consideraciones de durabilidad tales como susceptibilidad al agua. El plan de pruebas se muestra en la Fig. G4 y puede usarse como guía. La cantidad de pruebas dependerá de la capacidad de la agencia que considera el proyecto de reciclamiento.

SELECCION DEL DISEÑO OPTIMO DE LA MEZCLA (13)

El diseño óptimo de la mezcla debe basarse en los resultados de los pasos (11) - y (12) y en las consideraciones de economía y de energía. La referencia G9 puede usarse como guía general.

La discusión anterior principalmente está dirigida hacia la aplicación de las operaciones en caliente y en planta central. El reciclamiento en el lugar con los modificadores emulsificantes puede completarse usando el modificador base y las

~~propiedades del aglutinante recuperado.~~

Los métodos de diseño de la mezcla son los expuestos para la estabilización asfáltica en las capas de base según se indica en el Apéndice F. Las especificaciones para los modificadores emulsificantes se muestran en la Tabla G2.

REFERENCIAS

- G1 Davidson, D.D., Canessa, W. y Escobar, S.J., "Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos Deficientes o Deteriorados-una Guía de los Procedimientos", pre-impresión del artículo para AAPT, volumen 46, febrero, 1977 San Antonio Texas.
- G2 Dunning, Robert L., "Descripción de un Método de Laboratorio para Determinar la Cantidad de Aditivo para los Asfaltos Reciclados", Robert L. Dunning, Petroleum Sciences, marzo 7 de 1977, Spokane, Washington.
- G3 Canessa, W., "Cyclogen TM para Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos - Deteriorados ya sea en el Lugar o Fuera del Lugar", Witco Chemical Corp. Cal. Nov. 1977.
- G4 Terrel, R.L. y Fritche, D.R., "Comportamiento en el Laboratorio del Concreto Asfáltico Reciclado", artículo preparado para Simposio sobre Reciclamiento - de Pavimentos Asfálticos, ASTM, diciembre 1977, San Luis, Missouri.
- G5 Manual del Instituto del Asfalto Series 17, MS-17, 1969, Capítulo 10. "Procedimiento para Seleccionar el Lugar de Muestreo Empleando Técnicas al Azar", 1969.
- G6 Schimdt, R.V., "Método Práctico para Determinar el Módulo Resiliente de las Mezclas Tratadas con Asfalto", revista Núm. 404 de Record de Investigación - de Carreteras, del Consejo de Investigación de Carreteras 1972.
- G7 "Estudios de Especificaciones", grupo de productores-usuarios de la costa - del Oeste, mayo de 1977.
- G8 "Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos Usando Materiales Recuperados", - Grupo de Productores y Usuarios de la Costa Oeste, copia preliminar, mayo - 1978.
- G9 Manual del Instituto del Asfalto Series 2 (MS-2,1969).

REFERENCIAS

1. "Reciclamiento de los materiales para carreteras", NCHRP Síntesis, agosto 1978.
2. "Foco de Carreteras" Departamento de Transportes de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos, Vol. 10, Núm.1, Febrero, 1976.
3. "Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos Utilizando Materiales Recuperados", Instituto del Asfalto, División de la Costa Oeste, Reporte en preparación.
4. Browne, R.B. y M. C. Hironaka, "Reciclamiento de los pavimentos de Concreto y Asfáltico de las Aeropistas", Laboratorio Naval de Ingeniería Civil. Port Huene, Calif. abril 1978.
5. "Guía Interina para el Reciclamiento de los Materiales de Pavimentación", Tercera Emisión del Instituto de Transportación de Texas, Universidad de Texas, julio de 1978.

Jon A. Epps
Profesor de Ingeniería Civil
Ingeniero Investigador, del Instituto de Transportación de Texas
Universidad de Texas
College Station, Texas

Jon Epps recibió sus títulos de Bachiller y Maestría en ciencias, así como el de Doctor en Filosofía de la Universidad de California, Berkeley en 1965, 1966 y 1968. El tiene licencia de ingeniero profesional en Texas.

Perteneció al grupo de maestros de la Universidad de Texas en 1968. Sus responsabilidades son las de enseñar, investigar y, todo esto principalmente en lo referente a los materiales empleados en las vías terrestres, y en el mantenimiento y diseño de los pavimentos.

Antes de pertenecer a la Universidad sirvió como consultor de diversas compañías nacionales locales, en el área de los materiales, mantenimiento y diseño.

Jon Epps se ha especializado en la organización técnica y profesional. Comúnmente es jefe de los comites de los consejos de investigación de carreteras que tratan sobre la estabilización asfáltica de los suelos, también preside sus comites de la ASTM sobre la reología del asfalto, y estabilización asfáltica de suelos. Es miembro del Panel de Consultores de la Administración Federal de Carreteras - destinado al reciclamiento de pavimentos y a los programas de investigación de carreteras. Ha servido también como consejero del Comité de Nominación y Solicitud del Comité AAPT. Ha servido como Presidente de Brazos Chapter de la Sociedad de Ingenieros Profesionales de Texas y perteneció también al Chapter de los Ingenieros Jóvenes en el año de 1974.

Sus artículos y publicaciones exceden a 70 con presentación formal, incluyendo la extensión de sus trabajos a más de 50. Los tópicos de estos artículos y la presentación incluyen propiedades de las mezclas asfálticas, mantenimiento y manejo, reciclamiento de materiales para pavimentación y diseño de pavimentos. En 1973 recibió el Galardón de Dinamarca General por Excelencia en la docencia seleccionada por la Facultad y los estudiantes del Colegio de Ingenieros, Universidad de Texas.

INSTITUTO WRAP-UP (JON A. EPPS)

- I - Opciones de Reciclamiento
 - A. Pavimentos Flexibles
 - B. Pavimentos Rígidos
- II- Consideraciones Ambientales
- III- Consideraciones Económicas
- IV - Consideraciones de Energía
- V - Futuro del Reciclamiento

TABLA 11 - COSTOS DE LAS OPERACIONES COMUNES EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

| CLASE DE CONSTRUCCION | COSTOS REPRESENTATIVOS FOR YARDA CUADRADA PULG. | |
|-------------------------------------|---|-------------|
| | PROMEDIO | RANGO |
| Base sin tratar | 0.40 | 0.10 - 0.60 |
| Subrasante estabilizada con Cal | 0.25 | 0.17 - 0.35 |
| Subrasante estabilizada con Cemento | 0.30 | 0.20 - 0.40 |
| Base tratada con Cemento | 1.00 | 0.80 - 1.10 |
| Base tratada con Asfalto | 0.85 | 0.70 - 1.00 |
| Concreto Asfáltico | 1.00 | 0.80 - 1.20 |
| Riego de Sello | 0.35 | 0.20 - 0.45 |
| Concreto Hidráulico | 1.35 | 1.00 - 1.50 |

TABLA 12 - REQUERIMIENTOS TÍPICOS DE ENERGÍA DE LAS OPERACIONES DE RECICLAJE.

| | |
|------------------------------------|---|
| 1. Desbastado en Caliente | 10-20,000 BTU'S/yd ² - 3/4 pulg. |
| 2. Escarificación en Caliente | 10-20,000 BTU'S/yd ² - 3/4 pulg. |
| 3. Molido en Caliente | 2,000-4,000 BTU'S/yd ² - pulg. |
| 4. Molido en Frío | 1,000-2,500 BTU'S/yd ² - pulg. |
| 5. Reciclamiento en el Lugar | 10,000-20,000 BTU'S/yd ² - pulg. |
| 6. Reciclamiento en Planta Central | 20,000-25,000 BTU'S/yd ² - pulg. |

TABLA 14 - CONSUMO DE ENERGIA PARA LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION EN EL LUCAR *

| Material | Energía Requerida | | | Porc. |
|---|-------------------|---------------------|----------------------------|-------|
| | Btu/ton | Btu/yd ³ | Btu/yd ² -pulg. | |
| Concreto Asfáltico | 517,000 | 1,000,000 | 27,800 | () |
| | 533,000 | 1,040,000 | 29,000 | (12) |
| Concreto Hidráulico sin Juntas Reforzadas | 990,000 | 2,000,000 | 55,500 | (30) |
| Concreto Hidráulico sin Juntas Reforzadas | 1,210,000 | 2,450,000 | 68,000 | (14) |
| Concreto Hidráulico con Juntas Reforzadas | 1,390,000 | 2,820,000 | 78,400 | (14) |
| Concreto Hidráulico Reforzado Continuamente | 1,620,000 | 3,280,000 | 91,110 | (14) |
| Slurry Seal | | | 1,340 ** | (19) |
| Piego de Sello-Emulsión y Piedra Triturada | | | 3,950 ** | (14) |
| Piego Final (tipo niebla) | | | 470 ** | (14) |
| Base de Piedra Triturada | 236,000 | 414,000 | 11,500 | (14) |
| | 218,000 | 382,000 | 10,600 | (13) |
| Base Negra (con Emulsión) | 300,000 | 562,000 | 15,600 | (14) |
| Base Estabilizada con Cemento | 600,000 | 1,100,000 | 30,500 | |
| Base Estabilizada con Ceniza Polihidratada | 325,000 | 605,000 | 16,800 | |
| Subrasante Tratada con Cemento | 526,000 | 852,000 | 23,700 | (31) |
| Cal - Ceniza | 385,000 | 720,000 | 20,000 | |
| Subrasante Estabilizada con - | 526,000 | 852,000 | 23,700 | |

* Incluye la energía asociada con la manufactura, mezclado, acarreo, colocación y compactación.

** Estos tratamientos no son de una (1) pulg. de espesor.

Conversión al Sistema Métrico:

1 Btu/ton = 1.164 J/kg

1 Btu/yd³ = 1.351 J/m³

1 Btu/yd²-pulg. = 497 J/m²cm

1 pulg. = 2.54 cm

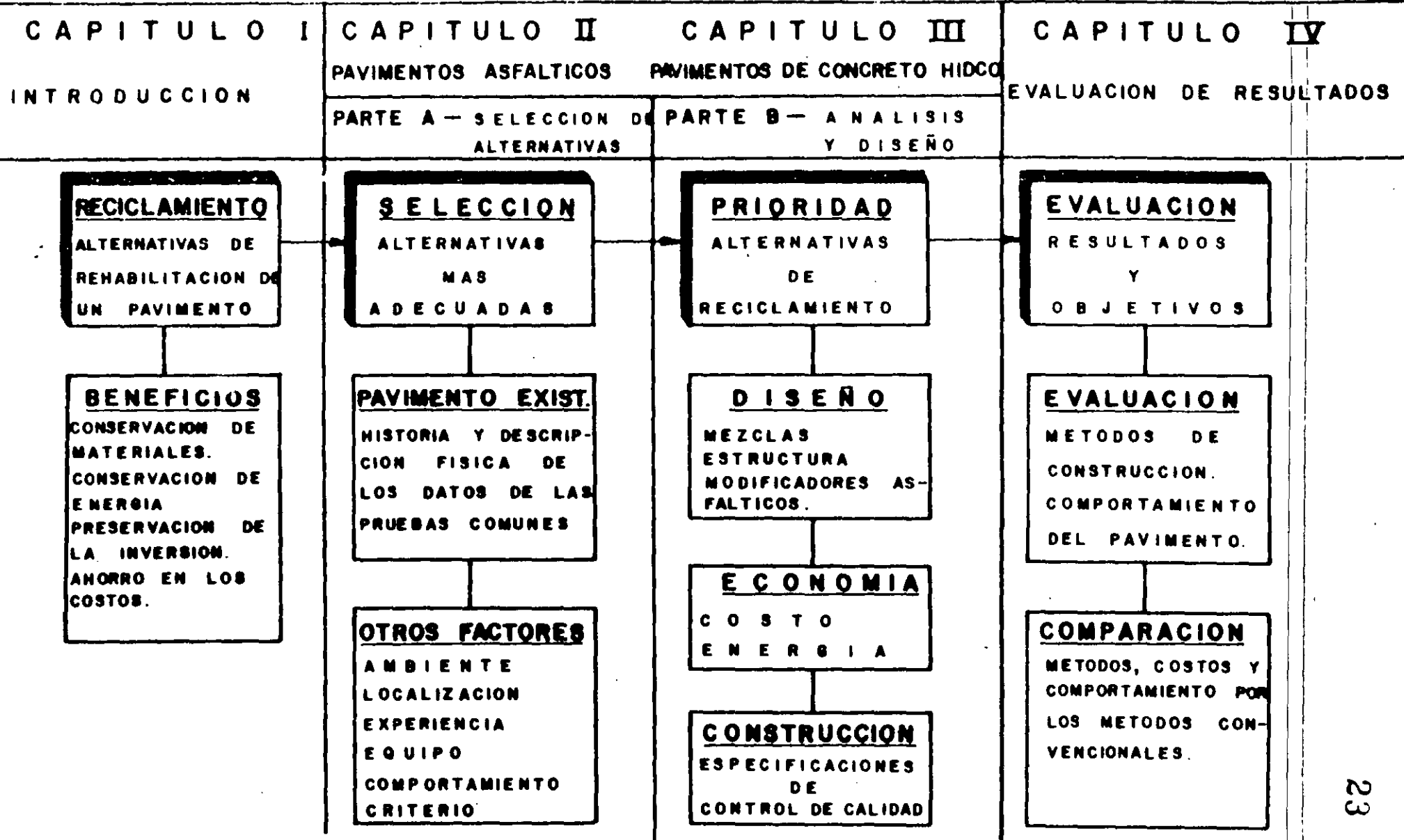


FIG. 1 — PRESENTACION DE LOS LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

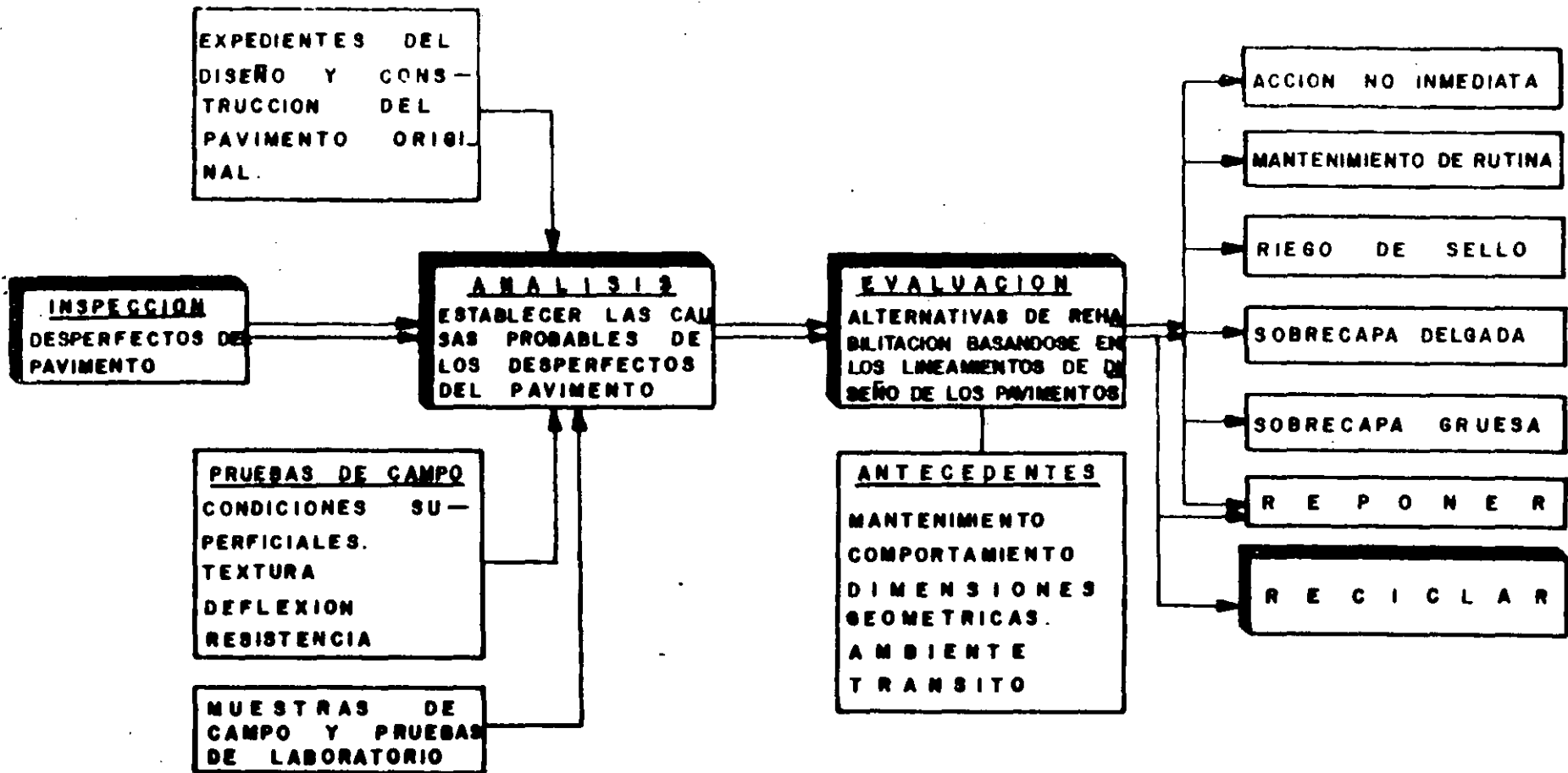


FIG. 2 — EL RECICLAMIENTO COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACION

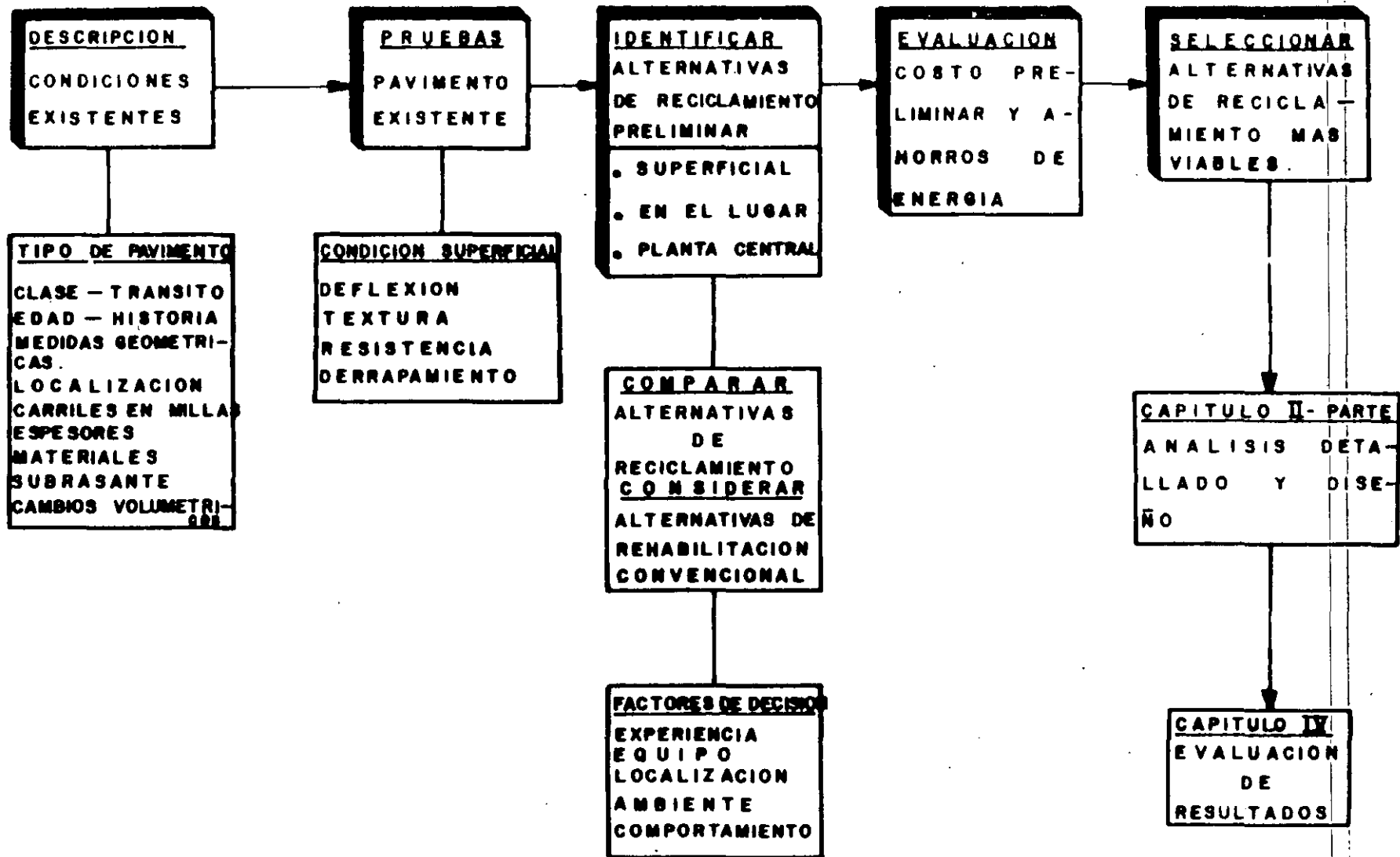


FIG. 3- ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS

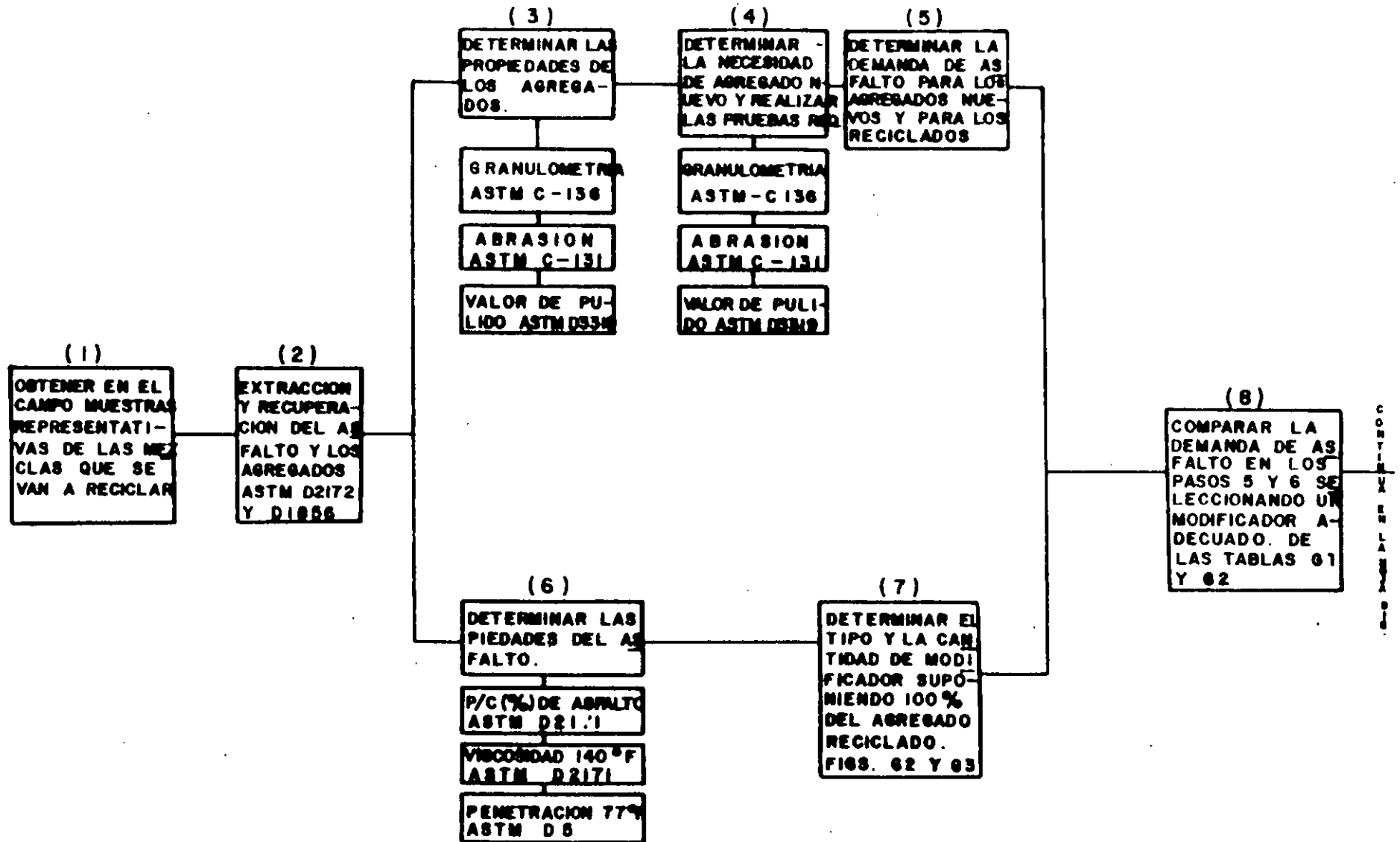
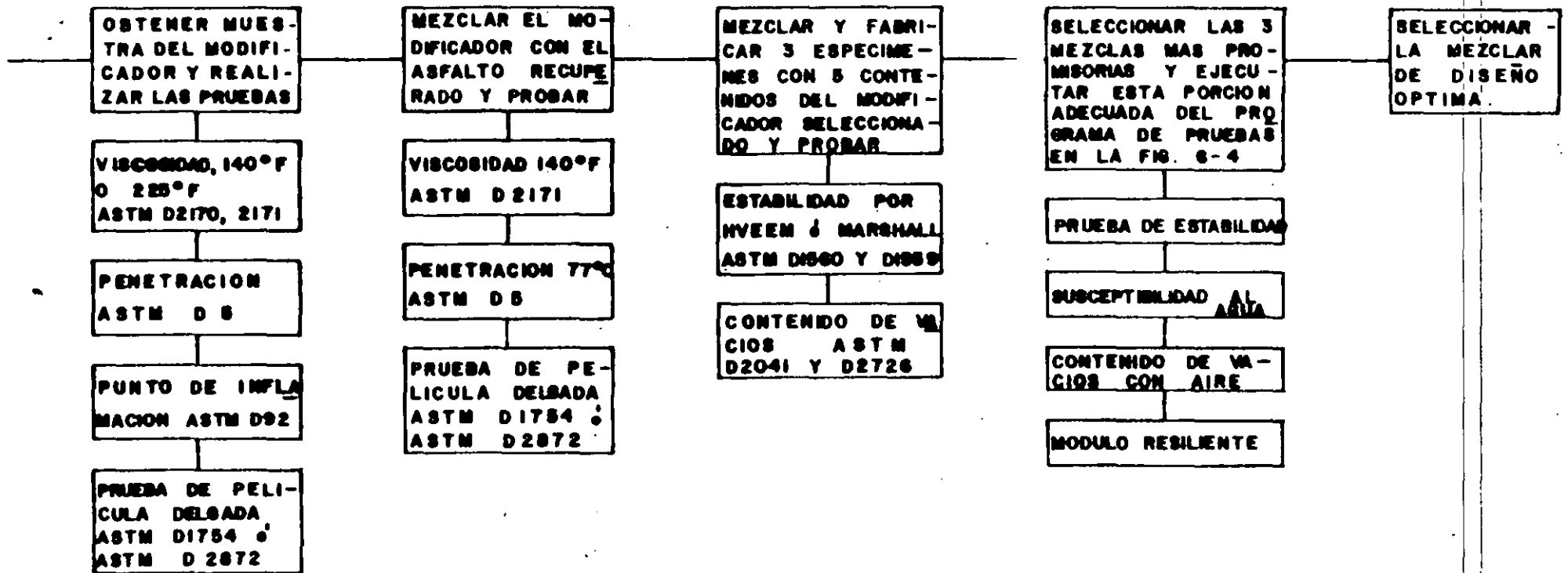


FIG. 01- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA MEZCLA



CONTINUACION DE LA FIG. 61

CARTA DE VISCOSIDAD DE LA MEZCLA
RANGO COMPLETO

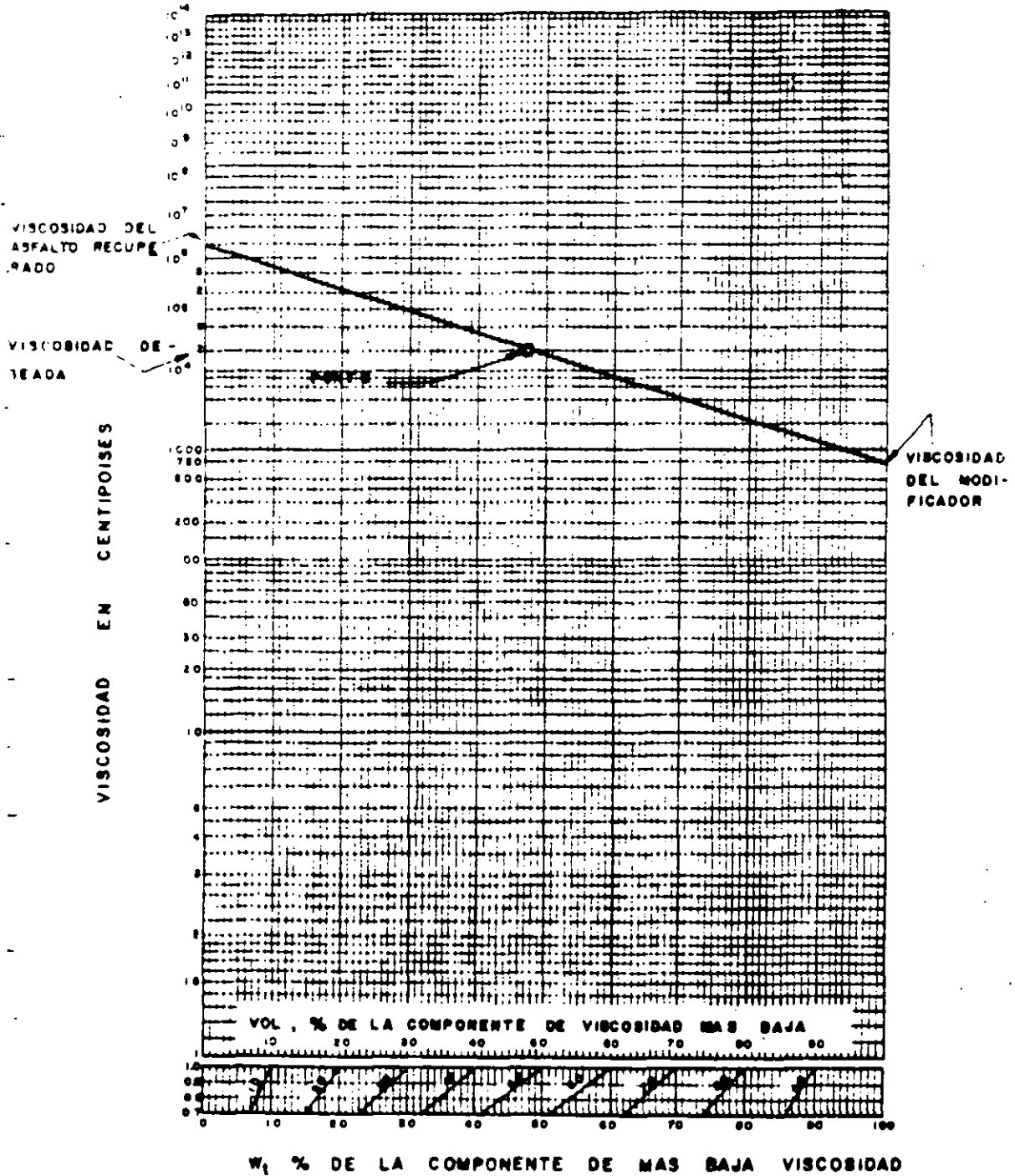
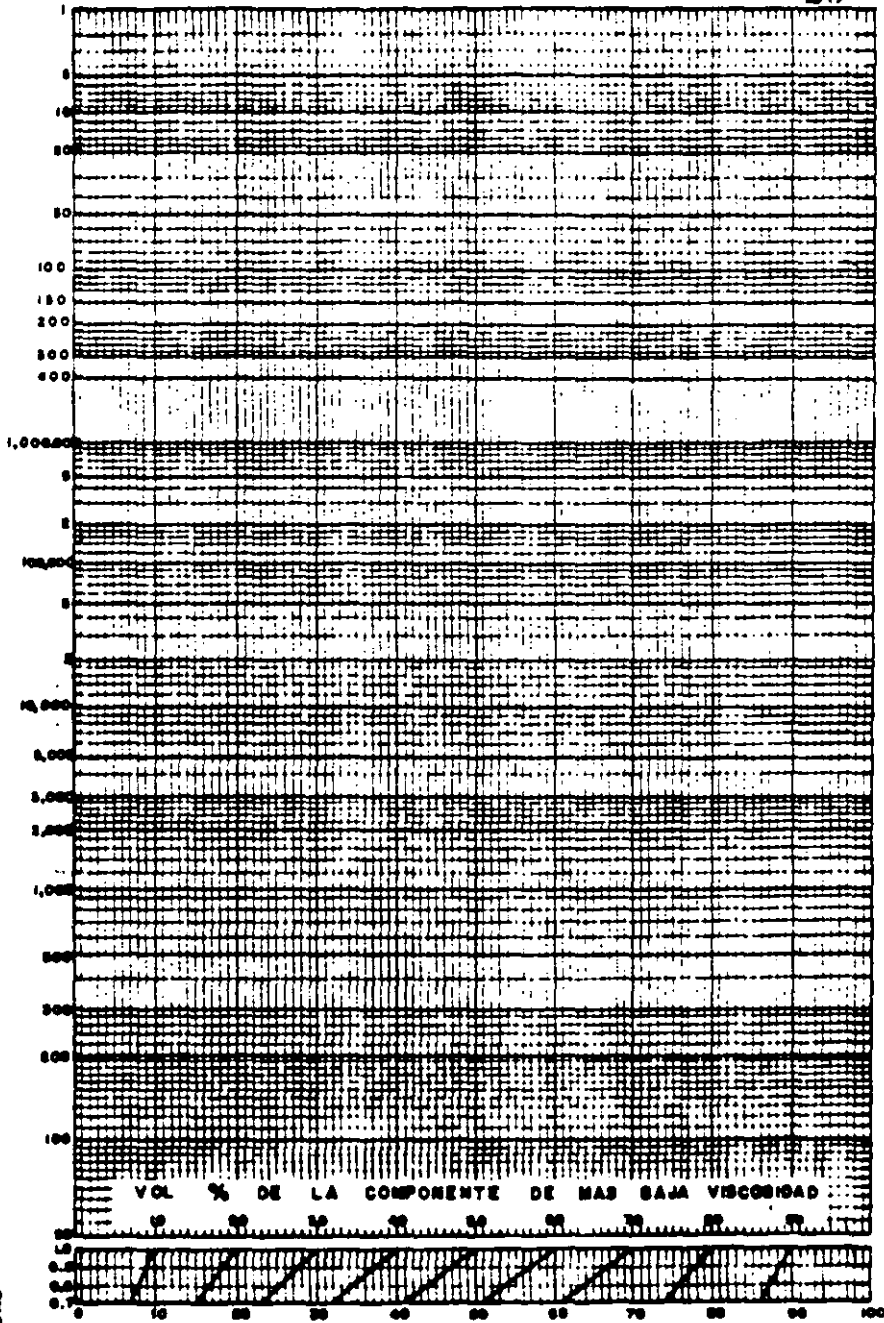


FIGURA 6-2

PENETRACION

VISCOSIDAD EN CENTIPOISES

RELACION DE DENSIDAD



W_1 % DE LA COMPONENTE DE MAS BAJA VISCOSIDAD

(DESPUES DE LA REFERENCIA 66)

FIGURA 6-3

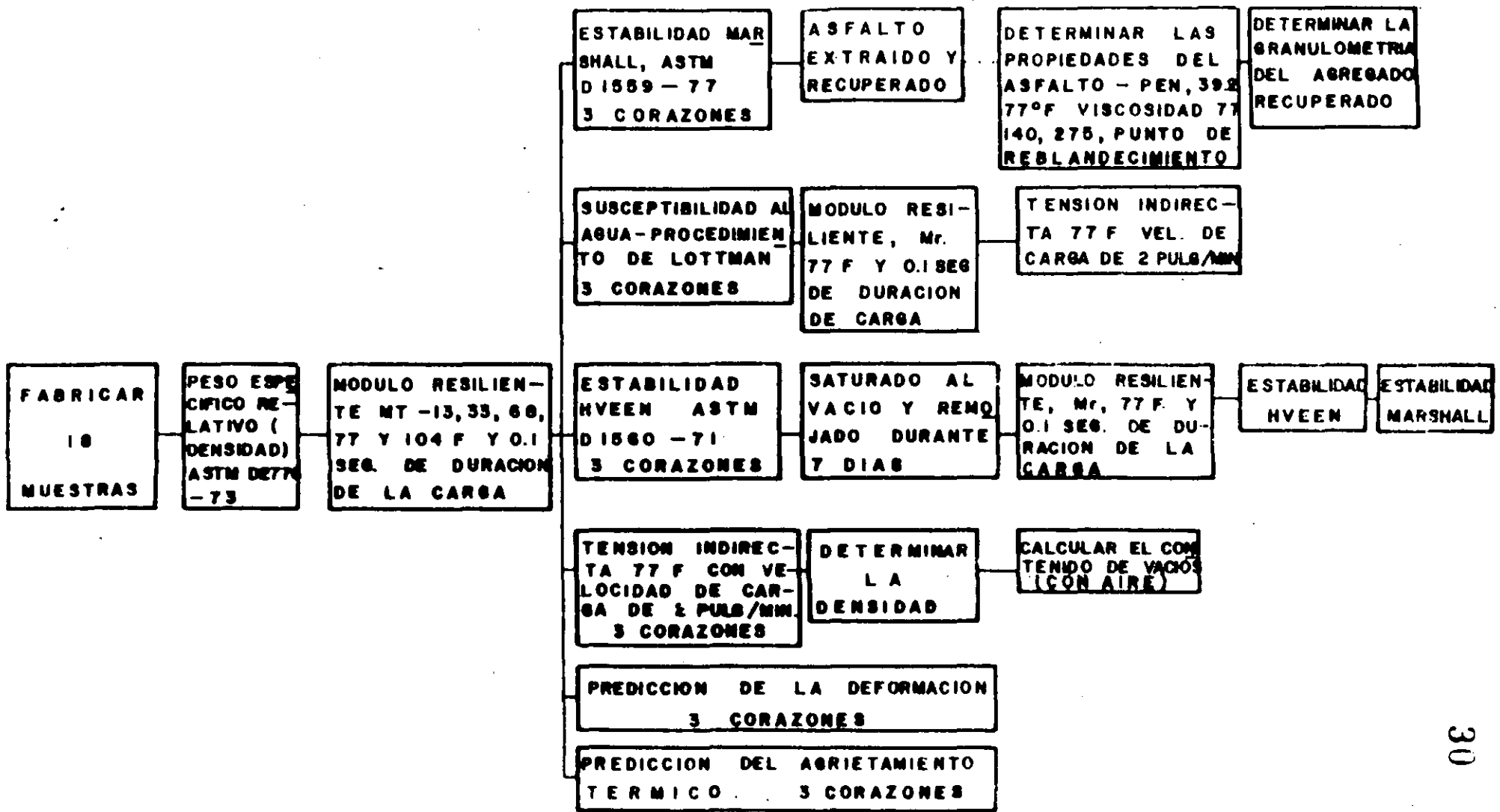


FIG. 64 - SECUENCIA DE PRUEBAS PARA LOS CORAZONES DE CAMPO

TABLA 61 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA EL AGENTE MODIFICADOR

| Grado | A | B | C | D | E | F |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| <u>Pruebas</u> | | | | | | |
| <u>Original</u> | | | | | | |
| Viscosidad a 140°F, cs | 90- 500 | 1,000- 4,000 | 5,000- 10,000 | 10,000- 20,000 | 20,000- 30,000 | 40,000- 60,000 |
| Viscosidad a 275°F, cs Min. | - | - | - | - | 80 | 110 |
| Penetración a 77°F, Min. | - | - | - | - | 200 | 120 |
| Punto de Inflamación, COC, °F, Min. | 390 (350) ² | 425 (350) ² | 425 (350) ² | 425 (350) ² | 325 | 350 |
| Densidad ³ | - | - | - | - | - | - |
| Después de la acción de Envejecimiento | | | | | | |
| <u>Residuo</u> | | | | | | |
| Pérdida de peso % | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | - | - |
| Viscosidad a 140°F, cs, Max | 1,500 | 12,000 | 30,000 | 60,000 | 125,000 | 250,000 |
| Ductilidad a 77°F, Min. | - | - | - | - | 100 | 100 |

1 Cubre la Fracción Activa del Aceite

2 Requerimientos Alternos

3 Reportar Solamente

Después de la referencia 22

TABLA 62 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA LOS MODIFICADORES EMULSIONADOS

| Propiedad | Función y Objetivo | Método de Prueba | Especificaciones |
|--|--|---|------------------|
| Viscosidad a 77°F, SFS | Facil manejo | ASTM D 244-76 | 15-85 |
| Estabilidad al Bombeo | Prevención del agrietamiento prematuro | G. B. Método ⁽²⁾ | Piezas |
| Por ciento de retenido en malla 200 máximo | Distribución optima | Prueba en Malla, ASTM D 244-76 (MOD) ⁽³⁾ | 0.1 max. |
| Sensitividad con finos por ciento | Vida adecuada de la mezcla | Mezcla con Cemento ASTM D 244-76 | 2.0 max. |
| Carga de la Partícula | Clase de afinidad | ASTM D 244-76 | Positivo |
| Concentración de aceite por ciento | Comprobación del contenido de aceite y para calcular | ASTM D 244-76 (MOD) ⁽⁴⁾ | 60 min. |

(1) Los aceites usados en las emulsiones deben cumplir las especificaciones listadas en la Tabla 1.

(2) La estabilidad del bombeo se determina cargando 450 ml. de emulsión en un vaso picudo de un litro y hacer circular la emulsión a través de una bomba engranajes rotativa de (Roper 29. B22621) que tiene un cuarto de pulgada de entrada y salida. La emulsión pasa si no hay separación significativa de aceite después de circular diez minutos.

(3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D 244 excepto que el agua destilada debe usarse en lugar de la solución de oleato de sodio al 2%.

(4) La prueba de evaporación ASTM D 244 para el por ciento de residuo está modificada en que se calientan 50 gramos de la muestra a 148°C, hasta que esa la espuma, entonces se enfría inmediatamente y se calculan los resultados.

Después de la referencia 63

TABLA G3 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA LOS MODIFICADORES EMULSIONADOS

| Propiedad | Función y Objetivo | Método de Prueba | Especificaciones |
|--|--|---|------------------|
| Viscosidad a 77°F, SFS | Facil manejo | ASTM D 244-76 | 15-85 |
| Estabilidad al Bombeo | Prevención del agrietamiento prematuro | G. B. Método ⁽²⁾ | Piezas |
| Por ciento de retenido en malla 200 máximo | Distribución optima | Prueba en Malla, ASTM D 244-76 (MOD) ⁽³⁾ | 0.1 max. |
| Sensitividad con finos por ciento | Vida adecuada de la mezcla | Mezcla con Cemento ASTM D 244-76 | 2.0 max. |
| Carga de la Partícula | Clase de afinidad | ASTM D 244-76 | Positivo |
| Concentración de aceite por ciento | Comprobación del contenido - de aceite y para calcular | ASTM D 244-76 (MOD) ⁽⁴⁾ | 60 min. |

- (1) Los aceites usados en las emulsiones deben cumplir las especificaciones listadas en la Tabla 1.
- (2) La estabilidad del bombeo se determina cargando 450 ml. de emulsión en un vaso picudo de un litro y hacer circular la emulsión a través de una bomba engranajes rotativa de (Roper 29. B22621) que tiene un cuarto de pulgada de entrada y salida. La emulsión para si no hay separación significativa de aceite después de circular diez minutos.
- (3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D 244 excepto que el agua destilada debe usarse en lugar de la solución de oleato de sodio al 2%.
- (4) La prueba de evaporación ASTM D 244 para el por ciento de residuo está modificada en que se calientan 50 gramos de la muestra a 148°C, hasta que cesa la espuma, entonces se enfría inmediatamente y se calculan los resultados.

Después de la referencia G3

TABLA C3 : LISTA PARCIAL DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS PARA EL EMPLEAMIENTO EN LA ZONA ASIATICO-AMERICANA

| Compañía | Nombre e Identificación del producto | Historia de su uso | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| | | Radio en el Lab. | Estados Unidos |
| Arizona Refining Co. | | x | |
| | Light Aromatic Oil | x | |
| Asphalt Petroleum Company | Medium Aromatic Oil | x | |
| | Slurry Oil | x | |
| | Asphalt Plasticizer Oil (APO) | x | |
| Bituminous Materials Company, Inc. | | x | |
| Cenex | Dust Oil | x | |
| Chem-Crete Corporation | | x | |
| Chevron USA, Inc. | Chevron X100 | x | |
| | Chevron X90 | x | |
| Mike Davis Associates | | x | |
| Koppers Co., Inc. | BPR | x | x |
| Lion Oil Co. | Smackover Flux Asphalt | x | |
| | Rejuvenator Oil | x | |
| Mac Millan | | x | |
| Mobil Oil Corp. | XMTY-125B | x | |
| | Mobilsol 30 | x | |
| Pax International | Paxole | x | x |
| | Petroset | x | |
| Phillips Petroleum Company | 10 Extract | x | |
| | 20 Extract | x | |
| | 250 Extract | x | |
| Saunders Petroleum Company | SA-1 | x | x |
| Shell Oil Co. | Dutrex | x | x |
| Sun Oil Co. | Sundex 840T | x | |
| | Sundex 790T | x | |
| Tenneco | | x | |
| Union Oil Co. | Rejuv-Acote-Bise | x | |
| Witco Chemical | Reclamite | x | x |
| | One Component System | x | x |
| | Cutback Asphalt | | x |
| | Emulsified Asphalt | x | x |
| | Califlux GP | x | |
| Numerous Companies | Soft Asphalt Cement | x | x |
| | Reclaimed Oil | x | |

Continued

NOTES AND ADDRESSES

Arizona Refining Company
P. O. Box 1455
Phoenix, Arizona 85001
602-258-4843

Arkland Petroleum Company
P. O. Box 377
Ashtland, Ke. Ky 41101
606-714-4166

Atlas Stone Materials Co., Inc.
P. O. Box 1507
Terre Haute, Indiana 47808

Genex

Montana

Chem-Crete Corporation
2180 Sand Hill Road
Suite 300
Menlo Park, California 94025
415-854-6206

Chevron USA, Inc.
P. O. Box 7643
San Francisco, California 94120

Mike Davis Associates

Koppers Company, Inc.
2700 Kippers Building
Pittsburgh, Pennsylvania 15219
412-391-3300

Lion Oil Company
Lion Oil Building
El Dorado, Arkansas 71730
501-863-3111

Mac Millan

Kansas City, Missouri

Mobil Oil Corporation
150 E. 42nd Street
New York, New York 10017

Pax International
W. 3815 Indian Trail Road
Brokens, Washington 99008
509-326-5089

Phillips Petroleum Company
Sartlesville, Oklahoma 75086
918-661-5600

Standers Chemical Division
P. O. Box 9
Evans, Colorado 80670
303-352-0467

Shell Oil Company
P. O. Box 2105
One Shell Plaza
Houston, Texas 77001

Sun Oil Company
Tulsa, Oklahoma

Tenneco

Union Oil Company
P. O. Box 7600
Los Angeles, California 90051
714-528-7201

Witco Chemical Company
Golden Bear Division
P. O. Box 373
Bakersfield, California 93308
805-399-9501



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

CRITERIOS DE SELECCION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y
FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS

ING. RAFAEL LIMON LIMON

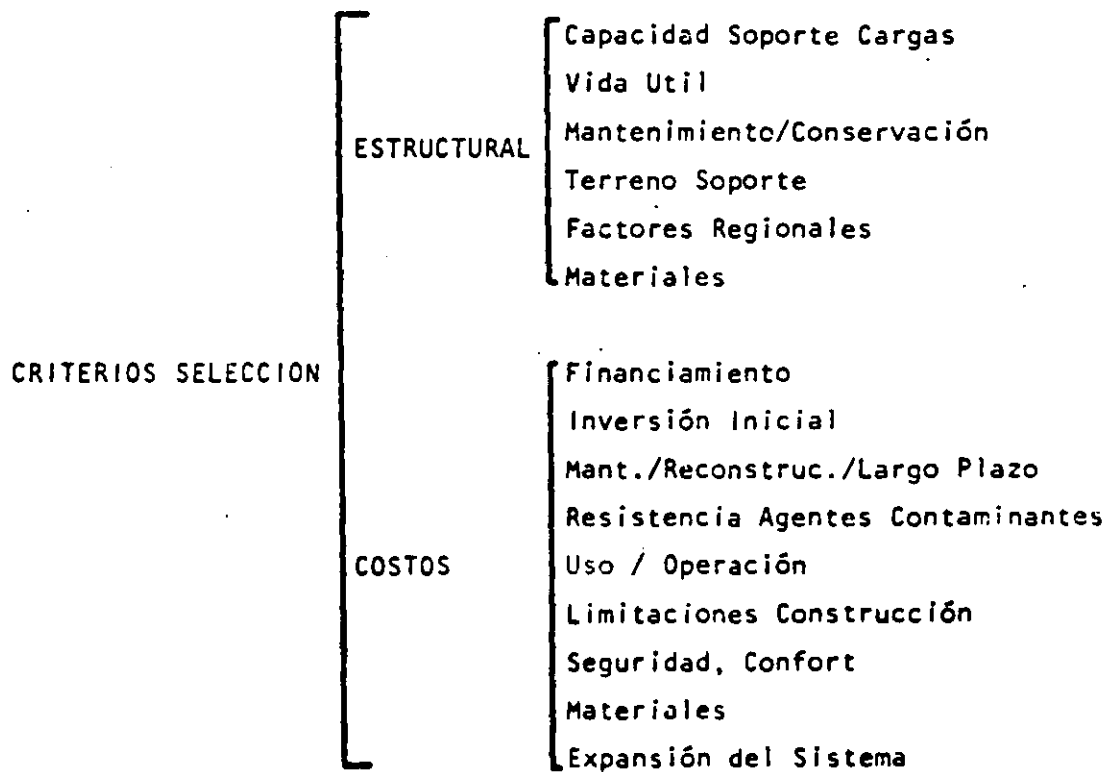
M. en C. Ing. Rodolfo Téllez G.

La infraestructura aeroportuaria es fundamental para el desarrollo de un país por los beneficios socio-económicos que genera. Se vé claramente la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción por la magnitud de la inversión que representa, por el tiempo -- que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc.

Si se toma en cuenta la clasificación de grupos de pavimentos para aeropuertos, flexibles de varias capas o integrales de una sóla, rígidos de concreto hidráulico simple sin refuerzo o con refuerzo en las juntas, rígidos de concreto con refuerzo continuo, de concreto -- presforzado o combinados vertical u horizontalmente, el ingeniero -- proyectista se enfrenta con varias opciones dentro de las cuales seleccionará la alternativa óptima en función de múltiples factores o criterios de selección.

La diferencia principal entre estos pavimentos, es la forma en la -- cual distribuyen las cargas sobre el terreno de soporte. Los rígidos, a causa de su módulo de elasticidad alto y su rigidez tienden a distribuir la carga sobre un área del suelo significativa, por lo que -- gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto en sí misma. Por esta razón, variaciones menores en la resistencia del terreno soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido. Por otro lado, los pavimentos flexibles funcionan con el principio del sistema de capas para obtener la capacidad estructural de soporte de cargas de los mismos, debiendo tener la capa más resistente y de más alta calidad en la superficie.

Los pavimentos de plataformas, rodajes y pistas de un aeropuerto requieren de diseños óptimos que involucren estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tráfico a lo largo de su vida útil en todas las condiciones climatológicas. Como fase importante del diseño intervienen los criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles, por su gran trascendencia en costos y capacidad estructural entre otros, - por lo que se definen dos grandes criterios que sintetizan la selección, el "estructural" y el de "costos" que agrupan los factores siguientes:



Es importante hacer notar que los factores para decisión listados, pueden influir terminantemente con un sólo (mandatorio por condiciones especiales) o normar el criterio por el conjunto de varios de ellos. También debe tomarse en cuenta la interacción que pudiera existir entre varios factores o entre grupos para un proyecto específico.

El criterio actual en el Sistema Aeroportuario Mexicano ha sido hasta la fecha en general el gobernado por factores de costos y con base a ello se tomaron decisiones de selección de pavimentos combinados, esto es, rígidos para plataformas de aviación comercial, flexibles para rodajes, pistas y plataformas de aviación general y en algunos casos se ha optado por la combinación o mixtos en pistas (rígidos en la franja de tránsito canalizado) como por ejemplo Villahermosa. En otros casos aislados, por condiciones del terreno natural de soporte el criterio de selección estructural fue el mandatorio, como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

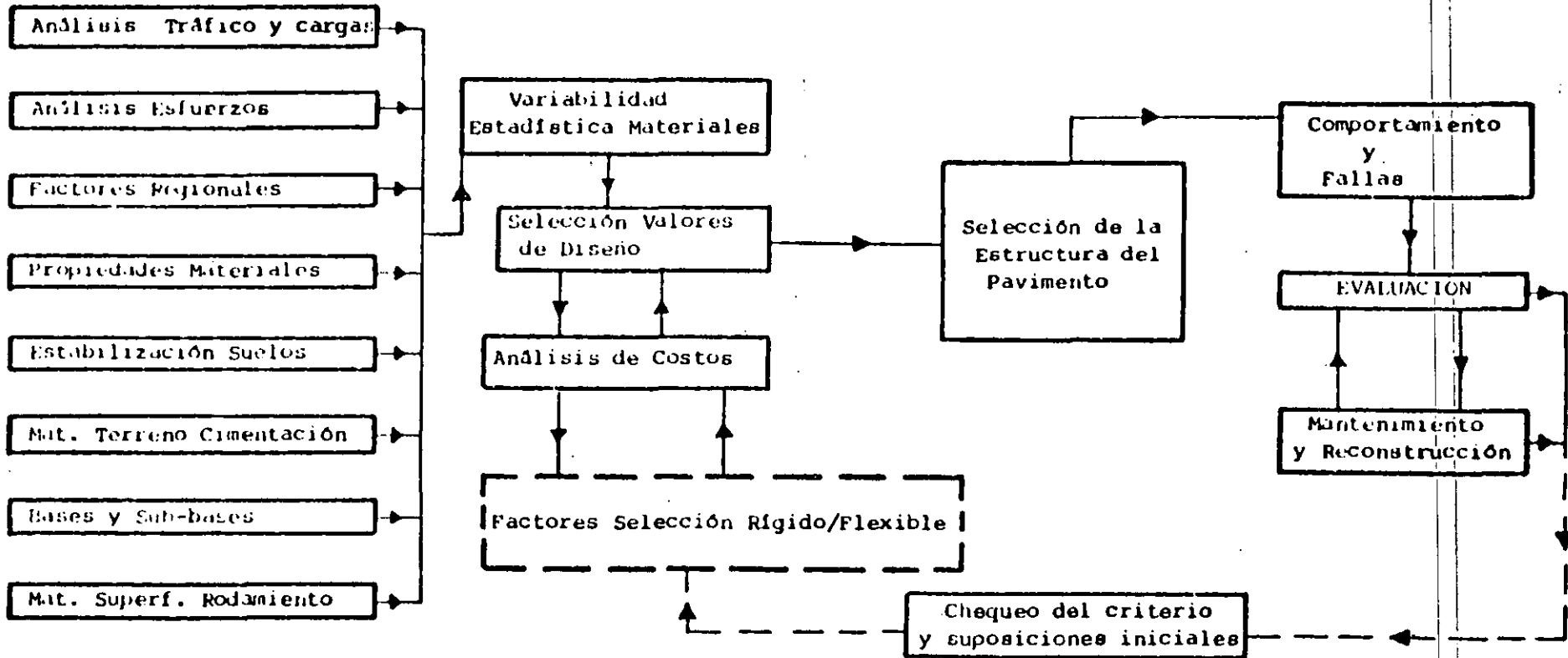
En las dos tablas anexas se resume el listado de factores para la decisión en función de conceptos fundamentales y su grado de prioridad y cómo estos factores intervienen en el "Análisis del Sistema" general del diseño de los pavimentos.

FACTORES DE DECISION PARA LA SELECCION EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO O FLEXIBLE EN AEROPUERTOS

| FACTOR | FUNCION | PRIORIDAD ESTIMADA |
|---------------------------------|--|--------------------|
| CAPACIDAD ESTRUCTURAL PAVIMENTO | Clasificación Demanda Pronósticos Canalización Cargas | 1 |
| FINANCIAMIENTO | Externo, Interno Monto, Intereses | 2 |
| COSTOS | Inversión Inicial Mediano y Largo Plazo | 3 |
| VIDA UTIL | Indice de Servicio Proyecto | 4 |
| MANTENIMIENTO / CONSERVACION | Pronóstico Operaciones Presupuestos Disponibles Tipo Mantenimiento (0,-,+) | 5 |
| TERRENO NATURAL SOPORTE | Tipo Resistencia Características/Propiedades Drenaje | 6 |
| MATERIALES | Estudio Clasificación Características Envejecimiento | 7 |
| FACTORES REGIONALES | Climáticos Suceptibilidad Temperaturas | 8 |
| AGENTES CONTAMINANTES | Derrame Combustibles Efecto de Chorro Vegetación | 9 |
| USO / OPERACION | Comercial Militar General Rural (Alimentadores) | 10 |
| LIMITACIONES DE CONSTRUCCION | Bancos Materiales Plantas Aprovisionamiento Maquinaria y Refacciones | 11 |
| SEGURIDAD | Especificaciones Inter/Locales | 12 |
| CONFORT | Vibraciones Juntas Asentamientos Losas | 13 |
| EXPANSION DEL SISTEMA | Plan Maestro Demanda Avión Crítico Ampliaciones Cambio Categoría | 14 |

ANALISIS DEL SISTEMA

FACTORES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DEL DISEÑO



VARIABLES DE ENTRADA

PROCESO DE DECISION

DISEÑO

SERVICIO

CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO / TERRENO NATURAL SOPORTE.-

En la experiencia mexicana sobre la red aeroportuaria existente, que alcanza a la fecha cincuenta aeropuertos del tipo mediano y largo alcance para operaciones de aviación comercial de aeronaves tipo DC-9, DC-8, B-727, DC-10 y 747, se ha comprobado que tanto el factor capacidad estructural de un pavimento ligado directamente al terreno natural de soporte y su comportamiento, son factores determinantes en forma aislada para la decisión en la selección del diseño de pavimentos rígidos o flexibles.

Las aeronaves, por su tipo de operación repetitiva y sus cargas transmitidas al pavimento sobre pistas, rodajes y plataformas, traducidas en esfuerzos estáticos y dinámicos, obligan dependiendo su magnitud - a seleccionar un pavimento rígido contra uno flexible, y así solucionar la "canalización de tránsito" sobre los pavimentos en cuestión.

Sin embargo, para el cálculo de la capacidad estructural del pavimento en función de lo anteriormente mencionado, se requiere de un conocimiento detallado del tipo de resistencia, propiedades características y drenaje natural del terreno de soporte, llegando a encontrarse en algunos casos factores irónicos o contrapunteados. Caso específico es el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México donde se tienen estos extremos. El número de operaciones actuales y futuras del aeropuerto en cuestión, así como el incremento de las cargas rodantes que soportan los pavimentos de ese aeropuerto, llegando hasta 800 operaciones diarias, esto es, un aeronave entra ó sale cada minuto y medio durante las 24 horas, requieren forzosamente y en forma prioritaria de un pavimento especial como pudiera ser el CRCP, del tipo rígido de concreto hidráulico reforzado, sin juntas y espesores considerables.

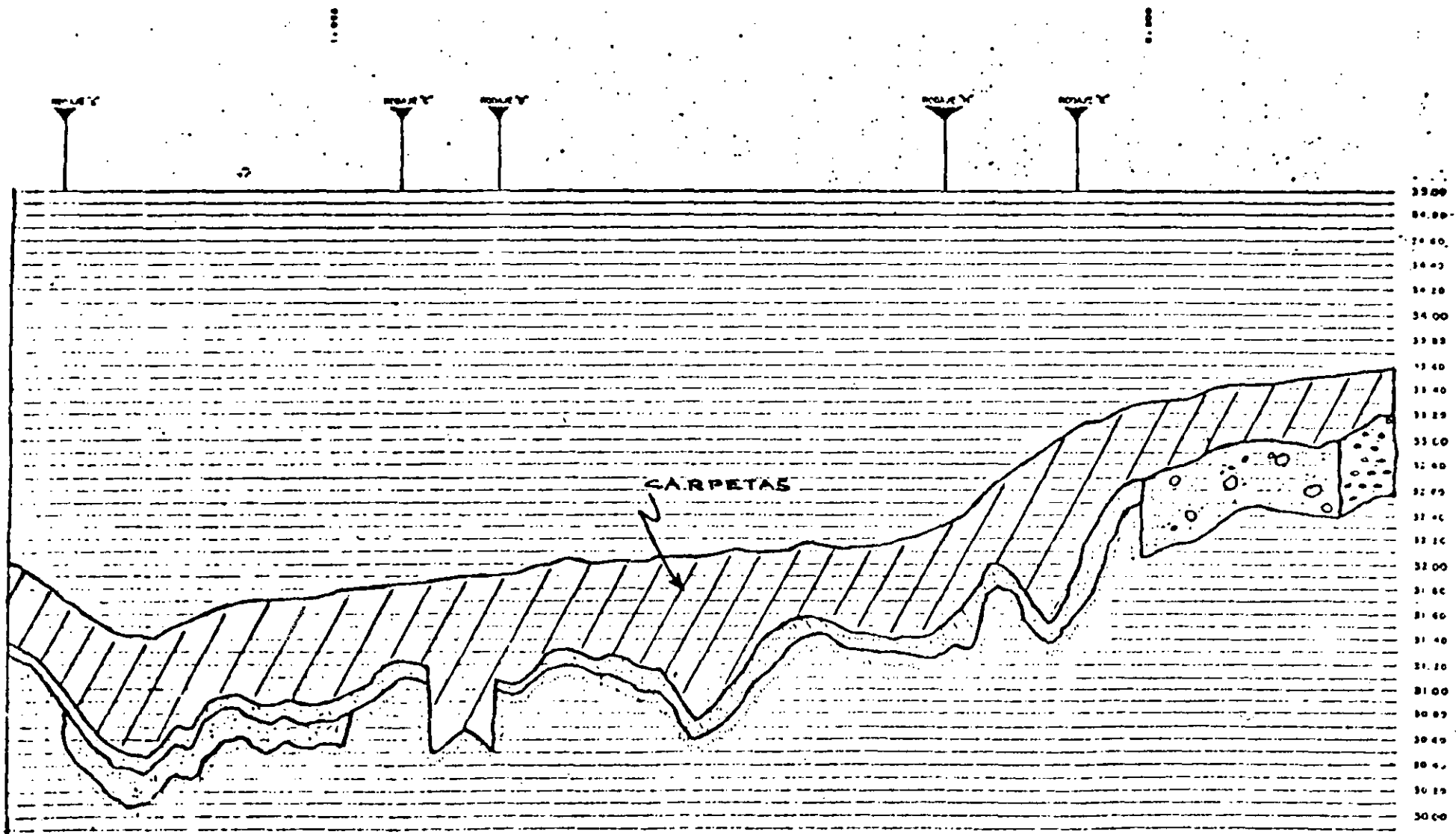
Sin embargo y aquí está la ironía, el actual aeropuerto se encuentra localizado sobre un terreno cuyas propiedades, comportamiento y capacidad estructural son muy pobres (V.R.S. 0-3)

Cuando se construyó el pavimento original de las pistas en el AICM - en los años 50's con técnicas de esa época, su comportamiento fue adecuado en general para las cargas y tráfico de ese entonces. Sin embargo, el incremento acelerado en las cargas y en número de las operaciones provocaron asentamientos diferenciales muy pronunciados - (ver croquis anexo perfiles hasta 1981) requiriéndose frecuentemente renivelar con sobrecarpetas la superficie de rodamiento, por lo que el peso muerto del pavimento por sí sólo hacía que se hundiera rápidamente y en forma no uniforme. El espesor total de la estructura llegó a ser de 2.10 metros (1.50 de carpeta).

Este tipo de suelo ha demostrado que no deben alterarse sus condiciones naturales. Por ello, se ha optado y ha funcionado el pavimento -- compensado del tipo flexible (ver croquis anexo).

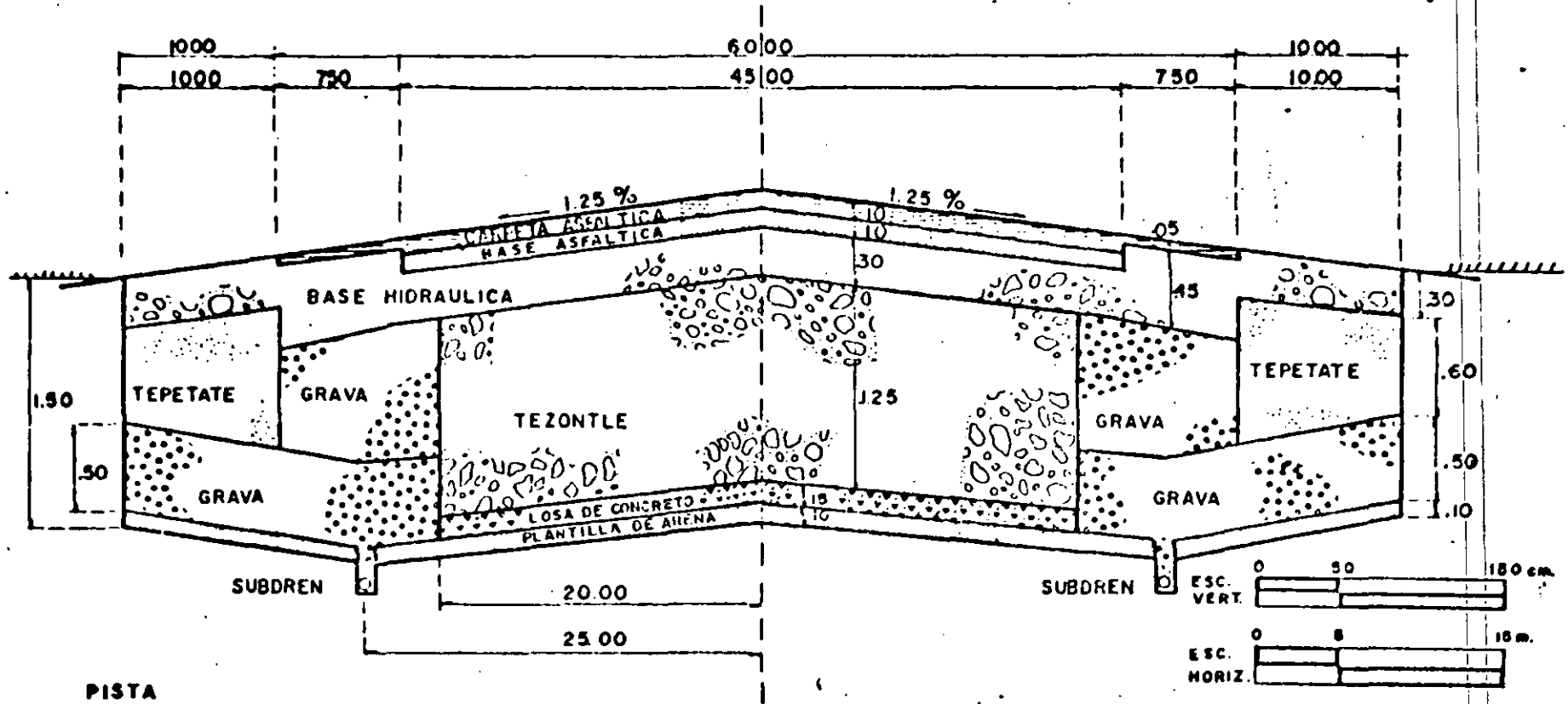
Resultados de las ampliaciones de los pavimentos en las pistas, nuevos rodajes, al conocimiento y experiencia de este tipo de suelo y su reacción cuando el ingeniero lo altera, han comprobado que para soportar las cargas actuales, el número de operaciones existentes, controlar los asentamientos diferenciales, drenaje y al tipo de mantenimiento menor y mayor, definitivamente la decisión de construir con pavimento flexible es la adecuada en el Aeropuerto Internacional de la -- Ciudad de México, por lo que se vé claramente cómo un sólo factor influye prioritariamente en la decisión de proyectar un pavimento rígido o flexible.

Si sobre un terreno natural con capacidad de soporte pobre y cuyos -- componentes son materiales altamente reactivos (por ejemplo arcillas - expansivas) se coloca una losa de concreto rígida muy resistente, el - comportamiento del suelo al modificarse sus condiciones naturales, puede llegar a deteriorar el pavimento aceleradamente, como es el caso de la pista en el Aeropuerto de Guadalajara, Jal. Este último caso así como el del AICM, también demuestran que en ciertos casos es mejor adaptarse al terreno natural con un pavimento flexible que dependiendo su - comportamiento podría controlarse con una construcción y mantenimiento por etapas o fases.



1981 Perfiles de la Estructura del Pavimento de la pista 05I-23D del
Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

SECCION COMPENSADA A.I.C.M.



FINANCIAMIENTO.-

En el caso de financiar la obra por ejecutar con fondos gubernamentales que provienen de ingresos directos del gobierno redistribuidos según necesidades, la dependencia encargada de la obra estimará y -- definirá el tipo de pavimento adecuado a proyectar y construir, no -- siendo determinante este factor de financiamiento.

En el caso de ser un financiamiento externo (por ejemplo Banco Mundial, BID, etc.) la agencia proveedora del dinero en todos los casos dicta normas y medidas a seguir, checando detalladamente la obra que se pretende realizar y en algunos casos pudieran ser determinantes -- sus sugerencias o indicaciones a seguir en el proyecto.

Esto pudiera influir en el criterio de decisión de pavimentos rígidos, flexibles o combinados. Tal sería el caso de un financiamiento externo en el que se aprobara originalmente un diseño de pavimento rígido aunado a costos iniciales mayores; dependiendo las tasas de interés del préstamo otorgado, el factor de decisión "financiamiento" puede influir en los costos a largo plazo y determinar que fuera más conveniente erogar una inversión inicial menor como lo es el pavimento flexible.

COSTOS.-

En nuestro país el criterio de selección en función del costo ha obedecido generalmente al presupuesto inicial disponible de la entidad -- federativa, estatal o inversionista particular, y debido a los escasos recursos de que se dispone para estas obras de infraestructura, -- los pavimentos de aeropuertos usualmente fueron diseñados y construídos con concreto asfáltico.

considerando que el pavimento de tipo flexible requiere de un mantenimiento mayor y más frecuente como son los sellos, las sobrecarpetas

y en ciertos casos su rehabilitación ó reconstrucción parcial/total, es tiempo de cambiar radicalmente el criterio y pensar que lo "barato" resulta caro a largo plazo. Sin embargo este criterio no debiera ser mandatorio en ciertas regiones de nuestro país debido a los tipos de suelo, pues hay otros factores que en forma aislada o en interacción con otros pudieran hacer que el factor de decisión "costo" no sea el mandatorio.

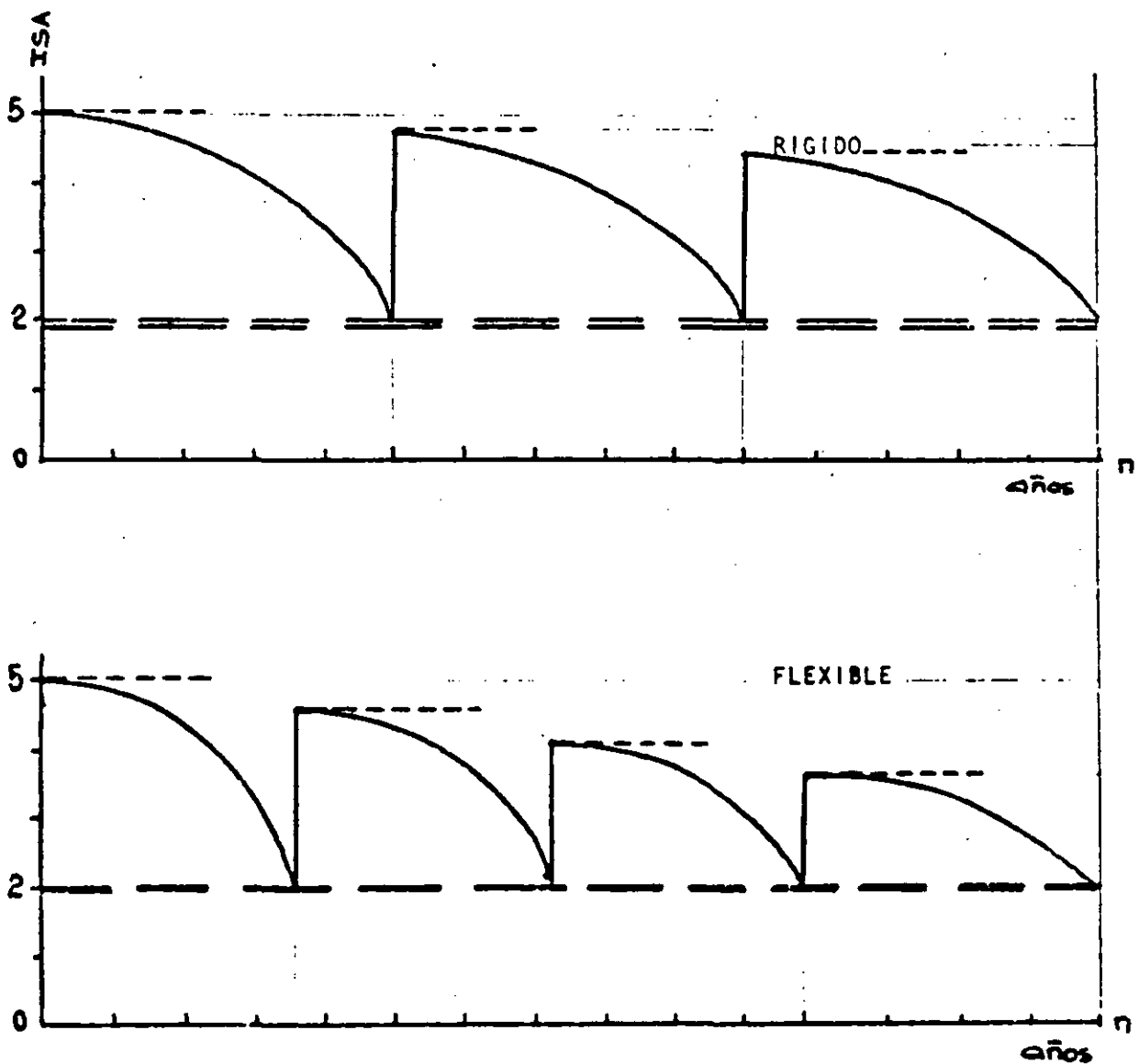
No siempre resulta costeable a largo plazo lo que aparente o inicialmente es más económico. Con la ayuda de la Ingeniería de Sistemas y los diversos programas para computadoras existentes para el diseño de pavimentos rígidos, flexibles, revestidos o de terracerías para aeropuertos, existen programas que demuestran claramente que los pavimentos con superficie revestida o de terracerías son más costosos que los de pavimento flexible, considerando los mismos datos de entrada al programa y por supuesto los mismos valores numéricos de las variables significantes.

El ahorro en costo a largo plazo al construir con concreto asfáltico es del orden del 13% para dos capas y del 6% para una capa, por lo que claramente se ve que para esas condiciones iniciales de proyecto, resulta más económico construir desde un principio el pavimento flexible en vez de un revestido.

La misma idea descrita en los párrafos anteriores pudiera aplicarse entre los pavimentos rígidos de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles, puesto que a lo largo de la vida útil del pavimento (por ejemplo 20 años) y debido al mantenimiento más frecuente y al alto costo en esta época, aunque el rígido fuera más caro inicialmente, a largo plazo resultaría más económico.

VIDA UTIL.-

El factor de vida útil para la decisión de un pavimento rígido o flexible teóricamente no debiera ser determinante puesto que un pavimento rígido o flexible bien diseñado, bien construido y cumpliendo especificaciones totalmente, no debiera presentar problemas ni reducciones a lo largo de su servicio en vida útil. Sin embargo, se ha observado en algunos casos que aunque el proyecto fue adecuado, su índice de servicio actual y terminal es menor en el caso de pavimentos flexibles que en el caso de pavimentos rígidos.



El factor de mantenimiento es de vital importancia en los factores de selección. Estrictamente todo pavimento cualesquiera que sea su clase o categoría requiere forzosamente de mantenimientos preventivos y correctivos con el objeto de alcanzar su vida útil proporcionando un servicio adecuado y seguro. En el caso de aeropuertos, los pavimentos siempre deberán estar en condiciones excelentes para garantizar la segura operación de las aeronaves que soportan.

En los pavimentos rígidos o flexibles, cuando es llevado a cabo el mantenimiento preventivo o menor en los períodos prefijados desde el proyecto y en base a evaluaciones del pavimento rutinarias, se ayudará a evitar mantenimientos mayores como son rehabilitaciones o reconstrucciones.

En base a los tipos de mantenimiento menores y mayores existentes en nuestro medio para pavimentos de aeropuertos en pistas, rodajes y plataformas, se estima que el mantenimiento de un pavimento rígido a lo largo de su vida útil es menor y resulta menos costoso que el de un pavimento flexible, por lo que este factor refuerza lo analizado en costos y pudiera ser determinante en la preferencia de un pavimento rígido contra un pavimento del tipo flexible.

Por otro lado según se observa en tablas anexas a esta ponencia, el mantenimiento de un pavimento flexible es mayor y consta de 18 conceptos fundamentales a realizar en contra de 12 para rígidos.

Cabe mencionar que existen pavimentos de concreto hidráulico reforzado continuo (sin juntas) CRCP, cuyos diseñadores garantizan como pavimentos óptimos y cero ("0") mantenimiento a lo largo de su vida útil, excepto mantenimiento menor como pudiera ser la pintura y señalización. Es obvio que este tipo de pavimento no requerirá de inversiones adicionales a través del tiempo por conceptos de conservación; sin embargo resulta ideal el diseñarlo y construirlo siempre que se contara con los fondos presupuestales suficientes o por la importancia, magnitud y operaciones del aeropuerto que así lo requirieran.



CONSERVACION DE PAVIMENTOS
RIGIDOS

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|---|--|---|
| - Desintegración del concreto. | - Materiales poco durables - Condiciones severas del clima - Ciclos de hielo - deshielo - Escaso o nulo aire incluido | - Demoler y reponer el pavimento defectuoso |
| Superficies con escamas o costuras. | - Colocación del concreto con exceso de agua. - Acabados excesivos de la superficie. - Impurezas en los agregados. - Utilización de productos químicos en la superficie. | - Parchar con mortero de cemento y resinas epóxicas u otro adhesivo. - Parchar con mezcla asfáltica. - Si no hay agujeros profundos, aplicar una o más capas de mortero asfáltico |
| Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas | - Infiltración de materiales no compresibles en la junta - Impedimento de movimiento de las juntas. - Concreto poco resistente. - Manejo inadecuado de las cimbras durante la construcción. | - Eliminar previamente la causa. - Hacer cajón y reponer el concreto; utilizar resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado. - Sellar la junta. - Solución alterna: parchar con concreto asfáltico. - Solución alterna: parchar con insertos prefabricados fijados con adhesivo epóxico. |
| Defectos en la superficie: - Surcos - Lavaderos - Ranuras - Ondulaciones - Baños de pájaros. | Control pobre durante la colocación del concreto. | Para defectos muy localizados parchar individualmente con mortero de cemento y resinas epóxicas, o con mezcla asfáltica. - Para áreas defectuosas muy extensas, repavimentar. |
| Grietas longitudinales y transversales. | - Contracción por cambios de temperatura. - Contracción de fraguado. - Alabeos - Movimiento en la cimentación - Falla de estructura. | - Sellar la grieta con material flexible. - O soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros eliminando previamente la causa del problema. - Demoler y sustituir la grieta por una junta. |
| Grietas en esquinas y en diagonal. | - Falla estructural debida a las cargas sobre esquinas o aristas de apoyo. | Si la grieta forma un pequeño triángulo en la esquina de la losa: - Remover el material dañado y parchar con concreto asfáltico. Sellar la junta. - O remover el material dañado y parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, si se ha eliminado la causa del problema. Si la grieta está mas al centro de la losa: - Sellar la grieta con material flexible para evitar infiltraciones. - Soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, eliminando previamente la causa del problema. |



R E S U M E N

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|---|--|---|
| hundimientos diferenciales. Agrietamientos con hundimientos. | <ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad de la subbase y subrasante - Inadecuada transferencia de cargas entre losas. - "Bombeo" de los materiales de cimentación. - Subdrenaje defectuoso. - Progresión de otras fallas. | <ul style="list-style-type: none"> - Levantar las losas hundidas mediante la inyección de estalito con arena o de mortero de cemento. Sellar previamente las juntas o grietas hasta la mitad. - Nivelar el pavimento aplicando una capa de concreto hidráulico y resinas epóxicas, o aplicando concreto asfáltico. - Si los hundimientos van acompañados de agrietamientos considerables, demoler las losas, hacer cara y parchar con concreto hidráulico. Utilizar fierro de refuerzo y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado. - Si el área fallada es muy extensa repavimentar utilizando el pavimento viejo como base. |
| Losas que se "botan" | <ul style="list-style-type: none"> - Excesiva expansión de las losas - Material no compresible en las juntas, que impide que las losas se expandan. | <ul style="list-style-type: none"> - Renovar la parte dañada. - Parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, o parchar con concreto asfáltico. - Proveer una junta de expansión - Sellar la junta. |
| Cortes en el pavimento. | Necesidad de tender una tubería, una obra de drenaje, ductos eléctricos, o alguna otra instalación. | <ul style="list-style-type: none"> - Cortar la losa al menos 15 cm mas allá de la orilla de la zanja. - Excavar la zanja con cuidado. - Rellenar en capas perfectamente compactadas. - Parchar con concreto hidráulico en el espesor de la losa mas 5 cm, hasta abajo. - Utilizar fierro de refuerzo y adhesivo a base de resinas epóxicas u otro producto adecuado. |
| Juntas o grietas sin sellar. | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de limpieza de las caras de las juntas al sellarlas originalmente. - Temperatura indebida al aplicar el sello. - Calidad inadecuada del material de sellado. - Aparición de nuevas grietas. | <ul style="list-style-type: none"> - Quitar el material de sello defectuoso. - Limpiar las juntas y sellar debidamente. - Si aflora material sellante cuando la temperatura ambiente no es muy alta, eliminar el excedente. |
| Acumulación de caucho en la superficie que origina - se reduzca el coeficiente de rozamiento. | - Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista. | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al ranurado transversal y o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción. - Solución alternativa: eliminar el caucho con productos químicos y/o agua a presión (no muy recomendable) |
| Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones | <ul style="list-style-type: none"> - Poco control durante la construcción. - Equipo inadecuado para el colado. - Fallas del pavimento. | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alternativa: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución mas costosa). |

NOTA: Se recomienda que en todos los casos, los procedimientos de construcción, utilización y elaboración de materiales, se sujeten a las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.



CONSERVACION DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES. |
|-------------------------------------|---|---|
| Erosión del Pavimento. | <ul style="list-style-type: none"> - El chorro de las turbinas; - El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad; y/o - Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por: <ul style="list-style-type: none"> - elaboración defectuosa del concreto asfáltico; - agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto. - efectos circunstanciales (p.ej. derrame de combustibles y lubricantes) | <ul style="list-style-type: none"> - Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello. - Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache. - Cuando se presenten derrames de combustibles, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo) |
| Disgregación o desmoronamiento. | <ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente compactación durante la construcción. - Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío. - Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto. - Falta de asfalto en la mezcla; y/o - Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica. | <ul style="list-style-type: none"> - Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. - Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar |
| Agujeros | <ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: <ul style="list-style-type: none"> - Falta de asfalto en la mezcla - Falta de espesor de carpeta - Exceso o carencia de lino en la mezcla, y/o - Drenaje deficiente. | <ul style="list-style-type: none"> - Reparación temporal: Limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. - Reparación permanente: Efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar |
| Sangrado o Afloramiento de Asfalto. | <ul style="list-style-type: none"> - Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. - Construcción inadecuada del sello - Riego de liga o de impregnación - excesivos. - Solventes que acarreen el asfalto a la superficie. - El paso de las cargas del tráfico pesado puede acelerar el sangrado. | <ul style="list-style-type: none"> - Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (Mortero asfáltico) |
| Oxidación del Asfalto | <ul style="list-style-type: none"> - Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y, por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas. | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico. - O aplicar un producto rejuvenecedor ("Reclamante") |
| Corrimientos de la Carpeta | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a: <ul style="list-style-type: none"> - Impurezas situadas entre las dos capas (Polvo, aceite, caucho, - agua) - Falta de riego de liga durante la construcción del pavimento. - Exceso del contenido de arena en la mezcla. - Inadecuada compactación durante la construcción. | <ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales. - Limpiar con cepillo y aire a presión. - Aplicar riego de liga ligero. - Colocar la mezcla asfáltica; extender con rulo para evitar segregación. - Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico. |



RESUMEN

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|--|---|---|
| Corrimientos Circulares. | <ul style="list-style-type: none"> - Una de las juntas muy cerradas - Poca capacidad del pavimento, para resistir esfuerzos de tensión. | <ul style="list-style-type: none"> - Sellar la grieta si no es muy profunda. - Abrir caja y reponer el material si la falla se prolonga hasta las capas inferiores del pavimento. |
| Corrugaciones | <ul style="list-style-type: none"> - Cargas del tráfico y - Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: <ul style="list-style-type: none"> - exceso de asfalto en la mezcla. - exceso de agregados finos. - agregados pétreos demasiado redondeados o lisos. - cemento asfáltico demasiado blando. - humedad excesiva - contaminación por derrame de aceites. - falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos reblandidos) | <ul style="list-style-type: none"> - Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico. - Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado - Si hay subdrenaje defectuoso, este debe ser corregido previamente. |
| Hundimientos o Depresiones | <ul style="list-style-type: none"> - Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. - Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. - Asentamientos del terreno de cimentación - Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos). | <ul style="list-style-type: none"> - Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una nivelación. - Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. - Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla. |
| Canalizaciones. | <ul style="list-style-type: none"> - Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocada (o) por el tráfico. - Carpetas nuevas mal compactadas. - Baja estabilidad del concreto. | <ul style="list-style-type: none"> - Nivelar las depresiones y - Colocar una sobrecarpeta |
| Grietas longitudinales de orilla y de junta. | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de soporte lateral o - Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> - Drenaje defectuoso - Acción de las heladas. - Contracciones por secado del suelo de cimentación. - Vegetación cercana a la orilla del pavimento. - Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta. | <ul style="list-style-type: none"> - Corregir el drenaje si está defectuoso. - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. |
| Grietas Transversales | <ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos asistidos de la superficie, base o subbase (p.ej. cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos). - Movimientos mas generales y mas amplios del suelo de cimentación (p.ej. grietas por acción de suelos arcillosos; grietas por movimientos tectónicos; grietas por fallas geológicas activas) | <ul style="list-style-type: none"> - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. - Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente. - Si la falla es debida a movimientos generales del suelo, se puede intentar reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero de refuerzo sobre la zona afectada. |



RESUMEN

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|---|--|---|
| Grietas de Contracción. | <ul style="list-style-type: none"> - Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. - Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. - La falta de tráfico apresura la falla. - Diferentes colores de la superficie del pavimento (p.e., marcas de pintura) que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol. | <ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. - Si existe pintura, raspar previamente. |
| Grietas de Reflexión. | <ul style="list-style-type: none"> - Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta. - Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones. - El paso del tráfico. - Movimientos de tierra. - Pérdida de humedad en subsiguiente con alto contenido de arcillas. | <ul style="list-style-type: none"> - Rellenar las grietas. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Agrietamientos tipo piel de cocodrilo. - Agrietamientos tipo mapa. | <ul style="list-style-type: none"> - Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, sub-base y/o base inestables o resilientes. | <ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales; - Instalar sub-drenaje si la causa de la falla fué el agua; - Aplicar un riego de impregnación a las paredes; - Rellenar con mezcla asfáltica; - Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene mas de 15 cm. de profundidad) - Reparación temporal de emergencia: aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos; rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica. |
| Crecimiento de yerba y afloramiento de agua. | <ul style="list-style-type: none"> - Textura de la carpeta demasiado abierta. - Capa base saturada de agua. - Agua atrapada en la carpeta durante la construcción | <ul style="list-style-type: none"> - Corregir el sub-drenaje y/o el drenaje si estos fueron la causa de la falla. - Reponer el pavimento alterado. - Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta. |



RESUMEN

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|--|---|---|
| Acumulación de caucho en la superficie. | <ul style="list-style-type: none">- Numero considerable de operaciones de aterrizaje en la pista. | <ul style="list-style-type: none">- Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado.- Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción. |
| Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones. | <ul style="list-style-type: none">- Poco control durante la construcción.- Equipo inadecuado para el tendido.- Fallas del pavimento | <ul style="list-style-type: none">- Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado.- Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo.- Solución alterna: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución mas costosa). |
| | | |

FACTORES REGIONALES.-

El factor regional del lugar donde se pretende construir un aeropuerto puede influir aisladamente o en conjunto con otros para la decisión en la selección. En México generalmente no se tiene mucho problema con climas extremosos o lugares que estén sujetos a fuertes variaciones naturales. Dependiendo de las temperaturas existentes en la región, agentes naturales como pudieran ser precipitaciones pluviales, nevadas, temperaturas muy altas o muy bajas, es muy conveniente analizar en los estudios preliminares la susceptibilidad que podrían tener los dos tipos comunes de pavimentos para así determinar la factibilidad y conveniencia de emplear unos u otros materiales, lo que repercutiría favorablemente en la selección final de un pavimento rígido o flexible.

Existen regiones en el país con poca variabilidad en agentes climáticos y en temperaturas por lo que resulta indistinto el decidir entre pavimento rígido o flexible, de esta manera no interviniendo en forma prioritaria este factor en la selección final.

AGENTES CONTAMINANTES.-

Este factor influye determinadamente en casos donde se prevea que -- existirá algún tipo de contaminación o agente directo sobre la superficie de rodamiento. En el caso de aeropuertos, se ha comprobado que el derrame de combustibles producido en las diversas posiciones de las -- plataformas de operación por las aeronaves en carga o descarga, deterioran aceleradamente cualquier pavimento, presentando mucha mayor resistencia a este agente contaminante el pavimento de concreto hidráulico.

Por otro lado se ha observado en la época actual de aeronaves propulsadas con turbina a reacción, que el efecto del chorro del jet por la fuerza y combustión a alta presión de las turbinas en el momento del

despegue cuando el avión inicia su ascenso, deteriora considerablemente el pavimento flexible, por el calentamiento del componente asfáltico de la mezcla de la carpeta. En el caso de prever un alto número de operaciones con este tipo de equipo de vuelo, resulta conveniente inclinarse por un pavimento del tipo rígido en la franja central de tránsito canalizado de la pista, combinado con franjas laterales de pavimento flexible.

Este factor y efecto sobre el pavimento es de mayor relevancia en las aeronaves de guerra cuyo centro de gravedad es muy bajo.

Finalmente, es común detectar erosión en el pavimento por la vegetación en los acotamientos de la pista, rodaje y plataformas de operación. Esto es debido a una mala conservación y en donde la vegetación adyacente materialmente carcome el pavimento flexible. En otras palabras, pudiera pensarse que el asfalto y los agregados que componen un pavimento actúan como fertilizantes de los pastizales y vegetación adyacente, no observándose ese tipo de efecto en pavimentos hidráulicos.

USO / OPERACION.-

El uso que pretenda darse al aeropuerto en estudio influirá de manera determinante en la decisión para seleccionar los pavimentos del tipo rígido o flexible. Esto está ligado directamente con las aeronaves esperadas, sus cargas, diseño del tren de aterrizaje, etc. y también con el tipo de operación prevista.

En nuestro país debido a la interacción de varios factores y particularmente al factor en estudio, se ha optado por utilizar pistas revestidas o de terracerías para pequeños aeropuertos rurales. Para aviación general de peso ligero, dependiendo del número de operaciones se han proyectado y construido pavimentos flexibles de diseño simple, en muchos casos sólo tendiendo un sello sobre la carpeta de base o car-

petas asfálticas de pequeños espesores. Para la aviación comercial - en general, se ha optado por el tipo flexible en los pavimentos de - pistas, rodajes y plataformas, llegándose a combinar el rígido con - el flexible en ciertos casos en donde por el número de operaciones y el peso de las aeronaves conviene utilizar pavimento rígido en la -- franja de tránsito canalizado y flexible en las laterales, lo cual - ha probado ser una solución aceptada y funcional para ciertos aero-- puertos mexicanos.

Generalmente en aeropuertos militares se prefiere el concreto hidráu- lico, dada la mayor resistencia que tiene éste en cuanto a aeronaves pesadas, transportes de equipo pesado o aeronaves tipo jet cuyas pre- siones de inflado en las llantas sobre la superficie del pavimento - llegan a ser hasta de 400 Lb/Pulg.², función de soporte que cumple - más adecuadamente la losa de concreto hidráulico rígido contra fuer- tes espesores y múltiples capas que requeriría un pavimento flexible en esas condiciones. El efecto de chorro de las turbinas de los cazas de guerra dado lo bajo de los centros de gravedad de las aeronaves al momento del despegue e inicio del ascenso, es mucho mayor así como su efecto sobre el pavimento que las aeronaves comerciales.

LIMITACIONES DE CONSTRUCCION.-

Las limitaciones que se determinen durante los estudios tendientes al proyecto final del aeropuerto y en especial de sus pavimentos, son - determinantes en algunos casos y en otros al conjugarse con otros fac- tores en la selección de un pavimento rígido o flexible.

Dentro de las limitantes más comunes se pueden mencionar la carencia o existencia de bancos de ciertos materiales que componen las estruc- turas de un pavimento rígido o flexible. Dependiendo del tipo de mate- rial a utilizar y las distancias de acarreo junto con su disponibili- dad, se afectan directamente los costos globales. La disponibilidad - de maquinaria y de refacciones para las plantas de aprovisionamiento,

influirán también aunque sea en forma secundaria en los criterios de decisión. Sin embargo se recomienda el considerar este factor en cuestión para la selección final del diseño.

SEGURIDAD.-

El factor seguridad para la decisión en la selección es de vital importancia en las operaciones aeroportuarias, por lo que existen organismos internacionales que emiten especificaciones sumamente estrictas en cuanto a diseños y construcción de los aeropuertos. Esto incluye normas y recomendaciones adicionales para los pavimentos, en cuyo caso al cumplir y apearse estrictamente a las especificaciones en cuestión, en ocasiones este factor "seguridad" podrá actuar aisladamente o en interacción con otros factores para tomar la decisión final.

CONFORT.-

El factor de confort para decisión en la selección de un pavimento se considera como secundario en cuanto a prioridad. Ondulaciones o deformaciones en los pavimentos flexibles o los casos de pavimentos mal conservados, por ejemplo en las juntas elásticas de un pavimento rígido, provocarían el acceso de agua superficial hacia las capas inferiores, erosionando o socavando el material de la base, produciendo oquedades que redundarían en una falta de soporte uniforme de la losa provocando asentamientos diferenciales entre losas o fracturas en las esquinas, que repercuten en vibraciones excesivas del aeronave en sus operaciones de despegue o aterrizaje, llegándose a dar en ciertos casos fatiga estructural en el metal, vibraciones en los instrumentos del panel de control y definitivamente disconfort en los pasajeros de las aeronaves comerciales.

Analizando este factor de decisión pudieran sugerirse para pistas y rodajes el empleo de pavimentos flexibles o de concreto reforzado continuo sin juntas.

EXPANSION DEL SISTEMA.-

Los planes maestros que se elaboran para un aeropuerto frecuentemente consideran diversas etapas de construcción con expansiones del sistema a corto, mediano y largo plazo. Dentro de las consideraciones y objetivos del plan maestro se analizan en detalle las demandas pasadas, actuales y futuras, que influirán directamente y en forma determinante en los factores de decisión para la selección inicial de los pavimentos en un aeropuerto nuevo.

En algunos casos debido a la demanda e incremento en las cargas de aeronaves en uso o por llegar, se considerará un cambio de categoría del aeropuerto actual, obligando ésto a utilizar diferentes aviones críticos para el diseño de los pavimentos, lo que repercutiría en los factores de decisión que en forma aislada o en combinación con las funciones de otros factores, influirán en los criterios de selección finales.

Es conveniente que al realizar el plan maestro de un nuevo aeropuerto o de ampliaciones en los existentes, se determine cuidadosamente la utilización de un pavimento rígido o flexible, pues de lo contrario se llegaría a cambios radicales de convertir un pavimento rígido en un flexible y viceversa, lo que se conoce por pavimentos mixtos en el sentido vertical.

MATERIALES.-

El factor de decisión "materiales" es similar y está condicionado a las funciones descritas en el factor limitaciones de construcción, pudiéndose agregar que dependiendo también de los estudios iniciales sobre los materiales existentes, su clasificación y sus características particulares de cada uno de ellos, influyen en mayor o menor escala en la decisión para la selección de un pavimento rígido o flexible en aeropuertos.

También debe considerarse el "envejecimiento" de los materiales componentes del pavimento, en especial los de la superficie de rodamiento y en ciertos casos la contaminación de los materiales en bases y sub-bases.

El pavimento flexible usualmente está más expuesto al envejecimiento que el rígido y los efectos de repeticiones de cargas en el flexible deterioran con el tiempo más aceleradamente los materiales componentes.

* * * *

CONCLUSIONES.-

Definitivamente se debe de cambiar la mentalidad del ingeniero diseñador actual, en cuanto a fases previas a la realización del proyecto.

El análisis detallado de los factores tratados en esta ponencia, repercutirá en diseños óptimos, que a mediano y largo plazo redundan en economía de los costos y en extensión de la vida útil del pavimento, proporcionando un servicio y seguridad máximos.

La decisión entre un pavimento flexible, un rígido o un mixto, generalmente ha funcionado adecuadamente en la mayoría de los aeropuertos

mexicanos. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de establecer estos criterios como parte fundamental del Análisis del Sistema de Pavimentos y en su momento oportuno para la continuidad óptima del flujo en el Sistema.

Se reconoce la decisión de un sólo factor como mandatorio en ciertos casos, sugiriéndose la revisión adicional de los otros y sus prioridades así como su posible interacción entre ellos, para así evaluar en forma objetiva el sistema más funcional.

Analizando el conjunto de factores para la decisión entre los dos tipos de pavimentos, se observa en general para los aeropuertos una mayor conveniencia en utilizar los del tipo rígido. Sin embargo habrá casos donde el mixto sea el óptimo y por último situaciones especiales donde el flexible sea el adecuado.

*



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

MATERIALES DE RECICLAJE PARA CARRETERAS

ING. RAFAEL LIMON LIMON

MATERIALES DE RECICLAJE PARA
CARRETERAS

INVESTIGACION PATROCINADA POR LA ASOCIACION
AMERICANA DE FUNCIONARIOS DE TRANSPORTACION
Y CARRETERAS ESTATALES EN COOPERACION CON
LA ADMINISTRACION FEDERAL DE CARRETERAS

AREAS DE INTERES :

DISEÑO DE PAVIMENTO
MATERIALES Y MEZCLAS BITUMINOSOS
CONSTRUCCION
MANTENIMIENTO GENERAL

JUNTA DE INVESTIGACION DE TRANSPORTE
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACION
WASHINGTON, D.C.

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION COOPERATIVA DE CARRETERAS

La investigación sistemática, bien diseñada provee el acercamiento más efectivo a la solución de muchos problemas que encaran ingenieros y administradores de carreteras.

A menudo, los problemas de carreteras son de interés local y pueden ser mejor estudiados por departamentos de carreteras individualmente o en cooperación con las universidades estatales y otras entidades. De cualquier forma, el crecimiento acelerado de transportación por carretera da lugar a problemas cada día más complejos de gran interés para autoridades de carreteras. Estos problemas son mejor estudiados a través de un programa coordinado de investigación cooperativa.

En reconocimiento a estas necesidades, los administradores de carreteras de la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales iniciaron en 1962 un Programa Nacional Objetivo de Investigación de Carreteras empleando modernas técnicas científicas. Este programa está patrocinado en forma continua con fondos de los estados miembros participantes de la asociación y recibe completo apoyo y cooperación de la Administración Federal de Carreteras, del Departamento de Transportación de los Estados Unidos.

La Junta de Investigación de Transporte del Consejo Nacional de Investigación fue solicitada por la asociación para administrar el programa de investigación dada la reconocida objetividad de la junta y su entendimiento de modernas prácticas de investigación. La junta es singularmente la más apropiada, para el caso debido a que cuenta con la estructura de un extenso comité de autoridades en cualquier materia de transportación por carretera; que está en comunicación con dependencias gubernamentales a niveles local, estatal y federal, universidades e industria; que su relación con su organización matriz, la Academia Nacional de Ciencias, una institución privada no-lucrativa, es una seguridad de objetividad; que tiene un equipo de especialistas en asuntos de transportación por carretera de tiempo completo para un adecuado aprovechamiento de los resultados. El programa está desarrollado sobre la base de las necesidades de investigación identificadas por administradores en jefe de los departamentos de carreteras y transportación y por comités de AASHTO (AAFTCE Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales). Cada año, áreas específicas de las necesidades de investigación a ser incluidas en el programa, son propuestas a la academia y la junta por la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales. Los proyectos de investigación para satisfacer estas necesidades están definidos por la junta, y agencias de investigación, calificadas son seleccionadas de entre aquellas que hayan entregado proposiciones. La administración y supervisión de los contratos son responsabilidades de la academia y su junta de investigación de transporte.

Las necesidades de investigación sobre carreteras son muchas, y el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras puede hacer contribuciones significativas para la solución de problemas de interés mutuo a muchos grupos responsables. De cualquier forma, se tiene la intención de que éste programa complemente lejos de que sustituya o duplique, otros programas de investigación de carreteras.

Proyecto 20-5 FY *76 (Topico 8-01)
ISSN 0547-5570
ISBN 0- 09-02859-0
Tarjeta de Catálogo L.C. No.78-65955

Precio : \$ 5.60

ADVERTENCIA

El proyecto sujeto de este reporte fué una parte del Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras conducido por la Junta de Investigación de Transporte con la aprobación de la Junta Gobernante del Consejo Nacional de Investigación, actuando en nombre de la Academia Nacional de Ciencias. Tal aprobación refleja el juicio de la Junta Gobernante, de que el programa concerniente es de importancia nacional y apropiado con respecto a los propósitos y las fuentes del Consejo Nacional de Investigación.

Los miembros del comité técnico seleccionado para monitorear éste proyecto y revisar este reporte fueron escogidos por competencia reconocida escolarmente y con la debida consideración para el balance de disciplinas apropiadas al proyecto. Las opiniones y conclusiones expresadas o implicadas son las de la agencia que llevó a cabo la investigación.

Y, aunque han sido aceptadas como apropiadas por el comité técnico no son necesariamente de la Junta de Investigación de Transporte, el Consejo Nacional de Investigación, la Academia Nacional de Ciencias o los patrocinadores del programa. Cada reporte es revisado y procesado de acuerdo a procedimientos establecidos y monitoreados por el Comité Revisor de Reportes de la Academia Nacional de Ciencias. La distribución del reporte es aprobada por el Presidente de la Academia después de la complementación satisfactoria del proceso de revisión.

La Junta Nacional de Investigación es la principal agencia operativa de la Academia Nacional de Ciencias y de la Academia Nacional de Ingeniería, sirviendo al gobierno y otras organizaciones. La Junta de Investigación de Transporte evolucionó de la Junta de Investigación de Carreteras a sus 54 años de existencia. La JIT incorpora todas las antiguas actividades de la JIC y también desempeña funciones adicionales con un alcance mas amplio involucrando todos los medios de transporte y las interacciones de la transportación con la sociedad.

Los Reportes Publicados del

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION COOPERATIVA DE CARRETERAS

están disponibles en :

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
National Academy of Sciences
121 Constitution Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20418

PREFACIO

Existe una gran cantidad de información sobre casi todos los asuntos de interés para los administradores e ingenieros de carreteras. Mucha de ella ha resultado de investigaciones y mucha de aplicaciones exitosas de ideas de ingenieros al tratar con problemas de su trabajo diario. Debido a la falta de medios sistemáticos para reunir esta valiosa información y ponerla a disposición de toda la fraternidad relacionada con carreteras, la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales ha autorizado a la Junta de Investigación de Transporte a través del mecanismo del Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras, a emprender un proyecto continuo para recavar y sintetizar la información útil de todas las fuentes posibles y para preparar reportes documentados sobre las prácticas comunes en las áreas sujetas de interés.

Esta serie de síntesis intenta reportar sobre las diversas prácticas usualmente encontradas en manuales, incluidos los de diseño.

Cada uno de estos documentos es un compendio de la mejor información disponible sobre aquellas medidas identificadas como más exitosas para la solución de problemas específicos. El grado en que se han utilizado los documentos en esta forma dependerá lógicamente del conocimiento del usuario en las áreas específicas donde se localiza el problema.

PREAMBULO, por el staff de la Junta de Investigación de Transporte

Esta síntesis será de especial interés y utilidad para ingenieros en proyecto, tecnólogos en materiales y otros que busquen información sobre el uso potencial de materiales reciclados para diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos, bases y otros componentes del sistema de carreteras. Información detallada es presentada en la parte de reciclaje de pavimento.

Administradores, ingenieros e investigadores afrontan continuamente muchos problemas de carreteras sobre los cuales ya existe información ya sea en forma documentada o en términos de experiencias y prácticas no documentadas. Desafortunadamente esta información a menudo se encuentra fragmentada, esparcida y sin evaluar. Como consecuencia frecuentemente no es posible utilizar la información completa sobre la cual se ha aprendido acerca de un problema para buscar su solución cuando se vuelve a presentar. Paralelamente, resultados de investigaciones costosas pueden no utilizarse, experiencias valiosas pueden pasar por alto y una debida consideración puede no darse a prácticas recomendadas para la solución o atenuamiento del problema. En un esfuerzo por corregir esta situación, un continuo proyecto PNICC a ser trabajado por la Junta de Investigación de Transporte, tiene como objetivo el sintetizar y reportar los problemas comunes en carreteras. Las síntesis derivadas de este esfuerzo constituye una serie de reportes PNICC que recoge y reúne las varias formas de información en documentos concisos individuales relativos a problemas específicos de carreteras o a grupos de problemas íntimamente relacionados.

~~Ha habido un creciente interes y actividad en el área de materiales de reciclaje para pavimentos, bases y otros componentes de carreteras. Esto ha sido ocasionado por la conciencia de la necesidad de ahorrar energía, recursos naturales, fondos y de reducir problemas de disposición de desechos. Este reporte de la Junta de Investigación de Transporte revisa conceptos y experiencias de campo para la aplicación de materiales de reciclaje en carreteras. Se hace un énfasis primario en pavimentos pero, experiencias con el reciclaje de otros materiales, tales como componentes de guardacaminos y señalizaciones también son revisadas. Asimismo, se identificaron las necesidades de investigación y desarrollo para el mejoramiento del reciclaje.~~

Para desarrollar esta síntesis de una manera comprensiva y para asegurar la inclusión de conocimientos relevantes, la Junta analizó la información disponible reunida de numerosas fuentes incluyendo un gran número de departamentos estatales de carreteras y transportación. Un prominente panel de expertos en la materia fué establecido para guiar a los investigadores en la organización y evaluación de los datos recabados y para revisar el reporte final de la síntesis. Esta síntesis es un documento de utilidad inmediata que registra prácticas que fueron aceptables dentro de las limitaciones de la información disponible al momento de su preparación. A medida que el proceso de avance continúe, se puede esperar que nuevos conocimientos se agreguen a los ya existentes.

CONTENIDO

1 SUMARIO

PARTE I

3 CAPITULO UNO - Introducción

6 CAPITULO DOS - Reciclaje de materiales de pavimento

9 CAPITULO TRES - Reciclaje de superficie

Calentamiento - Nivelado

Calentamiento - Escarificado

Remoción en Caliente

Nivelado en Frío

Remoción en Frío

Comparación de Alternativas

19 CAPITULO CUATRO - Reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo

Actividades de mantenimiento

La experiencia de Florida

La experiencia de Michigan

La experiencia de Nevada

La experiencia de Texas

Midwest Asphalt Paving Corporation (Corporación Midwest de Pavimentación con Asfalto)

Independent Construction Company (Compañía Independiente de Construcción)

Bell & Flynn, Inc.

Equipo Pettibone

Comparación de alternativas

26 CAPITULO CINCO - Reciclaje en planta central

Técnicas de reciclaje en planta central

Reciclaje en planta central de materiales tratados con cemento

Reciclaje en planta central de materiales tratados con asfalto

Modificadores de reciclaje

El exitoso reciclaje por calentamiento en planta central

Otras dos categorizaciones

41 CAPITULO SEIS - Reciclaje de otros materiales

Otros materiales de carreteras

Materiales no relativos a carreteras

44 CAPITULO SIETE - Investigación y Conclusiones

Necesidades de investigación

Conclusiones

47 REFERENCIAS

PARTE II

49 APENDICE A - Lista parcial de fabricantes y contratistas de equipo de reciclaje

52 APENDICE B - Lista parcial de modificadores para reciclaje de mezclas de a--
gregado asfáltico

RECONOCIMIENTOS

Esta síntesis fué elaborada por la Junta de Investigación de Transporte bajo la supervisión de Paul E. Irick, Asistente del Director para Proyectos Especiales. Los investigadores principales y responsables de la conducción de la síntesis - fueron Thomas L. Copas y Herbert A. Pennock, Ingenieros de proyectos especia---les. Esta síntesis fué editada por Gay I. Leslie.

Se hace un especial reconocimiento a Jon A. Epps, Ingeniero Asociado en Investi gación del Instituto de Transportación de Texas, quien fuera responsable de la- recabación de datos y preparación del reporte.

Una valiosa asistencia en la preparación de esta síntesis fué proporcionada por el Alto Panel, consistente de A. G. Calvert de la Oficina de Materiales del De- partamento de Transportación de Iowa; A. Jackson, propietario, Jim Jackson, con tratista, de Little Rock, Ark.; Robert H. Joubert, Ingeniero de Distrito en el- Instituto del Asfalto; C. C. Leigh, Ingeniero de mantenimiento del Departamento de Carreteras y Transpoortación de Virginia; Richard A. McComb, Ingeniero en in vestigación de carreteras de la Oficina de Investigación, Administración Fedral de Carreteras; John J. Schultz, Ingeniero en carreteras de la Oficina de Opera- ciones de Carreteras, Administración Federal de Carreteras.

Eob H. Welch, Ingeniero asociado en materiales y construcción de la Junta de In vestigación de Transporte asistido por el staff de Proyectos Especiales y el Al to Panel.

La información sobre prácticas de actualidad fué provista por muchas agencias - de carreteras, contratistas de reciclaje, fabricantes de equipo y proveedores.- Su cooperación y asistencia fué muy útil.

MATERIALES DE RECICLAJE PARA CARRETERAS

Una solución para algunos de los problemas que afrontan los administradores de transportación es el reciclar materiales existentes para construcción, rehabilitación y mantenimiento. El reciclaje puede estabilizar costos, conservar recursos materiales escasos y reducir el monto de energía requerida. En los materiales de reciclaje están incluidos aquellos usados tanto en pavimentos rígidos como flexibles, guardacaminos, señas, postes indicadores y postes delineadores. La industria ha reciclado vidrio, aluminio, acero y papel durante años. Los materiales de carreteras también han sido reciclados desde hace algunos años. Los pavimentos y bases han sido reusados y subproductos industriales tales como escoria, ceniza muy fina y desechos de mina han sido utilizados en algunas áreas. De cualquier forma, recientemente, la importancia del reciclaje de materiales de carreteras se ha incrementado tremendamente.

El reciclaje de pavimento es usualmente categorizado por (a) el procedimiento usado, (b) el tipo de materiales y (c) el beneficio estructural a ser obtenido. La organización de esta síntesis está basada en el procedimiento del reciclaje. El apartado de Reciclaje de superficie trata de la reelaboración de una pulgada de pavimento. El de Reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo incluye el tema de la pulverización de más de una pulgada (25 mm.) así como el de remoldeo y compactación. En Reciclaje en planta central se enfoca el tema de la remoción de materiales de las carreteras, mezcla en una planta y colocación y compactación.

El apartado de Reciclaje de superficie es la forma más generalizada de reciclaje y ha sido muy usado para tratamiento de desmoronamiento de bordes, surcos, arrasado y corrugaciones. Algunas de las técnicas usadas para el reciclaje de superficie son: calentamiento-nivelado, calentamiento-escarificado, remoción en caliente, nivelado en frío y remoción en frío. El DDT (Departamento de Transporte) de Nueva York monitoreó la remoción de concreto asfáltico usando el calentamiento-nivelado, remoción en caliente y remoción en frío. De este trabajo resultaron interesantes los aspectos referentes a contaminación, ruido, penetración de profundidad y calor, propiedades físicas antes y después, resistencia al patinaje, cuota de producción, precisión de la profundidad y diferencia entre la vieja y la nueva superficie. La comparación de lo anterior es discutida en el Capítulo dos.

El reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo ha sido llevado a cabo en muchos estados usando bulldozers, compactadores vibratorios, rodillos, etc. para triturar pavimentos viejos. Ultimamente se han presentado refinamientos -- que incluyen una nueva tendencia a usar equipo pulverizador y técnicas de procesamiento como una trituradora móvil de martillo. Los estabilizadores tales como la cal, el cemento, el asfalto y otros químicos han sido utilizados. Una de las mayores ventajas del reciclaje en el lugar de trabajo es la habilidad para mejorar la capacidad de acarreo de pavimento con un mínimo de cambio en el corte de carretera. Las agencias estatales de transportación y contratistas han adquirido una considerable experiencia con el reciclaje en el lugar de trabajo.

El reciclaje de superficies de pavimento asfáltico data del año 1915; sin embargo, muy poca experimentación se hizo desde esa fecha hasta 1974. Recientemente, en forma experimental se han reciclado pavimentos de concreto de cemento portland para transformarlos en concreto de cemento portland.

Se estima que los procesos de reciclaje en planta central que usan calentamiento y estabilizador de cemento asfalto alcanzarán alrededor del 10 por ciento -- del mercado de mezclas a calor en 3 a 5 años. Asimismo, que se usará calentamiento a flama directa e indirecta.

Varios estados han completado de reciclaje que usaron ya sea concreto de cemento portland reprocesado o bien materiales bituminosos como agragado para base. En algunos casos, los materiales bituminosos y de concreto fueron reciclados en una solapación. El retiro de acero reforzado antes de que el material sea --

cinceles aéreos, grúas, bolas y equipo similar.

Los pavimentos bituminosos usualmente pueden ser demolidos por un escarifica---dor-nivelador o por un rompedor de caminos jalado por un bulldozer. Un demolido adicional puede hacerse con un compactador u otro equipo antes de que el mate---rial sea levantado y transportado a la estación central para triturado y mezcla do. Sin embargo, en muchos trabajos los viejos pavimentos fueron triturados en una planta central.

Se han reciclado cantidades significativas de guardacaminos y señalizaciones. - Algunas atarjeas, aceites lubricantes para motores y postes también han sido re ciclados o reusados. Otros subproductos disponibles o productos de desecho in---cluyen ceniza muy fina, azufre, desecho de minas, escorias, vidrio, llantas y - residuo de incinerador.

Otros hallazgos son:

*El reciclaje de pavimento y el uso de material de desecho pueden reducir las - necesidades de agregados en algunas áreas.

*El equipo especializado de pulverización es susceptible de ser utilizado para- operaciones de reciclaje en el lugar de trabajo.

*El reciclaje con calentamiento en planta central de concreto asfáltico ha sido logrado por procesos varios sin contaminación del aire.

Las futuras investigaciones deberán: estudiar la contaminación del aire asocia- da con el reciclaje de materiales de pavimento asfáltico, desarrollar pautas pa- ra la toma de decisiones relativas al reciclaje, desarrollar información sobre- costos y consumo de energía para las operaciones de reciclaje, estudiar las pro- piedades de las mezclas recicladas, desarrollar equipo nuevo o mejorado, probar- y evaluar agentes modificadores, desarrollar modificadores que reblandezcan el - asfalto, mejorar la resistencia al deterioramiento causado por el agua, definir requerimientos de control de calidad para la construcción del reciclaje y, fi---nalmente, establecer sólidos coeficientes para materiales reciclados sobre el - rendimiento del pavimento.

INTRODUCCION

14

La expansión, rehabilitación y mantenimiento de cualquier sistema de transporte depende de recursos fiscales para financiar el sistema; la tecnología para planear, diseñar, construir y mantener el mecanismo en una manera económica; suministros de agregados y aglomerantes; y equipo y recursos humanos con los cuales construir y mantener las instalaciones.

Las agencias locales, estatales y federales responsables de los medios de transporte se enfrentan a un número de problemas que incluye:

1. Una reducción de los fondos disponibles para medios de transporte causada -- por la inflación, descenso en la base del impuesto, descenso o nivelación del ingreso proveniente por impuesto de combustible, demanda fiscal de otros programas y otros factores.
2. Problemas de suministro de materiales ocasionados por la falta de fuentes de abastecimiento cercanas al lugar de su uso; inaccesibilidad causada por leyes zonificadoras; mayores distancias de acarreo y costos de transportación consecuente; estrictos códigos ambientales que limitan la producción en ciertas áreas y que requieren mayores gastos para la calidad del aire y agua, control de ruido y restauración de fósos y canteras; y el uso potencial de materiales de construcción para otros propósitos.
3. Problemas de disponibilidad de equipo originados por presupuestos reducidos, el alto costo de nuevo equipo y otros factores.
4. Problemas de mano de obra resultantes de estreñimientos fiscales en salarios que con frecuencia crean problemas también de deficiencia en operadores de equipo entrenados y empleados calificados orientados a la ingeniería; problemas laborales de administración; y la necesidad de incrementar la productividad para conseguir una operación rentable.
5. Problemas de energía asociados con la disponibilidad de combustible y su costo y la urgente necesidad de reducir el consumo de energía.

Debido a estos problemas y otros, existe una urgente necesidad de optimizar el uso de agregados, aglomerantes, equipo, mano de obra, energía y fondos desde -- los puntos de vista de planeación, diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento.

Una solución a alguno de los problemas de transportación referidos anteriormente es la reutilización o reciclaje de materiales existentes para construcción, rehabilitación y mantenimiento como propósitos. El reciclaje de materiales de pavimento (tales como concreto asfáltico y concreto de cemento portland), materiales de carreteras (tales como guardacaminos y señalizaciones) y materiales no pertenecientes a carreteras (tales como desechos industriales, minerales y domésticos) ofrece diversas ventajas sobre el uso de materiales convencionales. Entre los mayores beneficios están la conservación de agregados, conglomerados y energía y la preservación del medio ambiente y las existentes geometrías de las carreteras.

La conservación de agregados y conglomerados es importante. Aunque los Estados Unidos tiene una abundante provisión de materiales de reserva para la producción de agregados de calidad para el futuro previsible (1,2), la distribución de estos recursos no siempre coincide con el lugar donde se precisa su existencia. Así, ha sido necesario transportar agregados sobre largas distancias. Esto ha escalado el costo y la energía consumida en la construcción de sistemas de transporte. El reciclaje de agregado en el viejo pavimento y el uso de subproductos y productos de desecho para reconstrucción, rehabilitación o propósitos de mantenimiento disminuirán la demanda de agregado y engrandecería la existencia de agregados para la construcción en un momento en que sus fuentes (particularmente las cercanas a las áreas urbanas) están vaciándose debido a su gran uso, restricciones de minado, regulaciones de protección al medio ambiente y al

valor de los bienes inmuebles.

La conservación de conglomerados es otra importante ventaja lograda por el reciclaje. Por ejemplo, la pulverización y el reuso de concreto asfáltico normalmente requiere alrededor de 1 a 3 por ciento de asfalto adicional, en comparación con una mezcla de concreto asfáltico nuevo que requiere alrededor del 6 por ciento. El ahorro cercano a los diez galones de asfalto por tonelada (4 L/Mg) de concreto asfáltico producido puede contribuir al programa de conservación de combustible de la nación. El asfalto puede ser usado directamente como combustible para plantas de energía eléctrica, sistemas varios en refinerías, o puede ser transformado en otros hidrocarburos para uso en aviones, automóviles y fabricación de acero.

La conservación de metales es una práctica de algunos estados mediante el reciclado de guardacaminos, señalizaciones, postes delineadores y postes de señales. Ciertamente, otros artículos asociados con el control de tráfico pueden ser reciclados. Técnicamente, el reciclaje de la basura de carretera es factible pero en la actualidad no se justifica económicamente.

La conservación de energía es aparente en las operaciones de reciclaje si uno considera el reducido acarreo necesario para los agregados y la reducida energía de acarreo y producción requerida para el conglomerado en los materiales de pavimento reciclados. Los ahorros de energía de las operaciones de reciclaje, de cualquier manera, deben ser determinados en base al trabajo diario, y también de trabajo a trabajo.

El reciclaje puede contribuir a la preservación del medio ambiente mediante la reducción del monto de nuevos materiales requeridos para uso en carreteras. Así, una correspondiente reducción es posible en los problemas del medio ambiente de extracción de nuevo material y fabricación de productos, en adición a que se evitan los problemas asociados con la disposición del pavimento viejo.

El mantenimiento de la geometría de las carreteras puede ser logrado en forma relativamente fácil mediante el reciclaje de pavimento. Para carreteras de varias vías, únicamente la vía con problemas necesita ser reciclada. Las capas superpuestas a todo lo ancho no hacen necesario involucrarse con el drenaje. Los problemas de paso libre en los puentes, señales y túneles ocasionados por las capas superpuestas pueden ser superados mediante el fortalecimiento de la superficie, base o plataforma de la vía existentes. Los problemas de control vertical con las instalaciones de drenaje, tales como líneas de fluido por canal, su altura de la solera, capacidad de admisión y sus cajas de registro, son reducidos cuando se usan operaciones de reciclaje en lugar de capas superpuestas.

TABLA 1

SUMARIO DE ACTIVIDADES ESTATALES DE RECICLAJE (SEPTIEMBRE 1976)

| ESTADO | R E C I C L A J E D E P A V I M E N T O | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------------|-----------------------------|-------|---------------|---------------------|
| | SUPERFICIE | | | EN EL LUGAR | | | | PLANTA CENTRAL | | | |
| | No. del Proyecto | Millas de vía | Profundidad (pulg.) | No. del Proyecto | Tons. (1000's) | Millas de vía | Profundidad (pulg.) | No. del Proyecto | Tons. | Millas de vía | Profundidad (pulg.) |
| Guardacaminos (pies lineares) | Señalizaciones (pies lineares) | Atarjeas (pies lineares) | Aceite motor-galón | Postes de señales | Postes de oelín. | Vidrio (ton.) | Llantas (ton.) | Desperdicios de Mina (ton.) | | | |

| | |
|------------------------|----------------|
| Ceniza muy fina (ton.) | Escoria (ton.) |
|------------------------|----------------|

Many=Muchos; N.A.=No Disponible; Sm. Amt.=Cantidad pequeña; Lg. Amt.=Gran Cantidad

- (1) Cantidad no disponible pero se ha reciclado material
- (2) Incluye 64,962 pies lineares reforzados y galvanizados por contrato
- (3) El reciclaje en planta central consistió de 12 millas de vía de 4.8 pulgadas de hormigón magro en la base, 12 millas de vía de 4.8 pulgadas de base tratada con cemento, 24 millas de vía de base de agregado clase 3 de 6.3 pulgadas
- (4) Se uso asfalto de caucho como intercara de alivio de esfuerzos; la especificación de 1976 permite a la ceniza muy fina actuar como sustituto parcial del cemento en pavimentos y estructuras; proyectos experimentales con escoria; señalizaciones recicladas a través de un limpiador designado por el estado; ocasionalmente, algunos postes de guardacaminos y sistemas de anclaje no se incorporaron al proceso; algún acero estructural se usó en situaciones de compostura
- (5) Un espaldón de diez pies fué reciclado; se obtuvieron resultados insatisfactorios
- (6) Práctica de rutina por un determinado número de años, cantidades no disponibles
- (7) Aceite lubricante para motores utilizado como combustible suplementario en plantas de mezcla - caliente
- (8) Viejas llantas de pruebas de patinaje usadas como llantas delanteras en la segadora
- (9) Dos millas de vía con 12 pulgadas de profundidad; 3.3 millas de vía con 4 pulgadas de profundidad; 5.5 millas de vía con 8 pulgadas de profundidad
- (10) Objetivo primario=rehabilitación de espaldón pero la cantidad también incluye 4.5 millas de camino
- (11) El estado es poseedor de dos calentador-niveladores y desempeñan trabajos principalmente en áreas urbanas a un promedio de 25,000 yardas cuadradas anualmente
- (12) Usado en terraplén de camino
- (13) 9,000 toneladas recicladas al año; 60,000 libras de papel reciclado por año
- (14) Cantidad reciclada en 1976
- (15) Base y subbase tomadas del piso de carretera con cal y usadas como base en el nuevo piso de carretera
- (16) Kansas ha reciclado 5,000 toneladas de escoria húmeda proveniente de la parte inferior de calderas
- (17) Texas ha reciclado 12,000 tambores de 55 galones
- (18) 20 millas de vía en dos proyectos
- (19) Wisconsin ha reciclado 4,000,000 de toneladas de humus, 800 pies lineares de alcantarillas para tormentas, 750 pies lineares de alambrado, 3,000 pies lineares de cercado eslabonado, 800-pies lineares de barandal de aluminio, 800 postes ligeros, fundiciones de estructuras de drenaje, tubería de desagüe, cajas de señales, unidades de iluminación, reflectores de conducto-eléctrico
- (20) Wyoming ha reciclado 78,205 pies lineares de alambrado
- (21) El equipo esta siendo comprado

El reciclaje de materiales ha sido practicado durante años con el vidrio, papel, aluminio, acero y otras industrias. Estas industrias han usado el reciclaje por que reconocen que existen cantidades limitadas de materias primas con las que se hacen sus productos. Más aún, las economías de estas industrias han hecho al reciclaje competitivo con la producción de bienes con materias primas.

El reciclaje en transportación también ha sido practicado en menor escala por algunos años. La reutilización de materiales de revestimiento como base inestabilizada ha sido practicada extensamente. El reciclaje de pavimentos ha sido practicado desde 1915. Los subproductos industriales tales como la escoria, ceniza muy fina, y desechos de mina también han sido utilizados en determinadas áreas del campo. La importancia del reciclaje en el campo de carreteras se ha incrementado tremendamente en los últimos tres años. Los conceptos de conservación y preservación así como la llegada de la atmósfera económica apropiada han estimulado este crecimiento.

La mayor parte de esta síntesis está enfocada a los materiales de pavimento por cuanto hace a su reciclaje o su reutilización; la parte restante está destinada al reciclaje de otros materiales de carretera y al de materiales no pertenecientes a carretera.

Como punto de partida, se revisó una extensa literatura y un cuestionario fué circularizado a los departamentos de carreteras y transportación para definir los tipos de materiales que actualmente siendo reciclados. La revisión de la literatura fué patrocinada en parte por el Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas. 49 de los 50 estados respondieron el cuestionario cuyos resultados aparecen en la Tabla 1.

CAPITULO DOS

RECICLAJE DE MATERIALES DE PAVIMENTO

El reciclaje o la reutilización de los actuales materiales de pavimento para rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento de pavimento no es un concepto nuevo. Una gran variedad de planteamientos se han dado desde los años 1930. La clasificación de los planteamientos sobre reciclaje están generalmente en (a) los procedimientos de reciclaje utilizados, (b) el tipo de materiales de pavimento a ser reciclados y los productos terminados derivados de esos materiales, o (c) el beneficio estructural a ser obtenido con el planteamiento de reciclaje. Cada una de estas categorías tiene su propio al describir el propósito y aplicabilidad de un determinado tipo de reciclaje. Una clasificación basada en los procedimientos de reciclaje es la que ha sido utilizada para esta síntesis. La Figura 1 define la estructura dentro de la cual a su vez se definen los actuales tipos de reciclaje de pavimento.

Las definiciones para estas categorías de reciclaje han sido preparadas por el Comité Consejero Técnico (3) a través del Proyecto de Demostración No. 39 de la Administración Federal de Carreteras, un comité conjunto del Instituto del Asfalto y la Asociación Nacional de Pavimento de Asfalto (4), la Asociación para el Reciclaje y Recuperación del Asfalto (5), el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (6), la Estación del Experimento Técnico de Vías Fluviales de la Armada de E.U. (7), y el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Marina (8). Las siguientes definiciones están basadas en las sugerencias de las

entidades citadas además de los miembros de la Junta de la síntesis.

Reciclaje de superficie-Retratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad de menos de 1 pulgada (25mm.) mediante aparatos de calentamiento-nivelación, calentamiento-escarificado, remoción en caliente, nivelación en frío o remoción en frío. Esta operación es un proceso continuo, de paso simple y de etapas múltiples que puede implicar el uso de materiales nuevos, incluyendo agregado, modificadores o mezclas.

Reciclaje de superficie y base en el lugar de trabajo-Pulverización a una profundidad mayor que 1 pulgada (25mm.) en el lugar de trabajo, seguida por remoldeo y compactación. Esta operación puede ser llevada a cabo con o sin la adición de un estabilizador.

Reciclaje en planta central-Escarificado del material de pavimento, retiro del pavimento de la carretera antes o después de la pulverización, procesamiento del material con o sin un estabilizador o modificador, y tendido y compactación al grado deseado. Esta operación puede implicar la adición de calor, dependiendo del tipo de material reciclado y el estabilizador usado.

Según se muestra en la Figura 1 y como se definió previamente, el proceso de reciclaje puede incluir la adición de calor o puede llevarse a cabo en ausencia del mismo. Las definiciones actualmente utilizadas por la Administración Federal de Carreteras están basadas en parte en aquellas desarrolladas por el comité conjunto Asociación Nacional de Pavimento de Asfalto-Instituto del Asfalto. Las definiciones incluye un esbozo de (a) reciclaje de pavimento asfáltico de mezcla en caliente, (b) reciclaje de pavimento asfáltico de mezcla en frío, (c) reciclaje de superficie de pavimento asfáltico y (d) reciclaje de pavimento de concreto de cemento portland (9). La Tabla 2 da las ventajas y desventajas de cada categoría de reciclaje.

Antes de describir el equipo y los procesos involucrados en las varias categorías de reciclaje, es necesario tener en claro que el reciclaje de pavimento es una de muchas alternativas de rehabilitación o mantenimiento de entre las cuales el ingeniero debe seleccionar (Fig. 2). La selección de una alternativa depende del deterioro del pavimento, sus probables causas, el aspecto económico y la información del proyecto. Los siguientes factores deben ser considerados:

1. Historia de los requerimientos y costos de mantenimiento del pavimento.
2. Historia del rendimiento del pavimento.
3. Controles geométricos horizontales y verticales.
4. Factores medio-ambientales.
5. El tráfico.

Una vez que ha sido seleccionado el reciclaje como una posible alternativa de rehabilitación, se inicia el proceso de selección de la operación específica de reciclaje (Fig. 3). Deben llevarse a cabo un limitado número de pruebas de laboratorio y de campo para establecer los recursos materiales disponibles en el pavimento y los estabilizadores que pueden ser utilizados con estos materiales. A partir de esta información preliminar, las alternativas potenciales de reciclaje pueden ser seleccionadas y asimismo desarrollarse los diseños de pavimento y los análisis económicos. En base a esta información, se seleccionan las alternativas de reciclaje más promisorias, se desarrollan pruebas detalladas de laboratorio para establecer el contenido del estabilizador y se diseña el corte del pavimento. Los requerimientos de energía para la operación de reciclaje deben ser determinados, las especificaciones de la construcción preparadas y la operación de reciclaje llevada a cabo. Finalmente, el rendimiento de los materiales reciclados debe ser evaluada durante un cierto periodo de tiempo al mismo en que las propiedades del material en el lugar de trabajo deben ser determinadas por medio de programas de pruebas de laboratorio y campo. Estos datos deben ser utilizados como retroalimentación a la futura selección de alternativas de rehabilitación de pavimento. Los detalles del proceso de selección descrito anteriormente e ilustrado en la Figura 3 están contenidos en un reporte preparado bajo el Proyecto 1-17 del FNICC de nombre "Pautas para el Reciclaje de Materiales

Figura 1. Clasificación de los planteamientos de reciclaje en base a los procedimientos de reciclaje.

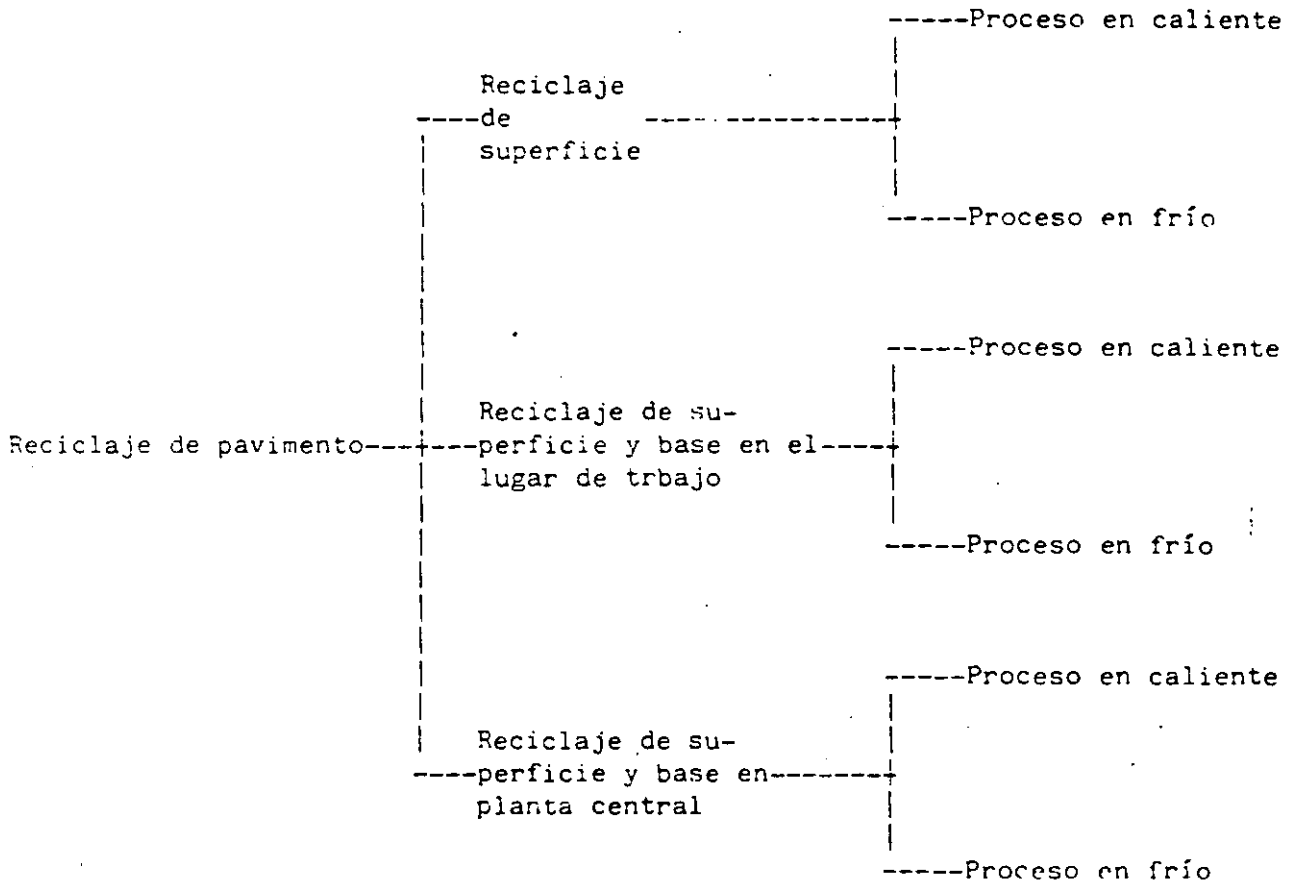


TABLA 2
PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CATEGORIAS DE RECICLAJE

| Categorías de Reciclaje | Ventajas | Desventajas |
|-------------------------|--|---|
| Superficie | <ul style="list-style-type: none"> *Reduce el agrietamiento ocasionado por reflexión *Favorece la cohesión entre el pavimento viejo y la capa superpuesta *Proporciona una transición entre la nueva capa superpuesta y la cuneta, puente, pavimento, etc. existentes, la cual es resistente al desmoronamiento de bordes (elimina las piedrecillas sueltas) *Reduce las asperezas *Trata una variedad de tipos de deterioros del pavimento (desmoronamiento de bordes, arrasado, corrugaciones, surcos ocasionados por el rodaje de coches, pavimento oxidado, fallamiento) a un costo razonable *Mejora la resistencia al patinaje *Desorganización mínima de tráfico | <ul style="list-style-type: none"> *Mejoría estructural limitada *Sin pasos múltiples de equipo, el calentamiento-escarificado y el calentamiento-nivelado tienen una efectividad limitada sobre el pavimento aspero *Restauración limitada en pavimentos severamente arrasados o inestables *Algunos problemas de contaminación del aire *La vegetación cercana a la carretera puede verse dañada *Las mezclas con agregados de tamaño máximo mayores a una pulgada no pueden ser tratadas con cierto equipo |
| En el lugar | <ul style="list-style-type: none"> *Mejorías estructurales significativas *Trata todos los tipos y grados de deterioro del pavimento *El agrietamiento ocasionado por reflexión puede ser eliminado *La susceptibilidad de escarcha puede ser mejorada *Mejora la calidad del rodaje | <ul style="list-style-type: none"> *El control de calidad no es tan bueno como el que se logra en planta central *Causa desorganización de tráfico *Necesidad de reparación del equipo de pulverización *El costo *No puede llevarse a cabo fácilmente en pavimentos de CCP (concreto de cemento-portland) |
| Planta central | <ul style="list-style-type: none"> *Mejorías estructurales significativas *Buen control de calidad *Trata todos los tipos y grados de deterioro del pavimento *El agrietamiento por reflexión puede ser eliminado *Mejora la resistencia al patinaje *La susceptibilidad de escarcha puede ser mejorada | <ul style="list-style-type: none"> *Incremento de la desorganización del tráfico *Puede tener problemas de contaminación del aire en el sitio de la planta |

- *La geometría de la carretera puede ser -
mas fácilmente alterada
- *Mejor control si se tienen que utilizar -
asfalterante y/o agregados
- *Mejora la calidad del rodaje

Figura 2. El reciclaje como alternativa de rehabilitación.

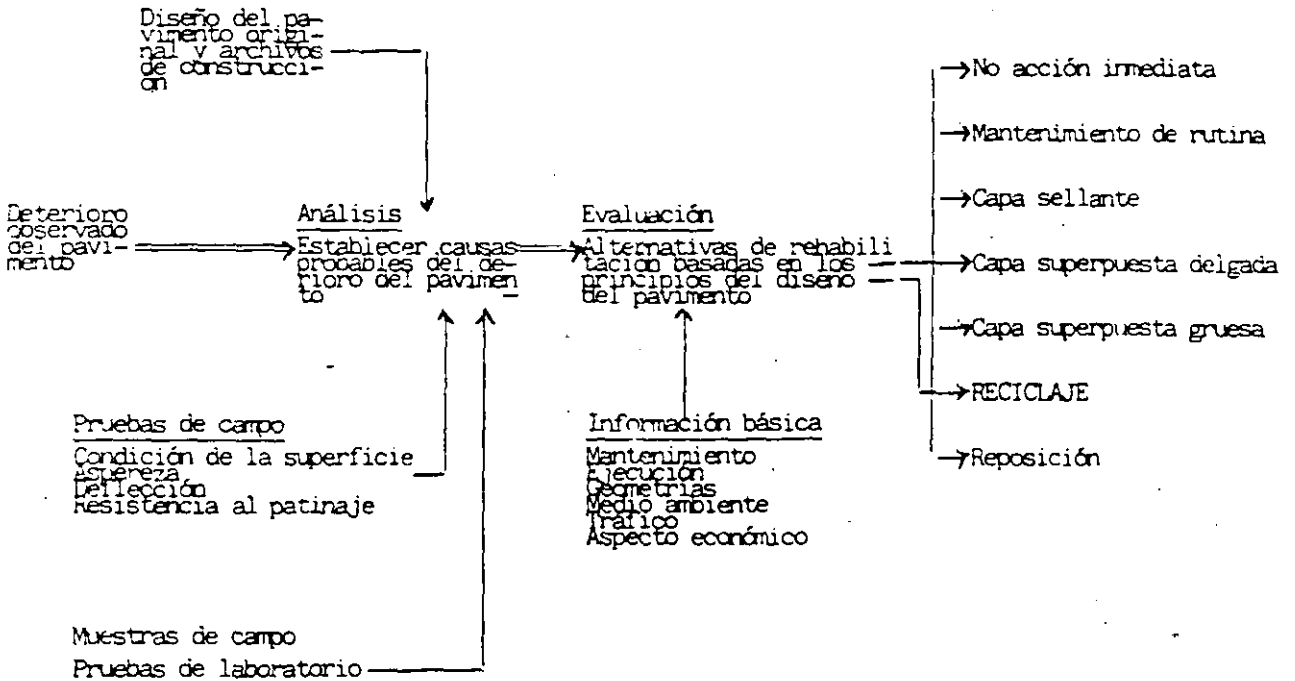
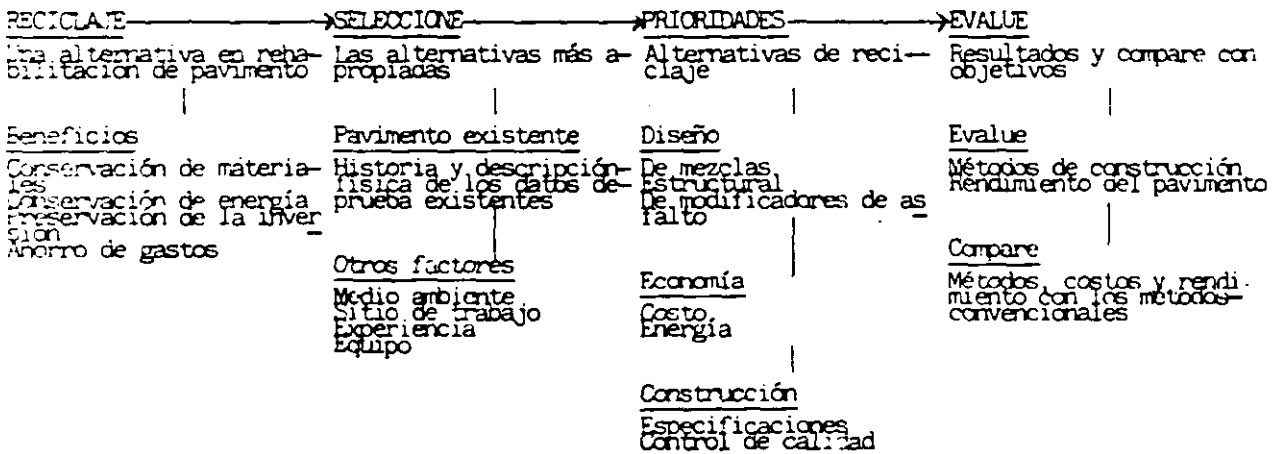


Figura 3. Selección de una operación de reciclaje.

I. Reconocimiento II. Análisis Preliminar III. Análisis Detallado y diseño IV. Resultados



CAPITULO TRES

RECICLAJE DE SUPERFICIE

18

El reciclaje de superficie difiere de otras categorías generales de reciclaje en el que se involucra el tratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad menor a una pulgada (25mm.) (a menos que se efectúen pasos múltiples). Así, el reciclaje de superficie tiene una efectividad limitada en reparación de caminos ásperos o caminos severamente surcados por el paso constante de los coches o en incrementar significativamente la capacidad de transporte de carga de la carretera (Tabla 2). Sin embargo, el reciclaje de superficie es actualmente la forma más popular de reciclaje ya que a un costo razonable puede tratar una gran variedad de deterioros de pavimentos, incluyendo desmoronamiento de bordes, surcos, arrasado y corrugaciones. Adicionalmente, los datos ilustran la utilidad del calentamiento-escarificado mas una capa superpuesta para reducir el agrietamiento por reflexión (10). Otras ventajas del reciclaje de superficie parecen ser la habilidad para fomentar una cohesión entre el camino viejo y una capa superpuesta delgada y para proporcionar una transición entre la nueva capa superpuesta y las cunetas, puentes, pavimentos, etc. existentes. El material retirado mediante nivelación y remoción puede ser utilizado nuevamente en bases estabilizadas o inestabilizadas así como en espaldones y en superficies estabilizadas.

La evolución del equipo de reciclaje de superficie no está bien documentada; de cualquier forma la literatura con que se cuenta indica que tres de las unidades originales de calentamiento-nivelado fueron desarrolladas en California en los años 1930's (11). Una unidad fué un calentador remolcado como un sem-trailer detrás de un trailer de camión, seguido por un nivelador independiente. Una segunda unidad fué un calentador y nivelador combinados. Una tercera unidad fué un calentador montado sobre un nivelador. La cuchilla del nivelador en esta unidad fué sustituida por una cuchilla de una alisadora de asfalto. El calentador de combustóleo diesel era jalado por los brazos escarificadores y las llantas de caucho sólidas eran enfriadas por chorro de agua proveniente de un tanque montado en la parte frontal. La cuchilla podía ser girada hacia cualquier lado para descargar los cortes por las ruedas traseras. Los cortes eran levantados por un cucharón cargador frontal. La primera máquina de reciclaje de superficie que no usó calentamiento data de 1936 aparentemente (11). Este dispositivo usó cinceles para cortar la carretera en frío. Desde los primeros días del reciclaje de superficie en frío han sido desarrolladas técnicas para moler el pavimento con tambores giratorios equipados con dientes cortantes.

Desde 1930, se ha desarrollado una amplia variedad de equipo de reciclaje y se han establecido una serie de técnicas innovativas. Para propósitos de discusión, este equipo y las técnicas asociadas han sido clasificados en calentadores-niveladores, calentadores-escarificadores, removedores en caliente, niveladores en frío y removedores en frío (Fig. 4). Los fabricantes de equipo y contratistas están listados en el Apéndice A.

CALENTAMIENTO-NIVELADO

Los calentadores-niveladores han sido usado principalmente para el mantenimiento del nivel longitudinal del pavimento y su pendiente transversal. Otros usos incluyen el retiro de pavimento de los puentes para reducir el peso muerto; mantenimiento los pasos libres apropiados en túneles, pasos a desnivel y puentes de semáforo; retiro de sellos diseñados o construidos inapropiadamente; y el retiro de irregularidades de pavimentos ásperos causadas por inestabilidad, bordes de lodo, actividades repetidas de mantenimiento tales como sellado de grietas, etc.

19

~~Es una práctica común el calentar y nivelar un pavimento antes de tender la capa superpuesta. Esta actividad corregirá problemas de surcos, removerá algunas de las asperezas del pavimento y hará un corte encabezador, corte de cuneta o ranura que impedirá la producción de diminutas piedrecillas de la mezcla caliente. Cualquier material que sea retirado de la carretera puede ser reutilizado.~~

Una aplicación única del calentador-nivelador es usar las unidades de calentamiento para ayudar en actividades de mantenimiento correctivo. Para pavimentos con escasa resistencia al patinaje, se puede esparcir una capa de agregado anti-brillo con un esparcidor de cascajo de capa sellante convencional. La unidad de calentamiento entonces calienta el pavimento y es seguida por una aplanadora rueda de acero para embutir el agregado dentro de la superficie del pavimento viejo. Esta actividad es particularmente efectiva cuando el arrasado o exudación representan un verdadero problema.

Los calentadores-niveladores se encuentran disponibles como equipo de una sola pieza que calienta y nivela el pavimento, tal como el equipo de la Cutler & Jim Jackson. Otros, tales como los utilizados por la Payne, envuelven dos piezas de equipo: una unidad de calentamiento y una unidad de nivelado por separado. La Tabla 3 enlista las características de los equipos, información de costos e información de consumo de combustible, cuando estuvo disponible. Los costos de calentamiento y nivelado de un pavimento a una profundidad de 3/4 de pulgada fluctúa entre \$0.15 y \$0.60/yarda² (\$0.18 y \$0.72/m²), con un consumo de combustible tanto para el calentamiento como para la fuerza motriz dentro del rango de 10,000 a 20,000 Btu/yd² (12 600 a 25 200 kJ/m²). Las tasas de producción varía según el equipo usado, las propiedades termales del concreto asfáltico que este siendo escarificado, la temperatura del pavimento antes del calentamiento y la profundidad del nivelado deseado. Los costos previstos para calentamiento, nivelado, control de tráfico requeridos durante la operación² y retiro del material del pavimento son del orden de \$0.70 a \$0.90/yd² por pulgada de profundidad (\$0.33 a \$0.42/m² por cm de profundidad). En la Figura 5 se muestra una operación de calentamiento-nivelado.

CALENTAMIENTO-ESCARIFICADO

Las operaciones de reciclaje usando el calentamiento-escarificado se presenta de varias formas. La Figura 6 indica algunas de las posibilidades que existen. Las operaciones básicas consisten en preparación, calentamiento y escarificado de la superficie; agregar materiales adicionales si se requieren; compactación; hacer ajustes finales a cajas de registro y estructuras de drenaje; y apertura al tráfico de la obra terminada.

Los calentadores-escarificadores también han sido utilizados para retirar irregularidades de la superficies de pavimento. El uso de estas unidades inmediatamente antes de hacer una cpa superpuesta de concreto asfáltico ofrece alguna ventaja. La aspereza de la superficie del pavimento puede ser eliminada a fin de lograr una superficie lisa para una nueva capa de desgaste y consecuentemente elimina o reduce el monto de la capa de enrase requerida. La cohesión entre el viejo pavimento y la nueva capa superpuesta de concreto asfáltica también puede ser mejorada con el uso del calentador-escarificador o un calentador-nivelador inmediatamente antes de la capa superpuesta.

El agrietamiento por reflexión, que es una consideración mayor en el diseño de la capa superpuesta, puede ser reducido mediante el uso del calentamiento-escarificado antes de tender la capa superpuesta de concreto asfáltico en los pavimentos. Existe documentación que ilustra esta ventaja (10).

Muchas millas de carreteras en los Estados Unidos y Europa han sido recicladas

utilizando alguno de los planteamientos descritos de calentamiento-escarificado. Algunas agencias estatales de Arizona, Arkansas, California, Florida, Illinois, Kansas, Maryland, Massachusetts, Nevada, Nuevo México, Utah y Wisconsin han estado particularmente activos.

El equipo de calentamiento-escarificado varia tanto en apariencia como en diseño. El equipo actualmente utilizado por la empresa Asphalt Equipment Incorporated y G.J. Payne tiene la habilidad de calentar y escarificar con una sola unidad. El equipo utilizado por Jim Jackson puede calentar, escarificar y nivelar la mezcla escarificada con una sola unidad. Algunas unidades operadas por Jim Jackson pueden regar y mezclar modificadores. El de la Cutler Repaver y Jumbo Repaver tiene la habilidad de calentar, escarificar, regar un líquido aditivo, agregar material adicional de pavimentación y mezclar y tender el material resultante. El equipo Cutler tiene una tolva receptora, un sistema transportador y un rastrel vibratorio de servicio pesado similares a aquellos componentes de una mezcladora pavimentadora de asfalto convencional.

Los sistemas de calentamiento, al igual que aquellos de los dispositivos de calentamiento-nivelado, se presentan tanto como emisores de calor radiante o como quemadores de flama abierta. Estos emisores o quemadores estan encerrados por un cofre que dirige el calor a la superficie del pavimento. Para aflojar y procesar el pavimento calentado se usan cuchillas de acero tipo carburo sobre escarificadores montados en resorte o escarificadores accionados por bolsa de aire. Con los calentadores-escarificadores frecuentemente se incluyen cuchillas de arrastre hechas de acero para ayudarse en el nivelado y para reunir el material excedente en un montón para facilitar su carga posteriormente.

La Tabla 4 enlista características de equipo, información de costos e información de consumo de combustible cuando la hubo disponible. Los costos de calentamiento y escarificado de un pavimento a una profundidad de 3/4 pulgadas (19-mm) fluctúa entre \$0.15 y \$0.60/yd² (\$0.18 y \$0.72/m²). Los costos son similares a los de las operaciones de los calentadores-niveladores. El consumo de combustible parece estar en el orden de los 8,000 a 15,000 Btu/yd² (10 000 a 19 000 kJ/m²) para escarificación de 3/4 de pulgada. Como sucede con los calentadores-niveladores, las tasas de producción varían según el equipo utilizado, las propiedades termales del concreto asfáltico que esté siendo escarificado, la temperatura del pavimento antes del calentamiento, la profundidad de escarificación deseada y las restricciones impuestas por operaciones auxiliares, incluyendo la adición de algún agente ablandecedor de asfalto o mezcla de pavimentación. En la Figura 7, se muestra una unidad de calentamiento-escarificado.

REMOCION EN CALIENTE

La remoción en caliente no ha sido utilizada extensivamente en los Estados Unidos. El proceso está limitado a carreteras de superficie asfáltica y es ejecutado por las mismas razones dadas en la sección de remoción en frío más adelante.

La máquina de remoción en caliente fabricada por Wirtgen ha sido utilizada en la parte oriental de los Estados Unidos. La Millars Mark II Road Razer ha sido utilizada en Inglaterra. La Tabla 5 enlista características de equipo, información de costos y de consumo de combustible cuando lahubo disponible. El consumo de combustible esta en el orden de los 10,000 Btu/yd² (13 000 kJ/m²) para este tipo de dispositivos. Para remoción de 1 pulgada, los costos se encuentran en el orden de \$0.80 a \$1.00/yd² (\$0.96 a 1.20/m²). Estos costos incluyen renta del equipo, mano de obra, material y limpieza. Las tasas de producción varían según el equipo utilizado, las propiedades termales y resistencia a la abrasión del concreto asfáltico que este siendo removido. Las máquinas existentes de remoción en caliente se muestran en la Figura 8. Es de hacerse la anotación de que la Wirtgen SF800/1000

NIVELADO EN FRIO

Las operaciones de nivelado en frío son llevadas a cabo comúnmente en el verano en carreteras de superficie asfáltica. Los propósitos principales del nivelado en frío son remover corrugaciones y otras fallas de estabilidad, reducir la cantidad de arrasado y remover sellos diseñados o contruidos inapropiadamente. La apariencia y la ejecución del nivelado en frío en muchos de los casos no son tan satisfactorias como las de la técnica de calentamiento-nivelado.

El equipo que normalmente utilizan los gobiernos de las ciudades y los condados para el nivelado en frío es una motoconformadora con cuchillas de acero reforzado. La operación es normalmente considerada para mantenimiento y el material removido es generalmente reutilizado.

La compañía Gurries está desarrollando un nivelador de pavimento de 6.5 pies (2.00 m) de ancho que es capaz de remover de 1.5 a 2.00 pulgadas (38 a 50 mm) de concreto asfáltico a un ritmo de 50 pies (15 m) por minuto. Este nivelador remueve pavimento mediante el uso del concepto del balancín vibratorio. Un sistema hidráulico es utilizado para mover osciladores que resuenan un extremo de un balancín. El balancín transmite la vibración a su otro extremo que impacta una arista cortante. La arista cortante es entonces utilizada para impactar el pavimento. La nueva superficie del pavimento podrá tener una resistencia mejorada al patinaje.

REMOCION EN FRIO

La remoción en frío ha sido practicada tanto en caminos de superficie asfáltica como en los de superficie de concreto de cemento portland. El principal propósito de la remoción en frío es la eliminación del deterioro de la superficie; de cualquier forma, los removedores pueden ser utilizados para capas de base inestabilizada o base estabilizada o capas de superficie. Las remociones pueden ser trabajadas tanto en el lugar de trabajo como en plantas centrales.

Los tipos de deterioros que pueden ser tratados por medio de remoción en frío incluyen surcos, desmoronamiento de bordes, arrasado y corrugaciones de pavimentos de superficie asfáltica y surcos, desmoronamiento de bordes, descascaramiento, fallamiento, astillamiento de pavimentos de superficie de concreto de cemento portland. El éxito de la remoción en frío depende de la naturaleza y grado del deterioro, entre otros factores.

La remoción en frío tiene aplicaciones adicionales que incluyen reparación de caminos de rodaje áspero, mejoría de la resistencia al patinaje y preparación de superficies de concreto asfáltico o de cemento portland para recibir la capa superpuesta. La peculiaridad del control automático de nivel con que cuentan muchas de las máquinas de remoción en frío permite la posibilidad de mejorar el rodaje.

Casi todas las operaciones de remoción mejoran la textura de la superficie de la carretera y comprime la superficie expuesta del agregado. Tanto la textura mejorada de la superficie (macrotextura) como el agregado comprimido (microtextura) favorecen la resistencia al patinaje. La mejoría de la resistencia al patinaje puede, sin embargo, ser solo temporal si el agregado es susceptible al brillo. La textura mejorada de la superficie del pavimento también incrementará la cohesión o la resistencia al corte entre la superficie vieja y la nueva capa superpuesta. Esta fuerza de cohesión es particularmente importante para las capas superpuestas de concreto de cemento portland tales como las utilizadas en tableros de puentes.

Casi todas las máquinas de remoción en frío actualmente en uso han sido desarrolladas en los últimos cinco años. Las empresas CMI, Barco y Barber Greene actualmente fabrican las máquinas de este tipo que son capaces de

remover hasta una profundidad de 5 pulgadas (130-mm) a 50 pies por minuto (0.25 m/s). La mini-alisadora BJD es una máquina pequeña y maniobrable capaz de alisar cerca de cajas de registro, estructuras de drenaje, etc. La Alisadora de Pavimento de 60 pulgadas de la Payne y la Mini-alisadora BJD generalmente trabajan una seguida de otra. La Tabla 6 enlista las características de equipo, información de costos e información de consumo de combustible cuando la hubo disponible. Los costos de remoción y levantamiento del material cortado son del orden de \$0.35 a \$1.00/yd² (\$0.42 a \$1.20/m²) para remociones de una pulgada (25-mm). El consumo de combustible es del orden de 600 a 2,500 Btu/yd² (800 a 3 200 kJ/m²) para remociones de 1 pulgada. Las tasas de producción pueden ser tan altas como 300 toneladas por hora (270 Mg/h) pero varían considerablemente dependiendo del equipo utilizado, la resistencia a la abrasión del material que esté siendo remocionado, la profundidad de la remoción del pavimento y la interferencia de tráfico. En la Figura 9 se muestran máquinas de remoción en frío.

COMPARACION DE ALTERNATIVAS

El Departamento de Transporte del Estado de Nueva York monitoreo la remoción de 1.5 pulgadas (38 mm) de concreto asfáltico por tres métodos diferentes- calentamiento-nivelado, remoción en caliente y remoción en frío (12). Los puntos evaluados incluyen contaminación sonora y del aire, profundidad de la penetración del calor, propiedades físicas del material antes y después de cada proceso, resistencia al patinaje de la superficie nivelada o remocionada, tasa de producción, precisión de la profundidad del nivelado o remocionado y cohesión entre la nueva capa superpuesta y la superficie remocionada o nivelada.

Todos los tres métodos cumplieron con los estándares del estado referentes al ruido y contaminación del aire para zonas residenciales. Fueron monitoreadas las emisiones tanto de partículas como de hidrocarburos. Los resultados se muestran en las Tablas 7 y 8.

Las máquinas de remoción en caliente y de remoción en frío fueron capaces de remover material a una profundidad de 1.5 pulgadas (38 mm) de un solo paso. La profundidad de remoción promedio del calentador-nivelador fué de 3/8 de pulgada (9.5 mm). La máquina de remoción en caliente requirió la adición de un nivelador para disponer el material remocionado en forma de hileras, un autocargador para poner el material en camiones y ocasionalmente un cucharón cargador frontal. La operación de remoción en frío fué ejecutada con dos máquinas de remoción complementadas con un cucharón cargador frontal para retirar el material. La unidad calentadora-niveladora fue autopropulsada; de cualquier forma, se utilizaron dos máquinas independientes idénticas. La capacidad de producción, los costos y el consumo de combustible del equipo para remover 1.5 pulgadas de concreto asfáltico aparecen en la Tabla 9.

CAPITULO CUATRO

RECICLAJE DE SUPERFICIE Y BASE EN EL LUGAR DE TRABAJO

El reciclaje en lugar de pavimentos viejos de concreto asfáltico y concreto de cemento portland no es un nuevo concepto. Casi cada estado ha utilizado equipo de construcción convencional como bulldozers, compactadores vibratorios, rodillos, etc., para triturar el pavimento viejo y combinarlo con una porción de la base o subbase existente para formar una capa estructural reconstituida. El desarrollo de equipo de pulverización y técnicas de procesamiento usando

~~trituradoras móviles de martillos para reciclaje de concreto asfáltico~~ 24
~~son de los refinamientos recientes más importantes en materia de reciclaje~~
en el lugar de trabajo. La Figura 10 muestra equipo típico de reciclaje en el lugar.

En la Figura 11 aparecen las varias alternativas para reciclaje de pavimento en el lugar sin necesidad de calor adicional. Los estabilizadores tales como la cal, cemento, asfalto y otros químicos han sido utilizados en estos procesos. El uso del cemento como estabilizador para bases recicladas y superficies recicladas data de 1942 (13). El uso de asfalto con material reciclado data probablemente de los principios de los 1940's, aunque el trabajo más reciente indica 1966 (14). Los estados que han llevado a cabo reciclaje en el lugar de trabajo del tipo descrito anteriormente incluyen Arkansas, California, Florida, Illinois, Indiana, Kansas, Kentucky, Louisiana, Maine, Michigan, Nebraska, Nevada, Nueva Jersey, Nueva York, Pennsylvania, Tennessee, Texas y Washington. Probablemente todos los estados han reciclado bases existentes junto con sus superficies sin la adición de un estabilizador. Como se muestra en la Figura 11, para reciclaje en lugar se pueden utilizar dos planteamientos básicos dependiendo del grueso del pavimento a ser tratado y el grueso de la superficie de concreto asfáltico. Si la superficie de concreto asfáltico tiene un grosor de 2 pulgadas (50 mm) o menos, se puede utilizar equipo de pulverización sin necesidad de rasgadura y ruptura preliminar. Para superficies de concreto asfáltico más gruesas de 2 pulgadas, se utilizan motoconformadoras con escarificadores o bulldozers con dientes desgarrantes para la ruptura inicial. Si se requiere ruptura adicional antes de la pulverización se puede utilizar equipo pesado (bulldozers, rodillos, compactadores, etc.).

Una ventaja mayor del reciclaje en el lugar es la habilidad para mejorar significativamente la capacidad de transporte de carga del pavimento sin cambios en la geometría horizontal o vertical de la carretera. Otras ventajas incluyen la habilidad para tratar casi todos los tipos de deterioro de pavimentos en caminos de superficie asfáltica, para reducir o eliminar agrietamientos por reflexión, para reducir la susceptibilidad de escarcha del material reciclado y para mejorar la resistencia al patinaje y la calidad del rodaje de la carretera (Tabla 2).

Entre las desventajas tenemos que el control de calidad no es tan bueno como el de las operaciones de planta central, la pulverización no puede ser llevada a cabo fácilmente sobre caminos de superficie de concreto de cemento portland y el costo y la desorganización del tráfico pueden ser altos.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Las superficies, bases, subbases y subrasantes son comúnmente removidas y substituidas por fuerzas de mantenimiento donde ocurren las fallas detectadas en el pavimento. Algunos de estos materiales pueden ser reciclados; Así, las cuadrillas de mantenimiento deben tomar una decisión. El material puede ser removido y (a) substituido con un material de mejor calidad; (b) substituido con un material que haya sido estabilizado con cal, cemento o asfalto; o (c) el material del lugar puede ser reciclado. El cemento es frecuentemente utilizado como estabilizador para reparaciones de mantenimiento de bases y subbases. La cantidad del cemento varía pero generalmente se emplea medio costal por yarda cuadrada (25 kg/m^2) para profundidad de 6 pulgadas (150-mm). La ventaja de este tipo de reparación es que los materiales del lugar pueden ser utilizados, consecuentemente, para reducir costos de transportación, manejo y apilado.

LA EXPERIENCIA DE FLORIDA

El retratamiento de bases en proyectos distintos a los de mantenimiento

"spot" también ha sido practicado. Una operación de tal naturaleza fué llevada a cabo en Florida. El contratista removió la base que existía, una capa de roca caliza de 10 pulgadas (250-mm) de espesor, y la apiló. El subrasante fué retrabajado y la arena puede ser conservada para una subbase. La base vieja sin tratamiento fué puesta nuevamente en su lugar mezclada con la arena y compactada. Esta base reciclada fué entonces cubierta con dos capas de 5.5 pulgadas (140 mm) de nueva roca caliza. La superficie fué entonces estabilizada con material aglutinante y se colocó mezcla caliente de 3 pulgadas (75 mm) (15).

LA EXPERIENCIA DE MICHIGAN

Las bases no tratadas pueden ser estabilizadas mediante la adición de un agente como la emulsión de asfalto. El Departamento de Carreteras y Transporte del Estado de Michigan ha estabilizado material existente de espaldón no tratado, con emulsión. Un proyecto involucró una sección de 2,400 pies (730-m) de la carretera 131 de los E.U.. El material fué removido a una profundidad de 4 pulgadas (100 mm) y esparcido uniformemente sobre la vía adyacente. Se agregó emulsión al dos por ciento. El mezclado de la emulsión y el agregado fué logrado mediante aplicaciones de asfalto y mezcla con cuchilla alternativamente. Después de cada aplicación de emulsión, el material fué mezclado y la pulgada (25 mm) superior retirada y amontonada. Este proceso se repitió hasta que todo el agregado fué tratado y dispuesto en hileras. La superficie de la subbase fué estabilizada con material aglutinante y los materiales tratados repuestos. La compactación fué llevada a cabo usando rodillos aplanadores de llantas de caucho y de ruedas de acero. La base tratada con emulsión fué estabilizada con material aglutinante y se colocó una superficie de concreto asfáltico de 4.5 pulgadas (110 mm). El rendimiento de esta base reciclada ha sido bueno (14).

Michigan ha usado una amplia variedad de estabilizadores para estabilización de espaldón en el lugar de trabajo en forma experimental. Estos estabilizadores incluyen alquitrán, asfalto rebajado, emulsiones de asfalto, y cementos de asfalto. Los estabilizadores más comunes utilizados en 1975 y 1976 fueron emulsiones de asfalto y cementos de asfalto blandos. Cuando el cemento de asfalto es utilizado como estabilizador, el asfalto caliente es regado sobre la capa de superficie de concreto asfáltico pulverizado y la base granular. De esta forma se obtiene una mezcla adecuada y se puede obtener una compactación satisfactoria.

Las principales vías de la carretera interestatal 75 fué reciclada en Michigan en el verano de 1977 (16). La vieja capa de superficie bituminosa de 4.5 pulgadas (110-mm) fué pulverizada en dos pasos. El primer corte, hecho con una máquina CMI Rotomill, pulverizó las 2.5 pulgadas (60 mm) superiores del materiales y lo colocó en un camellón a lo largo de la carretera. Un segundo corte, hecho con una trituradora de martillo Pettibone 660 Hammermill, trituró las dos pulgadas restantes (50 mm) del concreto bituminoso. Después de la trituración, el material fué dispuesto en un corte transversal liso. El material triturado fué bien nivelado y contuvo sólo unas cuantas piezas de tamaño más grande que el especificado de 2 pulgadas.

El proyecto fué iniciado utilizando asfalto con grado de penetración de 120- a 150 calentado a 335F (168C). Después de algunas dificultades de mezclado, se utilizó un asfalto de penetración 200- a 250 a una temperatura de 370F (188). El asfalto fué introducido dentro del material triturado con un estabilizador P & H de paso único. El material pulverizado no fué calentado antes de agregar el cemento asfáltico.

Inmediatamente después de mezclar el asfalto, se iniciaron las operaciones de compactación. Inicialmente, el rodillo aplanador de llantas de caucho operó directamente atrás del estabilizador P & H. Después de la compactación

inicial, la superficie de esta camada de asiento fué nivelada al perfil deseado y compactada con el rodillo vibratorio. Para completar la construcción, se aplicó enrasamiento de concreto bituminoso y capas de desgaste.

LA EXPERIENCIA DE NEVADA

Nevada ha reciclado pavimentos en el lugar de trabajo desde 1969 [ver Tabla 10 (17)]. La estabilización con cemento portland de superficies pulverizadas y capas de bases ha sido popular. Cada uno de los siguientes proyectos (ver también Tablas 10 y 11) tuvo una capa de superficie de concreto asfáltico de 2.5 pulgadas (60-mm) de espesor, excepto el Contrato 1405 que tuvo una superficie de 2 pulgadas (50-mm) de espesor. La pulverización y estabilización fué llevada a cabo a una profundidad de 8 pulgadas (200 mm). La cantidad de cemento utilizado en los varios trabajos fué:

| Contrato No. | Cemento agregado (% por peso) |
|--------------|----------------------------------|
| 1332 | 3 |
| 1348 | 3 |
| 1391 | 3 |
| 1405 | 4.5 |
| 1436 | 3 |
| 1524 | 1.5 |

Tomando los últimos cuatro contratos se tiene un costo de escarificado y pulverizado de aproximadamente $\$0.45/\text{yd}^2$ ($\$0.54/\text{m}^2$). El costo total, con 8 pulgadas (200 mm) de estabilización de cemento, fluctuó entre $\$1.38/\text{yd}^2$ ($\$1.65/\text{m}^2$) para cemento al 1.5 por ciento y $\$2.24/\text{yd}^2$ ($\$2.68/\text{m}^2$) para cemento al 4.5 por ciento. Las investigaciones de los precios propuestos hechas por el Departamento de Carreteras de Nevada indican que en cinco de los seis contratos no se experimentaban ahorros dramáticos por pulverizar y tratar con cemento la superficie y material de base existentes. Habría sido más económico incrementar la profundidad de la capa superpuesta bituminosa. De cualquier manera, la susceptibilidad de escarcha de la sección de pavimento se redujo y los costos de mantenimiento puede que también se hayan reducido.

LA EXPERIENCIA DE TEXAS

El personal del Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas concluyeron en octubre de 1975 un proyecto de reciclaje en el lugar de trabajo. Aproximadamente 1,500 pies (460 m) de la carretera federal 277 al sur de Abilene, Tex. fué reciclada en el lugar. La carretera consistía de una base de piedra caliza, un tratamiento de superficie de dos o tres capas, una capa superpuesta de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50 mm), una capa sellante, otra capa superpuesta de concreto asfáltico de mezcla caliente y una capa sellante adicional. Este camino tenía una mezcla de asfalto con un espesor promedio de 4.5 pulgadas (110 mm).

Un bulldozer con un desparrador fué utilizado para romper el pavimento asfáltico. Las carrileras del bulldozer fueron empleadas para reducir los trozos de pavimento a una dimensión máxima de 14 pulgadas (360 mm). Después del desgarramiento, el material fué reunido en camellones conteniendo

3 pies cúbicos por pie lineal ($0.3 \text{ m}^3/\text{m}$). Se agregó agua y modificador de reciclaje al camellón de material para controlar el polvo y ablandar la mezcla. Una trituradora de martillo móvil Pettibone P-500 fué empleada para pulverizar el material. La trituradora de martillo, accionada por una unidad de poder, contenía 24 martillos giratorios con un peso de 60 libras (27 kg) cada uno. La trituradora de martillo era jalada por un cucharón cargador frontal. La producción máxima para este equipo es de 200 toneladas (180 Mg) por hora aproximadamente. Se emplearon dos pasos de la trituradora para pulverizar el pavimento. Después de la pulverización, el material fué arrastrado a un lado de la carretera y se preparó el siguiente camellón de pavimento roto. Una vez que se pulverizó una vía completa, se hizo uso de un proceso convencional de estabilización de asfalto en el lugar. Para esta operación, se empleó emulsión de asfalto, reblandecida con agua con una relación de una-y-una. Una máquina Pettibone SM-750 para estabilización en el lugar fué empleada para mezclar el material reciclado y la emulsión. Esta máquina puede mezclar a una profundidad de 16 pulgadas (400 mm). En seguida de esta operación, el material estabilizado fué tendido con una cuchilla y compactado con un rodillo vibratorio autopropulsado de rueda de acero. Una capa de superficie de material de mezclado en caliente y tendido en frío fué dispuesta sobre el material reciclado para lograr una superficie lisa (18). Los costos incurridos en este proyecto se presentan en la Tabla 12.

MIDWEST ASPHALT PAVING CORPORATION (CORPORACION MIDWEST DE PAVIMENTACION CON ASFALTO)

La Midwest Asphalt Paving Corporation, operando en y cerca del área de Detroit, ha llevado a cabo trabajos de estabilización en el lugar utilizando equipo modificado de la Koehring y de la BROS (19). Los costos de la ejecución de estas operaciones varían según el espesor a ser estabilizado, el espesor de las superficies de concreto asfáltico, el tipo del material de la base, los requerimientos de control de tráfico, el tamaño del trabajo, los costos del material, los costos de mano de obra, la disponibilidad del equipo y otros factores.

Para efectos estimativos, la Midwest tuvo un costo de $\$2.00/\text{yd}^2$ ($\$2.40/\text{m}^2$) para caminos enripiados en 1976. Este costo incluye un tramiento de superficie de dos capas a $\$0.65/\text{yd}^2$ ($\$0.78/\text{m}^2$) y cualquiera de las siguientes operaciones de pulverización y estabilización:

1. Pulverización y estabilización de 4 pulgadas (100-mm) con $2 \text{ gal}/\text{yd}^2$ ($32 \text{ l}/\text{m}^2$) de cemento asfáltico de 200- a 250 de penetración.
2. Pulverización y estabilización de 6 pulgadas (150-mm) con $28 \text{ lb}/\text{yd}^2$ ($15 \text{ kg}/\text{m}^2$) de cal hidratada.
3. Pulverización y estabilización de 6 pulgadas con $34 \text{ lb}/\text{yd}^2$ ($18 \text{ kg}/\text{m}^2$) de cemento portland Tipo I [$12,000 \text{ yd}^2$ ($10,000 \text{ m}^2$) en proyectos más grandes].

Los caminos de superficie de concreto asfáltico son más difíciles de pulverizar por lo que habría que agregar un cargo adicional al costo requerido para los caminos de grava como sigue:

1. Superficie de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50-mm)-- $\$0.45/\text{yd}^2$ ($\$0.54/\text{m}^2$) adicionales.
2. Superficie de concreto asfáltico de 4 pulgadas (100-mm)-- $\$0.65/\text{yd}^2$ ($\$0.78/\text{m}^2$) adicionales.
3. Superficie de concreto asfáltico de 6 pulgadas (150-mm)-- $\$0.85/\text{yd}^2$ ($\$1.02/\text{m}^2$) adicionales.
4. Superficie de capa sellante múltiple--sin costo adicional.

de la graduación requerida y el uso final del material).

4. ~~Ejecutar la actividad de trituramiento primario del pavimento y base.~~
5. Nivelar y formar nuevos camellones con el material triturado para que este listo para un segundo triturado.
6. llevar a cabo el triturado secundario del pavimento y base.
7. Retirar todo el material triturado del área de trabajo por nivelación hacia camellones exteriores.
8. Nivelar finamente y compactar la subbase.
9. Nivelar el material triturado y disponerlo sobre la subbase como una capa de base estabilizada.
11. Aplicar un riego de liga y afirmar el camino.

Un reciente proyecto que hizo uso de la BROS Hammermill ha sido concluido en Maine. Este proyecto fué emprendido como parte del Proyecto de Demostración 39 de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) sobre Reciclaje de Pavimento Asfáltico. El proyecto consistió en reciclar 1 milla (1.6 km) de la Interestatal 95 al sur de Bangor y 2 millas (3.2 km) de la Ruta Estatal 9 al este de Bangor. Sobre la I-95, se utilizó una trituradora de martillo portátil BROS para reconstituir 3 pulgadas (75 mm) de concreto asfáltico, 5 pulgadas (125 mm) de macádám de penetración y 4 pulgadas (100 mm) de base de piedra triturada en material de base. Esta base fué entonces tendida junto con 2.5 pulgadas (60 mm) de concreto asfáltico. Sobre la RE 9, el pavimento de 1 pulgada (25 mm) y la base de ripio de 3 pulgadas existentes fueron pulverizados, remocionados y retendidos como una base sobre un nuevo alineamiento. Una capa de 1.5 pulgadas (38-mm) de concreto asfáltico fué utilizada como capa superficial. Los proyectos de la I-95 y de una porción de la RE 9 fueron concluidos en el otoño de 1975. Para la primavera de 1976, aparentemente ninguna de las dos secciones estaba rindiendo satisfactoriamente. Aunque el análisis final aún no se ha concluido, la construcción a finales de otoño, la escarcha, la humedad y las pesadas cargas probablemente contribuyeron a la falla (22).

La Ruta Estatal fué concluida en el verano de 1976 habiéndose utilizado emulsión de asfalto para estabilizar una porción del material reciclado. Esta sección, junto con las otras secciones que han sido recubiertas, serán monitoreadas por el Departamento de Transporte de Mayne.

Los precios licitados para pulverización en este proyecto fluctuaron entre \$3.25 y \$3.40/yd²-pulgada (\$0.12 y \$0.19/m²-cm), dependiendo del espesor del material a ser pulverizado.

En 1972, Bell & Flynn, Inc. demostró que se puede lograr un ahorro del 10 por ciento en una carretera de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50-mm) de espesor mediante triturado mezclado de la superficie y base existentes.

Los costos de las dos alternativas estan dados en la Tabla 13 (23). Los costos unitarios resultantes para las alternativas A y B fueron \$6.72/yd² (\$8.04/m²) y \$7.43/yd² (\$8.89/m²) respectivamente.

La ciudad de Lynn, Massachusetts también se encontró con que podía ahorrar cerca del 35 por ciento en costos mediante el reciclaje de la superficie asfáltica existente en lugar de usar métodos convencionales. Los costos comparativos estan dados en la Tabla 14 (24). Los costos unitarios por reciclaje y métodos convencionales fueron \$4.41/yd² (\$5.27/m²) y \$6.61/yd² (\$7.91/m²) respectivamente.

EL EQUIPO PETTIBONE

En diciembre de 1975 se utilizó equipo fabricado por Pettibone en Buena Park, California. El pavimento de 4 a 6 pulgadas de espesor (100 a 150-mm) una vez pulverizado se hizo a un lado de la carretera y el subrasante

La producción obtenida por Midwest es aproximadamente de 6,000 yd² (5 000 m²) por día. El consumo de combustible es aproximadamente 200 galones (760 L) de diesel por día o 4,500 Btu/yd² (5 700 kJ/m²).

Los pavimentos reciclados según se describió, han funcionado satisfactoriamente bajo tráfico urbano.

INDEPENDENT CONSTRUCTION COMPANY (COMPAÑIA INDEPENDIENTE DE CONSTRUCCION)

La Independent Construction Company de Oakland, Calif., ha utilizado una pulverizadora Metradon modelo 127 para reciclaje de pavimento en el lugar. La secuencia normal de construcción con esta pulverizadora consiste de (a) desgarramiento del pavimento con un tractor equipado con dientes desgarradores, (b) reducción de los trozos de pavimento de 24 por 9 pulgadas (600X230 mm) a 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm) mediante el uso de un compactador de tambor equipado con puntas cortantes (este compactador es similar a los utilizados en operaciones municipales de compactación en depósitos de basura), (c) reducción adicional de los trozos de pavimento con un cilindro de rueda segmentada, (d) pulverización del material a un tamaño máximo de 1.5 pulgadas (38-mm) con el equipo Metradon, y (e) estabilización mediante uso de equipo convencional. La pulverizadora Metradon es jalada por un bulldozer. Conforme la unidad se mueve hacia adelante, el material a ser pulverizado va entrando a la raspadora en donde es impactado por 64 cuchillas unidas a una flecha que gira a 1,250 rpm.

Uno de los trabajos documentados por la Metradon se llevó a cabo en Yolo County, Calif., en una carretera estatal secundaria diseñada para carros y camiones que transportan equipo y productos agrícolas. La superficie de concreto asfáltico varió en profundidad de 3 a 9 pulgadas (75 a 230 mm) y tenía algunas áreas severamente deterioradas. El pavimento de concreto asfáltico existente fué pulverizado de tal forma que el 90 por ciento pasó un tamiz de 1.5 pulgadas (38.1-mm). El pavimento pulverizado fué mezclado con el material subrasante arcilloso y 4 por ciento por peso de cal fué agregada para crear una base cal-tratada de 10 pulgadas (250-mm) debidamente compactada. El resultante material estabilizado a cal fué tendido con 2.5 pulgadas (60 mm) de concreto asfáltico cerca de 6 meses después de la estabilización con cal (20). El costo de desgarrar, pulverizar, agregar cal, mezclar, compactar la sección de 10 pulgadas₂ y agregar 2.5 pulgadas de concreto asfáltico fué de \$5.35/yd² (\$6.40/m²).

En este mismo trabajo, si el estado hubiera proporcionado la cal y el agua y el contratista hubiera acarreado y regado estos materiales en tal caso, se habría cotizado un precio de \$2.12/yd² (\$2.54/m²). Si el estado hubiera suministrado la cal y el agua así como el transporte₂ y regado de estos materiales, se habría cotizado un precio de \$1.77/yd² (\$2.12/m²).

BELL & FLYNN, INC.

La empresa Bell & Flynn, Inc. ha estado reciclando pavimentos asfálticos viejos en capas de bases no tratadas desde 1964 mediante el uso de la trituradora móvil de martillo BROS Traveling Hammermill. Tanto carreteras como pistas de aterrizaje han sido recicladas; las profundidades han fluctuado de 1 a 10 pulgadas (50 a 250 mm). Una secuencia típica de la construcción es la siguiente:

1. Cortar las aristas voladizas de los límites de construcción del pavimento con una sierra de diamante.
2. Escarificar y romper el pavimento existente.
3. Nivelar y formar camellones de la superficie y base del pavimento roto (la profundidad de la capa de base a ser incluida en la pulverización depende

existente fué socavado y remocionado. Una vez concluido el subrasante, ~~el pavimento pulverizado fué utilizado como subbase para el nuevo pavimento~~ asfáltico. Los costos de este proyecto estan dados en la Tabla 15 (25). e incluyen pulverización, nivelado, compactación y acarreo de material sobrante. Como una comparación, los costos de una operación convencional equivalente con todo el material nuevo de 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm) fueron como sigue:

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Excavación del camino | 14,500cy a \$2.85 |
| Subbase de agregado | 5,200cy a \$3.30 |
| Costo total | \$54,485 |
| Costo total por yd ² | <u>\$2.31</u> |

La Pettibone Corporation estima que simplemente el costo de desgarrar, pulverizar, remezclar y compactar un pavimento₂ de 4 pulgadas de grueso (100-mm) es aproximadamente \$0.54/yd² (\$0.65/m²). La independent Construction Company estima que esta misma operación con un pavimento de 5 pulgadas (125-mm) de espesor es de \$0.67/yd² (\$0.80/m²) (21).

En 1976 fueron concluidos dos proyectos usando equipo Pettibone como parte de un programa del Proyecto de Demostración de la Administración Federal de Carreteras (AFC- FHWA). Tres millas (4.8 km) del Camino M del Condado En la Reservación India Menominee de Wisconsin fueron pulverizadas con la Pettibone P-500. El proyecto consistió de cuatro secciones de prueba de 1 milla (1.6 km) como sigue:

1. Una Sección de control compuesta de una capa superpuesta convencional de 2 pulgadas (50 mm).
2. Una sección conteniendo un químico para estabilizar el material pulverizado y cubierta con una capa superpuesta de 2 pulgadas (50 mm).
3. Una sección idéntica a la Sección 2 excepto que el químico no fué utilizado.
4. Una sección con un químico y una emulsión de asfalto para estabilizar el material pulverizado y cubierta con una capa superpuesta de 2 pulgadas (50 mm).

Tres secciones de un camino de condado en Elkhart County, Ind., han sido recicladas con un estabilizador químico. Entre 2 y 4 pulgadas (50 a 100 mm) de pavimento viejo han sido pulverizadas y estabilizadas para usarse como capa superficial. Los reportes de estos proyectos aún no estan disponibles. El programa del Proyecto de Demostración de la AFC esta monitoreando varios proyectos de 1977 de reciclaje en el lugar. Los proyectos estan situados en los estados de Washington, Texas, Kansas y Michigan.

COMPARACION DE ALTERNATIVAS

El reciclaje en el lugar de concreto asfáltico menor de 2 a 4 pulgadas ((50 a 100) en profundidad, puede llevarse a cabo sin mucho desgarramiento preliminar ni manejo de materiales. El reciclaje de concreto asfáltico mayor que 4 pulgadas en profundidad requiere desgarramiento, algún triturado preliminar y encamellonamiento previo a la pulverización.

La información obtenida de los proyectos que involucraron el equipo Pettibone o de la Independent Construction Company ha indicado que el costo de desgarrar, pulverizar, remezclar y compactar es aproximadamente \$0.15/yd²-pulgada (\$0.07/m²-cm). La Midwest Asphalt Paving Corporation ha indicado que los costos de desgarramiento; estabilización con cal, cemento o asfalto; y recompactación son del orden de \$0.30 a \$0.50/yd²-pulgada (\$0.14 a \$0.24/m²-cm). Problemas mayores de mantenimiento de equipo se han presentado en diversos proyectos.

CAPITULO CINCO

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL

(2)

El reciclaje de superficie y base en planta central se ha practicado durante años. El pavimento y los escombros de construcciones han sido triturados y utilizados tanto como capas de asiento estabilizadas como capas de asiento no estabilizadas en Washington, D.C., Los Angeles, Minnesota y San Francisco. Algunos de los planteamientos mostrados en la Figura 12 nunca han sido utilizados en gran escala o sólo recientemente han sido utilizados en forma experimental. Por ejemplo, el reciclaje de concreto de cemento portland al mismo concreto de cemento portland sólo ha sido investigado brevemente en el laboratorio (26,27,28,29,30,31) en los Estados Unidos y un proyecto experimental se hechó a andar en Iowa (32). El reciclaje de superficies de pavimento asfáltico a concreto asfáltico utilizando operaciones de planta central tiene una historia más reciente con la Warren Brothers en 1915 (33), pero muy poca experimentación se ha hecho desde esa fecha hasta 1974 (34).

Los procesos involucran el uso de calor adicional en plantas centrales y el cemento asfáltico como estabilizador tiene un tremendo futuro. Se puede anticipar que cerca del 10 por ciento del mercado de mezcla caliente de concreto asfáltico será proveido por operaciones de reciclaje en caliente de plantas centrales en los próximos tres a cinco años (35). Así, de 30 a 35 millones de toneladas (27 a 32 Tg) serán producidas en cerca de 200 plantas. Las plantas serán plantas nuevas o plantas existentes (de las que se cuentan más de 4,700), que serán modificadas para resolver problemas de contaminación que se presentan cuando se reciclan mezclas de asfalto. El crecido interes en el reciclaje de planta central ha conducido a desarrollar nuevas técnicas para calentamiento de materiales reutilizados (Fig. 12), así como nuevos conceptos en remoción y reducción de trozos de pavimento. Los procesos han sido utilizados para reducir los trozos de material antes de su reciclaje en planta central. El pavimento puede ser reducidode tamaño en el lugar y luego acarreado a la planta central o, el pavimento puede ser remocionado desde el lugar y luego triturado en planta central. La remoción y reducción ya sea en el lugar o sobre la marcha del nivelado pueden ser llevadas a cabo con equipo normalmente destinado al reciclaje en el lugar y de superficie; específicamente, máquinas de remoción en caliente y en frío, equipo de calentamiento-nivelado y pulverizadoras que trabajan sobre la mar na del nivelado.

La reducción en planta central puede llevarse a cabo con equipo convencional, fijo y portátil de trituración y tamizado. El pavimento es normalmente desgarrado y roto antes de su embarque al tamaño apropiado para ser recibido por el triturador primario. En algunos casos, resulta económico usar rodillos aplastadores de rejilla y otros tipos de equipo de construcción para lograr el tamaño adecuado del material en la carretera antes de su acarreo a la planta central. Las trituradoras de mandíbula y de rodillos han provado un funcionamiento satisfactorio.

TECNICAS DE RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL

El equipo para procesar centralmente en caliente el material reciclado ya existe actualmente y para efectos prácticos puede ser separado en tres categorías generales (Fig. 12):

1. Calentamiento a flama directa.
2. Calentamiento a flama indirecta.
3. Agregado sobrecalentado.

CALENTAMIENTO A FLAMA DIRECTA

El calentamiento a flama directa típicamente se lleva a cabo en una mezcladora circular en la que todos los materiales son mezclados simultáneamente en un tambor giratorio con una flama en un extremo. La planta mezcladora circular estándar ha sido utilizada en forma experimental en trabajos realizados en Texas y Arizona. Problemas con contaminación aérea han conducido a diversas modificaciones tales como la adición de escudos para el calor, cargas divididas, etc.

El escudo de calor (Fig. 13) y aire de enfriamiento adicional son usados para reducir los gases calientes a una temperatura menor que 800 a 1200F (425 a 650C) y así reducir la formación de humo azul. Este tipo de equipo puede exitosamente reciclar mezclas de hasta cerca de 70 por ciento de concreto asfáltico reciclado. Ha sido utilizado en Arizona, Oregon, Texas y Utah. El concepto de un tambor dentro de un tambor ha sido empleado en Iowa (Fig. 14). Este proceso esta basado en un tambor de pequeño diámetro insertado en la entrada de alimentación de una unidad de mezcla circular convencional. El agregado nuevo o vírgen es introducido en el tambor interior en donde es sobrecalentado a una temperatura de 300 a 500F (150 a 260C). Los materiales recuperados son introducidos al tambor exterior a través de una segunda canaleta móvil. El material recuperado y el material vírgen calentado se juntan en el punto de descarga del tambor interior en donde se presenta la transferencia de calor. Este tipo de equipo puede exitosamente reciclar mezclas conteniendo hasta cerca de 50 a 60 por ciento de materiales bituminosos reciclados. Las mezcladoras circulares de carga dividida fueron primero utilizadas en 1976 (Fig. 15). El nuevo agregado es introducido por el extremo del tambor donde esta la flama en donde es sobrecalentado de 300 a 500F (150 a 260C). Aproximadamente a la mitad del tambor, el material bituminoso reciclado es introducido y calentado por los gases calientes así como por la transferencia de calor del nuevo agregado sobrecalentado. Este tipo de equipo, que ha sido utilizado en Minnesota y Oklahoma, puede exitosamente reciclar mezclas conteniendo hasta cerca de 60 a 70 por ciento de materiales bituminosos reciclados.

CALENTAMIENTO A FLAMA INDIRECTA

El calentamiento a flama indirecta ha sido llevado a cabo con mezcladoras circulares especiales equipadas con tubos intercambiadores (Fig. 16). Estos tubos, que transfieren los gases, impiden que las mezclas tengan un contacto directo con la flama y temperaturas extremadamente altas. Estas plantas pueden reciclar materiales con contenido de hasta el 100 por ciento de bituminosos. Estas plantas han sido empleadas en Nevada.

AGREGADO SOBRECALENTADO

El agregado sobrecalentado puede ser empleado para calentar material bituminoso reciclado. Como se hiciera notar anteriormente, dos de los métodos de flama directa hacen uso de este concepto para calentar parcialmente el material reciclado. Las Figuras 17, 18 y 19 ilustran métodos que emplean nuevo agregado sobrecalentado para calentar la mezcla reciclada. Las plantas estándar pueden utilizar este sistema. Las Figuras 17 y 18 muestran las diferentes posiciones en que se mezclan el nuevo agregado y la materia bituminosa reciclada. El proceso mostrado en la Figura 17 ha sido empleado en Virginia y Minnesota.

También se pueden utilizar mezcladoras circulares en tándem. El primer tambor puede ser empleado para sobrecalentar el agregado nuevo. El segundo tambor puede entonces ser usado ya sea para calentar la mezcla reciclada

(Fig. 19) o para mezclar y calentar los materiales nuevos y reciclados. Es posible utilizar gases de escape del primer secador como una fuente de calor para la segunda unidad de secado. El concepto de tambor en tándem ha sido practicado en Washington.

La técnica de reciclaje en planta central utilizando agregado sobrecalentado esta limitado para cerca del 50 por ciento de materias bituminosas recicladas.

Sin Calentamiento

La versión final de reciclaje en planta central a ser tratada es sin adición de calor (Fig. 20). Se pueden obtener altas tasas de producción con este tipo de plantas utilizando cal, cemento o asfalto como aglomerante. Esta operación en frío de reciclaje en planta central puede usar hasta cerca del 100 por ciento de materias bituminosas recicladas.

Usuarios del reciclaje en planta central

Los contratistas y fabricantes de equipo que han estado activament involucrados en el reciclaje usando operaciones de planta central estan enlistados en el Apéndice A. La Figura 21 muestra algunos equipos de reciclaje en planta central. Arizona, Iowa, Minnesota, Nevada, Oregon, Texas, Utah, Virginia, Washington y Wyoming han sido los estados más activos en el reciclaje de planta central. Casi todos los trabajos realizados antes de 1978 en los que se usó calentamiento adicional tuvieron alcances limitados y pueden ser llamados más bién experimentales. La planta prototipo de la RMI Systems, con una capacidad de cerca de 85 toneladas por hora (77 Mg/h), ha sido empleada en diversos trabajos que datan desde 1974. Una versión en grande de la planta RMI Systems ha sido empleada en un trabajo sobre la Interestatal 15 cerca de Las Vegas, Nev. Esta planta tiene una capacidad de cerca de 200 toneladas por hora (180 Mg/h). Diversos trabajos experimentales y a gran escala se han llevado a cabo durante 1976, 1977 y 1978 en las temporadas de construcción para resolver ciertos problemas de equipo asociados con los "calurosos" esfuerzos del reciclaje de planta central. Estos proyectos estan localizados en Arizona, California, Iowa, Minnesota, Oklahoma, Oregon, Texas, Utah, Washington y Wyoming.

Las ventajas y desventajas del reciclaje en planta central estan dadas en la Tabla 2.

La siguiente exposición divide las operaciones de reciclaje de planta central en clases basadas en el tipo de material reciclado: de tratamiento de cemento, incluyendo concreto de cemento portland y, de tratamiento de asfalto, incluyendo concreto asfáltico.

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL DE MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO

Wisconsin

Diversos proyectos de reciclaje han sido llevados a cabo en Wisconsin desde 1972. Tres millas (4.8 km) de la Carretera Estatal 13 en los condados de Adams y Woods fueron reciclados en 1973. La carretera consistía de 8 pulgadas (200mm) de base de tierra estabilizada con cemento y 13 pulgadas (330 mm) de material bituminoso de superficie. Aproximadamente una mitad de la sección tenía malla de alambre No. 8 (4 mm) situada directamente sobre la base de tierra estabilizada con cemento. Este camino fué escarificado a una profundidad de 24 pulgadas usando un tractor con un desgarrador de un solo diente. El pavimento, la malla de alambre, la base de tierra estabilizada con cemento y la arena subyacente escarificados fueron acarreados a un triturador y procesados para satisfacer las especificaciones para el material de base.

~~El material reciclado fué transportado de vuelta al camino, conformado~~
y compactado. Sobre la base preparada (36), se tendió una superficie de
concreto asfáltico de 3 pulgadas (75-mm).

Otro proyecto de reciclaje fué llevado a cabo en la Carretera Estatal 13
en el condado de Washburn y la Carretera Federal 2 en el condado de Ashland.
Los pavimentos existentes consistían de ladrillo para pavimento, concreto
asfáltico y concreto de cemento portland, fueron rotos por una grúa y una
bola. Este material fué entonces procesado a través de un triturador para
lograr la gradación especificada. El producto resultante fué utilizado
como capa de asiento sobre estos caminos (36).

Michig

Un solar de estacionamiento en Detroit ha sido pavimentado con una base
bituminosa de 1.5 pulgadas (38-mm) conteniendo tanto vidrio triturado así
como concreto usado, cubierta con una capa de desgaste de concreto asfáltico
de 1 pulgada (25-mm). El material se compactó bien y tuvo una buena apariencia
(37).

Distrito de Columbia

Dos firmas de Washington, D.C. están operando plantas trituradoras para
hacer productos usables de agregado de desechos de pavimento y construcciones.
Grandes losas de pavimento y concreto estructural son rotas en pequeñas
porciones por un rompedor hidráulico; luego el material es alimentado a
un triturador portátil. El material triturado es tamizado para obtener
la gradación deseada. Este material reciclado tiene cualidades de compactación
de alguna manera mejores que los usuales materiales de subbase (38).

California

Un contratista de California está operando un triturador para convertir
desechos de concreto de cemento portland y asfáltico en agregado susceptible
de ser utilizado. Las pruebas de compactación llevadas sobre los desechos
triturados indican que estos son superiores a muchos agregados usados en
plantas (39).

Otra operación en California está reciclando concreto de cemento portland
y materiales de pavimentación de concreto asfáltico para uso como agregados
en bases de concreto de cemento portland de mezcla pobre. El material sobrante
es incorporado a un proceso combinado de trituración y tamizado. El acero
reforzado y otros desechos son manualmente removidos y apilados. El agregado
es luego combinado con cemento, agua y un aditivo "air-detraining" para
formar un concreto magro con un 8 por ciento de contenido de cemento (a
diferencia del 5 por ciento para la base tratada con cemento). El contenido
de aire fué 3.5 por ciento y el asentamiento promedió 2.5 pulgadas (60 mm).
El Departamento de Transportación de California informó que la mezcla "natural"
sin el aditivo "air-detraining" tenía 13 por ciento de aire. El acomodo
de este concreto magro fué logrado utilizando una máquina pavimentadora
de molde corredizo Blaw-Knox. La resistencia a la compresión en siete días
promedió 450 psi (3100 kPa) y el rendimiento ha sido excelente (40).

Texas

Quince millas (24 km) de la Carretera Estatal 36 en el condado de Burleson
fueron reconstruidas en 1969. El camino existente era un pavimento de concreto
de cemento portland ligeramente reforzado con una capa superpuesta de concreto
asfáltico. El material fué roto con una bola "dolor de cabeza" y el acero
reforzado cortado con soplete. Después de haber sido transportado a un

sitio central, el material fué triturado y mezclado para ser usado como capa de asiento estabilizada con asfalto y como capa superficial de concreto asfáltico. En el triturador primario, un trabajador corta el acero reforzado. Otros dos trabajadores remueven el acero suelto del flujo de material conforme va saliendo del triturador secundario. Este acero fué vendido como desecho, con lo que se cubrió parcialmente el costo de remover el acero. En adición a los problemas causados por el acero, el monto variable de concreto asfáltico presente en el agregado procesado, creó problemas de contaminación de aire así como la presentación de dificultades menores para establecer demanda de aglomerante. Los requerimientos cuantitativos del asfalto fueron satisfechos, mediante un mejorado control de planta; sin embargo no se resolvieron satisfactoriamente los problemas de contaminación del aire.

Aunque no se cuenta con amplia información económica, se puede decir que el contratista no perdió dinero por su decisión de procesar y utilizar el pavimento viejo en la construcción nueva. Con el procesamiento adicional en que se incurrió, los costos de operación se incrementaron. Sin embargo estos costos fueron compensados con los ahorros logrados por no tener que comprar ni transportar grandes volúmenes de agregado grueso de alta calidad en el área aledaña, sin mencionar los ahorros logrados con el mantenimiento de carreteras existentes que llevaban al lugar de la obra cuando se utilizaban para desplazamientos. Los requerimientos de combustible para el secado del agregado se redujeron considerablemente (41).

La Carretera Federal 54 en el Cuarto Distrito fué construida usando agregado obtenido a partir de concreto de cemento portland. Este pavimento contenía acero únicamente en las juntas y así fué removido y triturado con escasa dificultad. El agregado producido a partir de esta fuente fué utilizado para afirmado con concreto asfáltico y para cubierta de capa sellante sobre el espaldón. Seis y medio por ciento de asfalto fué requerido con el agregado reciclado para producir el afirmado de concreto asfáltico, que tenía una estabilidad Hveem de 50. El rendimiento de este pavimento ha sido excelente desde su conclusión en abril de 1972 (42).

Un segundo trabajo en el Cuarto Distrito fué finalizado en febrero de 1974 sobre 5.5 millas (8.8 km) de la Carretera Federal 60 en West Texas (43).

El proyecto se necesitó para reconstrucción de esta carretera del condado de Humphill. Dicha carretera tenía un pavimento de 18 pies de ancho (5.5 m) hecho de concreto con un diseño de 9-6-9 pulgadas (230-150-230 mm).

El acero reforzado en el pavimento de aristas engrosadas consistía de dos barras de .5 pulgadas (13-mm) a lo largo de cada lado con barras de .5 pulgadas (13-mm) por tres pies de largo (.9-m) actuando como barras de unión entre las laterales. Se colocaron trabazones en todas las juntas transversales.

El pavimento fué fácilmente adaptable al triturado ya que una larga porción contenía acero. Los rompedores de pavimento fueron utilizados para fracturar el pavimento en trozos no mayores a un pie cuadrado (0.09 m²). Dos hombres con soplete cortaron y removieron el acero reforzado conforme un cucharón cargador frontal removía el concreto del camino.

Una planta portátil de trituración (equipada con una trituradora de mandíbula, un triturador de rodillos y una trituradora de cono) y una planta de tamizado fueron utilizadas para procesar el cascote. Conforme el material era acarreado de la trituradora de mandíbula a la planta de tamizado, dos hombres recogían las pequeñas cantidades de acero que caía de la banda transportadora. El polvo que se formaba alrededor de la trituradora era controlado por riego de agua.

Se mezcló cemento asfáltico al seis por ciento con el agregado de relación baja de vacíos para la capa superficial de concreto asfáltico. La estabilidad Hveem de esta mezcla fué 51. El agregado producido a partir de la operación de trituración fué también utilizado como roca de capa sellante. El contratista

~~de este proyecto consideró que no sólo estaba recuperando un valioso recurso sino que también estaba siendo capaz de reducir costos de transportación y de producir un producto aceptable a un costo menor.~~

Una sección de la Interestatal 30 al este de Greenville, Tex., ha sido construida empleando concreto de cemento portland viejo y triturado como una base granular. Un rompejor de pavimento automático fué utilizado para romper 75,000 yd² (63 000 m²) de concreto de cemento portland no reforzado de 10 pulgadas (250-mm) en secciones de 12 pulgadas (300-mm). Las secciones fueron cargadas junto con base de arena subyacente de 2 pulgadas (50 mm) y transportadas a un paso superior cercano. Aquí, el material fué procesado a través de una trituradora. Este concreto triturado fué regresado al camino y depositado como una primera capa de una capa de asiento. El acabado fué logrado usando métodos convencionales. El rendimiento hasta la fecha ha sido satisfactorio.

El Tercer Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas ha reciclado cascote de construcción de concreto de cemento portland. En Wichita Falls se construyó una desviación para el Boulevard Kell con 300 toneladas (270 Mg) base estabilizada de asfalto compuesta de cascote de concreto triturado y arena de campo. La colocación de este material se llevó a cabo con equipo convencional sin que se experimentara dificultad alguna. Aunque esta desviación fué solamente temporal, el rendimiento que tuvo fué satisfactorio. (44).

Iowa

Aproximadamente 25,000 yd² (21 000 m²) de pavimento fueron reciclados por el Departamento de Transportación de Iowa en el condado de Lyon en 1976 (32). La construcción original era un pavimento de concreto de cemento portland de 18 pies de ancho colocado en 1934. Este concreto contenía 658 libras de cemento por yarda cúbica (390 kg/m³). El concreto de cemento portland, para ensanchar el pavimento más viejo a 24 pies (7.3 m) en 1958 fué utilizado. La capa superpuesta de concreto asfáltico de 3 pulgadas (75-mm) fué colocada en 1963. El nuevo pavimento contenía tres diferentes mezclas. Las mezclas A y B contenían concreto de cemento portland reciclado y arena y fueron utilizadas para pavimentar secciones de 9 pulgadas (230-mm) de espesor. La mezcla C, una combinación de concreto de cemento portland triturado y concreto asfáltico, fué usada como econocreto en una sección de 11 pulgadas (280-mm) de espesor de pavimento compuesto.

El concreto asfáltico fué quitado del concreto de cemento portland y cargado en camiones con un retroexcavador. El pavimento de concreto de cemento portland fué cincelado por aire sobre centros de entre 3 y 4 pies (0.9 a 1.2-m). El cincel aéreo estaba unido a un retroexcavador montado en tractor. Después de la operación del cincelado, un retroexcavador más grande fué utilizado para levantar y cargar el concreto de cemento portland a las unidades de acarreo.

Una trituradora de mandíbula de 42 pulgadas (1.1-m) fué utilizada como trituradora primaria. La trituradora primaria redujo el concreto de cemento portland a un tamaño máximo de 5 pulgadas (125-mm). Una planta de triturado portátil secundaria redujo el material todavía más a un tamaño de 1.5 pulgadas (38-mm) máximo. Esta unidad consistía de una trituradora de mandíbula y de rodillos. Sólo se empleó una pila que resultó en algo de segregación. Los cambios en la operación de triturado incluyeron un incremento de distancia desde la boca del conducto de salida de la trituradora de mandíbula hasta la banda destinada al apilamiento.

El pavimento original tenía varilla lisa reforzada del número 5 (16-mm) en cuatro posiciones longitudinales. No se utilizó acero en el trabajo de ensanchamiento de los 2 pies por 10 pulgadas (0.6-m por 2.54-m). Se

removió acero manualmente en seis puntos: (1) sobre la plataforma durante la operación de cargamento; (2) durante la operación de cargamento para triturado en el patio (una bola "dolor de cabeza" fué utilizada para reducir el tamaño de algunas losas en el patio); (3) a la entrada a la trituradora de mandíbula primaria; (4) sobre la banda transportadora después del triturado primario; (5) sobre la marcha de la banda transportadora de alimentación hacia la trituradora de rodillos; y (6) en el apilado (este fué un esfuerzo mínimo). El concreto de cemento portland fué removido del camino sin obtener subbase o subrasante. Del 75 al 80 por ciento aproximadamente de concreto de cemento portland fué recuperado. La empresa L. G. Everist, Inc. llevó a cabo la operación de remoción y triturado junto con I. F. Jensen Company responsable de la operación de pavimentado.

La operación de pavimentado fué estándar excepto por dos mezcladora-pavimentadoras de molde corredizo que fueron utilizadas en la sección de econocreto. La primera máquina pavimentadora colocó la primera colada de 7 pulgadas (180-mm) de econocreto, y la segunda máquina colocó la capa de desgaste de 4 pulgadas (100-mm) (Fig. 22). El econocreto contenía concreto de cemento portland y concreto asfáltico. La capa de desgaste contenía sólo concreto de cemento portland reciclado. Ambas máquinas pavimentadoras podían ser cargadas desde los lados.

Se notaron algunos problemas con el grado de admisión de la compuerta durante la admisión y el cargado del agregado. También ocurrió puenteado en las compuertas y salieron a relucir granulados excesivos en otras ocasiones. Existían en esta mezcla más granulados que en muchas de las mezclas de concreto de cemento portland. Se empleó un aditivo de reducción de agua para ayudar a dispersar los granulados. También se notó un alto contenido de aire en algunas mezclas. La mezcla es dura y más difícil de manejar que algunas mezclas de concreto. Se utilizó equipo PEX.

Se empleó el control normal de construcción de concreto. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia flexional y a la compresión y de derretimiento de helada; las de resistencia al patinaje y medidas de asperezas se llevarán a cabo a intervalos establecidos.

El estado de Iowa ha pasado por alto la fase de explanación de los proyectos de reconstrucción en los que el concreto viejo de cemento portland será removido y triturado para agregado en el nuevo camino. Este proyecto, que está localizado en la parte suroccidental de Iowa sobre la Carretera 2, tiene aproximadamente 15 millas (24 km) de largo y será concluido en 1978. Un segundo proyecto ha sido concluido recientemente en la Carretera Interestatal 680 al norte de Council Bluffs, en donde el concreto de cemento portland fué triturado y utilizado como material de subbase en espaldones de concreto de cemento portland (45).

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL DE MATERIALES TRATADOS CON ASFALTO

Iowa

Proyecto de 1975

Una sección de 0.90 millas (1.4 km) en un camino del Condado Kossuth en Iowa fué reciclado en abril de 1975. Este pavimento consistía de aproximadamente 4 pulgadas (100 mm) de concreto asfáltico sobre una base de grava-arcilla. Un nivelador fué utilizado para escarificar el pavimento. Los trozos de pavimento fueron rotos más adelante por un tractor equipado por ruedas de compactador. Este material fué transportado al sitio de la planta en donde fué triturado a un tamaño máximo de 2 pulgadas (50mm) (46).

Después de que el pavimento había sido removido el material de base grava-arcilla fué escarificado a una profundidad de 4 pulgadas (100 mm) sobre la mitad de lo ancho del camino. Este material encamellonado, movido y apilado

encima de la otra mitad de la base grava-arcilla no escarificada. Un nivelador fué luego utilizado para rebajar la mitad excavada del camino un pie (0.3 m) uniformemente y para colocar el material excavado sobre los contrataludes. El material fué compactado utilizando aplanadoras de pie de cabra. Este proceso fué repetido sobre la otra mitad del camino, resultando en 1,500 toneladas por milla (850 mg/km) de base grava-arcilla recuperada. El material recuperado fue retendido, compactado y utilizado como material de subbase.

Después de que el material de base grava-arcilla estuvo colocado, el pavimento triturado fué reciclado. El mezclado fué llevado a cabo mediante el uso de un mezclador circular de 10 por 30 pies (3 x 9 m) con un lavado húmedo de baja eficiencia. Este mezclador tenía una línea de asfalto dentro del tambor e introdujo 3.5 % de asfalto por peso en una mezcla de pavimento reciclado al 70 % y piedra caliza nueva al 30 %. (el pavimento contenía el 3.7 % de asfalto residual). Para reducir el humo resultante se agregó humedad al 3 % en el material de pavimento entrante. La producción se mantuvo en el rango de 275 a 300 toneladas por hora (250 a 270 Mg/h) con una temperatura de mezcla de 225 F (110 C).

Proyecto de 1976

Tres segmentos de camino fueron reciclados por el Condado Kossuth en 1976 (47). El primer camino es de 9.5 millas de largo e incluye 44,838 toneladas (40 700 Mg) de material reciclado. El Departamento de Transportación de Iowa y la División de Proyectos de Demostración de la FHWA participaron en este proyecto. Otros dos proyectos de reconstrucción consolidados localmente, que totalizaron 5.8 millas en longitud (9.4 km) e involucraron 25,742 toneladas (23,300 Mg) de revestimiento reciclado, iban a ser contratados al mismo tiempo. Un proyecto local de 7 millas (11 km) de revestimiento secundario requerirá 11,456 toneladas (10 400 Mg) de mezclas.

Se llevaron a cabo pruebas preeliminares con el concreto asfáltico triturado en el Laboratorio Central del Departamento de Transportación de Iowa en la ciudad de Ames. Cuatro combinaciones de materiales fueron probados. Para efectos de evaluación se utilizó la secuencia de la prueba Marshall. Las mezclas de laboratorio evaluadas incluyeron :

1. Concreto asfáltico al 100 %.
2. Concreto asfáltico reciclado al 80 % - arena y grava al 20 %.
3. Concreto asfáltico reciclado al 67 % - arena y grava al 33 %.
4. Concreto asfáltico reciclado al 50 % - arena y grava al 50 %.

No agregó un cemento de asfalto de 120 a 150 de penetración en varios porcentajes a las mezclas asfálticas recicladas de concreto-grava. No se empleó agente reblandecedor alguno ni otro tipo de aditivo. El contenido promedio de asfalto del viejo concreto asfáltico reciclado fué 5.4 por ciento por peso.

Tres contratistas presupuestaron los trabajos del Condado Kossuth. Everds Brothers, Inc. de Algona, Iowa dió la cotización más baja. La reconstrucción incluía la reducción del nivel, el ensanchamiento del pavimento de 20 a 24 pies (6.1 a 7.3 m) incluyendo espaldones y el allanamiento de los talúdes laterales. El reciclaje permitió rebajar la altura del nivelado y el reutilizamiento del material de pavimentación. Una capa superpuesta y un trabajo de ensanchamiento con los talúdes laterales escarpados existentes hubieran requerido la transportación de cantidades substanciales de material.

Dos dientes de desgarrador fueron utilizados detrás de un bulldozer para romper el pavimento antes del cargamento con un cucharón cargador frontal a las unidades de arrastre. Se formó una pila de este material en preparación para su triturado. Se utilizó una trituradora de mandíbula primaria. Una trituradora de rodillo secundaria en una planta de tamizado fué empleada

para contribuir a la preparación del material. Se obtuvieron partículas de un tamaño máximo de 2 pulgadas (50 mm).

En la planta central, se agregó nuevo cemento de asfalto al 4 por ciento al concreto asfáltico reciclado al 67 por ciento y la grava al 33 por ciento. La planta ha sido operada con hasta el 50 por ciento de material nuevo en la mezcla. La planta es operada en un rango de 270-275 F (132-135 C). La producción promedio fué de 210 a 215 toneladas por hora (190-195 Mg/h). Se han hecho esfuerzos con el material de tamaño anormal que sale de la trituradora. Este material es de un tamaño máximo aproximado de 5 pulgadas (125 mm). Se encontró con menos problemas de contaminación durante la realización de estos esfuerzos.

El sistema de control de contaminación incluye un deflector y un sistema húmedo. Alguna acumulación progresiva ha sido notada en el trabajo del conducto. Existe equipo disponible en el área de trabajo para monitorear los problemas de contaminación.

Se probó una variedad de cambios en la planta. Estas alteraciones, casi todas ayudaron a la reducción de problemas de contaminación de aire, incluyen: (1) mover el quemador lejos de la quemadora circular; (2) colocar las gargantas de aire en la gualdera entre el quemador y el tambor; (3) incrementar cinco veces más la cantidad de aire introducida en el quemador; (4) reducir el talud del tambor a dos grados; (5) mover el deflector de calor de la mitad del camino en el tambor (posición estándar en la planta BARBER GREENE) a una posición cercana al extremo de entrada del tambor; (6) adicionar flama y deflectores de calor en el extremo de la gualdera del quemador y (7) introducir asfalto en el tambor mediante un tubo dispuesto en el extremo de salida (el asfalto es normalmente introducido a mitad de camino del tambor).

Los costos de reconstrucción de pavimento utilizando el sistema de reciclaje serán de \$ 62 100 por milla (\$ 38 600 /km) según cálculos, cuando los de técnicas normales de reconstrucción serían \$ 72 500 por milla (\$ 45 100 /km).

Proyecto de 1977

La Bohlin Construction Co. recicló 43 000 toneladas (39 000 Mg) de asfalto de mezcla caliente utilizando una planta de mezcladora circular modificada Cedarapids en 1977 (48, 49). La modificación desarrollada por la Iowa Manufacturing Company es referida como el proceso "tambor dentro de un tambor" FIG. 14.

Se logró una tasa de producción de 300 toneladas por hora (270 Mg/h) utilizando agregado virgen conteniendo humedad al 8 por ciento y pavimento asfáltico recuperado y triturado conteniendo humedad al 4.5 por ciento mezclado en una relación 50-50. La mezcla reciclada fué descargada de la mezcladora circular a una temperatura de 260 a 270 F (127-132 C). Las tasas de producción más altas fueron logradas con una mezcla de 65-35 (reciclado al nuevo agregado) al tiempo que se mantenía el cumplimiento de las regulaciones referentes a la contaminación del aire. La descarga de partículas en montón fué controlada por una unidad de depuración húmeda.

Con esta mezcla combinada de 50-50, se utilizó cemento nuevo de asfalto de 200 a 300 grados de penetración al cinco y medio por ciento. El diseño de la mezcla fué desarrollado por el método Marshall, el que indicó un contenido de asfalto óptimo total de 9 por ciento por peso de la mezcla. Los parámetros de diseño fueron: estabilidad Marshal 1863 lb.; flujo Marshal, 8 (0.01) pulgadas; huecos en el agregado mineral 23 por ciento; huecos llenados con asfalto, 75 por ciento; y huecos de aire, 6.5 por ciento.

Proyecto de 1975

En octubre de 1975, el Departamento de Transportación de Utah concluyó un Proyecto Experimental de Reciclaje cerca de Cove Fort. Este proyecto involucró el reciclaje de aproximadamente 450 toneladas (400 Mg) de material de pavimento removido de la Interestatal 15 cerca de Anderson Junction. El pavimento consistió de 0.75 pulgadas (19 mm) de sello de mezclado en planta conteniendo cemento de asfalto al 6.6 por ciento y 1.5 pulgadas (38 mm) de capa de desgaste conteniendo cemento de asfalto al 4.4 por ciento. Este material fué escarificado y transportado a la planta cercana a Cove Fort. El material fué rebajado adelante con las carrileras de un bulldozer y procesado a través de una mezcladora circular en donde se agregó un agente modificador de reciclaje. Se emplearon dos diferentes porcentajes de agente modificador : 1.3 por ciento y 1.0 por ciento por peso de mezcla. Se agregó agua aproximadamente al 3 por ciento. La mezcla resultante fué tendida con equipo convencional para formar una conexión temporal entre la Interestatal 70 y la Carretera de Utah 4 cerca de Cove Fort (50).

Proyecto de 1977

Una sección de 8.7 millas (8 km) de la Carretera Federal 50 cerca de Holden, Utah, fué reciclada en 1977 por Peter Kiewit Sons utilizando una planta de mezclado circular modificada Boeing (51) (FIG.13). El contratista removió el material viejo del camino mediante desgarramiento con un bulldozer y encamellonamiento. El material fué transportado al sitio de la planta, triturado con una trituradora de rodillo y apilado. Una considerable porción del material subyacente al concreto asfáltico fué removida, requiriendo algunos ajustes en el diseño de la mezcla. El manejo del material después del reciclaje fué llevado a cabo en forma convencional. Sin embargo, para temperaturas iguales de mezcla, se observó que el material reciclado era más duro de "trabajar" que una mezcla convencional. El material de reciclaje aparentó tener una mayor resistencia al cizallamiento y al desgaste. La mezcladora circular utilizada en este trabajo tenía una capacidad de 600 toneladas por hora (540 Mg/h) para mezclado convencional. Las tasas de producción de entre 275 y 375 toneladas por hora (250 y 340 Mg/h) fueron comunes durante el proyecto. Las alteraciones en la planta incluyeron la adición de un escudo de calor de la Boeing y una bomba de desplazamiento positivo en reemplazo de la bomba de flujo tipo medidor para controlar las cantidades de modificador.

Un cemento de asfalto AC-10 y un modificador fueron agregados a las mezclas recicladas. Las mezclas colocadas incluyeron material reciclado al 100 por ciento, agregado reciclado al 85 por ciento y nuevo al 15 por ciento, y agregado reciclado al 77 por ciento y nuevo al 23 por ciento.

Los objetivos de reducción de contaminación del aire de operar en el rango de 20 por ciento de capacidad con 0.04 granos de partículas por pie cúbico seco no fueron logrados consistentemente. Las partículas fueron probadas en un rango entre 0.10 y 0.12 y no hubo cambios significativos durante el proyecto experimental.

El descenso de las temperaturas de salida de la mezcla entre 190 y 200 F (88 y 93 C) reduciría la capacidad a 20 por ciento o menos. Sin embargo, este material fué inadecuado para su colocación y compactación en el camino.

Indiana

Warren Brthers, una compañía contratista especializada en producción de concreto asfáltico y construcción de caminos, ha desarrollado un proyecto de reciclaje

en Indiana. Una mezcladora circular fué utilizada para producir un material reciclado a partir de pavimento asfáltico viejo y agregado grueso. Se agregó emulsión al uno y medio por ciento. La contaminación de aire pareció ser el problema más grande. Warren Brothers considera que el objetivo principal es utilizar las plantas existentes con el mínimo de modificaciones. Ellos han construido un modelo a escala de laboratorio de un secador convencional. Resultados de pruebas de laboratorio empleando el modelo indican que el reciclaje es posible con secadores convencionales siempre y cuando se pueda mantener un control de la temperatura (33).

Nevada

Las Vegas Paving Incorporated, que desarrolló la planta RMI Thermo-matic y el Método a Fuego Directo de Carga Dividida (Split-Feed Direct-Fired Method), ha estado activa en el reciclaje de pavimento viejo de concreto asfáltico en el Aeropuerto Internacional McCarren de Las Vegas, en la Carretera Interestatal 10 cerca de Sloan, en Henderson, y generalmente en el área de Las Vegas. La planta Thermo-matic (FIG. 21, parte inferior) se asemeja a la mezcladora circular convencional pero con una importante excepción. El contacto directo entre la flama del quemador y gases de combustión por un lado, y el concreto asfáltico viejo por el otro no está permitido. Este diseño produce un efluente libre de humos y gases que satisface los estándares de calidad del aire.

Esta operación hace uso de modificadores de reciclaje en cantidades de entre 0.25 a 0.75 por ciento por peso de mezcla para reblandecer el asfalto viejo. Los resultados indican que la calidad de la mezcla caliente reciclada es idéntica a la de las mezclas de asfalto de materiales vírgenes (52). En 1976, se concluyó un proyecto que utilizó principalmente el sistema Thermo-matic, sobre la Carretera Interestatal 15 cercana a Las Vegas. El proceso de reciclaje consistió en desgarramiento de pavimento, remoción de pavimento mediante el uso de un excavador roto-rotario, triturado con trituradoras primarias de mandíbula y rodillos, calentamiento, adición de un agente reblandecedor de asfalto mezclado, tendido y compactación. Cada fase de la operación (remoción de pavimento, triturado, mezclado y tendido) fué programada para producir a la tasa de cerca de 200 toneladas por hora (180 Mg/h).

Las comparaciones de costos de concreto asfáltico convencional y reciclado ha sido preparado por Mendenhall (53). El costo de concreto asfáltico en la planta es \$ 12.15 por tonelada (\$ 13.39 Mg) para mezcla convencional, comparado a \$ 7.96 por tonelada (\$ 8.77 /Mg) para mezcla reciclada. Un ahorro de \$ 4.00 por tonelada (\$ 4.40 /Mg) puede ser logrado (FIG. 23). Esta forma de reciclaje ofrece no solamente la ventaja del costo sino también un ahorro en energía y recursos naturales. La utilización de energía de la operación de reciclaje puede ser sólo el 40 por ciento de la consumida en una operación convencional de construcción de concreto asfáltico (52).

Virginia

La Warren Brothers ha desarrollado un proyecto experimental de reciclaje involucrando cerca de 7 000 toneladas (6 400 Mg) de mezcla caliente reciclada sobre la Carretera Federal 1 cerca de Richmond, Va. (54,55). El pavimento asfáltico viejo, con un espesor aproximado de 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm), fué removido con tres diferentes técnicas. Dos máquinas Pettibone fueron utilizadas en una parte del proyecto para pulverizar el pavimento en el lugar. En otra parte, una Calion HP-30 fué utilizada para remover el material. Otras secciones de pavimento fueron procesadas mediante desgarramiento y remoción del camino seguidas por triturado en una planta central.

~~Considerando la condición de tráfico de este proyecto, el triturado en planta central puede ser la operación preferida de los tres métodos usados.~~ Una planta de dosificado convencional Warren Brothers de 120 toneladas por hora (110 Mg/h) construida en 1925 fué empleada para calentamiento y mezclado. Esta planta tenía varias modificaciones: (1) el quemador estaba movido hacia atrás 1 pie (0.03 m) y se había introducido aire adicional; (2) se removieron cerca de 3 pies (0.9 m) de espas del extremo del tambor en donde esta el fuego; (3) una cama de arena fluidificada, desarrollada por M.I.T. fué empleada en forma muy limitada para efectos de control de contaminación del aire; y (4) los tamizes en caliente fueron removidos. La mezcla resultante, conteniendo cemento adicional de asfalto AC-10 al 1.3 porciento, ha sido tendido en una parte del proyecto. Sobre la marcha se encontraron problemas de contaminación del aire y obstrucción del trabajo de los ductos que contribuyeron al material bituminoso de punto de reblandecimiento bajo utilizado en una de las capas de concreto asfáltico reciclado. La cama de arena fluidificada fué muy exitosa al remover todo el humo azul del sistema de escape. Las tasas de producción del 60 porciento aproximado de la capacidad instalada fué lograda en el proyecto. Proyectos de reciclaje de la Warren Brothers a pequeña escala han sido desarrollados en Farmington, N.H. ; Greenborough, N.C. ; y Richmond, Va.. En esos proyectos se observó un poco de acumulación progresiva de granulados.

Texas

Proyecto de 1974

A principios de 1974, el Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas decidió usar una porción del concreto asfáltico removido de la Carretera Federal 83 en McAllen y reciclarlo como un proyecto experimental. El concreto asfáltico fué removido en la forma convencional, empleando una bola "dolor de cabeza", desgarradores y cucharones cargador frontal. Fué transportado al sitio de la planta del contratista (en donde también se localizaba su fuente de agregado en bruto) y procesado a través de una trituradora primaria a un tamaño máximo de 2.5 a 3.0 pulgadas (60 a 75 mm). el material fué luego llevado directamente a la planta secadora de tambor. Un preeliminar y superficial análisis de laboratorio indicó que de 1 a 1.5 por ciento de asfalto adicional (AC-20) sería probablemente suficiente, pero también arrojó que se requería cerca del 2 por ciento (AC-20) para obtener las características de mezcla deseadas. El material proveniente de la planta tenía la apariencia de una mezcla normal y su viabilidad era muy similar. Este material fué transportado a un llano a la orilla de la Carretera Federal 281 en el Condado North Hidalgo y colocado cerca de la mezcla convencional de superficie. Desafortunadamente, el total de tráfico en este pavimento será más bien bajo ; en consecuencia, tendrá que pasar algún tiempo antes de que se pueda conocer su rendimiento bajo el tráfico. La contaminación del aire no significó un problema en este proyecto (44).

Proyecto de 1975

En la primavera de 1975, una sección de 1.4 millas (2.3 km) de la Carretera Federal 84 , fué reciclada en forma experimental por el Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas (56). Esta sección consistía de una superficie de concreto asfáltico de mezcla caliente sobre una base flexible. Después de que el material fué escarificado se emplearon dos métodos para el triturado del cascote. Con el primer método, el material fué transportado a una trituradora primaria y procesado. Una planta amasadora convencional fué empleada para reciclar este material.

La adición de asfalto de $\frac{1}{2}$ a 1 por ciento por peso al pavimento reciclado produjo un material con una buena consistencia.

El segundo método de triturado empleó triturado en el lugar usando una aplanadora de rejilla tirada por tractor. Este proceso permitió al contratista introducir humedad en el material para obtener un contenido de humedad más uniforme que auxilio al mezclado y mejoró la calidad del aire. Un tamiz de 2.5 pulgadas (63 mm) fué colocado sobre el viejo transportador de carga fría para remover los trozos de pavimento de gran tamaño antes de su procesamiento en la mezcladora circular.

Cinco combinaciones de material nuevo y reciclado fueron probadas. La primera prueba consistió de nuevo material de base al 20 por ciento y pavimento reciclado al 80 por ciento con la adición de 5 por ciento por peso de emulsión de asfalto. Esta mezcla se tendió bien y tuvo todas las apariencias de una mezcla exitosa. La segunda prueba consistió de nuevo material de base al 50 por ciento, pavimento reciclado al 50 por ciento y emulsión de asfalto al 6 por ciento por peso. Esta mezcla fué colocada en el camino sin dificultad. La tercera prueba consistió de nuevo material de base al 60 por ciento, pavimento reciclado al 40 por ciento y asfalto AC-10 al 6 por ciento por peso. Esta mezcla produjo polvo en exceso, que requirió la adición de agua. La colocación de esta mezcla fué lograda con poca dificultad. La cuarta mezcla consistió de nuevo material de base al 70 por ciento, pavimento reciclado al 30 por ciento y asfalto AC-10 al 7 por ciento por peso. Esta mezcla produjo una gran cantidad de humo pero fué colocada con un mínimo de dificultad. La prueba final se compuso de pavimento reciclado al 100 por ciento y asfalto AC-10 al 4 por ciento por peso. Esta mezcla no tuvo una buena consistencia y su colocación fué difícil.

El mayor problema encontrado en esta operación experimental fué la contaminación del aire. La planta amasadora estaba equipada con una casilla de bolsa. Esta, sin embargo no pudo evitar el "humo azul" producido por la exposición del viejo pavimento rico en asfalto a la flama directa. La mezcladora circular estaba equipada con un baño de agua. Este tampoco fué capaz de remover el humo de la chimenea de escape. Se mantuvieron temperaturas tan bajas como 200 F (90 C) en un esfuerzo para reducir este humo (56).

Proyecto de 1976

En 1976, una mezcladora circular manufacturada y modificada por Boeing fué utilizada para reciclar concreto asfáltico para cubrir 1.5 millas (2.4 km) de un camino secundario cercano a Mission, Tx. (57) (FIG. 13). Las modificaciones incluyeron una rejilla de cerámica, mover la flama a distancia del tambor y regar agua sobre el concreto asfáltico triturado. Cemento de asfalto (AC-3), o aceite fluidificante y un modificador de reciclado fueron agregados al concreto asfáltico reciclado para producir estas mezclas. Desde los puntos de vista de propiedad de la mezcla y emisión, la prueba más exitosa pareció ser la de la mezcla producida con cemento de asfalto de 2 a 2.5 por ciento. Esta mezcla fué producida a una tasa de 100 a 150 toneladas por hora (90 a 140 Mg/h) a una temperatura aceptable y con emisiones aceptables. Las mezclas hechas con aceite fluidificante y el modificador tuvieron emisiones excesivas. Las porciones de mezcla reciclada compactada hecha con aceite fluidificante tuvo desmoronamiento de bordes al poco tiempo de la apertura al tráfico. El aceite fluidificante y el modificador fueron utilizados como agentes reblandecedores.

Proyecto de 1977

~~En 1977, una planta mezcladora circular fabricada y modificada por Boeing~~ ⁴³
 fué empleada para reciclar concreto asfáltico en la Carretera Interestatal
 20 en el Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte
 Público del Estado de Texas (Fig. 13). Las modificaciones a la planta
 incluyeron un escudo de calor y la introducción del agregado en la parte
 oculta del tambor. El triturado del viejo concreto asfáltico fué llevado
 a cabo en el sitio de la planta. Algunas de las capas de asiento existentes
 fueron utilizadas en la mezcla reciclada con nuevo agregado adicional.
 Agua agregada a las pilas antes del reciclaje constituyó una ayuda para
 la opacidad del control.
 La mezcla reciclada fué usada como una capa de asiento y no contuvo modificador
 excepto por una pequeña sección experimental. El diseño de la mezcla
 estuvo basado en el estabilómetro Hveem y el método de diseño asiento-
 negro de Texas.
 Experimentos adicionales en pequeña escala han sido conducidos por Boeing
 en North Dakota y Arizona. El propósito de estas pruebas fué mejorar
 las emisiones y probar la durabilidad de los materiales de parilla. A
 continuación se expone el proyecto de Arizona.

Arizona

Arizona recicló 25,200 toneladas (22 900 Mg) de concreto asfáltico en
 1976. El material reciclado fué utilizado para cubrir 5.4 millas (8.7
 km) de la Carretera 666 de la Interestatal 10 al norte de la línea del
 Condado Graham.

El equipo empleado en la operación de recuperación incluyó una niveladora
 de 180 caballos de fuerza (134-kW) con cuchilla y desgarrador, un cargador
 de 6 yd³ (4.6 m³), cuatro camiones de 19 yd³ (14.5 m³) y un bulldozer
 de 385 caballos de fuerza (287 kW). La niveladora desgarró la capa de
 concreto asfáltico de 3 a 5 pulgadas (75 a 125 mm) y arrastró con la
 cuchilla el material a un semi-camellón, el cargador removi6 el material
 del camino y lo colocó en los camiones, y el bulldozer empujó el material
 a una pila después de que fué volteado. El concreto asfáltico recuperado
 fué triturado por cuadrillas de mantenimiento del estado utilizando una
 trituradora de rodillos Pioneer modelo 358S.

En agosto de 1976, 100 yd³ (76 m³) de concreto asfáltico triturado fueron
 corridas a través de una mezcladora circular modificada para propósitos
 de pruebas. Estas pruebas quedaron inconclusas; de cualquier manera,
 los trabajos a escala total fueron iniciados en marzo de 1977 por la
 D. C. Speer Construction Company.

Una mezcladora circular Boeing con varias modificaciones fué empleada
 (Fig. 13). Un "Pyro-Cone" de una aleación especial de acero de 6 pies
 (1.8 m) de diámetro fué una de las modificaciones a la planta, junto
 con una correa transportadora de alimentación por debajo de alta velocidad
 para "arrojar" el material frío de alimentación al tambor a 3 pies (0.9
 m) aproximadamente del quemador. Se hicieron modificaciones durante el
 proyecto. La producción y las temperaturas de mezcla de salida que produjeron
 la calidad de aire aceptable (opacidad al 40%) fueron como sigue:

| Temperatura de mezcla, F (C) | Producción, Toneladas/hr (Mg/h) |
|------------------------------|---------------------------------|
| 235 (113) | 245 (222) |
| 225 (107) | 280 (254) |
| 205 (96) | 325 (295) |

(60)(Fig.15). El contrato requirió la remoción de 2 pulgadas (50 mm) del concreto asfáltico existente y 2 pulgadas (50 mm) de base de agregado no tratado.

La remoción de pavimento fué lograda desgarrando la junta entre el pavimento y el espaldón y desgarrando el espaldón hasta el centro empleando una niveladora de camino. La mezcla caliente existenete fué entonces fácilmente levantada por un cucharón cargador frontal. La base de agregado no tratado fué levantada con una devastadora de subrasante, la que también estableció la plataforma de colocación de 4 pulgadas (100 mm) de concreto asfáltico reciclado.

El pavimento asfáltico recuperado fué triturado con una giraesfera y apilado posteriormente. La capa de asiento recuperada fué introducida a la mezcladora circular en forma convencional mientras que el concreto asfáltico reciclado fué alimentado al tambor de 10 X 40 pies (3 X 12 m) desde el extremo de descarga de mezcla con un transportador de 18 pulgadas (460 mm). Aproximadamente 45,000 toneladas (41 000 Mg) de mezcla fueron producidas con esta mezcla 50-50 de base no tratada y concreto asfáltico recuperados.

La mezcla de reciclaje fué descargada del tambor a una temperatura de 250 a 270 F (121 a 132 C) a una tasa de producción promedio de 300 toneladas por hora (270 Mg/h). La opacidad de chimenea fué, en muchos de los casos, menor al 10 por ciento. No se hicieron pruebas sobre las emisiones de particulas de chimenea. La pavimentación fué llevada a cabo en forma convencional.

Proyectos futuros

Diversos proyectos de reciclaje de mezcla caliente están programados o han sido recientemente construídos en Arizona, California, Iowa, Minnesota, Nevada, Oregon, Texas, Utah y Washington (61). Equipo Boeing, Iowa Manufacturing, Barber-Greene y CMI na sido utilizado en estos proyectos. Los resultados de estos proyectos no estaban disponibles para incluirlos en esta síntesis.

MODIFICADORES DE RECICLAJE

Como se expuso anteriormente, los modificadores de reciclaje han sido modificados en varios proyectos. Estos modificadores son normalmente aceites aromáticos que reblandecen el cemento de asfalto viejo. Los proveedores comerciales son : Koppers Company, Pax International, Shell Oil Company, y Witco Chemical Company. Otras compañías que fabrican modificadores son : Arizona Refining Company, Ashland Petroleum Company, Chevron, Lion Oil Company, Mobil Oil Company, y Phillips Petroleum Company. Las direcciones de estas compañías y otras están dadas en el Apéndice B.

EXITOSO RECICLAJE DE PLANTA CENTRAL EN CALIENTE

La unidad Thermo-matic RMI y el sistema utilizado en Maplewood, Minn., pueden reciclar exitosamente concreto asfáltico en un proceso en caliente sin emisiones significantes. Las alteraciones de planta actualmente propuestas para las plantas de mezclado circular han resuelto en su mayor parte los problemas de emisiones siempre y cuando (a) se utilice nuevo agregado de 30 al 50 por ciento en la mezcla reciclada, (b) se agraga agua al material reciclado, (c) las tasas de producción se reduzcan y (d) se controlen las temperaturas de salida de mezcla. Estas mejoras han sido hechas principalmente por Barber-Greene, Boeing, CMI, Iowa Manufacturing y Mendenhall.

El equipo de control de contaminación (cma de arena fluidificada) desarrollada en el Instituto de Tecnología de Massachusetts ofrece un sistema en forma de prototipo para controlar las emisiones originadas por las operaciones de reciclaje. Este sistema ha sido empleado en forma de prueba por la Warren

Brothers.

Debido a que casi todos los proyectos han sido de naturaleza experimental y de corta duración, es difícil determinar la información de costos y consumo de energía. Un ahorro en costo del orden de \$4.00 por tonelada (\$4.40/Mg) y un ahorro de energía del 20 al 30 por ciento es factible en el reciclaje de planta central en caliente de concreto asfáltico.

OTRAS DOS CATEGORIZACIONES

Material y Producto

La clasificación de procedimientos de reciclaje basada en el tipo de material a ser reciclado y el producto final a obtenerse han sido tomados como referencia para sumarizar los esfuerzos de reciclaje de pavimentos (62). La Tabla 16 indica un posible método para clasificar operaciones de reciclaje utilizando este concepto. Usando este planteamiento, se llevó a cabo una reunión de trabajo de la Junta de Investigación de Transporte sobre "La Optimización del Uso de Materiales y Energía en Construcción de Carreteras" en noviembre de 1975 que indicó: (a) el grado y uso de los distintos métodos, (b) si el método de reciclaje era implementable, (c) la energía requerida, en forma relativa, y (d) el costo relativo de la operación (Tabla 16) (62). En base a esta tabla, es evidente que los procedimientos de reciclaje más comúnmente empleados son los siguientes:

1. Reciclaje de superficie utilizando calentadores-escarificadores.
2. Reciclaje en el lugar de trabajo involucrando bases inestabilizadas.
3. Reciclaje en el lugar de trabajo incluyendo el uso de cal, cemento o asfalto como un estabilizador.
4. Operaciones de planta central involucrando el reprocesamiento de concreto de cemento portland y concreto asfáltico para mezclas de concreto asfáltico.

Beneficio Estructural del Pavimento

La clasificación en base al beneficio estructural del pavimento es una tercera posibilidad para estructurar los planteamientos y métodos de reciclaje de pavimento. Tal clasificación se muestra en la Figura 24. Los beneficios de esta agrupación incluyen la simplificación de los procesos de reciclaje para proveer pautas para los requerimientos de costo, vida y energía para las varias alternativas de reciclaje.

CAPITULO SEIS

RECICLAJE DE OTROS MATERIALES

OTROS MATERIALES DE CARRETERA

Cantidades significativas de guardacamino y señalizaciones han sido reciclados por los departamentos estatales de carreteras (Tabla 1). Algunas atarjeas han sido reutilizadas y una limitada cantidad de aceite lubricante para motores ha sido reciclada. Muchos estados venden aceite de motor usado a empresas privadas para reciclaje o reventa como combustible. El aceite de motor usado ha sido empleado como combustible en plantas de colado de asfalto de mezcla caliente en Texas y Kansas. Varios estados han recomendado --- la reutilización de los postes de señales y postes delineadores. Los diversos artículos reciclados por los estados estan dados en la Tabla 17.

De los artículos anteriormente descritos, el reciclaje de guardacaminos y señalizaciones ofrece la ventaja económica mayor. La maquinaria para enderezar guardacaminos existe disponible comercialmente y ha sido utilizada en Massachusetts, Maine y Texas, entre otros estados (63, 64). Estas máquinas montadas en trailers pueden ser trasladadas de un punto a otro y pueden generar ahorros de \$2,000 a \$4,000 al día (63).

La operación de una rectificadora de guardacaminos y postes delineadores montada en trailer en el Segundo Distrito (Fort Worth) del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas ha logrado la reutilización del 80 por ciento de todos los guardacaminos cañados. El costo de la operación de reciclaje varía de \$1.75 a \$2.00 por cada 12',6" (3.8 mm) de longitud del guardacamino. Los costos del reciclaje de postes delineadores es de \$1.60 cada uno aproximadamente. Casi todos los guardacaminos de palastro de acero y los postes delineadores utilizados en el Distrito de Fort Worth son galvanizados. La máquina dañará el galvanizado ligeramente; sin embargo, el grado de daño no es tan severo como para que el riel tenga que ser regalvanizado o pintado (64).

Los costos de reciclar guardacaminos en el Distrito de Corpus Christi son \$1.45 por pie (\$1.48/m). Este costo incluye la renta de la máquina y los costos de mano de obra para rectificar el guardacamino. Los guardacaminos nuevos actualmente cuestan \$1.57 por pie (\$5.15/m) (64). La máquina rectificadora de guardacaminos y postes delineadores utilizada en Texas se muestra en la Figura 25.

El reciclaje de basura de carretera fué el tema de un reporte preparado para la Administración Federal de Carreteras por el Instituto de Transportación de Texas (65). Las conclusiones generales indicaron que la basura de carretera combinada con otros desperdicios puede ser utilizada y que existe en cantidades suficientes para reemplazo de agregado en construcción y mantenimiento de carreteras cerca de grandes áreas urbanas. En áreas rurales y en pequeñas y medianas ciudades, sin embargo, el uso de depósitos limpios es un método de disposición de basura considerablemente menos caro que el procesamiento central. Los aspectos económicos en conjunto del uso de basura de carretera indican que, aún en su mejor aprovechamiento, la basura de carretera tiene un mérito negativo; que es, que cuesta más recolectarla y procesarla que el valor económico de su mejor uso. La basura debe ser procesada antes de ser usada como sustituto de agregado (65).

MATERIALES NO RELATIVOS A CARRETERAS

Un reciente estudio conducido por Valley Forge Laboratories (66) y la Universidad de Illinois ha delineado los tipos y cantidades de materiales de desecho que son sustitutos potenciales para agregados de carretera. Estos materiales han sido clasificados en términos de desperdicios industriales, minerales y domésticos. Anualmente, cerca de 3.5 billones de toneladas (3.1 Pg) de estos desperdicios sólidos están siendo generados. Los materiales con el mayor tonelaje disponible incluyen la ceniza muy fina, escorias de altos hornos, escorias de acero, desperdicios de fundición, desecho de fundición, desechos de carbón, desechos de cobre, desechos de draga, limos de fosfato, desechos de taconita y desechos de mineral de hierro. Otra cantidad potencialmente grande de sustancias sólidas de desecho puede ser disponible en forma de cieno de depurador cuando instalaciones generadoras de energía empiecen a utilizar depuradores de piedra caliza para la remoción de SO_2 de gases de chimenea.

Muchos de los materiales más abundantes se localizan en las áreas rurales o en áreas o regiones muy específicas del país; así que, el mercado disponible está limitado.

Además del uso como agregado y relleno, muchos desperdicios y subproductos

~~tienen un gran potencial para usarse como aglomerante. Entre los materiales~~

mas importantes en esta categoría está el azufre y la ceniza muy fina. Se espera que las reservas de azufre se incrementen debido a los programas de abatimiento de la contaminación y a la necesidad de quemar los crudos y carbones de alto azufre. La ceniza muy fina puede ser utilizada como puzolana en mezclas de cal y de concreto de cemento portland. Otros aglomerantes potenciales pueden surgir de subproductos de madera en forma de resinas o ligninas o de pirolisis de madera u otros materiales.

La Tabla 18 en lista 53 materiales de deshecho que tienen un potencial para usarse como agregado, rellenedor, sustituto parcial de aglomerante o aglomerante. El uso probable de cada uno de los materiales en términos de un aglomerante o agregado está dado, con la cantidad anual producida (cuando hubo información disponible), el grado del material desde un punto de vista de distribución nacional, un avalúo de la energía adicional requerida para usar el material en el camino, un estimado del costo cuando el material tiene un uso práctico, y un avalúo de los requerimientos de investigación (62). Los requerimientos de investigación dan un estimado de cuando es probable una utilidad a corto y largo plazo. El avalúo de requerimientos de energía y costos está relacionado con otros materiales dentro de la tabla. Debe hacerse notar que no hubo información suficiente disponible de muchos materiales para concluir la tabla.

Información obtenida de la encuesta estatal conducida como parte de esta síntesis indica que la ceniza muy fina y la escoria son utilizadas en cantidades significativas en algunos estados. El uso de ceniza muy fina y ceniza húmeda de caldera está pronosticado para incrementarse en la parte occidental de los Estados Unidos conforme el lignito se vaya convirtiendo en un combustible popular para la generación de electricidad (67). Casi toda la ceniza muy fina está siendo utilizada actualmente como sustituto parcial de cemento. Tanto la escoria como la ceniza húmeda de caldera están siendo utilizadas actualmente.

Los desperdicios de mina son utilizados en varios estados (Tabla 1). Los tipos de desperdicios de mina, las cantidades aproximadas, y sus usos finales estan dados en la Tabla 19. En adición, cantidades significantes de agregado son producidas a partir de desechos de dragado áurico en California.

El reciclaje de vidrio para uso en carretera recibió reconocimiento nacional a principios de los 1970's. Sin embargo, los fabricantes de vidrio estan pagando de \$15 a \$20 por tonelada (\$16.50 a \$22.20/Mg) por vidrio en desperdicio entregado en sus plantas. Por lo anterior, el vidrio debe ser considerado como un agregado caro (65).

Pequeñas cantidades de llantas recicladas están siendo utilizadas en carreteras. El caucho recuperado de las llantas ha sido utilizado como una adición al asfalto. Otro uso del material es como una interfaz aliviadora de esfuerzos colocada entre el pavimento viejo y la nueva capa superpuesta de concreto asfáltico para reducir el agrietamiento por reflexión (10). Cantidades relativamente grandes de caucho reciclado también estan siendo utilizadas en capas superficiales (68). Este material ha sido utilizado principalmente en Arizona, hasta la fecha.

Residuo de incinerador obtenido de la quema de desperdicio municipal ha sido empleado como un agregado para un pavimento de base bituminosa en Houston, Tex. (69). Resultados de laboratorio y evaluaciones de campo muestran que el pavimento de "basuracreto" satisface las actuales especificaciones para materiales estabilizados de asfalto y puede ser construido empleando equipo y tecnología convencionales. El alto costo de agregados en ciertas áreas urbanas hace económico esta fuente de agregado alterno.

CAPITULO SIETE

INVESTIGACION Y CONCLUSIONES

NECESIDADES DE INVESTIGACION

La Tabla 20 muestra un sumario incompleto de investigaciones recientemente concluidas o en proceso en las áreas de reciclaje de pavimento, materiales de desperdicio y subproductos. En general, la mayoría de los esfuerzos de investigaciones futuras deben estar dirigidos a aquellos materiales con un gran suministro nacional que sean substitutos promisorios de agregado y preferentemente a aquellos que puedan convertirse en suplementos de aglomerantes o aglomerantes primarios.

En base a una revisión de la experiencia en reciclaje de pavimento a la fecha, se han identificado los siguientes puntos de investigación:

1. La contaminación de aire asociada con las mezclas estabilizadas de asfalto de reciclado en operaciones de mezcla caliente a través de una planta central ha sido identificada como un punto de investigación de alta prioridad. Una solución completa al problema requerirá la participación de agencias gubernamentales, instituciones de investigación, fabricantes de equipo y contratistas.
2. Las pautas necesitan ser establecidas que asistan al ingeniero en el proceso de toma de decisiones concernientes al reciclaje. Por ejemplo, que tipos de pruebas de pavimento y materiales deben llevarse a cabo para determinar si una mezcla es apropiada para reciclaje?
3. Los costos y consumo de energía asociados con operaciones de reciclaje necesitan ser establecidos si el ingeniero ha de seleccionar la alternativa de rehabilitación apropiada. Actualmente existe información limitada sobre costos y energía.
4. Se deben determinar las propiedades de las mezclas recicladas y compararlas con las de mezclas convencionales y las propiedades de la mezcla antes del reciclaje. El efecto de los modificadores sobre las mezclas recicladas también es importante.
5. El equipo de reciclaje en el lugar de trabajo necesita ser mejorado para reducir los costos de mantenimiento de equipo. El equipo de pulverización es el punto más crítico en esta necesidad de mejoramiento.
6. El tipo y cantidad de agentes modificadores a ser agregados a las mezclas asfálticas recicladas deben determinarse. La industria privada habrá de desarrollar materiales, según pronósticos; sin embargo, técnicas de pruebas y evaluaciones para determinar resultados a largo plazo de estas adiciones deben ser determinadas también.
7. Se necesita desarrollar modificadores que al mismo tiempo reblandezcan el asfalto y mejoren su resistencia al deterioro causado por el agua.
8. Se necesitan definir las medidas de control de calidad de construcciones para reciclaje de pavimento, así como la uniformidad de construcción utilizando las diversas técnicas de reciclaje.
9. Se necesita monitorear el rendimiento de campo de las secciones de pavimento reciclado mediante una agencia seleccionada. El rendimiento debe ser comparado con el de pavimentos construidos con materiales convencionales.
10. Coeficientes de concentración deben ser establecidos para los materiales de reciclaje. Estos coeficientes deben ser adecuados para uso en métodos de diseño de espesor de pavimento.
11. Programas de entrenamiento deben ser establecidos en materia de reciclaje de pavimentos. Estos programas deben incluir información sobre equipo, técnicas, costos, energía, consideraciones de diseño de pavimentos, etc.
12. Los pavimentos deben ser diseñados de forma tal que las técnicas de rehabilitación representen un ahorro de energía y sean lo menos costosas posibles. Puede que los pavimentos tengan que ser diseñados con la superficie

~~como un eslabón poco fuerte en la estructura ya que la reparación puede ser efectuada más fácilmente en la superficie. Por ejemplo, un concepto a investigar es el diseño y la construcción de material de superficie para un fácil reciclaje.~~ (49)

El Proyecto 1-17 de la NCHRP, "Pautas para el reciclado de materiales de pavimento" (6) y el propuesto FCP de la FHWA responderán varios de los puntos identificados, según se espera.

Los esfuerzos de investigación sobre el azufre parecen ser esenciales y deberán continuar. La investigación debe estar enfocada en las siguientes áreas:

1. Uso del azufre como un diluyente o suplemento del asfalto.
2. El uso del azufre como un rellenedor mineral.
3. El uso del azufre como un aglomerante primario.
4. Desarrollo de equipo para manejar sistemas de agregado-azufre.
5. El uso de azufre espumado.
6. Los problemas de la calidad medio ambiental asociados con el azufre.

La ceniza muy fina es un aglomerante promisorio. Investigación substancial ha sido conducida en esta materia (54). La implementación y la resolución de ciertos problemas únicos con el abastecimiento de ceniza muy fina particular parece necesitar esfuerzos de investigación adicional. El uso de ligninas y sulfitos como aglomerantes es materia de esfuerzos de investigación a largo plazo.

Las áreas promisorias de investigación asociadas con la substitución de agregado son las relativas a la ceniza muy fina, ceniza de desecho, escoria de altos hornos, escoria de acero y desperdicios de mina. Estos materiales actualmente se están utilizando; sin embargo, la optimización de su uso en términos de conservación de material y conservación de energía no ha sido explorada extensamente. Debido a que los suministros de agregado convencional son amplios hoy día en muchas áreas, el uso de desperdicios y subproductos debe ser justificado para cada caso tanto por el aspecto económico como por el concerniente a la energía.

Los subproductos de cantera ofrecen un gran potencial a un costo bajo y con un requerimiento bajo de energía, relativamente. La calidad de todos los materiales de desperdicio y subproductos debe ser optimizada cuando se tenga en mente su uso final. Esto puede requerir ajustes en las especificaciones de material y construcción.

El desarrollo de una rectificadora portátil de guardacaminos sería de gran valor para agencias de carreteras. Este instrumento deberá ser capaz de ser arrastrado al sitio donde se requiere la reparación.

CONCLUSIONES

En base a la información presentada en esta síntesis, se aseveran las siguientes conclusiones:

1. El reciclaje de pavimento y el uso de materiales de desperdicio y subproductos industriales así como los de la carretera proporcionan la oportunidad de reducir el problema de aprovisionamiento de agregado en determinadas áreas.
2. Los costos de calentamiento-nivelado y calentamiento-escarificado están sobre el orden de \$0.20 a \$0.60/yd² (\$0.24 a \$0.72/m²) para remoción de 3/4 de pulgada (19 mm). El consumo de energía de los dispositivos utilizados es 10,000 a 20,000 Btu/yd² (12 600 a 25 200 kJ/m²) aproximadamente.

3. Las operaciones de remoción en caliente son usadas en forma limitada 50 en la parte oriental de los Estados Unidos. Los costos de esta operación son \$0.80/yd²-pulgadas (\$0.38/m²-cm) aproximadamente. El consumo de energía es alrededor de 10,000 Btu/yd²-pulgada (5000 kJ/m²-cm).
4. Las operaciones de remoción en frío se han vuelto populares en los últimos años. Los costos para estas operaciones son aproximadamente \$0.40 a \$0.80/yd²-pulgada (\$0.19 a \$0.38/m²-cm). El consumo de energía es entre 1,000 y 2,000 Btu/yd²-pulgada (500 y 1000 kJ/m²-cm).
5. Las operaciones de reciclaje en el lugar de trabajo han sido practicadas por varios años. El equipo especializado de pulverización se encuentra disponible con varios fabricantes para lograr una pulverización más completa. Los costos para pulverización y restauración en el lugar se encuentran en el orden de \$0.30 a \$0.50/yd²-pulgada (\$0.14 a \$0.24/m²-cm).
6. En varias áreas grandes de los Estados Unidos existen operaciones de planta central que trituran concreto de cemento portland y pavimentos de concreto asfáltico. Utilizan principalmente materiales reciclados para capas de asiento no estabilizadas.
7. Pavimento de concreto de cemento portland puede ser reciclado a capas superficiales de econocreto y concreto de cemento portland.
8. Se ha logrado reciclaje de planta central en caliente de concreto asfáltico sin contaminación del aire mediante diversos procesos que utilizan tanto calentamiento directo como indirecto del concreto asfáltico triturado. Modificaciones de plantas de dosificación y mezclado circular, como se usaron en proyectos experimentales, han experimentado algunos problemas con la calidad del aire al trabajar a altos ritmos de producción.
9. Guardacaminos y señalizaciones están siendo actualmente reciclados por departamentos estatales de carreteras en cantidades significativas. Postes de señales, postes delineadores y atarjeas son recicladas en diversos estados.
10. Cantidades significativas de ceniza muy fina, escoria y desperdicios de mina actualmente son reciclados por los estados. Una amplia variedad de otros materiales ha sido utilizada en forma experimental por estados, condados y ciudades.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

ING. FRANCISCO FERNANDO RÓDARTE
LAZO

1. PAVIMENTOS RIGIDOS

Metáfora:

"El éxito de un pavimento consiste, primordialmente, en obtener un techo impermeable y un sótano seco".

Es aún frecuente la idea de que los pavimentos de un aeropuerto no son más que el equivalente a los de una carretera pero más anchos, más cortos, de mayor espesor y en los que, en lugar de automóviles o camiones, transitan aviones. Desde luego, la finalidad principal de los pavimentos tanto de aeropuertos como de carreteras, es la de distribuir adecuadamente las cargas concentradas, de tal manera que la capacidad de soporte de las capas de apoyo no se exceda, así como la de permitir un tránsito adecuado de los vehículos; sin embargo, existen diferencias sustanciales entre ambos pavimentos, derivadas de su operación, entre las que se pueden mencionar:

- La canalización del tránsito de los vehículos.
- La intensidad de las cargas a soportar.
- Las presiones de inflado de las llantas.
- La frecuencia del tránsito.
- La posibilidad de construir pavimentos diferenciales en el sentido longitudinal.
- Las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento.
- La textura de la superficie del pavimento que afecta al frenado de los vehículos.
- Las condiciones de operación.

Sobre estas últimas se abundará un poco, en virtud de su incidencia directa en los trabajos de conservación. Dadas las con-

diciones de operación de una carretera o camino, es relativamente fácil modificar la circulación de los vehículos, y reglamentar su velocidad para efectuar las reparaciones que se requieran, por medio de un señalamiento adecuado. En las pistas de los aeropuertos no es posible considerar esta posibilidad, ya que la velocidad de desplazamiento de los aviones depende de su peso y de sus necesidades de generación de sustentación o de frenado, por lo que para efectuar reparaciones en una pista casi siempre es necesario cancelarla a operaciones y en consecuencia, si el aeropuerto tiene una sola pista, se tendrán clausuradas las operaciones en el aeropuerto durante el tiempo que duren los trabajos.

Esta consideración obliga por tanto a tomarla muy en cuenta en el proyecto, construcción y conservación de los pavimentos de áreas aeronáuticas de un aeropuerto, de tal manera que los trabajos que en ellos se efectúen sean de óptima calidad para que puedan proporcionar un servicio continuo y eficiente con el mínimo de mantenimiento posible.

Aquí pues, es muy importante eliminar de nuestra mente las ideas y posturas cómodas que en algunas ocasiones han dado como resultado que toda la vida se esté siempre reparando el mismo bache.

1.1 NORMAS DE CALIDAD

Los pavimentos rígidos deben satisfacer, durante su construcción, las normas de calidad establecidas en las Especificaciones Generales de Construcción de la SCT. El mantenimiento de dichos pavimentos pretende que el nivel de servicio de los pavimentos rígidos se mantenga constante y aun en ocasiones se mejore; todo esto persigue los objetivos básicos: seguridad y confort en las operaciones de las aeronaves y la preservación de las inversiones efectuadas en la construcción del pavimento.

De ser posible, en los pavimentos rígidos de concreto, no deberá tolerarse: desintegración del concreto, superficies con escamas o costras, astillamientos o desconchamientos, defectos en la superficie, grietas, hundimientos, losas que se "botan", juntas y grietas sin sellar. Asimismo, deberá corregirse el exceso de caucho impregnado en las zonas de toma de contacto de las pistas.

En lo referente a la textura superficial, los índices de perfil en pistas deberán cumplir:

| | |
|---|------|
| Promedio general óptimo | ≤ 30 |
| Máximo índice de perfil óptimo en un tramo de 160 m | 30 |

En lo referente a resistencia del pavimento, el número de clasificación de pavimento (PCN), debe ser superior o igual al número de clasificación de las aeronaves (ACN) que operan en él.

En la tabla 1.1-1 se presenta un formato guía que puede ser un gran auxiliar para el técnico encargado de la inspección visual de los pavimentos de un aeropuerto, con miras a la conservación de los mismos.

En la fig 1.1-1 se presentan, en forma condensada, los detalles a observar relacionados con la conservación que pudieran requerir los pavimentos rígidos de un aeropuerto.

1.2 DESCRIPCIÓN DE FALLAS Y TRABAJOS CORRECTIVOS

Las causas que originan las fallas de los pavimentos se pueden clasificar en dos grupos básicos:

- a) Deterioro o deficiencia del pavimento en sí, el cual es provocado por: congelamiento y deshielo, uso de materiales poco durables; reacción alcalina de los agregados, escamas ocasionadas por el uso de sales para remover hielo, y algunas otras causas.

En este grupo se pueden incluir también las fallas debidas a una alineación impropia de las juntas, a alabeos, a movimientos rotatorios y a esfuerzos de expansión y contracción.

- b) Deficiencias en la estructura de la base o en la subrasante; en estos casos, una sobrecarga puede inducir el efecto de bombeo en el pavimento y flujo del material de base; puede ocasionar también fallas en las esquinas, en las juntas y otros defectos.

Cuando se efectúa una inspección al pavimento, es necesario distinguir entre estos dos grupos básicos.

Las reparaciones que es necesario efectuar a los pavimentos de concreto hidráulico, caen, por lo general, en tres grandes clases: (1) El reemplazo del pavimento que ha sido cortado totalmente, para colocar o reparar tubería u otras instalaciones; (2) la reparación de hoyos o depresiones causados ya sea por falla original en la construcción o por el efecto normal del desgaste; y (3) las reparaciones a lo largo de las juntas de expansión o de las grietas formadas por sí solas, en el pavimento.

Los parches de reparación debidamente efectuados deben probar ser tan duraderos como el pavimento original y no deben ser notorios después de haber sido expuestos al tráfico, por corto tiempo.

A continuación se describen las fallas principales y las recomendaciones sugeridas para su reparación:

1.2.1 Desintegración del concreto

La desintegración del concreto puede ser debida al uso de materiales poco durables en combinación con severas condiciones del clima, con ciclos frecuentes y numerosos de heladas y deshielos y con el escaso o nulo aire incluido en el concreto.

Este tipo de falla es fácilmente distinguible de las estructurales, pues se manifiesta, en sus inicios, por grietas semicirculares del ancho de un cabello, que nacen de las juntas o en las orillas del pavimento (ver fig 1.4-1).

Este tipo de falla es progresiva y va cubriendo cada vez mayor superficie; si no se detiene en sus etapas iniciales, puede progresar hasta que el pavimento requiera su completa sustitución. En este caso será necesario demoler y reponer con concreto hidráulico el tramo fallado. Podrán

Tabla 1.1-1 Formato para el registro de las condiciones superficiales del pavimento rígido

| CONDICIONES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO RIGIDO | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------------------------|---|--|--|--|--|--|--|
| Aeropuerto: _____ | | | | | | | | | |
| Elemento: _____ | | | | | | | | | |
| Observador: _____ | | | | | | | | | |
| Fecha: _____ | | | | | | | | | |
| 0 Ninguna 1 Menor 2 Moderada 3 Mayor 4 Severa | TIPO GRIETA | Longitudinal | | | | | | | |
| | | Transversal | | | | | | | |
| | | Escamosa o costra | | | | | | | |
| | | En esquina | | | | | | | |
| | | En grilla | | | | | | | |
| | | Astillamiento o desconchamiento | | | | | | | |
| | | Desintegración del concreto | | | | | | | |
| | | Hundimientos diferenciales | | | | | | | |
| | | Bamboo | | | | | | | |
| | | | Losas que se botan | | | | | | |
| 10 | Muy bien | A | Pérdida del sello de la junta | | | | | | |
| | | | Grietas sin sellar | | | | | | |
| 8 | Bien | B | Cortes en el pavimento | | | | | | |
| | | | Parches | | | | | | |
| 6 | Regular | C | Reconstrucción localizada | | | | | | |
| | | | Rugosidad superficial | | | | | | |
| 4 | Pobre | D | Drenaje superficial | | | | | | |
| | | | Sub drenaje | | | | | | |
| 2 | Muy pobre | E | Condiciones generales | | | | | | |
| | | | Efectos de las turbinas en el sello de las juntas | | | | | | |
| 0 | | | Defectos en la superficie | | | | | | |
| | | | Acumulación de caucho | | | | | | |
| | | | Trabajos requeridos | | | | | | |
| Observaciones drenaje: | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

utilizarse productos especiales tales como aditivos o adhesivos (ver inciso 1.2.11).

Como solución provisional se acostumbra utilizar concreto asfáltico en el parche; en este caso se requerirá abrir una caja hasta la profundidad necesaria para alojar el pavimento flexible con el espesor equi-

valente que se requiera, con el fin de obtener la misma capacidad de carga que la del pavimento que la rodea. Para esto podrá ser necesario recurrir al auxilio del laboratorio de campo. Dichos parches pueden ser abiertos al tráfico en pocas horas, si se utilizan materiales apropiados y las capas que lo constituyen han sido construidas adecuadamente.

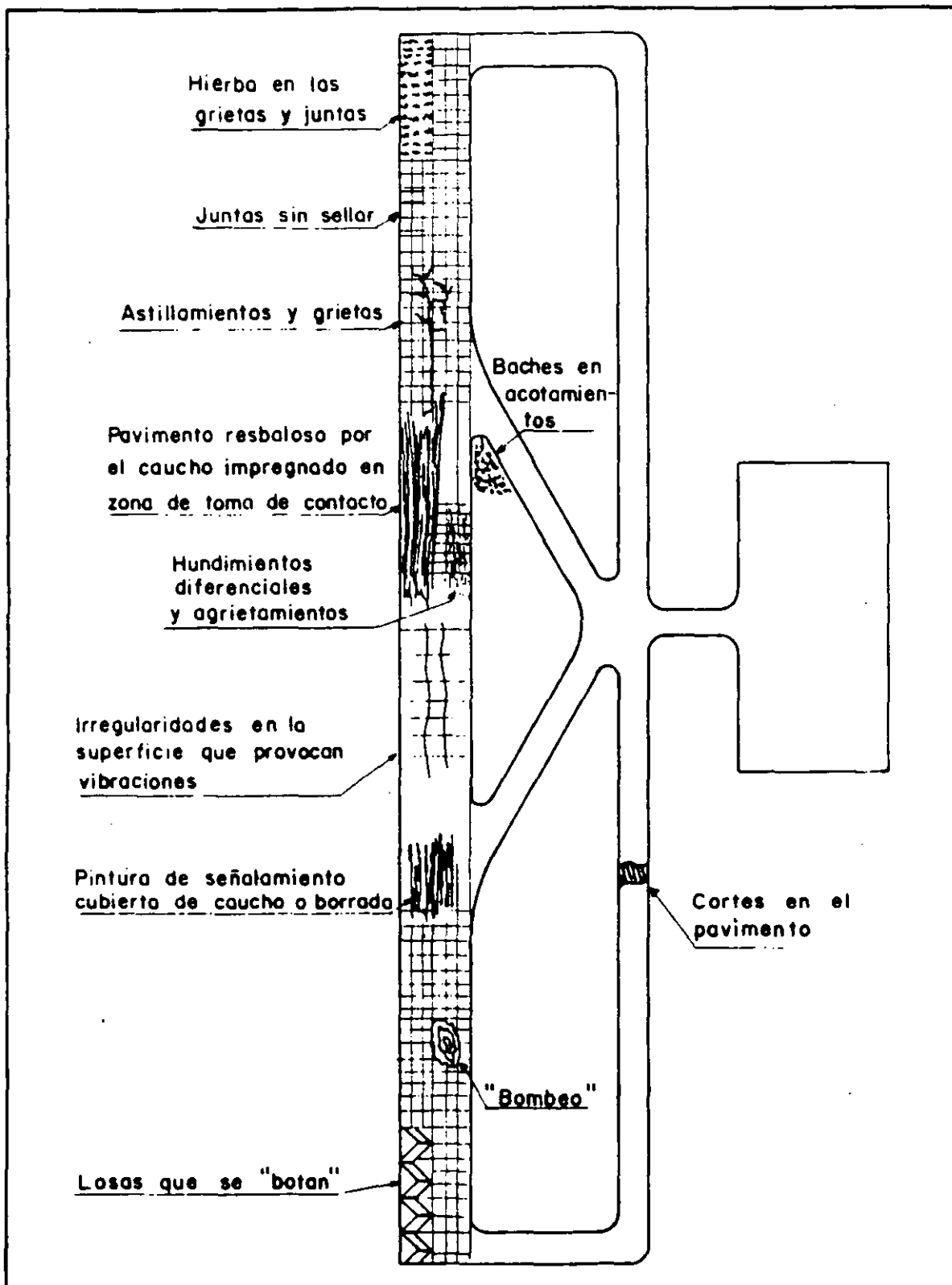


Fig. 1.1-1 Detalles a observar en pavimentos rígidos

1.2.2 Superficies con escamas o costras

Las escamas en el pavimento rígido pueden ser debidas a una gran variedad de causas, entre las que se incluyen mezclas que se colocaron con exceso de agua, trabajos excesivos en el acabado de la superficie e impurezas en los agregados, como sedimentos y arcilla, que flotan en la superficie durante el colado (figs 1.4-2 y 1.4-3).

Las escamas son fácilmente reconocibles y pueden indicar un deterioro general del concreto; sin embargo, desde el punto de vista estructural, se ha encontrado que no causan graves problemas.

Los pavimentos que tienen grandes superficies con escamas o costras, pueden ser reparados utilizando parches de concreto asfáltico o de concreto o mortero de cemento. Generalmente se prefiere utilizar el parche de concreto asfáltico no obstante el aspecto poco atractivo que presentan dichos parches.

Cuando se utilizan materiales asfálticos para la reparación de las áreas con escamas o costras, si éstas son poco profundas (inferiores a 1 cm), el procedimiento consiste en limpiar y eliminar todo material suelto y extraño de la superficie y en sellarla con una o más aplicaciones de mortero asfáltico (Slurry Seal) (ver inciso 2.3.2). Si por el contrario, ha ocurrido una excesiva formación de costras o escamas, con profundidades de 4 a 7.5 cm, puede ser necesario colocar una capa de concreto asfáltico; además, puede agregarse un tratamiento superficial de mortero asfáltico sobre el área reparada. Se puede utilizar concreto hidráulico, con la granulometría adecuada, para la reparación de costras profundas en cuyo caso el área que va a ser parchada, debe ser picada dejando las paredes verticales; se remueven todas las partículas y se limpia el área perfectamente con una escoba dura y/o aire comprimido. Una solución de ácido muriático (hidroclórico) al 25% es efectiva para quitar la capa de cemento de la superficie del agregado expuesto.

Posteriormente se lava con agua para eliminar el ácido y se deja secar la superficie. El mortero de cemento para el parchado se elabora mezclando perfecta-

mente una parte de cemento y dos partes de arena. Se agrega únicamente el agua necesaria para que el mortero quede adherido en forma de terrón cuando es apretado con la mano. En forma simultánea y con la ayuda de un cepillo, se aplica a la superficie una ligera capa de pasta de cemento Portland o lechada espesa de cemento. A continuación se llena la depresión con la mezcla de mortero de cemento y se compacta perfectamente; se nivela la superficie y se le da un acabado similar al de la losa contigua.

Para asegurar una perfecta unión entre el parche y el pavimento, se considera necesario utilizar algún producto a base de resinas époxicas o algún otro tipo de adhesivo. Los lineamientos generales están consignados en el inciso 1.2.11.

1.2.3 Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas

Pueden ser debidos a la infiltración de material pétreo en las juntas, a una instalación inadecuada de los dispositivos encargados de la transferencia de carga (pasajuntas), a un concreto poco resistente, al manejo inadecuado o poco cuidadoso de las formas o cimbras durante la construcción, a un manejo excesivo del concreto para el acabado de las juntas y/o a un manejo extemporáneo del mismo (ver figs 1.4-4 a 1.4-11).

Para identificar la causa de un desconchamiento o astillamiento, se recomienda tomar en consideración los siguientes puntos:

- a) Verificar el estado en que se encuentra el sello de la junta. Si el sello está defectuoso y se localiza material extraño en la junta, lo más probable es que ésta sea la causa de la falla.
- b) Verificar las dimensiones del desconchamiento o astillamiento. Si toma la forma de una grieta paralela y cercana a la junta produciendo una cuña de poca profundidad, las causas más probables pueden ser un aserrado defectuoso en la junta y/o un manejo excesivo del concreto para el acabado de la junta. Si toma la forma de conchas pequeñas y poco profundas, la causa más probable es la indicada en el primer punto. Si la profundidad del desconchamiento se

aproxima al nivel del pasajuntas, cuando éste existe, se evidencia que dicho elemento puede ser la causa de la falla.

Los astillamientos debidos a infiltración de material pétreo pueden resultar cuando dicho material entra a la junta (con sellado defectuoso) por arriba, o bien cuando es forzado hacia arriba, desde la base (bombeo). Esta falla es muy común en lugares donde los materiales existentes son predominantemente arenosos y es el resultado de las grandes concentraciones de esfuerzos que ocasiona el material que ha invadido la junta y que impide los movimientos de expansión de la losa. En esta circunstancia, el paso de las cargas torna aún más críticos los esfuerzos en el concreto.

Los astillamientos debidos a la fijación de los pasajuntas generalmente se originan cuando éstos tienen un alineamiento o lubricación inadecuado, lo cual no permite la libre expansión y contracción de la losa. Desde el momento en que la barra de un pasajuntas no tiene libertad de movimiento, aparece el astillamiento, debido a los esfuerzos cortantes resultantes de los ciclos de expansión-contracción.

Los astillamientos generalmente no se extienden a gran distancia dentro de la losa; sin embargo, ocasionan una disminución del peralte efectivo de la losa en la orilla, lo que causa debilidad en la estructura del pavimento. Asimismo, pueden constituir irregularidades que afectan la operación de los aviones.

Para proceder a la reparación de los astillamientos o desconchamientos por medio de concreto hidráulico, es necesario eliminar previamente la causa que los provocó. Cuando la causa es la infiltración de material en las juntas, es necesario limpiarlas, retirando el material de sellado defectuoso; a continuación se coloca el parche de concreto hidráulico como se indica más adelante y una vez endurecido se procede al sellado de la junta como se anota en el inciso 1.2.10. Cuando la causa es imputable a un mal funcionamiento del pasajuntas, debido a que éste se encuentra desalineado horizontal o verticalmente, o adherido al concreto, es necesario corregir previamente su mal funcionamiento, para lo cual se requerirá, en

algunos casos, descubrirlo demoliendo el concreto necesario. En el área del astillamiento se debe remover el concreto cercano para formar un cajón con las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible. Todo el concreto débil o fallado debe ser removido. En seguida se limpia perfectamente el área con aire a presión; se recomienda utilizar adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, según se menciona en el inciso 1.2.11, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el nuevo. Puede emplearse un aditivo acelerante cuando se requiera poner el pavimento en servicio lo antes posible. Debe tenerse especial cuidado en respetar las dimensiones de la junta adyacente y de evitar que el concreto se adhiera a la losa contigua, lo cual puede lograrse colocando un inserto con su cara adyacente al concreto nuevo, debidamente lubricada. Para terminar debe darse a la superficie del parche un acabado similar al del pavimento viejo cuidando que su superficie quede al mismo nivel que el de la losa.

Cuando la reparación de los astillamientos se efectúa con mezcla asfáltica, es necesario retirar todo el concreto fallado y formar un cajón con las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible. En seguida se limpia perfectamente el área con aire a presión y se efectúa un riego de impregnación con asfalto rebajado de fraguado rápido; a continuación se rellena con concreto asfáltico y se compacta debidamente, de preferencia con un compactador vibratorio. Debe asegurarse que la superficie terminada del parche quede al mismo nivel que el de la losa.

Otra manera de reparar los astillamientos o desconchamientos consiste en utilizar una pieza prefabricada de concreto hidráulico en forma de paralelepípedo y de tamaño ligeramente superior al de la superficie fallada, para lo cual es necesario formar un cajón para alojar la pieza prefabricada. En seguida se limpia perfectamente el área con aire comprimido y se inserta la pieza prefabricada, la que se fijará por medio de mortero de cemento con adhesivo a base de resinas epóxicas (fig 1.2-1).

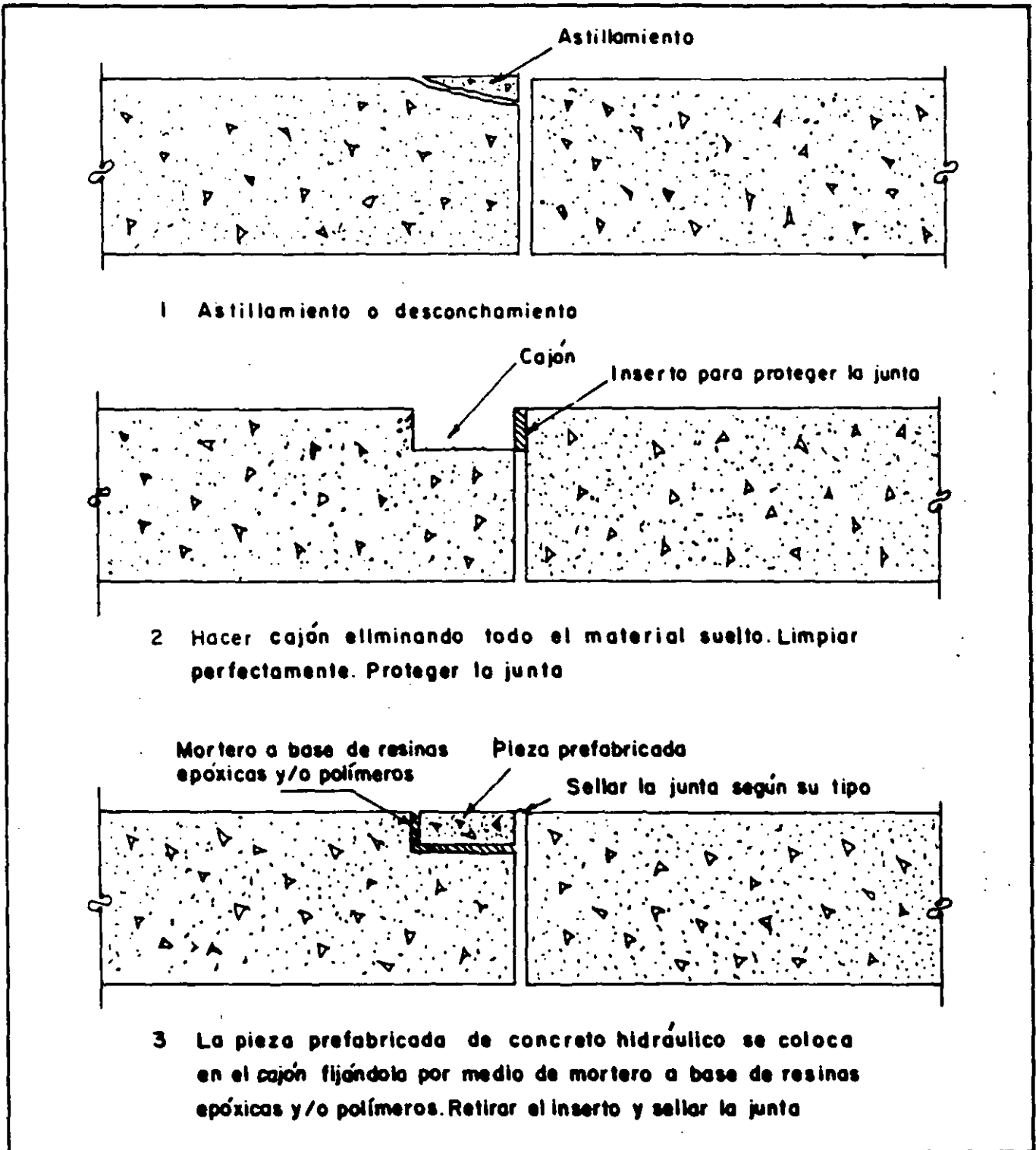


Fig. 1.2-1 Reparación de astillamientos con insertos prefabricados

Este procedimiento tiene la ventaja de que se puede poner en operación el tramo reparado más rápidamente que cuando se usa mezcla de concreto hidráulico para el parchado.

1.2.4 Defectos en la superficie

Los defectos en la superficie pueden consistir en surcos, lavaderos, baños de pájaros, ranuras u ondulaciones, y son debidos a una supervisión inadecuada durante la colocación del concreto. (figs 1.4-12 a 1.4-14).

Cuando los defectos en la superficie se encuentran muy localizados y en áreas pequeñas, su reparación puede consistir en el parchado individual de los defectos por medio de mortero de cemento o de mezcla asfáltica.

Cuando el parchado se efectúa por medio de mortero de cemento, se recomienda observar los lineamientos indicados en el inciso 1.2.2; asimismo, se aconseja utilizar un adhesivo a base de resinas epóxicas, polímeros u otro producto afín, según se indica en el inciso 1.2.11, para asegurar la perfecta unión del parche con el concreto viejo.

Cuando el área defectuosa es muy extensa, será necesario proceder a su reconstrucción.

1.2.5 Grietas longitudinales y transversales

a) Las grietas longitudinales y transversales pueden ser el resultado de esfuerzos debidos a contracción por cambios de temperatura en ciclos cortos o por cambios de humedad, a movimientos en la cimentación, y a fallas estructurales (figs 1.4-15 a 1.4-27).

a.1) Las grietas debidas a contracción por cambios de temperatura generalmente son transversales y aparecen cuando se construyen losas de gran longitud. Estas grietas se forman principalmente por la contracción de la losa aunque también pueden contribuir los efectos de alabeo y el tráfico. La ausencia de refuerzo de temperatura permite el desarrollo de

grietas anchas en cuyo caso la transferencia de cargas llega a ser nula, causándose un deterioro progresivo, debido a las cargas.

a.2) Las grietas debidas a contracción de fraguado (contracción plástica) pueden ser longitudinales o transversales y son fácilmente distinguibles, ya que son generalmente cortas y espaciadas al azar (figs 1.4-24 y 1.4-25). Estas grietas aparecen generalmente durante el periodo de curado cuando el concreto se contrae más por sí mismo.

Todas las pastas de cemento se contraen durante el proceso de hidratación, lo que origina grietas muy pequeñas. Si la proporción de evaporación es alta y si el concreto tiene suficiente rigidez para producir contracción horizontal, las posibilidades de agrietamientos plásticos visibles se incrementan.

Las condiciones climatológicas que pueden incrementar la proporción de evaporación y por tanto el riesgo de que se presente este tipo de grietas son:

- Disminución de la humedad relativa. Si la humedad relativa varía, por ejemplo de 50 a 90 por ciento, la proporción de evaporación aumenta cinco veces.
- Incremento de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento soplando sobre una superficie de concreto recién colocada se incrementa por ejemplo de 0 a 16 km/h, se cuadruplicará la proporción de evaporación.
- Incremento de la temperatura ambiente y del concreto. Si por ejemplo ambas temperaturas se elevan de 10° a 38°C, la proporción de evaporación puede duplicarse.
- Temperatura del concreto mucho mayor que la ambiente. Ocurre en climas fríos con concretos calentados.

Las grietas debidas a contracción de fraguado son más o menos independientes de las cargas y generalmente no perjudican la resistencia del pavimento; sin embargo, en algunas condiciones las cargas pueden llegar a ocasionar esfuerzos adicionales.

Para minimizar este tipo de agrietamiento se recomienda que durante la construcción se tomen en cuenta los siguientes puntos:

- Humedecer la base y la cimbra.
- Prevenir la excesiva evaporación utilizando rociadores de vapor y colocando rompevientos.
- Cubrir el concreto durante las operaciones de acabado.
- Utilizar concreto frío en climas calientes. Suprimir el sobrecalentamiento del concreto en climas fríos.
- Curar adecuadamente tan pronto como se termine el colado.

a.3) Las grietas debidas a alabeos se manifiestan generalmente en forma longitudinal; estas grietas aparecen cuando no existe o no funciona adecuadamente la junta longitudinal de articulación (figs 1.4-15 a 1.4-19). La grieta es debida predominantemente a un alabeo que produce un alto esfuerzo en el centro de la losa; sin embargo, las condiciones de la carga cooperan a que la falla ocurra. En la grieta longitudinal se presentan astilladuras, indicando que han ocurrido movimientos diferenciales en la grieta, con el subsecuente deterioro del concreto. Generalmente las grietas longitudinales por alabeo no son serias, especialmente si se ha utilizado acero de refuerzo por temperatura; sin embargo, este tipo de refuerzo generalmente no se utiliza en México. La principal objeción para este tipo de falla consiste en la apariencia desagradable y en la posible confusión del piloto para encontrar la verdadera posición de la línea del

eje. Las grietas por alabeo pueden también ocurrir en una dirección transversal, cuando se construyen losas con una relación largo-ancho desproporcionada, o cuando la junta transversal no funciona, especialmente si tiene pasajuntas; en estos casos pueden también contribuir los esfuerzos de contracción. Estas grietas pueden no ser muy críticas si hay transferencia de carga por el refuerzo de temperatura y/o por la trabazón entre las paredes de la grieta.

a.4) Las grietas debidas a movimientos de la cimentación pueden ser longitudinales o transversales, y aparecen cuando existen fuertes asentamientos diferenciales debidos a consolidaciones o a fallas de corte de los materiales abajo de la subrasante (fig 1.4-19). Si los movimientos de la cimentación ocasionan pendientes suaves y el área defectuosa tiene longitud relativamente grande, pueden no aparecer grietas, ya que el pavimento de concreto hidráulico puede ser suficientemente flexible para seguir el contorno de la cimentación.

a.5) Las grietas debidas a fallas estructurales se manifiestan generalmente en forma longitudinal o transversal, aunque también pueden manifestarse en forma de una ruptura de esquina. Estas grietas son el resultado de una sobrecarga o de una falla por fatiga y son quizás las más difíciles de evaluar, particularmente si se presenta escamado o astillado, pues obscurecen el análisis (figs 1.4-22 y 1.4-23).

a.6) Como una regla general, las grietas que ocurren cerca de las juntas, son probablemente fallas estructurales, pero cuando eso ocurre en el centro de la losa, son debidas a alabeos y/o contracciones. Sin embargo, esto puede ser modificado de acuerdo con las condiciones de la subrasante, del ti-

po de concreto y de los agregados, y de las condiciones climáticas.

b) Los trabajos correctivos para las grietas longitudinales y transversales se pueden catalogar en tres grupos:

- Sellado de grietas con material flexible.
- Reparación de grietas con adhesivos.
- Demolición y sustitución de la grieta por una junta.

b.1) Cuando la aparición de la grieta se ha debido a los requerimientos del concreto de contar en ese lugar con una junta de contracción, o con una junta longitudinal de articulación, para trabajar como dos losas en lugar de una sola, y cuando no existen asentamientos, la solución más sencilla es dejar que el pavimento de concreto trabaje como lo ha requerido, si está trabajando en forma satisfactoria, y sólo será necesario sellar la grieta con material flexible para evitar la penetración de agua a la subrasante y de materiales arenosos que impidan el libre movimiento del concreto. El sellado se efectúa en la misma forma que para las juntas, como se indica en el inciso 1.2.10 de este capítulo. Previamente a la colocación del sello, la grieta debe ser achaflanada a 45° y a una profundidad de 30 mm y luego limpiada perfectamente.

b.2) Cuando la causa de aparición de una grieta ha sido eliminada, por ejemplo cuando la junta de contracción cercana que no trabajaba ha sido abierta por medios mecánicos, con cuñas para ponerla a funcionar o cuando la falta de apoyo de la cimentación ha sido corregida por medio de inyectado (inciso 1.2.7); entonces se pueden utilizar pegamentos a base de resinas epóxicas o polímeros (ver inciso 1.2.11) para pegar los fragmentos de la losa, haciendo de esta manera que la losa de concreto trabaje como una sola pie-

za, como se había previsto en el proyecto. La unión de los fragmentos de la losa agrietada se puede efectuar mediante el inyectado de mortero a base de resinas epóxicas en agujeros taladrados cada 250 a 300 mm, a lo largo de la grieta. Previamente al inyectado, se deberá proceder al limpiado. Cuando el producto a base de resinas epóxicas no es demasiado viscoso, o si es a base de polímeros, se puede eliminar el taladrado para formar las perforaciones. En este caso el procedimiento consistirá en limpiar la superficie y cubrir la parte superior de la grieta con una mezcla de cera y azufre previamente fundida y aplicada por medio de una brocha, dejando a cada 250 a 300 mm un pequeño espacio libre para permitir la aplicación del inyectado. Para el inyectado se utiliza una bomba doble para enviar por separado, a una presión del orden de 7 a 8 kg/cm² (100 a 115 lb/pulg.²), a los dos componentes de la resina los que se mezclan en el inyector inmediatamente antes de salir por la boquilla (figs 1.4-28 a 1.4-30).

b.3) Cuando existe una grieta activa con movimientos superiores a 0.5 mm para diferencias de temperatura de 10°C y que la causa de su aparición no haya sido eliminada, puede procederse a la sustitución de dicha grieta por una junta. En este caso se debe demoler el concreto de la losa hasta una distancia mínima de un metro a cada lado de la grieta y volver a colar, dejando una junta en el lugar de la grieta. Se recomienda la utilización de adhesivos a base de resinas epóxicas o polímeros para asegurar la perfecta unión entre el concreto nuevo y el viejo.

1.2.6 Grietas en esquina

Las grietas en esquina pueden presentarse formando un pequeño triángulo en un esquina de la losa o bien en forma sensiblemente paralela a la diagonal de la losa. Estas grietas en las losas pueden

ser ocasionadas por las cargas del tráfico que pasan sobre esquinas no apoyadas. Esta falta de apoyo puede ser debida a zonas poco resistentes de la cimentación de la losa, a una falta de transferencia de cargas a las losas contiguas y/o al alabeo de la losa, tanto convexo como cóncavo hacia arriba (figs 1.4-31 a 1.4-42). También pueden ser debidas a una falta de resistencia del concreto, sobre todo si la falla se presenta en los inicios de la vida del pavimento.

La reparación de las grietas que forman un pequeño triángulo en la esquina de la losa consistirá en remover dicha esquina, levantar la subbase si se requiere, limpiar la zona, dar un riego de impregnación y colocar concreto asfáltico en capas no mayores de 7 cm compactando debidamente, de preferencia con una placa vibratoria o una "bailarina". Debe tenerse cuidado de no invadir la junta, para lo cual podrá colocarse un inserto que pueda posteriormente removerse para aplicar el material de sello. La superficie del parche terminado deberá quedar al mismo nivel que la superficie de la losa.

Si se desea efectuar el parchado con concreto hidráulico, debe asegurarse que la causa de la falla haya sido corregida; se recomienda utilizar un pegamento a base de resinas epóxicas o polímeros, según se indica en el inciso 1.2.11, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el nuevo. El procedimiento es similar al indicado en el inciso 1.2.3.

La reparación de las grietas en esquina que se presentan en forma sensiblemente paralela a la diagonal de la losa, puede consistir en el sellado de la grieta procediendo como se indica en 1.2.5(b.1) y en 1.2.10 de este capítulo. Si la causa de la falla ha sido previamente eliminada, la reparación puede ser llevada a cabo pegando los dos fragmentos de la losa con un adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, como se indica en 1.2.5(b.2) y en 1.2.11 de este capítulo.

1.2.7 Hundimientos diferenciales y agrietamientos con hundimientos. Reciclado

Los hundimientos diferenciales, consisten en una diferencia de nivel entre dos losas en una junta o en una grieta y pueden ser debidos a una inadecuada transferencia de cargas, combinada con una consolidación o contracción de las capas de cimentación de la losa. También pueden ser debidos al "bombeo" de los materiales de cimentación.

El "bombeo" consiste en el movimiento de la losa causado por las cargas del tráfico y que ocasiona la expulsión de mezclas de agua, arena, arcilla y/o limo a través de las juntas longitudinales o transversales, a través de las grietas y/o a través de las orillas del pavimento (figs 1.4-43 a 1.4-46).

El "bombeo" de los materiales finos es debido a la presencia de agua libre en la subrasante o subbase combinada con las cargas pesadas que pasan sobre la superficie del pavimento y que flexionan la losa.

Los agrietamientos con hundimientos pueden ser el resultado de la progresión de una o varias de las fallas indicadas en los incisos 1.2.1 a 1.2.6.

Los trabajos correctivos podrán consistir en lo siguiente:

- a) Los hundimientos diferenciales y las depresiones que fueron causadas por un asentamiento, pueden ser corregidos, ya sea levantando la o las losas a su posición original y llenando el espacio entre la losa y la subrasante original, o bien, recubriendo la porción baja de la losa.

Para levantar la o las losas a su posición original se procede de la siguiente manera: Se remueve el material de sello viejo, si existe, hasta una profundidad de 25 mm; de ser necesario se limpian las caras verticales de la junta o grietas con una máquina limpiadora de juntas y con chorro de arena y se remueve todo el material extraño de la superficie del pavimento al menos hasta una distancia de 25 mm a cada lado de la junta o grieta; a continuación se aplica aire a presión a la junta o grieta y se rellena hasta la mitad con material de sello; en se-

guida se eleva la losa a su nivel original mediante el inyectado de una mezcla de asfalto y de arena, de mortero de cemento o de lodo bentonítico; el inyectado se efectúa a través de uno o varios taladros en la losa; finalmente se completa el rellenado de las juntas y grietas con el material de sello.

Cuando se desee nivelar un pavimento que presente hundimientos diferenciales, aplicando material adicional a su superficie, puede utilizarse una capa de concreto hidráulico si su espesor es superior a 7 cm; para menores espesores se deben utilizar morteros de cemento con resinas epóxicas y/o polímeros o bien utilizar concreto asfáltico con agregado fino. Sin embargo, los parches de asfalto en un pavimento de concreto hidráulico generalmente se desgasta más rápidamente que el concreto adyacente y además dan un mal aspecto.

Con objeto de obtener la mejor liga posible entre la superficie vieja y un parche de concreto hidráulico, se recomienda que la superficie del pavimento viejo sea picada y las orillas llevadas a la vertical formando un cajón con la profundidad mínima de 7 cm. A continuación se limpia perfectamente la superficie expuesta por medio de cepillos y agua y después se cubre con una pasta delgada de cemento puro. El concreto nuevo se prepara y se coloca como se indica en el inciso 1.2.9.

Si se dispone de un adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, se recomienda su utilización para asegurar la perfecta unión entre el parche y el concreto viejo (Véase inciso 1.2.11).

Cuando se utilizan parches de concreto asfáltico, la superficie vieja se pica y las orillas de la depresión se llevan a la vertical, se remueve todo el material extraño de la superficie y se limpia perfectamente con aire a presión. La superficie debe estar seca antes de aplicar el riego de liga, para lo cual se utiliza un asfalto rebajado de fraguado rápido; la cavidad se llena con concreto asfáltico fino y se compacta debidamente de preferencia con un compactador vibratorio.

b) Los agrietamientos con hundimientos pueden ser el resultado de la falla estructural del pavimento combinada con una resistencia inadecuada de subrasante o una compactación insuficiente de la misma y pueden ser corregidos como se indica a continuación: Primeramente se demuele y se retira el concreto fallado lo mismo que el material que se encuentre abajo hasta la profundidad requerida. Cuando la profundidad de subrasante removida sea mayor de 20 cm, como está indicado en la fig 1.2-2, los primeros 20 cm a partir del fondo se rellenan con material de subbase (a en la figura) perfectamente compactada; el espacio sobrante se llena con concreto hidráulico (b) que se extenderá por debajo de las orillas del pavimento viejo. Se recomienda reforzar este concreto con una parrilla de acero (c) a razón de 4 kg/m colocada aproximadamente 5 cm arriba de la superficie inferior de la losa original y de preferencia con una segunda parrilla (d) localizada 5 cm arriba de la superficie inferior del parche de concreto.

Si la falla del pavimento ha sido causada por un drenaje defectuoso de la subrasante, deberán construirse subdrenes laterales. Una simple inspección será suficiente para determinar la necesidad de dichos subdrenes. En el inciso 2.3.6 se trata lo relativo a subdrenaje y en el capítulo 3, lo relativo a la conservación del drenaje y franjas de seguridad de un aeropuerto.

Cuando las áreas falladas son muy extensas, podría ser conveniente construir un nuevo pavimento utilizando el pavimento viejo como base. El nuevo pavimento podrá ser de concreto hidráulico o de concreto asfáltico. Para evitar que los agrietamientos de la losa vieja sean transmitidos a la losa nueva superpuesta, se recomienda que ambas capas estén perfectamente separadas por una capa de aislamiento de concreto asfáltico denso de 3 cm de espesor como mínimo. Es conveniente además, hacer coincidir las juntas pavimento nuevo de refuerzo con las del pavimento viejo.

Otra técnica para evitar que los agrietamientos de la losa se transmitan al pavimento nuevo, consiste en demoler el pavimento viejo con la ayuda de un equipo adecuado y colocar el pavimento nuevo de refuerzo sobre la cimentación así constituida.

c) Reciclado

Recientemente ha tomado bastante auge en los países de considerable desarrollo económico, un nuevo concepto para la reconstrucción de pavimentos.

A este concepto se le ha llamado "reciclado" de pavimentos y consiste en el reaprovechamiento de los materiales que constituyen un pavimento viejo para elaborar uno nuevo. Con el reciclado de los pavimentos se han encontrado las siguientes ventajas:

- Los bancos de materiales cada vez están más retirados de las obras o los materiales de bancos cercanos son de más difícil extracción, lo que incrementa los costos de construcción del pavimento. En estos casos el reciclado de los materiales del pavimento viejo puede constituir un ahorro en el costo del pavimento nuevo.
- Si se utilizan los procedimientos y el proyecto adecuados, la calidad del pavimento reciclado es similar a la de un pavimento nuevo.
- Ventajas ecológicas. En el mundo contemporáneo es un grave problema los tiraderos de desperdicios, por lo que la reutilización de los materiales de un pavimento viejo, reciclándolos, evita el problema de buscarles un lugar adecuado para colocar dichos materiales que serían de desecho y que por tanto podrían ocasionar daños a la ecología del lugar.
- En el caso de los pavimentos flexibles se obtiene ahorro de energéticos al reaprovechar el aglutinante asfáltico por medio del reciclado.

El reciclado de los pavimentos rígidos consiste, en términos generales, en la demolición de la losa de concreto vieja, utilizando equipos adecuados, tales como martinetes hidráulicos (figs 1.4-65 y 1.4-70) o peras de acero accionadas con grúas. El siguiente paso es la trituración y cribado de los trozos de concreto así obtenidos; si la losa de concreto vieja contiene fierro de refuerzo, será necesario eliminarlo previamente a la trituración. Por último, el correcto triturado y cribado pasa a formar parte como agregado pétreo del nuevo concreto. Es necesario proyectar la mezcla del nuevo concreto con base en nuevas pruebas de laboratorio, para obtener la resistencia y espesor adecuados que deba tener el pavimento nuevo.

1.2.8 Losas que se "botan"

Las losas que se "botan" se deben primordialmente a una excesiva expansión de las mismas durante el tiempo de calor. La presión aumenta hasta que las losas no pueden resistir más y entonces se pandean o se fracturan desmoronándose a lo largo de la junta transversal o de la grieta (figs 1.4-47 a 1.4-51).

Para corregir esta falla será necesario remover la parte danada, pudiendo utilizarse discos diamantados para el serrado. De ser necesario se remueve la sub-base; se aplica un riego de impregnación y se coloca concreto asfáltico compactándolo adecuadamente. La superficie terminada del parche deberá quedar al mismo nivel que el pavimento adyacente.

Si se desea efectuar el parche con concreto hidráulico, se debe construir una junta de expansión (Ver Apéndice A). Las caras expuestas del pavimento viejo deben limpiarse perfectamente; se recomienda utilizar un adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, según se indica en el inciso 1.2.11, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el parche; en seguida se coloca la mezcla de concreto nuevo el cual podrá contener algún aditivo acelerante que facilite su puesta rápida en servicio. Una vez endurecido el concreto del parche, se sella la junta de expansión según se indica en el inciso 1.2.10.

1.2.9 Cortes en el pavimento

Cuando se ha hecho un corte a través de toda la profundidad del pavimento y ha sido excavada la cama de cimentación, por ejemplo para colocar tubería o alguna otra instalación, al relleno de la zanja debe dársele cuidadosa atención. El pavimento reparado es de esperarse que sirva su objetivo original de transmitir y distribuir sus cargas a la cimentación, pero no de efectuar la función de un puente franqueando una zanja hundida. Cuando una zanja de considerable profundidad en tierra suelta o desmoronable, ha permanecido abierta por algún tiempo, probablemente se han formado cavidades en sus lados, lo que provoca que el pavimento se cuelgue en la zona excavada. Por consiguiente, el corte en la losa debe extenderse por lo menos 15 cm más allá de cada orilla de la zanja como aparece en la fig 1.2-3. Cuando la subrasante así expuesta tiene una estabilidad adecuada, no debe ser modificada por ningún motivo.

El material de relleno que se coloque en la zanja excavada debe ser depositado en capas de 10 cm de espesor y compactado perfectamente por medio de apisonador mecánico. En los incisos 2.3.5 y 2.3.6 se trata lo relacionado a zanjas e instalación de tuberías, y subdrenaje, respectivamente.

La orilla expuesta de la losa original contra la cual va a colindar el nuevo concreto, no debe estar vertical en todo su espesor, sino que como aparece en la fig 1.2-3, debe estar a plomo en una profundidad máxima de 1/5 del espesor de la losa, a partir de la parte superior, con objeto de proporcionar un respaldo firme para el nuevo parche; en el resto del espesor de la losa, una orilla áspera y dispereja mejora materialmente la adherencia entre el pavimento viejo y el nuevo.

Justamente antes de poner el nuevo concreto, las orillas de la losa original deben ser lavadas perfectamente con agua y raspadas con cepillo de alambre y después impregnadas con algún adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, según se indica en el inciso 1.2.11, para asegurar la perfecta unión entre el concreto nuevo y el viejo.

Debe procurarse que el concreto nuevo tenga la misma calidad que el concreto viejo. Se recomienda la utilización de aditivos inclusores de aire y acelerantes para obtener manejabilidad en el concreto y que el tiempo de curado sea el mínimo posible.

Se aconseja que invariablemente se coloque en el concreto nuevo una malla de refuerzo formada por varilla lisa de 3/8" (9.5 mm), con espaciamientos no mayores de 30 cm centro a centro, colocada a 5 cm arriba del fondo del concreto nuevo, como aparece en la fig 1.2-3. En el caso de pavimentos reforzados, el refuerzo original en el área que va a ser reparada no debe ser cortado, sino que debe ser temporalmente doblado hacia arriba y posteriormente regresado a su posición original.

También el concreto nuevo debe estar provisto de refuerzo adicional correspondiente en tamaño, espaciamiento y posición, al de la losa original; este nuevo refuerzo debe ser atado al refuerzo original.

1.2.10 Juntas o grietas sin sellar

Los pavimentos de concreto hidráulico deben ser inspeccionados periódicamente, en busca de juntas y grietas abiertas, las que se deben limpiar y sellar, para evitar la penetración de agua a la subrasante y que materiales sólidos y basura se acumulen en las aberturas. El sellado de juntas y grietas resulta propicio efectuarlo durante el otoño, cuando el pavimento está ligeramente contraído y las condiciones atmosféricas son todavía favorables para permitir dichos trabajos. El producto utilizado para sellar, debe adherirse al concreto y permanecer plástico con todas las temperaturas. No debe ponerse tan quebradizo ni duro que se cuartee a temperaturas bajas, y durante los más intensos calores del verano no debe ponerse tan blando que se desparrame de las juntas (figs 1.4-52 a 1.4-57).

En términos generales el procedimiento de sellado podrá consistir en lo siguiente:

- a) Preparación. Se limpia la junta perfectamente, para que esté libre de basura, de material sobrante de sello, de partículas sueltas de concreto. La

limpieza se hace más satisfactoriamente cuando las temperaturas están abajo de 10°C (50°F) y las juntas están abiertas por la contracción del pavimento. Se recomienda no retirar el sello existente si está en buenas condiciones. Es necesario asegurarse que las caras de la junta y de las grietas estén secas. Cuando se utilice un soplete u otro dispositivo que produzca calor para secar las superficies, es necesario efectuar la operación con cuidado para evitar quemar cualquier sello en buenas condiciones. Si el material de sello sobresale de la superficie del pavimento se recomienda rebajar la parte sobresaliente. En esta operación debe evitarse el jalar hacia arriba el material de sello. Según sea el producto sellador a utilizar, puede ser deseable rebajar o formar chañlán a 45° y 30 mm de profundidad en las orillas de las grietas para remover las partículas o porciones del concreto que sobresalgan y que puedan romperse con el tráfico.

- b) Sellado. Existen en el mercado productos adecuados para el sellado de juntas y grietas de pavimentos rígidos en aeropuertos, los cuales son a base de alquitrán de hulla y hule, los que después de calentarse a temperaturas entre 130° y 140°C adquieren la consistencia de hule sintético blando, resistente a los combustibles de los aviones, aceites y grasas, etc. Una vez que la junta o grieta esté perfectamente limpia y seca, se procede a la aplicación del producto sellante, previamente calentado a la temperatura indicada por el fabricante empleando el equipo apropiado a base de calor indirecto. Generalmente se recomienda que el producto sellante no alcance temperaturas superiores a 150°C durante su calentamiento, para evitar que se descomponga y endurezca.

Durante la colocación del producto sellante fundido se debe procurar no llenar totalmente la junta o grieta, dejando unos milímetros libres abajo de la rasante, para que al dilatarse el concreto, el material de sello no sobresalga de la junta o grieta.

También pueden obtenerse en el mercado productos sellantes de aplicación en

frío, los cuales pueden ser adecuados para sellar grietas; sin embargo su durabilidad puede ser menor ya que sólo resisten temporalmente la acción de los combustibles.

- c) Equipo. Cuando se limpie una junta o grieta, se deben utilizar barras rectas o en gancho, operadas a mano, con los extremos afilados como cinceles, para que se ajusten dentro de la junta o grieta. Se utiliza una pala con la orilla del frente afilada o un azadón con la punta recta y afilada, para cortar el sobrante del sello de la junta. Para lograr una completa remoción del material de sello defectuoso, en grandes cantidades, se puede utilizar un gancho especialmente elaborado o un arado, los que pueden ser jalados a lo largo de la junta, por medio de un tractor o de un malacate. La cuchilla del arado debe tener la forma adecuada para ajustarse a la junta y sacar el material de sello defectuoso, a la profundidad deseada. Se utilizan escobas de alambre o de fibra gruesa, para limpiar las juntas o grietas; sin embargo en operaciones extensas, una barredora de motor ahorrará tiempo.

Puede utilizarse un compresor de aire para soplar las grietas o juntas, con un rendimiento mínimo de 1.8 m³/min (100 pies³/min) a una presión de 7.0 kg/cm² (100 lb/pulg.²). Para colocar cantidades pequeñas de material sellante, se pueden utilizar satisfactoriamente pequeñas cubetas o conos, operados manualmente; sin embargo, los trabajos grandes requerirán de un distribuidor equipado con una boquilla adecuada a través de la cual se vaciará en la junta o grieta el material de sello.

Para calentar materiales de sello compuestos de asfalto o alquitrán, se pueden emplear peroles o paúlas convencionales. Sin embargo, se requieren calderas o peroles con calentamiento indirecto, para calentar compuestos conteniendo hule o látex.

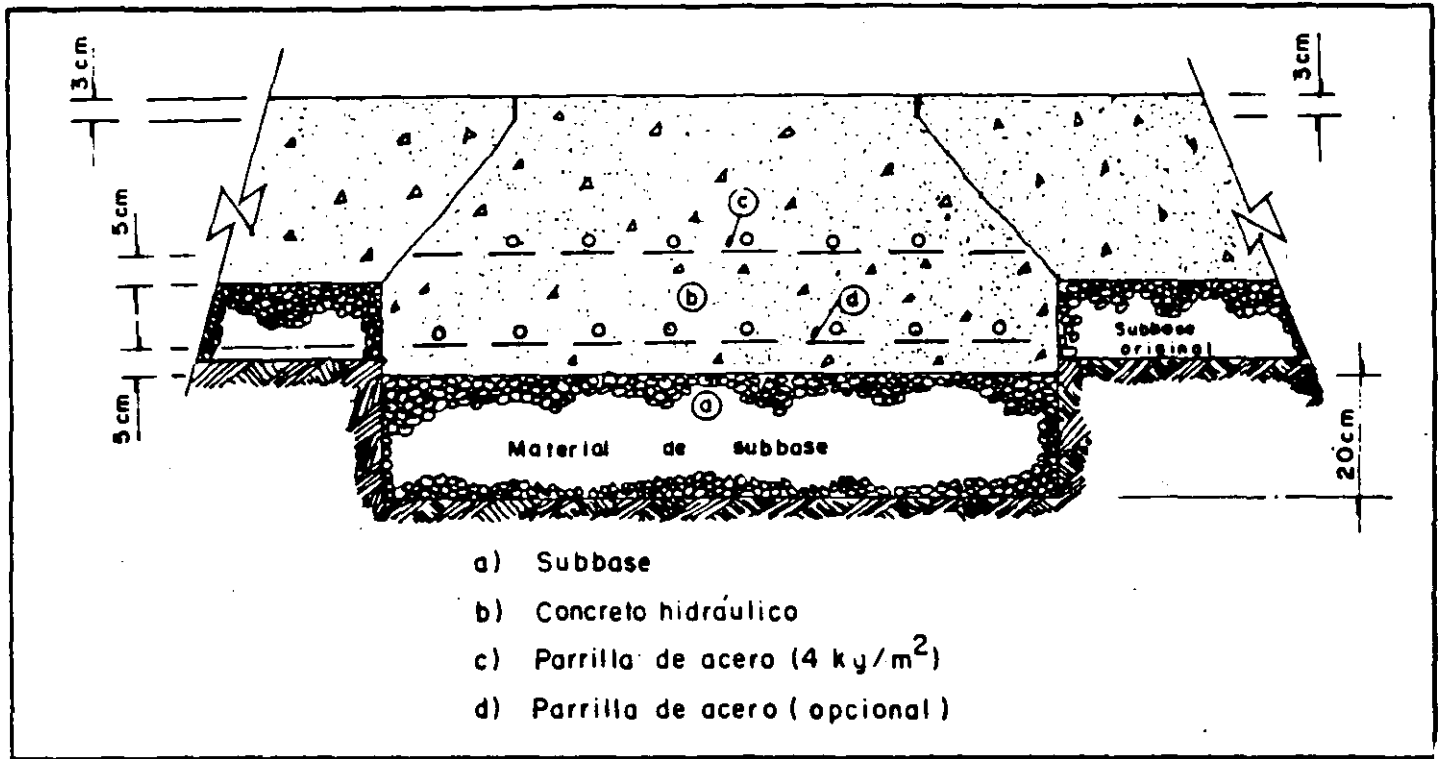


Fig. 1.2-2 Reparación de fallas de pavimentos

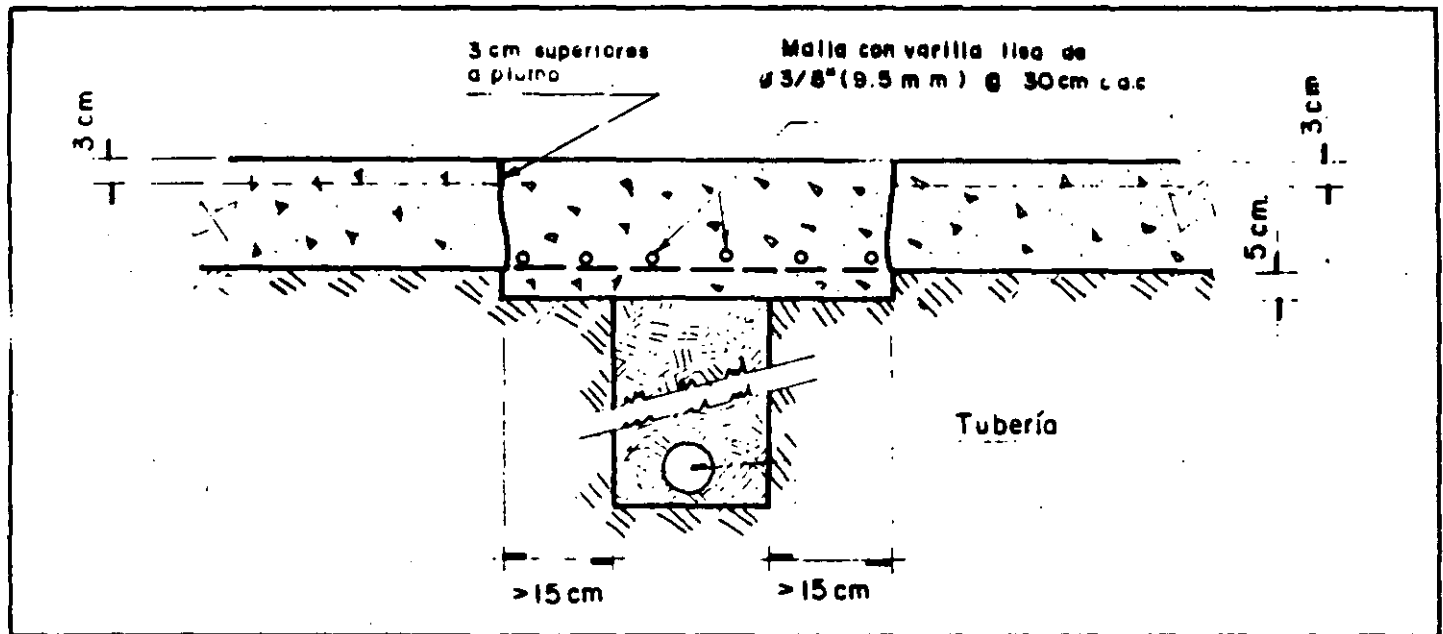


Fig 1.2-3 Cortes en el pavimento

1.2.11 Utilización de productos especiales

Existe en el mercado una serie de productos registrados por marcas tales como Embeco, Resistol, Fester, Sika, Poldi, Bostik, Topkote, Thiokol, etc., que proporcionan una serie de ventajas en la reparación de pavimentos de concreto hidráulico, justificándose así el costo adicional que representa la utilización de tales productos.

En general se recomienda, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, la utilización de dos tipos de productos:

- Aditivos para las mezclas de concreto utilizadas en la reparación, que tengan propiedades acelerantes (para proporcionar alta resistencia a corta edad), fluidizantes (para facilitar el manejo de la mezcla) y aquéllos que tienen propiedades para evitar las contracciones debidas al fraguado.

- Adhesivos a base de resinas, para pegar concreto fresco a concreto endurecido para resanes de alta resistencia y rápido endurecimiento, para relleno de grietas, para unir concreto hidráulico a asfalto, etc. El método de aplicación para el caso particular de resinas epóxicas en términos generales consiste en lo siguiente:

a) Remover de la superficie a reparar, todo el material que se encuentre en mal estado y de preferencia picar la superficie. Limpiar perfectamente todo el polvo por medio de aire, agua, escoba o cepillo.

Si la superficie presenta grasa o aceite, lavar con agua y jabón; en el caso de que el lavado no sea suficiente, lavar con solución al 10% de ácido muriático; una vez lavada la superficie por este método, es necesario neutralizar con solución de amoníaco. También se puede lavar la superficie con detergentes alcalinos, tales como sosa cáustica o fosfato trisódico y posteriormente se lava con agua.

b) Mezclar perfectamente el producto (cuando consta de dos o más elementos surtidos por separado) según instructivo del mismo y en las proporciones especificadas. En algunos productos se especifica que la superficie debe estar humedecida, pero sin agua en exceso antes de aplicar la mezcla.

La aplicación sobre la superficie a reparar se hace por medio de brocha, rodillo o llana, según sea el caso, formando una capa de 2 a 3 mm de espesor.

c) Dejar secar el adhesivo entre 45 y 60 minutos antes de aplicar el concreto sobre la superficie; sin embargo, el adhesivo debe estar todavía fresco o pegajoso.

d) Si la superficie es porosa y ha absorbido el adhesivo en el lapso arriba indicado, aplicar otra mano del mismo y dejar secar nuevamente.

e) Aplicar el concreto a más tardar dos horas después de la aplicación del adhesivo.

f) Dejar fraguar el sistema concreto-adhesivo-concreto, entre 24 y 72 horas dependiendo de la temperatura ambiente antes de poner en servicio la sección reparada.

Pueden presentarse ligeras variantes en los procedimientos de aplicación de los diferentes adhesivos a base de resinas epóxicas que existen en el mercado, por lo que se recomienda consultar el instructivo del producto a emplear en cada caso particular.

Estos productos suelen también ser utilizados como aditivos de las mezclas de concreto empleadas en las reparaciones.

Las mezclas de los adhesivos a base de resinas epóxicas, se vuelven duras a los 30 o 40 minutos; nunca debe adicionarse agua a una mezcla que ya ha endurecido.

De preferencia siempre debe emplearse la menor cantidad posible de agua para obtener morteros y concretos de alta resistencia, densidad y dureza.

Debido a que el concreto hidráulico y los adhesivos a base de resinas epóxicas tienen diferente coeficiente de expansión térmica, se recomienda utilizar estos últimos con cierta prudencia, sobre todo en zonas expuestas a cambios bruscos de temperatura. Cuando se produce un cambio de temperatura apreciable, se inducen esfuerzos en la superficie que une al pavimento de concreto con el parche a base de resinas epóxicas, debidos a la diferencia de expansión o contracción térmica; esta situación repetida varias veces puede ocasionar que el parche se desprenda, sobre todo si no se le hizo cajón (fig 1.2-1).

En algunos pavimentos de aeropuertos se ha empleado con éxito para el parchado, una mezcla de polisulfuro con resina epóxica, compuesta por dos partes de formulación epóxica Topkote 600 P/E y una parte de polímero polisulfuro líquido LP-3 suministrado por Thiokol Chemical Co.

El espesor de los parches ha sido de 7 a 30 cm y el tiempo de curado requerido para abrirse al tráfico ha sido de tres a ocho horas. Quienes han tenido experiencia con estos productos mencionan que se pueden obtener las siguientes ventajas cuando se utilizan adecuadamente.

- Se pueden aplicar durante las condiciones atmosféricas más difíciles, incluso a temperaturas inferiores a la de congelación del agua.
- Los parches exceden las siguientes resistencias mínimas especificadas por la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos:

Tensión por flexión = 70.3 kg/cm^2
(1000 lb/pulg.^2)

Compresión = 527 kg/cm^2 (7500 lb/pulg.^2)

- Cuando se utilizan los proporcionamientos adecuados de agregado fino, agregado grueso y resinas, puede lograrse que el coeficiente de expansión del concreto-polisulfuro-epoxy sea igual que el del concreto de cemento Portland; por tanto no se presentan contracciones diferenciales que originarían la separación del parche en la línea de unión.

El proporcionamiento adecuado de resinas y agregados es uno de los aspectos más im-

portantes que hay que tomar en cuenta para obtener la adecuada consistencia, flexibilidad y resistencia estructural. Las proporciones pueden variar en función de la temperatura ambiente, de la granulometría del agregado y del volumen del parche a colocar.

1.2-12 Acumulación de caucho en la superficie

La acumulación de caucho en las zonas de toma de contacto de las pistas no es precisamente una falla del pavimento, sino que es el resultado de las operaciones de aterrizaje de los aviones, en las que una capa del caucho de las llantas se funde quedando adherido a la superficie del pavimento (fig 1.4-58). Cuando ha habido un considerable número de aterrizajes en una pista, el caucho acumulado en las zonas de toma de contacto hace que se pierdan las características originales de la superficie del pavimento, particularmente en lo que respecta al coeficiente de fricción. Esta condición resulta de especial importancia en el caso de los aviones de reacción, ya que debido a sus altas velocidades de despegue y aterrizaje (ver apéndice B), su comportamiento en el frenado depende en un alto grado de la fricción existente entre las llantas y la pista. La situación se puede tornar crítica si la superficie cubierta con caucho está mojada. El caucho adherido en grandes cantidades, en las pistas de mucho tráfico, impide el drenaje de la lluvia proporcionando de esta manera las condiciones para que se produzca el peligroso fenómeno de "hidroplaneo", lo que incrementa grandemente las distancias en que pueden detenerse los aviones al efectuar el aterrizaje.

La tecnología actual disponible para afrontar este problema se puede resumir en los siguientes métodos:

- a) Solventes químicos.
- b) Chorros de agua a alta presión.
- c) Solventes químicos combinados con chorros de agua a alta presión.
- d) Tratamiento mecánico

Antes de juzgar la efectividad de cualquier sistema de remoción del caucho, debe entenderse claramente su objetivo. ~~Dicho objetivo es el de devolver a las pistas un adecuado coeficiente de fricción cuando están mojadas, de tal manera que todos los aviones tengan condiciones seguras de operación.~~ Un cambio en el color de la superficie, por ejemplo, de negro a gris en un pavimento de concreto hidráulico, puede ser muy engañoso, ya que incluso una pequeña cantidad de residuo de caucho en los poros del pavimento puede ocasionar bajos valores de fricción, aunque la pista tenga una apariencia limpia.

Es por tanto esencial, para juzgar la efectividad de cualquier técnica de remoción de caucho, el cuantificar las mejoras obtenidas en la fricción, por medio de aparatos adecuados.

Los solventes químicos han sido utilizados con éxito para remover el caucho impregnado tanto en pistas de concreto hidráulico como de concreto asfáltico. Algunos de estos solventes tienen una base de ácido cresílico (un derivado de la creosota) y una mezcla de benceno, con un detergente sintético como humidificador y se utilizan en pistas de concreto hidráulico. Para pistas de concreto asfáltico se utilizan solventes químicos alcalinos.

La naturaleza volátil y tóxica de los solventes químicos implica que se deben tomar estrictas precauciones durante y después de su aplicación, para evitar daños al señalamiento de pintura, a la superficie del pavimento, a la vegetación cercana, al sistema de drenaje, a la vida silvestre, así como contaminación de corrientes de agua cercanas.

Existe en el mercado un producto químico denominado Turco 5787 cuyos fabricantes aseguran que no contiene ningún ingrediente proscrito por los reglamentos sobre la contaminación de Estados Unidos; informan que no contiene fenoles, ácido cresílico creosotas orto-di-clorobenceno, ni cáusticos.

Generalmente los sistemas basados en chorros de agua (con o sin arena) a alta presión son razonablemente efectivos en áreas con ligera acumulación de caucho,

pero su efectividad decrece conforme aumenta el espesor de la película de caucho. Dependiendo del tipo y volumen de tráfico, se puede llegar a requerir una limpieza cada seis meses. Una práctica moderna es disolver el caucho impregnado con solventes químicos y terminar la limpieza con chorro de agua a alta presión.

Existen informes de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos que indican que es posible que un chorro de agua a alta presión pula en cierto grado el pavimento, por lo cual se podría causar de hecho una disminución del coeficiente de fricción al efectuar la limpieza.

Los tratamientos mecánicos utilizan máquinas rebajadoras o ranuradoras, para formar corrugaciones transversales a través del caucho y del pavimento, lo cual tiene dos efectos positivos: en primer lugar acelera el drenaje de la lluvia, y en segundo lugar aumenta la textura superficial del pavimento. El objetivo de esta técnica no es tanto eliminar el caucho, sino devolver a la pista su coeficiente de fricción.

En México se ha utilizado el procedimiento de remoción de caucho con base en el producto químico denominado Turco 5787; asimismo, se han utilizado los tratamientos mecánicos para solucionar dicho problema. Los resultados obtenidos en ambos casos han sido satisfactorios.

En lo que se refiere a los tratamientos mecánicos, por una parte se ha procedido al "rebajado" longitudinal, consistente en ranurar el pavimento longitudinalmente por medio de una máquina con un rodillo de discos diamantados separados aproximadamente 0.5 cm centro a centro (figs 1.4-36 y 1.4-53); con este procedimiento el caucho queda eliminado completamente. Por otra parte se ha procedido al "ranurado" transversal con una máquina similar (figs 1.4-59 a 1.4-62), pero la separación de los discos diamantados se aumentó a 5 cm centro a centro; el costo obtenido fue del orden de la mitad del correspondiente al rebajado. En ambos casos el coeficiente de fricción obtenido fue satisfactorio; las mediciones del coeficiente de fricción se efectuaron con el aparato "Mu-Meter" (figs 1.4-63 y 1.4-64).

Con base en las consideraciones anteriores se recomienda, por ser más ventajoso económicamente, el procedimiento de ranurado transversal.

1.2.13 Irregularidades de la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones

La experiencia en México ha mostrado que las superficies de los pavimentos rígidos de las pistas de los aeropuertos, que tienen valores del "índice de perfil" superiores a 30, pueden ocasionar un exceso de vibraciones en los aviones durante su carrera de despegue o aterrizaje, pudiendo provocarse sobreesfuerzos en la estructura del avión y del pavimento, alteraciones en las lecturas de los instrumentos a bordo e incomodidad para los pasajeros.

Para medir las condiciones de textura de un pavimento, en función de su índice de perfil, se utiliza el perfilógrafo tipo Hveem (fig 1.4-66); este aparato está formado por una estructura de aluminio de 7.6 m de longitud, una rueda de bicicleta que detecta las ondulaciones de la superficie del pavimento, y una caja registradora. Al diagrama obtenido por este aparato se le denomina perfilograma (fig 1.4-67), el cual representa las ondulaciones e irregularidades del pavimento en una escala horizontal de 1:300 y una escala vertical de 1:1.

A partir de los perfilogramas, los índices de perfil (I.P.) se determinan cuantificando en cantidad y tamaño la parte del perfilograma que sobresale de una banda central de 0.5 cm utilizada para el caso. Su valor está dado en pulgadas de irregularidades (en el sentido vertical) por una milla de longitud. En la fig 1.4-72 se ejemplifica la forma del perfilograma para diferentes valores de índice de perfil.

Para disminuir el índice de perfil de un pavimento, es decir, para eliminar las irregularidades de su superficie de corta longitud de onda que provocan exceso de vibraciones en los aviones, existen dos posibles soluciones: el reencarpetao y el rebajado longitudinal. En general se recomienda la solución basada en el rebajado longitudinal (figs 1.4-36 y 1.4-53)

por su economía y porque mejora considerablemente el coeficiente de fricción de la superficie del pavimento, aumentando de esta manera la eficacia del frenado de los aviones. Los trabajos de rebajado consisten esencialmente en la utilización de una máquina rebajadora a base de un rodillo de discos diamantados (figs 1.4-68 y 1.4-69) o algún equipo similar. Estos trabajos generalmente requerirán efectuarse de noche para no interrumpir el tráfico aéreo, por lo que se recomienda la utilización de una planta de luz de por lo menos 3.5 kW de capacidad.

Dado que los estudios para determinar el índice de perfil de los pavimentos requieren de equipo y personal especializado, se recomienda a los encargados del mantenimiento de pistas, que los problemas de irregularidades en la superficies de los pavimentos, se hagan del conocimiento de la Gerencia de Conservación de Aeropuertos y Servicios Auxiliares y de la Dirección General de Aeropuertos, SCT.

Para eliminar las irregularidades de gran longitud de onda (superior a 20 a 30 m) la solución consistirá en el reencarpetao de renivelación.

En la fig 1.2-4 se presenta el criterio de Boeing para determinar el momento en que una pista requiere que se le efectúen trabajos de conservación para eliminar irregularidades de la superficie.

1.3 RESUMEN

En la tabla 1.3-1 se presenta un resumen de las recomendaciones a seguir para la conservación de pavimentos rígidos, anotándose las causas probables de distintos tipos de fallas y su tratamiento.

1.4 ILUSTRACIONES DE FALLAS Y DE TRABAJOS CORRECTIVOS

En las figs 1.4-1 a 1.4-69 se presenta una serie de fotografías ilustrativas de fallas que se pueden presentar en pavimentos rígidos y de los trabajos correctivos.

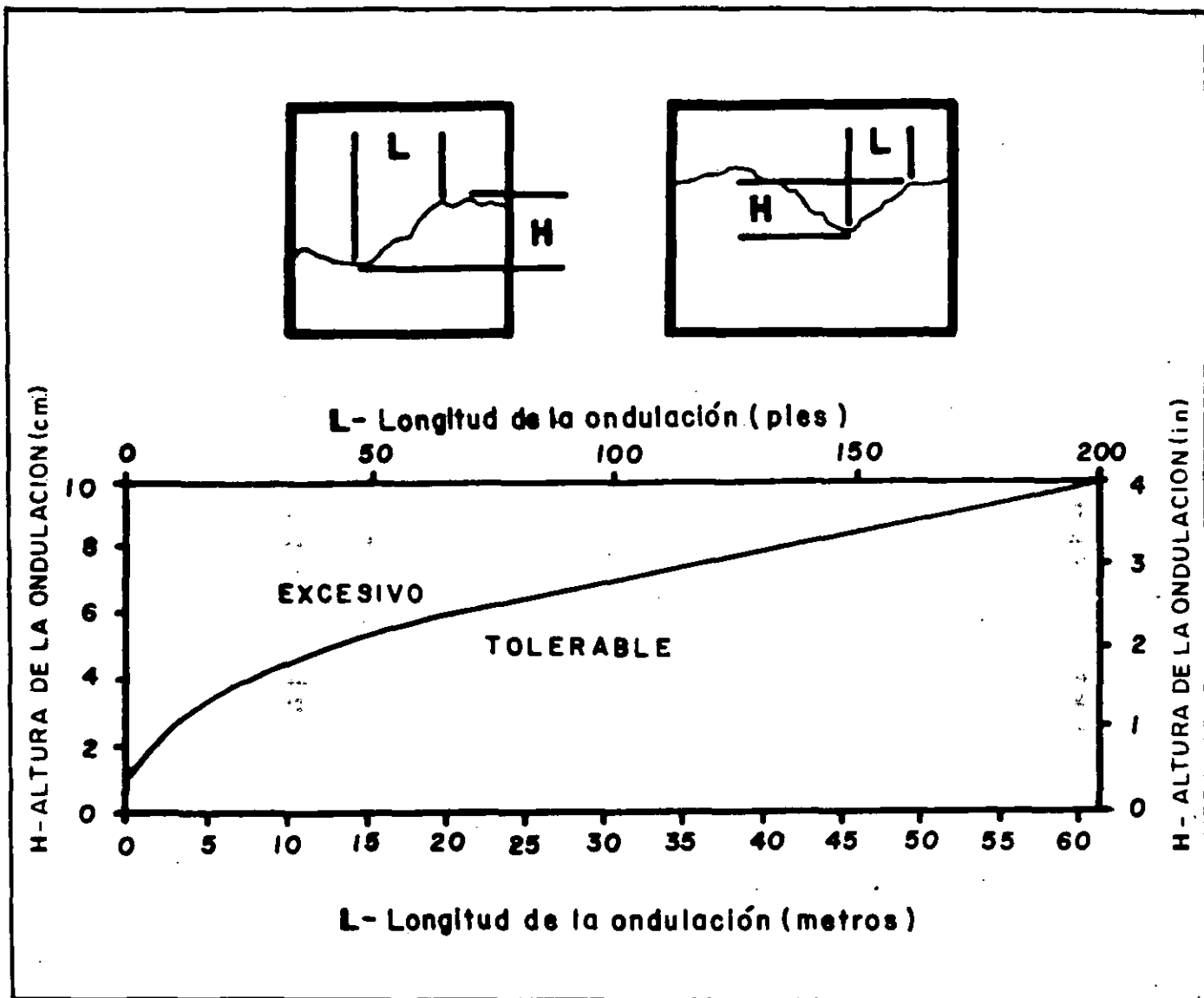


Fig. 1.2-4 Criterio de Boeing para conservación de pistas (por irregularidades de la superficie)

Tabla 1.3-1 Resumen conservación de pavimentos rígidos

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|--|--|--|
| - Desintegración del concreto | - Materiales poco durables - Condiciones severas del clima - Ciclos de hielo - deshielo - Escaso o nulo aire incluido | - Demoler y reponer el pavimento defectuoso |
| Superficies con escamas o castras | - Colocación del concreto con exceso de agua - Acabados excesivos de la superficie - Impurezas en los agregados - Utilización de productos químicos en la superficie | - Parchar con concreto hidráulico (con la granulometría adecuada) y resinas epóxicas u otro adhesivo - Parchar con concreto asfáltico - Si no hay agujeros profundos, aplicar una o más capas de mortero asfáltico |
| Astillamientos o desdoblamiento cercanos a las juntas | - Infiltración de materiales no compresibles en la junta - Impedimento de movimiento del pasajuntas - Concreto poco resistente - Manejo inadecuado de las cimbras durante la construcción - Manejo excesivo del concreto para el acabado de las juntas - Manejo extemporáneo del concreto | - Eliminar previamente la causa - Hacer cajón y reponer el concreto; utilizar resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado - Sellar la junta - Solución alterna; parchar con concreto asfáltico - Solución alterna; parchar con insertos prefabricados fijados con adhesivo epóxico |
| Defectos en la superficie: - Surcos - Lavaderos - Ranuras - Ondulaciones - Baños de pájaros | - Supervisión inadecuada durante la colocación del concreto | Para defectos muy localizados parchar individualmente con mortero de cemento y resinas epóxicas, o con mezcla asfáltica - Para áreas muy extensas, reconstruir |
| Grietas longitudinales y transversales | - Contracción por cambios de temperatura - Contracción de fraguado - Alabeos - Movimiento en la cimentación - Falla estructural | - Sellar la grieta con material flexible - O soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros eliminando previamente la causa del problema - Demoler y sustituir la grieta por una junta |
| Grietas en esquina y en diagonal | - Falla estructural debida a los cargos sobre esquinas carentes de apoyo adecuado | Si la grieta forma un pequeño triángulo en la esquina de la losa: - Remover el material dañado y parchar con concreto asfáltico. Sellar la junta - O remover el material dañado y parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, si se ha eliminado la causa del problema Si la grieta está más al centro de la losa: - Sellar la grieta con material flexible para evitar infiltraciones - Rellenar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, eliminando previamente la causa del problema |

Tabla 1.3-1 Conservación de pavimentos rígidos (continuación)

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|--|--|--|
| Hundimientos diferenciales Agrietamientos con hundimientos | <ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad de la subbase y subrasante - Inadecuada transferencia de cargas entre losas - "Bombeo" de los materiales de cimentación - Subdrenaje defectuoso - Progresión de otras fallas | <ul style="list-style-type: none"> - Levantar las losas hundidas mediante la inyección de asfalto con arena, de mortero de cemento o lodo bentonítico. Sellar previamente las juntas o grietas hasta la mitad - Nivelar el pavimento aplicando una capa de concreto hidráulico y resinas epóxicas, o aplicando concreto asfáltico - Si los hundimientos van acompañados de agrietamientos considerables, demoler las losas, hacer caja y parchar con concreto hidráulico. Utilizar fierro de refuerzo y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado - Si el área fallada es muy extensa repavimentar utilizando el pavimento viejo como base, o reciclarlo |
| Losas que se "botan" | <ul style="list-style-type: none"> - Excesiva expansión de las losas - Material no compresible en las juntas, que impide que las losas se expandan | <ul style="list-style-type: none"> - Remover la parte dañada - Parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, o parchar con concreto asfáltico - Proveer una junta de expansión - Sellar la junta |
| Cortes en el pavimento | <ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de tender una tubería, una obra de drenaje, ductos eléctricos, o alguna otra instalación | <ul style="list-style-type: none"> - Cortar la losa al menos 15cm más allá de la orilla de la zanja - Excavar la zanja con cuidado - Rellenar en capas perfectamente compactadas - Parchar con concreto hidráulico en el espesor de la losa más 5cm, hacia abajo - Utilizar fierro de refuerzo y adhesivo a base de resinas epóxicas u otro producto adecuado |
| Juntas o grietas sin sellar | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de limpieza de las caras de las juntas al sellarlas originalmente - Temperatura indebida al aplicar el sello - Calidad inadecuada del material de sellado - Aparición de nuevas grietas | <ul style="list-style-type: none"> - Quitar el material de sello defectuoso - Limpiar las juntas y sellar debidamente - Si aflora material sellante cuando la temperatura ambiente no es muy alta, eliminar el excedente |
| Acumulación de caucho en la superficie que origina se reduce el coeficiente de rozamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción - Solución alterna: eliminar el caucho con productos químicos y/o agua a presión |
| Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones | <ul style="list-style-type: none"> - Poco control durante la construcción - Equipo inadecuado para el colado - Fallas del pavimento | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alterna: Tender sobrecarpeta (necesaria en irregularidades de gran longitud de onda) |
| <p>NOTA: Se recomienda que en todos los casos, los procedimientos de construcción, utilización y elaboración de materiales, se sujeten a las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes</p> | | |



Fig. 1.4-1 Desintegración del concreto, debido probablemente a una mala calidad del concreto en los losos del la derecha, combinado con las pésimas condiciones de subdrenaje



Fig. 1.4-2 Escamas o costras en la superficie de algunas losas de una vía de circulación de vehículos terrestres

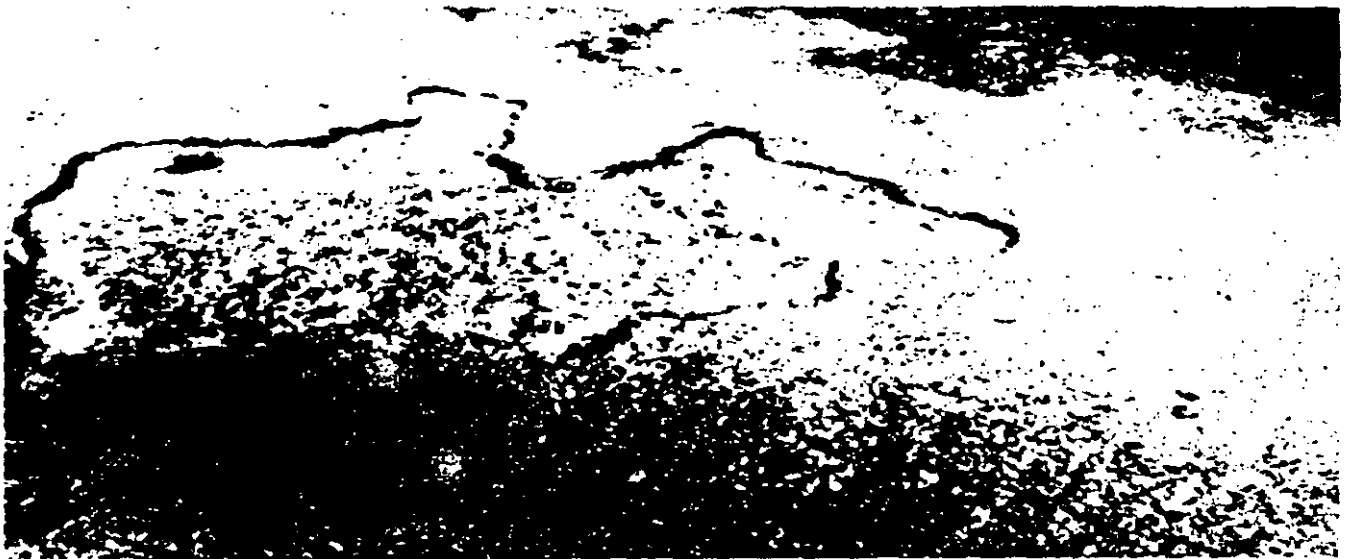


Fig. 1.4-3 Otro ejemplo de este tipo de escamas o costras

Fig. 1.4-4 Desconchamiento en una junta longitudinal debido probablemente a impedimento de movimiento del pasajuntas (varilla corrugada), combinado con el manejo poco cuidadoso de las cimbras durante la construcción. Obsérvese el sellado defectuoso de la grieta

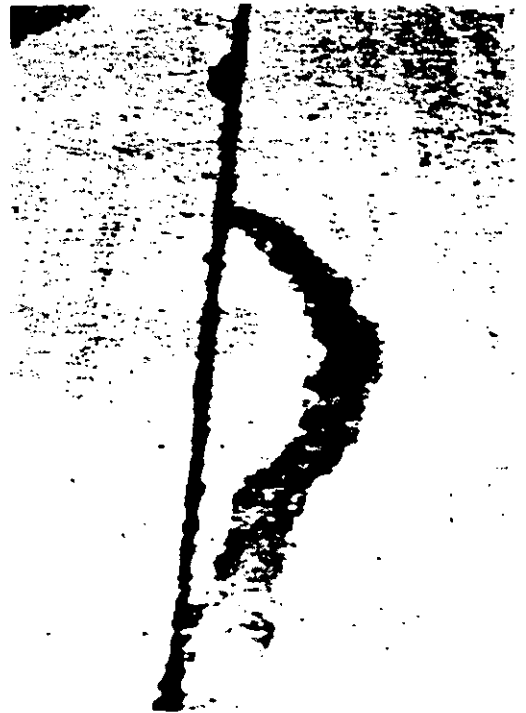


Fig. 1.4-5 Desconchamiento en una junta transversal debido probablemente a impedimento de movimiento. El parchado se efectuó con mezcla asfáltica. El sello de la junta fue respetado.



Fig. 1.4-6 Desconchamiento debido a impedimento de movimiento causado por la infiltración de arena en las juntas, las que muestran un sellado defectuoso



Fig. 1.4-7 Otro vista de desconchamientos

Fig. 1.4-8 En la reparación original no se respetó la junta con la losa vecina, por lo que el parche se despegó de la losa fallada y quedó adherido a la losa sana de la izquierda. Posteriormente la grieta así formada fue sellada

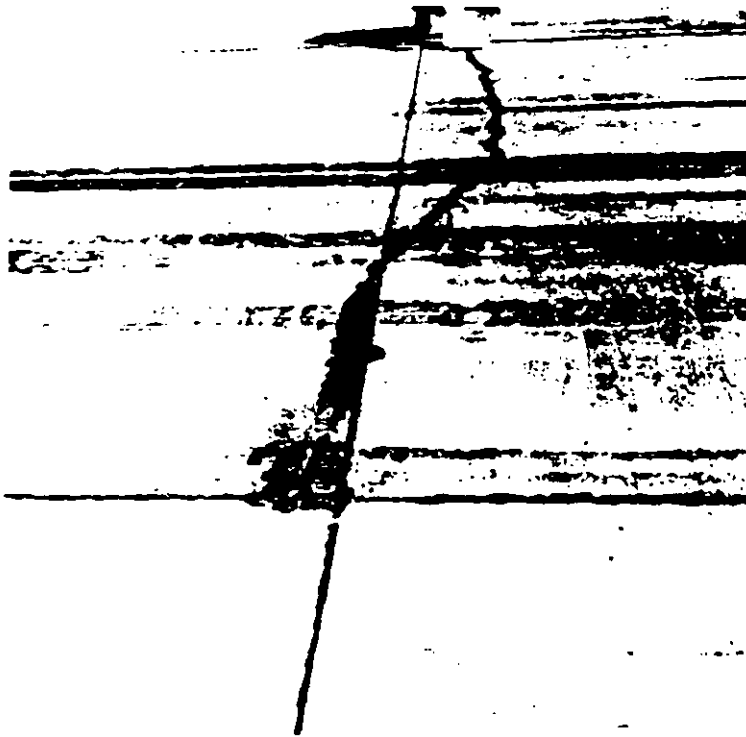
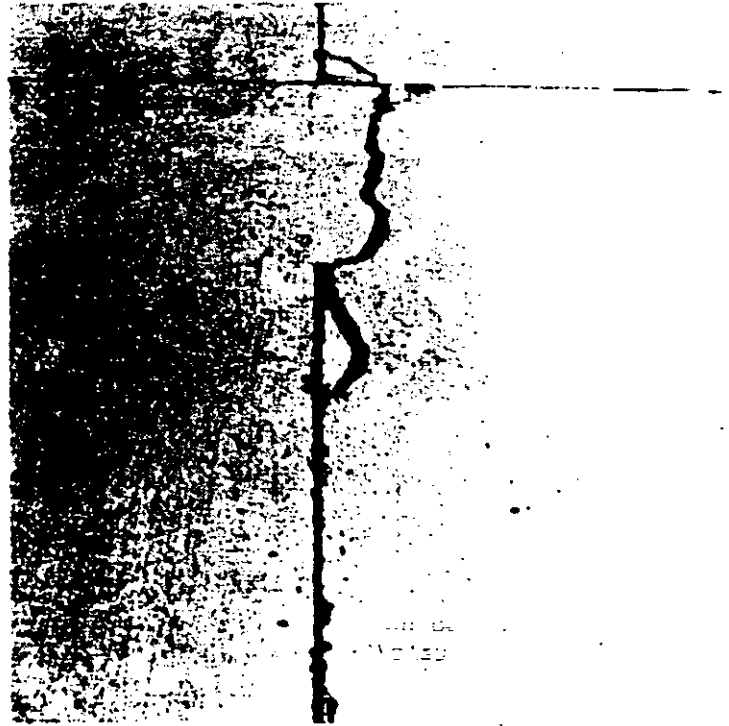


Fig. 1.4-9 Grieta cercana a la junta debida probablemente al aserrado extemporáneo de la junta, durante la construcción



Fig. 1.4-10 Grieta con astillamiento cercana a una junta transversal debida probablemente al concreto poco resistente en la junta, a la formación de una junta fría y a los efectos de temperatura, lo que originó que el aserrado de la junta no cumpliera con su propósito.



Fig. 1.4-11 Otra muestra de grieta provocada por aserramiento tardío

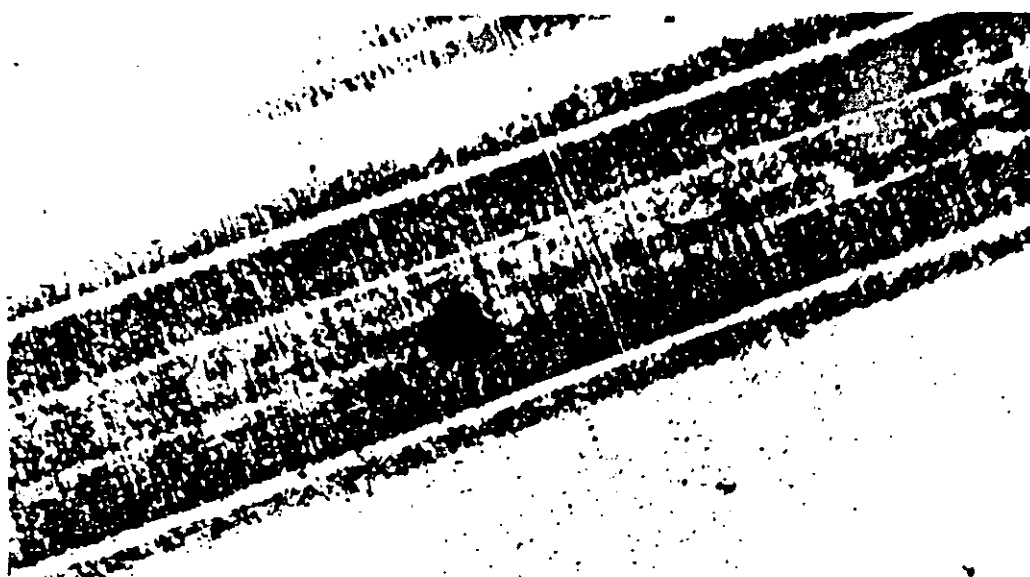


Fig. 1.4-12 Desprendimiento debido a impurezas en el concreto. Agujero dejado por un trozo de madera que se ha desintegrado por la acción de la intemperie



Fig. 1.4-13 Agujero parchado con mezcla asfáltica. Obsérvese que la superficie ya presenta una textura muy lisa debido al caucho impregnado por las llantas de los aviones



Fig. 1.4-14 Baños de pájaros reparados incorrectamente

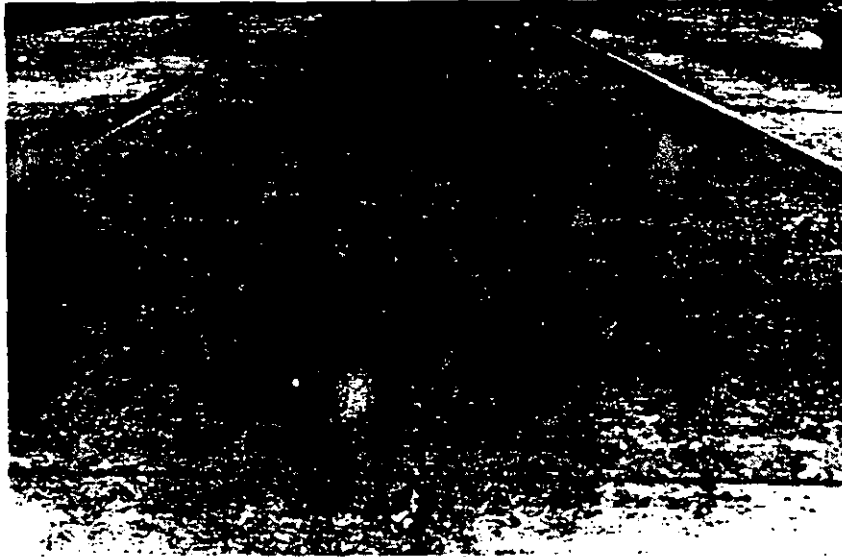


Fig. 1.4-15 Grieta longitudinal debido probablemente al alabeo de las losas combinado con los efectos de las cargas. La junta longitudinal en el eje del rodaje no funcionó adecuadamente debido probablemente a impedimento de movimiento causado por un exceso de pasajuntos a base de varillas corrugadas



Fig. 1.4-16 Una misma grieta afectando varias losas



Fig. 1.4-17 Grietas longitudinales en el centro de las losas contiguas al eje del rodaje, las cuales ya han sido selladas. El alabeo, combinado con las cargas del tráfico, ocasionó probablemente la falla. Las manchas oscuras de asfalto, en la parte inferior de la fotografía, indican un trabajo falto de limpieza en la unión de los pavimentos de concreto hidráulico y de concreto asfáltico (que no aparece en la foto).



Fig. 14-18 Grietas longitudinales en las losas contiguas al eje de la pista y sólo en una zona de la misma. Las grietas ya han sido selladas. El alabeo, las cargas y la poca resistencia del concreto en la zona, son las probables causas de la falla



Fig. 1.4-19 Grietas longitudinales, ya selladas, localizadas en el centro de las losas de orilla y centro de una calle de rodaje. Ligeros movimientos en la cimentación y alabeos son las probables causas de la falla

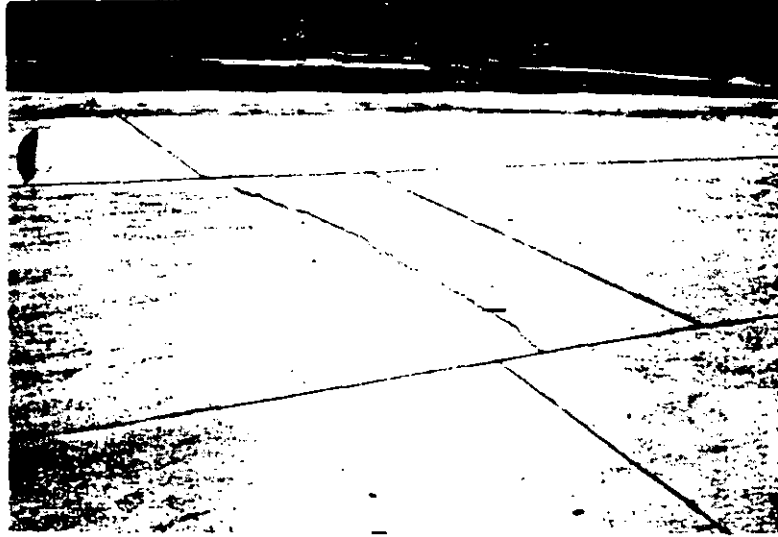


Fig. 1.4-20 Grieta transversal debida al alineamiento defectuoso de las juntas, la cual aún no ha sido tratada (grieta por simpatía)



Fig. 1.4-21 Grieta transversal debida probablemente a una junta fría. La grieta ya ha sido sellada



Fig. 1.4-22 Grietas en el centro de las losas, en una plataforma de operaciones, probablemente debidas a falla estructural, en la cual tuvo una influencia muy importante el subdrenaje defectuoso existente



Fig. 1.4-23 Otra vista de este tipo de grietas



Fig. 1.4-24 Grietas en una plataforma de operaciones debidas probablemente a contracción del fraguado



Fig. 1.4-25 Grietas semejantes a las mostradas en la figura anterior. Las malas condiciones del sub-drenaje probablemente también hayan influido



Fig. 1.4-26 Grietas longitudinales y transversales y algunos astillamientos en el tramo central de la pista, ya tratados con material asfáltico. La falta de apoyo de la cimentación, las cargas, efectos de impacto y los efectos de temperatura son las probables causas de la falla

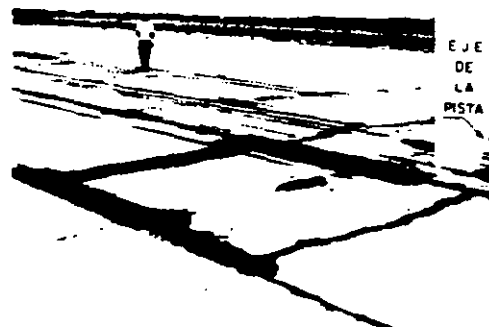


Fig. 1.4-27 Grietas ya reparadas con material asfáltico

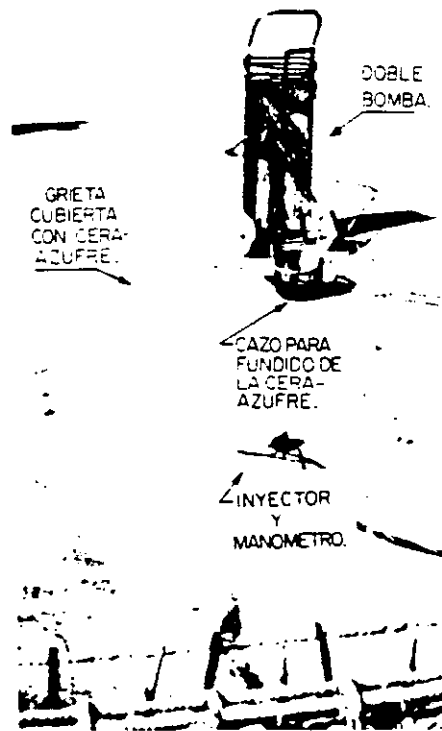


Fig. 1.4-28 Equipo para el sellado de grietas por medio del inyectado de adhesivos a base de resinas epóxicas



Fig. 1.4-29 Preparación de la grieta para su sellado



Fig. 1.4-30 Inyectado de adhesivos en la grieta ya preparado

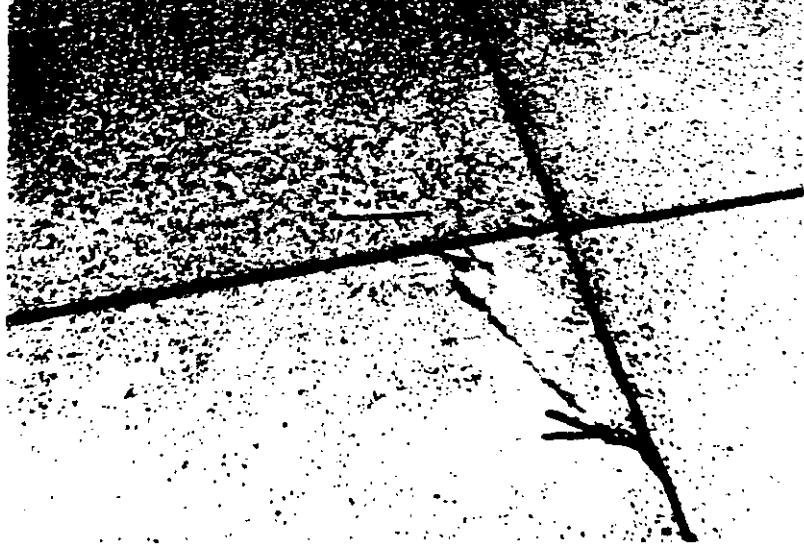


Fig. 1.4-31 Grieta en esquina; falla estructural debida posiblemente a las cargas y a la falta de apoyo de la esquina de la losa. Obsérvese la textura superficial, lo que obedece al hecho de que el pavimento de la pista ha sido tratado con el rebajado longitudinal para eliminar irregularidades. La grieta es anterior al rebajado



Fig. 1.4-32 Grieta en esquina debida probablemente a falta de apoyo y a las cargas



Fig. 1.4-33 Grietas en esquina combinados con desconchamiento. Probable falla estructural e impedimento de movimiento

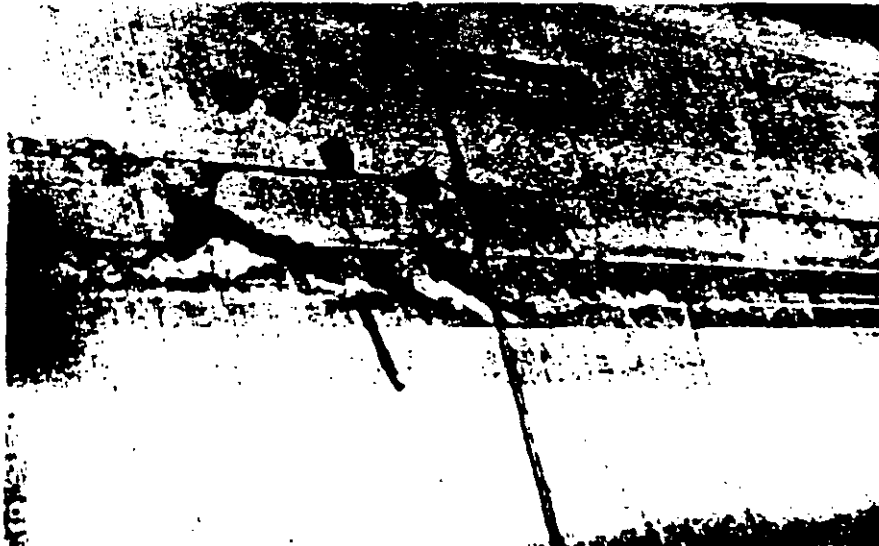


Fig. 1.4-34 Grietas en esquina y desconchamiento



Fig. 1.4-35 Grieta en esquina y efectos de "bombeo"

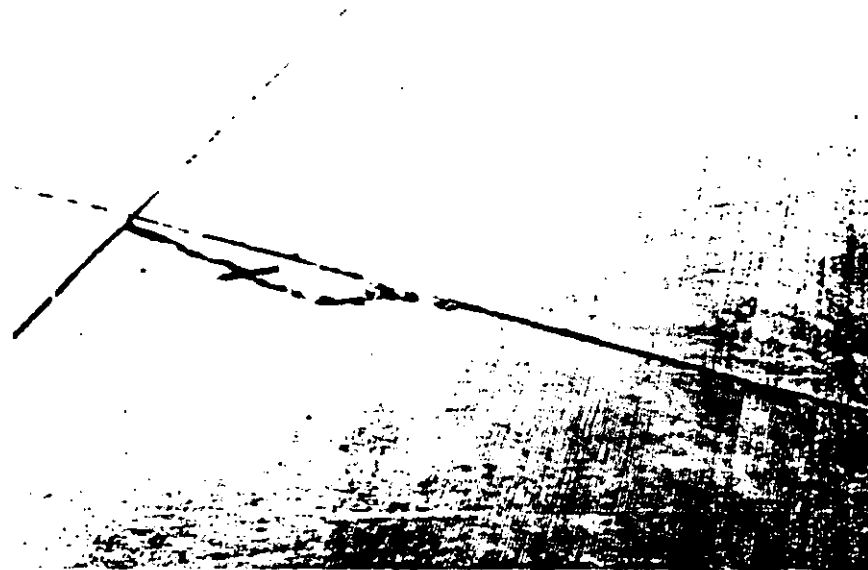


Fig. 14-36 Grieta en esquina sellada con material asfáltico. La textura superficial rayada es debida al tratamiento de rebajado longitudinal del pavimento de la pista para eliminar irregularidades que provocan vibraciones en los aviones



Fig. 14-37 Grietas en esquina reparadas con mezcla asfáltica. La junta no fue respetado y por tanto se formo una grieta



Fig. 1.4-38 Grieta en esquina reparada con concreto hidráulico. Unión mediocre entre el parche y el concreto viejo. La junta superior no fue adecuadamente reparada. El acabado del parche no es igual al de la losa



Fig. 1.4-39 Grietas en esquina en la zona de toma de contacto de la pista. Probable fallo estructural debido a la repetición de los esfuerzos de impacto provocado por la rugosidad de la superficie del pavimento. En esta zona de la pista los aviones llevan su mayor energía cinética durante la carrera de despegue

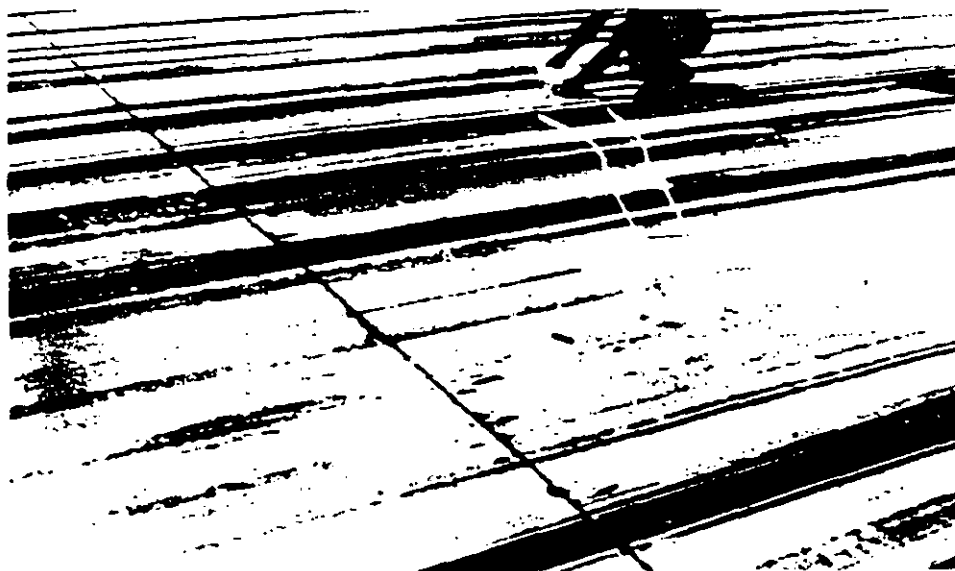


Fig. 1.4-40 Otro ejemplo de grieta en esquina en la zona de toma de contacto de la pista

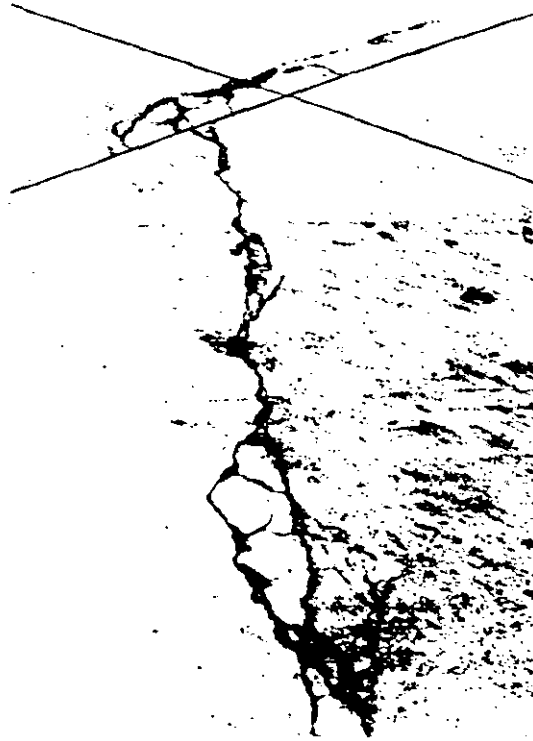


Fig. 1.4-41 Grieta en diagonal y grietas en esquina. Fallo estructural debido probablemente a la falta de apoyo de las losas, subdrenaje defectuoso y a las cargas



Fig. 1.4-42 Grieta en esquina o diagonal y desintegración del concreto



Fig. 1.4-43 Agua que afloró através de la junta debido a una carga en la superficie.



Fig. 1.4-44 Al paso de un "eje doble-doble tandem" es "bombeado" el agua con finos hacia el exterior.



Fig. 1.4-45 Después de que pasó el vehículo se puede observar la cantidad de agua y material fino extraídos.



Fig. 1.4-46 Otra vista de agua y finos "bombeados" al exterior



Fig. 1.4-47 Etapa inicial de flambéo. Losas que se "botan"



Fig. 1.4-48 Fractura de losas

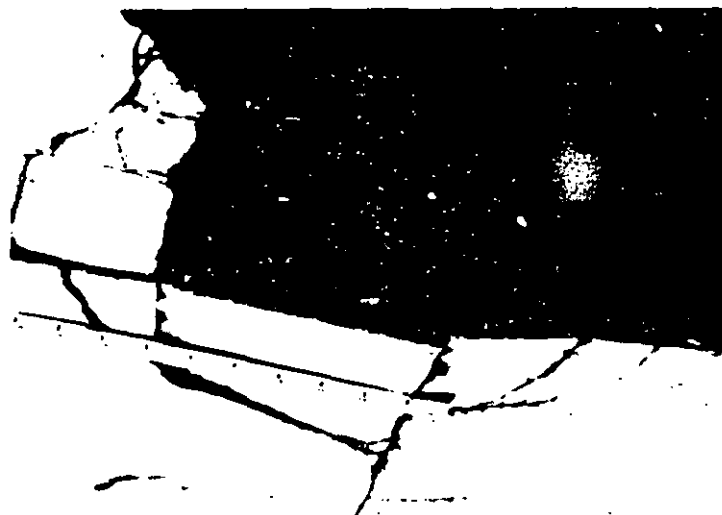


Fig. 1.4-49 En la losa inferior ha sido levantado su tramo fallado y parchado con concreto asfáltico. El trabajo ha sido incompleto y pobre

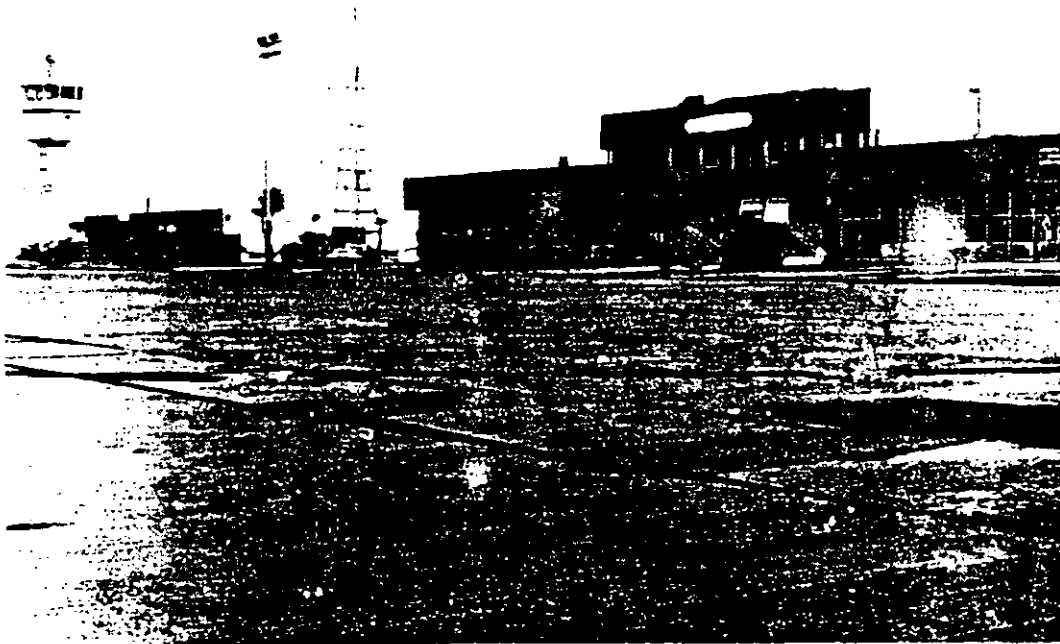


Fig. 1.4-50 Una faceta de losas que se "botan" en una plataforma de operaciones



Fig. 1.4-51 Detalle de losa "botada"



Fig. 1.4-52 Grieta que probablemente se formó con anterioridad al aserrado de la junta; es necesario sellar la grieta



Fig. 1.4-53 Pequeños astillamientos tratados por medio del resellado de la junta. El pavimento ha sido tratado con rebajado longitudinal para eliminar irregularidades que provocan vibraciones

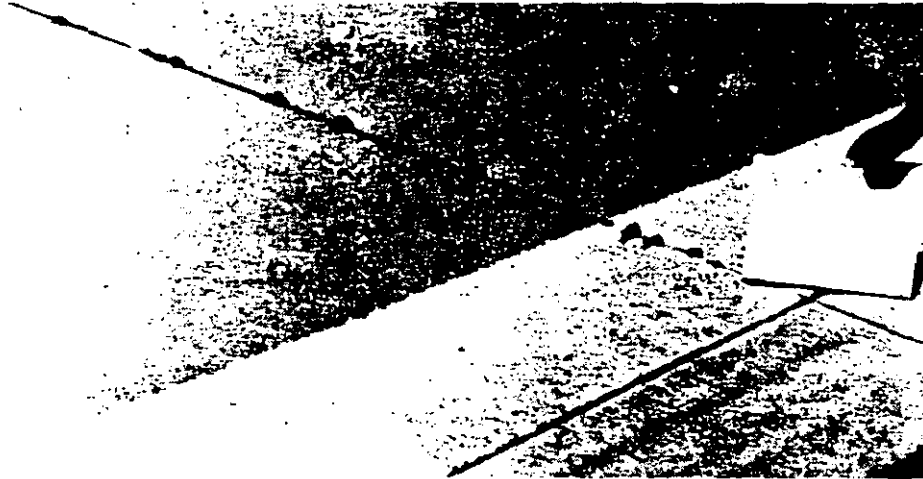


Fig. 1.4-54 Material sellante que aflora sobre el borde de la junta



Fig. 1.4-55 Material de sello totalmente fuera de la junta



Fig. 1.4-56 Material de sello que ha perdido sus características para trabajar adecuadamente. Una parte se ha despegado de las losas y el polvo y la tierra comienzan a invadir la junta, lo que ya ha dejado de ser impermeable

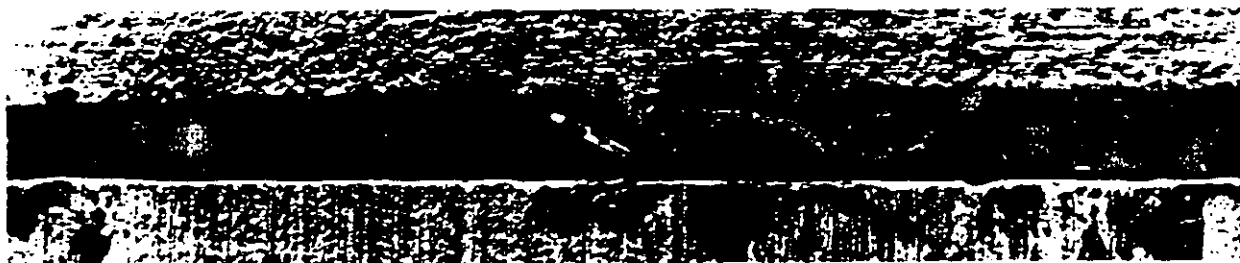


Fig. 1.4-57 Detalle de material de sello despegado de las losas, y que ha perdido su finalidad: impermeabilizar



Fig. 1.4 - 5 B Acumulación de caucho en la superficie de la zona de toma de contacto de una pista con pavimento rígido, lo que ha originado que se hayan devaluado las características originales de resistencia al derrapamiento

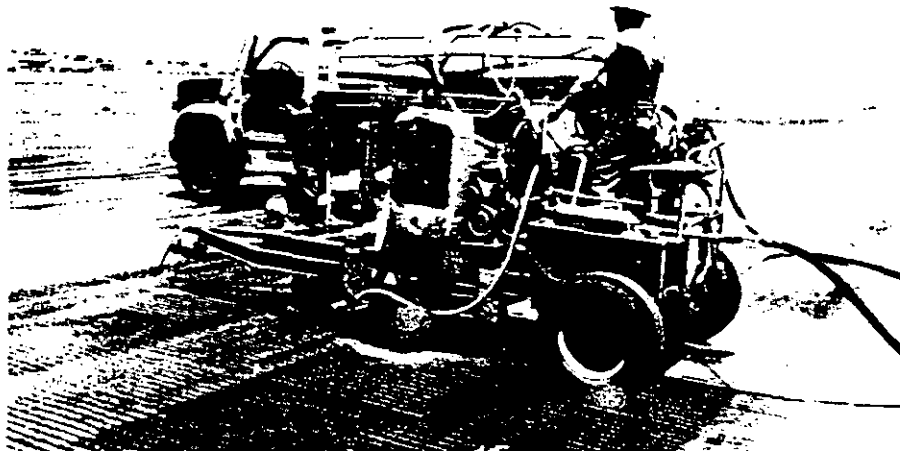


Fig. 1.4-59 Ranurado de pavimentos para mejorar su coeficiente de fricción

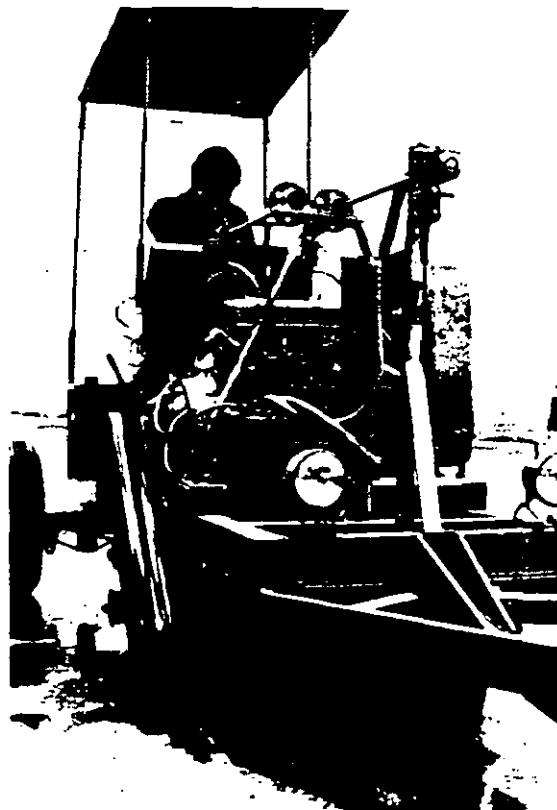


Fig. 1.4-60 Máquina ranuradora en acción



Fig. 1.4 - 61 Detalle de las ranuras hechas por los discos diamantados. Su separación y profundidad puede variarse según las necesidades



Fig. 1.4 - 62 Para dar por terminado una jornada de ranurado, y antes de poner en operación la pista, es necesario lavar la superficie del pavimento sobre la que se trabajó



Fig. 1.4-63 Medidor de fricción "Mu-Meter"



Fig. 1.4-64 Graficador del "Mu-Meter"

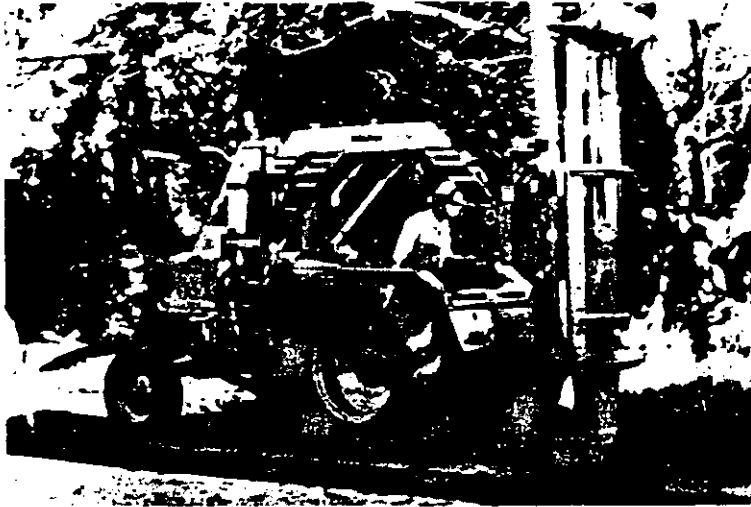


Fig. 1.4-65 Martinete para demolición y para compactación.

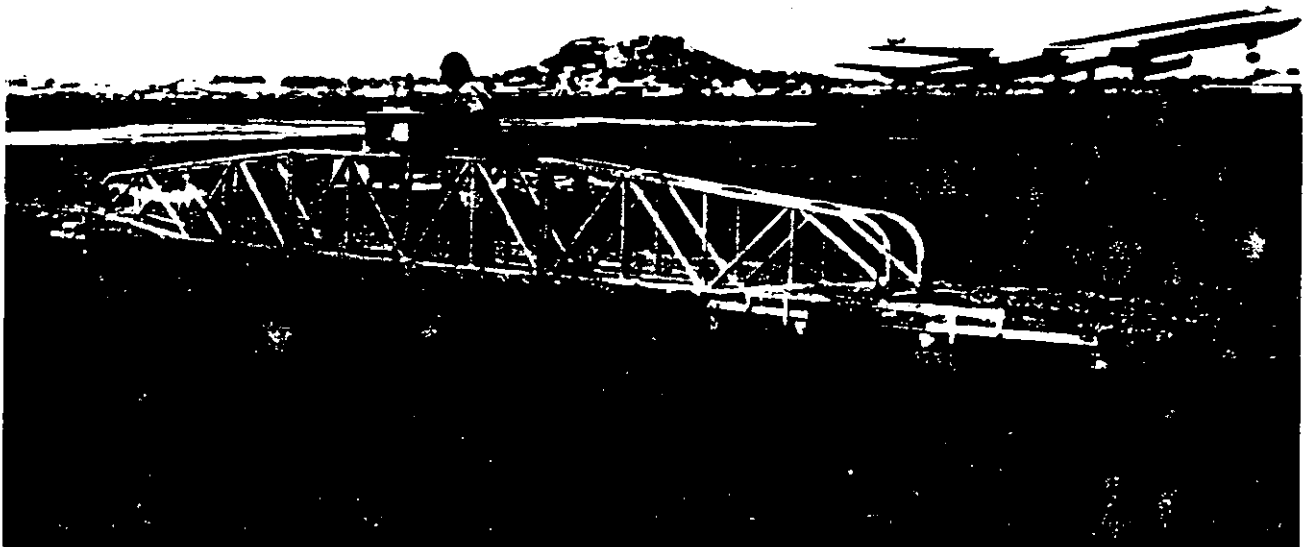


Fig. 1.4-66 Perfilógrafo longitudinal tipo Hveem

VALORES TÍPICOS DE ÍNDICE DE PERFIL

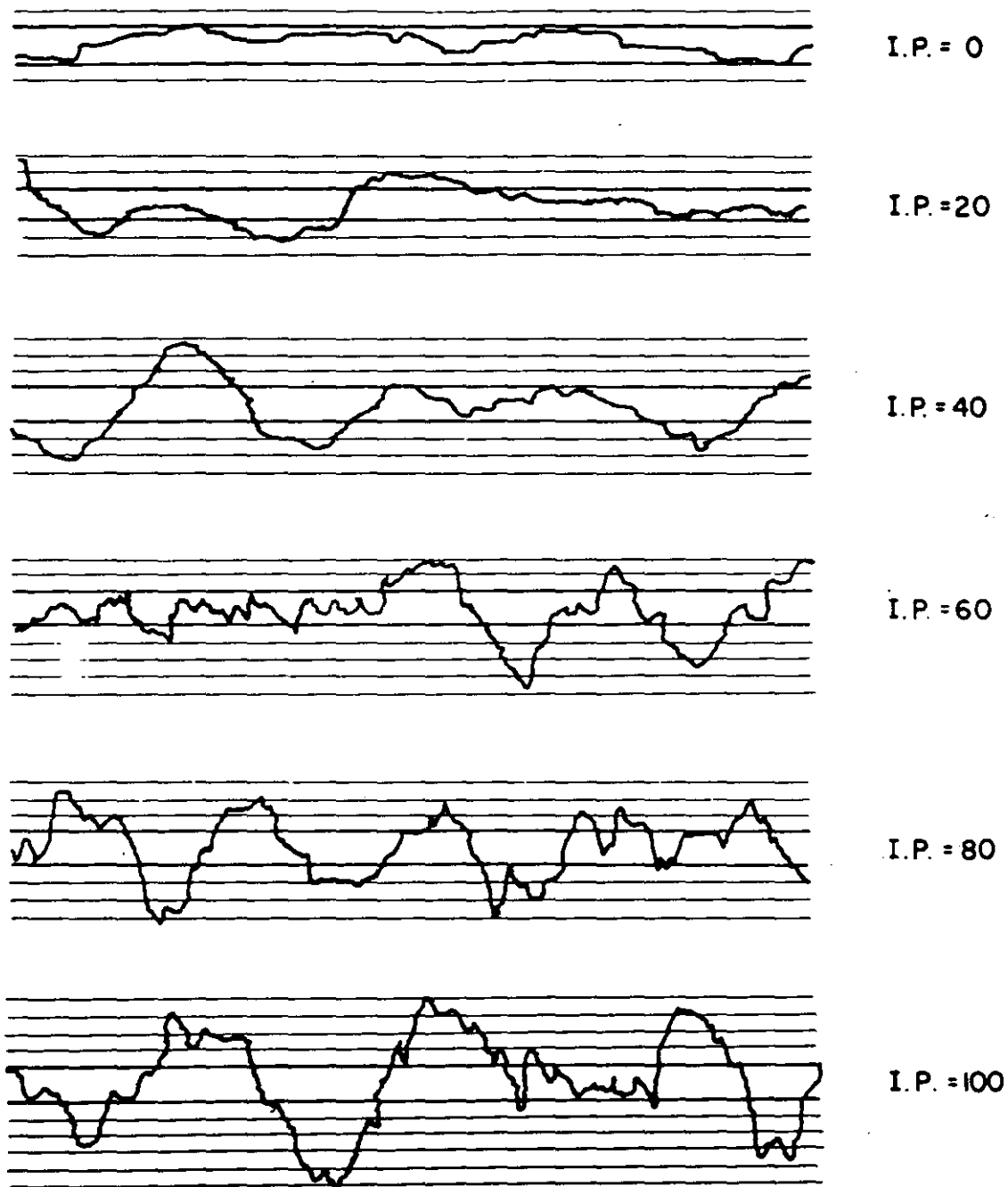


Fig. I. 4-67 Valores típicos de índice de perfil (I.P.)

Esc. H. 1 : 300

Esc. V. 1 : 1

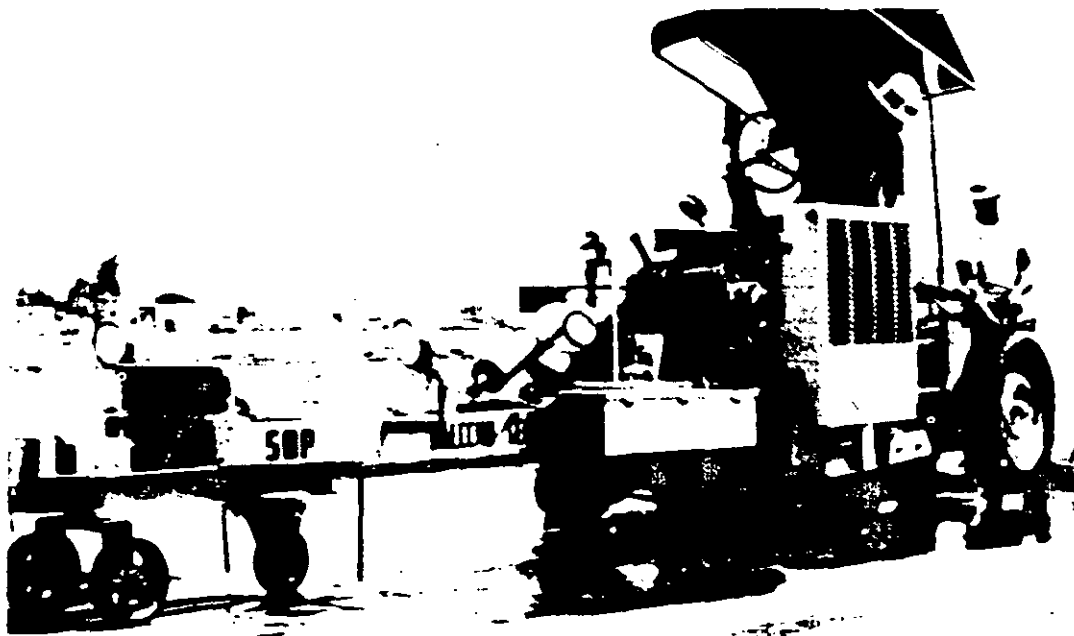


Fig. 1.4-68 Máquina rebajadora o base de rodillo de discos diamantados

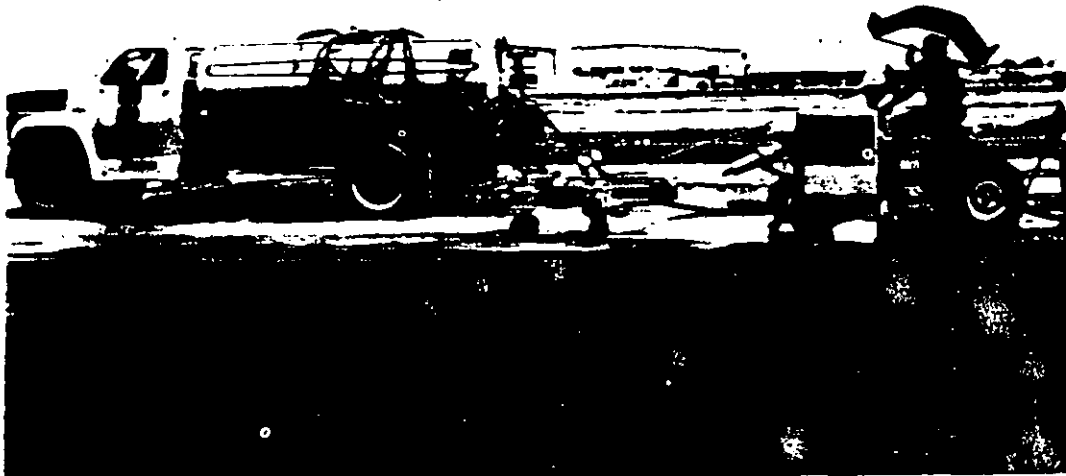


Fig. 1.4-69 Máquina rebajadora en operacion

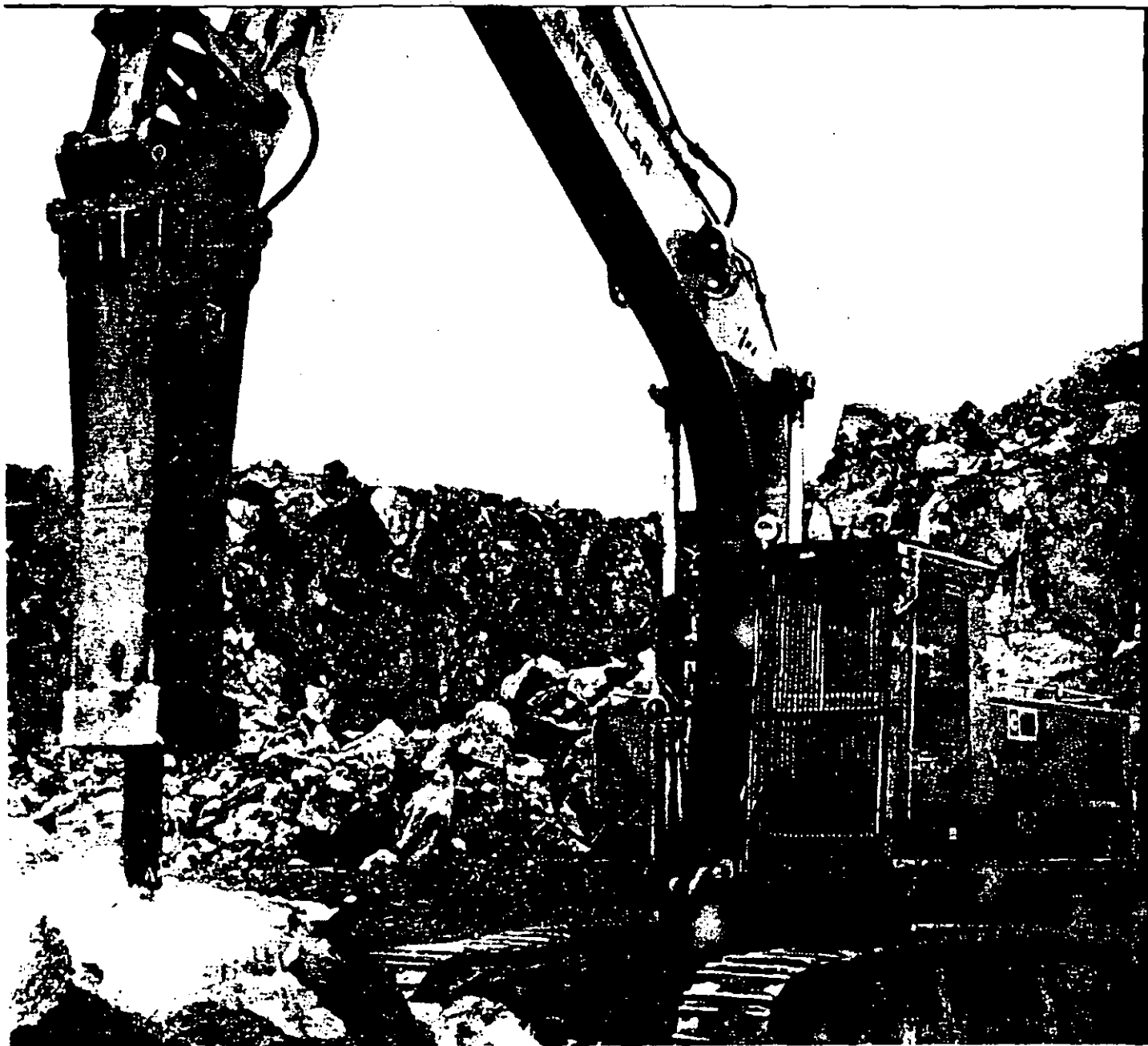


Fig. 1.4-70 Equipo para corte y demolición de concreto y roco, adaptable a retroexcavadora

2. PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 NORMAS DE CALIDAD

Los pavimentos flexibles deben satisfacer, durante su construcción, las normas de calidad establecidas en las Especificaciones Generales de Construcción de la SCT.

El mantenimiento de dichos pavimentos pretende que el nivel de servicio de los pavimentos flexibles se mantenga constante y aun ... mejore; todo esto persiguiendo los objetivos básicos: seguridad y confort en las operaciones de las aeronaves y la preservación de las inversiones efectuadas en la construcción del pavimento.

En los pavimentos flexibles deberá corregirse lo siguiente durante su utilización: erosiones en el pavimento, disgregación o desmoronamiento, agujeros, sangrado o afloramiento de asfalto, oxidación del asfalto, corrimientos de la carpeta, corrimientos circulares, corrugaciones, hundimientos o depresiones, canalizaciones o roderas, grietas longitudinales de orilla o de junta, grietas transversales de contracción, o de reflexión, agrietamientos tipo piel de cocodrilo o de mapa, crecimiento de hierba y afloramiento de agua. Asimismo, deberá corregirse el problema ocasionado por el exceso de caucho adherido en la superficie de las zonas de toma de contacto de las pistas.

En cuanto a las irregularidades de la superficie, los índices de perfil en pistas deberán cumplir con los siguientes valores: promedio general óptimo de la pista ≤ 30 ; máximo índice de perfil óptimo en un tramo de 160 m = 30, para evitar un exceso de vibraciones en los aviones durante su despegue y aterrizaje.

En lo referente a la resistencia del pa-

vimento, el número de clasificación del pavimento (PCN), debe ser superior o igual al número de clasificación de las aeronaves (ACN) que operan en él.

En la tabla 2.1-1 se presenta un formato guía que puede ser un gran auxiliar para el técnico encargado de la inspección visual de los pavimentos flexibles de un aeropuerto, con miras a la conservación de los mismos.

En la fig 2.1-1 se presentan, en forma condensada, los detalles a observar relacionados con la conservación que pudieran requerir los pavimentos flexibles de un aeropuerto.

2.2 DESCRIPCION DE FALLAS Y TRABAJOS CORRECTIVOS

Es necesario un análisis concienzudo para seleccionar el método y los materiales adecuados para la reparación de los pavimentos flexibles. Ambos factores deben ser considerados de acuerdo con las condiciones locales, aunque en principio los trabajos de mantenimiento de pavimentos flexibles siguen una misma secuela. El primer paso para proceder a la reparación es determinar la causa de falla, para poder atacar el problema desde la raíz, ya que de nada serviría por ejemplo, sólo reponer una carpeta fallada si la causa de la falla es una base pobre o tiene problemas de drenaje, ya que la falla pronto volvería a aparecer.

Los defectos en los pavimentos asfálticos pueden ser el resultado de fallas estructurales por consolidación o corte desarrollados en la subrasante, subbase, base o en la carpeta; o bien por un drenaje defectuoso que torna críticas las condiciones de trabajo del pavimento.

Tabla 2.1-1 Condiciones superficiales del pavimento flexible

| | |
|--------------------|---------------|
| Aeropuerto : _____ | |
| Elemento : _____ | |
| Observador : _____ | Tramo de A |
| Fecha : _____ | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-------------|---------------|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | TIPO | GRIETA | Fisuración | | | | | | | | |
| | | | | Longitudinal | | | | | | | | |
| | | | | Transversal | | | | | | | | |
| | | | | Poliedrica (75 cm aprox.) | | | | | | | | |
| | | | | Poliedrica (15 cm aprox.) | | | | | | | | |
| | | | | En forma de mapa (> 30cm) | | | | | | | | |
| | | | | Reflexión | | | | | | | | |
| | | | | Menor que 0.3175 cm (1/8") | | | | | | | | |
| | | | | Menor que 0.635 cm (1/4") | | | | | | | | |
| | | | | Mayor que 0.635 cm (1/4") | | | | | | | | |
| 0: Ninguna | | | | Desprendimiento local | | | | | | | | |
| 1: Menor | | | | Desprendimiento general | | | | | | | | |
| 2: Moderada | | | | Deformación transv. marcada | | | | | | | | |
| 3: Mayor | | | | Deformación longitudinal | | | | | | | | |
| 4: Severa | | | | Distorsión | | | | | | | | |
| 10 | Muy bien | a | | Asentamiento subrasante | | | | | | | | |
| | | | | Bacheo superficial | | | | | | | | |
| 8 | Bien | b | | Bacheo profundo | | | | | | | | |
| | | | | Reconstrucción localizada | | | | | | | | |
| 5 | Regular | c | | Rugosidad superficial | | | | | | | | |
| | | | | Drenaje superficial | | | | | | | | |
| 3 | Pobre | d | | Subdrenaje | | | | | | | | |
| | | | | Condiciones generales | | | | | | | | |
| 1 | Muy pobre | | | Calificación general | | | | | | | | |
| | | | | Trabajos requeridos | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | | |

Observaciones (Drenaje)

Observaciones : _____

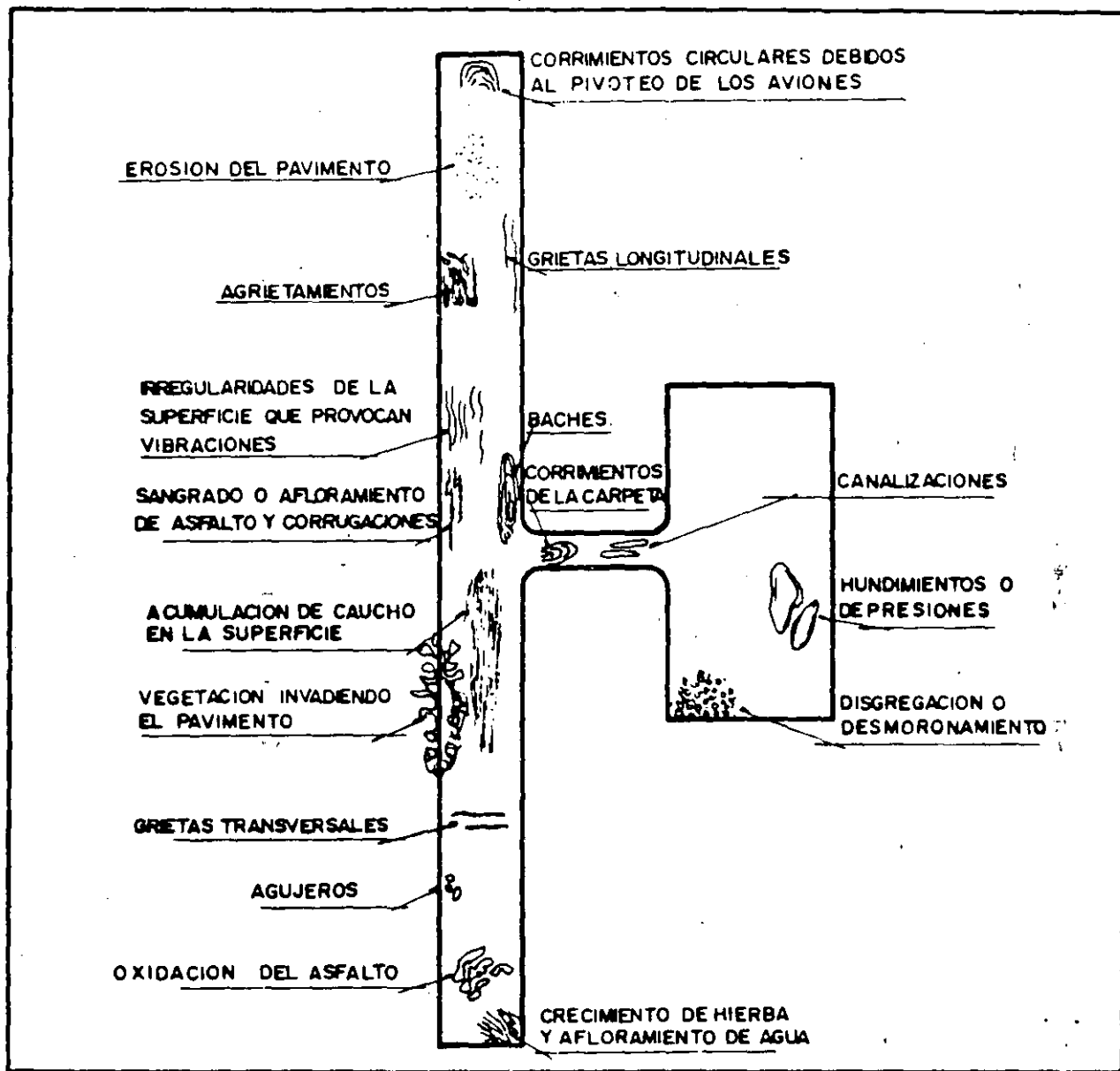


Fig 2.1-1 Conservación y detalles a observar en pavimentos flexibles

La simple inspección visual de un pavimento deteriorado no siempre es suficiente para determinar la causa de su falla, por lo que en muchas ocasiones al hacer sondeos y efectuar las pruebas de los materiales, de las capas del pavimento y de la subrasante, se obtiene valiosa información que puede ser empleada en el análisis.

Es recomendable también la utilización de la viga Benkelman para localizar las áreas de pavimento débiles, es decir, las que muestran una excesiva deflexión durante la prueba. Las áreas con deflexión excesiva pueden ser estimadas comparándolas con la deflexión promedio de las áreas con buen comportamiento.

Los agujeros, depresiones o grietas, pueden ser el resultado de una inadecuada compactación durante la construcción. Una ausencia completa de grietas en/ y alrededor de las depresiones generalmente es una evidencia de que dichas depresiones son el resultado de la compactación bajo el tráfico; en dichos casos la estructura básica no ha sido perjudicada, de hecho ha sido mejorada y la única reparación necesaria es un reencarpetado de renivelación. Cuando existen depresiones y grietas en las líneas de tráfico, éstas pueden ser causadas por una deformación por cortante (desplazamientos por flujo plástico) en la base o la subrasante. Cuando los pavimentos presentan grietas formando espacios estrechos en una típica falla de piel de cocodrilo, es muy probable que la falla se deba a deformaciones por cortante en la capa de base (la más cercana a la superficie). Si estas grietas están más espaciadas, es muy factible que la falla se deba a deformaciones por cortante en la subrasante. Cuando se presentan deformaciones por cortante, el material fallado debe ser removido y reemplazado, aunque ocasionalmente, cuando las áreas son muy grandes, se podrá aumentar el espesor para prevenir sobreesfuerzos.

Las grietas longitudinales o transversales, regularmente espaciadas y más o menos alineadas son usualmente el resultado de contracciones. En estos casos generalmente se requieren sondeos exploratorios para determinar la naturaleza y la magnitud de la reparación requerida.

Los pavimentos flexibles deben estar sujetos a un programa de mantenimiento más intenso que los rígidos, ya que se pueden presentar mayores posibilidades de falla cuando están sujetos a un tráfico pesado; en consecuencia, se hace necesario un mayor cuidado para obtener los beneficios que este tipo de pavimentos puede reportar al aeropuerto.

A continuación se describen las fallas principales de un pavimento flexible y las recomendaciones sugeridas para su reparación:

2.2.1 Erosión del pavimento

En los pavimentos de concreto asfáltico, la erosión se manifiesta por el desprendimiento del material pétreo más superficial. Esta erosión puede ser provocada por el chorro de las turbinas y/o por el paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad. Es determinante, para el desarrollo de esta falla, las condiciones de adherencia existentes entre el material pétreo y el asfalto (ver figs 2.5-1 a 2.5-4).

La elaboración defectuosa del concreto asfáltico durante la construcción del pavimento, la utilización de agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, y efectos circunstanciales como derrame de combustibles y lubricantes, son las principales causas de una pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

Cuando la erosión se encuentra en etapa inicial, los trabajos correctivos podrán consistir en un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal). Como trabajo de urgencia con carácter provisional se han utilizado los "riegos de taponamiento" consistentes en la aplicación de emulsión asfáltica rebajada con agua entre un 50 % y un 70%. La dosificación podrá variar entre 0.2 y 0.6 ℓ/m^2 y podrá aplicarse en dos riegos. Deberá tenerse especial cuidado de que no quede una superficie muy lisa ya que puede disminuirse peligrosamente el coeficiente de fricción. Se recomienda que por ningún motivo se den riegos de sello (riego asfáltico cubierto con material pétreo) a la superficie de pavimentos aeronáuticos, pues el material pétreo queda suelto en la superficie, puede ser absorbido por las turbinas de los aviones de turbo reacción y dañarlas seriamente, y aún las hélices de los aviones de pistón o turbohélice; asimismo, puede golpear con relativa fuerza contra el fuselaje e introducirse en los huecos de las ruedas del tren de aterrizaje.

Cuando se presente un derrame de combustible, o de algún otro disolvente de asfalto, principalmente en las áreas cercanas al reabastecimiento de combustibles, el mantenimiento preventivo con-

sistirá en reducir al máximo sus efectos, lavando inmediatamente toda el área afectada, de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente. De no realizar esta sencilla operación, los combustibles y lubricantes, por ser líquidos altamente disolventes, destruirán el aglutinante asfáltico provocando la inmediata disgregación de la parte afectada. Como mantenimiento preventivo puede aplicarse sobre la superficie del concreto asfáltico algún producto especial que forme una película protectora contra la acción de los combustibles y lubricantes. Generalmente estos productos son de patente y son elaborados a base de breas de hulla o de alquitrán o a base de resinas sintéticas. La protección que proporcionan estos productos no es permanente, sobre todo en las áreas más expuestas al derrame de combustibles por lo que es necesario repetir periódicamente su aplicación.

Cuando la erosión se presenta en una etapa muy avanzada, el tratamiento correctivo será similar al de un bache (ver inciso 2.3.3).

2.2.2 Disgregación o desmoronamiento

Esta es una falla de desintegración progresiva, consistente en la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta (ver fig 2.5-5). Las causas que pueden originar esta falla son: insuficiente compactación durante la construcción, colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío, utilización de agregados sucios o desintegrables, falta de asfalto en la mezcla, y/o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

Cuando la falla se encuentran en sus inicios, podrá efectuarse un mantenimiento preventivo consistente en un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal) como se indica en el inciso 2.3.2. Si la falla se encuentra muy avanzada, y la superficie es muy extensa, podrá llegarse a requerir un reencarpetado, previa renovación de las depresiones (ver inciso 2.2.9).

2.2.3 Agujeros

Los agujeros son fallas de desintegración muy localizadas que presentan la configuración de una cazoleta de dimensión va-

riable (ver figs 2.5-6 y 2.5-7). La causa de la falla es la poca resistencia de la carpeta en la zona, resultante de una falta de asfalto en la mezcla, de una falta de espesor de la capa superficial de la carpeta, de un exceso o de una carencia de finos en la mezcla, y/o de un drenaje deficiente.

Una reparación temporal consistirá en limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica compactando debidamente. Sin embargo, para efectuar la reparación permanente de un agujero, será necesario efectuar cortes de tal manera de formar un rectángulo con sus paredes sensiblemente verticales, impregnar las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica compactando debidamente (ver inciso 2.3.3). El parche terminado deberá tener el mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

2.2.4 Sangrado o afloramiento de asfalto

El sangrado o afloramiento de asfalto, que generalmente ocurre durante épocas de calor, consiste en la aparición del asfalto sobre la superficie del pavimento, formando una película extremadamente lisa, la cual bajo condiciones de lluvia presenta serios problemas al reducirse el coeficiente de fricción (ver figs 2.5-8 y 2.5-9).

Las causas de esta falla pueden ser: un exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, una inadecuada construcción del sello (no aplicable a pavimentos aeronáuticos), un riego de liga o de impregnación excesivos, o bien solventes que acarrear el asfalto a la superficie. Adicionalmente, el paso de las cargas del tráfico pesado pueden ocasionar compresiones en un pavimento con exceso de asfalto, forzándolo a que aflore a la superficie.

El procedimiento para corregir este tipo de fallas será el de remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y efectuar un tratamiento superficial. En virtud de que los riegos de sello tipo carretera son peligrosos ya que pueden dañar las turbinas de los aviones por la ingestión del material pétreo, los tratamientos superficiales deben aplicarse con mortero asfáltico (Slurry Seal) como se indica en el inciso 2.3.2.

2.2.5 Oxidación del asfalto

Esta falla presenta la característica de un excesivo intemperismo del asfalto (ver figs 2.5-10 y 2.5-11), ya sea por agentes meteorológicos, por el efecto del escape de los motores de turbina a altas velocidades y temperaturas o por agua atrapada en las capas inferiores del pavimento. La oxidación del asfalto ocasiona una falta de adherencia del producto asfáltico. Normalmente esta falla se puede corregir mediante un tratamiento superficial del área afectada a fin de proteger la estructura del concreto asfáltico en la zona interesada. Si la humedad proviene de las capas inferiores del pavimento, es necesario corregir previamente el subdrenaje.

Otra alternativa para corregir esta falla, es utilizando un producto que devuelva al asfalto sus propiedades originales. El procedimiento consiste en regar la superficie oxidada con un producto patentado denominado "Reclamite" o algún otro similar. Se han obtenido resultados aceptables utilizando aceites lubricantes en sustitución del Reclamite. En el inciso 2.3.4 se incluyen más detalles.

2.2.6 Corrimientos de la carpeta

Esta falla presenta generalmente un agrietamiento en forma de media luna (ver figs 2.5-12 y 2.5-13); es provocada por una falta de adherencia entre la carpeta o capa superficial y la base o capa subyacente. La falta de adherencia puede ser debida a impurezas, tales como polvo, aceite, caucho, agua u otro material no adhesivo, situadas entre las dos capas; también puede ser debida a falta o exceso del riego de liga durante la construcción del pavimento, o a un exceso del contenido de arena en la mezcla, o a una inadecuada compactación durante la construcción, o bien a la falta de anclaje mecánico (piquete de amarre).

Los trabajos correctivos consistirán en remover la carpeta afectada incluyendo al menos unos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado. Los cortes deberán

ser rectangulares y sus paredes verticales. En seguida se pica la superficie descubierta y se limpia con cepillo y aire a presión; se aplica un riego de liga ligero y se coloca la mezcla asfáltica en cantidad adecuada para que tenga el mismo nivel una vez compactada; luego se extiende la mezcla con cuidado para evitar segregación, y se compacta debidamente, utilizando el equipo de compactación adecuado.

2.2.7 Corrimientos circulares

Esta falla se presenta generalmente en forma de una o varias grietas semicirculares (ver figs 2.5-14 a 2.5-16); es debida a los esfuerzos en el pavimento provocados por los aviones al realizar giros muy cerrados en la pista o plataformas. Se puede presentar en aeropuertos en donde el ancho de la pista es insuficiente para realizar un viraje normal por lo que el piloto hace girar el avión sobre una de las piernas del tren de aterrizaje. También suele presentarse en pavimentos de poca capacidad para resistir los esfuerzos de tensión provocados por los giros de los aviones.

Los trabajos correctivos consistirán en el sellado de la grieta si ésta no es muy profunda, o bien, en abrir caja y reponer el material, si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento. Para el sellado de grietas se procede como sigue: se limpia la grieta con cepillo y aire a presión y se rellena con un producto asfáltico, solo o con arena, según la fluidez que se requiera para una adecuada penetración (ver inciso 2.3.1); luego se espolvorea arena fina sobre la superficie del relleno para evitar que éste se pegue a las llantas de los aviones, y en seguida se remueve toda la arena suelta con cepillo y aire a presión, antes de poner el tramo reparado en servicio.

Cuando se requiera abrir caja, ésta debe tener al menos el ancho mínimo necesario para trabajar y se debe excavar en la profundidad que haya afectado la falla. Luego se rellena la excavación en capa compactando adecuadamente, según se indica en el inciso 2.3.3.

2.2.8 Corrugaciones

Las corrugaciones son una forma de movimiento o desplazamiento plástico de la carpeta asfáltica. Esta falla se presenta en forma de ondulaciones o bien en forma de depresiones y montículos de pequeño diámetro (ver figs 2.5-17 y 2.5-18).

Las causas de esta falla son las cargas del tráfico que actúan sobre un concreto asfáltico de poca estabilidad. Esta falta de estabilidad puede ser debida a un exceso de asfalto en la mezcla, a un exceso de agregados finos, a agregados pétreos demasiado redondeados o lisos, o a un cemento asfáltico demasiado blando. También puede deberse a una humedad excesiva, a contaminación por derrame de aceites o bien a una falta de aireación, al colocar la mezcla asfáltica, cuando se utilizan asfaltos rebajados o emulsificados (mezclas no recomendables para pavimentos aeronáuticos).

Si las corrugaciones llegan a ser excesivas en sus desniveles, los trabajos correctivos adecuados consistirán en remover la zona afectada colocando en su lugar un concreto asfáltico bien proporcionado. Si las corrugaciones son ligeras, los trabajos correctivos podrán consistir en recortar las irregularidades sobresalientes por algún método adecuado (véase inciso 2.2.19) y aplicar a la superficie así obtenida un mortero asfáltico (Slurry Seal) (ver inciso 2.3.2). Cuando existen corrugaciones en el pavimento y existe subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido, lo que puede requerir la completa remoción del pavimento (ver cláusula 2.3).

2.2.9 Hundimientos o depresiones

Esta falla se presenta en forma de áreas bajas de dimensiones variables (hundimientos diferenciales) y pueden o no estar acompañadas de grietas. En época de lluvias se acumula el agua en estas depresiones formando charcos, los cuales pueden constituir un peligro para las operaciones de los aviones ante la posibilidad de que se produzca el fenómeno de acuaplaneo (hidroplaneo). Por otra parte los charcos presentes en las pistas ponen en peligro las partes integrantes

del avión, cuando éstas reciben el impacto del agua al ser levantada por el tren de aterrizaje a las altas velocidades de operación; asimismo, los charcos pueden incrementar peligrosamente las distancias de despegue de los aviones. Además, el agua así acumulada acelera el proceso de deterioro del pavimento y atrae a las aves (figs 2.5-19 a 2.5-22).

Los hundimientos o depresiones pueden ser provocados por la operación de cargas superiores a las correspondientes al diseño del pavimento; también pueden ser debidos a una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento o bien a asentamientos del terreno de cimentación. En algunos suelos constituidos por arcillas con muy baja capacidad de soporte, la falla se puede presentar por flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista.

Los trabajos correctivos consistirán en lo siguiente:

- Cuando existen hundimientos debidos a la compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, se define el área por renivelar, se abre una caja perimetral de aproximadamente 5 cm de ancho y 5 cm de espesor, con objeto de evitar espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como para evitar que la mezcla se corra; se pica la superficie por renivelar y se limpia; se aplica un riego de liga de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales de Construcción de SCT; se coloca la mezcla asfáltica y se compacta desde las orillas hacia el centro (fig 2.2-1). Se recomienda dar un tratamiento superficial por medio de un mortero asfáltico (Slurry Seal) para proporcionar mayor impermeabilidad al pavimento (ver inciso 2.3.2).
- Cuando existen asentamientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, éstas deben ser reparadas previamente, lo que requerirá la completa remoción del pavimento en la zona afectada.

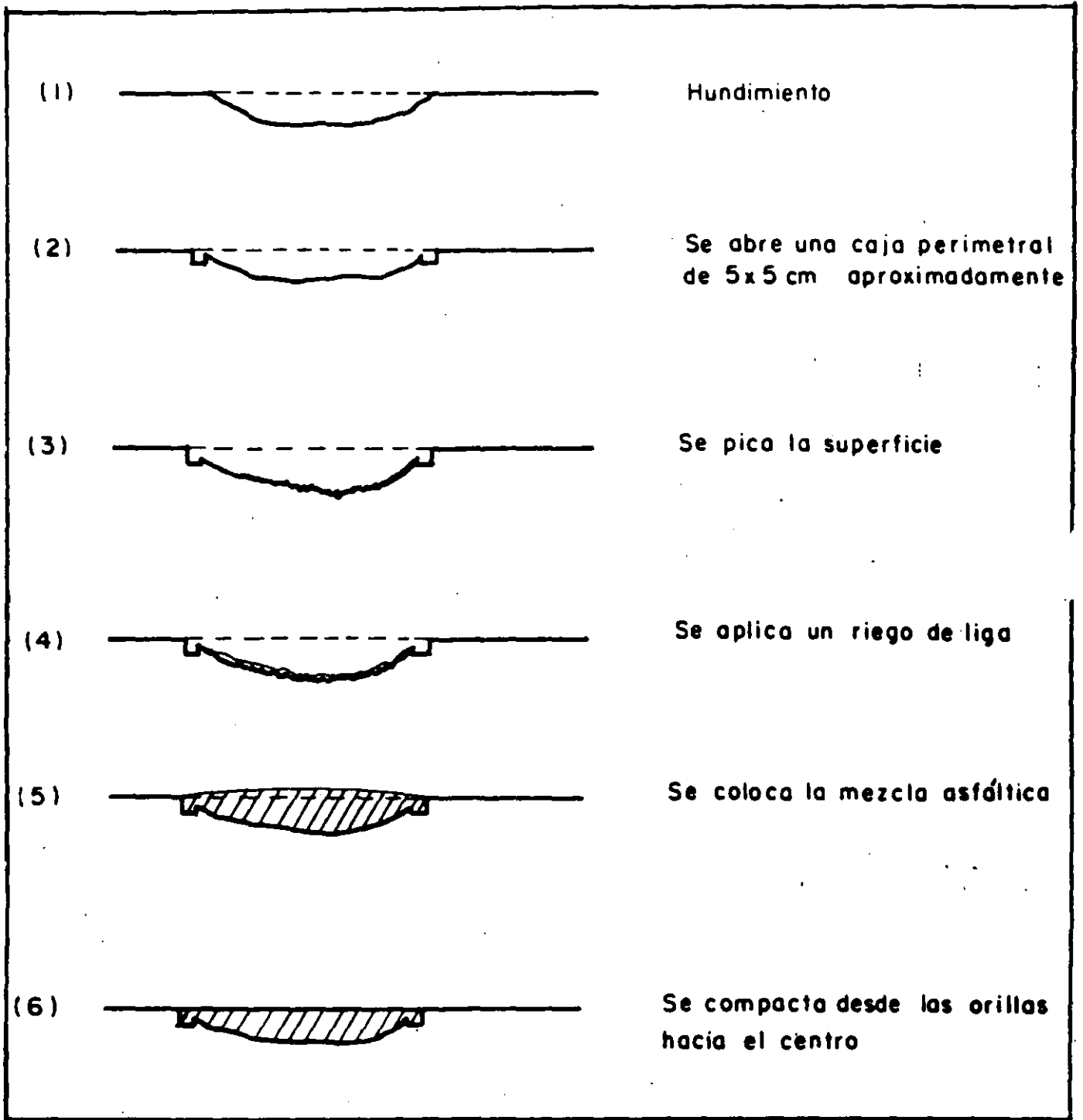


Fig. 2.2-1 Renivelación de hundimientos

- Cuando existen hundimientos acompañados de grietas, es necesario efectuar estudios para determinar la causa de la

falla y suprimirla. En general las nivelaciones no son aplicables a estos casos.

2.2.10 Canalizaciones o roderas

Esta falla está caracterizada por depresiones que forman canales; generalmente se presentan en las huellas de las ruedas, principalmente cuando el tráfico de los aviones está muy canalizado (ver figs 2.5-23 a 2.5-25).

Las canalizaciones son el resultado de la consolidación o de movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes, provocado por el tráfico. También pueden presentarse en pavimentos nuevos cuya carpeta asfáltica ha sido mal compactada o bien debido al movimiento plástico de concretos asfálticos que no tienen suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

Los trabajos correctivos consisten en efectuar una renivelación de las depresiones, como se indica en el inciso 2.2.9; en seguida se coloca una sobrecarpeta según proyecto y de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales de Construcción de SCT.

2.2.11 Grietas longitudinales de orilla y de junta

a) Grietas longitudinales de orilla (ver figs 2.5-26 y 2.5-27). Se localizan aproximadamente a medio metro de la orilla del pavimento y pueden ir o no acompañadas de grietas transversales y de grietas paralelas. La causa de esta falla puede ser una falta de soporte lateral, o bien, asentamientos del material cercano a la grieta; éstos a su vez pueden deberse a un drenaje defectuoso, a la acción de las heladas, a contracciones por secado del suelo de cimentación, o a vegetación cercana a la orilla del pavimento.

Los trabajos correctivos consistirán en reparar el drenaje, si está defectuoso; limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; y sellar las grietas según se indica en el inciso 2.3.1. Cuando la orilla del pavimento tenga asentamientos, será necesario además, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o con placa vibratoria.

b) Grietas longitudinales de junta (figs 2.5-28 a 2.5-30). Se localizan en las uniones entre la carpeta y el acotamiento o entre dos franjas de carpeta o entre un pavimento rígido y uno flexible. Las causas de estas fallas pueden ser un drenaje defectuoso en el acotamiento que origina procesos de saturado y secado del material que lo constituye; asentamientos del acotamiento; contracciones del suelo de cimentación; una liga defectuosa entre dos franjas de construcción de la carpeta; o al diferente comportamiento de los materiales cuando se trata de la unión entre un pavimento rígido y uno flexible.

Los trabajos de mantenimiento consistirán en corregir el drenaje, si está defectuoso; limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellar las grietas según se indica en el inciso 2.3.1 para evitar que penetre el agua a las capas inferiores del pavimento (fig 2.5-31).

2.2.12 Grietas transversales

Las grietas transversales (figs 2.5-32 a 2.5-34) pueden ser debidas a asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase como es el caso de los pavimentos que son cruzados por tuberías o ductos. También pueden ser debidas a movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación; en este último caso quedan incluidas entre otras, las grietas por secado de suelos arcillosos, las grietas originadas por movimientos telúricos y las grietas ocasionadas por fallas geológicas activas.

Los trabajos correctivos consistirán en limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas según se indica en el inciso 2.3.1. Cuando además existan asentamientos, la superficie afectada se pica, se limpia, se le aplica un riego de liga, se coloca la mezcla asfáltica y se compacta con rodillo o con placa vibratoria.

En el caso de que una tubería que atraviesa el pavimento no esté bien sellada y haya ocasionado arrastre de materiales, será necesario abrir caja, corregir el defecto y rellenar la excavación en capas

compactando adecuadamente, según se indica en el inciso 2.3.5.

En el caso de grietas ocasionadas por movimientos más generales del suelo de cimentación, se han utilizado geotextiles y georedes para dar capacidad al pavimento de soportar esfuerzos de tensión. El procedimiento consiste en abrir caja en la zona afectada y colocar las diferentes capas del pavimento con las georedes o geotextiles intercalados.

2.2.13 Grietas de contracción

Este tipo de grietas se presenta generalmente formando grandes polígonos entrelazados (figs 2.5-35 y 2.5-45). La causa de esta falla son los cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. Frecuentemente se deben a los cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La falta de tráfico apresura la formación de estas grietas.

Los trabajos correctivos consistirán en limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión, rellenar las grietas con producto asfáltico o con emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de un mortero asfáltico (Slurry Seal) (véanse incisos 2.3.1 y 2.3.2). Si la falla es muy intensa los trabajos correctivos podrán consistir en el reciclado de la carpeta (inciso 2.3.4), o en la colocación de una sobrecarpeta reforzada con un geotextil para evitar la reflexión de las grietas.

Otro tipo de grietas de contracción es el que se presenta en ciertos pavimentos, ocasionadas por las marcas de pintura (figs 2.5-36 y 2.5-37), ya que se provocan diferentes absorciones térmicas en las zonas pintadas con respecto a las no pintadas.

Los trabajos correctivos consistirán en raspar la pintura, sellar las grietas y aplicar un mortero asfáltico (Slurry Seal); este último sólo en el caso de que la magnitud del área afectada justifique su colocación.

2.2.14 Grietas de reflexión

Este tipo de grietas se presenta en las sobrecarpetas o capas de refuerzo de pavimentos y son un reflejo de las grietas existentes en la estructura del pavimento subyacente (figs 2.5-38 y 2.5-39), en consecuencia las grietas pueden ser longitudinales, transversales, diagonales o poligonales.

Esta falla se presenta muy frecuentemente en sobrecarpetas colocadas sobre pavimentos de concreto hidráulico o sobre bases estabilizadas con cemento; también se presenta en sobrecarpetas colocadas sobre pavimentos asfálticos cuyas grietas no fueron debidamente reparadas y por tanto se reflejan en la nueva sobrecarpeta.

Las grietas de reflexión son causadas por movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de la sobrecarpeta o por movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones; también pueden ser causados por el paso del tráfico, por movimientos de tierra y por pérdida de humedad en subrasantes con alto contenido de arcilla.

Los trabajos correctivos consistirán en el rellenado de las grietas según indica en el inciso 2.3.1.

2.2.15 Agrietamientos tipo piel de cocodrilo

Este tipo de falla se presenta en forma de grietas interconectadas dando la apariencia de una piel de cocodrilo. El espaciamiento de las grietas es de 5 a 25 cm aproximadamente (figs 2.5-40 a 2.5-43).

La falla es causada por deflexiones excesivas de la carpeta, colocada sobre una subrasante, subbase y/o base inestables o resilientes.

Generalmente esta falla se presenta en áreas limitadas; sin embargo, cuando el número de repeticiones de carga ha excedido la capacidad del pavimento, la falla puede presentarse cubriendo grandes áreas. En virtud de que la falla puede ser debida a subrasantes o bases saturadas, los trabajos correctivos, en el caso, deberán comenzar por remover el material saturado e instalar un subdrena-

je adecuado (ver inciso 2.3.6). La excavación del área afectada se rellena con material de base compactado adecuadamente en capas no mayores de 15 cm de espesor, dependiendo del equipo de compactación utilizado. A continuación se efectúa un riego de impregnación y se coloca la carpeta.

A este tipo de falla hay que darle una atención inmediata ya que es una falla progresiva que termina con la destrucción de la carpeta.

En general los trabajos correctivos para esta clase de fallas pueden consistir en reparaciones permanentes o en reparaciones temporales de emergencia.

a) Reparaciones permanentes. Consisten en remover la carpeta y lo que sea necesario de la base, subbase y subrasante, de tal manera de obtener un soporte firme. Se efectúan los cortes rectangulares o cuadrados de tal manera que dos de sus lados sean perpendiculares a la dirección del tráfico. Las paredes de la excavación deben ser verticales. La amplitud de la excavación debe incluir toda el área agrietada y al menos unos 30 cm del pavimento en buenas condiciones. Debe instalarse subdrenaje si la causa de la falla fue el agua. El siguiente paso consiste en aplicar un riego de impregnación a las paredes verticales; se rellena la excavación con mezcla asfáltica y se compacta adecuadamente utilizando rodillo metálico si el área es grande, o placa vibratoria si el área es pequeña. La compactación se debe efectuar en capas si la profundidad de la excavación es mayor de 15 cm (fig 2.2-2). El espesor de las capas estará en función de la capacidad del equipo de compactación que se emplee. Se debe asegurar que la superficie del parche coincida con la superficie del pavimento adyacente. La última capa de mezcla asfáltica que se tienda deberá tener un espesor mínimo de 7 centímetros.

Cuando se desee efectuar el relleno con material de base y sólo la carpeta de rodamiento con mezcla asfáltica, se podrá proceder como se indica en el inciso 2.3.3.

b) Reparaciones temporales de emergencia. Podrán consistir en la aplicación de un mortero asfáltico (Slurry Seal) (ver inciso 2.3.2) que se utiliza cuando en el área afectada no existen hundimientos; en caso de que éstos existan, las grietas se deberán rellenar como se indica en el inciso 2.3.1 y posteriormente se deberá proceder al nivelado del hundimiento como se indica en el inciso 2.2.9. Cabe insistir que este último tipo de reparaciones es de carácter temporal y se recomienda su aplicación sólo como un procedimiento de emergencia, mientras se da tiempo para preparar su reparación adecuada.

2.2.16 Agrietamientos tipo mapa

Este tipo de falla se presenta en gran escala en forma de grietas interconectadas que forman polígonos que varían en tamaño desde unos 30 cm hasta más de un metro (figs 2.5-44 y 2.5-45).

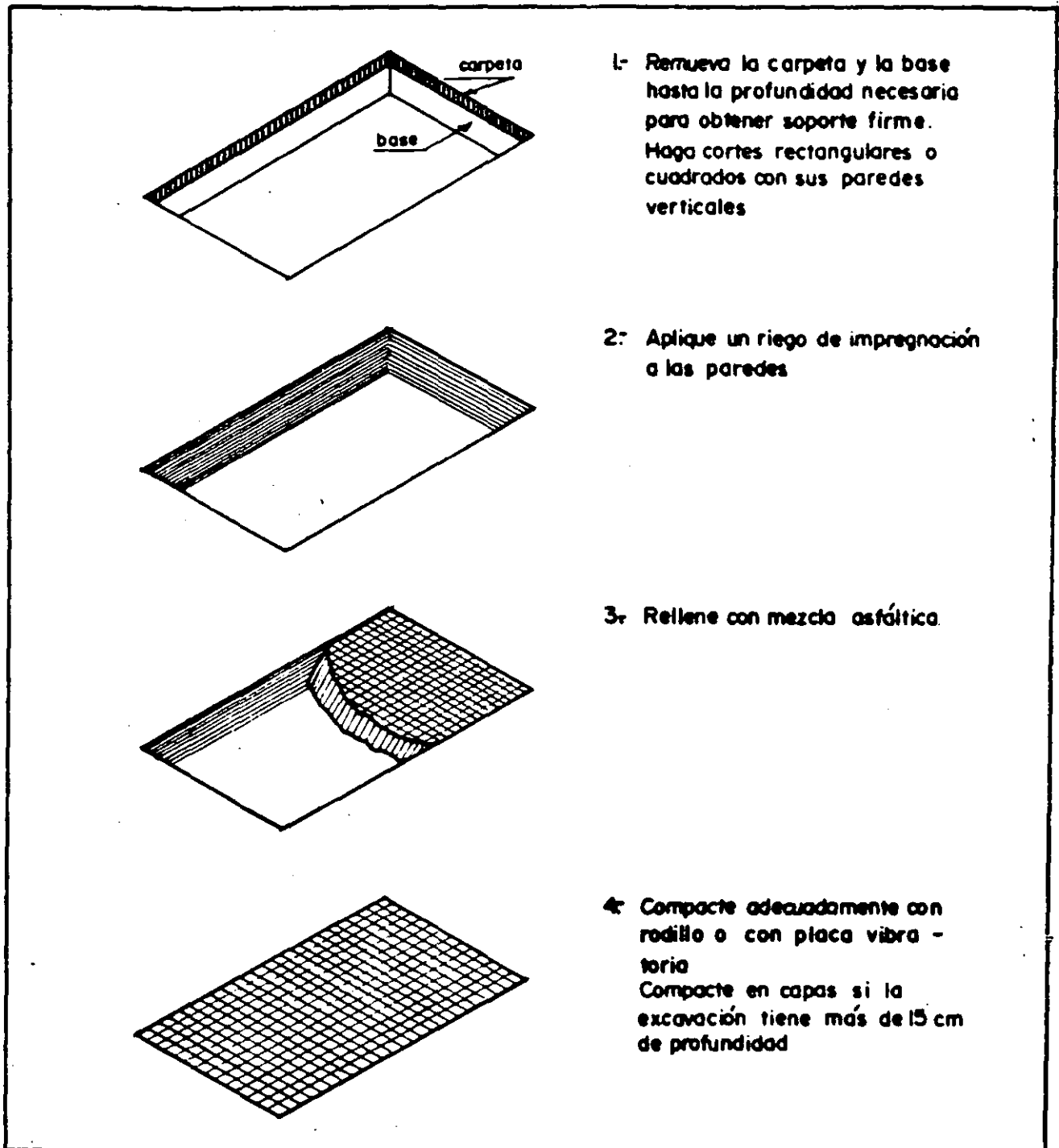
La causa de la falla puede ser similar a la indicada en el inciso 2.2.15 de este capítulo, pero la capa problema está mucho más profunda, probablemente en la subrasante.

Los trabajos correctivos serán similares a los indicados en el inciso 2.2.15 arriba mencionado para los agrietamientos tipo piel de cocodrilo.

2.2.17 Crecimiento de hierba y afloramiento de agua

En algunos pavimentos y bajo ciertas condiciones, se pueden presentar dos fallas muy particulares: el crecimiento de hierba dentro o a través de la carpeta (figs 2.5-46 y 2.5-47) y el afloramiento de agua a través de la carpeta (figs 2.5-48 a 2.5-52).

En el primer caso la carpeta puede tener una textura demasiado abierta y/o la presencia de grietas que permiten la acumulación de humedad y tierra en oquedades interiores propiciando el crecimiento de hierba, cuyas raíces pueden provocar la desintegración de la carpeta y la disminución de la capacidad estructural de las capas inferiores. En el segundo caso se puede presentar la situación de que la



1- Remueva la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener soporte firme. Haga cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales

2- Aplique un riego de impregnación a las paredes

3- Rellene con mezcla asfáltica

4- Compacte adecuadamente con rodillo o con placa vibratoria
Compacte en capas si la excavación tiene más de 15 cm de profundidad

Fig. 2.2-2 Reparación de agrietamientos tipo piel de cocodrilo

capa base esté saturada y que al tener una carpeta de textura abierta o con grietas, el agua aflore al paso de las cargas; también se puede presentar la circunstancia de que la carpeta, durante su proceso de construcción, haya atrapado agua, la cual no tendrá una salida fácil debido a la impermeabilidad de la propia carpeta; en ambos casos la presencia de humedad dentro de la carpeta impedirá una adecuada adherencia del asfalto con el agregado pétreo pudiendo incluso actuar como lubricante entre los componentes de la carpeta y consecuentemente provocar su disgregación. En la primera falla anotada en este inciso, la textura superficial puede corregirse mediante la aplicación de un riego de mortero asfáltico, en las áreas afectadas, limpiando previamente el material de carpeta que va a corregirse; en el caso de la presencia de grietas, éstas se tratan como se indica en el inciso 2.3.1. En el segundo caso será necesario hacer un estudio de las condiciones en que está trabajando el drenaje y el subdrenaje ya que los canales y subdrenes obstruidos pueden provocar acumulación de agua que afecte la cimentación de la pista. En el caso de que no existan subdrenes será necesario construirlos para evacuar el agua atrapada dentro del pavimento, como se indica en el inciso 2.3.6; el siguiente paso será analizar si la carpeta y la cimentación de la pista continúan en condiciones adecuadas.

Si el pavimento está dañado en alguna de sus partes, será necesario reponerlo con material adecuado.

2.2.18 Acumulación de caucho en la superficie

La acumulación de caucho en las zonas de toma de contacto de las pistas, es el resultado de las operaciones de aterrizaje de los aviones; aunque esta situación no corresponde a una falla del pavimento, requiere de una labor de conservación. Los trabajos de conservación para afrontar este problema están indicados en el inciso 1.2.12 del capítulo 1.

2.2.19 Irregularidades de la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones

Cuando la superficie de los pavimentos de una pista no es muy uniforme, se provocan vibraciones en los aviones durante su carrera de despegue o aterrizaje, pudiendo ocasionar sobreesfuerzos en la estructura del avión y en el pavimento, alteraciones en las lecturas de los instrumentos a bordo e incomodidad para los pasajeros.

Los estudios necesarios para detectar la situación arriba descrita y los trabajos correctivos están indicados en el inciso 1.2.13 del capítulo 1.

2.3 RECOMENDACIONES GENERALES

La detección oportuna de una falla y su rápida reparación cuando apenas se inicia, es sin duda la labor más importante del personal de conservación. Las grietas y otras fallas de la superficie, pueden evolucionar en defectos de mucha consideración si no se reparan oportunamente. Es por tanto de suma importancia que se efectúen inspecciones periódicas del pavimento, por personal calificado, para que el presupuesto destinado al mantenimiento tenga un rendimiento óptimo. La inspección no debe hacerse sobre un vehículo en movimiento, pues de esta manera no se pueden detectar las fallas en sus inicios; lo mejor es caminar sobre el pavimento para poder efectuar una inspección detallada. Para hacer las inspecciones del pavimento en el área de maniobras de un aeropuerto, deberán seguirse las normas de seguridad aeronáuticas indicadas en la Introducción. El personal de la torre de control deberá estar enterado y se debe tener la autorización de la comandancia del aeropuerto. El inspector deberá ser seguido por un vehículo abanderado y con faro giratorio. Es necesario que además se cuente con un radio transmisor para estar en contacto con la torre de control. La persona que acompaña al inspector, en el vehículo, deberá estar visualmente alerta para prevenir al inspector de cualquier aeronave que se aproxime.

Para proceder a los trabajos correctivos se deberán seguir igualmente las normas de seguridad aeronáuticas.

Las reparaciones en las áreas de maniobras deberán efectuarse en los lapsos de tiempo en que el tráfico aéreo en el aeropuerto sea nulo, cuando el pavimento a reparar sea el de una pista única; o en los periodos de tráfico mínimo, cuando el pavimento a reparar sea el de un rodaje, de una plataforma o de una pista auxiliar, y que el tráfico de los aviones pueda ser canalizado hacia otro elemento del aeropuerto. En muchos casos será pues necesario efectuar los trabajos correctivos durante la noche y habrá que proveer un buen equipo de iluminación para su correcta realización.

Al efectuar la inspección de las fallas de un pavimento, es de suma importancia determinar la causa de cada falla, para establecer, con base en dicho conocimiento, el procedimiento correctivo más adecuado. La reparación de las fallas deberá hacerse lo antes posible, una vez que se han detectado, sobre todo si representan un peligro para la seguridad de las operaciones aeronáuticas.

Puede darse el caso de que las condiciones del clima obliguen a efectuar reparaciones temporales para prevenir mayores daños, hasta que se pueda hacer una reparación más permanente. Por ejemplo, el relleno de grietas es más exitoso efectuarlo durante el tiempo frío y seco; las reparaciones de agujeros en el pavimento tienen mayor adherencia cuando el pavimento está tibio y seco; los tratamientos superficiales requieren clima templado y seco para obtener los mejores resultados. Por tanto, la selección oportuna y adecuada del tiempo para efectuar las reparaciones influirá en forma importante en los resultados. Cuando se presenten fallas durante el periodo de fríos o de lluvias, deberán ser reparadas sobre una base temporal y oportuna, para evitar que la falla progrese, hasta que las condiciones del clima permitan una reparación adecuada. Cabe hacer notar que las emulsiones asfálticas pueden ser utilizadas con ventaja cuando hay humedad; sin embargo, no deben ser utilizadas cuando existen temperaturas muy bajas (abajo de 5°C).

Las renivelaciones y los parches se deberán hacer preferiblemente cuando el clima sea templado (arriba de 10°C) y seco,

ya que cuando una mezcla asfáltica (caliente o templada) se coloca sobre un pavimento frío, puede hacer que la mezcla se enfríe, dificultando su compactación. El efecto de enfriamiento se incrementa si la mezcla se coloca en capas delgada. Por otro lado, el asfalto y las mezclas asfálticas no ligan bien sobre superficies húmedas. Las mezclas que contienen asfaltos rebajados son lentas en curar cuando la humedad ambiente es elevada, debido a que el vapor de agua que contiene el aire no facilita la evaporación del solvente. Las bajas temperaturas también retardan la evaporación del solvente.

Los riegos de sello, no aplicables a pavimentos aeronáuticos, y otros tratamientos superficiales, pueden ser afectados por la humedad durante las primeras horas después de su colocación. La lluvia y/o el tráfico durante este período crítico pueden hacer que se presenten desprendimientos del agregado.

Cuando a un pavimento se le han estado efectuando reparaciones pequeñas y éstas se vuelven tan numerosas que resulta antieconómico su mantenimiento, o bien, se han vuelto peligrosas para su operación, es necesario hacer un reafinamiento de la superficie. Dicho reafinamiento puede calificarse como un tratamiento preservativo, un tratamiento correctivo o un mejoramiento.

- a) Los tratamientos preservativos quedan prácticamente dentro de la categoría de la conservación preventiva y se requiere efectuarlos periódicamente para sellar o revivir las superficies agrietadas o desgastadas por el tiempo; consisten normalmente en riegos de sello o tratamientos superficiales con mortero asfáltico (Slurry Seal).
- b) Los tratamientos correctivos, o conservación correctiva, son requeridos cuando existen superficies ásperas e irregulares y pueden consistir en la aplicación de una o más sobrecarpetas. Antes de proceder a la colocación de una capa sobre un pavimento existente, es necesario corregir los defectos existentes en su superficie, pues de lo contrario se reflejarán en la nueva superficie; asimismo, se requiere corregir previamente el subdrenaje,

si está defectuoso, y corregir los defectos de las capas inferiores, porque de lo contrario afectarían rápidamente a la sobrecarpeta. Para obtener resultados satisfactorios se requiere reparar todos los baches y las áreas con severo desmoronamiento, sellar los parches para evitar la filtración del producto asfáltico, sellar todas las grietas con ancho mayor de 3 mm, remover el exceso de producto asfáltico, manchas o grasa y limpiar la superficie dejándola libre de basura y material suelto.

Cuando un pavimento existente se le va a colocar una sobrecarpeta para incrementar su vida útil y/o su capacidad estructural, es muy importante que previamente se le someta a un bacheo adecuado dejando su superficie uniforme para recibir la sobrecarpeta. La fig 2.3-1(a) muestra el procedimiento incorrecto que se traducirá en una superficie terminada con irregularidades. La fig 2.3-1(b) muestra el procedimiento correcto.

Un tratamiento alternativo, previo a la colocación de una sobrecarpeta sobre una carpeta muy agrietada o sobre un pavimento rígido, consiste en la utilización de un sistema de membrana protectora (geotextil) para retardar las grietas de reflexión, proteger a la subrasante del agua superficial y aumentar la vida del pavimento por efectos de fatiga. Ejemplo de este tipo de membranas lo constituye la llamada "Petromat" que consiste en un geotextil de fibras de polipropileno no tejidas. La superficie sobre la cual se colocará el geotextil debe estar libre de polvo, agua y vegetación; las grietas deben ser selladas y los baches reparados. En algunos casos podrá requerirse una capa de renivelación antes de colocar la membrana. Después de que la superficie a tratar ha sido preparada, se le aplica un riego de liga y a continuación la membrana geotextil y por último la sobrecarpeta (fig 2.3-2). Es muy importante que el riego de liga no sea ni muy pobre, ya que el geotextil no se adhiere, ni en exceso, ya que se forma una superficie de deslizamiento. Debido a que estas membranas son de marcas registradas, este

procedimiento en algunos casos puede resultar tan o más costoso que otros procedimientos, por lo que es necesario efectuar previamente un estudio técnico-económico.

- c) Los mejoramientos se justifican generalmente cuando la superficie existente es inadecuada o cuando se prevé que pronto se volverá inadecuada. Las superficies muy resacas, cuarteadas o desintegradas, pueden ser salvadas escarificando totalmente la superficie, disgregando el material con escarificaciones de discos, agregando producto asfáltico, mezclando y compactando. Un procedimiento alternativo es el llamado de "reciclado" cuyo procedimiento se indica en el inciso 2.3.4 de esta cláusula. La aplicación de una capa sellante y de protección, mejorará la durabilidad del pavimento.

Una recomendación de tipo constructivo es la indicada en la fig 2.3-3 en la que se ilustra la conveniencia de efectuar el rodillado inicial o armado de la carpeta con la rueda motriz hacia adelante en el sentido de la compactación. Si el armado o acomodo inicial de la carpeta se efectúa con la rueda libre al frente, la fuerza del empuje y el peso forman una resultante provocando que el material se vaya acumulando frente a la rueda como se muestra en la fig 2.3-3(a). El procedimiento correcto se muestra en la fig 2.3-3(b). El peso mayor de la rueda motriz efectúa la compactación mientras la fuerza de giro virtualmente empuja el material bajo la rueda.

Cuando se requieren varias capas de carpeta asfáltica para renivelar hundimientos o depresiones, dichas capas deberán colocarse en espesores no mayores de 7 cm después de compactados, de tal manera que sus pendientes longitudinales y transversales sean paralelas a la rasante de proyecto (fig 2.3-4). Se recomienda que la última capa de renivelación que servirá como superficie de rodamiento, tenga un espesor mínimo de 7 cm después de compactados. Respecto al tamaño máximo de los agregados, éstos se deberán sujetar a lo indicado en las Especificaciones Generales de Construcción de SCT.

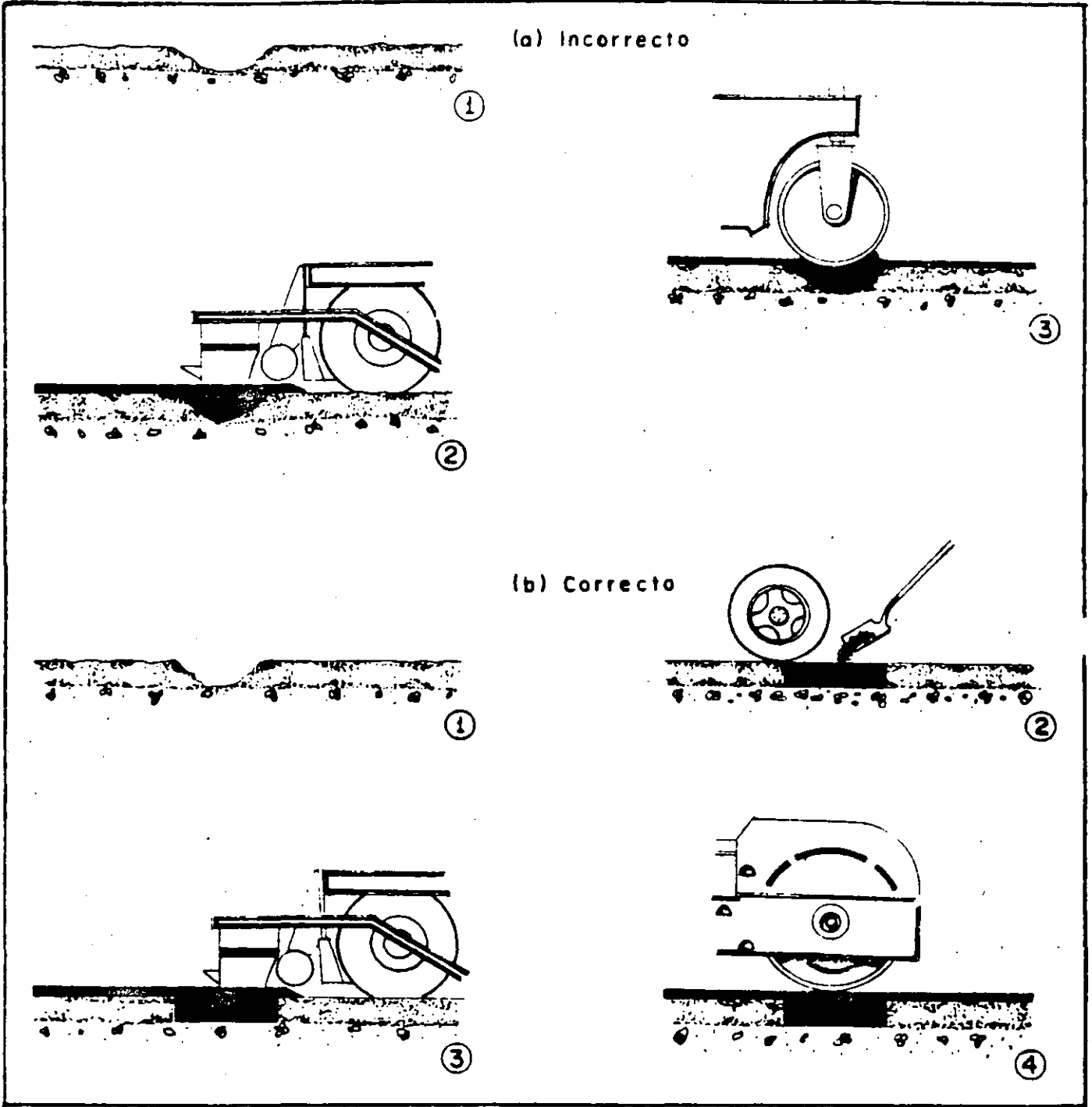


Fig. 2.3-1 Los baches deben ser rellenados convenientemente antes del tendido de la sobrecarpeta

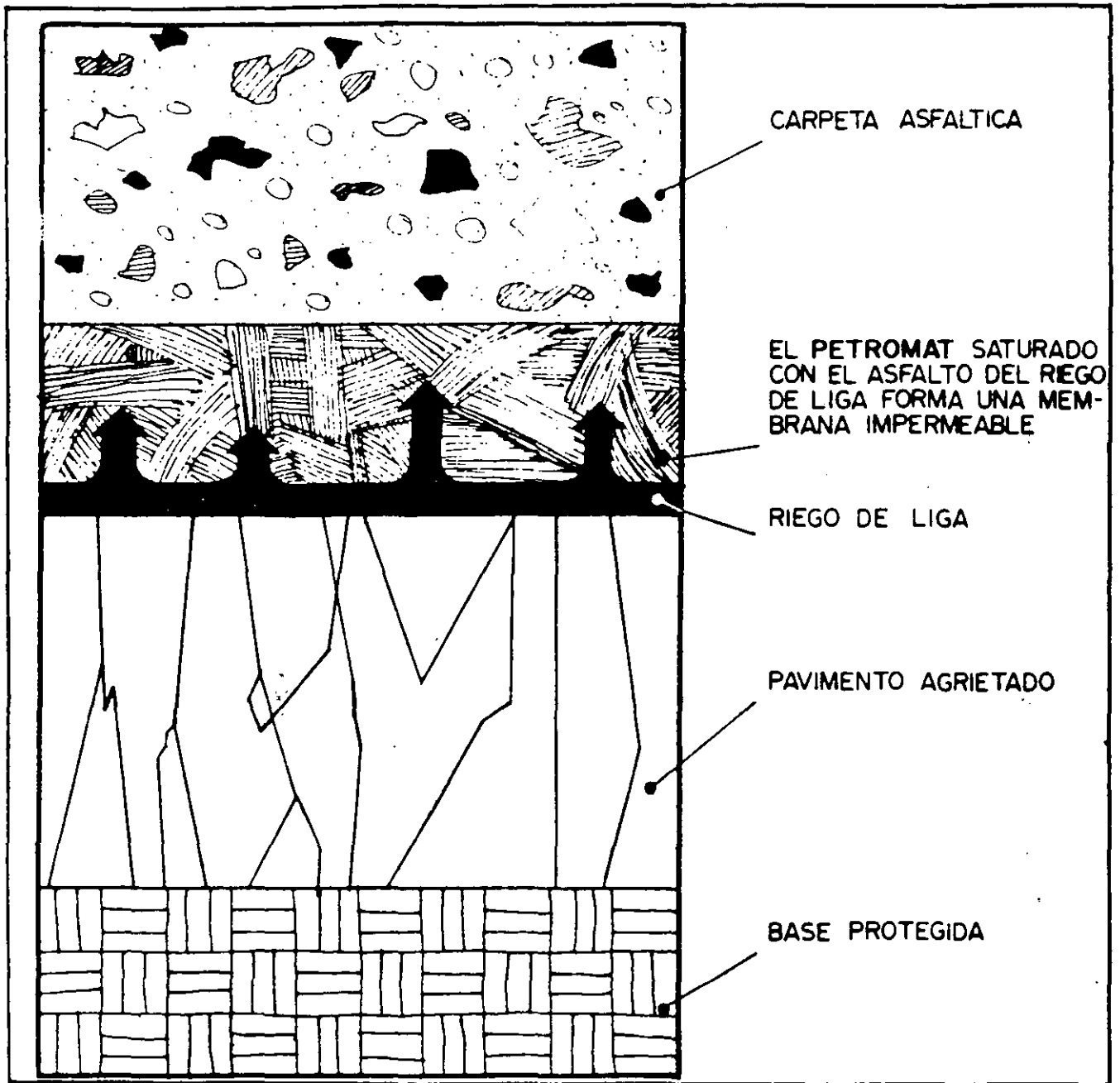


Fig. 2.3-2 Sistema Petromat de membrana protectora de pavimentos flexibles

En la tabla 2.3-1 se presentan las posibles causas de imperfecciones en los acabados de pavimentos que pueden encontrarse en el tendido de las mezclas de concreto asfáltico en caliente, mientras

que en la tabla 2.3-2 se indican las posibles causas de deficiencias que pueden encontrarse en la producción de mezclas en plantas de concretos asfálticos.

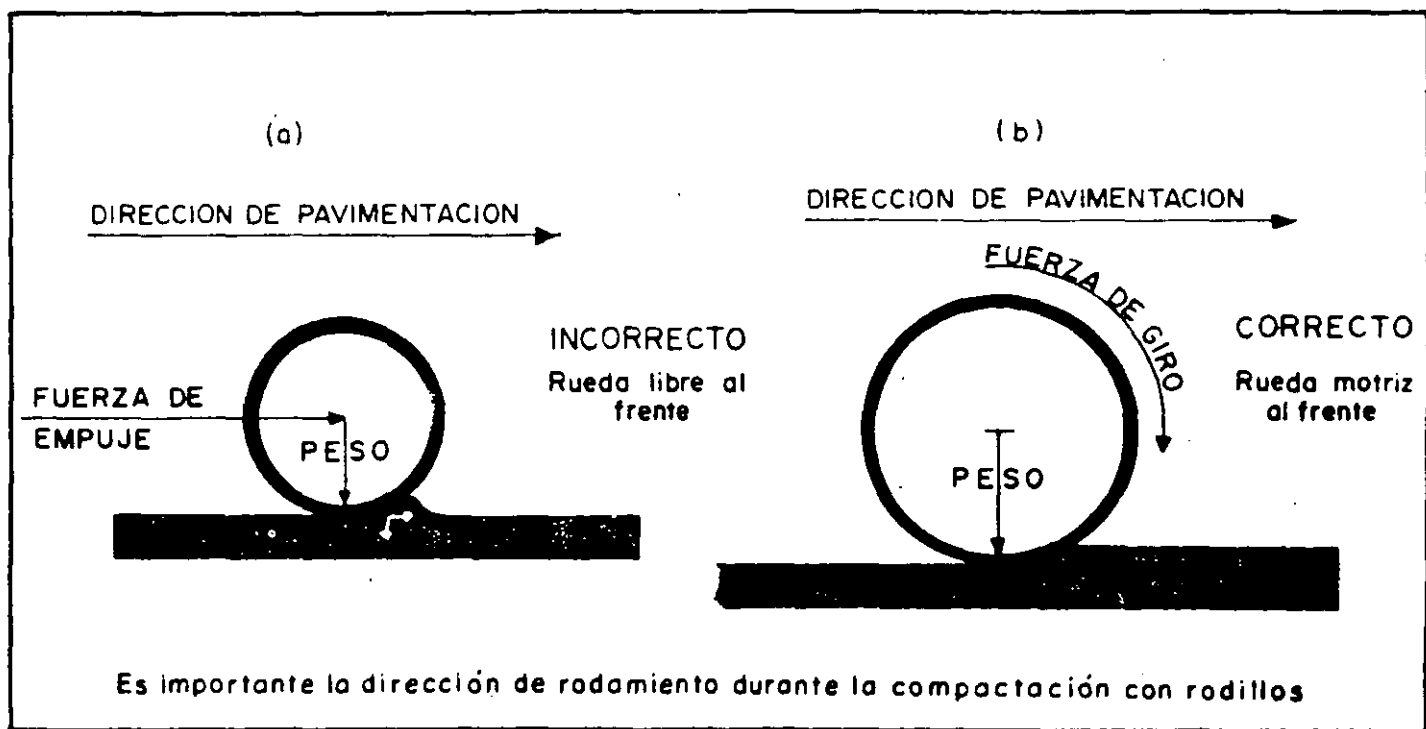


Fig. 2.3-3 Compactación con rodillo

2.3.1 Relleno de grietas

Para obtener una conservación efectiva de los pavimentos de un aeropuerto, es muy importante que la subbase, la base y la subrasante se mantengan lo más seco que sea posible. Las grietas abiertas dejan pasar el agua a dichas capas reduciéndose su capacidad de carga. Por tanto uno de los objetivos primordiales del mantenimiento de los pavimentos es conservar su superficie adecuadamente, debiendo mantener selladas las grietas todo el tiempo.

a) Materiales de relleno. Se recomiendan, para usos generales de sellado de grietas, los asfaltos rebajados de viscosidad media tales como el FR-3 y el FM-3 o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido. A menudo se utilizan asfaltos muy pesados (alta viscosidad) aunque estos materiales no

penetran a la grieta y sólo dan un sellado superficial.

b) Para el rellenado de grietas menores de 3 mm de ancho, se utilizan productos asfálticos cuya fluidez a la temperatura de aplicación especificada garantice la penetración. Los asfaltos rebajados de fraguado rápido tales como el FR-1 son satisfactorios para estas operaciones.

c) Para el rellenado de grietas con anchos mayores de 3 mm, se utiliza una mezcla de producto asfáltico y arena fina cuya fluidez garantice una adecuada penetración, o bien, el rellenado se puede efectuar por medio de capas alternadas de arena y producto asfáltico; la última capa debe ser de producto asfáltico.

CORRECTO



INCORRECTO



Quando se requieran varias capas de carpeta asfáltica para renivelar hundimientos o depresiones, se deben colocar con su superficie paralela a la rasante de proyecto para asegurar la uniformidad de la superficie de rodamiento

Fig. 2.3-4 Renivelación a base de carpetas asfálticas

- d) Las grietas no deben ser ampliadas para obtener una mejor penetración del material de relleno.
- e) Cuando existen grietas profundas aisladas que lleguen hasta la subbase o terracerías, es muy importante estudiar la solución y procedimientos de reparación más adecuados. En términos generales, este procedimiento podrá consistir en abrir caja en el ancho mínimo necesario para trabajar, preferentemente hasta el fondo de la grieta

y proceder en forma semejante a la de "bacheo" descrito en el inciso 2.3.3 de esta cláusula.

- f) Cuando existen grietas abundantes pero muy ligeras, cuya profundidad afecte sólo a la carpeta, y no haya deformaciones permanentes, si su ancho es inferior a 3 mm, se pueden reparar por medio de un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico; si su ancho es superior a 3 mm su reparación podrá consistir en el "reciclado" y/o en la colocación de una sobrecarpeta.

2.3.2 Tratamientos superficiales a base de mortero asfáltico (Slurry Seal)

Al mortero asfáltico (Slurry Seal) se le puede considerar como un semifluido constituido por una mezcla homogénea de emulsión asfáltica, finos de cemento hidráulico o cal apagada, agua y agregados finos bien graduados, el cual se puede aplicar a la superficie de rodamiento de los pavimentos con el fin de darles una mayor protección.

La Asociación Internacional de Morteros Asfálticos, propone tres tipos de graduaciones básicas en los agregados,

a) Tipo I o fino. Utiliza un tamaño máximo de agregado de 3.2 mm (1/8"); la proporción del agregado en el mortero asfáltico colocado varía de 3.26 a 5.43 kg/m³ (6 a 10 lb/yd³), con una cantidad de aglutinante que varía de 10 a 16 por ciento de residuo asfáltico. Este tipo de mortero asfáltico es recomendable cuando se requiere una máxima penetración en las grietas así como obtener una buena preparación antes de colocar una sobrecarpeta de concreto asfáltico elaborado en caliente. Comúnmente se le utiliza en lugares de poco tráfico, como pueden ser pavimentos para aviones ligeros (avionetas) y áreas de estacionamiento de vehículos ligeros, donde el principal objetivo es el sellado de la superficie.

b) Tipo II o general. Utiliza un tamaño máximo de agregado de 6.4 mm (1/4"); el agregado interviene en el mortero asfáltico en pesos que varían de 5.43 a 8.14 kg/m³ (10 a 15 lb/yd³), con una cantidad de aglutinante que varía de 7.5 a 13.5 por ciento de residuo asfáltico. Este tipo de mortero asfáltico se puede utilizar como sello, para corregir problemas de oxidación, baches, falta de aglutinante, y para mejorar la resistencia al derrapamiento. Dependiendo de la calidad de los agregados y del diseño, puede ser aplicado en superficies donde el tráfico es moderado o pesado.

c) Tipo III o grueso. Utiliza un tamaño máximo de agregado de 9.5 mm (3/8"); el agregado interviene en el mortero

asfáltico en pesos que varían de 8.14 a 13.56 kg/m³ (15 a 25 lb/yd³) con una cantidad de aglutinante que varía de 6.5 a 12 por ciento de residuo asfáltico. Este tipo de mortero asfáltico se utiliza para corregir superficies de rodamiento en malas condiciones, como una primera capa de una estructura multicapa; se emplea también para mejorar la resistencia al derrapamiento, para incrementar la vida útil del pavimento y para prevenir el hidroplaneo (acuaplaneo).

En resumen, se puede decir que el objetivo principal de un mortero asfáltico es el de rejuvenecer, en cierto sentido, la superficie de un pavimento que tiene daños superficiales como pudieran ser oxidaciones, pérdida de aglutinante, desmoronamientos ligeros y agrietamientos. Uno de sus principales efectos es el mejorar la impermeabilidad y la resistencia al derrapamiento.

El procedimiento para la aplicación del mortero asfáltico sobre la superficie de un pavimento en términos generales consiste en lo siguiente:

Primeramente la superficie debe estar libre de marcas de pintura y libre de arcilla, para poder proporcionar una mejor adherencia entre el mortero asfáltico y la superficie del pavimento a tratar. En seguida se deben rellenar los agujeros existentes a base de mezcla asfáltica, dejando una superficie uniforme. Completado lo anterior se aplica el mortero asfáltico en forma líquida, por medio de un camión mezclador de tambor que lo extiende; la profundidad del mortero es regulada por una hoja o cuchilla de hule.

El periodo de secado varía dependiendo del tipo de clima en el que se trabaje. Para climas calurosos es de 20 minutos a seis horas; si son fríos, alrededor de dos días con temperaturas arriba de la de congelación del agua.

Un mortero asfáltico bien aplicado, resiste el chorro de las turbinas y el impacto producido por los aviones sobre la superficie de rodamiento debido a aterrizajes duros.

Conviene señalar que este tipo de tratamiento sirve únicamente como capa de sello o desgaste, por lo que no se le puede considerar como parte estructural del pavimento.

Las fallas más comunes que se pueden tener durante la aplicación de morteros asfálticos son las siguientes:

a) Defectos de aplicación imputable a la maquinaria:

- Desgaste anormal y excesivo de los tacones rascadores de la espiral mezcladora, que produce irregularidad de la mezcla en el tendido.
- Desgaste anormal de las propelas de neopreno de la bomba de presión constante de aditivo en los morteros catiónicos, que ocasiona irregularidades en la salida del mismo.

b) Errores comunes a todas las técnicas:

- Las gravillas que son arrastradas e introducidas a la rastra producen el rayado del tiro.
- Los baches o huellas son causa de mayor espesor en el mortero dejado localmente.
- Cuando el pavimento está sucio, bien sea por manchas de arcilla, o de estiércol de ganado. En el primer caso existe desprendimiento del mortero asfáltico con el pavimento; en el segundo caso se produce levantamiento por fermentación del estiércol a causa de la humedad aportada por el mortero, unida al calor producido por la absorción de los rayos solares por parte del asfalto.
- En la dosificación de materiales existen tres variantes que pueden provocar falta o exceso de emulsión y falta o exceso de agua de mezclado.

En el caso de falta de emulsión se aprecia, una vez curada, una insuficiencia de cohesión o falta de ligante.

En el caso de que exista un exceso

de emulsión, se observa una gran plasticidad y la lechada, una vez curada, queda con aspecto de mastique que no adquiere la dureza final deseada.

La falta de agua óptima ocasiona una mezcla pastosa presentando dificultades en el tendido; además produce un fuerte aumento en la cantidad de mortero por unidad de superficie.

Por exceso de agua se producen escurremientos superficiales del agua y de la emulsión. Al mismo tiempo, si el cierre de rastra-pavimento es bueno, se produce un aumento indeseable de líquido en ella, lo que falsea el contenido real de sólidos distribuidos y produce tendidos defectuosos; genera también un aumento en la abrasión.

- Los defectos que se presentan en los morteros asfálticos más frecuentemente, se originan en la dificultad para conseguir agregados pétreos de calidad adecuada y uniforme.

c) Defectos específicos de los morteros catiónicos y aniónicos:

- El mortero catiónico con exceso de aditivo, el cual puede estar motivado por tres causas fundamentales:

Deficiente calidad del agregado.
Exceso de temperatura ambiente.
Emulsión caliente.

En el primer caso el mortero no rompe hasta la total evaporación del agua; su adhesividad y cohesión son malas. Se adhiere con facilidad a las ruedas de los vehículos y se desgrana la superficie. En el segundo caso, produce rotura de la emulsión prematuramente debido a temperaturas más altas que la normal. En el tercer caso, además de lo mencionado en el caso anterior, produce abundante espuma que al llenar la rastra, falsea su contenido de agregados y da lugar a irregularidades en la extensión.

- Por lo que respecta a morteros aniónicos, los problemas que se pueden presentar en su trabajo, es su gran

sensibilidad hacia la relación humedad-calor. Cualquier variación del contenido de agua de mezclado produce un cambio del mortero y su fraguado.

En la tabla 2.3-3 se presentan las especificaciones para morteros asfálticos de acuerdo con la International Slurry Seal Association (ISSA), mientras que en la tabla 2.3-4 se incluyen las especificaciones españolas de morteros asfálticos.

2.3.3 Baches

El procedimiento para la reparación de un bache es el siguiente: Primero se remueve el material de la carpeta, de la base y de las capas inferiores en la zona problema hasta la profundidad necesaria para lograr un apoyo firme. El corte debe extenderse lateralmente para abarcar por lo menos 30 cm del pavimento en buenas condiciones (fig 2.3-5). Esto quiere decir que también parte del material de la subrasante pueda requerir que sea removido. Los cortes deben ser cuadrados o rectangulares con las paredes rectas y verticales, dentro de lo prácticamente posible. Dos de las paredes deben formar ángulos rectos con respecto a la dirección del tráfico. Los cortes se pueden facilitar y hacer con más precisión si se utiliza una máquina cortadora a base de discos diamantados u otro equipo similar. Si el agua ha sido la causa de la falla, será necesario instalar subdrenaje o corregir el existente.

El siguiente paso consiste en aplicar un riego de impregnación a las paredes verticales; luego se rellena la excavación con mezcla asfáltica, de preferencia elaborada en planta, en caliente. En el caso de baches profundos, y cuando se considere económico el procedimiento, se podrán construir las capas inferiores con materiales de base o subbase, según sea el caso. La superficie de la base deberá ser impregnada antes de colocar la mezcla asfáltica para formar la carpeta.

Durante la operación de calentamiento de los materiales asfálticos, es muy importante controlar la temperatura y proporcionar al producto un agitado continuo.

Para efectuar una distribución adecuada del producto asfáltico, se puede utilizar un rociador manual conservando su boca o salida a una distancia constante de la superficie a tratar, y debe dársele un movimiento uniforme. Debe evitarse la distribución del producto asfáltico por medio de botes o cubetas, excepto para el rellenado de grietas. En el caso de que no se pueda evitar el vaciado con botes, la aplicación así efectuada debe ser uniformada por medio de cepillos. El manejo de las mezclas asfálticas, para parchados manuales, debe efectuarse por medio de palas evitando el derramarlas o dejarlas caer directamente desde el transporte al lugar por parchar. La mezcla asfáltica ya colocada debe ser nivelada con la mínima cantidad de rastrillo ya que su exceso ocasiona que los materiales pequeños bajen dejando el material grueso arriba. (El rastrillo fuerte es necesario y deseable solamente en parches biselados en donde el material grueso es empujado hacia el centro con la parte trasera del rastrillo.)

El tendido y la compactación del concreto asfáltico deberá efectuarse en capas de 7 a 15 cm de espesor dependiendo del equipo de compactación de que se disponga. La compactación debe llevarse al mismo grado que la del pavimento que la rodea. La superficie terminada del parche debe quedar al mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

2.3.4 Rejuvenecimiento y reciclado de carpetas asfálticas

a) Rejuvenecimiento. Actualmente existe en el mercado un producto que hace posible revertir el proceso de envejecimiento del asfalto que contienen las carpetas. Este producto denominado "Reclamite" es una emulsión especial de aceites de petróleo y resinas, es decir, es una emulsión catiónica de maltenos, que devuelve las cualidades originales al asfalto, rejuveneciéndolo y proporcionando al concreto asfáltico flexibilidad, ductilidad y una apariencia de nuevo. Este producto se aplica fácilmente con cualquier tipo de pipa, equipada con barra esparcidora. La proporción en que se recomienda aplicar el producto "Reclamite" es de dos partes del producto por una parte de agua fría mez-

Tabla 2.3-3 Especificaciones de la International Slurry Seal Association (ISSA)

| Tipo de mortero asfáltico | I | II | III |
|--|-------------------------------------|--|---|
| Finalidad del tratamiento | Sellado de fisuras y sellados finos | Impermeabilización en general, superficies con texturas medias | Superficies con gran textura, aplicación en dos capas |
| Abertura del tamiz (mm) | Cernido | % que pasa | |
| 12.5 | | | |
| 9.5 4.75 | 100 | 100 90-100 | 100 70-90 |
| 2.36 1.18 | 90-100 65-90 | 65-90 45-70 | 45-70 28-50 |
| 0.6 0.3 | 40-60 25-42 | 30-50 18-30 | 19-34 12-25 |
| 0.15 0.075 | 15-30 10-20 | 10-21 5-15 | 7-18 5-15 |
| Ligante residual, % sobre árido | 10-16 | 7.3-13.5 | 6.5-12 |
| Dotación media de mortero (kg/m ²) | 3-5.5 | 5.5-8 | 8 o más |

Tabla 2.3-4 Especificaciones españolas de morteros asfálticos (lechadas bituminosas).
Granulometrías

| Cedazo y tamiz UNE | Cernido ponderal acumulado (% que pasa) | | | | |
|--------------------|---|-------|--------|--------|--------|
| | AL1 | AL2 | AL3 | AL4 | AL5 |
| 12.5 | 100 | | | | |
| 10 | 85-100 | 100 | 100 | | |
| 5 | 60-85 | 70-90 | 85-100 | 100 | 100 |
| 2.5 | 40-60 | 45-70 | 65-90 | 95-100 | 95-100 |
| 1.25 | 28-45 | 28-50 | 45-70 | 65-90 | 85-98 |
| 0.63 | 19-34 | 19-34 | 30-50 | 40-60 | 55-90 |
| 0.32 | 12-25 | 12-25 | 18-30 | 24-42 | 35-55 |
| 0.16 | 7-18 | 7-18 | 10-20 | 15-30 | 20-35 |
| 0.080 | 4-8 | 5-15 | 5-15 | 10-20 | 15-25 |

TIPO, COMPOSICION Y NUMERO DE APLICACIONES DE MORTERO ASFALTICO

| Características | Tipo de lechada (mortero) | | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| | LB1 | LB2 | LB3 | LB4 | LB5 |
| Tipo de árido | AL1 | AL2 | AL3 | AL4 | AL5 |
| Ligante residual, % sobre árido | 5.5-7.5 | 6.5-12.0 | 7.5-13.5 | 10.0-16.0 | 12.0-20.0 |
| Agua de amasado, % sobre árido | 8-12 | 10-15 | 10-15 | 10-20 | 10-20 |
| Agua total, % sobre árido | 10-20 | 10-20 | 10-20 | 10-30 | 15-40 |
| Dotación media de lechada (kg/m ²) | 15-25 | 10-15 | 7-12 | 2-6 | 2-5 |
| Espesor mínimo (mm) | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| Principal aplicación | 1º capa | 1º capa capa única | capa única | capa única 2º capa | capa única 2º capa |
| Textura del pavimento a recubrir | gruesa permeable | gruesa descarnada | media | finas agrietada | agrietada lisa |

cladas perfectamente. El fabricante del producto indica que incluso se puede utilizar agua de mar en la mezcla. Se recomienda no sobrepasar los siguientes proporcionamientos límite: mínimo 1 a 1 y máximo 4 a 1 de producto y agua, respectivamente. La proporción a utilizar en un caso particular, dependerá de la pendiente del pavimento y de su grado de absorción. En pavimentos nuevos se recomienda aplicar el producto ya diluido, a razón de 0.23 a 0.45 ℓ/m^2 ; si el pavimento no llega a absorber totalmente el límite mínimo de 0.23 ℓ/m^2 , no es necesaria su aplicación.

El producto es de baja viscosidad, por lo que se puede emplear a cualquier temperatura superior a los 0°C; sin embargo, la temperatura ideal de aplicación es la de un clima templado y con pavimento seco. En pavimentos viejos se recomienda aplicar el producto, ya diluido, a razón de 0.45 a 0.95 ℓ/m^2 . La necesidad de esta aplicación se hace patente cuando se observa la superficie del pavimento árida, oxidada, con desintegraciones y/o con grietas de contracción. Estos síntomas de envejecimiento pueden aparecer entre los dos y los 10 años después de su construcción.

Otro posible empleo del producto "Reclamite" es de que puede ser utilizado para sellar grietas con anchos menores de 6 mm, con las ventajas de que no necesitan ser limpiadas previamente, se devuelve flexibilidad a la carpeta, se evitan los astillamientos y no quedan parches ni lunares.

- b) Reciclado. Otro método en el rejuvenecimiento del pavimento es mediante el perfilado y reciclado de mezcla en caliente, el cual consiste en lo siguiente: Por medio de una máquina perfiladora en frío (fig 2.5-57) o en caliente se remueve el espesor de pavimento que se requiera reparar; al hacer esto, se deja una superficie uniforme. El material obtenido del perfilado es puesto directamente en camiones, los cuales lo transportan a una planta de asfalto de tambor (fig 2.5-58). En el reciclado del material se utiliza el 70 por ciento de material reciclable y el 30 por ciento de

material virgen. En algunos casos requerirá utilizarse hasta el 50 por ciento de cada uno de acuerdo a lo que indique el laboratorio. Una cantidad mínima de cemento asfáltico es adicionada a la mezcla. La cantidad exacta puede ser variada para cumplir con las necesidades de una mezcla dada, dependiendo de las condiciones y contenido de asfalto en el material recuperado y el promedio de material viejo y nuevo. El producto final puede ser un pavimento reciclado de alta calidad. Finalmente la mezcla es tendida con una pavimentadora convencional y luego compactada.

Es importante cuidar la granulometría del material así como el contenido y calidad del pétreo-asfalto recuperado.

En la fig 2.3-6 se indican las ventajas de la utilización del perfilado previo a la colocación de sobrecarpetas.

Otro proceso de reciclado para pavimentos flexibles es un procedimiento de calentamiento-escarificación-retenido (in situ).

Dicho procedimiento consiste en lo siguiente (fig 2.3-7):

1. Se barre la superficie a tratar y se caliente la parte superior de la carpeta mediante sopletes acoplados a una plataforma móvil. Los sopletes se regulan a temperatura variable, dependiendo de la profundidad a la que se requiera efectuar la escarificación, de las condiciones de envejecimiento del asfalto y de sus propiedades termoplásticas. Por consiguiente el avance de la plataforma móvil varía de 1.5 a 15 m/min. Debe evitarse calentar el asfalto, lo que se advierte al producirse espesas nubes de humo (fig 2.5-59).
2. Se procede inmediatamente a la escarificación de la superficie a una profundidad mayor de 1 cm (de preferencia 2 cm), mediante varillas y/o tornillos montados al chasis

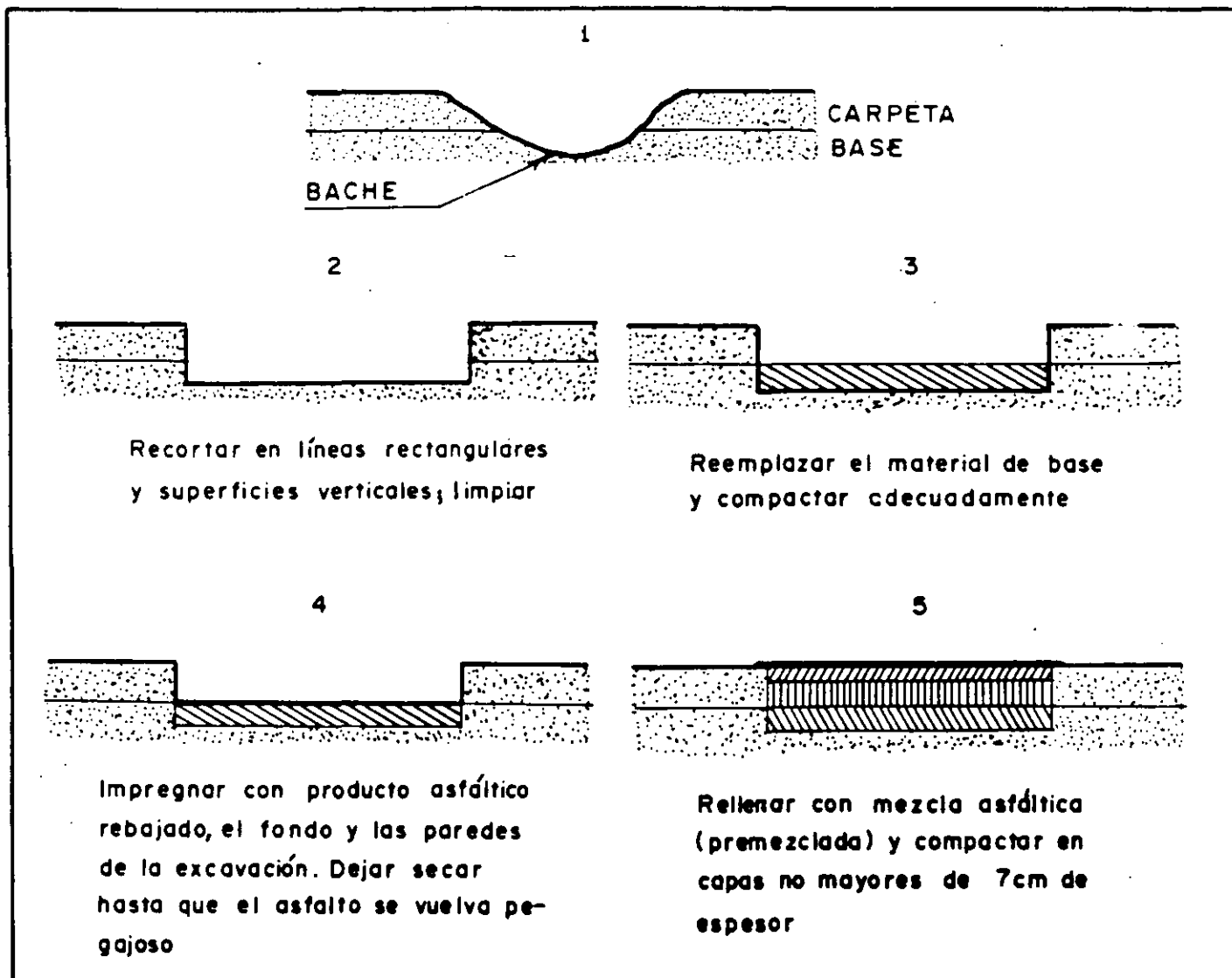
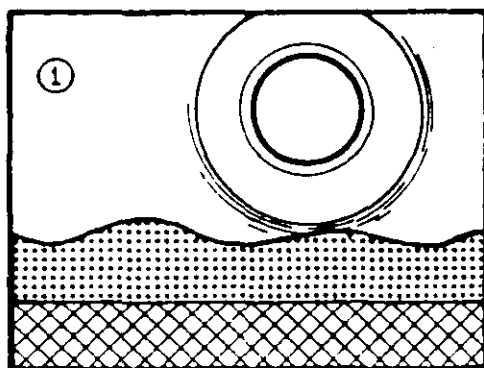


Fig. 2.3-5 Etapas en la reparación de un bache

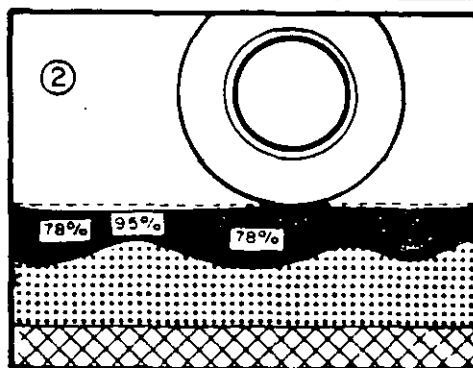
de la plataforma móvil y evitando fracturar los agregados (fig 2.5-60).

la ventaja de permitir la circulación del tránsito inmediatamente (figs 2.5-61 y 2.5-62).

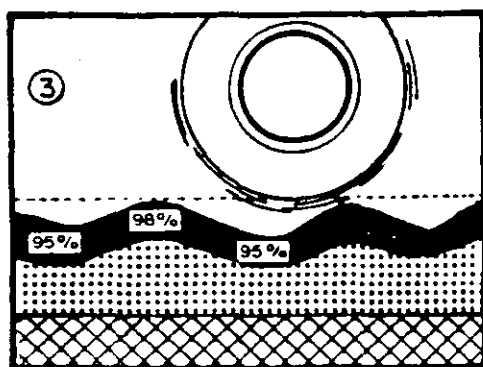
3. Se distribuye el material escarificado y se compacta con tandem de 8 a 10 toneladas. Esta fase intermedia puede suprimirse como se indica en la fig 2.3-7(b), pero sin



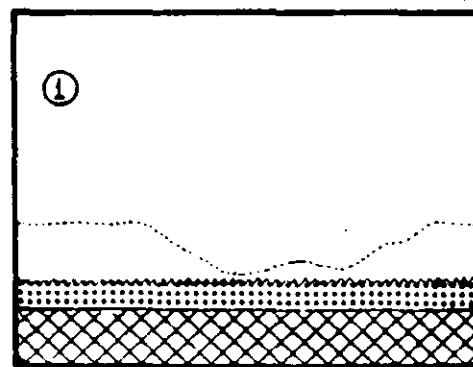
① Pavimento fatigado; su superficie irregular provoca exceso de vibraciones al transitar por él



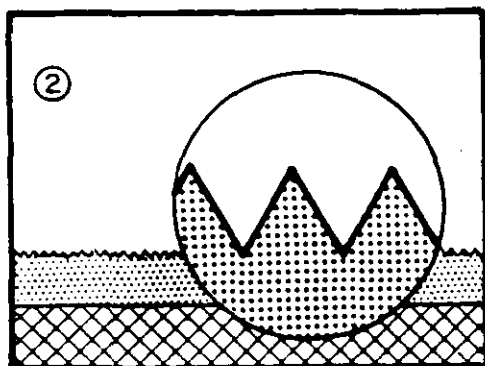
② El reencarpetao directo restablece las condiciones iniciales de rodamiento pero la compactación es variable



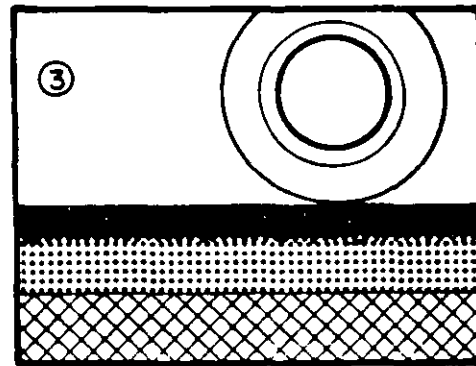
③ El tráfico compacta el nuevo material y las irregularidades vuelven a aparecer



① Utilizando una perfiladora en frío se elimina el problema



② Formando una trabazon hermética en la unión con la sobrecarpeta



③ La textura obtenida con la perfiladora en frío facilita una adherencia adecuada con la sobrecarpeta

Fig. 2.3-6 Nuevos procedimientos para el reencarpetao de pavimentos flexibles

4. Se aplica el producto "Reclamite" según se indicó anteriormente. Si fue llevado a cabo el paso 3, se puede permitir la circulación del tránsito inmediatamente después de la penetración del "Reclamite".
5. Se coloca una sobrecarpeta con el espesor, la textura y tamaño de agregados apropiados, según sea el diseño.
6. Finalmente se procede a la compactación normal con compactadores neumáticos y metálicos.

Es de gran importancia recalcar que este método no es aplicable cuando la falla del pavimento se deba a las capas subyacentes a la carpeta.

2.3.5 Zanjas e instalación de tuberías de drenaje

Para que el sistema de drenaje de un aeropuerto pueda operar adecuadamente como fue concebido en el proyecto, todas las zanjas y canales deben ser excavados con el alineamiento y pendiente de proyecto. Una vez que se ha efectuado la excavación de la zanja y se ha alcanzado la profundidad de proyecto, se recomienda instalar travesaños de referencia, que pueden ser tablas de madera; se colocan con espaciamientos de 7 a 15 m, adyacentes a las estacas exteriores; sin embargo, para pendientes menores del 2 por ciento el espaciamiento de los travesaños debe reducirse a menos de 7.5 m. La cara inferior de los travesaños debe quedar a una distancia conveniente sobre el nivel de la cama de la tubería. El siguiente paso consiste en afinar la pendiente en la zanja para dejarla lista para la colocación del tubo. La cama para recibir al tubo puede ser moldeada por medio de una plantilla y su forma debe ser tal que el cuadrante inferior de la sección del tubo, quede apoyado uniformemente (fig 2.3-8). Las tuberías deben ser colocadas sobre material estable; debe evitarse el instalarlas sobre turbas o suelos congelables o sobre suelos que contengan pedruscos ya que se provoca que el soporte de la tubería no sea uniforme, lo que puede ocasionar problemas. Las excavaciones de la zanja pueden atravesar varios tipos de suelos

con diferente dureza, consistencia y estabilidad, por lo que es recomendable excavar varios centímetros abajo del nivel de proyecto y utilizar grava como material para formar la cama. Cuando la zanja atraviesa materiales duros como lutitas, calizas, areniscas o arcillas duras, se recomienda excavar por lo menos 10 cm abajo del nivel de proyecto y rellenar con material adecuado, el cual debe ser compactado a una densidad uniforme y luego moldeado para formar la cama de la tubería.

Cuando se atraviesan suelos extremadamente inestables, se requieren cimentaciones especiales.

Una vez colocado el tubo en su posición definitiva para ser sellado o junteado, debe tenerse cuidado de no moverlo por ningún motivo.

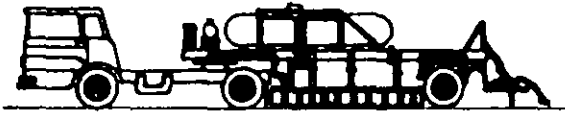
La resistencia de las estructuras de drenaje es afectada grandemente por la calidad del relleno. Para obtener una capacidad de carga máxima y para evitar socavaciones y asentamientos, es necesario que el relleno se efectúe con material adecuado, colocado y compactado cuidadosamente. Generalmente el material extraído de la excavación puede ser utilizado para el relleno; sin embargo, se debe evitar que contenga piedras mayores de 7.5 cm. En zanjas que atraviesan suelos expansivos, se debe utilizar material granular tanto para la cama como para el relleno lateral y sobre la tubería, hasta una altura de 10 a 30 cm sobre la corona del tubo.

De esta manera envolviendo la tubería completamente con un material granular, se incrementa considerablemente su capacidad de carga.

Para el caso de subdrenes se requieren rellenos especiales como se indica en el inciso 2.3.6 de esta cláusula.

El relleno de las zanjas debe ser iniciado colocando y compactando cuidadosamente capas de 15 cm a ambos lados del tubo, excepto para tubos con diámetro menor de 30 cm, en los que la primera capa no debe quedar más abajo que el diámetro horizontal del tubo. De esta manera se continúa hasta llegar a una altura de 30 cm por encima de la parte superior del

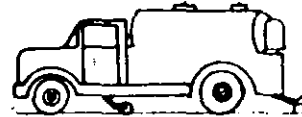
A) PROCEDIMIENTO NORMAL



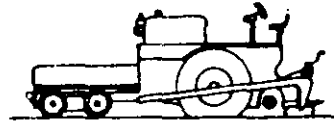
CALENTAMIENTO-ESCARIFICACION



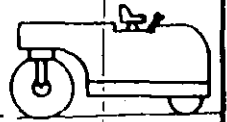
COMPACTACION INTERMEDIA



CAMION ESPARCIDOR DEL "RECLAMITE"



REENCARPETADO



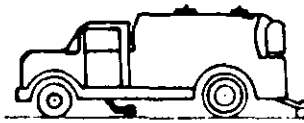
COMPACTACION FINAL

← SENTIDO DEL AVANCE

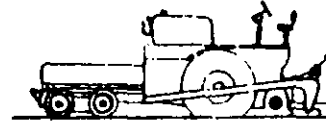
B) PROCEDIMIENTO ALTERNO



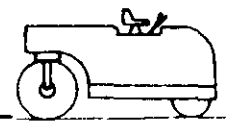
CALENTAMIENTO-ESCARIFICACION



CAMION ESPARCIDOR DEL "RECLAMITE"



REENCARPETADO



COMPACTACION

Fig. 2.3-7 Procedimiento de "reciclado" en el lugar

tubo. El resto de la zanja se rellena en capas menores de 20 cm de espesor, compactándose a la densidad requerida. Estas densidades son iguales a las que se requieren para los terraplenes o para las capas subrasantes que soportan a los pavimentos. La compactación puede ser efectuada por medio de apisonamiento, usando pisonos mecánicos o manuales, de tamaño y peso adecuados. No se debe efectuar el relleno por simple volteo, ya que además de no obtenerse la compactación adecuada, se produce una condición de inestabilidad permanente.

Todas las zanjas deben ser rellenas lo más rápidamente posible una vez que el tubo ha sido instalado. El relleno se debe hacer de manera de no provocar daños a la parte superior del tubo o presiones laterales en el mismo. Una vez que se ha completado el relleno de la zanja, el material sobrante y los escombros deben retirarse de la zona y colocarlos en un lugar adecuado.

2.3.6 Subdrenaje

La función principal del subdrenaje es la de evacuar el agua de las capas inferiores de los pavimentos, controlando de esta manera el contenido de humedad. En general, en los aeropuertos no se requiere construir sistemas de subdrenaje muy extensos. Los subdrenes deben ser diseñados para que intercepten y drenen únicamente el agua subterránea y no deben operar para remover el agua superficial.

Algunos tipos de suelos son autodrenables como las gravas arenosas, las arenas limosas y algunos tipos de arenas arcillosas; otros pueden ser drenados por medios artificiales, como las arcillas arenosas, los limos arcillosos y ciertos limos arenosos. En estos casos los subdrenes pueden ser efectivos; otros suelos son difíciles o imposibles de drenar, como los limos, arcillas y arcillas limosas. El contenido de arena de un suelo determina su capacidad drenante, es decir su permeabilidad. Así se tiene que un suelo muy permeable tiene un coeficiente de permeabilidad de 10^2 cm/s, y a uno muy impermeable le corresponde un valor de 10^{-9} cm/s. Un suelo con capacidad apropiada para drenar una fuerte lluvia, tiene un coeficiente de permeabilidad del orden de 10^{-4} cm/s.

La permeabilidad de las bases o subbases, depende de la densidad del material. Si se incrementa su densidad, es decir si se aumenta su compactación, se puede disminuir considerablemente la permeabilidad del suelo; incluso la capacidad drenante de estas capas puede llegar a ser nula si se tiene una alta compactación y si contiene más de un 5 por ciento de finos que pasen la malla NOM 0.075 (No. 200).

Si las capas de un pavimento han sido estabilizadas con cemento o asfalto en forma adecuada, son prácticamente impermeables y puede llegar a requerirse un sistema de subdrenes en caso que exista un nivel de aguas freáticas muy elevado, o cualquier otra circunstancia que acarree humedad a la subrasante.

El diámetro de los tubos de los subdrenes se determina en función del caudal de agua a evacuar, el cual a su vez depende del grado de infiltración que exista; en condiciones normales varía de 15 a 20 cm. El material de que están constituidos los tubos, puede ser concreto, asbesto-cemento, fibra-asfalto, arcilla vitrificada, acero, aluminio, etc.; deben ser capaces de captar el agua que los circunda, ya sea por medio de perforaciones, juntas, o que el material de que están constituidos sea poroso. Es necesario colocar pozos de visita espaciados a cada 150 m o menos, para la inspección y limpieza de los subdrenes.

Cuando se coloca un pavimento cuya base y subbase son permeables, sobre una subrasante impermeable, las zonas bajas en el sentido longitudinal, pueden llegar a ocasionar problemas por la acumulación de agua en esta zona. Generalmente la solución consistirá en instalar subdrenes en las orillas del pavimento de la zona afectada, para dar salida al agua acumulada.

En algunos casos se puede utilizar el dren tipo francés, que consiste en zanjas rellenas con material permeable, sin tubo.

El material filtrante debe ser cuidadosamente escogido, para evitar efectos de tubificación y erosión interna. Es necesario que las partículas del suelo

no queden expuestas a aberturas del material filtrante, cuyo tamaño sea mayor que ellas mismas. Se recomienda que las curvas granulométricas del suelo por proteger y del material filtrante, sean razonablemente paralelas.

Según la experiencia, para garantizar permeabilidad, anular presiones de poro y evitar que el suelo natural pase a través del material de filtro, se recomienda que:

$$\frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{15} \text{ suelo}} \geq 5 \text{ (para filtro bien graduado)}$$

$$\frac{D_{25} \text{ filtro}}{D_{25} \text{ suelo}} \leq 4 \text{ (para filtro mal graduado)}$$

$$25 > \frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{15} \text{ suelo}} \geq 5$$

donde:

- D_{15} filtro Diámetro del 15% que pasa, del material de filtro, obtenido de la curva granulométrica (fig 2.3-10).
- D_{15} suelo Diámetro del 15% que pasa, del material de suelo, obtenido de su curva granulométrica.
- D_{25} suelo Diámetro del 85% que pasa, del material de suelo, obtenido de su curva granulométrica.

En las figs 2.3-9 y 2.3-10 se muestran algunos tipos de drenes. La fig 2.3-9 corresponde a los drenes recomendados para aeropuertos por la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos; la fig 2.3-10 corresponde a la práctica mexicana.

2.4 RESUMEN

En la tabla 2.4-1 se presenta un resumen de conceptos para la conservación de pavimentos flexibles, en el que se anotan las causas probables de los distintos problemas que pueden presentarse y las recomendaciones para evitarlos o corregirlos.

2.5 ILUSTRACIONES DE FALLAS Y DE TRABAJOS CORRECTIVOS

En las figs 2.5-1 a 2.5-62 se presenta una serie de fotografías que ilustra las fallas que pueden desarrollarse en los pavimentos flexibles de aeropuertos y los trabajos correctivos.

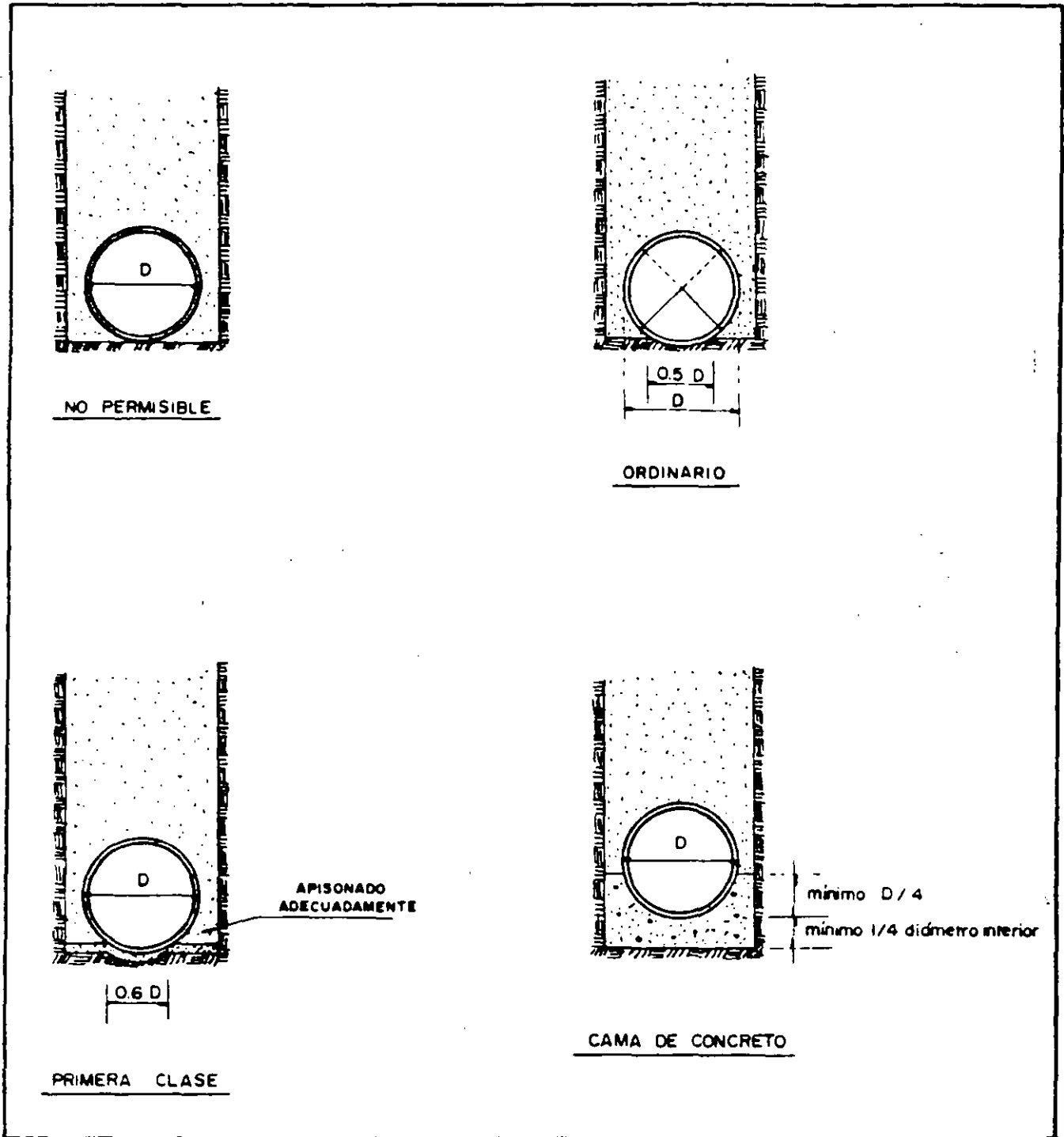


Fig. 2.3-8 Tipos de camas para tuberías en zanjas

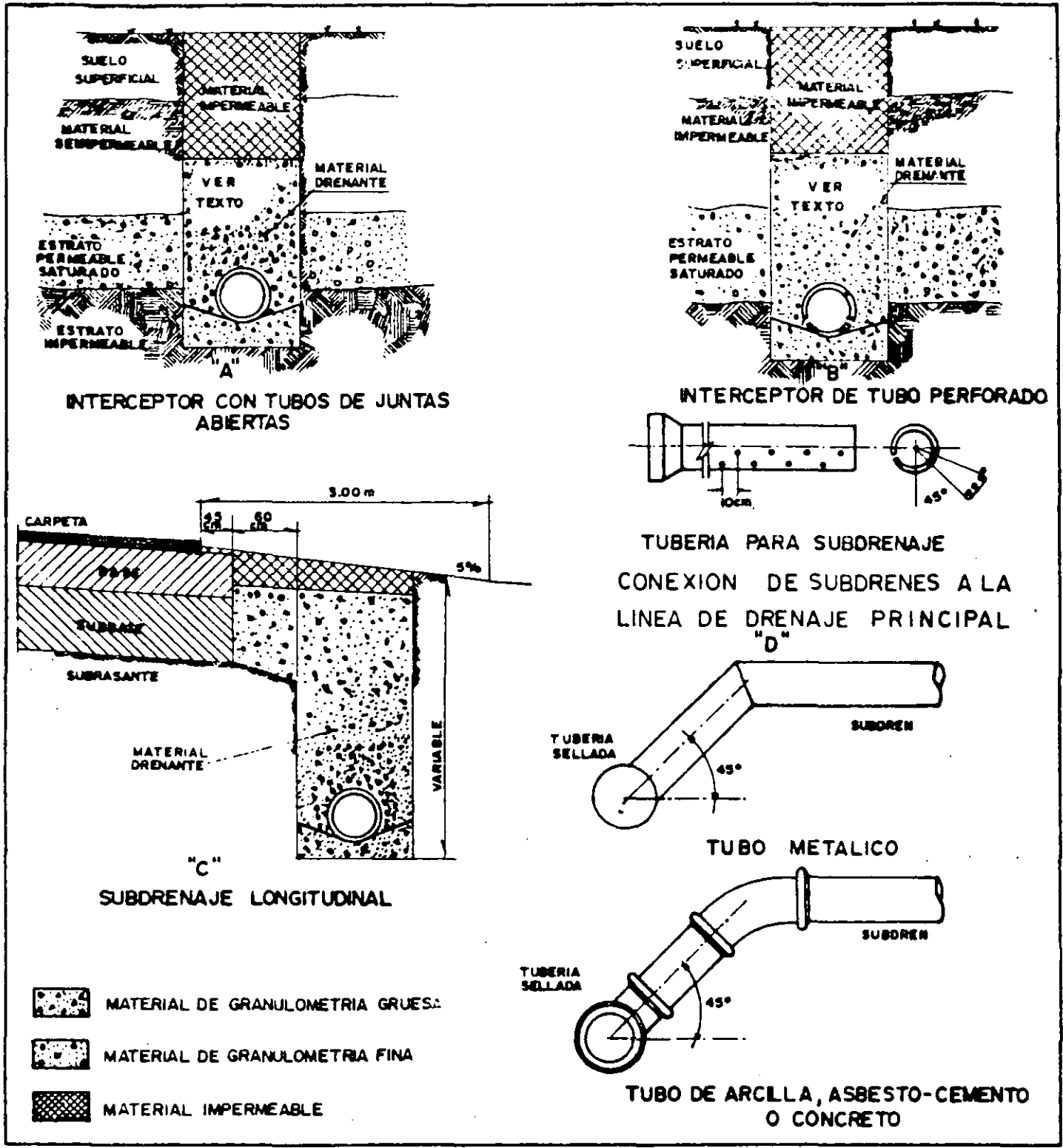
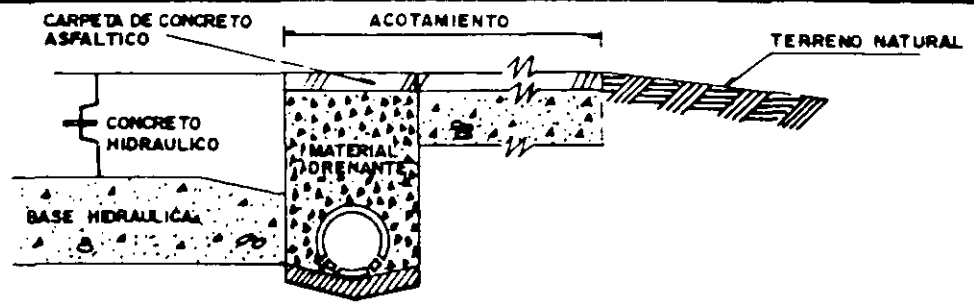
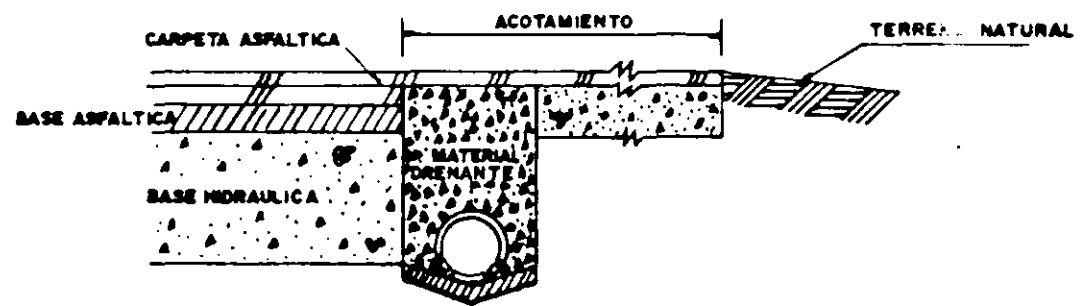


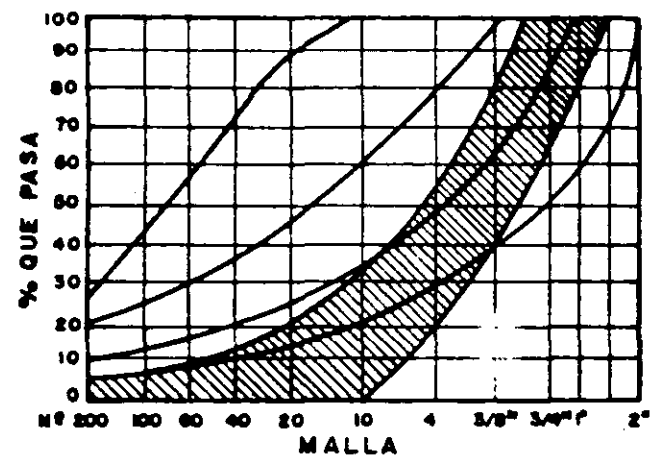
Fig. 2.3-9 Secciones transversales de subdrenes en zanja



DETALLE DEL SUBDREN



DETALLE DEL SUBDREN



ZONA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL DRENANTE

Fig. 2.3-10 Subdrenes, criterio S C T

Tabla 2.4-1 Conservación de pavimentos flexibles. Resumen

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|------------------------------------|---|---|
| Erosión del pavimento | <ul style="list-style-type: none"> - El chorro de las turbinas - El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad; y/o - Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por: Elaboración defectuosa del concreto asfáltico Agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto Efectos circunstanciales (p.ej. derrame de combustibles y lubricantes) | <ul style="list-style-type: none"> - Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello - Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache - Puede aplicarse un riego de taponamiento como trabajo de urgencia y con carácter provisional - Cuando se presenten derrames de combustible, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo) |
| Disgregación o desmoronamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente compactación durante la construcción - Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío - Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto - Falta de asfalto en la mezcla; y/o - Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica | <ul style="list-style-type: none"> - Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico - Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar |
| Agujeros | <ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: - Falta de asfalto en la mezcla - Falta de espesor de carpeta - Exceso o carencia de finos en la mezcla y/o - Drenaje deficiente. | <ul style="list-style-type: none"> - Reparación temporal: limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar - Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar. |
| Sangrado o afloramiento de asfalto | <ul style="list-style-type: none"> - Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica - Construcción inadecuada del sello - Riego de liga o de impregnación espesivos - Solventes que acarrean el asfalto a la superficie - El paso de las cargas del tráfico pesado pueda acelerar el sangrado | <ul style="list-style-type: none"> - Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) |
| Oxidación del asfalto | <ul style="list-style-type: none"> - Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas - Agua atrapada en las capas inferiores | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico; o - Aplicar un producto rejuvenecedor ("Reclamite" o similar) |
| Corrimientos de la carpeta | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a: - Impurezas situadas entre las dos capas (polvo, aceite, caucho, agua) - Falta o exceso de riego de liga durante la construcción del pavimento - Exceso del contenido de arena en la mezcla - Inadecuada compactación durante la construcción - Falta de anclaje mecánico | <ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta afectada y por lo menos 30cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales - Picar la superficie descubierta - Limpiar con cepillo y aire a presión - Aplicar riego de liga ligero - Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidado para evitar segregación - Compactar adecuadamente |
| Corrimientos Circulares | <ul style="list-style-type: none"> - Giras de las aviones muy cerrados - Poca capacidad del pavimento, para resistir esfuerzos de tensión | <ul style="list-style-type: none"> - Sellar la grieta si no es muy profunda - Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento |

Tabla 2.4-I Conservación de pavimentos flexibles. Resumen (continuación)

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|---|--|---|
| Corrugaciones | <ul style="list-style-type: none"> - Cargas del tráfico y - Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: <ul style="list-style-type: none"> Exceso de asfalto en la mezcla Exceso de agregados finos Agregados petreos demasiado redondeados o lisos Cemento asfáltico demasiado blando Humedad excesiva Contaminación por derrame de aceites Falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados o emulsificados) | <ul style="list-style-type: none"> - Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico - Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado - Si hay subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido previamente |
| Hundimientos o depresiones | <ul style="list-style-type: none"> - Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento - Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento - Asentamientos del terreno de cimentación - Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista en algunos suelos arcillosos | <ul style="list-style-type: none"> - Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una nivelación - Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento - Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla |
| Condalizaciones o roderas | <ul style="list-style-type: none"> - Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocada (o) por el tráfico - Carpetas nuevas mal compactadas - Baja estabilidad del concreto | <ul style="list-style-type: none"> - Nivelar las depresiones y - Colocar una sobrecarpeta según proyecto |
| Grietas longitudinales de orilla y de junta | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de soporte lateral o - Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> Drenaje defectuoso Acción de las heladas Contracciones por secado del suelo de cimentación Vegetación cercana a la orilla del pavimento - Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta | <ul style="list-style-type: none"> - Corregir el drenaje si está defectuoso - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas - Si existen además asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria |
| Grietas transversales | <ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos aislados de la subbase, base o subbase (p. ej. cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos) - Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (p. ej. grietas por secado de suelos arcillosos; grietas por movimientos telúricos; grietas por fallas geológicas activas) | <ul style="list-style-type: none"> - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas - Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria - Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente - Si la falla es debida a movimientos generales del suelo, se pueden reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de un geotextil de refuerzo sobre la zona afectada |
| Grietas de Contracción | <ul style="list-style-type: none"> - Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores - Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración - La falta de tráfico apresura la falla - Diferentes colores de la superficie del pavimento (p. ej. marcos de pintura) que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol | <ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico - Si existe pintura, raspar previamente - Si la falla es muy intensa "reciclar" la carpeta o colocar sobrecarpeta reforzada con un geotextil para evitar la reflexión de las grietas |

Tabla 2.4-1 Conservación de pavimentos flexibles, resumen (continuación)

| CONCEPTO | CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA | RECOMENDACIONES |
|---|--|--|
| Grietas de reflexión | <ul style="list-style-type: none"> - Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta - Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones - El paso del tráfico - Movimiento de tierra - Pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcillas | <ul style="list-style-type: none"> - Rellenar las grietas |
| <ul style="list-style-type: none"> - Agrietamientos tipo piel de cocodrilo - Agrietamientos tipo mapa | <ul style="list-style-type: none"> - Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, subbase y/o base inestables o resilientes | <ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales - Instalar subdrenaje si la causa de la falla fue el agua - Aplicar un riego de impregnación a las paredes - Rellenar con mezcla asfáltica - Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene más de 15 cm de profundidad) - Reparación temporal de emergencia: Aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos; rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica (sólo de carácter temporal) |
| Crecimiento de hierba y afloramiento de agua | <ul style="list-style-type: none"> - Textura de la carpeta demasiado abierta - Capa base saturada de agua - Agua atrapada en la carpeta durante la construcción | <ul style="list-style-type: none"> - Corregir el subdrenaje y/o el drenaje si estos fueron la causa de la falla - Limpiar y sellar las grietas - Reponer el pavimento alterado - Aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta |
| Acumulación de caucho en la superficie | <ul style="list-style-type: none"> - Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado - Eliminarlo por medio de agua a presión - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción |
| Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones | <ul style="list-style-type: none"> - Poco control durante la construcción - Equipo inadecuado para el tendido - Fallas del pavimento | <ul style="list-style-type: none"> - Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alterna: Tender sobrecarpeta (necesaria en irregularidades de gran longitud de onda) |
| <p>NOTA: Se recomienda que en todos los casos, los procedimientos de construcción, utilización y proceso de materiales, se sujeten a las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes</p> | | |

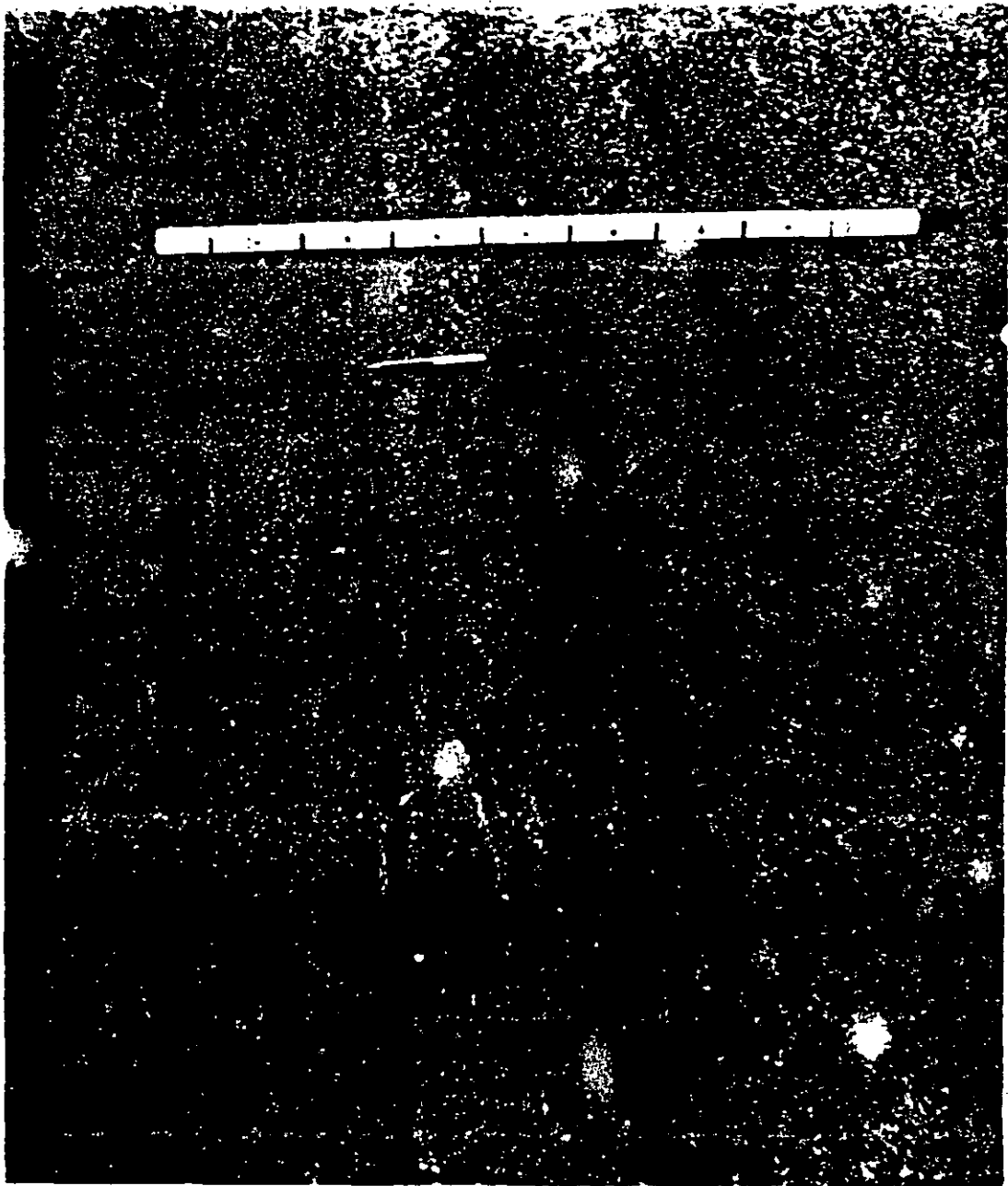


Fig. 2.5-1 Erosión de la superficie del pavimento probablemente ocasionada por el chorro de las turbinas y el paso de las ruedas en combinación con una pobre adherencia del asfalto con los agregados pétreos

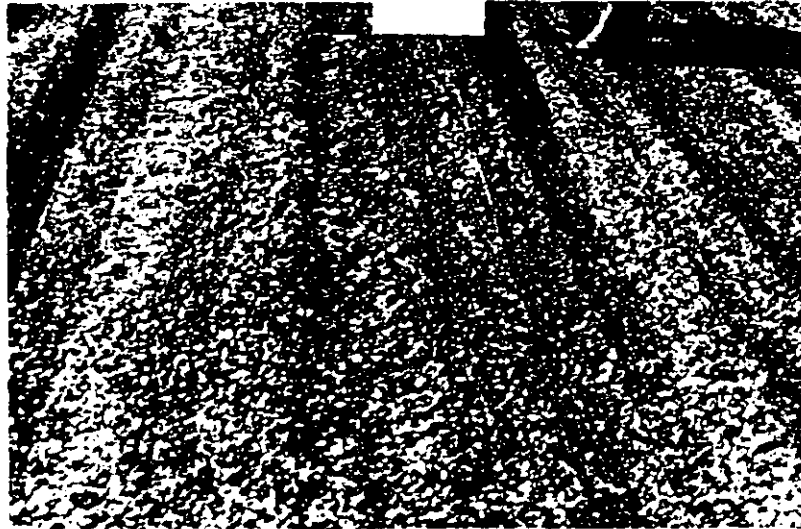


Fig. 2.5-2 Erosión del pavimento



Fig. 2.5-3 Detalle de erosión del pavimento

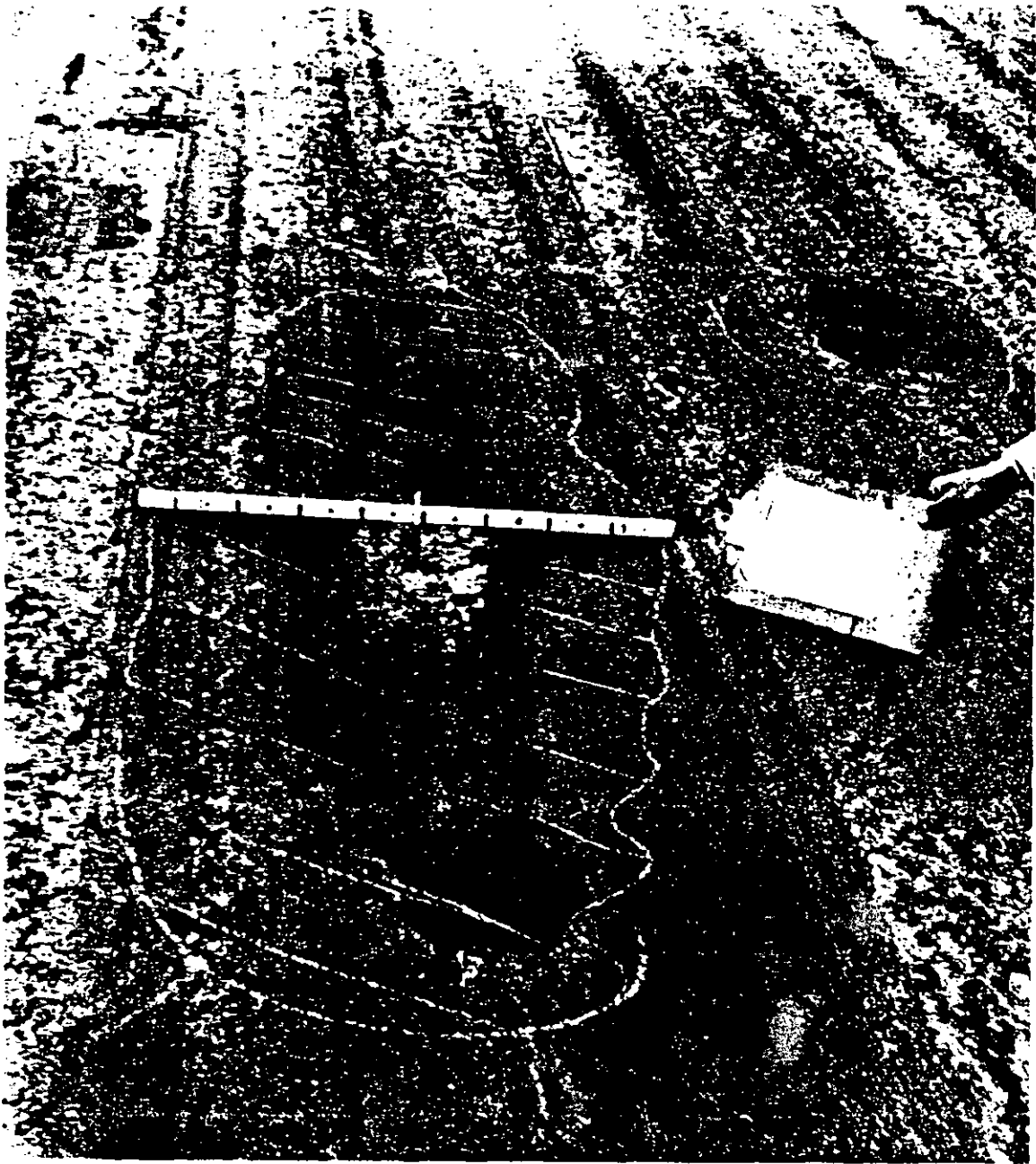


Fig.2.5-4 Destrucción localizada de la carpeta probablemente debido a derrame de combustible combinado con el paso de las ruedas de los aviones

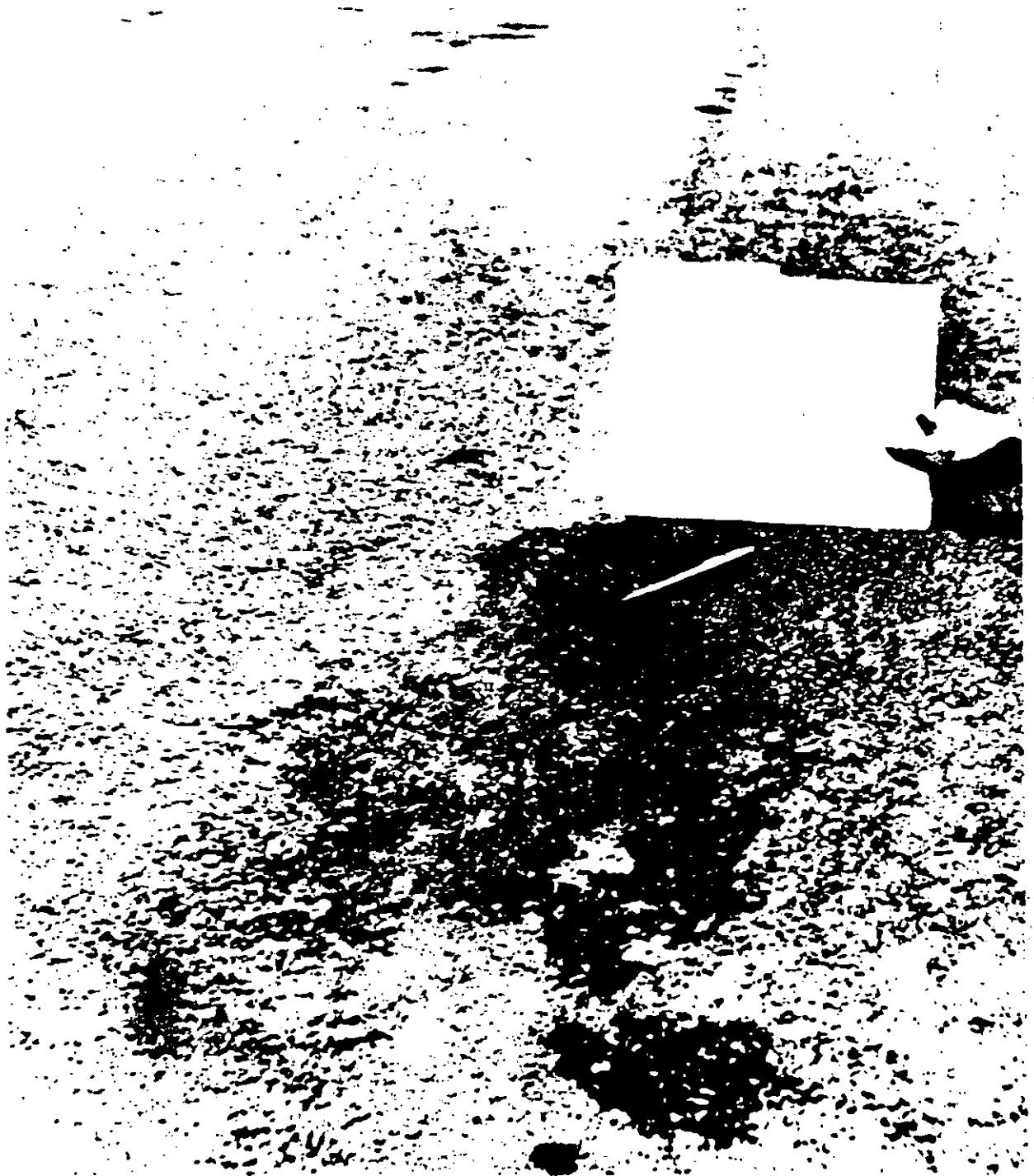


Fig. 2.5-5 Disgregación o desmoronamiento

Fig. 2.5-6 Agujero con agua



Fig. 2.5-7 Agujeros

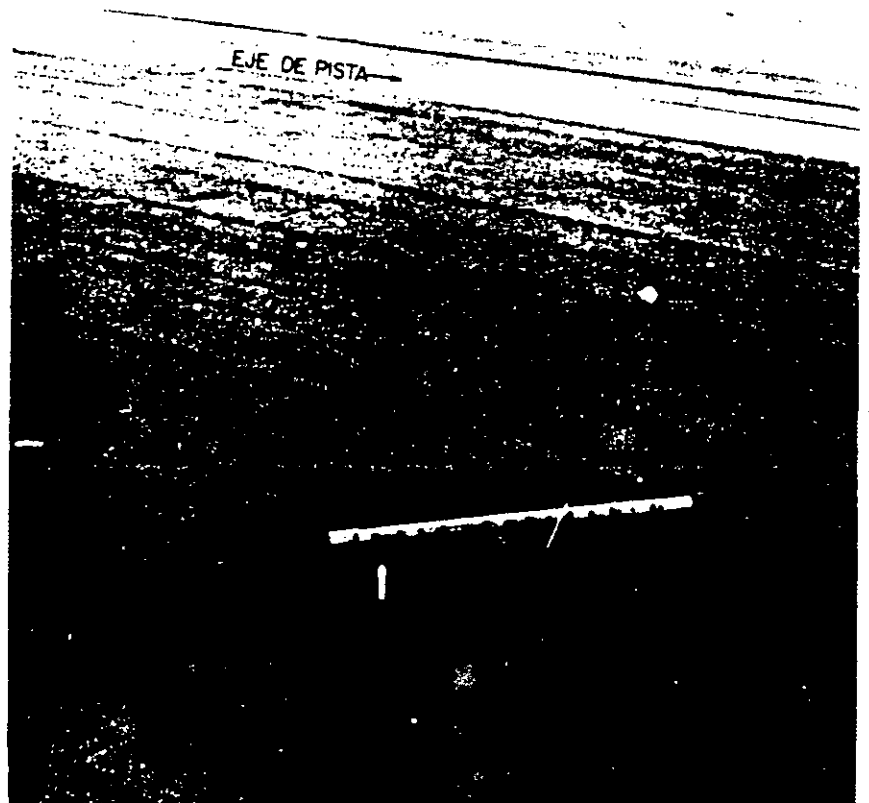




Fig.2.5-8 Sangrado o afloramiento de asfalto y formacion de pequeños charcos en una calle de rodaje



Fig. 2.5-9 Afloramiento de asfalto con burbujas de agua atrapadas

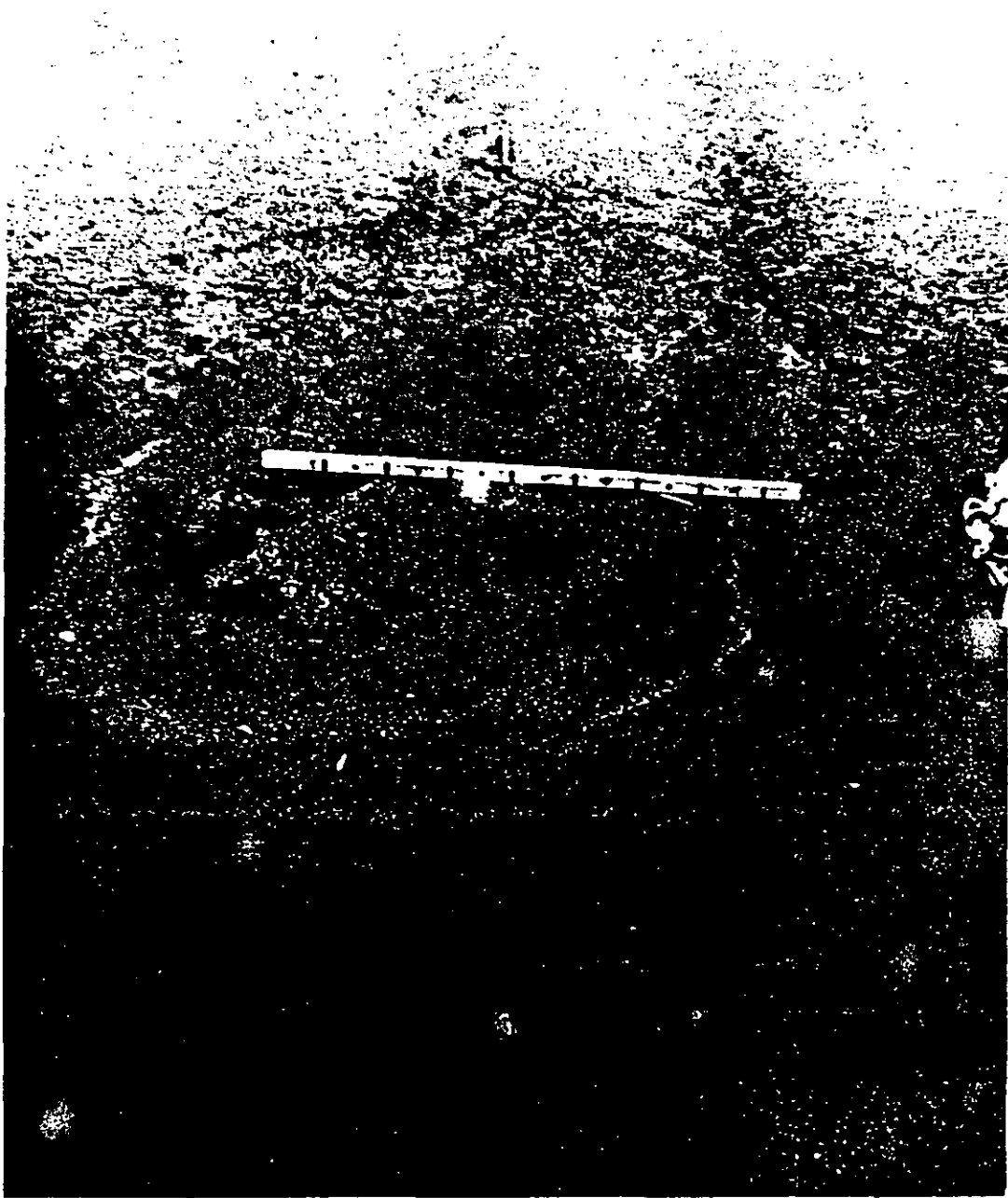


Fig.2.5-10 Humedad y oxidación del asfalto. La humedad proviene de las capas inferiores. Es necesario corregir el subdrenaje



Fig. 2.5-11 Humedad y oxidación del asfalto



Fig. 2.5-12 Corrimiento de la sobreteja en una vía de circulación de camiones pesados, debido probablemente a la liga defectuosa entre la sobreteja y la superficie original del pavimento, combinado con la acción de frenado de los vehículos



Fig. 2.5-13 Agrietamientos en forma de media luna en una calle de rodaje, en las inmediaciones del cruce con una pista, lo que obliga a frenar a los aviones que circulan por ella. Indicios de corrimientos de la carpeta, que presenta un espesor superior a 30 cm. Afloramiento de agua al paso de los aviones, subdrenaje defectuoso



Fig. 2.5-14 Corrimientos circulares o radiales



Fig. 2.5-15 Corrimientos circulares



Fig. 2.5-16 Corrimiento debido al pivoteo de un avión sobre una carpeta con poca estabilidad



Fig. 2.5-17 Corrugaciones del pavimento y pequeñas grietas. Subdrenaje defectuoso



Fig. 2.5-18 Corrugaciones, muy localizadas, en una vía de circulación rápida para vehículos terrestres. Causa probable contaminación por derrame de aceites, o exceso de asfalto en el riego de liga durante su construcción



Fig. 2.5-19 Hundimientos diferenciales o depresiones en el pavimento que provocan la formación de charcos cuando llueve, situación indeseable para la operación de los aviones por la posibilidad de que se presente el hidroplaneo



Fig. 2.5 - 20 Depresiones con grietas. Formación de charcos

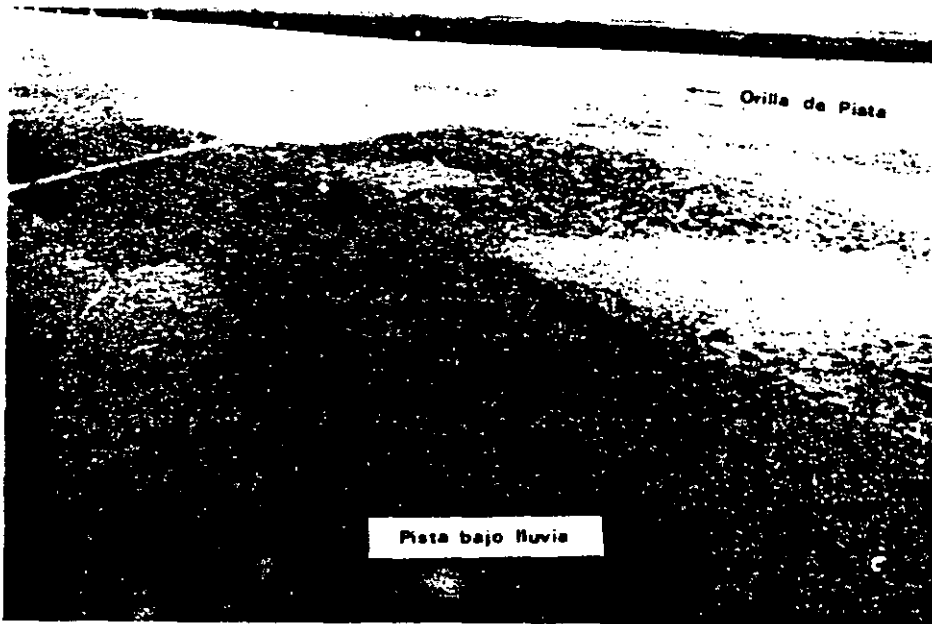


Fig. 2.5-21-A Drenaje superficial defectuoso y formación de charcos en la pista



Fig. 2.5-21-B Irregularidades en la superficie (depresiones)



Fig. 2.5-2I-C Muestra de una reciente colisión de las aves contra un avión

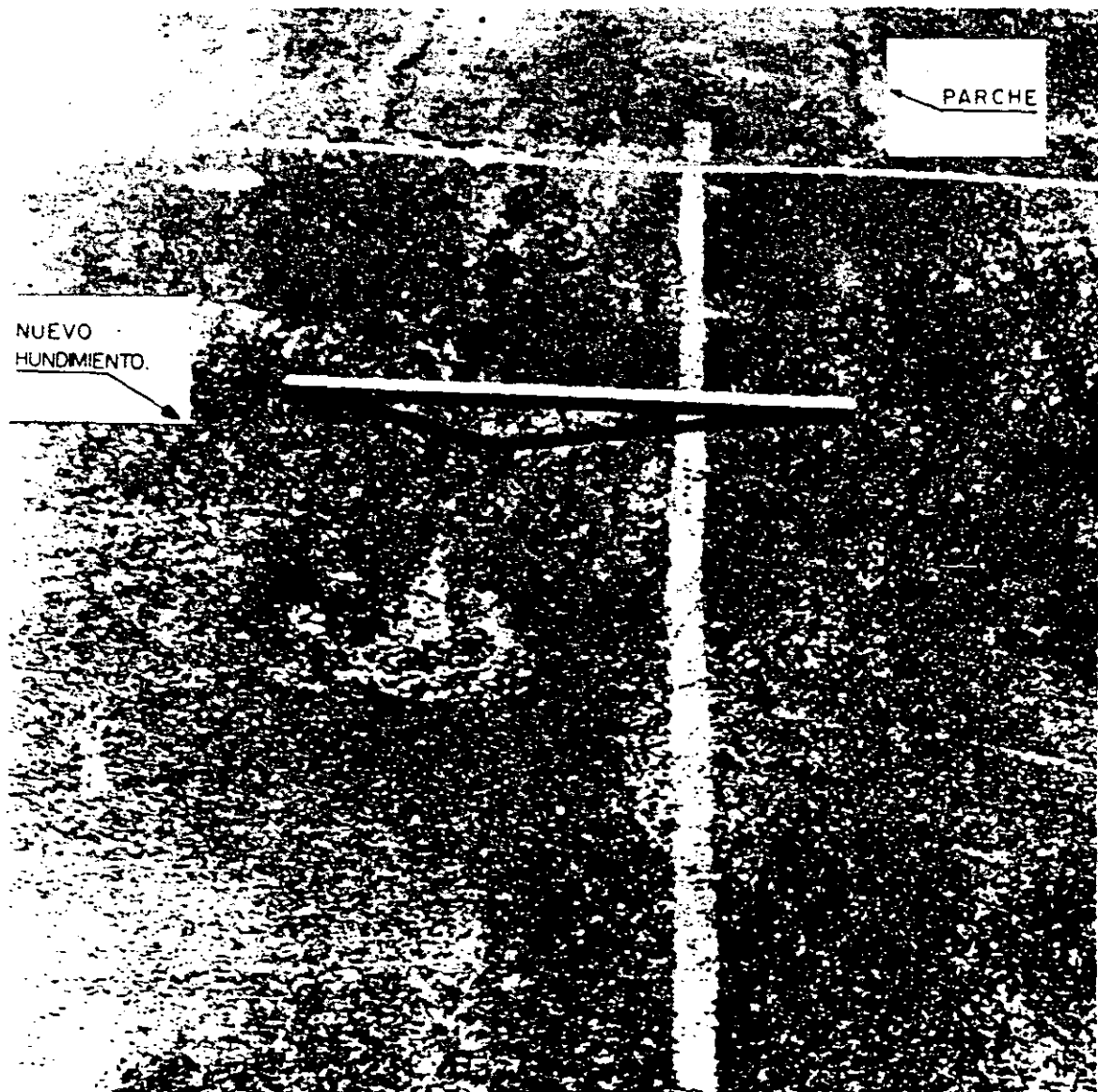


Fig. 2.5-22 Hundimiento en una vía para vehículos terrestres causado probablemente por la compactación inadecuado del material de relleno de la zanja que aloja la tubería de drenaje, o por la utilización de un material de relleno inadecuado y/o por el efecto de tubificación al ser arrastrado el material de relleno a través de aberturas en la tubería

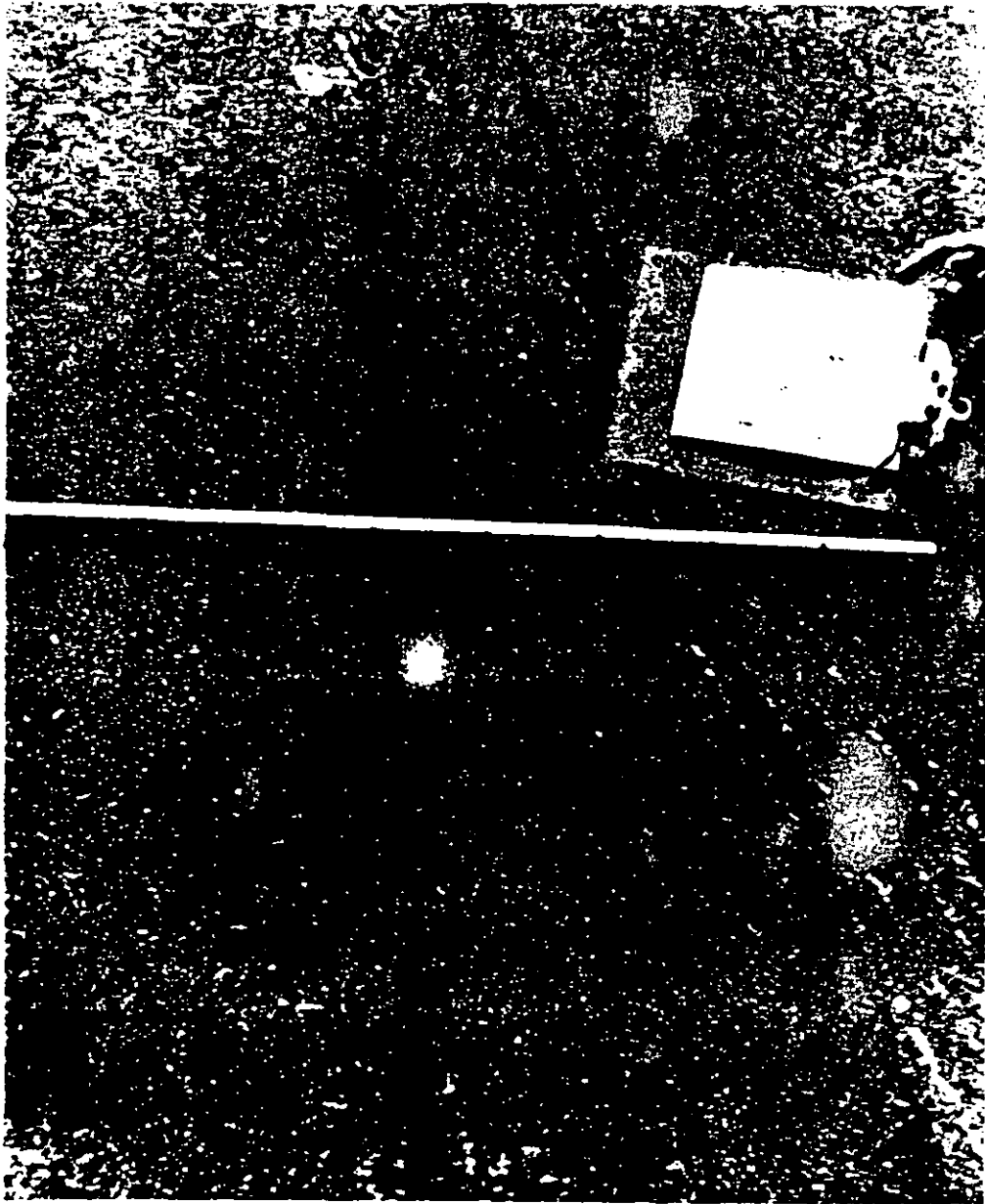


Fig.2.5-23 Grieto con hundimiento. Canalización en una calle de rodaje, obsérvese la huella del tren de aterrizaje de un avión

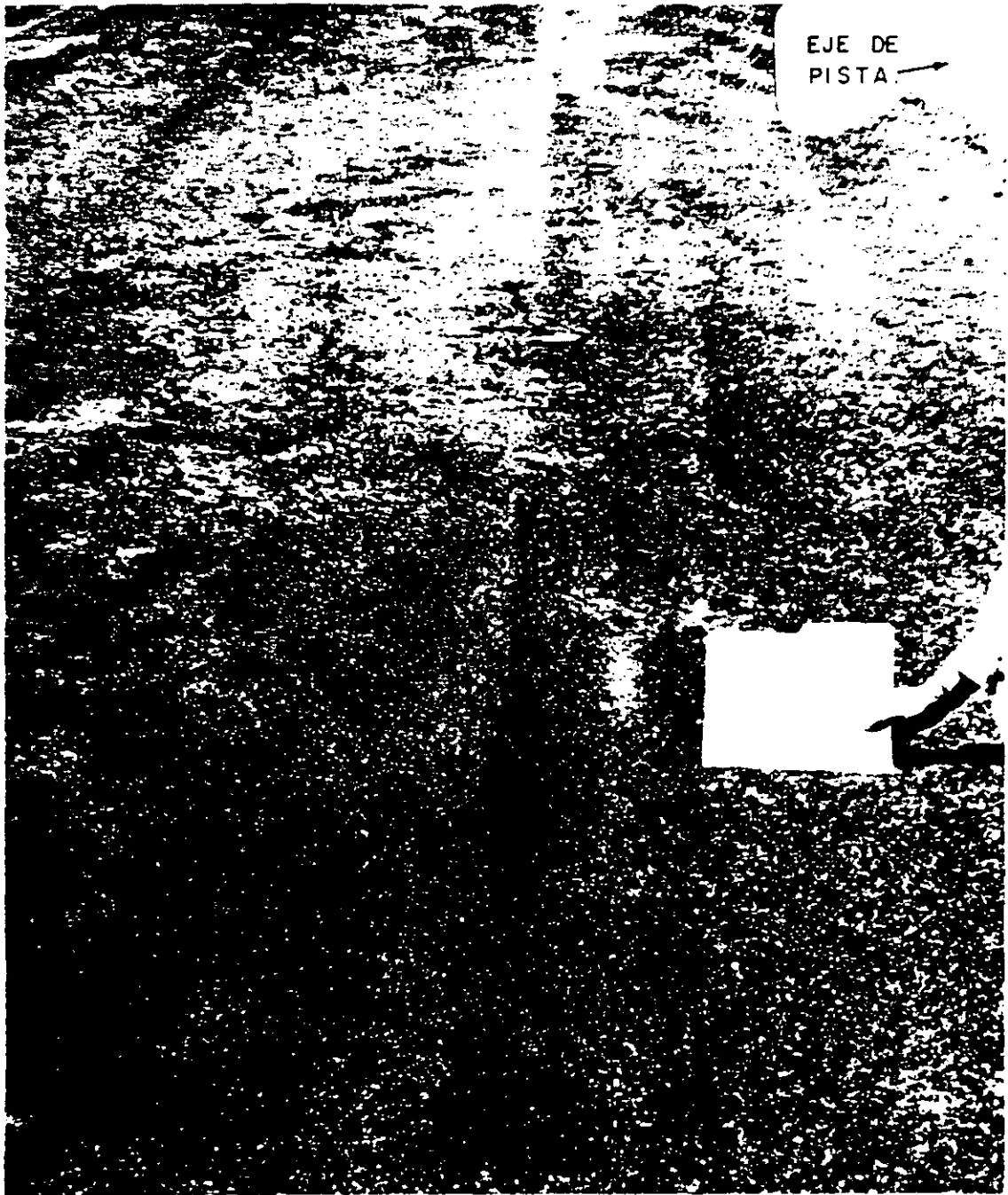


Fig. 2.5-24 Grieta con hundimiento. Canalización cerca del eje de la pista



Fig. 2.5-25 Canalizaciones en una calle de rodaje, probablemente debidas al paso de las cargas que ocasionan movimientos laterales de las capas del pavimento combinado con la baja estabilidad de la carpeta



Fig. 2.5-26 Grietas longitudinales de orilla debidas probablemente a contracciones por secado de la subrasante



Fig. 2.5-27 Más grietas longitudinales de orilla



Fig. 2.5-28 Grietas longitudinales de junta



Fig. 2.5-29 Detalle de grietas longitudinales de junta

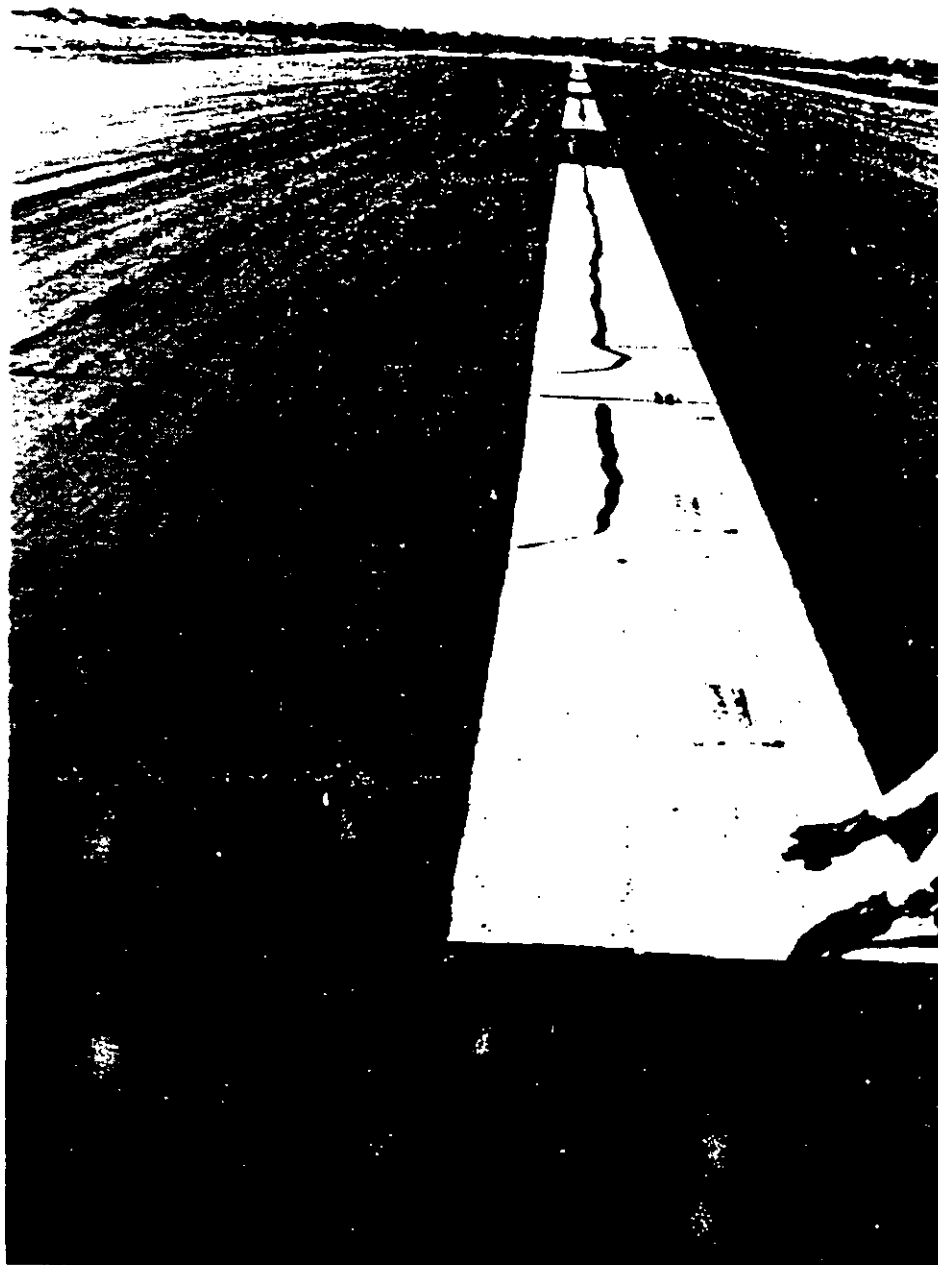


Fig. 2.5-30 Grietas longitudinales en el eje de la pista

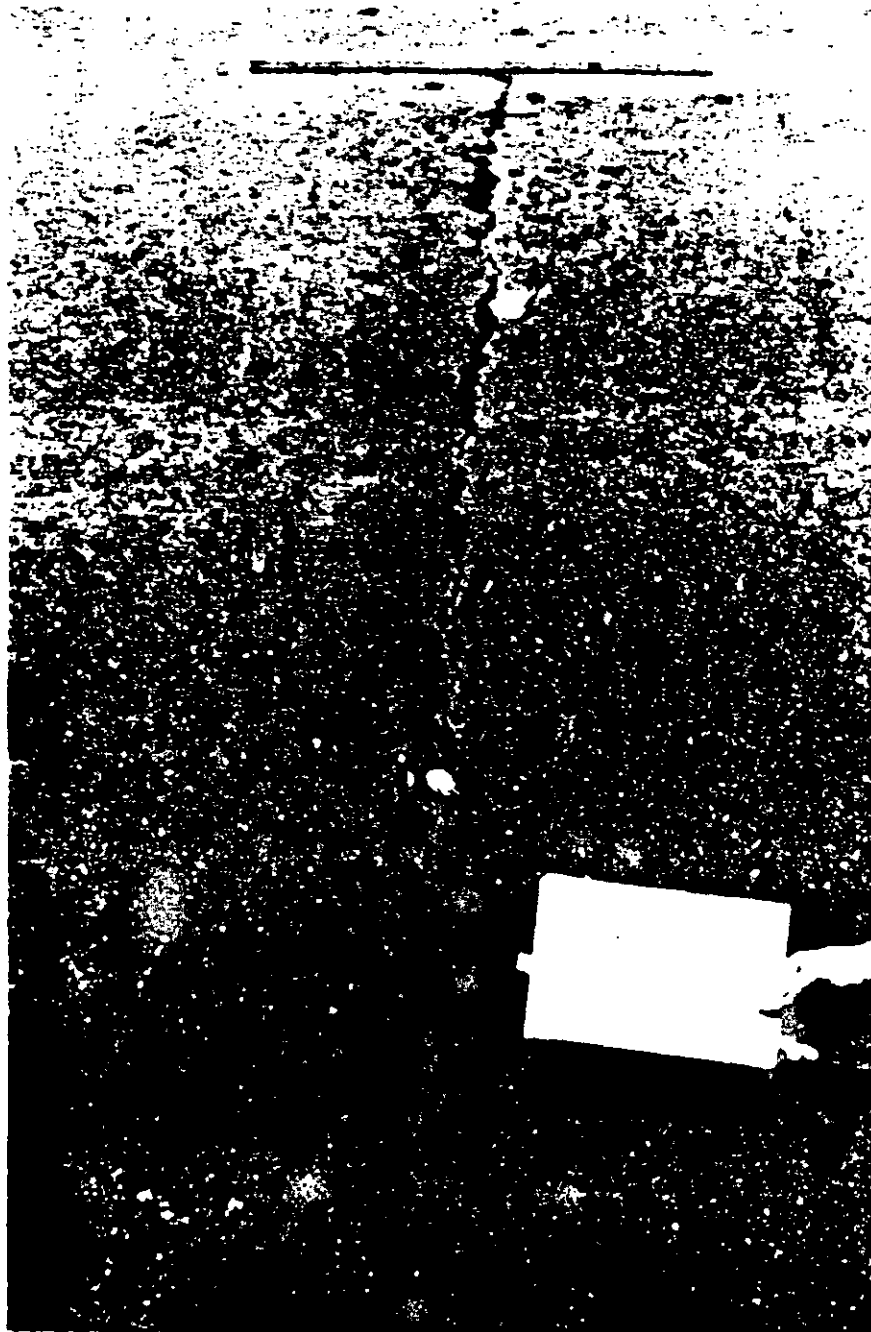


Fig. 2.5 - 31 Grieta longitudinal acompañada de ligeras deformaciones. La introducción del agua de lluvia a través de la grieta hace más críticas las condiciones de trabajo del pavimento

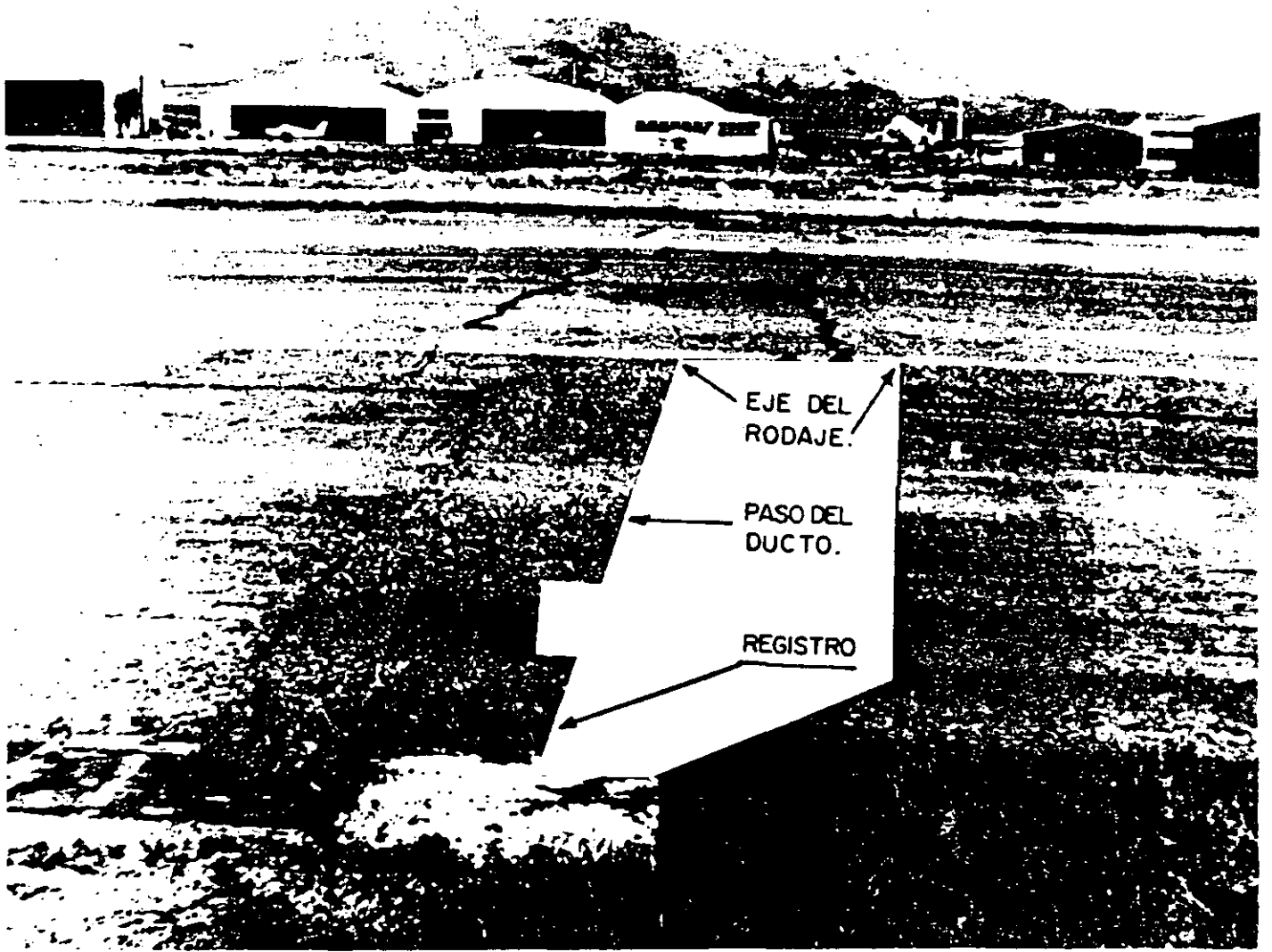


Fig. 2.5 - 32 Grietas transversales en la zona de pavimento cruzado por un ducto



Fig. 2.5 - 33 Grietas transversales y un bache reparado. Es deseable que el acabado del parche sea igual que el del pavimento que lo rodea, y es indispensable que los niveles de sus superficies coincidan

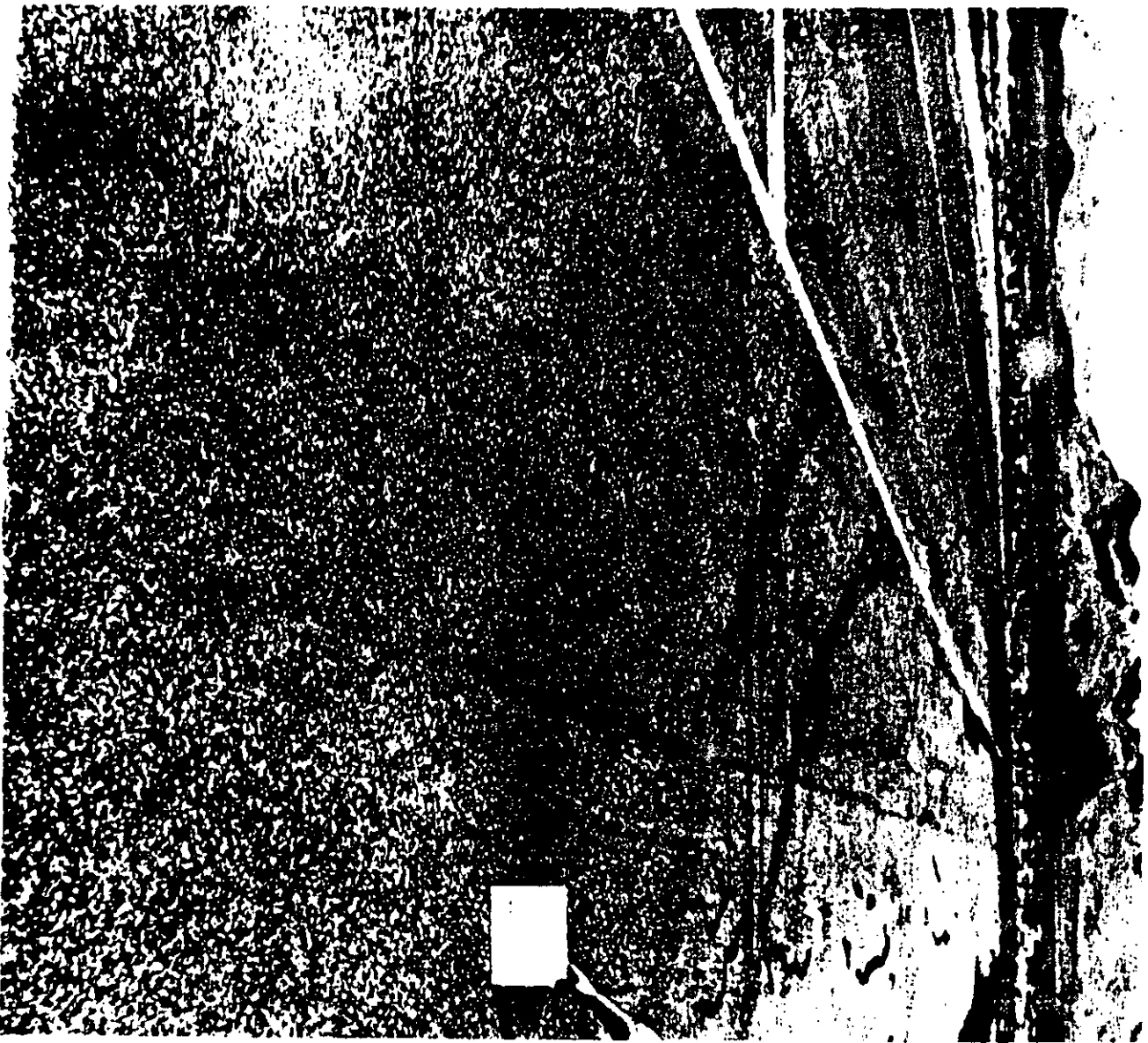


Fig. 2.5 - 34 Grietas longitudinales y transversales ocasionadas probablemente por el secado de los suelos

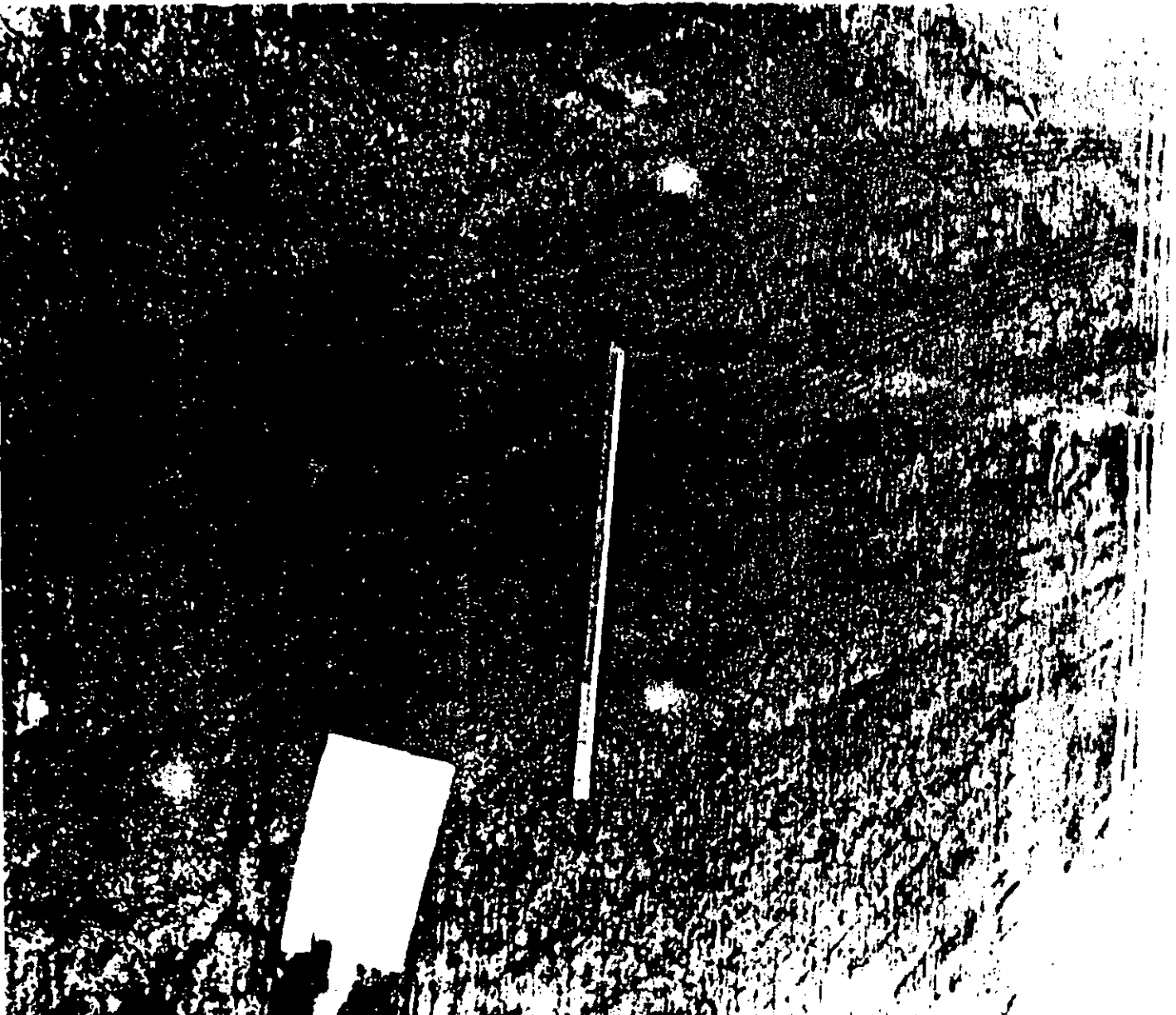


Fig. 2.5-35 Probables grietas de contracción en un rodaje con poco tráfico



Fig. 2.5-36 Grietas de contracción probablemente ocasionadas por la diferente absorción térmica debido a la diferencia de colores de la superficie. Las marcas de pintura actuales no coincidieron con las anteriores

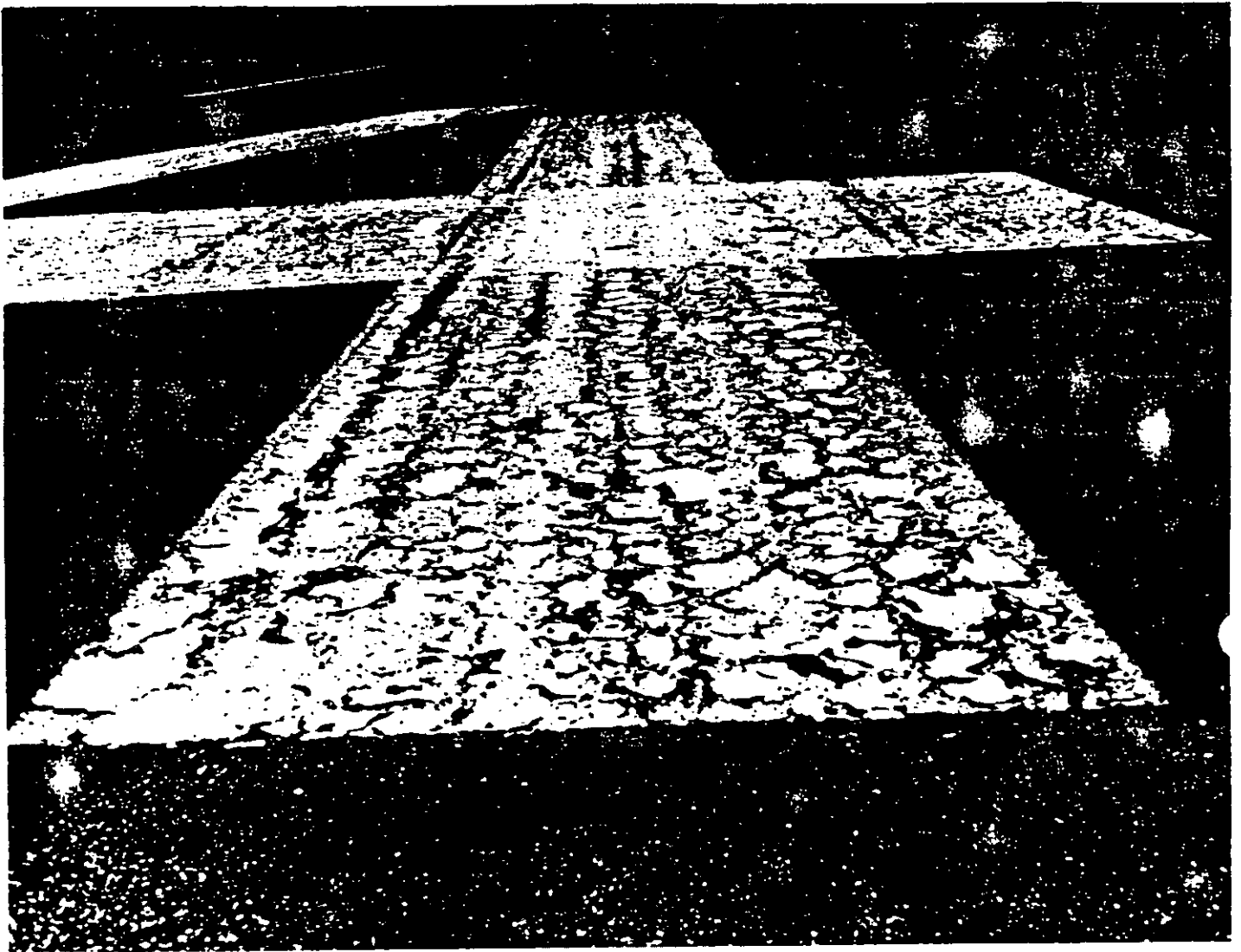


Fig. 2.5-37 Grietas de contracción probablemente ocasionadas por las marcas de pintura. Es importante escoger el tipo de pintura con las características adecuadas de adherencia al pavimento, elasticidad, durabilidad y visibilidad; así mismo, seguir los procedimientos correctos para su aplicación

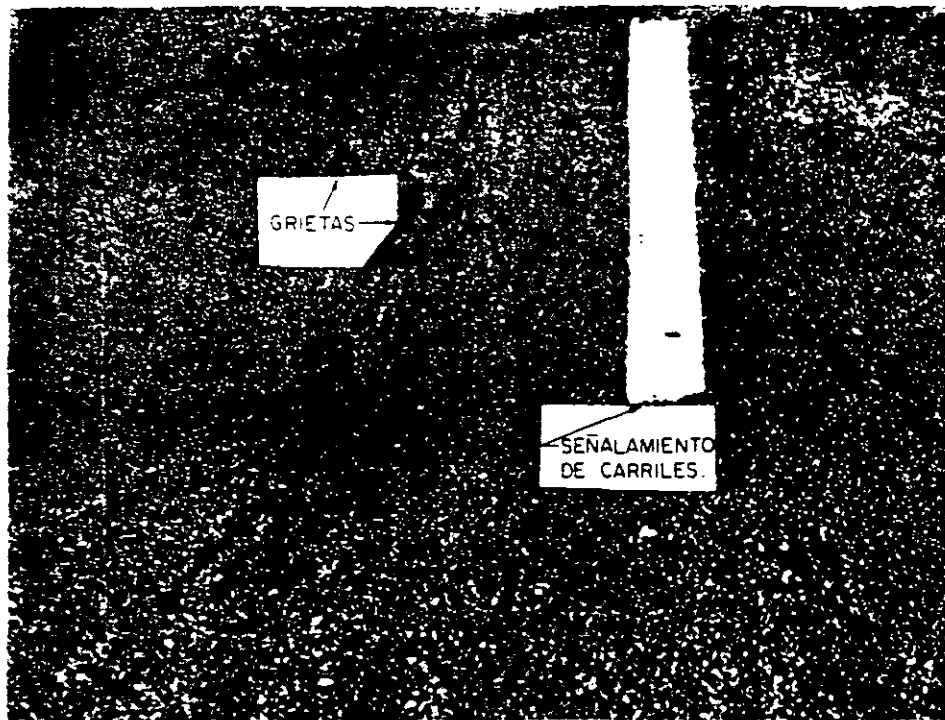


Fig. 2.5-38 Grietas de reflexión en una sobrecarpeta colocada sobre un pavimento rígido

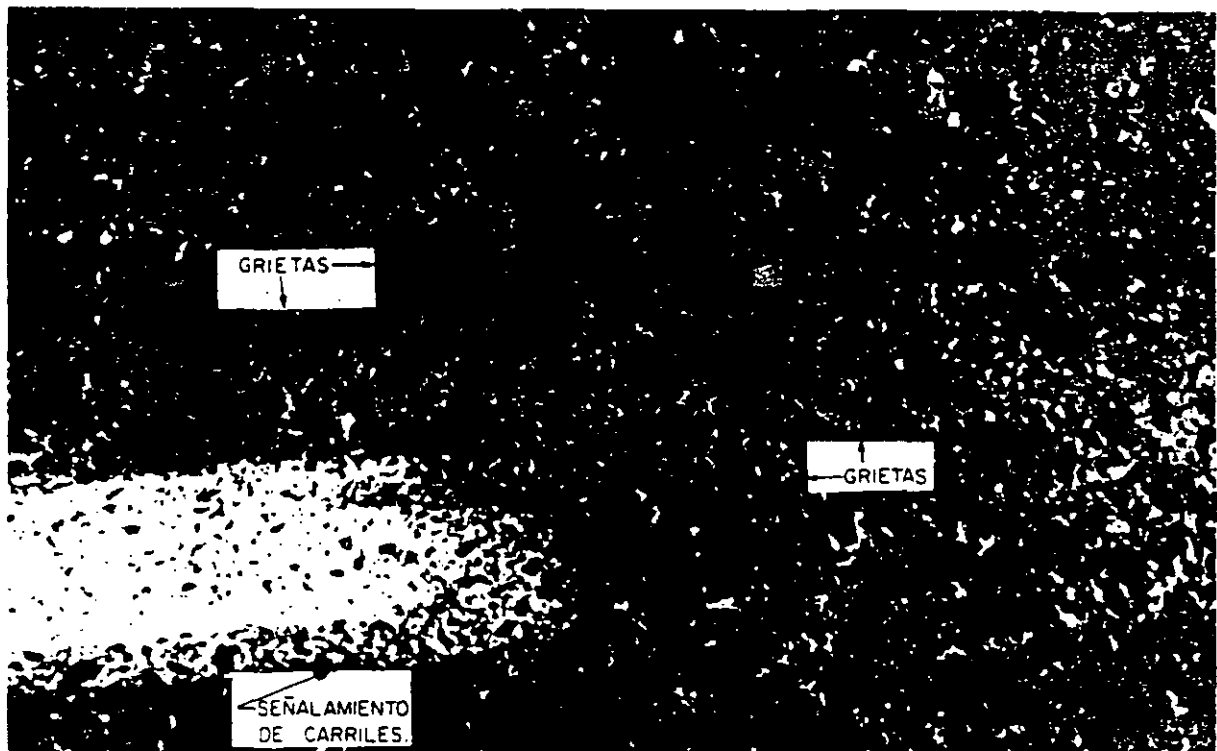


Fig. 2.5-39 Más grietas de reflexión en sobrecarpeta



Fig. 2.5-40 Grietas en forma de piel de cocodrilo con espacios regulares y asentamientos de relativa gran amplitud, lo cual es indicativo de que el problema proviene de las capas más alejadas de la superficie. Los espacios estrechos indican que también hay problema en las capas superiores

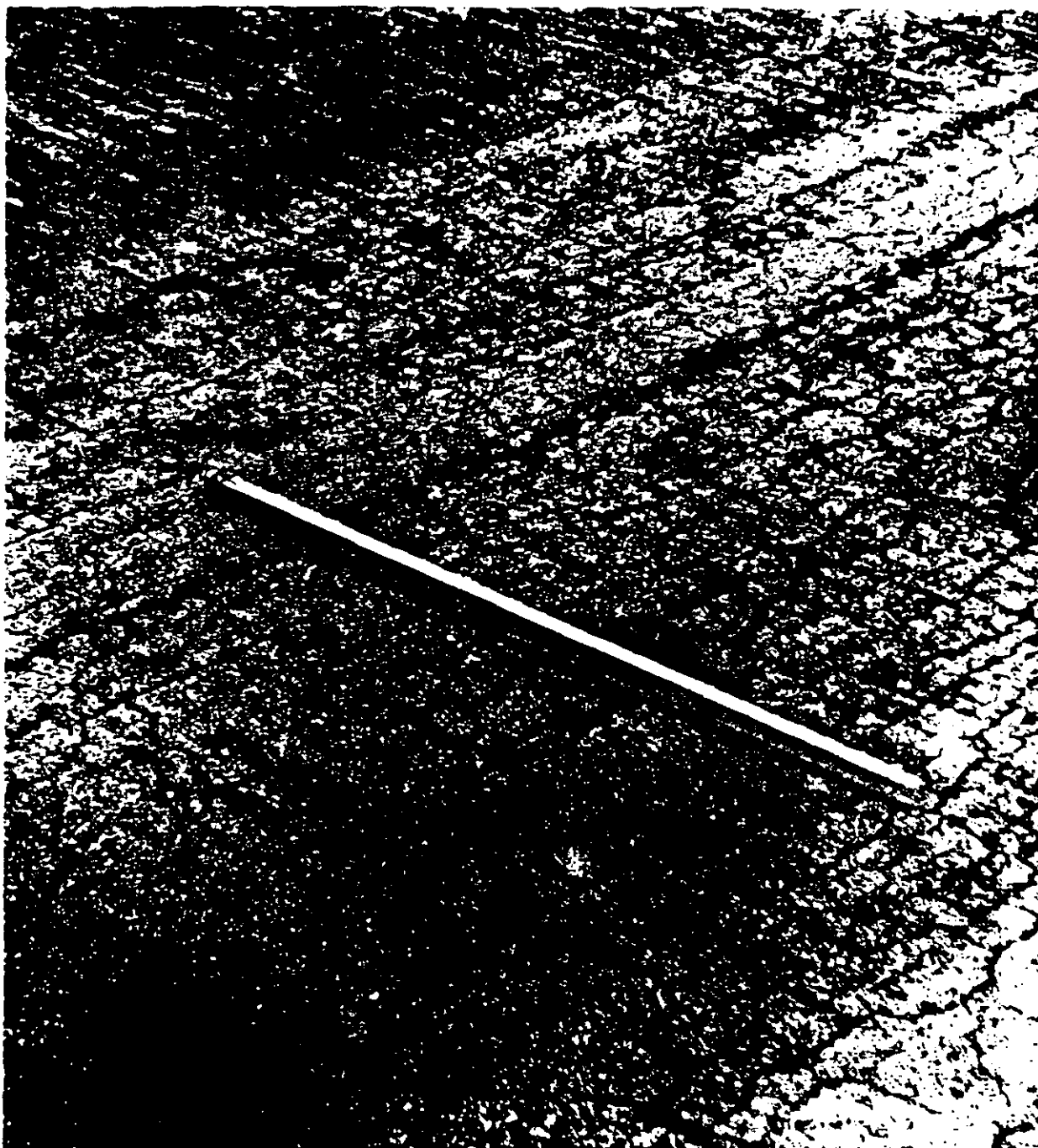


Fig. 2.5-41 Asentamientos y grietas en forma de piel de cocodrilo, en la faja de rodamiento de una calle de rodaje

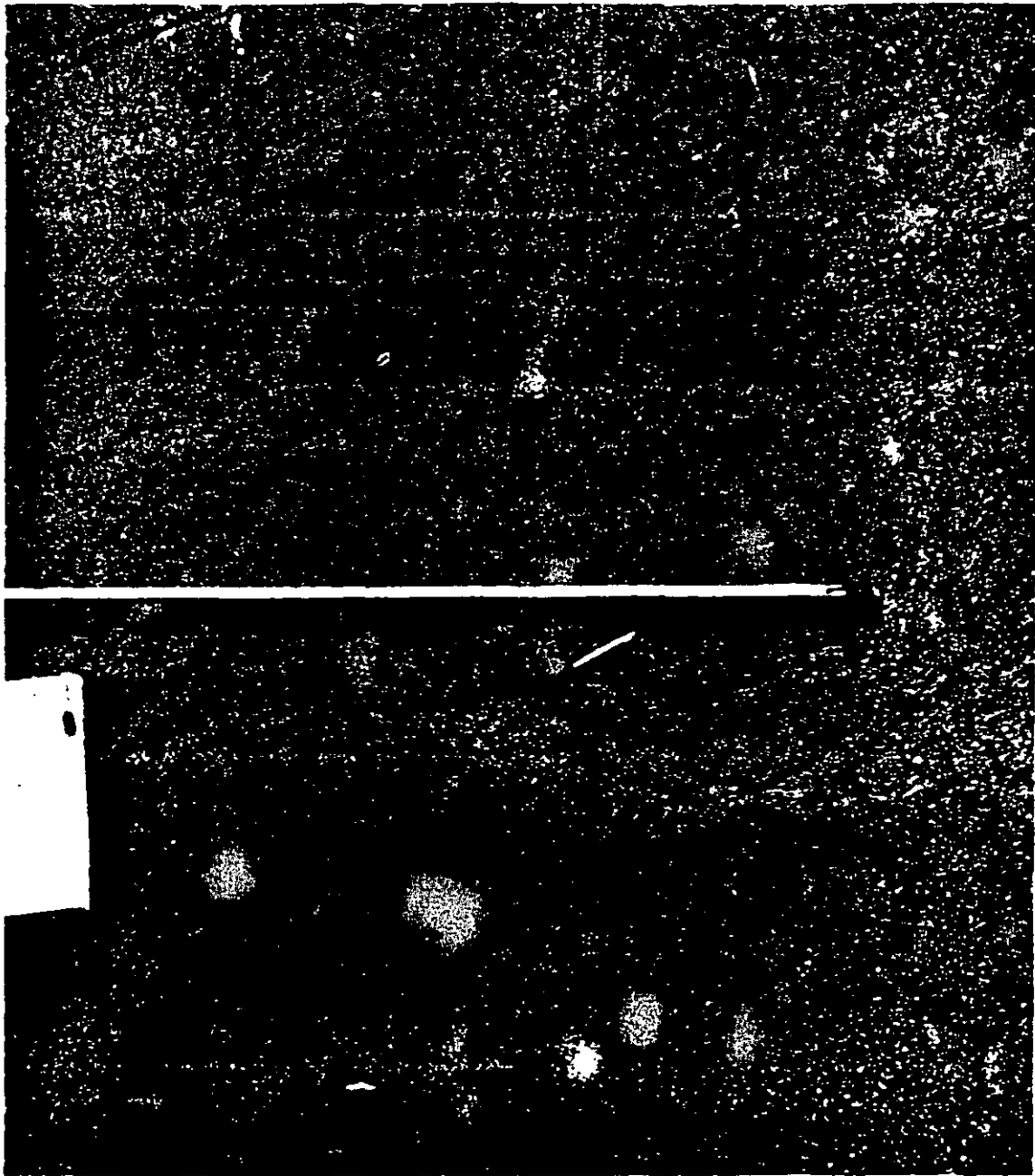


Fig. 2.5-42 Asentamientos y agrietamientos tipo piel de cocodrilo con espacios estrechos, lo cual es indicativo que el problema esta en las capas cercanas a la superficie



Fig. 2.5-43 Hundimiento y grietas en forma de piel de cocodrilo en un bacheo que resultó de baja resistencia en una calle de rodaje. Es necesario utilizar los materiales adecuados y seguir los procedimientos de reparación correctos para no estar continuamente reparando el mismo bache



Fig. 2.5-44 Agrietamiento tipo mapa con preponderancia de grietas longitudinales, acompañadas de hundimientos de corta amplitud en la zona de toma de contacto de los aviones en la pista



Fig. 2.5-45 Posibles grietas de contracción en las franjas laterales de la calle de rodaje, en combinación con agrietamientos tipo mapa (en la franja central de rodaje de los aviones)

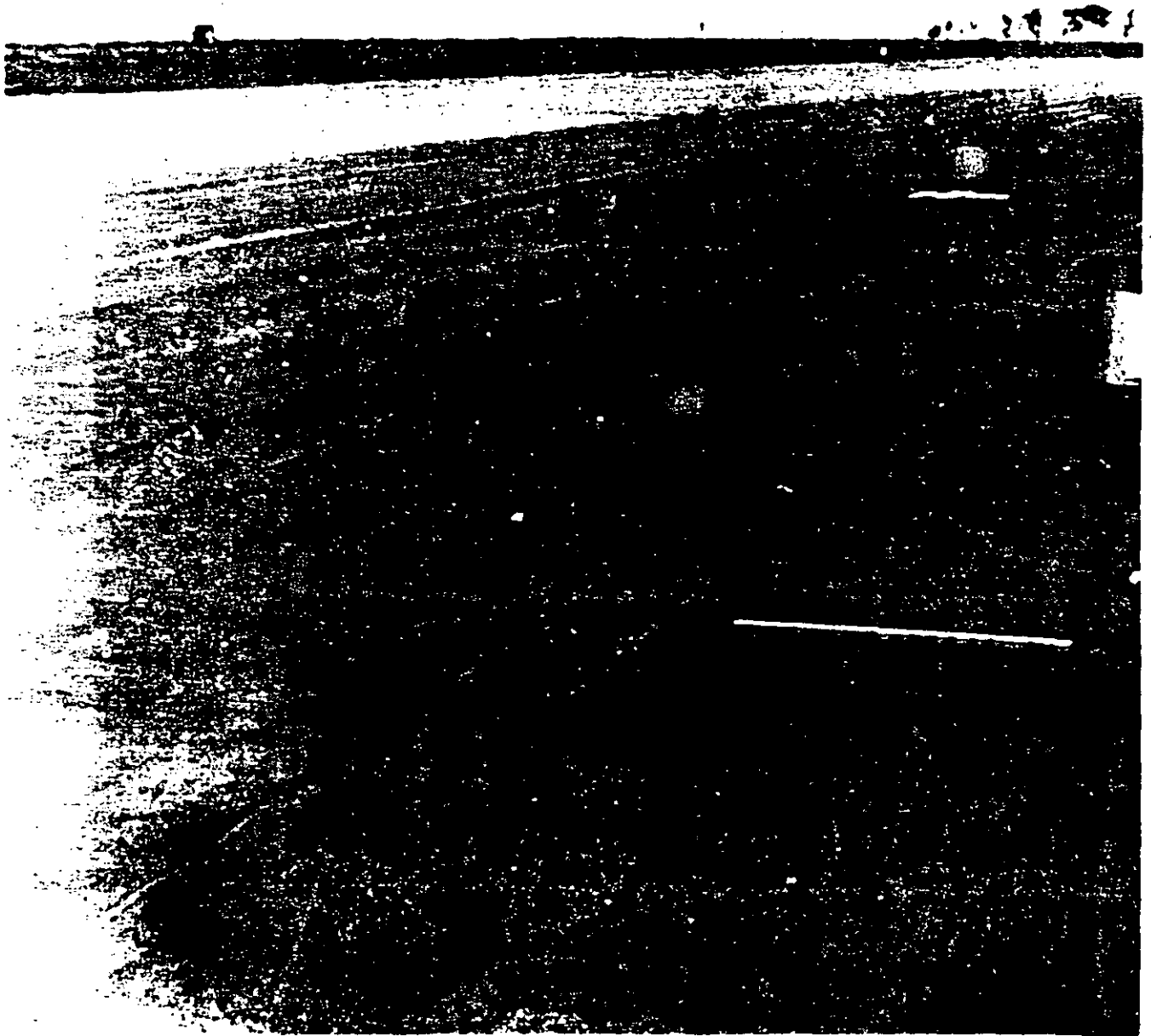


Fig. 2.5-46 Crecimiento de hierba en el acotamiento de una calle de rodaje



Fig.2.5-47 Crecimiento de hierbo en la orilla de un pista Es necesario eliminarlo antes de que crezca demasiado y dañe el pavimento



Fig. 2.5-48 Afloramiento de agua al paso de las cargas, probablemente debido a la sobresaturación de las capas del pavimento y de la subrasante y a la inexistencia de subdrenaje



Fig.2.5-49 Afloramiento de agua a través de las grietas, cuando pasan los cargos en una calle de rodaje subdrenaje no funciona



Fig. 2.5-50 Bolsas de agua atrapada en una carpeta con mortero asfáltico, la cual es expulsada al aplicar ligeras cargas sobre el pavimento



Fig. 2.5-51 Otra muestra de como brota el agua por la carga aplicada al pavimento



Fig. 2.5-52 Afloramiento de agua en la orilla de la pista

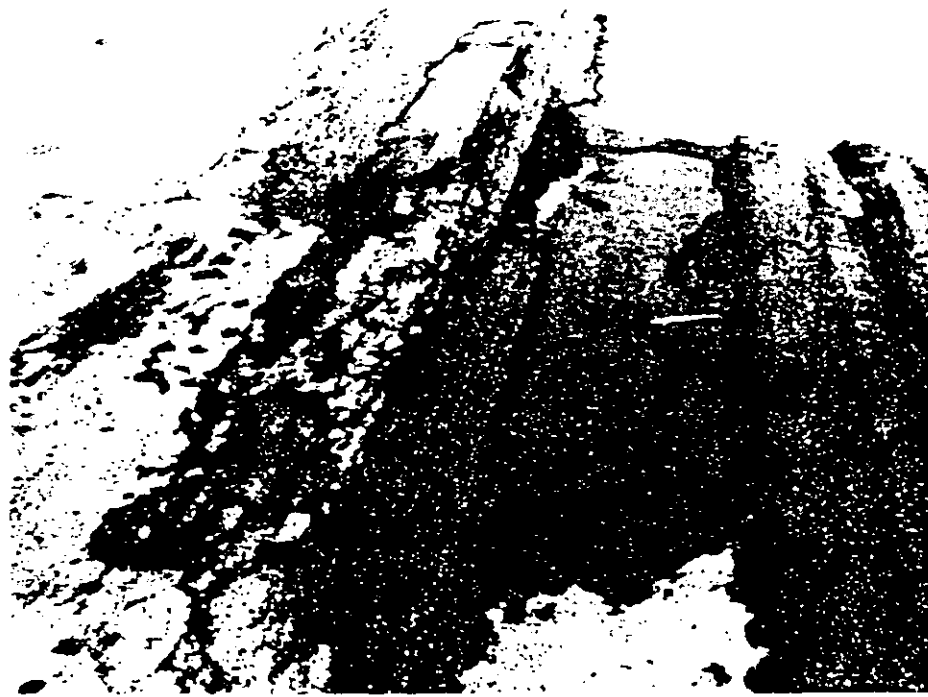


Fig. 2.5-53 Mortero asfáltico que se ha desprendido del pavimento de la pista después de dos años de haber sido colocado

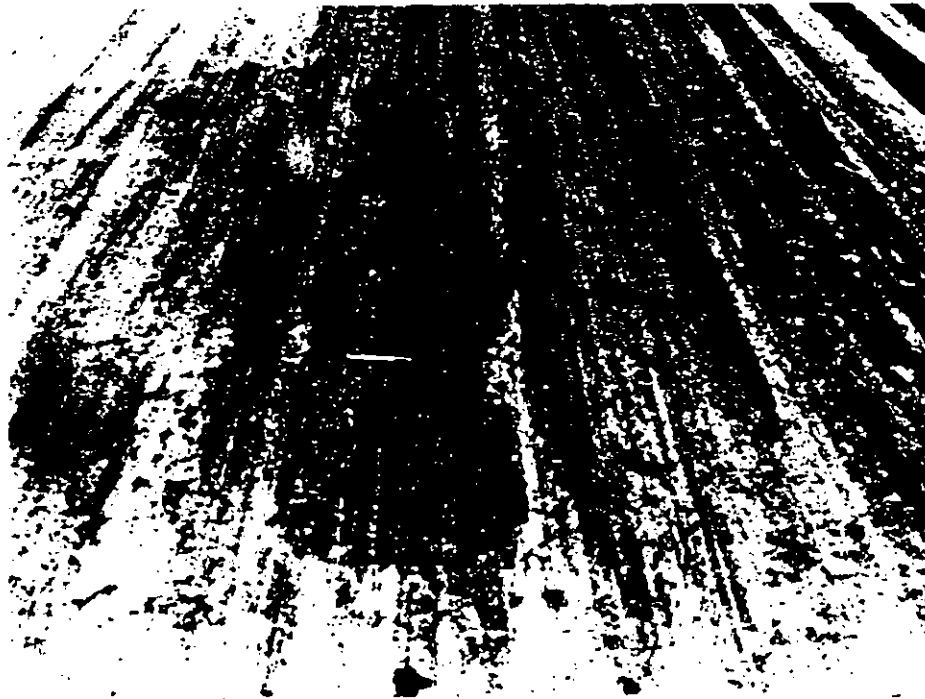


Fig. 2.5-54 Otra zona de desprendimiento en la misma pista

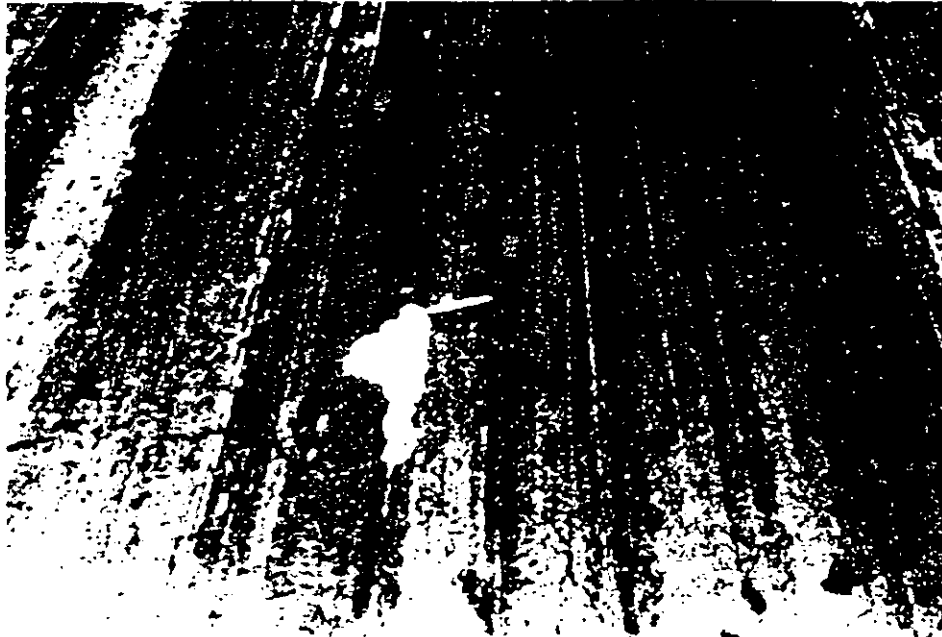


Fig. 2.5-55 Pavimento con tratamiento superficial de mortero asfáltico, al despi nderse el mortero asfáltico quedó al descubierto la marca de pintura blanca sobre la carpeta de la pista



Fig. 2.5-56 Los pedazos de mortero asfáltico desprendidos y los charcos que se forman, constituyen un peligro para las operaciones aeronáuticas

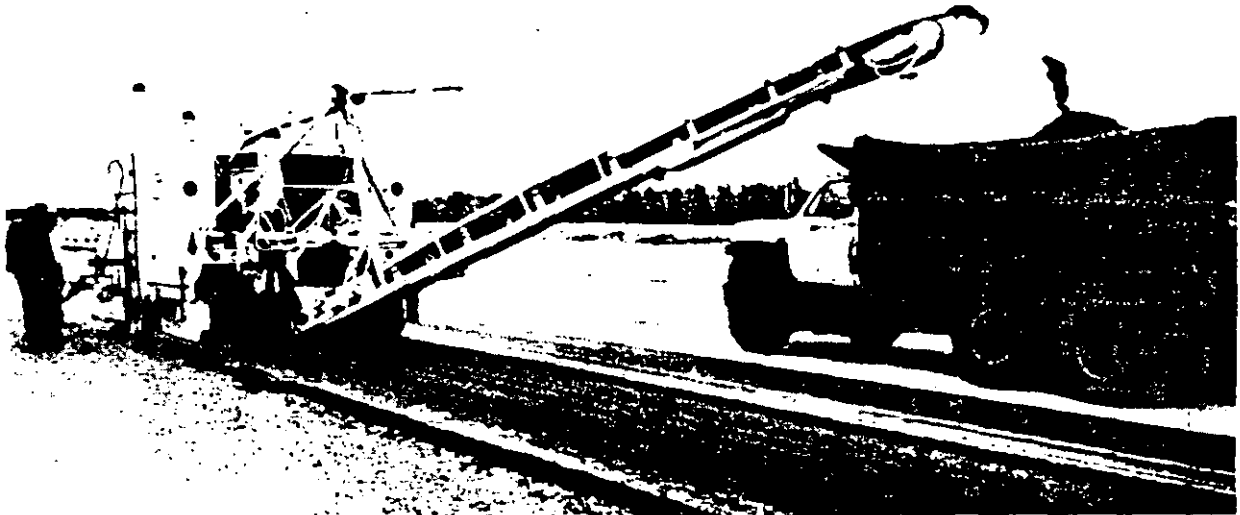


Fig.2.5-57 Máquina perfiladora en frío

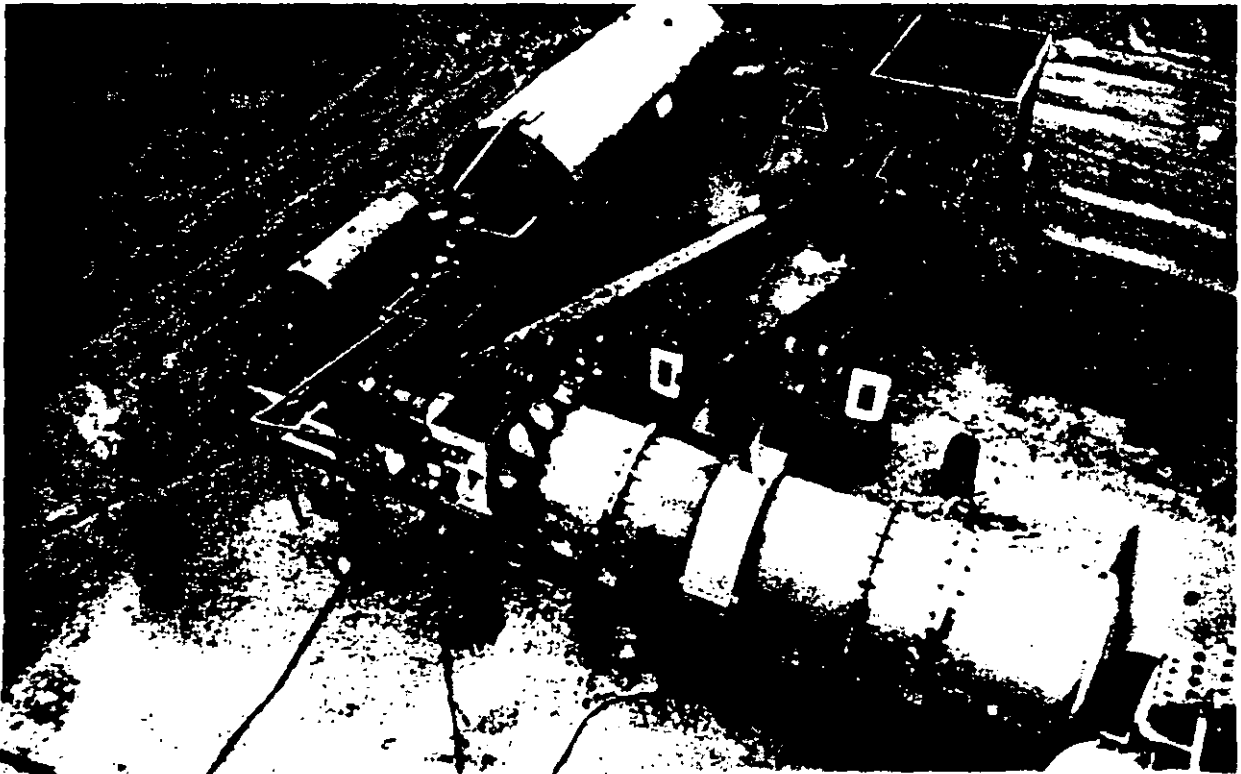


Fig. 2.5 - 58 Planta de concreto asfáltico en caliente. La alimentación de la izquierda es para el material pétreo virgen y la de la derecha para el material a reciclar



Fig. 2.5-59 Reciclado de carpetas asfálticas.—Equipo automático utilizando para las etapas de calentamiento y escarificación. El calentamiento se hace a base de sopletes instalados abajo de la plataforma, que puede verse en la parte central



Fig.2.5-60 Reciclado de carpetas.—Escarificación a base de fornillos acoplados en arcos flexibles, que a su vez van montados en la plataforma móvil



Fig. 2.5-61 Reciclado de carpetas.—Redistribución del material escarificado

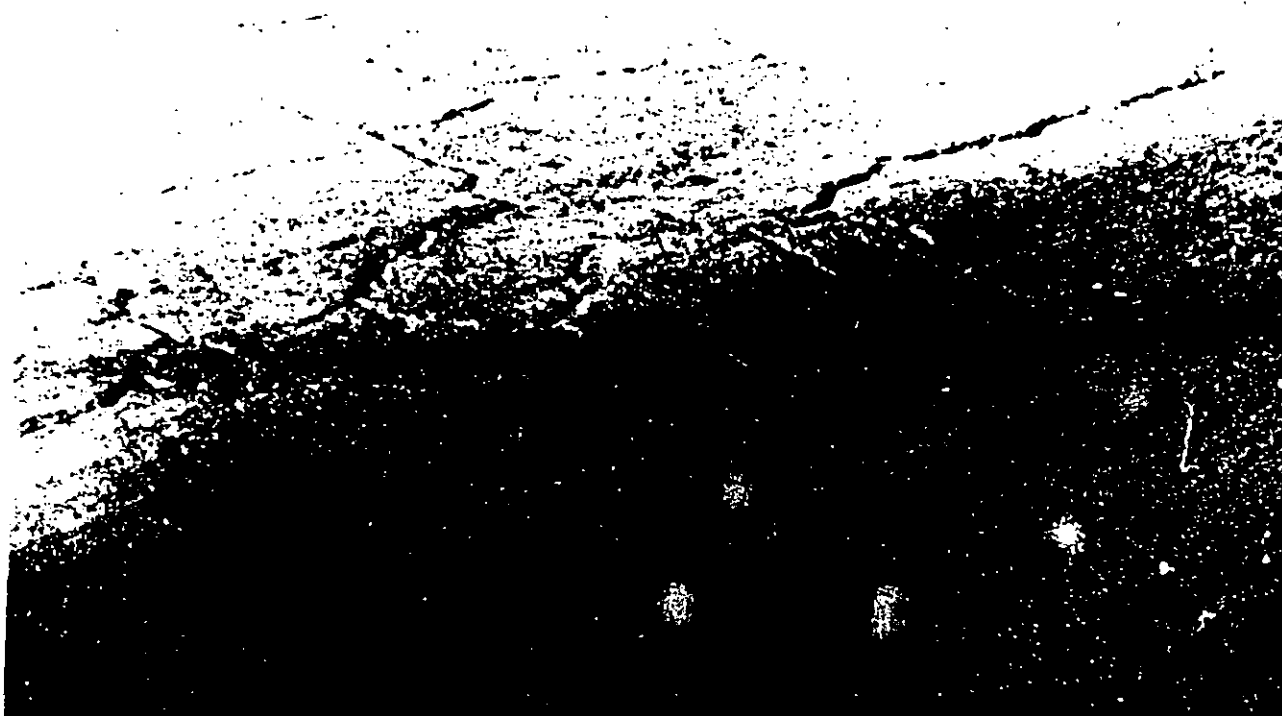


Fig. 2.5-62 Reciclado de carpetas.—Aspectos que presenta la carpeta: Después de la aplicación del producto "Reclamite" (parte inferior derecha) y antes del tratamiento (parte superior izquierda)



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

MANTENIMIENTO MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

ING. BENJAMIN BARREDA AMIGON

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

EXPOSITOR: ING. ENJAMIN BARREDA AMIGON

TEMA: MANTENIMIENTO MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

GENERALIDADES

NUNCA SE HA CONSTRUIDO UN PAVIMENTO QUE NO EXIJA MANTENIMIENTO. EL MANTENIMIENTO COMIENZA TAN PRONTO COMO SE TERMINA LA CONSTRUCCION DE UN PAVIMENTO NUEVO, Y ES LA TECNICA PARA MANTENER UN PAVIMENTO EN CONDICIONES DE MAXIMA UTILIDAD CON UN MINIMO DE GASTO Y DE MOLESTIAS PARA EL TRANSITO.

CUANDO EL COSTO DE MANTENIMIENTO REBASA UN LIMITE ECONOMICO, SE PLANTEA LA NECESIDAD DE PROPORCIONAR MANTENIMIENTO MAYOR QUE DARA AL PAVIMENTO SUS CARACTERISTICAS ORIGINALES Y QUE SE CONSIDERA COMO UN SIGNIFICATIVO INCREMENTO DE LA VIDA FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.

MANTENIMIENTO MAYOR

LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO MAYOR SE PUEDEN DIVIDIR EN DOS GRANDES GRUPOS:

- EL PRIMERO COMPRENDE LOS METODOS DE MANTENIMIENTO QUE NO CONSIDERAN LA UTILIZACION DE SOBRECAPAS. ENTRE ESTOS SE PUEDEN MENCIONAR LOS SIGUIENTES:

1.- REPARACION A TODA LA PROFUNDIDAD DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, BACHEO PROFUNDO.

a.- SE ELIMINA EL MATERIAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO Y DE LA BASE EN LA ZONA AGRIETADA HASTA LA PROFUNDIDAD A QUE SE HA PRODUCIDO LA FALLA DE LA BASE. EN ALGUNOS CASOS ESTO PUEDE SIGNIFICAR QUE HABRA QUE ELIMINAR TAMBIEN PARTE DE LA SUBRASANTE SITUADA BAJO LA BASE.

FRECUENTEMENTE SE OBSERVARA, EN ESTA ETAPA DE LA REPARACION, QUE LA FALLA SE DEBE A LA ACCION DEL AGUA. SI ES ASI, DEBEN TOMARSE LAS MEDIDAS NECESARIAS PARA ELIMINARLAS, COMO POR EJEMPLO LA CONSTRUCCION DE UNA RED DE SUBDRENAJE.

- b).- AL ELIMINAR LAS CAPAS DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO Y DE BASE, DEBE EXTENDERSE LA EXCAVACION AL MENOS 30 CM POR FUERA DEL PERIMETRO DE LA ZONA AGRIETADA, PARA QUE LA REPARACION ESTE UNIDA A MATERIAL ESTABLE EN TODO SU PERIMETRO. SI NO SE HACE ASI, SE PRODUCIRAN DE NUEVO LAS GRIETAS ALREDEDOR DEL BORDE DEL BACHE, USUALMENTE EN UNA ZONA DE 15 A 30 CM DE ANCHO ALREDEDOR DE EL.
- c).- AL EXTRAER EL MATERIAL DE LA ZONA A REPARAR, LAS CAPAS CORTADAS DEBEN SER RECTAS Y VERTICALES. DEBE DARSE A LA EXCAVACION TAL FORMA QUE EXISTA EN LA DIRECCION DEL TRANSITO UN APOYO RECTANGULAR, CONTRA EL QUE PUEDA COLOCARSE EL MATERIAL DE RELLENO.
- d).- SE RELLENA LA ZONA EXCAVADA CON UNA BUENA BASE GRANULAR. COMPACTADA EN CAPAS, SI ES NECESARIO. SI NO SE DISPONE DE UN MATERIAL DE BASE CON BUENA GRANULOMETRIA, DEBE HACERSE EL RELLENO CON EL MATERIAL LOCAL MAS ADECUADO QUE SE DISPONGA. EN ALGUNOS CASOS, CUANDO LA ZONA A RELLENAR NO ES DEMASIADO PROFUNDA, PUEDE HACERSE TODO EL RELLENO CON LA MISMA MEZCLA QUE VAYA A EMPLEARSE PARA LA CAPA DE SUPERFICIE.
- e).- SE APLICA UN RIEGO DE LIGA A LA SUPERFICIE DE LA BASE GRANULAR.
- f).- SE TERMINA LA CAPA DE SUPERFICIE CON UNA MEZCLA ASFALTICA. ES PREFERIBLE QUE SE TRATE DE UN MATERIAL MEZCLADO EN CALIENTE; PERO SI NO SE DISPONE DE MATERIAL DE ESTE TIPO, PUEDE EMPLEARSE, CON RESULTADOS SATISFACTORIOS, UNA MEZCLA EN FRIO.
- g).- SEA CUAL FUERE EL MATERIAL EMPLEADO, CADA CAPA DEBE COMPACTARSE PERFECTAMENTE.

2.- REPARACION A PROFUNDIDAD PARCIAL DEL PAVIMENTO.

GENERALMENTE ESTE PROCEDIMIENTO SE APLICA A PAVIMENTOS EN DONDE UNICAMENTE HA FALLADO LA CARPETA ASFALTICA POR DEFICIENCIA EN SU CALIDAD Y/O FATIGA PROVOCADA POR LAS REPETICIONES DE CARGA.

- a).- SE ELIMINA LA CARPETA ASFALTICA DAÑADA, EXTENDIENDO LA EXCAVACION AL MENOS 30 CM POR FUERA DEL PERIMETRO DE LA ZONA DAÑADA.
- b).- LA SUPERFICIE DESCUBIERTA, EN CASO DE SER NECESARIO SE RECOMPACTA.
- c).- SE BARRE LA SUPERFICIE Y SE APLICA UN RIEGO DE LIGA.
- d).- SE APLICA A ESTA ZONA UNA CAPA DE MEZCLA ASFALTICA (EN ESTE CASO TAMBIEN ES PREFERIBLE QUE SE TRATE DE MEZCLA EN CALIENTE, PERO SI NO SE DISPONE DE ELLA PUEDE EMPLEARSE MEZCLA EN FRIO). AL APLICAR ESTE TIPO DE REPARACION, DEBE TENERSE CUIDADO DE TERMINAR CUIDADOSAMENTE LOS BORDES A FIN DE EVITAR ALGUN DESNIVEL.
- e).- SE COMPACTA EL BACHE SUPERFICIAL.

3.- SELLADO DE JUNTAS Y GRIETAS

LAS GRIETAS PUEDEN DEBERSE A CONTRACCION O A ASENTAMIENTO. SI SU ABERTURA ES INFERIOR A 3 MM, PUEDE SER CONVENIENTE NO HACER NADA, A MENOS QUE EL AGUA PUEDA ENTRAR EN LA BASE Y CAUSAR DAÑOS MAYORES. SI LA ABERTURA DE LAS GRIETAS ES SUPERIOR A 3 MM, DEBEN SELLARSE.

- 1.- SACAR LAS MATERIAS EXTRAÑAS DE LA GRIETA MEDIANTE UN CHORRO DE AIRE COMPRIMIDO.
- 2.- SI HAY ZONAS DESCASCARADAS A LO LARGO DE LA GRIETA, DEBE ELIMINARSE EL BORDE DEL MATERIAL SUELTO.

3.- LAS GRIETAS PUEDEN LLENARSE MEDIANTE UNO DE LOS METODOS SIGUIENTES:
EN LAS GRIETAS LIMPIAS PUEDE VERVERSE ASFALTO MEZCLADO CON HULE DE CACHETE DE LLANTA Y POLIETILENO, EN GRIETAS CON ABERTURA MAS O MENOS IMPORTANTE, LA GRIETA SE PUEDE LLENAR CON UNA MEZCLA DE ARENA Y ASFALTO.

PARA EL CASO DE JUNTAS EL PROCESO ES SIMILAR.

4.- INYECCION DE ASFALTO BAJO PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

LA INYECCION DE ASFALTO BAJO PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO, PARA EVITAR LA FILTRACION DE AGUA A TRAVES DE LAS JUNTAS Y GRIETAS DEL PAVIMENTO, O SU ACUMULACION BAJO LAS LOSAS CUANDO PROCEDE DEL TERRENO, DEBE REALIZARSE A LOS PRIMEROS SINTOMAS DE FALLAS. LA ACUMULACION DE AGUA (QUE PROCEDE DE LA SUPERFICIE O DEL TERRENO) BAJO UN PAVIMENTO DE CONCRETO, REDUCE EL PODER PORTANTE DE ESTE, PERMITIENDO DEFLEXIONES EXCESIVAS Y DANDO LUGAR AL AGRIETAMIENTO Y DESTRUCCION DEL PAVIMENTO. ESTO ES PARTICULARMENTE IMPORTANTE EN LOS BORDES Y ANGULOS DE LAS LOSAS, DONDE LAS CARGAS REPETIDAS TIENDEN A PRODUCIR UNA COMPACTACION ADICIONAL DEL TERRENO, DEJANDO CAVIDADES EN LAS QUE PUEDE ACUMULARSE EL AGUA SUPERFICIAL, REBLANDECIEN-
DOLO. LA APLICACION DE UN SELLADO EFECTIVO DE LAS JUNTAS Y BORDES, ANTES DE QUE ESTE ESTADO SE AGRAVE, ES ALTAMENTE DESEABLE COMO MEDIDA PREVENTIVA DE CONSERVACION.

LA DETECCION DE LAS CAVIDADES DEL TERRENO EN SUS PRINCIPIOS, PUEDE SER A VECES DIFICIL Y REQUIERE EL OJO EXPERTO DE UN INGENIERO DE CONSERVACION DEBIDAMENTE PREPARADO, ADEMAS DE UN CUIDADOSO ESTUDIO DE CAMPO. EL MOMENTO IDEAL PARA OBSERVAR CUALQUIER TENDENCIA AL MOVIMIENTO DE LAS LOSAS, ES INMEDIATAMENTE DESPUES DE UNA LLUVIA INTENSA, O TAN PRONTO COMO SE HA SECADO LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO, YA QUE PODRA OBSERVARSE LA APARICION DE AGUA A TRAVES DE LA JUNTA O POR LOS BORDES DEL PAVIMENTO BAJO LOS EFECTOS DEL TRANSITO. CUANDO ESTE ESTADO SE AGRAVA, PROGRESIVAMENTE APARECE EN LA SUPERFICIE DE LAS LOSAS, PRIMERAMENTE AGUA TURBIA, Y FINALMENTE EL MATERIAL DE LA BASE EN FORMA DE LODO.

OTROS SINTOMAS SON, EL RUIDO HUECO PRODUCIDO POR EL PASO DE UN VEHICULO SOBRE UNA CAVIDAD O EL ASENTAMIENTO DE UNA LOSA EN LAS JUNTAS, QUE PUEDE DAR LUGAR, INCLUSO AL PRINCIPIO DE ESTOS FENOMENOS, A UNA SUPERFICIE IRREGULAR Y, FINALMENTE A LA ROTURA DE LA LOSA QUE COMIENZA CON GRIETAS EN LOS ANGULOS Y BORDES.

LA INYECCION DE ASFALTO BAJO LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO SE HACE, NORMALMENTE, SIMULTANEAMENTE CON LA INSTRUCCION DE SOBRECARPETA DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO RIGIDO. COMO DEBEN ESTABILIZARSE TODAS LAS LOSAS Y SUPERFICIES DE CONCRETO TAN COMPLETAMENTE COMO SEA POSIBLE, SIEMPRE ES ACONSEJABLE CONSTRUIR UNA SOBRECARPETA TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE, DESPUES DE INYECTAR.

EQUIPO NECESARIO

EN UNA ORGANIZACION ELEMENTAL MINIMA DE CONSERVACION, ES NECESARIO EL SIGUIENTE EQUIPO:

- UN DISTRIBUIDOR A PRESION AISLADO, CON TANQUE DE CAPACIDAD NO INFERIOR A 2,000 L, PROVISTO DE:
 - * TERMOMETRO DE MERCURIO
 - * MANOMETRO
 - * BOMBA ROTATIVA ACCIONADA POR MOTOR
 - * TUBERIAS DE CIRCULACION DE ASFALTO FORMANDO CIRCUITO CERRADO
 - * UNA O VARIAS VALVULAS DE ENTREGA DE ASFALTO
 - * UNA CALDERA DE CALENTAMIENTO DE CAPACIDAD SUFICIENTE PARA ATENDER AL EQUIPO (ESTE MATERIAL NO ES NECESARIO SI SE RECIBE EL ASFALTO EN OBRA A LA TEMPERATURA DESEADA)
 - * UN COMPRESOR DE CAPACIDAD SUFICIENTE PARA HACER FUNCIONAR DOS MARTILLOS PERFORADORES PROVISTOS DE UNA MANGUERA DE AIRE SUPLEMENTARIA PARA ELIMINAR EL POLVO DE LOS AGUJEROS, POR SOPLADO.

* UNA O DOS BOQUILLAS DE TIPO ADECUADO QUE CIERREN PERFECTAMENTE EL ORIFICIO DEL PAVIMENTO CUANDO SE COLOCAN EN EL, Y A TRAVES DE LAS QUE SE BOMBEA EL ASFALTO, PROVISTAS DE UNA VALVULA DE REGULACION ADECUADA QUE CONTROLE ADECUADAMENTE LA PENETRACION DE ASFALTO EN CALIENTE BAJO EL PAVIMENTO RIGIDO. LOS APLICADORES DEBEN ESTAR PROVISTOS DE:

- 1.- MANGUERA METALICA FLEXIBLE PARA CONECTAR LA BOQUILLA AL DISTRIBUIDOR DE ASFALTO.
- 2.- ROPA DE SEGURIDAD ADECUADA PARA LOS TRABAJADORES.
- 3.- TAPONES DE MADERA PARA CERRAR LOS ORIFICIOS Y OTRAS PEQUEÑAS HERRAMIENTAS DIVERSAS Y CAMIONES AUXILIARES.
- 4.- BALIZAMIENTO NECESARIO PARA EL CONTROL DE TRAFICO.

EL NUMERO Y TAMAÑO DE LOS DIVERSOS ELEMENTOS NECESARIOS, DEPENDERA DEL VOLUMEN DE TRABAJO A REALIZAR Y DE LOS DIAS CON QUE SE CUENTA PARA REALIZAR TODAS LAS OPERACIONES, Y DEBE EXIGIRSE AL CONTRATISTA, QUE ORGANICE SU TRABAJO DE FORMA QUE CUMPLA LOS TERMINOS DEL CONTRATO.

SEPARACION DE LOS ORIFICIOS

EN GENERAL, CUANDO EXISTEN CAVIDADES PEQUEÑAS O NO PRESENTA ASENTAMIENTO LA LOSA, DEBEN PERFORARSE LOS ORIFICIOS DE 30 A 50 CM DE LA GRIETA O JUNTA TRANSVERSAL. CUANDO SE HA PRODUCIDO ASENTAMIENTO DEBEN PERFORARSE ORIFICIOS A UNA DISTANCIA DE 60 A 75 CM DE LA GRIETA O JUNTA. UN ORIFICIO A 90 CM DE LA GRIETA TRANSVERSAL, EN EL CENTRO DE LA BANDA DE TRAFICO, PUEDE LEVANTAR SATISFACTORIAMENTE LA LOSA, ASI COMO PERMITIR INYECTAR BAJO ELLA, INCLUSO EN LOS CASOS MAS GRAVES. SI ES NECESARIO OBTENER UN RECUBRIMIENTO TOTAL DE LA LOSA POR DEBAJO, ADEMAS DE LOS ORIFICIOS QUE HEMOS DESCRITO JUNTO A LAS JUNTAS, DEBEN PERFORARSE ORIFICIOS LONGITUDINALMENTE, SEPARADOS A DISTANCIAS DE 3.5 A 7 M, DEPENDIENDO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

ALTERNADAMENTE A UNO U OTRO LADO DEL EJE DE LA GARRETERA,
Y APROXIMADAMENTE A 1 M DE ELLA.

SI EL COSTO DE PERFORACION ES BAJO, PUEDE SER ACONSEJABLE PERFORAR ORIFICIOS SEGUN UNA DISTRIBUCION PREVIAMENTE ESTUDIADA, Y APROXIMADAMENTE UNO POR CADA 10 M2 DE PAVIMENTO. EMPLEANDO UNA DISTRIBUCION DE ESTE TIPO, PROBABLEMENTE NO SERA NECESARIO INYECTAR ASFALTO EN MAS DE DOS TERCIOS DE LOS ORIFICIOS, SIRVIENDO LOS RESTANTES COMO COMPROBACION DE LA DISTRIBUCION DEL ASFALTO, PUDIENDO TAPARSE CUANDO ESTE APARECE A TRAVES DE ELLOS.

EN LAS LOSAS PARA PISTAS DE AEROPUERTOS, LOS ORIFICIOS DEBEN PERFORARSE A LOS LADOS ALTERNOS DE LAS JUNTAS Y CON UNA DISTANCIA ENTRE CENTROS DE 3.5 M, APROXIMADAMENTE. EMPLEANDO ESTE METODO NO HAN SURGIDO DIFICULTADES POR ROMPERSE LOSAS DURANTE LA INYECCION. TENIENDO EN CUENTA LAS CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES DE CADA CASO, PUEDEN ESTUDIARSE OTRAS DISTRIBUCIONES, PERO DEBE TENERSE CUIDADO PARA EVITAR LA ROTURA DE LAS LOSAS.

CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL ASFALTO

DENTRO DEL MARGEN FIJADO POR LAS ESPECIFICACIONES, EL INGENIERO DEBE REGULAR LA TEMPERATURA DEL ASFALTO DE ACUERDO CON EL TIPO DE LOS ORIFICIOS QUE SE RELLENAN Y EL GRADO DE ASFALTO EMPLEADO. EN GENERAL, LA PRESENCIA DE CAVIDADES PEQUEÑAS O UN EXCESO DE HUMEDAD PUEDE EXIGIR EL EMPLEO DE UNA TEMPERATURA MAS ELEVADA, QUE CUANDO LAS CIRCUNSTANCIAS SON DISTINTAS.

CANTIDAD DE ASFALTO

LA CANTIDAD DE ASFALTO NECESARIA EMPLEANDO ESTE METODO, VARIA SEGUN EL ESTADO DEL PAVIMENTO Y EL TERRENO EN EL MOMENTO DE LA OPERACION.

CUANDO SOLAMENTE EXISTEN CAVIDADES DE PEQUEÑA IMPORTANCIA Y EL MOVIMIENTO DE LA LOSA NO HA DADO LUGAR A VIBRACIONES FUERTES, PUEDEN OBTENERSE RESULTADOS COMPLETAMENTE SATISFACTORIOS CON UNOS 2L/M2 O 6L/M2, CUANDO EXISTEN FALLAS MAS IMPORTANTES.

JUNTAS Y GRIETAS

LOS PROGRAMAS DE INYECCION BAJO LAS LOSAS NO DEBEN CONFUNDIRSE CON LAS OPERACIONES NORMALES (SOBRE LA LOSA) DE SELLADO DE JUNTAS Y GRIETAS. SI LAS JUNTAS Y GRIETAS NECESITAN LA APLICACION DE UN SELLADO, ESTA OPERACION DEBE REALIZARSE ANTES DE LA INYECCION INFERIOR Y POR SEPARADO.

- 5.- REBAJADO, RANURADO Y FRESADO DE PAVIMENTOS PARA RESTAURAR LA LISURA O LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO.

GENERALMENTE ESTOS METODOS SE UTILIZAN EN NUESTRO MEDIO PARA EL CASO DE PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO.

CONSIDERACIONES BASICAS

CON EL AUMENTO CONSTANTE DE LA MASA DE LAS AERONAVES Y EL CONSECUENTE AUMENTO SIGNIFICATIVO EN LA VELOCIDAD DE DESPEGUE Y DE ATERRIZAJE, HAN SURGIDO VARIOS PROBLEMAS OPERACIONALES CON LOS TIPOS CLASICOS DE SUPERFICIES DE PISTA. UNO DE LOS MAS IMPORTANTES Y POTENCIALMENTE PELIGROSO, ES EL FENOMENO DE HIDROPLANE0, AL QUE SE CONSIDERA RESPONSABLE DE VARIOS INCIDENTES Y ACCIDENTES SUFRIDOS POR LAS AERONAVES.

LOS ESFUERZOS REALIZADOS PARA AMINORAR EL PROBLEMA DEL HIDROPLANE0, HAN TENIDO COMO ULTIMA CONSECUENCIA LA PREPARACION DE NUEVOS TIPOS DE PAVIMENTOS DE PISTAS DE TEXTURA SUPERFICIAL PARTICULAR Y DE CARACTERISTICAS DE DRENAJE MEJORADAS. LA EXPERIENCIA HA INDICADO QUE ESTAS FORMAS DE TERMINACION SUPERFICIAL, APARTE DE REDUCIR EXITOSAMENTE EL RIESGO DE HIDROPLANE0,

PROPORCIONAN UN NIVEL DE FRICCION MUCHO MAYOR EN TODOS LOS GRADOS DE HUMEDAD, QUE VAN DESDE LA SUPERFICIE HUMEDECIDA HASTA LA INUNDADA.

ESTO HA TENIDO COMO CONSECUENCIA LA DETERMINACION DE LOS NIVELES MINIMOS DE FRICCION ACEPTABLES CON PISTA MOJADA, PARA LAS PISTAS NUEVAS Y ACTUALES. EN CONSECUENCIA, DEBERIA SOMETERSE A LAS PISTAS A UNA EVALUACION PERIODICA DE LOS NIVELES DE FRICCION UTILIZANDO LAS TECNICAS ESTABLECIDAS PARA TAL EFECTO.

REQUISITOS FUNCIONALES

SE SUPONE QUE UN PAVIMENTO DE PISTA, CONSIDERADO EN SU CONJUNTO, HA DE CUMPLIR CON LAS TRES FUNCIONES BASICAS SIGUIENTES:

- PROPORCIONAR UNA RESISTENCIA SUFICIENTE
- PROPORCIONAR UNA BUENA CALIDAD DE RODAMIENTO
- PROPORCIONAR BUENAS CARACTERISTICAS DE FRICCION EN LA SUPERFICIE

EL PRIMER CRITERIO SE REFIERE A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, EL SEGUNDO A LA FORMA GEOMETRICA DE LA SUPERFICIE DEL MISMO Y EL TERCERO A LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE REAL.

ESTOS TRES CRITERIOS SE CONSIDERAN ESENCIALES PARA LOGRAR UN PAVIMENTO QUE CUMPLA FUNCIONALMENTE CON LOS REQUISITOS OPERACIONALES. SIN EMBARGO, DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERACIONAL SE CONSIDERA QUE EL TERCERO ES EL MAS IMPORTANTE, DEBIDO A QUE TIENE UNA REPERCUSION DIRECTA SOBRE LA SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES DE LAS AERONAVES. TAMBIEN PUEDEN VERSE AFECTADAS LA REGULARIDAD Y LA EFICACIA. EN CONSECUENCIA, EL CRITERIO DE FRICCION PUEDE RESULTAR UN FACTOR DECISIVO EN LA SELECCION Y EN LA FORMA DEL ACABADO MAS ADECUADO DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

LAS PISTAS QUE SE ENCUENTRAN EN ESTADO SECO Y LIMPIO PROPORCIONAN, EN GENERAL, CARACTERISTICAS DE FRICCION COMPARABLES, CON DIFERENCIAS INSIGNIFICANTES PARA LAS OPERACIONES EN CUANTO A NIVELES DE FRICCION, SIN TENER EN CUENTA EL TIPO DE PAVIMENTO (ASFALTO/CONCRETO), NI LA CONFIGURACION DE LA SUPERFICIE. POR OTRO LADO, EL NIVEL DE FRICCION DISPONIBLE NO SE VE MUY AFECTADO POR LA VELOCIDAD DE LA AERONAVE.

EN CONSECUENCIA, LA OPERACION SOBRE SUPERFICIES DE PISTAS SECAS ES SATISFACTORIAMENTE HOMOGENEA Y EN ESTE CASO NO ES PRECISO APLICAR CRITERIOS TECNICOS PARTICULARES PARA LA FRICCION DE LA SUPERFICIE.

EN CONTRASTE, CUANDO LA SUPERFICIE DE LA PISTA SE VE AFECTADO POR EL AGUA EN CUALQUIER GRADO DE HUMEDAD (POR EJEMPLO, DESDE LA HUMEDAD HASTA LA INUNDACION)), LA SITUACION SE TORNA TOTALMENTE DIFERENTE. EN ESTE ESTADO, LOS NIVELES DE FRICCION PROPORCIONADO POR LAS PISTAS CAEN NOTABLEMENTE A PARTIR DEL VALOR EN SECO Y EXISTE UNA DISPARIDAD CONSIDERABLE EN EL NIVEL CONSECUENTE DE FRICCION ENTRE DIFERENTES SUPERFICIES. ESTA VARIANCIA SE DEBE A LAS DIFERENCIAS EN EL TIPO DE PAVIMENTO, A LA FORMA DE ACABADO SUPERFICIAL (TEXTURA) Y A LAS CARACTERISTICAS DE DRENAJE (FORMA). LA DISMINUCION DE LA FRICCION DISPONIBLE (QUE ES EVIDENTE SOBRE TODO CUANDO LA AERONAVE OPERA A ALTA VELOCIDAD), PUEDE TENER REPERCUSIONES GRAVES SOBRE LA SEGURIDAD, LA REGULARIDAD O LA EFICACIA DE LAS OPERACIONES. EL ALCANCE DEPENDERA DE LA FRICCION REALMENTE REQUERIDA EN FUNCION DE LA FRICCION PROPORCIONADA.

LA REDUCCION TIPICA DE LA FRICCION CUANDO UNA SUPERFICIE ESTA MOJADA Y LA REDUCCION DE LA FRICCION A MEDIDA QUE AUMENTA LA VELOCIDAD DE LA AERONAVE, SE EXPLICAN POR EL EFECTO COMBINADO DE LAS PRESIONES DE AGUA VISCOSA Y DINAMICA A LAS CUALES SE ENCUENTRA SOMETIDO EL NEUMATICO CON RELACION A LA SUPERFICIE.

ESTA PRESION CAUSA UNA PERDIDA PARCIAL DE CONTACTO "SECO", CUYA INTENSIDAD TIENDE A AUMENTAR CON LA VELOCIDAD. ESTAS SON CONDICIONES EN QUE LA PERDIDA ES PRACTICAMENTE TOTAL Y LA FRICCION CAE HASTA VALORES DESPRECIABLES. ESTO SE IDENTIFICA COMO HIDROPLANEAMIENTO VISCOSO-DINAMICO.

CRITERIOS FISICOS DE CALCULO

GENERALIDADES

EL PROBLEMA DE FRICCION EN LA SUPERFICIE DE LA PISTA AFECTADA POR EL AGUA, PUEDE INTERPRETARSE SEGUN EL ESTADO ACTUAL DE LA TECNICA, COMO UN PROBLEMA GENERALIZADO DE DRENAJE QUE CONSISTE EN TRES CRITERIOS DIFERENTES:

- a) DRENAJE SUPERFICIAL (FORMA DE LA SUPERFICIE)
- b) DRENAJE EN LA INTERFAZ NEUMATICO SUPERFICIE (MACRO TEXTURA)
- c) DRENAJE POR PENETRACION (MICROTEXTURA)

LOS TRES CRITERIOS PUEDEN SUFRIR EN GRAN MEDIDA LA INFLUENCIA DE LAS DISPOSICIONES TECNICAS Y ES IMPORTANTE OBSERVAR QUE HAY QUE CUMPLIR CON TODOS ELLOS PARA LOGRAR UNA FRICCION ADECUADA EN TODAS LAS CONDICIONES POSIBLES, DESDE LA SUPERFICIE HUMEDA HASTA LA INUNDADA.

DRENAJE DE LA SUPERFICIE

EL DRENAJE DE LA SUPERFICIE ES UN REQUISITO BASICO QUE REVISTE LA MAYOR IMPORTANCIA. SIRVE PARA REDUCIR AL MINIMO LA PROFUNDIDAD DE AGUA EN LA SUPERFICIE, EN PARTICULAR EN LA ZONA DE LA TRAYECTORIA DE LA RUEDA. EL OBJETIVO CONSISTE EN ESCURRIR EL AGUA DE LA PISTA EN EL TRAYECTO MAS CORTO POSIBLE, Y PARTICULARMENTE FUERA DEL AREA DEL TRAYECTO DE LA RUEDA. UNA SUPERFICIE CON UNA PENDIENTE CONVENIENTE (TANTO EN SENTIDO LONGITUDINAL COMO TRANSVERSAL) Y LA UNIFORMIDAD DE LA SUPERFICIE, SON LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES QUE PROPORCIONAN UN DRENAJE SUFICIENTE EN LAS SUPERFICIES. ADEMÁS, PUEDE AUMENTARSE LA CAPACIDAD DE DRENAJE MEDIANTE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

ESPECIALES, TAL COMO RANURAS TRANSVERSALES PROXIMAS ENTRE SI O BIEN COMENZANDO EL DESAGUE POR LOS VACIOS DE UNA CAPA ESPECIALMENTE TRATADA (CAPA POROSA). LA EFECTIVIDAD DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE DE LOS TIPOS MODERNOS DE SUPERFICIE, ES EVIDENTE POR EL HECHO DE QUE LAS SUPERFICIES SOMETIDAS AUN A PRECIPITACIONES INTENSAS, MANTIENEN SOLO EL ASPECTO DE HUMEDAD. SIN EMBARGO, DEBERIA ENTENDERSE CLARAMENTE QUE EL TRATAMIENTO ESPECIAL DE LA SUPERFICIE, NO REPRESENTA UNA SUSTITUCION DE UNA FORMA INCONVENIENTE DE LA PISTA, DEBIDA A PENDIENTES INSUFICIENTES O A UNA SUPERFICIE DESIGUAL. ESTA PUEDE SER UNA CONSIDERACION IMPORTANTE AL ADOPTAR UNA DECISION SOBRE EL METODO MAS EFICAZ DE MEJORAR LAS CARACTERISTICAS DE FRICCION CON PISTA MOJADA DE UNA SUPERFICIE DE PISTA EXISTENTE.

DRENAJE EN LA INTERFAZ NEUMATICO SUPERFICIE (MACROTEXTURA)

EL OBJETO DEL DRENAJE EN LA INTERFAZ DEBAJO DE UN NEUMATICO EN MOVIMIENTO, ES DOBLE:

- a) EVITAR EN LO POSIBLE QUE LA MASA DE AGUA RESIDUAL EN LA SUPERFICIE PASE A LA ZONA DELANTERA DE LA INTERFAZ
- b) DRENAR EL AGUA DE INTRUSION HACIA EL EXTERIOR DE LA INTERFAZ

EL OBJETIVO CONSISTE EN LOGRAR UNA DESCARGA RAPIDA DE AGUA DESDE LA PARTE INFERIOR DEL NEUMATICO, CON UN MINIMO DE AUMENTO EN LA PRESION DINAMICA. SE HA ESTABLECIDO QUE ESTO SOLO PUEDE LOGRARSE MEDIANTE UNA SUPERFICIE CON UNA MACROTEXTURA ABIERTA.

EL DRENAJE DE LA INTERFAZ ES EN REALIDAD UN PROCESO DINAMICO, O SEA QUE ES SUMAMENTE SUSCEPTIBLE AL CUADRADO DE LA VELOCIDAD. EN CONSECUENCIA, LA MACROTEXTURA ES PARTICULARMENTE IMPORTANTE PARA PROPORCIONAR FRICCION SUFICIENTE EN LA GAMA DE ALTAS VELOCIDADES. EN EL ASPECTO OPERACIONAL ESTO REVISTE LA MAYOR IMPORTANCIA DEBIDO A QUE ES EN ESTA GAMA DE VELOCIDADES EN QUE ES MAS CRITICA LA FALTA DE FRICCION SUFICIENTE CON RESPECTO A LA DISTANCIA DE PARADA Y A LA CAPACIDAD DE CONTROL DE FRICCION

EN ESTE CONTEXTO SERA UTIL HACER UNA COMPARACION ENTRE LAS TEXTURAS APLICADAS EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y EN LAS PISTAS. LAS TEXTURAS MAS LISAS PROPORCIONADAS POR LAS SUPERFICIES DE LAS CARRETERAS, PUEDEN PROPORCIONAR UN DRENAJE SUFICIENTE DE LA HUELLA DE UN NEUMATICO DE AUTOMOVIL, DEBIDO AL RELIEVE DEL NEUMATICO QUE CONTRIBUYE MUCHO AL DRENAJE EN LA INTERFAZ. SIN EMBARGO, LOS NEUMATICOS DE AERONAVE NO PUEDEN FABRICARSE CON RELIEVES DE ESTE TIPO Y SOLO POSEEN VARIAS RANURAS CIRCUNFERENCIALES QUE CONTRIBUYEN MUCHO MENOS AL DRENAJE EN LA INTERFAZ. SU EFECTIVIDAD DISMINUYE RELATIVAMENTE RAPIDO AL DESGASTARSE EL NEUMATICO. SIN EMBARGO, EL FACTOR MAS VITAL QUE DETERMINA EL REQUISITO DE MACROTEXTURA, ES LA GAMA DE VELOCIDADES, MUCHO MAYOR, EN LA CUAL OPERA LA AERONAVE. ESTO PUEDE EXPLICAR POR QUE ALGUNAS SUPERFICIES CLASICAS DE PISTA QUE SE CONSTRUYERON SEGUN ESPECIFICACIONES SIMILARES A LAS SUPERFICIES DE LAS CARRETERAS (DE TEXTURA RELATIVAMENTE CERRADA), PRESENTAN UNA DISMINUCION SEÑALADA EN LA FRICCION CON PISTA MOJADA AL AUMENTAR LA VELOCIDAD Y CON FRECUENCIA UNA SUSCEPTIBILIDAD AL HIDROPLANEAO DINAMICO, CON UN CONTENIDO DE AGUA RELATIVAMENTE POCO PROFUNDO.

PUEDE PROPORCIONARSE UNA MACROTEXTURA SUFICIENTE MEDIANTE SUPERFICIES DE CONCRETO HIDRAULICO O ASFALTICO, AUNQUE NO CON IGUAL ESFUERZO, ESTABILIDAD NI EFECTIVIDAD. EN LAS SUPERFICIES DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO, LA MACROTEXTURA REQUERIDA PUEDE OBTENERSE CON PEINE DE ALAMBRE TRANSVERSAL, CUANDO LA SUPERFICIE SE ENCUENTRA AUN ES ESTADO PLASTICO O CON RANURAS TRANSVERSALES POCO ESPACIADAS. EN LAS SUPERFICIES ASFALTICAS LA MACROTEXTURA PUEDE LOGRARSE MEDIANTE SUPERFICIES DE TEXTURA CELULAR.

OTRO CRITERIO DE CALCULO EXIGE LA MAYOR UNIFORMIDAD POSIBLE DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE. ESTE REQUISITO ES IMPORTANTE PARA EVITAR LAS FLUCTUACIONES INDEBIDAS EN LA FRICCION DISPONIBLE, QUE COMO CONSECUENCIA REDUCIRIA LA EFICACIA DEL FRENADO ANTIDERRAPANTE O PODRIA CAUSAR DAÑOS A LOS NEUMATICOS.

EL ACABADO SUPERFICIAL, QUE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE FRICCIÓN CON PISTA MOJADA, SE CONSIDERA DE LA MAYOR EFICACIA, ES EL RANURADO EN EL CASO DEL CONCRETO HIDRAULICO, O LA CAPA POROSA DE FRICCIÓN EN EL CASO DEL ASFALTO. SU EFECTIVIDAD PUEDE EXPLICARSE POR EL HECHO DE QUE NO SOLO PROPORCIONA UN BUEN DRENAJE EN LA INTERFAZ, SINO QUE CONTRIBUYE NOTABLEMENTE AL DRENAJE DE LA MASA DE AGUA.

DRENAJE POR PENETRACION (MICROTEXTURA)

EL OBJETO DEL DRENAJE POR PENETRACION, ES ESTABLECER UN CONTACTO "SECO" ENTRE LAS ASPEREZAS DE LA SUPERFICIE Y EL RELIEVE DEL NEUMATICO EN PRESENCIA DE UNA PELICULA DE AGUA DELGADA Y VISCOSA. LAS PRESIONES VISCOSAS QUE AUMENTAN CON LA VELOCIDAD, TIENDEN A EVITAR EL CONTACTO DIRECTO, SALVO EN LOS LUGARES DE LA SUPERFICIE EN QUE PREVALECE LAS ASPEREZAS, PENETRANDO LA PELICULA VISCOSA. ESTE TIPO DE RUGOSIDAD SE LLAMA MICROTEXTURA.

LA MICROTEXTURA SE REFIERE A LA RUGOSIDAD FINA DE CADA PARTICULA DE LOS AGREGADOS DE LA SUPERFICIE Y ES DIFICILMENTE DETECTABLE A SIMPLE VISTA, AUNQUE PUEDE APRECIARSE AL TACTO. EN CONSECUENCIA PUEDEN PROPORCIONARSE MICROTEXTURAS SUFICIENTES MEDIANTE UNA SELECCION APROPIADA DE AGREGADOS QUE POSEAN UNA SUPERFICIE ASPERA. ESTO EXCLUYE EN PARTICULAR TODOS LOS AGREGADOS DE NATURALEZA SUAVE.

TANTO LA MACRO COMO LA MICROTEXTURA, SON COMPONENTES VITALES DE LA FRICCIÓN EN SUPERFICIE MOJADA, O SEA, QUE SE DEBE CONTAR CON AMBOS PARA LOGRAR CARACTERISTICAS ACEPTABLES DE FRICCIÓN EN TODAS LAS DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD.

UN PROBLEMA DE IMPORTANCIA CON LA MICROTEXTURA, ES QUE PUEDE CAMBIAR DENTRO DE PERIODOS BREVES (AL CONTRARIO DE LA MACROTEXTURA), SIN PODER DETECTARLA FACILMENTE.

UN EJEMPLO TIPICO DE ESTE FENOMENO ES LA ACUMULACION DE DEPOSITOS DE CAUCHO EN LA ZONA DE TOMA DE CONTACTO, QUE ENMASCARARA EN GRAN MEDIDA LA MICROTEXTURA SIN REDUCIR NECESARIAMENTE LA MACROTEXTURA. LA CONSECUENCIA PUEDE SER UNA DISMINUCION CONSIDERABLE EN EL NIVEL DE FRICCION CON PISTA MOJADA. PARA RESOLVER ESTE PROBLEMA, SE RECURRE A MEDICIONES PERIODICAS DE LA FRICCION, LO CUAL DA UNA IDEA DE LA MICROTEXTURA EXISTENTE. SI SE DETERMINARA QUE EL BAJO NIVEL DE FRICCION EN PISTA MOJADA SE DEBE AL DETERIORO DE LA MICROTEXTURA DE LA SUPERFICIE, EXISTEN METODOS PARA RESTAURAR EFICAZMENTE LA MICROTEXTURA PARA LAS SUPERFICIES EXISTENTES DE LAS PISTAS.

ESPECIFICACIONES MINIMAS

PENDIENTES

TODA NUEVA PISTA DEBERA DISEÑARSE CON PERFIL TRANSVERSAL UNIFORME, CON UNA PENDIENTE DE 1.5%, Y LOS PERFILES LONGITUDINALES DEBEN TENER LA MENOR PENDIENTE POSIBLE, SIENDO LA MAXIMA LA SIGUIENTE: 1.25%, EXCEPTO EN EL PRIMER Y ULTIMO CUARTO DE LA LONGITUD DE LA PISTA, EN LOS CUALES LA PENDIENTE NO DEBERA EXCEDER DEL 0.8%.

LAS ANTERIORES ESPECIFICACIONES SON TAMBIEN APLICABLES A LOS PROYECTOS DE MANTENIMIENTO MAYOR. Y POR OTRA PARTE, CUANDO HAYA QUE REHACER LAS SUPERFICIES DE RODAMIENTO DE PISTAS VIEJAS, SE DEBERA APROVECHAR LA OPORTUNIDAD, SIEMPRE QUE SEA POSIBLE, PARA MEJORAR LAS RASANTES CON OBJETO DE AYUDAR AL DRENAJE. TODA MEJORA DE PERFIL, POR PEQUEÑA QUE SEA, RESULTA UTIL.

UNIFORMIDAD DE LA SUPERFICIE

AL ADOPTAR TOLERANCIAS PARA LAS IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE DE LA PISTA, LA SIGUIENTE NORMA DE CONSTRUCCION ES APLICABLE A DISTANCIAS CORTAS DEL ORDEN DE 3M Y SE AJUSTA A LOS BUENOS METODOS DE INGENIERIA.

EL ACABADO DE LA SUPERFICIE DE LA CAPA DE RODAMIENTO DEBE SER DE TAL REGULARIDAD QUE, CUANDO SE VERIFIQUE CON UNA REGLA DE 3M COLOCADA EN CUALQUIER PARTE Y EN CUALQUIER DIRECCION DE LA SUPERFICIE, NO HAYA EN NINGUN PUNTO, EXCEPTO A TRAVES DE LA CRESTA DEL BOMBEO O DE LOS CANALES DE DRENAJE, UNA SEPARACION DE 3MM ENTRE EL BORDE LA REGLA Y LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

DEBERA TENERSE TAMBIEN CUIDADO AL INSTALAR LUCES EMPOTRADAS DE PISTA O REJILLAS DE DRENAJE EN LA SUPERFICIE DE LA PISTA, A FIN DE MANTENER UNA SUPERFICIE SATISFACTORIA.

LOS MOVIMIENTOS DE LAS AERONAVES Y LAS DIFERENCIAS DE ASENTAMIENTO DEL TERRENO NATURAL, CON EL TIEMPO TIENDEN A AUMENTAR LAS IRREGULARIDADES DE LA SUPERFICIE. LAS PEQUEÑAS DESVIACIONES RESPECTO A LAS TOLERANCIAS ANTERIORMENTE MENCIONADAS, NO DEBEN AFECTAR DE MANERA SENSIBLE, LOS MOVIMIENTOS DE LAS AERONAVES. EN GENERAL SON TOLERABLES LAS IRREGULARIDADES DEL ORDEN DE 2.5 A 3CM EN UNA DISTANCIA DE 45 M. NO SE PUEDE DAR INFORMACION EXACTA SOBRE LA DESVIACION MAXIMA ACEPTABLE RESPECTO A LAS TOLERANCIAS, YA QUE ESTAS VARIAN CON EL TIPO Y LA VELOCIDAD DE CADA AERONAVE.

DEFORMACION DE LA PISTA, CON EL TIEMPO PUEDE AUMENTAR LA POSIBILIDAD DE LA FORMACION DE CHARCOS. LOS CHARCOS CUYA PROFUNDIDAD SOLO SEA DE 3 MM -ESPECIALMENTE SI ESTAN SITUADOS EN LUGARES DE LA PISTA DONDE LOS AVIONES ATERRIZAN A GRAN VELOCIDAD- PUEDEN INDUCIR AL HIDROPLANEADO, FENOMENO QUE PUEDE MANTENERSE EN UNA PISTA CUBIERTA CON UNA CAPA MUCHO MAS DELGADA DE AGUA. CON EL FIN DE MEJORAR LOS TEXTOS DE ORIENTACION RELATIVOS A LA LONGITUD Y PROFUNDIDAD SIGNIFICATIVAS DE LOS CHAPTER EN RELACION CON EL HIDROPLANEADO, SE ESTAN LLEVANDO A CABO MAS INVESTIGACIONES. POR SUPUESTO, RESULTA ESPECIALMENTE NECESARIO EVITAR LA FORMACION DE CHARCOS CUANDO EXISTA LA POSIBILIDAD DE QUE SE CONGELEN.

LA FALTA DE CUMPLIMIENTO DE ESTOS REQUISITOS MINIMOS, PUEDE REDUCIR NOTABLEMENTE EL DRENAJE SUPERFICIAL Y PROVOCAR LA FORMACION DE CHARCOS. ESTOS PUEDE SUCEDER EN LAS PISTAS VIEJAS, COMO RESULTADO DEL ASENTAMIENTO DIFERENCIAL Y DE LA DEFORMACION PERMANENTE DE LA SUPERFICIE DE LOS PAVIMENTOS.

LOS REQUISITOS DE UNIFORMIDAD SE APLICAN NO SOLO A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO PAVIMENTO, SINO A TODA LA VIDA UTIL DEL PAVIMENTO. LA DEFORMACION MAXIMA TOLERABLE DE LA SUPERFICIE, DEBERA INDICARSE COMO CRITERIO VITAL DE CALCULO. ESTO PUEDE TENER UNA REPERCUSION IMPORTANTE SOBRE LA DETERMINACION DEL TIPO MAS APROPIADO DE CONSTRUCCION Y DEL PAVIMENTO.

CON RESPECTO A LA SUSCEPTIBILIDAD A LA FORMACION DE CHARCOS CUANDO SE PRODUCEN IRREGULARIDADES EN LA SUPERFICIE, LAS PISTAS CON PENDIENTE TRANSVERSAL MAXIMA ADMISIBLE, SE VEN MUCHO MENOS AFECTADAS QUE LAS QUE TIENEN PENDIENTES TRANSVERSALES MARGINALES. LAS PISTAS EN QUE SE FORMAN CHARCOS NORMALMENTE, REQUIEREN UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL Y UN CAMBIO DE FORMA PARA ELIMINAR EFICAZMENTE EL PROBLEMA.

TEXTURA DE LA SUPERFICIE

LOS REQUISITOS DE MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE, EN TERMINOS DE PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE, NO DEBERA SER INFERIOR A 1 MM PARA LAS SUPERFICIES NUEVAS. SE RECONOCE TAMBIEN QUE ESTA DISPOSICION EXIGIRA NORMALMENTE ALGUNA FORMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL ESPECIAL. EL VALOR MINIMO PARA LA PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA, SE HA CALCULADO EMPERICAMENTE Y DA CUENTA DEL MINIMO ABSOLUTO REQUERIDO PARA PROPORCIONAR UN DRENAJE SUFICIENTE EN LA INTERFAZ. PUEDEN REQUERIRSE VALORES MAS ALTOS EN CUANTO A PROFUNDIDAD MEDIA DE TEXTURA CUANDO LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, SEA UN FACTOR CRITICO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE DRENAJE EN LA INTERFAZ. LAS SUPERFICIES QUE NO LLEGUEN A CUMPLIR CON LOS REQUISITOS MINIMOS EN CUANTO A PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE, DEMOSTRARAN CARACTERISTICAS DEFICIENTES DE FRICCION EN HUMEDO, PARTICULARMENTE SI LA PISTA ES UTILIZADA POR AERONAVES DE ALTA VELOCIDAD DE ATERRIZAJE.

LA MACROTEXTURA DE UNA SUPERFICIE NORMALMENTE NO CAMBIO MUCHO CON EL TIEMPO, SALVO EN LA ZONA DE TOMA DE CONTACTO, COMO RESULTADO DE LOS DEPOSITOS DE CAUCHO. EN CONSECUENCIA, SOLO SE REQUERIRA EFECTUAR A INTERVALOS PROLONGADOS EL CONTROL PERIODICO DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE EN LA PARTE NO CONTAMINADA DE LA SUPERFICIE DE LA PISTA.

CON RESPECTO A LA MICROTEXTURA, NO EXISTE NINGUNA MEDIDA DIRECTA DISPONIBLE PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD FINA REQUERIDA DEL AGREGADO PETREO EN TERMINOS TECNICOS. EN CONSECUENCIA, NO EXISTE NINGUNA ESPECIFICACION. CON TODO, SE SABE POR EXPERIENCIA QUE EL AGREGADO DE CALIDAD DEBE POSEER UNA SUPERFICIE ASPERA Y BORDES AGUDOS PARA PRESENTAR BUENAS PROPIEDADES DE PENETRACION DE LA PELICULA DE AGUA. ES IMPORTANTE TAMBIEN QUE EL AGREGADO ESTE REALMENTE EXPUESTO A LA SUPERFICIE Y NO REVESTIDO TOTALMENTE POR MATERIAL SUAVE. COMO LA MICROTEXTURA ES UN CONSTITUYENTE VITAL DE FRICCION EN HUMEDO SIN TENER EN CUENTA LA VELOCIDAD, LA SUFICIENCIA DE LA MICROTEXTURA PROPORCIONADA POR UNA SUPERFICIE PARTICULAR, PUEDE EVALUARSE EN GENERAL POR MEDICION DE LA FRICCION. LA FALTA DE MICROTEXTURA TENDRA COMO CONSECUENCIA UNA DISMINUCION CONSIDERABLE DE LOS NIVELES DE FRICCION EN TODA LA GAMA DE VELOCIDADES. ESTO OCURRIRA AUN EN SUPERFICIES CON UN GRADO MINIMO DE AGUA (POR EJEMPLO HUMEDAS). ESTE METODO DE TIPO CUALITATIVO PUEDE SER SUFICIENTE PARA DETECTAR LA FALTA DE MICROTEXTURA EN LOS CASOS EVIDENTES.

EL DETERIORO DE LA MISMA TEXTURA CAUSADA POR EL TRAFICO Y LOS AGENTES ATMOSFERICOS PUEDE PROLONGARSE, AL CONTRARIO DE LA MACROTEXTURA, DENTRO DE PERIODOS DE TIEMPO RELATIVAMENTE CORTOS Y PUEDE CAMBIAR TAMBIEN CON EL ESTADO OPERACIONAL DE LA SUPERFICIE.

EN CONSECUENCIA, ES PRECISO EFECTUAR VERIFICACIONES PERIODICAS Y FRECUENTES MEDIANTE MEDICIONES DE LA FRICCION, EN PARTICULAR CON RESPECTO A LA ZONA DE TOMA DE CONTACTO, DONDE LOS DEPOSITOS DE CAUCHO RAPIDAMENTE ENMASCARAN LA MICROTEXTURA.

EL METODO QUE SE APLICA EN NUESTRO PAIS PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE FRICCION DE LOS PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO, ES EL DE RANURADO Y REBAJADO DE PAVIMENTOS.

FACTORES QUE HAN DE CONSIDERARSE

LOS FACTORES SIGUIENTES DEBERAN CONSIDERARSE EN LA JUSTIFICACION DE RANURADO Y/O REBAJADO DE LAS PISTA:

- a).- ESTUDIO DE LOS ANTECEDENTES DE LOS ACCIDENTES/INCIDENTES DE AERONAVES RELACIONADOS CON EL HIDROPLANE0 EN LAS INSTALACIONES AEROPORTUARIAS.
- b).- FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES.
- c).- PENDIENTES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES, ZONAS PLANAS, DEPRESIONES, MONTICULOS O CUALQUIER OTRA ANORMALIDAD QUE PUEDA AFECTAR EL ESCURRIMIENTO DEL AGUA.
- d).- CALIDAD DE LA TEXTURA SUPERFICIAL EN CUANTO A SU LISURA EN CONDICIONES SECAS O HUMEDAS; AGREGADOS SUAVES, CAPA DE SELLO INCORRECTA, MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA INSUFICIENTES Y ACUMULACION DE CONTAMINANTES, SON ALGUNOS EJEMPLOS DE LAS CONDICIONES QUE PUEDEN AFECTAR LA PERDIDA DE FRICCION EN LA SUPERFICIE.
- e).- LIMITACIONES DEL TERRENO, TALES COMO CORTES EN LOS EXTREMOS DE LA PISTA Y EN LAS ZONAS DE SEGURIDAD.
- f).- SUFICIENCIA EN CUANTO AL NUMERO Y LONGITUD DE LAS PISTAS DISPONIBLES.
- g).- EFECTOS DEL VIENTO TRANSVERSAL, PARTICULARMENTE CUANDO PREVALECCN FACTORES DE POCA FRICCION.
- h).- LA RESISTENCIA Y EL ESTADO DE LOS PAVIMENTOS DE LAS PISTAS EXISTENTES.

EVALUACION DE PAVIMENTOS EXISTENTES

EN LAS SUPERFICIES ASFALTICAS HABRA QUE PROBAR QUE LA CAPA DE RODAMIENTO EXISTENTE, SEA UNA CAPA DENSA, ESTABLE Y COMPACTA. SI LA SUPERFICIE PRESENTARA DESGASTES O SE ENCONTRARAN EXPUESTAS GRANDES PARTICULAS DE AGREGADOS GRUESOS, HABRA QUE CONSIDERAR OTROS METODOS O BIEN EMPRENDER LA APLICACION DE UNA NUEVA CAPA DE RODAMIENTO ANTES DE PROCEDER AL RANURADO Y/O REBAJADO. EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS HABRA QUE EXAMINAR QUE LA SUPERFICIE EXISTENTE SEA ESTABLE, LIBRE DE ESCAMAS O DE ZONAS DETERIORADAS AMPLIAS O DE GRIETAS ACTIVAS. APARTE DEL ESTADO DE LA SUPERFICIE MISMA, TAMBIEN RESULTA IMPORTANTE LA RELACION ENTRE PENDIENTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL. SI EN LAS PENDIENTES LONGITUDINALES EL ESCURRIMIENTO DEL AGUA SE DIRIGIERA A LO LARGO DE LA PISTA EN LUGAR DE CORRERSE RAPIDAMENTE HASTA LOS DRENAJES LATERALES. LAS RANURAS PODRIAN LLENARSE DE AGUA LIBRE, DEJAR DE DRENAR CON RAPIDEZ Y QUIZA FACILITAR EL HIDROPLANEAO. POR IGUAL RAZON, LAS SUPERFICIES CON ZONAS DEPRIMIDAS DEBERAN REEMPLAZARSE O REPARARSE ANTES DEL RANURADO.

EFICACIA DEL TRATAMIENTO

LAS RANURAS TRANSVERSALES PROPORCIONARAN EN TODOS LOS CASOS UN AUMENTO MENSURABLE DEL COEFICIENTE DE FRICCION, AUNQUE EL GRADO DE MEJORIA ESTARA EN RELACION CON LA CALIDAD DE LA CAPA DE RODAMIENTO EXISTENTE. LA DURACION DE LA MEJORIA DEPENDERA DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE RODAMIENTO, DEL CLIMA Y DEL TRANSITO. LA EXPERIENCIA INDICA QUE EL RANURADO Y/O REBAJADO NO TRAE COMO CONSECUENCIA UN AUMENTO DEL INDICE DE DETERIORO DEL ASFALTO. LA MEJORA SIRVE TAMBIEN PARA LOS REVESTIMIENTOS DE PAVIMENTO RIGIDO, EL CUAL NO RESULTA AFECTADO ADVERSAMENTE POR EL TRATAMIENTO. NO SE HAN HALLADO RANURAS OBSTRUIDAS CON POLVO, DESECHOS INDUSTRIALES Y OTRAS MATERIAS PERJUDICIALES, SI BIEN SE HAN OBSERVADO ALGUNOS DEPOSITOS DE CAUCHO.

TÉCNICA

LA SUPERFICIE DEBE RANURARSE EN EL SENTIDO TRANSVERSAL, PERPENDICULAR MENTE A LOS BORDES DE LA PISTA O PARALELAMENTE A LAS JUNTAS TRANSVERSALES, CON RANURAS QUE CRUCEN ININTERRUMPIDAMENTE LA PISTA. LA MAQUINA PARA EL TRATAMIENTO ESTARA PROVISTA DE DISCOS O CORTADORES O DE UNA MAQUINA DE SIERRAS QUE CUENTE CON UN MINIMO DE 12 HOJAS. LOS EQUIPOS ESTARAN DOTADOS DE DEPOSITOS DE AGUA Y DE ROCIADORES A PRESION.

LAS RANURAS COMUNES TIENEN 3 MM DE ANCHURA Y 3 MM DE PROFUNDIDAD, SEPARADAS APROXIMADAMENTE A 25 MM ENTRE EJES.

LAS RANURAS PUEDEN TERMINAR A NO MAS DE 3 M DEL BORDE DEL PAVIMENTO DE LA PISTA, A FIN DE QUE QUEDE ESPACIO ADECUADO PARA QUE OPEREN EL EQUIPO ENCARGADO DEL RANURADO.

LAS RANURAS DEBEN SER CONTINUAS EN EL CRUCE DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCION. DEBE TENERSE CUIDADO AL FABRICAR LAS RANURAS CERCA DE LOS SOPORTES O ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ILUMINACION. SE RECOMIENDA UN MARGEN LIBRE DE 60 CM A CADA LADO DEL ELEMENTO O SOPORTE DE ILUMINACION PARA EVITAR CONTACTO CON LA MAQUINA. EN EL CONTRATO CONVIENE ESPECIFICAR LA RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR DAÑOS A LOS ELEMENTOS DE ILUMINACION Y A LOS CABLES. LA LIMPIEZA ES SUMAMENTE IMPORTANTE Y DEBERA SER CONTINUA DURANTE TODA LA OPERACION DE RANURADO. EL MATERIAL DE DESHECHO RECOGIDO DURANTE ESTA OPERACION, DEBE ELIMINARSE POR CHORRO DE AGUA, BARRIDO O ASPIRACION. EN CASO DE LIMPIEZA CON AGUA, LAS ESPECIFICACIONES DEBERAN ACLARAR SI EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA OPERACION DE LIMPIEZA, CORRE POR CUENTA DEL PROPIETARIO DEL AEROPUERTO O DEL CONTRATISTA. NO DEBE PERMITIRSE QUE EL MATERIAL DE DESHECHO RECOGIDO DURANTE LA OPERACION DE RANURADO ENTRE EN LOS SISTEMAS DE DRENAJE, YA QUE DICHO MATERIAL TERMINARA POR OBSTRUIR. SI NO SE ELIMINARA ESTE MATERIAL, SE PUEDEN CREAR CONDICIONES FELIGROSAS PARA LAS OPERACIONES DE LAS AERONAVES.

CABE ACLARAR QUE ESTE PROCEDIMIENTO EN NUESTRO PAIS LO REALIZA EL ORGANISMO DESCENTRALIZADO A.S.A., CON RECURSOS PROPIOS, SIN CONTRATAR EMPRESA ALGUNA, YA QUE SE TRATA DE TRABAJOS MUY ESPECIALIZADOS.

6. INSTALACION DE SUBDRENAJE

EL SUBDRENAJE EN PISTAS DE AEROPUERTOS CONSISTE EN GENERAL, EN LA CONSTRUCCION DE DRENES INTERCEPTORES PARA CAPTAR EL FLUJO SUBTERRANEO, PARA DRENAR CAPAS SATURADAS Y PARA CONTROLAR EL CONTENIDO DE AGUA DE LA SUBBASE Y BASE DEL PAVIMENTO, ASI COMO EN LAS TERRACERIAS O AUN EN LA PARTE SUPERIOR DEL TERRENO DE CIMENTACION.

EL AGUA POR DRENAR PROVIENE DE FILTRACIONES DIRECTAS DEL AGUA DE LLUVIA, DE FLUJOS A TRAVES DE LA MASA DE SUELO, DE FLUJO ASCENDENTE POR CAPILARIDAD Y, EN MENOR GRADO, DE CONDENSACION DE LA HUMEDAD AMBIENTE.

LA EXPERIENCIA RECOMIENDA DISEÑAR EL SISTEMA DE SUBDRENAJE EN FORMA INDEPENDIENTE DEL SISTEMA GENERAL DE DRENAJE SUPERFICIAL.

SIEMPRE QUE SE VAYA A CONSTRUIR UNA AEROPISTA, DEBERA HACERSE UNA EXPLORACION PARA DETERMINAR LA PRESENCIA, ORIGEN Y CAUSA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS: UNA DE LAS MANIFESTACIONES MAS FRECUENTES DE TAL PROBLEMA, ES UN NIVEL FREATICO ALTO EN TODA EL AREA DE LA ESTRUCTURA POR CONSTRUIR O EN PARTE DE ELLA. EL ESTUDIO A QUE SE HA HECHO REFERENCIA PERMITIRA DILUCIDAR SI EL AGUA DEL SUBSUELO SE ENCUENTRA:

- a).- CONFINADA EN ESTRATOS PERMEABLES SOBRE ESTRATOS IMPERMEABLES.
- b).- EN ZONAS BAJAS DE UN ESTRATO PERMEABLE CON ONDULACIONES.

c).- CONFINADA EN UN ESTRATO PERMEABLE SUBYACENTE A OTROS IMPERMEABLES.

d).- EN ZONAS DE INUNDACION DE UN LAGO, RIO O MAR.

LOS CASOS a) y b) ARRIBA MENCIONADOS, PUEDEN RESOLVERSE GENERALMENTE USANDO SUBDRENAJE DENTRO DE LAS AREAS CON ALTO NIVEL FREATICO, ESTE SUBDRENAJE PODRA SER DEL TIPO DE ZANJA DE MATERIAL FILTRANTE CON TUBO PERFORADO. LOS CASOS c) Y d), PROBABLEMENTE REQUERIRAN DE SUBDRENES DE ZANJA, INTERCEPTORES, QUE DESVIEN EL FLUJO DEL AGUA.

EN NUESTRO MEDIO ES COMUN QUE SE DESCUIDE EL ASPECTO DE SUBDRENAJE, SIENDO LA PRESENCIA DE AGUA EN LAS CAPAS INFERIORES DEL PAVIMENTO Y EN EL SUELO DE CIMENTACION, LA CAUSA DE FALLAS EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO AL VERSE REDUCIDA LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA ESTRUCTURA, POR LO QUE SE TIENEN QUE REALIZAR DURANTE LA VIDA UTIL DEL PAVIMENTO LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE QUE EN GENERAL, LOS TRABAJOS CONSISTEN EN COLOCAR PERIMETRALMENTE EN PISTAS, RODAJES Y PLATAFORMAS, UN ELEMENTO FILTRANTE QUE CAPTE LAS AGUAS SUBTERRANEAS, Y TUBERIAS PERFORADAS QUE LAS RECOLECTEN Y LAS CONDUZCAN LIBRE Y RAPIDAMENTE A ZONAS ALEJADAS DE LOS PAVIMENTOS.

7.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

BAJO ESTA DENOMINACION QUEDA INCLUIDO EL MORTERO ASFALTICO, TAMBIEN LLAMADO LECHADA ASFALTICA O SLURRY-SEAL, Y ES EL UNICO TRATAMIENTO SUPERFICIAL QUE SE APLICA SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO CUANDO SE PRESENTAN FALLAS DE LA CARPETA ASFALTICA, Y QUE SON BASICAMENTE APARICION DE GRIETAS Y EROSION, SIN QUE SE CUENTE CON LA PRESENCIA DE INESTABILIDAD QUE DENOTE LA FALTA DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL, YA QUE AL OCURRIR ESTA, LA SOLUCION SERIA OTRA.

LA RAZON DE QUE SOLO ESTE TIPO DE SELLO SE ACEPTA EN LAS LABORES DE MANTENIMIENTO MAYOR, ES EL HECHO DE QUE OTRO TIPO DE TRATAMIENTO COMO PUDIERA SER EL RIEGO DE SELLO TRAERIA COMO CONSECUENCIA DE LAS OPERACIONES AERONAUTICAS, UN DESPRENDIMIENTO DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS, CON EL CONSECUENTE PELIGRO DE INGESTION POR PARTE DE LAS TURBINAS DE LAS AERONAVES.

EL MORTERO ASFALTICO SE DEFINE COMO UNA MEZCLA COMPUESTA POR EMULSION ASFALTICA SUFICIENTEMENTE ESTABLE, AGREGADOS EN GRADUADOS, MATERIAL FINO Y AGUA, EN PROPORCIONES TALES QUE SE PUEDA CONSEGUIR UNA CONSISTENCIA ADECUADA PARA UNA BUENA EXTENSION EN CAPA CONTINUA Y DE PEQUEÑO ESPESOR.

A DIFERENCIA DE LAS MEZCLAS DENSAS QUE TIENEN UN CONTENIDO ESTRICTO DE AGUA, A LOS MORTEROS ASFALTICOS SE LES PUEDE AUMENTAR LA CANTIDAD DE AGUA EN FORMA CONSIDERABLE, HASTA DARLES UNA CONSISTENCIA DE LECHADA. DE ESTA FORMA PUEDE EXTENDERSE EN OBRA EN PEQUEÑOS ESPESORES QUE NO NECESITAN EN PRINCIPIO SER COMPACTADOS. LA COHESION E IMPERMEABILIDAD FINAL SE CONSIGUE POR UN PROCESO COMPLEJO DE ROMPIMIENTO DE LA EMULSION, EVAPORACION DEL AGUA Y ACCION DEL TRAFICO DENSIFICANDO ESTA CAPA SUPERFICIAL.

CON EL USO DE LOS MORTEROS ASFALTICOS SE PERSIGUEN DOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES:

- IMPERMEABILIZAR SUPERFICIES DE RODAMIENTO AGRIETADAS Y EROSIONADAS O POBRES DE ASFALTO.
- CONSEGUIR UNA TEXTURA SUPERFICIAL, REGULAR, ASPERA Y SEGURA PARA EVITAR EL DERRAPAMIENTO DE LOS VEHICULOS.

LOS TIPOS DE MORTEROS ASFALTICOS UTILIZADOS, SON:

- MORTEROS ANIONICOS LENTOS

- MORTEROS CATIONICOS LENTOS

- MORTEROS CATIONICOS DE ROMPIMIENTO RAPIDO CON ADITIVOS
O ROMPIMIENTO CONTROLADO

MATERIALES

AGREGADOS

GENERALMENTE, EL AGREGADO CONSISTE EN UNA MEZCLA DE ARENAS GRADUADAS (1/4") A FINOS, UTILIZANDOSE EN MUCHOS CASOS FINOS DE APORTACION COMO EL CEMENTO. SE PIDEN GENERALMENTE EQUIVALENTES DE ARENA POR ENCIMA DE 40% (EN A.S.A. SE ESTA PIDIENDO EL 70% MINIMO), EN LA MAYORIA DE LOS CASOS ES ACONSEJABLE EL EMPLEO DE AGREGADOS DE TRITURACION MEZCLADOS CON UN PORCENTAJE DE ARENAS NATURALES QUE FAVORECEN LA TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA.

EMULSION

EN LOS CASOS DE MORTEROS ASFALTICOS LENTOS SE UTILIZAN EMULSIONES ANIONICAS O CATIONICAS MUY ESTABLES. CUANDO SE TRABAJA CON MORTEROS RAPIDOS CON ADITIVOS, SE UTILIZAN EMULSIONES CATIONICAS DE ROMPIMIENTO RAPIDO CONTROLANDOSE ESTE, CON LA APORTACION DEL ADITIVO SOBRE LOS AGREGADOS.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

LA FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE LOS MORTEROS HA IDO EVOLUCIONANDO A LO LARGO DEL TIEMPO. EN UN PRINCIPIO SE UTILIZARON CONCRETERAS Y EXTENSION MANUAL; ACTUALMENTE SE DISPONE DE MAQUINAS ESPECIALES AUTOPROPULSADAS QUE REALIZAN LAS OPERACIONES DE FABRICACION Y EXTENDIDO. LAS MAQUINAS CONSTAN BASICAMENTE, DE UNA TOLVA PARA LOS AGREGADOS Y DOS DEPOSITOS UNO PARA EL AGUA Y OTRO PARA LA EMULSION Y OTRO ADICIONAL PARA EL ADITIVO, UN SISTEMA DE EXTRACCION DEL AGREGADO CONDUCE ESTE A UN CONJUNTO MEZCLADOR,

DONDE SE LE AÑADEN, EN ESTE ORDEN: EL AGUA, ADITIVOS Y LA EMULSION. LA SALIDA DEL PRODUCTO SE EFECTUA POR UN VERTEDEF QUE DESCARGA SOBRE UNA RASTRA EXTENDEDORA ARTICULADA, QUE PERMITE ADAPTARSE A LA FORMA DEL PAVIMENTO.

GENERALMENTE LOS MORTEROS ASFALTICOS NO SE COMPACTAN, PUES EL PORCENTAJE DE AGREGADOS DESPRENDIDO POR EL TRAFICO, ES MINIMO. SOLAMENTE EN ALGUNOS CASOS, COMO EN PAVIMENTO DE USO AERONAUTICO ES NECESARIO RECURRIR A LA COMPACTACION, QUE SUELE HACERSE CON NEUMATICOS.

LA APERTURA AL TRANSITO ES VARIABLE, SEGUN EL TIPO DE MORTERO A EMPLEAR. LAS TECNICAS MODERNAS CON LECHADAS DE ROMPIMIENTO RAPIDO PERMITEN ABRIR AL TRANSITO EN UN TIEMPO QUE OSCILA ENTRE 30 MINUTOS Y DOS HORAS, EN FUNCION DE LAS CONDICIONES ATMOSFERICAS.

DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONOMICO EL EMPLEO DE MORTEROS ASFALTICOS OFRECE LAS SIGUIENTES VENTAJAS EN SU UTILIZACION COMO SON:

- NO NECESITAN CALENTAMIENTO
- PUEDEN COLOCARSE EN CONDICIONES CLIMATOLOGICAS MAS DESFAVORABLES, SIENDO MAYOR EL NUMERO DE HORAS/AÑO TRABAJADAS Y POR LO TANTO, MENOR EL COSTO DE EQUIPO Y MANO DE OBRA.

INDEPENDIENTEMENTE DEL ASPECTO ECONOMICO, HAY QUE RECORDAR QUE EL AVANCE TECNOLOGICO EN EL CAMPO DE LOS EMULSIONANTES PERMITE ADAPTAR LA EMULSION PARA CADA TIPO DE AGREGADO; SIN EMBARGO SE RECOMIENDA UTILIZAR LA MEJOR CALIDAD DISPONIBLE EN LOS AGREGADOS, PUES ESTO REDUCIRA LOS COSTOS DE LOS EMULSIONANTES.

EL SEGUNDO GRUPO COMPRENDE LOS METODOS DE MANTENIMIENTO MAYOR A BASE DE SOBRECAPAS, COMO SON:

~~1.- CARPETA ASFALTICA SOBRE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE.~~

2.- CARPETA ASFALTICA SOBRE PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE.

3.- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE.

4.- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE.

1.- CARPETA ASFALTICA SOBRE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE

CALCULO DE SOBRECARPETAS ASFALTICAS

PUEDEN CALCULARSE SOBRECARPETAS ASFALTICAS A LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES O RIGIDOS. HAY CIERTOS CRITERIOS APLICABLES AL CALCULO DE SOBRECARPETAS ASFALTICAS QUE HAYAN DE APLICARSE SOBRE PAVIMENTOS ANTERIORES, RIGIDOS O FLEXIBLES.

a).- NO SE ADMITEN LOS PAVIMENTOS CON SOBRECARPETAS QUE TIENEN UNA CAPA DE SEPARACION GRANULAR ENTRE LA SUPERFICIE ANTIGUA Y NUEVA. LOS PAVIMENTOS CON SOBRECARPETA QUE TIENEN CAPAS DE SEPARACION GRANULAR SE CONSIDERAN COMO PAVIMENTO SANDWICH, NO SE ADMITEN LOS PAVIMENTOS SANDWICH DEBIDO A QUE LA CAPA DE SEPARACION ES PROBABLE QUE RESULTE SATURADA DE AGUA Y QUE SU COMPORTAMIENTO NO SEA PREDECIBLE. LA SATURACION DE LA CAPA DE SEPARACION PUEDE SER CAUSADA POR INFILTRACION DE AGUA SUPERFICIAL, ENTRADA DE AGUA SUBTERRANEA O CAPILAR O BIEN POR CONDENSACION DE AGUA DE LA ATMOSFERA. EN TODO CASO, EL AGUA EN LA CAPA DE SEPARACION POR LO GENERAL NO PUEDE SER DRENADA SUFICIENTEMENTE Y REDUCE MUCHO LA ESTABILIDAD DE LA SOBRECARPETA.

PARA ILUSTRAR EL PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE UNA SOBRECARPETA ASFALTICA, PONGAMOS UN PAVIMENTO DE CALLE DE RODAJE EXISTENTE COMPUESTO DE LA SECCION SIGUIENTE: EL VRS DEL TERRENO DE CIMENTACION ES DE 7%, LA CAPA DE BASE HIDRAULICA ES DE 15 CM DE ESPESOR, LA CAPA DE RODAMIENTO ES DE 10 CM DE ESPESOR, LA CAPA SUBRASANTE ES DE 25 CM DE ESPESOR Y SU VRS ES DE 15%.

SE SUPONE UN PAVIMENTO EXISTENTE QUE HA DE REFORZARSE PARA PODER RECIBIR UNA AERONAVE CON TREN DE RUEDAS GEMELAS CUYO PESO ES DE 45,000 KG CON UN NIVEL DE 3,000 SALIDAS ANUALES. EL PAVIMENTO FLEXIBLE REQUERIDO PARA ESTAS CONDICIONES ES:

| | |
|-----------------------------|---------|
| - CARPETA ASFALTICA | - 10 CM |
| - CAPA DE BASE HIDRAULICA | - 23 CM |
| - CAPA SUBRASANTE | - 25 CM |
| ESPEJOR TOTAL DEL PAVIMENTO | 58 CM |

EL ESPESOR TOTAL DE PAVIMENTO DEBE SER DE 58 CM CON EL PROPOSITO DE PROTEGER UN TERRENO DE CIMENTACION DE C.B.R. IGUAL A 7%. LOS ESPESORES COMBINADOS DE LA CARPETA Y DE LA BASE DEBEN SER DE 33 CM PARA PROTEGER LA CAPA SUBRASANTE DE C.B.R. IGUAL A 15%. EN CONSECUENCIA, EL PAVIMENTO EXISTENTE TIENE 8.0 CM MENOS EN EL ESPESOR TOTAL Y ESTA CIFRA PERTENECE A LA CAPA DE BASE. A MANEJO DE EJEMPLO, SUPONGAMOS QUE LA SUPERFICIE ASFALTICA EXISTENTE SE ENCUENTRA EN UN ESTADO TAL QUE PUEDE SUSTITUIR A LA CAPA DE BASE CON UNA RELACION DE EQUIVALENCIA DE 1.3 A 1.0. SI SE CONVIERTE UNA CARPETA DE 6 CM A LA CAPA DE BASE, DEJANDO 4 CM DE CARPETA NO CONVERTIDO. UNA SOBRECARPETA DE 6 CM SERIA NECESARIO PARA LOGRAR UNA SUPERFICIE DE 10 CM DE ESPESOR. EN ESTE CASO, EL FACTOR DETERMINANTE SERIA EL ESPESOR MINIMO DE LA SOBRECARPETA, DE 7.5 CM. SE REQUERIRA DE UN ESPESOR DE 7.5 CM PARA LA SOBRECARPETA.

LA PARTE MAS DIFICIL EN EL CALCULO DE LAS SOBRECARPETAS ASFALTICAS PARA LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES, ES LA DETERMINACION DE LOS VALORES V.R.S. PARA EL TERRENO DE CIMENTACION Y LA CAPA SUBRASANTE Y LA COMPARACION DE LAS CAPAS.

LOS VALORES V.R.S. DEL TERRENO DE CIMENTACION Y DE LA CAPA SUBRASANTE PUEDEN DETERMINARSE OPTIMAMENTE LLEVANDO A CABO PRUEBAS DE V.R.S. EN EL LUGAR. NORMALMENTE, UN PAVIMENTO QUE HA ESTADO COLOCADO POR LO MENOS DURANTE TRES AÑOS SE ENCONTRARA EN EQUILIBRIO. LAS CONVERSIONES ENTRE CAPAS, O SEA LA CONVERSION DE CAPA DE BASE A CAPA SUBRASANTE, ETC. SON EN GRAN MEDIDA UNA CUESTION DE CRITERIO TECNICO. AL LLEVAR A CABO LAS CONVERSIONES, SE RECOMIENDA NO REDONDEAR NUNCA LOS ESPESORES NO CONVERTIDOS.

2.- CARPETA ASFALTICA SOBRE PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE

PARA ESTABLECER EL ESPESOR REQUERIDO DE LA SOBRECARPETA ASFALTICA SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, ES NECESARIO EN PRIMER LUGAR DETERMINAR EL ESPESOR SIMPLE DEL PAVIMENTO RIGIDO REQUERIDO PARA CUMPLIR CON LAS CONDICIONES DEL CALCULO. ESTE ESPESOR SE MODIFICA ENTONCES POR UN FACTOR "F" QUE DETERMINA EL GRADO DE AGRIETAMIENTO QUE OCURRIRA EN EL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, EL ESPESOR EFECTIVO DEL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE SE AJUSTA TAMBIEN MEDIANTE UN FACTOR DE ESTADO O CONDICION ENTRE "Cb". LOS FACTORES "F" Y "Cb" CUMPLEN DOS FUNCIONES DIFERENTES EN LA DETERMINACION DE LA CARPETA ASFALTICA, COMO SE VERA A CONTINUACION:

- a).- EL FACTOR "F" QUE DETERMINA EL GRADO DE AGRIETAMIENTO QUE SE PRESENTARA EN LA CAPA DE FIRME, ES UNA FUNCION DE LA MAGNITUD DEL TRAFICO Y DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO DE CIMENTACION. EL FACTOR "F" SELECCIONADO DETERMINARA EL ESTADO FINAL DE LA CARPETA Y DE LA CAPA DE BASE. EL FACTOR "F", EN EFECTO, INDICA QUE NO ES NECESARIO EL ESPESOR TOTAL DE LA LOSA SIMPLE DEL CONCRETO DETERMINADA A PARTIR DE LAS CURVAS DE CALCULO, DEBIDO A QUE SE ADMITE QUE UN PAVIMENTO CON CARPETA ASFALTICA SOBRE LAS LOSAS EXISTENTES, SE AGRIETE Y DEFLEXIONE MAS QUE UN PAVIMENTO RIGIDO CLASICO. SE ADMITE UN MAYOR GRADO DE AGRIETAMIENTO Y DE DEFLEXION, YA QUE LA CARPETA ASFALTICA NO SE DISGREGARA Y PUEDE ADAPTARSE A MAYORES DEFLEXIONES QUE UN PAVIMENTO TOTALMENTE RIGIDO. LAS FOTOGRAFIAS DE VARIOS PAVIMENTOS CON CARPETA Y CAPA DE BASE CONSTITUIDA POR LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO QUE SE MUESTRAN EN LA FIGURA No. 1, ILUSTRAN EL SIGNIFICADO DEL FACTOR "F".

LAS FIGURAS 1 a), b) y c), MUESTRAN QUE LOS PAVIMENTOS CON CARPETA Y CAPA DE BASE CONSTITUIDA POR LOSAS FALLAN CUANDO SE APLICA UN TRAFICO MAYOR A UNA CARPETA ASFALTICA SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE. EN EL CALCULO DE UNA CARPETA SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, EL ESTADO DEL PAVIMENTO CON CARPETA Y CAPA DE BASE CONSTITUIDA POR LOSAS DESPUES DE LA VIDA UTIL DE CALCULO DEBERA SER SIMILAR AL QUE SE INDICA EN LA FIGURA 1 b). LA GRAFICA DE LA FIGURA 2 PERMITE AL CALCULISTA SELECCIONAR EL VALOR "F" PERTINENTE PARA OBTENER UN ESTADO FINAL SIMILAR AL QUE SE INDICA EN LA FIGURA 1 b).

b).- EL FACTOR DE ESTADO O CONDICION "Cb" SE APLICA AL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE. EL FACTOR "Cb" ES UNA EVALUACION DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE. LA DETERMINACION DEL VALOR "Cb" CORRESPONDIENTE, ES UNA DECISION PARA LA CUAL SOLO PUEDEN PROPORCIONARSE DIRECTRICES GENERALES. DEBERA UTILIZARSE UN VALOR "Cb" DE 1.0 CUANDO LAS LOSAS EXISTENTES PRESENTEN UN AGRIETAMIENTO INCIPIENTE NOMINAL, Y DE 0.75 CUANDO LAS LOSAS PRESENTEN AGRIETAMIENTO MULTIPLE. SE ADVIERTE AL CALCULISTA QUE LA GAMA DE VALORES "Cb" EN EL CALCULO DE LAS CARPETAS SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO, ES DIFERENTE DE LOS VALORES QUE SE UTILIZAN EN EL CALCULO DE REFUERZOS RIGIDOS PARA PAVIMENTOS RIGIDOS. EL VALOR "Cb" MINIMO ES DE 0.75. DEBERA FIJARSE UN SOLO VALOR "Cb" PARA TODA LA ZONA. EL VALOR "Cb" NO DEBERA MODIFICARSE DENTRO DE UN PAVIMENTO DEL MISMO "TIPO".

c).- UNA VEZ QUE SE HAYAN DETERMINADO EL FACTOR "F", EL FACTOR DEL ESTADO "Cb" Y EL ESPESOR SIMPLE DEL PAVIMENTO RIGIDO, EL ESPESOR DE LA CARPETA ASFALTICA SE CALCULA CON LA FORMULA SIGUIENTE: $T=2.5 (FH-CbHe)$

DONDE:

T= ESPESOR DE LA CARPETA EN PULGADAS

F= FACTOR QUE DETERMINA EL GRADO DE AGRIETAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON CAPA DE BASE.

H= ESPESOR SIMPLE DE PAVIMENTO RIGIDO REQUERIDO PARA LAS CONDICIONES DEL CALCULO EN PULGADAS. UTILICESE EL VALOR EXACTO DE H; NO HAY QUE REDONDEAR.

C_b = FACTOR DE ESTADO PARA EL PAVIMENTO CON CAPA DE BASE QUE VA DE 1.0 A 0.75.

H_e = ESPESOR EN PULGADAS DEL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE.

3.- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE

EL CALCULO DE LAS LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EXISTENTES SE BASA EN LAS CURVAS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS RIGIDOS. EL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE SE CONSIDERA COMO UNA CAPA SUBRASANTE PARA LA LOSA DE REFUERZO.

a).- PARA EL CALCULO DE UN PAVIMENTO RIGIDO, AL PAVIMENTO EXISTENTE SE LE ASIGNARA UN VALOR K , UTILIZANDO ALGUNAS GRAFICAS O LLEVANDO A CABO UN ENSAYE CON PLACA DE CARGA SOBRE EL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE. EN CUALQUIER CASO, EL VALOR K ASIGNADO NO DEBERA EXCEDER DE 500.

4.- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE

EL CALCULO DE LAS LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE PAVIMENTOS RIGIDOS EXISTENTES, TAMBIEN SE BASA EN LAS CURVAS DE CALCULO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS. ESTAS CURVAS INDICAN EL ESPESOR DEL CONCRETO NECESARIO PARA CUMPLIR CON LAS CONDICIONES DE CALCULO PARA UN ESPESOR SIMPLE DE PAVIMENTO DE CONCRETO. LA UTILIZACION DE ESTE METODO EXIGE QUE EL CALCULISTA ASIGNE UN VALOR K AL TERRENO DE CIMENTACION EXISTENTE. EL VALOR K PUEDE DETERMINARSE MEDIANTE PRUEBAS DE RESISTENCIA EN EL LUGAR MISMO, MEDIANTE PERFORACIONES DE PRUEBA PRACTICADAS EN EL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, O BIEN PUEDE ESTIMARSE SEGUN LOS REGISTROS DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO EXISTENTE. EL CALCULO DE UNA LOSA DE CONCRETO SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO REQUIERE UNA EVALUACION DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE. EL FACTOR DE ESTADO DEBERA SELECCIONARSE DESPUES DE UN ESTUDIO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO. LA SELECCION DE UN FACTOR DE ESTADO ES UNA CUESTION DE CRITERIO TECNICO. LA REALIZACION DE ENSAYES NO DESTRUCTIVOS PUEDE SER DE VALOR CONSIDERABLE EN LA EVALUACION DEL ESTADO DE UN PAVIMENTO EXISTENTE.

TAMBIEN PUEDEN APLICARSE NDT PARA LA DETERMINACION DE LOS EMPLAZAMIENTOS DE LAS PERFORACIONES DE PRUEBA. CON EL PROPOSITO DE PROPORCIONAR UNA EVALUACION MAS UNIFORME DE LOS FACTORES DE ESTADO. SE DETERMINAN LOS FACTORES SIGUIENTES:

$C_r = 1.0$ PARA EL PAVIMENTO EXISTENTE EN BUEN ESTADO-SON EVIDENTES ALGUNAS GRIETAS MENORES, PERO NO TIENE DEFECTOS ESTRUCTURALES.

$C_r = 0.75$ PARA EL PAVIMENTO EXISTENTE QUE PRESENTA GRIETAS INCIPIENTES EN LAS ESQUINAS, DEBIDO A LA CARGA, PERO NO GRIETAS PROGRESIVAS NI FALLAS EN LAS JUNTAS.

$C_r = 0.35$ PARA EL PAVIMENTO EXISTENTE EN CONDICION ESTRUCTURAL MALA. MUCHAS GRIETAS O JUNTAS FALLADAS.

LAS TRES CONDICIONES COMENTADAS ANTERIORMENTE, SE UTILIZAN PARA ILUSTRAR EL FACTOR DE ESTADO Y NO PARA ESTABLECER LOS UNICOS VALORES DISPONIBLES PARA EL CALCULISTA. LAS CONDICIONES PARTICULARES PUEDEN EXIGIR UN VALOR INTERMEDIO DE LA GAMA RECOMENDADA.

EL ESPESOR DE LA LOSA SOBRE PAVIMENTO RIGIDO APLICADA DIRECTAMENTE SOBRE EL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, SE CALCULA SEGUN LA FORMULA SIGUIENTE:

$$H_c = \sqrt[1.4]{H^{1.4} - C_r H_e^{1.4}}$$

H_c = ESPESOR REQUERIDO

H = ESPESOR REQUERIDO DE LA LOSA SIMPLE, DETERMINADA SEGUN LAS CURVAS

H_e = ESPESOR EXISTENTE

C_r = FACTOR DE ESTADO O CONDICION

DEBIDO A LA INCOMODIDAD DE LOS EXPONENTES DE LA FORMULA ANTERIOR, EN LAS FIGURAS 3 Y 4 SE OFRECEN DATOS GRAFICOS DE LA SOLUCION DE LA FORMULA.

ESTAS GRAFICAS SE PREPARARON SOLO PARA DOS FACTORES DE ESTADO DIFERENTE, $Cr = 1.0$ Y 0.75 . LA UTILIZACION DE UN PAVIMENTO CON REFUERZO DE CONCRETO HIDRAULICO DIRECTAMENTE APLICADO SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE CON UN FACTOR DE ESTADO INFERIOR A 0.75 , NO ES RECOMENDABLE DEBIDO A LA PROBABILIDAD DE AGRIETAMIENTO POR REFLEXION.

UN CASO ADICIONAL ES AQUEL EN EL QUE SE PUEDE CONSTRUIR UNA CAPA DE NIVELACION DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE UN PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE, ANTES DE CONSTRUIR LAS LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO. EN ESTAS CONDICIONES SE REQUIERE UNA FORMULA DIFERENTE PARA CALCULAR EL ESPESOR DEL REFUERZO CUANDO SE SEPARAN EL PAVIMENTO EXISTENTE Y EL PAVIMENTO DEL REFUERZO, LAS LOSAS ACTUAN CON MAYOR INDEPENDENCIA QUE CUANDO SE ENCUENTRAN EN CONTACTO. LA FORMULA PARA EL ESPESOR DE UNA LOSA DE REFUERZO CUANDO SE UTILIZA CAPA DE NIVELACION, ES LA SIGUIENTE:

$$H_c = \sqrt{H^2 - Cr H_e^2}$$

DONDE:

H_c = ESPESOR REQUERIDO DEL REFUERZO DE CONCRETO.

H = ESPESOR REQUERIDO DE LOSA SIMPLE DETERMINADA SEGUN LAS CURVAS DE CALCULO.

H_e = ESPESOR DEL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE.

Cr = FACTOR DE ESTADO.

LA CAPA DE NIVELACION DEBE CONSTRUIRSE CON CONCRETO ASFALTICO MUY ESTABLE. NO SE ADMITE NINGUNA CAPA DE SEPARACION GRANULAR, YA QUE ESTO SIGNIFICARIA UNA CONSTRUCCION SANDWICH. LAS SOLUCIONES GRAFICAS DE LA ECUACION ANTERIOR SE INDICAN EN LAS FIGURAS 5 Y 6. ESTAS GRAFICAS SE PREPARARON PARA FACTORES DE ESTADO DE 0.75 Y 0.35 . NORMALMENTE PUEDEN CALCULARSE OTROS FACTORES DE ESTADO ENTRE ESTOS VALORES, CON PRECISION SUFICIENTE, MEDIANTE INTERPOLACION.

CABE ACLARAR QUE LOS CASOS COMENTADOS ANTERIORMENTE, SE REFIEREN A PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO EXCLUSIVAMENTE, EN EL CASO DE CARRETERAS LA SECUENCIA DE CALCULO PARA REFUERZOS CON CARPETAS ASFALTICAS SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES EXISTENTES, ES SIMILAR AL CASO COMENTADO ANTERIORMENTE UTILIZANDO LAS GRAFICAS DE DISEÑO CORRESPONDIENTES, (EN NUESTRO MEDIO, EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM HA DESARROLLADO UN METODO QUE TOMA EN CUENTA LAS CONDICIONES REALES DE NUESTROS CAMINOS), ADEMAS DE SER EL CASO QUE GENERALMENTE SE PRESENTA DEBIDO A QUE LA RED DE CARRETERAS ESTA CONSTITUIDA POR PAVIMENTOS FLEXIBLES.

MEXICO, D.F., 17 DE OCTUBRE DE 1991.

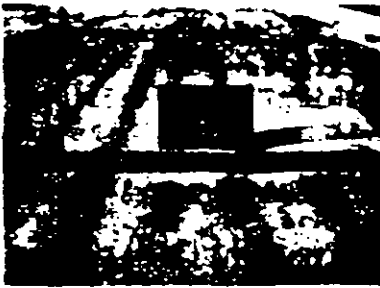


SURFACE OF OVERLAY

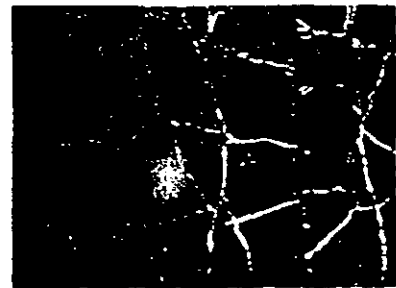


BASE PAVEMENT

a)



SURFACE OF OVERLAY

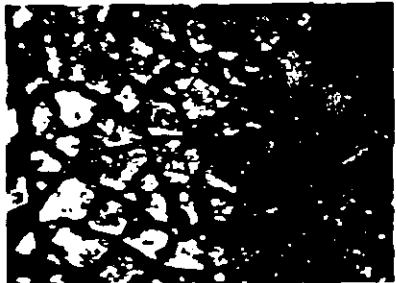


BASE PAVEMENT

b)



SURFACE OF OVERLAY



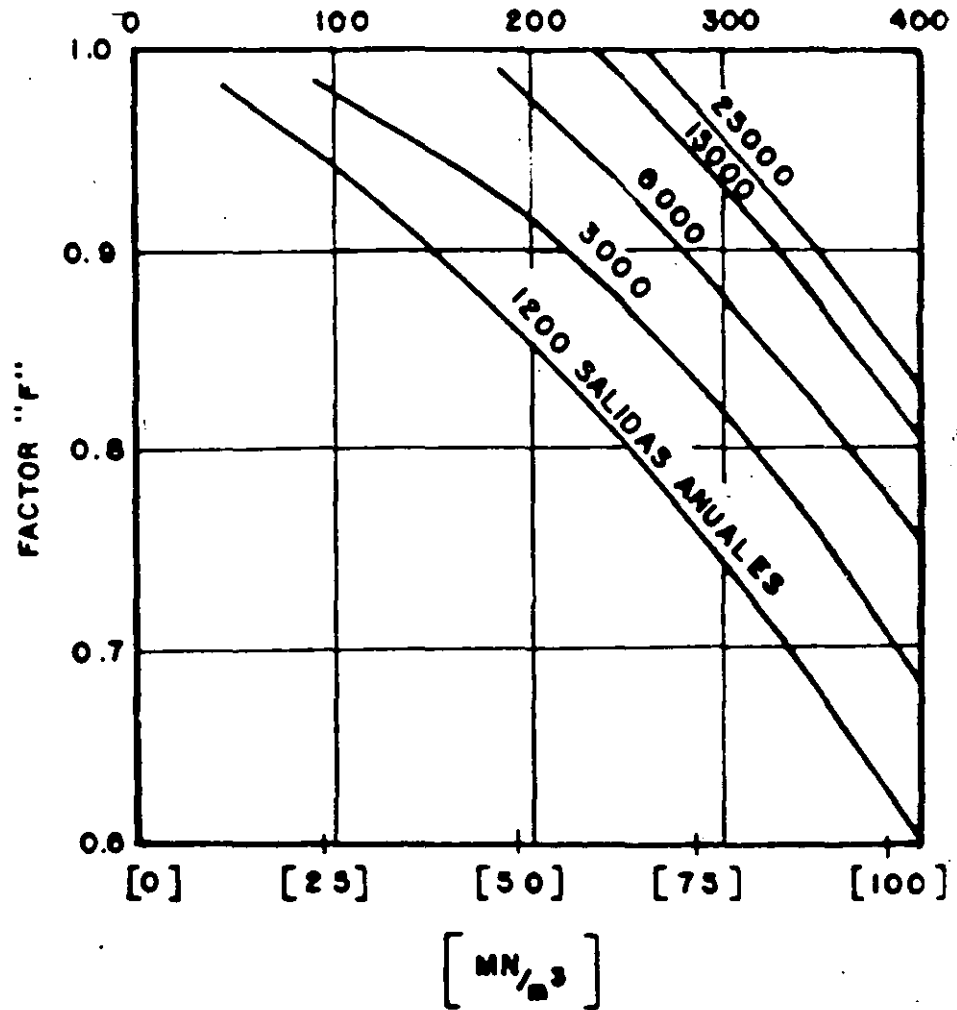
BASE PAVEMENT

c)

FIGURE 1. ILLUSTRATION OF VARIOUS "F" FACTORS FOR BITUMINOUS OVERLAY DESIGN

FIG. 2

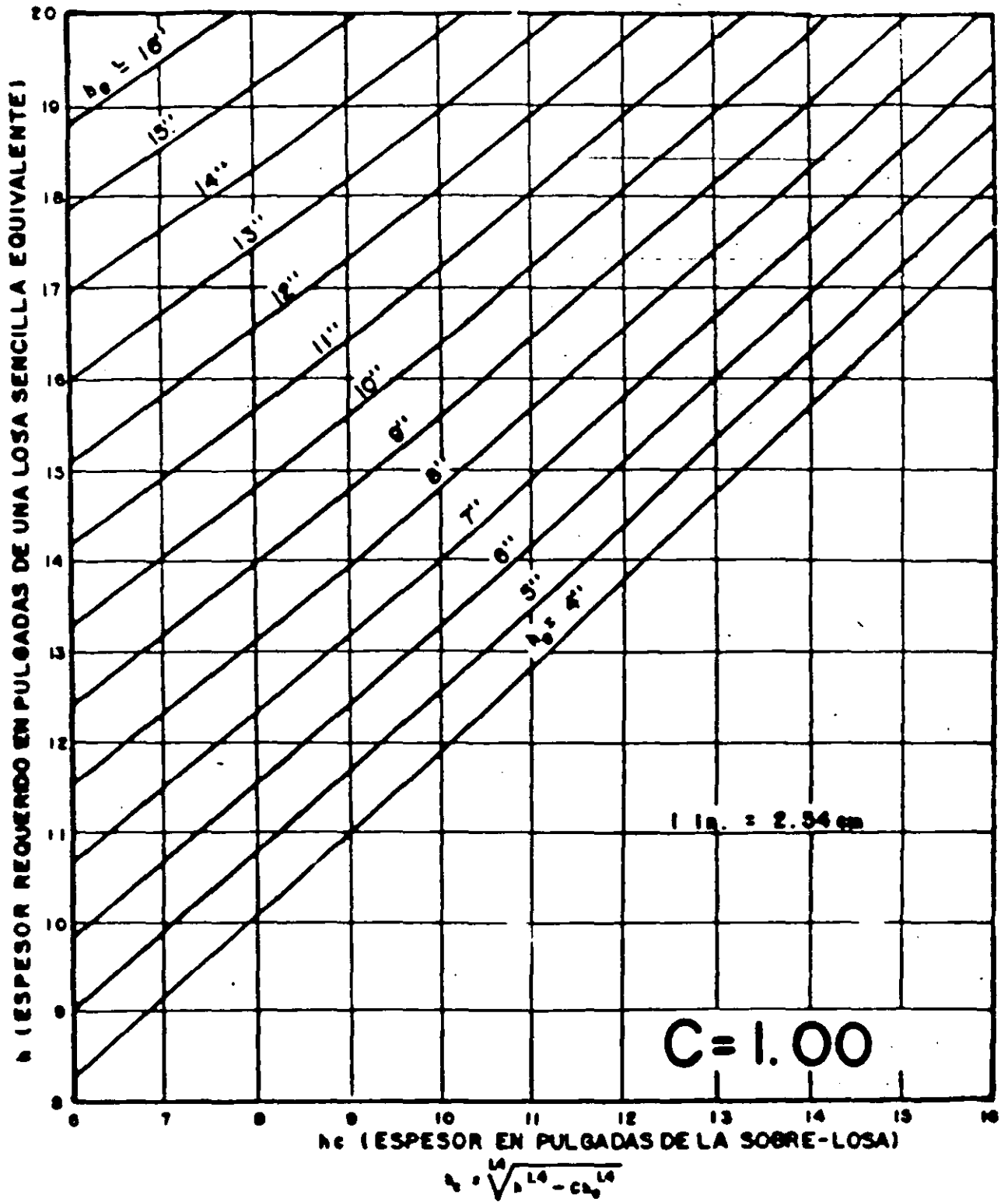
MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE
(Lb/pulg³)



GRAFICA DE FACTOR "F" vs. MODULO DE REACCION
DE LA SUBRASANTE PARA DIFERENTES NIVELES DE
TRANSITO

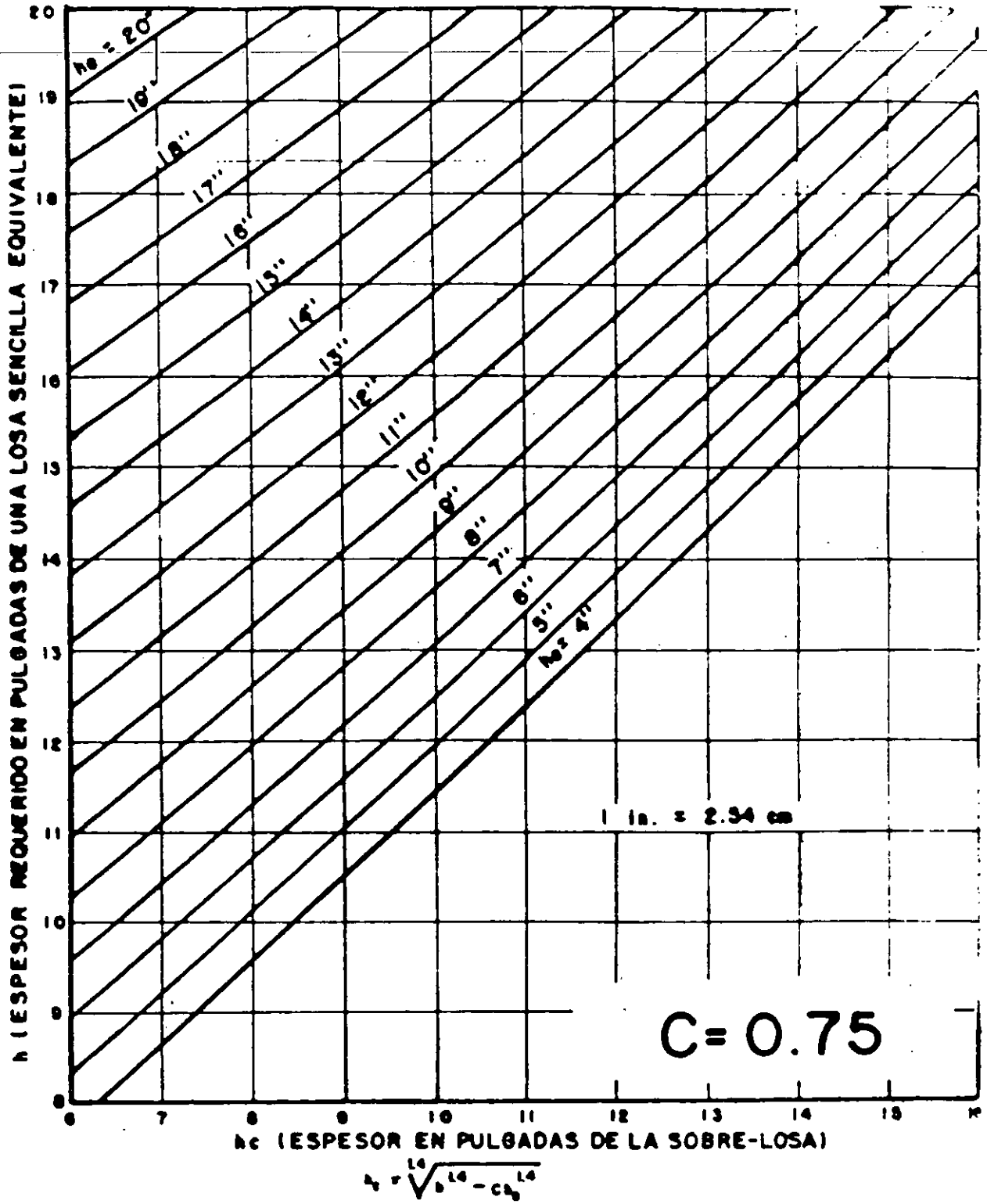
(FAA - 1978)

FIG 3.



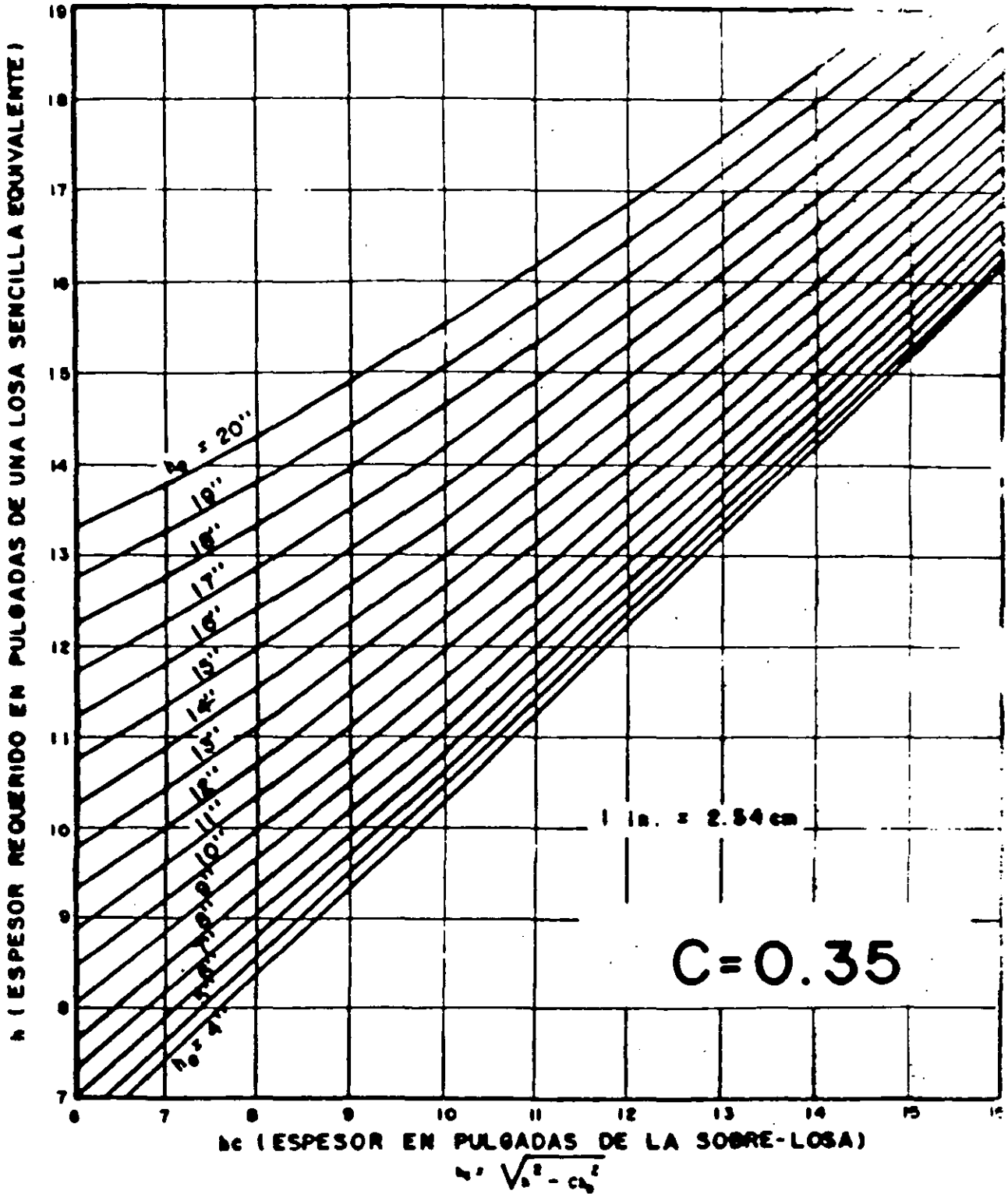
**CAPA ADICIONAL DE CONCRETO SOBRE
PAVIMENTOS RIGIDOS
(FAA-1978)**

FIG 4.



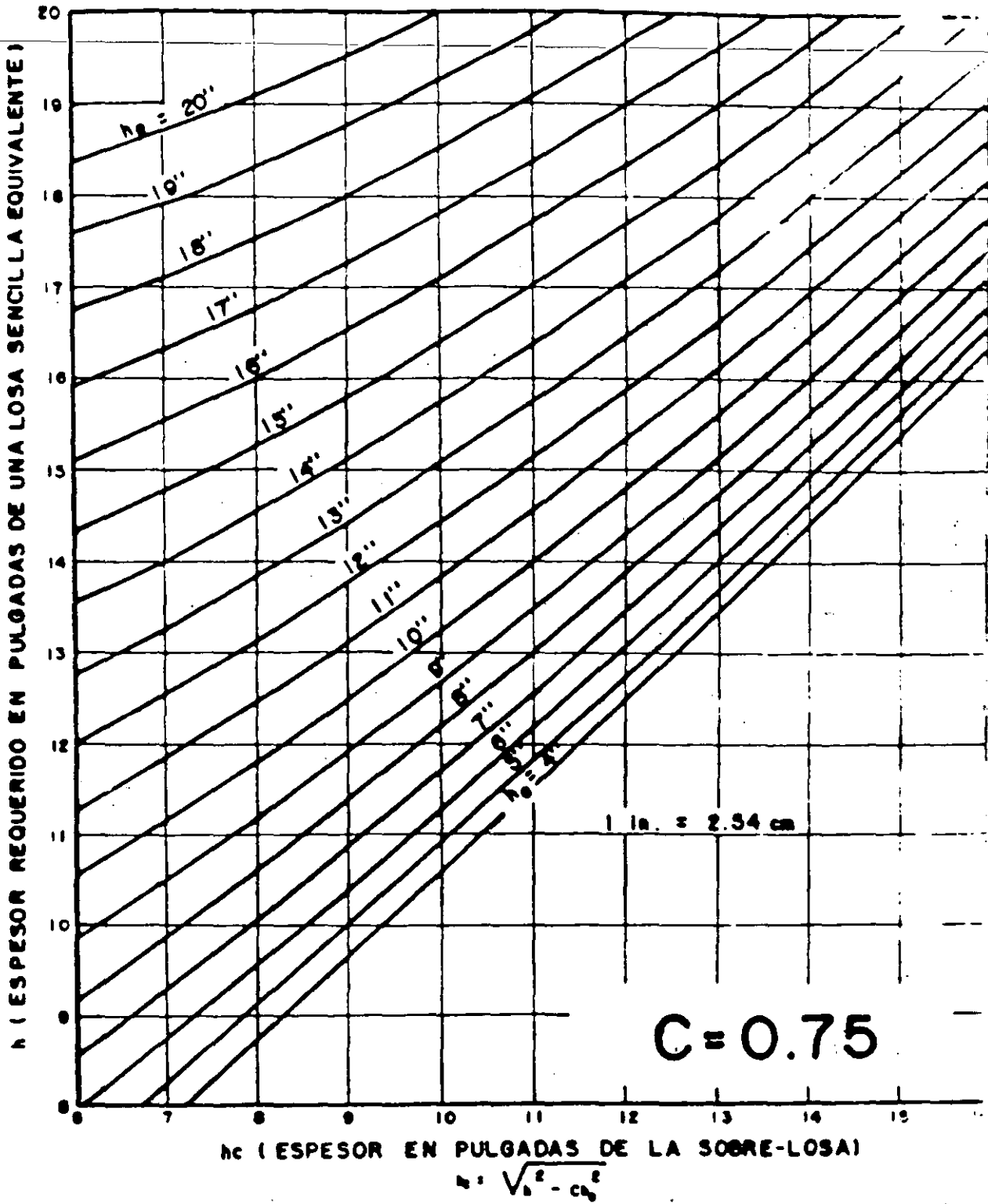
CAPA ADICIONAL DE CONCRETO SOBRE
PAVIMENTOS RIGIDOS
 (FAA-1978)

FIG 5.



CAPA ADICIONAL DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTOS RIGIDOS CON UNA CARPETA DE NIVELACION
(FAA - 1978)

FIG 6.



CAPA ADICIONAL DE CONCRETO SOBRE PAVIMENTOS RIGIDOS CON UNA CARPETA DE NIVELACION

(FAA - 1978)

DEFINICION DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF
STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
(AASHTO) PARA LAS FUNCIONES DE MANTENIMIENTO

- LAS NECESARIAS PARA QUE CUALQUIER TIPO DE CAMINO, ESTRUCTURA VIAL E INSTALACION CARRETERA, SE MANTENGA EN CONDICIONES SIMILARES A LAS DE SU ESTADO ORIGINAL AL TERMINO DE SU CONSTRUCCION O DESPUES DE MEJORAS POSTERIORES, PARA PROPORCIONAR UNA TRANSPORTACION SATISFACTORIA Y SEGURA •

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO MAYOR
(CRITERIO AASHTO)

- 1.- MEJORAR LAS CONDICIONES SUPERFICIALES PARA UN RECORRIDO COMODO Y SEGURO
- 2.- AMPLIAR LA VIDA DE LA ESTRUCTURA VIAL, INICIANDOSE UN NUEVO CICLO DE VIDA.
- 3.- RECONSTRUIR LAS SECCIONES QUE MANIFIESTAN DEBILIDAD ESTRUCTURAL O DE SU TERRENO DE CIMENTACION
- 4.- MEJORAR LAS CONDICIONES DE DRENAJE Y SUB-DRENAJE
- 5.- MEJORAR LAS CONDICIONES GEOMETRICAS, INCLUYENDO LOS ALINEAMIENTOS VERTICAL Y HORIZONTAL

EVALUACION DE PAVIMENTOS PARA
REALIZAR LAS ACCIONES SIGUIENTES

- 1.- PROPORCIONAR LA INFORMACION NECESARIA PARA PODER COMPROBAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS PREMISAS Y PREDICCIONES DEL PROYECTO, Y EN SU CASO PODER MODIFICAR LOS CRITERIOS PARA ACTUALIZAR EL METODO O MODELO DE DISEÑO
- 2.- PREDECIR EL COMPORTAMIENTO FUTURO DEL PAVIMENTO, PARA PROGRAMAR LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR, ASI COMO LOS FONDOS NECESARIOS PARA ELLO
- 3.- OBTENER INFORMACION QUE PERMITA MEJORAR LAS TECNICAS DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
- 4.- RECABAR LA INFORMACION NECESARIA PARA ACTUALIZAR LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO DE LA RED

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA PAVIMENTOS DURANTE EL
PROCESO DE EVALUACION CON PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

- VALOR RELATIVO DE SOPORTE.
- PRUEBA DE PLACA.
- MODULO DINAMICO COMPLEJO.
- MODULO DE RESILIENCIA.
- RIGIDEZ A LA FLEXION.
- TENSION INDIRECTA ESTATICA O DINAMICA.
- MODULO DE RIGIDEZ.
- DEFORMACION VISCOELASTICA.

PROCEDIMIENTOS NO DESTRUCTIVOS.

- MEDICIONES DE RESPUESTA A UNA CARGA ESTÁTICA O A UNA SOLA APLICACION DE UNA CARGA QUE SE MUEVE LENTAMENTE.
 - . VIGA BENKELMAN
 - . DEFLECTOMETRO VIAJERO
 - . DEFLECTOMETRO LACROIX

- RESPUESTA A UNA CARGA DINAMICA O REPETIDA.
 - . DYNAFLECT
 - . VIBRADOR SHELL
 - . ROAD-RAILER
 - . WES

- RUGOMETROS
 - . RUGOMETRO DEL BUREAU DE CARRETERAS PUBLICAS
 - . PERFILOMETRO CHLOE
 - . PERFILOMETRO DE CALIFORNIA (R.S.E.)
 - . PERFILOMETRO DEL R.R.L. BRITANICO (R.R.L.)
 - . PERFILOMETRO DINAMICO (SDP)

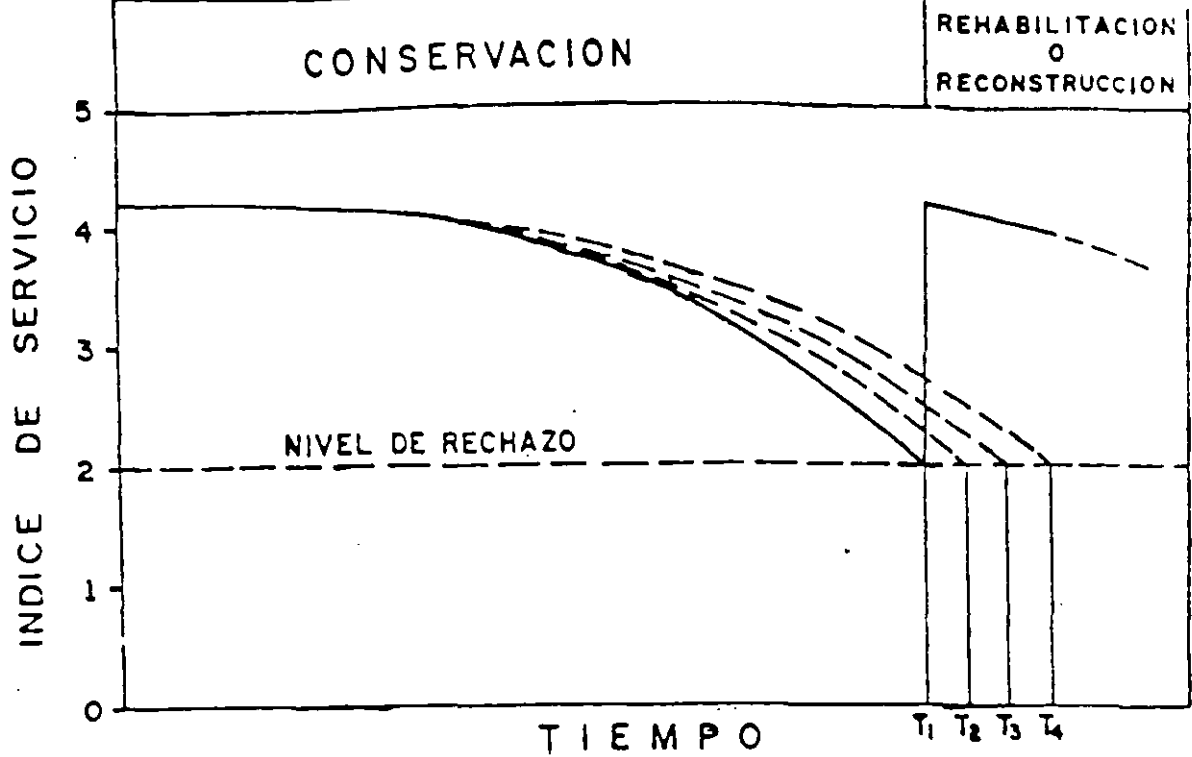


Fig 1.- Variación del índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

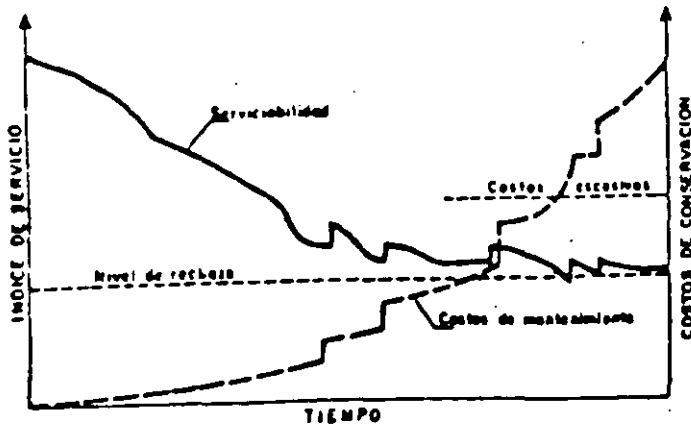


Fig 2.- Variación del índice de servicio y costos de conservación con el tiempo, con una política inadecuada de conservación. Haas y Hudson.

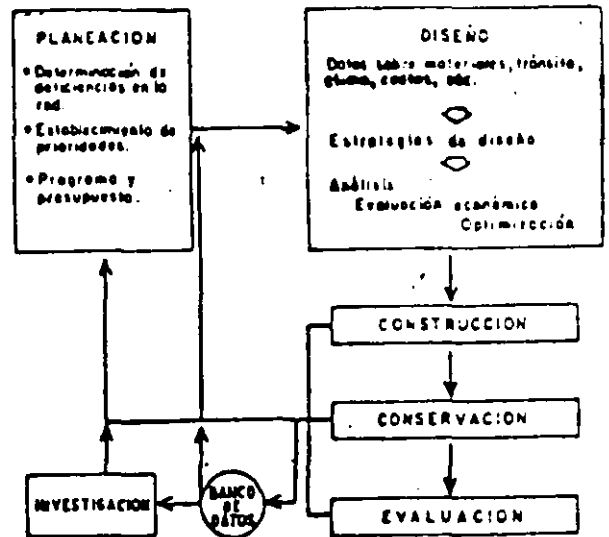


Fig 3.- Actividades principales de un sistema de administración de pavimentos. Haas y Hudson.

FIG 5

MATRIZ DE DECISIONES

| CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO | | | DECISION (2) | | |
|-------------------------------|---------------|---|--------------|-------------|--------|
| | | | T | D | P A |
| INDICE DE SERVICIO | CONDICION (1) | DEFLEXION x 10 ⁻³ pulg. (mm) | > 5000 | 1500 a 5000 | < 1500 |
| ≤ 2.5 | INACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | A |
| | | < 40 (1.0) | A | A | A |
| | ACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | B |
| | | < 40 (1.0) | B | B | B |
| > 2.5 | INACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | B |
| | | < 40 (1.0) | A | A | B |
| | ACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | B | B |
| | | < 40 (1.0) | B | B | B |

NOTAS:

(1) La condición inaceptable se define cuando ocurre cualquiera de los siguientes casos:

- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 10% y baches cubriendo más del 10%.
- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 30%.
- Roderas con profundidad 25 mm cubriendo el 20%.

En caso de que no ocurran los casos anteriores, se considera que la condición del tramo es aceptable.

(2) La decisión A significa que el tramo debe someterse a un estudio de tallado en la siguiente fase, el cual permitirá proyectar su respectiva rehabilitación. La decisión B debe interpretarse que el tramo por el momento, quedará sometido a labores de mantenimiento rutinario.

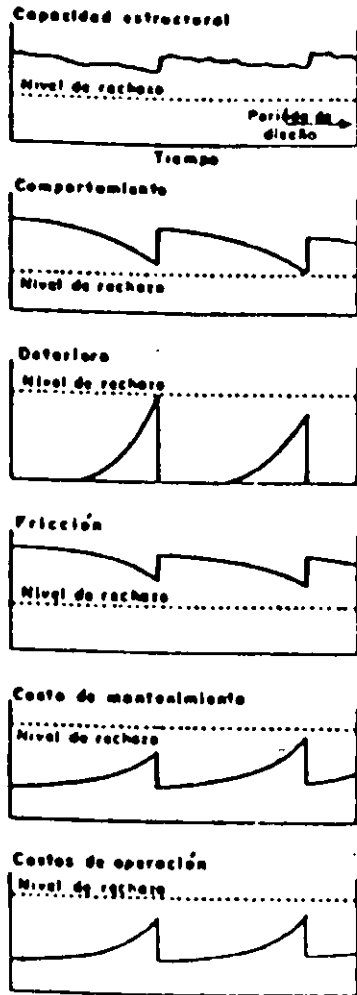


Fig 4.- Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento. Haas y Hudson.

Fig 6.- Acciones recomendables en función del tránsito y estados del pavimento.

CARRETERA _____ TRAMO _____
 BISTRAMO _____ ANCHO CORONA _____ ANCHO CARPETA _____
 TIPO DE PAVIMENTO _____ FECHA _____

| DEFECTOS: | CALIFICACION | |
|---|--------------|-----|
| Cristales Transversales | 0-5 | --- |
| Cristales Longitudinales | 0-5 | --- |
| Plas de coque | 0-10 | --- |
| Cristales de contracción | 0-5 | --- |
| Roderos | 0-10 | --- |
| Carrugaciones | 0-5 | --- |
| Desgranamiento | 0-5 | --- |
| Deformaciones plásticas | 0-10 | --- |
| Baches | 0-10 | --- |
| Fajas de aceite | 0-10 | --- |
| Agregados pulidos | 0-5 | --- |
| Deficiencias de drenaje | 0-10 | --- |
| Cantidad de Resquebraje (0 es excelente y 10 es muy malo) | 0-10 | --- |
| Suma de Defectos | | --- |

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos
 = 100 - _____

Calificación de Condición del Pavimento = _____

| ESTADO | TRANSITO PESADO | TRANSITO MEDIANO | TRANSITO LEVISO |
|-----------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| Excelente | Mantenimiento rutinario | | |
| Muy Buena | | Baches, Sobrecarpeta | |
| Buena | | Subsecciones en el reparo | |
| Regular | | | |
| Mala | | Sobrecarpeta | |
| Muy Mala | | | |
| Destruída | | Reconstrucción | |

Fig 7.- Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

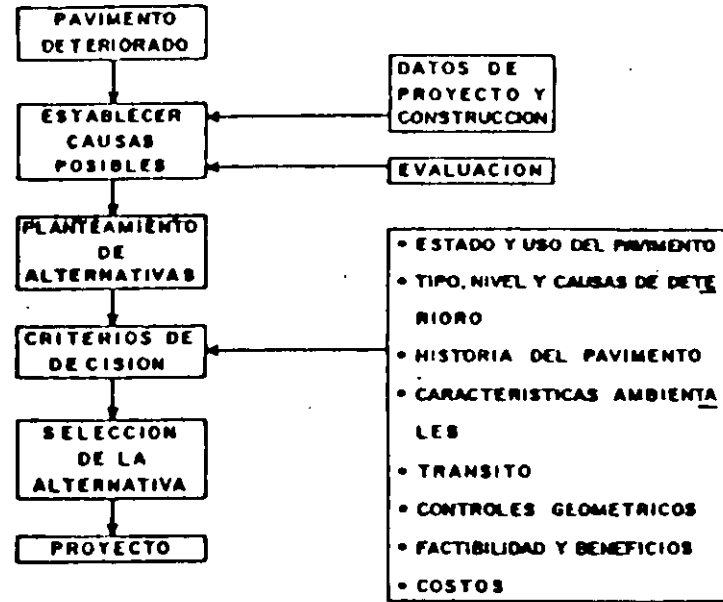


Fig 8.- Acciones de la conservación y rehabilitación. Monismith

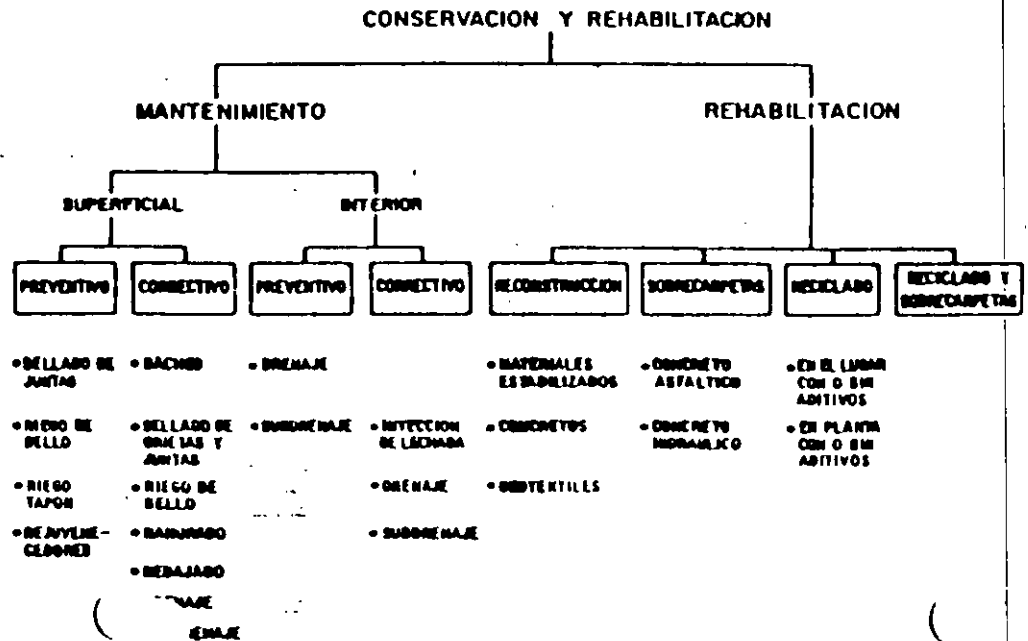


TABLA 3.- Tolerancias para conservación de vía

| Parámetro Vía | Ancho | Variación del ancho | Nivelación transversal | Nivelación longitudinal | Alineación en recta | Alineación en curva | Alebeo en recta y curva circular | Peralte |
|--------------------------|--|---|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------|
| J.N.R. Japón | + 5 mm - 3 mm | | 5 mm | 5 mm | ± 3 mm en 10 m | ± 4 mm en 10 m | ± 5 mm en 2.5 m | |
| Tokaido Japón | + 5 mm - 3 mm | | | 7 mm en 10 m | 3 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | 3 mm en 2.5 m | |
| Shin-Kansen Japón | + 6 mm - 4 mm | | 5 mm | 7 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | | 5 mm en 2.5 m | |
| S.N.C.F. Francia | - 3 mm | 1 mm por traviesa < 5 mm en 50 m | ± 5 mm | | | ± 4 mm en 10 m | 2°/oo en 3 m | |
| D.B. Alemania Occidental | + 3 mm en recta - 2 mm en curva | | ± 5 mm | | ± 2 mm en 16 m | ± 3 mm en 16 m | | |
| Dresina RENFE España | + 4 mm - 3 mm | 2 mm por traviesa < 4 mm en 50 m | | ± 4 mm | ± 4 mm en 10 m | ± 6 mm en 10 m con R < 500 m | ± 4 mm en 3 m | ± 5 mm |

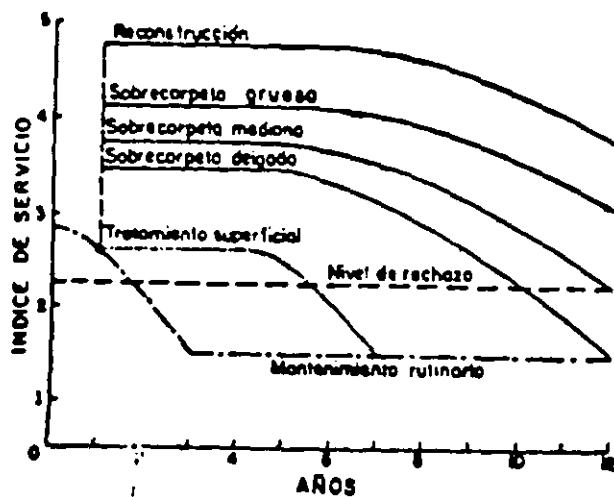


Fig 9.: Curvas típicas de comportamiento para diferentes alternativas de conservación y rehabilitación.

TABLA 4.- Tolerancias para vfa RBE montada sobre durmientes de concreto tipo monobloc con sujeción elástica. (1)

| Parámetro | Tolerancias | |
|--|---|--|
| | Montaje | Conservación |
| Ancho | ± 2 mm | + 5 mm - 3 mm |
| Variación del ancho | 3 mm en 3 m | 2 mm en 1 m 6 mm en 50 m |
| Nivelación transversal | ± 2.5 mm | + 5 mm |
| Nivelación longitudinal | + 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m + 2 mm en 6.5 m | + 10 mm en 20 m + 6 mm en 10 m + 3.5 mm en 6.5 m |
| Alineación en recta o curva R > 1000 m | + 5 mm en 20 m + 3 mm en 10 m | + 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m |
| Alineación en curva de transición o con R ≤ 1000 m | + 6 mm en 20 m + 4 mm en 10 m | + 8 mm en 20 m + 5 mm en 10 m |
| Alabeo en recta y curva circular | 2 mm en 3 m | 4.5 mm en 3 m |
| Alabeo en transiciones | 4 mm en 3 m | 6 mm en 3 m |
| Peralte | ± 3 mm | ± 5 mm |
| Soldadura en la superficie de rodadura | + 0.2 mm - 0.4 mm | |

(1) Especificaciones del organismo ferroviario español

Fig 10.- Evaluación económica y de comportamiento para diferentes estrategias.

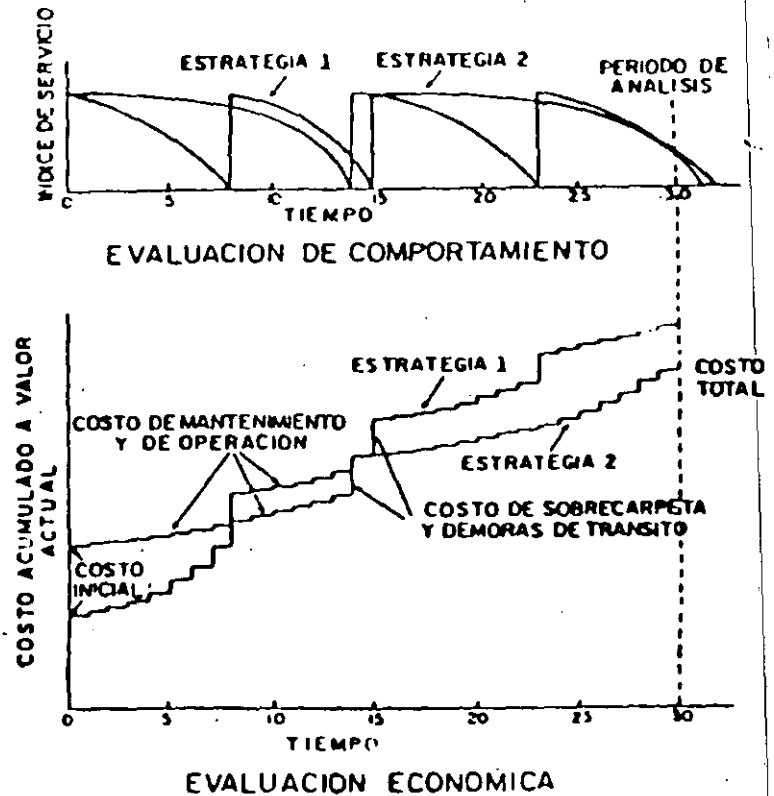
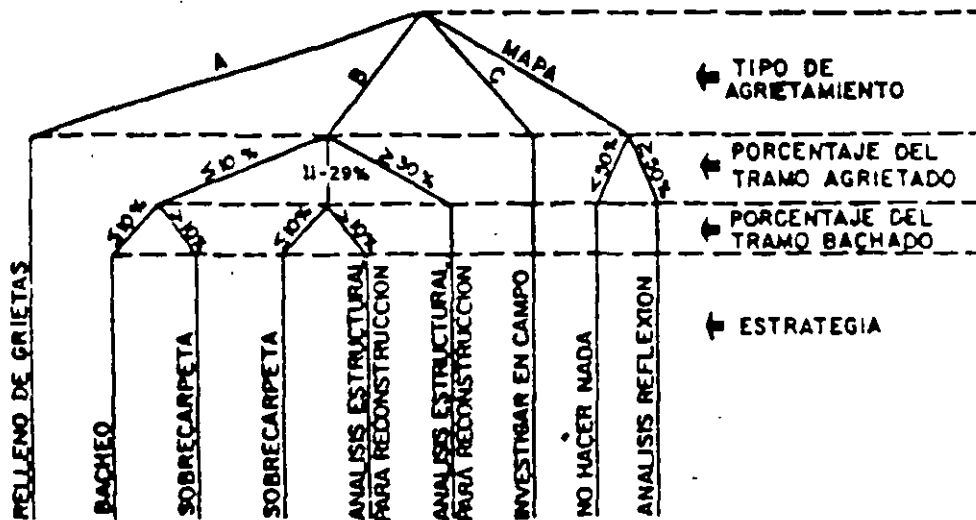


Fig 11.- Ejemplo de selección del procedimiento para corrección de deterioros. California

AGRIETAMIENTO EN FORMA DE MAPA O PIEL DE COCODRILLO



CLAVE:

- A GRIETAS LONGITUDINALES EN RODADAS
- B PIEL DE COCODRILLO EN RODADAS
- C AGRIETAMIENTO ESPECIAL O POCO COMUN
- MAPA AGRIETAMIENTO CUBRIENDO EL ANCHO DEL CARRIL

Fig 12.- Principales ventajas y desventajas de la técnica de reciclados.

RECICLADO

VENTAJAS

- UTILIZACION DE LOS MATERIALES EXISTENTES
- PRODUCE UNA LIBERA O IMPORTANTE MEJORA ESTRUCTURAL
- SOLUCIONA TODO TIPO DE DETERIORO
- REDUCE O ELIMINA EL AGRIETAMIENTO POR REFLEXION
- MEJORA LA CALIDAD DE RODAMIENTO Y LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- RESUELVE PROBLEMAS DE CONTROLES GEOMETRICOS
- PUEDE ESTABLECERSE UN BUEN CONTROL DE CALIDAD

DESVENTAJAS

- INTERFERENCIAS CON EL TRANSITO
- COSTO
- PROBLEMAS DE CONTAMINACION Y DAÑOS A LA VEGETACION
- NO RESUELVE PROBLEMAS OCASIONADOS POR TERRACERIAS ABILES

Fig 13.- Coeficiente de daño a 0 y 60 cm de profundidad para diferentes tipos de vehículos que circulan por la Red Carretera Nacional. Curro.





| VEHICULO | COEFICIENTE DE DAÑO | | TIPO |
|--|--|--|---|
| | Z=0 | Z=60 | |
| A1 A2 B1 B3 B4 C1 C3 C4 | 0.004 0.536 2.000 1.999 2.666 2.000 1.999 4.000 | 0.000 0.018 0.899 0.756 0.753 0.899 0.756 2.937 | W = 23.5 ton  |
| T2-S1 T2-S2 T3-S1 T3-S3 | 3.000 4.000 5.000 6.000 | 3.331 2.790 2.249 5.758 | W = 46.0 ton  |
| C2-R1 C3-R2 C3-R3 | 4.000 5.000 6.000 | 8.579 8.580 8.581 | W = 43.5 ton  |
| T2-S1-R2 T2-S2-R2 T3-S1-R2 T3-S2-R2 T3-S2-R3 T3-S2-R4 | 5.000 6.000 6.000 7.000 8.000 9.000 | 11.399 11.400 11.400 11.401 11.401 11.403 | W = 77.5 ton  |

TABLA 1.- Areas de aplicación y usos de medidores de rugosidad

| Tipo de vialidad | Propósito de la medición | | |
|--|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Inicial | Periódica | Terminal |
| 1.- Autopista o carreteras principales | BRR, SDP, CRM RSE, RRL, CHLOE | CRM, SDP, RRL CHLOE | CRM, SDP CHLOE, RRL |
| 2.- Carreteras secundarias | BPR, CRM, RSE SDP, RRL, CHLOE | CRM, SDP, RRL CHLOE | CRM, SDP CHLOE, RRL |
| 3.- Carreteras vecinales | CRM, BPR, RSE SDP | CRM | CRM |
| 4.- Aeropistas | SDP, RRL, CRM RSE | CRM, SDP, RRL RSE | SDP, RRL RSE |
| U s o s | | | |
| A.- Monitoreo durante la construcción | X | | |
| B.- Programas de conservación | | X | X |
| C.- Inventario | | X | X |
| D.- Investigación | X | X | X |

TABLA 2.- Tolerancias para montaje de vfa nueva

| Parámetro Vfa | Ancho | Variación del ancho | Nivelación transversal | Nivelación longitudinal | Alineación en recta | Alineación en curva | Alabeo en recta y curva circular | Peralte |
|--------------------------|------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------|
| J.N.R. Japón | | | 2 mm | 2 mm | | 2 mm | 1.5 mm en 2.5 m | |
| Tokaido Japón | ± 2mm | | | ± 4 mm en 10 m | ± 3 mm en 10 m | ± 3 mm en 10 m | 2 mm en 2.5 m | |
| Shin-Kansen Japón | ± 2mm | | 3 mm | 4 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | | 3 mm en 2.5 m | |
| S.N.C.F. Francia | | | ± 3 mm | | | ± 1 mm en 10 m | 1°/o en 3m | |
| I.S. Italia | + 2 mm - 1 mm | | 4 mm | 4 mm en 10 m | 2 mm en 10 m | 3 mm en 10 m | ± 1°/o en 3 m | |
| D.B. Alemania Occidental | | | ± 2 mm | 2 mm en 5 m | | 2 mm en 16 m | | |
| Dresina RENFE España | + 3 mm - 2 mm | | | ± 3 mm en 6.5 m | ± 3 mm en 10 m | + 5 mm en 10 m con R ≤ 10 m | ± 3 mm en 3 m | ± 3 mm |

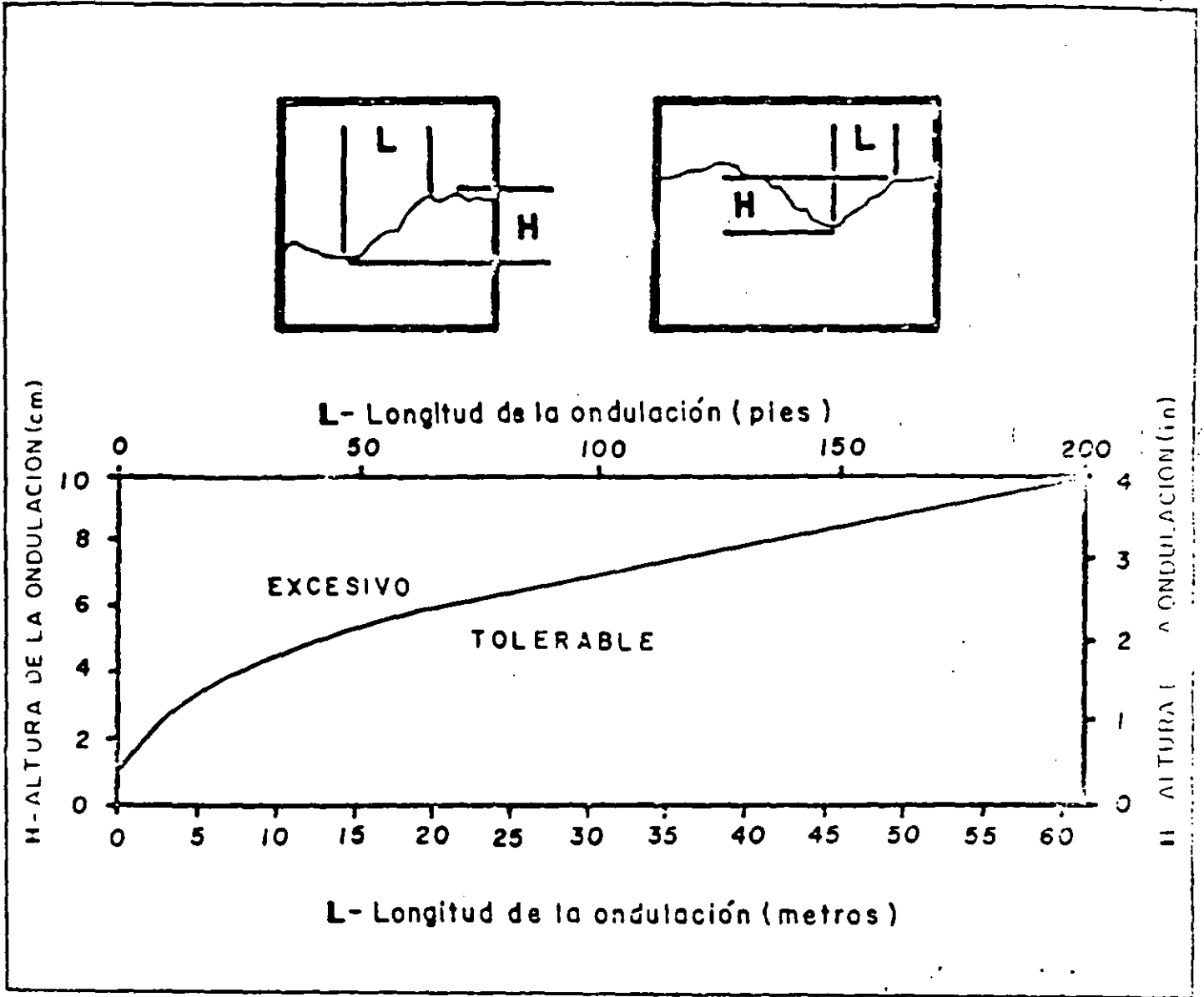


Fig 1.2-4 Criterio de Boeing para conservación de pistas (por irregularidades de la superficie)

VALORES TÍPICOS DE ÍNDICE DE PERFIL

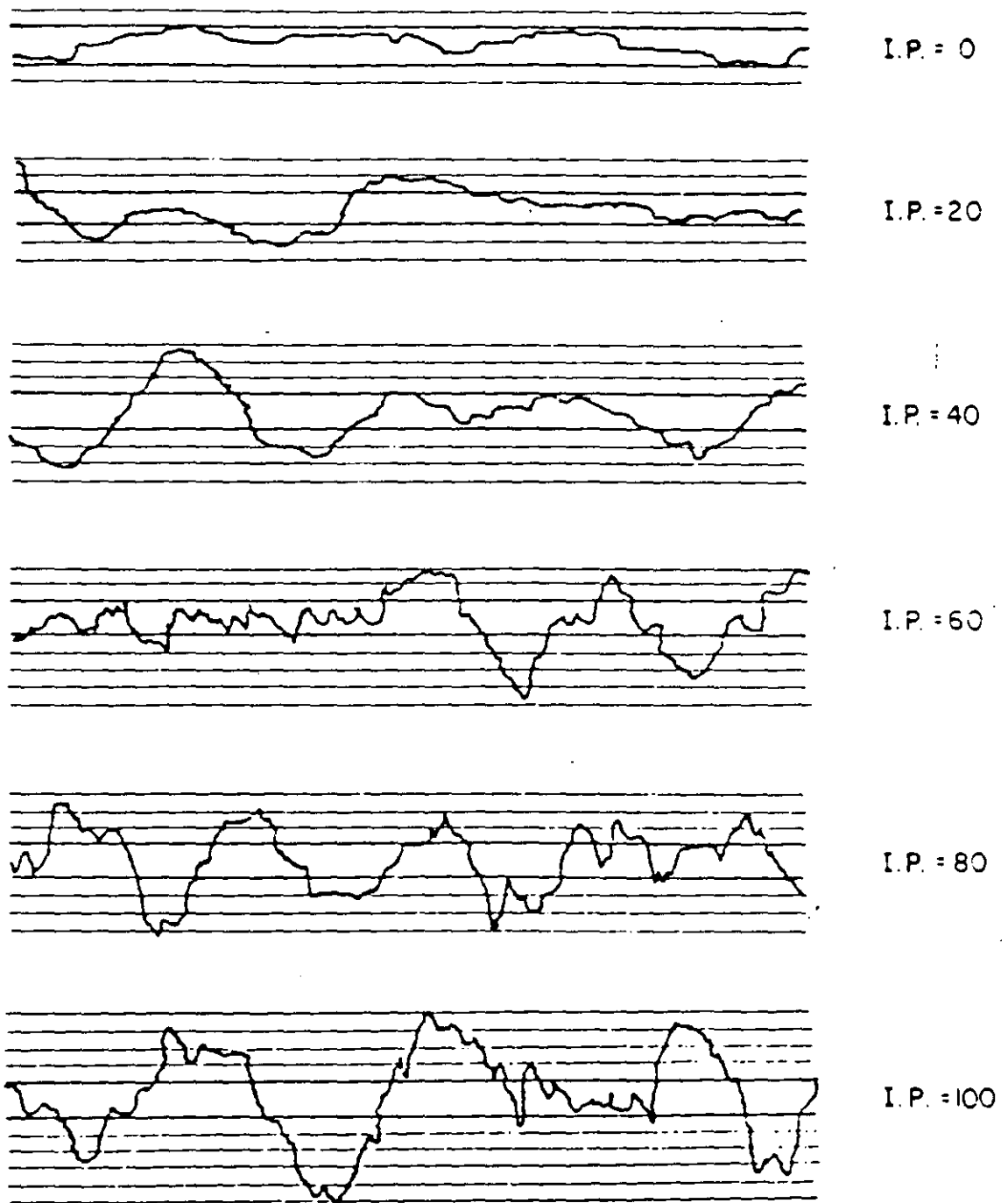


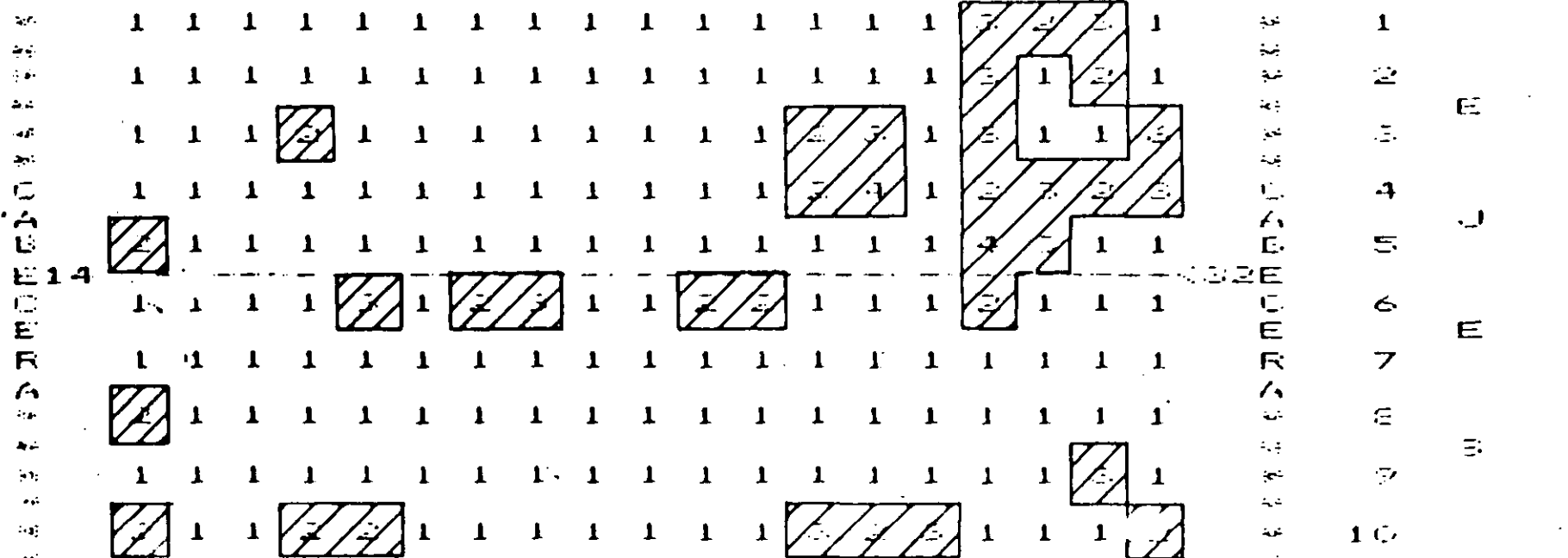
Fig. 1.4-67 Valores típicos de índice de perfil (I.P.)

Esc. H. 1/300
Esc. V. 1/1

ORDENES DE PERFILES LEVANTADOS.

CLAVES DE PERFILES

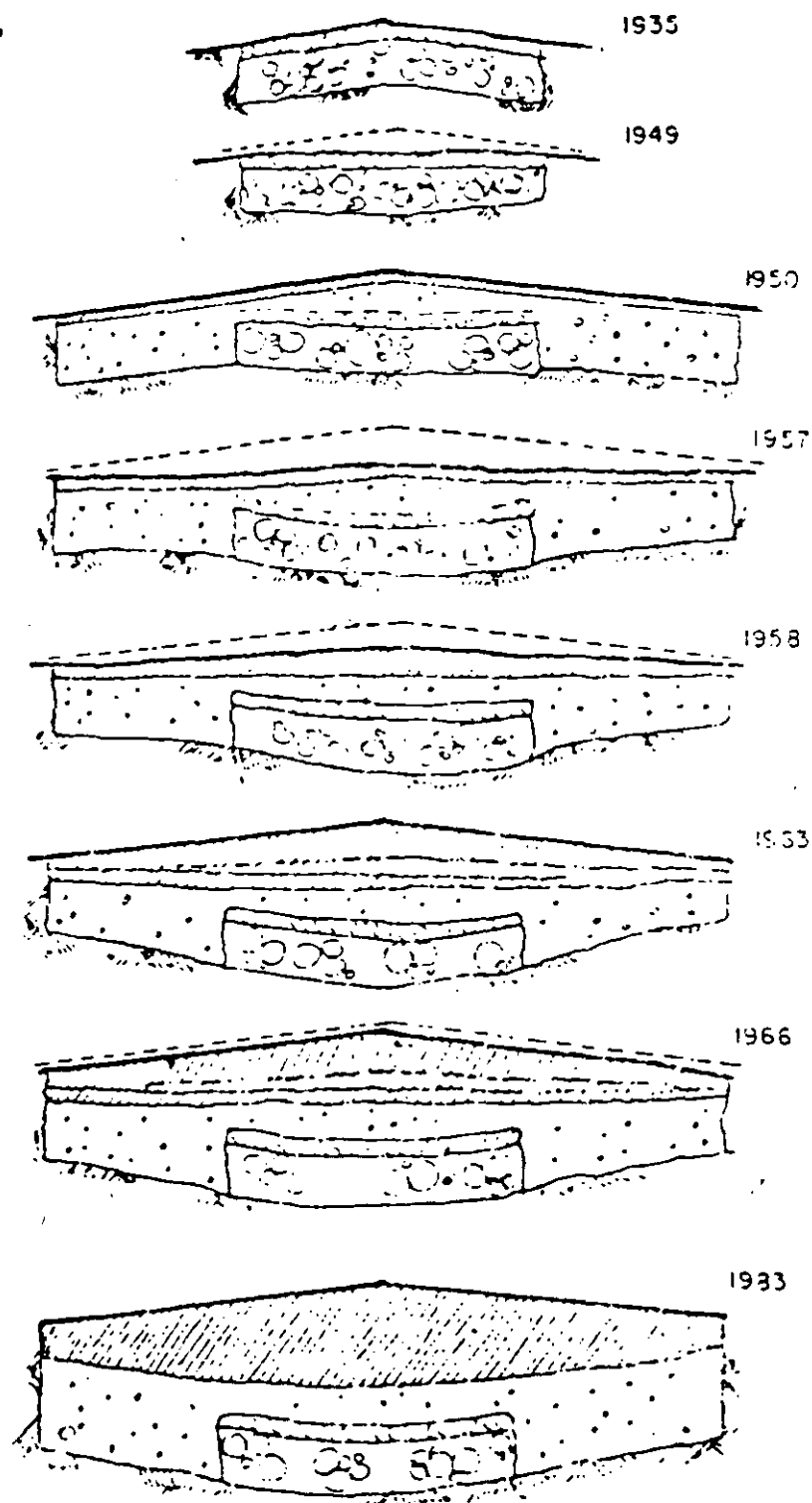
| | | | | |
|------|----|-----|---|-----|
| 11.- | DE | 0 | A | 30 |
| 12.- | DE | 30 | A | 40 |
| 13.- | DE | 40 | A | 50 |
| 14.- | DE | 50 | A | 60 |
| 15.- | DE | 60 | A | 70 |
| 16.- | DE | 70 | A | 80 |
| 17.- | DE | 80 | A | 90 |
| 18.- | DE | 90 | A | 100 |
| 19.- | DE | 100 | A | 110 |



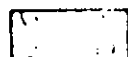
▨ ZONAS CON I.P. MAYOR DE 30.0

| AEROPUERTO DE SAN LUIS POTOSI, S.L.P. PISTA 14-32 | RECORRIDO Nº | COEFICIENTE DE FRICCION | | | | | |
|--|---------------------|-------------------------|------|----------------|------|--------------------|------|
| | | TRAMO | | | | | |
| | | "A" CABECERA 14 | | "B" CENTRAL | | "C" CABECERA 12 | |
| | | PROM. | MIN. | PROM. | MIN. | PROM. | MIN. |
| VELOCIDAD 65 Km/h. | 1 | 0.89 | 0.72 | 0.92 | 0.88 | 0.90 | 0.76 |
| | 2 | 0.92 | 0.74 | 0.93 | 0.90 | 0.92 | 0.89 |
| | 3 | 0.90 | 0.74 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.83 |
| | 4 | 0.92 | 0.77 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.83 |
| TOTAL | | 0.91 | 0.72 | 0.92 | 0.88 | 0.91 | 0.76 |

EVOLUCION DE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES (FIG. 1)



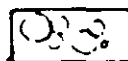
SIMBOLOGIA:



MACADAM ASFALTICO



GRAVA

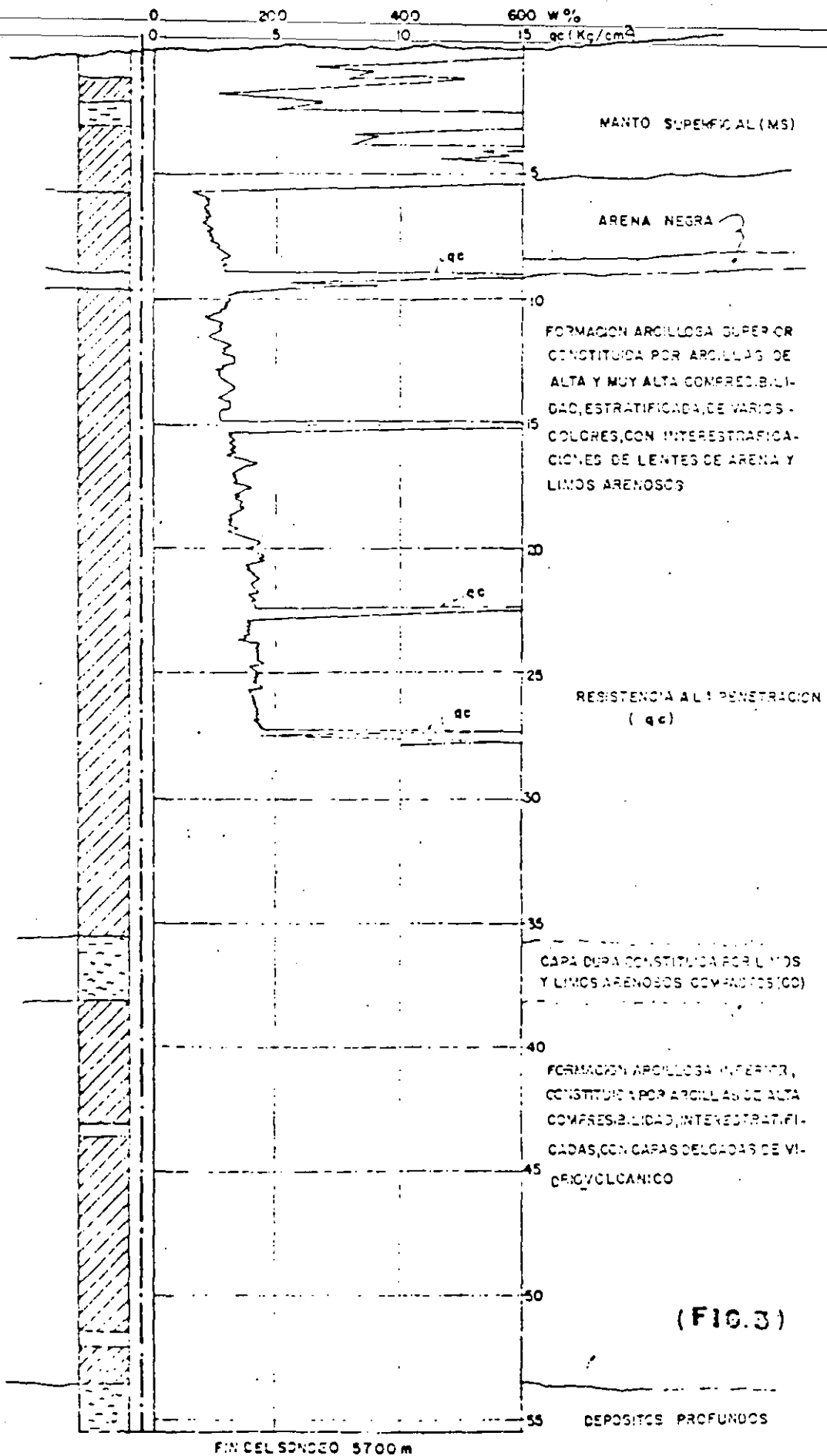


BASE TELEFORD



CONCRETO ASFALTICO

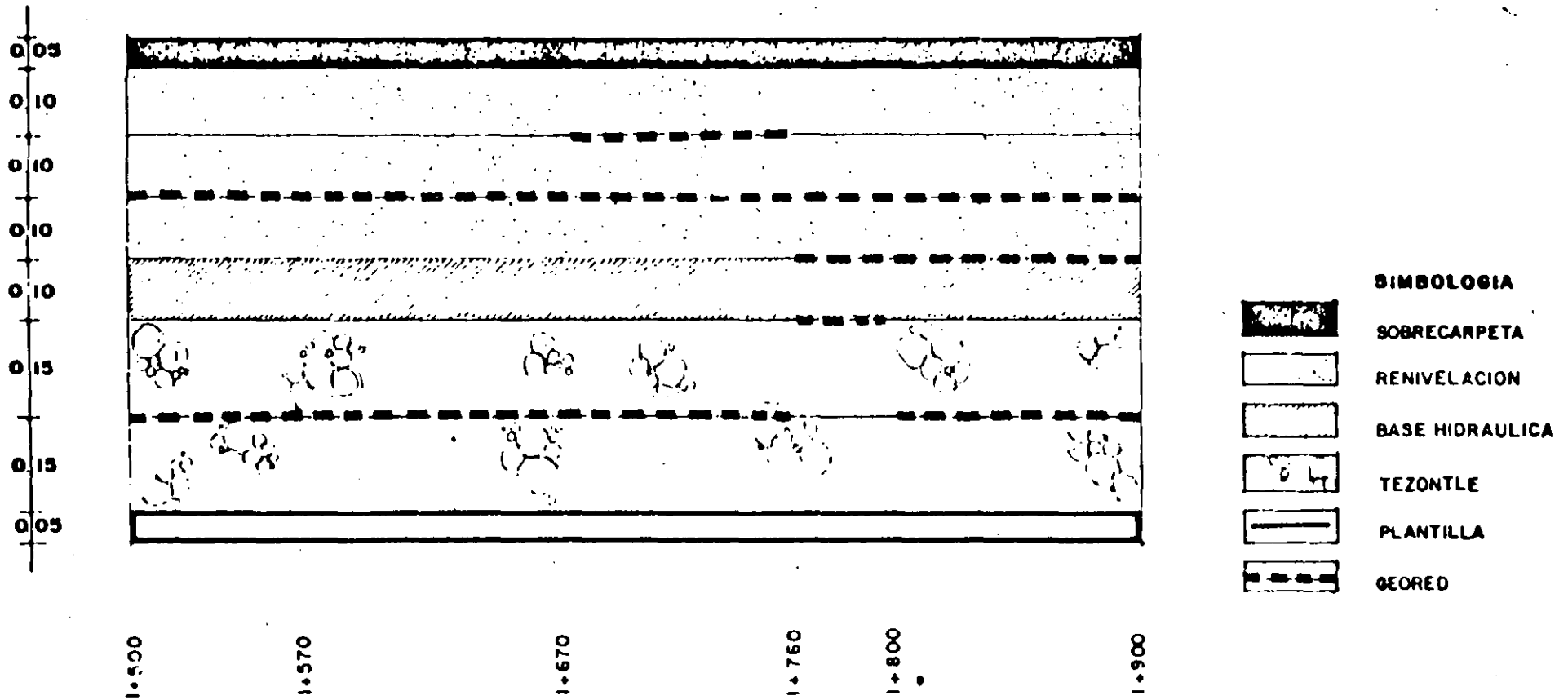
SONDEO UTILIZANDO EL CONO PENETRADOR
 - SC-2 ubicado en la estación 1+300 eje de pista -

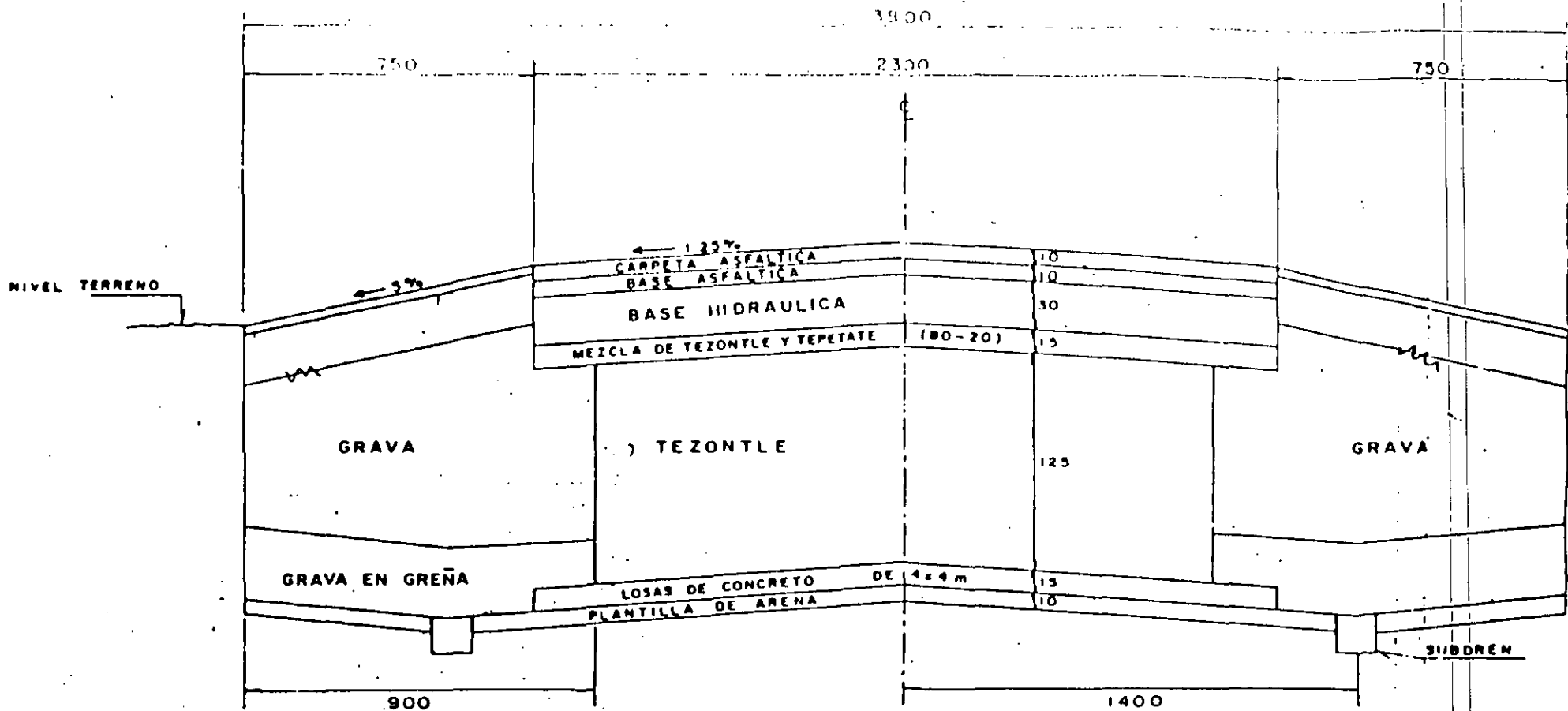


(FIG.3)

FIN DEL SONDEO 5700 m

CORTE LONGITUDINAL DEL BACHE DE SECCION COMPENSADA
LOCALIZACION DE LA GEORED (FIG 7)





SECCION COMPENSADA PARA
RODAJES DEL AICM

ACOTACIONES EN CM.

NOVIEMBRE, 1986

CLASIFICACION DE LA RED FEDERAL

| | |
|-----------|---|
| 30,000 km | DE RED BASICA TRAMOS QUE UNEN CAPITALS DE ESTADO O PUERTOS MARITIMOS O FRONTERIZOS. |
| 15,000 km | DENTRO DE LA RED BASICA, TRAMOS CON ALTOS VOLUMENES DE TRANSITO Y QUE CONFORMAN LAS PRINCIPALES RUTAS. |
| 15,000 km | RESTANTES, RED SECUNDARIA |
| 2,000 km | PARA ELIMINAR CUELLOS DE BOTELLA CON LOS SIGUIENTES TRABAJOS MODIFICACION DE CARACTERISTICAS GEOMETRICAS TALES COMO: - GRADO DE CURVATURA - PENDIENTE - ANCHO DE CORONA - CONSTRUCCION O AMPLIACION DE CARRILES DE ASCENSO - CONSTRUCCION DE LIBRAMIENTOS |

LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES TIENE RESPONSABILIDAD DE CONSERVAR Y MANTENER EN OPTIMAS CONDICIONES DE SERVICIO A LA RED CARRETERA NACIONAL.

22,000 km QUE NO PUEDEN SER ATENDIDOS CON CONSERVACION NORMAL POR FALTA DE PERSONAL.

6 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE CONSERVACION:

1. MANTENIMIENTO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO
2. LIMPIEZA Y REPOSICION DE ACOTAMIENTOS
3. DESAZOLVE Y REPARACION DE OBRAS DE DRENAJE
4. RECARGUES Y ESTABILIZACION DE TALUDES
5. LIMPIEZA DE ZONAS LATERALES
6. SEÑALAMIENTO

OBRAS DE EMERGENCIA POR FALTA DE CONSERVACION

| | |
|-----------|--|
| \$100,000 | MILLONES DE PESOS PARA DAÑOS (NECESIDAD ANUAL) |
| \$300,000 | ACUMULADO DE AÑOS ANTERIORES |

DIAGNOSTICO DE LA RED CARRETERA

| | |
|---|------------|
| LONGITUD DEL SISTEMA CARRETERO NACIONAL = | 238,000 km |
| RED FEDERAL | 45,000 km |
| CARRETERAS DE CUOTA | 1,000 km |
| CARRETERAS ALIMENTADORAS | 59,000 km |
| CAMINOS RURALES | 98,000 km |
| BRECHAS MEJORADAS | 35,000 km |

RED FEDERAL

- 32 % PRINCIPALES EJES DEL PAIS DISEÑADOS Y CONSTRUIDOS ANTES DE 1955.
- 55% FUERA DE VIDA UTIL CON MAS DE 30 AÑOS DE SERVICIO
- 15% TIENE MENOS DE 15 AÑOS

RED ESTATAL

- 28,500 KM EN SIMILARES CONDICIONES
- 75% CONSTRUIDOS ANTES DE 1965

CAMINOS RURALES

EXISTE UN ALTO PORCENTAJE CONSTRUIDO HACE MAS DE 20 AÑOS

PARQUE DE MAQUINARIA

- 67% FUERA DE VIDA UTIL

ESTADO FISICO

CALIFICACION PONDERADA DE

355 PUNTOS

ESCALA 0 A 500

SE REQUIERE UNA ASIGNACION DEL ORDEN DE LOS 6 BILLONES O SEA QUE PARA EJECUTAR EL PROGRAMA EN 5 AÑOS SE NECESITAN 1.2 BILLONES DE PESOS POR AÑO EXCLUSIVAMENTE PARA CUBRIR LOS RECUBRIMIENTOS ACTUALES DE LA RED.

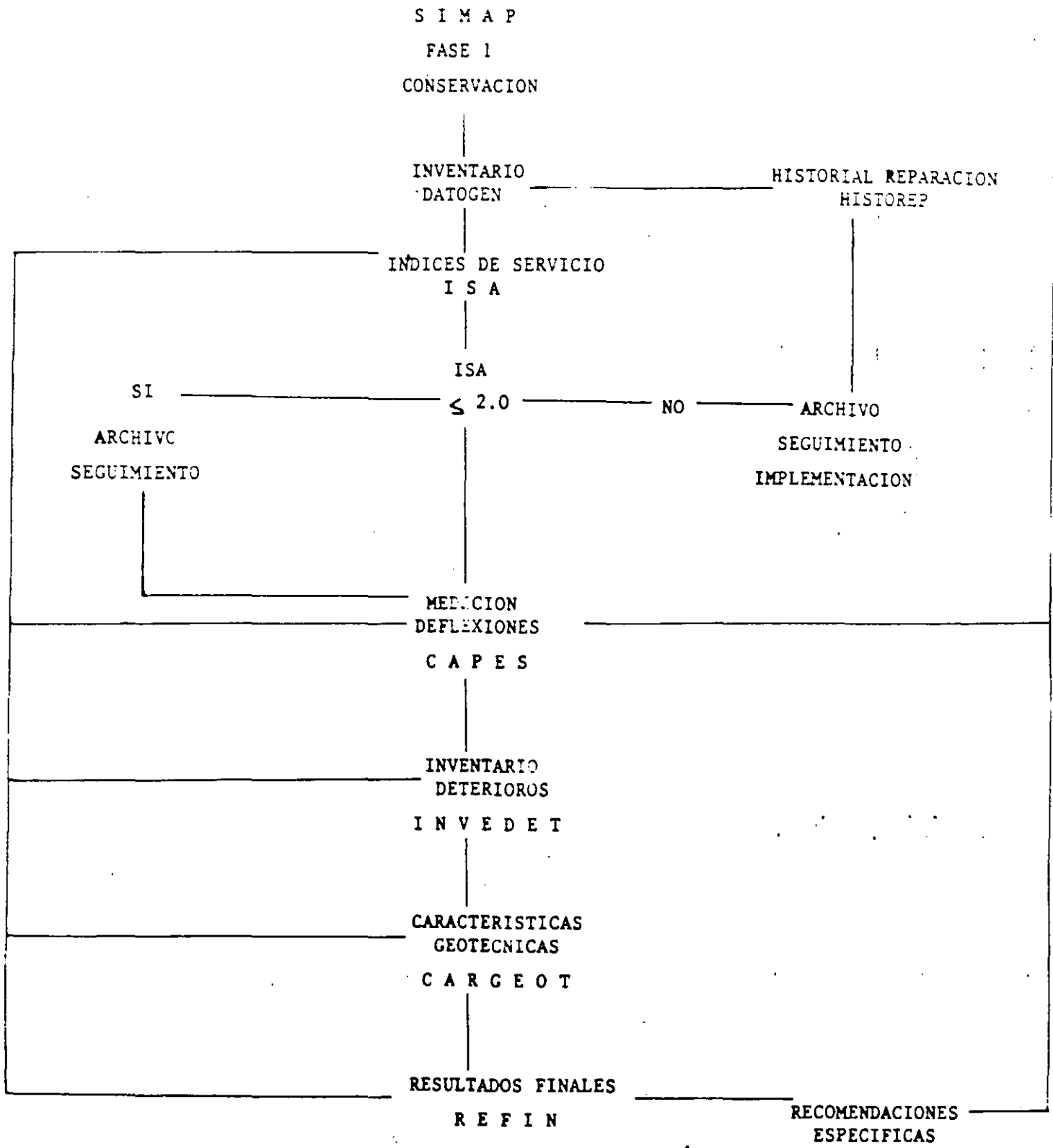
ASIGNACION 1990

S 452,000.0

PROGRAMA FINANCIADO POR EL BANCO MUNDIAL

13,000 KM DE LA RED TRONCAL CON UNA INVERSION DE 44 MILLONES DE PESOS

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SIMAP



BASES CONCEPTUALES DEL SISTEMA MEXICANO PARA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

EL SISTEMA MEXICANO SE FUNDAMENTA EN TRES PUNTOS BASICOS.

- A) HA DE ACEPTARSE ALGUN TIPO DE CORRELACION ENTRE LA EVALUACION DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO Y SU CONDICION GENERAL, DE MANERA QUE, CUANTO MAS POBRE SEA LA CALIDAD SUPERFICIAL Y MAS RAPIDAMENTE SE DETERIORE, PEOR DEBE SER LA CONDICION ESTRUCTURAL. ESTA ES UNA CONCLUSION DE CARACTER CUALITATIVO.
- B) HA DE ACEPTARSE QUE LA DEFICIENCIA ESTRUCTURAL PUEDE CORRELACIONARSE CON ALGUNA MEDIDA HECHA DESDE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO. LA DEFLEXION PARECE SER EL CONCEPTO QUE MEJOR SIRVE PARA ESTOS FINES. ESTA ES UNA CONCLUSION DE CARACTER CUALITATIVO Y SE ACEPTA QUE LA MAGNITUD DE LA DEFLEXION MIDE EL DEFECTO ESTRUCTURAL, AUNQUE NO LO ANALICE NI LO LOCALICE.

CUANDO LAS DEFLEXIONES MUESTREN DEFICIENCIA ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO, SOLO LA EXPLORACION DIRECTA PERMITIRA EL DIAGNOSTICO Y LA UBICACION PRECISA DE DICHS DAÑOS ESTRUCTURALES.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

ANEXO AL TEMA

MANTENIMIENTO MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

ING. BENJAMIN BARRERA AMIGON

OCTUBRE

DEFINICION DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF
STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
(AASHTO) PARA LAS FUNCIONES DE MANTENIMIENTO

" LAS NECESARIAS PARA QUE CUALQUIER TIPO DE CAMINO, ESTRUCTURA VIAL E INSTALACION CARRETERA, SE MANTENGA EN CONDICIONES SIMILARES A LAS DE SU ESTADO ORIGINAL AL TERMINO DE SU CONSTRUCCION O DESPUES DE MEJORAS POSTERIORES, PARA PROPORCIONAR UNA TRANSPORTACION SATISFACTORIA Y SEGURA "

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO MAYOR
(CRITERIO AASHTO)

- 1.- MEJORAR LAS CONDICIONES SUPERFICIALES PARA UN RECORRIDO COMODO Y SEGURO

- 2.- AMPLIAR LA VIDA DE LA ESTRUCTURA VIAL, INICIANDOSE UN NUEVO CICLO DE VIDA.

- 3.- RECONSTRUIR LAS SECCIONES QUE MANIFIESTAN DEBILIDAD ESTRUCTURAL O DE SU TERRENO DE CIMENTACION

- 4.- MEJORAR LAS CONDICIONES DE DRENAJE Y SUB-DRENAJE

- 5.- MEJORAR LAS CONDICIONES GEOMETRICAS, INCLUYENDO LOS ALINEAMIENTOS VERTICAL Y HORIZONTAL

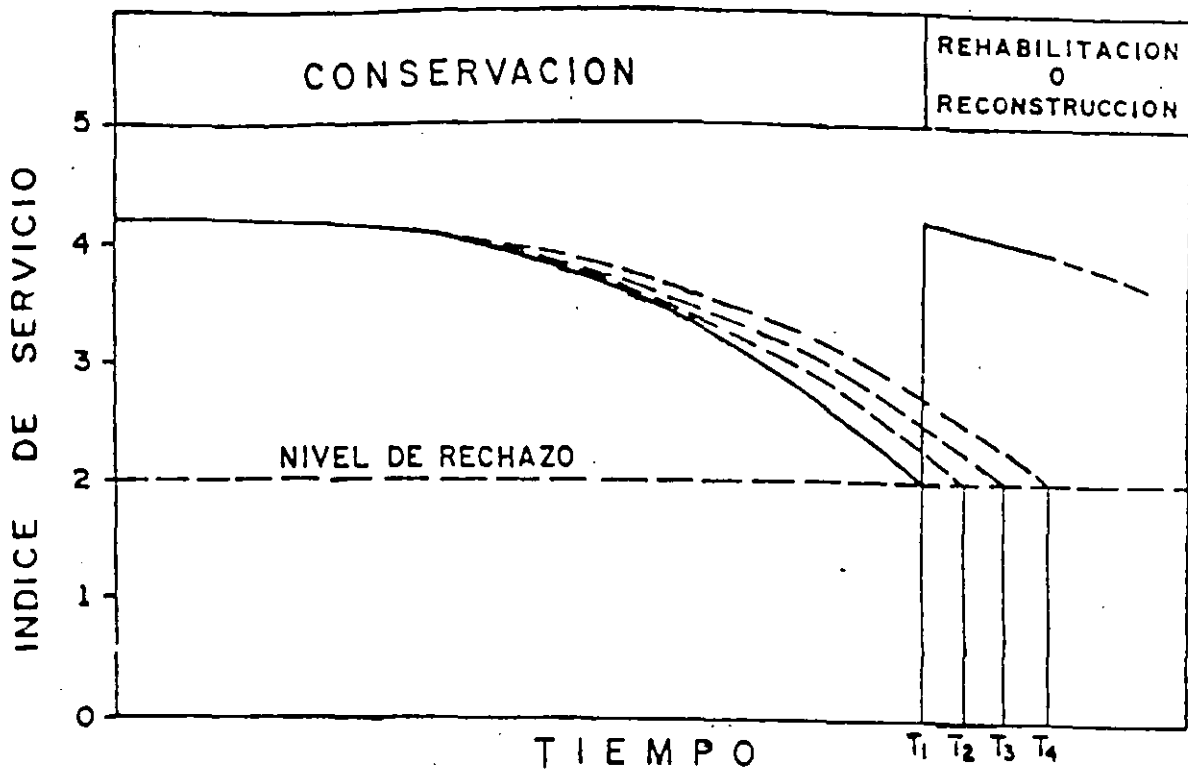


Fig 1.- Variación del índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

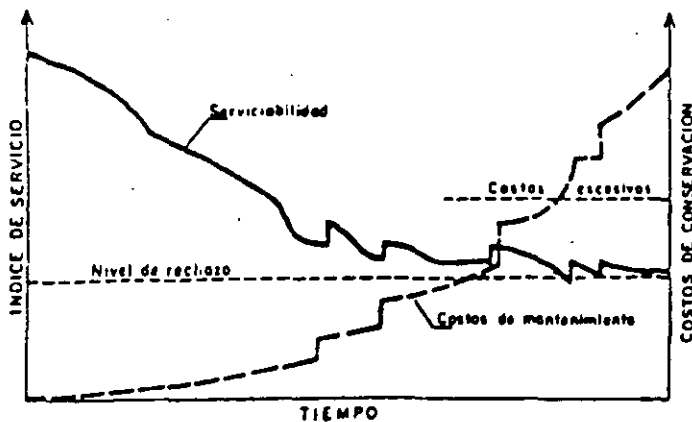


Fig 2.- Variación del índice de servicio y - costos de conservación con el tiempo, con una política inadecuada de conservación. Haas y Hudson.

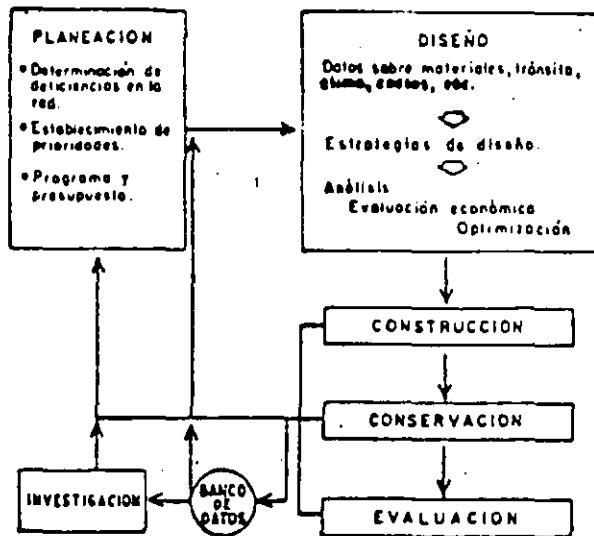


Fig 3.- Actividades principales de un sistema de administración de pavimentos. Haas y Hudson.

EVALUACION DE PAVIMENTOS PARA
REALIZAR LAS ACCIONES SIGUIENTES

- 1.- PROPORCIONAR LA INFORMACION NECESARIA PARA PODER COMPROBAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS PREMISAS Y PREDICCIONES DEL PROYECTO, Y EN SU CASO PODER MODIFICAR LOS CRITERIOS PARA ACTUALIZAR EL METODO O MODELO DE DISEÑO
- 2.- PREDECIR EL COMPORTAMIENTO FUTURO DEL PAVIMENTO, PARA PROGRAMAR LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR, ASI COMO LOS FONDOS NECESARIOS PARA ELLO
- 3.- OBTENER INFORMACION QUE PERMITA MEJORAR LAS TECNICAS DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
- 4.- RECABAR LA INFORMACION NECESARIA PARA ACTUALIZAR LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO DE LA RED

Fig 5

MATRIZ DE DECISIONES

| CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO | | | DECISION (2) | | |
|-------------------------------|---------------|---|--------------|-------------------|--------|
| | | | T | D | P A |
| INDICE DE SERVICIO | CONDICION (1) | DEFLESION $\times 10^{-3}$ pulg. (mm) | > 5000 | 1500 o 5000 | < 1500 |
| ≤ 2.5 | INACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | A |
| | | < 40 (1.0) | A | A | A |
| | ACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | B |
| | | < 40 (1.0) | B | B | B |
| > 2.5 | INACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | A | B |
| | | < 40 (1.0) | A | A | B |
| | ACEPTABLE | ≥ 40 (1.0) | A | B | B |
| | | < 40 (1.0) | B | B | B |

NOTAS:

(1) La condición inaceptable se define cuando ocurre cualquiera de los siguientes casos:

- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 10% y baches cubriendo más del 10%.
- Grietas de piel de cocodrilo en las rodadas, cubriendo más del 30%.
- Roderas con profundidad 25 mm cubriendo el 20%.

En caso de que no ocurran los casos anteriores, se considera que la condición del tramo es aceptable.

(2) La decisión A significa que el tramo debe someterse a un estudio de tallado en la siguiente fase, el cual permitirá proyectar su respectiva rehabilitación. La decisión B debe interpretarse que el tramo por el momento, quedará sometido a labores de mantenimiento rutinario.

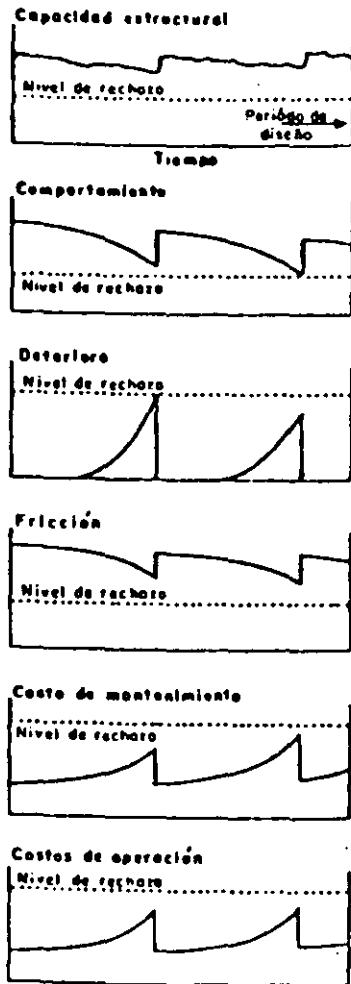


Fig. 4.- Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento. Haas y Hudson.

Fig 6.- Acciones recomendables en función del tránsito y estados del pavimento.

CARRETERA _____ TRAMO _____
 SUBTRAMO _____ ANCHO CORONA _____ ANCHO CARPETA _____
 TIPO DE PAVIMENTO _____ FECHA _____

| DEFECTOS: | CALIFICACION | |
|---|------------------|-----|
| Grietas Transversales _____ | 0-5 | --- |
| Grietas Longitudinales _____ | 0-5 | --- |
| Piel de cocodrilo _____ | 0-10 | --- |
| Grietas de contracción _____ | 0-5 | --- |
| Roderos _____ | 0-10 | --- |
| Corrugaciones _____ | 0-5 | --- |
| Desgranamiento _____ | 0-5 | --- |
| Deformaciones plásticas _____ | 0-10 | --- |
| Baches _____ | 0-10 | --- |
| Fuertes de asfalto _____ | 0-10 | --- |
| Agregados pulidos _____ | 0-5 | --- |
| Deficiencias de drenaje _____ | 0-10 | --- |
| Calidad de Rodamiento (0 es excelente y 10 es muy malo) _____ | 0-10 | --- |
| | Suma de Defectos | --- |

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos
 = 100 - _____

Calificación de Condición del Pavimento = _____

| ESTADO | TRANSITO PESADO | TRANSITO MEDIANO | TRANSITO BAJERO |
|----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|
| 100 Excelente | Mantenimiento rutinario | | |
| 85 Muy Bueno | | Bacheo, Sobrecarpeta | |
| 70 Buena | | Traslapamiento en el reparar | |
| 65 Regular | | | |
| 40 Malo | | Sobrecarpetas | |
| 25 Muy Malo | | | |
| 10 Destruído | | Reconstrucción | |
| 0 CALIFICACION | | | |

Fig 7.- Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

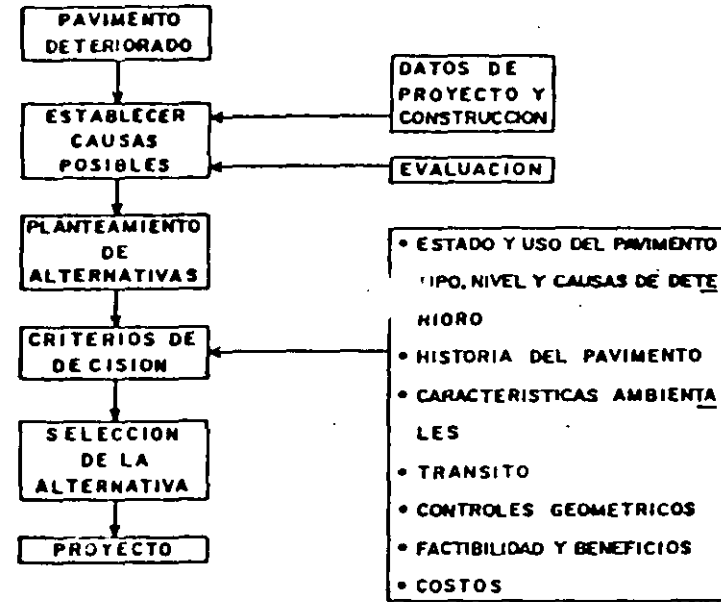


Fig 8.- Acciones de la conservación y rehabilitación. Monismith

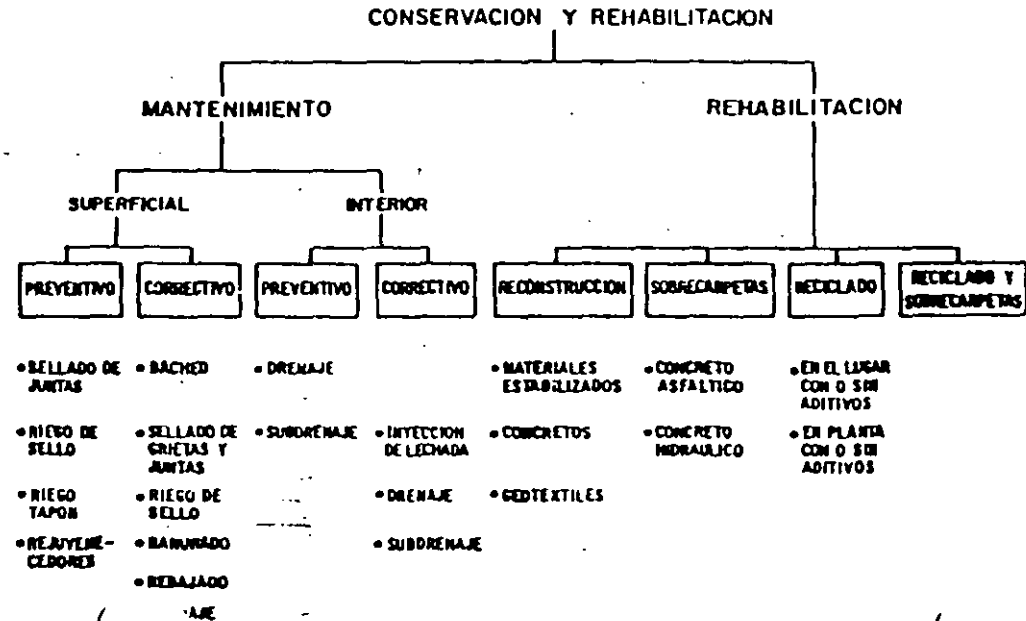
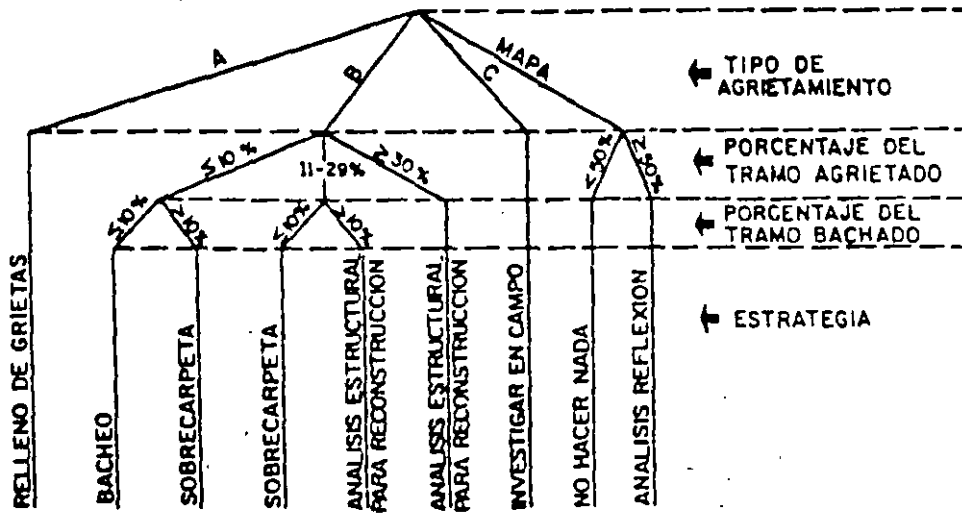


Fig 11.- Ejemplo de selección del procedimiento para corrección de deterioros. California

AGRIETAMIENTO EN FORMA DE MAPA O PIEL DE COCODRILO



- CLAVE:**
- A GRIETAS LONGITUDINALES EN RODADAS
 - B PIEL DE COCODRILO EN RODADAS
 - C AGRIETAMIENTO ESPECIAL O POCO COMUN
 - MAPA AGRIETAMIENTO CUBRIENDO EL ANCHO DEL CARRIL

Fig 12.- Principales ventajas y desventajas de la técnica de reciclados.

RECICLADO

VENTAJAS

- UTILIZACION DE LOS MATERIALES EXISTENTES
- PRODUCE UNA LIGERA O IMPORTANTE MEJORA ESTRUCTURAL
- SOLUCIONA TODO TIPO DE DETERIORO
- REDUCE O ELIMINA EL AGRIETAMIENTO POR REFLEXION
- MEJORA LA CALIDAD DE RODAMIENTO Y LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- RESUELVE PROBLEMAS DE CONTROLES GEOMETRICOS
- PUEDE ESTABLECERSE UN BUEN CONTROL DE CALIDAD

DESVENTAJAS

- INTERFERENCIAS CON EL TRANSITO
- COSTO
- PROBLEMAS DE CONTAMINACION Y DAÑOS A LA VEGETACION
- NO RESUELVE PROBLEMAS OCASIONADOS POR TERRACERIAS ABILES

Fig 13.- Coeficiente de daño a 0 y 60 cm de profundidad para diferentes tipos de vehículos que circulan por la Red Carretera Nacional. Corro.

| VEHICULO | COEFICIENTE DE DAÑO | | TIPO |
|----------|---------------------|--------|------------------|
| | Z=0 | Z=60 | |
| A2 | 0.004 | 0.000 | W = 23.5 ton |
| A'2 | 0.536 | 0.018 | |
| B2 | 2.000 | 0.899 | |
| B3 | 1.999 | 0.756 | |
| B4 | 2.666 | 0.753 | |
| C2 | 2.000 | 0.899 | |
| C3 | 1.999 | 0.756 | |
| C4 | 4.000 | 2.937 | |
| T2-S1 | 3.000 | 3.331 | W = 46.0 ton |
| T2-S2 | 4.000 | 2.790 | |
| T3-S1 | 5.000 | 2.249 | |
| T3-S3 | 8.000 | 5.758 | |
| C2-R2 | 4.000 | 8.578 | W = 43.5 ton |
| C3-R2 | 5.000 | 8.580 | |
| C3-R3 | 6.000 | 8.581 | |
| T2-S1-R2 | 5.000 | 11.399 | W = 77.5 ton |
| T2-S2-R2 | 6.000 | 11.400 | |
| T3-S1-R2 | 6.000 | 11.400 | |
| T3-S2-R2 | 7.000 | 11.401 | |
| T3-S2-R3 | 8.000 | 11.401 | |
| T3-S2-R3 | 8.000 | 11.401 | |
| T3-S2-R4 | 9.000 | 11.403 | |

TABLA 1.- Areas de aplicación y usos de medidores de rugosidad

| Tipo de vialidad | Propósito de la medición | | |
|--|--------------------------------|----------------------|----------------------|
| | Inicial | Periódica | Terminal |
| 1.- Autopista o carreteras principales | BRR, SDP, CRM, RSE, RRL, CHLOE | CRM, SDP, RRL, CHLOE | CRM, SDP, CHLOE, RRL |
| 2.- Carreteras secundarias | BPR, CRM, RSE, SDP, RRL, CHLOE | CRM, SDP, RRL, CHLOE | CRM, SDP, CHLOE, RRL |
| 3.- Carreteras vecinales | CRM, BPR, RSE, SDP | CRM | CRM |
| 4.- Aeropistas | SDP, RRL, CRM, RSE | CRM, SDP, RRL, RSE | SDP, RRL, RSE |
| U s o s | | | |
| A.- Monitoreo durante la construcción | X | | |
| B.- Programas de conservación | | X | X |
| C.- Inventario | | X | X |
| D.- Investigación | X | X | X |

TABLA 2.- Tolerancias para montaje de vía nueva

| Parámetro Vía | Ancho | Variación del ancho | Nivelación transversal | Nivelación longitudinal | Alineación en recta | Alineación en curva | Alabeo en recta y curva circular | Peralte |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------|
| J.N.R. Japón | | | 2 mm | 2 mm | | 2 mm | 1.5 mm en 2.5 m | |
| Tokaido Japón | ± 2 mm | | | ± 4 mm en 10 m | ± 3 mm en 10 m | ± 3 mm en 10 m | 2 mm en 2.5 m | |
| Shin-Kansen Japón | ± 2 mm | | 3 mm | 4 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | | 3 mm en 2.5 m | |
| S.N.C.F. Francia | | | ± 3 mm | | | ± 1 mm en 10 m | 1°/o en 3 m | |
| I.S. Italia | ± 2 mm ± 1 mm | | 4 mm | 4 mm en 10 m | 2 mm en 10 m | 3 mm en 10 m | ± 1 °/o en 3 m | |
| D.B. Alemania Occidental | | | ± 2 mm | 2 mm en 5 m | | 2 mm en 16 m | | |
| Dresna RENFE España | ± 3 mm ± 2 mm | | | ± 3 mm en 6.5 m | ± 3 mm en 10 m | ± 5 mm en 10 m con R ≤ 10 m | ± 3 mm en 3 m | ± 3 mm |

TABLA 3.- Tolerancias para conservación de vía

| Parámetro Vía | Ancho | Variación del ancho | Nivelación transversal | Nivelación longitudinal | Alineación en recta | Alineación en curva | Alabeo en recta y curva circular | Peralte |
|--------------------------|--|---|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------|
| J.N.R. Japón | + 5 mm - 3 mm | | 5 mm | 5 mm | ± 3 mm en 10 m | ± 4 mm en 10 m | ± 5 mm en 2.5 m | |
| Tokaido Japón | + 5 mm - 3 mm | | | 7 mm en 10 m | 3 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | 3 mm en 2.5 m | |
| Shin-Kansen Japón | + 6 mm - 4 mm | | 5 mm | 7 mm en 10 m | 4 mm en 10 m | | 5 mm en 2.5 m | |
| S.N.C.F. Francia | - 3 mm | 1 mm por traviesa < 5 mm en 50 m | ± 5 mm | | | ± 4 mm en 10 mm | 2°/oo en 3 m | |
| D.B. Alemania Occidental | + 3 mm en recta - 2 mm en curva | | ± 5 mm | | ± 2 mm en 16 m | ± 3 mm en 16 m | | |
| Dresina DEFE Alemania | + 4 mm - 3 mm | 2 mm por traviesa < 4 mm en 50 m | | ± 4 mm | ± 4 mm en 10 m | ± 6 mm en 10 m con R ≤ 500 m | ± 4 mm en 3 m | ± 5 mm |

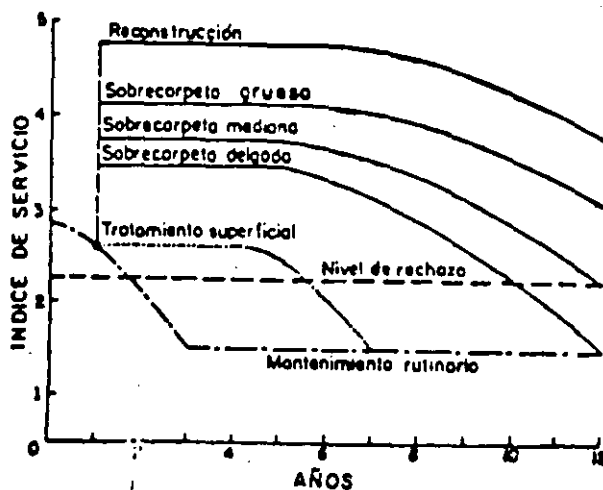


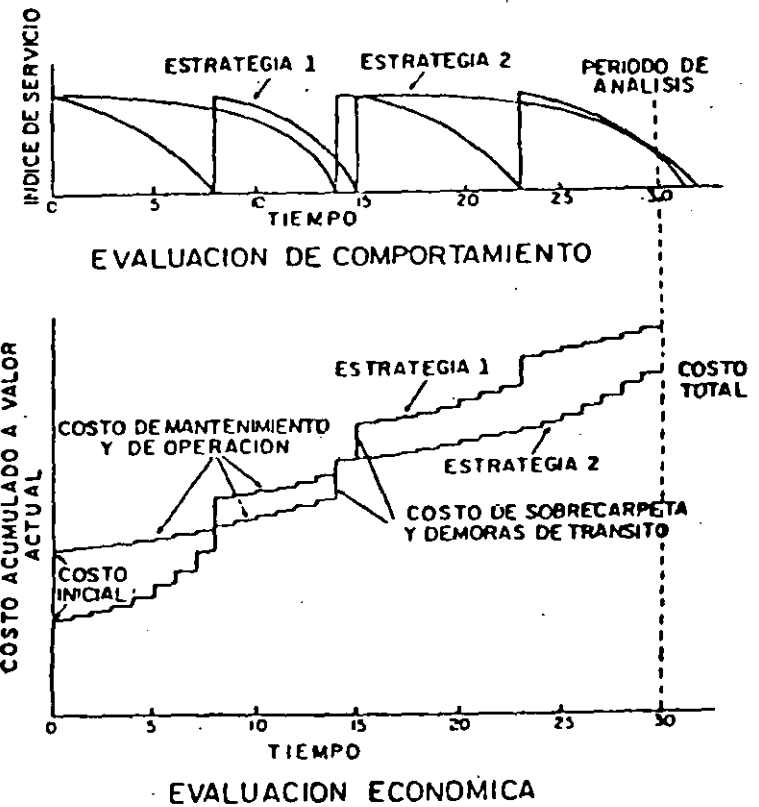
Fig 9.- Curvas típicas de comportamiento para diferentes alternativas de conservación y rehabilitación.

TABLA 4.- Tolerancias para vía RDEFE montada sobre durmientes de concreto tipo monobloc con sujeción elástica. (1)

| Parámetro | Tolerancias | |
|--|---|--|
| | Montaje | Conservación |
| Ancho | ± 2 mm | + 5 mm - 3 mm |
| Variación del ancho | 3 mm en 3 m | 2 mm en 1 m 6 mm en 50 m |
| Nivelación transversal | ± 2.5 mm | ± 5 mm |
| Nivelación longitudinal | + 6 mm en 20 m ± 4 mm en 10 m ± 2 mm en 6.5 m | + 10 mm en 20 m ± 6 mm en 10 m ± 3.5 mm en 6.5 m |
| Alineación en recta o curva R > 1000 m | + 5 mm en 20 m ± 3 mm en 10 m | + 6 mm en 20 m ± 4 mm en 10 m |
| Alineación en curva de transición o con R ≤ 1000 m | + 6 mm en 20 m ± 4 mm en 10 m | + 8 mm en 20 m ± 5 mm en 10 m |
| Alabeo en recta y curva circular | 2 mm en 3 m | 4.5 mm en 3 m |
| Alabeo en transiciones | 4 mm en 3 m | 6 mm en 3 m |
| Peralte | ± 3 mm | ± 5 mm |
| Soldadura en la superficie de rodadura | + 0.2 mm - 0.4 mm | |

(1) Especificaciones del organismo ferroviario español

Fig 10.- Evaluación económica y de comportamiento para diferentes estrategias.



CRITERIOS DE MANTENIMIENTO

O B J E T I V O S

- 1.- DETERMINAR LOS COSTOS ASOCIADOS A DIFERENTES NIVELES DE SERVICIABILIDAD DE UN PAVIMENTO.
- 2.- PLANEAR, DIRIGIR Y CONTROLAR LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO A FIN DE ALCANZAR UN NIVEL DE SERVICIO CONGRUENTE CON LA CLASE Y TIPO DE PAVIMENTO.
- 3.- EVALUAR LOS METODOS Y MATERIALES UTILIZADOS, CON EL PROPOSITO DE DESARROLLAR PRACTICAS EFICACE Y ECONOMICAS.

CONOCIENDO LOS SIGUIENTES ASPECTOS :

- 1.- EL INVENTARIO DE LA RED Y UN CONOCIMIENTO DE LOS FACTORES FISICOS, OPERACIONALES Y AMBIENTALES QUE PUEDEN INFLUIR EN EL MONTO Y TIPO DE TRABAJOS REQUERIDOS.
- 2.- EXPERIENCIAS SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO, ASI COMO CONOCIMIENTO DE LOS RECURSOS DISPONIBLES DE FUERZA DE TRABAJO, EQUIPC Y MATERIALES, INCLUYENDO RENDIMIENTOS.
- 3.- PREDICCIÓN DE VOLUMENES DE OBRA, DISPONIBILIDAD DE RECURSOS FINANCIEROS Y - - CRITERIOS DE DECISION RELATIVOS A LA CALIDAD O NIVEL DE CONSERVACION DESEADO.

MODELOS PARA LA APLICACION DE UN PMS

- 1.- PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO, QUE RELACIONA EL COMPORTAMIENTO CON EL GRADO DE DETERIORO Y RESPUESTA BAJO CARGA.

- 2.- RESISTENCIA DE DERRAPAMIENTO Y SEGURIDAD.

- 3.- COSTOS DE CONSTRUCCIÓN INICIAL, MANTENIMIENTO Y OPERACION.

BASES CONCEPTUALES DEL SISTEMA MEXICANO PARA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

EL SISTEMA MEXICANO SE FUNDAMENTA EN TRES PUNTOS BASICOS.

- A) HA DE ACEPTARSE ALGUN TIPO DE CORRELACION ENTRE LA EVALUACION DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO Y SU CONDICION GENERAL, DE MANERA QUE, CUANTO MAS POBRE SEA LA CALIDAD SUPERFICIAL Y MAS RAPIDAMENTE SE DETERIORE, PEOR DEBE SER LA CONDICION ESTRUCTURAL. ESTA ES UNA CONCLUSION DE CARACTER CUALITATIVO.

- B) HA DE ACEPTARSE QUE LA DEFICIENCIA ESTRUCTURAL PUEDE CORRELACIONARSE CON ALGUNA MEDIDA HECHA DESDE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO. LA DEFLEXION PARECE SER EL CONCEPTO QUE MEJOR SIRVE PARA ESTOS FINES. ESTA ES UNA CONCLUSION DE CARACTER CUANTITATIVO Y SE ACEPTA QUE LA MAGNITUD DE LA DEFLEXION MIDE EL DEFECTO ESTRUCTURAL, AUNQUE NO LO ANALICE NI LO LOCALICE.

- C) CUANDO LAS DEFLEXIONES MUESTREN DEFICIENCIA ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO, SOLO LA EXPLORACION DIRECTA PERMITIRA EL DIAGNOSTICO Y LA UBICACION PRECISA DE DICHS DAÑOS ESTRUCTURALES.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA PAVIMENTOS DURANTE EL
PROCESO DE EVALUACION CON PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

- VALOR RELATIVO DE SOPORTE.
- PRUEBA DE PLACA.
- MODULO DINAMICO COMPLEJO.
- MODULO DE RESILIENCIA.
- RIGIDEZ A LA FLEXION.
- TENSION INDIRECTA ESTATICA O DINAMICA.
- MODULO DE RIGIDEZ.
- DEFORMACION VISCOELASTICA.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

INTRODUCCION A LOS GEOTEXILES Y SUS APLICACIONES

ING. JAVIER HERRERA LOZANO

OCTUBRE

INTRODUCCION A LOS GEOTEXTILES Y SUS APLICACIONES

El presente documento tiene por objeto definir el término GEOTEXTIL, enumerar los tipos que se conocen a la fecha y describir algunas de sus aplicaciones.

Con el término geotextil definimos a las telas que se usan en la Geotecnia, existen diferentes tipos de geotextiles de acuerdo a su fabricación y al tipo de fibras que lo -- constituyen.

TIPOS DE GEOTEXTILES

De acuerdo a su fabricación existen tres tipos - distintos que son:

- a) Materiales entrelazados.- Son los que todo el -- mundo conoce y consisten en dos series de hilos y/o fibras y/o cables, generalmente entrelazados en forma perpendicular o poligonal constituyendo una verdadera malla.
- b) Materiales que constituyen una verdadera tela, - también muy usados y son aquellos que están cons^utituidos por fibras unidas mediante un verdadero tejido de punto.
- c) Materiales no tejidos. Consisten en fibras que - se colocan al azar, estos tipos de geotextiles no son muy conocidos por lo que merecen la explica^cción que se da a continuación:

La etapa inicial de su fabricación consiste en colocar en la zona que se quiera refor--zar, las fibras al azar formando una tela -

heterogénea sin resistencia; en una segunda etapa la resistencia de la tela se obtiene por alguno de los procedimientos de unión - química, térmica o mecánica que se indica a continuación.

UNION QUIMICA. Se le agrega una sustancia - química a las fibras para unir las y formar la tela.

UNION TERMICA. Con las fibras colocadas al azar son calentadas y comprimidas, lo que - causa su fundición parcial y que se adhieran entre sí.

UNION MECANICA. Por traslape y cosido de -- geotextiles de menor tamaño.

Los geotextiles no tejidos son relativamente gruesos (de 2 a 5 mm. de espesor) mientras que los otros son más delgados (0.5 a 1 mm.).

En resumen un geotextil se puede obtener por la combinación de dos o más tipos de fabricación.

POLIMEROS. Los geotextiles difieren de los polímeros porque estos pasan a formar las fibras de los geotextiles entre - los polímeros más empleados se cuentan el poliéster, polipropileno, el polietileno, etc.

Con respecto al intemperismo químico y biológico propiciado por el terreno natural, se pueden esperar decenas de años en la vida útil de los mismos en un ambiente normal. Pero en medios donde se encuentran combustibles como el diesel,

ácidos altamente concentrados o las aguas alcalinas pueden tener un envejecimiento prematuro; por otra parte todos los polímeros son afectados por la luz, por lo que en su fabricación y colocación es necesario evitar su exposición a los rayos solares; sobre todo a tiempos de exposición muy largos de luz ultravioleta. En algunos casos el geotextil estará permanentemente expuesto a la luz, por lo que debe -- protegerse.

APLICACIONES DE LOS GEOTEXTILES

En la práctica un geotextil puede tener una o varias aplicaciones; en este artículo se describen algunas aplicaciones y se da un ejemplo en cada caso.

- 1.- Dren.- La tela geotextil se coloca en un suelo de baja permeabilidad, a través del cual fluye lentamente el agua; la función del geotextil será la de captar el agua y trasladarla al exterior. Ejemplo: Un dren chimenea en el talud de aguas abajo del corazón impermeable de una presa de materiales graduados. Fig. 1.a
- 2.- Membrana impermeable.- La tela geotextil se impregna de un material aislante, en este caso a diferencia de los demás se tiene un geotextil modificado. El material aislante puede ser asfalto o el plástico su función, es detener los líquidos y gases. Ejemplo: Recubrimiento de un canal (Fig. 1.b.)

3.- Subdrenes de zanja.- La tela geotextil forma parte del subdren y a manera de envoltura sirve para que capte y pase el agua a través de él, pero no permite que pase el suelo fino.

Dos circunstancias deben distinguirse:

- Se presenta un flujo laminar: como ejemplo se tiene un subdren de zanja. (Fig. 1.c)
- Flujo dinámico; como ejemplo se tiene la protección de un muelle en el que el geotextil se coloca entre el talud natural y el enrocamiento que forma el muelle. (Fig. 1.d)

4.- Filtro.- La tela geotextil es colocada con el objeto de detener las partículas sólidas que contiene un fluido viscoso, dejando pasar solo el agua.

Ejemplo: Pozo de decantación (Fig. 1.e)

5.- Soporte o apoyo.- La tela geotextil se coloca entre una membrana impermeable y un material agrietado - con el fin de prevenir que se reviente la membrana.

Ejemplo: El fondo de un canal viejo agrietado y que es revestido o pavimentado. (Fig. 1. f)

6.- Separador de materiales.- La tela geotextil se coloca entre dos materiales que tienden a mezclarse: - incrustarse, entre otras cosas por los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas o por pesos propio; su función es mantener separados estos materiales o suelos y minimizar la incrustación.

Un ejemplo es la colocación de la geotextil sobre el terreno natural que soporta el balasto de una vía de F.F.C.C. (Fig. 1. g)

- 7.- Superficie de rodamiento: La tela geotextil se coloca sobre el terreno natural para suministrar una superficie de rodamiento plana y limpia para el tránsito.
Ejemplo: Helipuerto sobre el terreno natural. (fig.1.h)
- 8.- Malla de contención.- La tela geotextil se coloca sobre un talud de una masa de roca y/o suelo, con el fin de prevenir caídas.
Ejemplo: Malla colocada sobre un talud. (Fig. 2. a)
- 9.- Membrana.- La tela geotextil se coloca entre dos materiales que tienen diferentes resistencias; su función es la de retener los esfuerzos que le produzca en la capa de mayor resistencia.
Ejemplo: Camino revestido para impedir que las llantas de un vehículo se hundan sobre la capa subrasante formada por material de mala calidad. (Fig. 2. b)
- 10.- Anclaje.- La tela geotextil une a dos masas de suelo y roca las cuales tienden a moverse.
Ejemplo: Los anclajes de un muro de retención.
(Fig. 2. c)
- 11.- Fijadora.- La tela geotextil se coloca sobre un suelo cuyas partículas tienen tendencia a moverse.
Ejemplo.- Prevención de la erosión de un talud
(Fig. 2. d)
- 12.- Refuerzo.- La tela geotextil se coloca en un suelo - que no es capaz de tomar los esfuerzos de tensión, - su función es absorber dichos esfuerzos.
Ejemplo: Masa de suelo armada con capas múltiples de geotextiles. (Fig. 2 e)

- 13.- Amortiguador.- La tela geotextil se coloca sobre una masa de suelo sometida a impactos y vibraciones, su función es reducir la intensidad de los impactos y vibraciones transmitidas a la masa de suelo.
Ejemplo: El uso de un geotextil entre los durmientes y el balasto. (Fig. 2 . f)
- 14.- Refuerzo para evitar agrietamientos superficiales.- La tela geotextil se colocará entre dos capas que tienen una tendencia a reflejar las grietas; su función será evitar que se transmita el agrietamiento de la capa inferior a la superior. (Fig. 2 . g)
- 15.- Ligadura.- La tela geotextil se coloca entre dos materiales que no deben tener movimientos, su función será incrementar su resistencia (adherencia y fricción) entre esos materiales (Fig. 2. h.)
- 16.0 Lubricante.- La tela geotextil se coloca entre dos materiales los que se deben desplazar entre si; su función es reducir su resistencia en la superficie de contacto (adherencia y fricción))
Ejemplo: Una capa multiple de concreto, geotextil, geomembrana y pavimento para un recubrimiento de un canal donde se esperan movimientos diferenciales.
(Fig. 2. i)

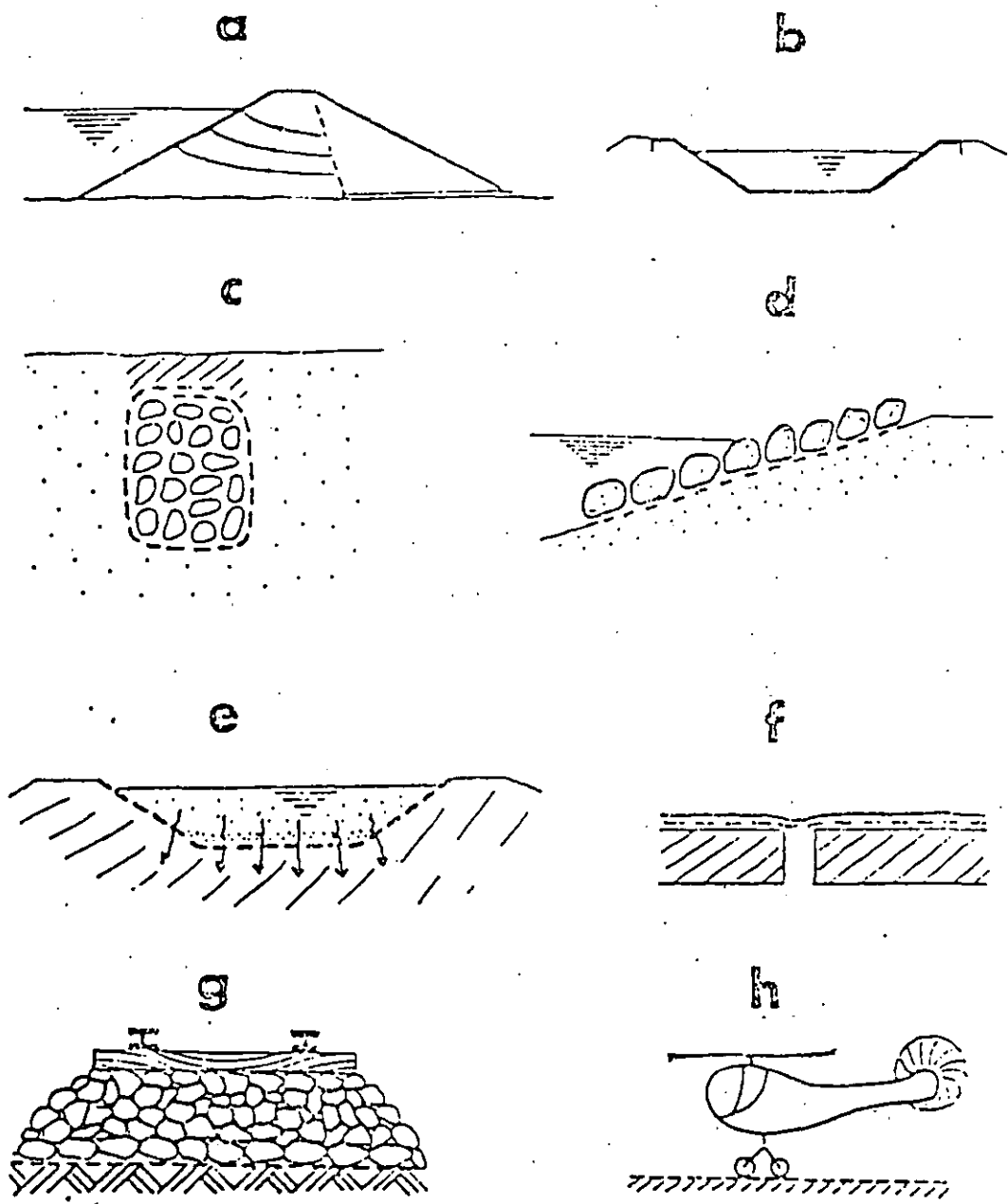


FIGURA No. 1.

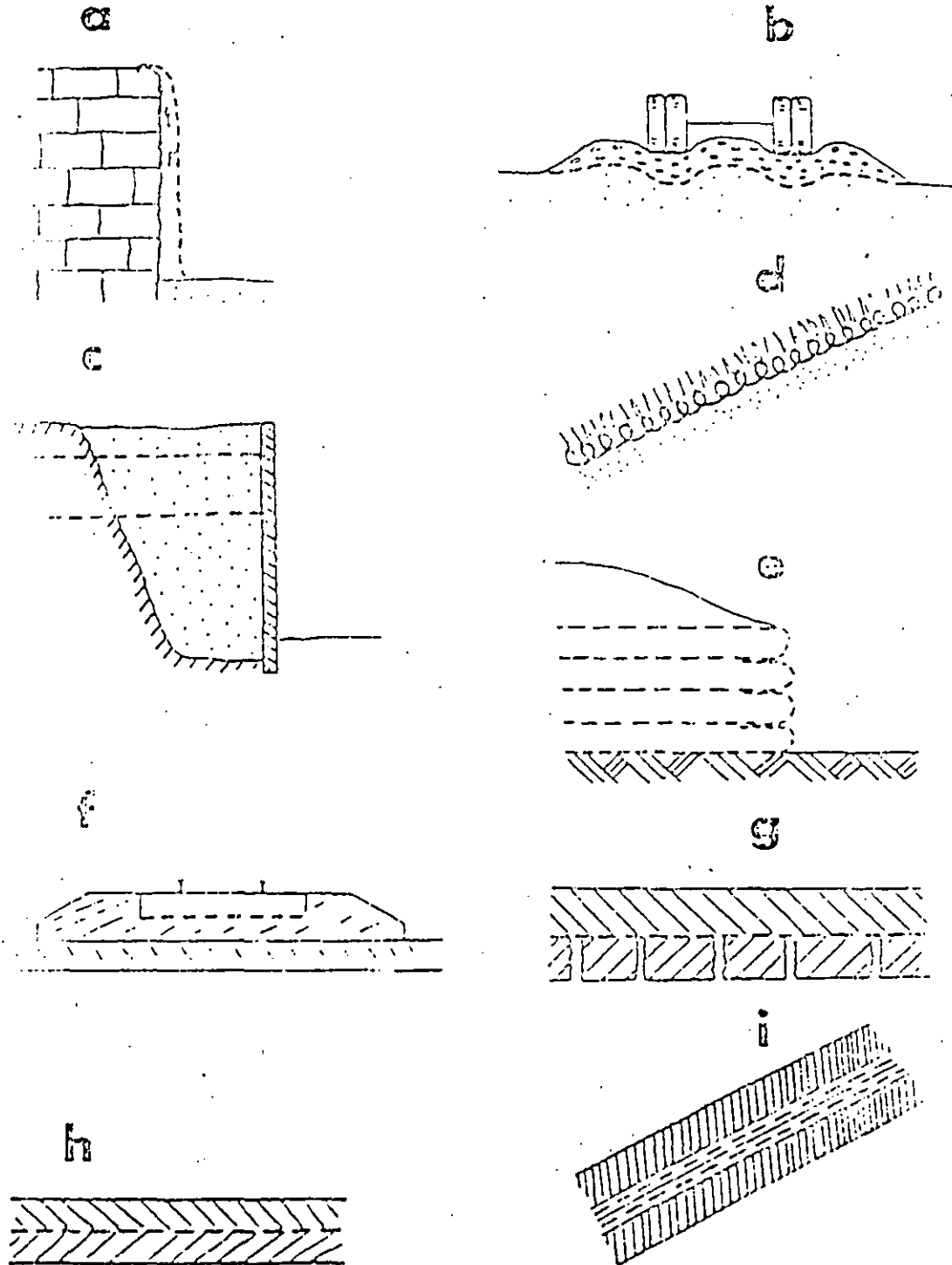


FIGURA No. 2



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS Y ASFALTOS AHULADOS

ING. MARIO TENA BERNAL

OCTUBRE

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS Y ASFALTOS AHULADOS

Introducción:

Basándonos en las predicciones de los expertos de que en los próximos 20 años debemos transformar a nuestro país, construyendo dos nuevas ciudades por cada una de las que ya existían en 1981 y 60 km. de caminos diariamente, debido a que en el mejor de los casos seremos 110 millones de mexicanos, significa que en el plazo de 20 años, debemos triplicar el desarrollo urbano y quintuplicar el producto de la actividad económica. Para lograr lo anterior, necesariamente se requiere una programación racional de los recursos y nuestra decidida participación en los proyectos de desarrollo; también necesitaremos en muchos pavimentos con tránsito muy pesado y que fueron construidos en forma convencional, transformarlos en superficies que se acerquen mucho a la definición de "cero mantenimiento", o sea, que tengan una adecuación estructural tal que no se deban bachear, reparar juntas si son pavimentos rígidos, colocar sobrecarpetas, etc., por un tiempo aproximado de 20 años, manteniendo sus condiciones de servicio dentro de un valor satisfactorio, pues en estas calles, carreteras o aeropistas, programar un mantenimiento preventivo representa, casi siempre, cerrar carriles de circulación, embotellamientos, accidentes y molestias al público y también generalmente, este mantenimiento de rutina es deficiente y muchas veces acelera el deterioro del pavimento, pues la interferencia al tránsito y el movimiento de los trabajadores se realiza en condiciones difíciles; todo lo anterior, sin tomar en cuenta el costo que se origina por el control del tráfico y las demoras del tránsito por carriles cerrados o desviaciones, que en muchas ocasiones es una cantidad fantástica.

Las consideraciones anteriores, justifican plenamente la construcción de pavimentos especiales, que normalmente significa una erogación de 15 a 20 por ciento más que si se construyera un pavimento convencional, pero que al integrar todos los costos como bacheos, sobrecarpetas, etc., el costo total de este último tipo de pavimento, excede la erogación del pavimento que estamos bautizando como especial.

ANTECEDENTES.

Históricamente las fibras se han empleado para reforzar materiales frágiles desde tiempos muy remotos.

Recientemente las fibras de asbesto se utilizan para reforzar el cemento portland.

Desde el siglo XIX se cuenta con el concreto reforzado con varillas.

Romualdi y Batson, Romualdi y Mandel, investigan el comportamiento de alambres con espaciamiento muy pequeño y fibras distribuidas aleatoriamente, en los años 1950 a 1960, sentando las bases para el concreto reforzado con fibras.

La Portland Cement Association (PCA) inició la investigación del refuerzo con fibras al final de los años "50s".

Los métodos de mezclado, colocación, compactación y terminado del concreto reforzado con fibras de acero, se han desarrollado particularmente para pavimentos.

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS.- Formado por cemento portland, agregados fino y grueso o solamente fino y una dispersión de discontinuas y pequeñas fibras, generalmente de acero.

Usualmente, el concreto contiene puzolanas y aditivos.

FIBRAS.- De acero, plástico, vidrio, asbesto y otros materiales naturales.

$$\text{RELACION DIMENSIONAL} = \frac{\text{LONGITUD DE LA FIBRA}}{\text{DIAMETRO EQUIVALENTE}}$$

cuyo valor normalmente es de 30 a 150, con longitudes de la fibra de 6.5 a 75 mm, preferentemente de 25 a 75mm.

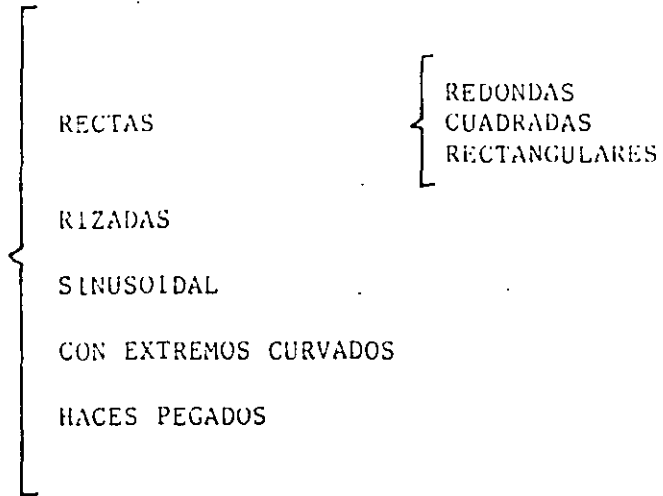
Las fibras se presentan aglutinadas por un pegamento soluble al agua en paquetes de 10 a 20 fibras, para facilitar su manejo y mezclado.

Estas fibras se adicionan al concreto en cantidades que varían de 30 a 120kg/m³ (0.5 a 1.5% en volumen) - para mejorar significativamente muchas propiedades de los morteros y concretos.

TIPOS DE FIBRAS CORTAS:

ACERO
VIDRIO
POLIPROPILENO
CARBON
ASBESTO

FIBRAS DE ACERO
LONGITUD DE
24 A 75 mm



RELACION DIMENSIONAL: L/D

D = LONGITUD DE LA FIBRA

D = DIAMETRO NOMINAL DE LA FIBRA

PREPARACION DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

Los agregados gruesos que normalmente se usan, son con tamaño máximo de 9mm. (3/8") ó 20mm. (3/4" . Tamaño máximo más grande, generalmente no se usa para este tipo de concreto.

Aditivos: Cloruro de calcio no debe emplearse. Se recomienda emplear aditivos reductores de agua, ya sean normales o superfluidificantes.

Las fibras actualmente se especifican por las marcas o por una pequeña descripción que usualmente incluye la resistencia a la tensión, la relación dimensional L/D, la forma de la terminación de la fibra, si es en haces pegados o no, etc. Se deben almacenar de tal manera que se prevenga su deterioración o contaminación, ya que estas fibras no deberán utilizarse.

Es necesario tener una dispersión uniforme de las fibras y prevenir su segregación o apilotonamiento, durante el mezclado.

- Relación dimensional de las fibras.
- Tamaño del agregado grueso.
- Porcentaje en volumen de las fibras.

- Relación agua/cemento.
- Métodos de mezclado.

Para un mezclado uniforme, la relación dimensional de las fibras de acero debe ser de aproximadamente 100 como máximo. Un contenido de más de 2% en volumen también dificulta el mezclado por lo que es deseable utilizar más arena o grava de tamaño menor a 9.5mm (3/8")

DISEÑO DE MEZCLAS

FIBRAS DE ACERO: Inclusiones rígidas de área superficial grande que reduce la trabajabilidad.

TRABAJABILIDAD

Se requiere mayor cantidad de finos.
Volumen de mortero del orden del 35 al 45%.

Tamaño y cantidad de agregado grueso se debe optimizar para conservar la estabilidad dimensional de la matriz y evitar el apelsonamiento de las fibras.

. . . Tamaño máximo de agregado 1.3 cm. (1/2").
Volumen de fibras en el concreto 4%.
Cemento más fino (puzolánico)

ELABORACION DE MEZCLAS

Dispersión de las fibras.

Tiempo de mezclado.

Volúmenes de mezclado.

COLOCACION Y ACABADO

Se requiere más energía.

Vibrado externo.

PROPORCIONES DE CONCRETO NORMAL
REFORZADO CON FIBRAS CORTAS DE ACERO

| | T.M. 9.5mm. | T.M. 20mm. |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| cemento kg/m ³ | 395 a 595 | 295 a 535 |
| relación a/c | 0.35 a 0.45 | 0.40 a 0.50 |
| porcentaje de arena a grava | 45 a 60 | 45 a 55 |
| contenido de fibras en volumen | | |
| a) fibras lisas | 0.9 a 1.8 | 0.8 a 1.6 |
| b) fibras deformadas | 0.4 a 0.9 | 0.3 a 0.8 |
| Contenido de aire, % | 4 a 7 | 4 a 6 |

El uso de aditivos convencionales se utilizan normalmente en el concreto reforzado con fibras, encontrándose particularmente útil el uso de superfluidizantes.

METODOS DE MEZCLADO.

Es muy importante que las fibras se dispersen uniformemente en toda la mezcla.

Las fibras disponibles en haces de 30 fibras pueden ser colocadas directamente en las mezclas como último paso.

Para las fibras que se venden sin estar agrupadas en haces, se recomiendan los siguientes métodos:

1) Adición a camiones revolvedores al final de la elaboración de las mezclas.

- Prepárese la mezcla con un revenimiento de 5 a 7cm mayor al especificado.
- Con la revolvedora del camión girando a la velocidad normal de carga, adiciónense las fibras, a través de una malla o criba para no introducir las fibras apelotonadas, ya que estos apelotonamientos no se destruirán en la revolvedora.
- Una vez adicionadas todas las fibras, la revolvedora debe seguir girando 30 a 40 revoluciones más a la velocidad de mezclado.

2) Adición de las fibras al agregado, por medio de bandas transportadoras.

- Las fibras se incorporan al agregado fino por medio de un agitador o a través de una "manga" o a la banda transportadora durante la inclusión del agregado y se mezcla de la forma tradicional.

METODOS DE COLOCACION.

Las mezclas con fibras cortas, generalmente requieren mayor energía de compactación. Se pueden emplear vibradores internos, pero es preferible usar vibradores externos para prevenir la segregación de las fibras.

Las herramientas metálicas o cepillos rígidos se pueden emplear para terminar el concreto con fibras.

La protección y curado del concreto se debe realizar de igual forma que para el concreto tradicional.

PROPIEDADES TIPICAS DEL MATERIAL.

Resistencia Estática.

Las fibras aumentan la ductilidad del concreto en forma importante, dependiendo del tipo y porcentaje de fibras.

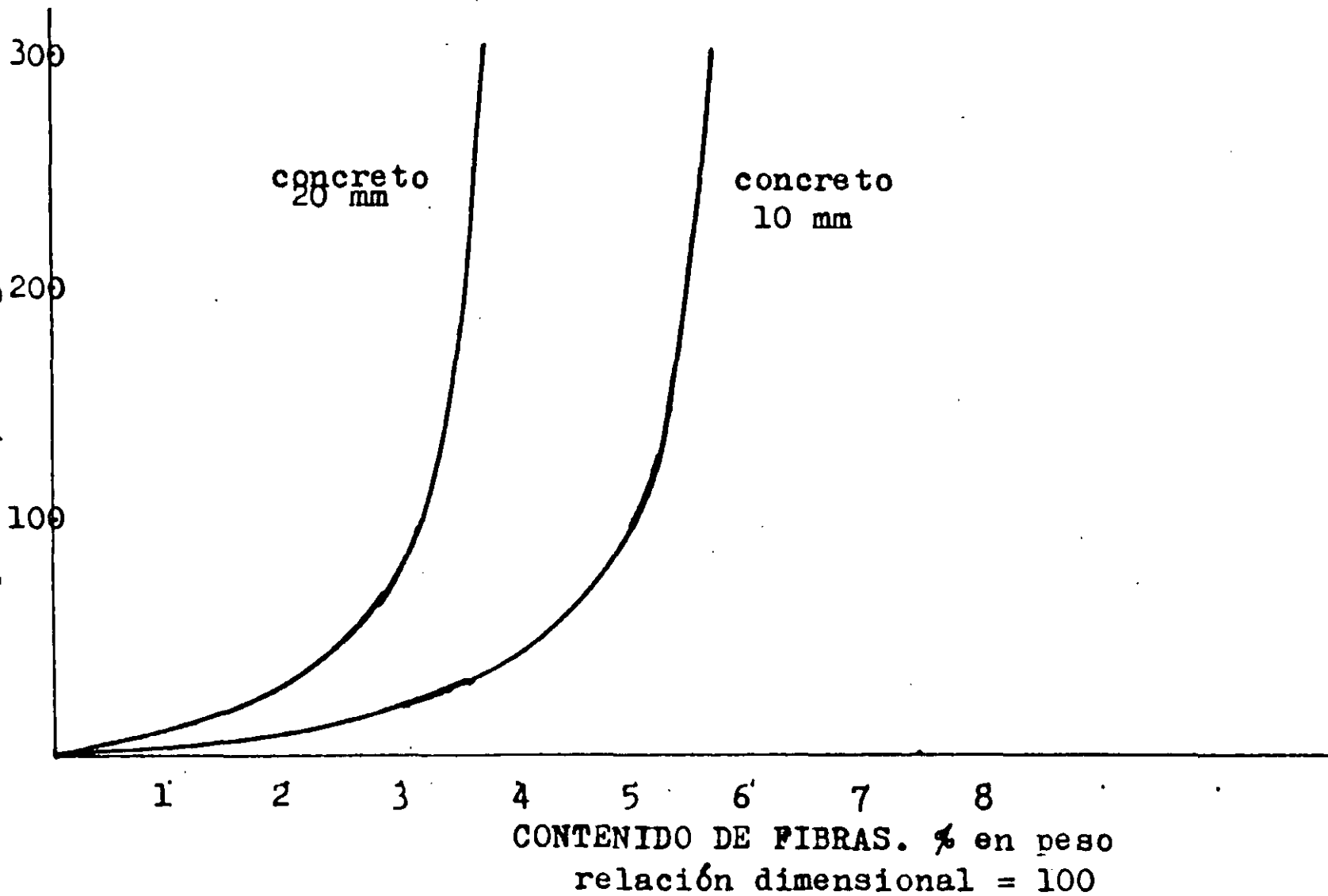
Las fibras con terminaciones especiales pueden proporcionar las mismas propiedades que las fibras rectas de la misma longitud y diámetro, pero con 40% menos de fibras.

Resistencia Dinámica.

La resistencia dinámica para varios tipos de cargas es de 5 a 10 veces mayor que la resistencia del concreto sin fibras.

Los requerimientos de mayor energía para desprender las fibras del concreto, proporcione resistencia al impacto y a la fragmentación. Para el concreto en fibras se requieren varios cientos de golpes para la falla en comparación de 30 a 50 golpes que se requieren para el concreto simple.

T R A B A J A B I L I D A D
tiempo VeBe, en segundos



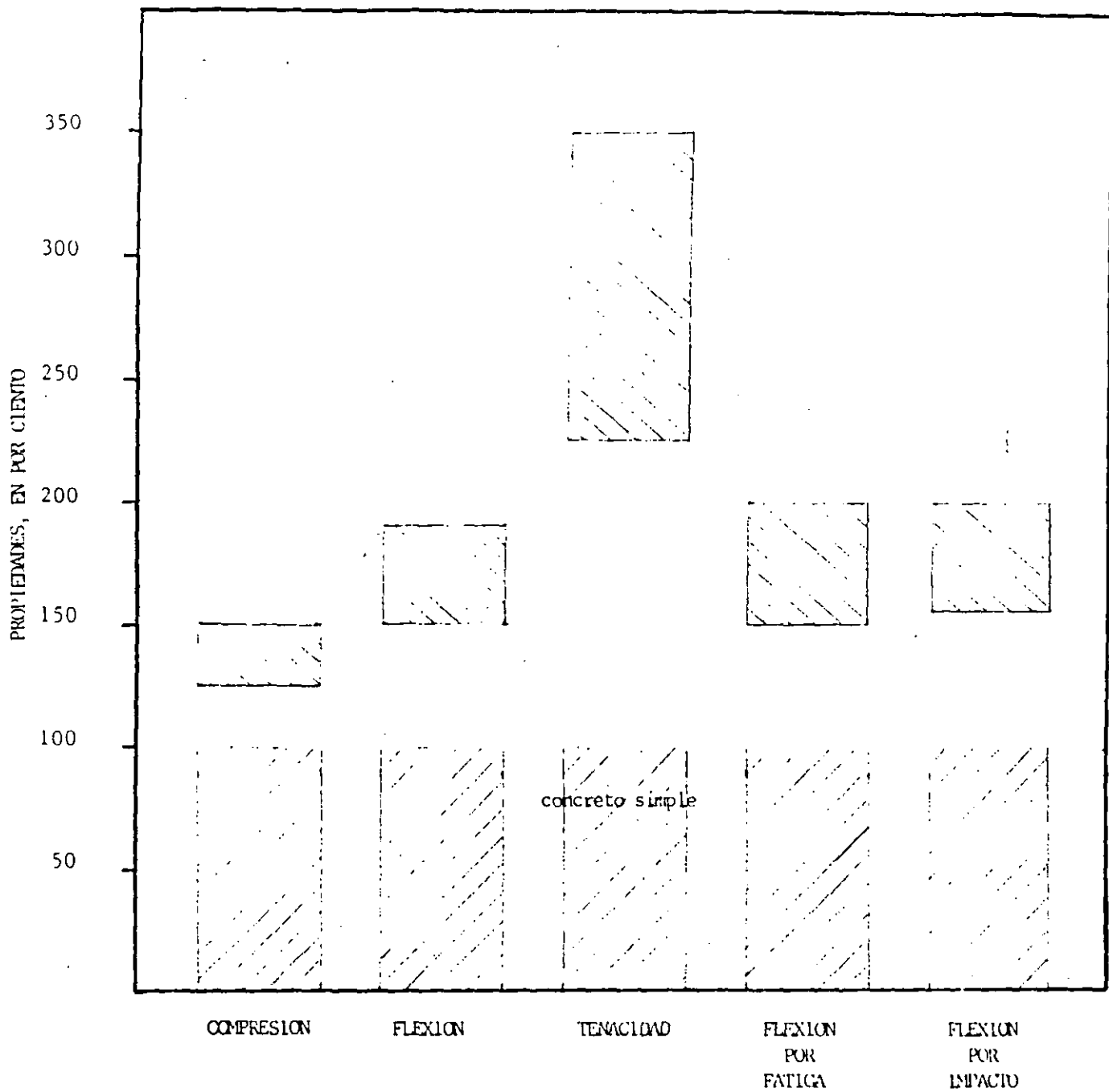


Figura No. 2.- Propiedades medidas en concretos reforzados con 1.5% de fibras de acero, en volumen.

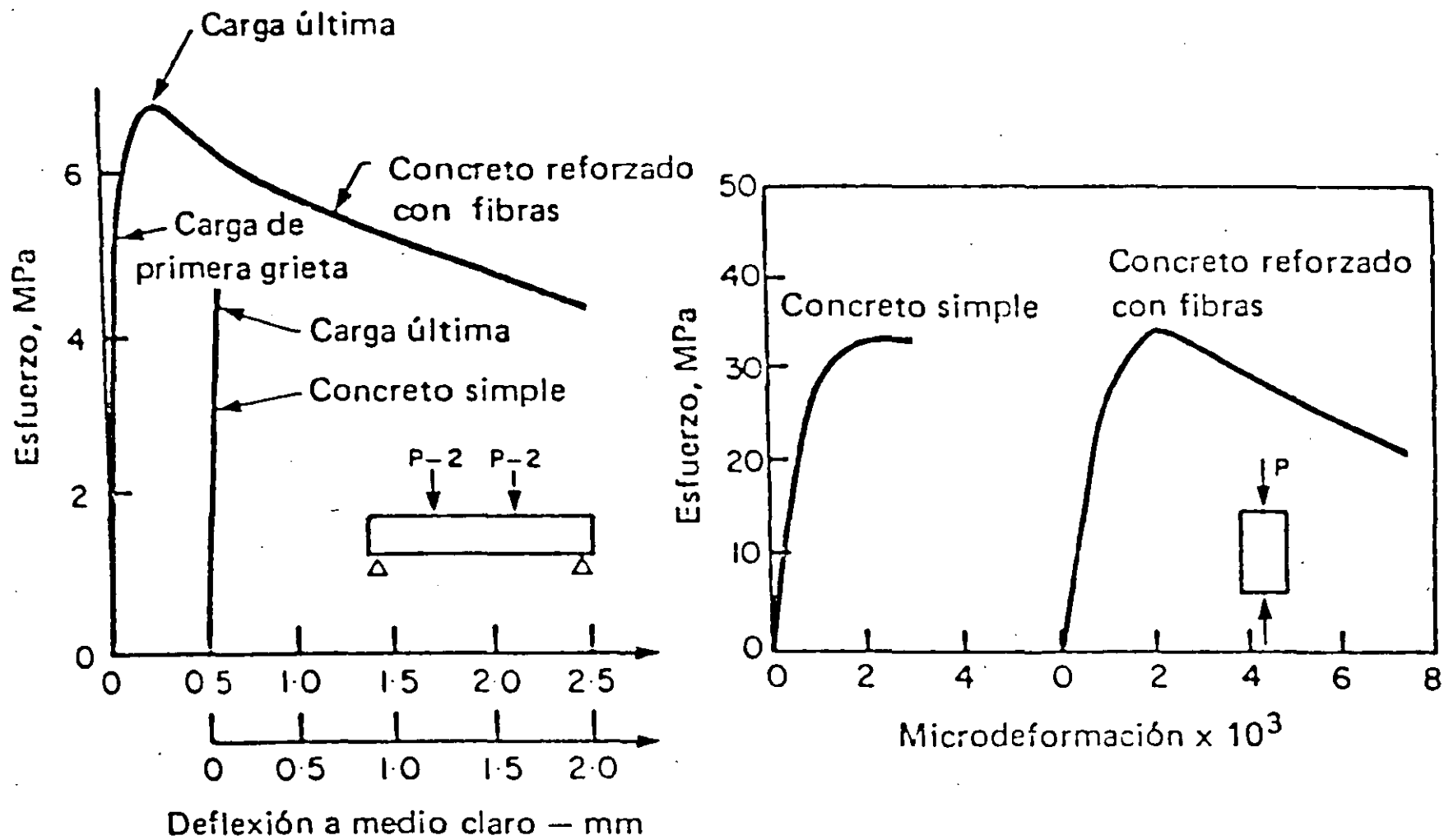


Fig. 1. Comportamiento comparativo de materiales cementantes no reforzados y reforzados con fibras, en flexión (izquierda) y en compresión (derecha). 1 MPa = 10.0 kg/cm²



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

TEMA: PAVIMENTOS DE CARRETERAS

EXPERIENCIAS EN LA PAVIMENTACION CON CONCRETO

COMPACTADO CON RODILLO EN MEXICO

**M. EN I. DONATO FIGUEROA GALLO
ING. JUAN ORTEGA PADILLA**

OCTUBRE

25^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO

SÃO PAULO (SP)

21 a 25 de outubro de 1991

TEMA: PAVIMENTOS DE CARRETERAS

EXPERIENCIAS EN LA PAVIMENTACION CON CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLOS EN MEXICO

M. en I. Donato Figueroa Gallo, Investigador
Ing. Juan Ortega Padilla, Asistente de Investigador
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
Insurgentes Sur 1846
Col. Florida
01030 México, D.F.
Tel. 534-15-05
534-15-56
Fax. 534-21-18

EXPERIENCIAS EN LA PAVIMENTACION CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS EN MEXICO

RESUMEN

El desarrollo de la técnica del concreto compactado con rodillos, CCR, aplicado a las vías terrestres en el mundo, data de los años 70. Sin embargo, las primeras investigaciones en México se iniciaron a principios de 1988.

Se describen en este trabajo dos procedimientos empíricos que se han utilizado en la elaboración de especímenes en laboratorio. El Primero de ellos consiste en utilizar un compactador neumático y el segundo en emplear una mesa vibratoria. Se mencionan algunas ventajas y desventajas de los métodos mencionados.

Se incluye también, las propiedades que la mezcla debe cumplir al salir de la planta de concreto con el objeto de obtener un pavimento de alta calidad y durabilidad. Por otro lado, se presenta el método de control de pesos volumétricos y humedades del lugar mediante nuclear gauge.

Los parámetros obtenidos de los ensayos de laboratorio, se utilizaron para el diseño del espesor de la losa de concreto de un tramo de autopista nacional, para lo cual se utilizó el programa de la P.C.A. "Thickness Design of Concrete High Ways".

Se presentan también, dos alternativas para efectuar la construcción del pavimento de concreto compactado, incluyendo en la primer alternativa las especificaciones técnicas de construcción.

Se analiza de manera breve los costos directos iniciales de construcción de carreteras a base de CCR y concreto asfáltico, así como los costos de mantenimiento respectivamente.

Finalmente, se expone una reseña de los trabajos realizados en la pavimentación con CCR en México y los que se encuentran en la etapa de anteproyecto, éstos últimos contemplados en el nuevo esquema de autopistas concesionadas.

INTRODUCCION

El empleo del concreto compactado, como una nueva alternativa en la construcción de autopistas esta avanzando rápidamente en algunos países, debido a las bondades que esta técnica ofrece en los renglones de durabilidad y costo. Sin embargo, no hay que perder de vista que los procedimientos constructivos, materiales, mano de obra y equipos utilizados son propios de cada región y que estos juegan un papel muy importante en la evolución de cualquier tecnología.

Las actividades que se generan por el movimiento de personas y bienes de consumo en un país o fuera de este, requieren de una infraestructura vial adecuada que permita realizar un transporte cómodo y eficiente, estas vías de comunicación dependerán precisamente de las necesidades que surjan en dichos polos de desarrollo.

Por lo tanto, los estudios que se realicen en la construcción de una autopista o una carretera nueva, vista como un sistema, aplicando tecnologías de punta, son muy amplios e interdisciplinarios, basta con mencionar algunos estudios donde se requiere especial atención: selección de materiales, proporcionamiento de mezclas, ensayos de laboratorio, diseño de espesores, selección de equipo, procedimientos constructivos, control de calidad, y conservación. Considerando también, desde luego, los estudios previos de ingeniería de tránsito, planeación, trazado y entorno ecológico.

ANTECEDENTES

Las primeras aplicaciones empiricas que tuvo el concreto compactado en las vías terrestres nacen en la decada de los años 70, principalmente en la construcción de caminos rurales para volúmenes pequeños de vehículos con velocidades bajas. No cabe duda, que la escuela de esta tecnología, esta sustentada en las experiencias obtenidas en diferentes partes del mundo en la pavimentación con suelo-cemento y en el uso de las bases tratadas con cemento, B.T.C. que datan de varios años atrás.

Durante los años 80, sigue el interés en la tecnología del concreto compactado, la investigación se profundiza más, a un punto de que los equipos

que anteriormente se utilizaban, tales como: las estabilizadoras de suelo-cemento por volumen, los compactadores, entre otros, marcan un cambio revolucionario en el tren de construcción aplicado a las vías terrestres, pues su funcionamiento es más sencillo y es controlado automáticamente.

Sin embargo, algunas empresas constructoras mexicanas que han iniciado la introducción de esta técnica a finales de los años 80, se han enfrentado a un problema real, pues resulta que su actual parque de maquinaria no es del todo el ideal para afrontar la tecnología de CCR.

Es importante mencionar que debe existir una rotación adecuada del equipo, al menos, aquellos que son indispensables para poder desarrollar los cambios requeridos en el procedimiento constructivo.

Es claro, que la inversión que realicen algunas empresas en la adquisición de estos equipos podría ser elevada, debido a los altos costos del dinero que hay en la actualidad, pero existen fórmulas que permiten ejecutar estos proyectos que compiten favorablemente con otras alternativas de pavimentación.

La espiral evolutiva de la tecnología del concreto compactado aplicado a las vías terrestres se inicia en el periodo de 1970 a 1984, la construcción se efectuaba con equipos tradicionales, utilizando plantas estabilizadoras, extendedoras y rodillos compactadores independientes. En el periodo, de 1985 a 1990, estos equipos son integrados, es decir, el equipo que extiende el material es capaz de proporcionar simultáneamente compactaciones muy cercanas a las de proyecto; las nuevas generaciones de plantas de concreto hidráulico, tienen un alto grado de automatización con programas integrados, que dan al constructor la posibilidad de optimizar sus recursos.

MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales que se utilizan en la producción de un concreto deben cumplir las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas locales, con el objeto de obtener un producto de calidad. En general, los agregados que se emplean deben ser de la localidad y en caso contrario, serán transportados de la región económicamente factible.

Es preferible que las gravas y arenas sean producto de la explotación de canteras, pues al ser utilizadas en la estructura del pavimento, ofrecerán un mayor valor relativo de soporte. Por otro lado, los cantos rodados provenientes de fuentes fluviales, son partículas redondeadas con superficies lisas, que no permiten que haya una interacción entre cara y cara del agregado, lo cual produce un coeficiente de rozamiento interno bajo. Se descartan los agregados lajeados, pues ante los efectos de la energía de compactación su granulometría se modifica. Así como, el uso de los llamados agregados marginales debe ser cuidadoso, pues estos no llegan a cumplir en algunos casos la calidad especificada.

Se verificará el desgaste de los agregados gruesos, es decir la resistencia mecánica del esqueleto mineral, así como el pulimento que presentan dichas partículas al paso de los vehículos. También se pondrá atención al agregado fino, de tal manera que este no vaya contaminado de materia orgánica y/o finos plásticos. Algunos aspectos importantes que hay que considerar en la selección de los bancos de material, son los volúmenes de explotación, la granulometría del material y las posibles contaminaciones, pues esto puede afectar el ritmo de construcción.

Los cementos que se utilizarán en las mezclas de concreto compactable tendrán bajo calor de hidratación, mínima retracción y alta resistencia a largo plazo. el agua de mezclado será limpia y libre de impurezas.

El siguiente paso es obtener una dosificación óptima de estos ingredientes, con el propósito de obtener una mezcla homogénea y consistente. Algunos ensayos que se pueden ejecutar en estado fresco y endurecido son: peso volumétrico seco máximo utilizando un compactador neumático o una mesa vibratoria, contenido de humedad, contenido de aire, resistencia a compresión simple, tensión indirecta, flexotracción, módulo de elasticidad y módulo de poisson.

PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO

Existen dos procedimientos que se han utilizado en la confección de probetas cilíndricas o prismáticas de concreto compactado. El primero de ellos es utilizando un compactador neumático o martillo kango y el segundo es empleando

una mesa vibratoria.

Compactador neumático

Al igual que en la prueba AASHTO modificada, el procedimiento consiste en proporcionar una energía específica de compactación (27.36 kg-cm/cm^3), con la diferencia de que el número de golpes es controlado por tiempo de compactación (bpm).

Los especímenes se compactan en dos capas de igual espesor, varillando cada una con 25 golpes, el propósito es regularizar el espesor de la capa a compactar.

El martillo kango es un equipo manual de compactación que se utiliza con normalidad en algunos países europeos y latinoamericanos en la confección de probetas de concreto compactado.

En la elaboración de los cilindros se toman en cuenta diferentes parámetros para encontrar la resistencia máxima. Los parámetros considerados son la relación Grava/Arena, la relación Agua/Cemento, el Peso Volumétrico, el Tamaño Máximo de Agregado y el Contenido de Aire.

Mesa vibratoria

La compactación eficiente de los materiales granulares ha sido mediante el empleo de equipos vibratorios, por tal motivo para compactar los especímenes de concreto seco se han utilizado mesas vibratorias con características conocidas, esto es, una frecuencia determinada de 60 Hz y una amplitud que varía de 0.0 a 1.6 mm.

Los cilindros se compactan en dos capas, varillando cada capa con 25 golpes para un acomodamiento previo del agregado, la parte superior del espécimen se confina con un peso de 10.6 kg y se da un tiempo de vibrado de 75 seg. por capa. Para mejorar una adherencia entre capas se puede realizar un rayado de la superficie con la varilla.

Los especímenes prismáticos, vigas de 15 x 15 x 50 cm se compactan en una sola capa en ambos procedimientos.

En el Cuadro 1, se presentan algunas ventajas y desventajas de los ~~procedimientos descritos.~~

PROPIEDADES DE LA MEZCLA AL SALIR DE PLANTA

La mezcla de concreto después de elaborarse debe compactarse lo antes posible para evitar una pérdida de humedad. La práctica recomienda iniciar la compactación dentro de los 10 minutos posteriores al extendido y completarse antes de 45 minutos.

Una de las pruebas de laboratorio que se puede realizar al finalizar el mezclado es verificar la consistencia del concreto. El método Vebe es un procedimiento bastante razonable para verificar dicha medida. El valor de la consistencia se define como el número de segundos que se requiere para compactar un volumen de concreto en un recipiente de 24.1 cm de diámetro. En las mezclas secas se ha encontrado que el tiempo puede variar de 30 a 60 segundos.

Otras pruebas que se recomiendan realizar son la obtención del peso volumétrico, granulometrías, contenido de cemento, contenido de humedad y aire.

CONTROL DE PESOS VOLUMETRICOS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD

Durante la colocación del concreto se verificará el peso volumétrico in situ y el contenido de humedad mediante densímetros nucleares, figura 1, si se disponen de estos, en caso contrario se emplearán los métodos tradicionales como el método de la arena o el de membrana.

Los principios de operación de un medidor de densidad/humedad nuclear, están basados en la emisión de radiación de una fuente encapsulada y sellada, adecuadamente situada dentro del medidor. El material radiactivo usado para medir la densidad es el cesium 137, (10 mCi), el cual emite rayos gamma. Si el material tiene una densidad baja, una cantidad mayor de radiación gamma pasará a través y será detectada por un detector geiger-müller también situado dentro del medidor.

Para medir el contenido de humedad se utiliza una fuente radiactiva de americio 241: beryllium, la cual emite neutrones. La alta energía de los neutrones es moderada por colisión con los átomos de hidrógeno del agua del material que se está compactando. Por lo tanto, solamente la baja energía de los neutrones moderados es detectada por los detectores de humedad.

Si el material de prueba está húmedo, el medidor indicará una respuesta alta, si es muy seco, el medidor indicará lo contrario durante el mismo periodo de tiempo.

La operación de estos equipos puede funcionar de dos maneras: transmisión directa o transmisión indirecta.

El primer método, directo, consiste en realizar una perforación a 20 o 30 cm de profundidad en el terreno donde se verificará la densidad, posteriormente se introduce la varilla que contiene la fuente sellada para realizar las mediciones. El segundo método, indirecto, consiste en realizar las mediciones de la densidad colocando el medidor sobre la superficie sin realizar la perforación del terreno.

Una de las ventajas que ofrece el equipo es la información básica que se obtiene en un lapso de 1 a 4 minutos como máximo, por lo que el ingeniero dispone de una manera eficiente de la información en la obra. Los datos que se presentan en la pantalla del equipo son el peso volumétrico compacto del lugar seco y húmedo, contenido de humedad y porcentaje de vacíos. Se tiene la opción de imprimir dicha información mediante un dispositivo de salida.

El tiempo de prueba permite realizar varias lecturas acorde a la velocidad del procedimiento constructivo, estableciéndose un aseguramiento del control de calidad. Además, se puede realizar una retroalimentación de información inmediata, en caso de presentarse alguna variación en el proporcionamiento de las mezclas o en las compactaciones obtenidas en el lugar de la obra.

Es muy importante mencionar que el cálculo de los pesos volumétricos debe ser inmediato, de lo contrario el concreto adquiere su resistencia inicial en las primeras horas no permitiendo corregir alguna deficiencia que se haya presentado en la dosificación o en la compactación.

DISEÑO DE ESPESORES

En el Apéndice 1, se presenta el diseño de espesor de pavimento así como la sección de la estructura. El diseño se realizó con el programa de la P.C.A. "Thickness Design of Concrete High Ways" (Método de Fatiga).

ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION

El procedimiento constructivo que se ha seguido en México consiste en establecer un ciclo utilizando el siguiente tren de maquinaria.

1. Mezcladoras de tipo turbina o de paletas que puedan proporcionar un mezclado enérgico, $V = 50 \text{ m}^3/\text{hr}$.
2. Transporte de la mezcla en camiones volteo de 6 m^3 de capacidad.
3. Extendido del material mediante pavimentadoras con anchos mayores a 3 m.
4. Compactación con rodillos lisos metálicos vibratorios autopropulsados de 10 Ton.
5. Compactadores de neumáticos de 7 Ton.
6. Pipas para efectuar el curado del concreto.
7. Motoconformadora para realizar las juntas longitudinales.
8. Equipo menor (compactadores manuales, rastrillos, etc.).

En el Apéndice 2, se muestra la Especificación Complementaria Constructiva de Pavimento de Concreto Compactado con Rodillos, siguiendo el proceso mencionado.

El segundo procedimiento consiste en reemplazar el punto 3 y 4 del sistema tradicional e incorporar un equipo que extiende el material y que lo compacta simultáneamente, esto se logra con un sistema de doble tamping al cual se le puede ajustar la frecuencia y la amplitud dependiendo de las características de la mezcla. Una de las ventajas de este equipo es que logra compactaciones muy cercanas a las de proyecto, además de obtener una lisura (depresiones mínimas) en la superficie del pavimento. Estos equipos están por utilizarse próximamente en México.

COSTO COMPARATIVO

Dependiendo de las características del terreno, los espesores de pavimento rígido son menores que los de un pavimento flexible hasta en un 20% para las mismas condiciones de tránsito, vida útil y climatología.

La reducción del paquete estructural se debe a que la losa de concreto compactado resiste un número mayor de aplicaciones de carga antes de llegar a la fatiga, estas cargas son transmitidas por el tráfico pesado.

En forma general, los costos iniciales de construcción para una autopista típica utilizando concreto compactado son muy similares a los de una estructura flexible. Además, tendrán que tomarse en cuenta que los costos por mantenimiento y los costos de operación son menores en la alternativa de pavimento rígido.

En el Apéndice 3, se presenta una dosificación típica de CCR así como el análisis de costo comparativo de dos alternativas de pavimentación, finalmente se anexa una gráfica de costo de mantenimiento de pavimentos de CCR y asfalto, figura 12.

OBRAS DE PAVIMENTACION EN MEXICO

Se mencionan a continuación algunas obras de pavimentación que se han construido por diferentes organismos y empresas, utilizando la técnica de concreto compactado con rodillos.

1. Tramo Experimental en la Autopista México-Cuernavaca, Km 23.

Este pavimento fue construido en Julio de 1988 para el acceso de tránsito pesado, el área aproximada fue de 90 m^2 y espesor de 15 cm, figura 2. Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, COCONAL e IMCYC.

2. Tramo Experimental en una Planta de Concreto Premezclado en Cd. Juárez, Chih.

El pavimento se construyó en Diciembre de 1988 para dar acceso a los camiones mezcladores a la planta, el área fue de 158 m^2 y espesor de 17 cm, figura 3. Cementos Chihuahua, S.A.

3. Calle Urbana y un Patio Comercial en Temixco, Mor.

~~La calle que se construyó tiene un área de 300 m² y espesor de 20 cm. El patio~~
tiene un área de 13,000 m² y espesor de 20 cm, figura 4 y 5. Concreto de Morelos, S.A.

4. Caminos de Acceso a la Terminal de Usos Múltiples del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Los caminos de acceso se construyeron en Marzo de 1991. El área aproximada fue de 11,600 m² y espesor de 28 cm en 2 capas, figura 6. Puertos Mexicanos, S.C.T., Estructuras y Proyectos S.A. de C.V. e IMCYC.

Actualmente, se está desarrollando un proyecto de pavimento de 500 m de longitud por 6.50 m de ancho en el cuerpo B, carril de ascenso, km 73+100 de la Autopista México-Cuernavaca, figura 7.

Existe interés por parte de algunos contratistas que se han adjudicado obras carreteras bajo el nuevo esquema de concesión de obras, en analizar las ventajas y aplicar los procedimientos que ofrece esta nueva alternativa de pavimentación.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Los estudios y ensayos previos a los materiales no deben verse de manera puntual, sino de una manera conjunta y ponderal, donde la experiencia y criterio del profesional juega un papel muy importante. Por otra parte, las pruebas de laboratorio, tendrán que acercarse más a los procedimientos que se realizan en la práctica, pues varios de ellos distan mucho de representar las condiciones reales de la obra.

Finalmente, se recomienda que la aplicación de una nueva tecnología de un país a otro, puede adaptarse con ciertas precauciones y medidas, lo cual hace indispensable realizar una investigación intensa y profunda de los parámetros y variables de la técnica que se vaya a introducir.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Nieto Ramirez Jose Antonio y Figueroa Gallo Donato, "Pavimentos de Concreto Rolado, una nueva Alternativa en la Construcción de Autopistas", Construction and Mining Machinery, Abril-Mayo 1991, Año 4, Vol. 2, págs. 29-33. Miami, Fl., U.S.A.
2. Figueroa Gallo Donato, "Concretos de CCR la Mejor Solución", Construcción y Tecnología, Octubre 1989, Vol. 2, No. 17, págs. 7-16. México, D.F.
3. Figueroa Gallo Donato, "El Concreto Compactado con Rodillos en la obras de Infraestructura. Nuevas Aplicaciones del Concreto Hidráulico en México", Boletín ICPC, Julio-Septiembre 1989, No. 46, págs. 27-32. Bogotá, Colombia.
4. Figueroa Gallo Donato, "Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillos (CCR)", Construcción y Tecnología, Octubre 1988, Vol. 1, No. 5, págs. 17-29. México, D.F.
5. Figueroa Gallo Donato, "El Concreto Compactado con Rodillos (CCR) y su Control de Calidad", Revista mexicana de la Construcción, CNIC, Enero 1988, No. 398. México, D.F.

APENDICE 1

DATOS PARA DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

1. $K = 270 \text{ PCI} = 7.5 \text{ KG/CM}^3$

VRS = 30% MINIMO $\implies K_c = 250 \text{ PCI}$

$e = 4" \text{ GRANULAR} \therefore K_c = 270 \text{ PCI}$

2. $MR = 500 \text{ PSI (28 DIAS)} = 35 \text{ KG/CM}^2$

3. $ADTT = 2782 \text{ VEHICULOS}$ (JUNIO 1991, CPFISC)

TIPO B+C CARR. DIS. F.P.

$TDPA_D = 18400 \times 0.12 \times 0.70 \times 1.8 = 2782 \text{ VEHIC, } 3500 \text{ VEHIC}$

F.P. = 1.8, 2.26

4. D.L. = 20 AÑOS

5. SE CONSIDERO UN INTERLOCK DE LOS AGREGADOS EN LAS JUNTAS PARA EL PAVIMENTO DE CCR

6. SE CONSIDERO QUE EL PAVIMENTO TIENE COMO ACOTAMIENTO LA MISMA SECCION DE CONCRETO.

7. SE TOMO EN CUENTA UN F.S. = 1.2, POR TRATARSE DE UNA ARTERIA IMPORTANTE.

8. SE CONSIDERO UNA CARPETA ASFALTICA DE 7 CM DE ESPESOR PARA LOGRAR UNA LISURA EN EL PAVIMENTO.

9. SE TIENEN 3 CARRILES POR SENTIDO

| | |
|---------------------------|------------------|
| VALOR RELATIVO DE SOPORTE | 30% |
| VIDA UTIL | 15 AÑOS, 20 AÑOS |
| TASA CRECIMIENTO | 6.1%, 8.5% |
| TDPA | 18,400 VEHICULOS |
| | A = 88.3% |
| | B = 6.5 |
| | C = 5.2 |
| | } 11.7% |

CLASIFICACION VEHICULAR

| | % | |
|----------|-------|----------|
| A | 88.30 | |
| B 2 EJES | 5.90 | } → 6.5% |
| 3 EJES | 0.60 | |
| C 2 EJES | 3.40 | } → 5.2% |
| 3 EJES | 1.04 | |
| 4 EJES | 0.04 | |
| 5 EJES | 0.40 | |
| 6 EJES | 0.30 | |
| 7 EJES | 0.01 | |
| 8 EJES | 0.001 | |

| <u>VEHICULO</u> | <u>%</u> | <u>No. DE VEHIC</u> |
|-----------------|--------------|---------------------|
| A | 88.0 | 16,192 |
| B-3 | 6.5 | 1,196 |
| C-3 | 5.5 | 1,012 |
| | <u>100.0</u> | <u>18,400</u> |

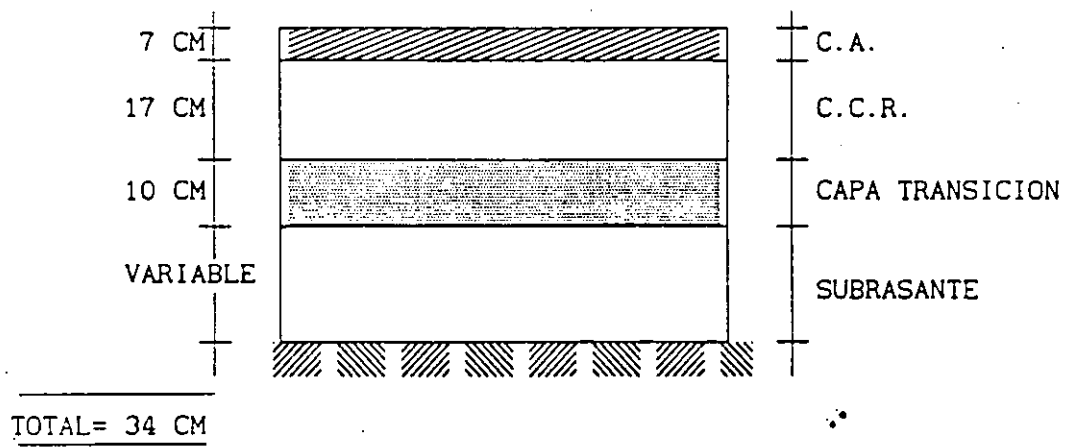
| <u>VEHICULO</u> | <u>%</u> | <u>No. DE VEHIC</u> |
|-----------------|------------|---------------------|
| B-3 | 54 | 1,196 |
| C-3 | 46 | 1,016 |
| | <u>100</u> | <u>2,208</u> |

| | | | <u>B-3</u> | <u>C-3</u> | <u>TOTAL</u> | <u>EJES/1000</u> |
|-------|--------|------|------------|------------|--------------|------------------|
| SENC. | 12,000 | 5.5 | 1,192 | 1,016 | 2,208 | 120 |
| TAND. | 31,000 | 14.0 | 1,192 | - | 1,192 | 65 |
| TAND. | 40,000 | 18.0 | - | 1,016 | 1,016 | 55 |

$$\frac{2,208}{18,400} \times 1000 = 120$$

A continuación se presenta la sección de pavimento rígido.

SECCION RIGIDA



Project: PAVIMENTO DE CCR, CPFISC

Engineer: D.F.G.

Input Data:

Subgrade / Subbase K 270.0 PCI
 Modulus of Rupture MR 500.0 PSI
 Avg. Daily Truck Traffic (2 way) ADTT 2782.00
 Design Life 20 years
 Aggregate Interlock Joints
 Concrete Shoulders
 Load Safety Factor 1.2
 Estimated Pavement Thickness 8.0 IN

| | A X L E | | L O A D S | |
|----|-----------|--------|-------------|--|
| | Axles per | | 1000 Trucks | |
| | Single | Tandem | | |
| 22 | 0.00 | 40 | 55.00 | |
| 20 | 0.00 | 36 | 0.00 | |
| 18 | 0.00 | 32 | 65.00 | |
| 16 | 0.00 | 28 | 0.00 | |
| 14 | 0.00 | 24 | 0.00 | |
| 12 | 120.00 | 20 | 0.00 | |
| 10 | 0.00 | 16 | 0.00 | |
| 8 | 0.00 | 12 | 0.00 | |
| 6 | 0.00 | 8 | 0.00 | |
| 4 | 0.00 | 4 | 0.00 | |

Design Thickness =7.5 Inches

Load Repetitions ---Fatigue Analysis----- ----Erosion Analysis---

| SAL | *LSF | Axle/ 1000 | Expected Reps | Stress Ratio | Allowable Reps | Fatigue Consump | Power | Allowable Reps | Erosion |
|-----|------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|---------|
| 22 | 26.4 | 0.00 | 0. | 0.587 | ***** | 0.00 | 22.332 | ***** | 0.00 |
| 20 | 24.0 | 0.00 | 0. | 0.536 | ***** | 0.00 | 18.456 | ***** | 0.00 |
| 18 | 21.6 | 0.00 | 0. | 0.486 | ***** | 0.00 | 14.949 | ***** | 0.00 |
| 16 | 19.2 | 0.00 | 0. | 0.435 | ***** | 0.00 | 11.812 | ***** | 0.00 |
| 14 | 16.8 | 0.00 | 0. | 0.384 | ***** | 0.00 | 9.044 | ***** | 0.00 |
| 12 | 14.4 | 120.00 | 1218516. | 0.332 | ***** | 0.00 | 6.644 | ***** | 0.00 |
| 10 | 12.0 | 0.00 | 0. | 0.280 | ***** | 0.00 | 4.614 | ***** | 0.00 |
| 8 | 9.6 | 0.00 | 0. | 0.227 | ***** | 0.00 | 2.953 | ***** | 0.00 |
| 6 | 7.2 | 0.00 | 0. | 0.173 | ***** | 0.00 | 1.661 | ***** | 0.00 |
| 4 | 4.8 | 0.00 | 0. | 0.118 | ***** | 0.00 | 0.738 | ***** | 0.00 |

| TAL | *LSF | Axle/ 1000 | Expected Reps | Stress Ratio | Allowable Reps | Fatigue Consump | Power | Allowable Reps | Erosion |
|-----|------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|---------|
| 40 | 48.0 | 55.00 | 558487. | 0.450 | ***** | 0.00 | 20.551 | 691572. | 80.76 |
| 36 | 43.2 | 0.00 | 0. | 0.408 | ***** | 0.00 | 16.646 | ***** | 0.00 |
| 32 | 38.4 | 65.00 | 660030. | 0.365 | ***** | 0.00 | 13.152 | 5210795. | 12.67 |
| 28 | 33.6 | 0.00 | 0. | 0.322 | ***** | 0.00 | 10.070 | ***** | 0.00 |
| 24 | 28.8 | 0.00 | 0. | 0.278 | ***** | 0.00 | 7.398 | ***** | 0.00 |
| 20 | 24.0 | 0.00 | 0. | 0.235 | ***** | 0.00 | 5.138 | ***** | 0.00 |
| 16 | 19.2 | 0.00 | 0. | 0.190 | ***** | 0.00 | 3.288 | ***** | 0.00 |
| 12 | 14.4 | 0.00 | 0. | 0.145 | ***** | 0.00 | 1.850 | ***** | 0.00 |
| 8 | 9.6 | 0.00 | 0. | 0.099 | ***** | 0.00 | 0.822 | ***** | 0.00 |
| 4 | 4.8 | 0.00 | 0. | 0.052 | ***** | 0.00 | 0.206 | ***** | 0.00 |

Total Fatigue Used = 0.00 Erosion Damage = 93.42

7.0 Inch Thickness Inadequate, Fatigue Used= 46.54 Erosion Damage = 159.17

Project: ~~PAVIMENTO-DE-CCR, CPFISC~~

Engineer: D.F.G.

Input Data:

| | | A X L E L O A D S | |
|----------------------------------|--------------|-------------------|--------|
| | | Single | Tandem |
| Subgrade / Subbase | K 270.0 PCI | | |
| Modulus of Rupture | MR 500.0 PSI | | |
| Avg. Daily Truck Traffic (2 way) | ADTT 3500.00 | | |
| Design Life | 20 years | 22 | 40 |
| Aggregate Interlock Joints | | 20 | 36 |
| Concrete Shoulders | | 18 | 32 |
| Load Safety Factor | 1.2 | 16 | 28 |
| Estimated Pavement Thickness | 8.0 IN | 14 | 24 |
| | | 12 | 20 |
| | | 10 | 16 |
| | | 8 | 12 |
| | | 6 | 8 |
| | | 4 | 4 |

Design Thickness =8.0 Inches

Load Repetitions ---Fatigue Analysis----- ----Erosion Analysis----

| SAL | *LSF | Axle/ 1000 | Expected Reps | Stress Ratio | Allowable Reps | Fatigue Consump | Power | Allowable Reps | Erosion |
|-----|------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|---------|
| 22 | 26.4 | 0.00 | 0. | 0.538 | ***** | 0.00 | 18.831 | ***** | 0.00 |
| 20 | 24.0 | 0.00 | 0. | 0.492 | ***** | 0.00 | 15.563 | ***** | 0.00 |
| 18 | 21.6 | 0.00 | 0. | 0.446 | ***** | 0.00 | 12.606 | ***** | 0.00 |
| 16 | 19.2 | 0.00 | 0. | 0.399 | ***** | 0.00 | 9.960 | ***** | 0.00 |
| 14 | 16.8 | 0.00 | 0. | 0.352 | ***** | 0.00 | 7.626 | ***** | 0.00 |
| 12 | 14.4 | 120.00 | 1533000. | 0.305 | ***** | 0.00 | 5.603 | ***** | 0.00 |
| 10 | 12.0 | 0.00 | 0. | 0.257 | ***** | 0.00 | 3.891 | ***** | 0.00 |
| 8 | 9.6 | 0.00 | 0. | 0.208 | ***** | 0.00 | 2.490 | ***** | 0.00 |
| 6 | 7.2 | 0.00 | 0. | 0.159 | ***** | 0.00 | 1.401 | ***** | 0.00 |
| 4 | 4.8 | 0.00 | 0. | 0.108 | ***** | 0.00 | 0.623 | ***** | 0.00 |

| TAL | *LSF | Axle/ 1000 | Expected Reps | Stress Ratio | Allowable Reps | Fatigue Consump | Power | Allowable Reps | Erosion |
|-----|------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|---------|
| 40 | 48.0 | 55.00 | 702625. | 0.415 | ***** | 0.00 | 18.072 | 1131840. | 62.08 |
| 36 | 43.2 | 0.00 | 0. | 0.376 | ***** | 0.00 | 14.638 | ***** | 0.00 |
| 32 | 38.4 | 65.00 | 830375. | 0.336 | ***** | 0.00 | 11.566 | 12562542. | 6.61 |
| 28 | 33.6 | 0.00 | 0. | 0.297 | ***** | 0.00 | 8.855 | ***** | 0.00 |
| 24 | 28.8 | 0.00 | 0. | 0.257 | ***** | 0.00 | 6.506 | ***** | 0.00 |
| 20 | 24.0 | 0.00 | 0. | 0.216 | ***** | 0.00 | 4.518 | ***** | 0.00 |
| 16 | 19.2 | 0.00 | 0. | 0.175 | ***** | 0.00 | 2.891 | ***** | 0.00 |
| 12 | 14.4 | 0.00 | 0. | 0.134 | ***** | 0.00 | 1.626 | ***** | 0.00 |
| 8 | 9.6 | 0.00 | 0. | 0.091 | ***** | 0.00 | 0.723 | ***** | 0.00 |
| 4 | 4.8 | 0.00 | 0. | 0.048 | ***** | 0.00 | 0.181 | ***** | 0.00 |

Total Fatigue Used = 0.00 Erosion Damage = 68.69

7.5 Inch Thickness Inadequate, Fatigue Used= 0.00 Erosion Damage = 117.53

APENDICE 2

ESPECIFICACION COMPLEMENTARIA CONSTRUCTIVA PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS C.C.R.

TRAMO: 73+100 AL 73+600

CUERPO: B

CARRIL: ASCENSO

AUTOPISTA: MEXICO-CUERNAVACA

CONTENIDO

1. SUBRASANTE
2. CAPA DE TRANSICION
3. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
 - 4.1 EQUIPO DE MEZCLADO
 - 4.2 TRANSPORTE DE LA MEZCLA DE LA PLANTA A LA OBRA
 - 4.3 EXTENDIDO DEL MATERIAL
 - 4.4 COMPACTACION DE LA MEZCLA
 - 4.5 JUNTAS LONGITUDINALES FRESCAS
 - 4.6 JUNTAS TRANSVERSALES FRIAS O DE CONSTRUCCION
 - 4.7 CURADO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
5. RIEGO DE LIGA Y CARPETA ASFALTICA

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

La estructura del pavimento de CCR está constituida por los siguientes espesores, ver figura 8.

1. SUBRASANTE

El espesor de esta capa será el mismo que se tiene contemplado en el pavimento flexible, pero no menor a 30 cm.

ESPECIFICACIONES

| | |
|-------------------|----------|
| T.M.A. | 75mm |
| % < Malla No. 200 | 35 MAX. |
| L.L. | 40% MAX. |
| I.P. | 20% MAX. |
| AASTHO ESTANDAR | 98% |
| V.R.S. | 30% MIN. |

Para dar por terminada la construcción de esta capa, incluido el afine se comprobará:

| | |
|--|---------|
| A) Nivel de la superficie | ± 3 cm |
| B) Ancho de corona al nivel de subrasante, de la línea de centro a orilla | + 10 cm |

2. CAPA DE TRANSICION

Cuando se encuentre lista la capa de subrasante y compactada de acuerdo al inciso anterior, se procederá al tendido de la capa de transición de un espesor de 10 cm. Esta capa tendrá la función de servir de transición entre la capa subrasante y la losa de concreto compactado con rodillos.

El material que constituye la capa de transición es granular (grava-arena) los cuales serán debidamente mezclados en el lugar en una relación 60/40.

ESPECIFICACIONES

| | |
|-------------------------|-----------|
| T.M.A. | 75mm |
| % < Malla No. 200 | 15 MAX. |
| ZONA GRANULOMETRICA | 2 |
| L.L. | 30% MAX. |
| I.P. | 6% MAX. |
| E.A. | 50% MIN. |
| AASTHO MODIFICADA | 100% MIN. |
| V.R.S. | 100% MIN. |
| DESGASTE DE LOS ANGELES | 40% MAX. |

Para dar por terminada la construcción de esta capa, se verificara:

- A) Ancho de la sección, del eje a la orilla + 10 cm
- B) Nivel de la Superficie ± 1 cm
- C) Pendiente transversal ± 0.5 %
- D) Profundidad de las depresiones, observadas
colocando una regla de 3 metros de longi--
tud, paralela y normal al eje 1 cm MAX.

3. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

El concreto compactado con rodillos consiste en una mezcla de agregados triturados, cemento portland y agua debidamente dosificados por peso, cuyo revenimiento es cero.

El espesor minimo de la capa mencionada será de 17 cm de espesor compacto. La grava (basalto vesicular) que se utilizará en la fabricación del concreto tendrá un T.M.A. de 3/4" y la arena que se empleará será de tipo andesítico.

Es importante mencionar que la grava tendrá que estar en condicion saturada y superficialmente seca, S.S.S.

El módulo de ruptura del concreto obtenido de vigas de 15 x 15 x 50 cm, será de 35 Kg/cm² a 28 dias. El diseño de la mezcla de concreto tendrá una relación A/C de 0.40.

El cemento que se utilizará en la fabricación del concreto será C-2 Puzolánico.

ESPECIFICACIONES

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| M.R. | 31 15 Kg/cm ² |
| T.M.A. | 75mm |
| G/A | 0.82 |
| A/C | 0.40 |
| DESGASTE DE LOS ANGELES | 40% MAX. |

El concreto a elaborar tendrá la siguiente dosificación por peso.

| | |
|--|------------------------|
| Cemento | 330 kg/m ³ |
| Grava | 692 kg/m ³ |
| Arena | 844 kg/m ³ |
| Agua | 132 kg/m ³ |
| Peso volumétrico de concreto fresco | 2000 kg/m ³ |

4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1 Equipo de mezclado

El equipo para elaborar la mezcla de concreto compactable debe cumplir diseños y características específicas, pues el producto final será una mezcla homogénea, donde todos los ingredientes, grava, arena, cemento, agua y aditivos si se emplean, han sido incorporados de acuerdo a la dosificación especificada. El mezclado se proporciona generalmente por dos ejes longitudinales horizontales que giran en forma intermitente o continua.

También, se podrá utilizar mezcladoras de eje vertical, fijas o móviles.

4.2 Transporte de la Mezcla de la Planta a la Obra

El transporte de la mezcla se realizará en camiones de volteo de 6-7 m³ de capacidad. La carga se iniciará precisamente en la tolva receptora de la planta de mezclado, procurando que la caída de la mezcla no sea muy alta para evitar problemas de segregación.

La caja de los camiones se mantendrá húmeda antes de recibir la mezcla y durante el transporte se cubrirá con lonas o plásticos para evitar una desecación de la mezcla.

En caso de lluvia se recomienda detener las actividades.

El recorrido de planta-obra, será corto con radios de 10 km o de 15 minutos. En caso contrario, se recomendará utilizar un aditivo retardante.

El número de camiones a utilizar será función directa de los ciclos de producción y colocación de la mezcla.

4.3 Extendido de la Mezcla de Concreto

Antes de iniciar el tendido de la mezcla de concreto, se dará un riego ligero con agua a la capa de transición, con el objeto de que esta no absorva parte de la humedad del concreto.

El extendido de la mezcla se realizará con una pavimentadora (finisher) que pueda proporcionar las siguientes características geométricas:

| | |
|---------|----------------|
| ANCHO | 3.25 m |
| ESPESOR | 17 cm Compacto |

Para lograr 17 cm compactos, se sugiere extender el material en un espesor de 20 cm.

4.4 Compactación de la Mezcla

La mezcla de concreto se compactará con un rodillo metálico autopropulsado liso vibratorio de 10 ton. de peso. El rodillo deberá tener una frecuencia de vibración de 1500 ciclos/min. y una amplitud de 0.35 a 1 mm, con velocidades de compactación de 2.5 km/hr.

El proceso de compactación se iniciará en la fase estática, con el objetivo de armar al material. El número de pasadas será dos. Entendiendo por pasada del equipo el ciclo de ida y vuelta.

Posteriormente, se darán de 3 a 5 cerradas en la fase vibratoria para alcanzar el peso volumétrico compacto de proyecto.

Finalmente, la superficie del pavimento debe recibir por lo menos dos cerradas completas con un compactador de neumáticos para sellar la superficie. La presión de los neumáticos debe estar comprendida en un rango de 3.5 a 6.3 kg/cm², con una carga por cada llanta de 1.5 a 2.0 ton/llanta. El número mínimo de llantas será de 6.

4.5 Juntas Longitudinales Frescas

La longitud de carril con ancho de 3.25 m será de 50 m lineales. La compactación se iniciará desde el acotamiento y avanzará hacia el eje longitudinal del camino. Se dejará en el extremo sin compactar 50 cm, ver figura 9, este ancho servirá de contención y de amarre para los siguientes tramos, cuando se compacte el carril adyacente.

El bordillo inicial se compactará posteriormente.

La junta longitudinal de pavimento rígido y flexible se muestra en la figura 10.

4.6 Juntas Transversales Frías o de Construcción

Al final de la jornada o por alguna suspensión del procedimiento constructivo, se construirá una junta transversal esviajada 1:6, siguiendo el siguiente sistema:

- a) Cortar la sección a 90° con una hoja metálica, y dejar la junta perfectamente limpia. El concreto deberá estar en estado fresco para poder desarrollar esta actividad.
- b) Construir una rampa de agregados sueltos en la junta, con el propósito de que el equipo pueda subir al día siguiente para continuar el proceso, ver figura 11.
- c) Al iniciar el proceso constructivo de concreto compactado con rodillos se requiere retirar el material que conforma la rampa y humedecer con agua la junta fría.

En caso de tener una junta longitudinal fría seguir el inciso a) y antes de iniciar el proceso humedecer la junta.

4.7 Curado del Concreto Compactado con Rodillo

El curado de la superficie se iniciará al fin de cada jornada. El pavimento deberá estar libre de cuerpos extraños y limpio antes de iniciar esta etapa.

El curado se realizará con una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido (RR) con una dosificación de 1.0 lt/m^2 .

5. RIEGO DE LIGA Y CARPETA ASFALTICA

El riego de liga y la carpeta asfáltica de 7 cm de espesor compacto seguirán las especificaciones establecidas para la construcción de pavimentos flexibles.

APENDICE 3

II. DOSIFICACION DE LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTABLE:

CEMENTO: 300 KG/M3
ARENA: 926 KG/M3
GRAVA: 1.134 KG/M3
AGUA: 120 KG/M3

P.V. = 2.480 KG/M3

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO

LONGITUD: 1.000 M
ANCHO: 7,2 M
ESPEJOR: 0,18 M

VOL.TOTAL 1.296 M03 DE PAVIMENTO DE CCR COMPACTADO

COSTO DE LOS MATERIALES

CEMENTO: 210.000 \$/TON
ARENA: 17.914 \$/TON
GRAVA: 17.314 \$/TON
AGUA: 8.165 \$/M03

PESO VOLUMETRICO SUELTO

ARENA: 1.675 KG/M03
GRAVA: 1.467 KG/M03
ASFALTO: 1.800 KG/M03

COSTOS DIRECTOS POR MAQUINARIA Y EQUIPO

PRODUCCION POR MEZCLADO 70 M03/HRA

| EQUIPO | \$/HR EQUIPO | \$/HR OPERACION | \$/HR TOTAL | CANT MAQ. | \$/HR TOTAL | \$/M03 TOTAL |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
| FINISHER ABG TITAN 411 | 342.254 | 11.945 | 354.199 | 1 | 354.199 | 5.060 |
| DYNAPAC CA-25 | 110.785 | 4.997 | 115.782 | 1 | 115.782 | 1.654 |
| COMPACTADOR VIBRAT. MANUAL PR-8 | 12.930 | 4.997 | 17.927 | 1 | 17.927 | 256 |
| CAMION FAMSA DE 7 M3 | 49.445 | 5.020 | 54.465 | 4 | 217.860 | 3.112 |
| MEZCLADORA ARAN 250-E-0 | 449.069 | 11.945 | 461.014 | 1 | 461.014 | 6.586 |
| CARGADOR FRONTAL | 57.275 | 4.997 | 62.272 | 1 | 62.272 | 890 |
| MOTOCONFORMADORA | 98.725 | 5.020 | 103.745 | 1 | 103.745 | 1.482 |

 COSTO HORA = 1.332.800 \$

 COSTO POR M3 19.040 \$

CANTIDADES TOTALES DE MATERIALES, CCR

| | | | | | | | | | | |
|----------|------|---|------|---|-----------|------|-----------|-------|---------|-----|
| CEMENTO: | 300 | x | 1296 | = | 388.800 | KG = | 388,8 | TON | | |
| ARENA: | 926 | x | 1296 | = | 1.200.096 | KG = | 1.200,1 | TON = | 716,5 | M03 |
| GRAVA: | 1134 | x | 1296 | = | 1.469.664 | KG = | 1.469,7 | TON = | 1.001,8 | M03 |
| AGUA: | 120 | x | 1296 | = | 155.520 | KG = | 155.520,0 | LT = | 155,5 | M03 |

COSTO TOTAL DE LOS MATERIALES, CCR

| | | | | | | |
|----------|---------|---|---------|---------------|--------------------|-------------------|
| CEMENTO: | 210.000 | x | 388,8 | = | 81.648.000 | \$ |
| ARENA: | 17.914 | x | 1.200,1 | = | 21.498.520 | \$ |
| GRAVA: | 17.314 | x | 1.469,7 | = | 25.445.762 | \$ |
| AGUA: | 8.165 | x | 155,5 | = | 1.269.821 | \$ |
| | | | | | <u>129.862.103</u> | \$ |
| | | | | TOTAL = | | |
| | | | | COSTO POR M03 | | <u>100.202</u> \$ |

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO DEL CCR COLOCADO

| | | |
|-------------|----------------|-----------------------|
| MATERIALES: | 100.202 | \$/M03 |
| EQUIPO: | 19.040 | \$/M03 |
| | <u>119.242</u> | \$/M03 |
| TOTAL: | | <u>119.242</u> \$/M03 |

COSTO TOTAL PARA 1 KM = 154.537.951 \$

COSTO COMPARATIVO DE LAS DOS ALTERNATIVAS

A) CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | C.D | TOTAL |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|----------------------------|
| SUBRASANTE DE 30 CM | M3 | 2.160 | 34.062 | 73.573.920 \$ |
| CAPA DE TRANSIC. DE 10 CM | M3 | 720 | 55.035 | 39.625.200 \$ |
| CCR DE 18 CM DE ESPESOR | M3 | 1.296 | 119.242 | 154.537.951 \$ |
| BARRIDO DE LA SUP. CCR | M2 | 7.200 | 127 | 914.400 \$ |
| EMULSION ASFALTICA CAT. RR | M2 | 7.200 | 1.080 | 7.776.000 \$ |
| RIEGO DE LIGA FR-3 | M2 | 7.200 | 1.080 | 7.776.000 \$ |
| RIEGO DE SELLO MAT. 3-E | M3 | 86 | 38.425 | 3.319.916 \$ |
| | | | COSTO TOTAL | = 287.523.387 \$/KM |

B) CONCRETO ASFALTICO

| CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD | C.D | TOTAL |
|----------------------------|--------|----------|--------------------|----------------------------|
| SUBRASANTE DE 30 CM | M3 | 2.160 | 34.062 | 73.573.920 \$ |
| SUB-BASE DE 10 CM | M3 | 720 | 22.650 | 16.308.288 \$ |
| BASE HIDRAULICA DE 23 CM | M3 | 1.656 | 55.035 | 91.137.960 \$ |
| BARRIDO DE LA BASE | M2 | 7.200 | 127 | 914.400 \$ |
| RIEGO DE IMPREGNACION FM-1 | M2 | 7.200 | 1.080 | 7.776.000 \$ |
| RIEGO DE LIGA FR-3 | M2 | 7.200 | 1.080 | 7.776.000 \$ |
| CARPETA ASFALTICA DE 6 CM | M3 | 432 | 150.934 | 65.203.488 \$ |
| RIEGO DE LIGA FR-3 | M2 | 7.200 | 1.080 | 7.776.000 \$ |
| RIEGO DE SELLO MAT. 3-E | M3 | 86 | 38.425 | 3.319.916 \$ |
| | | | COSTO TOTAL | = 273.785.972 \$/KM |

CCR/ASFALTO = 1,050175

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO (FEB 91)

(VIDA UTIL 20 AÑOS)

| AÑO | COSTO | COSTO |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | \$/M ² | \$/M ² |
| | ASFALTO | CCR |
| 1 | 471 ⁽¹⁾ | 471 ⁽¹⁾ |
| 2 | 471 | 471 |
| 3 | 471 | 471 |
| 4 | 471 + 1262 ⁽²⁾ = 1733 | 471 + 1262 ⁽²⁾ = 1733 |
| 5 | 471 | 471 |
| 6 | 471 | 471 |
| 7 | 471 | 471 |
| 8 | 471 + 5331 ⁽³⁾ = 5802 | 471 + 1262 = 1733 |
| 9 | 471 | 471 |
| 10 | 471 | 471 |
| 11 | 471 | 471 |
| 12 | 471 + 1262 = 1733 | 471 + 1262 = 1733 |
| 13 | 471 | 471 |
| 14 | 471 | 471 |
| 15 | 471 | 471 |
| 16 | 471 + 5331 = 5802 | 471 + 1262 = 1733 |
| 17 | 471 | 471 |
| 18 | 471 | 471 |
| 19 | 471 | 471 |
| 20 | 471 + 1262 = 1733 | 471 + 1262 = 1733 |
| TOTAL = 23,328 | | TOTAL = 15,730 |
| AHORRO = 48.3% | | |

(1) MANTENIMIENTO NORMAL: DESAZOLVE, LIMPIEZA, REPOSICION, LINEAS DIVISORIAS

(2) MANTENIMIENTO EXTRAORDINARIO. RIEGO DE SELLO

(3) REPARACION DE PAVIMENTO

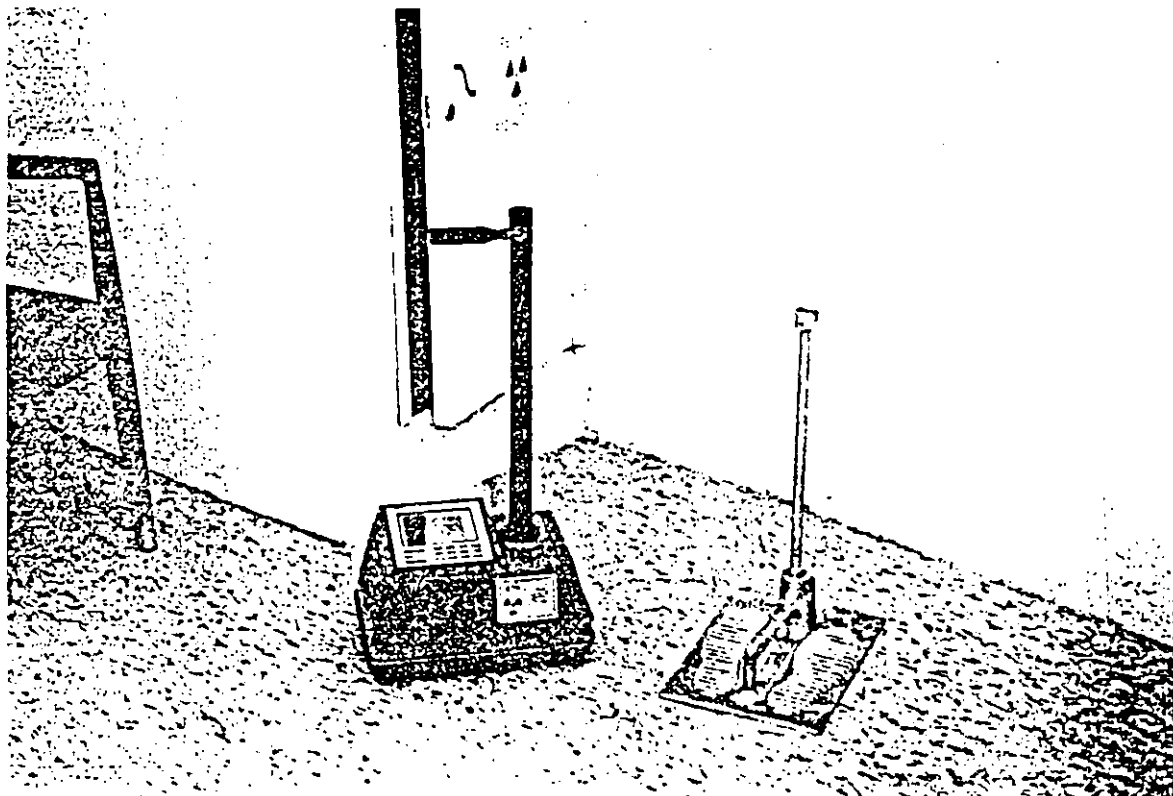


Figura 1.- Densímetro Nuclear

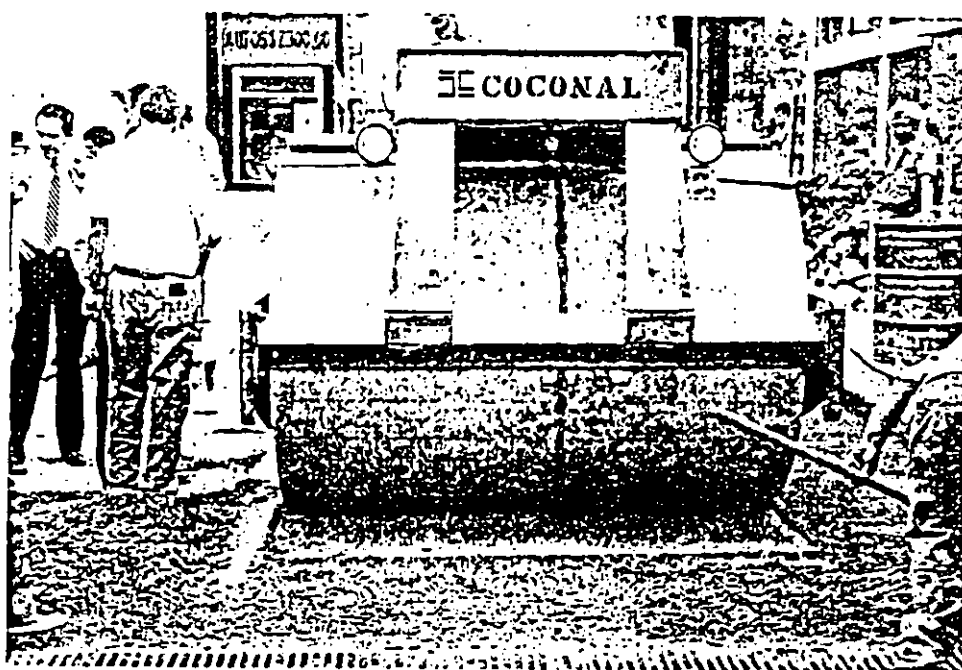


Figura 2.- Tramo experimental en la Autopista México-Cuernavaca, Km. 23

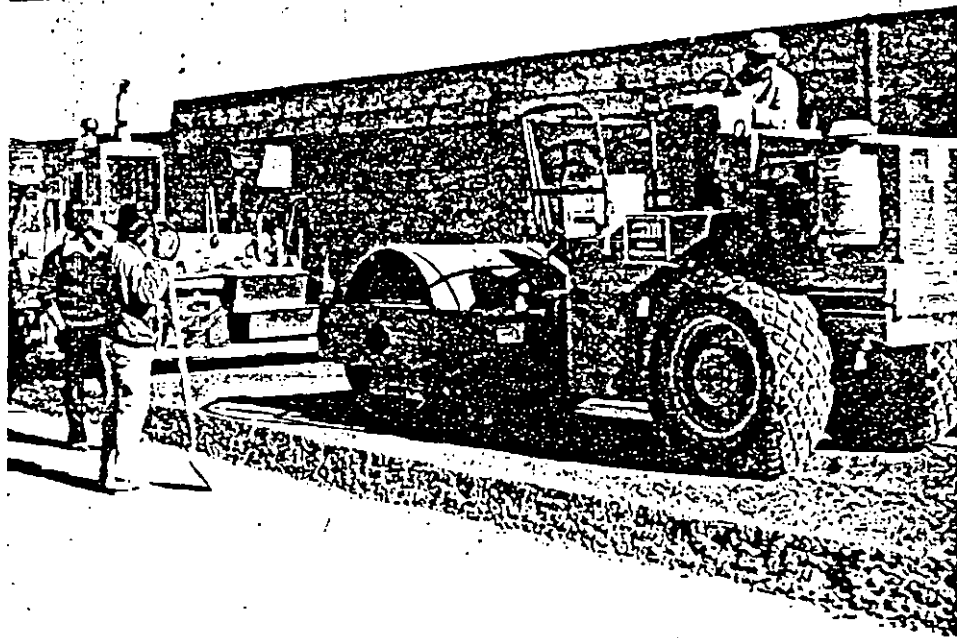


Figura 3.- Tramo experimental en una Planta de Concreto Premezclado, Cd. Juárez, Chih.



Figura 4.- Calle urbana, Cuernavaca, Mor.

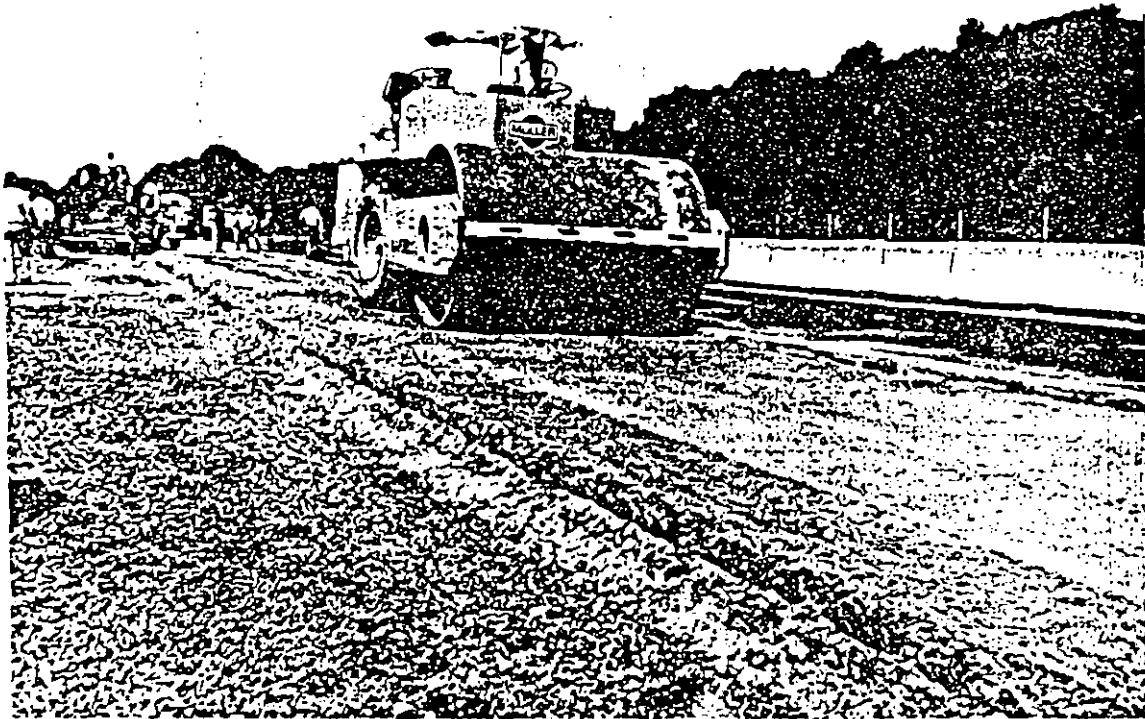


Figura 7.- Tramo de Pavimento en el Cuerpo B,
carril de ascenso, Km. 73 + 100 de
la Autopista México-Cuernavaca.

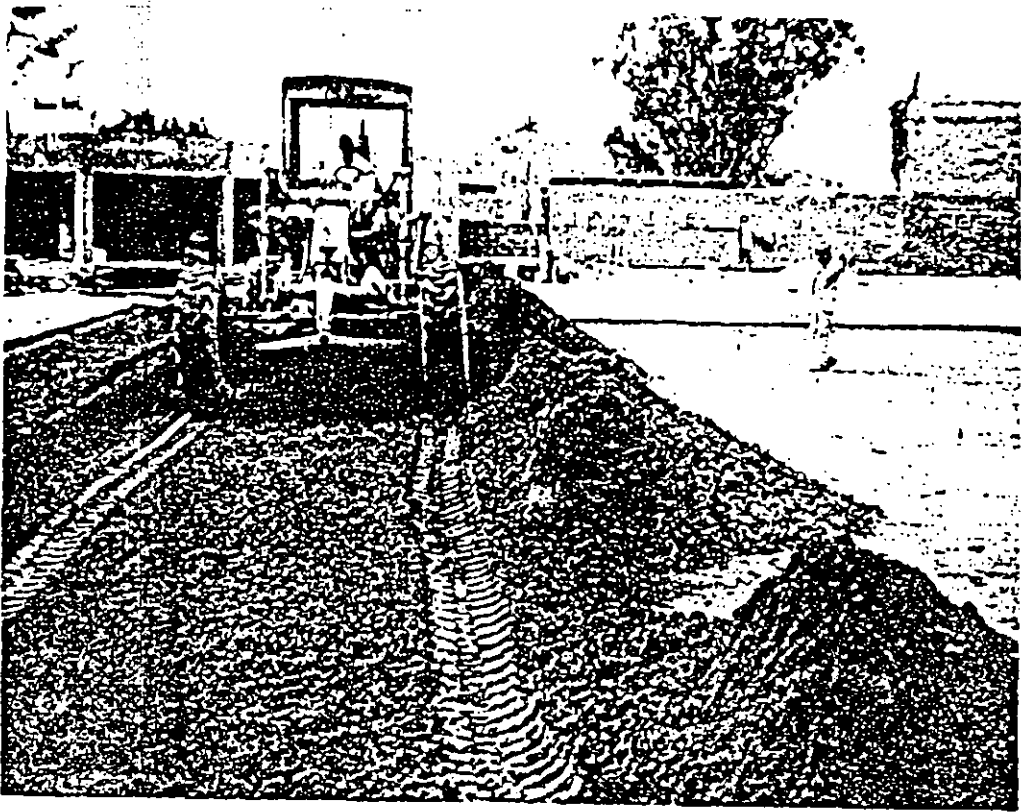


Figura 5.- Patio comercial, Temixco, Mor.

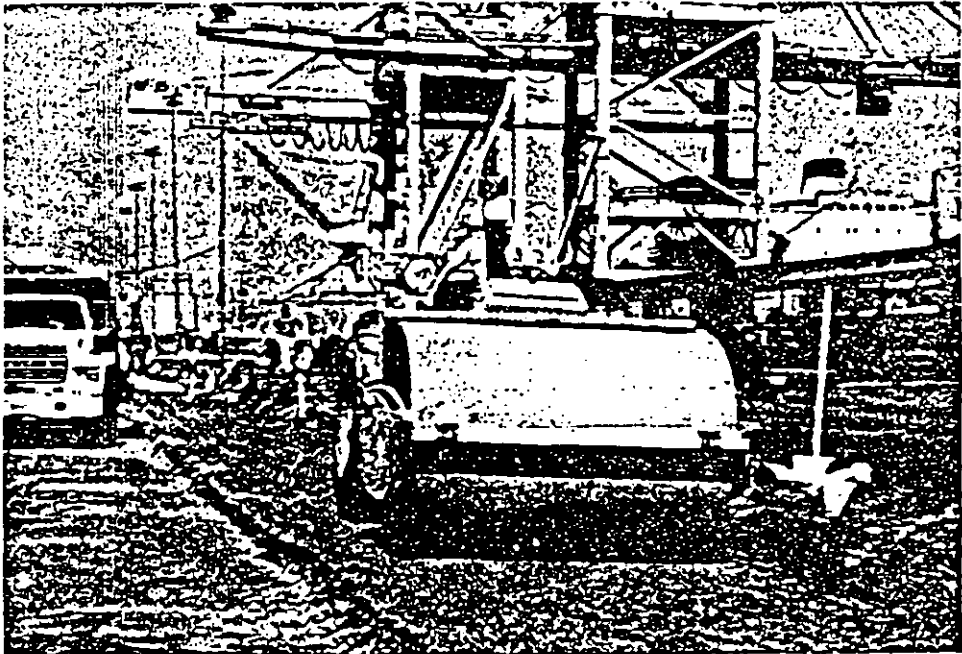
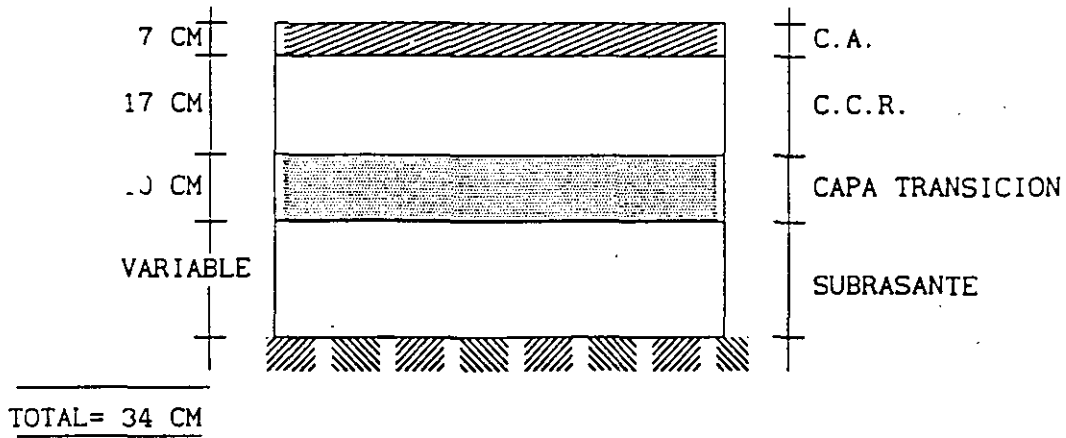


Figura 6.- Caminos de acceso a la Terminal de Usos Múltiples del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

SECCION RIGIDA



SECCION FLEXIBLE

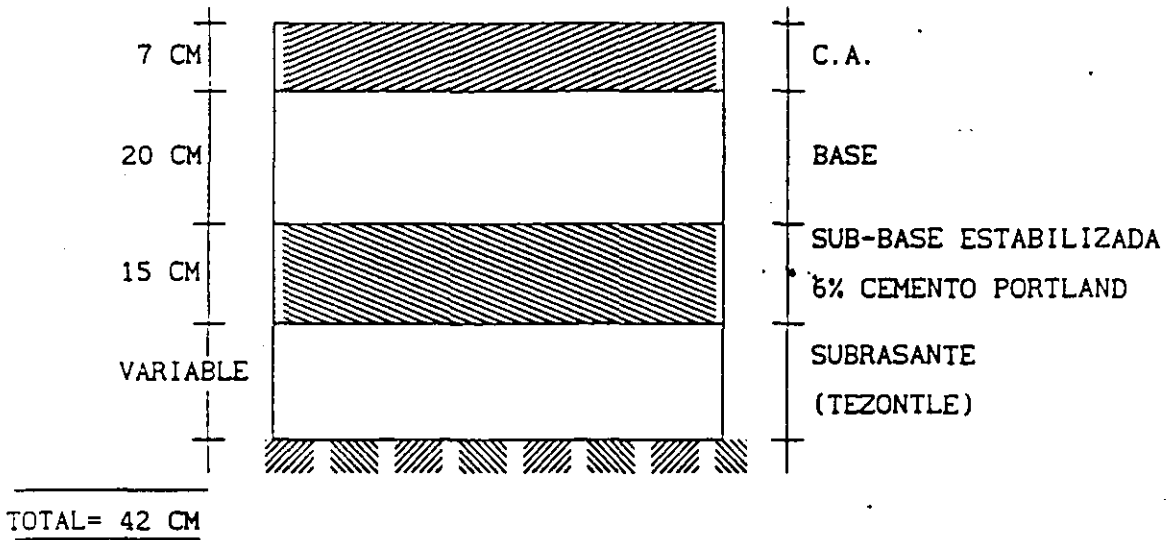


Figura 8

Estructura de Pavimento Rígido y Flexible

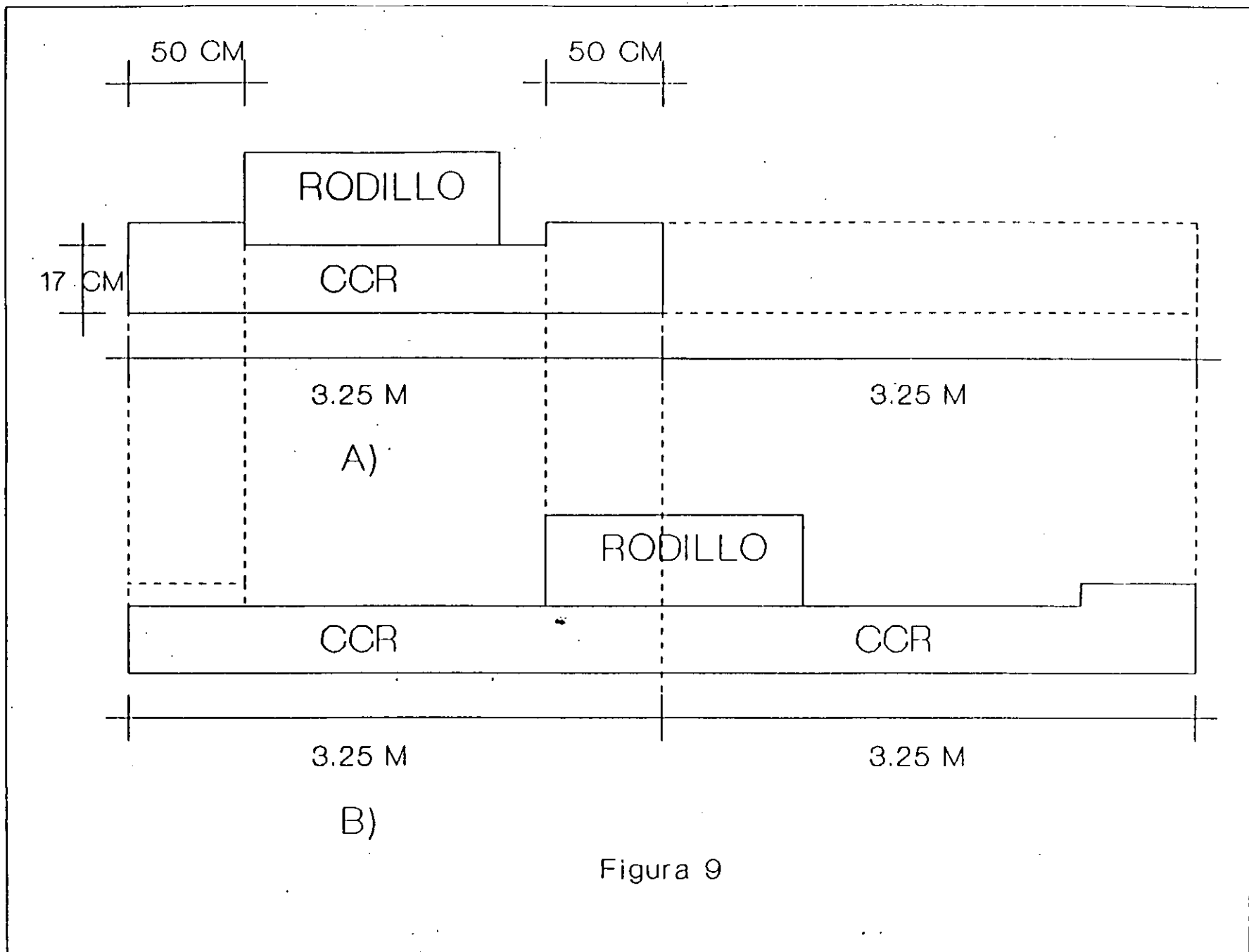
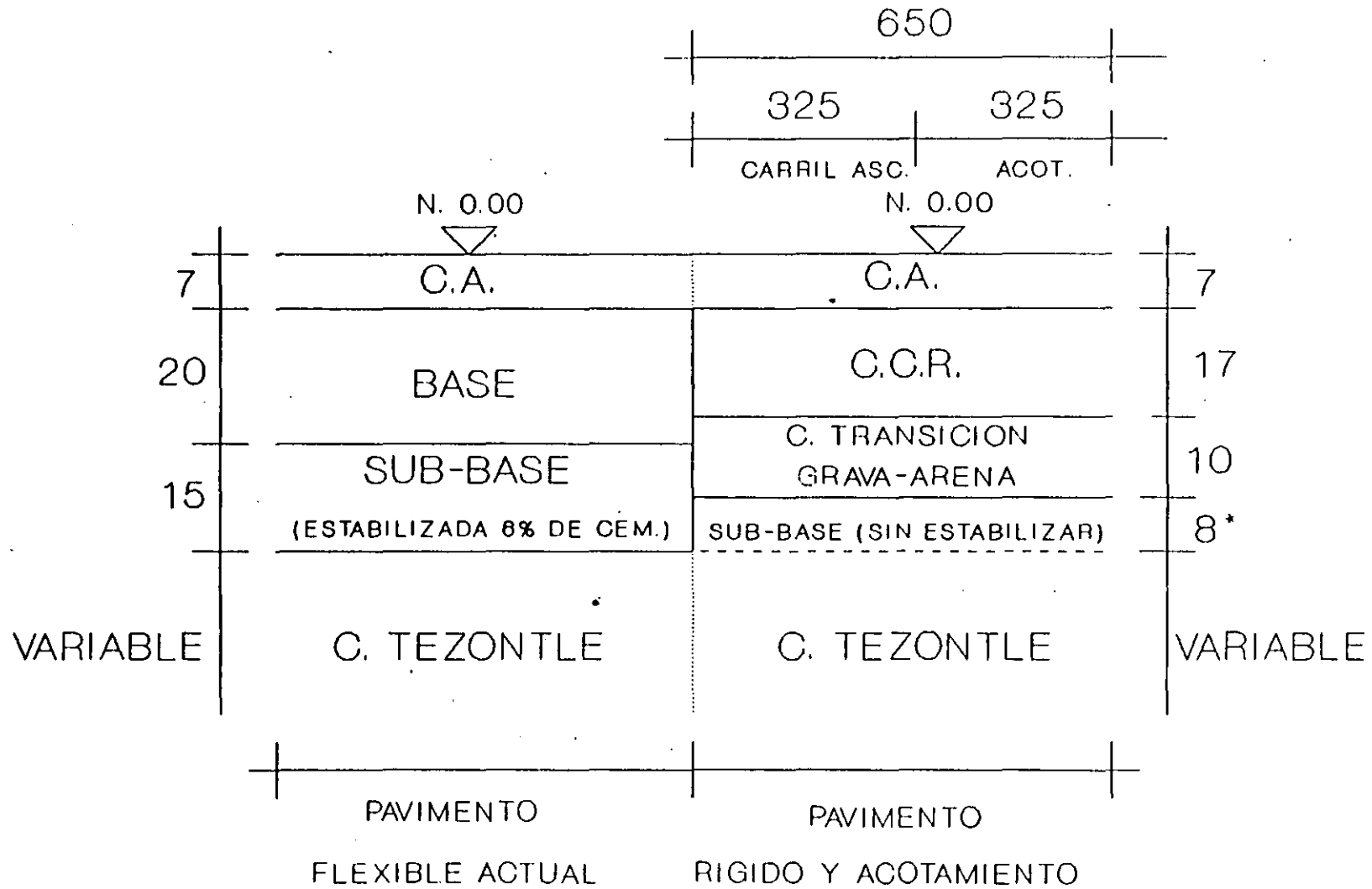


Figura 9

Figura 9.- Juntas longitudinales frescas.

PROPUESTA: JUNTA LONGITUDINAL DE PAVIMENTO RIGIDO (20/VI/91)



* LA FUNCION DE LA CAPA DE 8 CM ES LOGRAR EL MISMO NIVEL QUE EL PAVIMENTO FLEXIBLE

ACOTACIONES EN CM

Figura 10

Figura 10.- Junta de Pavimento Rigido y Flexible.

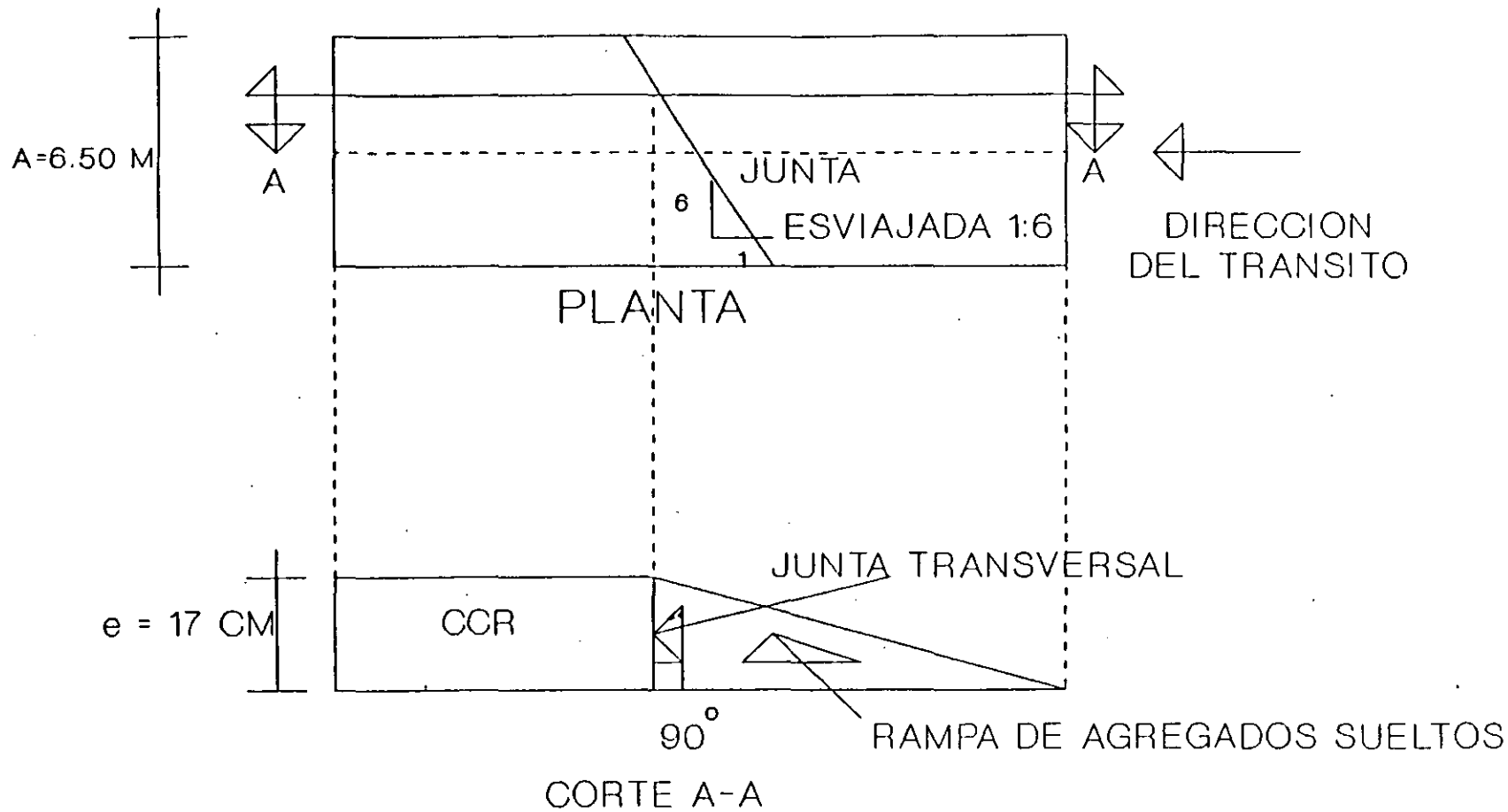


Figura 11

Figura 11.- Juntas esviajadas 1:6 y Rampas de Acceso.

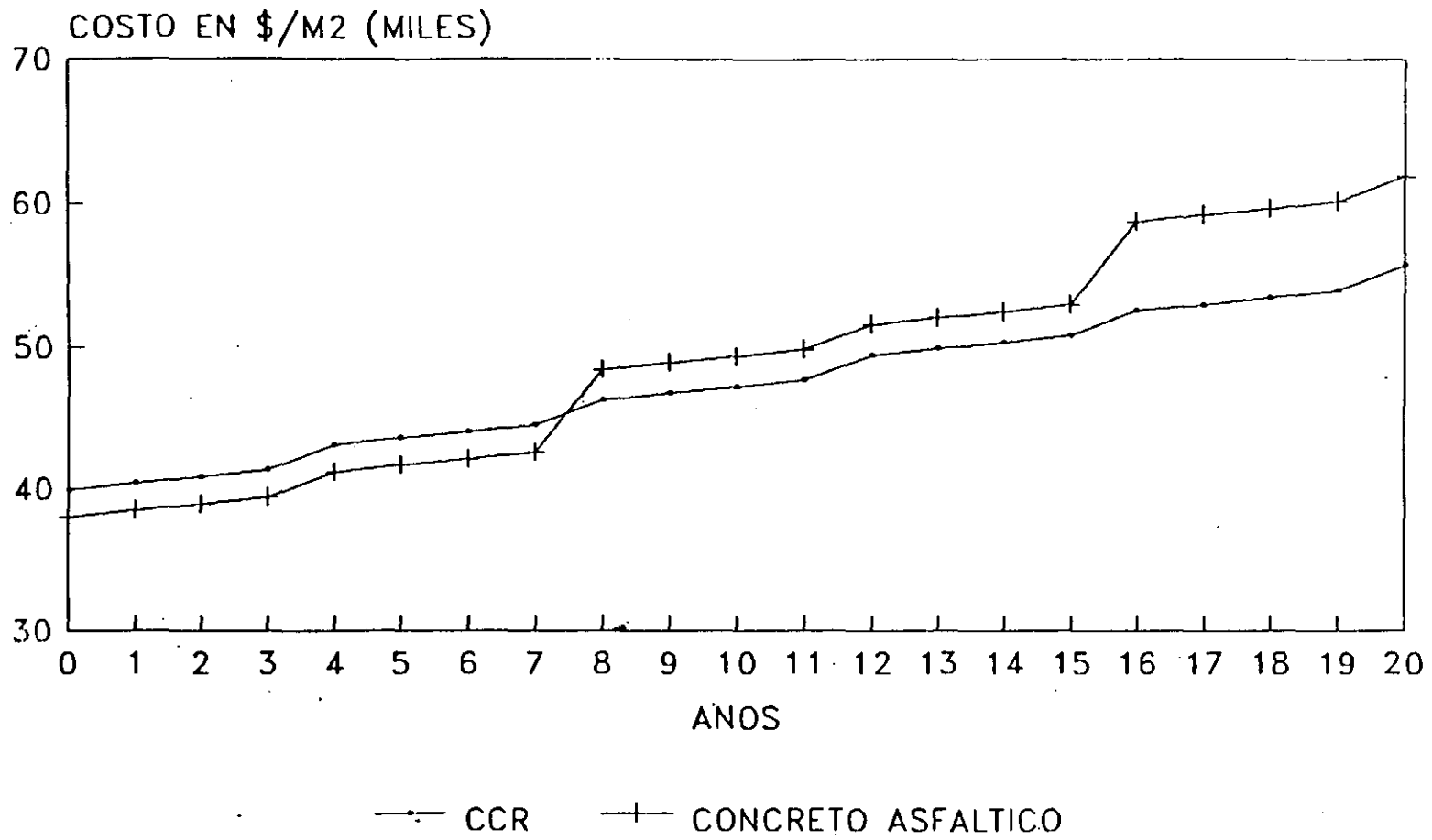


Figura 12 Costo del Mantenimiento de Pavimentos de CCR y Asfalto

VENTAJAS

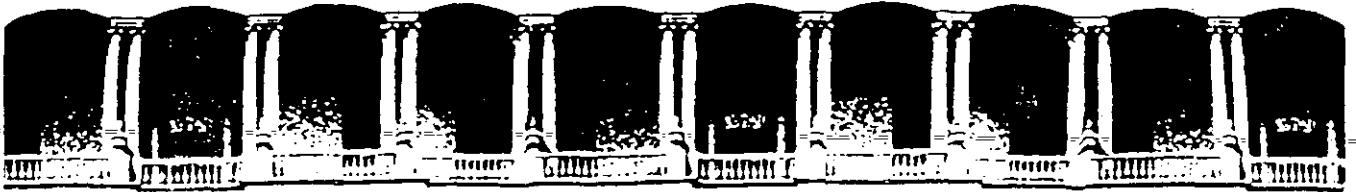
| COMPACTADOR NEUMATICO | MESA VIBRATORIA |
|-----------------------------------|------------------------------|
| RAPIDEZ DE PRUEBA | - NO TRITURA EL MATERIAL |
| DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO EN OBRA | - MEJOR ACOMODO DEL MATERIAL |

DESVENTAJAS

| COMPACTADOR NEUMATICO | MESA VIBRATORIA |
|--|---|
| SI LOS AGREGADOS SON SUAVES SE PUEDE PRESENTAR TRITURACION PARCIAL (2-8%) | - COMPACTACION POR VIBRACION INFERIOR |
| NO SE DISIPA LA ENERGIA DE COMPACTACION DEBIDO AL CONFINAMIENTO DEL CILINDRO | - EL SOBREPESO NO ES PROPORCIONAL AL PESO DEL EQUIPO DE CAMPO |

CUADRO 1.

Cuadro 1.- Ventajas y desventajas del compactador neumático y mesa vibratoria.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

PAVIMENTOS DE CONCRETO ROLADO, UNA NUEVA ALTERNATIVA
EN LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS

DR. JOSE ANTONIO NIETO RAMIREZ
M. EN I. DONATO FIGUEROA GALLO

OCTUBRE 1988

PAVIMENTOS DE CONCRETO ROLADO, UNA NUEVA ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS

por el Dr. José Antonio Nieto
Ramírez, Director General IMCYC
y M. en I. Donato Figueroa Gallo, In-
vestigador IMCYC.

Conferencia perteneciente al III Ciclo Internacional de Conferencias, "Ingeniería del Transporte", celebrado en la ciudad de Monterrey, N.L., México, los días 18 y 19 de Octubre de 1990. El Ciclo fue organizado por el Gobierno del Estado de Nuevo León, México, y el Gobierno del Estado de Texas, USA. Los autores del presente trabajo pertenecen al Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Introducción

El empleo del concreto compactado, CC, como una nueva alternativa en la construcción de autopistas, está avanzando rápidamente en algunos países, debido a las bondades que esta técnica ofrece en los regiones de durabilidad y costo. Sin embargo, no hay que perder de vista que los procedimientos constructivos, materiales, mano de obra y equipos utilizados son propios de cada región y que éstos juegan un papel muy importante en la evolución de cualquier técnica.

Las actividades que se generen por el movimiento de personas y bienes de consumo en un país o fuera de él, requieren de una infraestructura vial adecuada que permita realizar un transporte cómodo y eficiente, estas vías de comunicación dependerán precisamente de las necesidades que surjan en dichos polos de desarrollo.

Por lo tanto, los estudios que se realicen en la construcción de una autopista o una carretera nueva, vista como un sistema, aplicando tecnologías de punta, son muy am-

plios e interdisciplinarios, basta con mencionar algunos estudios donde se requiere especial atención: Selección de materiales, proporcionamiento de mezclas, ensayos de laboratorio, diseño de espesores, selección de equipo, procedimientos constructivos, control de calidad y conservación. Considerando también, desde luego, los estudios previos de ingeniería de tránsito, planeación, trazado y entorno ecológico.

Antecedentes

Las primeras aplicaciones empíricas que tuvo el concreto compactado en las vías terrestres nace en la década de los 70, principalmente en la construcción de caminos rurales para pequeños volúmenes de vehículos y de baja velocidad. No cabe duda, que la escuela de esta tecnología está sustentada en las experiencias obtenidas en diferentes partes del mundo en la pavimentación con suelo-cemento y en el uso de las bases tratadas con cemento, B.T.C., que datan de varios años atrás.

Durante los años 80, sigue el interés en la tecnología del concreto compactado, la investigación se profundiza más, a un punto que los equipos que anteriormente se utilizaban, tales como las estabilizadoras de suelo-cemento por volumen, los compactadores, entre otros, marcan un cambio revolucionario en el tren de construcción aplicado a las vías terrestres, pues su funcionamiento es más sencillo y controlado automáticamente.

Sin embargo, algunas empresas constructoras mexicanas que han iniciado la introducción de esta técnica a finales de los años 80, se han enfrentado a un problema real, pues resulta que su actual parque de maquinaria no es del todo ideal.

Es importante mencionar que debe existir una rotación ade-

cuada del equipo, al menos aquellos que son indispensables para poder afrontar la tecnología del concreto compactado.

Es claro, que la inversión que realicen algunas empresas en la adquisición de estos equipos podría quedar fuera de sus posibilidades económicas, debido a los altos costos del dinero que hay en la actualidad, pero existen fórmulas que permiten realizar estos proyectos con el apoyo de instituciones crediticias internacionales si empre y cuando se presenten proyectos rentables.

La espiral evolutiva de la tecnología del concreto compactado aplicado a las vías terrestres, nos muestra que en el período de 1970 a 1984 la construcción se efectuaba con equipos tradicionales, utilizando plan tas estabilizadoras, extendedoras y rodillos compactadores independientes. En el segundo período, de 1985 a 1990, estos equipos son integrados, es decir, el equipo que extiende el material es capaz de proporcionar simultáneamente compactaciones muy cercanas a las del proyecto; las nuevas generaciones de plantas de concreto hidráulico tienen un alto grado de automatización, con programas integrados, que dan al constructor la posibilidad de optimizar sus recursos. No hay que pasar por alto que las innovaciones en un equipo determinado o específico llevan tiempo en su desarrollo y es imposible que de un año a otro salgan al mercado comercial. Todos estos cambios que van surgiendo tienen un objetivo común, la construcción de más y mejores caminos.

Materiales empleados

Los materiales que se utilizan en la producción de un concreto deben cumplir las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas locales, con el objeto

de obtener un producto de calidad. En general, los agregados que se emplean deben ser de la lo calidad y en caso contrario serán transportados de la región económicamente factible.

Es preferible que las gravas y arenas sean producto de la explotación de canteras, pues al ser utilizadas en la estructura del pavimento ofrecerán un mayor valor relativo de soporte. Por otro lado, los cantos rodados provenientes de fuentes fluviales, son partículas redondeadas con superficies lisas, que no permiten haya una interacción entre cara y cara del agregado, lo cual produce un coeficiente de rozamiento interno bajo. Se descartan los agregados lajeados, pues ante los efectos de la energía de compactación su granulometría se modifica. Así como el uso de los llamados agregados marginales debe ser cuidadoso, pues estos no llegan a cumplir en algunos casos la calidad especificada.

Se verificará el desgaste de los agregados gruesos, es decir, la resistencia mecánica del esqueleto mineral, así como del pulimento que presentan dichas partículas al paso de los vehículos. También se pondrá atención al agregado fino, de tal manera que éste no vaya contaminado de materia orgánica y/o finos plásticos. Algunos aspectos importantes que hay que considerar en la selección de los bancos de material, son los volúmenes de explotación, la granulometría del material y las posibles contaminaciones, pues esto puede afectar el ritmo de la construcción.

Los cementos que se utilizarán en las mezclas de concreto compactable tendrán bajo calor de hidratación, mínima retracción y elevada resistencia a largo plazo. El agua de mezclado será limpia y libre de impurezas.

Equipo de Mezclado

El equipo para elaborar la mezcla de concreto compactable debe cumplir diseños y características específicas, pues el producto final será una mezcla homogénea, donde todos los ingredientes, grava, arena, cemento, agua y aditivos, si es que se requieren, han sido incorporados de acuerdo a la dosificación especificada. El mez-

clado se proporciona generalmente por dos ejes longitudinales horizontales que giran en forma intermitente o continua; cada eje tiene acoplado en toda su longitud una serie de paletas o aspas, con cierto ángulo de inclinación que proporcionan al material un mezclado enérgico. La forma y disposición de las paletas son diseñadas precisamente para obtener mezclas homogéneas y altos rendimientos.

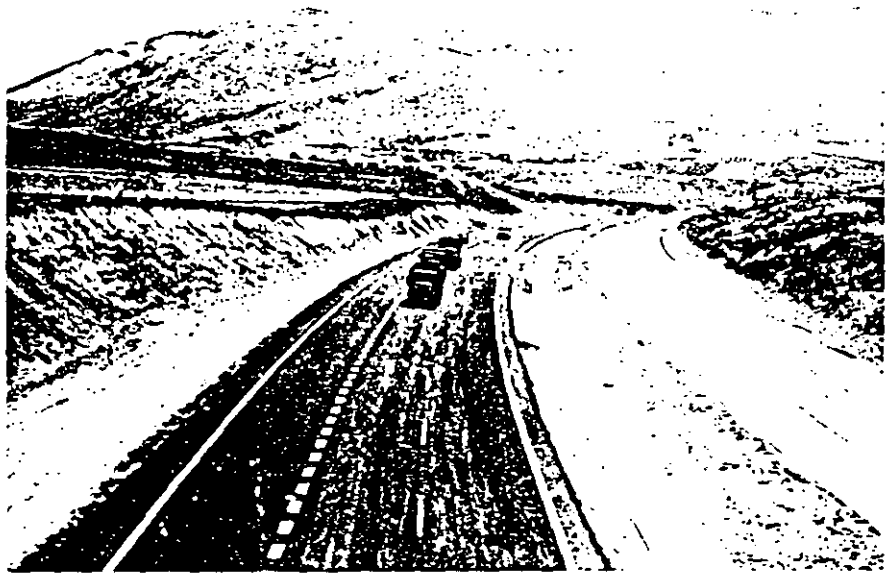
El equipo se seleccionará de acuerdo al tipo de obra que se vaya a construir, al tiempo y volumen de concreto que se vaya a producir y a la distancia de acarreo, pues en el mercado existen una serie de plantas con diferentes rendimientos, que pueden seleccionarse de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Existen compañías muy progresivas e innovativas especializadas en el diseño y la fabricación de plantas de alta capacidad de mez-

peración, mantenimiento y en el costo de los materiales.

Transporte de la Mezcla a la Obra

El transporte de la mezcla se realiza en camiones de volteo con capacidades de 6 a 7 m³. La carga se inicia principalmente en la tolva receptora de la planta de mezclado, procurando que la caída de la mezcla no sea muy alta para evitar el problema de la segregación. Es práctica común cubrir la parte superior de la mezcla con lonas o plásticos para evitar la desecación de la mezcla cuando se tienen temperaturas altas, en caso de lluvia se recomienda parar las actividades. Los recorridos serán cortos con radios de 10 Km o de 15 minutos. También se pueden utilizar camiones de 15 m³ de capacidad en caso de contar con ellos. Estos últimos son muy convenientes al disponer de una planta continua de mezclado. Hay que obser-



clado, así como de equipos auxiliares, tales como silos móviles, sistemas alimentadores y tolvas de almacenamiento.

Estos equipos pueden mezclar concretos compactables, suelo-cemento, bases tratadas, concreto convencional con bajo revenimiento con producciones de 275 a 900 T/h.

El sistema de mezclado continuo es uno de los más nuevos y más eficaces métodos para obtener ahorros en la movilización, o-

Los vehículos pesados consumen menos combustible en autopistas de suelo-cemento

var que el número de camiones que se vayan a utilizar será en función directa a los ciclos de producción y colocación de la mezcla.

Extendido y Compactación del Concreto

Los trabajos de pavimentación que se habían desarrollado hasta 1985, consistían en extender la mezcla de concreto con una pavimen-

tadora convencional y compactarla con rodillos vibratorios. Posteriormente se hicieron algunas adaptaciones a las extendedoras, pues la energía de vibración que proporcionaba la extendedora a los espesores de concreto, que oscilaban en los 25 cm, no era la suficiente, ya que los compactadores vibratorios desarrollarían dicha función. Al seguir este procedimiento la regularidad superficial del pavimento no era muy satisfactoria, pues tenían en la superficie pequeñas depresiones que eran perceptibles al circular aún a velocidades moderadas.

Las pavimentadoras que se han utilizado actualmente en el extendido de mezclas secas, con el propósito de lograr una lisura o regularidad superficial adecuada de la superficie expuesta del concreto compactado, son las llamadas pavimentadoras del tipo doble tamping, capaces de alcanzar el 93/96% de la compactación del proyecto, en capas con espesores de 15 a 30 cm, esto ha sido posible gracias a la introducción de los sistemas denominados duotamp y vario duotamp. Con estos sistemas se ha logrado un buen control de las pendientes longitudinales y transversales del pavimento. La regla puede ser ajustada para pendientes positivas y negativas, logrando un drenaje superficial adecuado y por supuesto una colocación más eficiente.

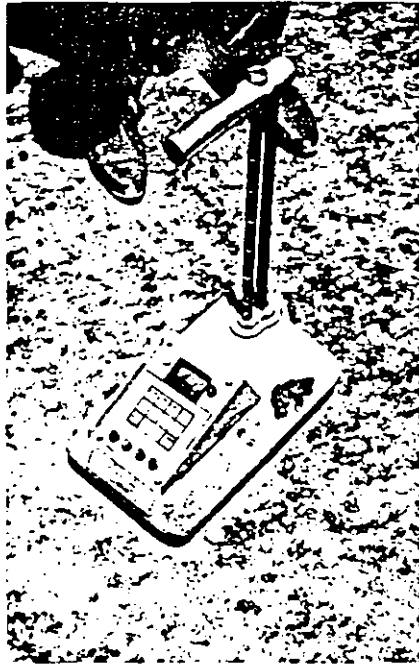
La evolución que han presentado los equipos de extendido son respuesta a los mayores requerimientos y exigencias que se persiguen en una autopista o carretera, con una finalidad: poder conducir con seguridad y comodidad desde luego, esto obliga a que los costos iniciales incurridos en la compra de un equipo sean mayores, pero si tomamos en cuenta que estos programas están contemplados dentro de una planeación armónica, se podría considerar que el avance de la tecnología en el campo de la construcción debe ser acorde a dichas exigencias.

Control de Calidad - Materiales

Se requiere que los agregados y aglutinantes que van a constituir

una mezcla homogénea cumplan con ciertos requisitos que estipulan las normas de calidad local, esto es muy importante, pues como se sabe la durabilidad de los pavimentos depende en gran medida de las características mecánicas de los materiales.

Algunos ensayos previos que se efectúan a los agregados son los siguientes: Análisis petrográficos, Granulometrías, Desgaste de los Angulos, Coeficiente de Forma o



Medidor nuclear de la densidad-humedad del concreto

Coefficiente Volumétrico o Índice de Lajas o Gujas, Pesos Volumétricos, Reactividad potencial con los Alcalis del cemento, Intemperismo acelerado con soluciones concentradas de sulfato de sodio o magnesio, Ciclos de congelación-deshielo, Absorción, Densidad, Porcentaje de partículas sílice, Límites de Atterberg, Equivalente de arena y Materia orgánica.

Desde luego los cementos Portland que se vayan a utilizar se sujetarán a las normas correspondientes, éstos incluyen ensayos físicos, químicos, mecánicos, tales como: Finura, Consistencia, Tiempo de Fraguado inicial y final, Expansión en autoclave, Oxidos componentes, Compuestos potenciales y Resistencia a compresión. Las cenizas también se analizarán.

El agua de mezclado también se estudiará para conocer su PH, cloruros y sulfatos. En algunos casos se estudiarán las propiedades de los aditivos que se vayan a emplear.

El siguiente paso es obtener una dosificación óptima de estos ingredientes, con el propósito de obtener una mezcla homogénea y consistente. Algunos ensayos que se pueden ejecutar en estado fresco y endurecido son: Peso volumétrico seco máximo utilizando una mesa vibratoria, Contenido de humedad, Contenido de aire, Resistencia a compresión simple, Tensión indirecta, Flexotracción, Módulo de elasticidad y Módulo de poisson.

Antes de iniciar la construcción se deberán tener bien precisos todos los parámetros anteriores, se dará especial atención al almacenamiento de los materiales que no se presenten contaminaciones, segregación ni que varíe su temperatura drásticamente.

En España se tiene una experiencia típica relacionada con el almacenamiento de materiales y es la siguiente: para poder almacenar en forma ordenada el 70% de los agregados que se requieren para elaborar el concreto de un tramo de carretera de 16 km y 4 carriles se necesita una superficie de 25.000 m².

Durante la fabricación del concreto se realizarán análisis de las mezclas producidas mediante lavado, se verificará la granulometría, contenido de cemento, contenido de humedad de las gravas y arenas, consistencia, peso volumétrico y contenido de aire.

Se elaborarán especímenes cilíndricos para ensayos con compresión o tensión directa, así como vigas prismáticas mediante vibro-compresión. Se verificará también el espesor de la capa de concreto mediante métodos directos.

Finalmente se dará especial cuidado al procedimiento de curado, para lo cual se analizarán previamente las diferentes membranas que vayan a utilizarse.

Densidad y Contenido de Humedad

Durante la colocación del concreto se verificará la densidad in

situ mediante densímetros nucleares, si se dispone de éstos, en caso contrario se emplearán los métodos tradicionales, el método de la arena o el de la membrana.

Los principios de operación de un medidor de densidad/humedad nuclear están basados en la emisión de radiación de una fuente encapsulada y adecuadamente sellada, situada dentro del medidor. El material radiactivo usado para medir la densidad es el Cesium 137, el cual emite rayos gamma. Si el material tiene baja densidad una cantidad mayor de rayos gamma pasará a través y será detectada por un detector Geiger-Mueller, también situado dentro del medidor.

Para medir el contenido de humedad se utiliza una fuente radiactiva de Americium 241 Beryllium, la cual emite neutrones. La alta energía de los neutrones es moderada por colisión con los átomos de hidrógeno del agua del material que se está compactando. Por lo tanto, solamente la baja energía de los neutrones moderados es detectada por los detectores de humedad.

Si el material de prueba está húmedo el medidor indicará una respuesta alta, si es muy seco el medidor indicará lo contrario durante el mismo periodo de tiempo.

La operación de estos equipos puede funcionar de dos maneras: Transmisión directa o Transmisión indirecta.

El primer método, directo, consiste en realizar una perforación a 20 ó 30 cm de profundidad en el terreno donde se verificará la densidad, posteriormente se introduce la varilla que contiene la fuente sellada, para realizar las mediciones. El segundo método, indirecto, consiste en realizar las mediciones de la densidad colocando el medidor sobre la superficie sin realizar la perforación del terreno.

El tiempo para efectuar estas pruebas es muy rápido, del orden de 1 a 4 minutos. Lo cual permite que el ingeniero disponga de una manera eficiente de la información de la obra.

Juntas Transversales, Longitudinales y de Construcción

Por su naturaleza el concreto hidráulico es susceptible de agrietarse, debido a los esfuerzos inducidos por los cambios de temperatura y pérdida de contenido de agua de la mezcla de concreto. Este comportamiento se ha estudiado y se le ha dado especial atención. Para pavimentos con un ancho de grieta de hasta 3 mm, algunos especialistas recomiendan dejar la grieta sin ningún tratamiento, pues se supone que existe una transferencia de carga entre las caras de los agregados, que la grieta sellará con el material fino que se desprende al circular los vehículos y que la filtración del agua es mínima.

Sin embargo, no hay que tomar muy a la ligera este razonamiento, pues dicha fisura puede representar un problema potencial en la vida futura del pavimento, habrá que considerar, por lo tanto, una estructura de pavimento invertida para evitar precisamente la reflexión del agrietamiento.

Esta estructura podría estar formada por una primera capa de concreto compactable, una segunda capa con un espesor mínimo de material granular o una grava-emulsión con mayor estabilidad y, finalmente, la carpeta de mezcla asfáltica. Con esta posible solución se evitaría el tener que aserrar el pavimento y dejar que se agriete aleatoriamente. El patrón que se ha observado en el agrietamiento es a cada 7 metros, no hay que olvidar que la subrasante deberá cumplir los requisitos mínimos que estipulen las normas de la secretaría.

Características Superficiales

La regularidad superficial, o lisura, es una característica superficial de los pavimentos, la cual está relacionada con la capa de rodadura, los defectos de la lisura se reflejan en ondas de diferente longitud debidas al procedimiento constructivo que se sigue en la pavimentación con concreto compactable, a deformaciones de la estructura del pavimento o a deformaciones de la subrasante. Cuanto mayor es la velocidad del usuario, más le afectan las irregularidades de gran longitud de onda.

Para medir la lisura se pueden emplear reglas móviles de 3m, perfilógrafos o viágrafos.

Otros equipos son el denominado Analizador Dinámico de Perfil Longitudinal, APL, francés o el Analizador de la Regularidad Superficial, ARS, español.

Por otra parte, existen equipos más versátiles como el ARAN canadiense y el Road Surface Tester, RST, sueco. El sistema de medida consta de una serie de cámaras láser que pueden medir para un tramo de 100 m, la profundidad de las roderas, la lisura, la micro-textura, la fisuración de la superficie, perfiles transversales, radios de curvatura y resistencia al deslizamiento.

En la actualidad, a fin de comprobar las medidas realizadas con equipos diferentes, se está imponiendo el empleo del Índice Internacional de Regularidad, IIR.

La resistencia al deslizamiento es otra característica superficial del pavimento, la cual está directamente relacionada con la adherencia neumático-pavimento.

Algunas medidas puntuales de la macrotextura son las que se realizan con el ensayo del círculo de arena o con un texturómetro láser, las medidas de la microtextura se pueden realizar con péndulo de fricción del Transport and Road Research Laboratory, TRRL. Otro grupo de equipos que se utilizan para medir la resistencia al deslizamiento son: Deslizógrafo norteamericano y el Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine, SCRIM, británico.

Por último se menciona que existen técnicas en operación que permiten mejorar las características superficiales de los pavimentos, tales como concretos porosos, pues se obtienen calidades muy deseables, por ejemplo propiedades antirreflejantes, acústicas y permeables.

Costos de Operación

En un informe completo de los costos de operación de vehículos de la Federal Highway Administration de los Estados Unidos, publicado en 1982, muestran que el tipo de superficie de una carretera puede afectar significativamente el consumo de combustible. Se de-

muestra que si los camiones pesados circulan en un pavimento de concreto hidráulico, en lugar de circular en un pavimento asfáltico, se tienen ahorros de combustible de hasta un 20%.

Dichos ahorros pueden tener un impacto profundo en los costos del ciclo de vida de la carretera, método que los organismos de transporte utilizan para valuar los costos totales de una carretera a lo largo de su vida útil.

La lógica apoya esta conclusión, debido a que los camiones causan mayor deflexión en los pavimentos flexibles que en los pavimentos rígidos; al deformarse el pavimento, éste absorbe parte de la energía del vehículo que de otra manera podría estar disponible para propulsar el vehículo, por lo tanto mayor cantidad de combustible es requerida para conducir en los pavimentos flexibles.

Respecto al costo de las carreteras, los organismos del transporte están empezando a adoptar la práctica de incluir los costos del usuario conjuntamente con los costos de los organismos en el ciclo de vida total. Puesto que el combustible es una componente importante del costo del usuario, la tendencia firme de los vehículos pesados a utilizar menos combustible en los pavimentos de concreto pone en pie la pregunta: ¿Cuál sería el impacto económico de construir pavimentos de asfalto o concreto?

La respuesta se podría plantear de la siguiente manera: Si los ahorros en los costos del combustible podrían acumularse en varios años para un valor igual a los costos de la superficie de concreto. Se concluye, que los ahorros de combustible podrían pagar el costo del concreto en siete años, por lo tanto el consumo diferencial de combustible puede ser un elemento dominante en el análisis del costo total de los pavimentos.

Oportunidades

El empleo de concreto compactable es una nueva alternativa que se puede considerar en el actual esquema de obras viales concesionadas, pues son claros los beneficios que se obtendrán en su operación y conservación durante el pe-

riodo de la concesión federal, por un lado, y por otro, las condiciones de servicio en que será entregada la estructura del pavimento al término de dicha concesión.

Conclusiones y Recomendaciones

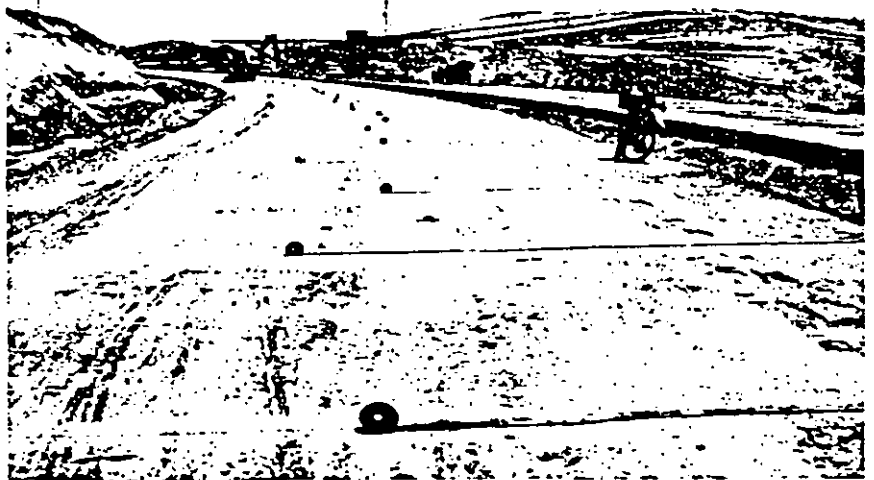
En la actualidad existe una cantidad razonable de equipos en el mercado para producir, transportar, extender y compactar, de una manera adecuada, las mezclas de concreto a base de cemento Portland con cero revenimiento. Desde luego, la selección de estos equipos irá en función directa al tipo de proyecto, tamaño de la obra, tiempo de ejecución, recursos económicos disponibles, localidad o país donde se realizará la construcción, servicios que presten las empresas fabricantes en reparación, suministro de repuestos de sus equipos y de otras variables que están involucradas de forma directa o indirecta con el proyecto.

jores vías de comunicación por carretera.

No hay que olvidar que todos los estudios y ensayos previos de los materiales no deben verse de manera puntual, sino de una manera conjunta y ponderal, donde la experiencia y criterio del profesional juega un papel muy importante. Por otra parte, las pruebas de laboratorio tendrán que acercarse más a los procedimientos que se realizan en la práctica, pues varios de ellos distan mucho de representar las condiciones reales de la obra.

Se recomienda que la aplicación de una nueva tecnología de un país a otro puede adaptarse con ciertas precauciones y medidas, lo cual hace indispensable realizar una investigación intensa y profunda de los parámetros y variables de la técnica que se vaya a introducir.

Finalmente, es importante men-



La puesta en marcha de un programa de estas características debe seguir un control muy estricto en todas sus líneas, selección del tren de construcción, materiales y mano de obra, pues la implantación de nuevas tecnología conlleva a incurrir a una serie de éxitos y fracasos, que, con el tiempo, el cúmulo de los resultados ya normalizados pondrá en punta los lineamientos que se requieren para revolucionar y conseguir más y me-

Ultimos detalles en las juntas

cionar que el triángulo participante, Gobierno, Empresas Privadas e Institutos de Investigación, deben marchar de forma conjunta, armónica y con programas específicos, con el objeto de que la información obtenida en los tramos experimentales sirva de pilar a futuros programas.

C&MM CIRCULE 111 EL EN LA TARJETA



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

CARRETERA DE C.C.R. .. LA MEJOR SOLUCION

M. EN I. DONATO FIGUEROA GALLO

CARRETERAS DE C.C.R. ..LA MEJOR SOLUCION

M. en I. Donato Figüeroa Gallo *

Se expone la evolución que han observado los pavimentos de concreto compactado con rodillos, (CCR) en España, se incluyen las primeras experiencias en la pavimentación de caminos rurales y calles urbanas, y la aplicación de la técnica en la construcción de autopistas de doble calzada. Finalmente, se describen algunos aspectos sobre el diseño del pavimento y especialmente el procedimiento constructivo de un tramo ubicado en la Autovía Sevilla - Granada - Baza.

La red carretera española actualmente cuenta con 315.000 km de los cuales 23.000 km forman la red estatal que se encuentra bajo la administración del Gobierno Central y la diferencia de los Gobiernos Autónomos y Diputaciones Provinciales.

La longitud de autopistas es ligeramente mayor a 2300 km, de la cual 350 km está formado por pavimentos de concreto hidráulico. (1)

Uno de los objetivos del plan carretero gubernamental para el ciclo 1984-1991, es convertir 3250 km de la red troncal principal en autopistas y vías de doble calzada con accesos controlados. La autopista es una especie de autopista con control de accesos y libre de peaje. Además, existe un " Plan Puente ", dentro del Programa de Desarrollo Regional de la Comunidad Económica Europea, CEE para construir 1000 Km adicionales en el periodo 1992-1993, dicho plan, servirá de enlace con un proyecto a más largo plazo, denominado " Segundo Plan ", el cual se prolongará hasta 1999.

Hay que tomar en cuenta que, a pesar de las obras realizadas en los últimos

años, la red viaria española es aún muy deficiente.

Por otra parte, la red de carreteras existente requiere obras de conservación y mejora (2).

Por lo anterior, la Administración Central tiene prevista una inversión de 988.000 millones de pesetas en la construcción de carreteras a 1992 (1 peseta española = \$21.65 pesos mexicanos, 2 Agosto de 1989).

Este desarrollo es muy importante pues existen tres grandes proyectos y de mayor proyección mundial, la construcción de las instalaciones olímpicas de Barcelona (1992), la construcción del recinto para la exposición universal de Sevilla (1992) y las obras para adaptar el ancho de vía español al europeo (2010). Desde luego, el mercado de maquinaria

español de obras públicas será el más activo en Europa, y esto se reflejará en la feria especializada SMOPYC en 1990.

DESARROLLO DE LOS PAVIMENTOS DE CCR EN ESPAÑA

Las primeras aplicaciones del CCR tuvieron lugar alrededor de 1970 en la provincia de Barcelona. Se trata de pavimentos sujetos a tránsitos ligeros ubicados en caminos rurales y zonas urbanas.

Esta técnica ha sido desarrollada por algunos contratistas locales en forma autodidacta, las obras fueron realizadas sin estudios previos de laboratorio y sin suficientes controles durante su ejecución para determinar las densidades y resistencias, el comportamiento de las mismas permite afirmar

Red Española de Vías de Doble Calzada

| | |
|--|----------|
| Autopistas anteriores a 1984 (peaje + libres) | 1820 Km. |
| Autovías y vías de doble calzada | 480 Km. |
| Plan de Carreteras 1984-91 | 3250 Km. |
| " Plan Puente " 1992-93 | 1000 Km. |
| <hr/> | |
| Total | 6550 Km. |

Investigador Area de Construcción,
IMCYC



Fig. 1 Pavimento de CCR en caminos rurales.



Fig. 2 Pavimento de CCR en zonas urbanas.

que a través de la práctica se ha puesto a punto una tecnología totalmente adecuada a las vías en las que se ha utilizado, la superficie pavimentada con CCR rebasa los 4 millones de metros cuadrados (3).

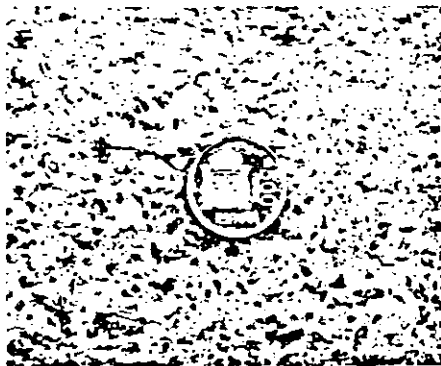


Fig. 3 Muestra de un detalle de la textura del CCR en una calle urbana.

Otra de las aplicaciones que ha tenido el CCR lo constituye la pavimentación de carreteras para tránsito medio y pesado, la primera experiencia que se tuvo fue la pavimentación del túnel del Cadí en la provincia de Barcelona en Septiembre de 1984. Posteriormente, se ha empleado esta técnica en la construcción de nuevas vías o en la rehabilitación y refuerzos de obras existentes. Puede estimarse que se han construido hasta el momento con este material más de 600,000 m² de carreteras principales.

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Espesores y Resistencias

El diseño de los pavimentos de concreto compactado con rodillos se ha realizado con las técnicas que se utilizan en los pavimentos de concreto hidráulico convencional, siempre y cuando no se considere una capa de rodamiento en la superficie expuesta del CCR.

Estas hipótesis pueden considerarse válidas ya que, ambos materiales tienen propiedades mecánicas muy similares. Pero, cuando se requiere asegurar una superficie de rodamiento de mayor calidad, se puede emplear una carpeta de concreto asfáltico por lo que, una reducción del espesor del CCR puede considerarse válida. Esto se justifica al

emplear modelos de sistemas multicapa basados en la teoría elástica, existen programas de computadora por ejemplo, el ALIZE III de los Laboratorios de Ponts et Chaussées de Francia. Este enfoque ha sido utilizado por las normas oficiales españolas, las cuales consideran las secciones estructurales siguientes, a partir de 1989.

titulares. Hormigón Compactado" del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España, Noviembre de 1987, en las cuales podemos encontrar como desarrollar las dosificaciones para CCR, los ensayos previos a la ejecución, el equipo para la construcción y las tolerancias y controles que se deben efectuar.

Secciones Estructurales de Pavimento

| NIVEL DE TRANSITO CATEGORIA DE EXPLANADA | T0 | | T1 | | T2 | T3 | T4 | |
|---|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II |
| CARRETERA DE DISEÑO | 28 15 | 10 25 20 | 25 15 | 10 22 20 | 6 20 20 | 6 20 15 | 4 20 20 (NO TRAZADO) | 4 20 |
| ACOTAMIENTO | 26-30 15 | 10 23-27 20 | 23-27 15 | 10 20-24 20 | | | | |

Acotaciones en Centímetros.

- Concreto hidráulico: $M_0 = 40 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días
- Concreto compactado con rodillos: $M_0 = 33 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días
- Base granular tratada con cemento: $F_c = 25 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días
- Sub-base asfalto-cemento: $F_c = 25 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días

Transitos en Vehículos pesados/día:

- T0: TRANSITO > 2000
- T1: 800 / < TRANSITO < 2000
- T2: 200 / < TRANSITO < 800
- T3: 50 / < TRANSITO < 200
- T4: TRANSITO < 50
- EX: VRS / > 20

Es importante mencionar que la carga legal en España es de 13 ton. para el eje simple y de 21 ton. para el eje tandem, sin embargo estudios realizados han demostrado que existen sobrecargas medias, por lo que las cargas de los ejes llegan a ser hasta de 15.1 ton. y 24.8 ton. respectivamente, (4) aunado a las condiciones climatológicas extremas que existen en gran parte del país. Esto ha originado que muchas de las técnicas que se han desarrollado en otros países deben ser modificadas considerablemente antes de ser empleadas en un país determinado.

Por otra parte, España es uno de los primeros países que cuenta con el "Pliego de Prescripciones Técnicas Par-

Junta transversales, longitudinales y de construcción

Las normas oficiales consideran juntas transversales a cada 7 m con un esviajamiento 1:6 de la misma manera que en los pavimentos de concreto convencional. Por otra parte, las normas no estipulan juntas longitudinales en el pavimento.

En trabajos realizados, donde se ha dado un tratamiento a la superficie de rodamiento, se ha dejado que las juntas transversales se formen aleatoriamente. Recientemente se ha dispuesto aserrar dichas juntas y darles un tratamiento, (ver procedimiento constructivo 5.4) para evitar el problema de la reflexión de agrietamiento.

En algunos tramos de carretera que se habían construido anteriormente se planeó aserrar las juntas a cada 15 m sin embargo debido a los bajos niveles de humedad relativa y a las temperaturas ocasionalmente por arriba de los 40 grados centígrados, fue necesario reducir la distancia a cada 10 m. Cabe mencionar que el patrón de agrietamiento varía de 10 a 25 m. pero como se mencionó, las condiciones climatológicas tienen una gran influencia en estas variaciones. Se ha observado que el tiempo para aserrar las juntas está comprendido dentro de las 8 horas de haber tendido el CCR.

Para tránsito ligero y volúmenes pequeños las juntas se han aserrado con fines estéticos únicamente.

Las juntas de construcción se construyen cuando se presenta el fin de jornada, aunque también puede ser por condiciones climatológicas o por descompostura de algún equipo del tren de construcción tengan que suspenderse las actividades. El procedimiento a seguir es efectuar un corte a 90 grados a todo lo ancho del pavimento y tender una rampa de arena o material suelto para que el equipo pueda subir al área de trabajo cuando las actividades se inicien. Posteriormente, el material producto del corte y el material suelto se retiran para continuar el procedimiento de tendido, (5).

Textura y superficie de acabado

Para obtener una superficie de rodamiento resistente al patinaje, se ha previsto una carpeta de concreto asfáltico cuyo espesor puede variar de 4 a 10 cm. Además, dicha capa absorberá las pequeñas depresiones que pudieran dejar los rodillos vibratorios durante el proceso de compactación.

En caminos con volúmenes de tránsito pequeño se ha optado por dejar la superficie del pavimento de CCR libre, en algunos casos para ofrecer una textura adecuada se le da un acabado con una allanadora mecánica. Las velocidades recomendadas en estas condiciones son hasta de 40 km/hr.

MATERIALES

Agregados

Para evitar la segregación y obtener

una mejor calidad de la superficie se utilizan agregados triturados con tamaños máximos de 20 mm (3/4") o 16 mm (5/8"), los rangos para cada tamaño se presentan en la Tabla 1.

Cabe mencionar que la granulometría incluye el cemento con la finalidad de limitar el contenido de finos que pasa la malla 200, a los límites que se fijan en dicha tabla.

Granulometría típica para pavimentos de CCR

| T.M.A. (mm) No. Malla | % QUE PASA | |
|--------------------------|------------|--------|
| | 16 | 20 |
| 1" | | 100 |
| 3/4" | 100 | 85-100 |
| 5/8" | 88-100 | 75-100 |
| 3/8" | 70-87 | 60-83 |
| No. 4 | 50-70 | 42-63 |
| No. 10 | 35-50 | 30-47 |
| No. 40 | 18-30 | 16-27 |
| No. 200 | 10-20 | 9-19 |

Tabla 1.

Los agregados que se emplean son de origen calizo o silíceo y se pueden suministrar en tres, dos o un tamaño, dependiendo de su clasificación. Se recomienda que el material utilizado en la dosificación, cuando menos las 2/3 partes sean producto de la trituración de rocas.

Aglutinante

El contenido de cemento en las mezclas de CCR fluctúa de 260 a 330 Kg/m³, que representa del 11.5 al 14.5% del peso seco de los agregados.

En España el cemento que se ha utilizado en la mezcla contiene un alto contenido de adiciones activas, se ha observado que las resistencias que se logran son mayores que las mezclas con una proporción menor de adiciones.

Algunas ventajas que se obtienen al utilizar las adiciones y que son atractivas en la pavimentación con CCR, se encuentran: bajo calor de hidratación, disminución del agrietamiento debido a contracciones, notable retraso en el proceso de fraguado y un comportamiento adecuado en la reología de la mezcla.

A manera de ejemplo, podemos citar que el incremento de la resistencia a tensión indirecta de los especímenes de concreto de 28 a 90 días puede ser hasta

del 45%, considerando un contenido de cemento del 15% en peso de los materiales secos, el cual está constituido de un 50% de adiciones activas.

El tipo de adición activa más común en el mercado español es la ceniza volante de tipo sílico-aluminoso, clase F de acuerdo a lo dispuesto en la norma C 618-87 de la ASTM (6), diariamente se producen aproximadamente 25,000 toneladas de este tipo de cenizas.

Contenido de humedad y energía de compactación

El contenido de humedad de la mezcla varía de 105 a 130 lt/m³ que representa de un 4.5 a 5.5% del peso de los agregados secos.

Para elaborar los especímenes de CCR se ha empleado la energía específica de la prueba Proctor Modificada y el martillo Kango (vibratorio), sin embargo, en España se tiene la tendencia a utilizar la mesa vibratoria VeBe para elaborar los especímenes, pues se ha visto que los métodos anteriores no son representativos de las condiciones de campo, pues el material se tritura alterando su granulometría original.

Aditivos

El tipo de aditivo que se ha utilizado es un retardante, que incrementa el tiempo de trabajabilidad de la mezcla, logrando que las operaciones de compactación puedan efectuarse adecuadamente. La cantidad de retardante varía de 0.5 a 1% del peso del cemento. En realidad este porcentaje tendrá que ser medido en la obra para evaluar su correcta dosificación.

CONSTRUCCION DE LA AUTOVIA SEVILLA - GRANADA - BAZA

A continuación se examina brevemente el procedimiento constructivo de algunos tramos de carretera en la provincia de Granada ubicada al sur de la Península Ibérica.

Mezclado

El mezclado se efectúa en una planta continua con capacidad de 300 ton/hr. En la figura 4, se muestra un modelo del mezclador que debe ser utilizado en este tipo de mezclas secas, la marca es Lebrero - Zaragoza con ordenadores

Ramsex de fabricación española, en la figura 5, se puede apreciar el equipo puesto en operación, el mezclado se realiza en forma enérgica para lograr uniformidad en la producción del concreto fresco, la dosificación del agua se efectúa por medio de "flautas".



Fig. 4 Modelo de mezclador para mezclas secas de CCR

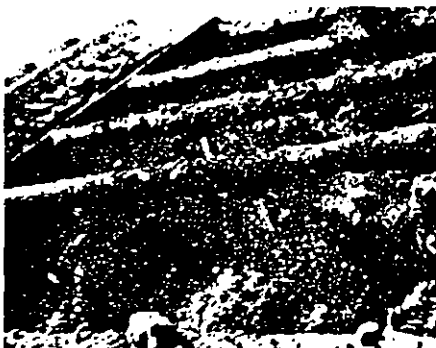


Fig. 5 Dosificación del agua y mezclado



Fig. 6 Unidades de transporte de alta capacidad

El cemento y la ceniza se dosifican por peso y los agregados pueden dosificarse por volumen. Estos equipos además de producir mezclas de concreto extremadamente secas, pueden elaborar mezclas de suelo-cemento y gravas tratadas con cemento.

Transporte

La mezcla de concreto se transporta en camiones de 15 m3 de capacidad "bañeras" al lugar de la obra, figura 6.

Extendido y compactación

La estructura del pavimento está constituida de una sub-base de suelo-cemento de 20 cm de espesor compacto, una base de CCR, concreto compactado con rodillos de 22 cm y una carpeta de concreto asfáltico de 8 cm de espesor.

En la figura 7, se puede apreciar el tendido de un geotextil anticontaminante/drenante entre la capa de sub-base y la capa de sub-base. La figura 8, muestra la capa de sub-base, estabilizada con cemento al 6% en peso de los materiales secos. También se puede observar el control del espesor mediante un dispositivo electrónico "palpador" y un hilo previamente nivelado, después de avanzar un tramo determinado la pavimentadora regresa e inicia el carril contiguo con el objeto de evitar la junta longitudinal. En la figura 9, se aprecia la compactación de la capa de suelo-cemento, generalmente se deja un bordillo de 50 cm de ancho sin compactar que sirve de contención y de amarre cuando se compacte el carril adyacente.

Fig. 7 Tendido del anticontaminante/drenante

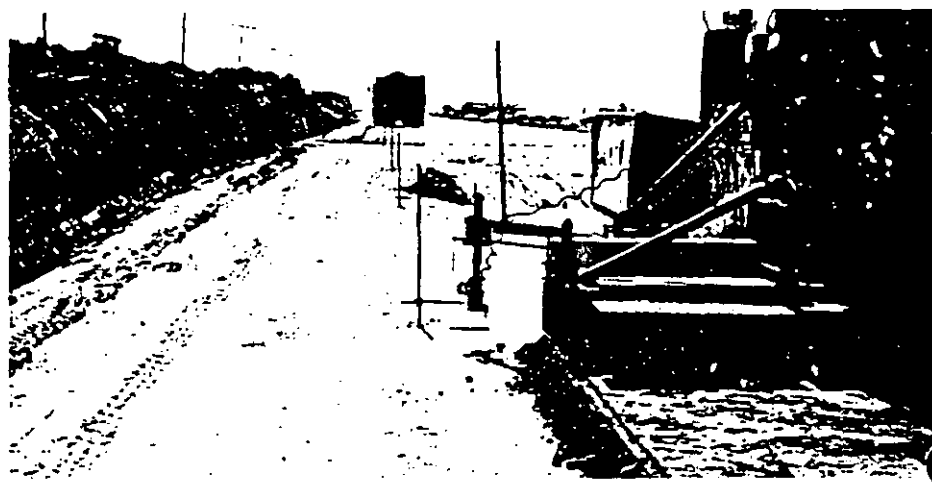


Fig. 8 Sub-base estabilizada con cemento

El mismo equipo que se utiliza para tender y compactar el suelo-cemento se emplea en la capa de CCR. Por ejemplo, el rodillo vibratorio debe tener un peso estático no menor de 30 Kg/cm del ancho del rodillo y el número de pasadas puede variar de 4 a 6.



Fig. 9 Bordillo de contención y amarre



Fig. 10 Densímetro nuclear

Para cerrar la textura de la superficie se utiliza un compactador de neumáticos con un peso de 3 ton. por cada neumático y una presión de inflado no menor a 8 Kg/cm² (115 psi) el número de pasadas al igual que en el punto anterior puede llegar a 6. Para verificar la densidad de cada capa se utiliza un densímetro nuclear que cuenta con una fuente de Cs-137 (Rayos Gamma) para tal objetivo y en el caso de medir la humedad una fuente de Am-241; beryllium (neutrones), en la figura 10, se puede observar un densímetro nuclear de la marca Troxler, la densidad y el

contenido de humedad se pueden obtener en un tiempo muy breve (4 min.) comparado con los métodos tradicionales como el volúmetro de membrana y el de la arena.

En la figura 11, se puede apreciar la estructura del pavimento de CCR terminada, así como una junta de construcción.



Fig. 11 Pavimento de CCR terminado

Juntas

La figura 12, muestra el aserrado de juntas transversales a cada 7 m y en las figuras 13 y 14 se puede observar el tratamiento de las juntas con una banda de 10 cm de ancho de productos asfálticos para evitar que la grieta aserrada se refleje en la Carpeta. Finalmente, en la figura 15 se aprecia un tramo de auto-vía puesto en operación.

Fig. 12 Aserrado de juntas transversales



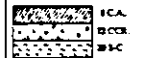

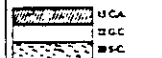
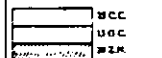
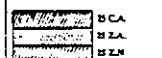
Fig. 13 Tratamiento de juntas



Costos

A continuación se presentan los costos comparativos de algunas secciones de pavimentos para auto-vía empleando diferentes estructuras, ver tabla 2.

Costos comparativos de secciones estructurales de pavimentos

| SECCION TIPICA | COSTO/KM | N |
|---|-----------|-------|
|  B.C.A. B.C.C. B.S.C. | 2,741,200 | 1,000 |
|  B.C.A. B.S.C. | 2,700,000 | 1,000 |
|  U.C.A. B.C.C. B.S.C. | 2,578,400 | 1,000 |
|  B.C.C. U.C.C. B.S.C. | 2,500,000 | 1,000 |
|  B.C.A. B.S.A. B.S.N. | 2,100,000 | 1,100 |

* Para la señalización
 Pavimentación en:
 C.A. Camión de asfalto
 C.B. Camión de concreto
 C.C. Camión de cemento
 C.D. Camión de grava
 C.E. Camión de arena
 C.F. Camión de CCR
 C.G. Camión de material de relleno

Tabla 2.

El costo considera 1 km de pavimento con dos carriles de 3.50 m cada uno, un arcén interior de 1m y otro exterior de 2.50 m. En todos los casos se considera el mismo nivel de tránsito.

Fig. 14 Tratamientos de juntas





Fig. 15 Autovía en operación

CONCLUSIONES

No cabe duda que la construcción de carreteras ha iniciado una nueva etapa en su evolución, gracias al trabajo intenso que han desarrollado varios investi-

gadores internacionales en la tecnología del concreto hidráulico con cemento portland y en especial en la técnica del concreto compactado con rodillos, CCR.

Como se pudo observar, en España, el reforzamiento y la construcción de calles urbanas con CCR son aplicaciones que se realizan de manera rápida y eficaz y con un costo que compete con otras alternativas.

Actualmente, se continúan investigaciones más profundas sobre la aplicación del CCR en carreteras, se habla por ejemplo de colocarlo en dos capas con una energía de precompactación más alta, para lograr una superficie de rodamiento de mayor calidad así como, el tender una carpeta drenante (granulometría discontinua en un rango) de asfaltos modificados con elastómeros de un espesor mínimo de 4 cm, con lo cual se tendrá una superficie antirreflejante con mejores propiedades acústicas y una buena resistencia al patinaje, además de evitar los problemas de acuaplaneo.

El tratamiento que se ha seguido en las juntas transversales para evitar su reflexión en la carpeta, ha sido la inclusión de mallas geosintéticas a lo largo de la junta aserrada.

Por lo anterior, es importante mencionar que en la medida en que se entienda cual es el comportamiento del material podremos aprovechar mejor sus propiedades mecánicas.

Finalmente, se recomienda que antes de iniciar la construcción de un tramo de prueba, se realicen todos los estudios necesarios para desarrollar el proyecto final, ya que sin el apoyo de estos, es difícil que se obtengan resultados satisfactorios.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo que brindó el Ing. Carlos López Agui y el Ing. Carlos Jofré Ibañez del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, IECA, durante la visita técnica de algunos tramos de la Autovía Sevilla-Granada-Baza efectuada del 24 de junio al 8 de julio de 1989. De igual manera, al Ing. Sergi Carrascón y Ortiz de la Delegación del IECA en Cataluña y al Ing. Ricardo López Perona de la Delegación del IECA en Andalucía. Por otra parte, se agradece la colaboración del Ing. Fernando Curro Ortiz Márquez de la Delegación Provincial en Granada de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía así como las facilidades otorgadas por la empresa Constructora Ferroviaria.

Finalmente, se extiende un reconocimiento a la Dirección Técnica del IMCYC y al Ing. Carlos J. Bárcenas Martínez por su apoyo en la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

- (1) Jofré, C., Josa, A., Fernández, R., Kramer, C. Fourth International Conference on Concrete, Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, April 18 al 20 de 1989, U.S.A.
- (2) Alarcón & Harris, Agencia de Información Técnica, Junio de 1989, Paseo de la Habana 14, 28036 Madrid, España.
- (3) Ministerio de Obras Públicas, MOPU, Dirección General de Carreteras, Consejería de Política Territorial, III Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón, 27 al 29 de Octubre de 1987, Madrid, España.
- (4) La Experiencia Española en la Pavimentación con Cemento, Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 8 al 10 de Febrero de 1989, Bogotá, Colombia.
- (5) Figueroa, D. Pavimento de Concreto Compactado con Rodillos (CCR) - Construcción y Tecnología, IMCYC, Vol. 1, No. 3, Octubre de 1988.
- (6) Fly Ash and Row or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, ASTM: C 618-87.



INGENIERIA EN CIMBRAS,
S.A. DE C.V.

Fabricantes exclusivos
de productos

SYMONS 

RENTA Y VENTA

CIMBRA METALICA CON CONTACTO
DE MADERA DE BAJO PESO.
SEPARADORES Y ACCESORIOS PARA
TODO TIPO DE CIMBRA
CIMBRA PARA TUNELES Y PUENTES
COLAPSIBLES Y RETRACTILES.

AV. INSURGENTES CENTRO
No. 114-405 C.P. 06030
México, D.F.
TEL. 535-42-38, 546-56-41.
FAX 592-26-83 • 592-83-25



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

TIERRA ARMADA

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

COMPONENTES DE LA TIERRA ARMADA

- ESCAMAS DE CONCRETO
- ARMADURA METALICA , BANDA DE ACERO GALVANIZADO
- RELLENO FRICCIONANTE

Fig. 2a - Profile of a metal element.

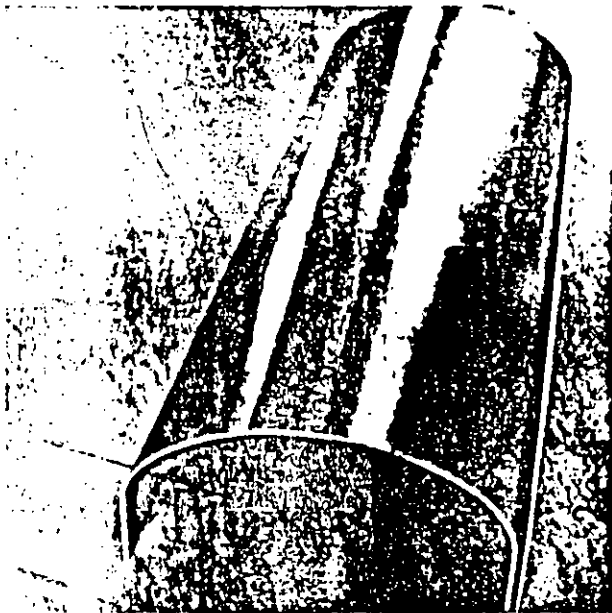
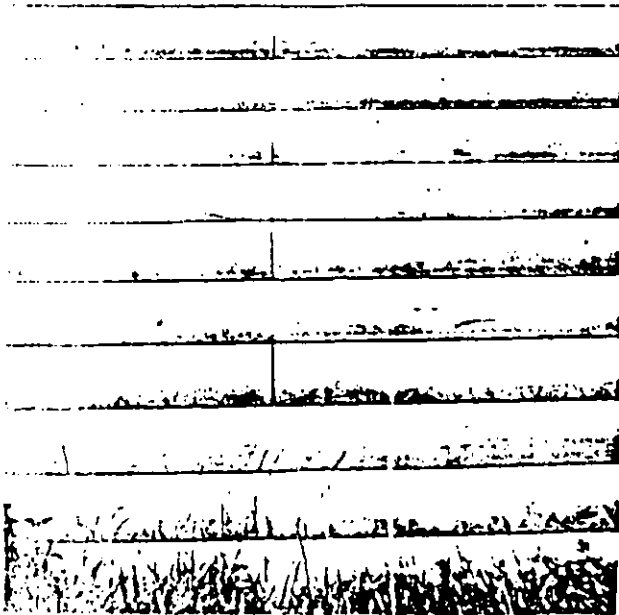


Fig. 2b - Skin consisting of metal elements (lining).



vertical dowels set into the panels

Fig. 3a :
Profile
of a concrete panel.

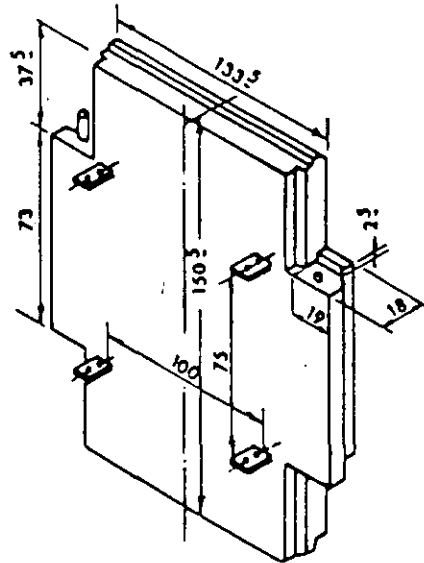
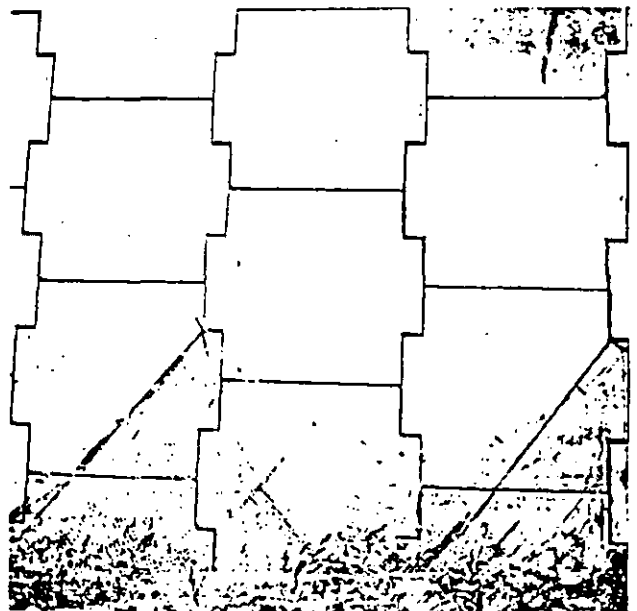


Fig. 3b :
Skin consisting
of concrete panels (lining).



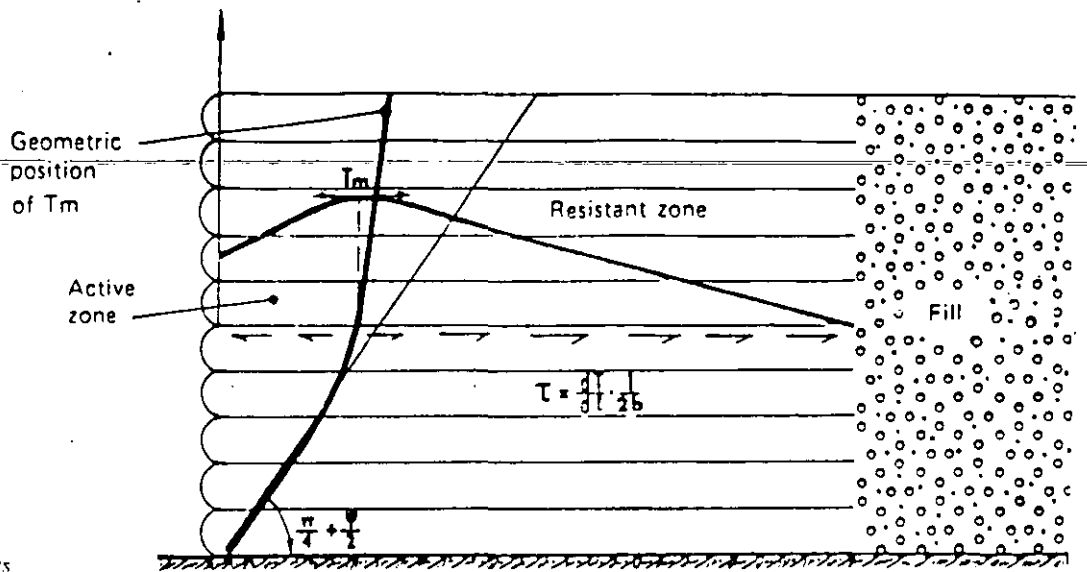
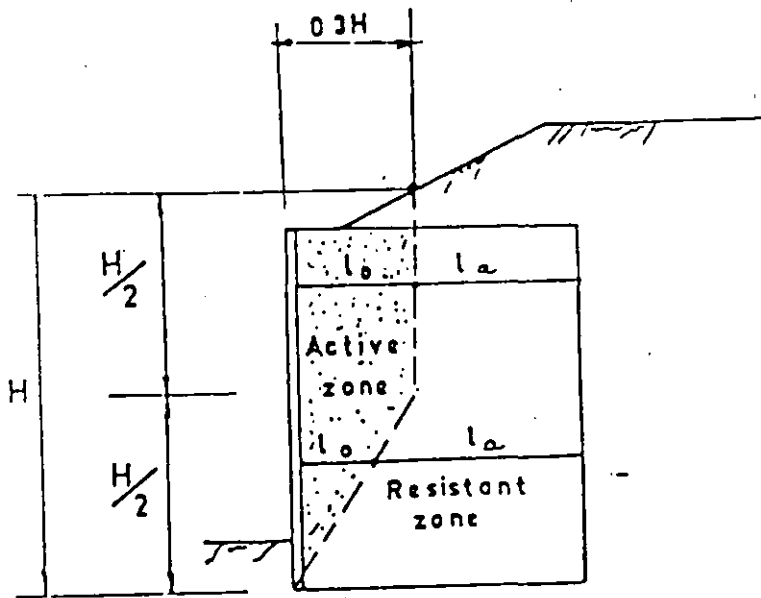
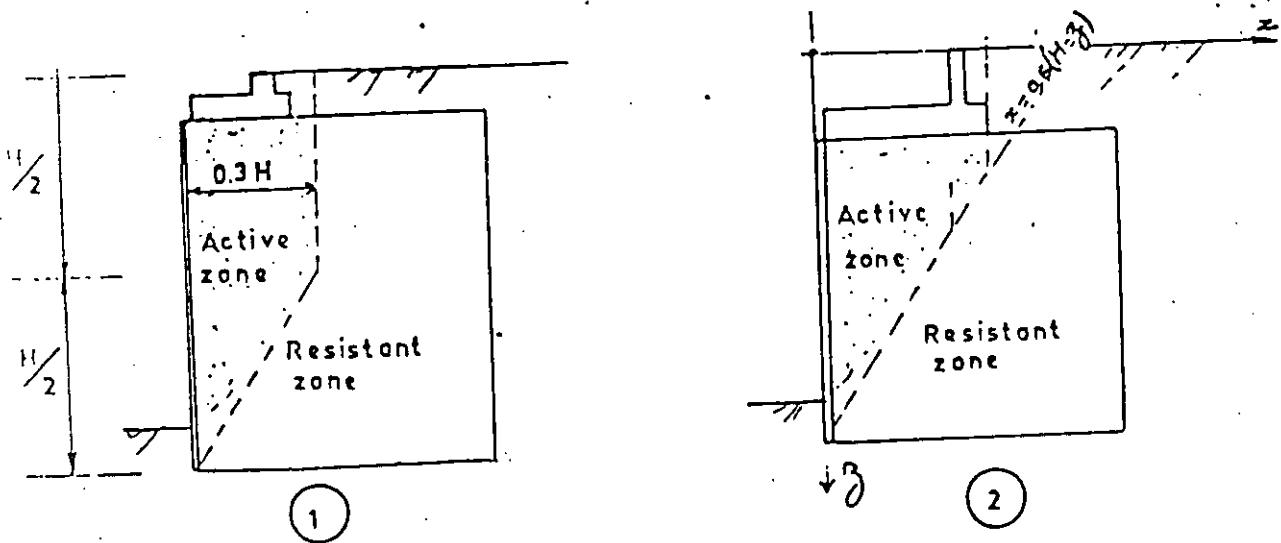


Fig. 1 :
Distribution
of tractions
along the reinforcements

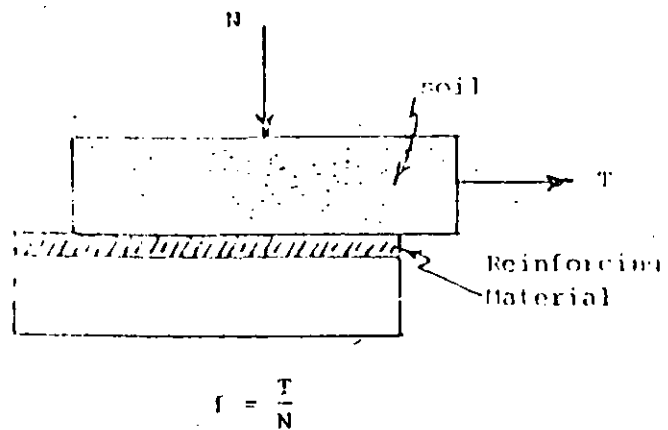


a) Walls

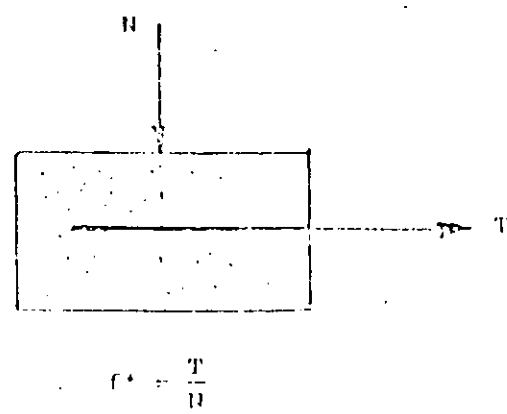


b) Abutments

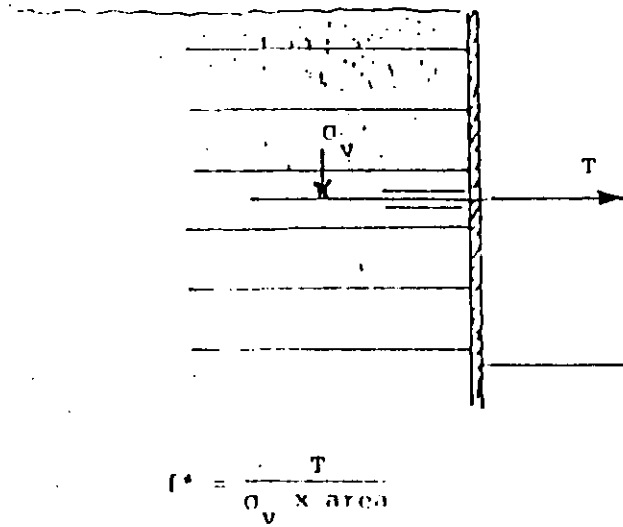
Fig. 16 : Schema of the locus of maximum traction forces.



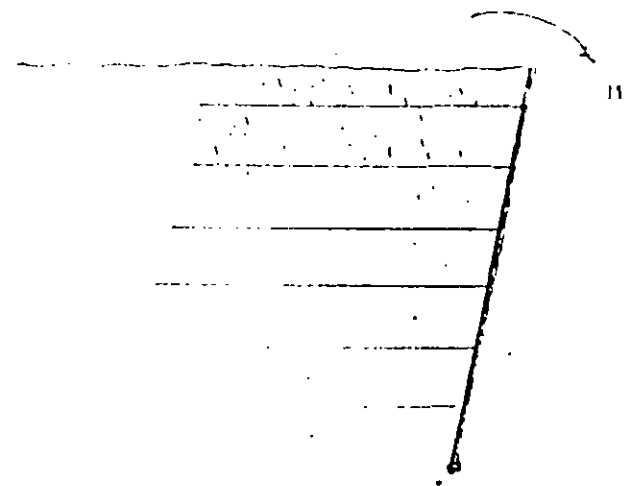
DIRECT SHEAR TEST



PULL OUT TEST IN SHEAR BOX



PULL OUT TEST ON WALL



PULL OUT TEST BY ROTATION

FIG. 4 TYPES OF TEST FOR MEASUREMENT OF SOIL-REINFORCEMENT FRICTION.

Fig. 16 : Arrangement of clamps.

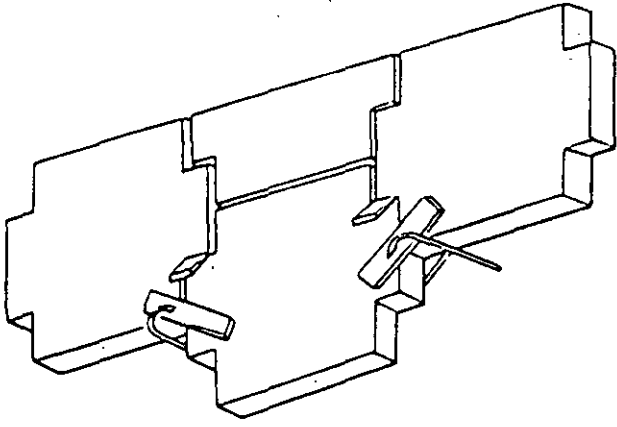


Fig. 14 : Diagram of a metal lining element and photo showing how the metal lining is assembled.



Fig. 15 : Arrangement of temporary shoring.

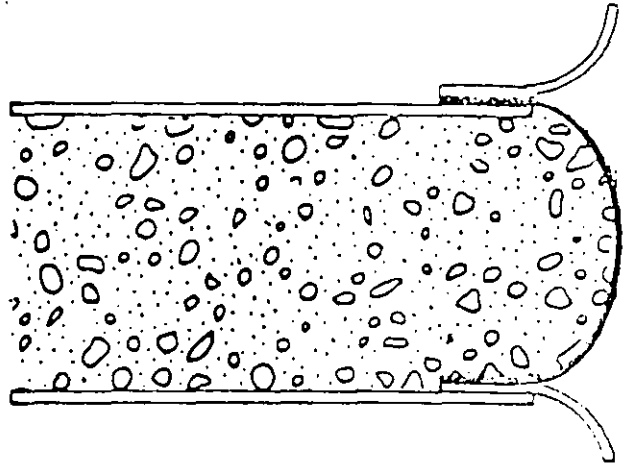
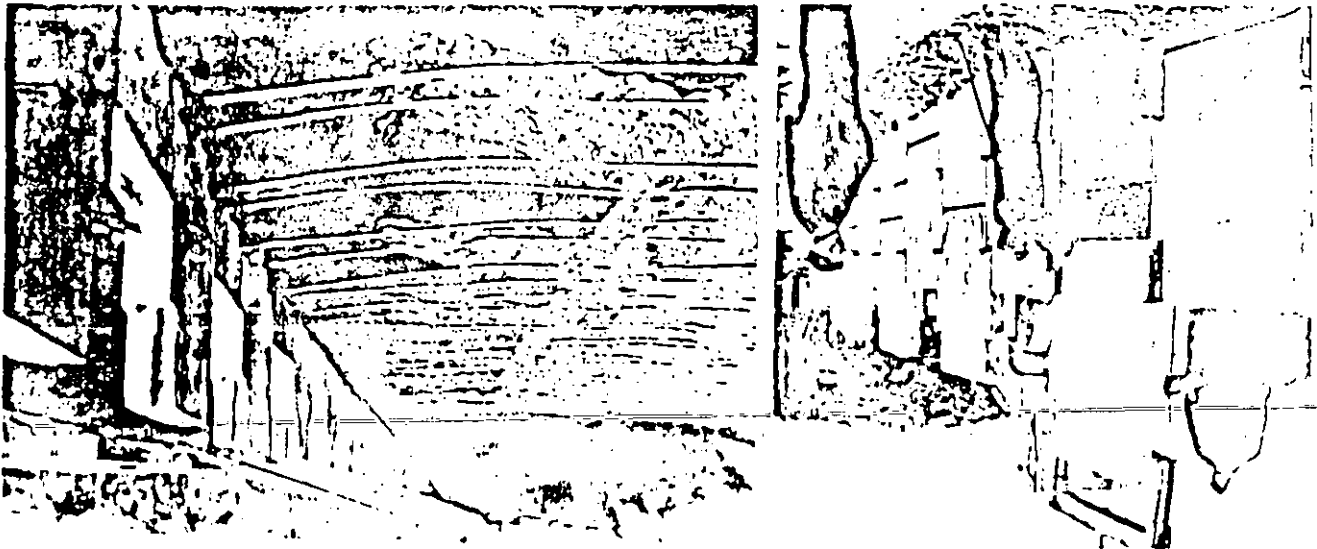
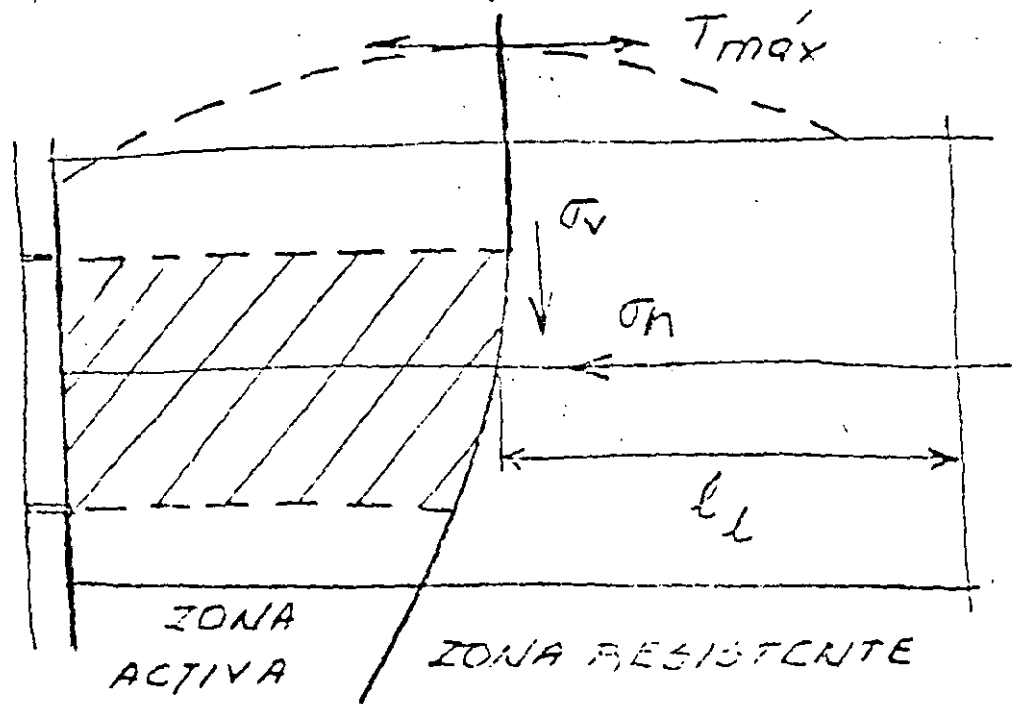


Fig. 13 : Construction of a wall using concrete panels.



ESCAMA



$$T_{m\acute{a}x} = \sigma_h \cdot A \quad ; \quad \sigma_h = K \sigma_v$$

CONDICIÓN:

$$\frac{2b \cdot f^* \cdot l_L \cdot \sigma_v}{\sigma_h \cdot A \div N} \geq 1.5$$

b = ANCHO TIRA METALICA.

f^* = FRICCIÓN REAL ENTRE SUELO Y REFUERZO

l_L = LONGITUD REFUERZO (ZONA RESISTENTE)

N = NUMERO DE TIRAS DE REFUERZO
POR CADA ESCAMA.

A = AREA DE LA ESCAMA.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO

FRICCION

| | |
|--|------|
| ● CONTENIDO DE FINOS, MAXIMO | 15 % |
| ● ANGULO DE FRICCION, EN CORTE DIRECTO, ESPECIMEN SATURADO, MINIMO | 20° |
| CON LA HUMEDAD OPTIMA PROCTOR, MINIMO | 30° |

CORROSION

| | | |
|--|------|---------|
| ● RESISTIVIDAD ELECTRICA EN ESTADO SECO, MINIMO | 1000 | OHM-CM |
| EN ESTADO SATURADO, MINIMO | 3000 | OHM-CM |
| ● POTENCIAL HIDROGENO, pH | 5-10 | |
| ● CONTENIDO DE SALES, EN ESTADO SECO, CLORUROS, MAX. | 200 | mg / kg |
| SULFATOS, MAX. | 1000 | mg / kg |
| EN ESTADO SATURADO | | |
| CLORUROS, MAX. | 100 | mg / kg |
| SULFATOS, MAX. | 500 | mg / kg |



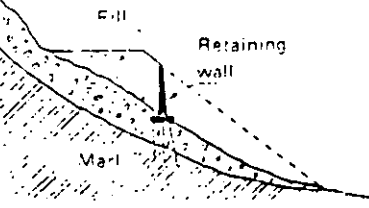
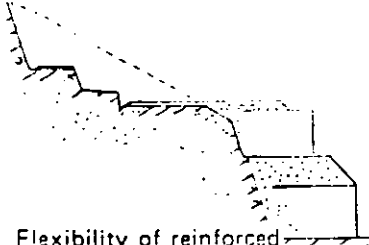

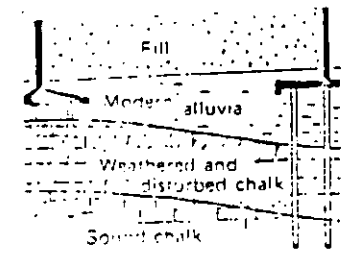
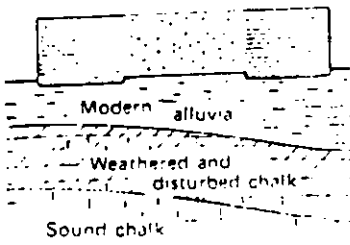

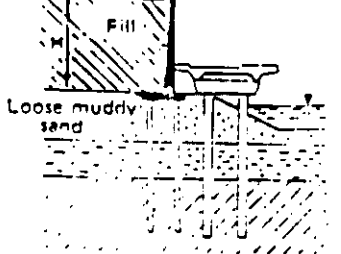
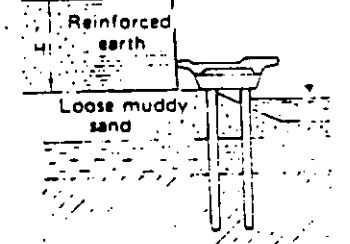
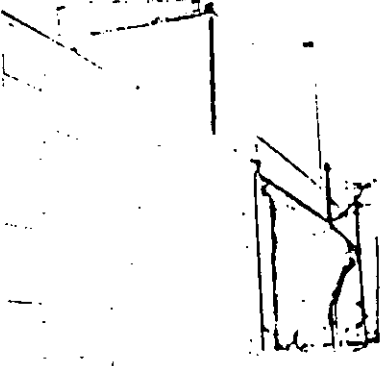
Reinforcing strips connect to
existing panels using nut, bolt and
washer

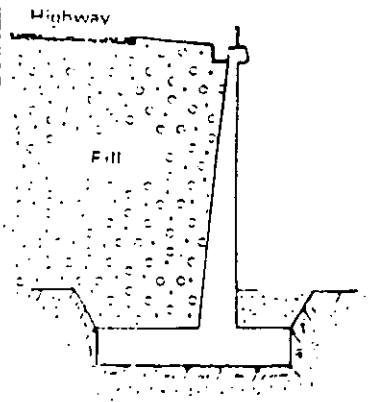
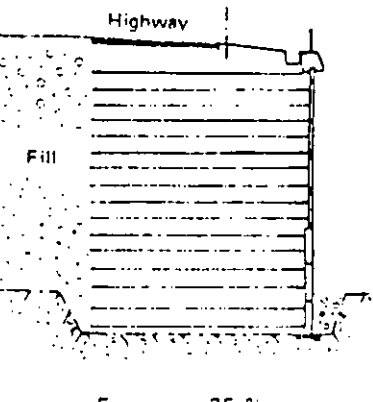

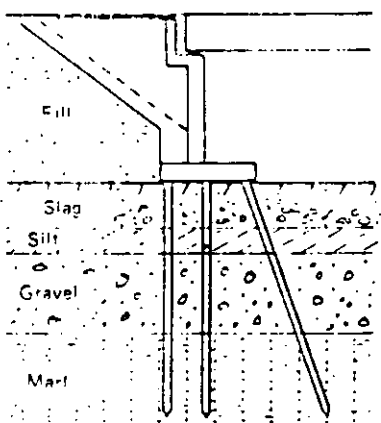
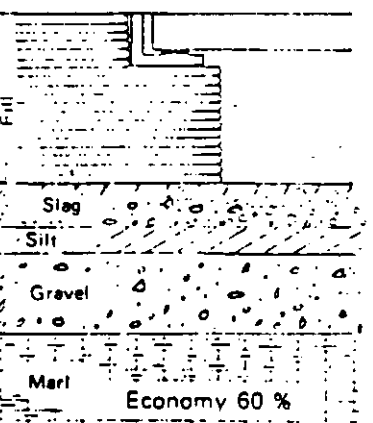
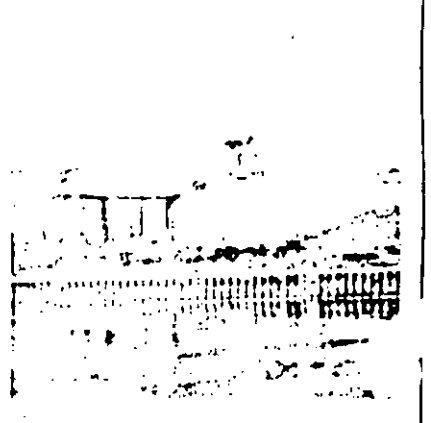
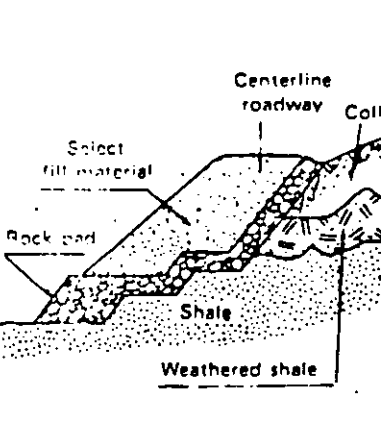
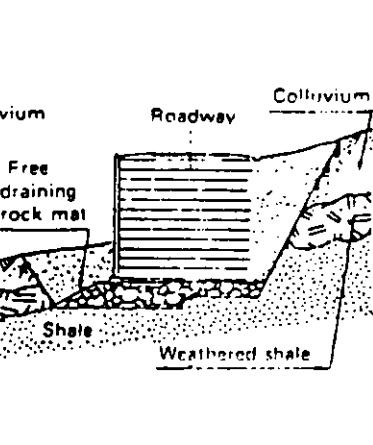
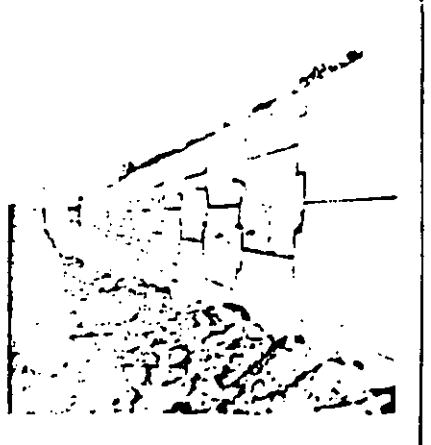
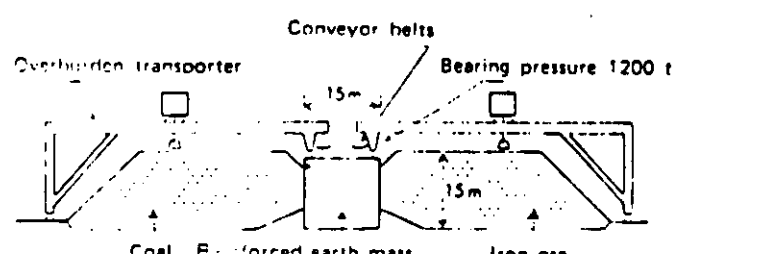
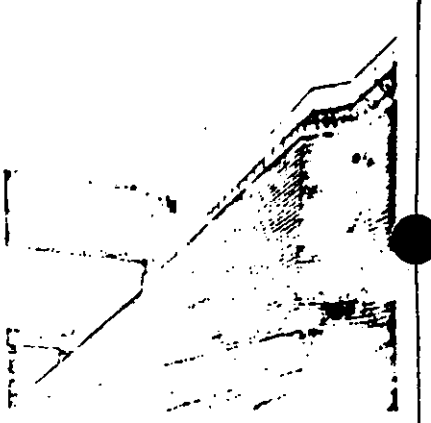


Backfill is spread and com-
pacted by equipment working
directly on structure

EXAMPLES OF TYPICAL REINFORCED EARTH RETAINING STRUCTURES

All these structures were built between 1968 and 1972

| TYPE | Situation or structure | Conventional solution | Reinforced earth solution | Photograph of structure |
|---------------------------|--|---|--|---|
| URBAN REINFORCED WALLS IN | Highway A 3 (Blaqueyroue - Vignas H - 1968 - Menton) |  <ul style="list-style-type: none"> - Unstable scree - Deep foundations necessary - but risk of shearing of piles |  <ul style="list-style-type: none"> - Flexibility of reinforced earth in relation to movement of scree - No deep foundations - Economy about 30 % |  |
| | RN 137 - F 13 Connection with Pont de Sèvres (1971) |  <ul style="list-style-type: none"> - Subgrade of weak bearing capacity - Deep foundations necessary |  <ul style="list-style-type: none"> - No deep foundations - Economy 45 % |  |
| URBAN REINFORCED WALLS IN | Site interchange (CO 2) 1971 |  <ul style="list-style-type: none"> - Subgrade of weak bearing capacity - Deep foundations necessary |  <ul style="list-style-type: none"> - No deep foundations - Economy about 50 % |  |

| Location of structure | Conventional solution | Reinforced earth solution | Photograph of structure |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Palmasar (1971) |  |  <p data-bbox="844 609 1023 640">Economy 25 %</p> |  |
| Thionville abutment (1972) |  |  <p data-bbox="876 1081 1047 1113">Economy 60 %</p> |  |
| Interstate route 40 Tennessee USA |  |  |  |
| Port of Dunkirk (1970) |  <p data-bbox="487 1837 933 1869">Coal Reinforced earth mass Iron ore</p> <p data-bbox="487 1869 941 2005">Without the use of reinforced earth, no solution of this type for the storage yard was possible. This original solution means an appreciable economy in overall installation costs</p> | |  |

DESVENTAJAS DE LA TIERRA ARMADA

- DISEÑO BASADO EN METODOS SEMIEMPIRICOS
- DURABILIDAD LIMITADA POR CORROSION
- COSTO --
- RELLENO DE MATERIAL SELECCIONADO

VENTAJAS EN LA APLICACION DE LA TIERRA ARMADA

- ESTRUCTURA FLEXIBLE, SUSTITUTO DE MUROS DE CONTENCION, ESTRIBOS, MUELLES, REVESTIMIENTO, ET
- MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
- MEJORAMIENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES
- AHORRO EN EL VOLUMEN DE TERRACERIAS
- AHORRO DE ESPACIO
- MENOR TIEMPO DE CONSTRUCCION
- FACIL CONTROL DE CALIDAD
- CIMENTACION SENCILLA
- SOLUCION ARQUITECTONICA

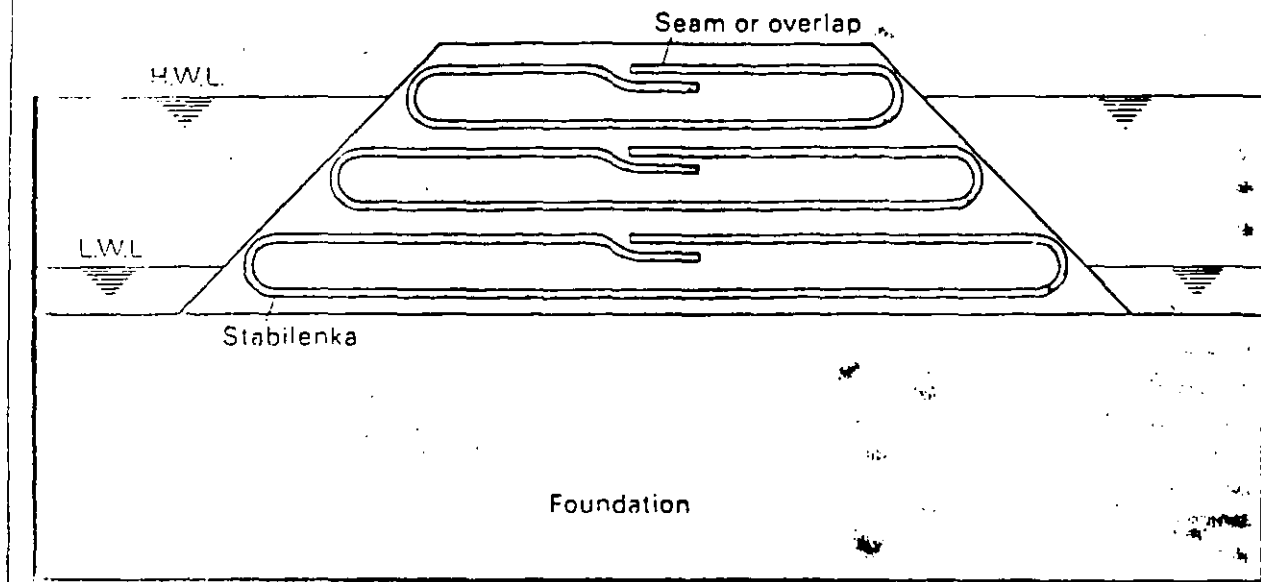
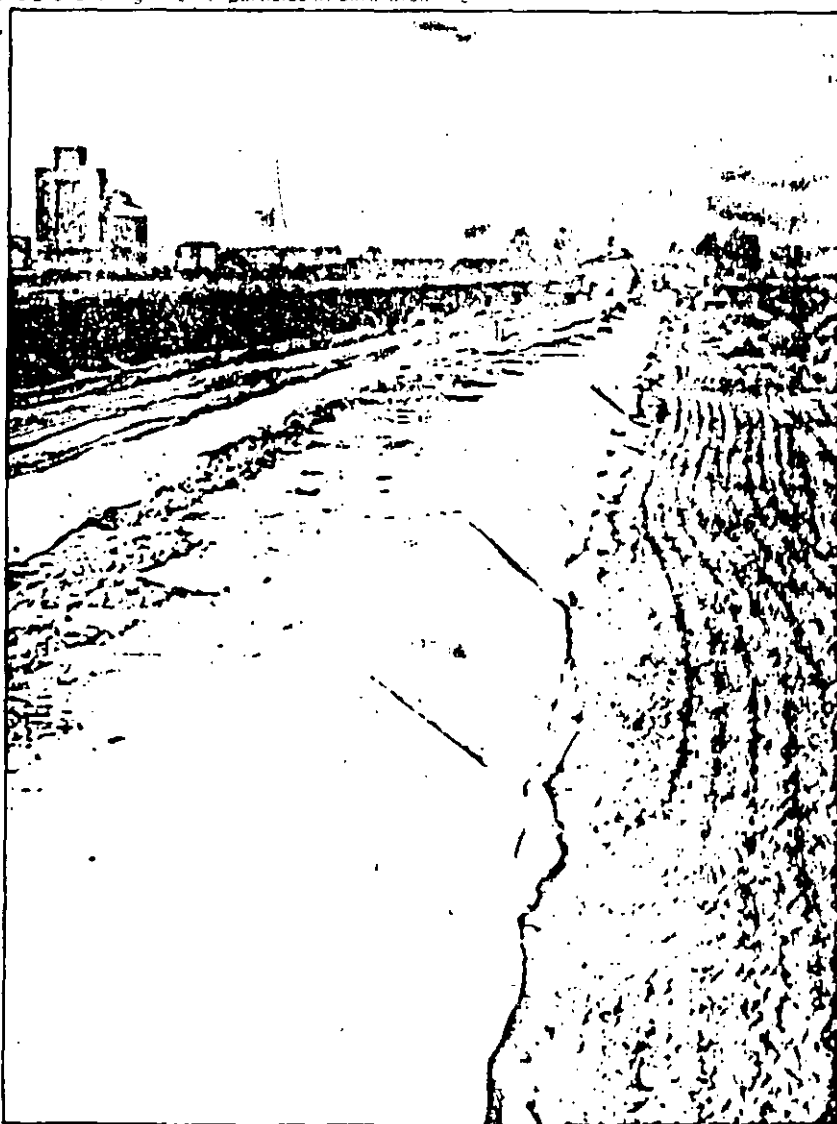


Fig. 2. Packed sand in envelopes of Stablenka to prevent migration of particles in saturated fills

Tried and tested

In this and all other applications mentioned in this chapter, Stablenka has proven its value in time and costs.

Careful investigation of the subsoil and other factors, including temporary stresses by heavy equipment, must be taken into account - the type of Stablenka chosen accordingly. Erka Industrial Systems offer you the assistance of special computer programmes for quickly finding the optimum design with regard to safety factors, cost and performance.



Construction of sand filled dam, Holland

INVESTIGACION

- ① METODO RACIONAL DE DISEÑO
- RESISTENCIA A LA CORROSION
- ② RELLENOS DE MATERIALES COHESIVOS
- ③ MAYOR RESISTENCIA Y DURACION
- ④ EMPLEO DE MATERIALES PLASTICOS COMO ARMADO

Stabilenka in earth retaining structures

There is a growing tendency to build steeper slopes. Because of lower costs and mostly the limited availability of building space.

Even on soil of high bearing capacity there is a limit to the gradient of a slope. If too steep, the shear resistance of the fill may prove to be too low, or external disturbances such as seismic or traffic vibrations may trigger a slide along any plane within the fill (see fig. 10). The entire face of the slope may even be tilted.

Stabilizing steep slopes is the second major field of application for Stabilenka reinforcing mats.

Traditional methods

Conventional retaining walls (dikes, cuttings, sound absorbing embankments and other steep slopes), consist of concrete structures, anchored bulkheads, sheet piling or face panels. Sometimes replacing the original soil by a fill of higher grade is another possibility.

All traditional methods however, are relatively expensive and time consuming. In many areas the unattractive appearance of bare concrete walls or face panels is an added drawback.

A better method: **Stabilenka** By inserting horizontal layers of Stabilenka reinforcing fabric, the shear resistance of the fill can be raised to counterbalance the sliding forces. In order to retain the earth at the face of the slope, the fabric is folded back and secured by the next layer of fill (see fig. 11). Another possibility to support the soil at the exposed face is to form a wall of earth-filled

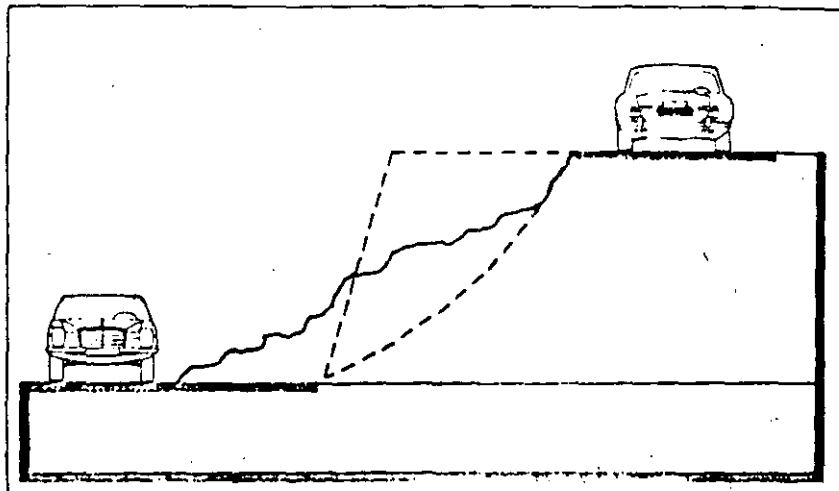


fig. 10 Failure mechanism of earth retaining structure, acc. Rankine

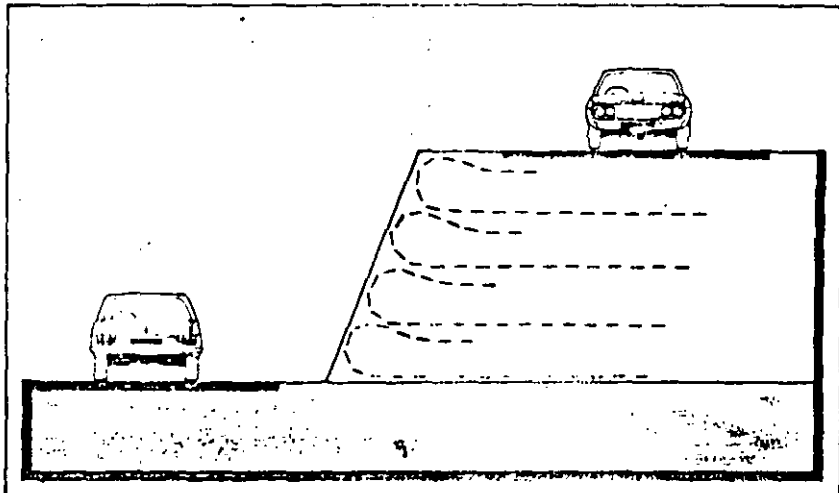


fig. 11 - Stable steep slope by using envelopes of Stabilenka

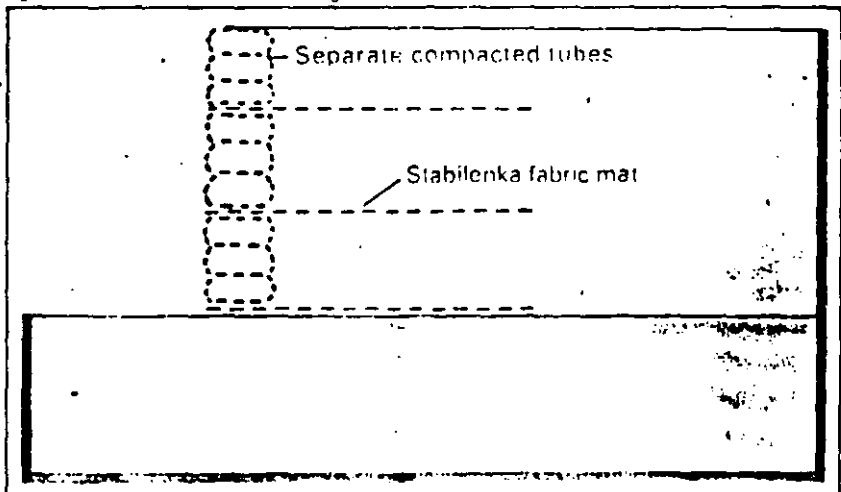
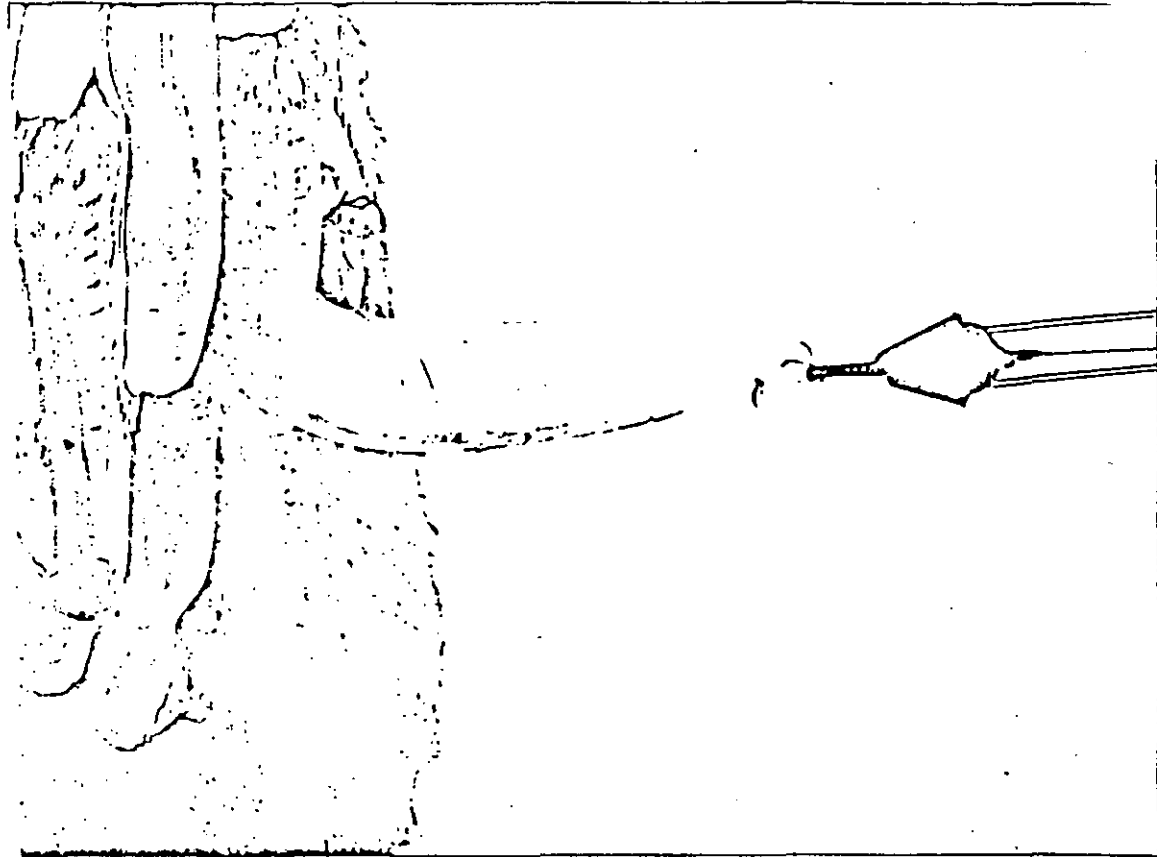
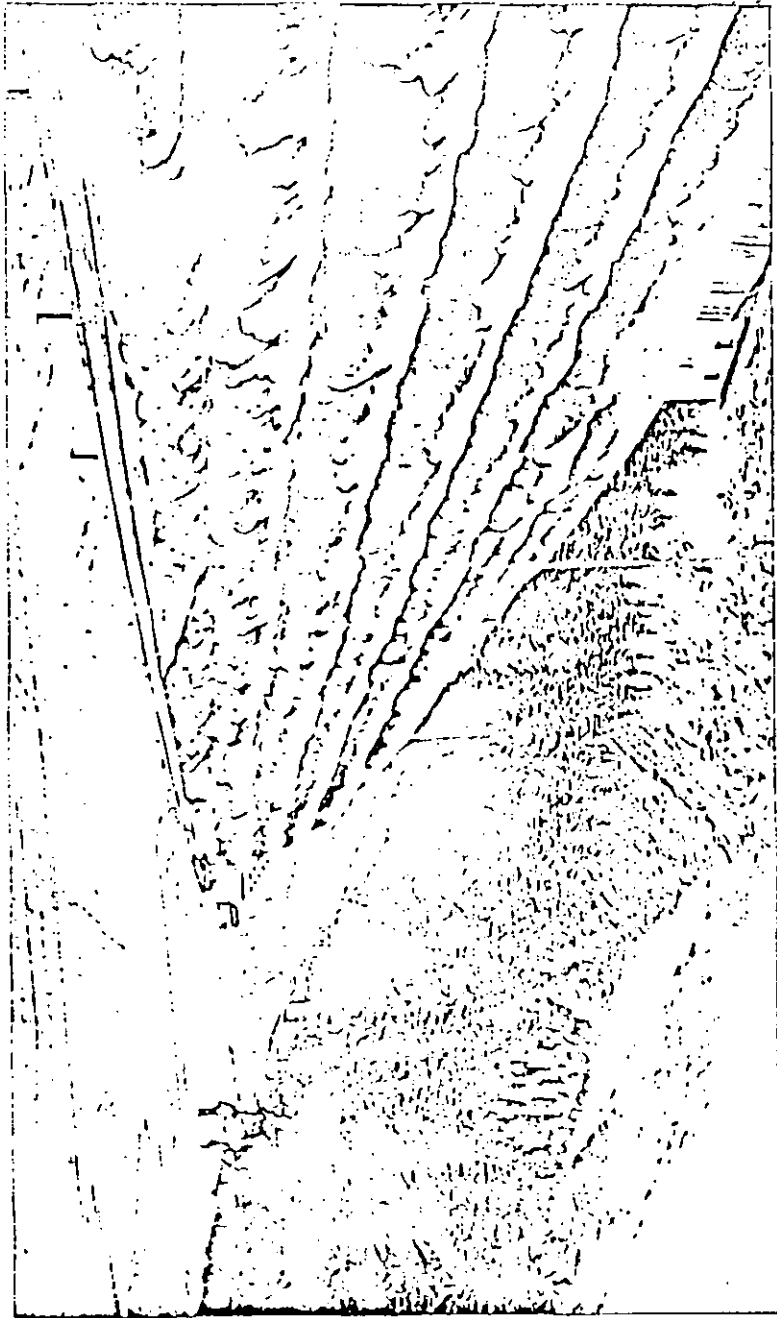


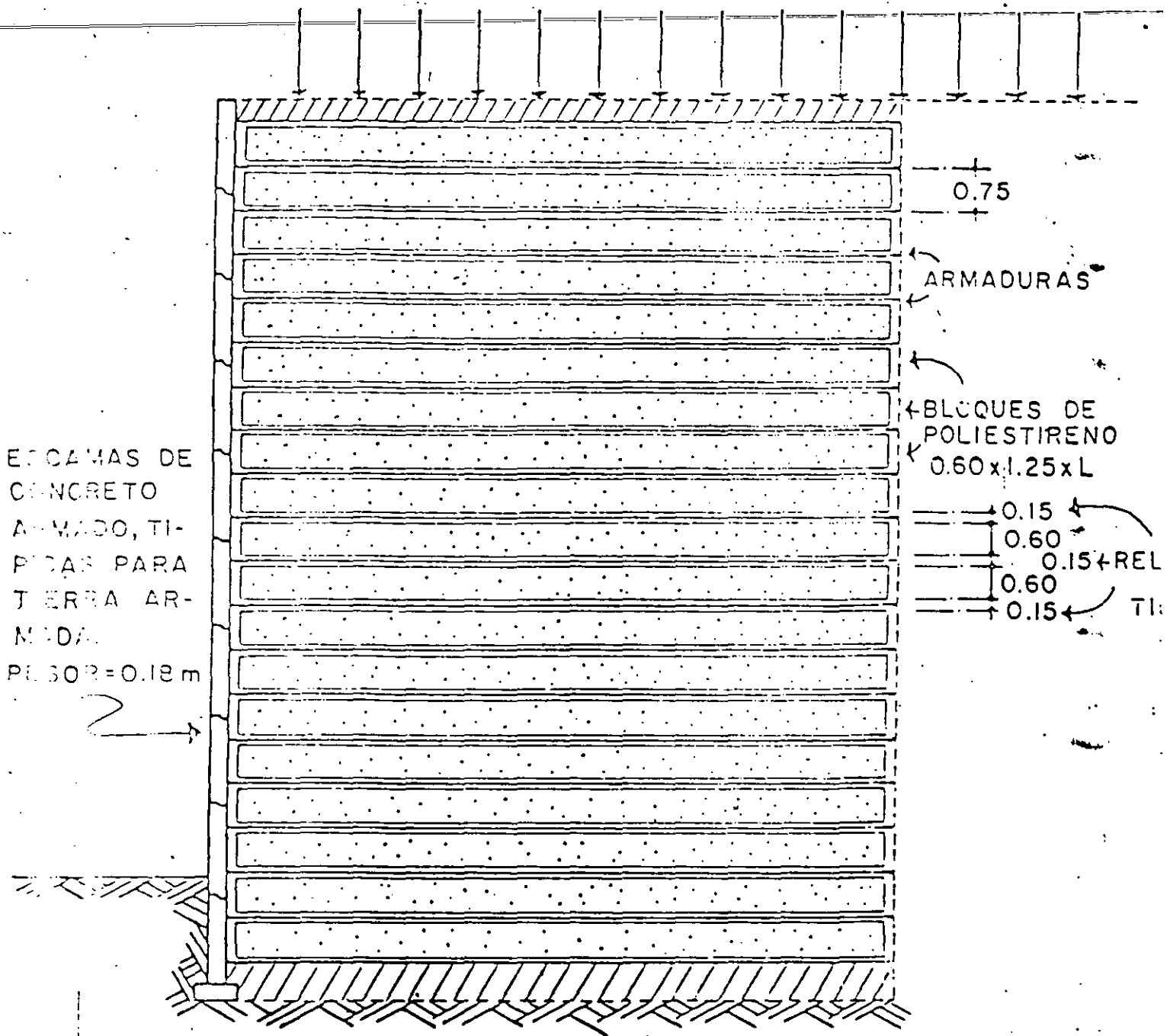
fig. 12 - Compacted earth-filled tubes of Stabilenka at the outside of a vertical wall

Stabilenka bags on each layer (see fig. 12). Either way sliding will be pre-

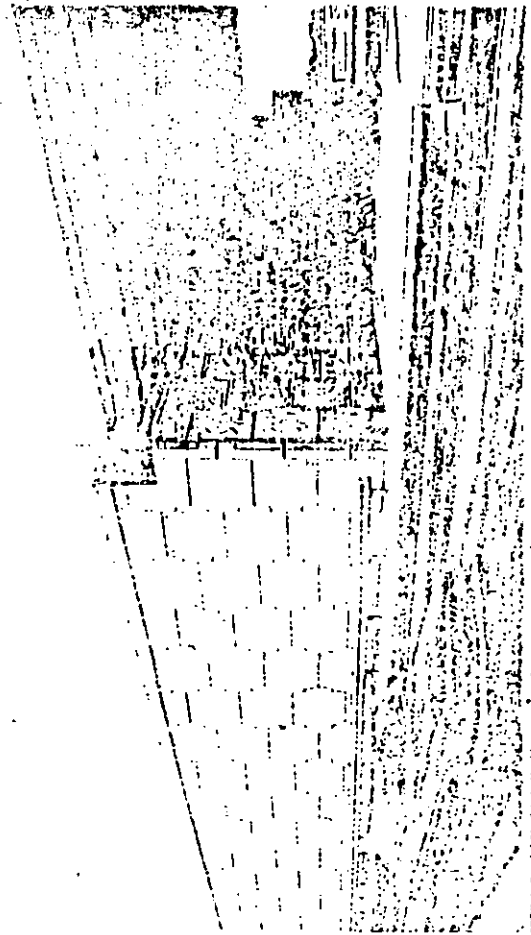
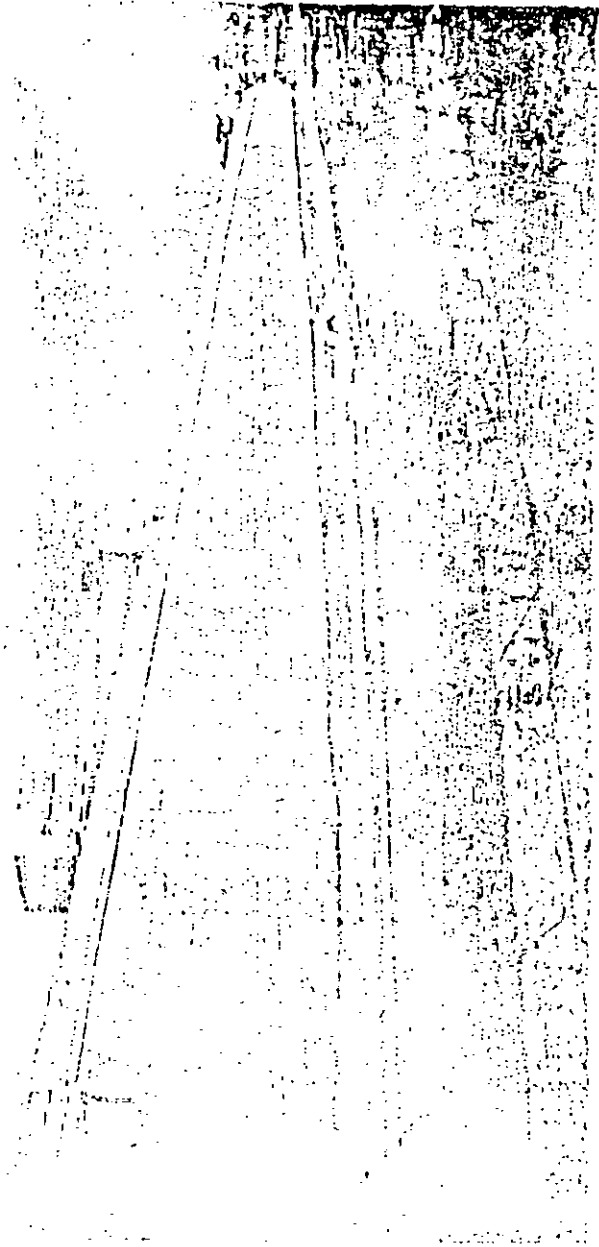
vented, due to the characteristic high strength, low strain properties of the fabric.



SOBRECARGA MAXIMA 10 TON/M²



CORTE TIPICO DE UN MACIZO
DE TIERRA ARMADA ALIGERADA
CON POLIESTIRENO
PESO VOLUMETRICO PROMEDIO 440 KG.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

**EMULSIONES ASFALTICAS Y SUS
APLICACIONES
ANEXO**

ING. GUILLERMO DOMINGUEZ DURAN

INNOVACIONES EN EMULSIONES ASFALTICAS

J. Sanz Liébana
Ingeniero Jefe de Superintendentes, PROBICA

RESUMEN La tecnología en frío de pavimentos flexibles basada en el empleo de las emulsiones, ha tenido una evolución creciente. El perfeccionamiento de emulsificantes y aditivos, así como el desarrollo de las técnicas de modificación de asfaltos, ha permitido disponer de una gran variedad de tipos de emulsiones asfálticas adecuadas para cada uso y con mejores características.

En el presente trabajo se revisan los principales avances existentes en este sentido, y su aplicación a las diferentes unidades de obra de pavimentos flexibles.

1. INTRODUCCION

La emulsión asfáltica es un material relativamente sofisticado. Constituida básicamente por un ligante hidrocarbonado, éste se ve sometido durante el proceso de fabricación a diferentes esfuerzos de laminación y cizalla hasta conseguir que se establezca una dispersión del ligante en el medio acuoso.

En la práctica, en la totalidad de las emulsiones asfálticas empleadas en carreteras el medio acuoso constituye la fase continua, quedando bajo la forma de glóbulos el ligante hidrocarbonado. El tamaño de los glóbulos depende básicamente de la cantidad y eficacia de la energía mecánica aplicada durante el proceso de fabricación, de la naturaleza del ligante y de la formulación empleada.

Derivado de su naturaleza intrínseca y de los diferentes productos añadidos durante su fabricación, la emulsión, desde su concepción se constituye como un ligante asfáltico de enorme versatilidad adecuado para ser empleado en técnicas muy variadas. A modo de ejemplo, actuando sobre condiciones mecánicas de fabricación y manteniendo la naturaleza del ligante y la formulación empleada constantes, se puede obtener emulsiones de propiedades diferentes en cuanto a su viscosidad, estabilidad al almacenamiento, reactividad, etc. O dicho de otro modo con los mismos ingredientes se pueden realizar productos distintos.

Evidentemente las características del asfalto de base, así como la naturaleza y formulación empleada para la fabricación de la emulsión permiten adecuar, y es el camino más comúnmente empleado, el producto final, la emulsión asfáltica, a la aplicación específica que se requiera.

Esta versatilidad ha traído como consecuencia un crecimiento progresivo desde sus comienzos, allá por los años veinte, del consumo total de emulsiones asfálticas, estimándose en la actualidad, en una cifra próxima a los dieciséis millones de toneladas, la producción mundial.

Los países con una mayor producción de emulsiones asfálticas son por este orden: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre esos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial:

La emulsión asfáltica habitualmente empleada en carreteras puede ser de dos tipos: aniónica o catiónica según el signo de la carga de las partículas de asfalto. El signo de la carga viene condicionado fundamentalmente por el emulsionante empleado.

Las emulsiones aniónicas son las más antiguas. En principio presentan una buena adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los agregados calizos y una escasa adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los agregados silíceos. Debido a esta limitación por un lado y por otro lado al sistema de rotura que se produce fundamentalmente por evaporación, la aplicación de las emulsiones aniónicas está fuertemente condicionada por la naturaleza del agregado y las condiciones climatológicas fundamentalmente de humedad y temperatura.

Las emulsiones catiónicas desarrolladas inicialmente en Francia a finales de los años cincuenta presentan como característica fundamental que la rotura es mucho más rápida ya que la misma está condicionada por los fenómenos de atracción iónica entre la carga de las partículas de asfalto y la superficie del agregado ionizada.

Las emulsiones catiónicas presentan además una buena adhesividad con los agregados silíceos y con una buena parte de los agregados calizos.

En la actualidad más de un 85% de la producción total de emulsiones es del tipo catiónico, lo que denota la mayor versatilidad y eficiencia de éstas frente a las emulsiones aniónicas.

A partir de estos conceptos y como respuesta a los diferentes problemas técnicos planteados en la construcción y mantenimiento de carreteras, se han ido desarrollando, ajustando y optimizando diferentes tipos de emulsiones asfálticas que producen soluciones mucho más específicas a dichos problemas.

Repasando las normativas establecidas en los tres países con mayor producción en el mundo, Estados Unidos, Francia y España, cabe destacar la diversidad existente. Las especificaciones españolas establecen ocho tipos de emulsiones catiónicas y siete de aniónicas. La normativa francesa recoge once tipos de emulsiones catiónicas y nueve de aniónicas. En los Estados Unidos la situación presenta mayor complejidad, cada estado establece los tipos de emulsión a emplear teniendo como referencia las especificaciones A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway & Transportation Officials). En estas especificaciones se establecen once tipos de emulsiones aniónicas y seis de catiónicas.

Esta amplia gama de posibilidades en los tipos de emulsiones de las normativas de estos tres países contrasta con las existentes en países que han tenido un menor desarrollo tecnológico en este campo.

En general, el primer criterio de clasificación de todas las normativas es el debido a la reactividad de la emulsión, refiriéndose a tres tipos: rápida, media y lenta, tanto para aniónicas como para catiónicas, en función de un índice de ruptura. Posteriores subclasificaciones son debidas al contenido de asfalto, aplicaciones especiales, etc.

El planteamiento de nuevas necesidades, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación e puesta en obra y en definitiva la mejora y optimización técnicas de las emulsiones asfálticas, ha permitido la aparición de nuevos tipos de emulsiones, entre las que podemos enumerar: emulsiones muy viscosas, de alta flotación, de rompimiento controlado por aditivos, emulsiones modificadas y emulsiones de asfaltos modificados.

En la exposición se hará una descripción de las innovaciones en materiales (asfaltos, emulsionantes, aditivos y modificadores), equipos de fabricación y puesta en obra, terminando con la relación entre estas nuevas emulsiones y su aplicación a las distintas unidades de obra.

2. INNOVACIONES EN LOS LIGANTES ASFALTICOS

Las mayores exigencias y prestaciones que día a día se requieren de los pavimentos asfálticos han encaminado los esfuerzos de la tecnología en dos sentidos:

- a) Diversidad en la fabricación de asfaltos: A nivel mundial se dispone de varios tipos de asfaltos más duros, de menor penetración, para conseguir mezclas de mayor resistencia y menos susceptibles en climas cálidos ó fríos.
- b) Modificación de las propiedades reológicas de los asfaltos.

A continuación daremos un repaso a los principales procedimientos de modificación.

2.1 Generalidades

Los asfaltos son materiales termoplásticos que presentan un comportamiento reológico muy complejo, que depende de la temperatura, del tipo de carga, y del tiempo de aplicación de la misma. A bajas temperaturas y durante tiempos pequeños de carga, el asfalto tiene un carácter elástico, mientras que a temperaturas moderadamente elevadas o tiempos de aplicación muy largos, la elasticidad prácticamente desaparece, y el asfalto se deforma permanentemente y fluye. El mayor o menor grado de elasticidad depende de su composición química y de su estructura coloidal, siendo los asfaltos tipo gel los que presentan mayor grado de elasticidad.

En general, los asfaltos utilizados en carreteras, a bajas temperaturas (inferiores a 0 °C) se comportan como materiales elastofrágiles; por encima de esta temperatura y hasta unos 50-60 °C el comportamiento es viscoelástico y finalmente a mayor temperatura su comportamiento es puramente viscoso.

Su utilización en firmes para carreteras se debe fundamentalmente a sus buenas propiedades adhesivas y mecánicas, a su elevada inercia química y a su impermeabilidad al agua. Por otro lado, al ser materiales termoplásticos, por la acción del calor se reblandecen y se hacen suficientemente fluidos para mojar y envolver los agregados, y permitir la posterior compactación de la mezcla. Una vez frío el asfalto, aumenta considerablemente su viscosidad y proporciona a las mezclas asfálticas la cohesión y resistencia necesarias para resistir la acción del tráfico y de los agentes atmosféricos.

Generalmente, las características de los agregados asfálticos son suficientes para fabricar mezclas capaces de resistir la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales, pero en algunos casos en que las mezclas asfálticas están sometidas a fuertes solicitaciones debidas al tráfico, orografía del tramo, condiciones climáticas,

etc., se deterioran rápidamente y aparecen roderas, disgregaciones, fisuras por fatiga, etc., por lo que hay que recurrir al empleo de mezclas asfálticas especiales con mejores características. En algunos casos, como por ejemplo en las deformaciones plásticas, se pueden resolver los problemas utilizando agregados con mejor forma, con granulometrías con mayor rozamiento interno, empleando asfaltos más duros, reduciendo el contenido de asfalto, etc., pero hay que tener en cuenta que generalmente ello va en detrimento de otras propiedades, como pueden ser la flexibilidad y la resistencia a la fatiga. En aquellos casos en que no sea posible corregir el problema cambiando los parámetros de formulación, hay que recurrir al empleo de ligantes modificados con mayor comportamiento en todo el intervalo de temperaturas de servicio y con una menor susceptibilidad a la temperatura.

En la actualidad existen numerosos aditivos o agentes modificadores que se incorporan a los asfaltos para modificar algunas de sus propiedades, como los activantes que se emplean para mejorar la adhesividad del ligante frente a los agregados, los asfaltos naturales que disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan la cohesión del ligante, las fibras naturales o sintéticas que interaccionan físicamente con el asfalto aumentando fundamentalmente la resistencia a la tracción y flexión, los materiales poliméricos que mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, etc.

Las posibilidades de modificación de los asfaltos son muy amplias y la elección de un tipo de aditivo dependerá de la propiedad o propiedades que se consideren más necesarias en función del tipo de mezcla asfáltica y de la aplicación concreta a que se destine. En esta comunicación se revisarán los más conocidos, haciendo especial énfasis en los más empleados en la técnica de las emulsiones.

2.2 Activantes

Su función es mejorar la adhesividad entre el ligante asfáltico y los agregados. Para conseguir éste fin se emplean aquellos productos que tanto añadidos al asfalto como a los agregados transforman las superficies hidrofílicas en hidrofóbicas.

En el caso de activantes para agregados silíceos o ácidos, en general, se utilizan bases orgánicas o nitrogenadas; si los agregados son de tipo calcáreo y el asfalto tiene un valor ácido bajo, se recurre a los ácidos grasos.

2.3 Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración de petróleos naturales hacia la superficie terrestre a través de fisuras y rocas porosas, combinado con la volatilización de sus componentes más ligeros y la concentración

de los componentes asfálticos mezclados en mayor o menor proporción con material mineral.

Los principales asfaltos naturales de interés en la técnica de modificación de asfaltos son el asfalto de Trinidad y la Gilsonita. Dichos asfaltos, debido a su gran dureza y menor susceptibilidad térmica, mezclados con un ligante asfáltico permiten que las mezclas asfálticas con ellos fabricadas tengan un mejor comportamiento a las deformaciones plásticas y a la fatiga.

Como ejemplo de este tipo de asfaltos naturales presentamos algunas de las propiedades del asfalto de Trinidad:

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Asfalto soluble: | 53-55% |
| Contenido en asfaltenos: | 30% |
| Densidad: | 1.40 gr/cm ³ |
| Penetración a 25°C: | 2-4 |
| Punto reblandecimiento: | 90-98°C |
| (Anillo y Bola) | |

La incorporación del asfalto de Trinidad, al asfalto base puede hacerse dos formas:

- Incorporación directa mediante mezcla do, al asfalto base.
- En mezclas asfálticas puede añadirse como polvo haciendo las veces de filler de aportación.

La variación de las características del asfalto, con la incorporación del asfalto de trinidad, se refleja en la Tabla I, -partiendo de un asfalto tipo de penetración 60/80.

Tabla I. Variación del asfalto

| Asfalto Trinidad (%) | 0 | 25 | 33 | 50 | 100 |
|-----------------------------------|-----|----|----|----|-----|
| Penetración a 25°C | 63 | 33 | 24 | 20 | 3 |
| Punto de reblandecimiento (A y B) | 54 | 59 | 60 | 61 | 96 |
| Ductilidad a 25°C | 100 | 55 | 30 | 20 | 1 |

Como se puede apreciar, la disminución de la penetración es considerable con la adición del asfalto natural, a la vez que aumenta el punto de reblandecimiento (Fig. 1 y 2).

Partiendo de un agregado tipo y el mismo contenido de ligante asfáltico, en pruebas efectuadas sobre mezclas elaboradas con asfaltos de distinta penetración y una mezcla de asfalto más asfalto de Trinidad, - la estabilidad y deformación Marshall dan los resultados de la (Fig. 3).

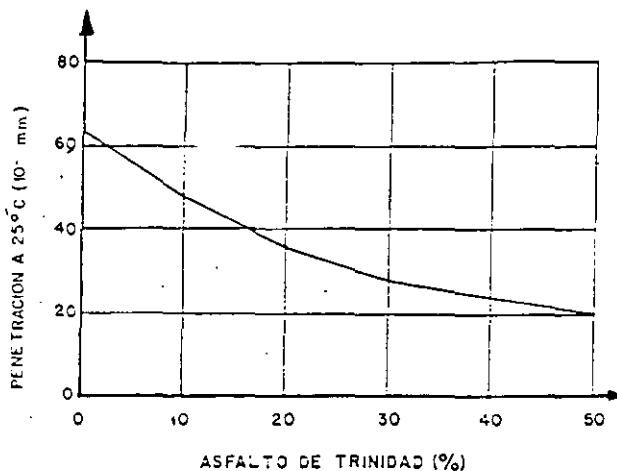


Fig. 1 Influencia de la adición de asfalto de Trinidad en el comportamiento reológico del asfalto.

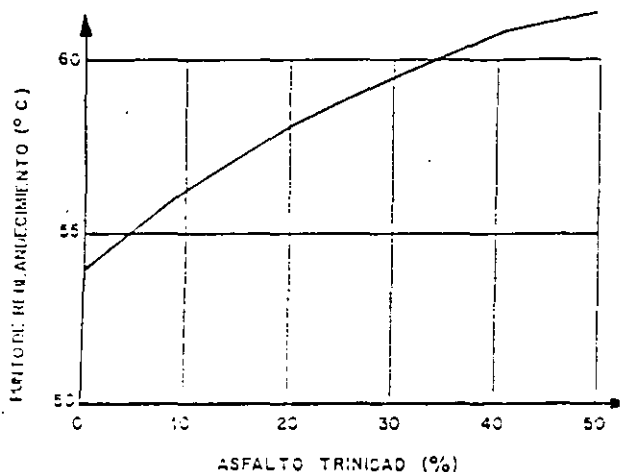


Fig. 2 Influencia de la adición de asfalto de Trinidad en el comportamiento reológico del asfalto.

La mayor parte de experiencias a nivel mundial sobre la utilización de asfaltos naturales, se ha enfocado a las mezclas asfálticas en caliente. Los resultados han sido favorables para carreteras de tráfico lento y pesado, como son los terceros carriles o vías lentas en tramos accidentados y de gran pendiente.

En el campo de las emulsiones asfálticas la experiencia es escasa. La utilización en mezclas densas en frío se encuentra a nivel de experimentación, aunque apuntando buenas perspectivas; en el caso de las lecnadas asfálticas, se dispone de algunas experiencias en Europa con magníficos resultados.

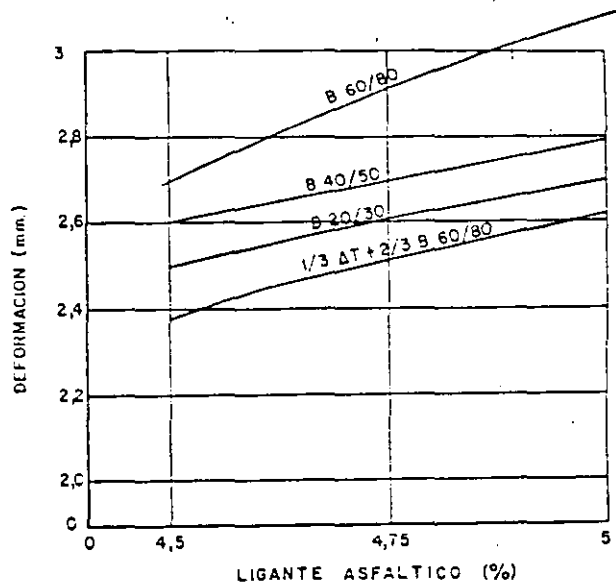
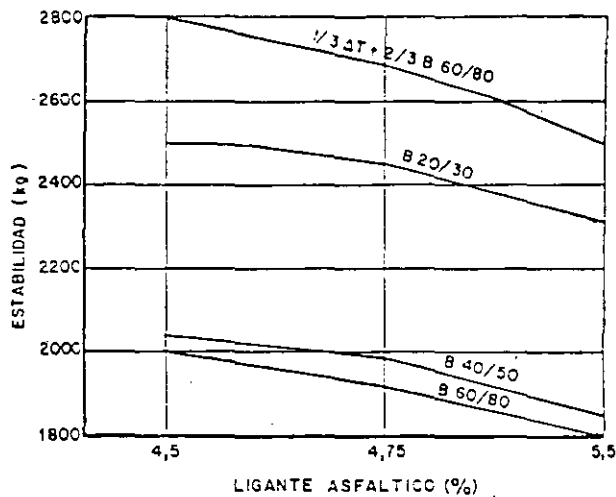


Fig. 3 Variación de las características Marshall con el tipo de ligante asfáltico.

2.4 Alquitranes

Los alquitranes son productos bituminosos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene en la destilación del carbón de hulla.

Con las mezclas de asfalto y alquitrán se trata de conseguir un ligante que reúna las cualidades de ambos componentes, evitando sus defectos. De esta forma se busca aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán, disminuyendo la susceptibilidad térmica y rápido envejecimiento del alquitrán añadiendo asfalto.

Las mezclas asfalto-alquitrán dan buen resultado en tratamientos superficiales, pues aumentan la adhesividad, así como en tratamientos anticarburantes, pues son

menos susceptibles a la acción de los disolventes derivados del petróleo.

2.5 Polímeros

La adición de polímeros a los asfaltos tiene como objetivo el de modificar la reología de los mismos, buscando una o varias de las siguientes condiciones:

- Disminuir la susceptibilidad térmica, ésto es disminuir la fragilidad en -- tiempo frío y aumentar la cohesión en tiempo cálido.
- Disminuir la susceptibilidad a los -- tiempos de aplicación de las cargas.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga.
- Mejorar la adhesividad de los agregados.

Los polímeros utilizables pueden ser:

TERMOCENDURECIDOS: (Resinas epoxi, poliuretano, poliésteres).

TERMOPLASTICOS: Copolímeros (Cloruro de polivinilo, polietileno y poli-isobutilenos). Elastómeros Homopolímeros (SBR: Estireno-butadieno, EVA: etileno-acetato de vinilo y -SBS: estireno-butadieno-estireno, así como caucho natural y artificial).

Dejando de lado algunas combinaciones especiales como pueden ser: alquitranes-vinilo, alquitrán-epoxi, asfalto-epoxi y alquitrán-poliuretano, destinadas a tratamientos muy específicos y costosos, nos vamos a referir a las combinaciones más utilizadas en pavimentos, como son las constituidas por un asfalto con algún tipo de polímeros, siendo los elastómeros los que presentan mejores resultados.

La incorporación de un polímero (sustancia macromolecular con propiedades viscoelásticas) a un asfalto dará lugar a interacciones entre las moléculas del primero y los componentes del segundo y producirá alteraciones en el sistema coloidal del asfalto con el consiguiente cambio de propiedades. Las interacciones y cambio de propiedades producidas, dependen de los siguientes factores:

- Composición y estructura molecular del polímero incorporado (masa molecular, temperatura de transición vítrea, polaridad, etc.)
- Composición química y estructural coloidal del asfalto.
- Proporción relativa de asfalto y polímero.
- Proceso de incorporación (modo de fabricación, temperatura, tiempo de mezclado, etc.)

Dada la gran variedad de polímeros comerciales existentes, con composición química y propiedades diferentes, cabe pensar que las posibilidades de modificación de los ligantes asfálticos con polímeros son compatibles con los ligantes hidrocarbonados. Los polímeros empleados de forma más generalizada para modificar los asfaltos son los elastómeros termoplásticos de butadieno-estireno telebloque (SBS) y los copolímeros de etileno acetato de vinilo (EVA).

Una vez realizada la elección del polímero, es necesario dispersarlo correctamente en el seno del asfalto para obtener un ligante modificado con buenas propiedades, lo que exige la elección de un buen procedimiento de mezclado, así como optimizar las condiciones operativas más idóneas, de forma que se obtenga un asfalto modificado homogéneo y estable.

Los asfaltos modificados con polímeros, cuando son observados por microscopia, están constituidos generalmente por dos fases, una formada por las partículas de polímero, y la segunda por el asfalto. En las mezclas con bajas concentraciones de polímero, la fase continua corresponde al ligante, y la fase discontinua al polímero que se encuentra dispersado en aquella; pero si se aumenta la proporción de polímero, hay una inversión de fases y la fase continua la constituye el polímero hinchado por los aceites malténicos. En consecuencia, los asfaltos modificados son nuevos materiales con una micromorfología bifásica propia y que deben de estudiarse profundamente para obtener ligantes homogéneos y con buenas características. Por lo tanto aunque estos tipos de asfaltos modificados se caracterizan mediante los ensayos convencionales para los asfaltos, necesitan, al tener una problemática propia de evaluaciones mediante ensayos complementarios, como son: Estabilidad al almacenamiento, elasticidad mediante dispositivo de torsión y propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción, entre otros.

En la Tabla Nº II, se realiza una comparativa de diferentes parámetros obtenidos de tres tipos de ligantes: En la columna segunda y tercera figuran dos ligantes modificados con SBS y EVA cuya penetración a 25°C es de 60; en la primera columna un asfalto de similar penetración.

A la vista de los resultados obtenidos pueden hacerse los siguientes comentarios:

- El punto de reblandecimiento de los asfaltos modificados con SBS y EVA es superior en unos 10 °C al del asfalto B 60/70, lo que pone de manifiesto el alto grado de modificación.

Este mayor punto de reblandecimiento de los asfaltos modificados supone una mejor re-

sistencia a las deformaciones plásticas a altas temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas fabricadas con estos ligantes.

Tabla II. Comparativa de asfaltos modificados y asfalto.

| | B.50/70 | PE 1.5 | M-PLAST |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tipo de Polímero incorporado | - - - | SBS | EVA |
| Penetración a - 25°C, 0.1 mm. | 62 | 60 | 60 |
| Punto de reblandecimiento (A y B), °C | 50.5 | 60.0 | 60.5 |
| Índice de penetración (Pfeiffer) | -0.5 | 1.5 | 1.6 |
| P. de fragilidad Fraass, °C | -8 | -12 | -12 |
| Intervalo de - - plasticidad, °C | 58.5 | 72 | 72.5 |
| Viscosidad a 50 °C, mPa.s | 5.5×10^5 | 1.3×10^6 | 1.5×10^6 |
| Viscosidad a 100 °C, mPa.s | 5.7×10^3 | 2.2×10^4 | 9.8×10^3 |
| Viscosidad a 125 °C, mPa.s | 8.2×10^2 | 1.6×10^3 | 8.3×10^2 |
| Recuperación elástica disp. torsión a 25°C, % | 8 | 41 | 27 |
| Ductilidad a 5 °C, cm. | 6 | 42 | 27 |
| Estabilidad al - almacenamiento - APR, °C | 0.0 | 3.5 | 4.5 |
| Ensayos sobre el residuo de película fina. | | | |
| Penetración retenida, % | 63 | 77 | 72 |
| Aumento del punto de reblandecimiento, °C | 7.5 | 5.5 | 6.0 |

- Los índices de penetración de los asfaltos modificados son sensiblemente superiores a los del asfalto B 60/70, lo que indica una menor susceptibilidad a la temperatura.
- Las temperaturas de fragilidad Fraass de los asfaltos modificados son inferiores a la del asfalto, lo que supone una menor fragilidad a las bajas temperaturas.
- Los intervalos de plasticidad (diferencia entre valores del punto de reblandecimiento y de Fraass) de los asfaltos modificados son superiores en más de 14 °C al del asfalto puro, lo que indica que tienen un comportamiento viscoelástico en un mayor margen de temperaturas.

- Las viscosidades de los asfaltos modificados son superiores a las del asfalto puro de similar penetración, lo que significa que las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas con ellos fabricadas son superiores. Las mayores viscosidades a 60 °C de los asfaltos modificados, supone en principio una mejor resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas fabricadas con ellos frente a las convencionales con asfaltos sin modificar.

- Los asfaltos modificados presentan una elasticidad, determinada mediante dispositivo de torsión, superior a la de un asfalto convencional.

- Los valores de ductilidad a 5 °C en los asfaltos modificados son sensiblemente mayores, lo que significa que tienen mayor poder de deformarse sin rotura a bajas temperaturas.

- El envejecimiento de los asfaltos modificados es inferior al del asfalto base, como se desprende de los valores de penetración retenida y del aumento del punto de reblandecimiento.

- La resistencia mecánica de los asfaltos modificados es superior a la del asfalto puro.

Partiendo de un asfalto de penetración determinada y añadiéndole porcentajes crecientes de polímeros (del 1 al 8%), se obtienen asfaltos modificados con menores penetraciones e incrementos de sus propiedades; quiere esto decir que se podrá disponer de una amplia gama de asfaltos modificados en función de la aplicación a que se destine.

Debido al incremento en el costo del asfalto que supone cualquier tipo de modificación, se deben emplear en aquellos casos específicos en que las propiedades de los asfaltos tradicionales son insuficientes para cumplir la función que tienen encomendada; es decir, en pavimentos que están sometidos a sollicitaciones excesivas.

El campo de aplicación de éstos materiales es muy amplio. Independientemente de su utilización en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente tanto densas como drenantes para capas de rodamiento en carreteras de tráfico pesado, se emplean en la tecnología de las emulsiones asfálticas en distintos tratamientos, como son:

- Tratamientos superficiales mediante riego con gravillas.
- Mezclas asfálticas drenantes.
- Mezclas densas.
- Mezclas finas y rugosas.
- Lechadas asfálticas continuas y discontinuas.

2.6 Latex

Gran número de elastómeros existentes en el mercado, se comercializan forma de emulsiones que se conocen con el nombre de latex.

En un principio, los latex comercializados eran de naturaleza aniónica, aunque hoy en día es factible conseguirlos de naturaleza catiónica, de esta forma merced a sus partículas cargadas negativa o positivamente, son fácilmente miscibles con emulsiones aniónicas o catiónicas.

Esta mezcla de latex y emulsión produce, al romper la emulsión, un asfalto-caucho, en el que se detecta una íntima combinación de ambos componentes, y por ello, una buena efectividad del caucho como agente modificador del asfalto, con mejoras en las propiedades del asfalto similares a las expuestas en el capítulo anterior.

Para la obtención de estas emulsiones, son posibles dos opciones:

- Mezcla directa de la emulsión asfáltica y el latex.
- Adición de latex al agua y posterior fabricación de la emulsión.

De la comparación de los resultados obtenidos mediante estas dos técnicas, se deduce que la última produce mejores resultados en la modificación del asfalto.

Este tipo de emulsiones se ha empleado con éxito en la fabricación de mezclas asfálticas densas o drenantes, lechadas asfálticas, tratamientos superficiales, así como en riegos de taponamiento.

2.7 Fibras

En los últimos años se han puesto a punto, en diversos países procedimientos de colocación de mezclas asfálticas y lechadas asfálticas que incluyen en su formulación la adición de fibras naturales o artificiales (amianto, vínicas, acrílicas, etc.)

Este tipo de fibras se añaden, mediante dispositivos de reparto, en el momento de la puesta en obra y crean una especie de malla que se entrelaza con el asfalto y los agregados, mejorando notablemente las resistencias a la tracción y flexión.

3. INNOVACION EN LOS EMULSIFICANTES

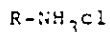
Los emulsionantes son compuestos químicos que se utilizan en la fabricación de emulsiones asfálticas. Su principal función es la de dispersar en el agua las pequeñas partículas de asfalto, creadas por el efecto de laminación y cizalla del molino coloidal.

Los emulsionantes pueden ser aniónicos y catiónicos, según la carga eléctrica que le confieran a las partículas de asfalto.

Los emulsionantes aniónicos, tienen como fórmula general:



Los emulsionantes catiónicos, tienen como fórmula general:



Ambos están compuestos por un radical R, lipofílico y un componente hidrofílico, que en contacto con el agua se disocia, quedando el asfalto con cargas negativas o positivas. (Fig. 4 y 5)

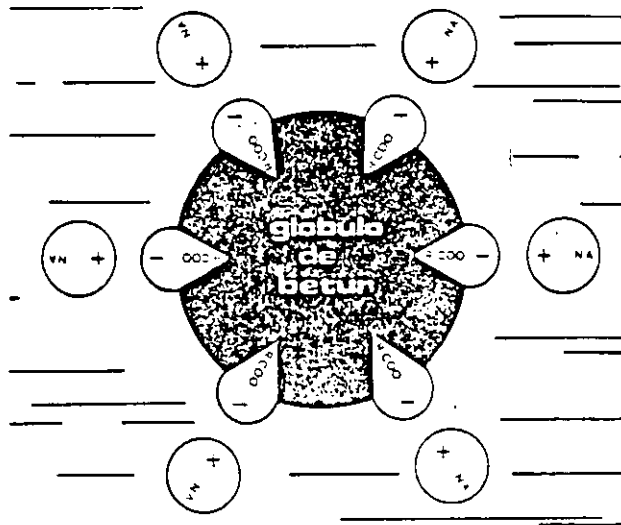


Fig. 4 Emulsión aniónica

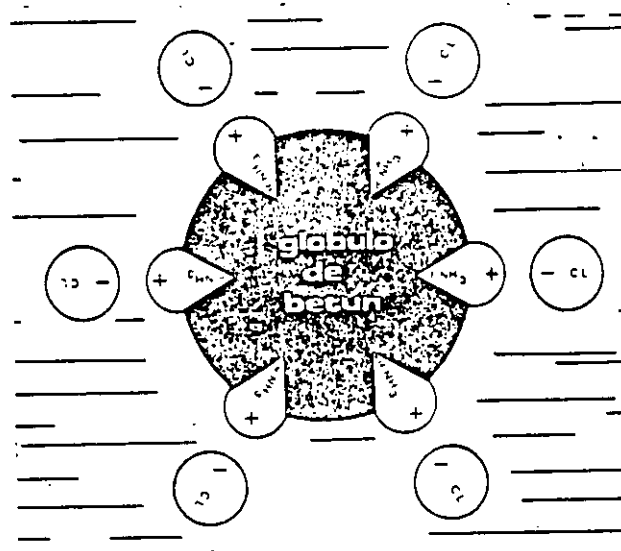


Fig. 5 Emulsión catiónica

La relación que existe entre las proporciones en peso de las moléculas hidrofílicas y lipofílicas se define como valor HLB. Un aumento en el contenido de los grupos lipofílicos o hidrofílicos produce variaciones en el valor HLB capaces de generar emulsiones con diferentes velocidades de rotura frente a los agregados (La rotura de la emulsión se produce al ponerse en contacto la emulsión asfáltica con un agregado, cuyo carácter químico rompe el equilibrio eléctrico entre los glóbulos de asfalto y el agua, quedando el asfalto adherido a la superficie del agregado).

En el párrafo anterior se ha definido, en función del tipo y contenido del emulsionante la característica de reactividad de la emulsión frente a los agregados de acuerdo con su velocidad de rompimiento. Sin embargo el problema no es tan sencillo: estudios recientes sobre la medida del potencial Z, que mide la movilidad electroforética de las partículas de asfalto, han determinado que la densidad de cargas eléctricas no es solamente la única responsable de la reactividad, sino que el tamaño medio de las partículas del asfalto y su distribución tiene también una gran responsabilidad en esta propiedad de las emulsiones.

La adhesividad del asfalto con el agregado, una vez que la emulsión rompe, va a ser condicionada por: el tipo y densidad de cargas que el emulsificante le confiere a la emulsión, tamaño de las partículas de asfalto y su distribución y lógicamente por la naturaleza del agregado, su forma y superficie específica, así como por la naturaleza del asfalto base.

Otra de las propiedades importantes de la emulsión asfáltica es su viscosidad. Aunque fundamentalmente depende de la naturaleza y contenido del ligante asfáltico, así como de los equipos de fabricación, varía también -- con la naturaleza del emulsificante y con la cantidad del mismo.

La elección de un equipo de fabricación y emulsificante adecuados, permite la elaboración de emulsiones con tamaños de partículas más finos y uniformes o con tamaños más graduados. Los tamaños más uniformes de partículas producen emulsiones más viscosas, con mayor superficie específica y por lo tanto con mayor poder cubriente, características sumamente importante en tratamientos como las mezclas abiertas y drenantes y los tratamientos superficiales con gravillas.

Un caso especial de las emulsiones asfálticas son las llamadas: EMULSIONES ANIONICAS DE REOLOGIA MODIFICADA O DE ALTA FLOTACION: Son aquellas en las que, mediante el empleo de emulsificantes aniónicos especiales y técnicas operativas adecuadas, se aprovecha el proceso de emulsionamiento para obtener unas emulsiones cuyo asfalto residual tiene un comportamiento reológico distinto al que tenía el asfalto originalmente empleado para

la fabricación de la emulsión.

Dependiendo del tipo y proporción del emulsionante empleado, puede regularse el grado de modificación del asfalto. En las Figuras 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos al determinar el punto de reblandecimiento y la penetración del residuo de la destilación de diversas emulsiones, fabricadas con un asfalto base de penetración 178 y punto de reblandecimiento 39 °C.

Este tipo de emulsiones se encuentra normalizada en los Estados Unidos de Norte América, donde se emplean profusamente.

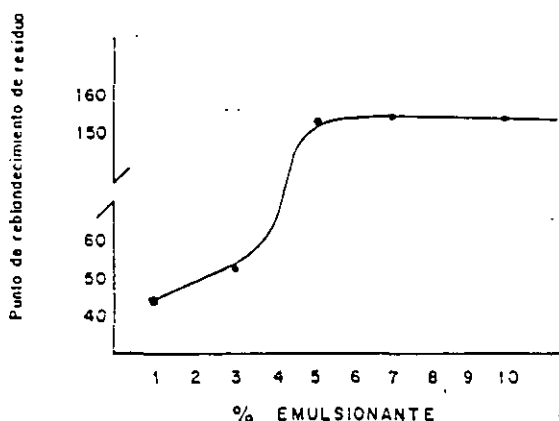


Fig. 5

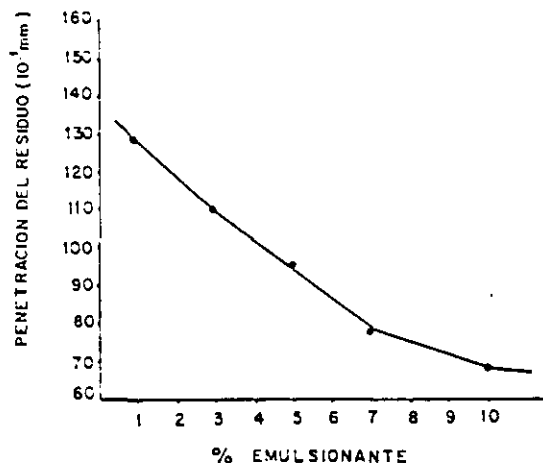


Fig. 6

4. NUEVOS ADITIVOS PARA CONTROLAR LA ROTURA

El poder disponer de diferentes tipos de emulsionantes que produzcan emulsiones de rompimiento rápido, medio o lento y capaces de mezclarse con distintos tipos de agregados, no siempre es suficiente en la técnica

de las emulsiones asfálticas.

En el estado actual de la tecnología de pavimentos, se requiere de aditivos que aceleren o retrasen, según los casos, el momento de rompimiento de la emulsión una vez puesta en presencia del agregado. Los más utilizados son:

- Acelerantes del rompimiento en los tratamientos superficiales con gravillas.
- Acelerantes o retardantes para mezclas asfálticas y lechadas asfálticas.

5. EQUIPOS DE FABRICACION Y COLOCACION

El desarrollo de las técnicas de fabricación y puesta en obra de emulsiones, ha tenido un crecimiento inusitado.

Las plantas de fabricación de hoy en día necesitan disponer de instalaciones capaces de fabricar activantes y aditivos. Las instalaciones de mezclado de asfaltos con polímeros requieren de sistemas de agitación y almacenamiento especiales para conseguir la mejor homogeneización.

Los tanques regadores de asfalto (petrolizadoras) disponen de equipos de control de dosificación computarizados y tanques adicionales para aditivos.

Las máquinas mezcladoras-extendedoras de lechadas asfálticas, cuentan además de con el sistema de dosificación más exacto, con equipos dosificadores de aditivos y fibras.

A tener con la amplia gama de nuevos productos ha sido necesario, así mismo, los sistemas de control de laboratorio, implementando nuevos ensayos y equipos.

6. CONCLUSIONES

Las cada día más exigentes prestaciones que se solicitan a los pavimentos flexibles, requieren de la utilización de nuevos y mejores materiales.

En el ámbito de las emulsiones, técnica acostumbrada a manejarse dentro de la industria química, innovadora constante de productos, éstas nuevas exigencias no le son desconocidas. De ésta forma, las empresas dedicadas a la fabricación de emulsiones asfálticas y que disponen de un departamento de investigación, pueden ofrecer alternativas a los múltiples problemas que se presentan en la construcción de pavimentos.

Utilizar activantes y aditivos y fabricar emulsiones con asfaltos modificados, nos aporta soluciones a problemas concretos como pueden ser: Facilidad de trabajo en tiempo frío y húmedo, mejorar el comportamiento de pavimentos a muy altas o bajas temperaturas y sometidos a tráfico lento y pesado o bien a tráfico ligero y rápido.

Sin embargo, no hay que perder de vista los aspectos económicos. El empleo de éstos materiales es generalmente más costoso, por lo que se necesitará de un estudio apropiado de las necesidades que requiera cada pavimento.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS**

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

**EMULSIONES ASFALTICAS Y SUS
APLICACIONES**

ING. GUILLERMO DOMINGUEZ DURAN

I. GENERALIDADES

El costo del calentamiento en los materiales asfálticos y de los agregados para su uso en carreteras es, en cualquier caso, oneroso desde el punto de vista energético. Implica además, la utilización de grandes equipos difíciles de transportar e instalar pudiendo producir situaciones de alta contaminación.

Por ello, existe gran interés desde años en perfeccionar técnicas en frío eficaces, económicas en consumo energético y bajas de índices de contaminación.

El elemento más valioso para el desarrollo de las técnicas en frío es la emulsión asfáltica. La emulsión asfáltica constituye la solución lógica y natural para colocar en obra asfaltos a temperatura ambiente sin miedo a la presencia de humedad ni a los problemas que produce una mala adherencia con los agregados.

La utilización de los asfaltos fluidificados como derivados ligeros del petróleo, técnica todavía muy utilizada para trabajos en frío, parece una solución tecnológicamente anticuada y de gran despilfarro energético al utilizar componentes ligeros del petróleo, de gran poder calórico, como agente capaz de lograr la puesta en obra del asfalto y cuyo destino final es su desaparición, en lugar del agua que es el utilizado en el caso de las emulsiones.

Sin embargo, no se trata de llegar a un enfrentamiento de las técnicas en caliente o en frío, pues es impensable usar mezclas asfálticas en caliente en obras pequeñas y alejadas de las plantas de fabricación y sería ilógico proyectar grandes volúmenes de mezclas en frío en zonas altamente equipadas con plantas asfálticas en caliente. Por ello, en la mayor parte de los casos, ambas técnicas son complementarias y deben ser las condiciones locales y económicas las que decidan la elección de uno de los dos procedimientos.

El desarrollo de la tecnología en frío para pavimentos se ha basado en dos principales actuaciones :

- Convencimiento del sobrecosto que genera, para cualquier país, el uso de asfaltos rebajados, lo que ha provocado una disminución mundial de su empleo.
- Fuerte desarrollo de la tecnología de las emulsiones asfálticas, incrementando los programas de investigación en el campo de emulsionantes y aditivos, así como en la construcción de la maquinaria adecuada.

De esta forma la tecnología en frío, basada en el empleo de emulsiones asfálticas nos está permitiendo alcanzar las metas previstas y que podemos resumir como :

- Versatilidad ante climas y materiales
- Ahorro energético
- Economía
- Disminución de contaminación
- Simplicidad en la maquinaria utilizada

En el presente trabajo nos vamos a dedicar al estudio de las emulsiones asfálticas y sus aplicaciones en los pavimentos, aun cuando cabe explicar que varios de los tratamientos que se mencionan son susceptibles de ser realizados con asfaltos rebajados.

II. EMULSIONES ASFALTICAS. CONCEPTOS GENERALES

Las emulsiones asfálticas son sistemas coloidales que se obtienen al dispersar un ligante asfáltico (en forma de pequeñas partículas de diámetro entre 3 y 9 micras), en agua. Al conjunto de pequeñas gotas del ligante se les llama fase discontinua y al medio acuoso en el cual están dispersas, fase continua (Fig. 1)

Para conseguir la dispersión de estos dos líquidos que no son miscibles entre sí, se necesita un equipo mecánico capaz de dispersar el ligante asfáltico y un agente químico, emulsionante, capaz de conseguir dicha dispersión.

De esta forma los componentes básicos de una emulsión son :

- Ligante asfáltico.
- Agua.
- Emulsionante.

1. Ligantes Asfálticos

Los ligantes asfálticos utilizados son en general, cementos asfálticos, aunque pueden emplearse asfaltos rebajados y mezclas de asfalto-alquitran.

Los asfaltos que tienen más ácidos libres, es decir más índice de acidez, se emulsionan mejor por vía aniónica; los asfaltos con bajo índice de acidez, se emulsionan mejor por vía catiónica, aunque presentan malas condiciones de adhesividad. En general podemos establecer que asfaltos con índice de acidez alto son más indicados como ligantes asfálticos.

En la práctica se pueden indicar cuáles son las características del asfalto más importantes para conseguir una buena emulsificación:

Asfaltos tipo sol y sol-gel, que tengan :

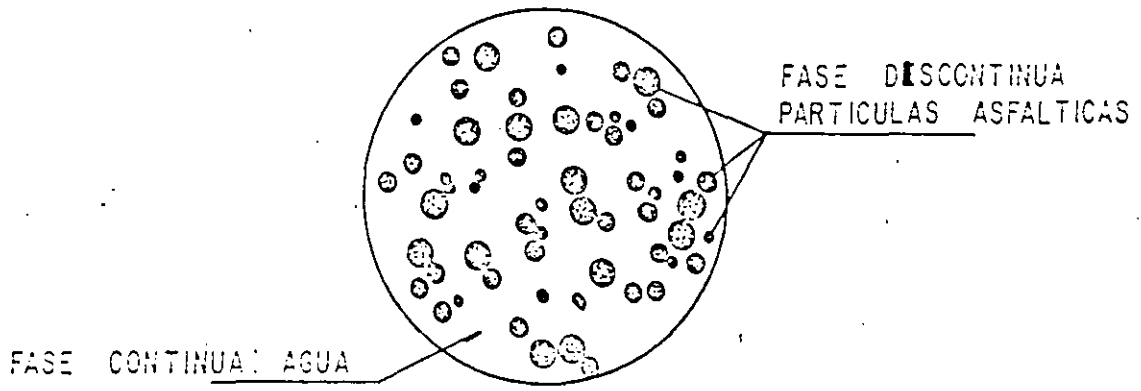


FIG. 1

- ~~Contenido en asfaltenos: 18-26%~~
- Contenido en resinas : 30-42 %
- Contenido en aceites : 44-50 %
- Contenido en resinas calcicas cíclicas aromáticas : 15% del contenido en resinas.
- Contenido en parafinas: bajo.
- Contenido en ácidos nafténicos: alto (índice de acidez >1)
- Índice de penetración entre -1 y +1
- Bajos contenidos de sal

2. El agua.

El agua de la emulsion no sirve mas que para facilitar la puesta en obra, haciendo que con su baja tension superficial puedan mojarse facilmente las particulas del agregado.

Es conveniente que el agua tenga un caracter quimico neutro (PH: 7), sin embargo las condiciones de dureza del agua son poco importantes en las emulsiones cationicas, pero pueden ser un gran inconveniente en las anionicas.

3. Emulsionantes

Los emulsionantes cumplen una triple mision dentro de las emulsiones :

- a) Facilitar la dispersion del ligante asfáltico en el agua
- b) Conservar la emulsion como tal, en el tiempo. Esto se consigue al cargar las particulas de asfalto con cargas eléctricas que se repelen

entre si (estabilidad electroquímica) y permiten su estabilidad al almacenamiento.

- c) Favorecer la cubrición de los agregados por el ligante asfáltico (adhesividad agregado-asfalto).

Según la característica química los emulsionantes pueden ser: aniónicos y catiónicos. (Según que su carga eléctrica se desplace al ánodo o al cátodo).

En ambos casos su molécula consta de una parte que tiene gran afinidad con el ligante asfáltico y que queda firmemente anclada en él, y de otra parte cargada iónicamente, que es la que da lugar a la formación de los globulos de la emulsion con sus cargas eléctricas alrededor, que generan fuerzas repulsivas entre si y permiten el equilibrio con el medio acuoso, siendo por lo tanto las responsables de la formación y estabilidad de la emulsion.

Los emulsionantes aniónicos: son en general sales sodicas o potasicas de ácidos orgánicos de cadena compleja, con fórmula general: $R-COONa$.

La naturaleza del radical lipofílico R es variable de unos emulsionantes a otros (ácidos grasos superiores, ácido dodecil-benceno-sulfónico, ácido abietico primario, etc.)

Las moléculas de estos emulsionantes ó jabones al disolverse en el agua se ionizan, dando lugar a la aparición de cationes Na^+ y aniones $R-COO^-$ que constituyen el autentico emulsionante aniónico.

Los emulsionantes catiónicos son los productos de reacción de ácidos inorgánicos fuertes (ácido clorhídrico, principalmente), con aminas grasas, con fórmula general: $R-NH_3-Cl$

Al igual que los emulsionantes aniónicos, los catiónicos experimentan, al disolverse en el agua, una ionización que genera un anion cloro y un cation $R-NH_3^+$, responsable de la carga positiva alrededor de las partículas de asfalto (Fig. 2 y 3)

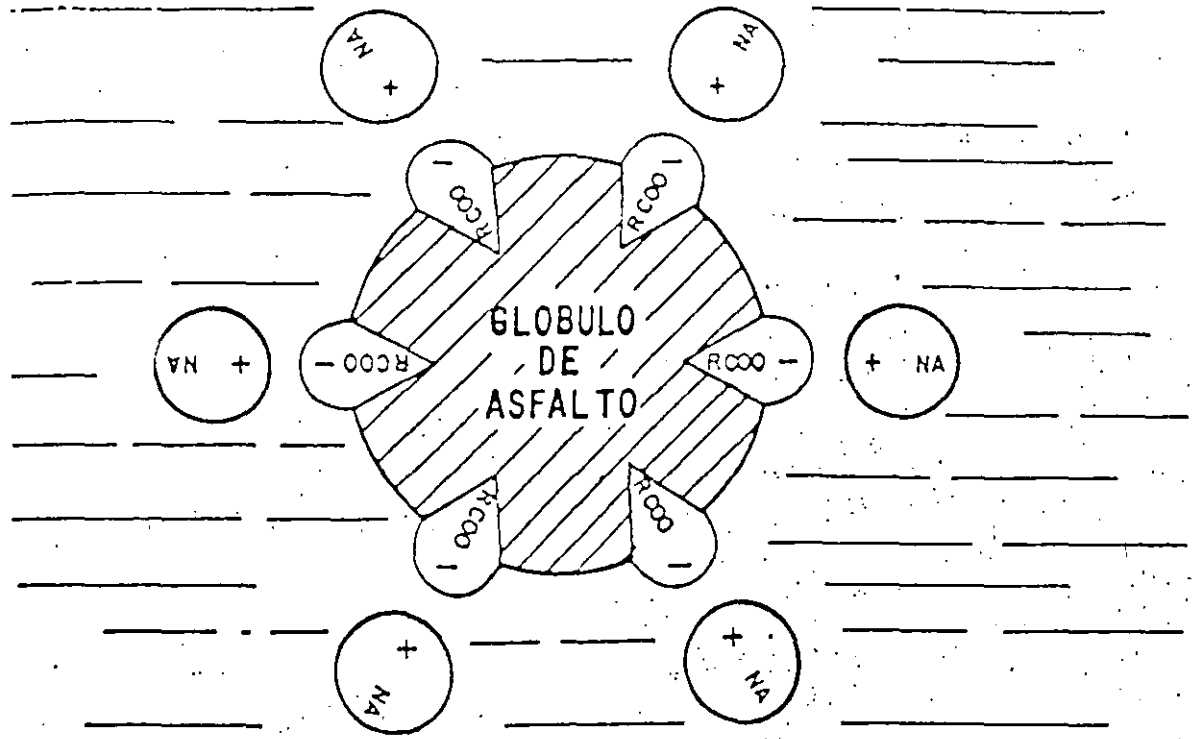


FIG. 2 EMULSION ANIONICA

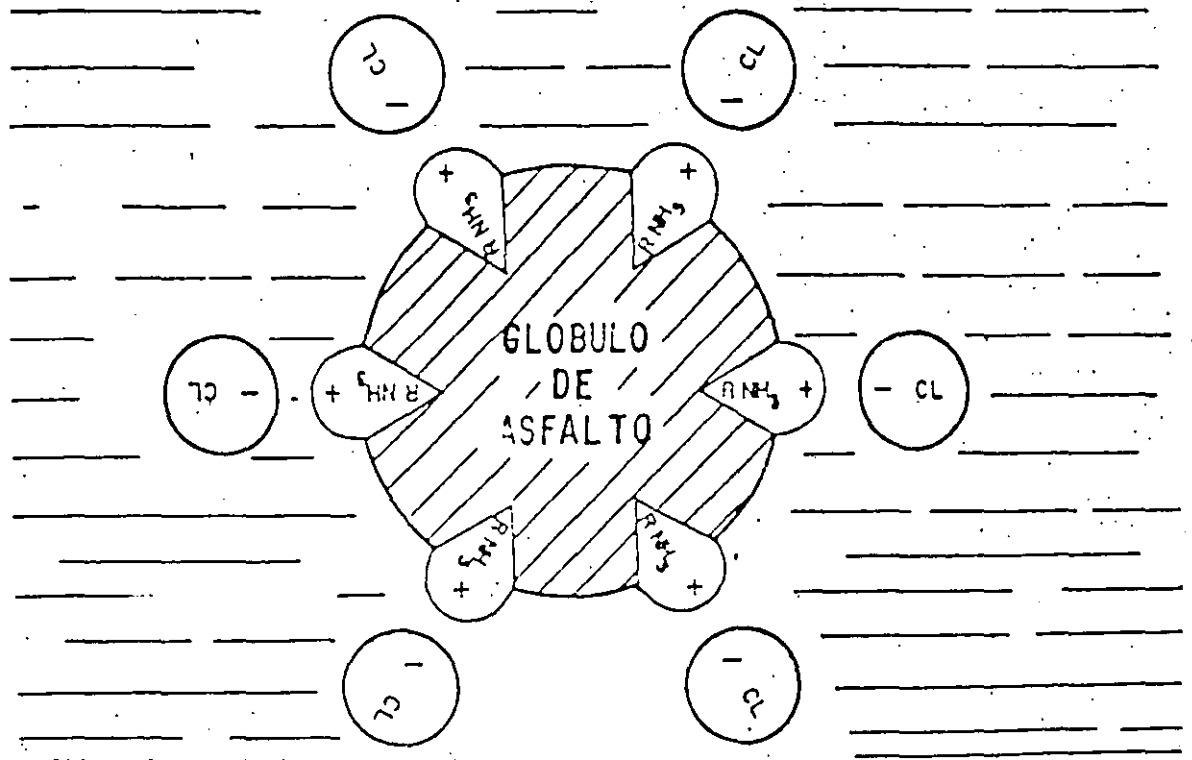


FIG. 3 EMULSION CATIONICA

Atendiendo a la estructura química de estas moléculas es posible diferenciar varios productos como son: aminas grasas, diaminas y poliaminas, sales de amonio cuaternario, amidoaminas, imidazolinas, aminas oxietilenadas, etc.

De esta forma las emulsiones fabricadas con emulsionantes aniónicos tienen valores de PH comprendidos entre 7 y 14, y las emulsiones cationicas entre 0 y 7.

La influencia de la cantidad de emulsionante en las propiedades de una emulsion son:

- Un aumento en la cantidad de emulsionante disminuye el tamaño medio de las partículas de la emulsión (Fig. 4)
- Un aumento en la cantidad de emulsionante, hace en general, emulsiones más estables (Fig. 5)
- La adhesividad de la emulsión con los agregados depende del contenido de emulsionante y del PH de la misma

4. Clasificaciones

Atendiendo a la naturaleza del emulsionante químico utilizado, las emulsiones asfálticas se clasifican en :

- Aniónicas
- Cationicas

Las emulsiones aniónicas son las más antiguas. Presentan una buena adhesividad frente a los agregados calizos (que se ionizan positivamente al estar húmedos), y escasa ante los silíceos.

Las emulsiones cationicas son mucho más recientes. En general su rotura es mucho más rápida que las aniónicas. Las emulsiones cationicas presentan buena adhesividad con los agregados silíceos y con la mayor parte de los calizos. (Fig. 6 y 7)

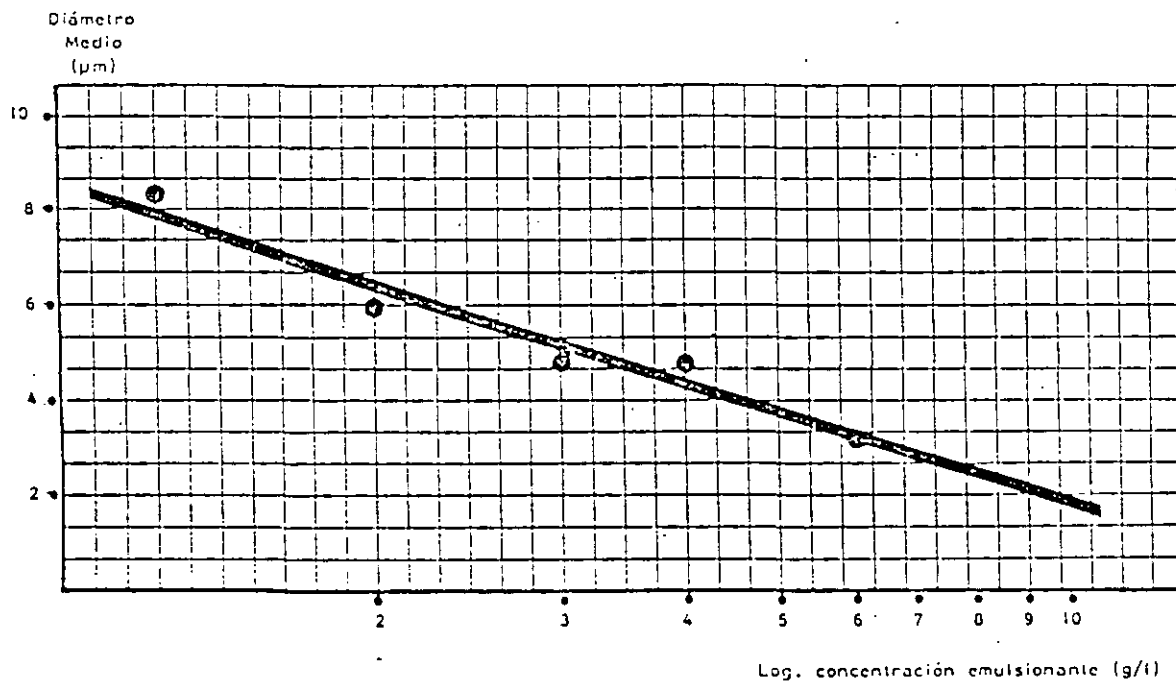


Fig. 4 — Variación del diámetro medio en función de la cantidad de emulsionante.

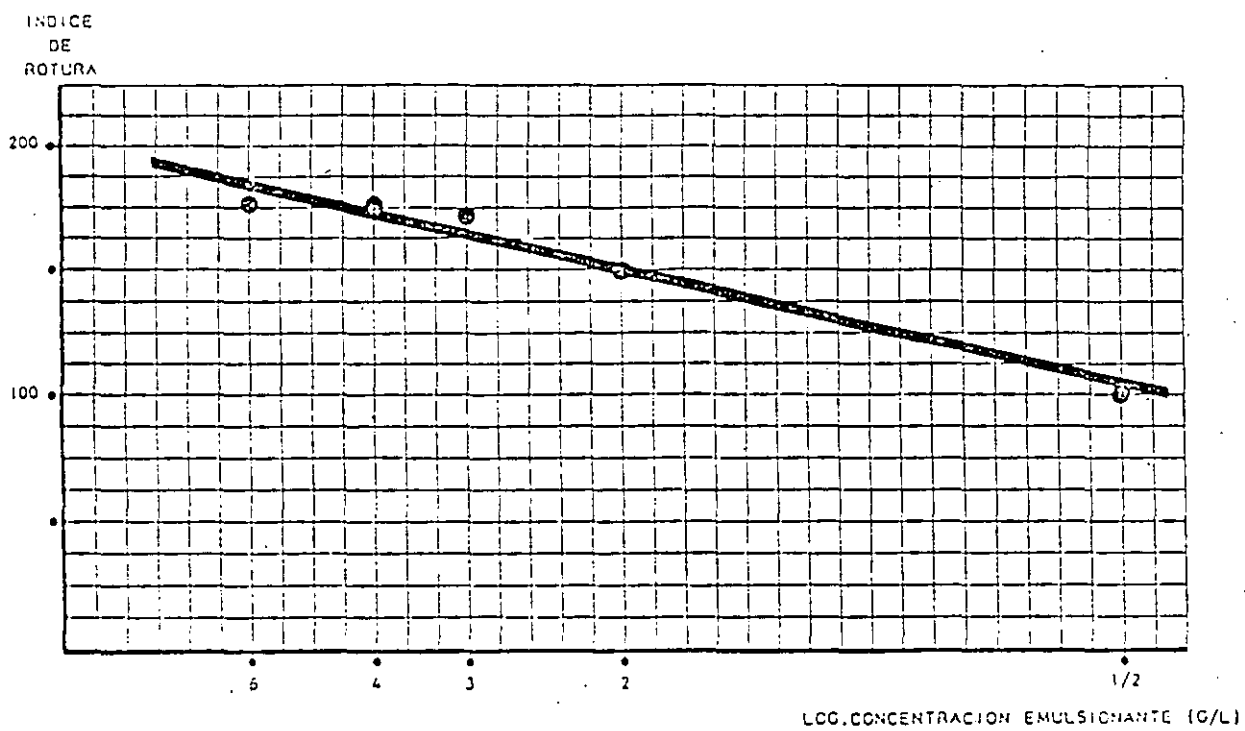


Fig. 5. — Variación del índice de rotura en función de la cantidad de emulsionante.

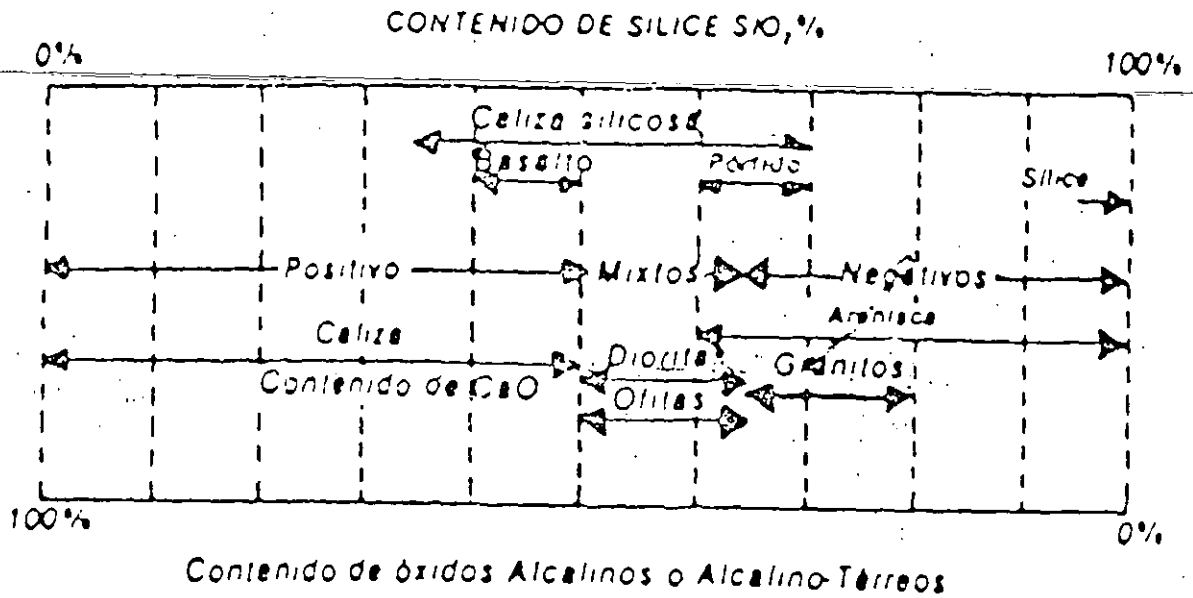


FIGURA 6 CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS PETREOS

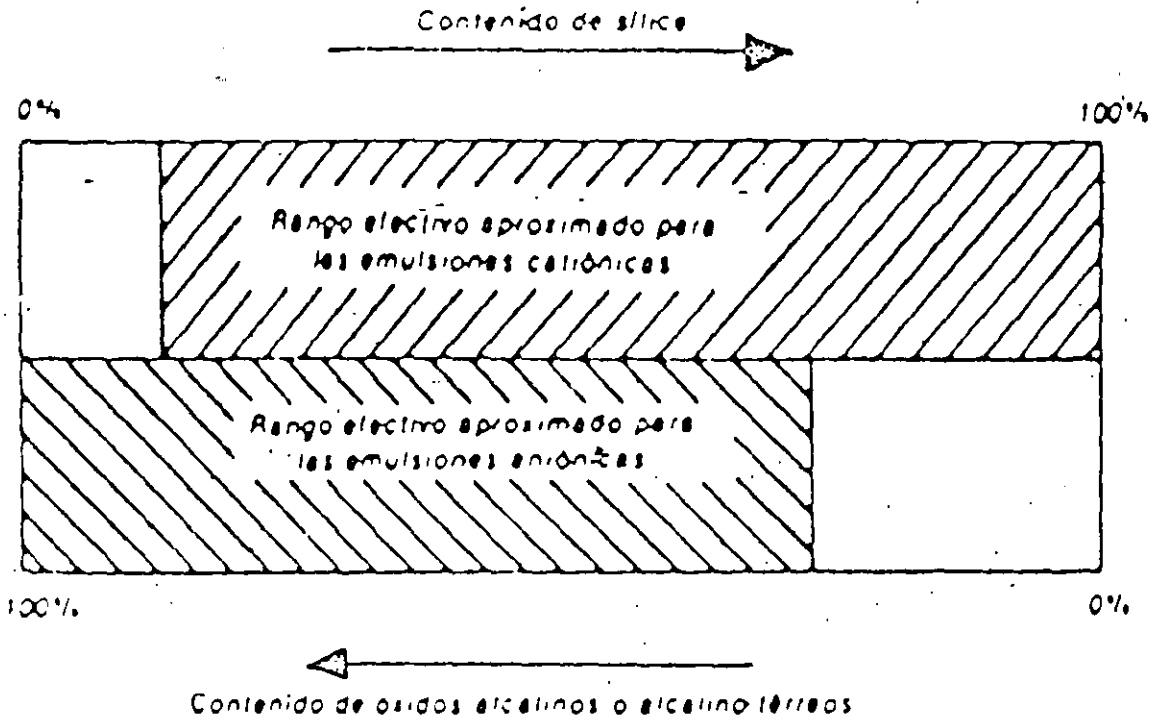


FIGURA 7 RANGO EFECTIVO APROXIMADO DE APLICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS SOBRE VARIOS TIPOS DE AGREGADOS PETREOS

Cuando las partículas de ligantes asfáltico se vuelven a juntar en presencia de un agregado, para constituir película continua de asfalto, se dice que la emulsión rompe (visualmente la emulsión cambia de color, pasando del color marrón al negro del asfalto). (Fig. 8)

Este proceso de rotura depende de varios factores: composición y tipo de la emulsión, naturaleza del agregado, temperatura exterior, etc.

Es tradicional llamar rotura por reacción química a aquella que se produce por reacción entre los compuestos químicos que se encuentran en la superficie del agregado y los radicales orgánicos que procedentes del emulsionante rodean las partículas del asfalto y rotura por evaporación o física a la que se debe a una evaporación del agua.

Realmente es imposible dissociar ambos fenómenos, ya que en todos los casos se presentan combinados con mayor o menor preponderancia según su polaridad (la rotura por reacción química es en general más acusada en las emulsiones catiónicas).

De esta forma, atendiendo a la velocidad de rotura de la emulsión es decir a su estabilidad, las emulsiones asfálticas se clasifican en :

- Emulsiones de rotura rápida
- Emulsiones de rotura media
- Emulsiones de rotura lenta.

5) Fabricación de las emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas se fabrican en instalaciones industriales especiales, que pueden ser muy sencillas o tener un alto grado de complicación. En cualquier caso, la pieza básica es el aparato que sirve para dispersar al asfalto en agua.

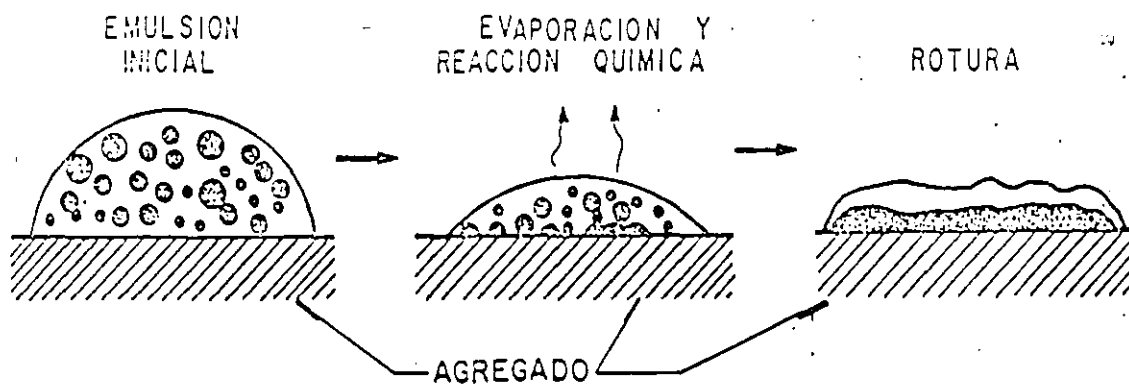


FIG. 8

En general una fabrica de emulsiones consta de los siguientes elementos:
(Fig. 9)

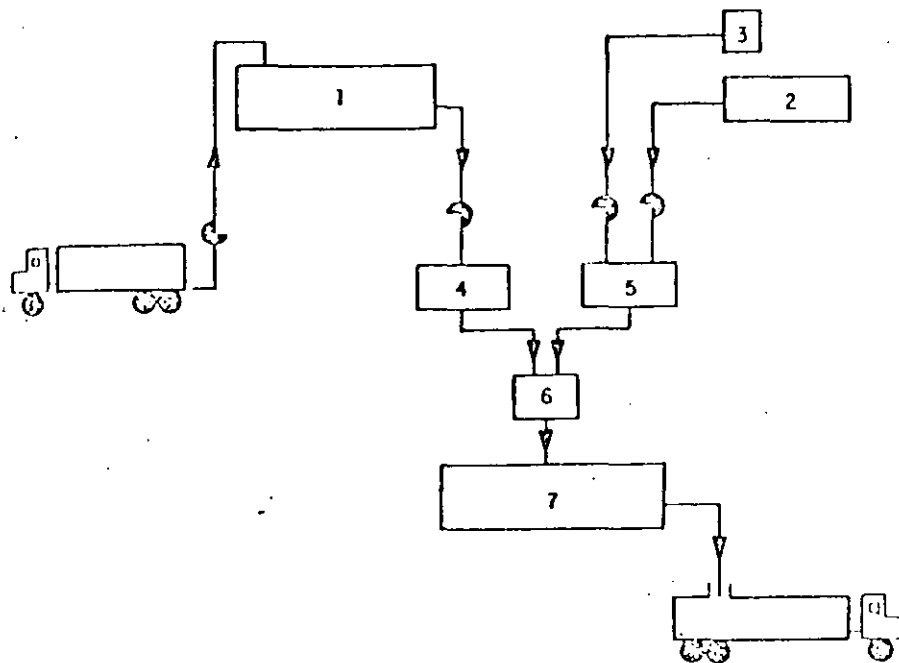
- Sistema de almacenamiento de materias primas (Cemento Asfáltico, emulsionante, fluidificante, aditivo, ácido, etc.)
- Sistema de bombas y tuberías para trasvase, incorporación, mezcla y dosificación de componentes.
- Sistema de calentamiento, pudiéndose utilizar fuego directo con quemadores, vapor de agua o aceite térmico. (Fig. 10)
- Sistema de fabricación.- Constituido por una maquina capaz de romper en pequeñas partículas el asfalto y dispersarlo en el agua, cuando pasen ambos líquidos por la misma. Para conseguir ésta importantísima operación, se puede utilizar los siguientes tipos de máquinas : (Fig. 11)
 - Agitadores
 - Difusores
 - Turbo - Mezcladores
 - Molinos de conos

Las maquinas mas utilizadas por su mayor producción y calidad son los turbo-mezcladores y los molinos de conos. (Fig. 12 y 13)

Los turbo-mezcladores estan compuestos de un estator y un rotor de paletas curvas, que gira a una velocidad de unas 3.000 r.p.m. En ellos, se introduce el asfalto caliente y el agua con el emulsionante; la fuerza centrífuga y los choques repetidos producen la rotura en partículas del asfalto y su dispersión en el agua tratada, saliendo finalmente la emulsion fabricada.

Los molinos de conos trabajan sometiendo a los fluidos a una serie de aceleraciones y deceleraciones radiales, que producen grandes y rapidas variaciones de presión, lo que ocasiona la rotura en partículas del asfalto y su dispersión en el agua emulsionada.

FIG. 9 ESQUEMA DE UNA FABRICA DE EMULSIONES



- 1.- ALMACENAMIENTO DE LIGANTE ASFALTICO
- 2.- ALMACENAMIENTO DE AGUA
- 3.- ALMACENAMIENTO DE EMULSIONANTE
- 4.- DOSIFICADOR DE LIGANTE ASFALTICO
- 5.- DOSIFICADOR DE AGUA - EMULSIONANTE
- 6.- MOLINO DE EMULSION
- 7.- ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES

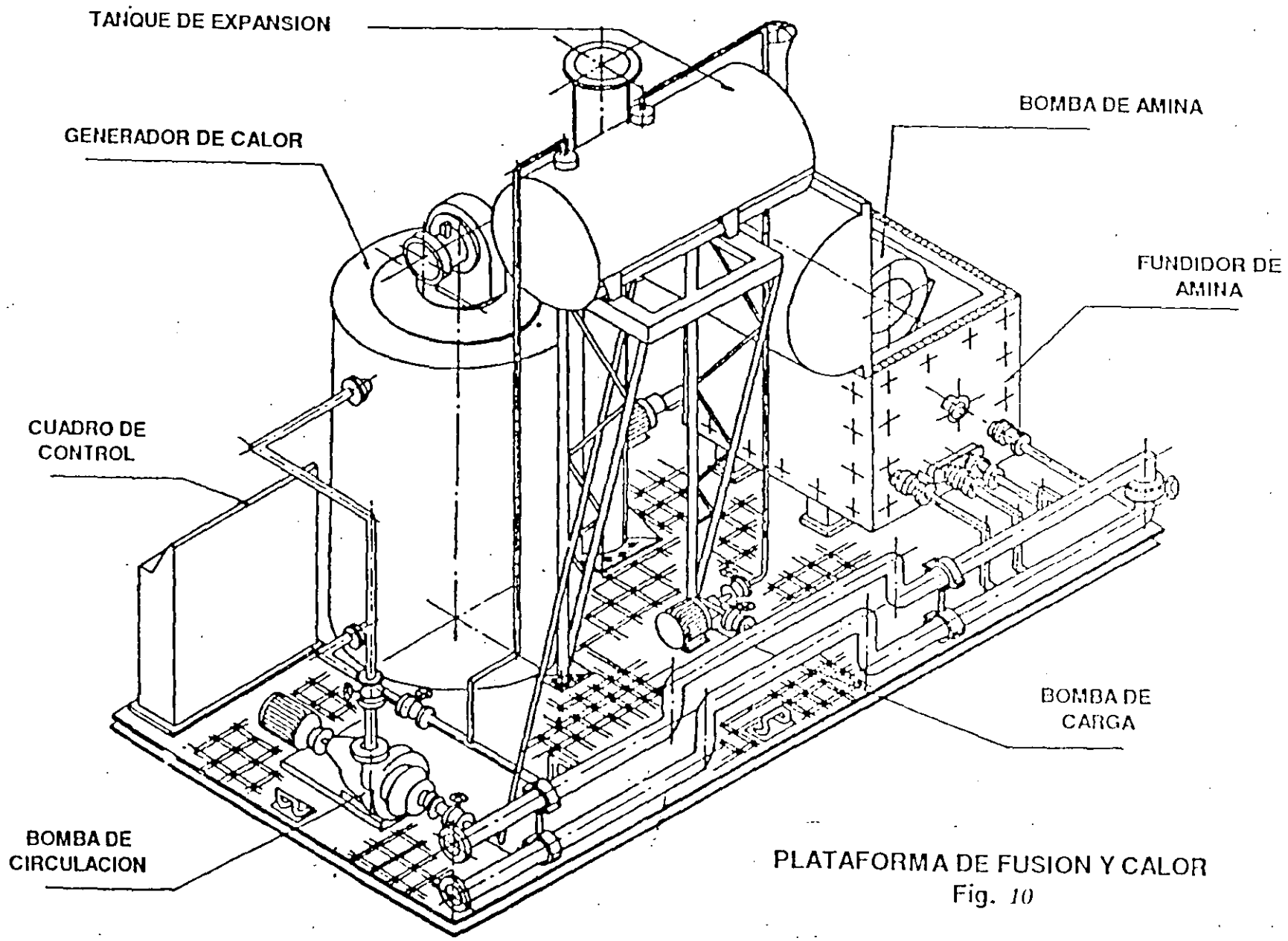
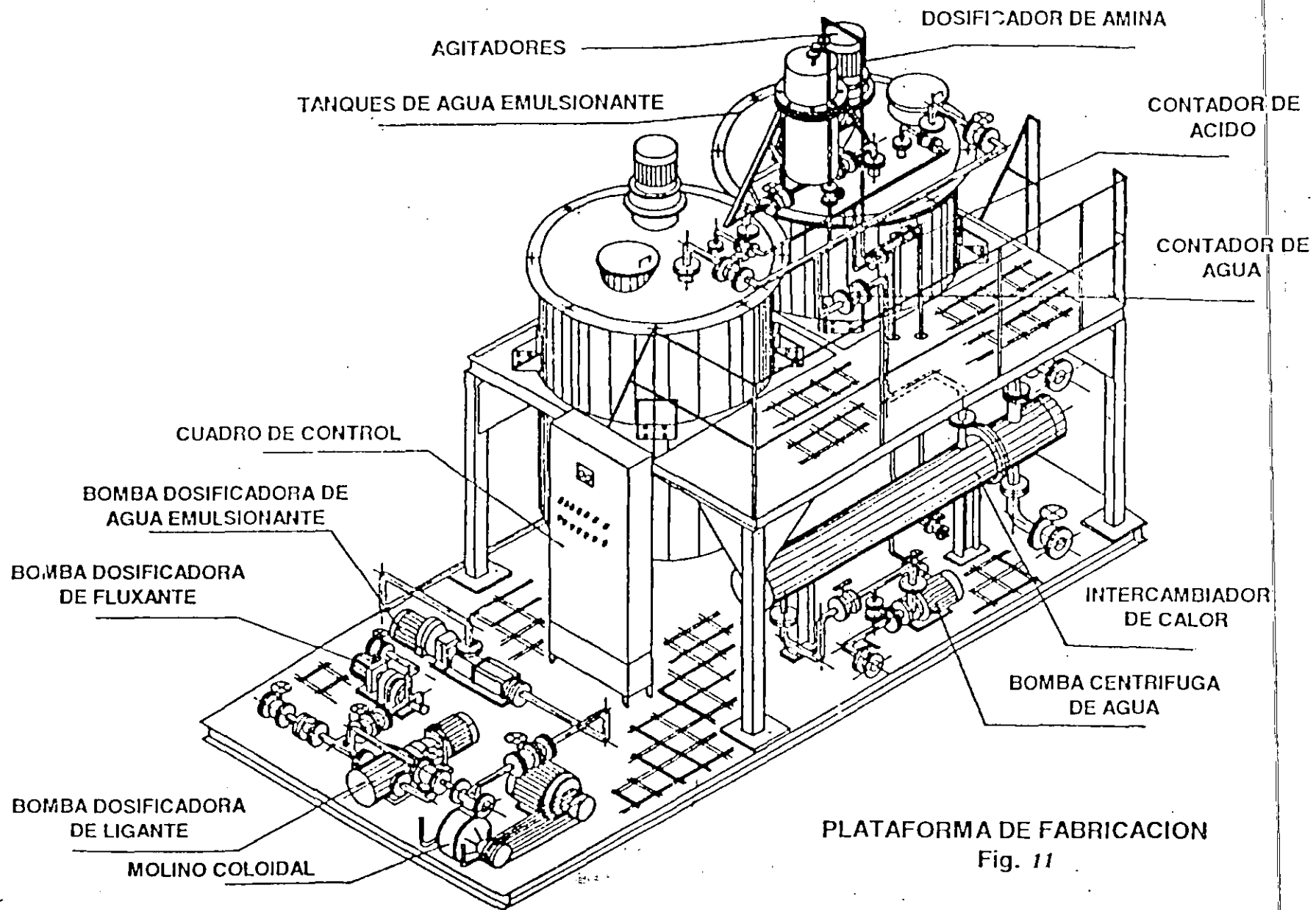


Fig. 10



PLATAFORMA DE FABRICACION
 Fig. 11

FIG. 12 ESQUEMA DE UN TUBO - MEZCLADOR

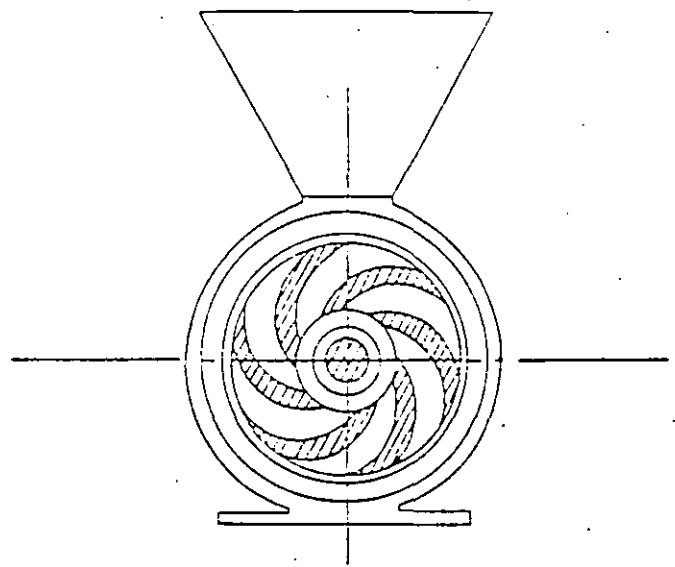
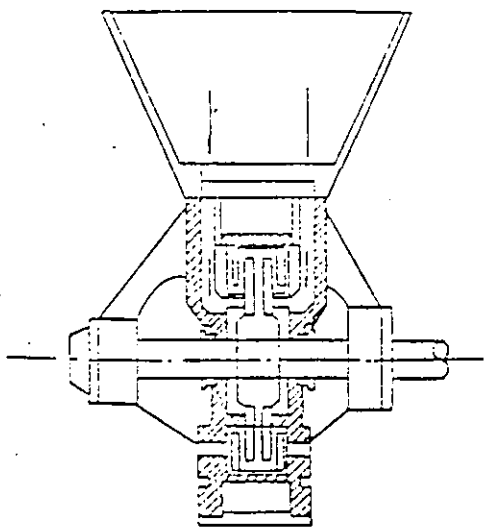
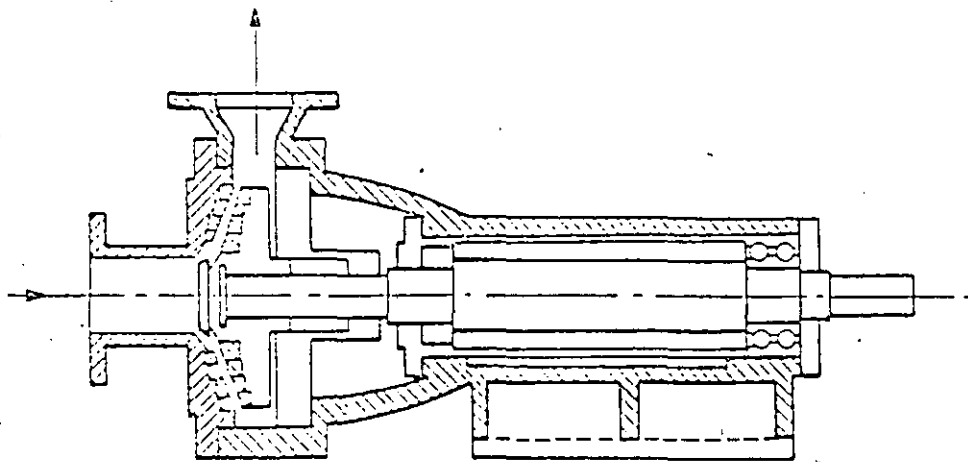


FIG. 13 ESQUEMA DE UN MOLINO DE CONOS



Aunque el tipo de máquina usada en la fabricación de la emulsión tiene gran importancia en el tamaño de las partículas o micelas de asfalto producidas, es también de gran importancia las temperaturas de fabricación del asfalto y del agua. En este sentido se recomiendan los siguientes cuidados :

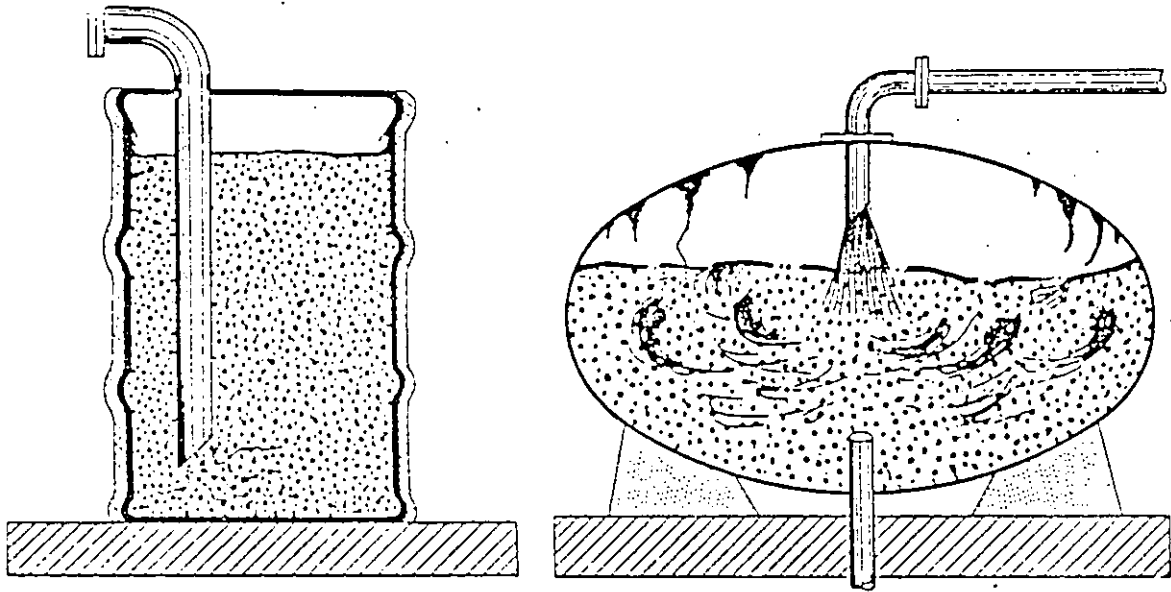
- La suma de las temperaturas del agua y del asfalto no debe sobrepasar los 195°C, para evitar que el agua hierva.
- La temperatura del agua debe oscilar entre los 30°C y los 60°C. No se consiguen mejores emulsiones por tratar de subir más la temperatura.

6) Propiedades básicas de las emulsiones asfálticas

Aparte de las características químicas, existe un grupo de características tecnológicas que condicionan su comportamiento como ligante para pavimento :

A) Estabilidad al almacenamiento : Aunque las emulsiones asfálticas son en general estables al almacenamiento, están sometidas a ciertas limitaciones en su manejo y almacenaje. Los problemas más frecuentes que se pueden producir son los siguientes :

- **Espumas**: los emulsionantes son capaces de crear espumas y por lo tanto, se debe tener cuidado en no mezclar aire con las emulsiones o provocar excesiva agitación en el transporte y trasvase, usando bombas que no aspiren aire (Fig. 14)
- **Natas y Sedimentos**: durante el almacenamiento se producen dos fenómenos. Por un lado, en la zona de contacto con el aire, se genera la rotura superficial formándose una película asfáltica que protege al resto de la emulsión. Por otro lado, se produce una decantación o sedimentación, aumentando la viscosidad en las zonas inferiores de los depósitos. Dicha sedimentación será mayor cuanto más grande sean la diferencia de densidades entre las fases dispersante y dispersa, y el tamaño de las micelas de asfalto.



ALMACENAJE CORRECTO

ALMACENAJE DEFECTUOSO

FIG. 14 — Llenado correcto y defectuoso de una cisterna.

B) Estabilidad ante los agregados: se trata de un problema complejo, relacionado con la forma de rotura al entrar en contacto con los agregados. Depende tanto del tipo de emulsion como del tipo de agregado. El tipo, la finura y humedad del agregado, y por otro lado el emulsionante, PH y granulometria de la emulsion determinaran dicha estabilidad. (Fig. 15 y 16)

C) Adhesividad: podemos definir la adhesividad como la capacidad de un ligante asfaltico para fijarse a un agregado recubriendolo, sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua. (Fig. 17)

La adhesividad depende en gran manera del agregado: características químicas, superficiales, de forma, humedad, etc. y de la emulsion asfaltica: asfalto utilizado, tipo y cantidad de emulsionante, del PH (valores proximos a 7 proporcionan mejores adhesividades pero menores estabilidades), de la granulometria de las particulas de la emulsion y su estabilidad a la rotura.

D) Viscosidad: la mayor o menor fluidez de la emulsion asfaltica es tambien una característica importante a tener en cuenta en cada tipo de tratamiento en un pavimento.

En general depende fundamentalmente del contenido de ligante asfaltico, aunque varia tambien con la naturaleza del emulsionante y su cantidad, asi como con la granulometria de la emulsion. (Fig. 18 y 19)

7) Ensayos de las emulsiones asfálticas

Los ensayos mas comunes que se realizan a las emulsiones asfalticas son :

- Destilación (contenido de agua y asfalto)
- Viscosidad
- Sedimentación
- Demulsibilidad
- Mezcla con cemento
- Indice de rotura

FIG. 15 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE EMULSIONANTE

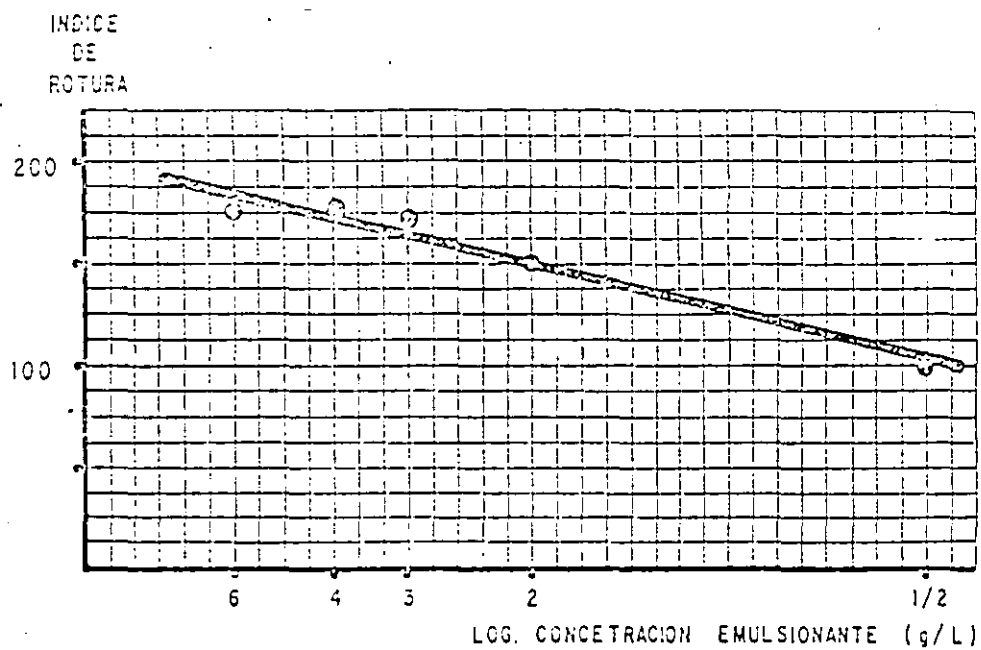
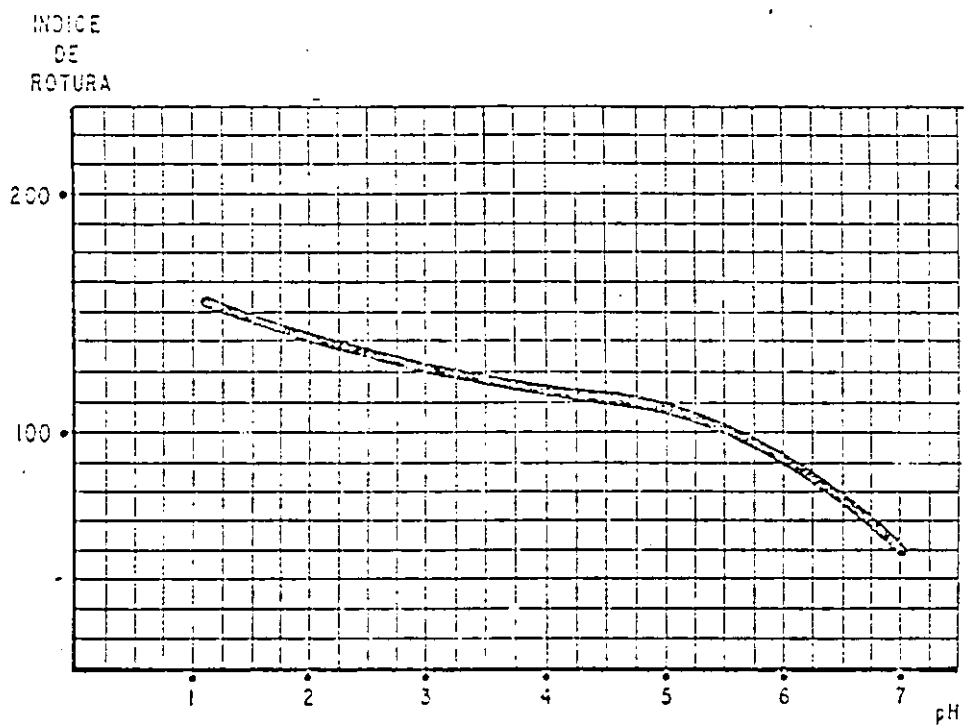
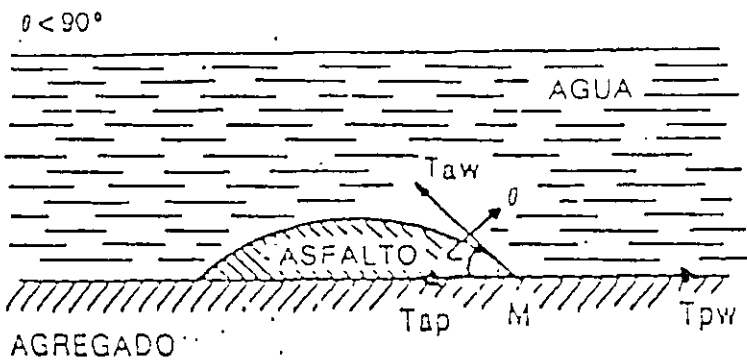


FIG. 16 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA CON EL PH
DE LA FASE ACUOSA

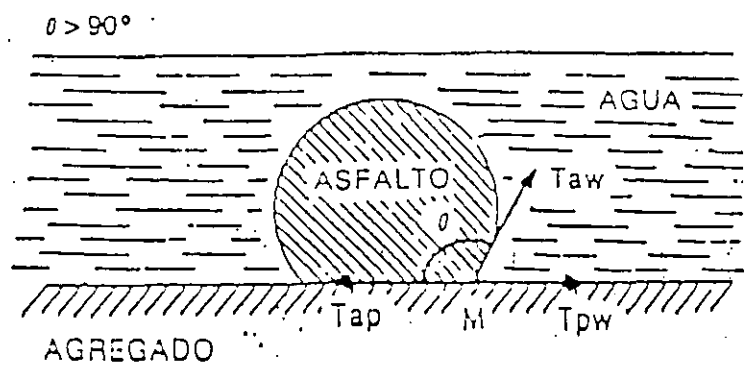




$$T_{pw} = T_{ap} + T_{aw} \cos \theta$$

$$T_{ap} < T_{aw}$$

(a)



$$T_{pw} = T_{ap} - T_{aw} \cos \theta$$

$$T_{ap} > T_{pw}$$

(b)

En la figura:

T_{aw} = Tensión Interfacial entre el asfalto y el agua

T_{ap} = Tensión Interfacial entre el asfalto y el material pétreo (agregado)

T_{pw} = Tensión interfacial entre el material pétreo y el agua

θ = Angulo de adhesión

FIG. 17 FUERZAS INTERFACIALES QUE ACTUAN EN EL PUNTO DE CONTACTO ASFALTO-AGREGADO.

FIG. 18 DIAGRAMAS VISCOSIDAD TEMPERATURA DE
DIFERENTES LIGANTES ASFALTICOS

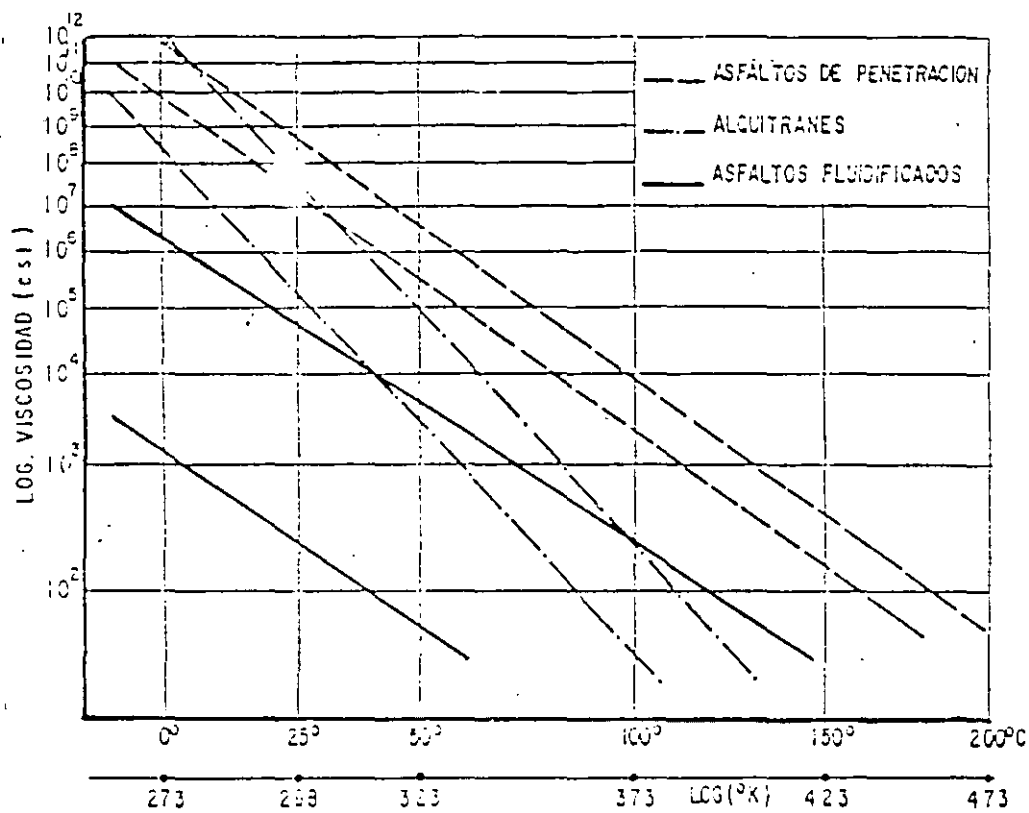
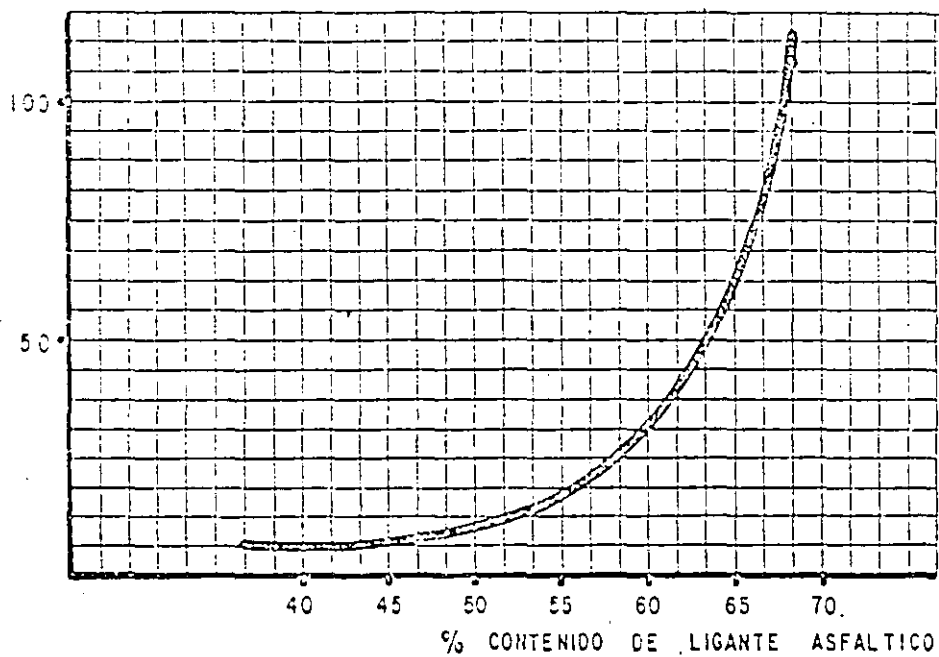


FIG. 19 VISCOSIDAD DE UNA EMULSION EN FUNCION
DEL CONTENIDO DE LIGANTE

VISCOSIDAD (C.P.)
A. 25°C



- Análisis granulométrico
- Tamizado
- Determinación del agua
- Determinación del PH
- Envuelta de agregado

Sobre el asfalto residual que queda como producto de la destilación se realizan habitualmente los ensayos necesarios para calificar su calidad, como son: penetración, ductilidad, solubilidad, etc.

8) Emulsiones asfálticas especiales

Con este tipo de emulsiones se persigue mejorar las cualidades de los asfaltos base, principalmente en lo que se refiere a adhesividad, susceptibilidad térmica y aumento de la resistencia a la deformación y tiempo de aplicación de las cargas.

Las emulsiones especiales podemos dividir las en dos grupos:

A) Emulsiones asfalto-caucho: para su fabricación se utiliza la emulsión de caucho (latex), que se incorpora a la emulsión asfáltica de dos formas, mezclando directamente el latex con la emulsión, o bien adicionando el latex al agua con la que se fabrica la emulsión. Existe también la posibilidad de fabricar emulsiones con asfaltos modificados previamente con caucho en polvo o con otros polímeros.

B) Emulsiones aniónicas de reología modificada (alta flotación): son aquellas en las que, mediante el empleo de ciertos emulsionantes aniónicos y técnicas operativas adecuadas, se aprovecha el proceso del emulsionamiento para obtener una emulsión cuyo asfalto residual tenga un comportamiento reológico distinto al que tenía el ligante original empleado en la fabricación de la emulsión, es decir que con este tipo de emulsiones podemos conseguir que el asfalto residual tenga valores de susceptibilidad térmica y penetración, mucho menores que el asfalto de origen.

9) Especificaciones

En las tablas 1.2.3.4. podemos apreciar las especificaciones solicitadas para distintos tipos de emulsiones.

TARLA 1 . NORMAS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | |
|---|--------------------|---------|-------------------|-------------------|--------|
| | Romplimento Rápido | | Romplimento Medio | Romplimento Lento | |
| | RR-1 | RR-2 | RM-2 | RL-1 | RL-2 |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, seg | 20-100 | — | 100 mín. | 20-100 | 20-100 |
| Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, seg | — | 75-400 | — | — | — |
| Residuo de la destilación, % en peso, mínimo | 57 | 62 | 62 | 57 | 57 |
| Asentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo .. | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Dermulsibilidad, 35 ml de 0.02N CaCl ₂ , % mínimo | 60 | 50 | — | — | — |
| 50 ml de 0.10N CaCl ₂ , % máximo | — | — | 30 | — | — |
| Retenido en la malla No. 20, %, máximo | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Miscibilidad con cemento Portland, %, máximo | — | — | — | 2.0 | 2.0 |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | |
| Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg, grados | 100-200 | 100-200 | 100-200 | 100-200 | 40-90 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo .. | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 97.5 |
| Ductilidad, 25°C, cm, mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C a 40°C.

TABLA 2

ESTÁNDARES DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

| CARACTERISTICAS | GRADO | | | | | |
|--|---------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|--------|
| | Romplimiento Rápido | | Romplimiento Medio | | Romplimiento Lento | |
| | RR-2K | RR-3K | RM-2K | RM-3K | RL-2K | RL-3K |
| PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL | | | | | | |
| Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, seg | — | — | — | — | 20-100 | 20-100 |
| Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, seg | 20-100 | 100-400 | 50-500 | 50-500 | — | — |
| Residuo de la destilación, % en peso, mínimo | 60 | 65 | 60 | 65 | 57 | 57 |
| Asentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Retenido en la malla No. 20, %, máximo | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). — Prueba de resistencia al agua: Agregado seco, % de cubrimiento, mínimo Agregado húmedo, % de cubrimiento, mínimo | — | — | 80 60 | 80 60 | — | — |
| Miscibilidad con cemento Portland, %, máximo | — | — | — | — | 2 | 2 |
| Carga de la partícula | Positiva | Positiva | Positiva | Positiva | — | — |
| pH, máximo | — | — | — | — | 6.7 | 6.7 |
| Disolvente en volumen, por ciento, máximo | 3 | 3 | 20 | 12 | — | — |
| PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION | | | | | | |
| Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg, grados | 100-250 | 100-250 | 100-250 | 100-250 | 100-200 | 40-90 |
| Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| Ductilidad, 25°C, cm, mínimo | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C a 40°C. | | | | | | |

TABLA 3

EMULSIONES ANIONICAS

| CARACTERISTICAS | Unid. | Norma de Ensayo NLT | TIPOS | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---------------------|----------|------|----------|------|----------|------|-----------|-----------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | | | EAR-0 | | EAR-1 | | EAR-2 | | EAM | | EAL-1 | | EAL-2 | | EAI | |
| | | | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. |
| Viscosidad Saybolt Universal, a 25° C | s | 133/84 | | 100 | | | | | | | | | | | | |
| Furol, a 25° C | s | | | | 50 | 50 | | 40 | | | 100 | | 50 | | | 50 |
| Carga de las partículas | | 194/84 | Negativa | | Negativa | | Negativa | | Negativa | | Negativa | | Negativa | | Negativa | |
| Contenido de agua (en volumen) | % | 137/84 | | 53 | | 40 | | 35 | | 40 | | 45 | | 40 | | 50 |
| Betún asfáltico residual | % | 139/84 | 43 | | 60 | | 65 | | 57 | | 55 | | 60 | | 40 | |
| Fluidificante por destilación (en volumen) | % | 139/84 | | 7 | | 0 | | 0 | | 10 | | 8 | | 0 | | 20 |
| Sedimentación (a los 7 días) | % | 140/84 | | 10 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | | 10 |
| Tamizado (retenido en el tamiz 0,80 UNE) | % | 142/84 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 |
| Demulsibilidad (35 cm ³ de Cl ₂ Ca 0,02N) | % | 141/84 | 60 | | 60 | | 60 | | | | | | | | | |
| Mezcla con cemento | % | 144/84 | | — | | — | | — | | — | | — | | 2** | | — |
| Envuelta y resistencia al desplazamiento por el agua | | 196/84 | | | | | | | | | | | | | | |
| Envuelta árido seco | | | | — | | — | | — | | Buena | | — | | — | | — |
| Envuelta árido después del riego | | | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — |
| Envuelta árido húmedo | | | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — |
| Envuelta árido húmedo después del riego | | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — | |
| <i>Ensayos sobre el residuo de destilación</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penetración (25° C, 100 g, 5 s) | 0,1 mm | 124/84 | 130 | 200 | 130 | 200 | 130 | 200 | 130 | 250 | 130 | 200 | 130 | 200 | 200 | 300 |
| | | | — | — | 60* | 100* | 60* | 100* | — | — | 60* | 100* | 60* | 100* | — | — |
| Ductilidad (25° C, 5 cm ² /min) | cm | 126/84 | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | |
| Solubilidad en 1-1-1 Tricloroetano | % | 130/84 | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | |

** Estas emulsiones con residuos de destilación más duros se designan con el tipo correspondiente seguido de la letra "d".
 * Estas emulsiones que no cumplan este requisito podrán ser aceptadas previa justificación de su idoneidad para el uso a que se destinen.

TABLA 4

EMULSIONES CATIONICAS

| CARACTERISTICAS | Unid. | Norma de Ensayo NLT | TIPOS | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---------------------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|-----------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | | | ECR-0 | | ECR-1 | | ECR-2 | | ECR-3 | | ECM | | ECL-1 | | ECL-2 | | ECI | |
| | | | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. | Min. | Máx. |
| Viscosidad Saybolt Universal, a 25° C | s | 138/84 | | 100 | | | | | | | | | | | | | | |
| Furol, a 25° C | s | | | | 50 | | | | | | | | 100 | | 50 | | 50 | |
| Furol, a 50° C | s | | | | | 20 | | 50 | | | 20 | | | | | | | |
| Carga de las partículas | | 194/84 | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | |
| Contenido de agua (en volumen) | % | 137/84 | | 53 | | 43 | | 38 | | 33 | | 35 | | 45 | | 43 | | 50 |
| Betún asfáltico residual | % | 139/84 | 43 | | 57 | | 62 | | 66 | | 59 | | 55 | | 57 | | 40 | |
| Fluidificante por destilación (en volumen) | % | 139/84 | | 7 | | 5 | | 5 | | 2 | | 12 | | 10 | | 0 | 10 | 20 |
| Sedimentación (a los 7 días) | % | 140/84 | | 10 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | | 10 |
| Tamizado (retenido en el tamiz 0,80 UNE) | % | 142/84 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 | | 0,10 |
| Mezcla con cemento | % | 144/84 | | — | | — | | — | | — | | — | | — | | 2** | | — |
| Envuella y resistencia al desplazamiento por el agua: | | 196/84 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Envuella árido seco | | | | — | | — | | — | | — | | Buena | | — | | — | | — |
| Envuella árido después del riego | | | | — | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — |
| Envuella árido húmedo | | | | — | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — |
| Envuella árido húmedo después del riego | | | | — | | — | | — | | — | | Aceptable | | — | | — | | — |
| <i>Ensayos sobre el residuo de destilación</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penetración (25° C, 100 g, 5 s) | 0,1 mm | 124/84 | 130 | 200 | 130 | 200 | 130 | 200 | 130 | 200 | 130 | 250 | 130 | 200 | 130 | 200 | 200 | 300 |
| | | | — | — | 60* | 100* | 60* | 100* | 60* | 100* | — | — | 60* | 100* | 60* | 100* | — | — |
| Ductilidad (25° C, 5 cm/min) | cm | 126/84 | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | | 40 | |
| Solubilidad en 1-1-1 Tricloroetano | % | 130/84 | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | | 97,5 | |

* Estas emulsiones con residuos de destilación más duros se designan con el tipo correspondiente seguido de la letra "d".

** Las emulsiones que no cumplan este requisito podrán ser aceptadas previa justificación de su idoneidad para el uso a que se destinen.

III. APLICACION DE LAS EMULSIONES EN PAVIMENTOS

De acuerdo con el tipo de aplicacion que utilicemos y el sistema de puesta en obra, podemos establecer la siguiente clasificacion de tratamiento que se realizan con emulsiones asfalticas :

| | | |
|-------------------------------|----------------------|---|
| | Riegos sin Agregados | Impregnación Liga Curado Antipolvo |
| TRATAMIENTOS SUPERFICIALES | Riegos profundos | Semi-penetración Penetración |
| | Riegos con agregados | Riego monocapa, bicapa y multicapa |
| MEZCLAS ASFALTICAS | | Estabilización de Suelos Grava - Emulsión Mezclas Densas Mezclas Abiertas Lechadas Asfálticas |

1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

1.1. RIEGOS SIN AGREGADOS

Estos riegos, también llamados en negro, se usan generalmente como tratamientos auxiliares. Por sí mismos para veces constituyen la superficie de rodamiento de un pavimento.

Podemos diferenciar los siguientes tipos :

A) Riegos de impregnación.

Los riegos de impregnación se efectúan sobre bases hidráulicas o capas granulares no tratadas previamente.

Su función es conseguir una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, limpia de polvo y partículas minerales sueltas, para poder extender adecuadamente las capas asfálticas siguientes.

Se utilizan ligantes asfálticos de escasas viscosidad y que además esta característica se mantenga durante cierto tiempo para que puedan penetrar por capilaridad en las bases. Esto se consigue utilizando asfaltos fluidificados tipo FM, o emulsiones asfálticas de rompimiento lento y alto contenido de fluidificantes con dotaciones de aproximadamente 1kg. por m².

El resultado positivo de este tipo de tratamiento, dependerá, en gran medida, de la cantidad de finos que tenga la base a tratar pues estos entorpecen la penetración del asfalto.

B) Riegos de liga

Consiste en la aplicación de una película lo más fina posible de ligante sobre una superficie asfáltica o impermeable, para conseguir una buena unión con la capa asfáltica que se va a poner en obra inmediatamente, sobre la citada superficie.

Los ligantes asfálticos adecuados deben ser poco viscosos, con objeto de conseguir un buen reparto sobre la superficie, con dotaciones escasas (del orden de 200 a 300 kg/m² de ligante asfáltico residual); además no deben contener fluidificantes en exceso, ya que estos reblandecen las capas asfálticas inferior y la que se va a colocar en obra y necesitan un largo período de curado o pérdida de solventes, que va en perjuicio de la rapidez de la obra.

Por ello la tendencia mundial es utilizar casi exclusivamente emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, poco viscosas y poco o nada fluidificadas, aunque también se han utilizado asfaltos rebajados de fraguado rápido tipo FR.

C) Riegos de curado

Se utilizan como protección para la pérdida por evaporación del agua necesaria para el fraguado de bases estabilizadas con cemento o suelos-cemento. Para ello se emplean emulsiones de rompimiento rápido sin fluidificantes, que crean una película superficial protectora, con dotaciones de 600 a 800 grs/m² de asfalto residual. En algunas ocasiones se requiere que este riego de curado sirva a la vez como riego de impregnación, en estos casos se utilizarán emulsiones más fluidificadas.

D) Riegos antipolvo

Se trata de riegos de impregnación realizados sobre caminos de poco tránsito, que van a quedar en operación sin ningún tratamiento asfáltico posterior. Se suelen utilizar emulsiones de rompimiento lento y poco viscosas, diluidas en agua, con dotaciones de 500 grs/m² de emulsión disuelta en 0.5 litros de agua.

1.2. RIEGOS PROFUNDOS

Antes de emplearse las mezclas asfálticas en pavimentos, el único sistema para disponer de capas espesas tratadas con ligantes asfálticos consistía en conseguir que un ligante asfáltico frío o caliente penetrara entre los huecos de la capa granular, mojando y envolviendo las partículas de agregado.

Esta técnica está hoy en día en clara recesión debido a que se trata de un procedimiento muy artesanal, a la poca seguridad de conseguir un reparto uniforme del asfalto y a la escasa impermeabilidad que se alcanza con las capas tratadas de esta forma.

El sistema de colocación en obra, consiste en la sucesiva aplicación de capas de agregados debidamente compactadas y riegos asfálticos con ligantes que permitan la penetración en todo el espesor de cada capa de agregados.

Como ligantes asfálticos se utilizan asfaltos fluidificados o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido ligeramente fluidificadas con dotaciones de 1 kg. por m² y cm. de espesor del tratamiento.

1.3. RIEGOS ASFÁLTICOS CON AGREGADOS

Consisten en la aplicación de una o varias películas continuas de ligante asfáltico sobre la superficie a tratar y una o varias capas de agregado de cubrición de tamaño uniforme. Las capas de agregados estarán formadas por una sola gravilla en su espesor.

Los riegos con agregados se utilizan para dotar al pavimento de una superficie rugosa e impermeable, pudiendo colocarse tanto encima de una mezcla asfáltica, como de una base en caminos secundarios.

Este tipo de tratamiento es una técnica muy utilizada en la conservación de carreteras, estando limitado su uso en pavimentos urbanos, zonas de estacionamiento y pistas de aeropuertos debido a las molestias del rechazo de gravillas. Su utilización en autopistas se ha incrementado por el empleo de agregados de gran calidad y ligantes asfálticos modificados que permiten tratamientos de gran calidad y seguridad al usuario.

Los factores negativos más importantes para el empleo de los riegos asfálticos son: el mal estado de la superficie y el mal tiempo climatológico.

Una superficie con mala regularidad y con excesos puntuales de asfalto provocaran falta de calidad en el tratamiento.

Si bien los mejores resultados de estos tratamientos se producen en las épocas calidas, el uso de las emulsiones asfálticas amplía la temporada de trabajo, siendo especialmente indicados para el tiempo frío y húmedo, las técnicas bicapas inversas.

Según la cantidad de capas del tratamiento, este se puede clasificar en riego monocapa y riego multicapa. (Fig. 1)

Riegos monocapa :

Una sola película de asfalto y una sola capa de agregados. Caso especial de este tratamiento es el llamado monocapa doble engravillado, consistente en una sola aportación de ligante y dos capas de agregado de distinto tamaño, de forma que el pequeño rellena los huecos dejados por el agregado mayor.

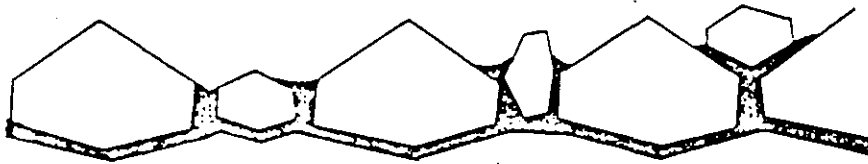
Riego multicapa :

Es una aplicación sucesiva de varios riegos monocapa con tamaños generalmente decrecientes en el agregado, con técnicas directa e inversa en la aplicación del ligante asfáltico.

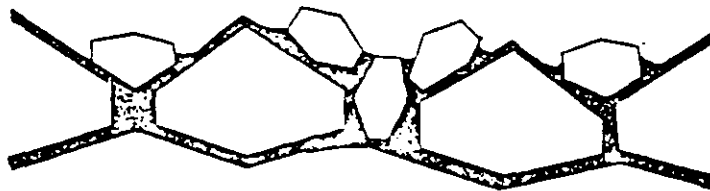
Los más usuales son los tratamientos bicapa.



RIEGO MONOCAPA



RIEGO MONOCAPA DOBLE ENGRAVILLADO



RIEGO BICAPA

(FIG. 1) TIPOS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MEDIANTE RIEGOS CON GRAVILLA

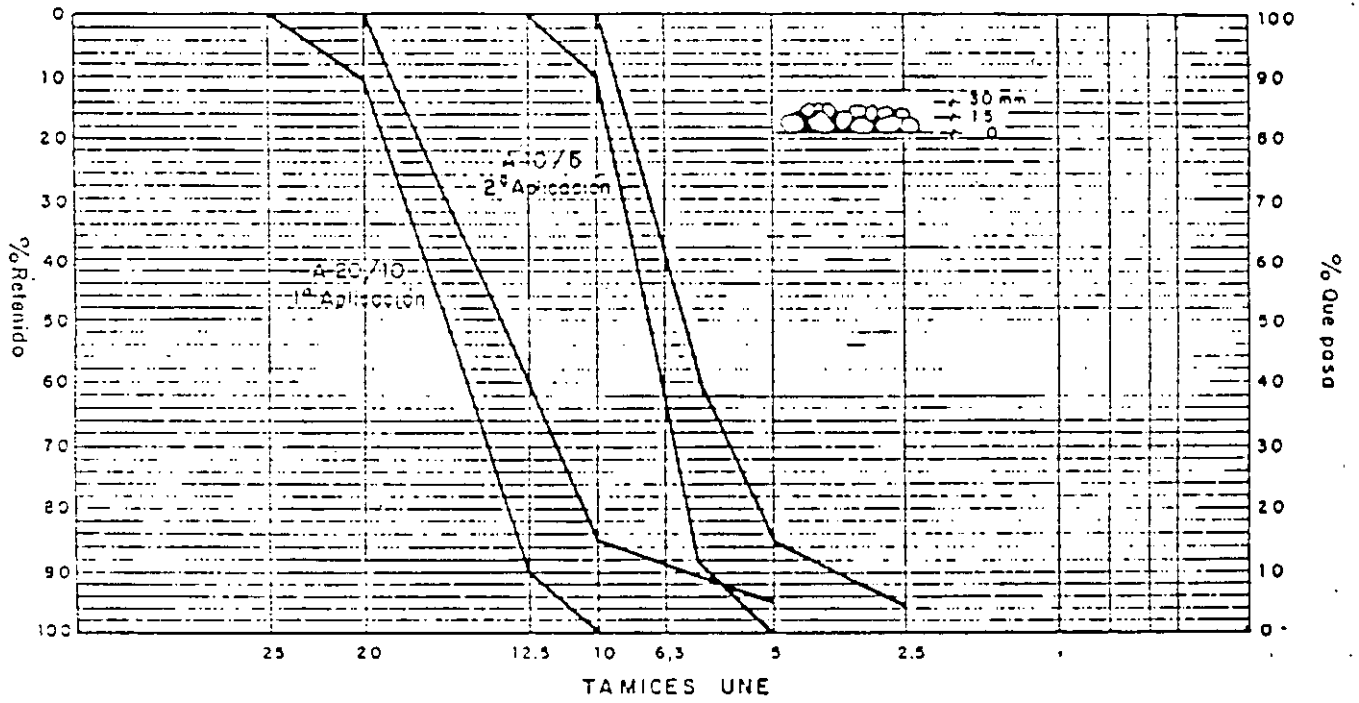
Agregados:

Del agregado depende la textura superficial del tratamiento y por lo tanto su rugosidad, que es factor esencial para la seguridad del usuario. Se deberán conseguir una buena textura inicial y que además se mantenga el mayor tiempo posible, para lo cual se analizarán los siguientes factores relativos al agregado:

- Dureza.-
- Forma.- Que influye en dos sentidos, pues las partículas en forma de lascas tienden a romperse con mayor facilidad que las cúbicas y además afectan a la dosificación del ligante asfáltico.
- Angularidad.- Que nos determinará el buen rozamiento interno de las partículas de agregado, indispensable para que trabaje adecuadamente este tipo de tratamiento. En general se considera que una partícula es adecuada cuando tiene, por lo menos, dos caras de fractura.
- Granulometría.- Es necesaria utilizar agregados cuyas partículas sean de dimensiones lo más uniforme posible. (Fig. 2)
- Limpieza.- Es uno de los factores fundamentales para obtener un buen resultado, pues un agregado sucio produce una falta de adherencia que ocasiona un desprendimiento prematuro de las partículas.
- Resistencia al pulimiento.- Nos da una medida de la evolución del coeficiente de rozamiento medio del tratamiento.
- Propiedades químicas.- Como composición mineralógica y alterabilidad, condiciones importantes en la elección del tipo de emulsión a utilizar.

Ligante asfáltico

(FIG. 2) HUSOS GRANULOMETRICOS DE AGREGADOS DE GRANULOMETRIA UNIFORME PARA UN DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL



Aunque a lo largo de la historia se han utilizado diversos tipos, en la actualidad las emulsiones son los ligantes asfálticos más usados en los riegos asfálticos. Las emulsiones asfálticas deberán ser de rompimiento rápido.

La tendencia actual es emplear emulsiones viscosas de rompimiento rápido, cuidando el contenido de emulsionante y el PH del agua, en función de las características de los agregados a utilizar.

En los últimos años, se han empleado emulsiones fabricadas con ligantes mejorados, generalmente con elastómeros o bien emulsiones modificadas en sí mismas (Emulsiones de reología modificada), para conseguir mejores propiedades de viscosidad, adherencia, y susceptibilidad térmica.

DOSIFICACION Y PROYECTO

Los sistemas de dosificación de los tratamientos superficiales se basan en métodos teóricos y empíricos. (FIG 9, 10, 11, 12)

El tipo de técnica empleada en la ejecución de los tratamientos implica una serie de dispersiones en cadena respecto a las dosificaciones teóricas. Dichas dispersiones son favorecidas por diversos factores, como son: variación de la permeabilidad de la superficie del soporte, variación de la extensión de ligante, variación en la limpieza y dotación de la gravilla, etc.

El método teórico desarrollado por Hanson se basa en que al ser extendidas las gravillas estas quedan apoyadas irregularmente, quedando un 50% de huecos en la capa, el paso de los compactadores y vehículos disminuye este porcentaje al 20%, quedando las gravillas apoyadas por su dimensión mayor por lo que el espesor medio está determinado por la "Media dimensión menor" de las partículas.

La "Media dimensión menor" determina la dotación de agregado y ligante asfáltico y se calcula a partir del tamaño medio del agregado y su índice de lajas, según el ábaco 1

(FIG. 9). SIMPLES TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON ÁRIDOS DE GRANULOMETRÍA UNIFORME NORMAL (PG-3/75)

| A R I D O | | LIGANTE RESIDUAL kg/m ³ | | | |
|-----------|------------------|------------------------------------|---|---|---|
| Tipo | l/m ³ | B 150/200 RC 5 MC 5 | RC 4 MC 4 AQ 54 EAR 2 ECR 2 | RC 3 MC 3 AQ 48 EAR 2 ECR 2 | RC 2 MC 2 AQ 38 EAR 1 ECR 1 |
| A 25/13 | 17-19 | 1,7-2,1 | 1,7-2,1 | | |
| A 20/10 | 12-14 | 1,3-1,8 | 1,3-1,8 | | |
| A 13/7 | 8-10 | | 0,9-1,3 | 0,9-1,3 | |
| A 10/5 | 6-8 | | | 0,7-1,1 | 0,7-1,1 |
| A 6/3 | 5-7 | | | | 0,6-0,9 |
| A 5/2 | 4-6 | | | | 0,5-0,75 |

(FIG. 10) SIMPLES TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON ÁRIDOS DE GRANULOMETRÍA UNIFORME ESPECIAL (PG-3/75)

| A R I D O | | LIGANTE RESIDUAL kg/m ³ | | | |
|-----------|------------------|------------------------------------|---|---|---|
| Tipo | l/m ³ | B 150/200 RC 5 MC 5 | RC 4 MC 4 AQ 54 EAR 2 ECR 2 | RC 3 MC 3 AQ 46 EAR 2 ECR 2 | RC 2 MC 2 AQ 38 EAR 1 ECR 1 |
| AE 20/10 | 10-14 | 1,1-1,4 | 1,1-1,4 | | |
| AE 13/7 | 8-10 | | 0,8-1,2 | 0,8-1,2 | |
| AE 10/5 | 6,5-8 | | | 0,75-1,1 | 0,75-1,1 |
| AE 6/3 | 5,5-7 | | | 0,65-0,85 | 0,65-0,85 |
| AE 5/2 | 4,5-5,5 | | | | 0,4-0,7 |

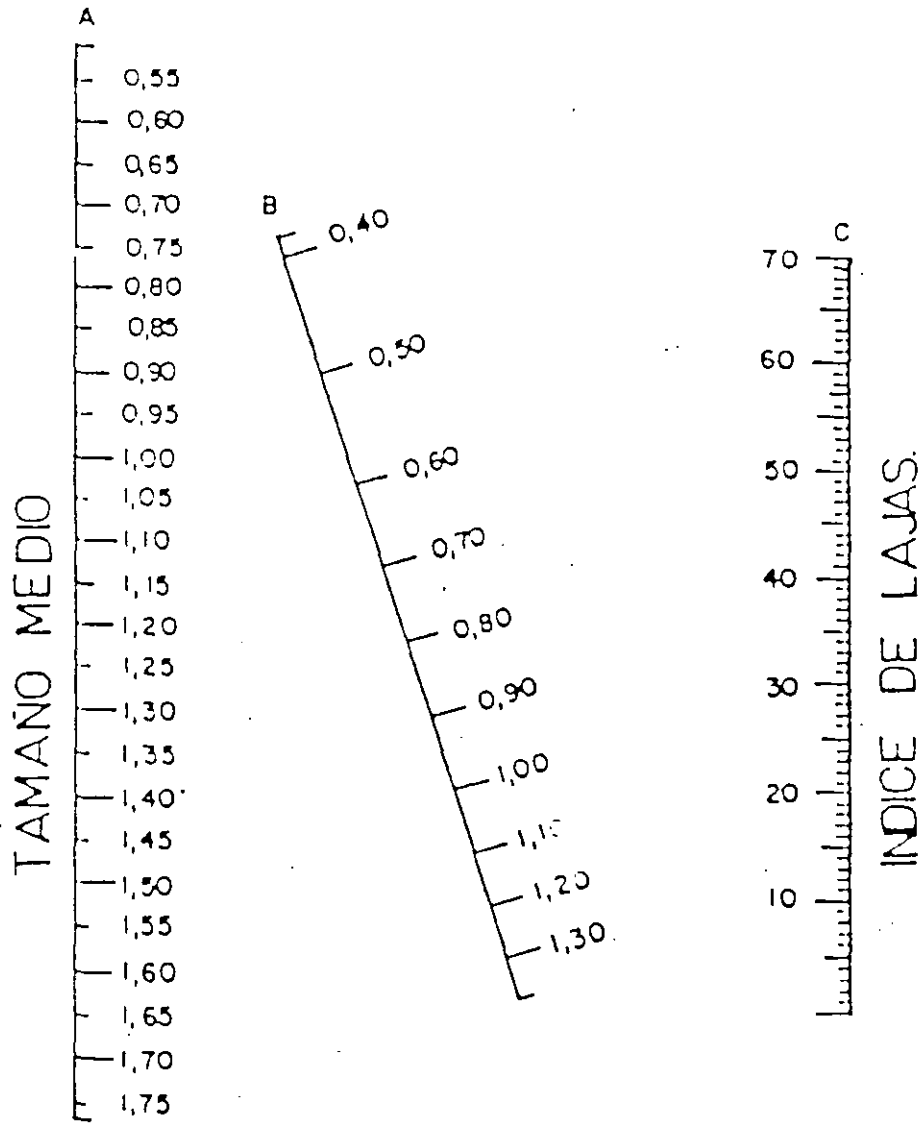
(FIG. 11) DOBLES TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON ÁRIDOS DE GRANULOMETRÍA UNIFORME NORMAL (PG-3/75)

| | A R I D O | | LIGANTE RESIDUAL | |
|---------------|-----------|------------------|---|-------------------|
| | Tipo | l/m ² | Tipo | kg/m ² |
| 1ª Aplicación | A25/13 | 17-19 | B150/200 RC5 MC5 | 1,7-2,1 |
| 2ª Aplicación | A13/7 | 8-10 | RC4 MC4 RC3 MC3 AQ54 AQ46 EAR2 ECR2 | 1,0-1,5 |
| 1ª Aplicación | A20/10 | 12-14 | B150/200 RC5 MC5 RC4 MC4 AQ54 EAR2 ECR2 | 1,3-1,8 |
| 2ª Aplicación | A10/5 | 6-8 | HC3 MC3 RC2 MC2 AQ46 AQ38 EAR2 EAR1 ECR2 ECR1 | 0,8-1,3 |
| 1ª Aplicación | A13/7 | 8-10 | RC4 MC4 RC3 MC3 AQ54 AQ46 EAR2 ECR2 | 0,9-1,3 |
| 2ª Aplicación | A6/3 | 5-7 | RC2 MC2 AQ38 EAR1 ECR1 | 0,7-1,0 |

(FIG. 12) DOBLES TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON ÁRIDOS DE GRANULOMETRÍA UNIFORME ESPECIAL (PG-3/75)

| | A R I D O | | LIGANTE RESIDUAL | |
|---------------|-----------|------------------|---|-------------------|
| | Tipo | l/m ² | Tipo | kg/m ² |
| 1ª Aplicación | AE 20/10 | 10-14 | B150/200 AQ54 RC5 MC5 RC4 MC4 EAR2 ECR2 | 1,0-1,4 |
| 2ª Aplicación | AE 10/5 | 6,5-8 | RC3 MC3 RC2 MC2 AQ46 AQ38 EAR2 ECR2 EAR1 ECR1 | 0,7-1,1 |
| 1ª Aplicación | AE 13/7 | 8-10 | RC4 MC4 RC3 MC3 AQ54 AQ46 EAR2 ECR2 | 0,8-1,2 |
| 2ª Aplicación | AE 6/3 | 5,5-7 | RC3 MC3 RC2 MC2 AQ46 AQ38 EAR2 ECR2 EAR1 ECR1 | 0,6-0,9 |

DETERMINACION DE LA "MEDIA DIMENSION MENOR"



METODO : UNIR A con C. LEER
"MEDIA DIMENSION MENOR" en B.

Posteriormente se aplican los factores de correccion a la media dimension menor. Las dotaciones de agregado y ligante se calculan mediante el ábaco 2 y tabla 1

Cuando el tratamiento se realiza con emulsiones asfálticas el porcentaje de ligante asfáltico obtenido podra disminuirse en un 10-20%.

De los metodos empiricos, uno de los mas conocidos es el llamado "Regla del decimo":

Siendo d y D los tamaños minimo y maximo del agregado, expresado en mms. las dotaciones son :

$$\text{Ligante asfáltico residual : } \frac{1}{10} \times \frac{(d+D)}{2} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{Agregado : } \frac{(d+D)}{2} \text{ lts/m}^2$$

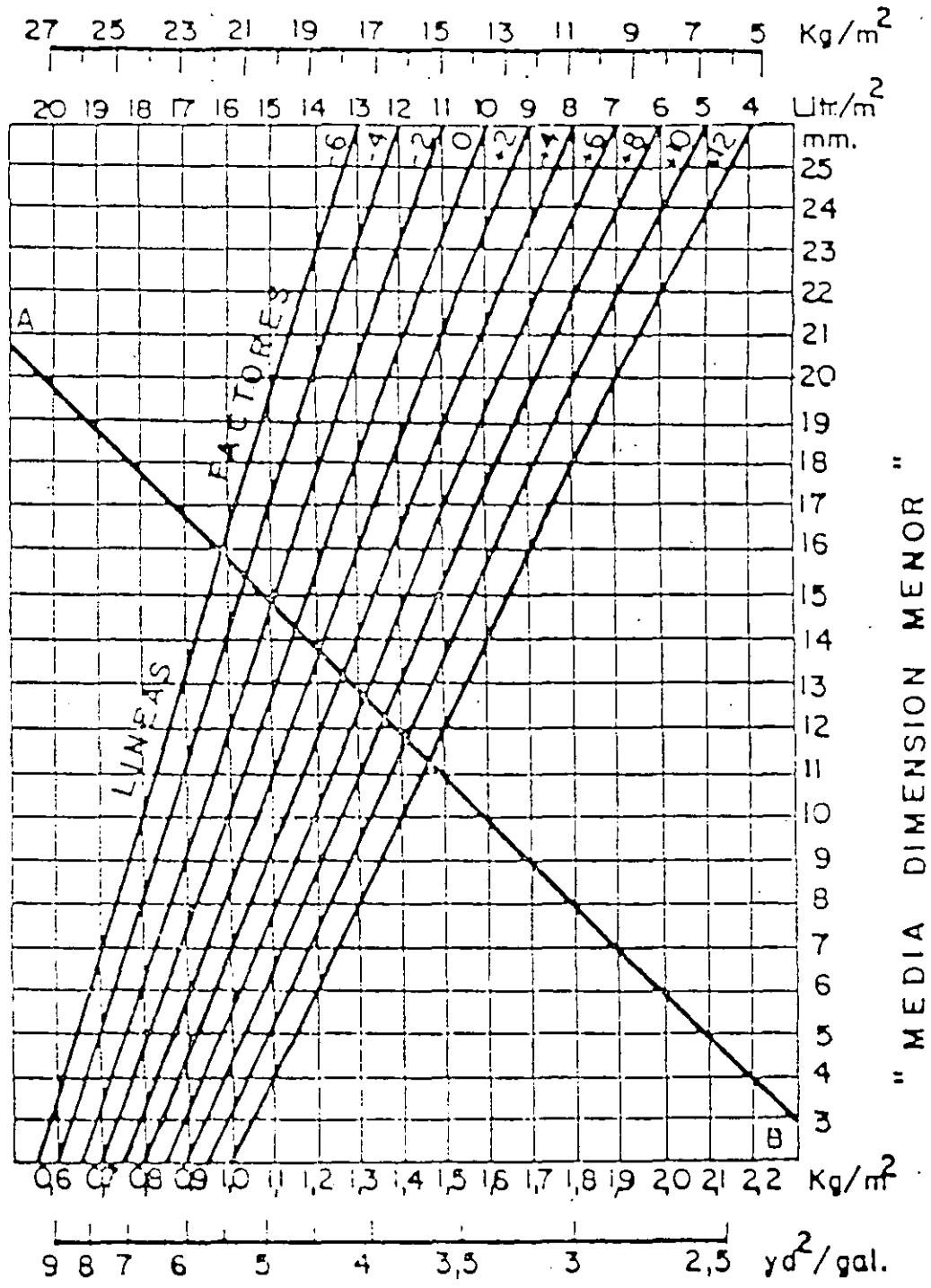
Las dotaciones de ligante asfáltico se corrigen en funcion de las condiciones particulares (10% en mayor o menor).

EJECUCION DE LOS RIEGOS CON AGREGADOS

Antes de abordar las operaciones especificas del tratamiento se debe prestar atencion a la superficie a tratar. Para conseguir un trabajo de calidad, sera necesario contar con una superficie que disponga de un perfil en buenas condiciones, en caso contrario habra que recurrir a operaciones previas de renivelacion y bacheo, asi como a un barrido, si es necesario.

Posteriormente se procede a la aplicacion de la emulsion asfáltica. La emulsion se debe aplicar pulverizada sobre toda la superficie a tratar, con dotacion adecuada. Para este fin se utilizan cisternas con tren de riego o lanza manual. (Fig. 3 y 4)

ARIDO DE CUBRICION



" MEDIA DIMENSION MENOR "

DOTACION DE LIGANTE

TRAFICO (IMD)

0- 100
100- 500
500-1 000
1 000-3 000
3 000-6 000
> 6 000

FACTOR CORRECTOR

+ 3
+ 1
0
- 1
- 2
- 3

SUPERFICIE EXISTENTE

Base sin tratar
Base bituminosa muy pobre
Base bituminosa pobre
Superficie bituminosa normal
Superficie bituminosa muy rica

FACTOR CORRECTOR

+ 6
+ 4
0
- 1
- 3

TIPO DE GRAVILLAS

Redondas o polvorientas
Cúbicas
Preconvueltas

FACTOR CORRECTOR

+ 2
0
- 2

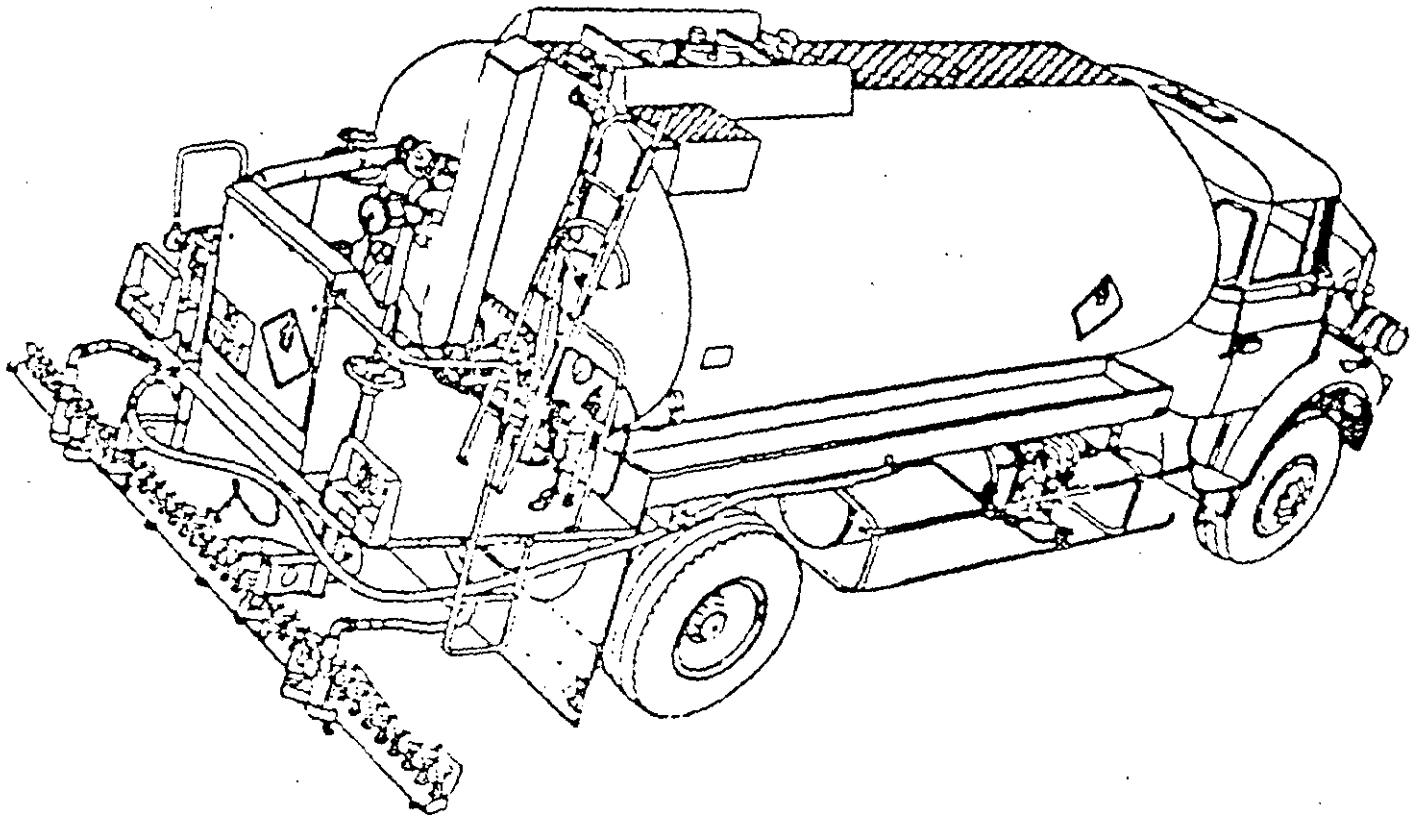
CONDICIONES CLIMATOLOGICAS

Húmeda y fría
Húmeda y cálida
Templada
Seca y caliente
Seca y muy caliente

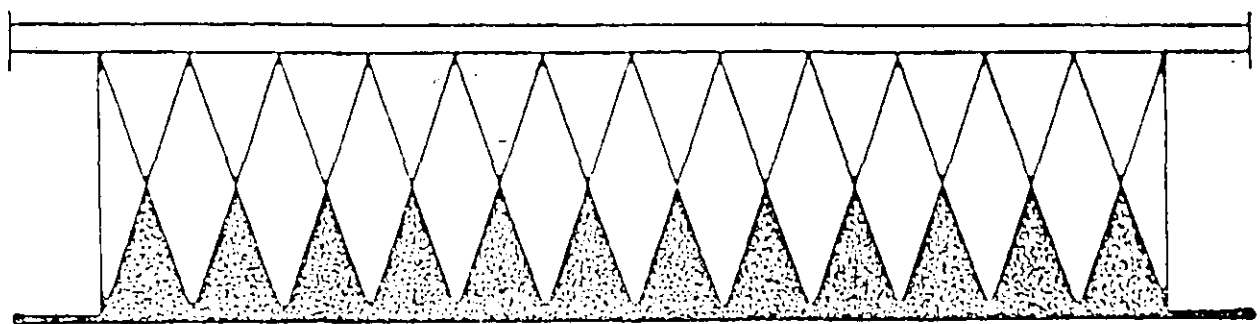
FACTOR CORRECTOR

+ 2
+ 1
0
- 1
- 2

TABLA 1



(FIG. 3) CISTERNA PARA RIEGO DE LIGANTE

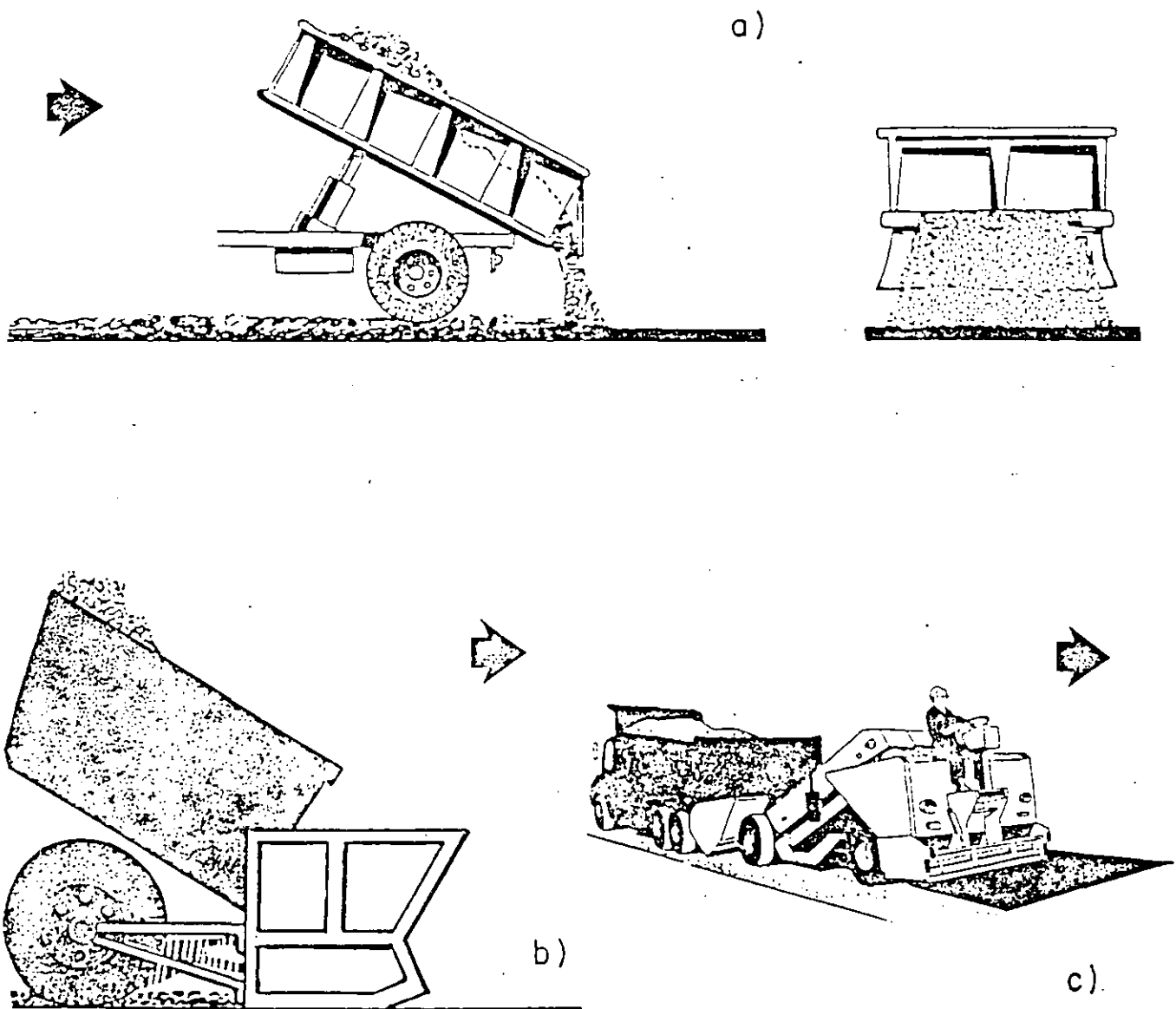


(FIG. 4) — Disposición correcta de los difusores extremos.

inmediatamente después de la emulsión se extiende el agregado, evitando así que la emulsión rompa antes de la aportación del mismo, lo cual provocaría una mala adherencia. El equipo que se utiliza para la extensión del agregado es muy variado, aunque podemos clasificarlo dentro de cuatro grupos : (FIG 5)

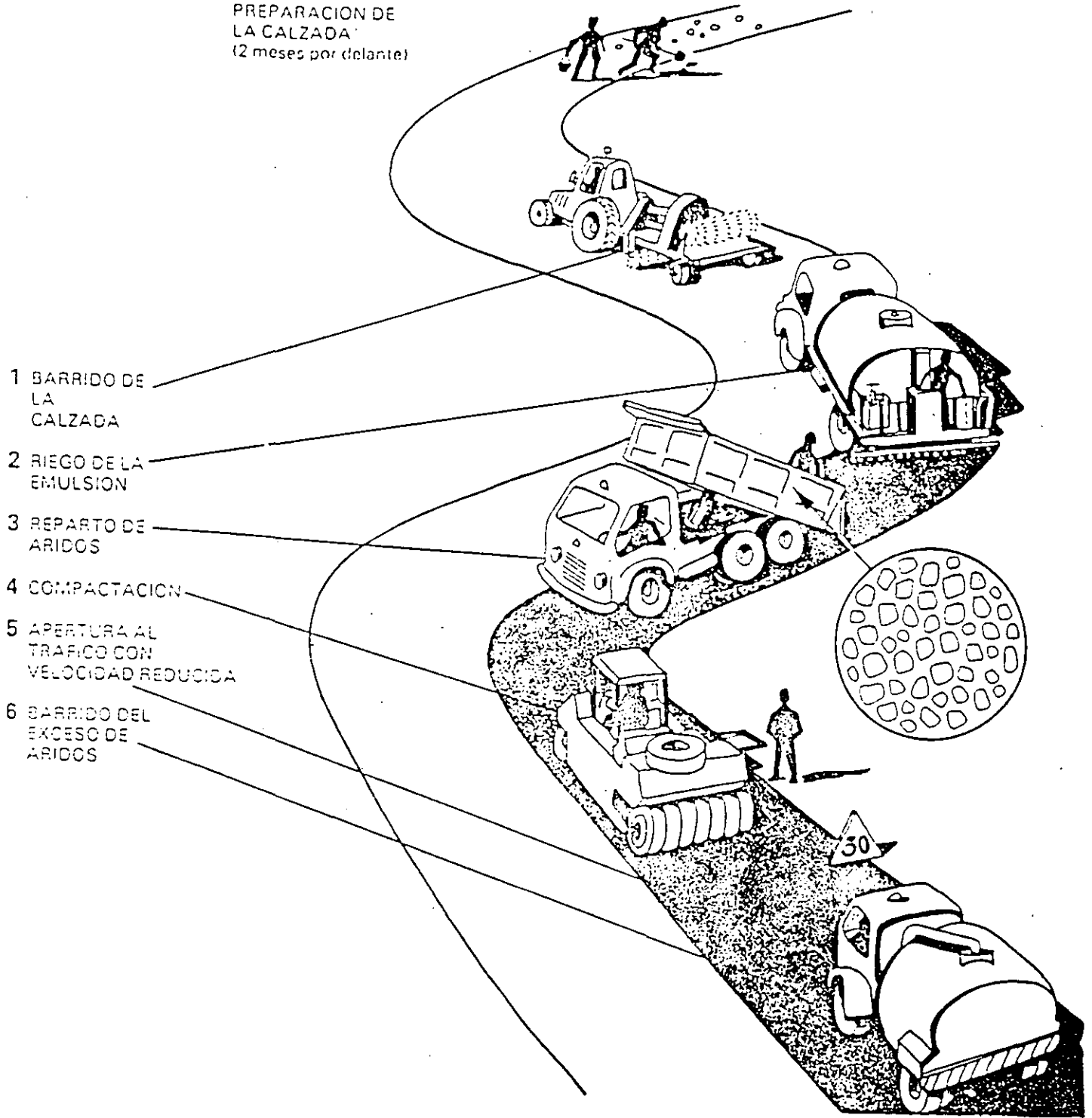
- Distribuidores centrifugos de arena.
- Repartidores adosados a las cajas de los camiones.
- Repartidores remolcados por camiones.
- Repartidores autopropulsados.

La compactación tiene que ser también una operación inmediata a la extensión del agregado, de manera que se pueda aprovechar la baja viscosidad de que todavía dispone el ligante. En la actualidad se prefiere que la compactación sea hecha por compactares de neumáticos aunque, principalmente en riegos multicapa, parece conveniente dar una primera pasada con un compactador liso metálico ligero y complementar la compactación con el neumático. (FIG 6.7.8)



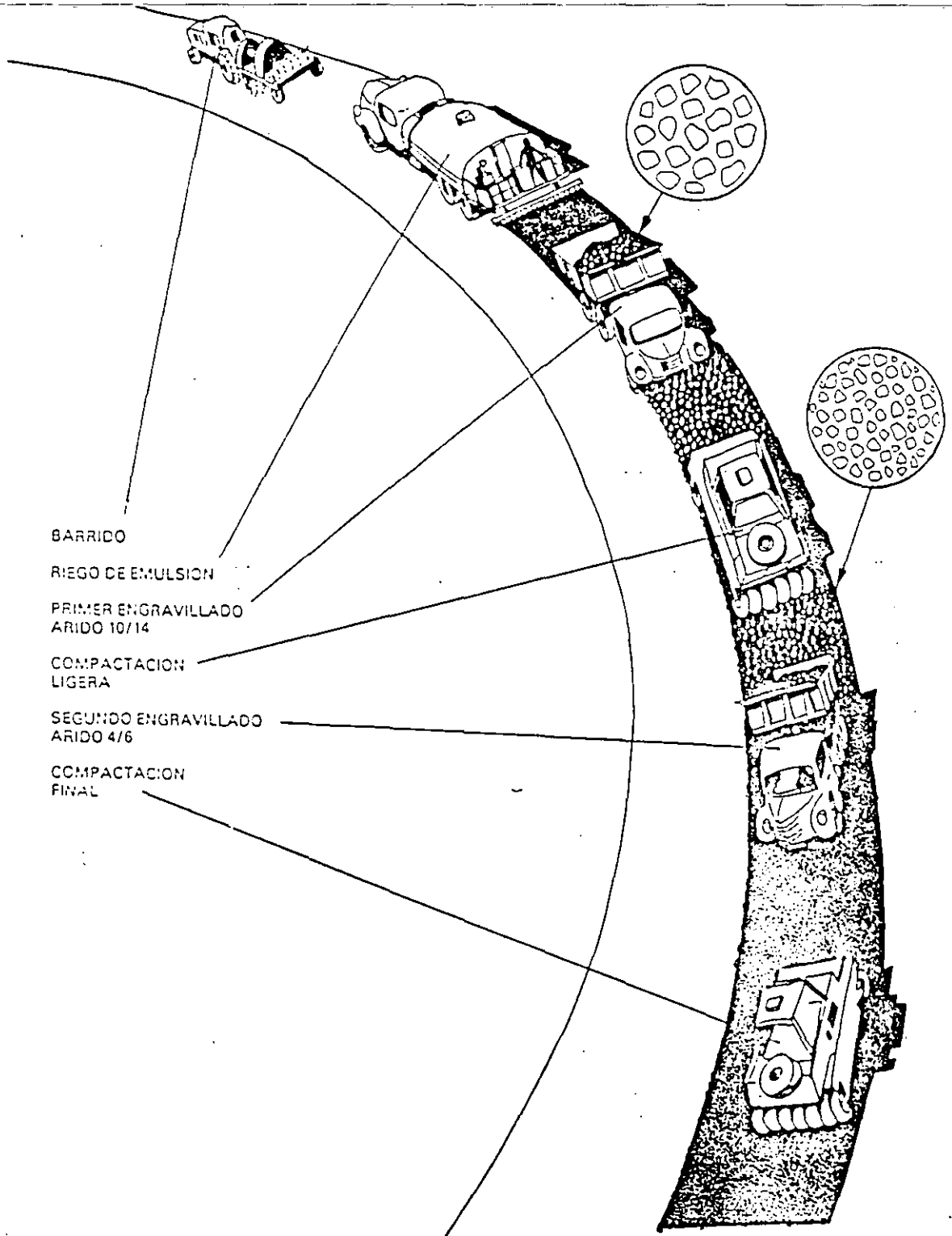
(FIG. 5) ESQUEMAS DE DIVERSOS TIPOS DE EXTENDEDORAS DE GRAVILLAS:
 a) DE COMPUERTA ACOPLADA A LA CAJA DEL CAMION; b) CON TOLVA
 EMPUJADA POR EL CAMION; c) AUTOPROPULSADA

PREPARACION DE
LA CALZADA
(2 meses por delante)

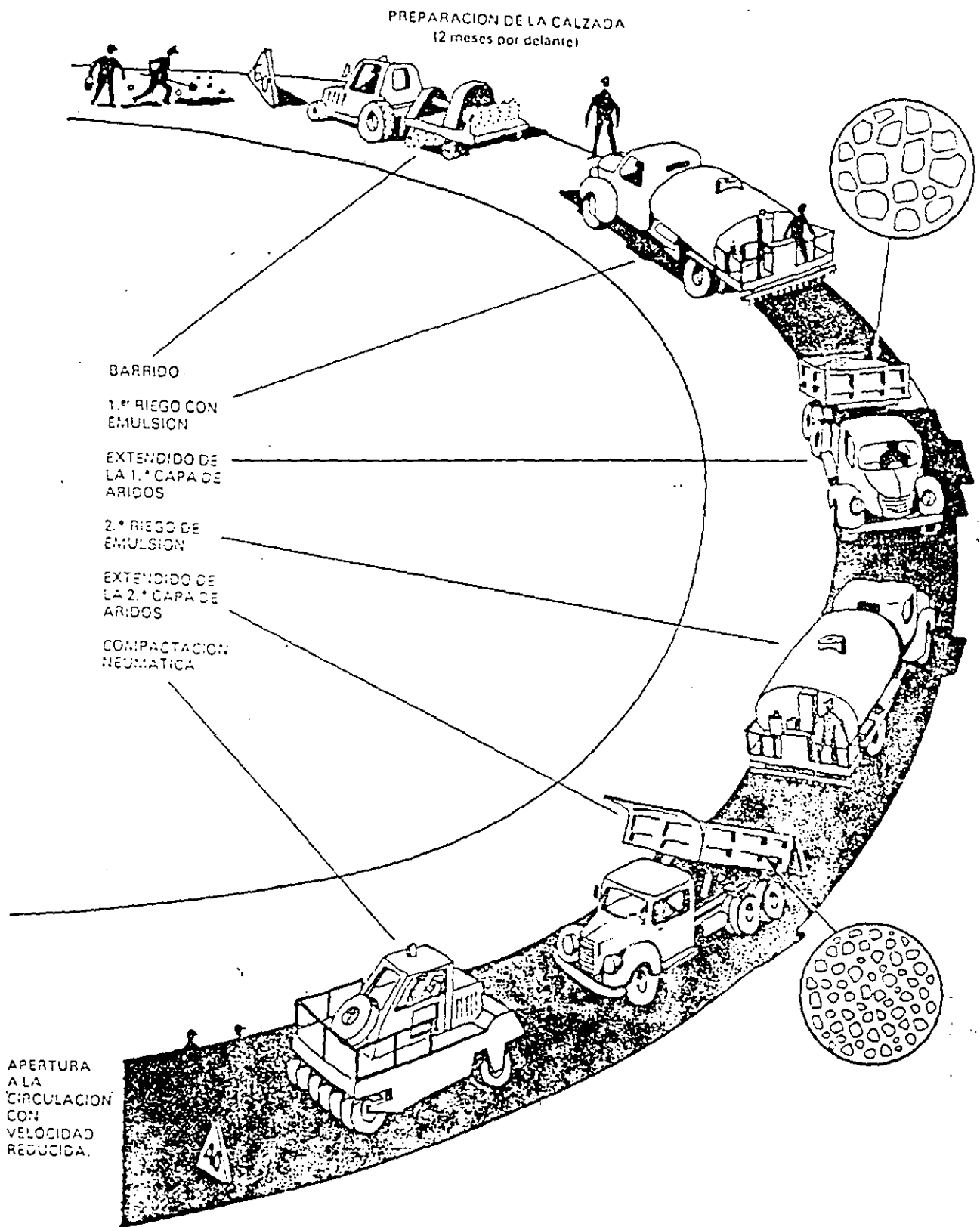


(FIG. 6) ESQUEMA DE EJECUCION DE UN TRATAMIENTO MONOCAP

ESQUEMA DE TRATAMIENTO MONOCAPA DOBLE ENGRAVILLADO



(FIG. 7) ESQUEMA DE EJECUCION DE UN TRATAMIENTO MONOCAPA DOBLE ENGRAVILLADO



(FIG. 8) ESQUEMA DE EJECUCION DE UN TRATAMIENTO BICAPA

MEZCLAS ASFÁLTICAS

GENERALIDADES

Se denominan mezclas asfálticas a las constituidas por un ligante asfáltico en película continua que envuelve a todas las partículas de un agregado de cualquier granulometría. Dentro de esta definición se incluyen :

- Los mástic asfálticos, constituidos por finos y asfalto.
- Los morteros asfálticos, constituidos por arena y mástic asfáltico
- Los aglomerados o carpetas constituidos por un agregado grueso de diversa granulometría y un mortero asfáltico.
- Las lechadas asfálticas, que son morteros asfálticos puestos en obra vía acuosa.

Cada tipo de mezcla, indicada anteriormente, tiene un comportamiento diferente en el pavimento en cuanto a durabilidad y resistencia, que está condicionado por la propia estructura y composición de la mezcla, por el tipo de cargas exteriores y por el factor climatológico como humedad y calor ambientales.

Las mezclas asfálticas son actualmente el material mas usado en firmes flexibles de calidad. Con ellas se consiguen superficie de rodamiento de gran regularidad geométrica y adecuadas para velocidades altas

CLASIFICACIONES

La primera clasificación tradicional es :

- Mezclas asfálticas en caliente.
- Mezclas asfálticas en frío.

Las mezclas asfálticas en caliente son aquellas en las cuales se calientan previamente el asfalto y los agregados y se manejan, extienden y compacta a temperaturas muy superior a la del ambiente.

Las mezclas asfálticas en frío, son aquellas que se fabrican con los agregados fríos, el ligante asfáltico frío o caliente y se manejan, extienden y compacta a temperatura ambiental. Además en algunos casos estas mezclas son almacenables.

La segunda clasificación se hace atendiendo al número de huecos o vacíos de la mezcla.

Las mezclas que tienen una compactada una proporción mayor del 12% de vacíos, se denominan abiertas y aquellas que tienen una proporción mínima, cerradas (Generalmente entre 3% y el 6%).

Otra clasificación se hace atendiendo a la estructura interna de la mezcla. Así podemos establecer una distinción entre mezclas con esqueleto mineral agregado grueso (que se llaman aglomerados o carpetas asfálticas) y mezclas sin esqueleto mineral, tipo asfalto fundido o mástico.

En este trabajo nos vamos a referir exclusivamente a las mezclas asfálticas en frío fabricadas con emulsiones.

MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO

GENERALIDADES

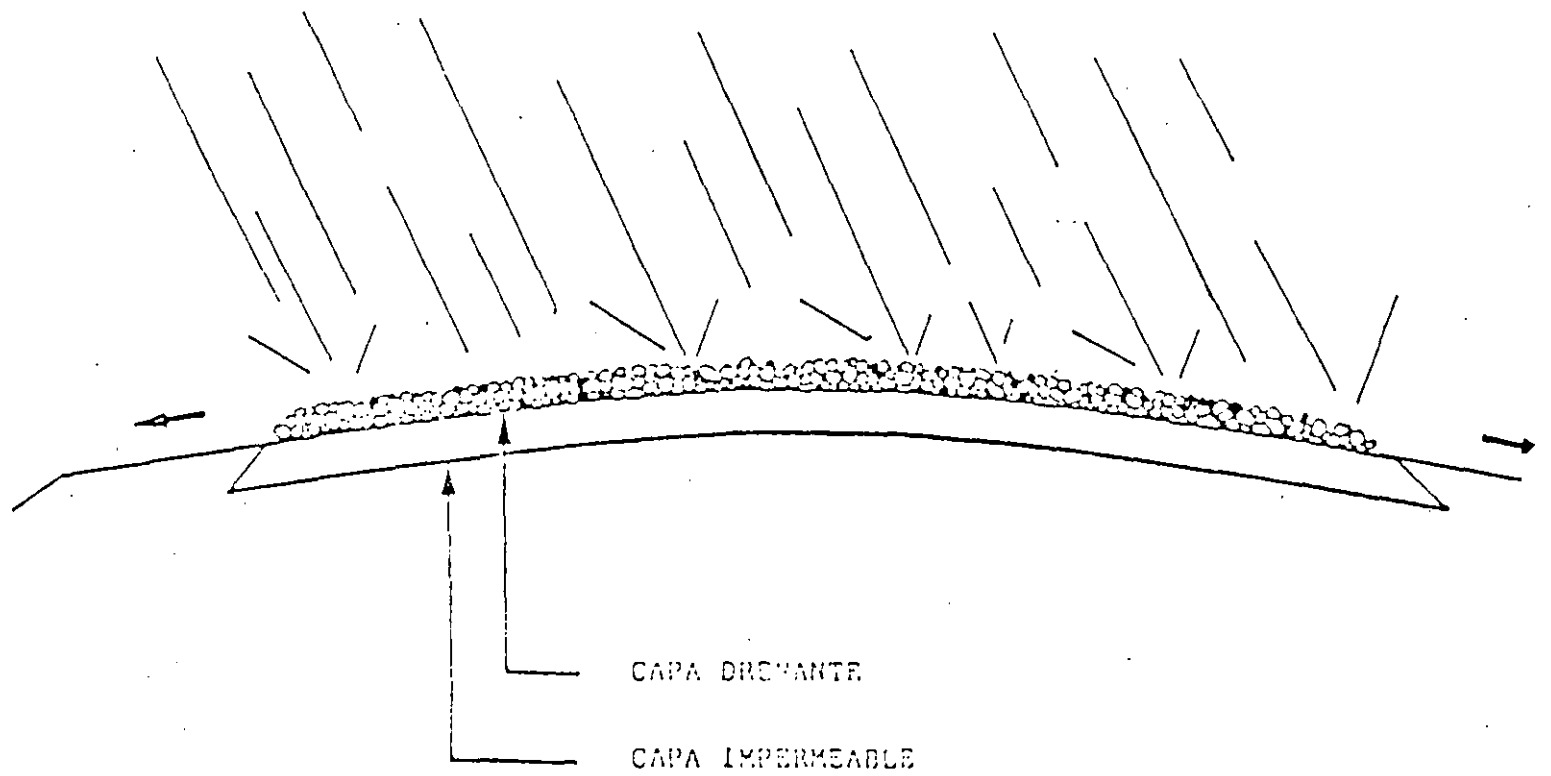
Las mezclas abiertas están formadas por un ligante asfáltico que envuelve las partículas minerales del agregado con un alto contenido de vacíos o huecos. Dichas mezclas resisten fundamentalmente por rozamiento interno entre las partículas del agregado. (FIG. 1)

A diferencia de las mezclas densas, cuando se emplean mezclas abiertas no se intenta conferir una alta rigidez a la estructura del pavimento, dándose el caso de que cargas que dañan a las mezclas densas no son tan perjudiciales para las mezclas abiertas y reciprocamente.

En este tipo de mezclas la durabilidad está condicionada por dos factores fundamentales: EL envejecimiento del asfalto y la adherencia pasiva agregado-asfalto.

El problema del envejecimiento del asfalto está relacionado íntimamente con la dotación del asfalto. En general el aumento de la dotación del asfalto, así como el empleo de ligantes asfálticos con mayor viscosidad o modificados con polímeros o elastómeros, aseguran mayor resistencia al envejecimiento.

La adherencia pasiva del asfalto con los agregados debe asegurarse eligiendo unos agregados de calidad y características adecuadas. En algunos casos, principalmente cuando se utilizan asfaltos fluidificados, deberán utilizarse activantes apropiados.



(FIG. 1) — Función drenante de una capa superficie abierta.

M-A-T-E-R-I-A-L-E-S

Agregados.- La propia forma de trabajo por rozamiento interno entre las partículas, define las características más importantes que se deben pedir a los agregados, como son su dureza, que vendrá definida por el desgaste de los Angeles, su resistencia al pulimiento y su forma y angulosidad, que nos exigirá agregados procedentes de trituración.

Además de estas características la limpieza de los agregados y su buena adherencia con el ligante asfáltico utilizado serán fundamentales.

La granulometria, en estos tipos de mezclas, se separa bastante de las utilizadas en mezclas densas al ser escasa o nulo el contenido de tamaños pequeños y finos del agregado. (FIG 2 y 3)

La calidad de los finos del agregado tienen una importancia fundamental en el comportamiento de estas mezclas. Una escasa cantidad de finos de buena calidad puede crear con el asfalto un mástic que ayuda a aumentar y rigidizar la película de asfalto al rededor del agregado grueso. Sin embargo, como este tipo de mezclas se fabrican con asfaltos fluidificados o emulsiones asfálticas con fluidificantes, un contenido mayor de finos dificulta la pérdida de los solventes con el consiguiente perjuicio para el endurecimiento de la mezcla.

LIGANTE ASFALTICO

Los ligantes asfálticos utilizados son los asfaltos fluidificados y las emulsiones asfálticas de rompimiento medio fabricadas con asfalto y naftas procedentes del petróleo.

La tendencia actual es utilizar emulsiones con contenidos altos de asfalto, que permiten a diferencia de los fluidificados, adaptar su composición a las características de los agregados a facilitar la colocación de películas más espesas de asfalto, sin necesidad de calentamiento del ligante.

| Porcentaje que pasa por tamiz UNE | Tipo de mezcla | | |
|--------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | AF - 12 | AF - 20 | AF - 25 |
| 40 | — | — | 100 |
| 25 | — | 100 | 65 - 90 |
| 20 | 100 | 65 - 90 | — |
| 12,5 | 65 - 90 | — | 30 - 35 |
| 10 | — | 35 - 60 | — |
| 5 | 20 - 40 | 15 - 35 | 10 - 30 |
| 2,5 | 5 - 20 | 5 - 20 | 5 - 20 |
| 0,32 | — | — | — |
| 0,08 | 0 - 4 | 0 - 4 | 0 - 4 |

(FIG. 2)

| <i>Designación</i> | <i>Tipo</i> | | |
|--|---------------|--------------|-------------|
| | <i>Grueso</i> | <i>Medio</i> | <i>Fino</i> |
| Granulometría. Pasa por tamiz de: mm | | | |
| 38,1 | 100 | | |
| 25,4 | 95-100 | 100 | |
| 19,0 | — | 90-100 | |
| 12,7 | 25-60 | — | 100 |
| 9,5 | — | 20-55 | 85-100 |
| 4,75 | 0-10 | 0-10 | — |
| 2,36 | 0-5 | 0-5 | 0-10 |
| 1,18 | — | — | 0-5 |
| 0,595 | — | — | — |
| 0,297 | — | — | — |
| 0,149 | — | — | — |
| 0,075 | 0-2 | 0-2 | 0-2 |
| Equivalente de arena | — | — | — |
| Los Angeles | 40 | 40 | 40 |
| % mínimo de caras de fractura | 65 | 65 | 65 |
| Resistencia al ácido | 10 | 10 | 10 |

(FIG. 3)

En los últimos años se han puesto a punto las llamadas emulsiones de alta flotación y las emulsiones con asfaltos modificados con caucho y diversos polímeros, con las que se consiguen mezclas de alta calidad.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

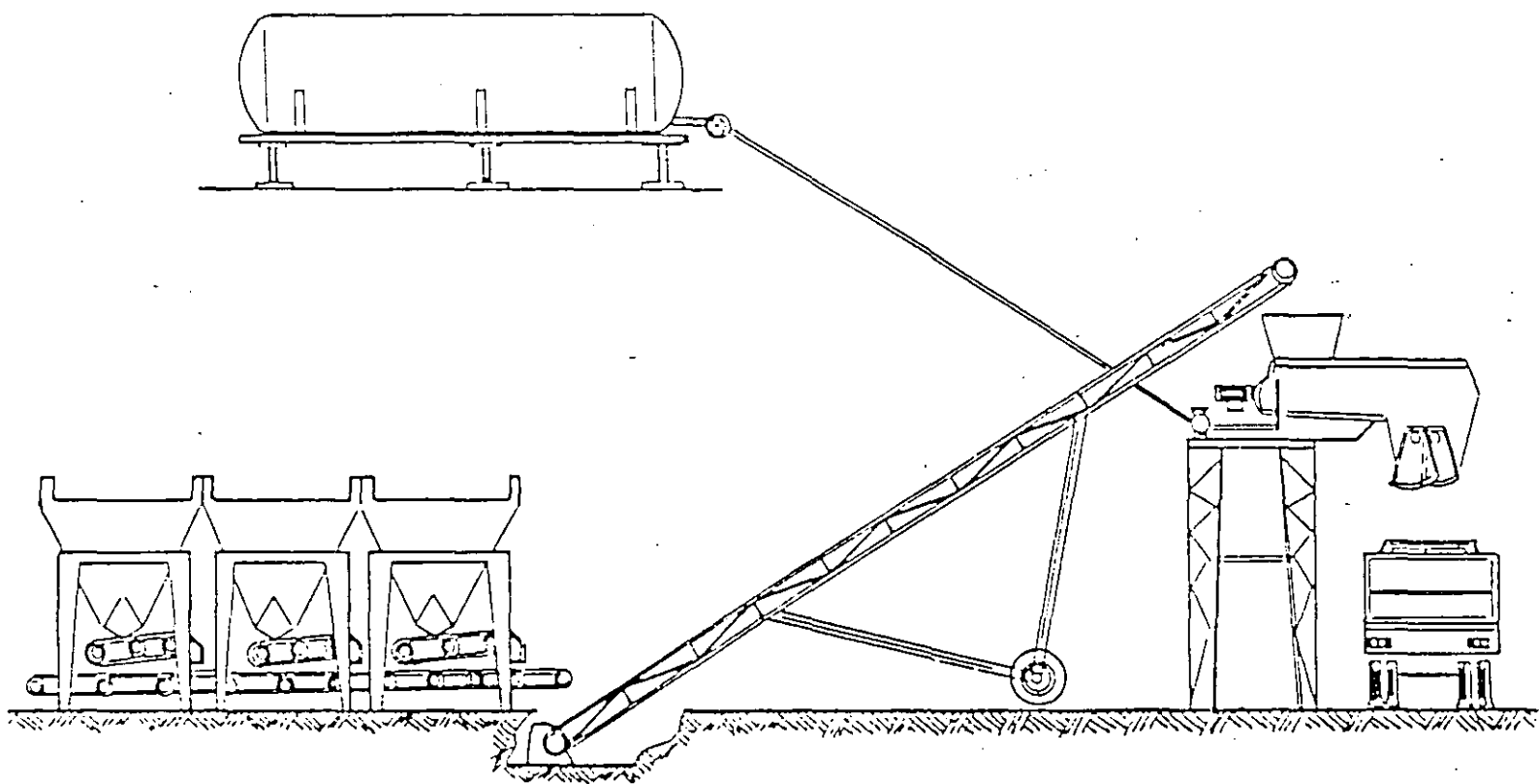
Las plantas de fabricación de mezclas en frío son más sencillas que las mezclas en caliente, al eliminar los sistemas de calentamiento, tambor secador y recuperador de finos. De esta forma el conjunto queda reducido a una o varias tolvas de agregado, cintas transportadoras, que alimentan a la mezcladora, donde a su vez llega el ligante asfáltico por medio de tuberías desde el tanque de almacenamiento, este tipo de instalaciones puede ser de tipo fijo o móvil. (FIG. 9, 10, 11 y 12)

Además de las plantas mezcladoras descritas, existen también las plantas móviles del tipo mezcladora-extendedora, muy útiles principalmente en zonas alejadas de plantas de producción; consta de una tolva donde se reciben los agregados, depósitos de emulsión y mezcladora, a la salida de la cual un sinfín distribuye la mezcla, que es repartida mediante una regla como en las extendedoras convencionales.

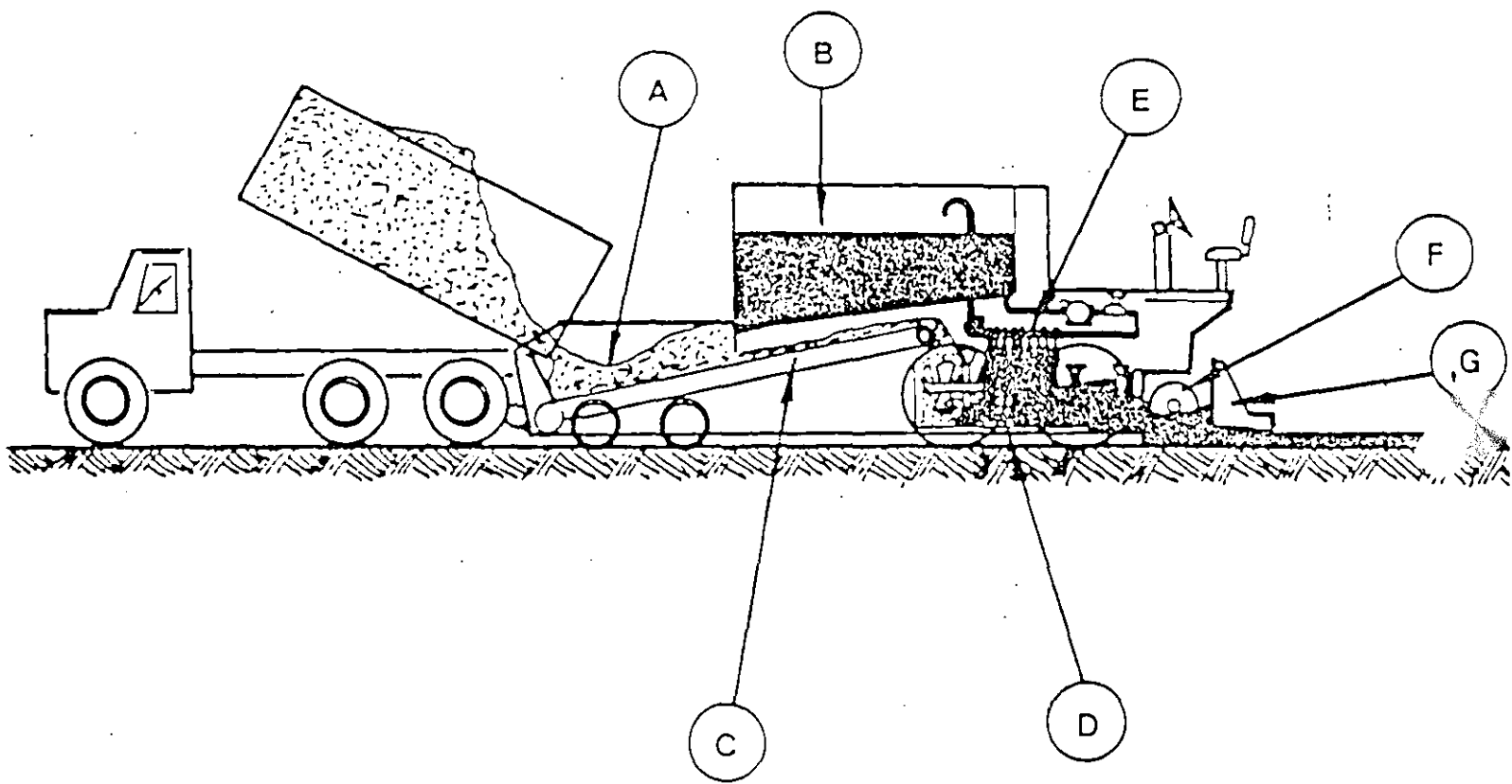
Para trabajos pequeños y de poca importancia pueden fabricarse en concreteiras comunes o incluso a mano.

La extensión de la mezcla puede hacerse con extendedoras convencionales mezcladoras-extendedoras o motoconformadoras.

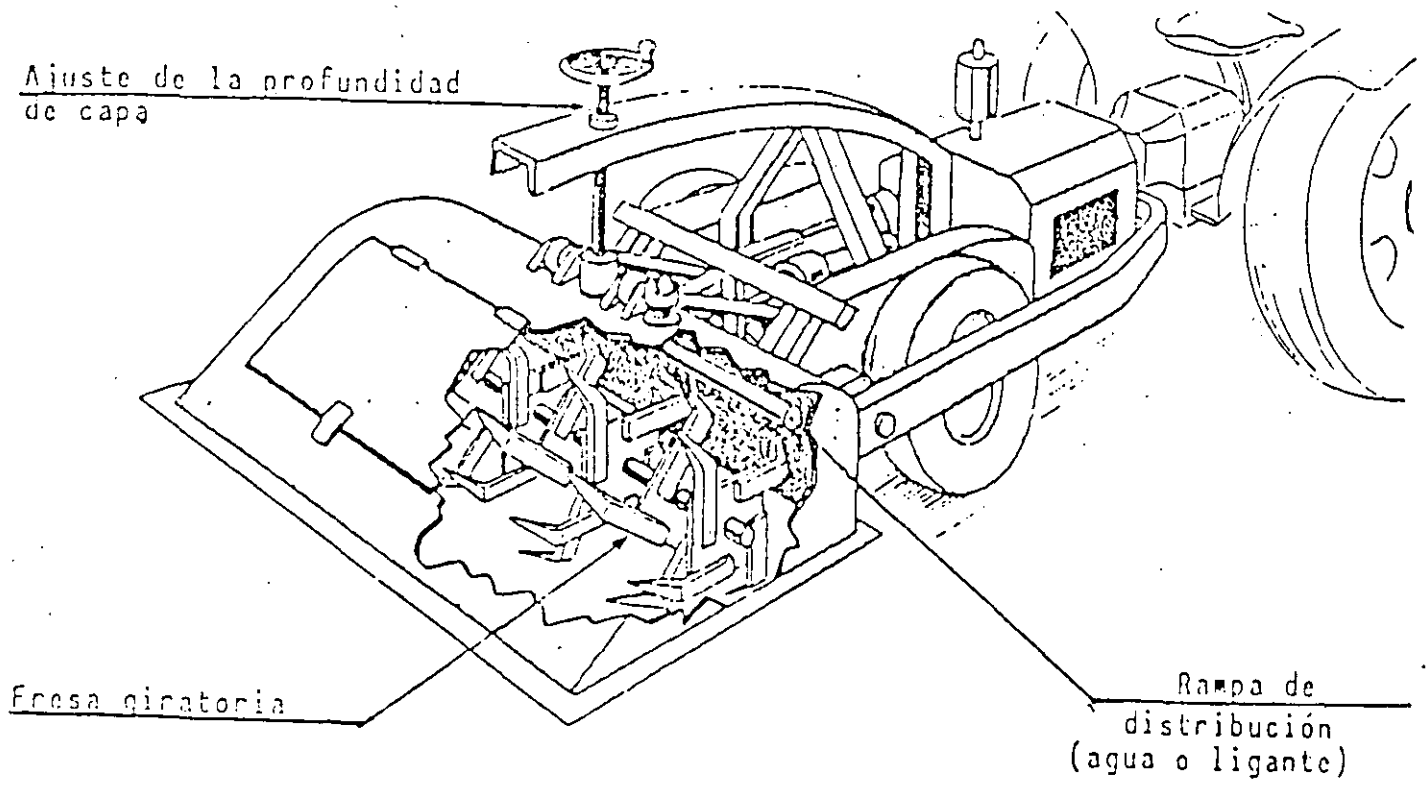
La compactación puede hacerse con rodillos metálicos lisos vibratorios y neumáticos o con combinaciones entre ellos. El empleo del sistema adecuado de compactación vendrá determinado por el espesor de la capa a compactar.



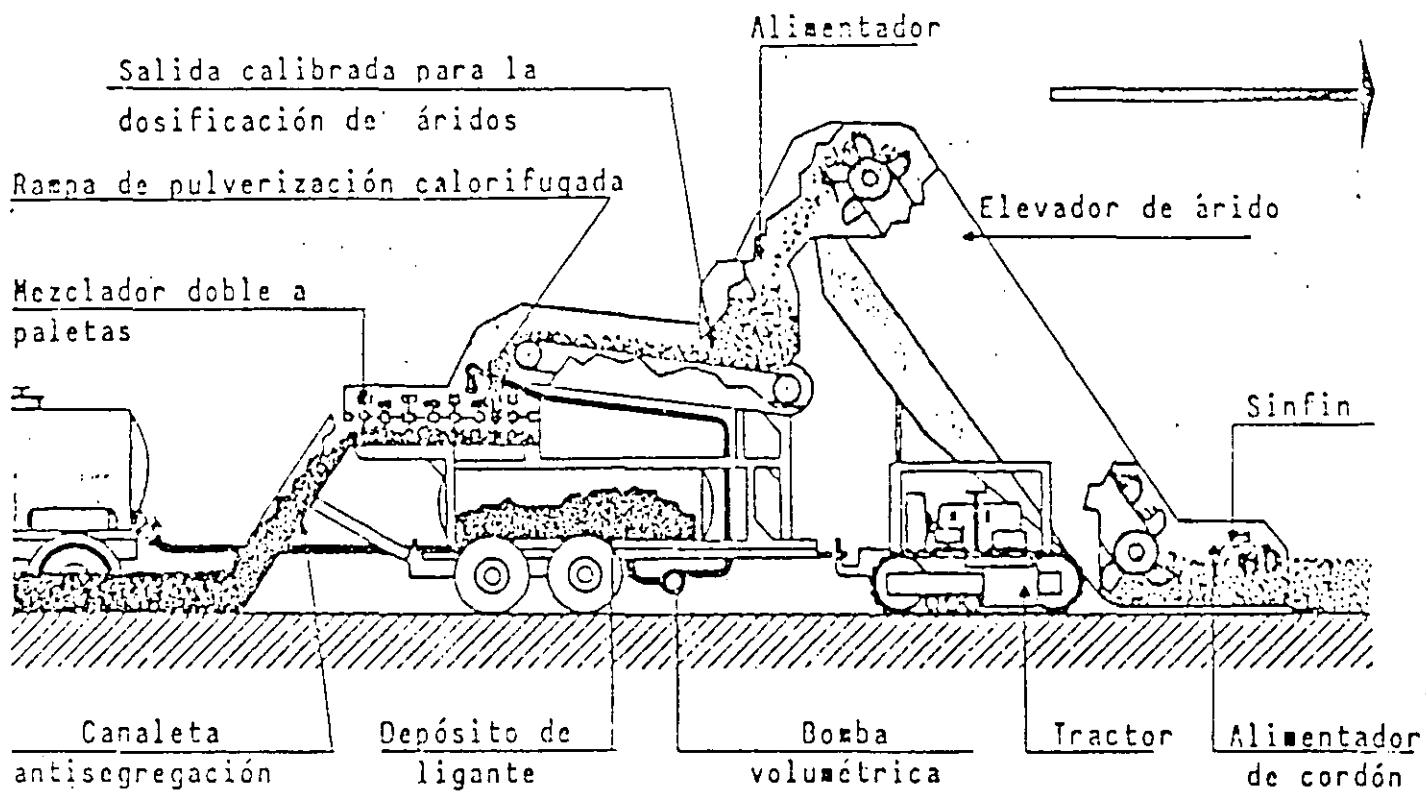
(FIG. 9) — Esquema de una planta de fabricación de M. A. F.



(FIG. 10) — Esquema de una mezcladora extendedora.



(FIG. 11) — Esquema de Pulvimixer.



(FIG. 12) — Planta completa para estabilización de suelos.

A P L I C A C I O N E S

Los materiales que constituyen una mezcla de este tipo la confieren dos cualidades fundamentales: posibilidad de almacenamiento (Debido al contenido de fluidificantes de la emulsión) y la capacidad drenante (causada por el alto contenido de vacíos que contiene). Estas dos cualidades condicionan la utilización de estas mezclas.

En general las aplicaciones más importantes son las siguientes :

a). Capas espesa de base :

Se trata en general de mezclas con agregados gruesos que constituyen a los firmes de piedra a macadam tratados por penetración.

Se utilizan en capas gruesas muy abiertas y de escasa rigidez.

Se adaptan perfectamente a los asentos que se puedan producir en las capas inferiores, pero debido a su escasa rigidez, les transmiten también elevadas presiones.

Para su construcción se emplean emulsiones de rompimiento medio pero con escaso contenido de solventes.

b). Operaciones de bacheo :

La facilidad de fabricar estas mezclas por procedimientos elementales y su posibilidad de almacenamiento les confiere un claro empleo en operaciones de bacheo, principalmente en zonas alejadas de plantas de fabricación.

c). Carpetas :

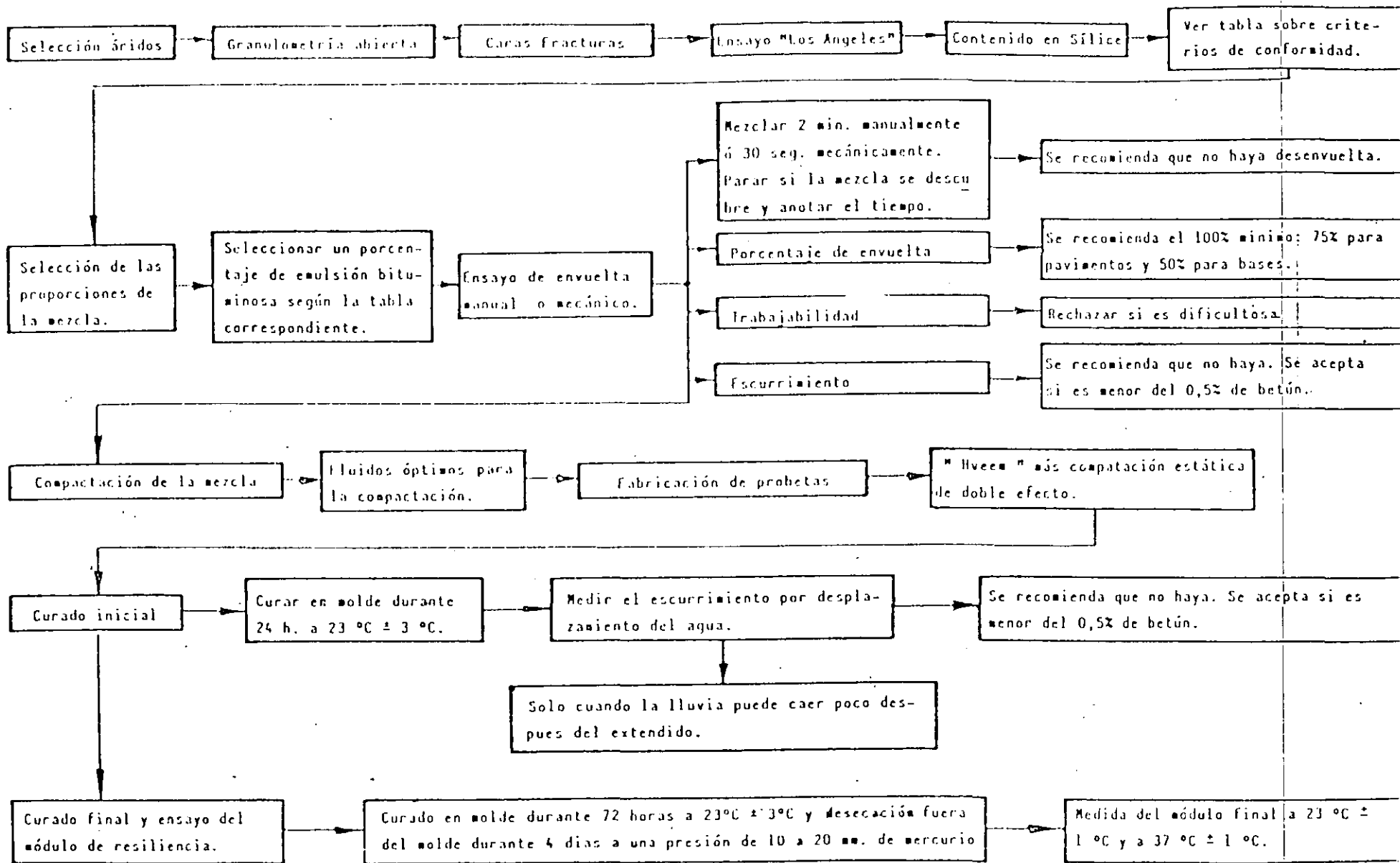
El empleo de este tipo de mezclas en carpetas ha venido a sustituir a los riegos superficiales multicapa o carpetas de riegos, presentando sobre estas diversas ventajas, como son :

- Posibilidad de empleo sobre pavimentos con mala regularidad superficial.
- Flexibilidad ante deflexiones altas y asentamientos lentos del pavimento.
- Aportación de un espesor adicional al firme primitivo.

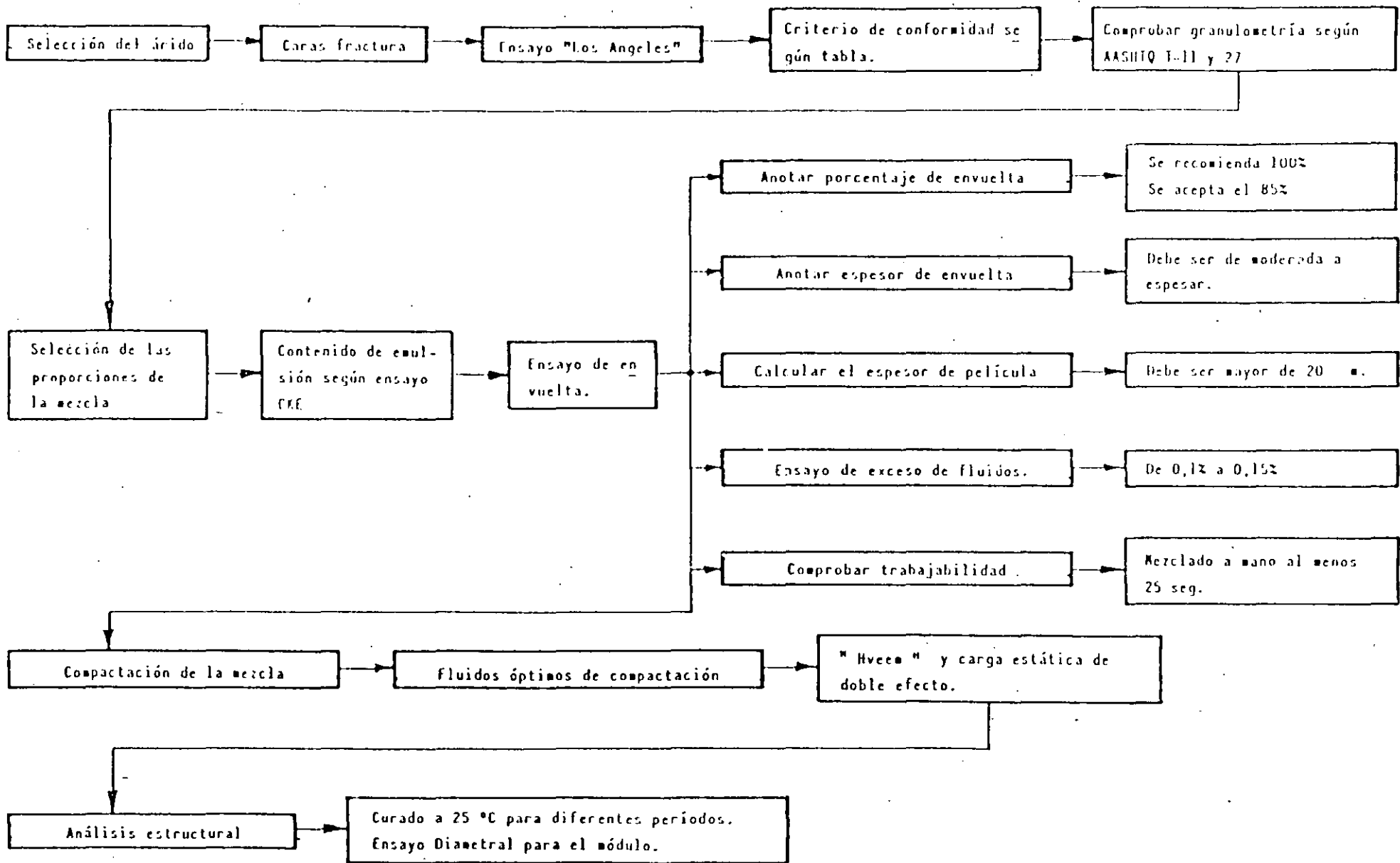
La permeabilidad de este tipo de carpetas puede presentar ventajas e inconvenientes. Si la capa inferior es de tipo asfáltico, una carpeta abierta permite que el agua drene a través de la capa inferior, siguiendo la pendiente transversal, de esta forma se evitan las películas de agua sobre la carpeta. En los casos en que es necesario impermeabilizar la superficie, la carpeta se sellará con una lechada asfáltica o sello con arena.

DOSIFICACION DE LAS MEZCLAS ABIERTAS

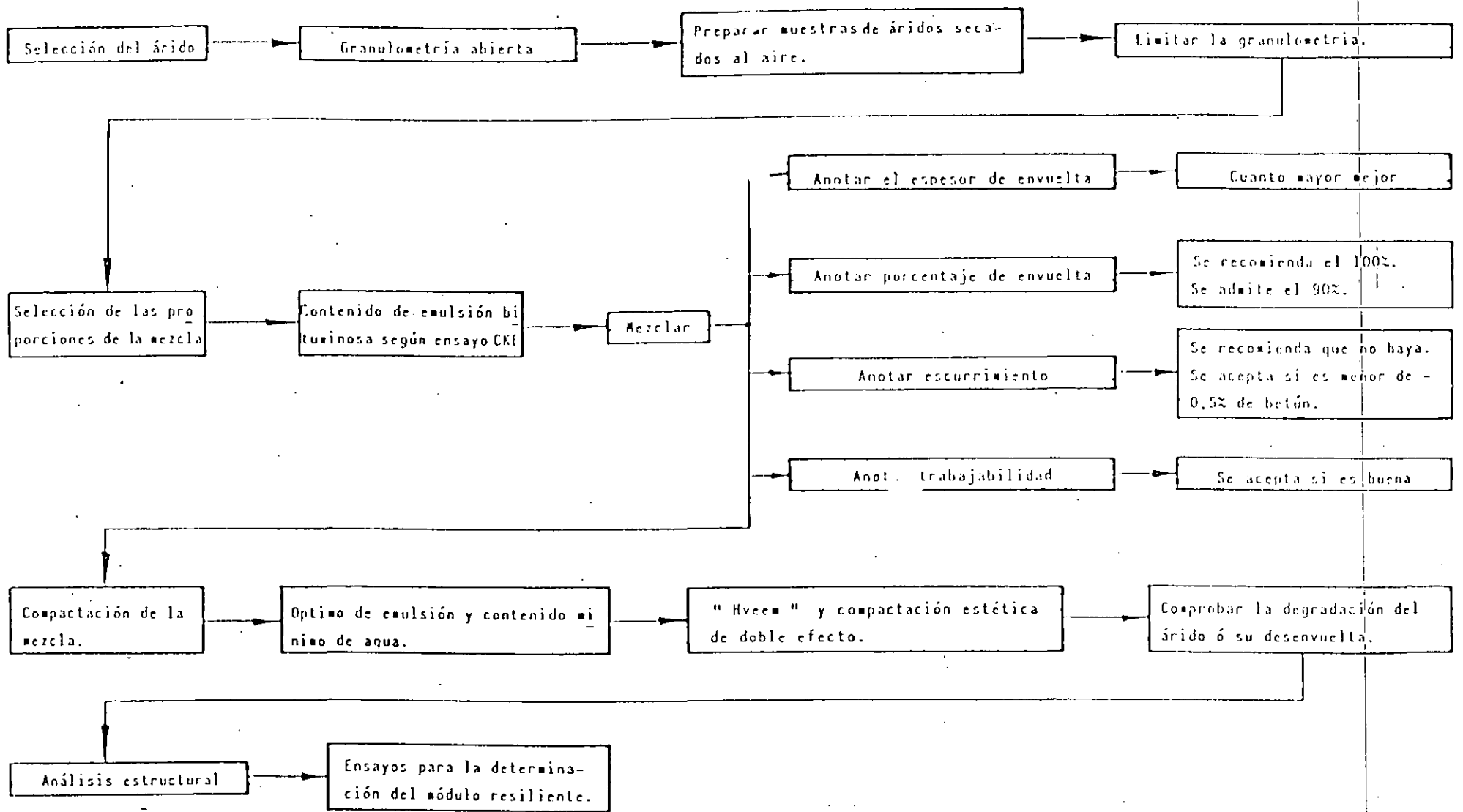
Las mezclas asfálticas tienen un comportamiento relativamente poco sensible a las variaciones del contenido de asfalto. Por esta razón, los métodos de dosificación basados en la realización de ensayos mecánicos no son aplicables a estas mezclas. En consecuencia, las mezclas abiertas deben dosificarse basándose en la experiencia, en la superficie específica del agregado o por medio del ensayo cantabro de pérdida de desgaste. (Fig. 4, 5, 6, 7 y 8)



(FIG. 4) —Etapas de la dosificación de una M.A.F (Chevron).



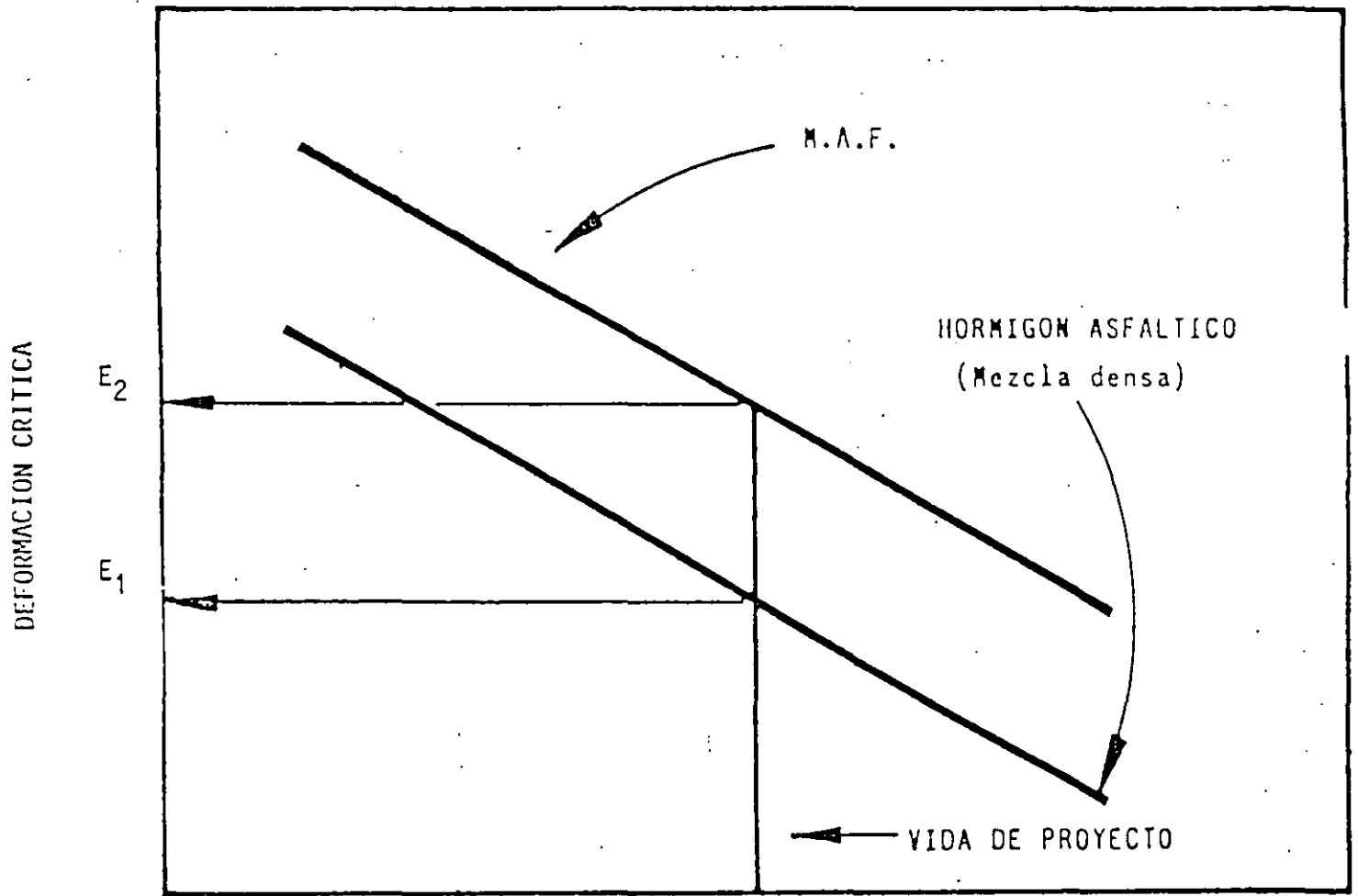
(FIG. 6) — Etapas para la dosificación de una M.A.F. (FHWA).

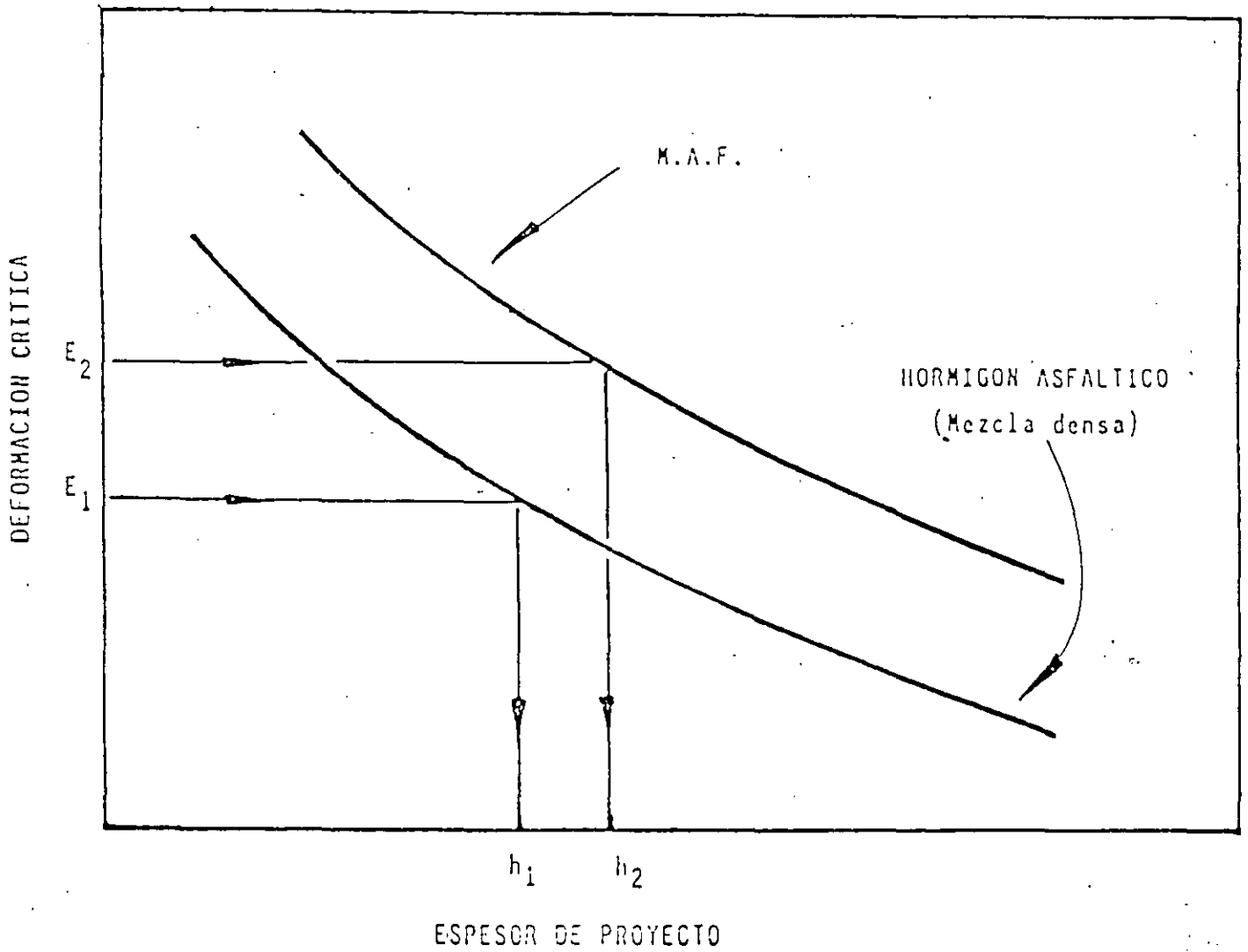


(FIG. 5) .—Etapas para la dosificación de una M.A.F. (Servicio Forestal USA).

REPETICION DE CARGA

(FIG. 7) DETERMINACION DEL NIVEL DE DEFORMACION, SEGUN LA VIDA DE PROYECTO





(FIG. 8) — Determinación del espesor, basado en el nivel de deformación crítica admisible.

MEZCLAS DENSAS EN FRIO

GENERALIDADES

En muchos casos, el empleo de mezclas densas en caliente no resulta variables bien sea por la situación de las obras, bien por su extensión o costo. La alternativa en estos casos son las mezclas en frío que pueden ponerse en obra a temperatura ambiente y fabricarse en instalaciones sencilla.

Tradicionalmente este tipo de mezclas asfálticas se han venido fabricando con asfaltos fluidificados y emulsiones asfálticas. Sin embargo no consideramos apropiada la utilización de asfaltos fluidificados por la dificultad que entraña la pérdida por evaporación de los solventes debido a la mínima cantidad de huecos de este tipo de mezclas. El empleo de fluidificantes obliga a movimientos de la mezcla y pérdida de tiempo, que encarecen el costo de fabricación y puesta en obra.

CLASIFICACION

Dentro de éste grupo de mezclas densas, podemos establecer de acuerdo a su utilización las siguientes técnicas :

- Suelos estabilizados.
- Grava-emulsión
- Carpeta densa o cerrada
- Lechadas asfálticas

ESTABILIZACION DE SUELOS

Dentro de las mezclas densas en frío, la más elemental es la resultante de tratar un suelo natural con un ligante asfáltico, podemos definirlo como:

"mezcla íntima, convenientemente compactada, de suelo, agua y ligante asfáltico, cuyo fin es mejorar las características resistentes del suelo, disminuyendo su capacidad de absorción de agua y aumentando su cohesión, por efecto de la incorporación del ligante asfáltico".

El campo de aplicación de los suelos estabilizados depende, en gran medida, de las condiciones locales. En los países con escasez de agregados y en los precios de los productos asfálticos son bajos, esta técnica puede ser de gran utilidad.

Las principales aplicaciones de los suelos estabilizados son :

- Estabilización de bases granulares.
- Estabilización de caminos económicos.
- Estabilización de acotamientos.
- Estabilización de estacionamiento de vehículos, campos deportivos, etc.

M A T E R I A L E S

Agregados.- Este tipo de estabilizaciones pueden realizarse sobre distintos materiales como son : suelos finos, arenas y grava-arena de granulometría más continuas.

Ligante asfáltico.- Se utilizan emulsiones aniónicas y catiónicas de rompimiento lento en algunos suelos de grava-arena más gruesos.

La emulsión adecuada para cada suelo deberán determinarse previamente mediante ensayos de envuelta y estabilidad.

EJECUCION DE LA OBRA

Aunque la mezcla del suelo con la emulsión puede hacerse en plantas fijas habitualmente este tipo de trabajos suelen realizarse in situ. La realización de la obra requiere generalmente de los siguientes pasos :

- Disgregación del suelo, lo más eficaz posible.
- Aportación del agua necesaria.
- Riego con la emulsión y mezclado.
- Tendido y compactación de la mezcla.

GRAVA - EMULSION

Este tipo de tratamiento podemos considerarlo como un escaso especial de los suelos estabilizados. Se trata en estos casos de utilizar agregados con usos granulométricos más estrictos que nos sirvan para obtener capas de bases estabilizadas con asfalto y de gran calidad. (FIG 13 y 14)

MATERIALES

Los agregados deben cumplir las exigencias que se piden en las bases hidráulicas y deben estar húmedos para conseguir una mejor envuelta, aunque en este tipo de mezclas no es necesario que todos los agregados queden cubiertos por el asfalto. La emulsión debe ser de rompimiento lento permitiendo de esta forma un tiempo suficiente de envuelta con los agregados.

Requisitos granulométricos y plásticos de un árido para ser empleado en una base tratada con ligantes bituminosos, según el Asphalt Institute, de Estados Unidos

| <i>Tamiz</i> | <i>Requisitos granulométricos Porcentaje que pasa</i> | | |
|---------------------------------|---|--------|---------|
| 2 1/2" | 100 | — | — |
| 2" | 90-100 | 100 | — |
| 1 1/2" | — | 90-100 | — |
| " | — | — | 100 |
| 3/4" | 50- 80 | 50- 80 | 80- 100 |
| Núm. 4 | 25- 50 | 25- 50 | 25- 50 |
| Núm. 200 | 3- 15 | 3- 15 | 3- 15 |
| Índice de plasticidad | Requisitos plásticos | | |
| | 10 | 10 | 10 |

(FIG. 13)

66

Recomendaciones del Sindicato Francés de Emulsiones

| <i>Mm</i> | <i>2 a 4 % de emulsión SS</i> | | <i>3 a 6 % de emulsión SS</i> |
|-----------|-------------------------------|--------|-------------------------------|
| 38 | 100 | | |
| 25 | 80-100 | 100 | |
| 19 | 60- 85 | 80-100 | 100 |
| 4,76 | 40- 65 | 50- 75 | 80-100 |
| 2,00 | 25- 50 | 40- 60 | 60- 80 |
| 0,42 | 15- 30 | 20- 35 | 30- 50 |
| 0,14 | 10- 20 | 13- 25 | 20- 35 |
| 0,074 | 8- 15 | 10- 16 | 13- 30 |

(FIG. 14)

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

Este tipo de mezclas pueden fabricarse en situ o bien en planta mezcladora utilizando la maquinaria descrita para las carpetas abiertas. La puesta en obra se realiza bien con motoconformadora o bien con extendedoras convencionales o mezcladoras extendedoras, iguales a las utilizadas para las carpetas abiertas.

CARPETAS DENSAS EN FRIO

ASPECTOS GENERALES

Se llama carpeta densa a la formada por un agregado, que con una granulometría determinada forma un esqueleto mineral en el que todas y cada una de las partículas están cubiertas uniformemente por una película de asfalto y cuya mezcla una vez compactada tiene un contenido mínimo de huecos o vacíos.

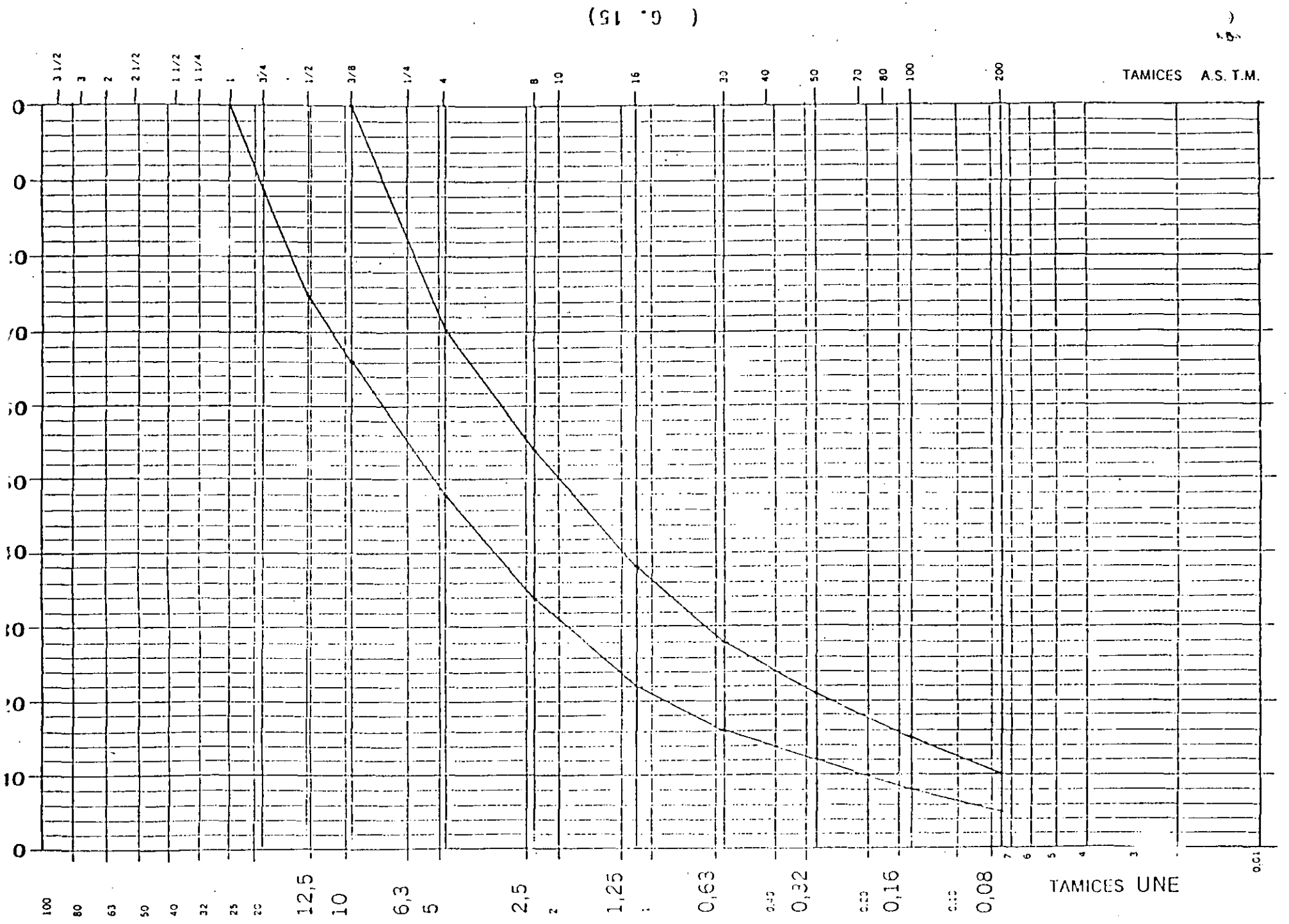
Este tipo de carpetas densas en frío se han utilizado con mucha frecuencia en este país, aunque para su fabricación se emplean principalmente asfaltos fluidificados.

MATERIALES

Agregados.- Los agregados deben cumplir en general, las mismas especificaciones que los utilizados para mezclas en caliente. (FIG. 15)

Ligante asfáltico.- Aunque tradicionalmente se han empleado los asfaltos fluidificados y las emulsiones asfálticas, se considera más apropiado utilizar las emulsiones que evitan la pérdida de tiempo ocasionada por la necesaria evaporación de solventes de los asfaltos fluidificados, indispensables para que la carpeta alcance su cohesión final.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



(91 9)

)

~~Se utilizan emulsiones de rompimiento lento aniónicas o cationicas y muy estables, que permiten una mezcla adecuada con los agregados.~~

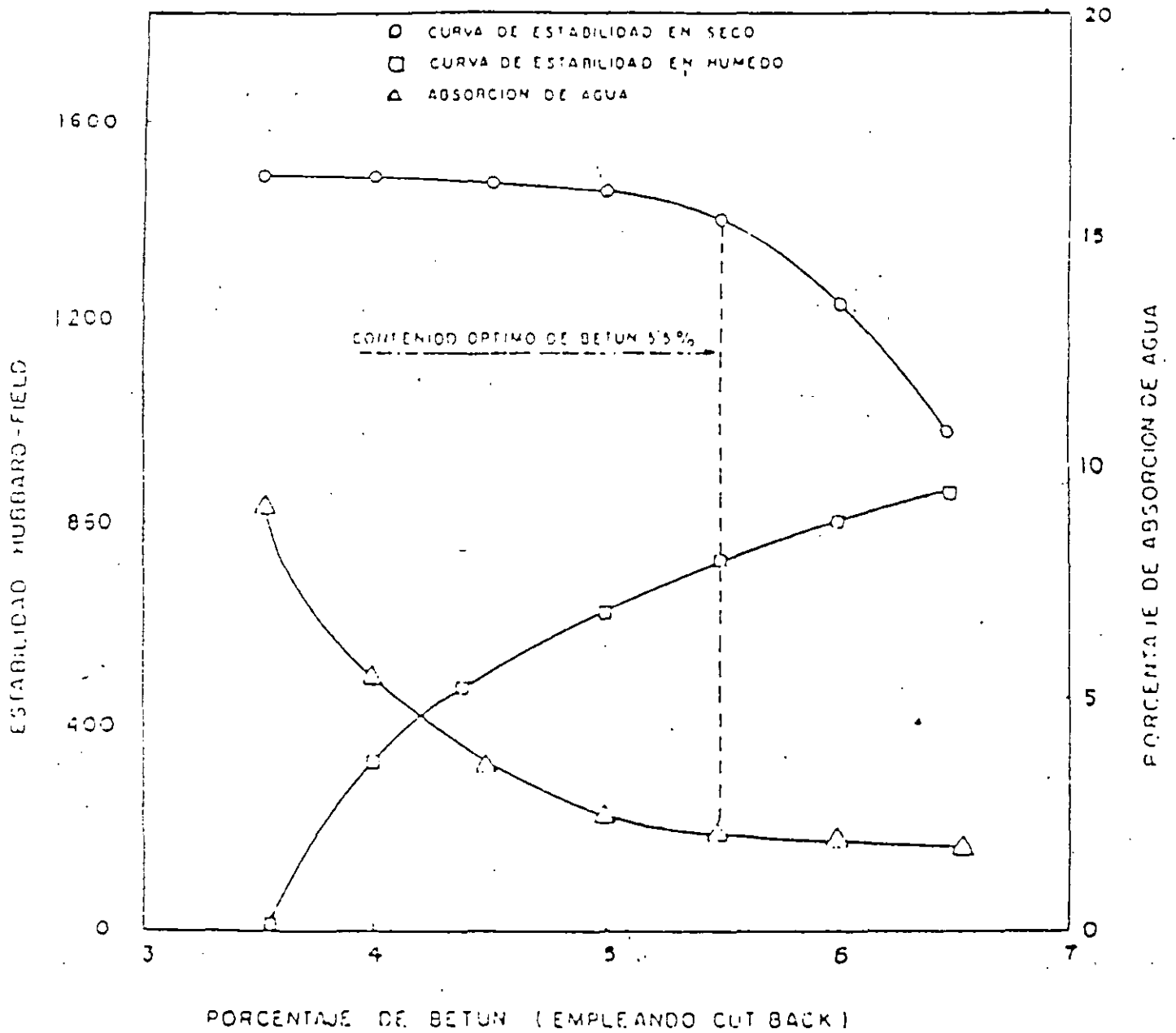
FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

Los sistemas de fabricación y puesta en obra son analogos a los descritos para las carpetas abiertas, utilizandose generalmente plantas de fabricación y extendedoras o extendedoras-mezcladoras, cuando se pretende una mejor calidad en la mezcla y su acabado y motoconformadora si se requieren condiciones menos estrictas.

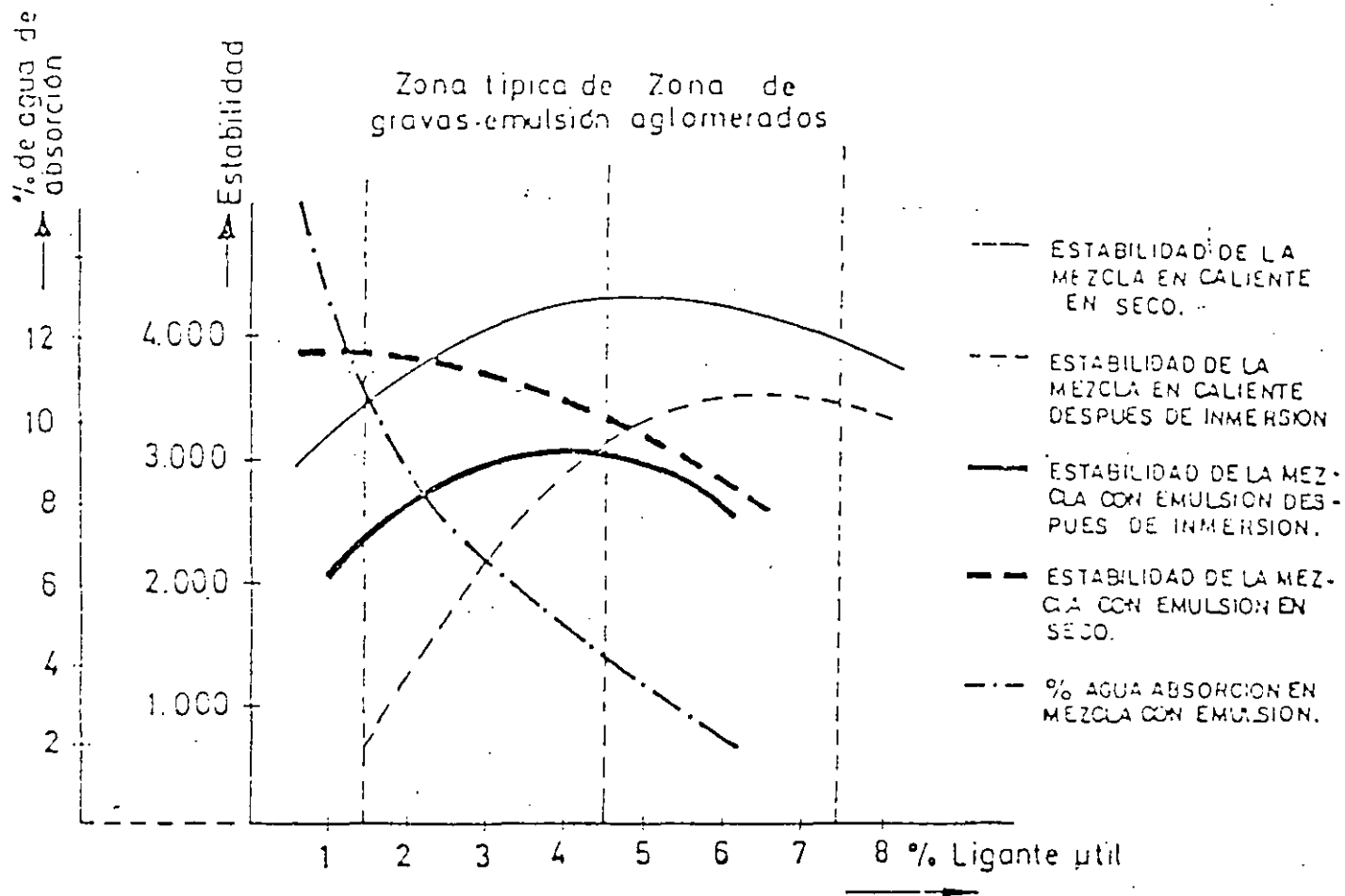
Las mezclas densas se utilizan principalmente como capas de nivelación intermedias o de rodamiento, constituyendo mezclas de una calidad similar a las de las mezclas en caliente.

DOSIFICACION DE MEZCLAS DENSAS

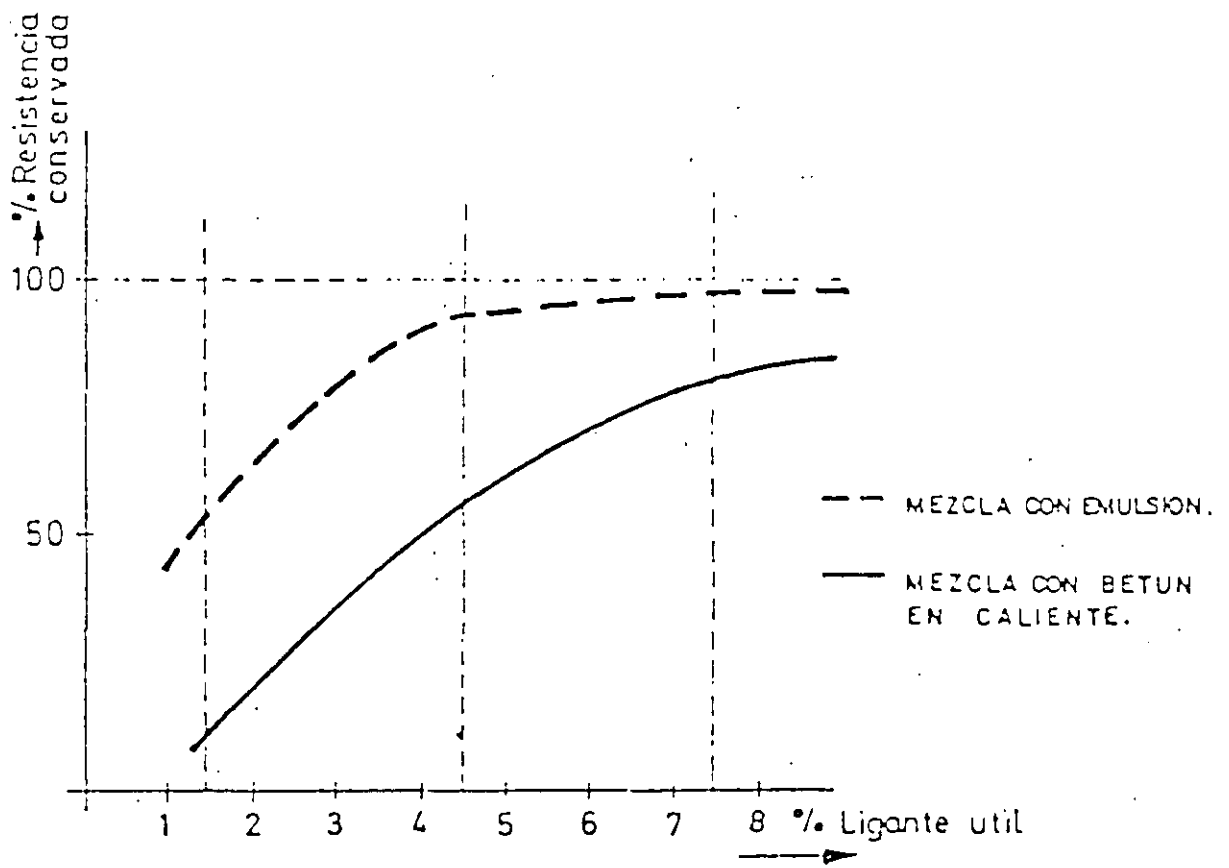
Al igual que las mezclas en caliente, la dosificación de este tipo de mezclas, se basan en metodos de ensayos mecanicos, como pueden ser el Marshall modificado, el Hveen o el Hubbard-Field. (Fig. 16, 17 y 18)



(FIG. 16) — Relación entre la estabilidad Hubbard-Field y el porcentaje de betún.



(FIG. 17)



(FIG. 18) — Resultados típicos del ensayo de inmersión-compresión.

LECHADAS ASFÁLTICAS

GENERALIDADES

Podemos definir una lechada asfáltica, también denominada Slurry o mortero asfáltico, como una mezcla compuesta por emulsión asfáltica suficientemente estable, agregado fino bien graduado, material fino y agua, en proporciones tales que se pueda conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua y de pequeño espesor.

A diferencia de las mezclas densas, que tienen un contenido estricto de agua, a las lechadas asfálticas se les puede aumentar la cantidad de agua en forma considerable, hasta darles una consistencia de lechada. De esta forma pueden extenderse en obra en pequeños espesores que no necesitan en principio ser compactados. La cohesión e impermeabilidad final se consigue por un proceso complejo de rompimiento de la emulsión, evaporación del agua y acción del tráfico densificando esta capa superficial.

Con el uso de las lechadas asfálticas se persiguen dos objetivos fundamentales :

- Impermeabilizar superficies de rodamiento abiertas, agrietadas o pobres de asfalto.
- Conseguir una textura superficial, regular, áspera y segura para evitar el deslizamiento de los vehículos.

Los tipos de lechadas asfálticas utilizados son :

- Lechadas aniónicas lentas
- Lechadas catiónicas lentas
- Lechadas catiónicas de rompimiento rápido con aditivos o rompimiento controlado.

MATERIALES

Agregados :

Generalmente el agregado consiste en un mezcla de arenas graduadas (1/4") y finos, utilizándose en muchos casos finos de aportación, como el cemento. Se piden generalmente equivalentes de arena por encima de 40. E. casi todos los casos es aconsejables el empleo de agregados de trituración mezclados con un porcentaje de arenas naturales, que favorecen la trabajabilidad y cremosidad de la mezcla. (FIG. 19, 20, 21)

En el caso de las lechadas con rompimiento controlado con aditivos, se recomiendan agregados de mejor calidad con equivalentes de arena superior a 60.

Emulsion:

En los casos de lechadas asfálticas lentas, se utilizan emulsiones aniónicas o cationicas muy estables. Cuando se trabaja con lechadas rápidas con aditivos, se utilizan emulsiones cationicas de rompimiento rápido, controlándose este, con la aportación del aditivo sobre los agregados.

FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

La fabricación y puesta en obra de las lechadas ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. En un principio se utilizaron concreteras y extensión manual; actualmente se dispone de máquinas especiales autopropulsadas que realizan las operaciones de fabricación y extendido. Las máquinas constan básicamente, de una tolva de agregado y dos depósitos para el agua y la emulsión y uno para el aditivo. Un sistema de extracción del agregado conduce éste a un conjunto mezclador, donde se le añade, por este orden el agua de preenvuelta, aditivos y la emulsión. La salida del producto se efectúa por un vertedero que descarga sobre una rastra extendidora articulada, que permite adaptarse a la forma del pavimento. (FIG. 28, 29 y 30)

Especificaciones de lechadas bituminosas (PG-3/75)

HUSOS DE LECHADAS BITUMINOSAS

| CEDAZO Y TAMIZ UNE | CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%) | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| | AL 1 | AL 2 | AL 3 | AL 4 | AL 5 |
| 12.5 | 100 | | | | |
| 10 | 85-100 | 100 | 100 | | |
| 5 | 60-85 | 70-90 | 85-100 | 100 | 100 |
| 2.5 | 40-60 | 45-70 | 65-90 | 95-100 | 95-100 |
| 1.25 | 25-45 | 20-50 | 45-70 | 65-90 | 85-90 |
| 0.63 | 19-34 | 19-34 | 30-50 | 40-60 | 55-90 |
| 0.32 | 12-25 | 12-25 | 18-30 | 24-42 | 35-55 |
| 0.10 | 7-18 | 7-18 | 10-20 | 15-30 | 20-35 |
| 0.050 | 4-8 | 5-15 | 5-15 | 10-20 | 15-25 |

(FIG. 19)

Especificaciones de la International Slurry Seal Association (ISSA)

| Tipo de lechada Finalidad del tratamiento | I Sellado de fisuras y sellados finos | II Impermeabilización en general, superficies con texturas medias | III Superficies con gran textura, aplicación en dos capas |
|--|--|--|--|
| Tamiz (mm) | Cernido | Ponderal acumulado (%) | |
| 12.5 9.5 4.75 2.36 1.18 0.6 0.3 0.15 0.075 | 100 90-100 65-90 40-60 25-42 15-30 10-20 | 100 90-100 65-90 45-70 30-50 18-30 10-21 5-15 | 100 70-90 45-70 28-50 19-34 12-25 7-18 5-15 |
| Ligante residual % sobre árido | 10-16 | 7.3-13.5 | 6.5-12 |
| Dotación media de lechada | 3-5.5 | 5-5.8 | 8 o más |

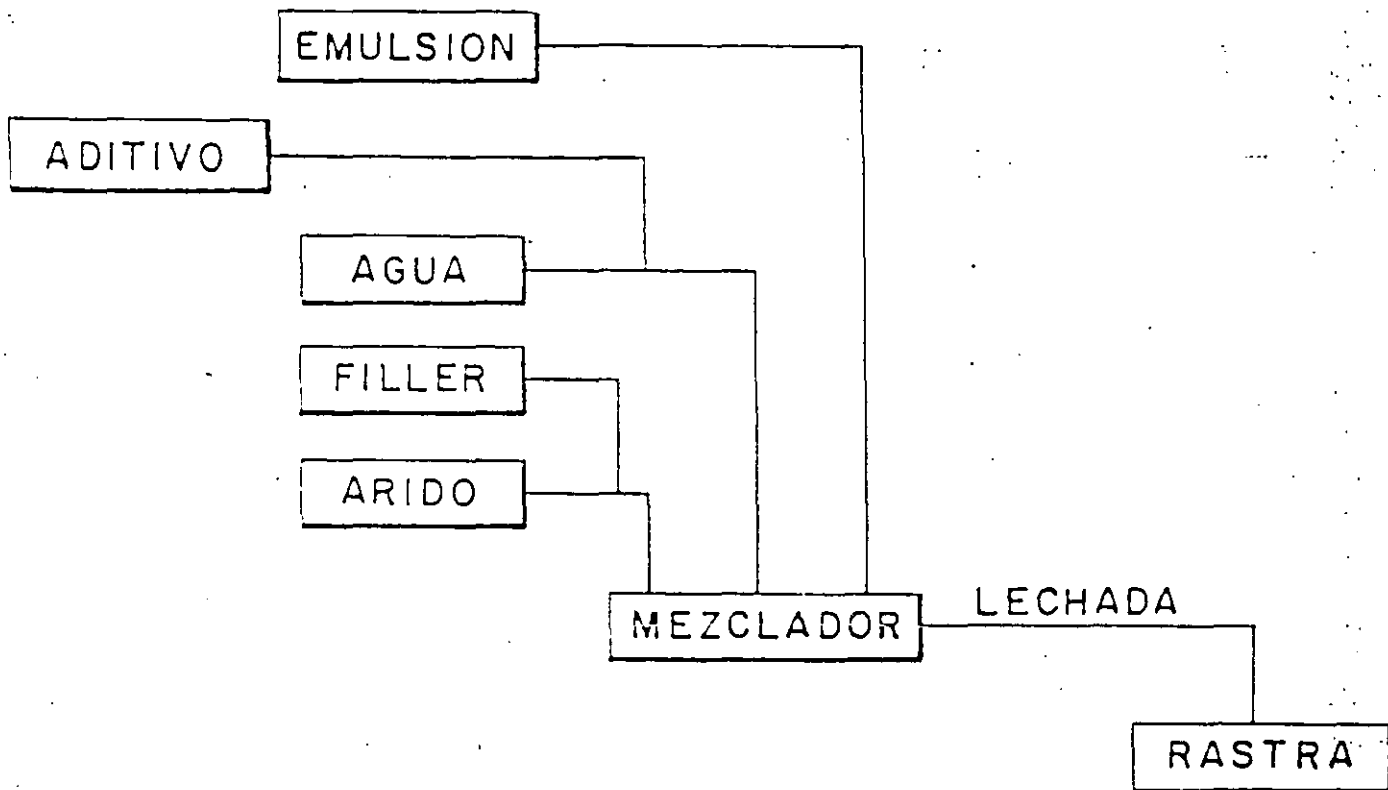
(FIG. 20)

*TIPO, COMPOSICION Y NUMERO DE APLICACIONES
DE LECHADA BITUMINOSA*

| CARACTERISTICAS | TIPO DE LECHADA | | | | |
|--|--------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|
| | LB 1 | LB 2 | LB 3 | LB 4 | LB 5 |
| Tipo de árido | AL 1 | AL 2 | AL 3 | AL 4 | AL 5 |
| Ligante residual % sobre árido | 5,5-7,5 | 6,5-12,0 | 7,5-13,5 | 10,0-16,0 | 12,0-20,0 |
| Agua de amasado % sobre árido | 6-12 | 10-15 | 10-15 | 10-20 | 10-20 |
| Agua total % sobre árido | 10-20 | 10-20 | 10-20 | 10-30 | 15-40 |
| Dosis media de lechada (kg/m ²) | 15-25 | 10-15 | 7-12 | 2-6 | 2-5 |
| Espesor mínimo (mm) | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| Principal aplicación | 1ª capa | 1ª capa o capa única | capa única | capa única o 2ª capa | capa única o 2ª capa |
| Textura del pavimento a recubrir | gruesa o permeable | gruesa o descarnada | media | fin o agrietada | agrietada o lisa |

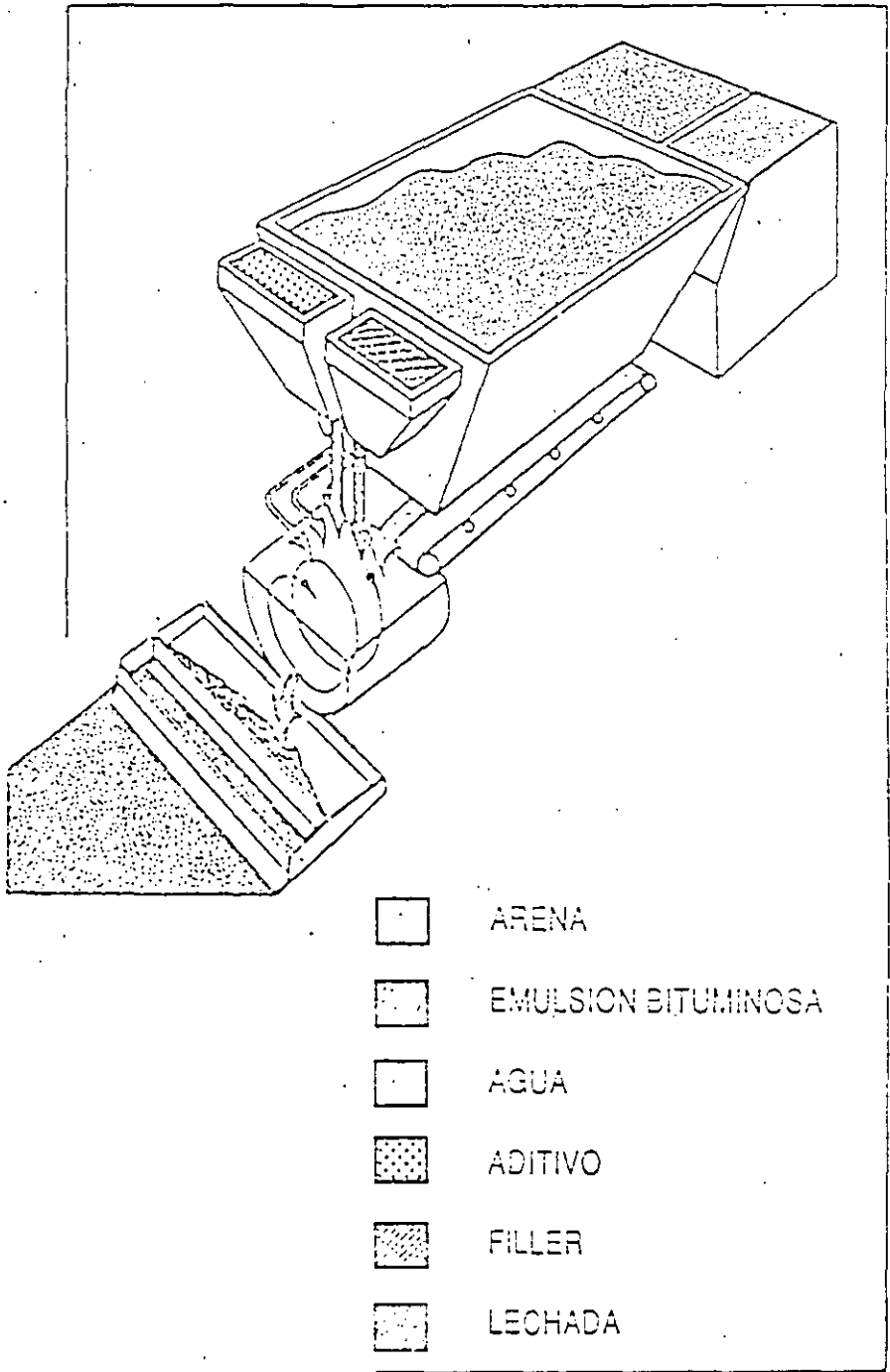
(FIG. 21)

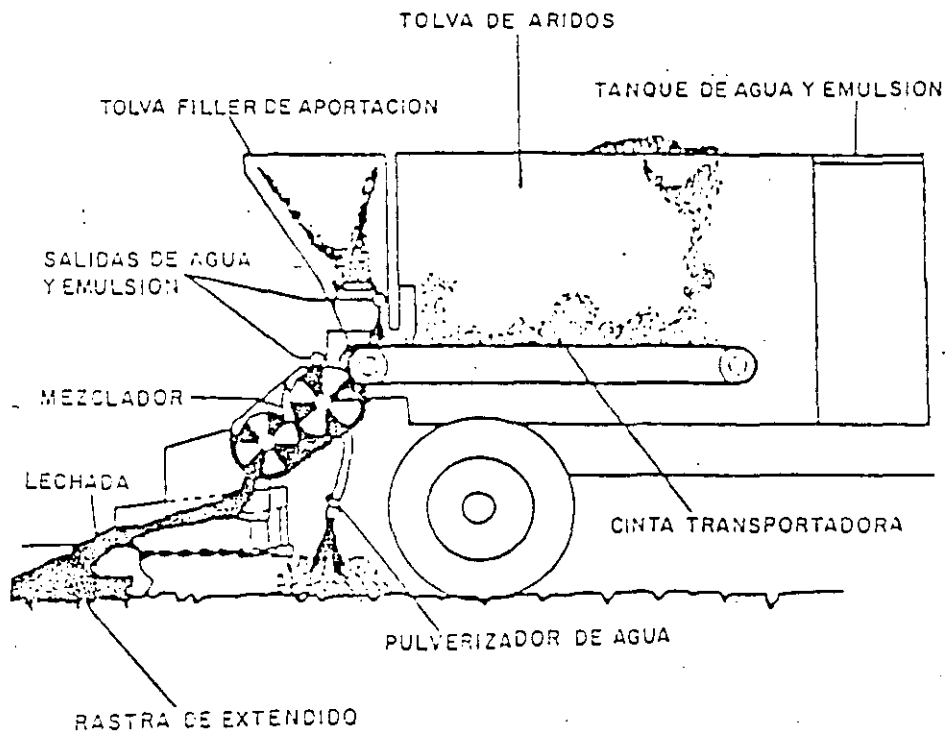
(FIG. 28) PROCESO DE FABRICACION DE UNA LECHADA ASFALTICA



(FIG. 29)

ESQUEMA DE MAQUINAS EXTENDEDORAS DE LECHADAS ASFALTICAS





(FIG. 30) EQUIPO MONTADO SOBRE CAMION PARA LA FABRICACION Y EXTENSION DE LECHADAS ASFALTICAS

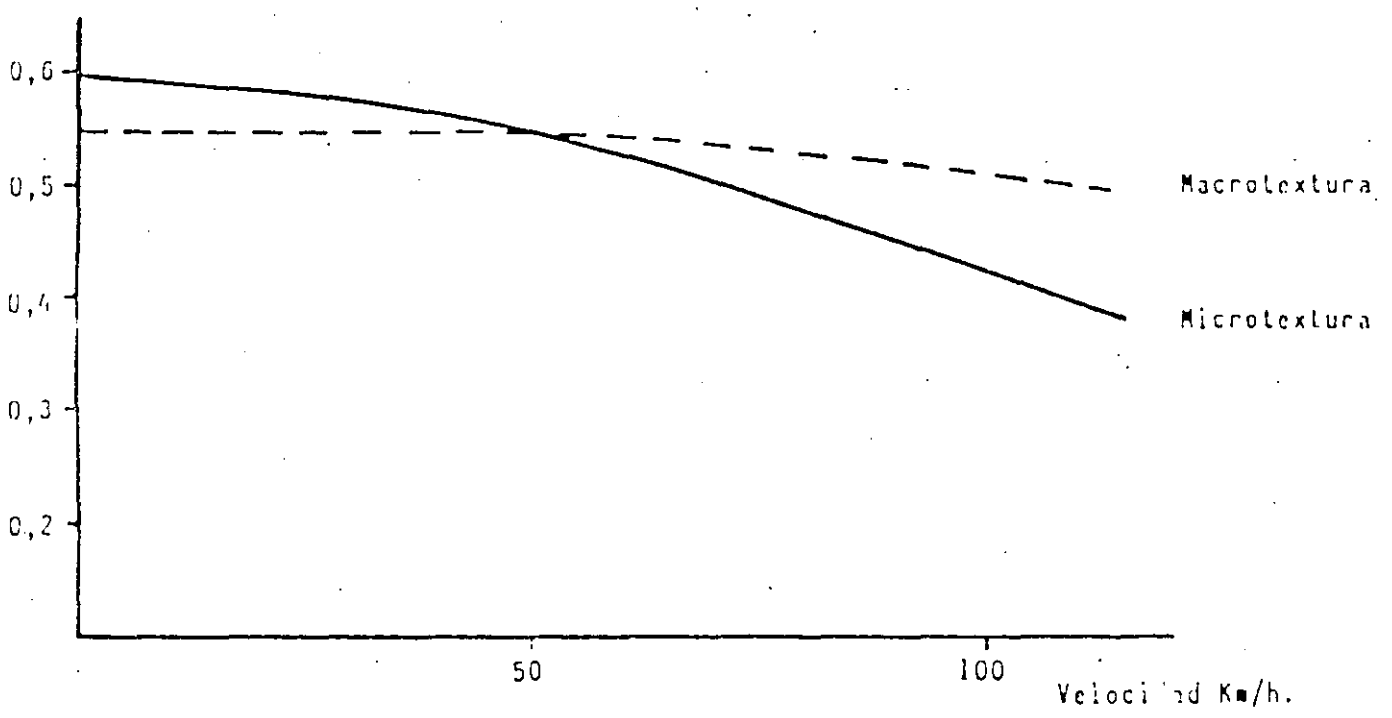
Generalmente las lechadas asfálticas no se compactan, pues el porcentaje de agregado desperdiciado por el tráfico es mínimo. Solamente en algunos casos, como son pistas de aeropuertos es necesario recurrir a la compactación, que suele hacerse con neumáticos.

La apertura al tráfico es variable, según el tipo de lechada a emplear. Las técnicas modernas con lechadas de rompimiento rápido, permiten abrir al tráfico en un tiempo que oscila entre 30 minutos y 2 horas, en función de las condiciones atmosféricas.

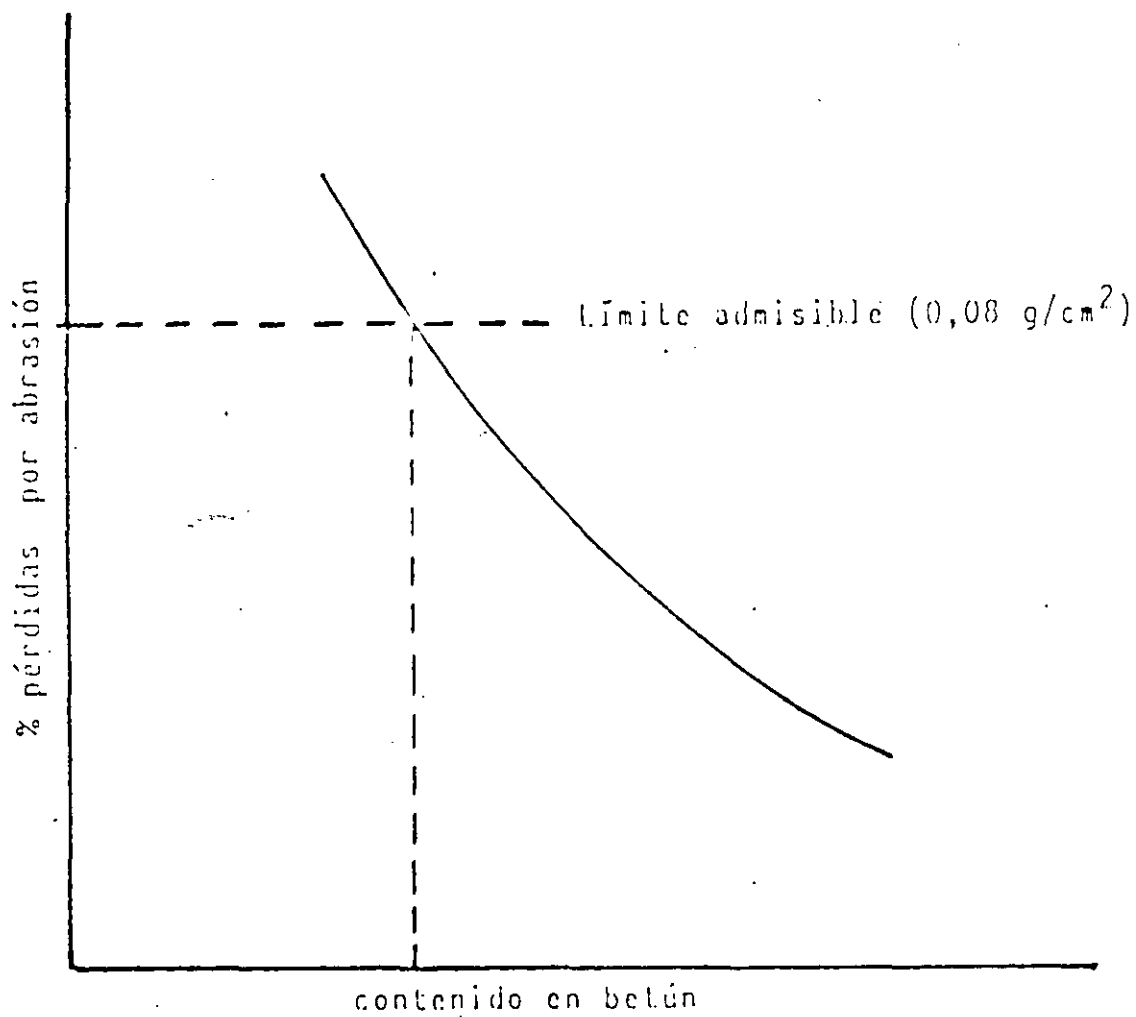
DOSIFICACION DE LAS LECHADAS ASFALTICAS

Los sistemas de dosificación se basan en la obtención de contenidos óptimos de asfalto, para una granulometría determinada, en función de ensayos de abrasión de pastillas, como son el W.T.A.T. y el L.W.T. (Fig. 22, 23, 24 y 25), así como a ensayos de cohesión de la mezcla. (Fig. 26 y 27)

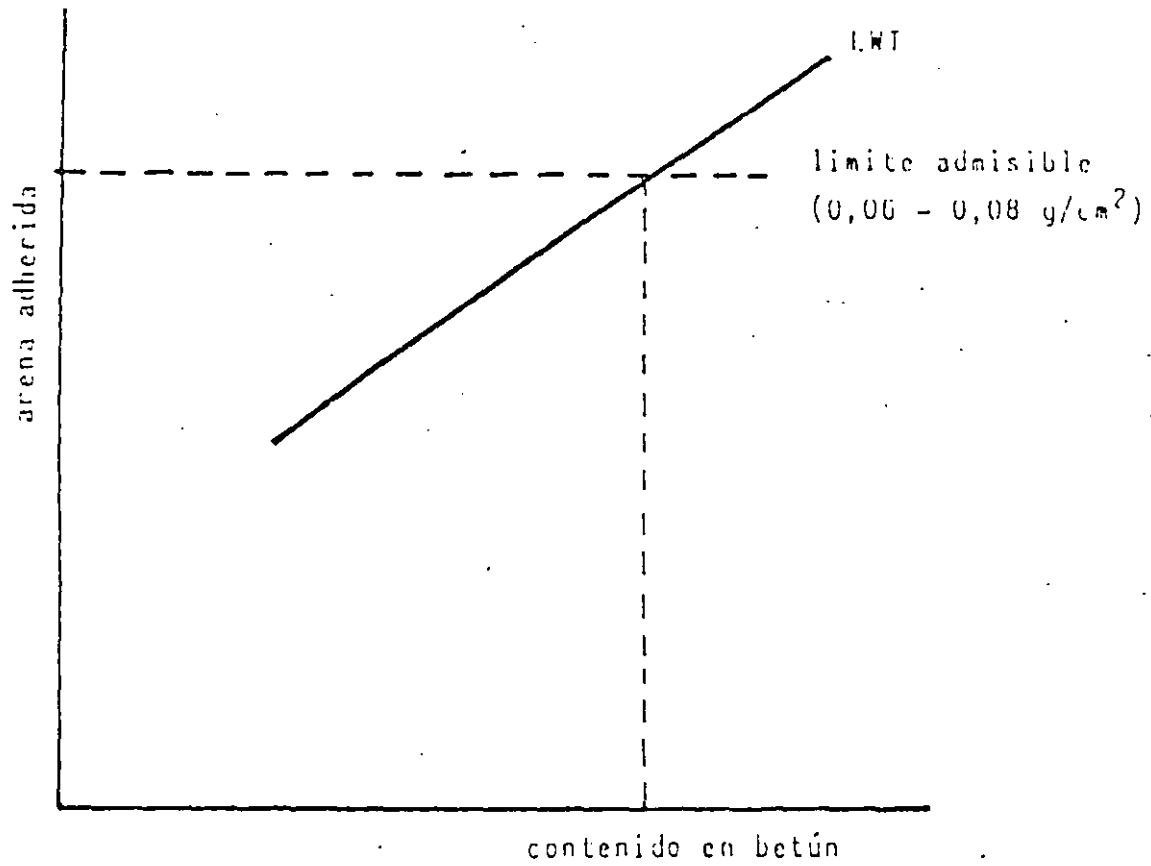
Resistencia al
Deslizamiento



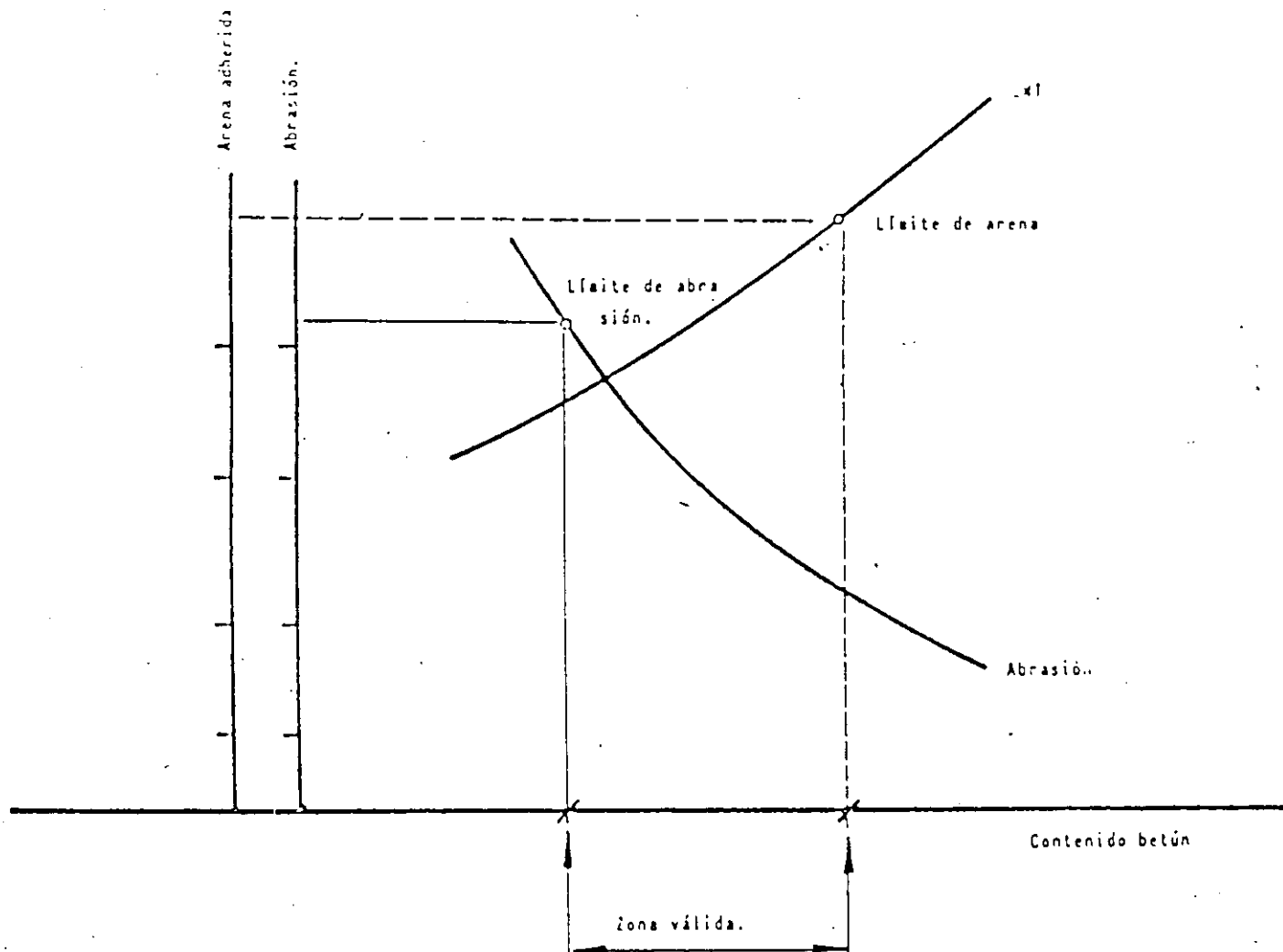
(FIG. 22) — Variación de la resistencia al deslizamiento con la velocidad del vehículo para macro y microtexturas.



(FIG. 23) — Curva típica obtenida en el ensayo W. T. A. T.

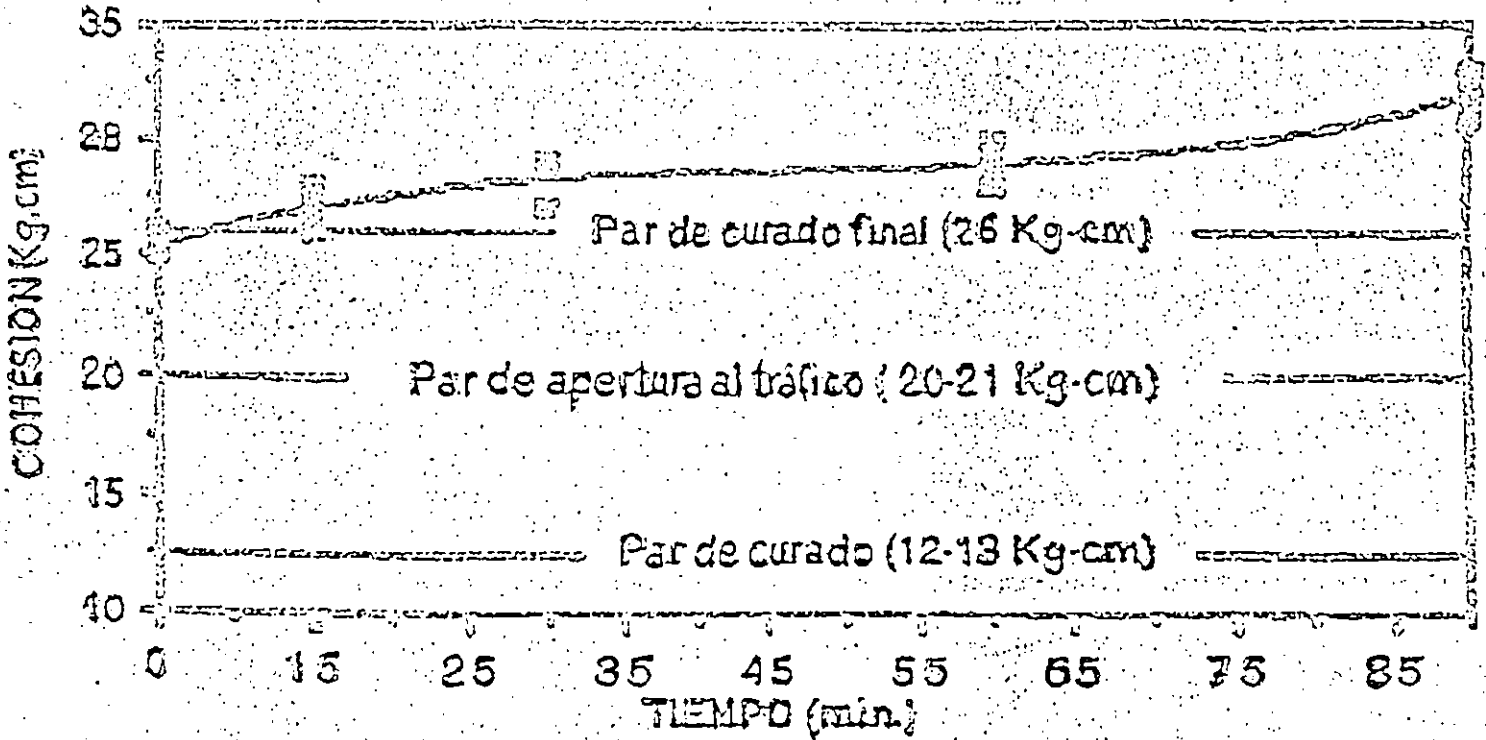


(FIG. 24) — Curva típica obtenida en el ensayo L. W. T.



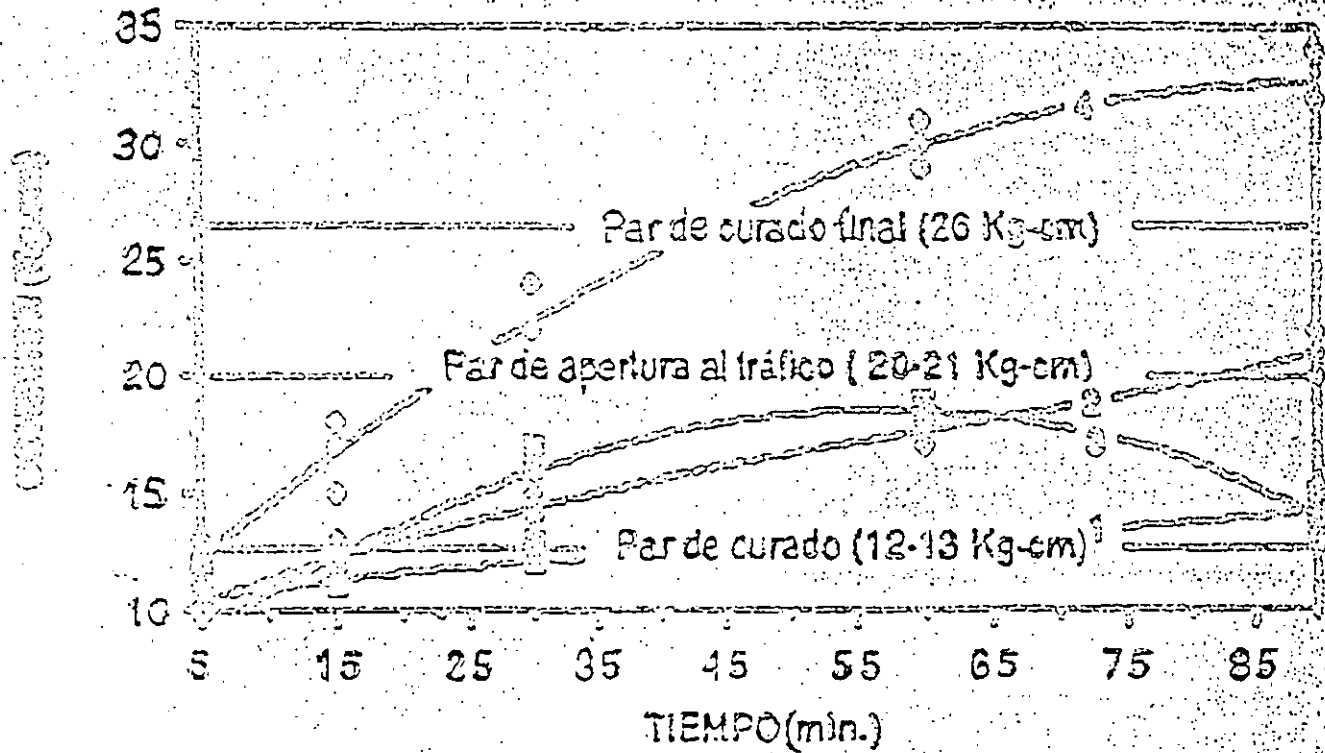
(FIG. 25) — Determinación del contenido óptimo de emulsión.

"COHESIOMETRO"

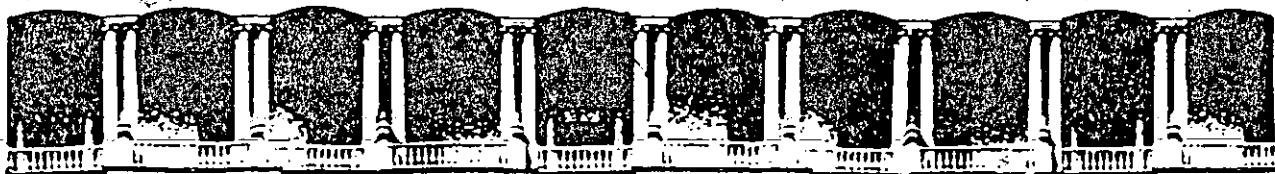


(FIG. 26)

COHESIOMETRO



(FIG. 27)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II**

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO EN CIUDADES

ING. ZARATE AQUINO

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

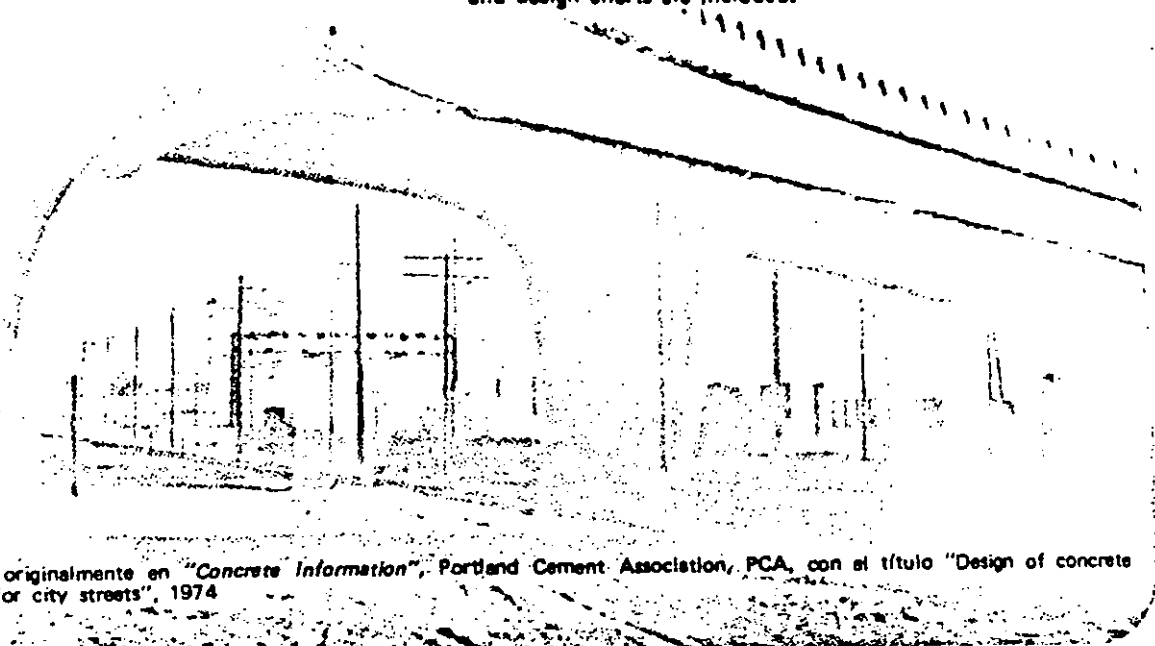
diseño de pavimentos de concreto en ciudades*

RESUMEN

En este artículo se proporcionan procedimientos para el diseño de pavimentos de concreto en calles. Se discuten los factores relacionados con el diseño: espesor, vida del diseño, calidad del concreto, resistencia de la sub-rasante, diseños geométricos, juntas y especificaciones. Se incluye además, información sobre el tránsito y gráficas de diseño.

SUMMARY

In this paper procedures are given for the design of concrete street pavements. Factors involved in design are discussed: thickness, design life, concrete quality, subgrade strength, geometrics, jointing, and specifications. Traffic data and design charts are included.



* Publicado originalmente en "Concrete Information", Portland Cement Association, PCA, con el título "Design of concrete pavement for city streets", 1974

Las normas establecidas por una comunidad para diseñar y construir sus calles, deben asegurar que los pavimentos tengan un largo período de vida útil, con poco mantenimiento. El exceso de mantenimiento que requieren los pavimentos inadecuados (tales como bacheo y aplicación periódica de capas de sello), constituye una fuga innecesaria del dinero de los impuestos. Si la inversión se hace construyendo pavimentos adecuados de concreto hidráulico en los que se tienen períodos de vida útil mayores de 50 años, y gastos reducidos de mantenimiento se pueden tener ahorros de dinero que se utilicen en mejoras permanentes del capital.

Los pavimentos de concreto se diseñan considerando tanto el factor económico como un largo período de vida útil. A continuación se presentan los factores relacionados con el diseño de los pavimentos de concreto para lograr el costo anual más bajo posible:

1. Clasificación de calles y de tránsito (incluyendo su volumen y los pesos por eje)
2. Diseño del espesor
3. Vida de diseño
4. Calidad del concreto
5. Resistencia de la sub-rasante y sus características
6. Diseño geométrico
7. Juntas
8. Especificaciones de construcción

CLASIFICACION DE CALLES Y TRANSITO

Los estudios exhaustivos sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la ciudad, pueden proporcionar la información necesaria para el diseño de pavimentos municipales. Una forma práctica de

abordar el problema consiste en establecer un sistema de clasificación de calles. Las calles de características similares tienen esencialmente la misma densidad de tránsito y la misma intensidad de tránsito por eje. En el presente boletín informativo se utilizan las siguientes clasificaciones de calles:

Calles residenciales ligeras

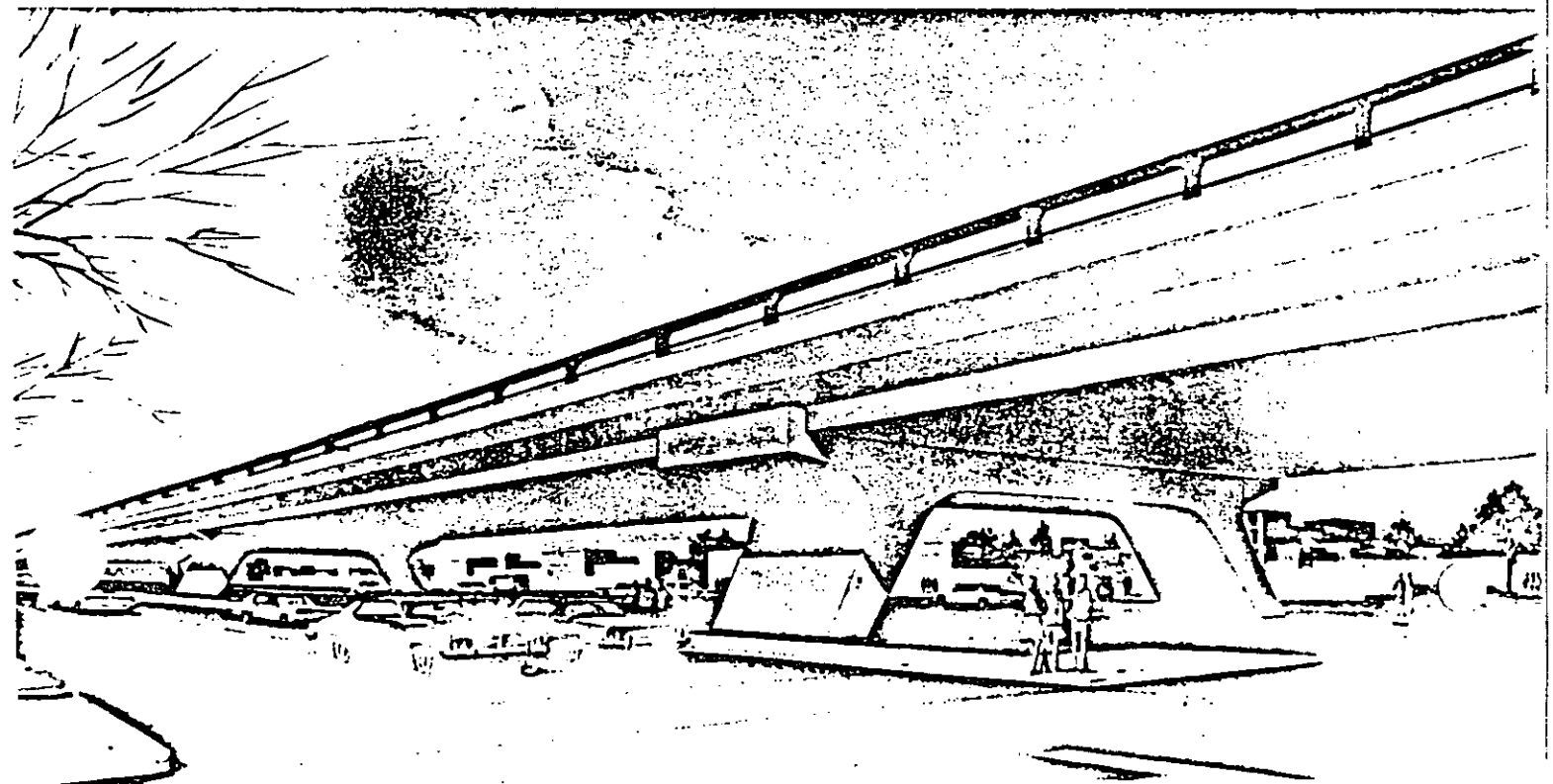
Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos. Las calles residenciales ligeras dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día (vpd), de 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial pesado (camiones de dos ejes y seis ruedas o mayores). Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 16.3 ton y de 9 ton máximas sobre eje sencillo.

Calles residenciales

Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las avenidas residenciales ligeras, pero dan servicio a más casas (60 a 140), incluyendo a aquellas que se encuentran en calles cerradas. En ciudades con un patrón de urbanización del tipo de rejilla, el tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares, y ocasionalmente algún camión pesado. Los volúmenes de tránsito varían de 300 a 700 vpd, con un 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial pesado por día (vcppd).

Calles colectoras residenciales

Los colectores residenciales reciben todo el tránsito de las calles residenciales de un área y lo distri-



Vías rápidas

buyen a los sistemas de calles mayores. Pueden ser de gran longitud y dar servicio a 140 y 300 hogares o más, y tener volúmenes de 700 y 1500 vpd, con 1°/o a 2°/o de tránsito comercial pesado.

Las vías rápidas se diseñan para mover grandes volúmenes de tránsito a velocidades relativamente altas, para las que se justifican diseños extensos y meticulosos que no se incluyen aquí.

Calleas colectoras

Las calles colectoras son las que sirven a varios ramales y pueden tener varios kilómetros de longitud. Pueden servir a rutas de autobuses y a maniobras de camiones en una determinada área, aunque no lo hagan a través de rutas. Los volúmenes de tránsito varían de 2000 a 6000 vpd, con 3°/o a 5°/o de tránsito comercial pesado. Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 17.2 ton y de 10.8 ton máxima sobre eje sencillo.

Calleas comerciales

Estas calles constituyen una categoría especial. Proporcionan acceso a tiendas, y al mismo tiempo sirven al tránsito en los distritos céntricos de negocios. Estas calles se congestionan frecuentemente. Las velocidades de tránsito son bajas. Sin embargo, sus volúmenes de tránsito son relativamente altos con un porcentaje bajo de paso de camiones.

Arterias

Las arterias llevan tránsito desde y hacia vías rápidas y sirven a movimientos mayores de tránsito en áreas metropolitanas que no cuentan con servicio de vías rápidas. Las rutas de autobuses y camiones, así como las rutas federales y estatales numeradas, van comúnmente sobre arterias. Para propósitos de diseño, las arterias están divididas en arterias menores, arterias y arterias mayores, dependiendo del tipo y capacidad de tránsito. Es posible que una arteria menor tenga menos carriles y lleve menos volumen total de tránsito, y sin embargo el porcentaje de camiones pesados que la transiten puede sea mayor que el de una arteria de seis carriles.

Calleas industriales

Las calles industriales dan acceso a las áreas o parques industriales. El volumen total de tránsito puede estar en los rangos más bajos, pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente grande.

Las clasificaciones de calles que aquí se describen, no tienen forzosamente que corresponder a las clasificaciones empleadas en cualquier área metropolitana. Sólo se dan a conocer para indicar en forma general los volúmenes y los pesos por eje de los vehículos que utilizan las avenidas. Estas clasificaciones se resumen en la Tabla No. 1. Los valores son razonables pero deberán compararse y afinarse con el conocimiento de los patrones locales de tránsito.

Tabla No. 1. Clasificación de calles y espesor normal del pavimento de concreto

| Clasificación de calle | Vpd o TDA, ambos sentidos | Lotes, No. | Vehículos comerciales pesados, 2 ejes, 6 ruedas y mayores | | Espesor Normal del Pavimento de Concreto, (cms) | Máxima carga por eje, toneladas | |
|------------------------|---------------------------|------------|---|---------------|---|---------------------------------|----------|
| | | | Porcentaje | Número al día | | Tándem | Sencillo |
| Residencial ligera | 200 | 20-30 | 1-2 | 3-5 | 12.7-15.2 | 16.3 | 9 |
| Residencial | 300-700 | 60-140 | 1-2 | 5-11 | 12.7-15.2 | 16.3 | 9 |
| Cólector residencial | 700-1,500 | 140-300 | 1-2 | 11-23 | 15.2-17.8 | 16.3 | 9 |
| Colector | 2,000-6,000 | | 3-5 | 80-240 | 15.2-17.8 | 17.2 | 10.8 |
| Arteria menor | 3,000-7,000 | | 10 | 300-700 | 17.8 | 20.8 | 15.8 |
| Arteria | 6,000-13,000 | | 5-7 | 360-780 | 20.3 | 25.4 | 13.8 |
| Arteria mayor | 14,000-28,000 | | 5 | 700-1,400 | 20.3-22.8 | 29.4 | 18.1 |
| Comercial | 11,000-17,000 | | 3-5 | 440-680 | 20.3 | 25.4 | 13.8 |
| Industrial | 2,000-4,000 | | 15-20 | 350-700 | 22.8 | 29.4 | 18.1 |

DISEÑO DEL ESPESOR

Para elaborar un diseño completo es necesario conocer las cargas por eje de vehículos pesados que se esperan durante el período de vida del diseño, así como la resistencia a la tensión por flexión del concreto hidráulico y el valor soporte de la sub-rasante. A continuación se delinean tres métodos de diseño.

METODO DE DISEÑO 1

Se utiliza la Tabla No. 1 para determinar el rango de espesor del concreto que normalmente se emplea en cada tipo de calle.

METODO DE DISEÑO 2

Al final de este boletín informativo, se proporciona una serie de seis gráficas de diseño. Fueron desarrolladas para una clasificación de calles como se indica a continuación:

Gráficas 1 y 2 para calles residenciales ligeras, residenciales y colectores residenciales.

Gráfica 3 para colectores.

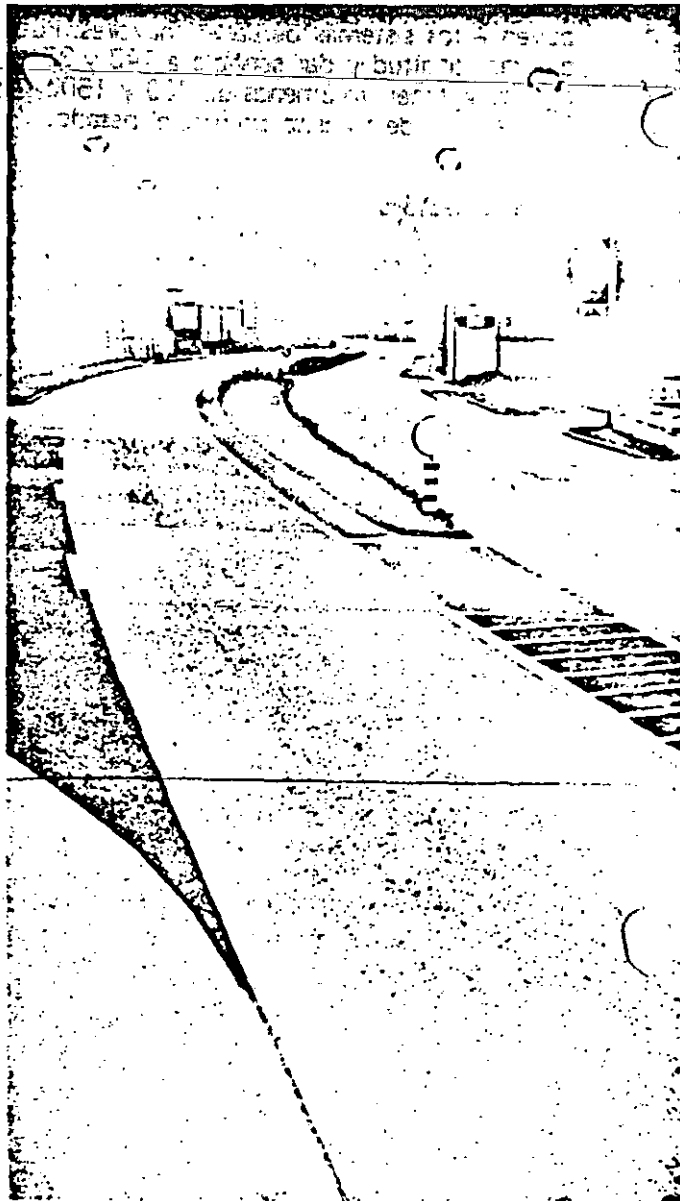
Gráfica 4 para arterias menores.

Gráfica 5 para arterias y calles comerciales.

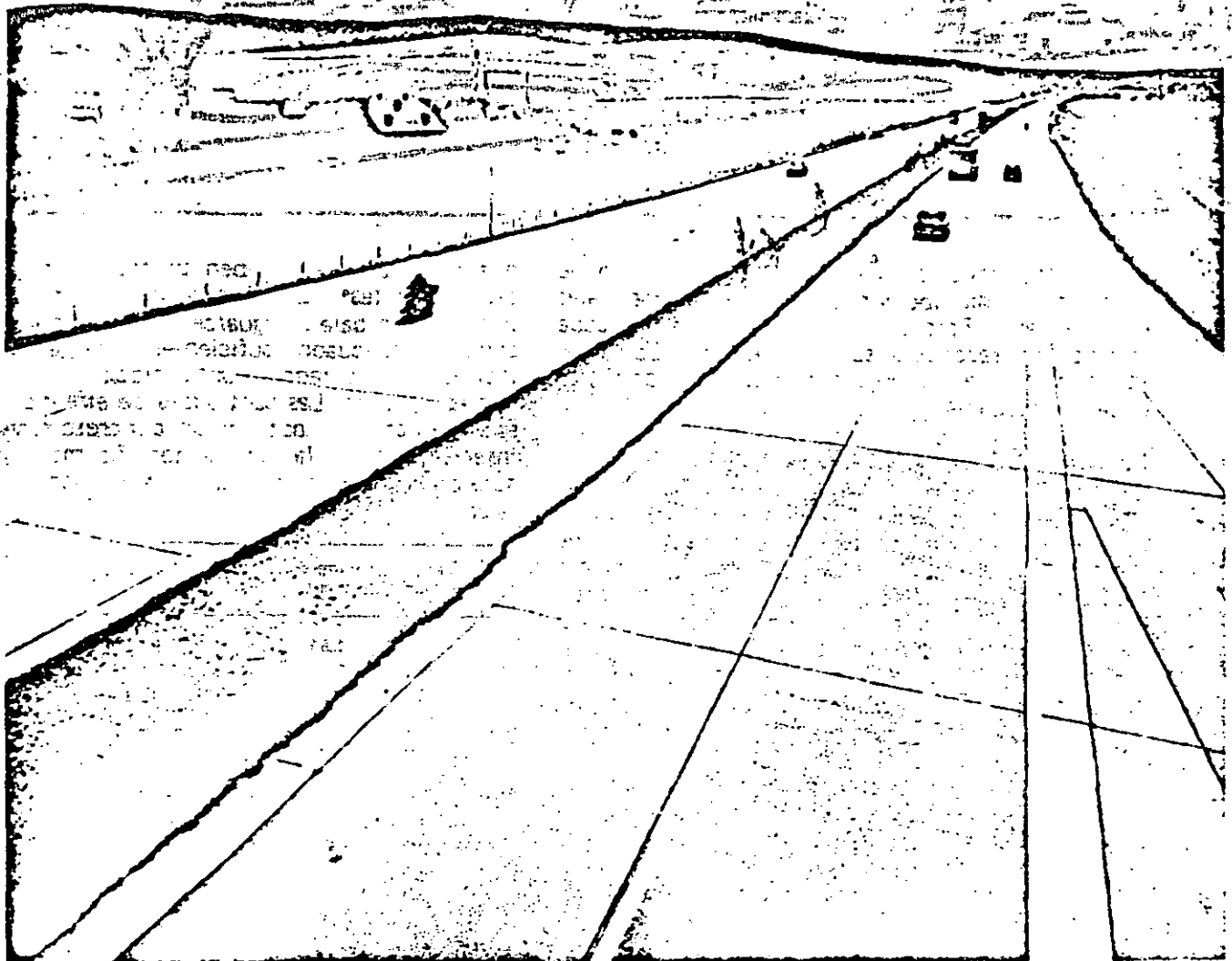
Gráfica 6 para arterias mayores y calles industriales.

Utilizando la gráfica correspondiente, se procede de la siguiente manera:

1. Encontrar si los pesos máximos por eje, que se muestran en la Tabla No. 1, corresponden a los que operan en la localidad. Los valores de la Tabla No. 1 son razonables, pero probablemente son más pesados que los que se prevén generalmente. 1,2
2. Decidir acerca del período de vida de diseño de la calle.
3. Estimar el porcentaje medio por día de vehículos comerciales pesados que podrían circular en ambos sentidos durante la vida del diseño. Si no se cuenta con esta información, se deberá hacer un conteo del tránsito de camiones pesados. Si no se hace ningún conteo, se puede usar la información sobre tránsito de la Tabla No. 1 como guía. Una alternativa en el caso de calles residenciales, consiste en estimar el número de lotes o casas ubicados en la zona donde la calle dará servicio.



4. Normalmente se utiliza para el diseño el módulo de ruptura (MR) del concreto, a los 28 días de edad. Véase el capítulo denominado "Calidad del concreto".
5. El valor soporte de la sub-rasante se expresa por medio del módulo de reacción "k". Este módulo de la sub-rasante se determina mediante pruebas de placa. Asimismo, se puede estimar a partir de pruebas de correlación, o puede obtenerse de las guías, que se dan en la sección "Características y resistencia de la sub-rasante".
6. Utilizando la gráfica de diseño se entra por el lado izquierdo con el dato de tránsito (vcppd), y se proyecta una línea horizontal hacia la línea MR. En seguida se continúa verticalmente hasta encontrar la línea del valor de "k", y horizontalmente, se llega a la escala que da el espesor de la losa. (La línea punteada en cada gráfica es un ejemplo)



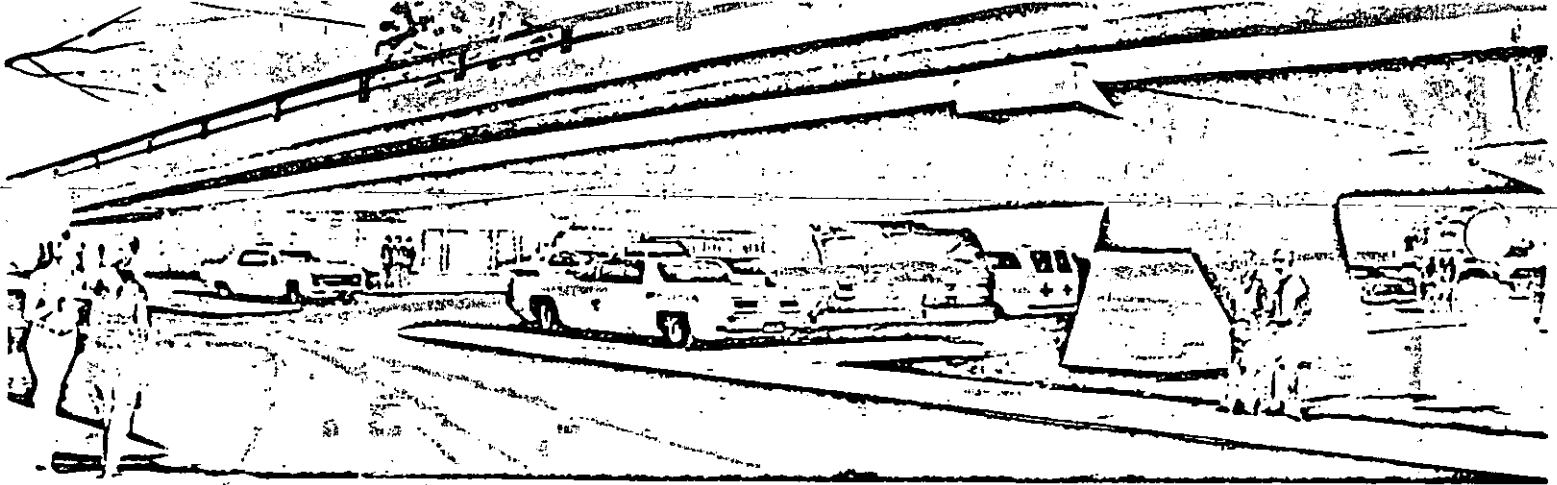
METODO DE DISEÑO 3

El tercer método es un análisis completo de diseño, recomendado para grandes municipios, utilizando una información adecuada de tránsito, materiales y suelos. Ver "Diseño del espesor para pavimentos de concreto" de la Asociación del Cemento Portland³. (En particular el método PCA modificado).

En el método modificado, se toman en cuenta los conteos del tránsito de camiones y se lleva a cabo una clasificación de vehículos. Esto es particularmente importante, ya que el porcentaje de tractores con semi-remolque acoplado y camiones combinables puede ser diferente en algunos tipos de calles, de aquellos que se reportan en una tabla típica elaborada con un aparato de medición de cargas W-4. Los departamentos de autopistas, en colaboración con la Administración Federal de Autopistas,

realizan estudios sobre tránsito y aparatos de medición de cargas, cuyos resultados se resumen en un conjunto de tablas numeradas de la W-1 a la W-8. En la tabla W-4, se tabula el número de cargas por eje por grupos para cada tipo de camión. Usando la sección urbana de estos estudios, es posible hacer una clasificación simplificada del conteo de camiones y distribuir entonces las cargas por eje para cada tipo de camión, de acuerdo al patrón de distribución de pesos que se encuentra en la tabla W-4.

Las cargas por eje más pesadas, sirven de norma para el diseño del espesor del concreto, pero estas cargas, que se dan en la tabla W-4, frecuentemente ocurren sólo en unas cuantas rutas. Por lo tanto, si la información se usa para hacer distribuciones de cargas en un área cuyas condiciones de tránsito son diferentes, resulta recomendable excluir los grupos de carga no relacionados, cuando se use la información de cargas W-4.



En rutas mayores con carriles múltiples, se debe considerar la distribución de vehículos comerciales en cada carril. Para calles con dos carriles en cada sentido, es razonable suponer que del 85% al 90% de los vehículos comerciales transitarán por el carril derecho.

PERIODO DE VIDA DEL DISEÑO

Conociendo el tránsito, se puede diseñar un pavimento de concreto para cualquier período de vida que se desee; sin embargo, frecuentemente resulta difícil predecir ciertos cambios en el tránsito. Para caminos y calles densamente transitadas, el tránsito futuro puede tener una influencia considerable en el diseño. Por otra parte, los cambios en el tránsito de calles residenciales y poco transitadas, generalmente tienen escaso significado para el diseño. Es común utilizar un período de cincuenta años como base en el diseño de pavimentos, especialmente para las calles clasificadas como residenciales, ya que rara vez se someten a reorganización o realineación. Para los diseños que aquí se presentan, se utilizaron períodos de vida del diseño de 35 y 50 años.

CALIDAD DEL CONCRETO

Las mezclas de concreto para pavimentar se diseñan:

1. Para proporcionar una durabilidad satisfactoria bajo las condiciones a las que se someterá el pavimento.
2. Para producir la resistencia deseada a la flexión.

Ya que los esfuerzos críticos en pavimentos de concreto se deben a la flexión más que a la compresión, la resistencia a la flexión (expresada como MR) se utiliza en el diseño de pavimentos de concreto. Bajo condiciones promedio, el concreto con un MR (ASTM C78, cargadas en los tercios del claro) de 38.5 Kg/cm² a 49 Kg/cm² a 28 días, es el más económico.

En áreas afectadas por heladas, los pavimentos de concreto sujetos a muchos ciclos de conge-

lamiento y deshielo, deben protegerse contra sales descongelantes⁴. Es esencial que la mezcla tenga una relación baja de agua/cemento, un contenido de cemento adecuado, suficientes cantidades de aire incluido, un curado y un período de secado con aire apropiados. Las cantidades de aire incluido que se necesitan para obtener un concreto resistente al intemperismo varían con el tamaño máximo de los agregados. Se recomiendan los siguientes porcentajes:

| Tamaño máximo de los agregados (cm) | Aire incluido (%) |
|-------------------------------------|-------------------|
| 3.81 | 5 + 1 |
| 1.90 a 2.54 | 6 + 1 |
| 0.95 a 1.27 | 7.5 + 1 |

Además de hacer más resistente el pavimento de concreto al intemperismo, las cantidades de aire incluido se recomiendan mientras el concreto se encuentra en estado plástico, mejorándolo en los siguientes aspectos:

1. Prevención de la segregación
2. Aumento de la trabajabilidad
3. Reducción del sangrado
4. Reducción de la cantidad de agua necesaria para una trabajabilidad satisfactoria.

Debido a estos benéficos y esenciales efectos tanto en concreto plástico como endurecido, la inclusión de aire se debe incorporar a todos los diseños de las mezclas de pavimentos de concreto.

El agua del mezclado también tiene una influencia crítica en la durabilidad y resistencia del concreto. Cuanto menor sea la cantidad de agua en el mezclado con un determinado contenido de cemento para producir una mezcla plástica y trabajable, mayor será la durabilidad del concreto. La experiencia en el laboratorio y el campo, muestra que para obtener una durabilidad satisfactoria del pavimento, la relación agua/cemento no deberá exceder de 0.53 y el contenido de cemento no debe ser menor de 280 kilogramos por metro cúbico. En áreas donde se presenten frecuentes heladas y des-

y donde la aplicación de agentes de sedimentación son comunes, la relación agua/cemento no deberá exceder de 0.50, con un contenido de cemento mínimo de 304 kilogramos por metro cúbico.

Se puede encontrar información adicional sobre el diseño de mezclas en "Diseño y control de mezclas de concreto".⁵

CARACTERÍSTICAS Y RESISTENCIA DE LA SUB-RASANTE

Debido a su rigidez, el pavimento de concreto tiene una resistencia a la flexión y una capacidad de carga notables. Por tanto, las presiones debajo del pavimento de concreto son muy leves y se distribuyen sobre áreas relativamente extensas. Esta cualidad del concreto de distribuir cargas pesadas, hace innecesario construir sub-rasantes resistentes de gruesas capas de piedra triturada o grava. En vista de lo anterior, se pueden construir pavimentos de concreto económicos, que tendrán un buen comportamiento, en casi todos los suelos.*

Los suelos de la sub-rasante deben ser de material y densidad uniformes para que el pavimento tenga un comportamiento satisfactorio. Las zonas blandas que aparezcan durante la construcción deberán excavar y recompactarse con el mismo tipo de material que se encuentra en la sub-rasante adyacente. No se puede obtener un soporte uniforme simplemente retacando material granular extra sobre la zona blanda.

Cuando se tiene una sub-rasante razonablemente uniforme, se puede lograr una reducción substancial de la contracción excesiva y la ondulación producida por los suelos expansivos, mediante un control adecuado de la humedad y la densidad durante la compactación. La compactación de suelos expansivos con humedades arriba de la óptima de 1 a 3 puntos (en porciento), como lo señala el método estándar AASHTO, mantiene los cambios de volumen dentro de un mínimo. También reduce la acción diferencial de congelación en los climas nortños. Se debe poner especial cuidado en compactar el relleno alrededor de los tubos de drenaje, instalaciones de drenaje y otras estructuras permanentes en el área pavimentada. No debe permitirse que la sub-rasante se seque antes de construir el pavimento.

El valor de soporte de la sub-rasante se expresa como valores de "k", o módulo de reacción de la sub-rasante, y se determina mediante pruebas de placa o mediante correlación con otros suelos de los cuales se conocen los valores de "k".** Para el diseño de calles, generalmente se utilizan los siguientes valores de "k".

| "k" Kg/cm ³ | "k" lb/in ³ | Tipo de suelo | Calificación |
|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------|
| 2.77 | 100 | Limos y Arcillas | Satisfactorio |
| 5.54 | 200 | Suelos arenosos | Bueno |
| 8.30 | 300 | Grava arenosa | Excelente |

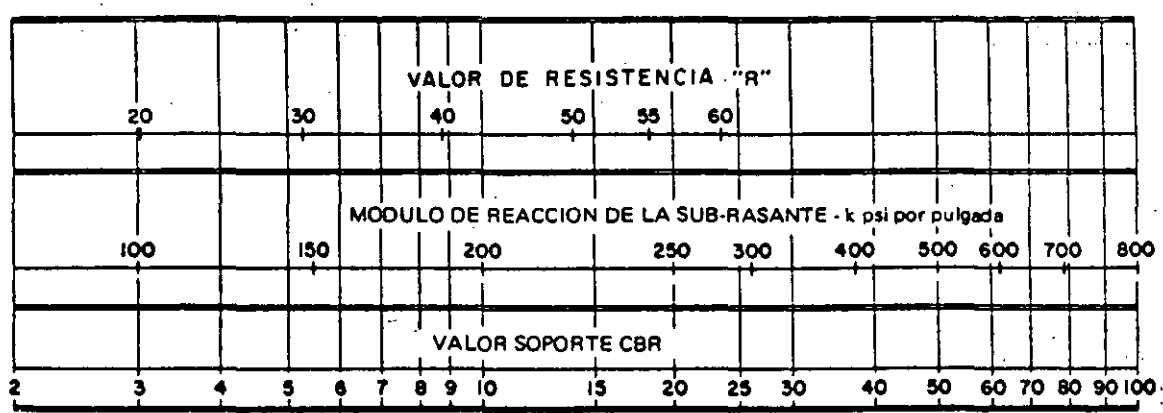


Fig. 1. Correlaciones aproximadas entre los valores de soporte de los suelos.

* En "Sub-rasantes y Sub-bases para Pavimentos de Concreto"⁶ se proporciona una información detallada de los requerimientos de materiales, diseño y compactación.

** Los procedimientos adecuados se proporcionan en "Relleno de trinchera de servicio"⁷
 ** Para aquellos ingenieros familiarizados con el método de CBR de California o valores de resistencia R, se muestra una correlación en la Figura No. 1

Aunque en la mayoría de las calles metropolitanas no se requieren sub-bases en los pavimentos de concreto. En el caso de pavimentos de vías rápidas o arterias por las que transita una cantidad grande de camiones pesados (entre 100 y 200 vcppd en ambos sentidos o más), se necesitan sub-bases para evitar que el material fino de la sub-rasante sea extraído por bombeo. Cuando se necesiten sub-bases, éstas deberán construirse con cuidado.

DISEÑO GEOMETRICO

Servicios

La práctica común en los nuevos ramales, indica que las instalaciones de servicio se coloquen a la derecha del ramal, fuera del área pavimentada para facilitar el mantenimiento y la instalación de nuevos servicios. Se deben evaluar las necesidades presentes y futuras, y tomar previsiones para satisfacerlas. La planeación previa puede evitar que en el futuro se tengan que levantar secciones ya pavimentadas para aumentar las instalaciones de drenaje.

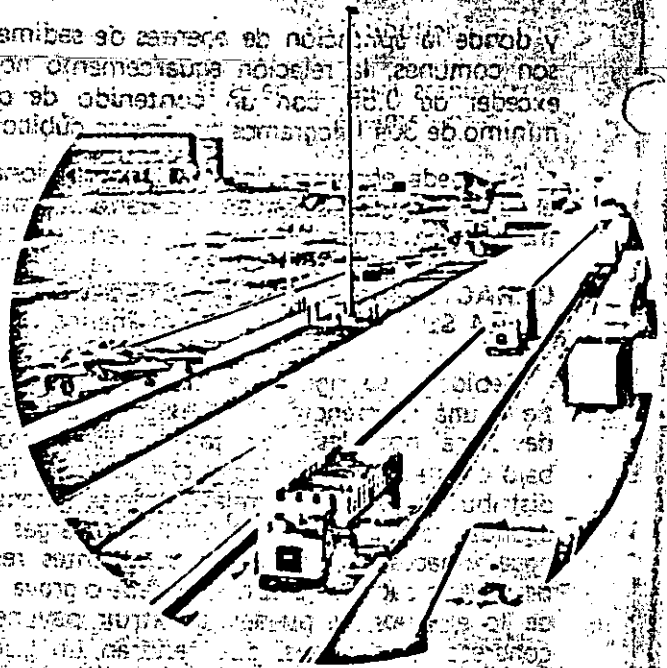
Guarniciones integrales

Una de las formas más prácticas y económicas de construir pavimentos de concreto para las calles metropolitanas, es hacerlas con la guarnición integrada a la sección. Una guarnición integral se construye junto con el pavimento en una sola operación —llevando a cabo todo el trabajo de concreto simultáneamente. La guarnición se construye fácilmente con una cercha y una regla recta mientras se coloca el concreto. Las guarniciones integrales se pueden construir casi con cualquier sección transversal que se desee.

La construcción de guarniciones integrales ofrece al diseñador un factor de seguridad adicional debido al engrosamiento de la sección de la orilla que forma la guarnición. Las tensiones y deflexiones en la orilla del pavimento se reducen, aumentando por consiguiente la capacidad estructural del pavimento. Las ventajas inherentes y la economía de la construcción integral de la guarnición, hacen recomendable su consideración para pavimentos de calles metropolitanas.

Anchos de las calles

Los anchos de las calles varían de acuerdo al tránsito que van a soportar. El ancho mínimo que se recomienda, excepto en casos pocos comunes, es de 7.5 m, con una pendiente transversal máxima de 2 cm por metro. Es deseable que los anchos y pendientes transversales de un mismo carril sean constantes.



Normalmente, los carriles de tránsito tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros. No se recomiendan carriles con un ancho superior a 3.66 metros porque la experiencia demuestra que los conductores tienden a rebasar en carriles anchos, ocasionando accidentes.

Los carriles de estacionamiento tienen normalmente un ancho de 2.13 a 2.44 metros. Un carril de 2.13 metros se utiliza en los lugares donde predominen los automóviles de pasajeros, el carril de 2.44 metros es para dar acomodo a camiones. No se recomiendan carriles de estacionamiento de 1.83 metros de ancho. En las grandes avenidas, los carriles de estacionamiento tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros y también se pueden usar como carriles de tránsito o retorno.

En las calles en las que se prohíbe estacionarse, generalmente se destina un carril de 0.61 metros de ancho a lo largo de la guarnición, como espacio no transitable.

JUNTAS

Las juntas deben diseñarse cuidadosamente y construirse de manera que se asegure su buen funcionamiento. Con excepción de las juntas de construcción, que dividen el trabajo de pavimentación en jornadas convenientes, las juntas en pavimentos de concreto se usan para mantener la tensión dentro de los límites de seguridad y evitar la formación de grietas irregulares. En "Pavimento con guarnición integral, secciones típicas y detalles", se dan sugerencias para los detalles de las juntas de calles residenciales.

Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales se colocan para controlar el agrietamiento longitudinal. Generalmente se espacian para hacerlas coincidir con las marcas de los carriles a intervalos de 2.44 a 3.66 metros. El espaciamiento de las juntas no deberá ser mayor de 3.96 metros, a menos que la experiencia local haya demostrado que los pavimentos se desempeñan satisfactoriamente. La profundidad de las juntas longitudinales deberá ser por lo menos igual a la cuarta parte del espesor del pavimento más 1.25 cm.

La mayoría de los pavimentos con guarnición integral de las calles metropolitanas, se sostienen mediante el relleno detrás de las guarniciones, lo que elimina la necesidad de usar juntas fijadoras longitudinales hechas con varillas o tornillos de tensión.

Juntas transversales

Las juntas transversales de contracción se usan para controlar el agrietamiento transversal. Las juntas de contracción liberan (1) esfuerzos de tensión que ocurren cuando las losas se contraen y (2) esfuerzos de alabeo causados por diferenciales de temperatura y contenidos de humedad dentro de la losa. La mayoría de las juntas de contracción se construyen por medio de aserrado después de que el concreto endurece, ya sea moldeado a mano, o insertando un material prefabricado dentro del concreto plástico. La selección del método se basa, generalmente, en las condiciones ambientales que prevalecen durante la construcción, las características del agregado, y los costos de operación. En cualquier caso, la profundidad de las juntas en las calles metropolitanas deberá ser igual a la cuarta parte del espesor del pavimento.

La malla de acero o alambre que distribuye, como normalmente se emplea, sólo sirve para sostener las orillas de las grietas fuertemente unidas. Las cantidades de acero que se emplean en esta práctica, no aumentan notoriamente la resistencia estructural del pavimento. Si las juntas transversales de contracción se espacian adecuadamente, no aparecerá agrietamiento intermedio, y la distribución de acero se deberá omitir. Por lo tanto, es necesario determinar el espaciamiento de las juntas de contracción que controle el agrietamiento. Generalmente, éste es de 4.57 a 6.1 metros. La mejor guía es la experiencia obtenida en calles que se encuentran en servicio.

La necesidad de contar con dispositivos de transferencia de carga en las juntas de contracción, depende de las condiciones de la sub-rasante y del servicio al que está destinado el pavimento. No se necesitan barras lisas en pavimentos residenciales u otras calles de tránsito ligero, pero se pueden necesitar en arterias diseñadas para soportar los volúmenes y pesos del tránsito de camiones¹⁰.

Cuando se espacian correctamente, las juntas transversales de contracción, no se necesitan juntas de expansión, excepto en objetos fijos e intersecciones asimétricas, teniendo en cuenta que:

1. El pavimento se construye con materiales de características de expansión normales.
2. Las juntas de expansión se espacian a intervalos cortos que evitarán la formación de grietas intermedias.
3. El pavimento se construye cuando la temperatura ambiente está por arriba del punto de congelamiento.

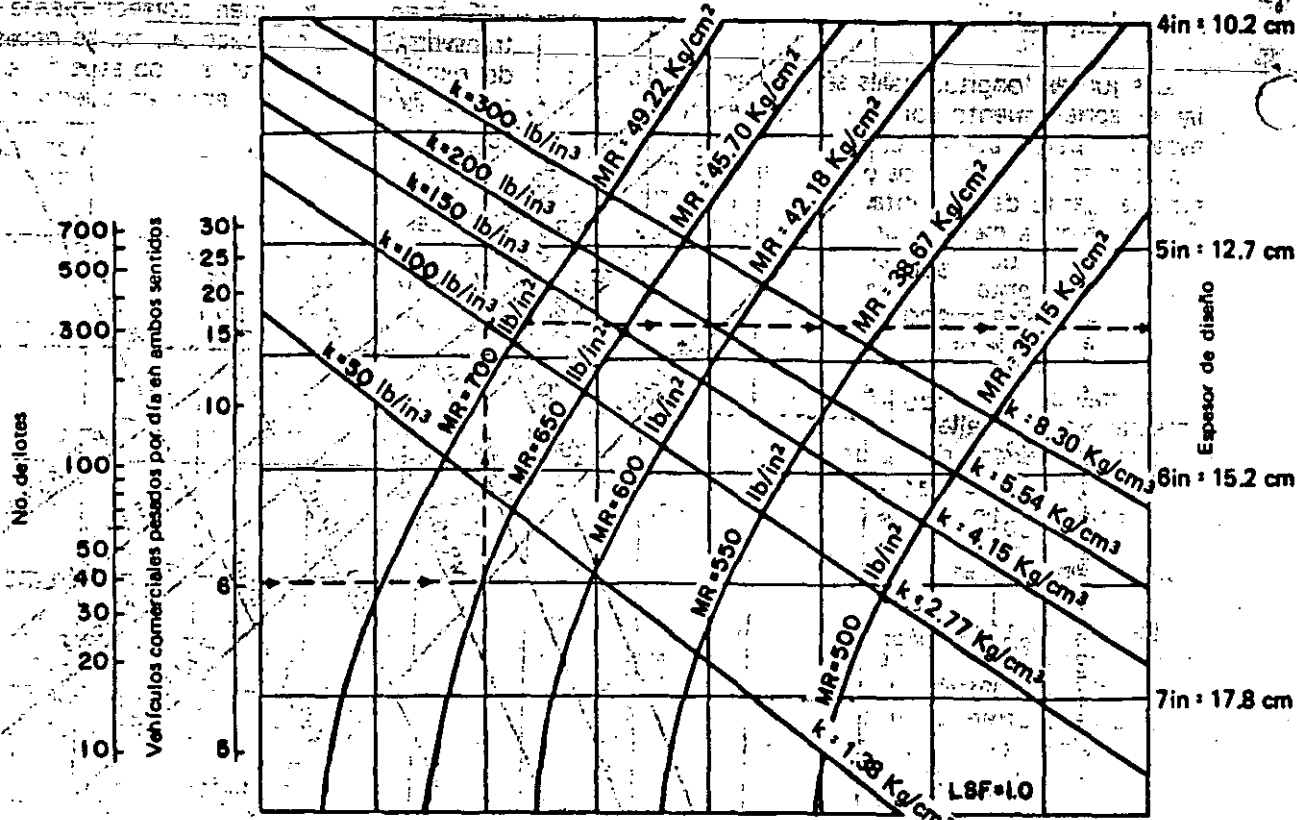
Si el pavimento se construye en clima frío, o si se utiliza material de características expansivas anormales, se hacen necesarias las juntas expansivas —espaciadas a intervalos de 183 a 244 metros.

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

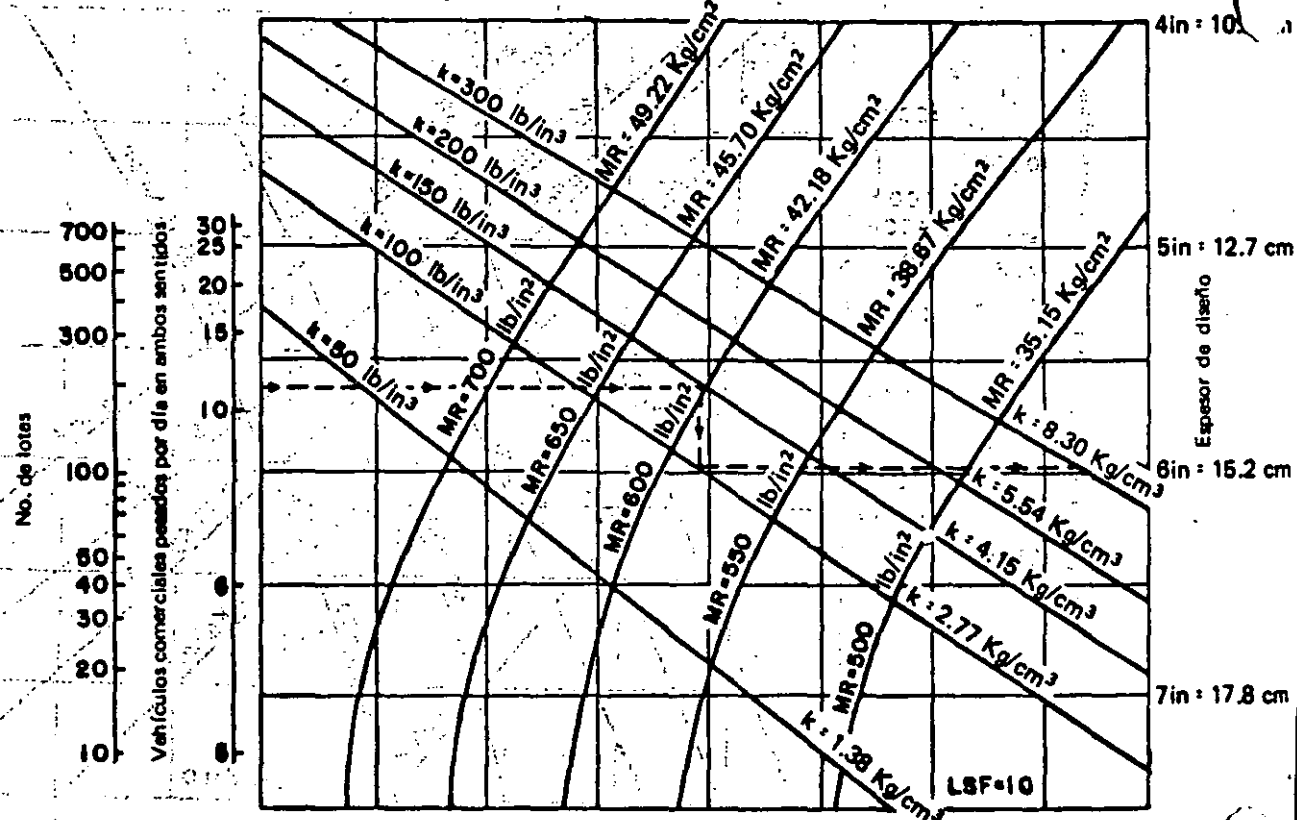
No importa qué tan meticulosamente se diseñe una estructura; no podrá desempeñar la función que de ella se pretende a menos que se tomen todas las precauciones en su construcción, para asegurar la calidad de mano de obra en el resultado final. Para esto se necesitan las especificaciones correctas. Pero las especificaciones no son suficientes si no se apoyan adecuadamente en una inspección competente. La Asociación de Cemento Portland tiene disponibles especificaciones para el pavimento de calles metropolitanas¹¹.

REFERENCIAS

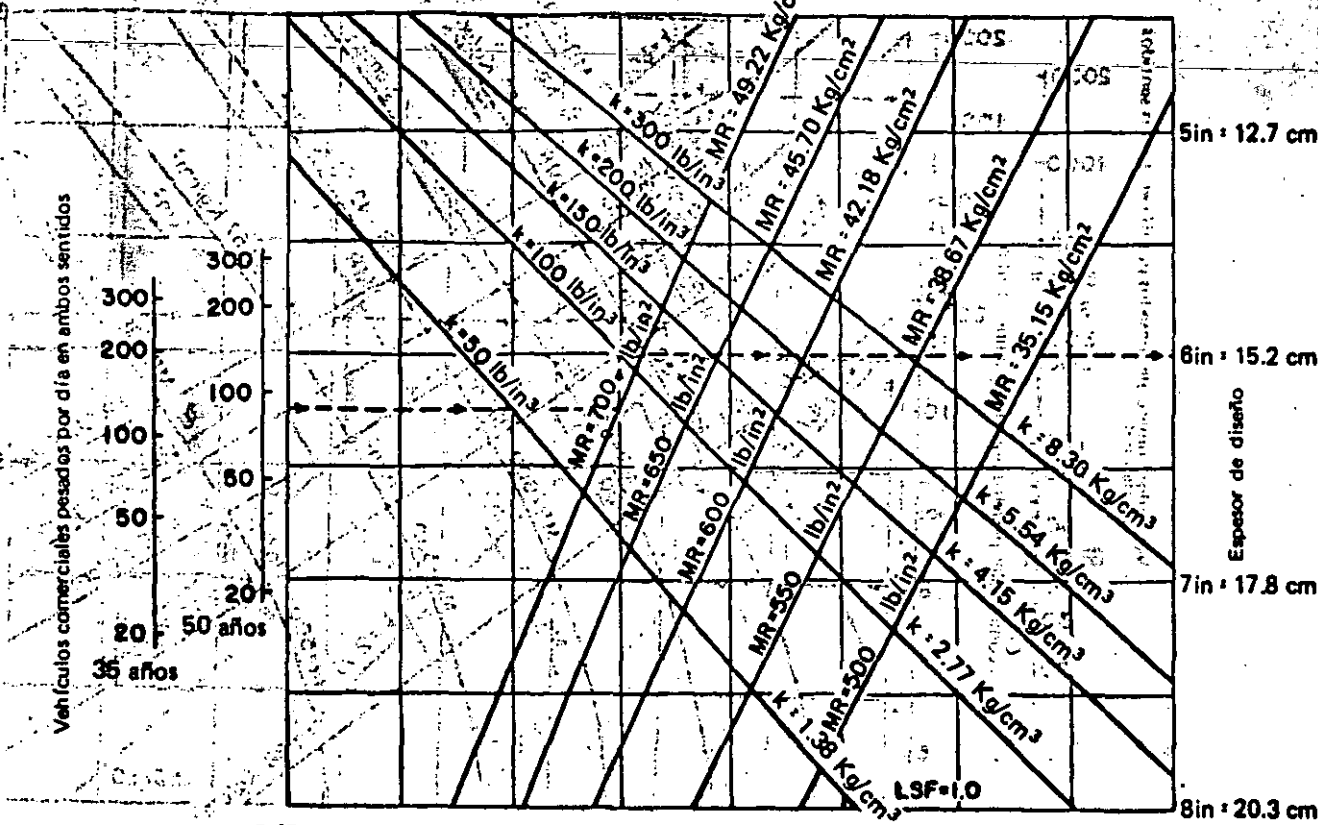
1. Wilson R. E., "Residential Traffic Volumes, Types, Weights," 1965 Yearbook, American Public Works Association, pag. 131-145.
2. Robbins, E. Guy, and Warnes, Cloyd E., "Traffic Data for Concrete Pavement Design", *Transportation Engineering Journal, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, TE1, Paper 9555, February 1973, pag. 17-29.
3. *Thickness Design for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1966.
4. *Scale-Resistant Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1964.
5. *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association, 1968.
6. *Subgrades and Subbases for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1971.
7. *Backfilling Utility Trenches*, Portland Cement Association, 1964.
8. *Integral Curb Pavement, Typical Sections and Details*, Portland Cement Association, 1965.
9. *Integral Curb Pavement, Typical Sections and Details for Residential Streets*, Portland Cement Association, 1965.
10. *Joint Design for Concrete Pavements*, Portland Cement Association, 1961.
11. *Suggested Specifications for Construction of Integral Curb Concrete Streets*, Portland Cement Association, 1965.



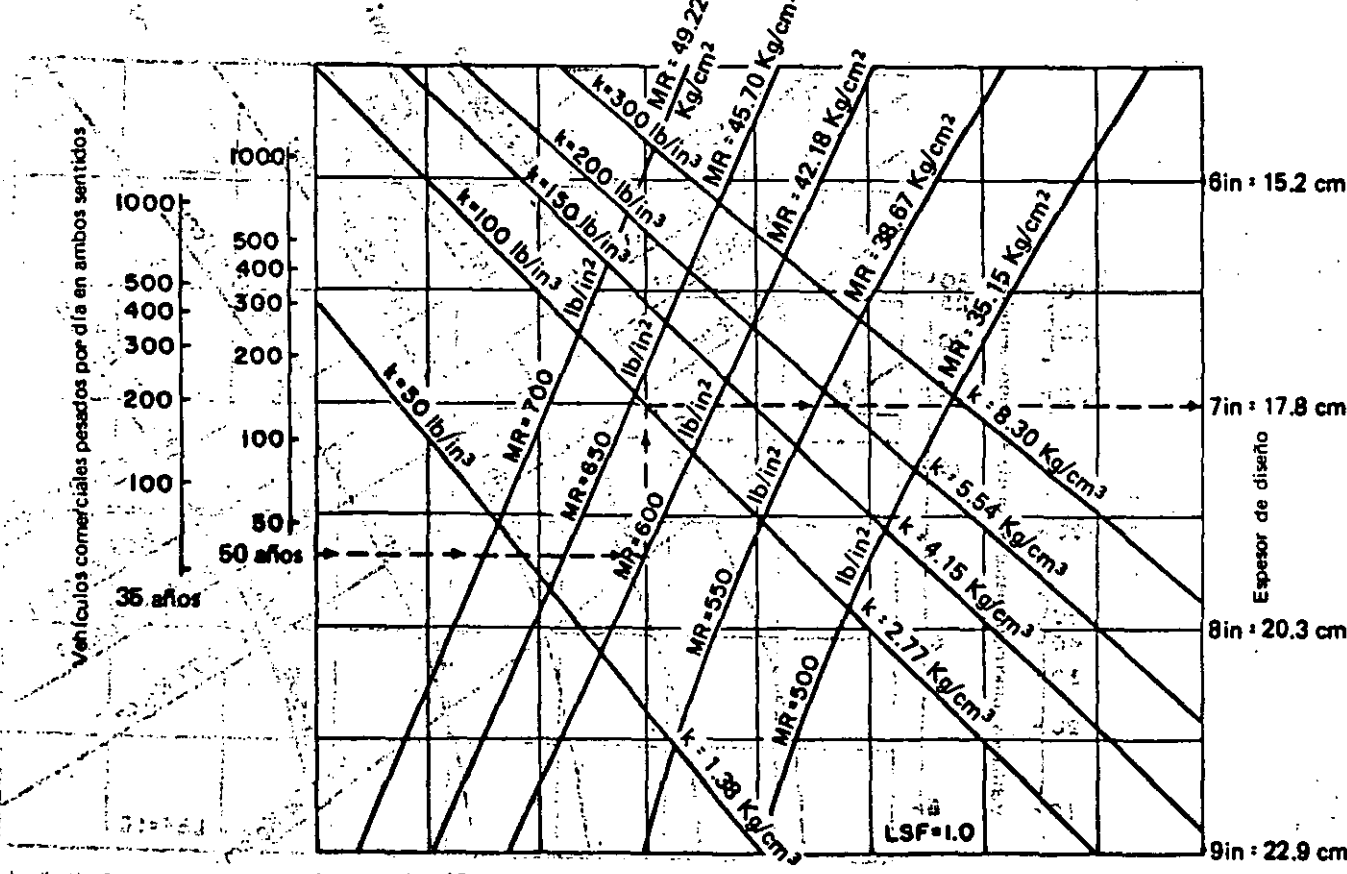
Gráfica No. 1 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 35 años.



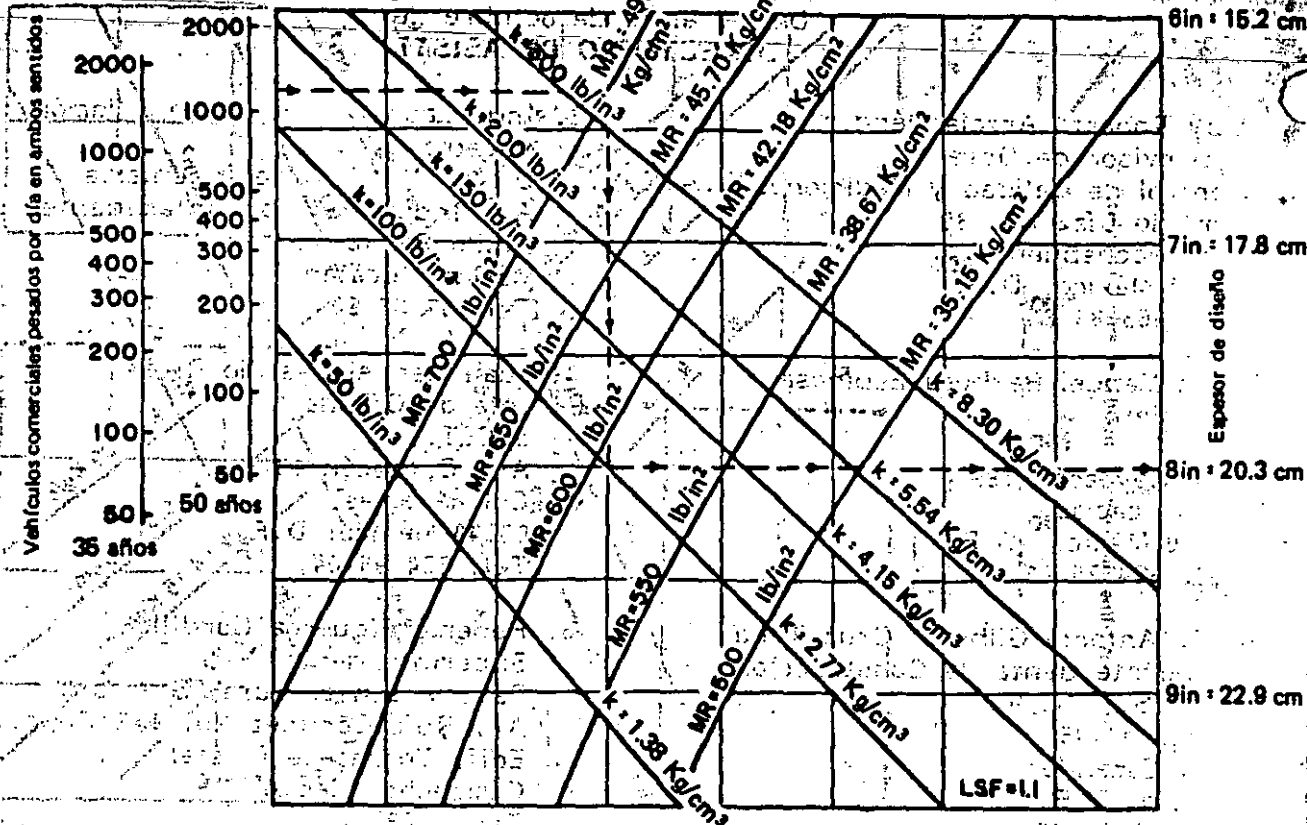
Gráfica No. 2 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 50 años.



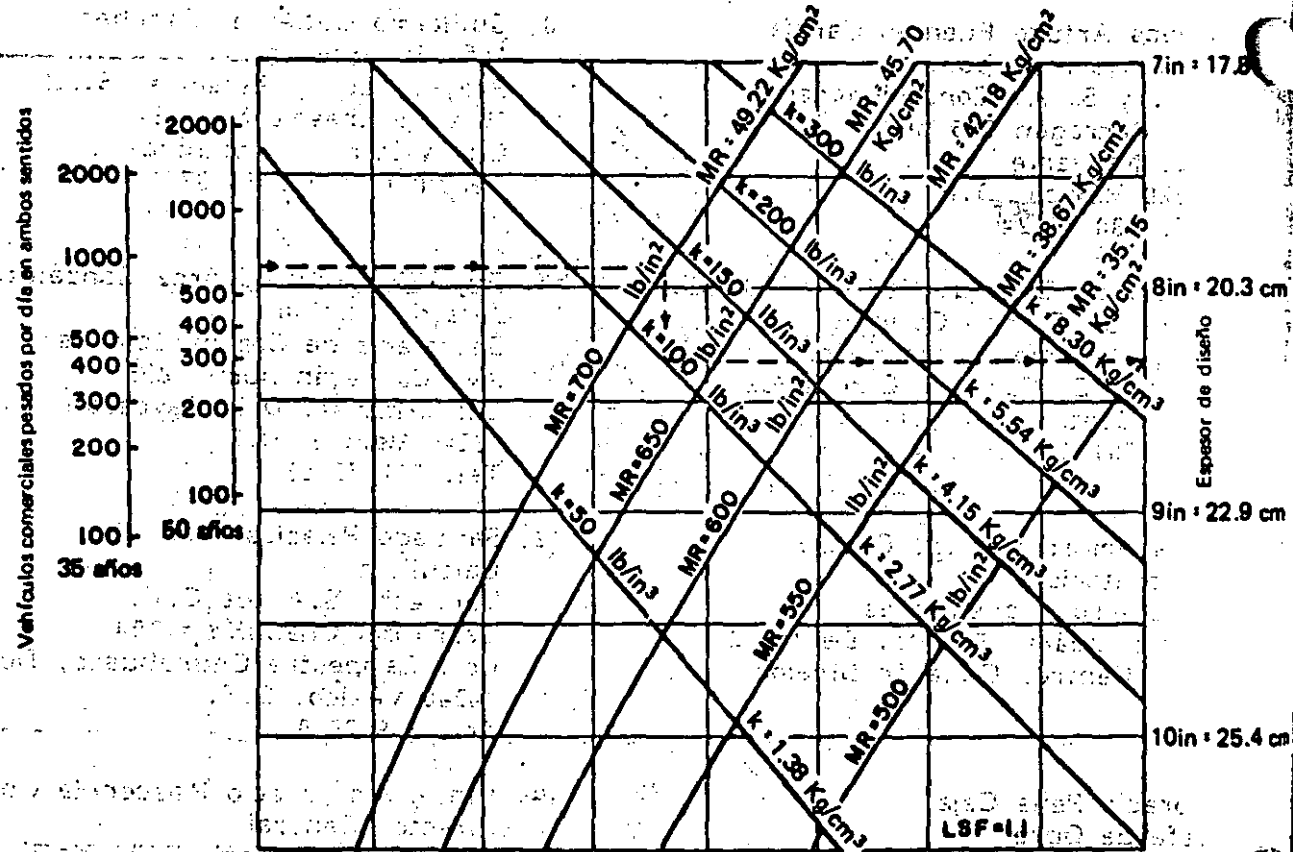
Gráfica No. 3. Gráfica de diseño del espesor para calles colectoras para periodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 4 Gráfica de diseño del espesor para arterias menores para periodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 5 Gráfica de diseño del espesor para arterias y calles comerciales para períodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 6 Gráfica de diseño del espesor para arterias mayores y calles industriales para períodos de diseño de 35 y 50 años.