

**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 consi--- guientes 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.

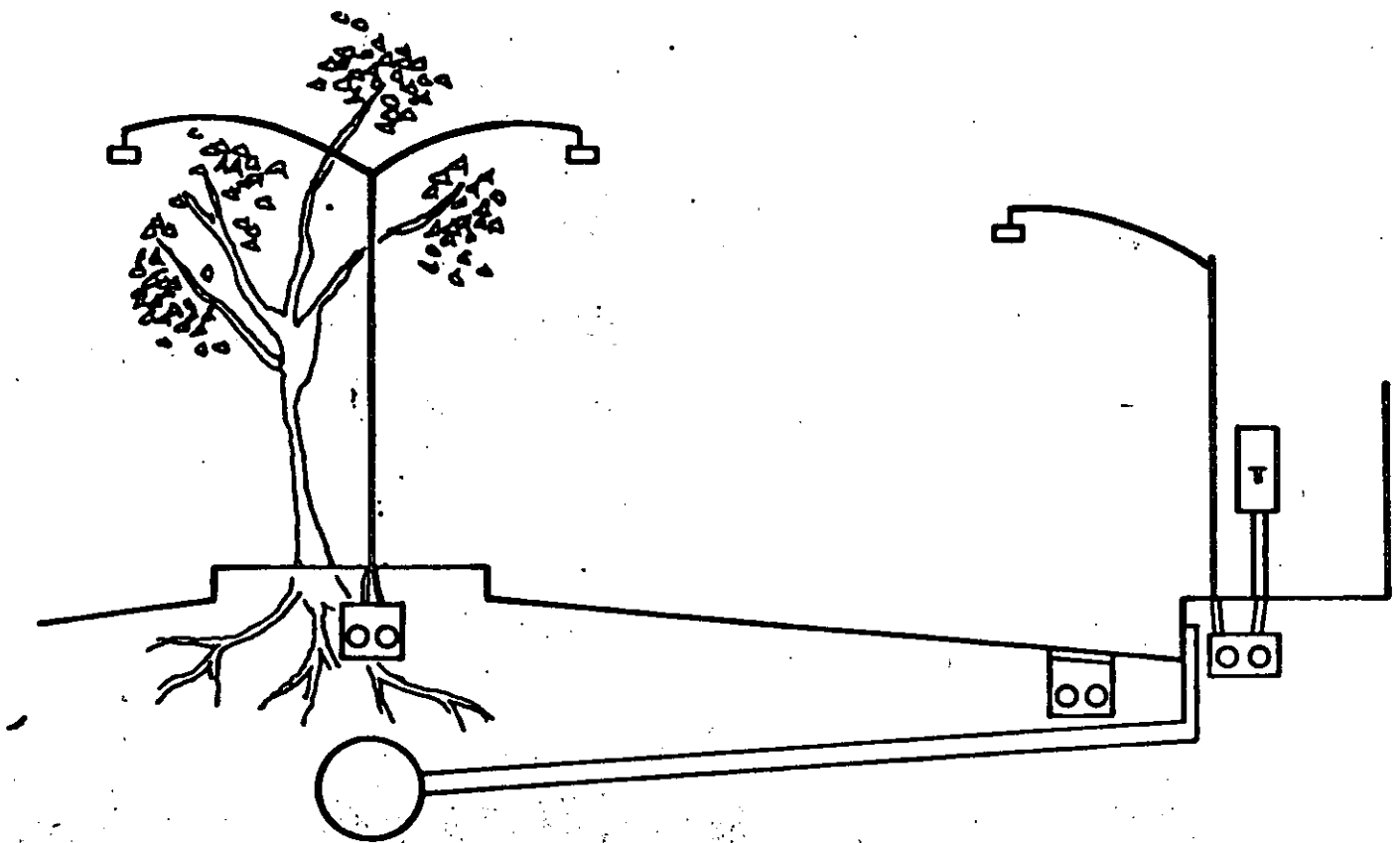
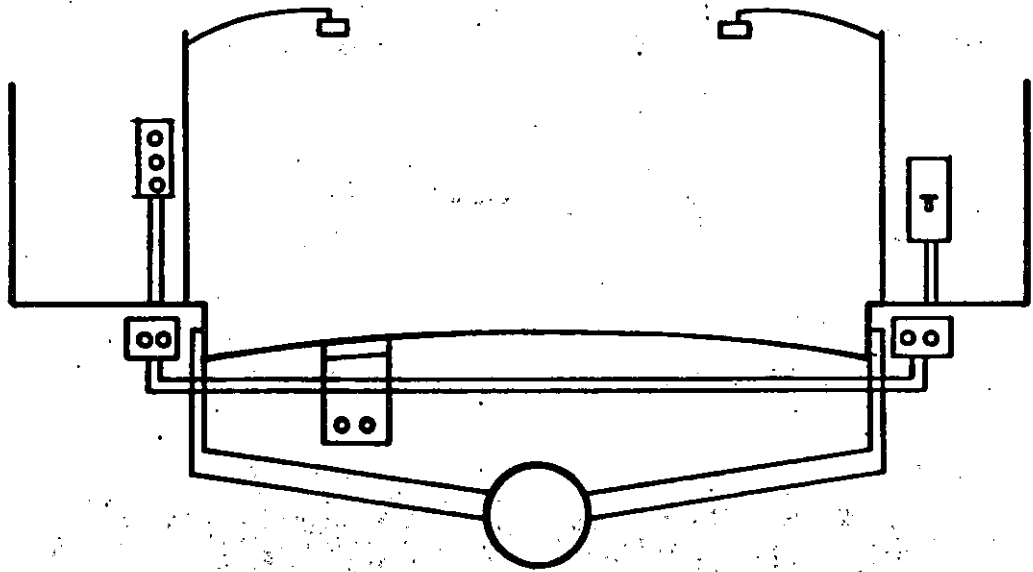
A partir de este momento, la evaluación periódica de la red, la investigación de los aspectos débiles, la actualización de conocimientos, etc., permitirá de retroalimentación del sistema y su permanente aplicación en forma eficiente.

Conclusiones

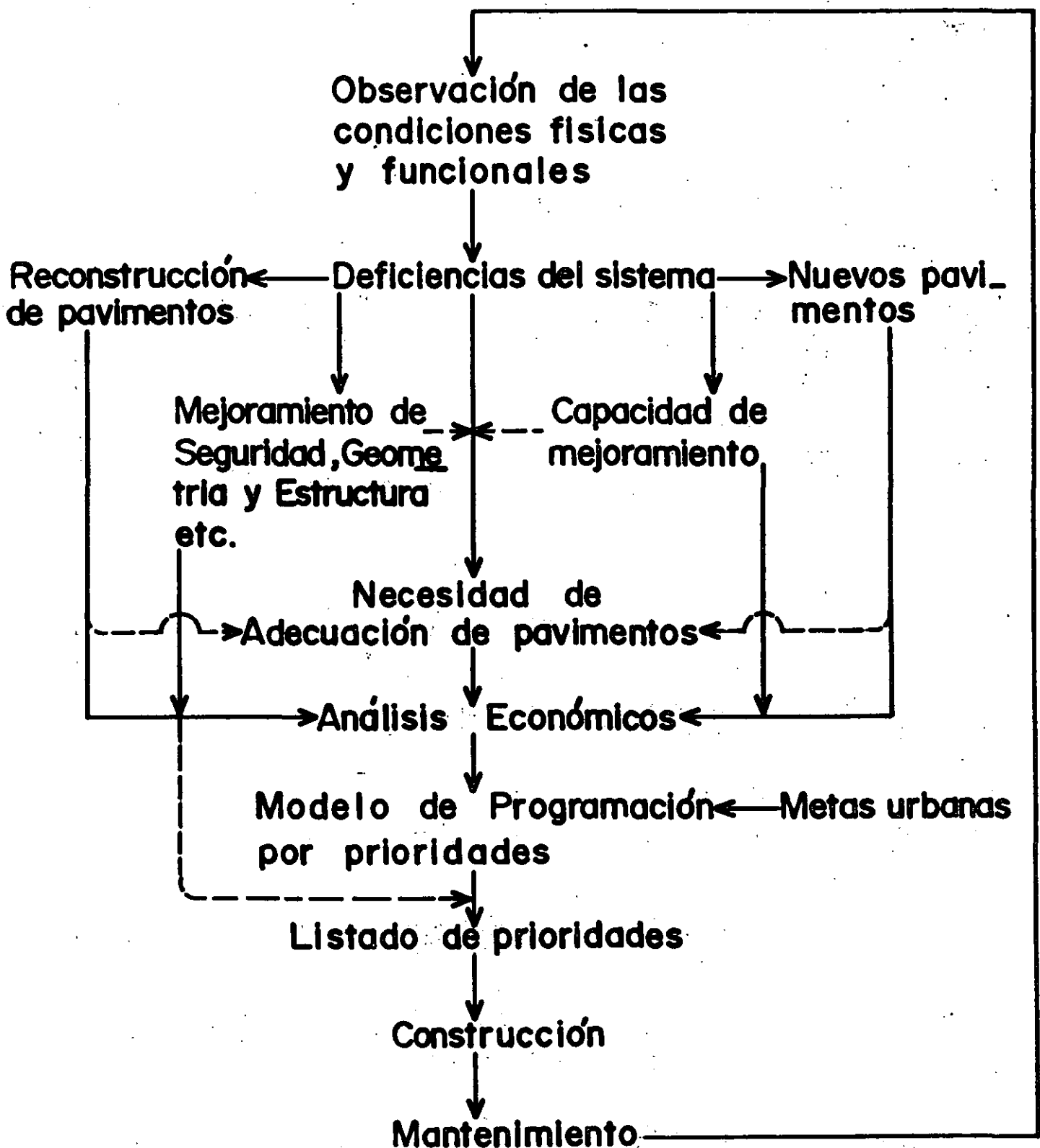
Con respecto al manejo de los pavimentos en áreas urbanas, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

- 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

4.- 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

REHABILITACION

RUTINA

SOBRECARPETAS

RECICLADOS

RECONSTRUCCION : NUEVOS MATERIALES O PROCESADOS

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

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

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
URBANAS
TERMINALES 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
Manéja 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.-
TIPO II.-
TIPO III.-

$\geq 10^7$
 10^6-10^7
 $< 10^6$

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	Espesor 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

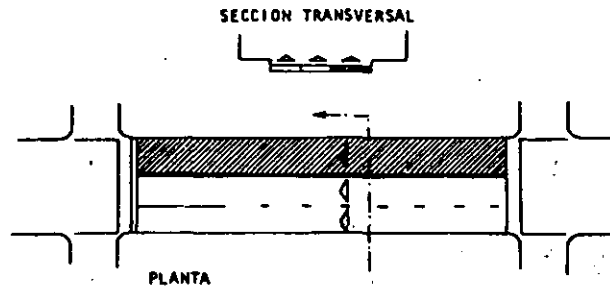


FIGURA B. - INMEDIATO A LA ACERA, EN CONTRAFLUJO

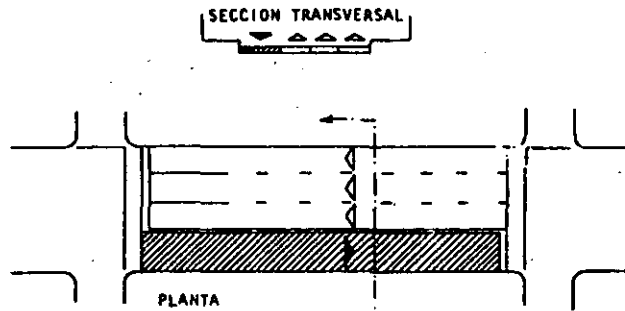
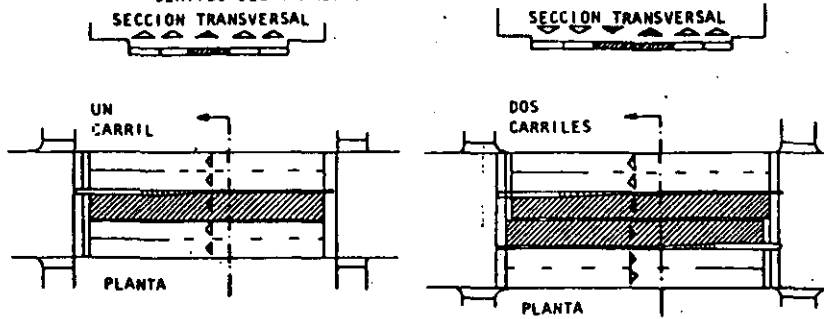
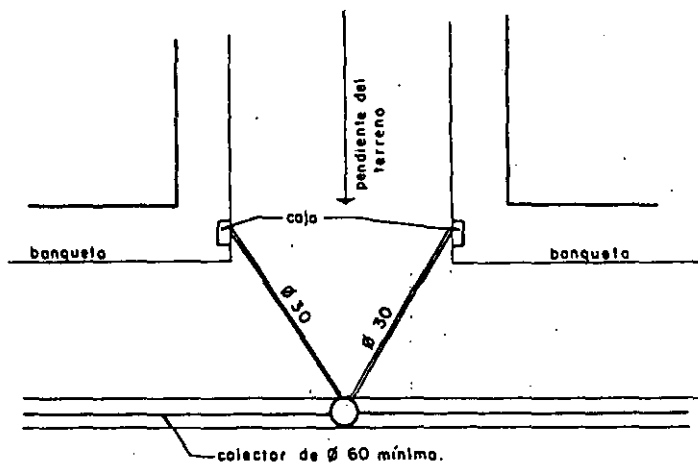
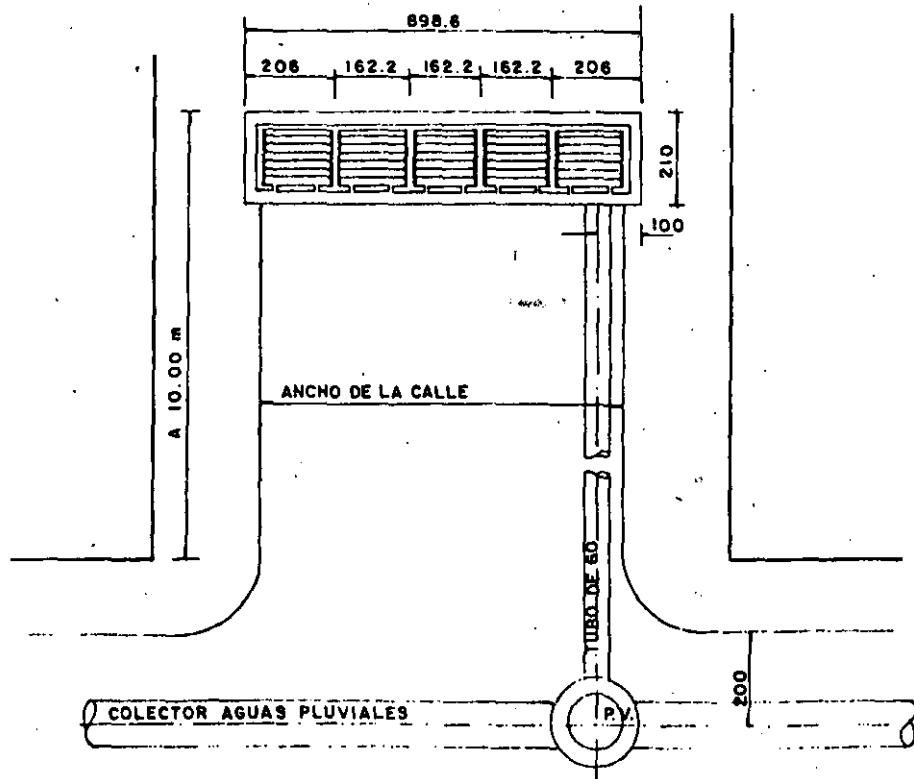
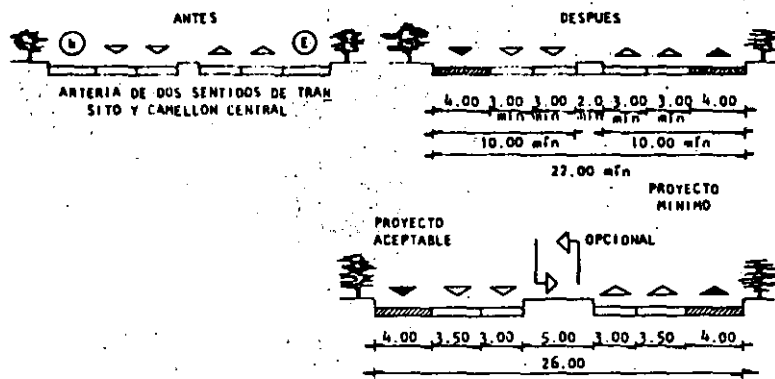


FIGURA C. - EN LA PARTE CENTRAL DE LA CALZADA, EN EL MISMO SENTIDO DEL TRANSITO

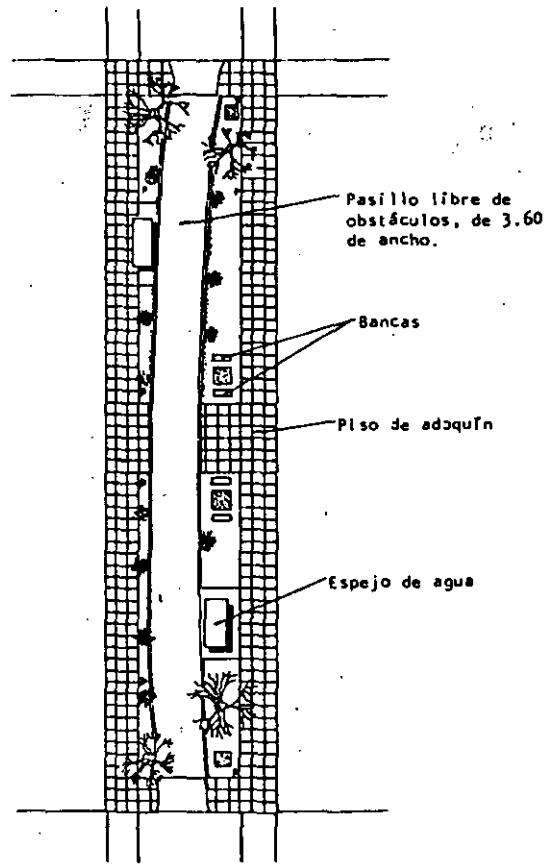




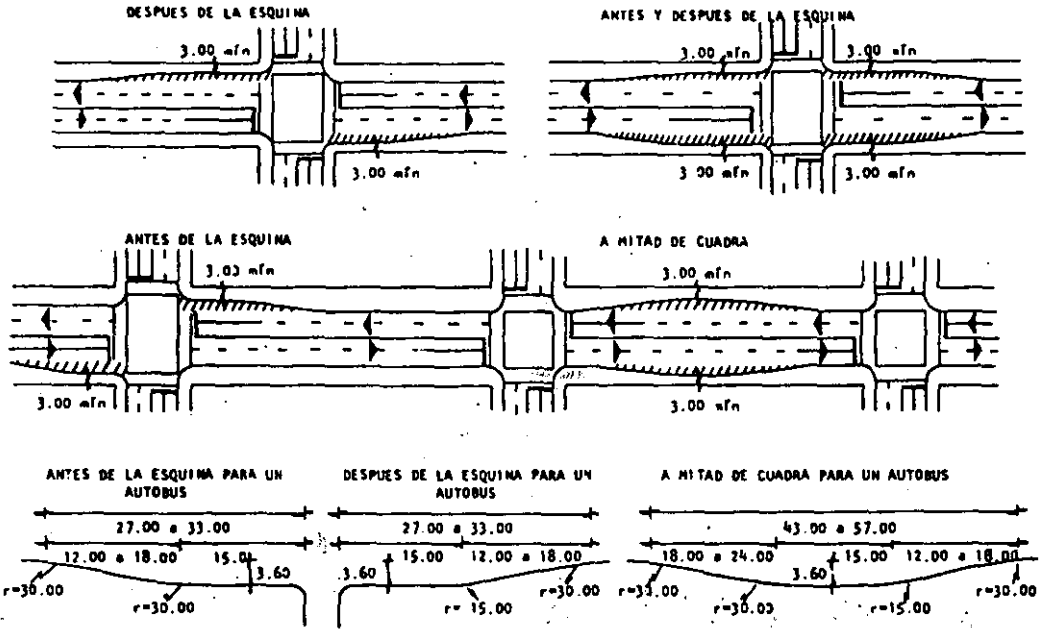
EJEMPLOS PRACTICOS PARA IMPLANTAR CARRILES EXCLUSIVOS PARA AUTOBUSES, INMEDIATOS A LA ACERA EN EL MISMO SENTIDO DEL TRANSITO



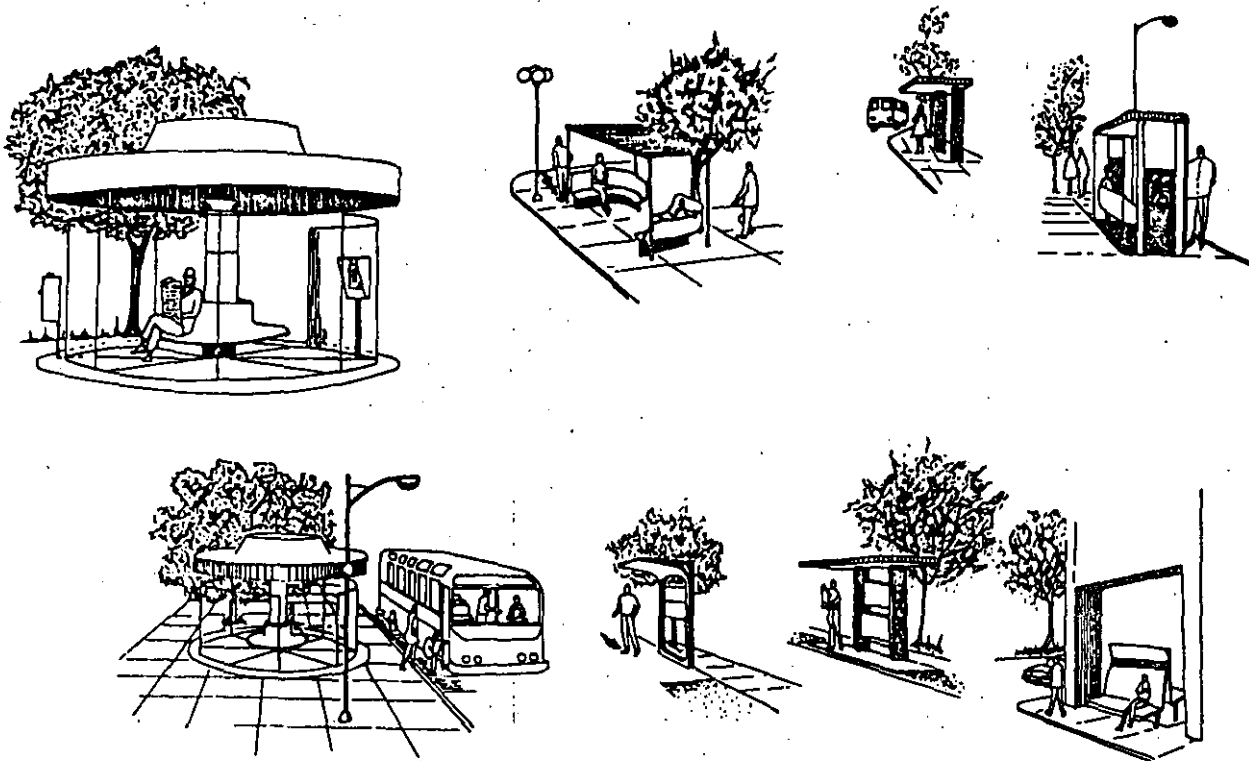
CALLE PEATONAL



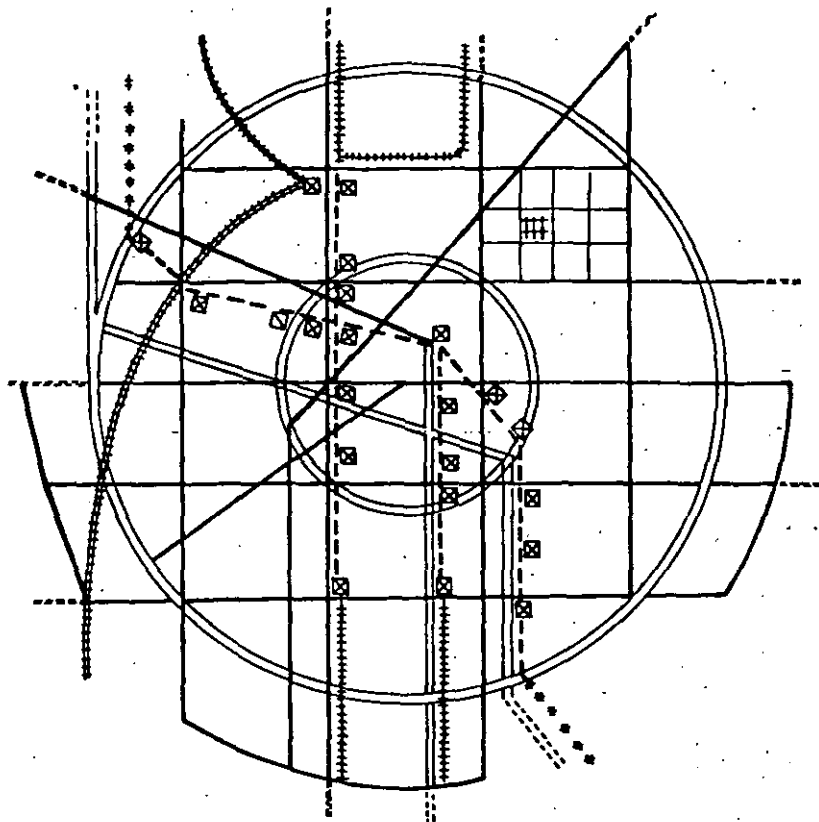
DISERNO MINIMO PARA PARADAS DE AUTOBUS



D. - PARADEROS TIPO PARA AUTOBUSES



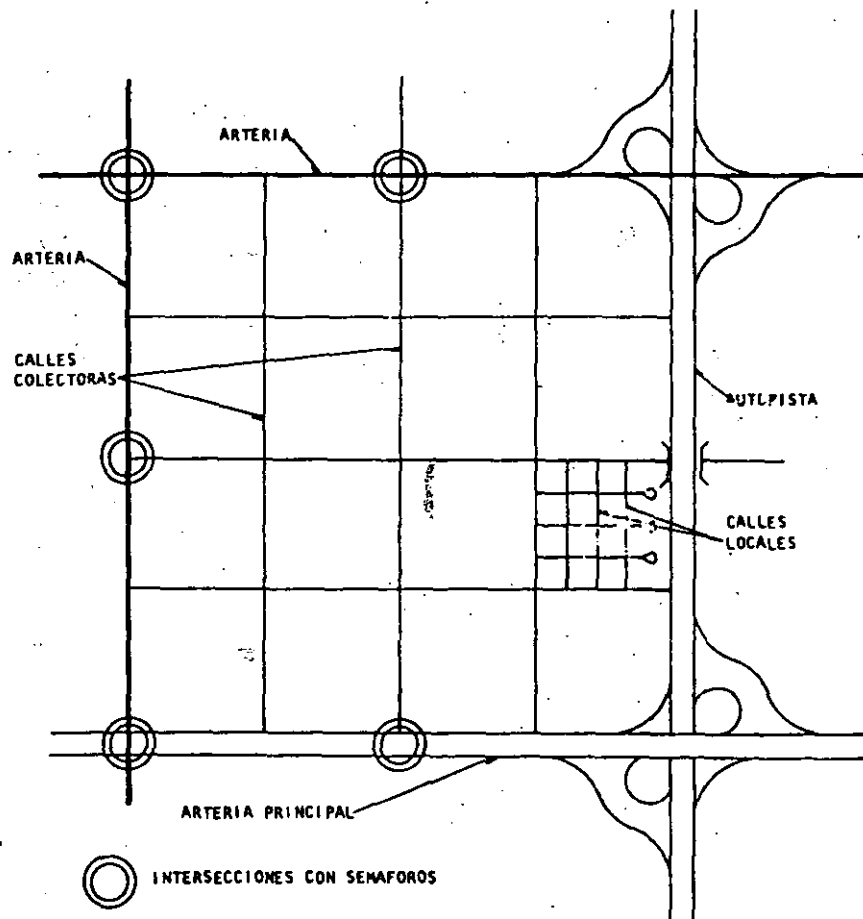
ESQUEMA DE UN SISTEMA VIAL URBANO



SIMBOLOGIA	SUBSISTEMAS VIALES
—	Primario
—	Secundario
□	Áreas de transferencia
—+—+—+—+—	Vías de tranvía
—○—○—○—○—	Vías del ferrocarril Metropolitano (Metro)
—○—○—○—○—	Vías del ferrocarril suburbano
—○—○—○—○—	Vías del ferrocarril regional

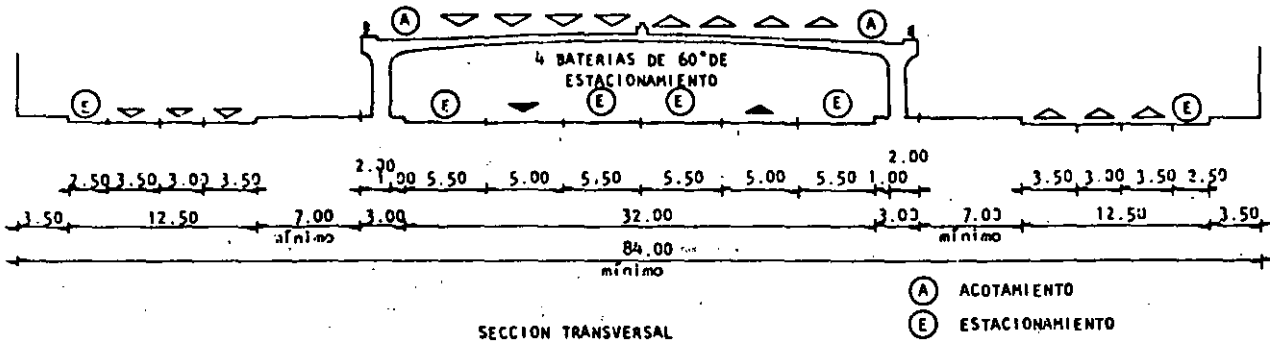
ESQUEMA DE LOS SUBSISTEMAS VIALES URBANOS

PRIMARIO Y SECUNDARIO



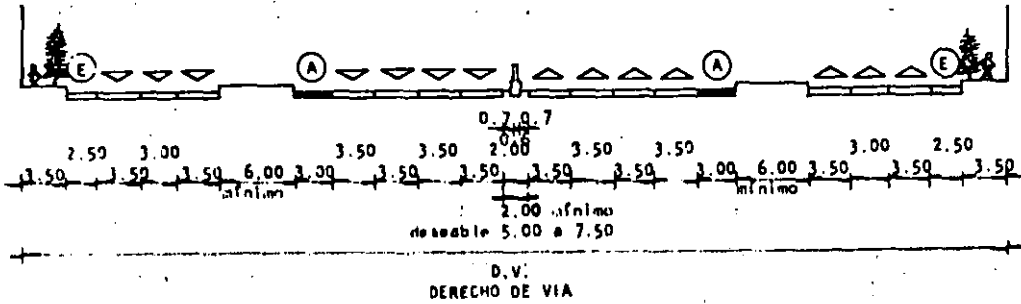
- INTERSECCIONES CON SEMAFOROS
- SUBSISTEMA PRIMARIO
- SUBSISTEMA SECUNDARIO

AUTOPISTA ELEVADA



ARTERIA A NIVEL O INFERIOR

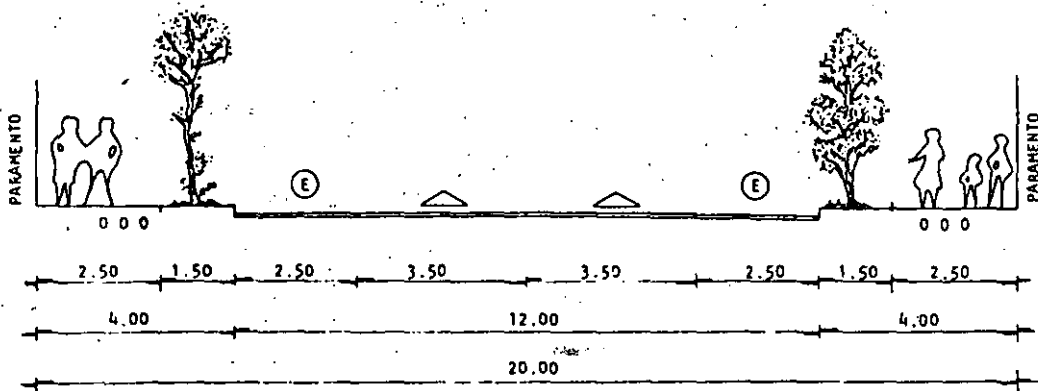
SECCION TRANSVERSAL



- (A) ACOTAMIENTO (CARRIL DE ESTACIONAMIENTO MOMENTANEO)
- (E) CARRIL PARA ESTACIONAMIENTO

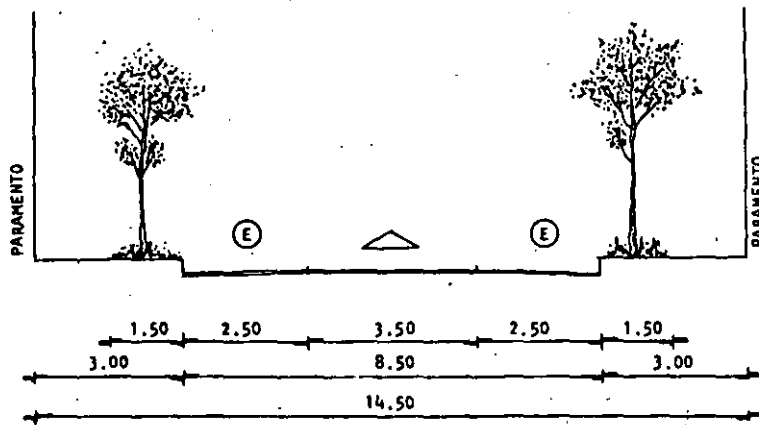
CALLE COLECTORA

SECCION TRANSVERSAL

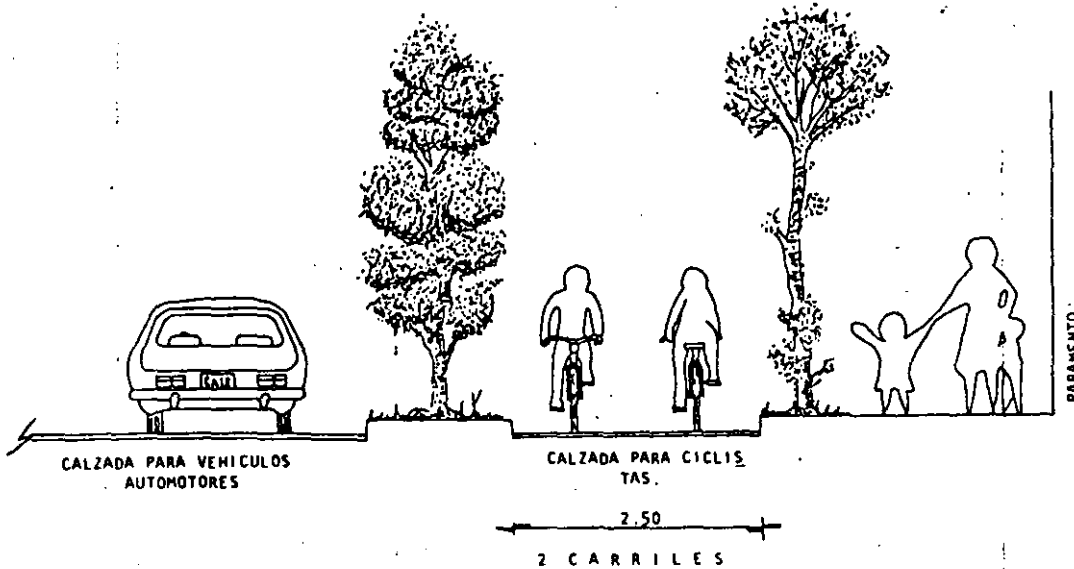


CALLE LOCAL

SECCION TRANSVERSAL



CICLOPISTAS



construcción de pisos de concreto*

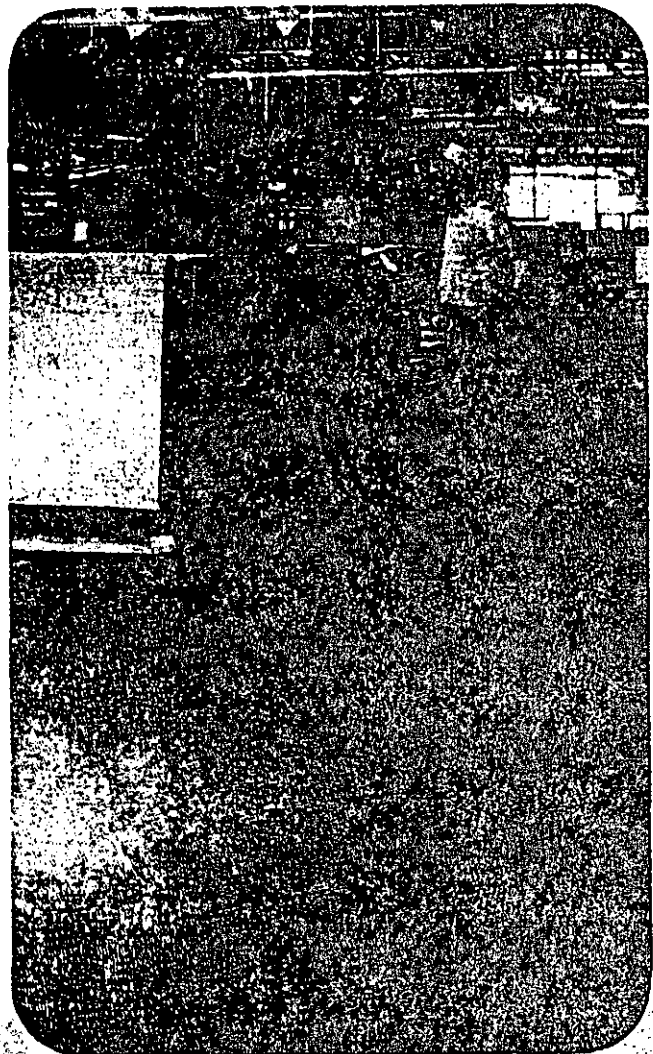
* Publicado originalmente en NZ Concrete Construction, Vol. 19, No. 1, febrero de 1975, Wellington, Nueva Zelanda.

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.



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 construídos 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.

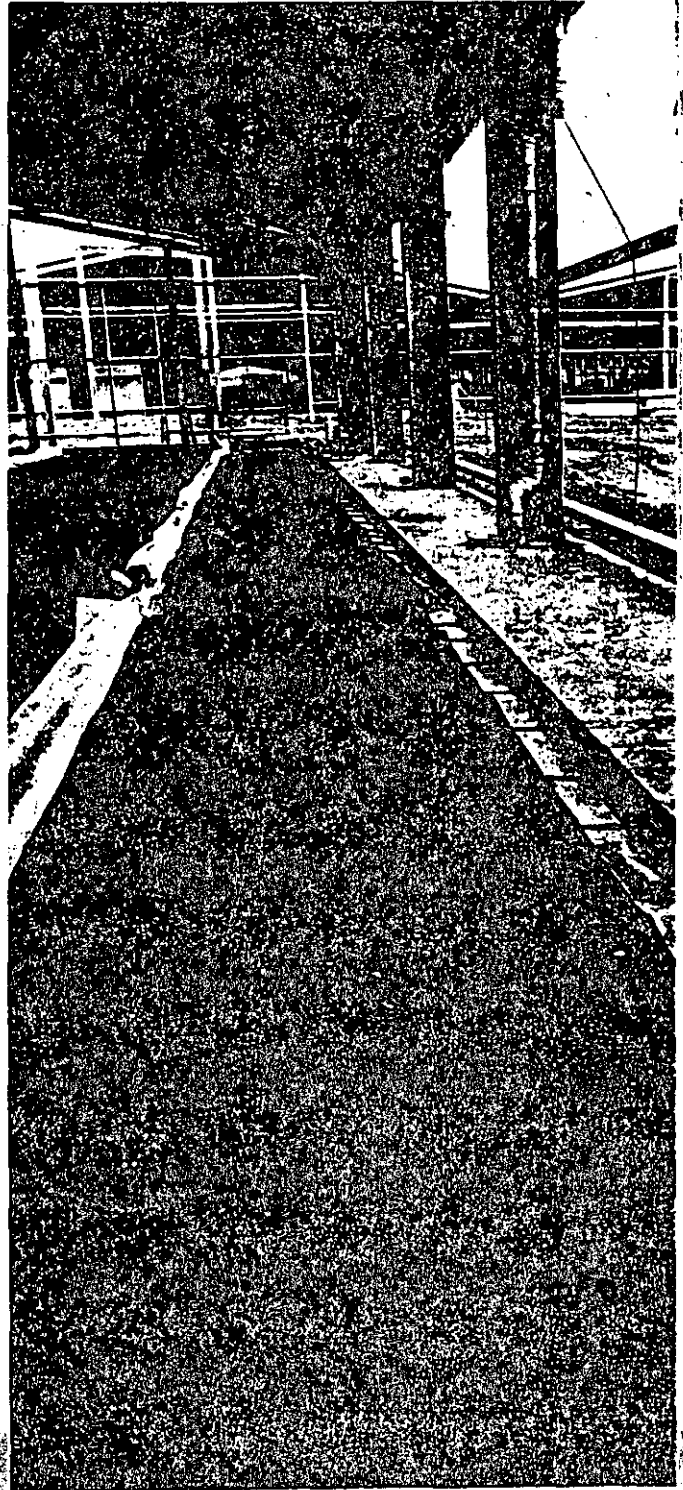
Son pocos los aspectos importantes de la calidad de los pisos de concreto construídos sobre el terreno. En primer lugar está la calidad de la superficie; su terminado requiere de más cuidado, tiempo y esfuerzo, que otras obras de concreto. A menos que se tomen las debidas precauciones, la superficie 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 construídas.



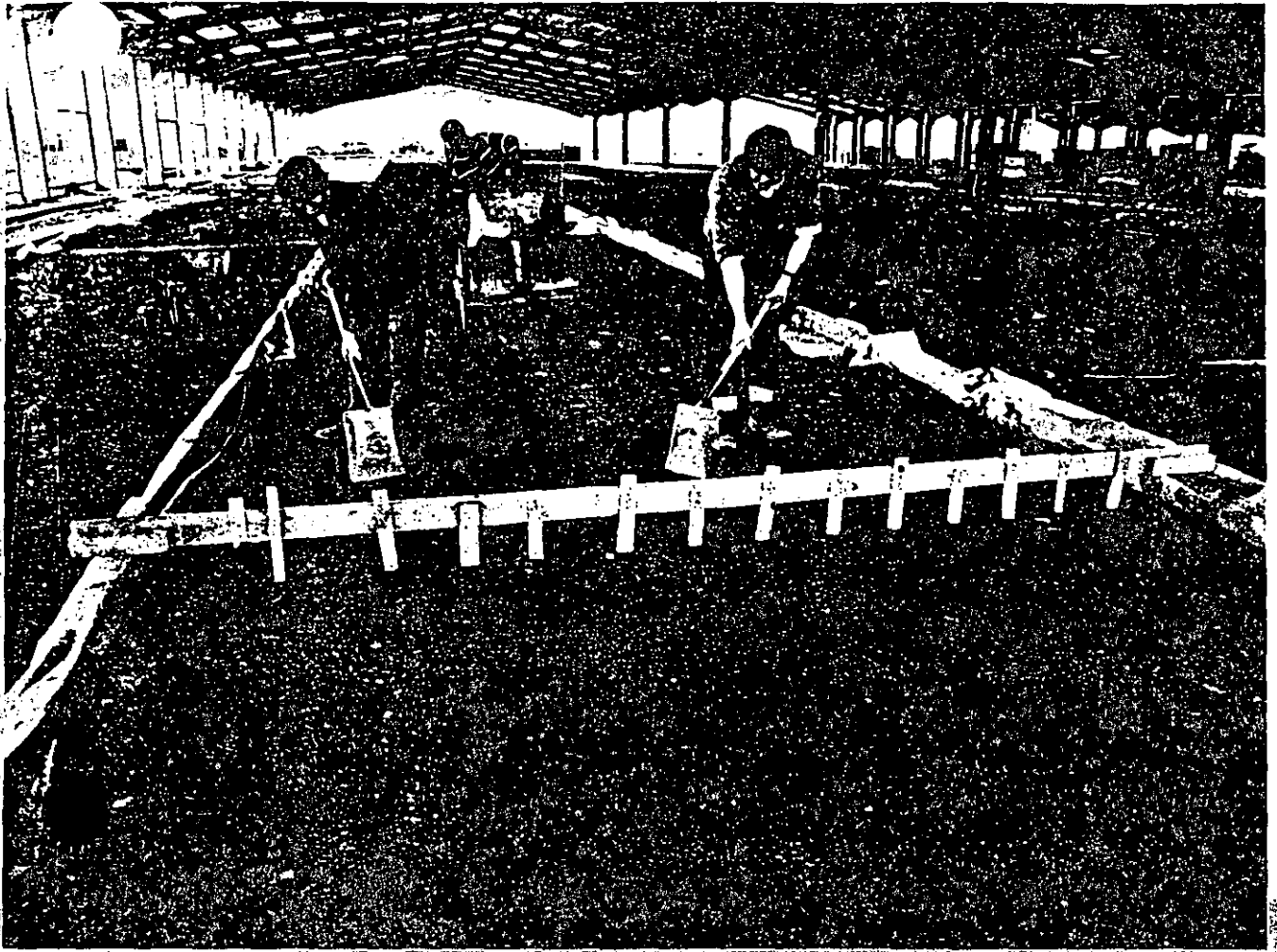


Figura 2. Ajuste de la sub-base con nivel simple. Al fondo de la fotografía, compactación de la sub-base con una pequeña aplanadora.

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.

Antes 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

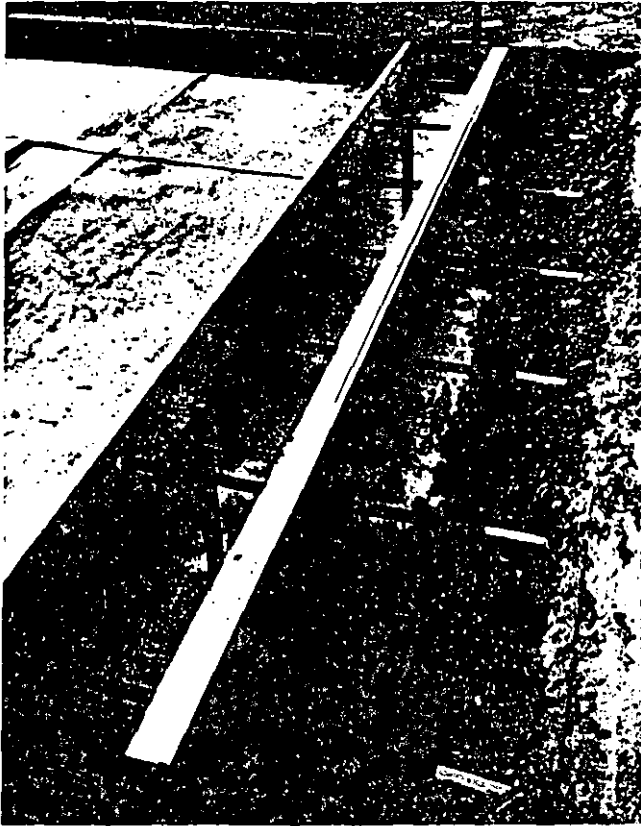


Figura 3.- Montaje de una junta de expansión.

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 variarán 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 tamíz 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 perfora 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 fijen y nivelen las cimbras laterales.

as deben ser rígidas y de preferencia hechas de o. 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 compactación 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.

NTAS

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.

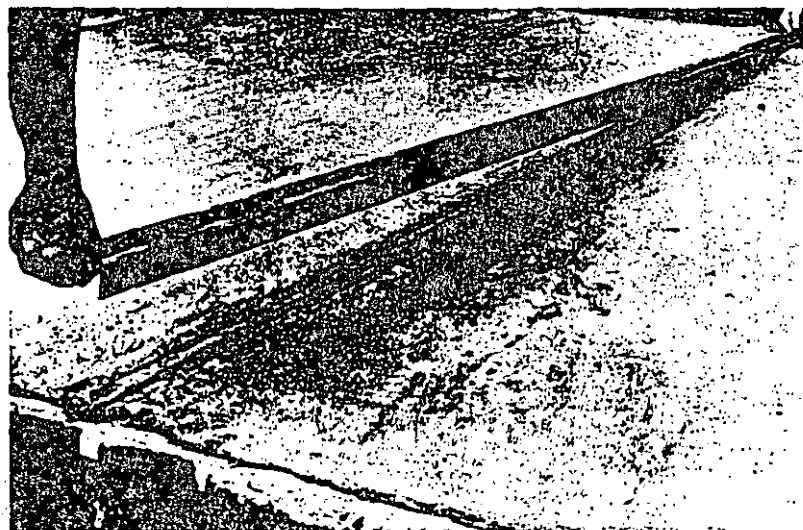




Figura 6.- Colocación de malla de refuerzo en una junta de control.

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 refuerzo antes de su colocación.

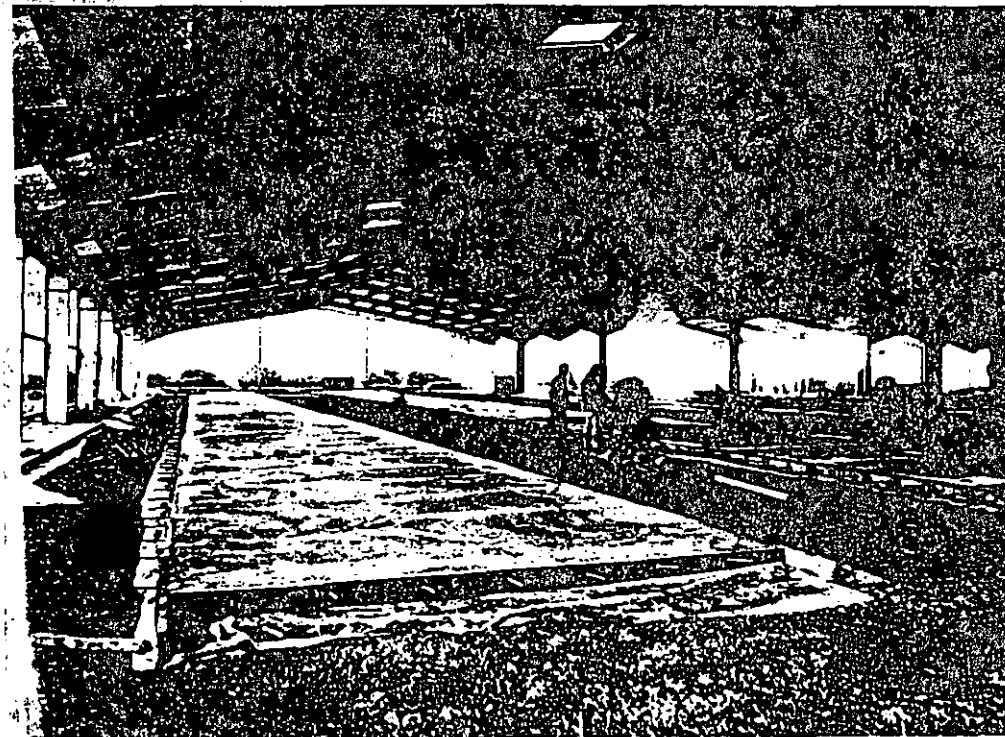
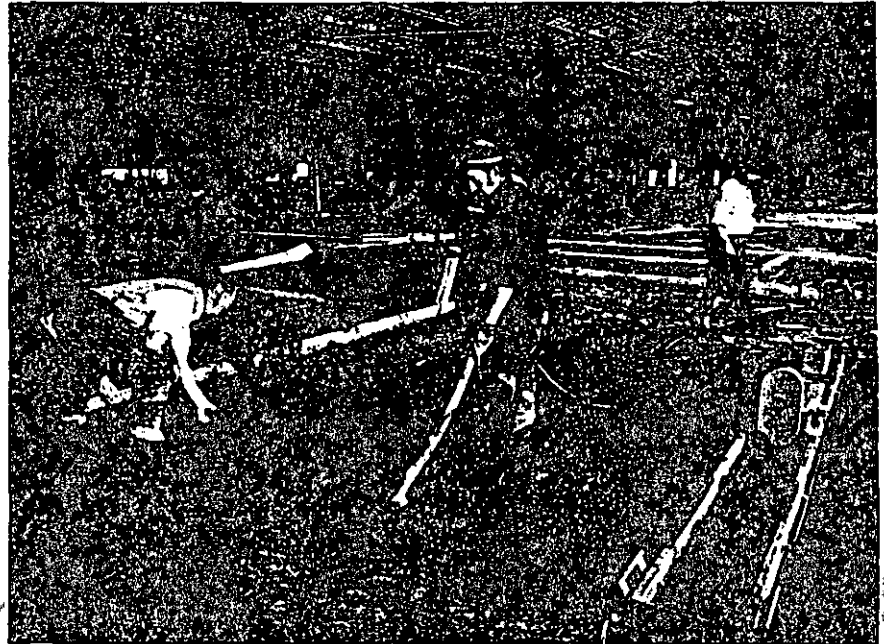


Figura 8.- Construcción de un piso a base de franjas largas.

FUERZO

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 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 revenimiento; 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.

METODOS 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 reglas 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 bajará 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 deberán 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-

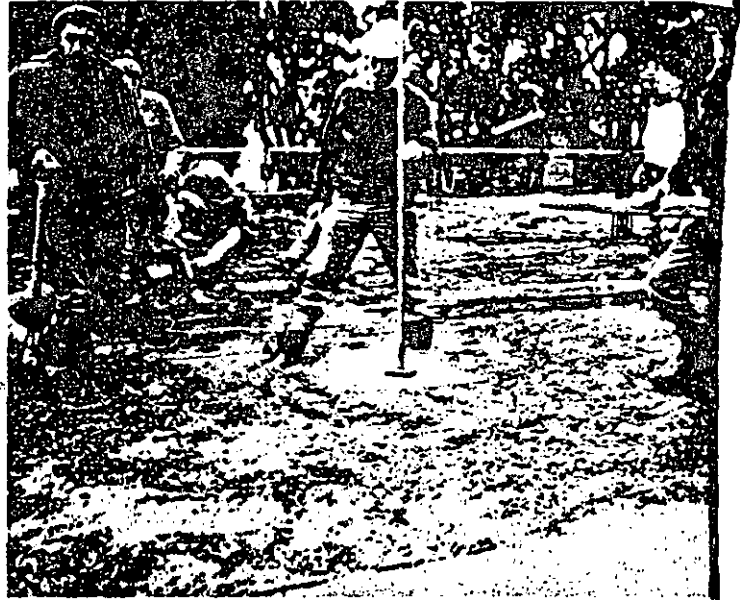
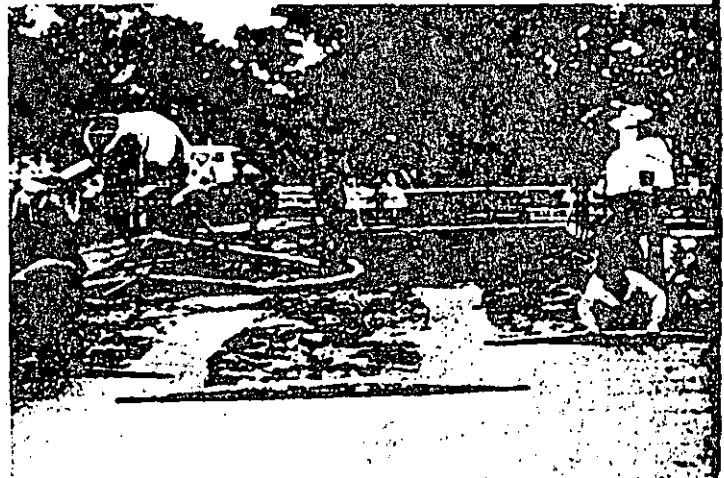


Figura 9.- Nivelado húmedo. Antes se colocan niveles de referencia.

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.



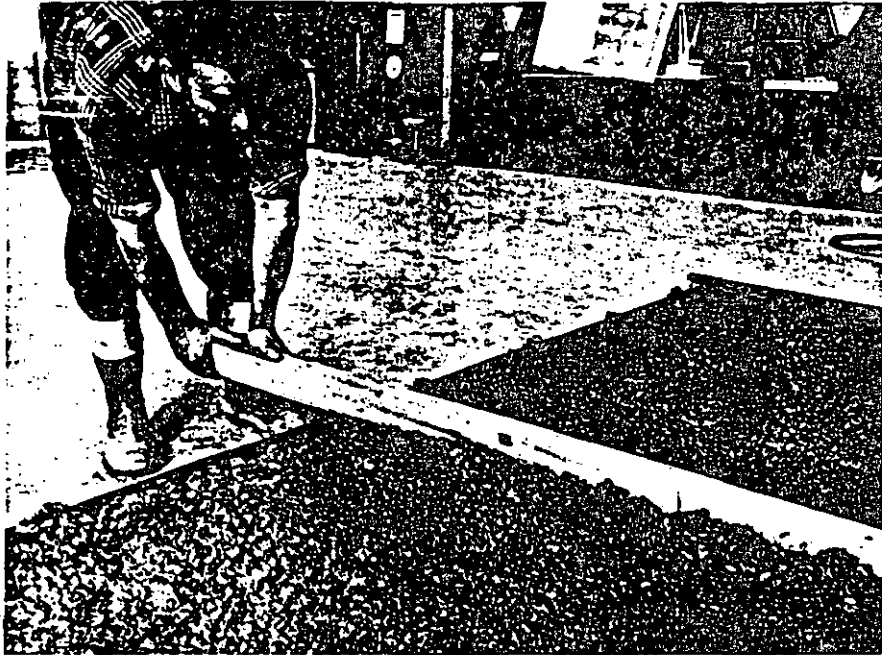


Figura 12.- Nivelado por medio de una regla de madera y las orillas de la cimbra.

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 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-

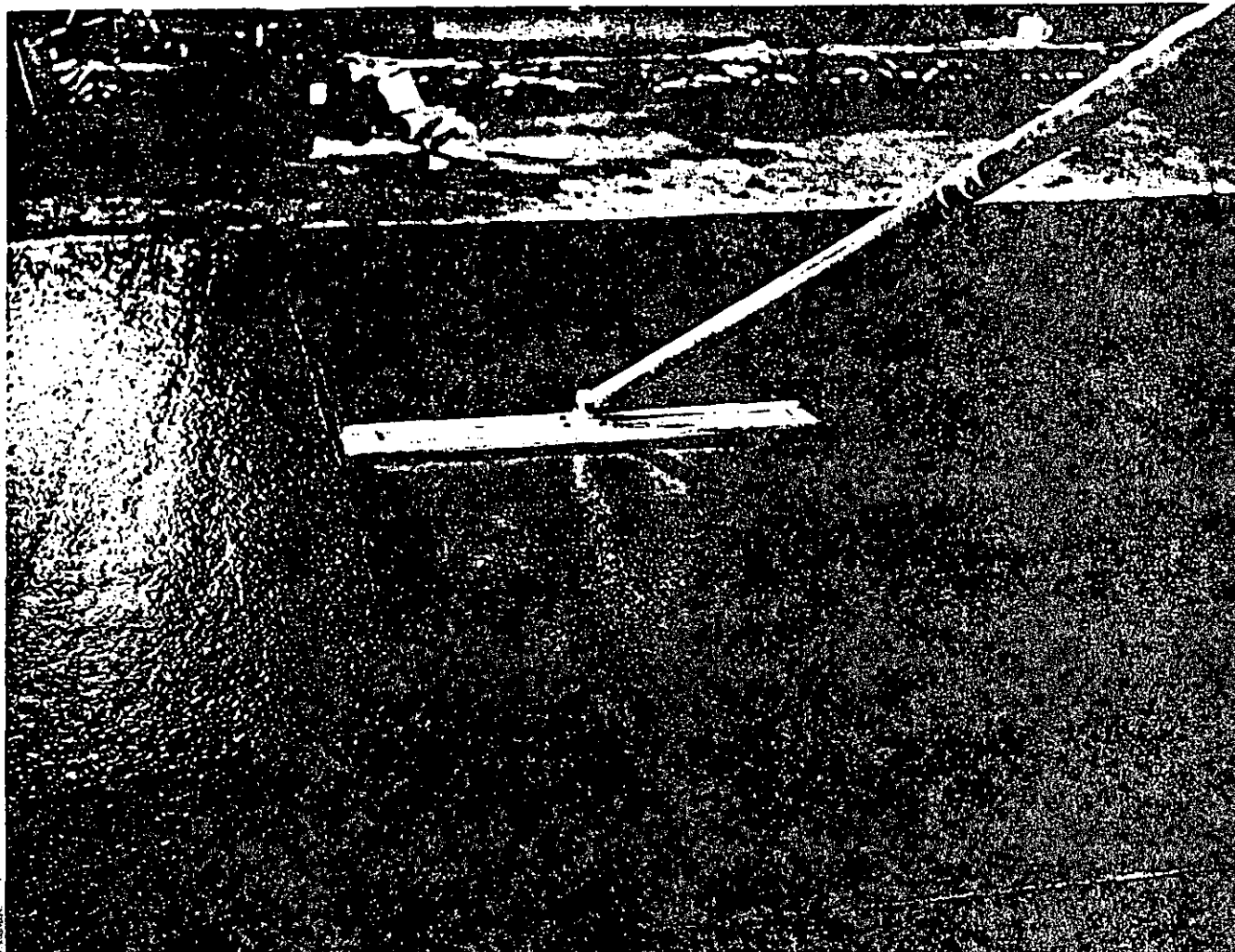


Figura 13: La superficie fresca de concreto es nivelada por medio de una regla allanadora de mango grande.

ceso 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 prevaeciente.

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.

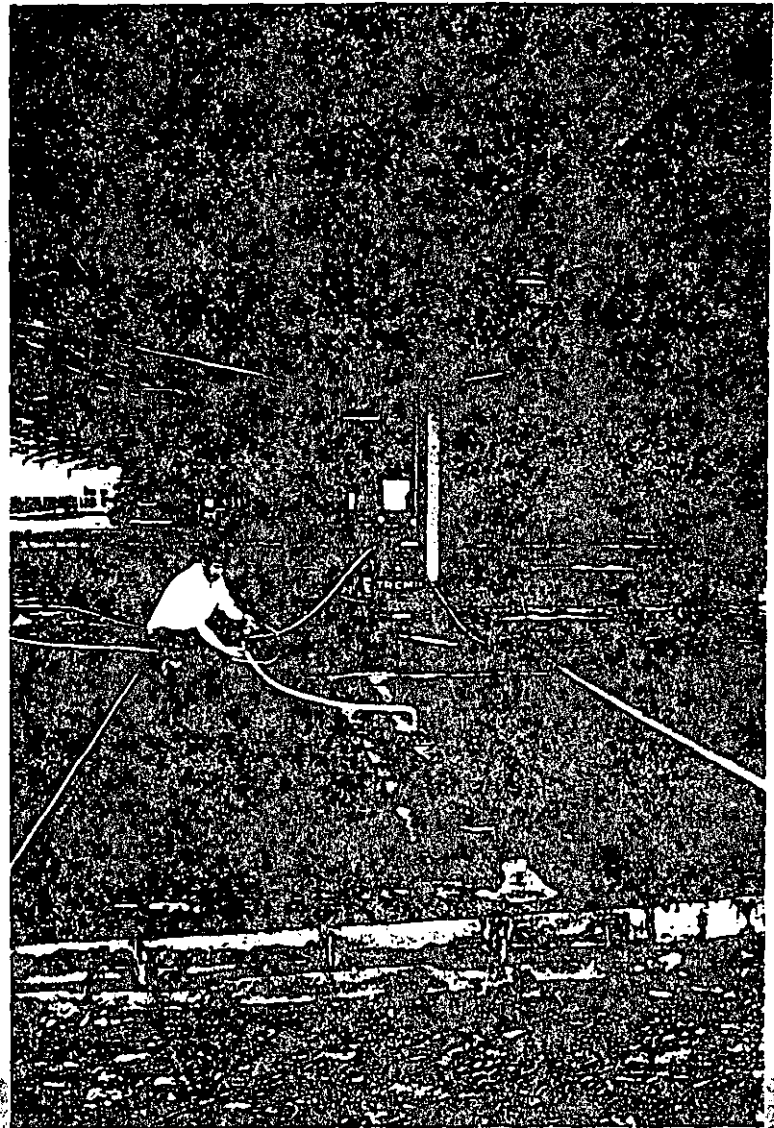
Es posible que, al usar una regla aplanadora luego de compactar un piso por medio de una niveladora doble, se produzca una superficie adecuada para ser terminada aplicando una pulidora mecánica, sin necesidad del aplanado mecánico. En este caso es importante programar la operación con la regla aplanadora: 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.



equipada con 10 piedras de esmeril burdas. No son adecuadas las pulidoras de alta velocidad, pues estas 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 puede comenzar tan pronto el concreto esté lo suficientemente duro como para evitar que se desprendan de su superficie partículas de arena, formando hoquedades 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 hacerse una prueba rápida con la pulidora 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 pula 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 marcarlas. 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

DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AREAS URBANAS

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 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 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 redituar 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 construidos sin ningún estudio previo, si guiendo 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 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 carga por eje. En el presente boletín informativo se utilizan las siguientes clasificaciones de calles:

Calles residenciales ligeras

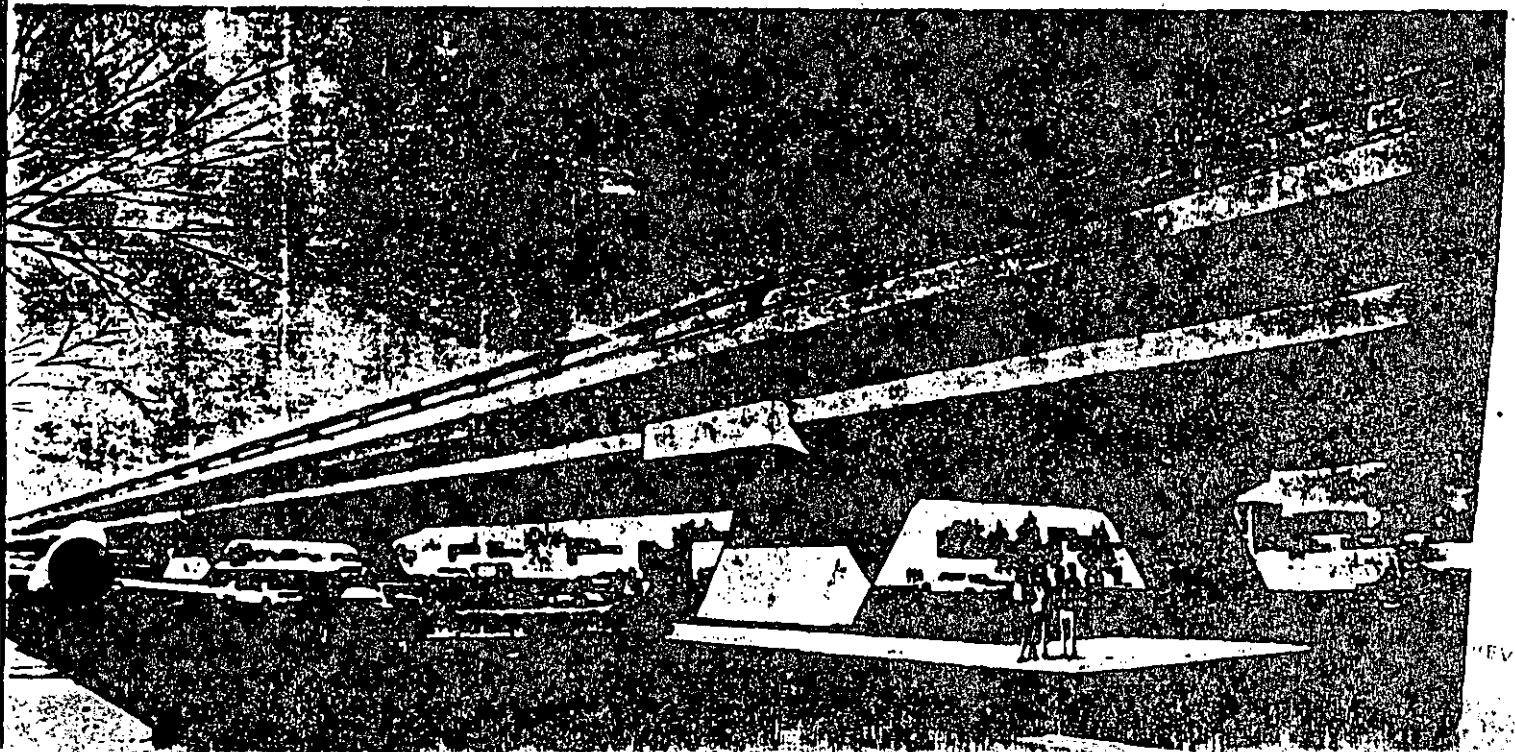
Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos. Las calles residenciales ligeras dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día (vpd), de 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial 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 tón 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

en a los sistemas de calles mayores. Pueden ser 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.

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 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/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.

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.

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 de 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 ser mayor que el de una arteria de seis carriles.

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.

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	
			Por ciento	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	8,000-13,000		5-7	350-780	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 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.

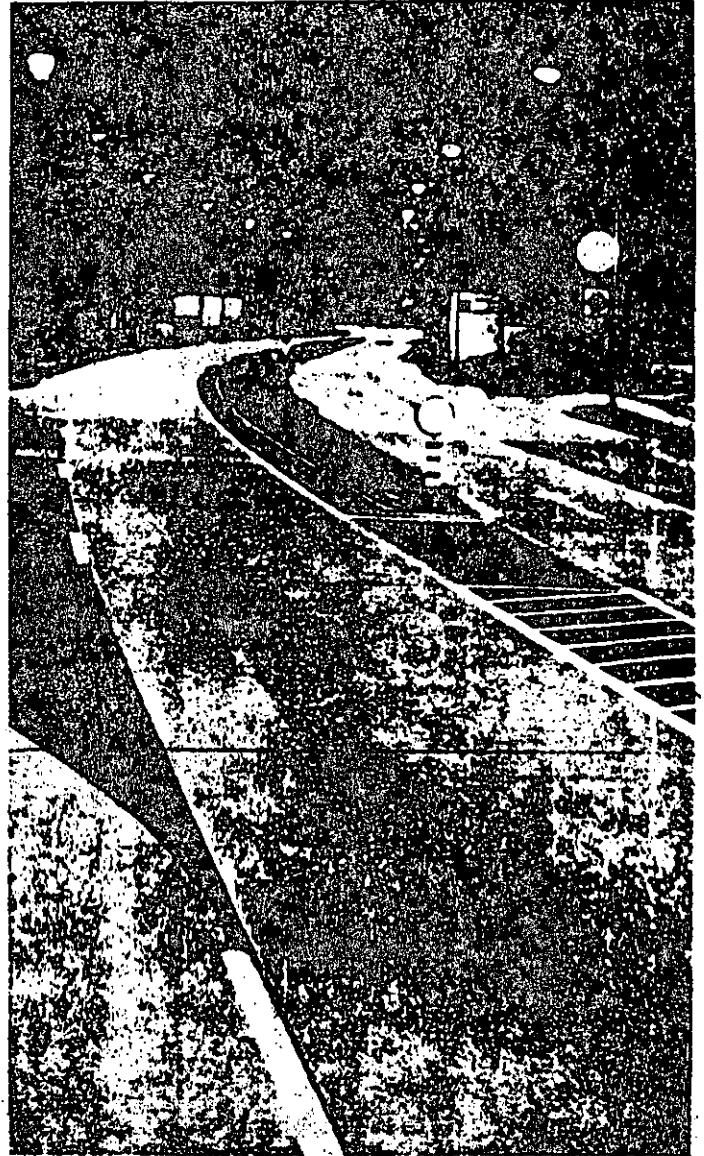
Gráfica 4 para arterias menores.

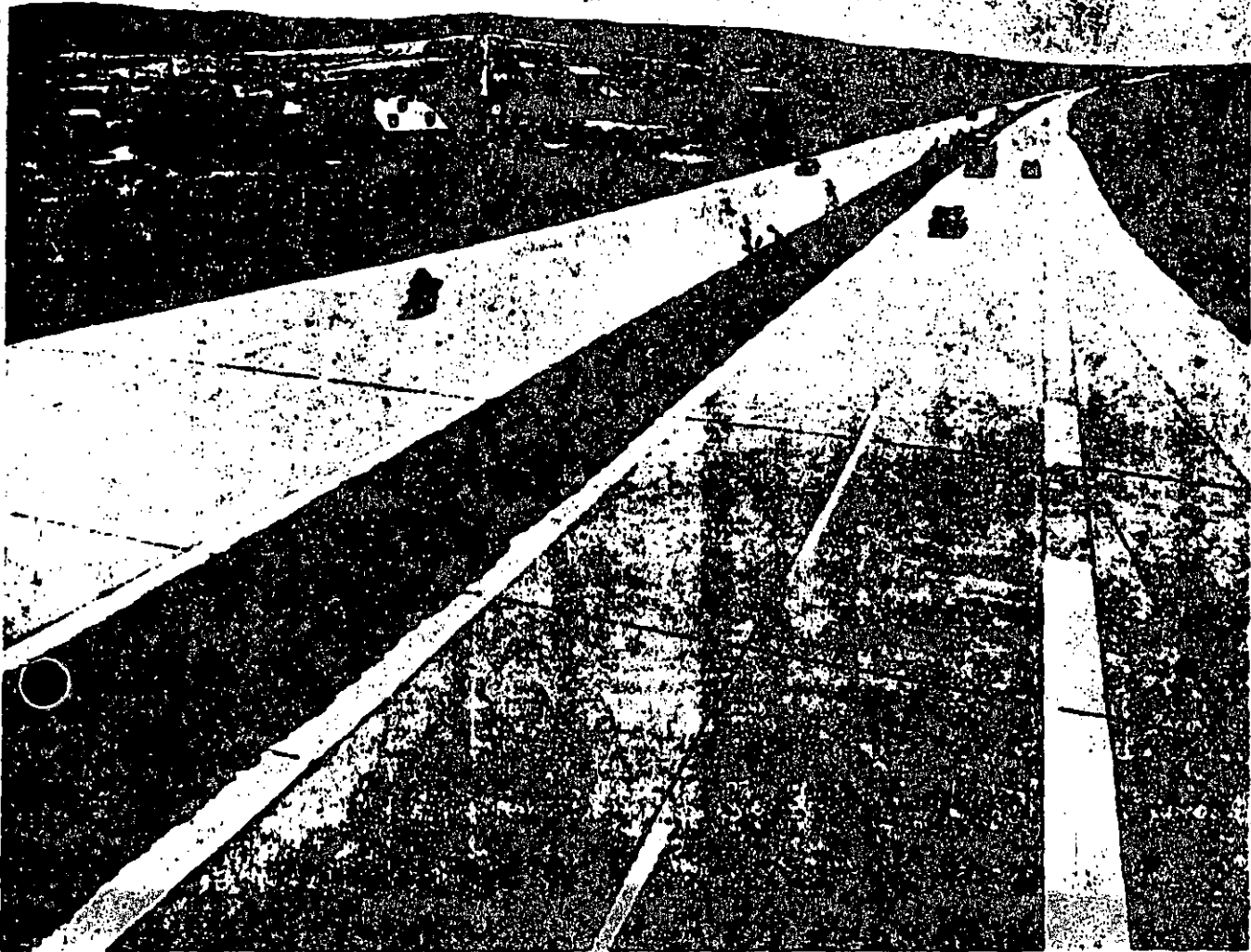
Gráfica 5 para arterias y calles comerciales.

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 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 Portland². (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.

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 usa 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-

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 ó 2.54	6 + 1
0.95 ó 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 la aplicación de agentes de sedimentación so- munes, 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".³

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 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 las 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	Buena
8.30	300	Grava arenosa	Excelente

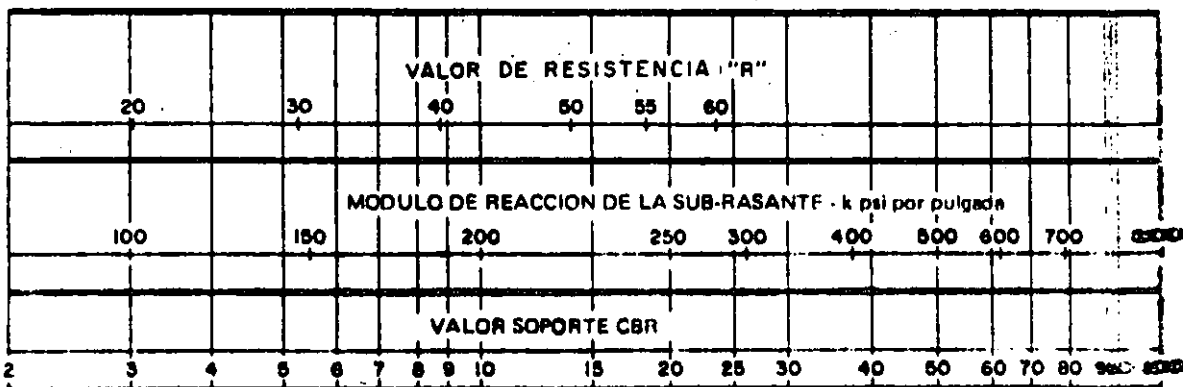


Fig. 1. Correlaciones aproximadas entre los valores de soporte de los suelos.

* Para sub-rasantes y Sub-bases para Pavimentos de Concreto⁶ se proporciona una información detallada de los requerimientos de materiales, diseño y compactación.

** Los procedimientos adecuados se proporcionan en "Estados de la trinchera de servicio"⁷
 ** Para aquellos ingenieros familiarizados con el método de C.B. 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.

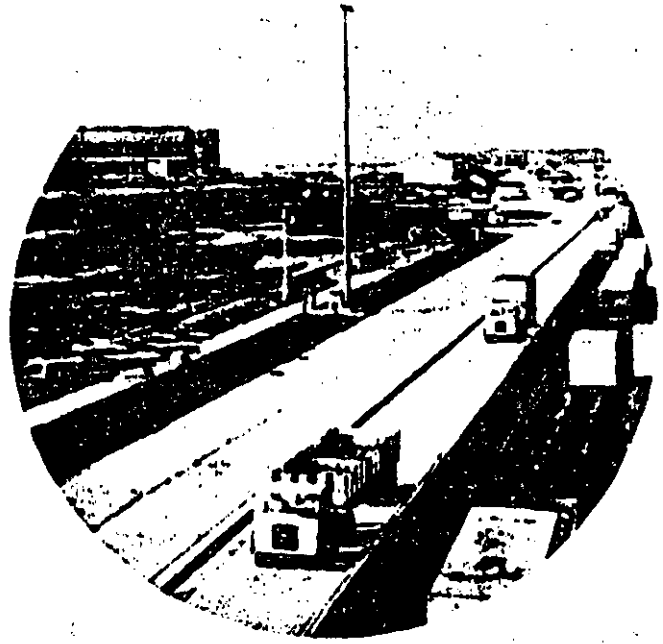
Guarniciones integrales

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 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 inyectando 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 esté 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 pesados 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.

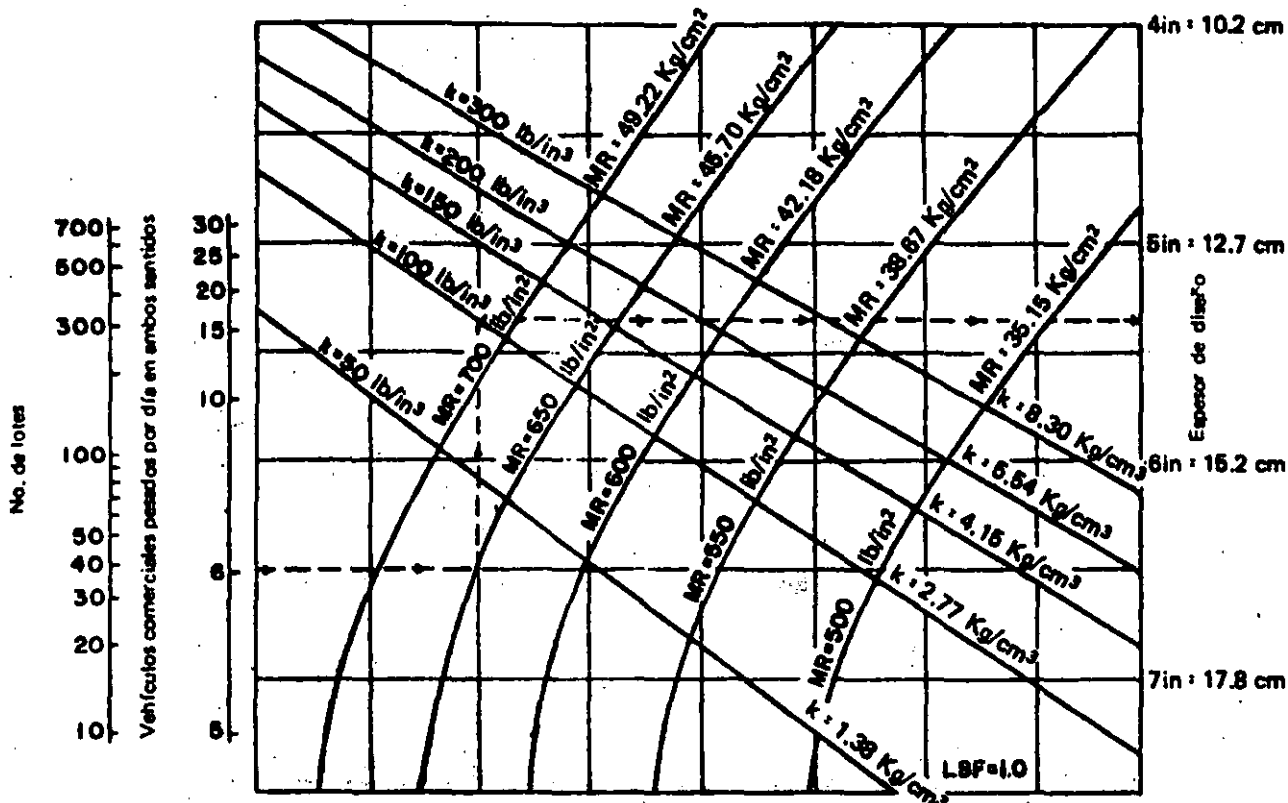
Si el pavimento se construye en clima frío, o si se utiliza material de características expansivas anormales, se hacen necesarias las juntas expansivas —espaciadas a intervalos de 183 a 244 metros.

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

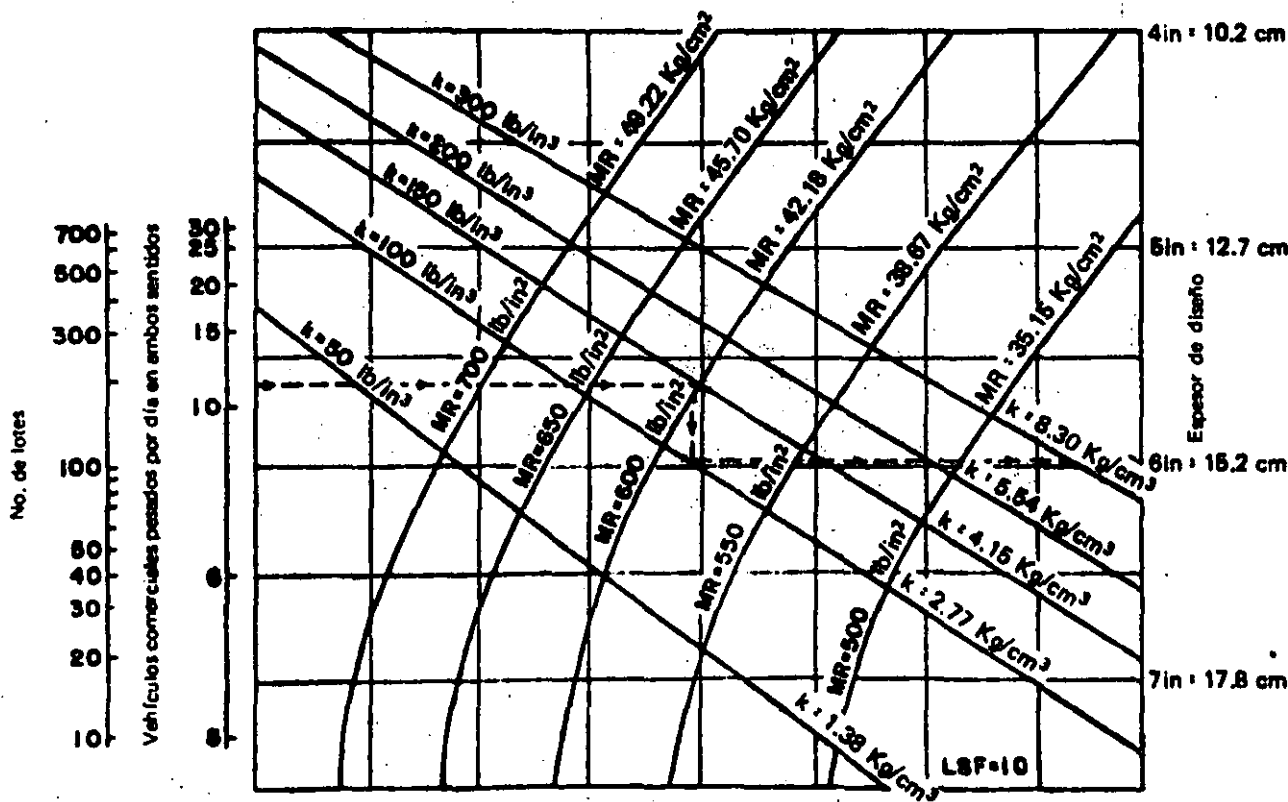
No importa qué tan meticulosamente se diseñe una estructura; no podrá desempeñar la función que de ella se pretende a menos que se tomen todas las precauciones en su construcción, para asegurar la calidad de mano de obra en el resultado final. Para esto se necesitan las especificaciones correctas. Pero 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," 1966 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 9655, 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, 1966.



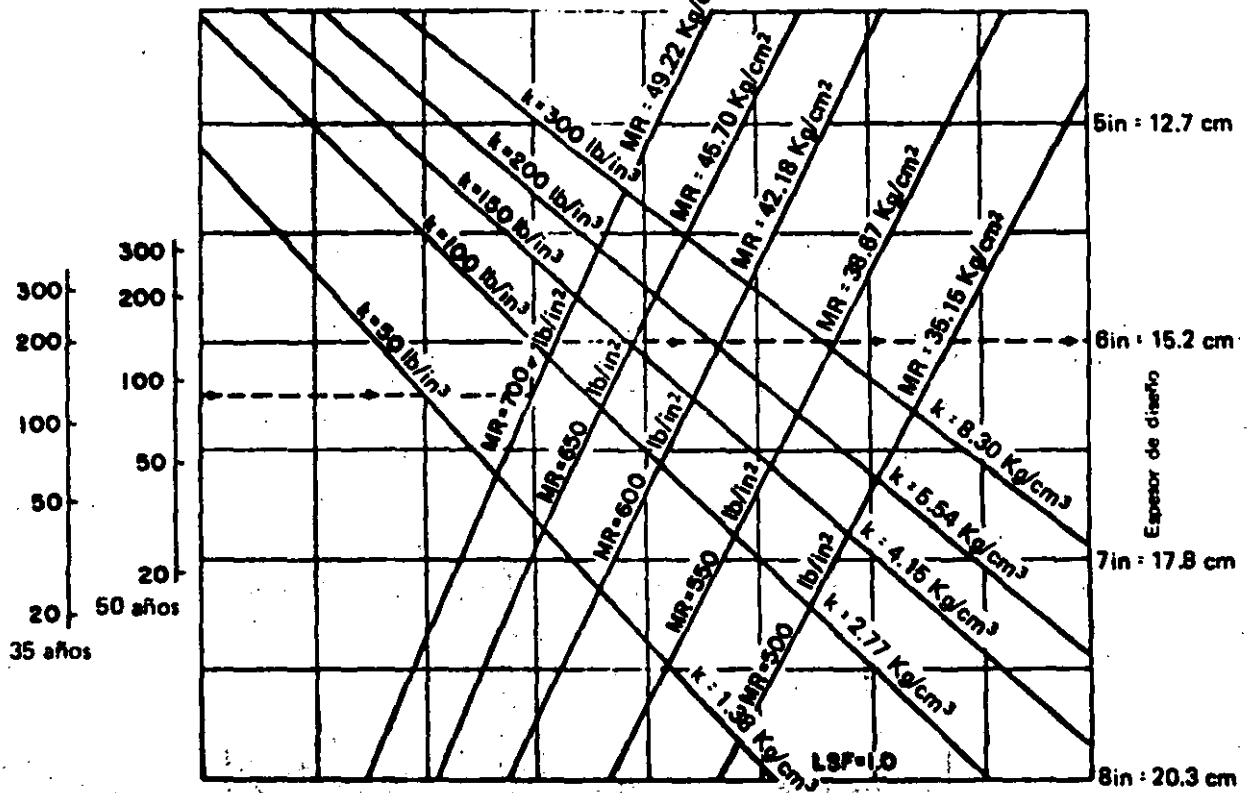
Gráfica No. 1 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 35 años.



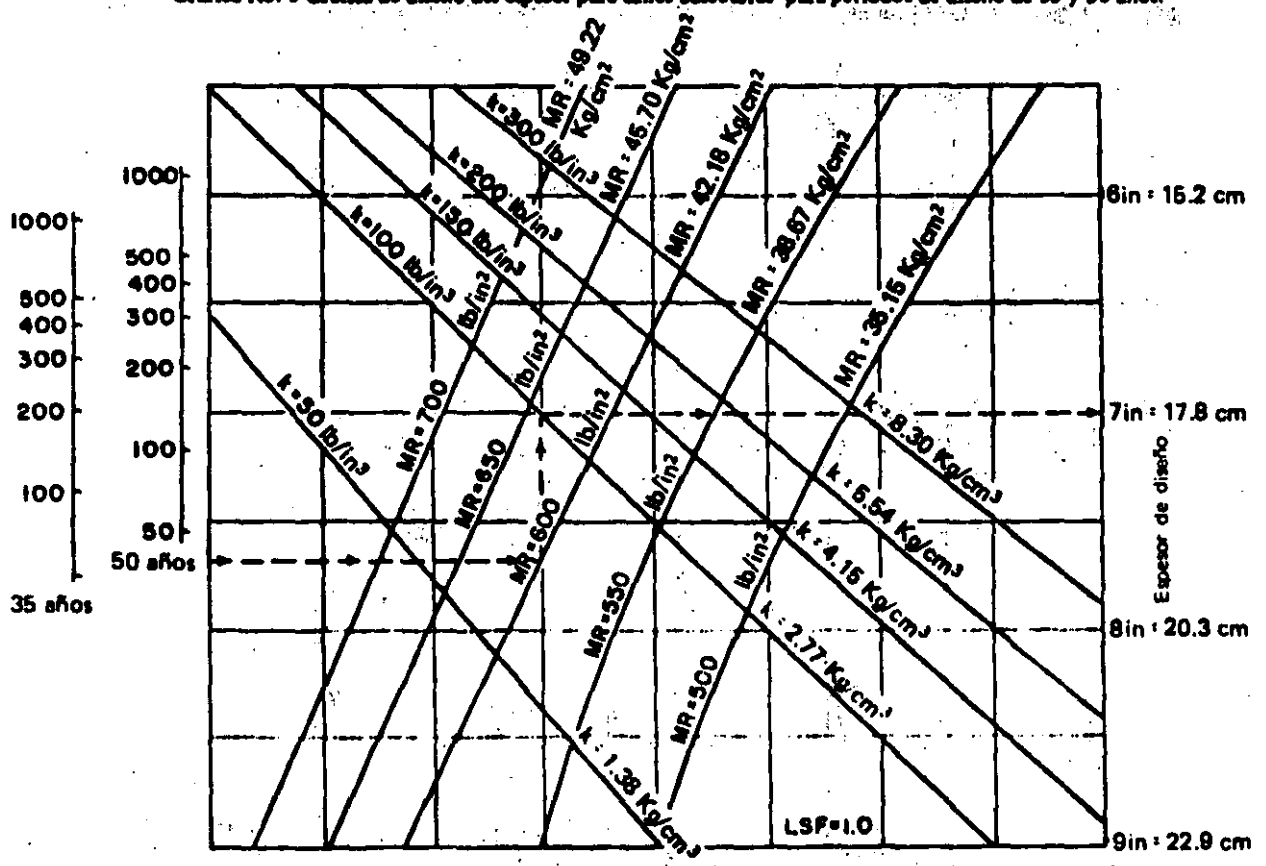
Gráfica No. 2 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 50 años.

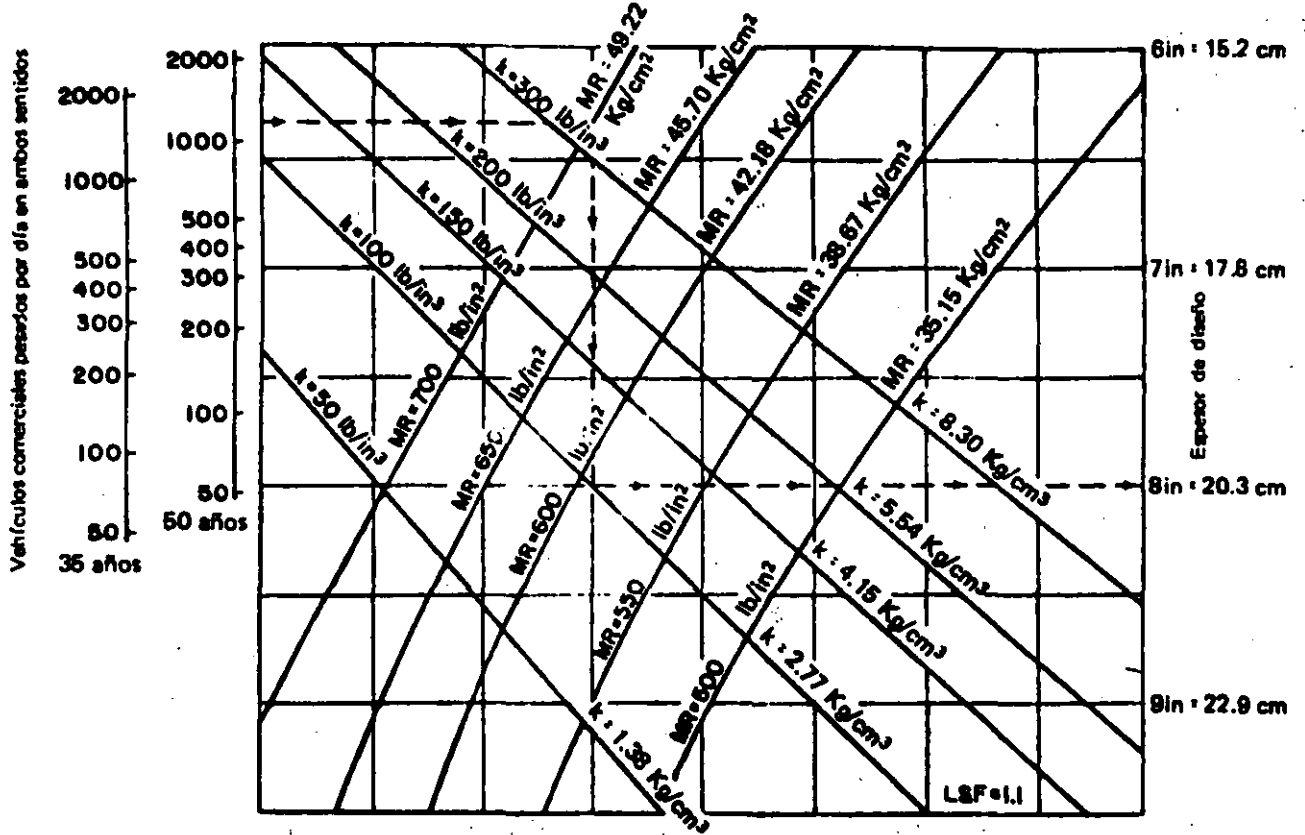
022

Vehículos comerciales pesados por día en ambos sentidos

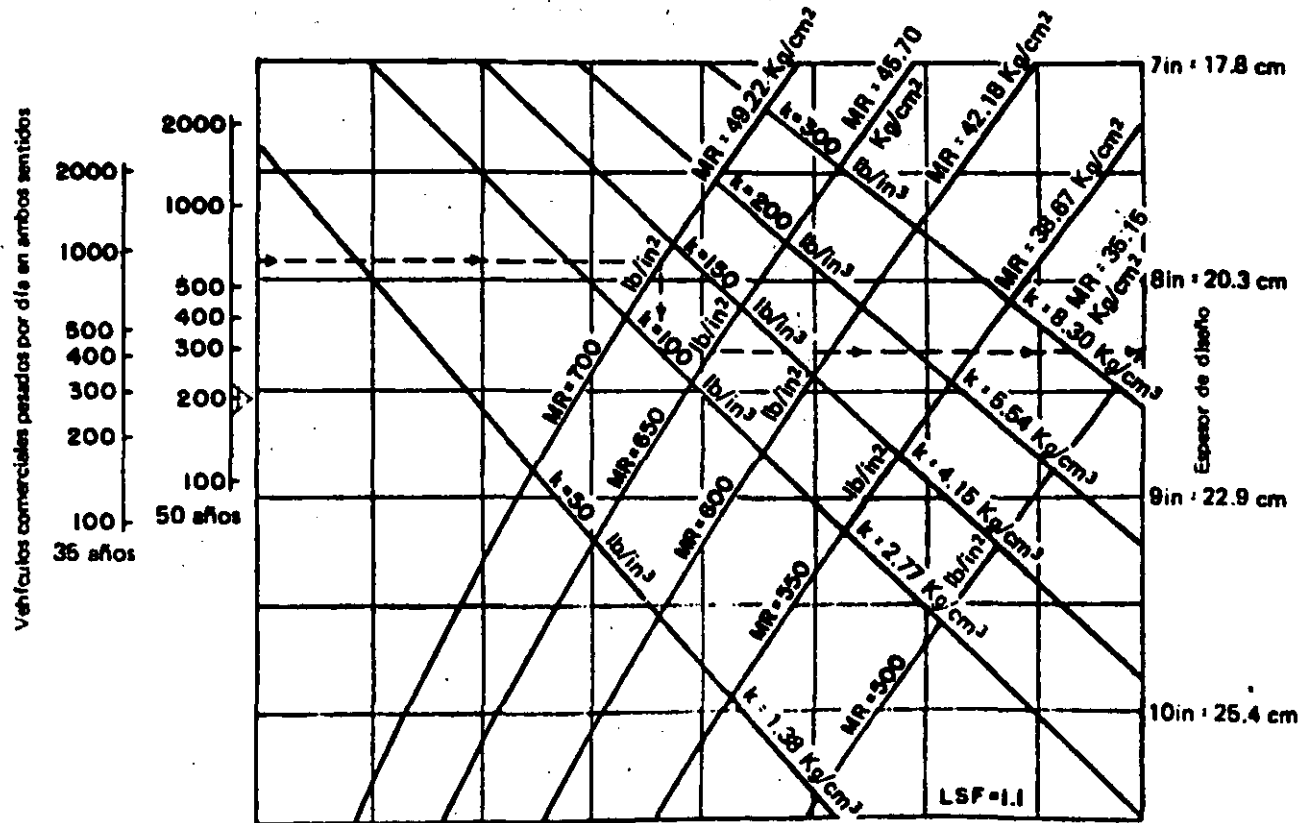


Vehículos comerciales pesados por día en ambos sentidos





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

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 EROSION.

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 TAMDEN DE 24 A 48 KIPS

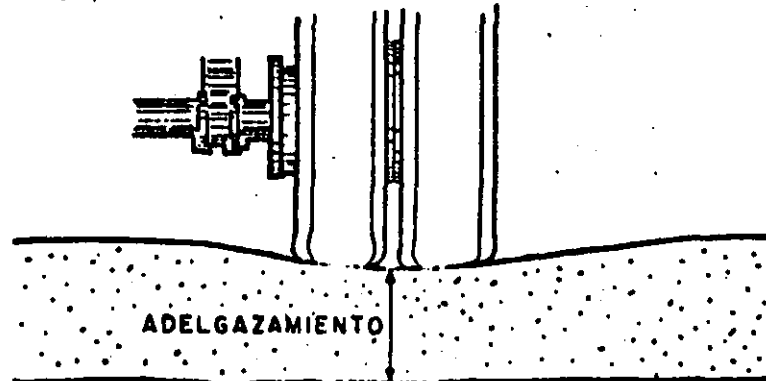
036

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.

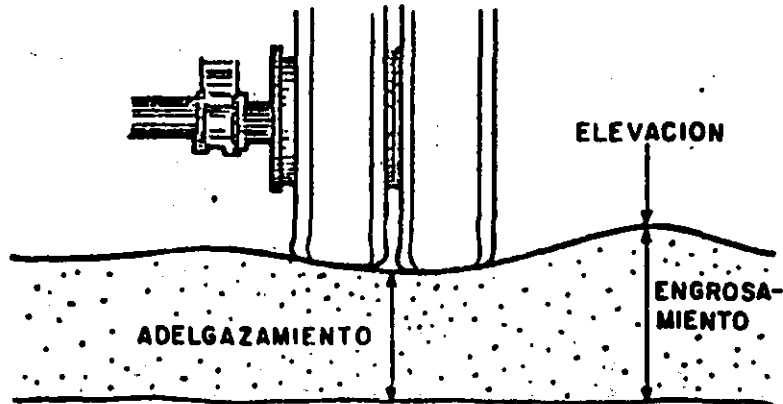
TIPO DE FALLA

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.

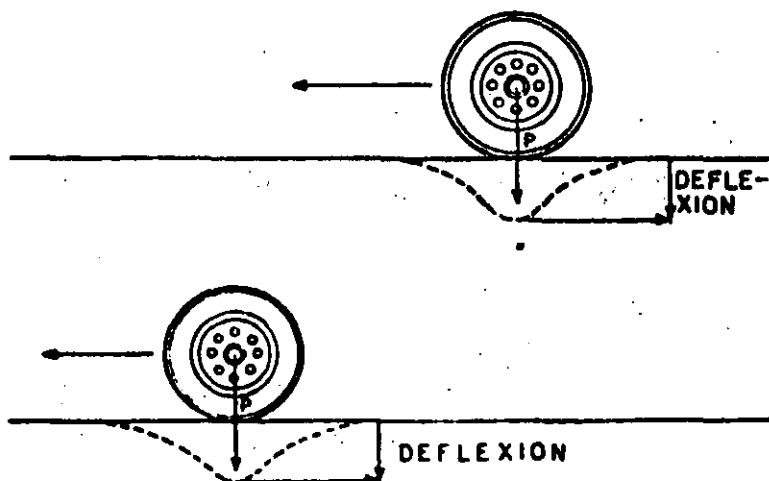
a) DENSIFICACION



b) DEFORMACION PLASTICA



1) DEFORMACION PERMANENTE



2) DEFORMACION POR DEFLEXION TRANSITORIA

FORMAS PRINCIPALES DE DETERIORO QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

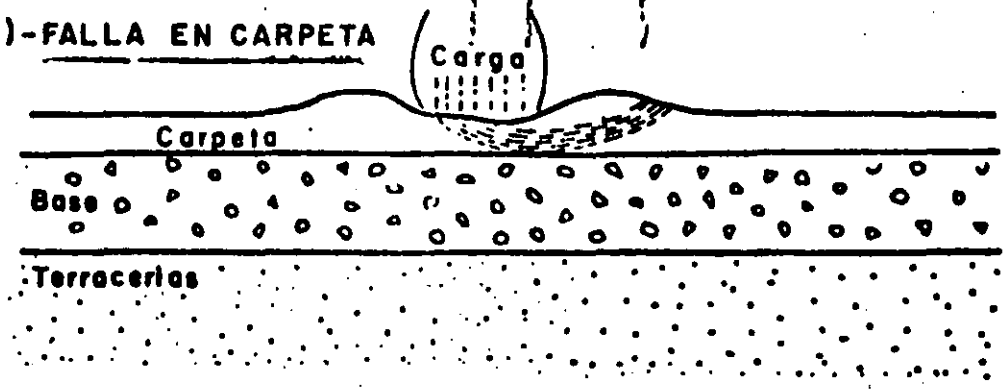
DETERIORO	CAUSA GENERAL	CAUSA ESPECIFICA QUE LO PRODUCE
AGRIETAMIENTOS O FRACTURAS	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CÁRGAS REPETIDAS (FATIGA) DESLIZAMIENTO (PRODUCIDO POR ESFUERZOS AL FRENAR) GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CAMBIOS TERMICOS CAMBIOS DE HUMEDAD CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES
DEFORMACIONES	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	RÓDERAS (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

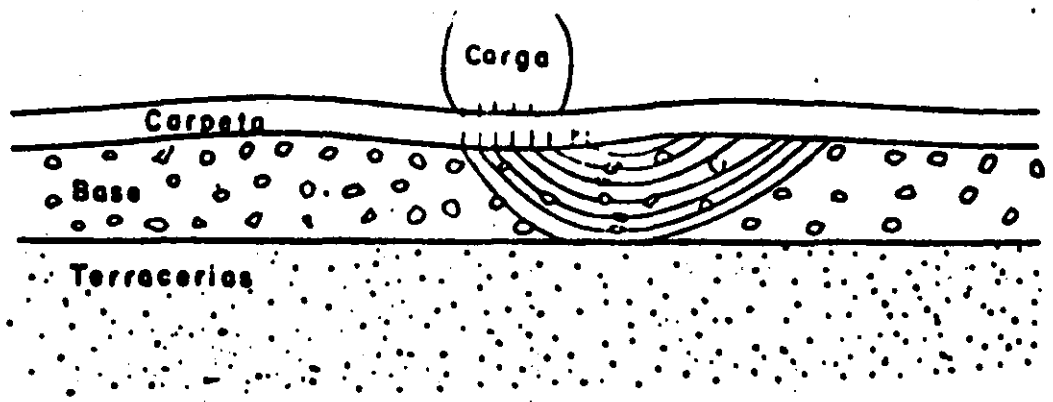


TIPOS DE FALLA

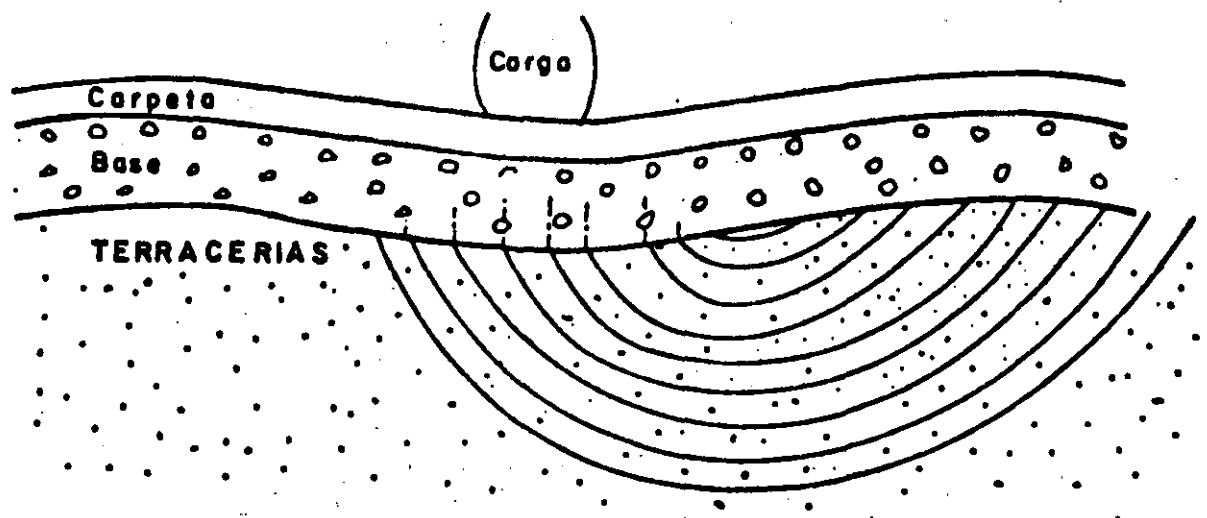
a) - FALLA EN CARPETA



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

$$IS = 5.03 - 1.9 \text{ LOG } (1+SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 \frac{2}{RD}$$

PAVIMENTO RIGIDO

$$IS = 5.41 - 1.8 \text{ LOG } (1+SV) - 0.09 \sqrt{C + P}$$

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.

041

(2)

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

BASE GRAVA TRITURADA

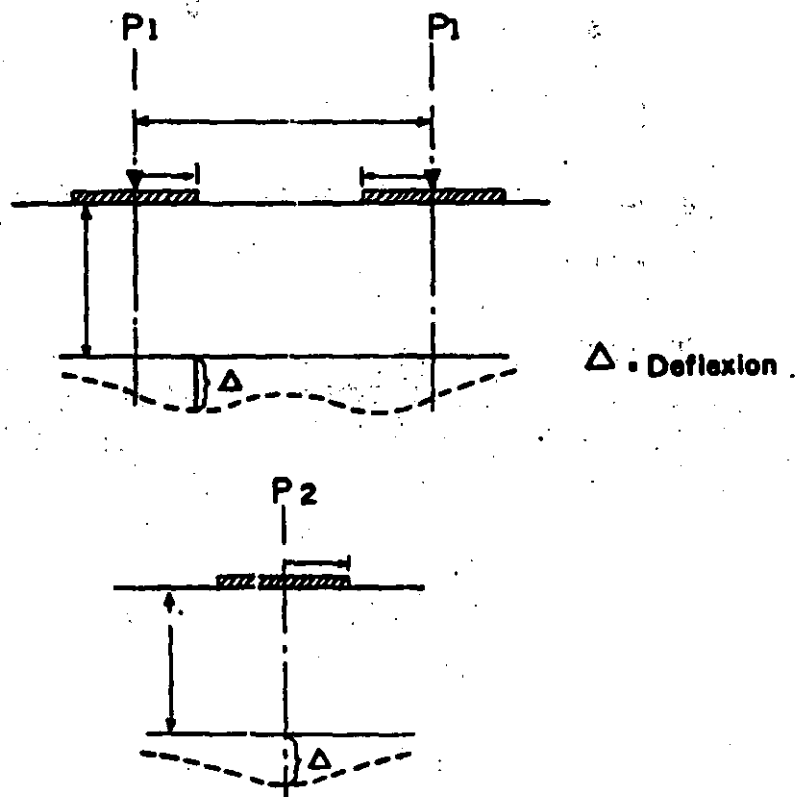
SUBBASE GRAVA Y ARENA

D1

D2

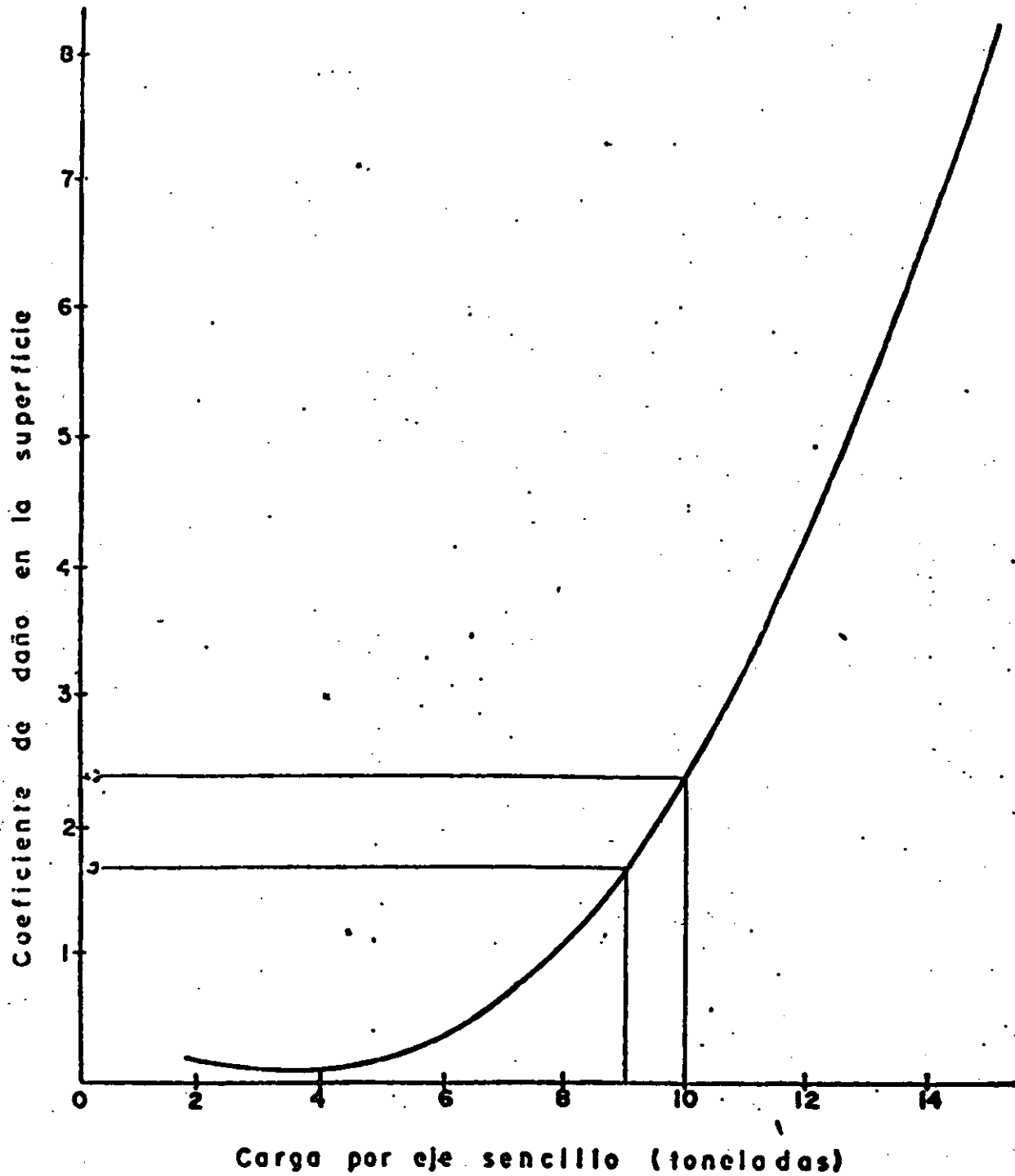
D3

CONCEPTO DE CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA



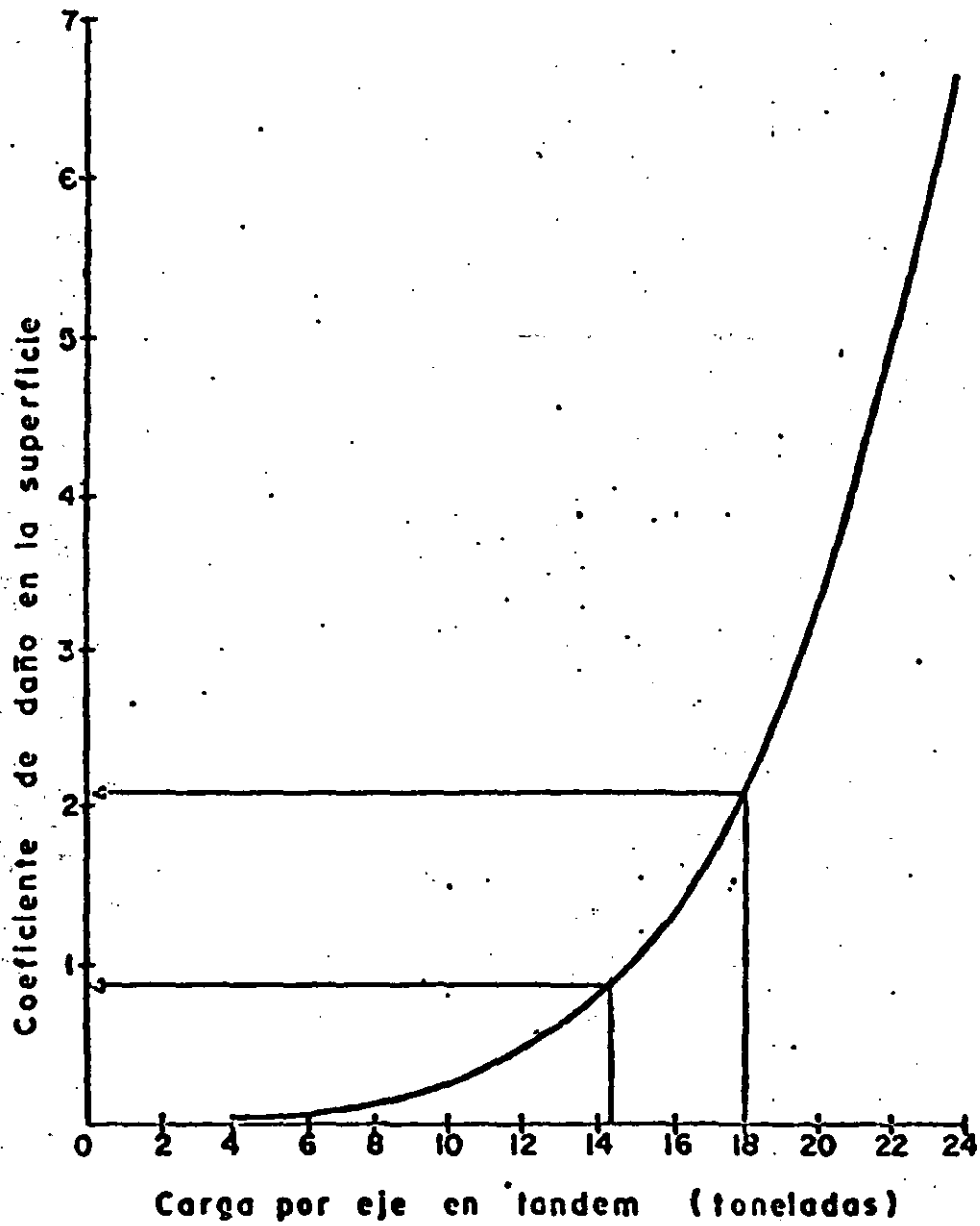
CARGA EQUIVALENTE A RUEDA SENCILLA (ESWL)

Se define como la carga que actúa 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

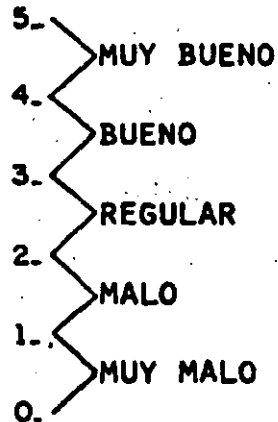
FIG. 3 VARIACION DEL COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA DE DAÑO PARA DIFERENTES PESOS POR EJE TANDEM.

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.

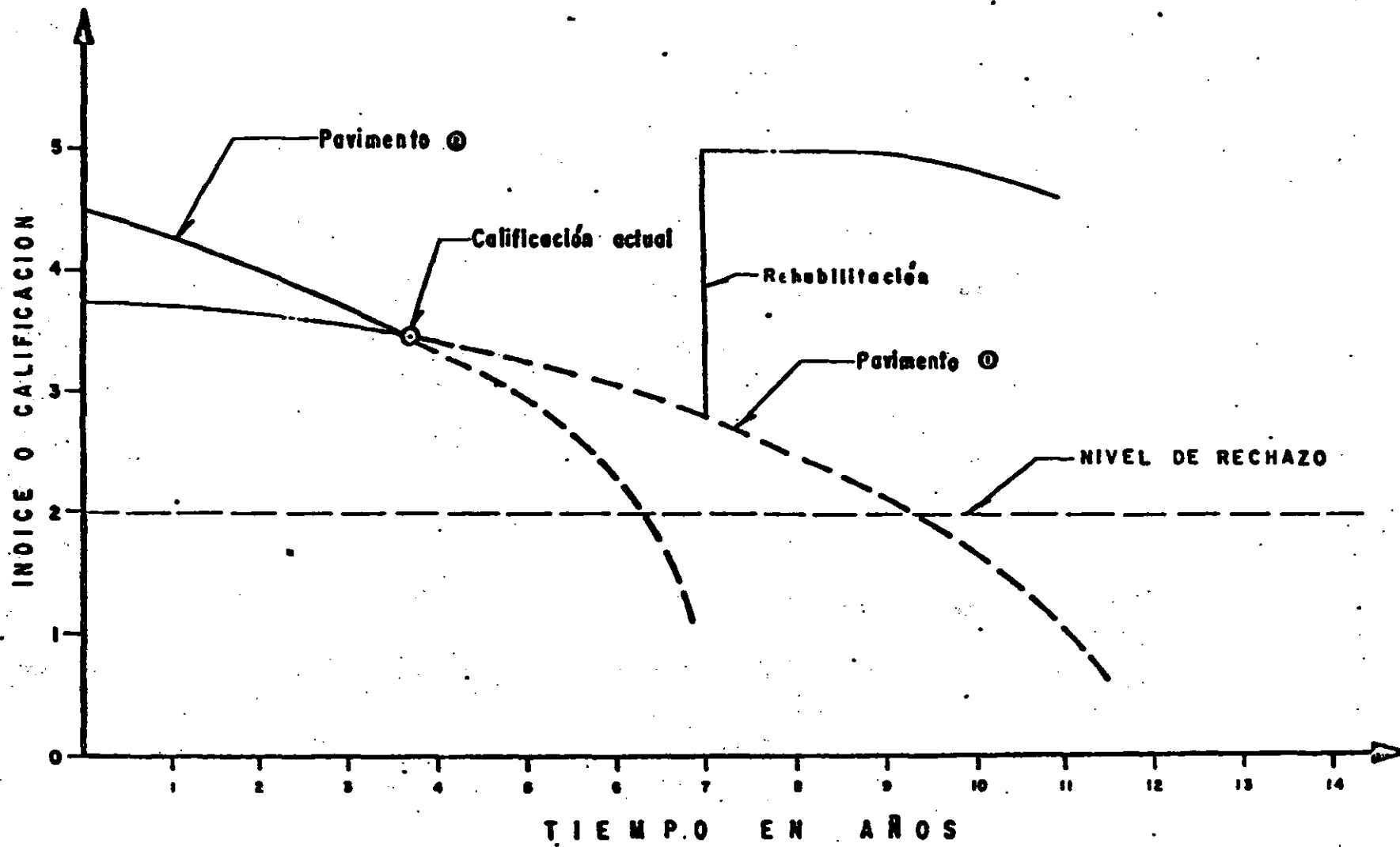


- NIVEL DE RECHAZO

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

②

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 estacionales
 - 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 ROCAS
ECOLOGIA.

HIDROGEOLOGIA, EROSION.

ESTRATIGRAFIA.-

DISPOSICION DE SUELOS Y ROCAS
PERFIL DE ALTERACION.

MORFOLOGIA Y TOPOGRAFIA

DISPOSICION DE ZONAS DE CORTE Y TERRAPLEN

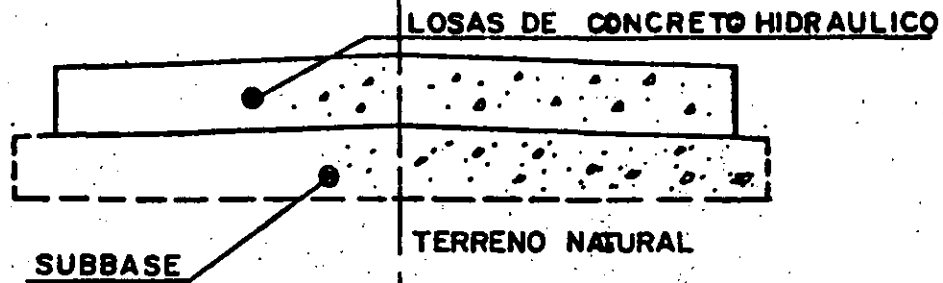
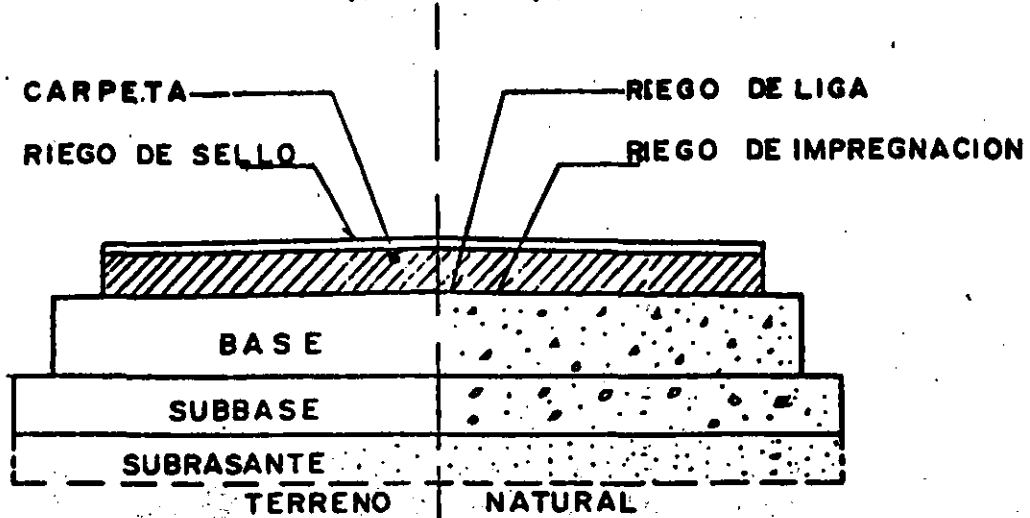
SUELOS Y ROCAS

SUELOS PLASTICIDAD
 VARIACION VOLUMETRICA
 RESISTENCIA
 RIGIDEZ

DRENAJE, SUBDRENAJE

ESTABILIDAD DE CORTES.

ESTRUCTURAS
PAVIMENTO ASFALTICO
(FLEXIBLE)



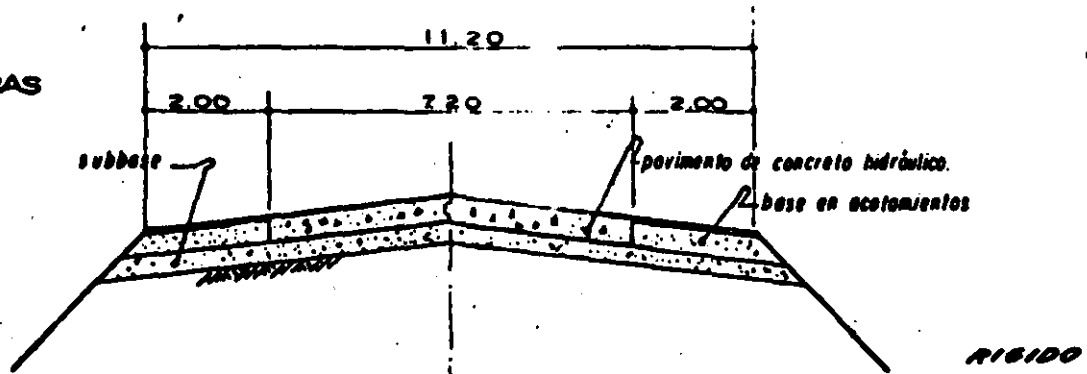
PAVIMENTO DE CONCRETO
(RIGIDO)

SECCIONES TÍPICAS DE PAVIMENTOS

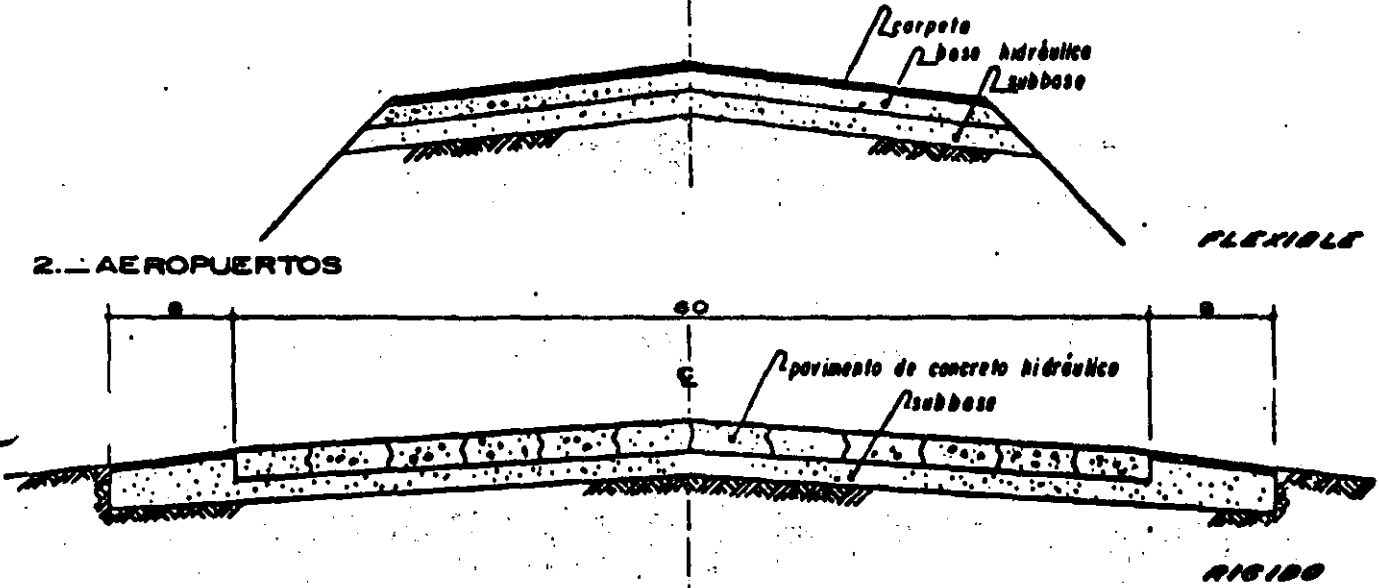
052

23

1. CARRETERAS



2. AEROPUERTOS



3. CALLES

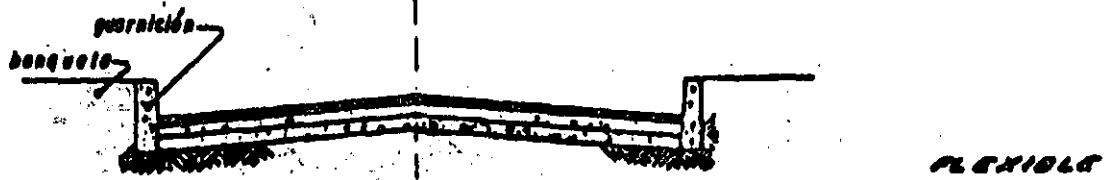
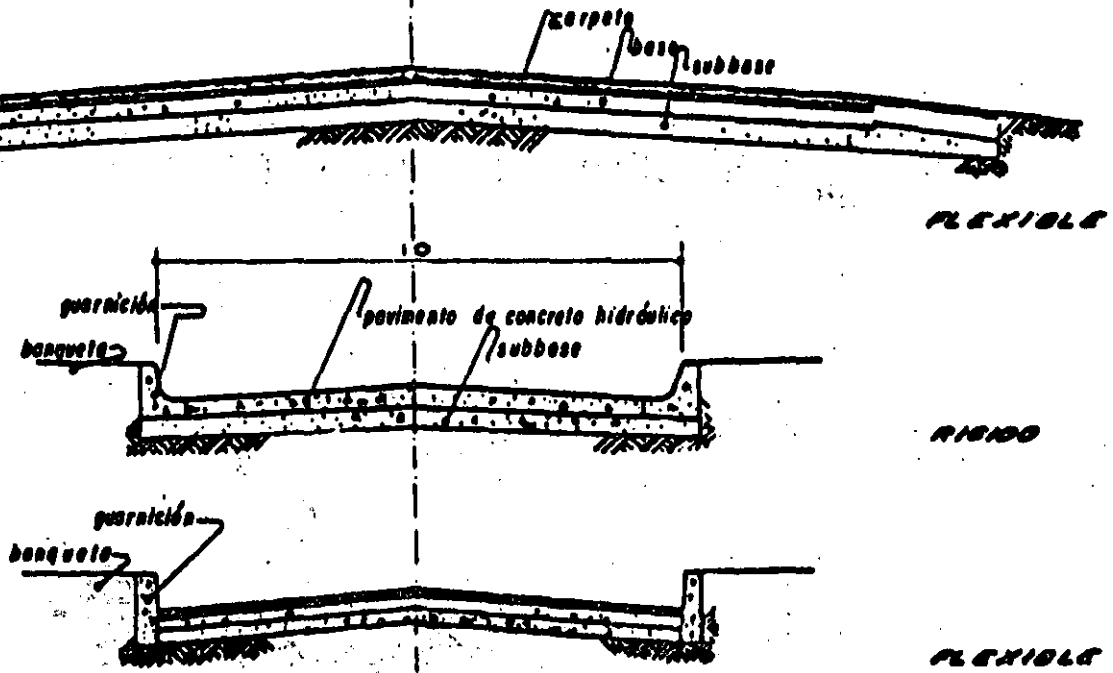
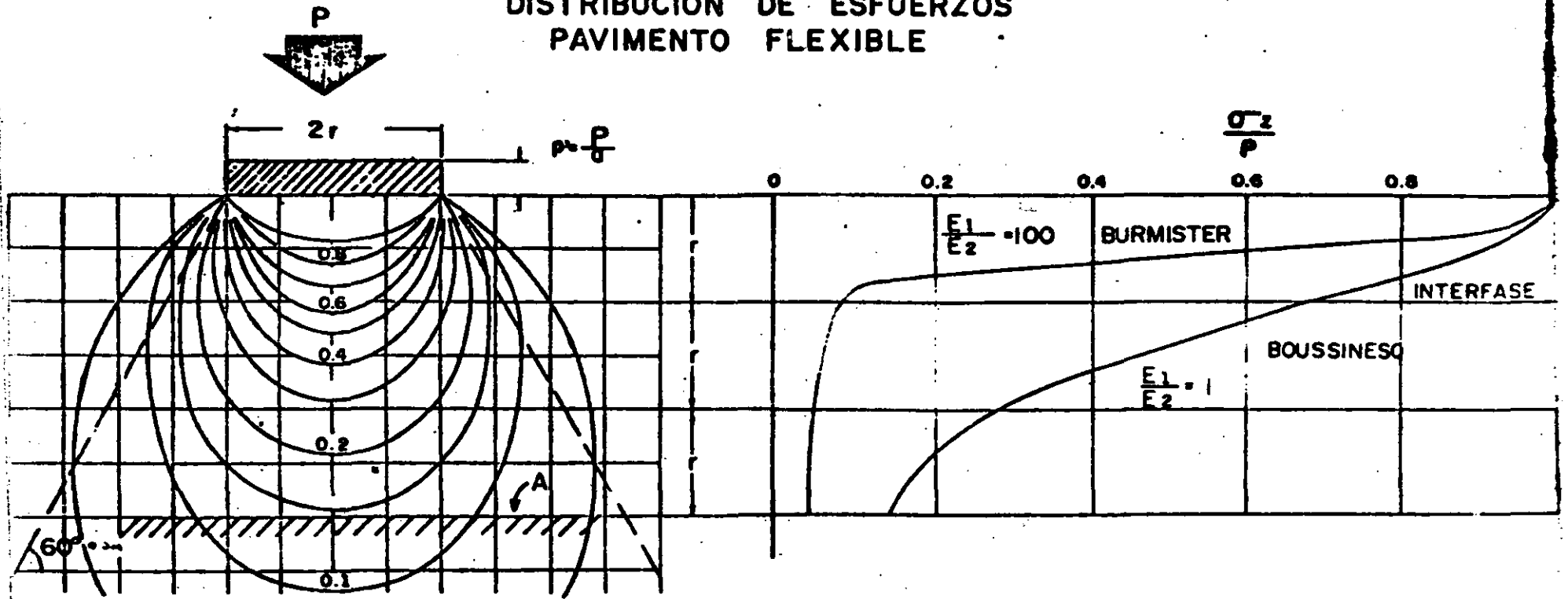


FIGURA Nº 1

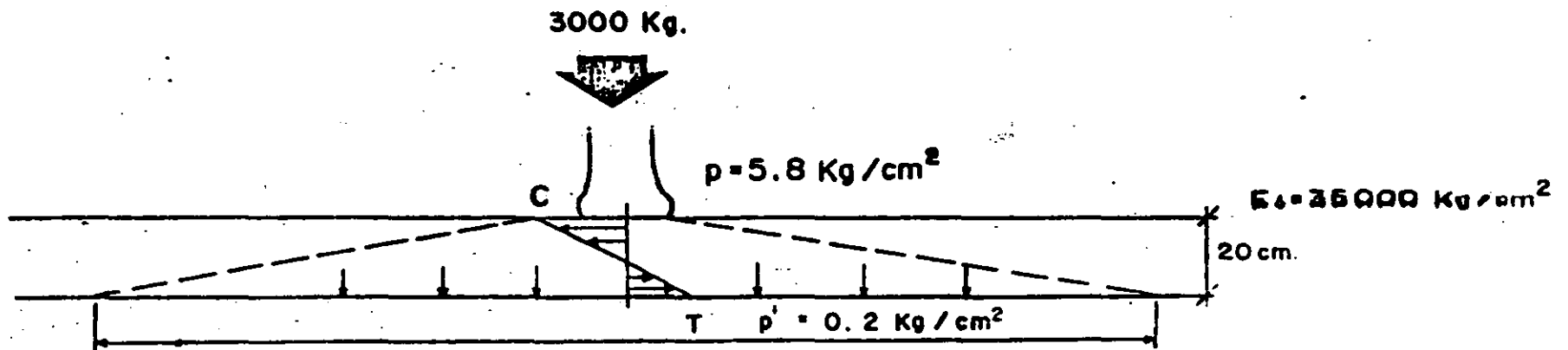
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PAVIMENTO FLEXIBLE



$$P' = \frac{P}{A}$$

$$P' = p \frac{r}{A}$$

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS
PAVIMENTO RIGIDO



054

67

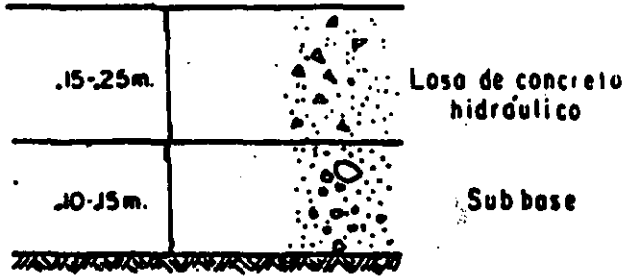
FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DEL PAVIMENTO

- 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.

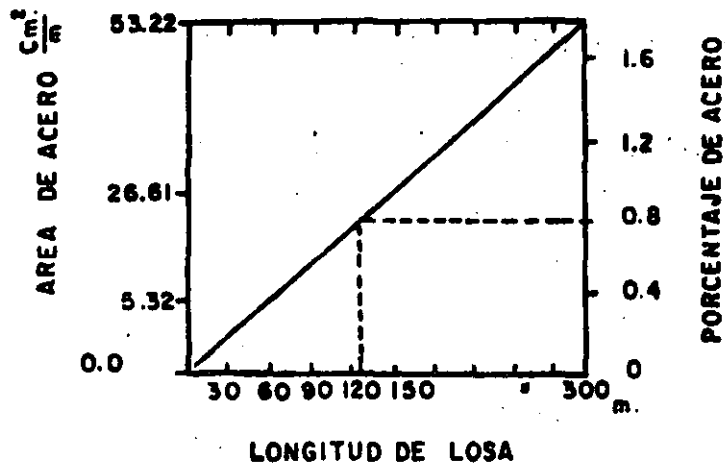
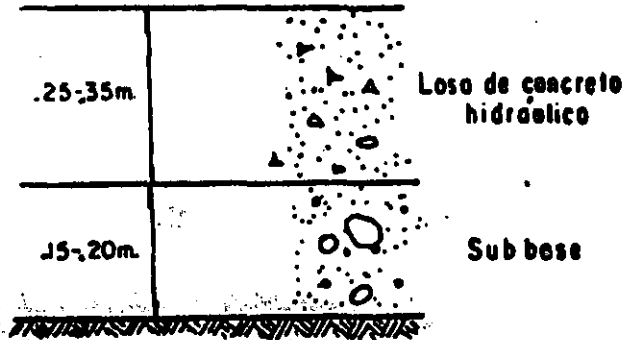
ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

(30)

CARRETERAS Y CALLES

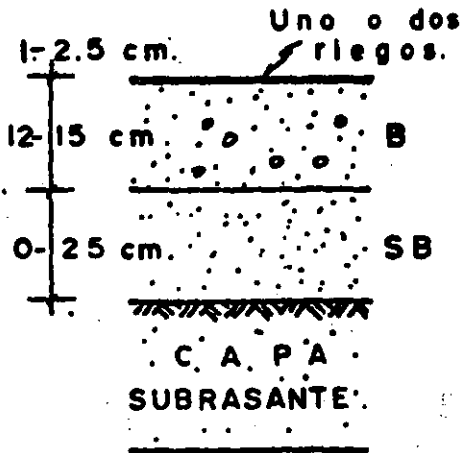


AEROPUERTOS

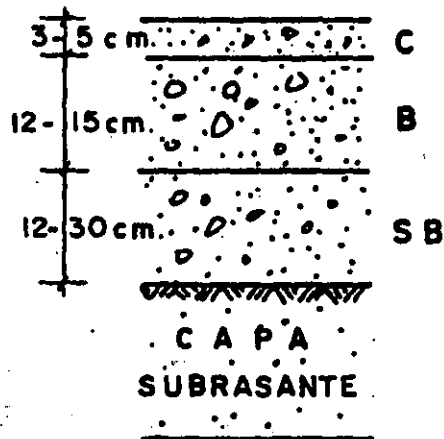


ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO CARRETERO.

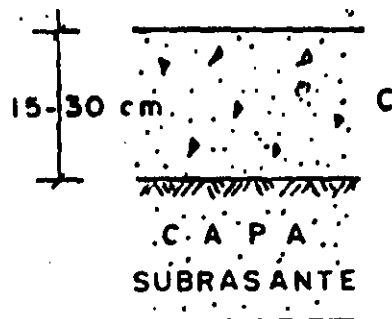
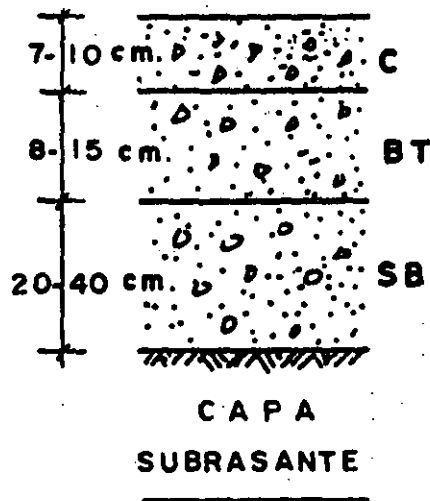
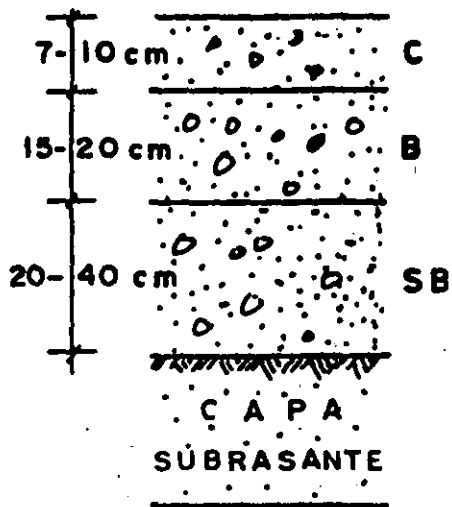
LIGERO



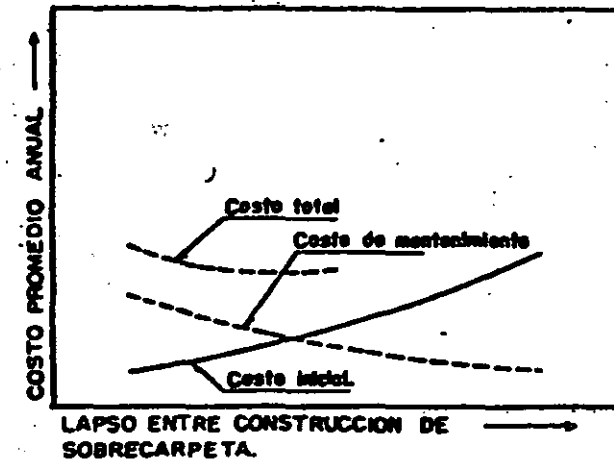
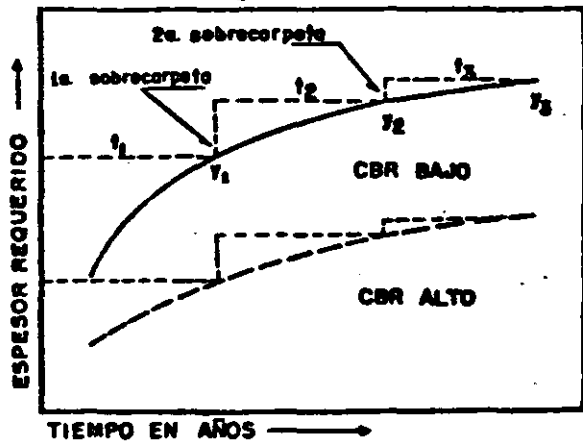
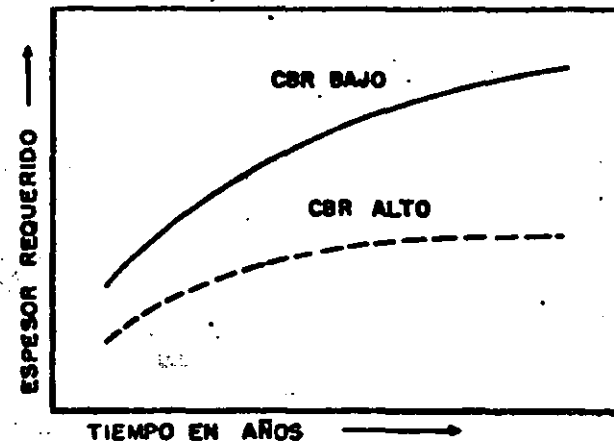
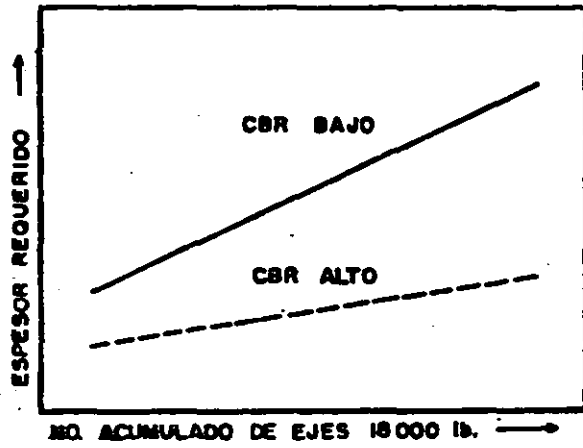
MEDIANO



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.**

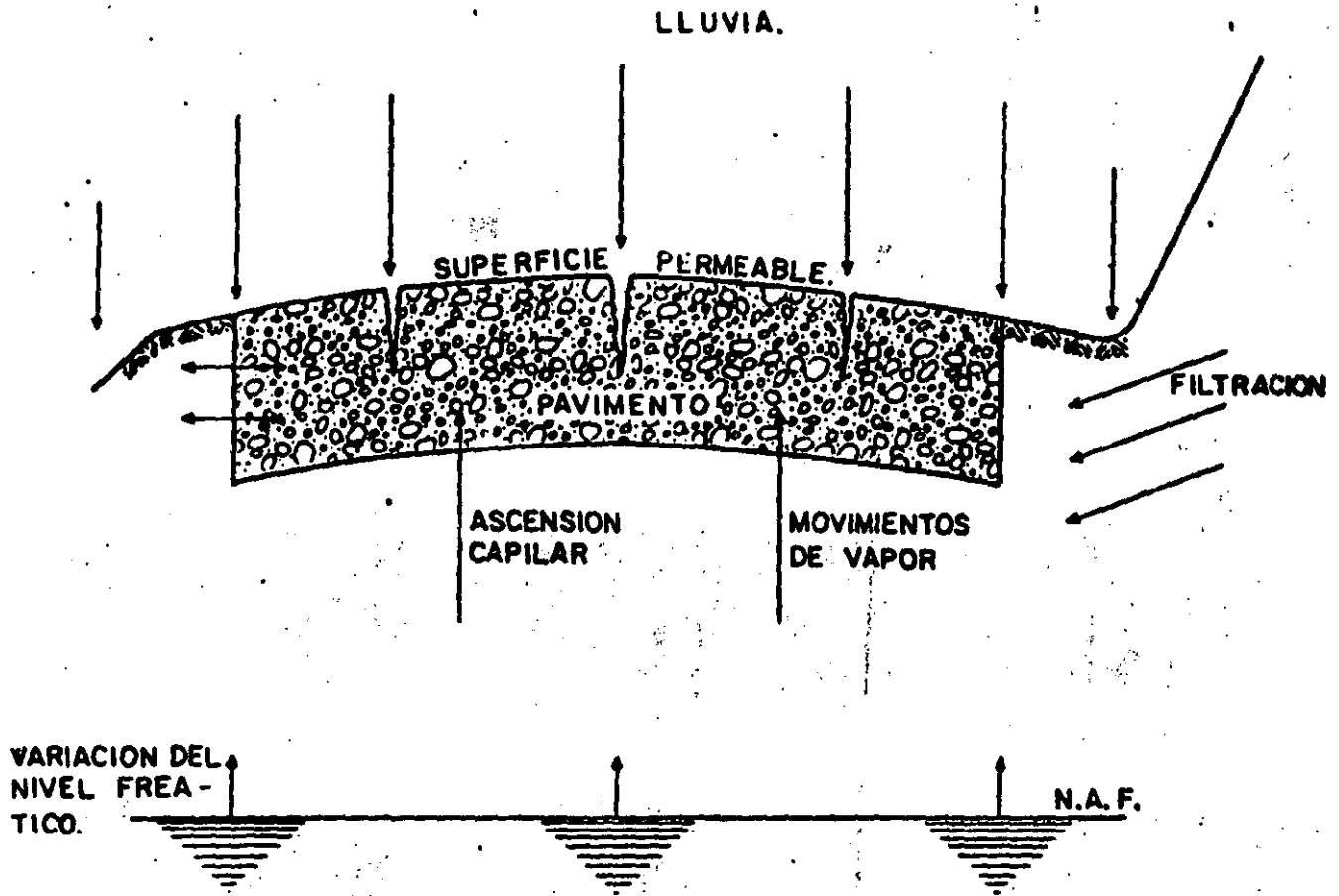
TABLA I. COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

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 atenúa 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.	

(5)



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

TERRAPIENES

ALCANTARILLAS

LAVADEROS

BORDILLOS

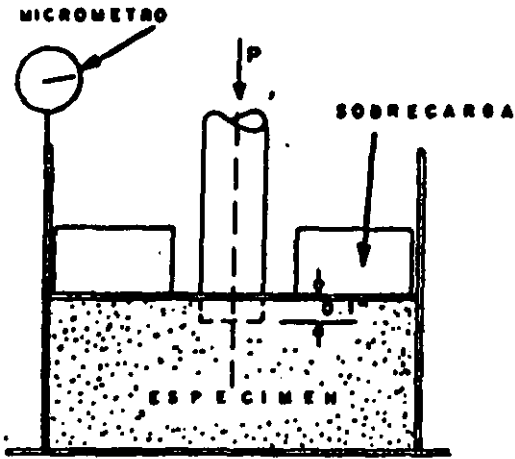
AREAS DE ESTACIONA
MIENTO Y CALLES

DRENES

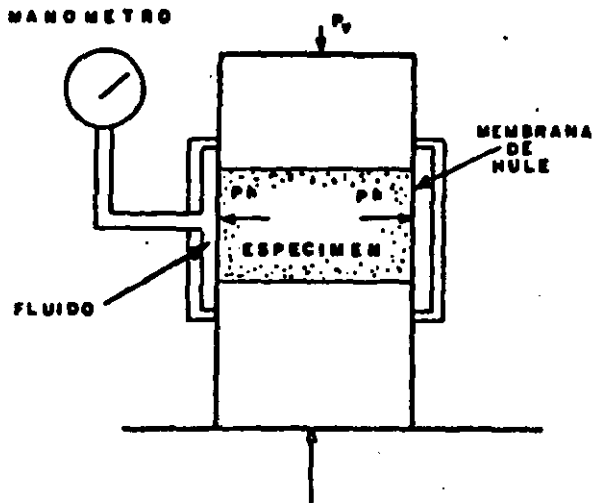
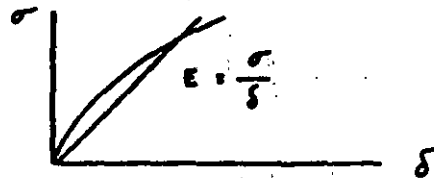
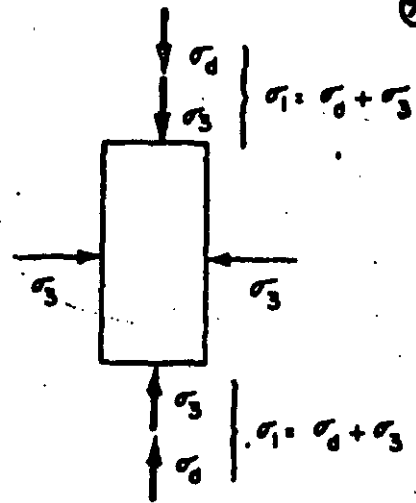
ATARJEAS Y COLADERAS PLUVIALES

CONTROL DE HUMEDAD

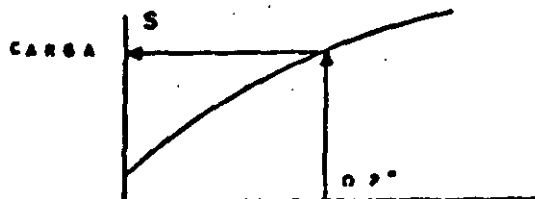
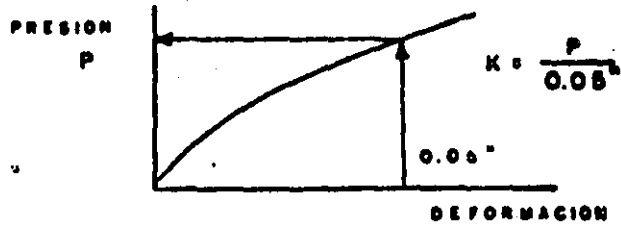
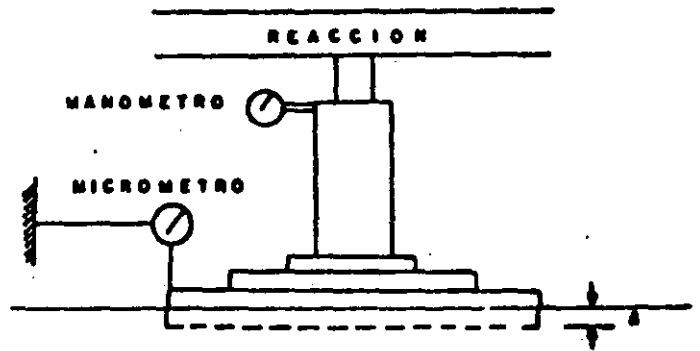
- 1.- MANTENER EL PAVIMENTO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO NATURAL
- 2.- DRENAJE SUPERFICIAL ADECUADO
- 3.- SUBDRENAJE Y SISTEMAS DE INTERCEPCION DE AGUA
- 4.- MANTENER EL NAF BAJO
- 5.- SELLAR SUPERFICIES
- 6.- CAPAS DRENANTES



$$CBR = \frac{P_{0.1''}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$



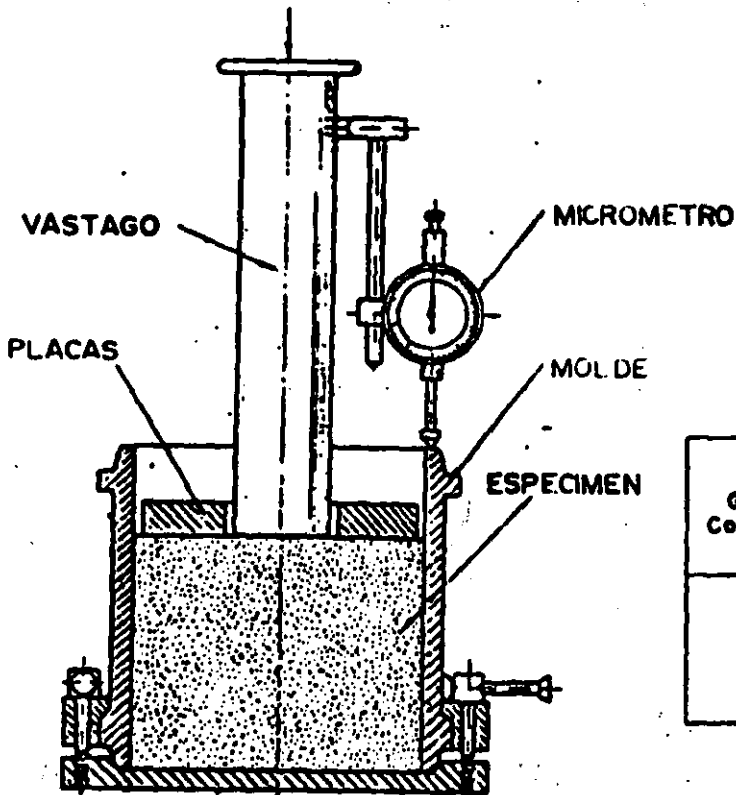
$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v}\right) 100$$



DEFORMACION PROMEDIO PARA 10 REPETICIONES

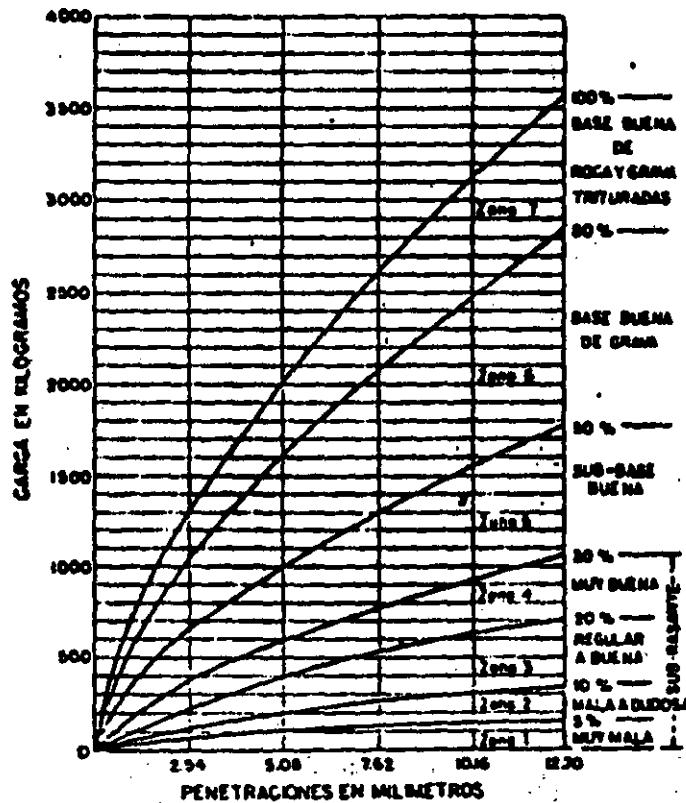
PRUEBA DE VALOR RELATIVO SOPORTE

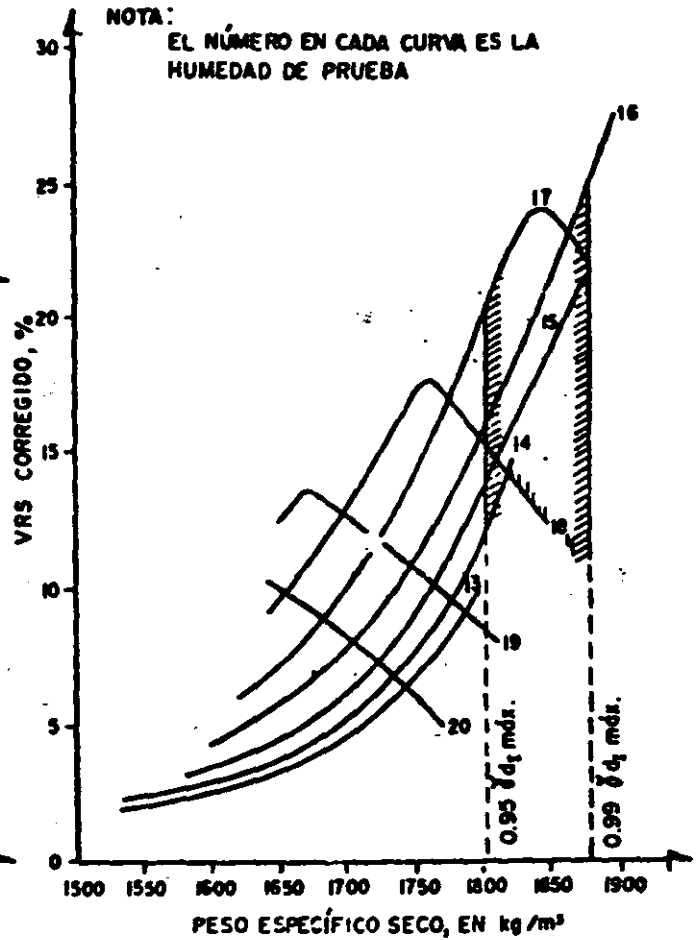
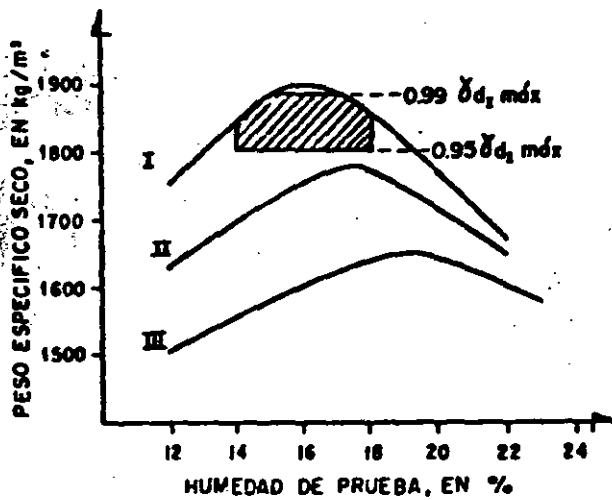
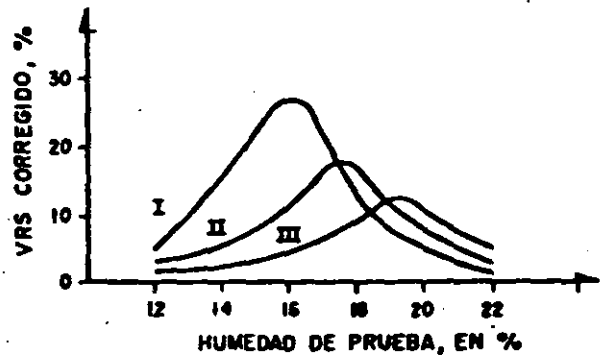
(W)



PRUEBA MODIFICADA .S.O.P.

Grado de Compactación %	Variante 1 Buen drenaje precipitación bajo a media.	Variante 2 Drenaje deficiente, precipitación media o alta.
100	W_o	W_o
95	W_o	$W_o + 1.5$
90 - 75	W_o	$W_o + 3.0$

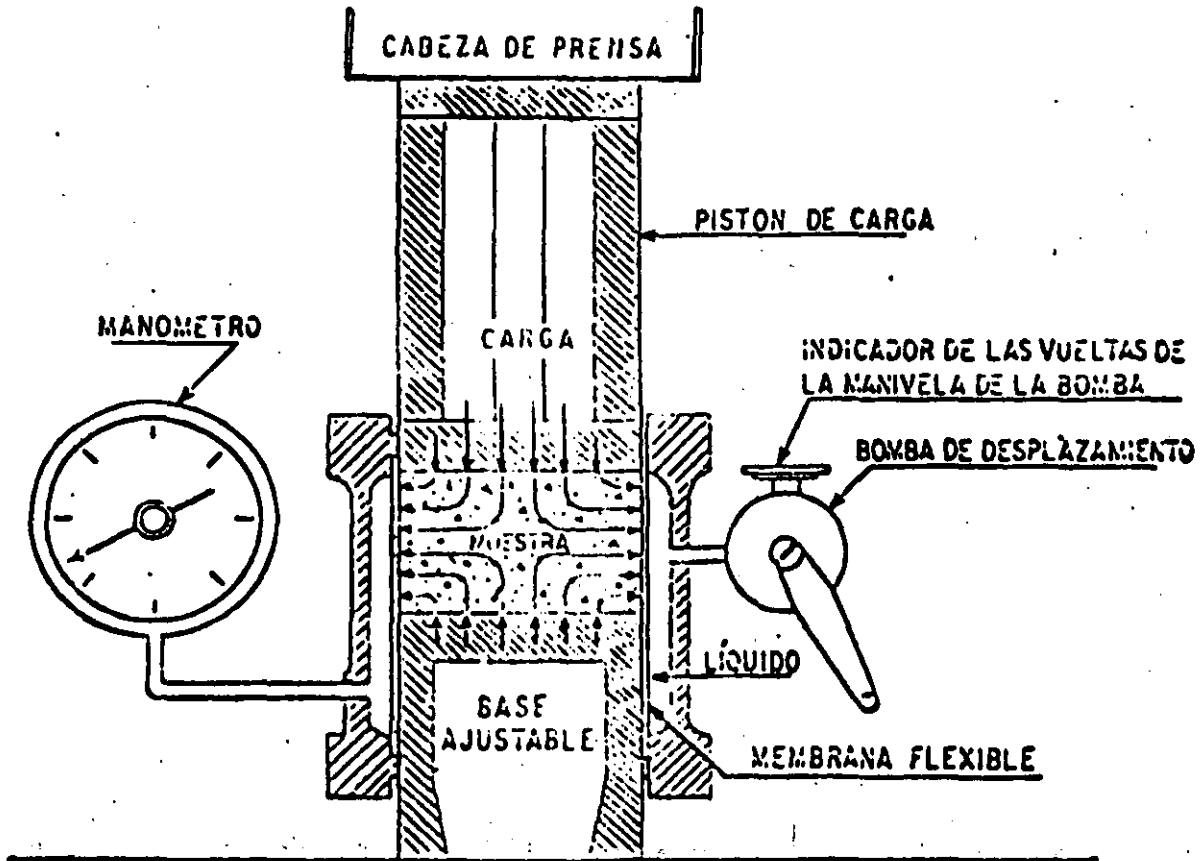




METODO CUERPO DE INGENIEROS



ESTABILOMETRO



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v} \right) 100$$

$$T = k \frac{P \sqrt{A} \text{ Log } r}{\sqrt[5]{c}} \left(\frac{P_h}{P_v} - 0.1 \right)$$

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)

METODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

MECANICOS

COMPACTACION

FISICOS

CONFINAMIENTO

CONSOLIDACION

VIBRACION

MEZCLAS DE SUELOS

QUIMICOS

ESTABILIZACIONES Y TRATAMIENTOS

- CEMENTO PORTLAND

- ASFALTO

- CAL

- OTROS.

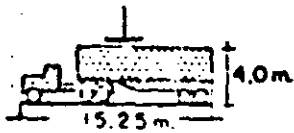
ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS

- 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.

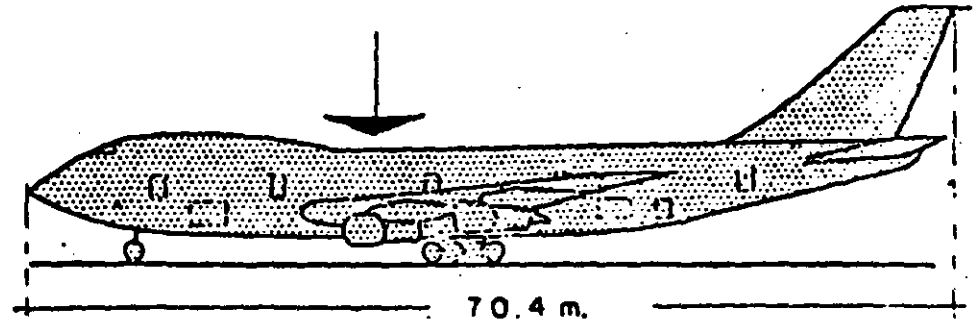
PRODUCTO	CONSISTENCIA	CONTENIDO DE AGUA	MATERIALES	MEZCLADO	COMPACTACION
SUELO CEMENTO	NO PLASTICA SECA	W _{OPT}	SUELOS ARENOSOS	MOTOCONFORMADORA, MANUAL.	RODILLOS
BASE TRATADA CON CEMENTO	NO PLASTICA SECA	W _{OPT}	GRANULARES, BIEN GRADUADOS	PLANTA FIJA O MOVIL	RODILLOS
CONCRETO POBRE ECONCRETO	PLASTICA	A/C	AGREGADOS DE BAJO COSTO, RECICLADOS	PLANTA	VIBRADO
CONCRETO	PLASTICA	A/C	AGREGADOS PARA CONCRETO	PLANTA	VIBRADO

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.

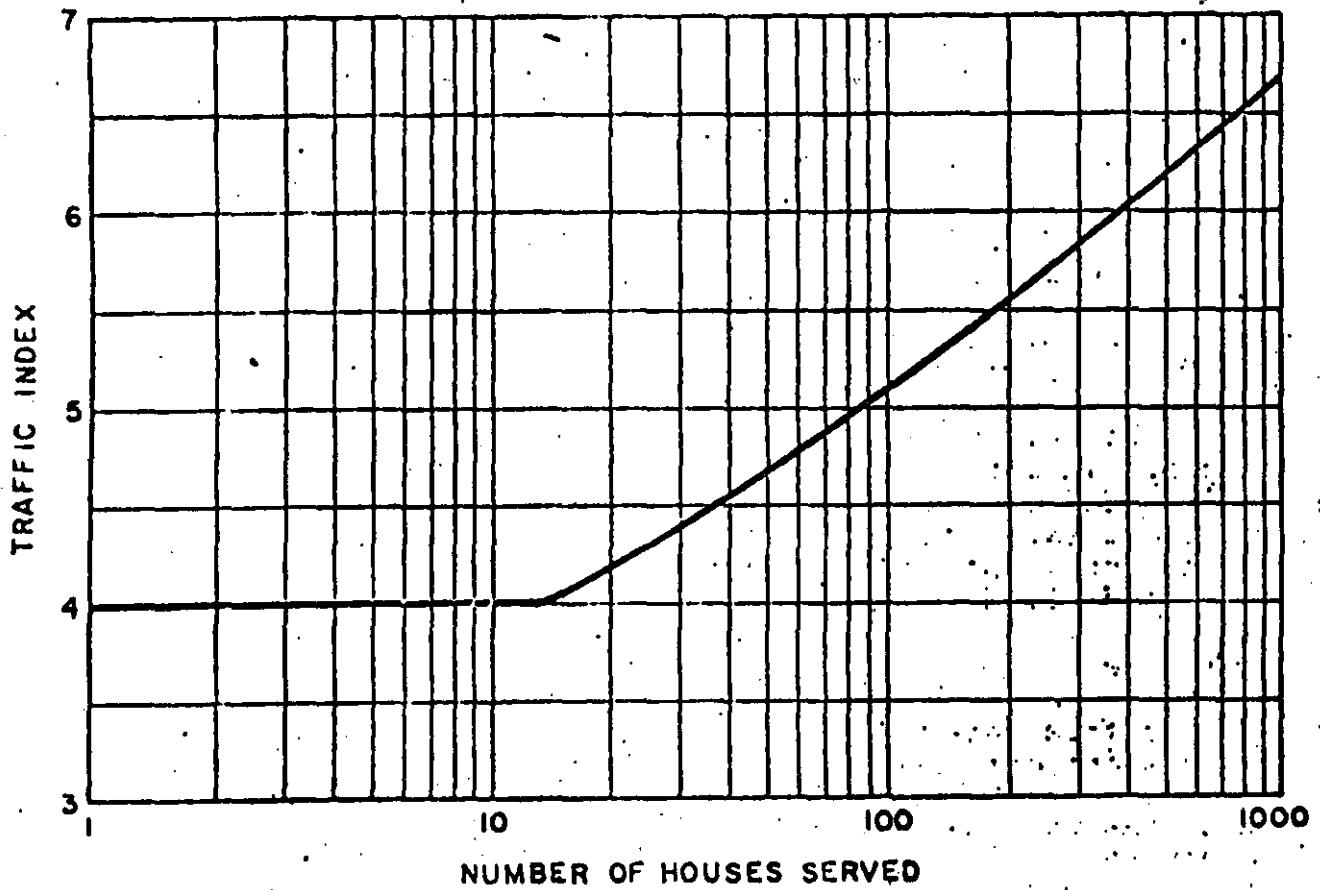
U78

50

INTENSIDAD DE LAS CARGAS



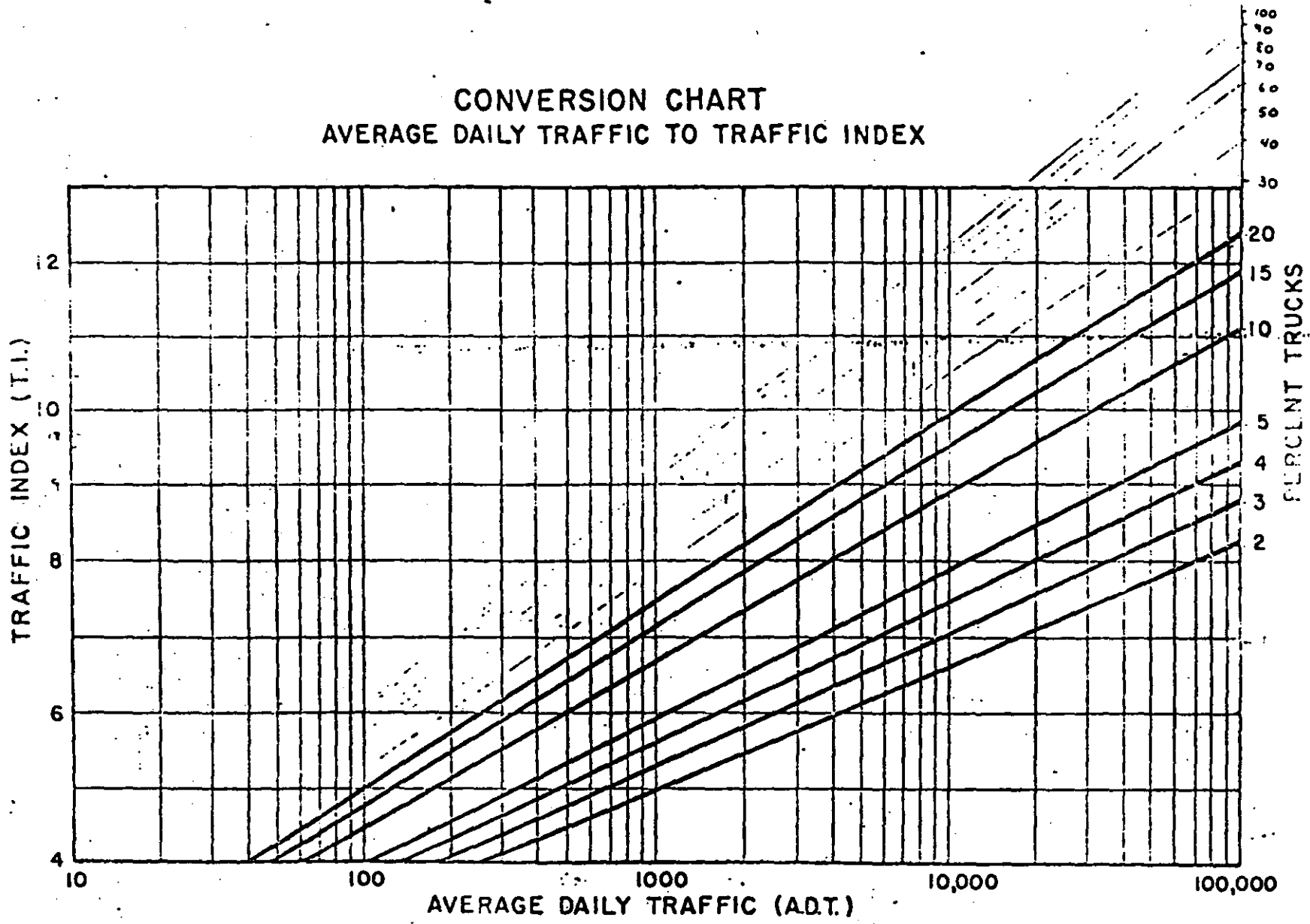
CHART FOR ESTIMATION OF TRAFFIC INDEX
USING A HOUSE COUNT



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

59

METODO TASHO

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 período de 10 años

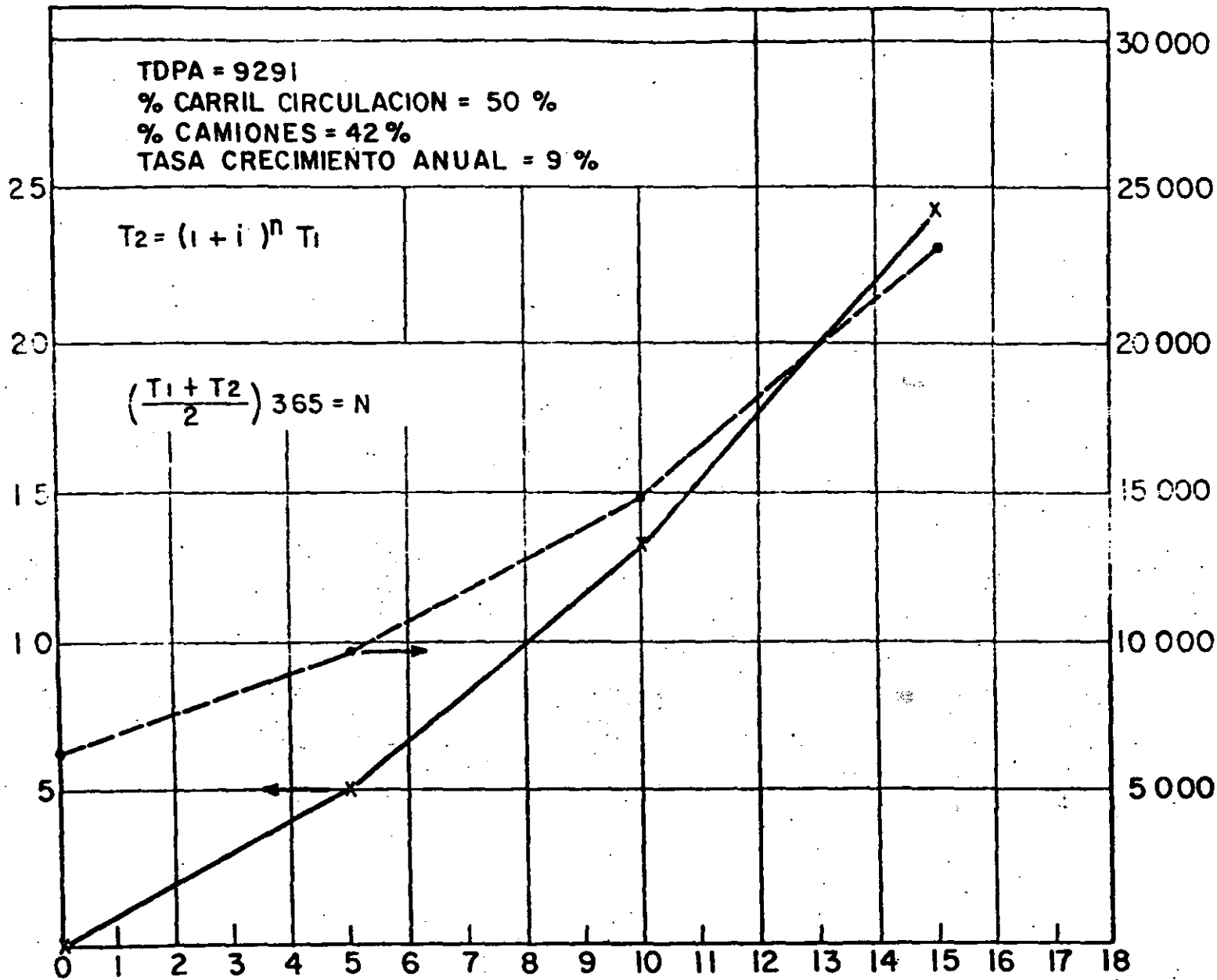
$$\sum_{o}^n EAL = \frac{EAL \circ (365)}{\log_e (1 + i)} \left[(1 + i)^n - 1 \right]$$

$$\sum EAL = \frac{38.7 \times 365}{0.0535} \left[(1.055)^{10} - 1 \right] = 186\ 818$$

o bien, efectuando los cálculos por cada año:

Fin del año	$(1 + i)^n$	Total en el año
1	1.000	$38.7 \left(\frac{1 + 1.055}{2} \right) (365) = 14\ 51$
2	1.055	$38.7 \left(\frac{1.055 + 1.113}{2} \right) (365) = 1531$
3	1.113	$38.7 \left(\frac{1.113 + 1.174}{2} \right) (365) = 16\ 25$
etc.		TOTAL 186 80

NUMERO ACUMULADO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 KN
(MILLONES)



PROYECCION DEL TRANSITO, AÑOS

TDPA

082

(62)

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

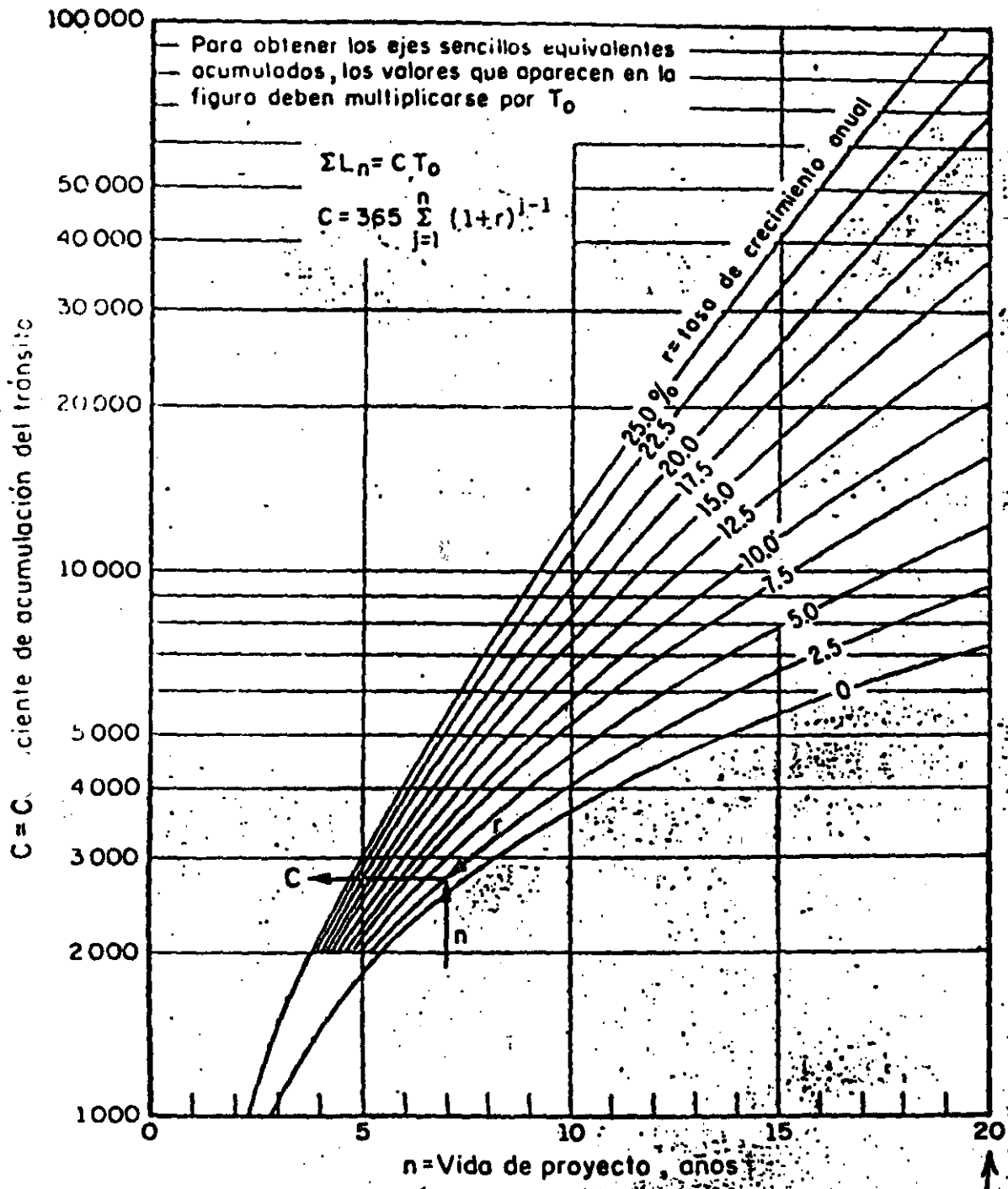
CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS Y FACTORES AMBIENTALES

- 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

086
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		
					CARPETA Y BASE Z: 0 ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z: 30 ⑤	CARPETA Y BASE ⑥ = ③ × ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ × ⑤	
A2	0.339	CARGADOS	1.0	0.339	0.004	0.000	0.001	0.005	
		VACIOS	0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	
A'2	0.144	CARGADOS	0.8	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 %					TDA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO ⑨		250	250	
					C_T ⑩		4463.89	4463.89	
DPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500					CD CARRIL PROYECTO = 0.5		ΣL ⑪ = ⑧ × ⑨ × ⑩	1458.578	767.790

Fig 5. Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado (EL)

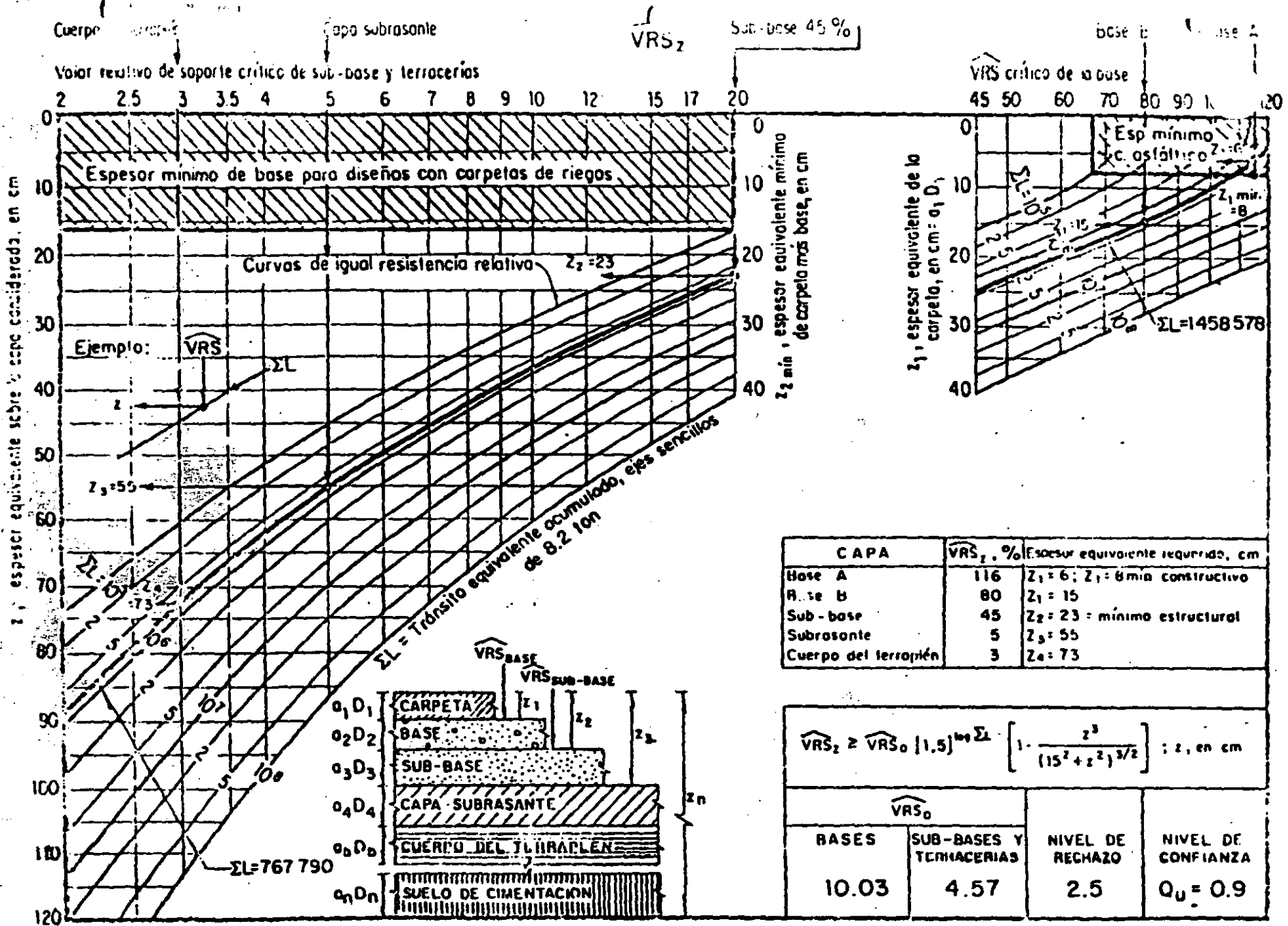
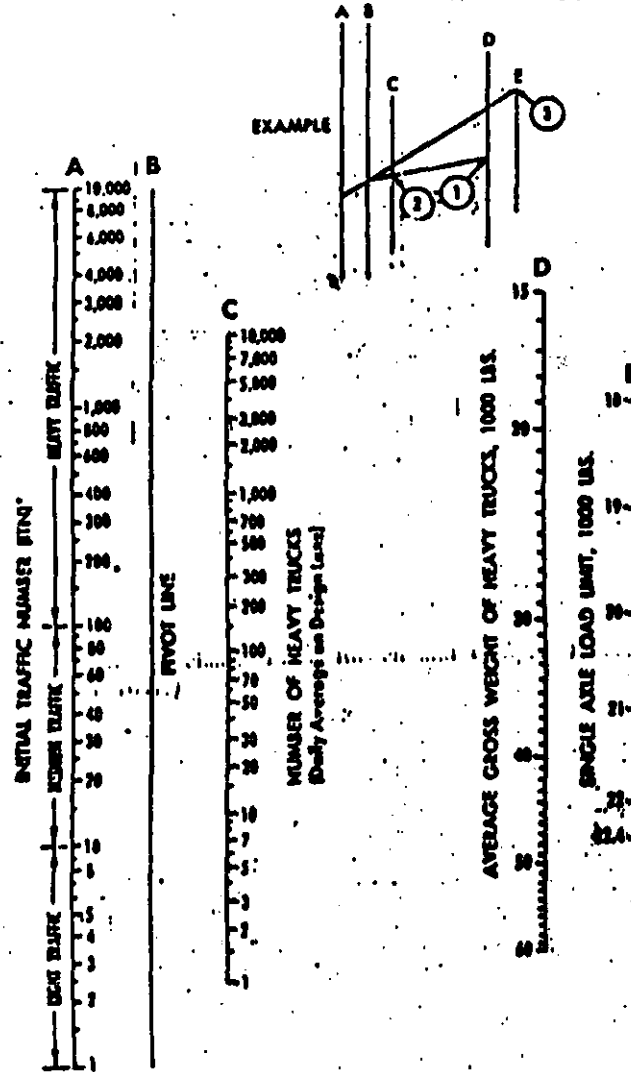


Fig. 8. Ejemplo: gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

(41)

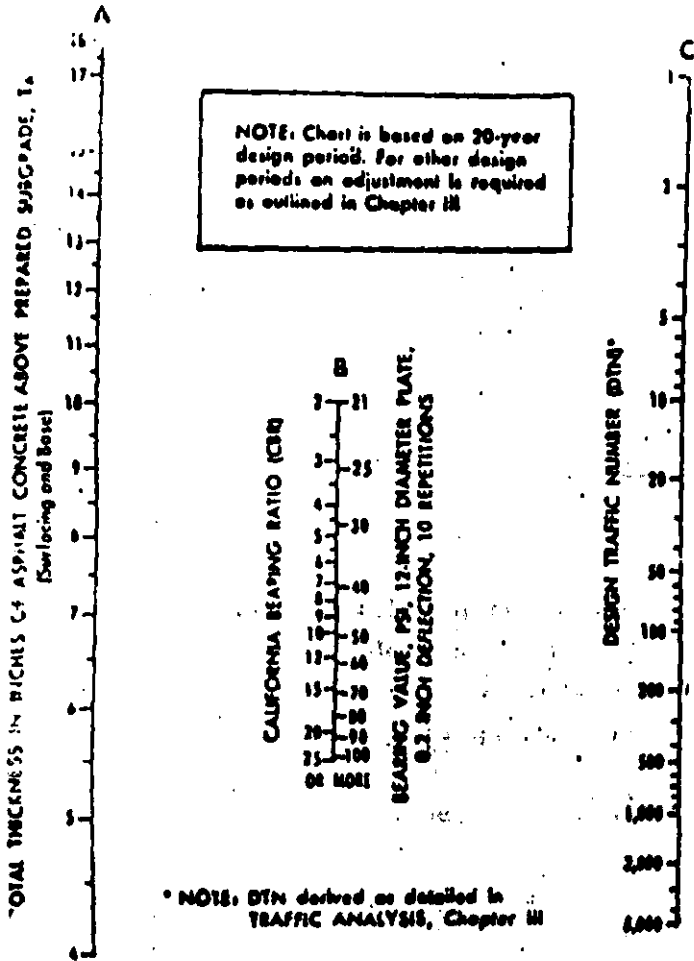


* ITN value may require correction where the IDT of automobiles and light trucks is relatively high. See Figure III-2

Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

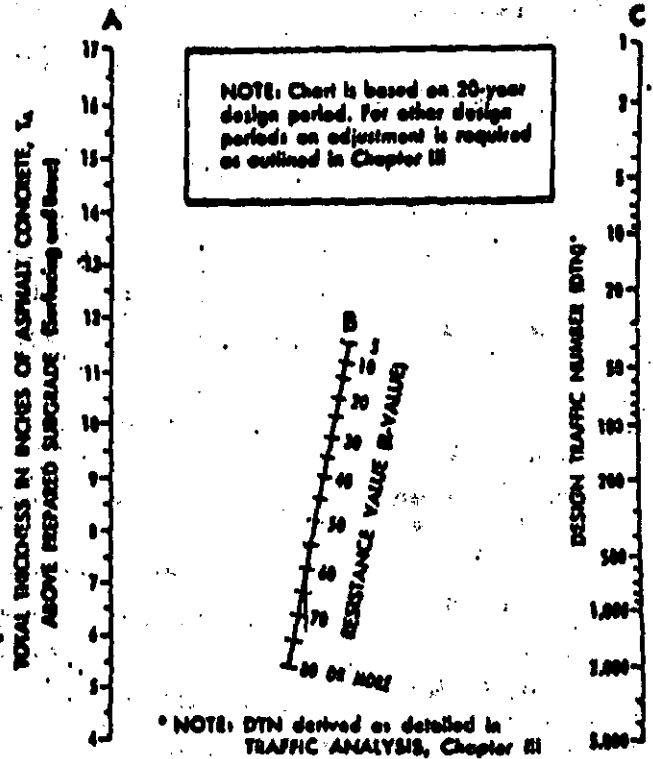
Figure III-1—Traffic analysis chart

(92)



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 for Asphalt Pavement Structures Using Resistance Values

(73)

TABLE 13.8. 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.

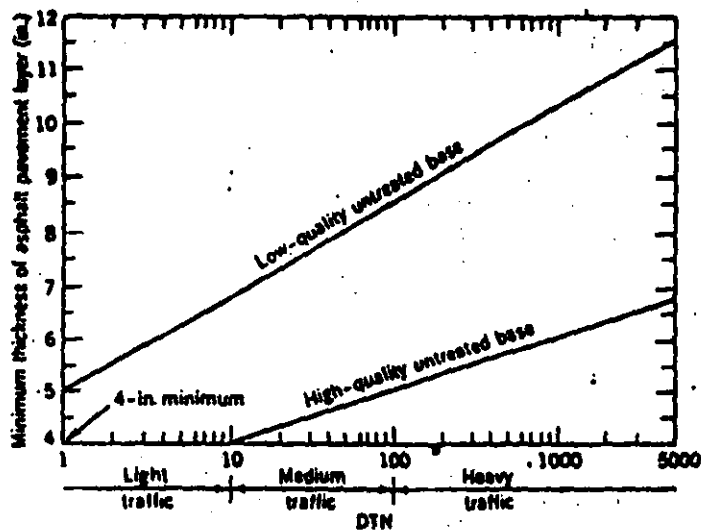


Figure 13.16. Recommended surface thickness for untreated base pavements. (From The Asphalt Institute.)

TOLERANCIAS

Pendiente transversal con respecto a la de proyecto	$\pm 0.50 \%$
Profundidad máxima de las depresiones observadas, - determinadas colocando una regla metálica de tres - metros de longitud; paralela y normalmente al eje	1.5 cm
Esesores:	
En el 85% como mínimo del número total de esesores eterminados:	ex $\geq 0.90 \%$
En el 15% como máximo del número total de esesores eterminados:	0.8 \leq ex $\leq 0.9 \%$
En el 5% como máximo del número total de esesores - eterminados:	0.7 \leq ex $\leq 0.8 \%$
Carpetas.	
Pendiente transversal con respecto a la de proyecto	$\pm 0.25 \%$
Profundidad máxima de las depresiones observadas, - determinadas colocando una regla metálica de tres - metros de longitud paralela y normalmente al eje.	0.5 cm.
Esesores:	
En el 90% como mínimo del número total de esesores eterminados.	0.5 cm.
En el 10% restante del número total de esesores	de (-0.5 cm). a (-1.0 cm)
Coefficiente de fricción, determinado en condiciones de pavimento mojado, con dispositivo Mu meter.	0.35
Indice 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

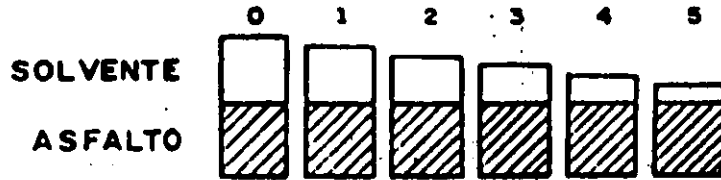
CATIONICAS

ROMPIMIENTO
RAPIDO
MEDIO
LENTO

094

(102)

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)

106

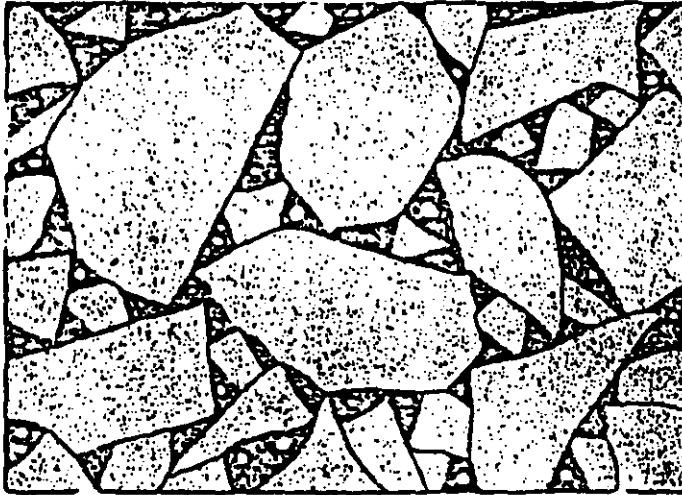


FIG. 4-3.—Esquema de la estructura formada por los áridos y el ligante asfáltico.

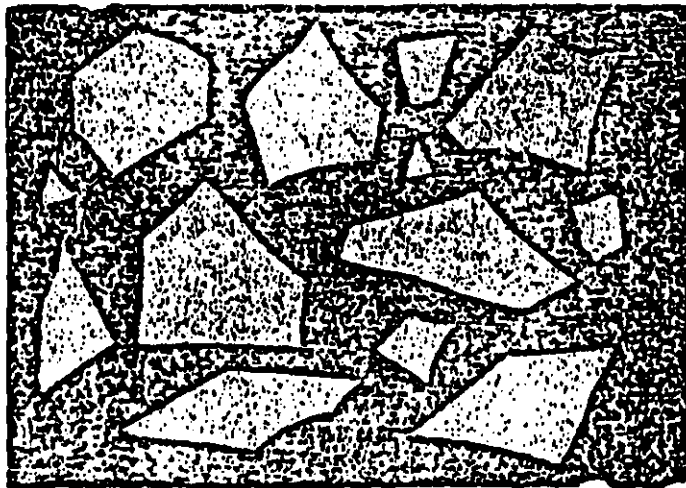
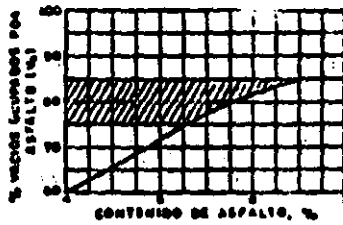
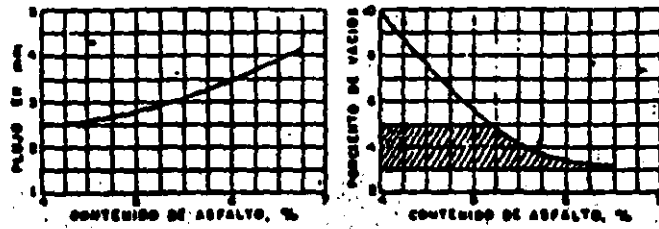
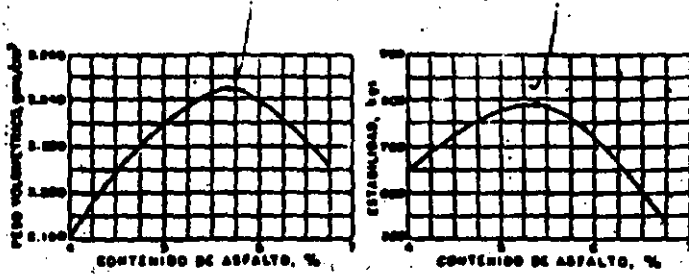


FIG. 4-4 —Esquema de una mezcla con exceso de ligante asfáltico.

GRAFICAS OBTENIDAS
PRUEBA MARSHALL

(170)



099

(112)

CARPETA ASFALTICA

AGREGADOS

**GRANULOMETRIA
NATURALEZA DE LOS FINOS
DUREZA Y SANIDAD
FORMA Y TEXTURA DE PARTICULAS
ADHERENCIA CON ASFALTO**

PRODUCTO ASFALTICO

**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 PASAJUNTAS)
- 2 - CONCRETO CON REFUERZO LIGERO (MALLAS DE CALIBRE DELGADO)
- 3 - CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO
- 4 - CONCRETO PRESFORZADO
- 5 - CONCRETO FIBROSO

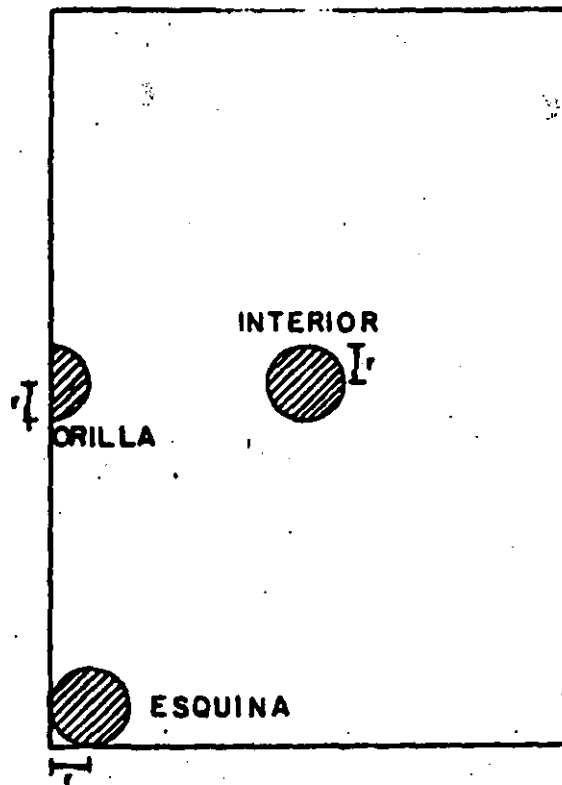
PRINCIPALES ACCIONES QUE AFECTAN LAS
LOSAS DE PAVIMENTO

- 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

$$\sigma_i = 0.275(1+\mu) \frac{P}{h^2} \left[\log \left(\frac{Eh^3}{Kb^4} \right) - 54.54 \left(\frac{L}{c_1} \right)^2 c_2 \right]$$

$$\sigma_i = 0.31625 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{L}{b} \right) + 1.0693 \right]$$

$$\sigma_c = 0.57185 \frac{P}{h^2} \left[4 \log \left(\frac{L}{b} \right) + 0.3593 \right]$$

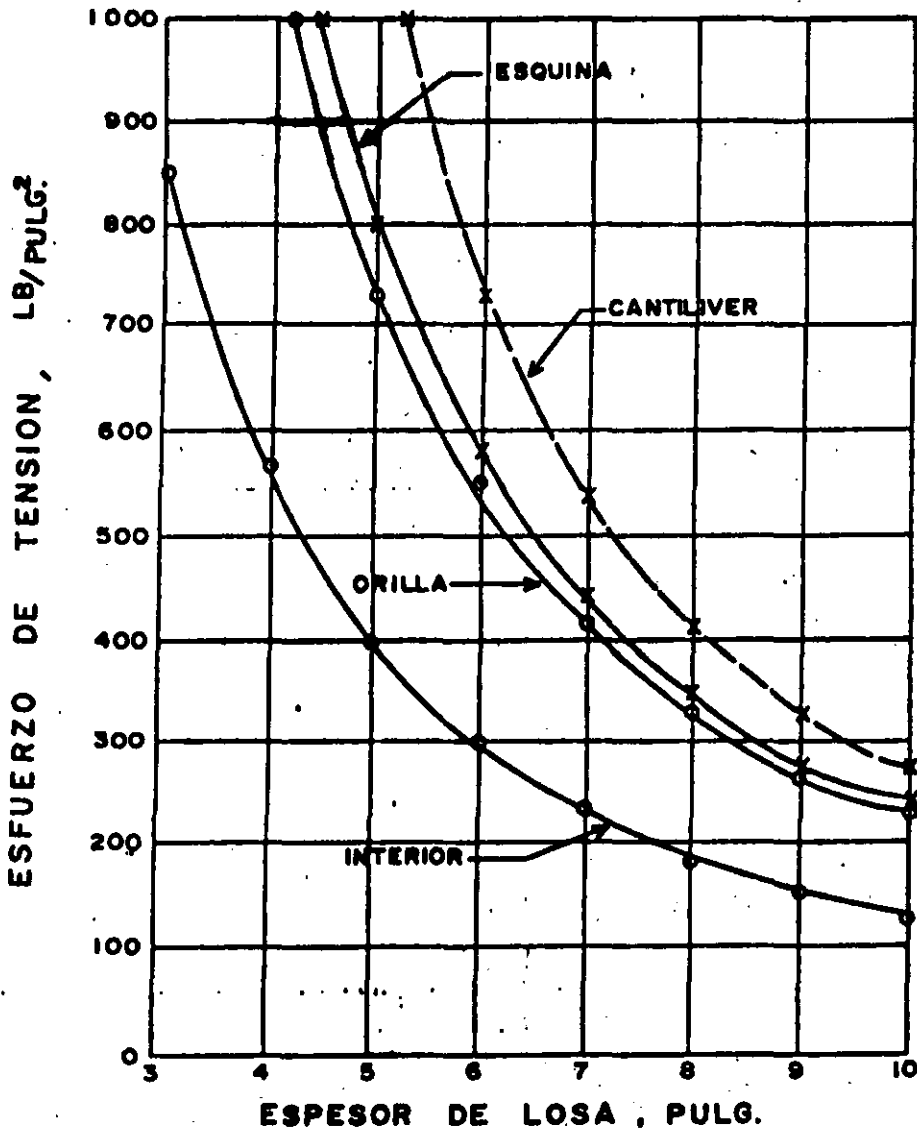
$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{2\sqrt{2}}{L} \right)^{0.6} \right]$$

$$b = \sqrt{1.2a^2 + h^2} - 0.675h$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}}$$

(21)

ESFUERZOS DE TENSION PRODUCIDOS
POR CARGAS



P = 8960 lb.

K = 200 lb/pulg³.

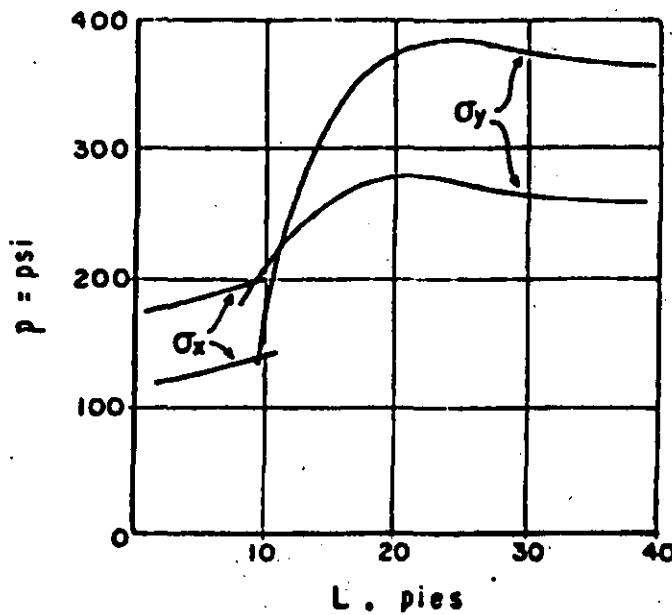
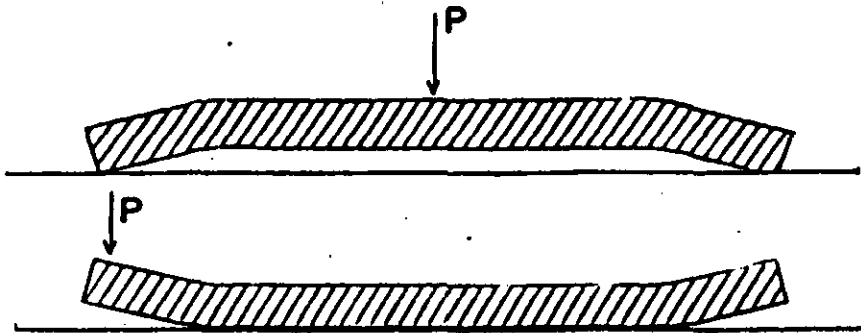
E = 5 x 10⁶ lb/pulg².

μ = 0.24

presión inflado = 105 lb/pulg².

ESFUERZOS POR ALABEO

(123)



$$\sigma = \frac{E \epsilon_t \Delta t}{2} \left(\frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right)$$

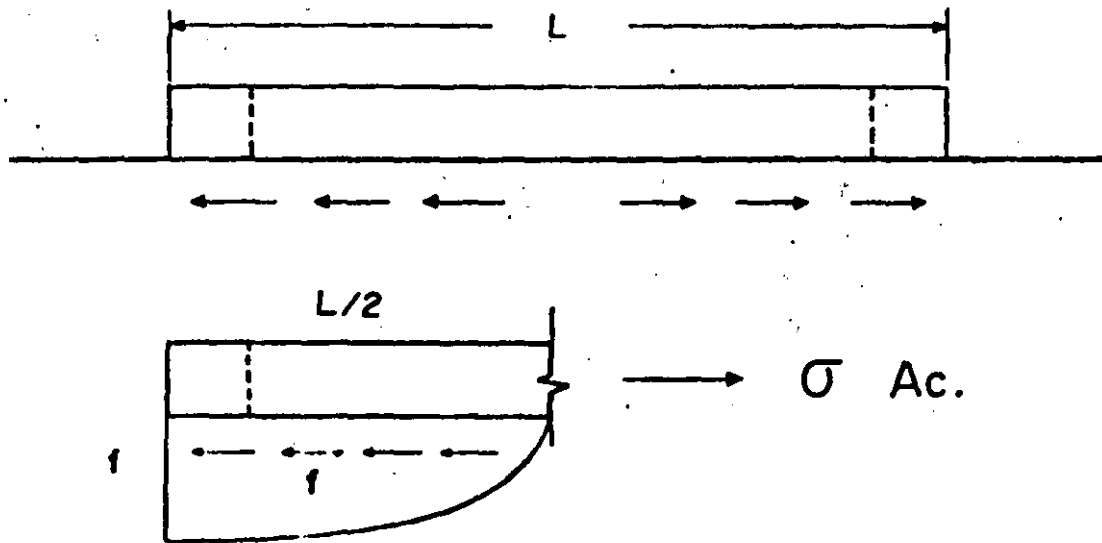
ϵ_t = Coef. de dilatación.

Δt = Diferencia de temperatura

$$C_1, C_2 = f(L/2)$$

(24)

ESFUERZOS POR RESTRICCIÓN.



$$\sigma A_c = \frac{WLf}{2 \times 12}$$

$$\therefore \sigma = \frac{WLf}{24h}$$

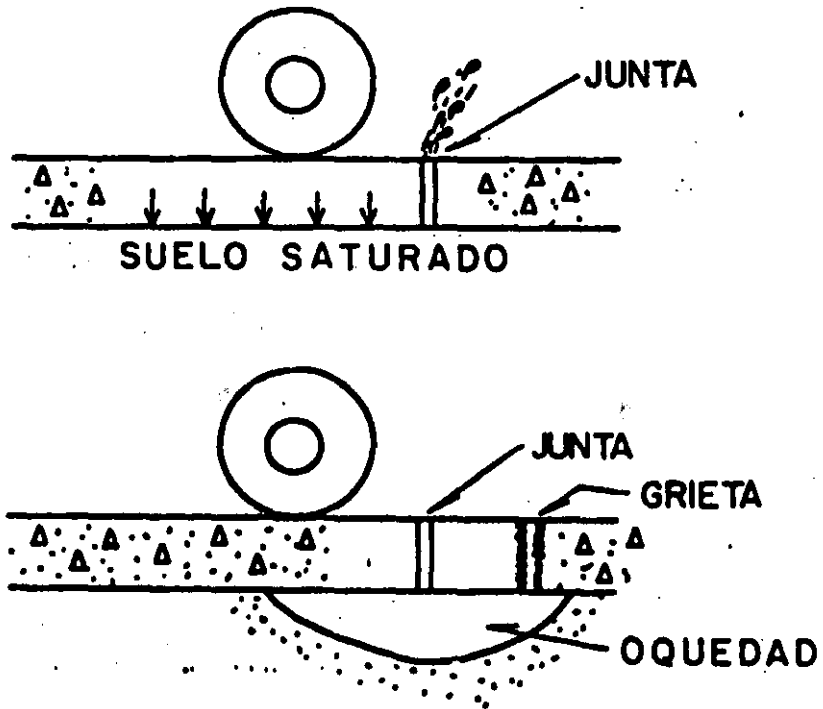
W = Peso de la losa

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 FRICCION EN LA SUBRASANTE

f_s = ESFUERZO DE TENSION DEL ACERO, psi.

WELDED WIRE FABRIC
f_y = 65,000 PSI

STEEL BAR MAT
f_y = 60,000 PSI

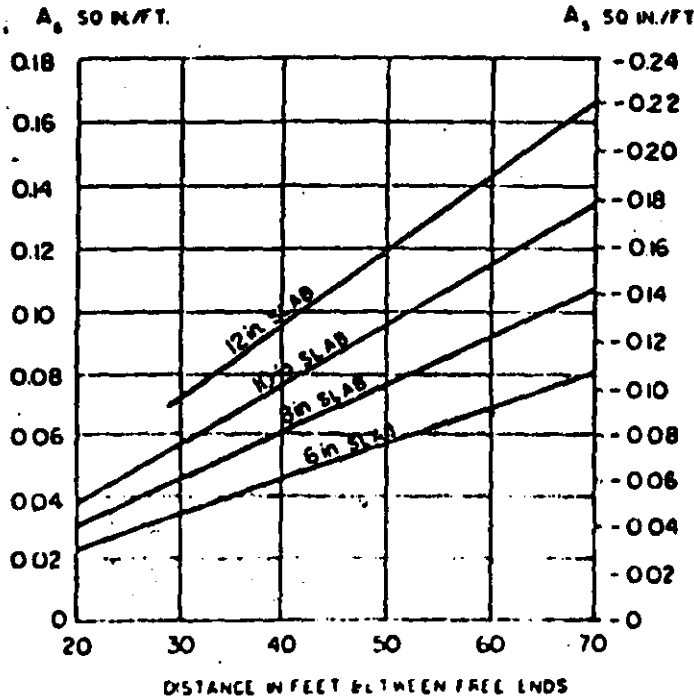


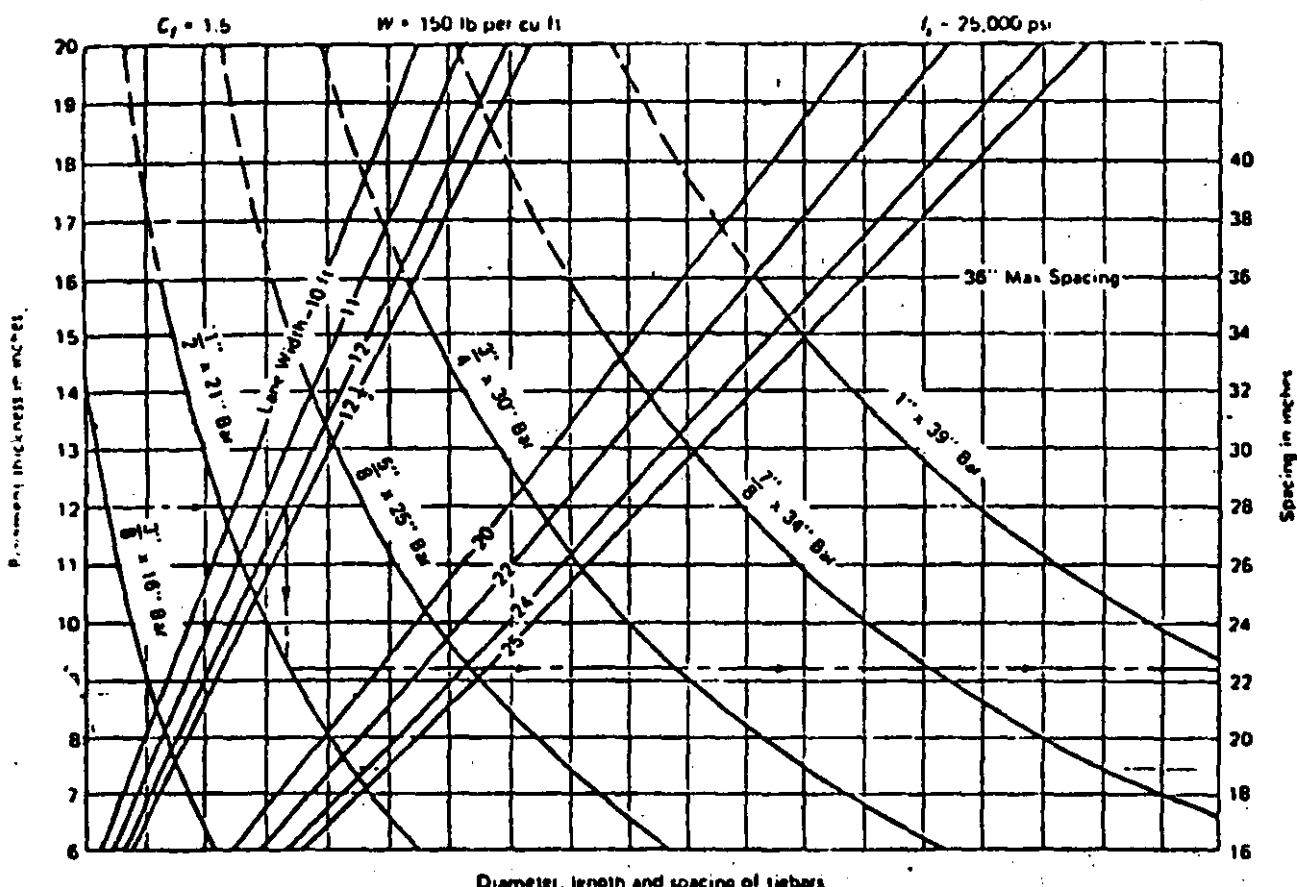
Fig. 15. Selection chart for distributed steel.

ESPACIAMIENTO DE JUNTAS DE CONTRACCION PARA
PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE, NO REFORZADO.

(128)

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



Diameter, length and spacing of tiebars
 Fig. 22-22 Recommended tiebar dimensions and spacings.

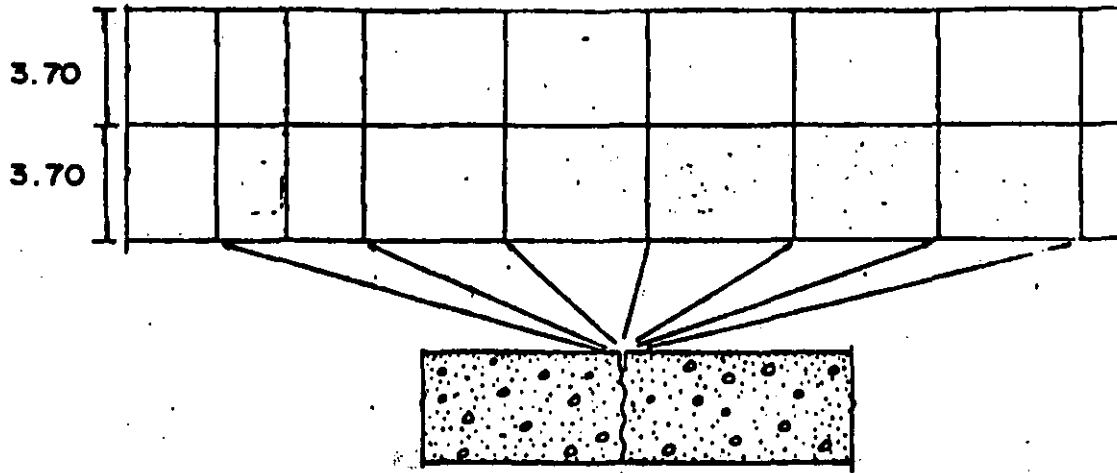
TABLE 22-9 Recommended Size and Spacing of Dowel Bars

Slab Depth, in.	Dowel Diameter, in.	Total Dowel Length*, in.	Dowel Spacing, in. c. to c.
5-6	3/8	16	12
7-8	1/2	18	12
9-11	5/8	18	12
12-16	3/4	20	15
17-20	1	22	18
21-25	1 1/4	24	18

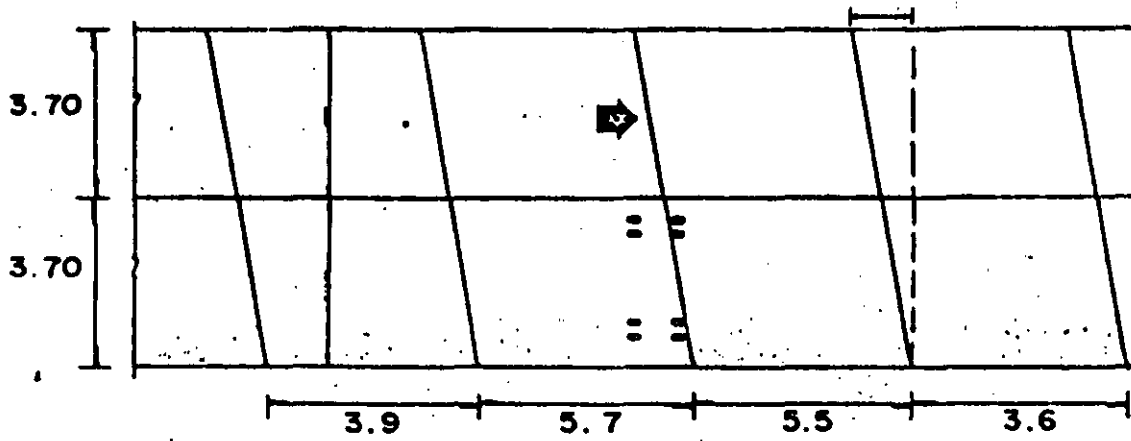
* Allowance made for joint openings and minor errors in positioning of dowels

JUNTAS DE CONTRACCION

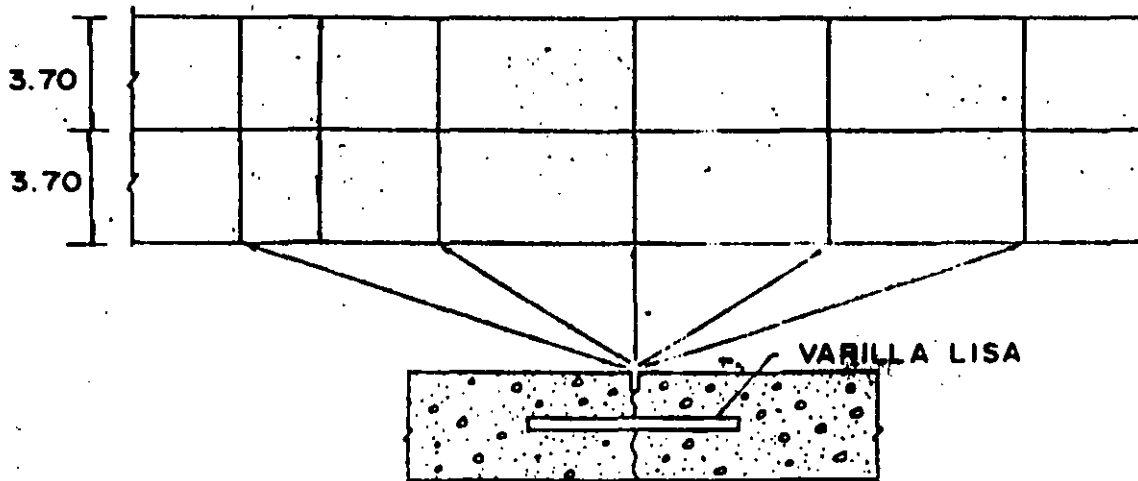
(30)



JUNTAS ESVAJADAS



JUNTAS CON PASAJUNTA LISO

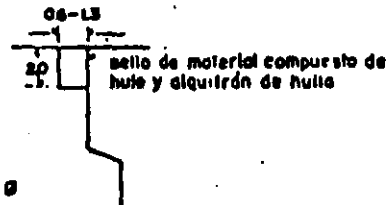
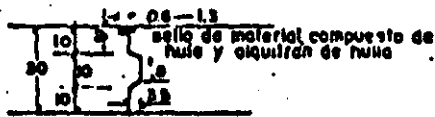


B

(13)

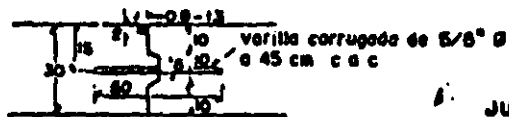
JUNTAS LONGITUDINALES

TIPO A



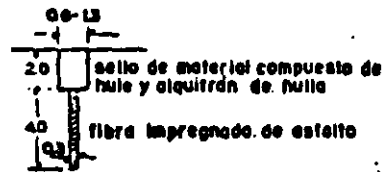
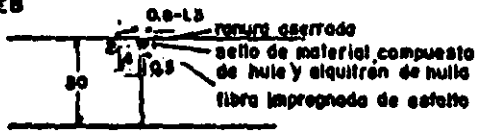
DETALLE DE LA JUNTA LONGITUDINAL

TIPO B



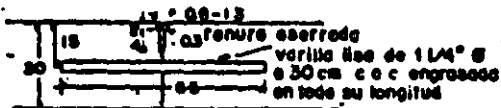
JUNTAS TRANSVERSALES

TIPO C



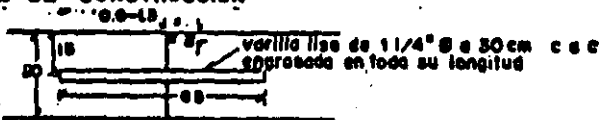
DETALLE DE LA JUNTA TRANSVERSAL

TIPO D



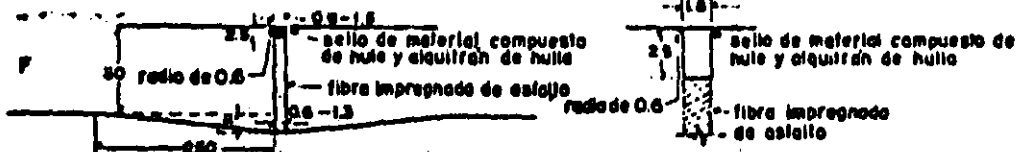
JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION

TIPO E



JUNTA DE EXPANSION

TIPO F



DETALLE DE LA 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.- Coeficiente de fricción.

≥ 0.35

12.6.- Índice de Perfil

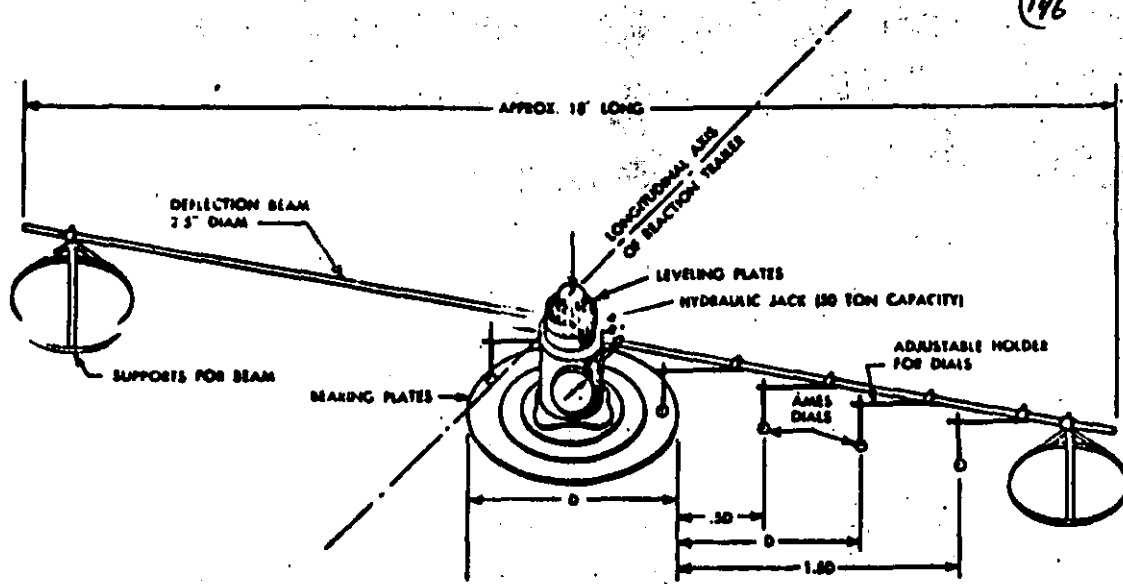
$\leq 20 \text{ pulg/mi}$
11

12.7.- Desviación máxima medida en perfilograma

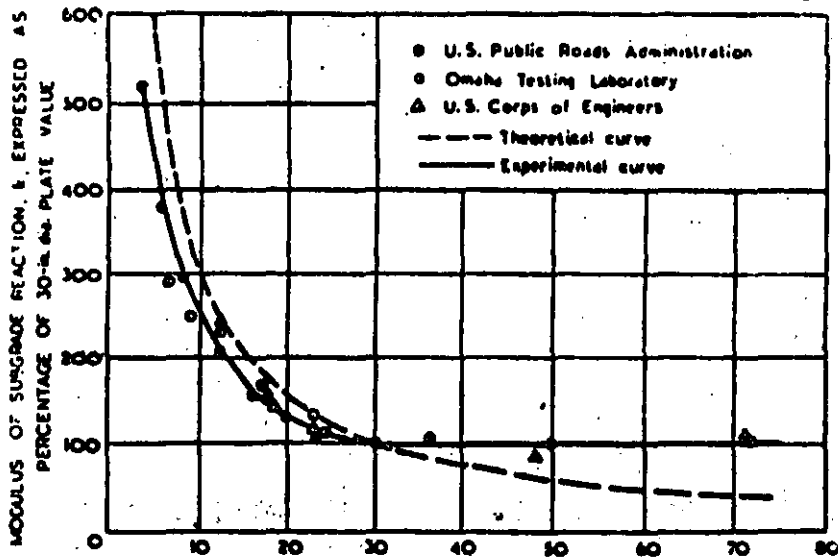
0.3 pulgada

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

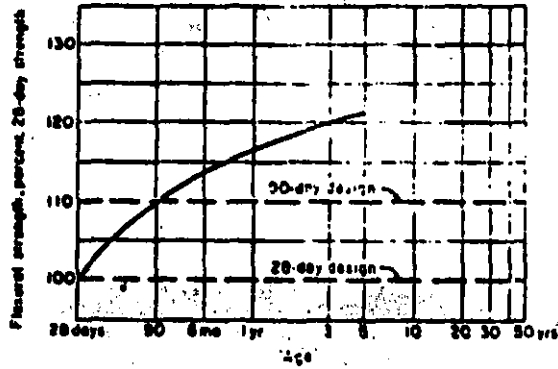
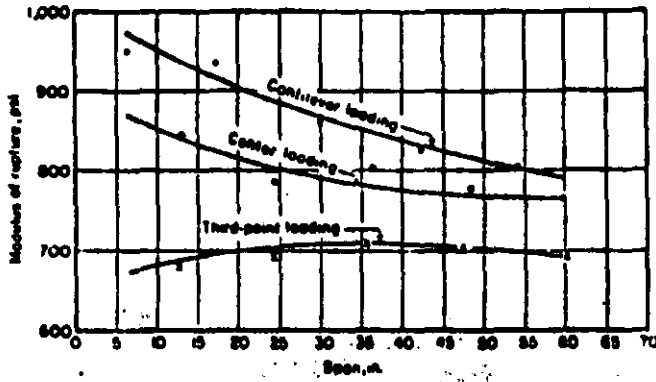


PRUEBA DE PLACA



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)

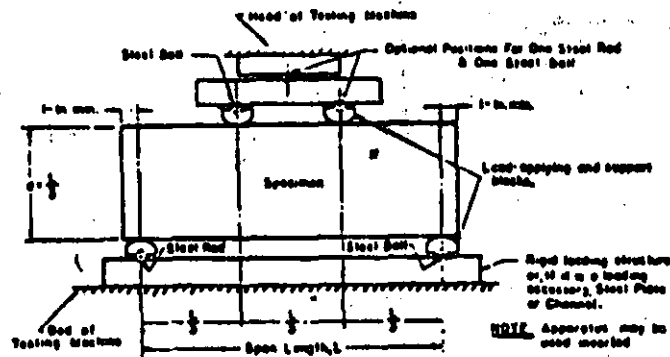


FIG. 1.—Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method.

150

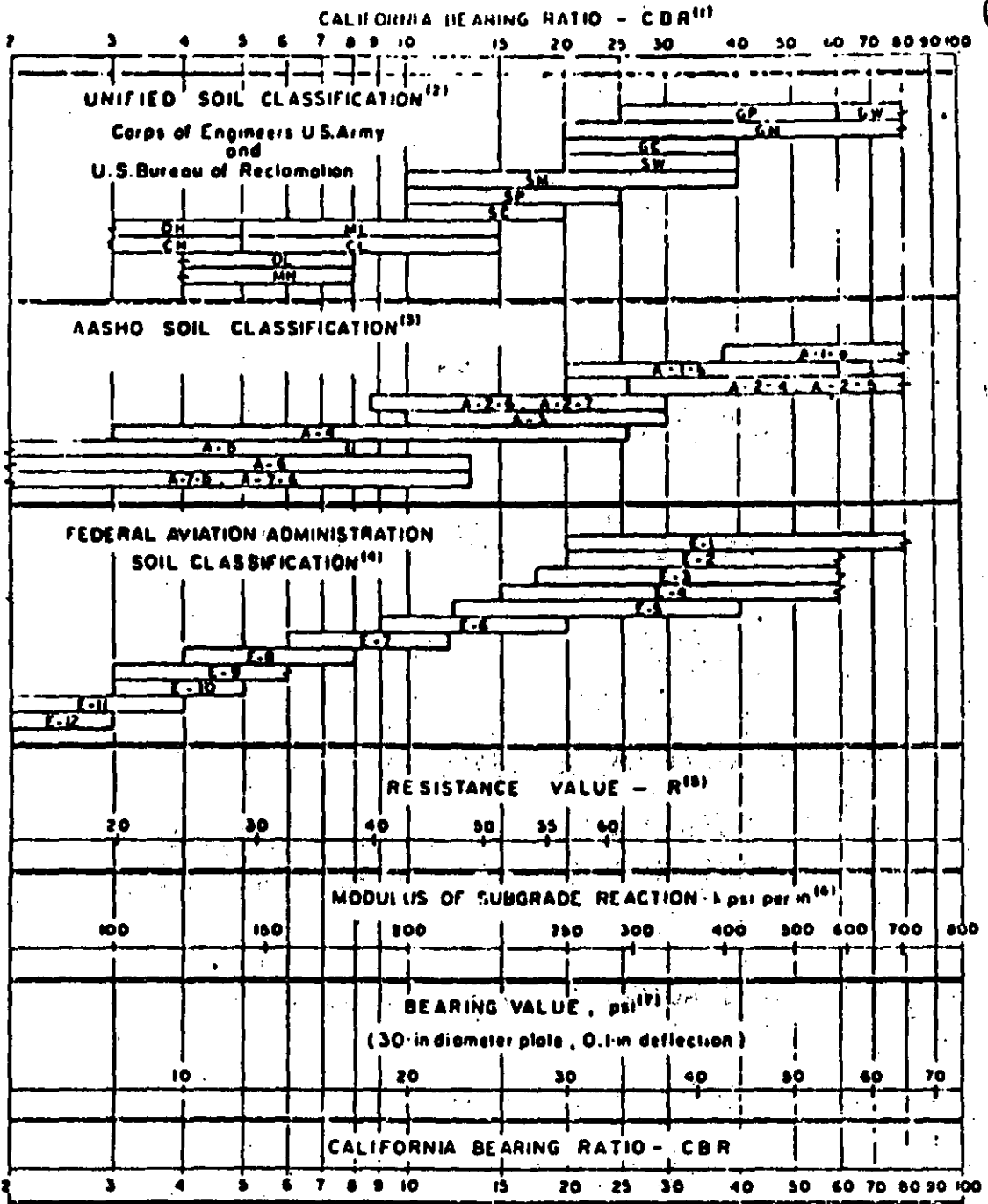


Fig. 22-1 Soil classification, resistance value, A-value, and bearing value vs. California bearing ratio.

(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) Hvem, F. N., "A New Approach for Pavement Design," *Engineering News Record*, 141(7), 134-139, July 8, 1948. R is factor used in California Statistometer Method of Design.

(6) See Middlebrooks, T. A., and Bettiam, G. E., "Soil Tests for Design of Runway Pavements," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting*, 22, 152, 1942. A 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

$$MR_D = MR_{28} \left(1 - \frac{CV}{100} \right) M$$

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)

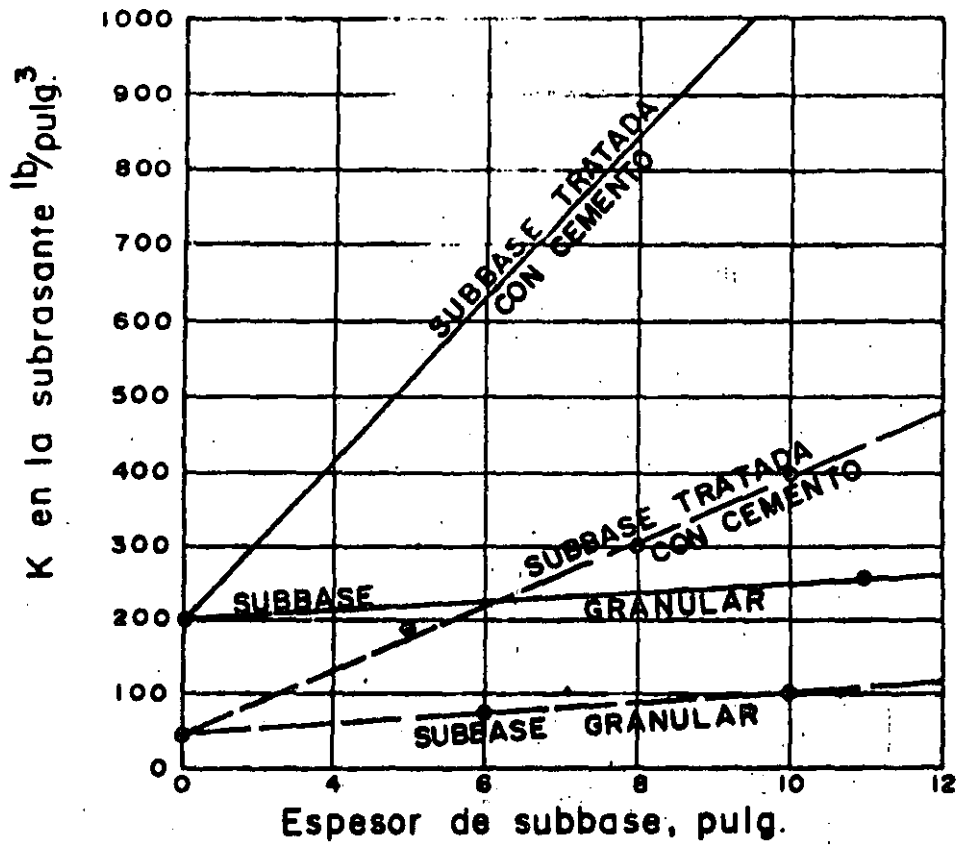
2.- MODULO DE RUPTURA

$$MRD = MR_{90} \left(1 - \frac{CV}{100} \right) M.$$

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 a	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

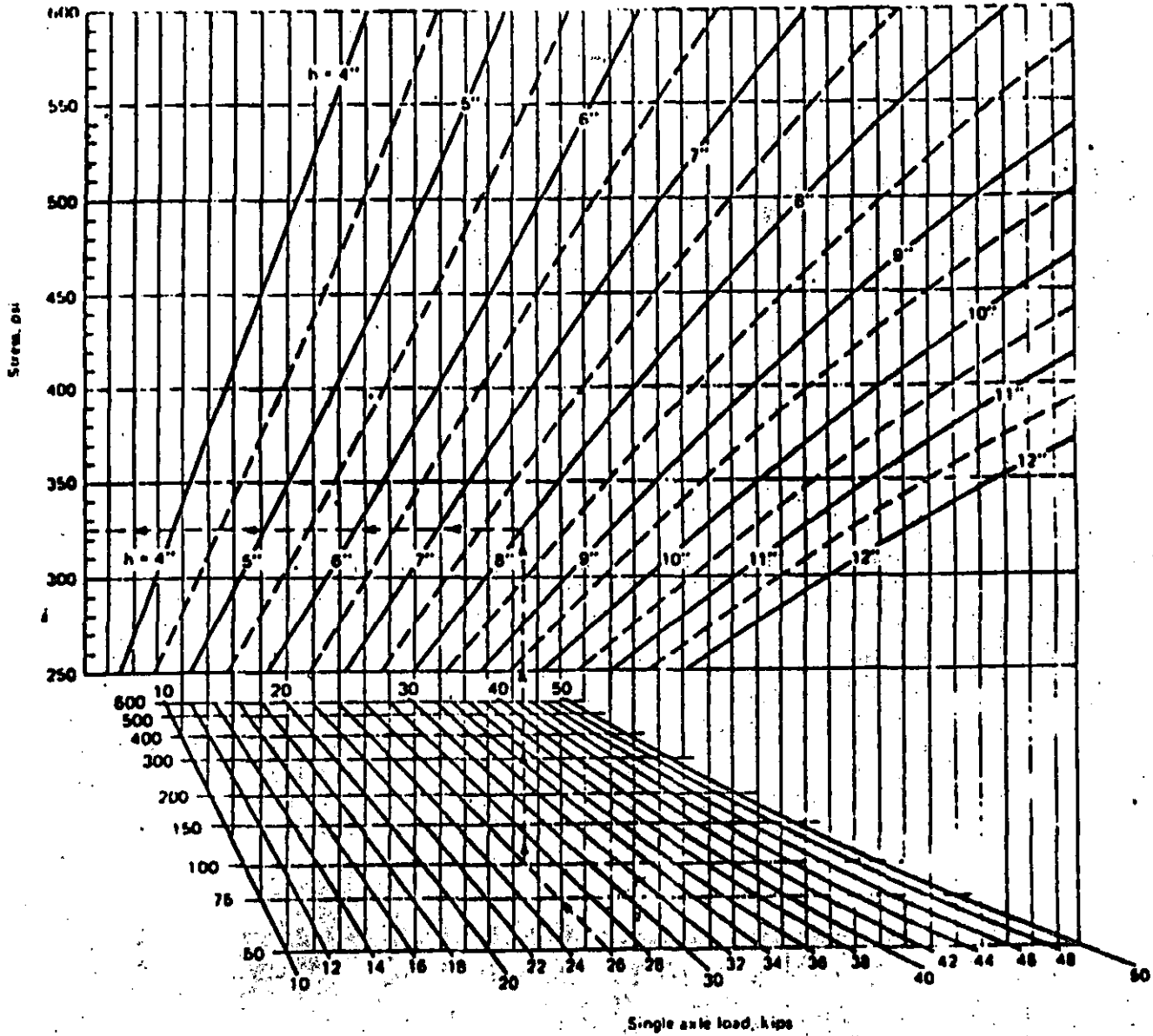


Fig. 22-2 Stress chart for single-axle loads.



CONCRETE PAVEMENT DESIGN 647

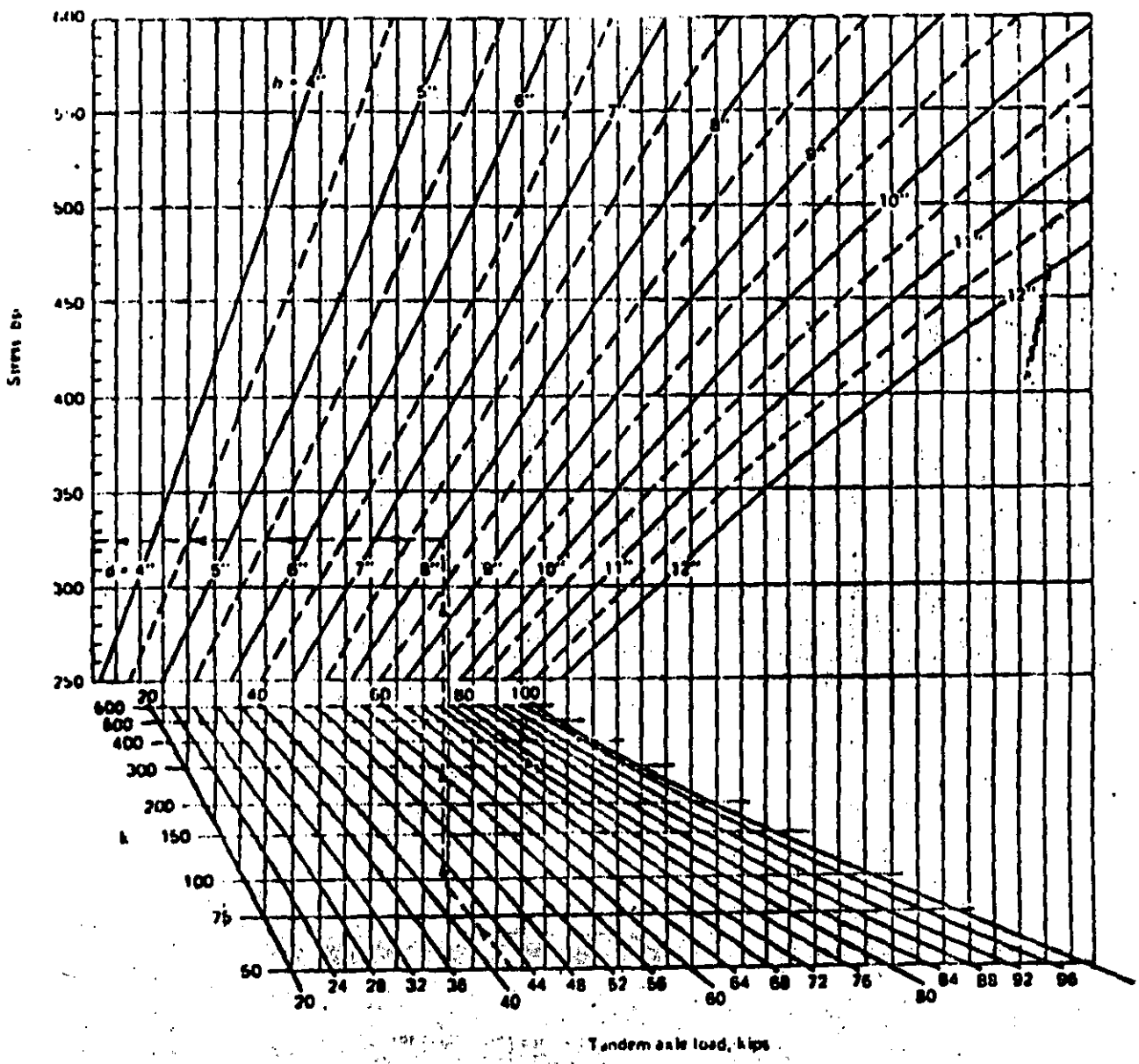


Fig. 22-3 Stress chart for tandem axle loads.

Datos:

Subrasante. $K = 100$; ;

Factor seguridad (L.S.F) = 1.2

MR = 700 psi.

Espesor de prueba = 8.5 pulg.

(169)

1	2	3	4	5	6	7
Cargas Eje	Cargas Eje	Fuerza	Relación	Repeticiones	Repeticiones	Resistencia
Tipos	Tipos	psi	Estuercos	Admisibles	Esperadas	o fatiga
					No.	Usada
						%

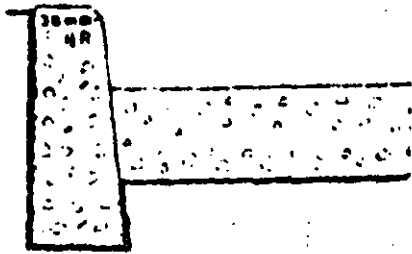
Ejes sencillos

30	36.0	367	.52	300,000	3,700	1
28	33.6	353	.51	400,000	3,700	1
26	31.2	328	<.50	ilimitado	7,400	0
24	28.8		"	"	195,000	0
22	26.4		"	"	754,000	0
		[de Fig. 22-2]		[de Table 22-4]		[Col. 6 + Col. 7 x 100]

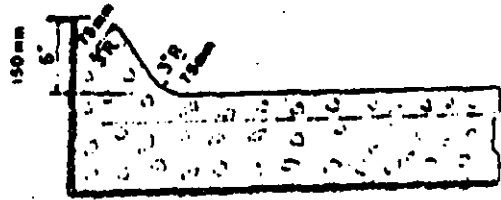
Ejes tandem

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. 7 x 100]

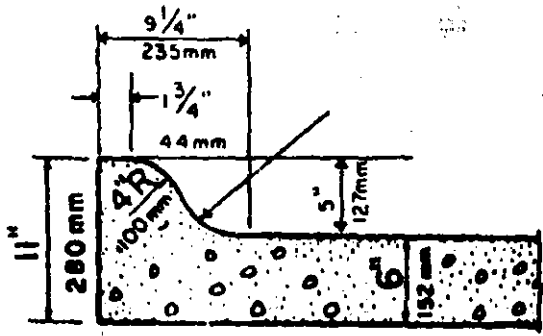
TOTAL 83



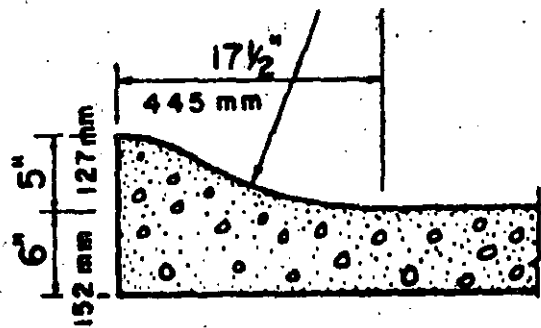
(a)



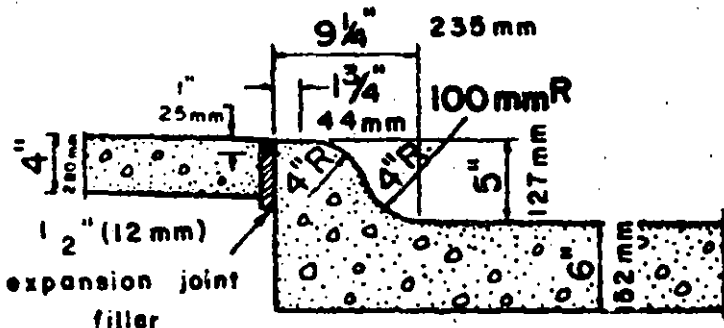
(b)



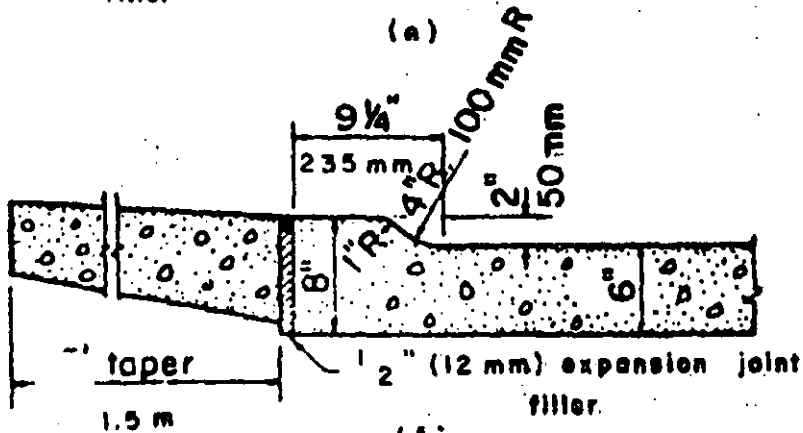
(c)



(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 TYPES^a

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 ^b	N.P.	6 max	10 max ^d		6 max ^d	6 max

^a From AASHTO 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 AASHTO Designation T 87.

^d These values apply to the mineral aggregate prior to mixing with the stabilizing agent.

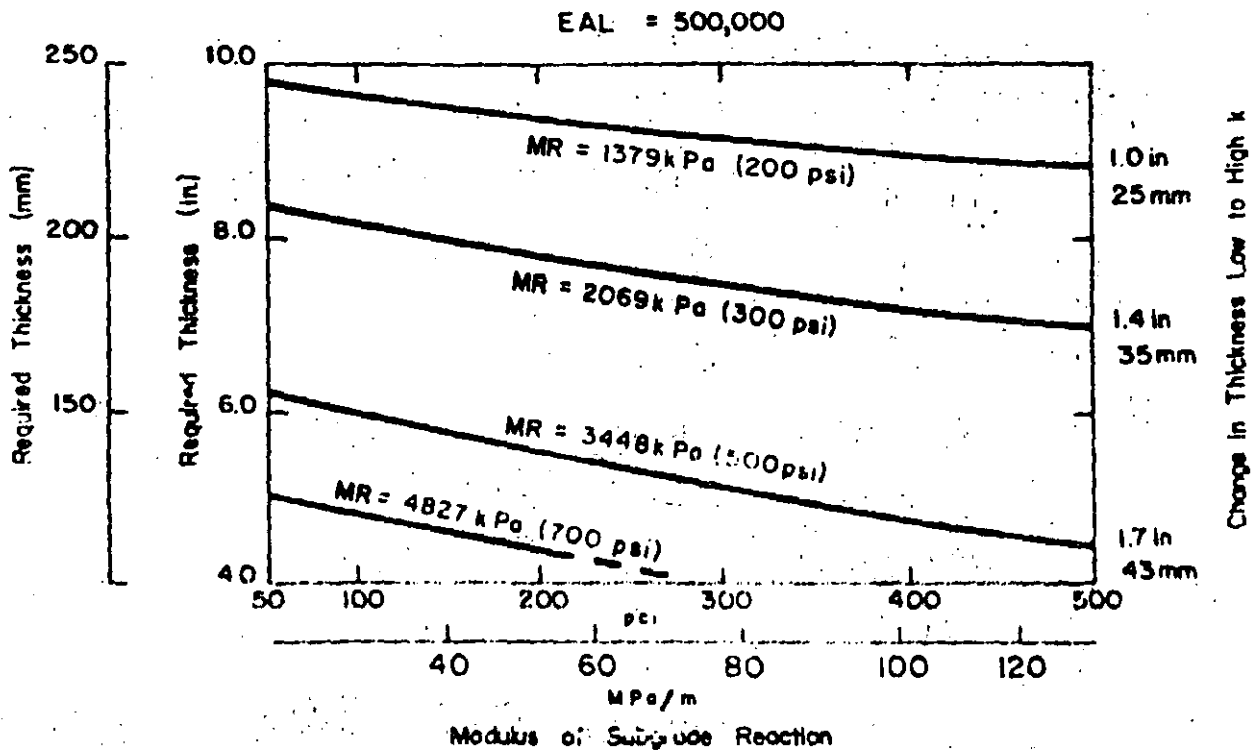
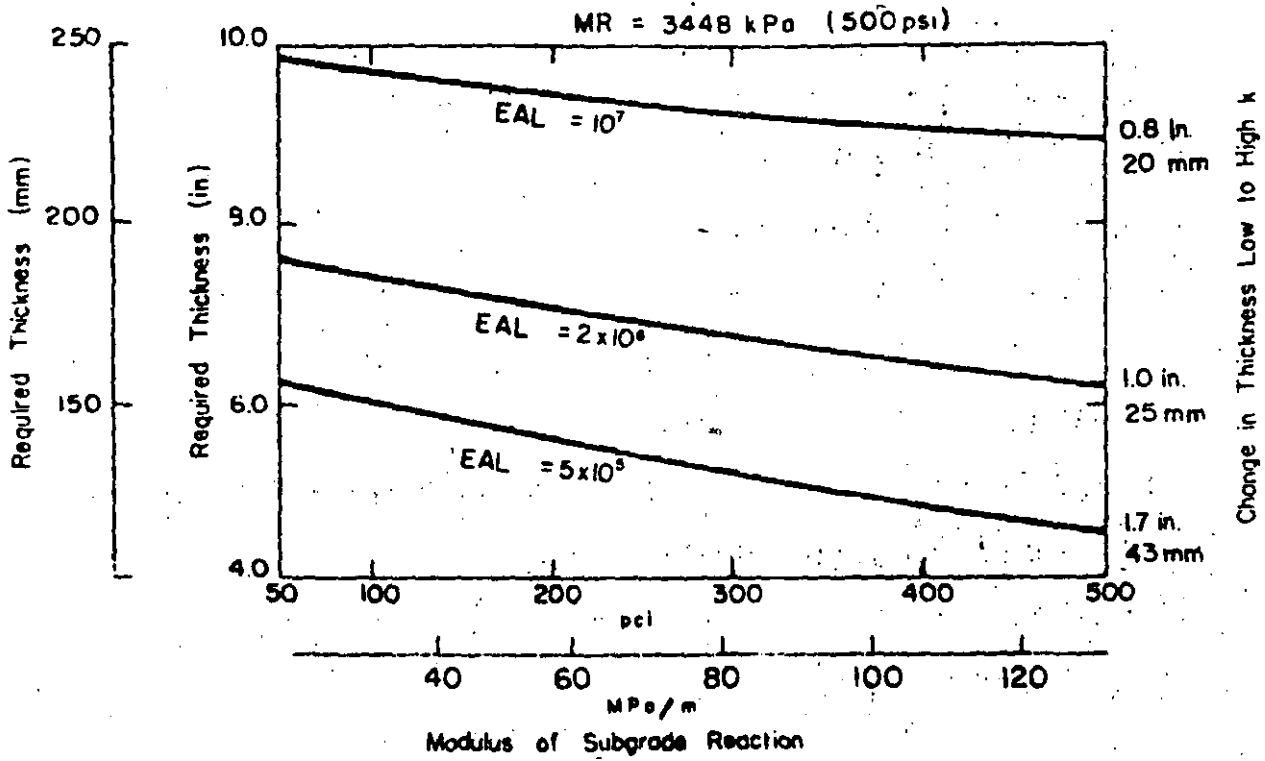


FIG. 18 EFFECT OF M.R., k AND EAL ON THICKNESS

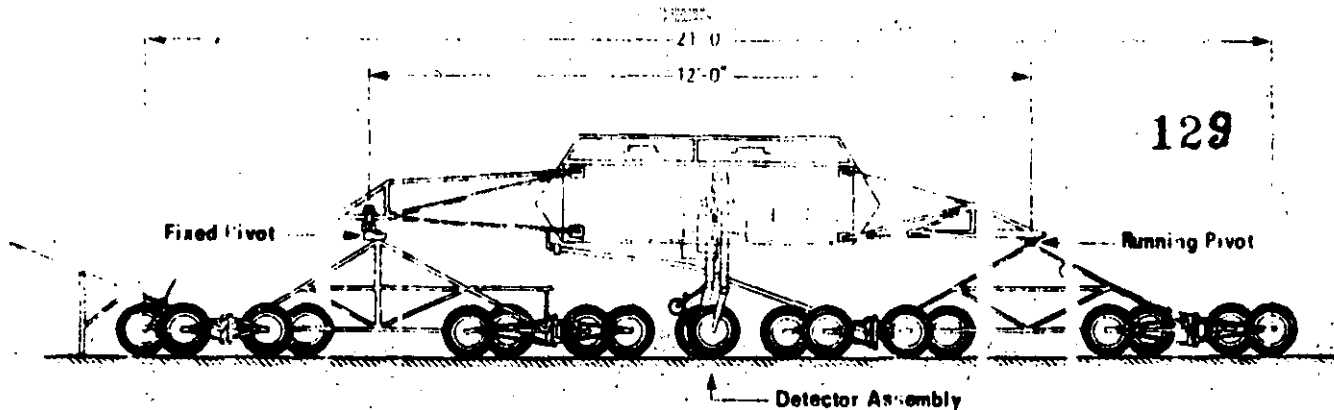
EVALUACION

MEDICION PERIODICA DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PAVIMENTO:

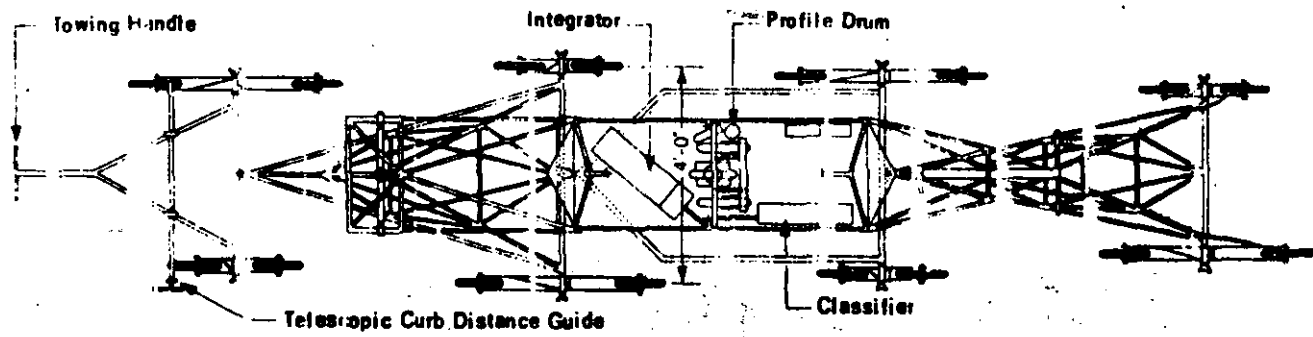
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- RUGOSIDAD
- DETERIOROS
- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

CAPTA Y TRANSMITE INFORMACION ACERCA DE LA FORMA EN QUE EL PAVIMENTO CUMPLE CON SUS FUNCIONES.

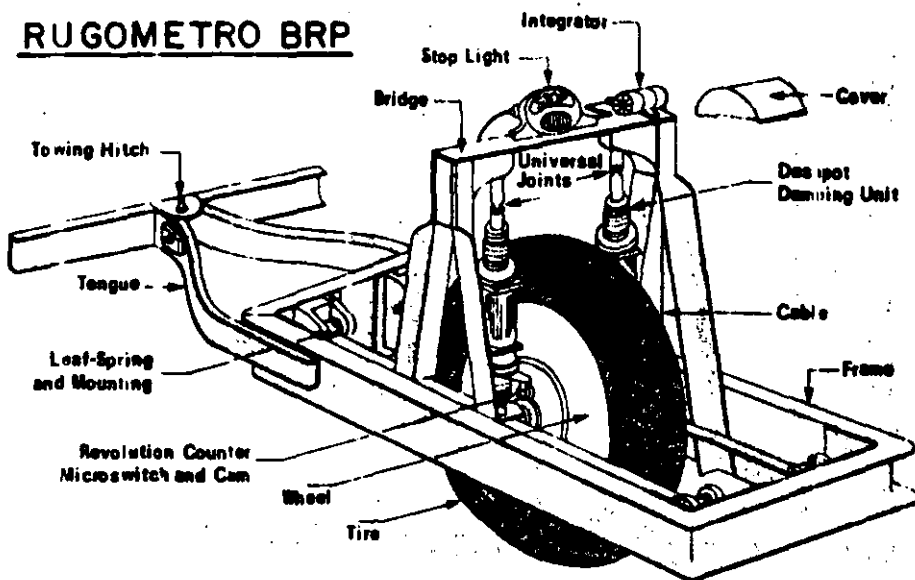
PERMITE: COMPROBAR LAS PREDICCIONES DEL PROYECTO-PROGRAMAR LOS TRABAJOS DE REHABILITACION-MEJORAR LOS MODE--
LOS DE DISEÑO-MEJORAR TECNICAS DE CONSTRUCCION Y
DE MANTENIMIENTO, PRONOSTICAR LA VIDA UTIL DEL PA
VIMENTO.



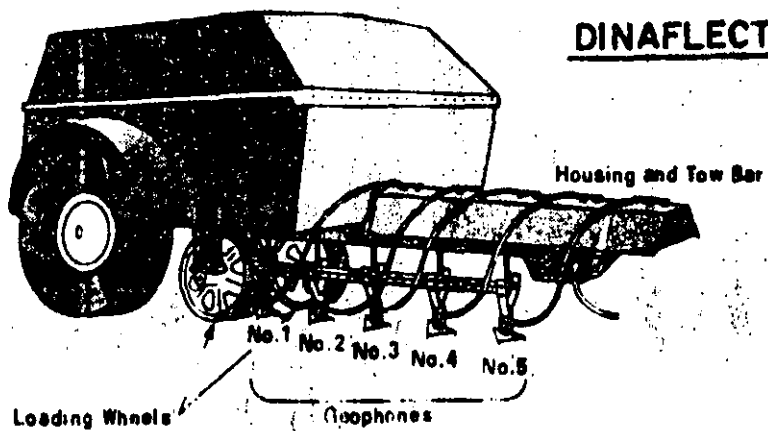
PERFILOGRAFO RRL

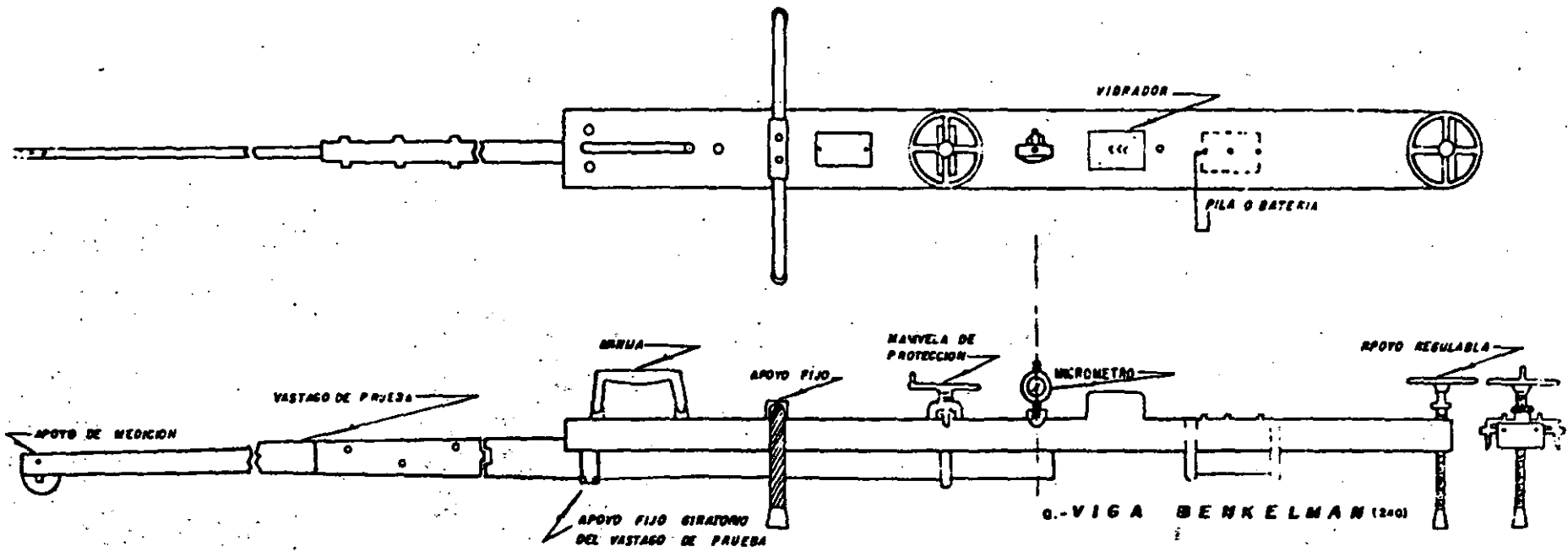


RUGOMETRO BRP

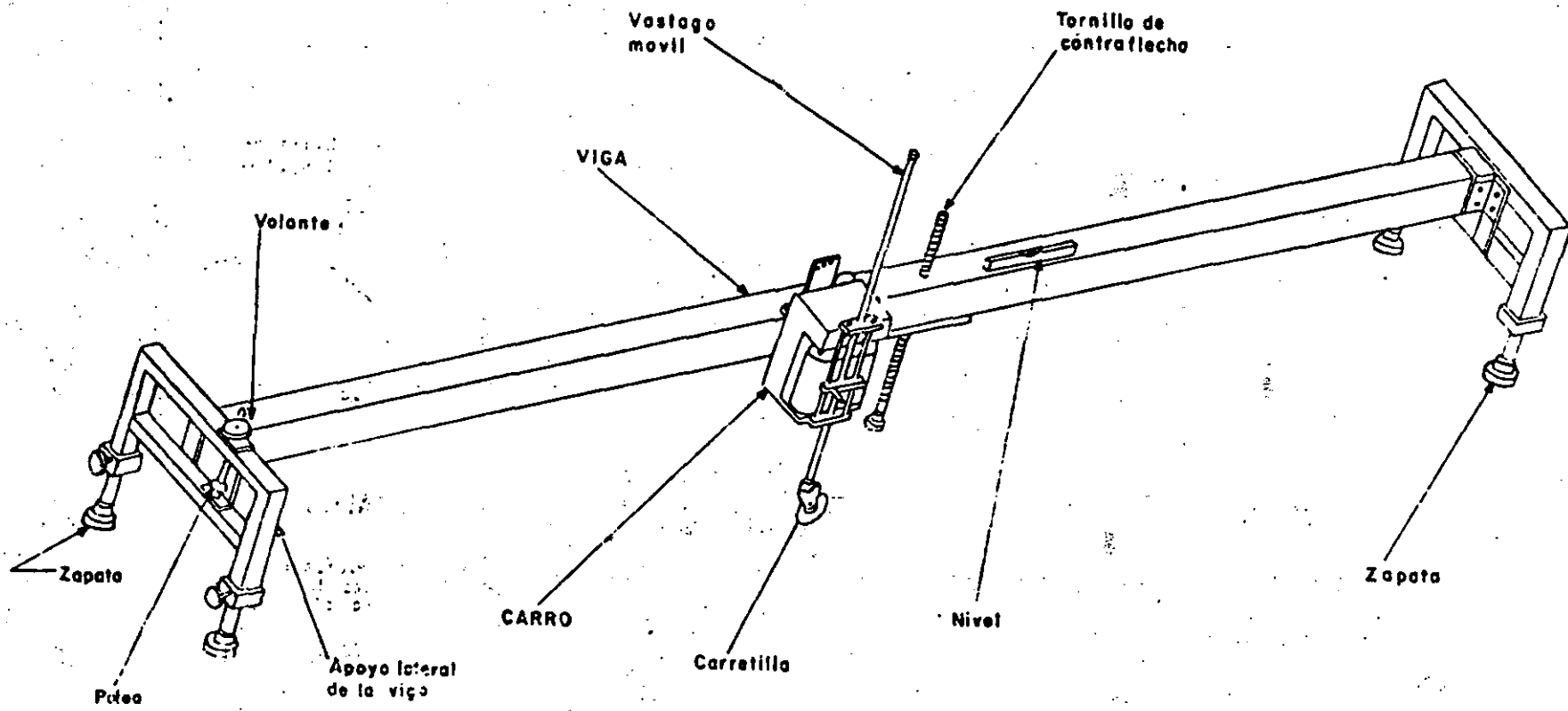


DINAFLECT



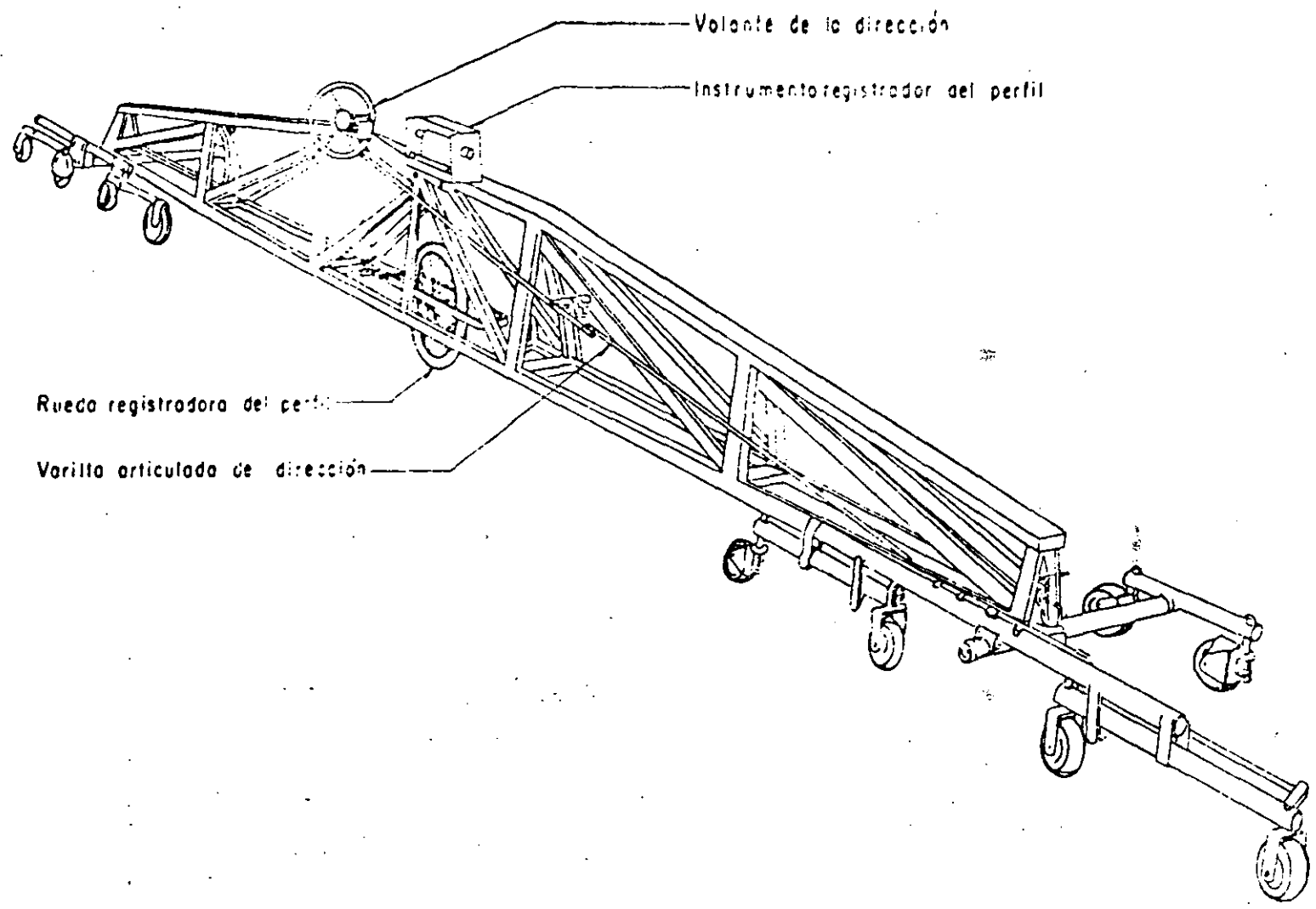


PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO CENTRAL DE PARIS ⁽²¹²⁾



131

FIGURA Nº 21



PERFILOGRAFO LONGITUDINAL TIPO HVEEM (400)

FIGURA N° 19

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>

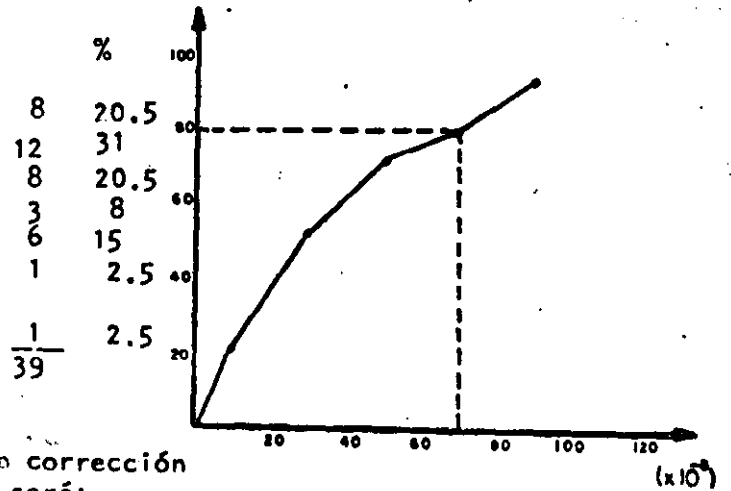
METODOS PARA VALUAR EL ESPESOR
REQUERIDO DE SOBRECARPETA

- 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.

(26)

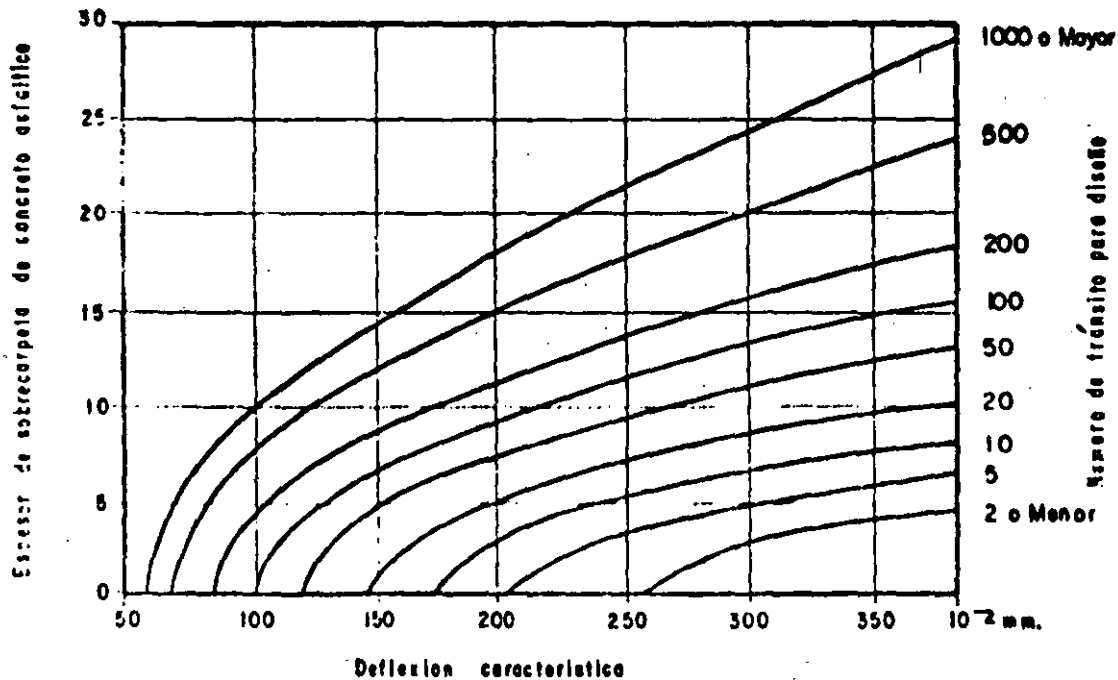
DEFLEXIONES.		F
0.040	0.060	1 - 20
0.044	0.040	21 - 40
0.020	0.024	41 - 60
0.088	0.036	61 - 80
0.088	0.032	81 - 100
0.084	0.024	101 - 120
0.072	0.000	121 - 140
0.012	0.016	141 - 160
0.036	0.028	
0.024	0.056	
0.020	0.016	
0.056	0.028	
0.076	0.024	
0.084	0.016	
0.120	0.016	
0.100	0.032	
0.158	0.048	
0.100	0.047	
0.080		
0.044	N=39	
0.044		



De la fig. 25 la corrección por temperatura será:
 espesor de la carpeta $h = 11\text{cms.}$
 temperatura 26°C.
 $f_c = 0.8$
 $P_{80c} = 0.8 \times 0.7 = 0.56$

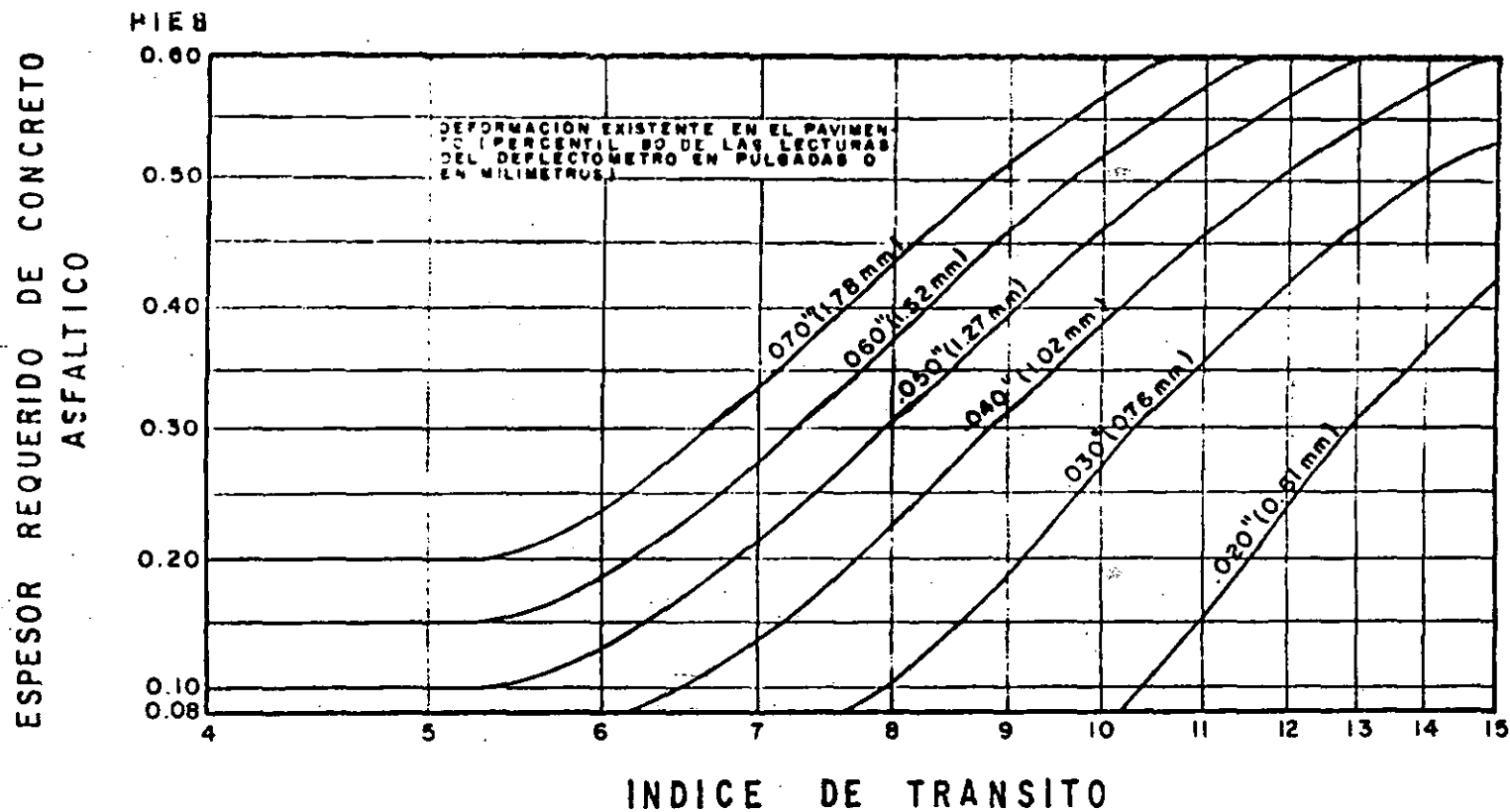
Peo = 0.70

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. (1971)

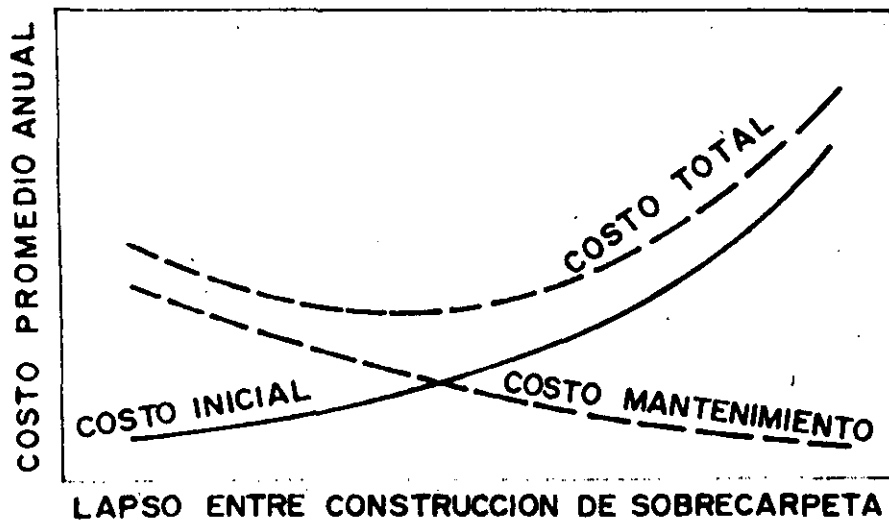
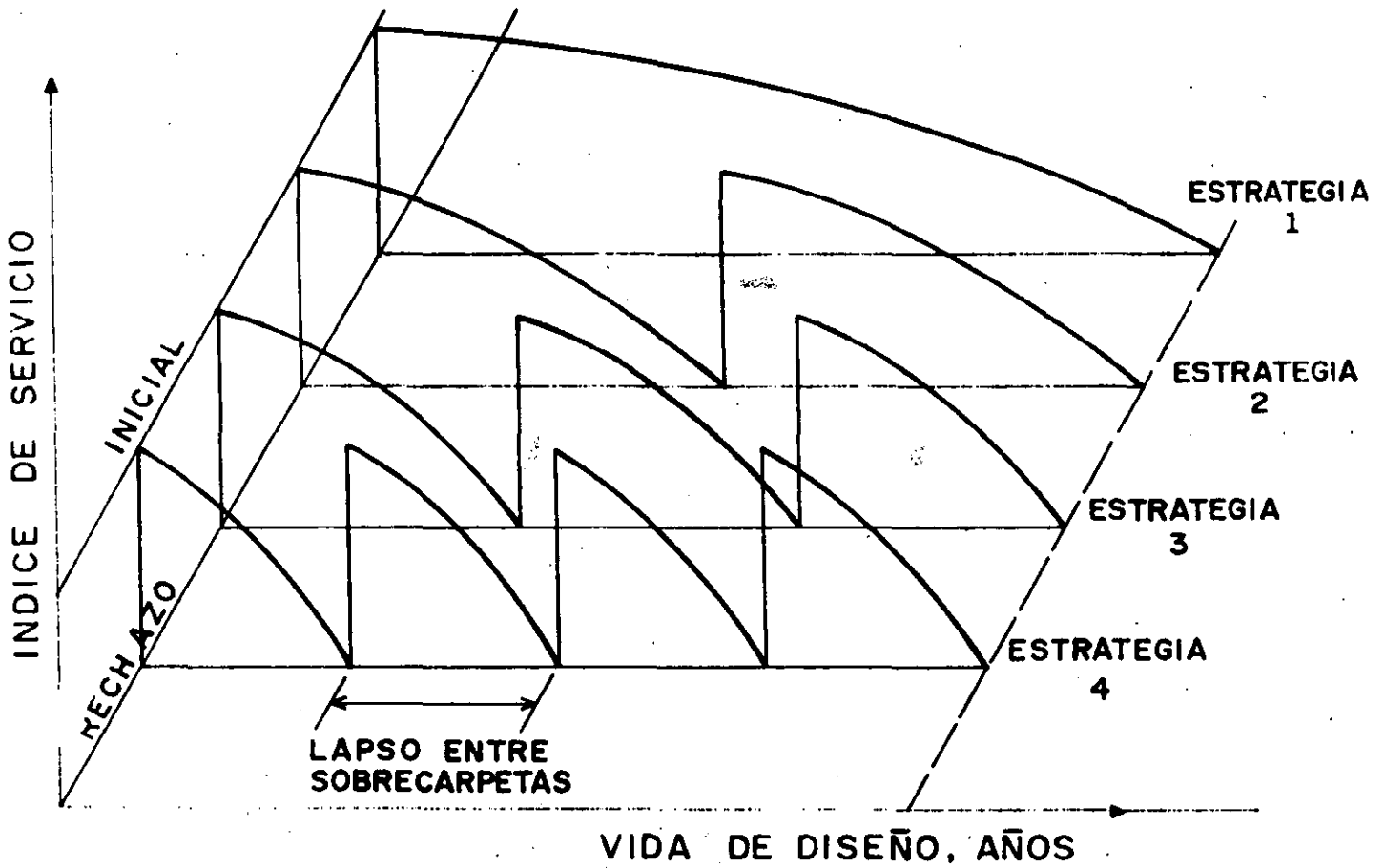
GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA SOBRECARPETA DE CONCRETO ASFALTICO, A PARTIR DE LA DEFLECCION MEDIDA EN EL PAVIMENTO. (CALIFORNIA)

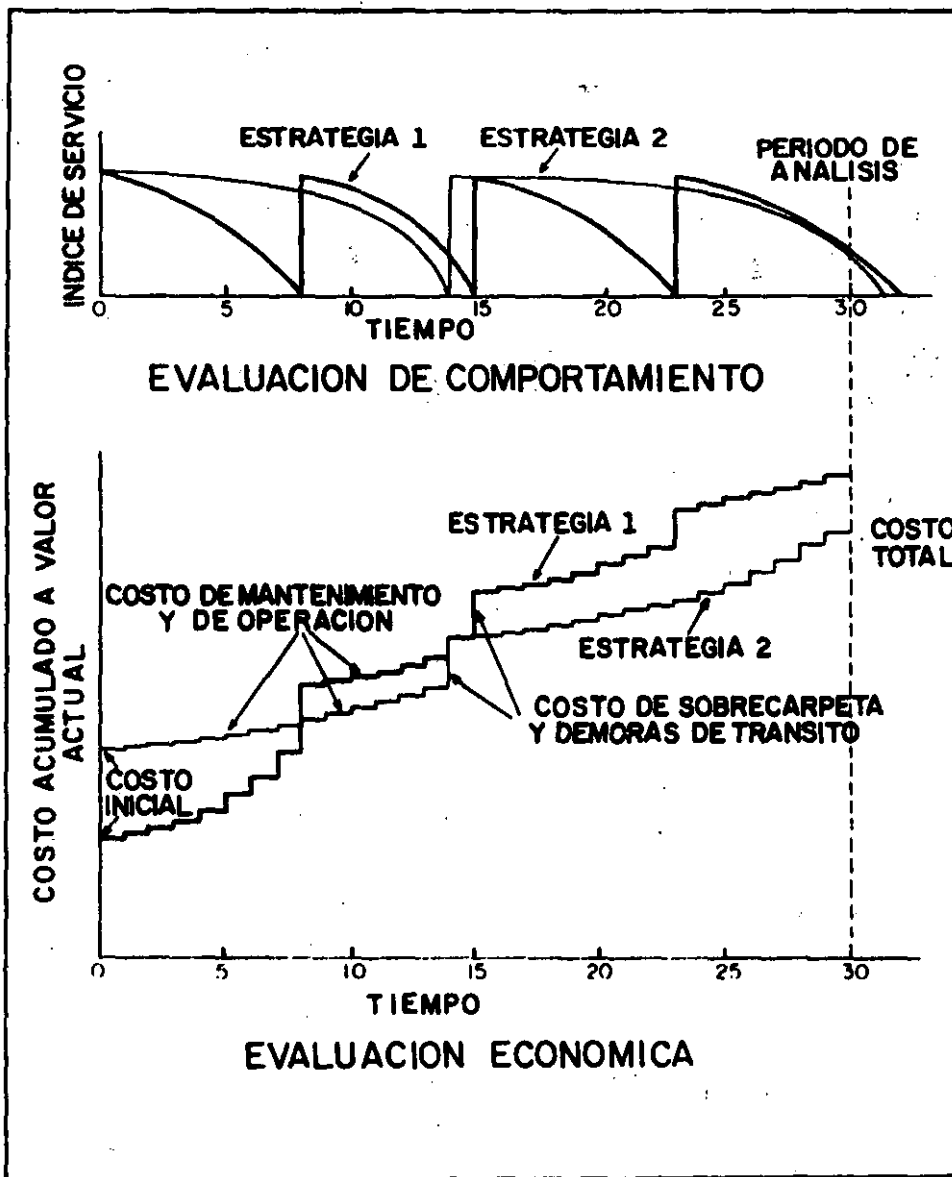


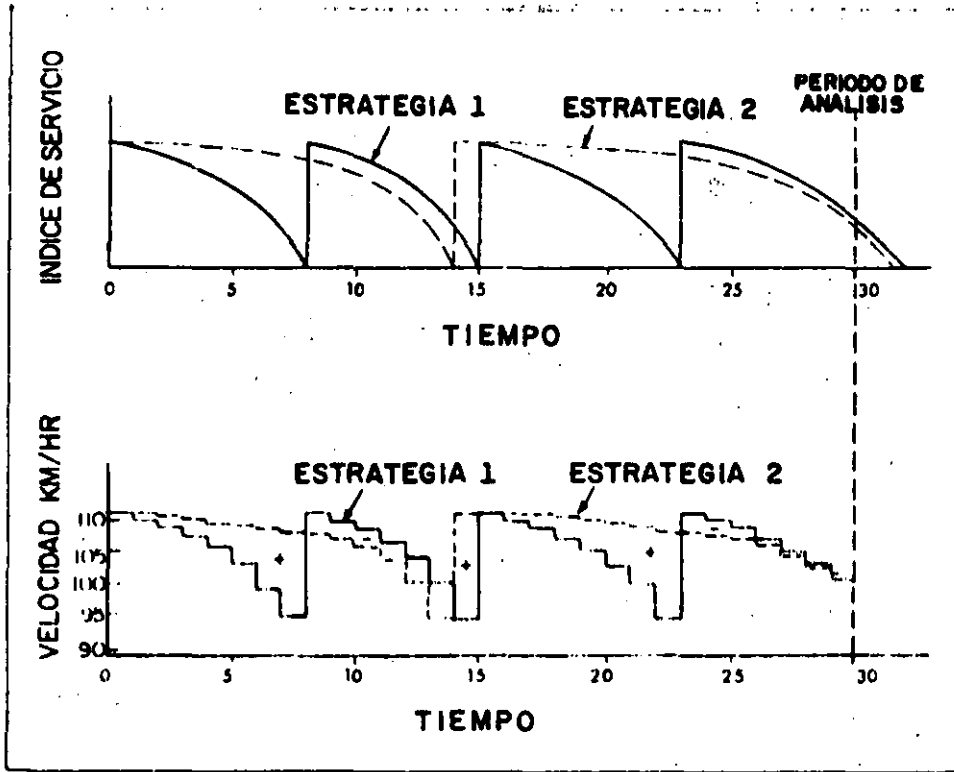
CLASIFICACION.	DESCRIPCION DEL MATERIAL.	FACTORES DE CONVERSION.
I	Terreno natural en todos los casos	0.0
II	a).- Subrasantes construidas con materiales granulares, con algo de limo o arcilla e $IP \leq 10$ b).- Subrasante de suelos muy plásticos con $IP > 10$; estabilizadas con cal.	0.0-0.2
III	a).- Bases o subbases granulares bien graduadas con $CBR \geq 20$, el límite 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 ($CBR \geq 80$). 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, límite 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

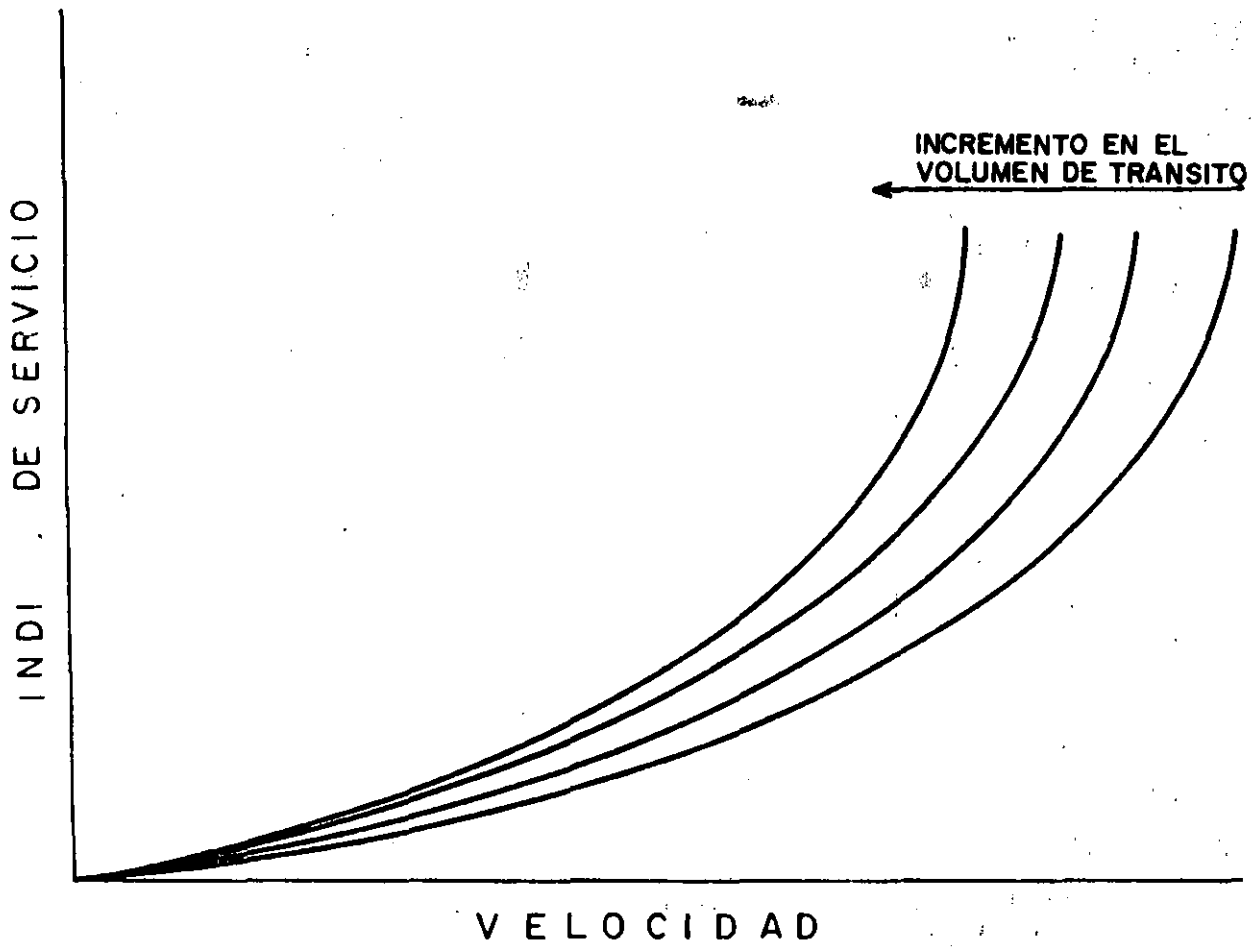
TABLA 6.

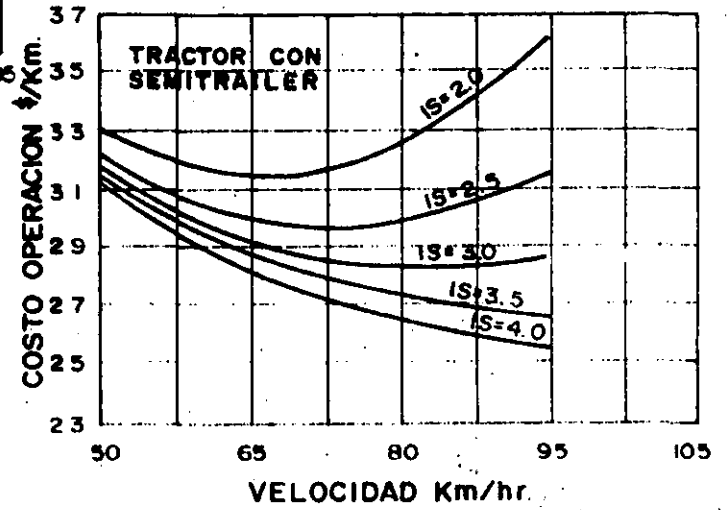
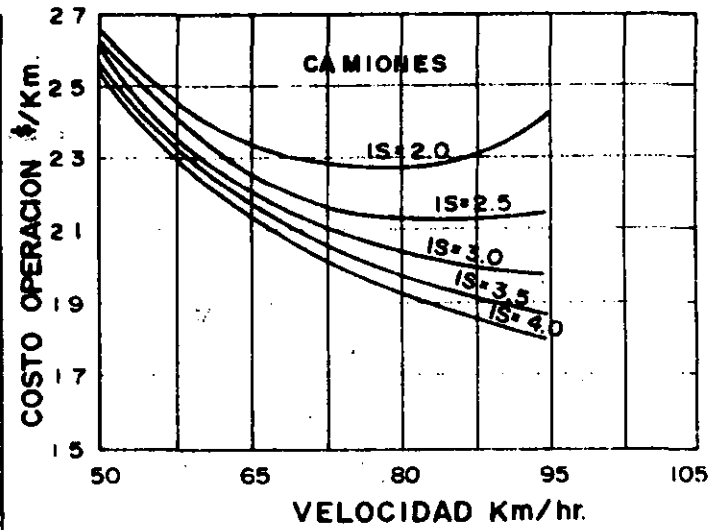
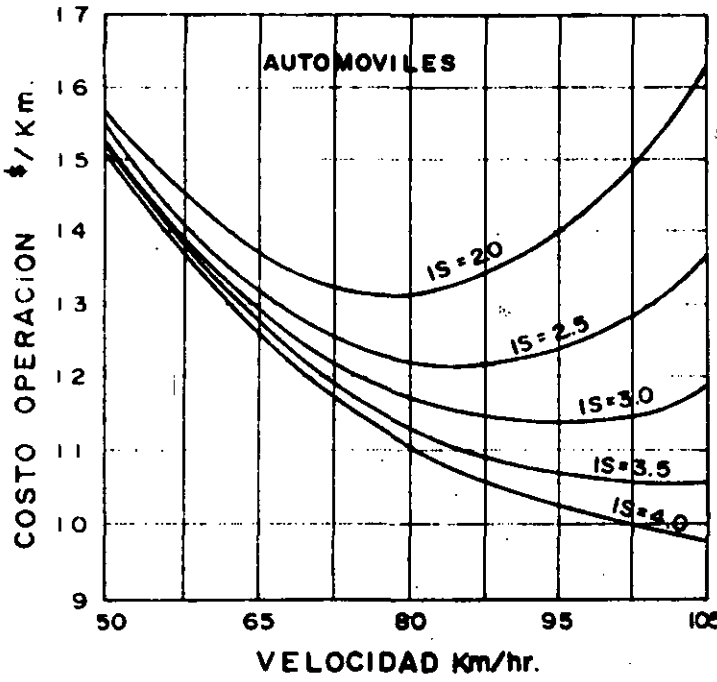
ANALISIS DE ESTRATEGIAS

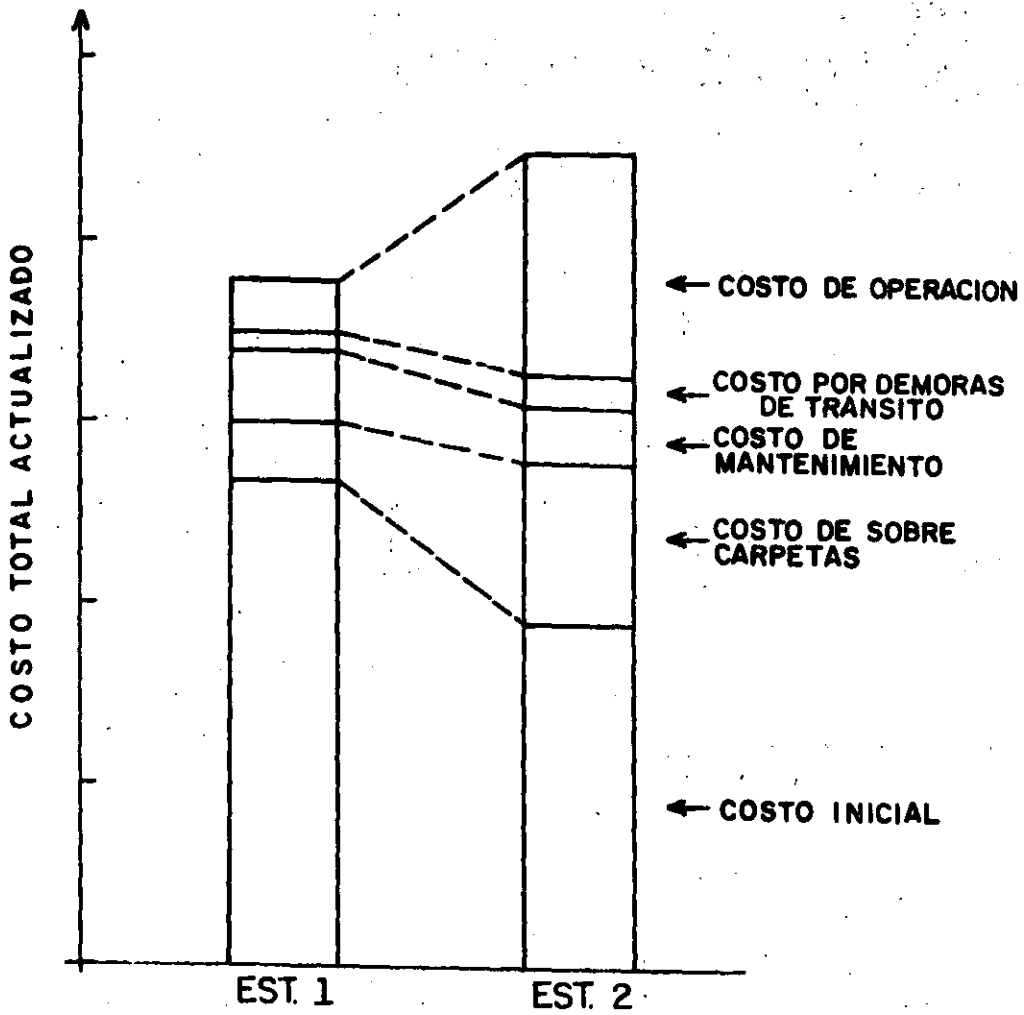
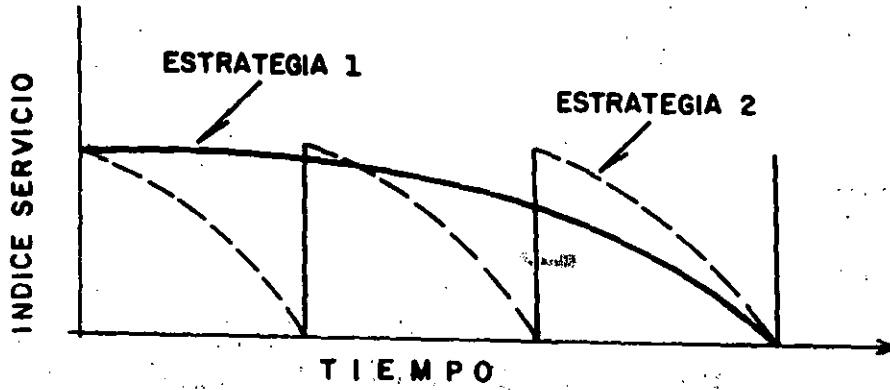














**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

PISOS INDUSTRIALES

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

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

EFFECTO DE DUCTOS EMBEBIDOS

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

COLORACION

ORNAMENTACION

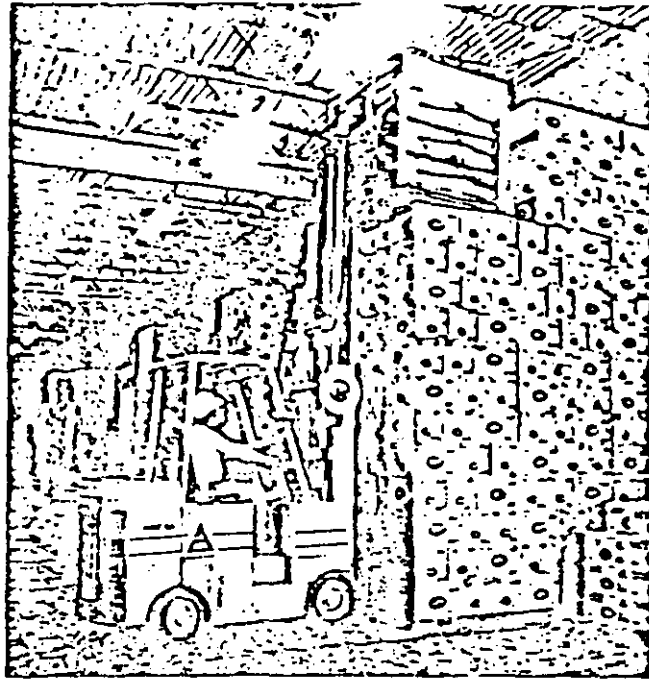


Fig. 3. Traffic and load data are needed for design of industrial concrete floors on ground.

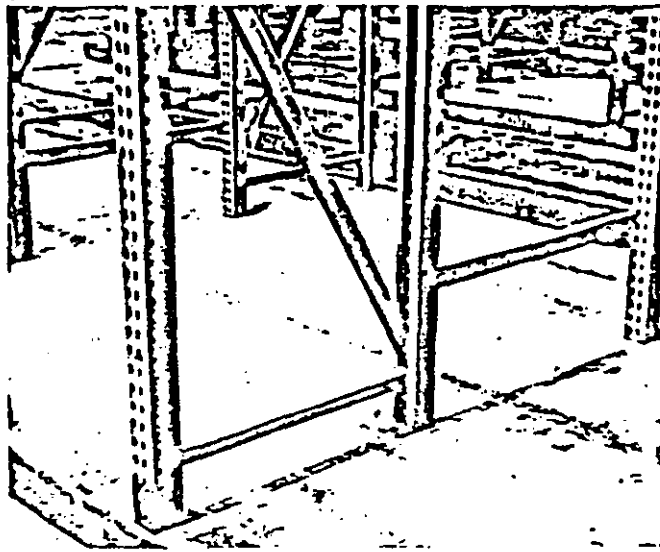


Fig. 5. Loaded legs supporting high-rack storage must have base plates of adequate size to prevent bearing or shear failure in the slab.

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

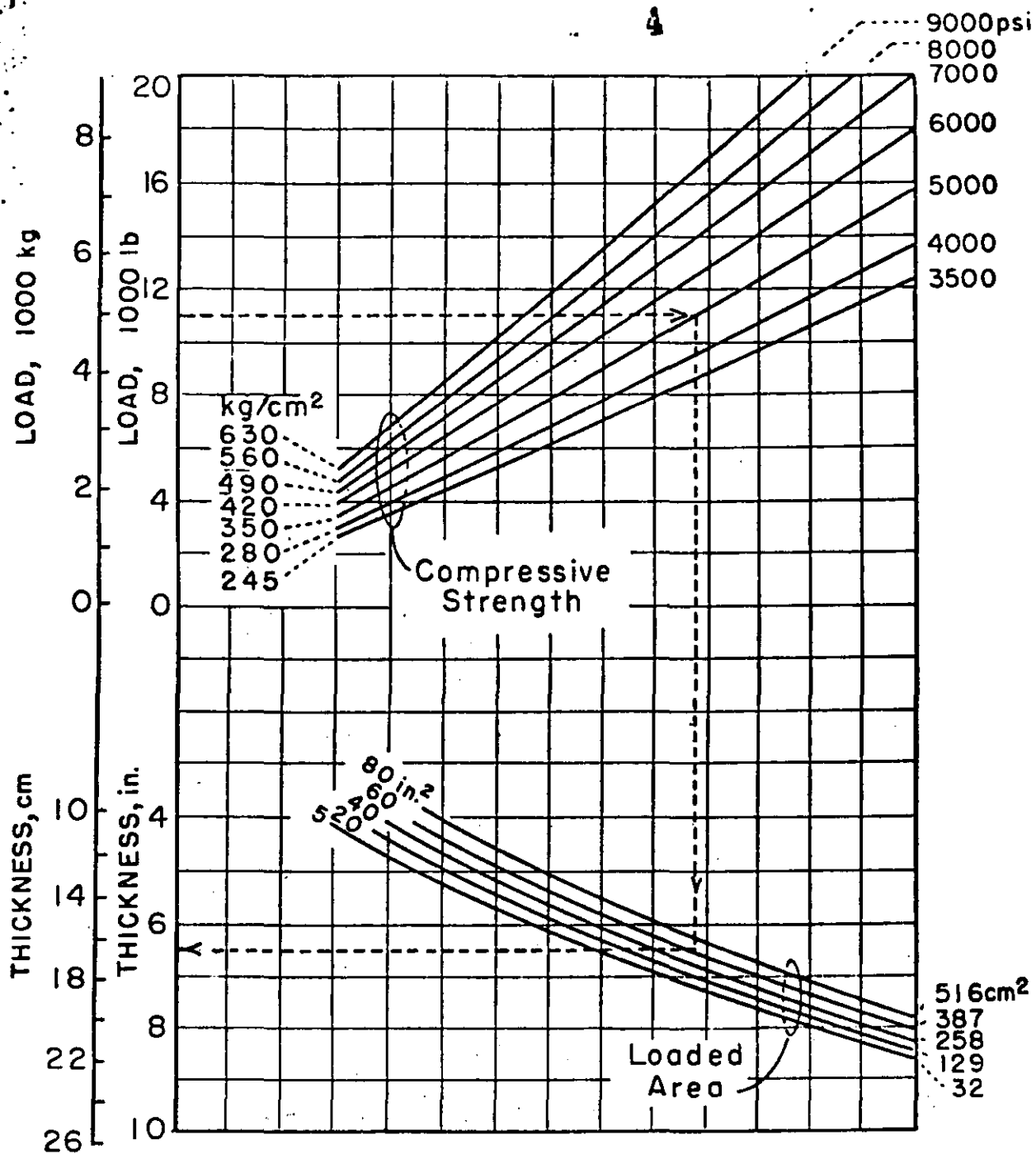


Fig. 2.1.1—Floor thickness requirements based on wheel load and compressive strength

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 flexural 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 $f_t = 4.6 \sqrt{f_c}$ psi, or, in SI 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 (387-cm²) 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.

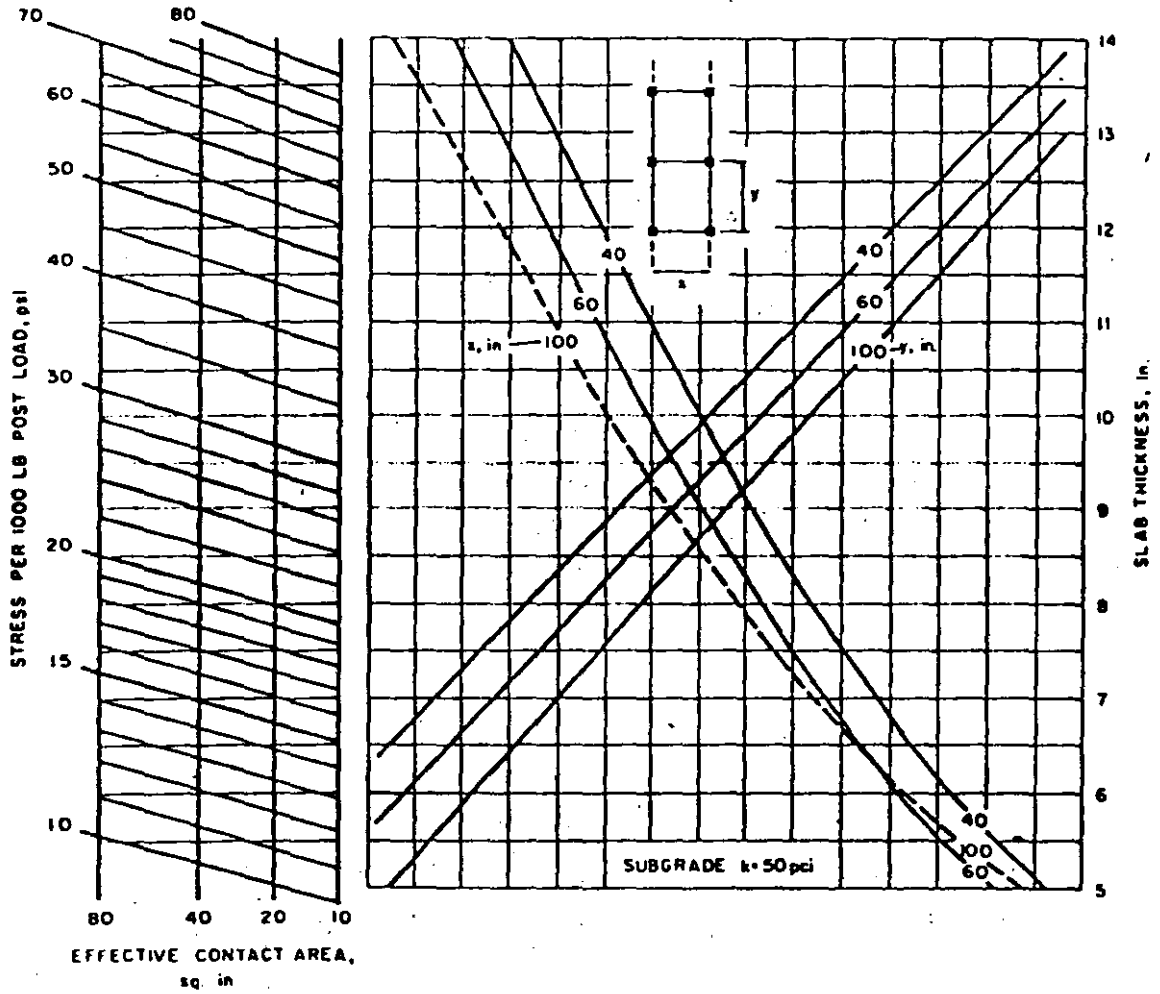


Fig. 6. Design chart for post loads, subgrade $k = 50 \text{ pci}$.

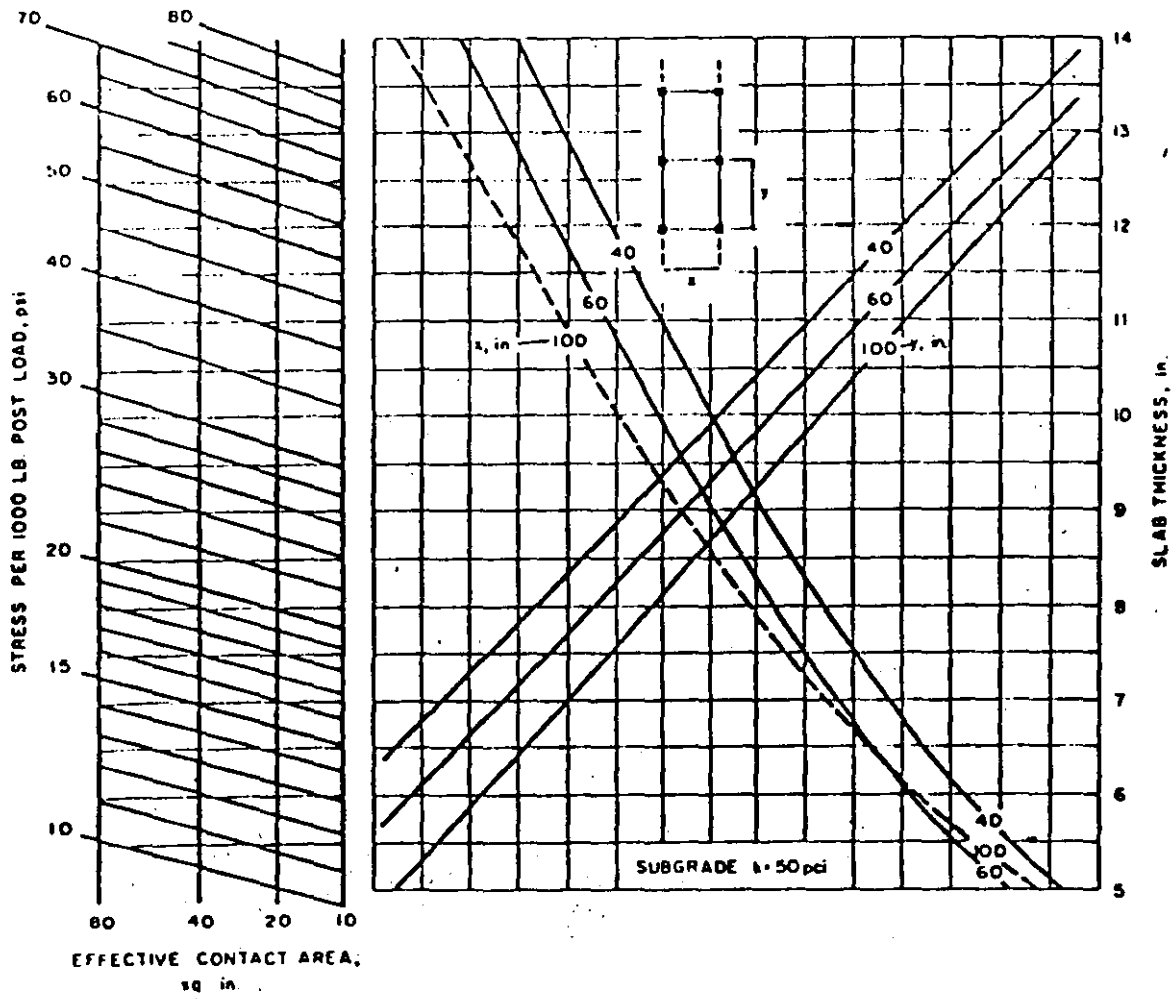


Fig. 6. Design chart for post loads, subgrade $k = 50 \text{ pci}$.

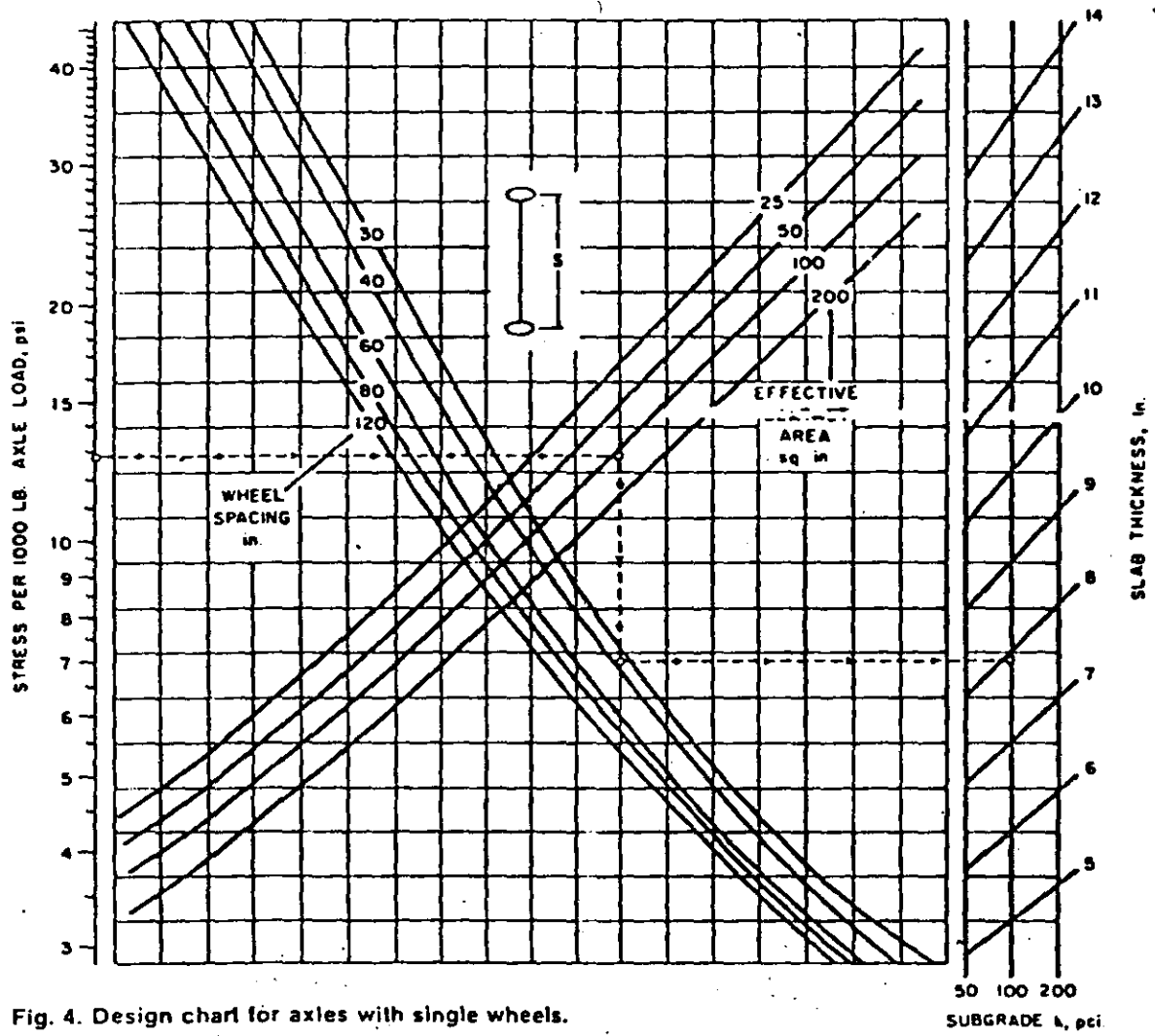


Fig. 4. Design chart for axes with single wheels.

50 100 200
SUBGRADE k, pci

Datos del vehículo

Carga por eje	25 kilolibras (eje con 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 del 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, WS :

$$WS = \frac{MR}{SF} = \frac{640}{2.0} = 320 \text{ libras/pulgada}^2$$

- Esfuerzo producido en la losa por cada 1 000 libras de carga por eje:

$$\frac{WS}{\text{carga por eje, kilolibras}} = \frac{320}{25} = 12.8 \text{ libras/pulgada}^2 / 1\,000 \text{ libras}$$

- 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

$$WS = \frac{MR}{FS} = \frac{640}{2} = 320\ \text{psi}$$

3.- ESFUERZO POR CADA 1000 lbs DE CARGA POR EJE

$$\frac{320}{25} = 12.8\ \text{psi/1 000 lb.}$$

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.

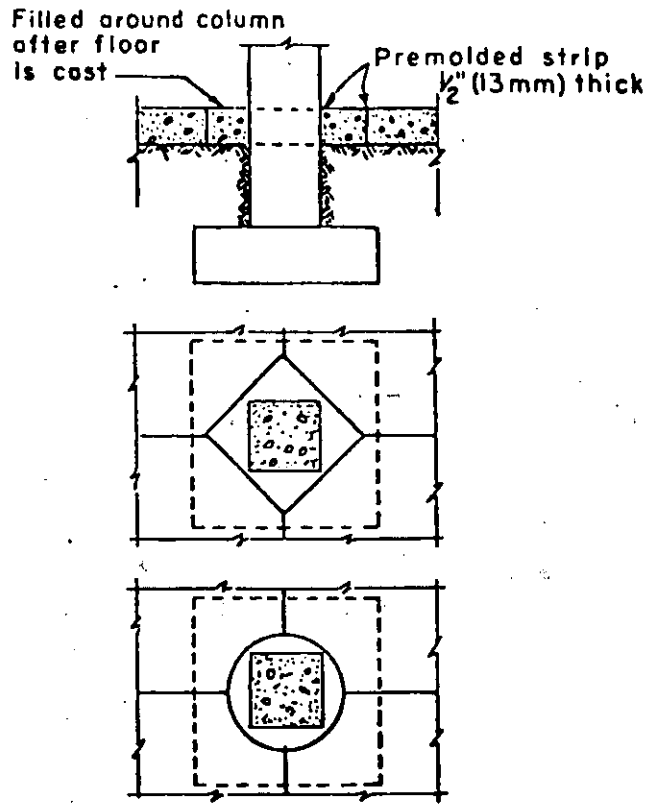


Fig. 2.2.1—Isolation joints at columns and walls

FLOOR AND SLAB CONSTRUCTION

302-7

Handwritten notes:

2m

1/4

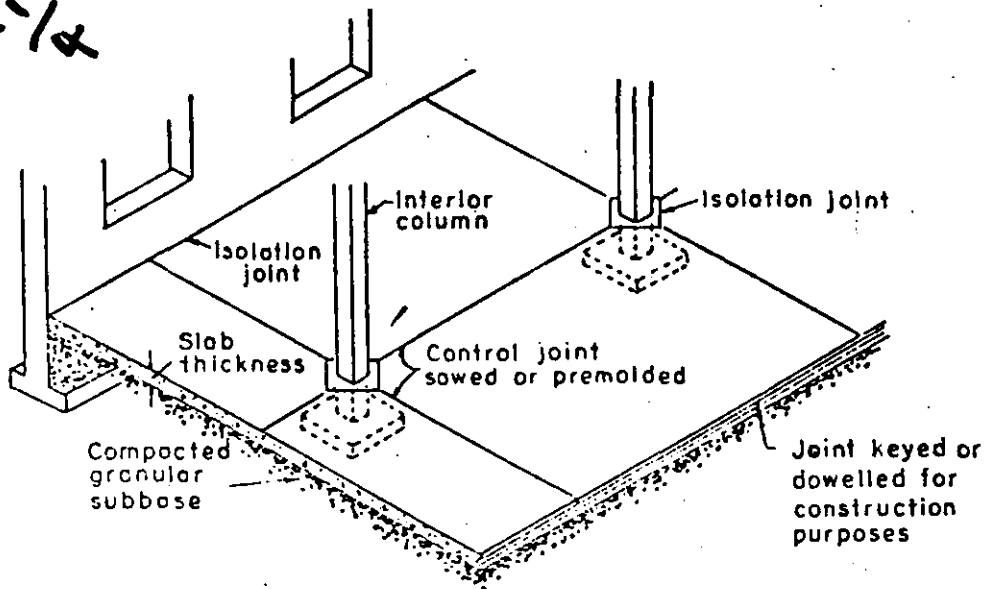


Fig. 2.2—Location of isolation and control joints

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 DUROS.
- 2.- ACABADO INTEGRAL, COLOCANDO UN MORTERO ANTES DE QUE LA LOSA ENDUREZCA
- 3.- ACABADO ADICIONAL, APLICANDO UN MORTERO SOBRE LA LOSA ENDURECIDA.

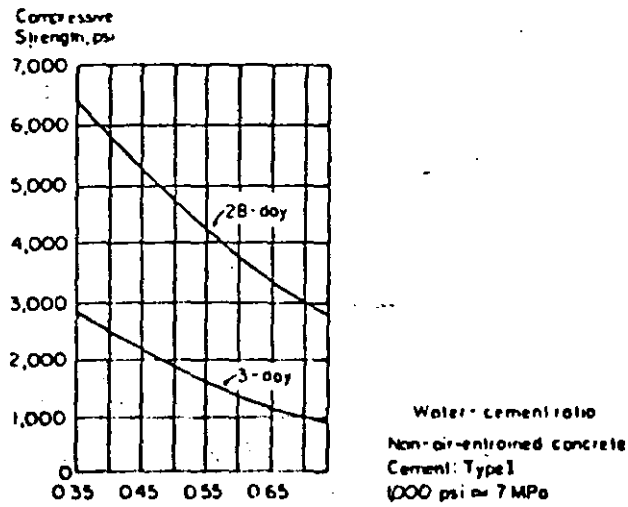


Fig. 1. Recommended minimum strengths for industrial and commercial floors on ground.

Table 2. Minimum Cement Requirements

Maximum size of aggregate, in.	Cement, lb per cubic yard
1½	470
1	520
¾	540
½	590
¼	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) 14

Slab thickness, in.	Subgrade k* pci	Allowable load, psf**			
		Concrete flexural strength, psi			
		55C	60C	65C	700
5	50	535	585	635	685
	100	760	830	900	965
	200	1,075	1,175	1,270	1,370
6	50	585	640	695	750
	100	830	905	980	1,055
	200	1,175	1,280	1,390	1,495
8	50	680	740	800	865
	100	960	1,045	1,135	1,220
	200	1,355	1,480	1,603	1,725
10	50	760	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	1,280	1,390	1,495
	200	1,660	1,810	1,965	2,115
14	50	895	980	1,060	1,140
	100	1,270	1,385	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 of subgrade; disregard 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, psf†					
			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	1,065	1,175	1,350
10	300	9.4	845	930	855	850	885	960
	350	9.4	985	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 of subgrade; disregard increase in k due to subbase
 **Critical aisle width equals 2.209 times radius of relative stiffness. Critical aisle width has maximum negative bending moment (tension in top slab at aisle centerline due to loads on each side of aisle). For other aisle widths, bending moments are not maximum.
 †Assumed load width = 300 in.; allowable load varies only slightly for other load widths. Allowable stress = one-half flexural strength.
 ‡There is an explanation in Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade from which this table is reproduced, for what appear to be anomalous allowable loads.

TABLE 4.2.1—RECOMMENDED SIZES OF FINISH AGGREGATE 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	85-100	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

15
15

TABLE 5.2.1—RECOMMENDED SLUMP AND STRENGTH FOR EACH CLASS OF CONCRETE FLOOR

Floor class	28-day compressive strength, ^a 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	5000-8000	1	350-580	2.5
7 ^e	4000	3	280	7.5

^aCompressive strength at 3 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 5.2.5.

^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 concretes 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
3/8	9.5	8 ± 2
1/2	12.7	7 ± 2
3/4	19	6 ± 2
1	25	5 ± 1 1/2
1 1/2	38	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

<i>Tamaño nominal máximo del agregado</i>		<i>Contenido típico de aire para concretos normales</i>	<i>Contenido promedio de aire recomendado para concretos con aire incluido, porcentaje</i>		
Pulgadas	mm		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 o superiores: $\pm 2^{\circ}/o$
 Para promedios de aire inferiores a 6°/o: $\pm 1.5^{\circ}/o$

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	$\pm 1^{\circ}/o$
Agua agregada	$\pm 1^{\circ}/o$
Agregados grueso y fino	$\pm 2^{\circ}/o$
Aditivos y pigmentos	$\pm 3^{\circ}/o$

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.

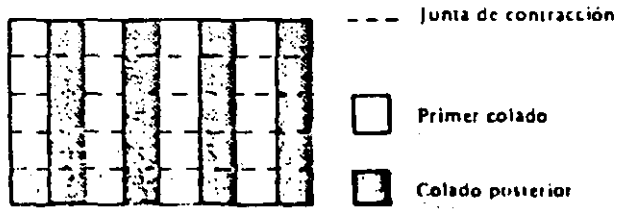


Fig. 6.4.1. a. Colado en franjas

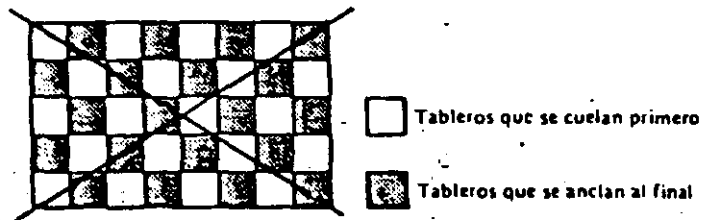
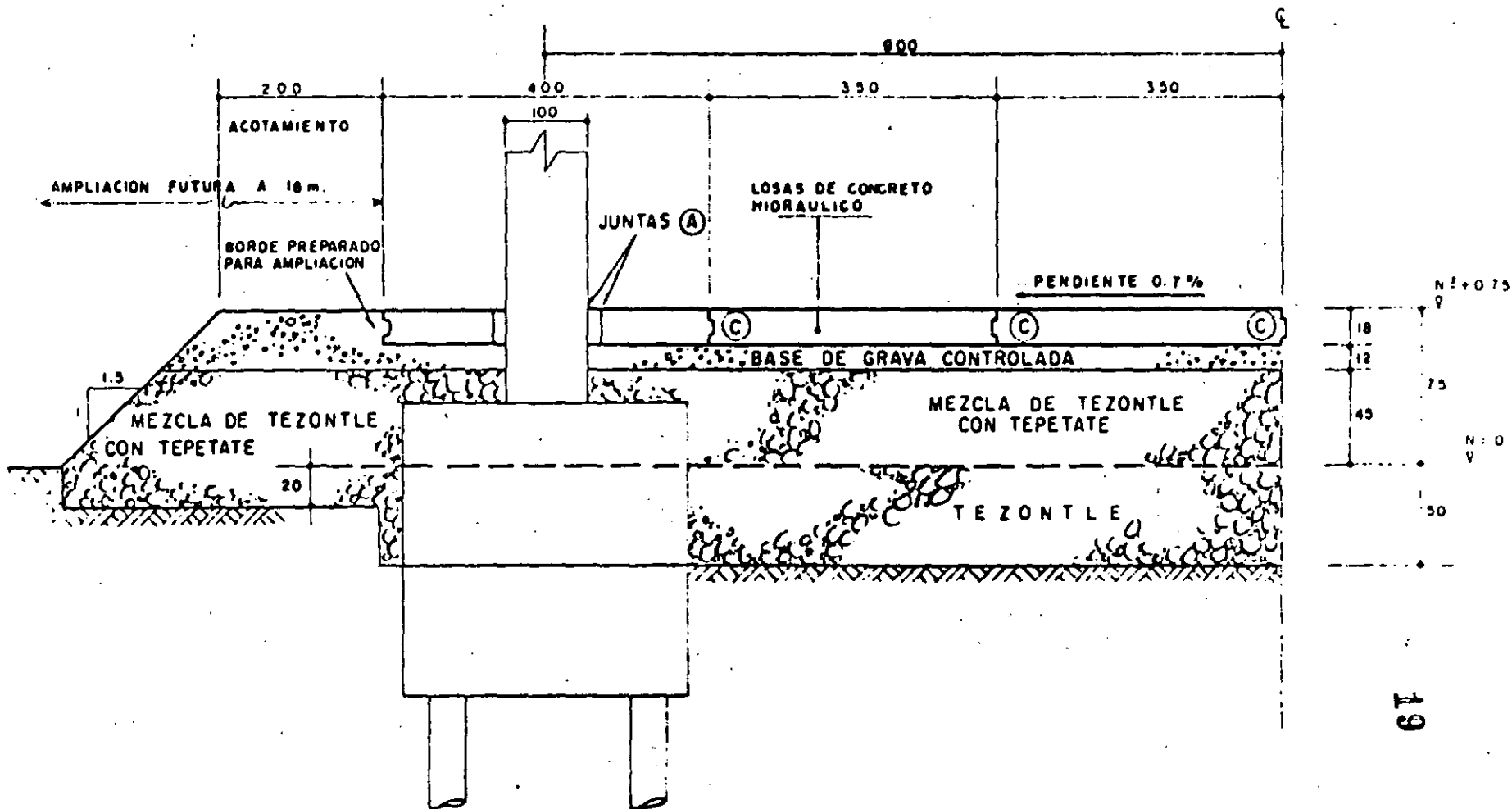


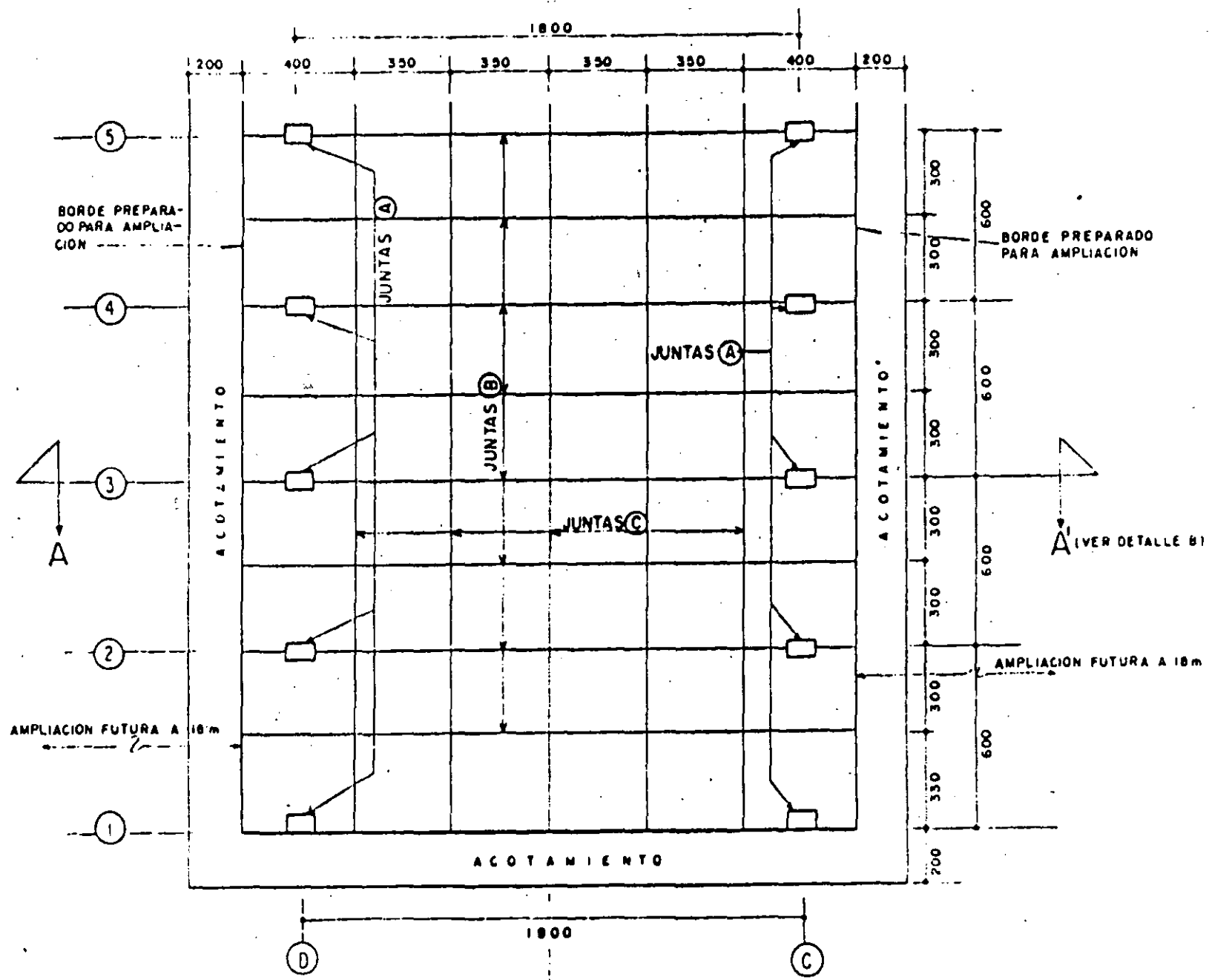
Fig. 6.4.1. b. Colado en forma de tablero de ajedrez (no recomendable)



MEDIO CORTE 'A-A'

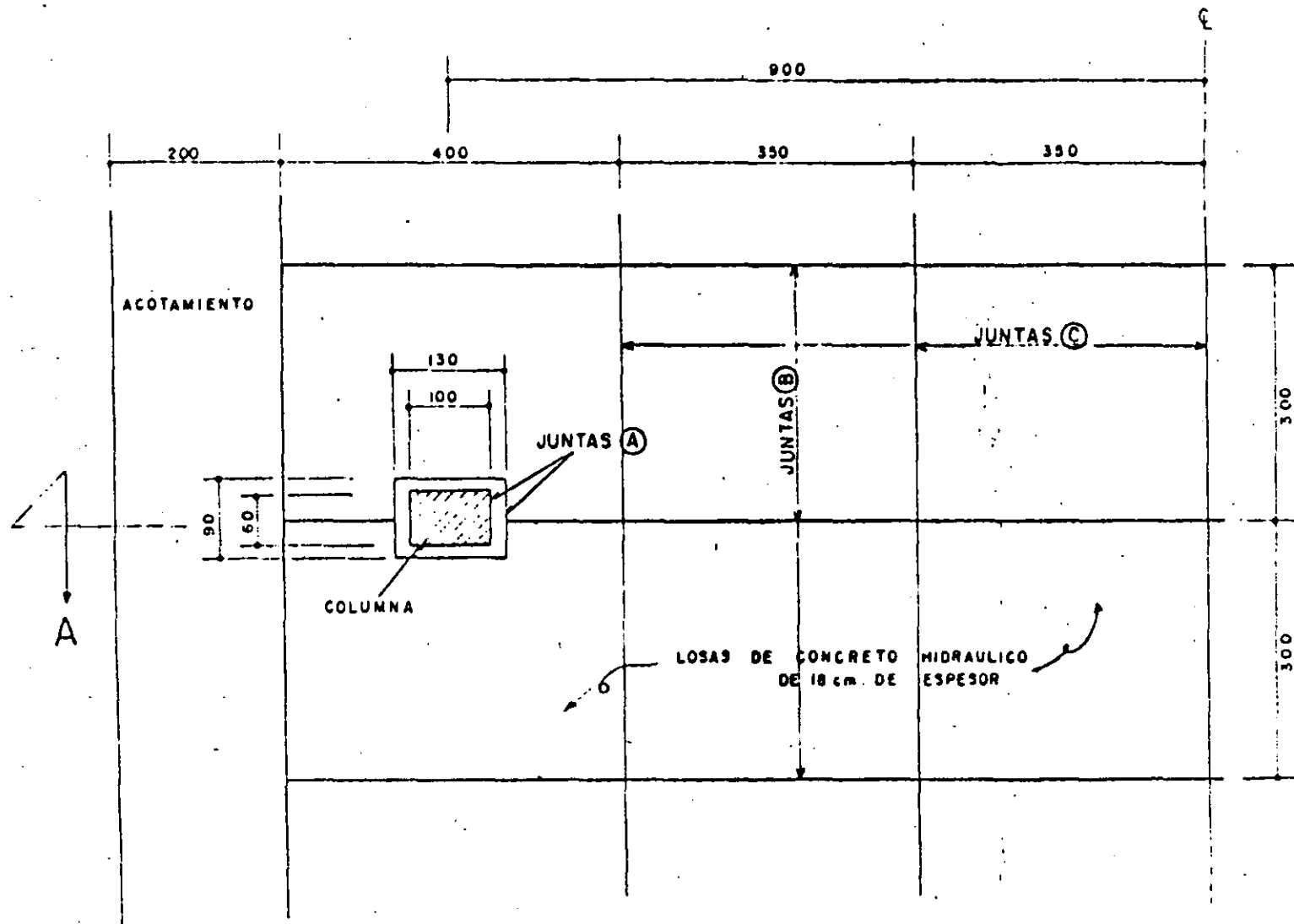
ESC. HOR. 1:75
 ESC. VER. 1:30

20



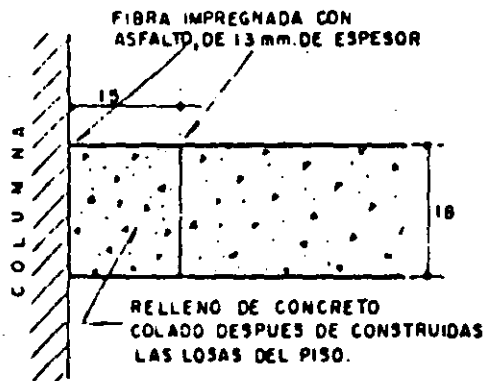
PIANTA
 DETALLE DE DISTRIBUCION DE LOSAS Y TIPOS DE JUNTAS

ESCALA 1/200

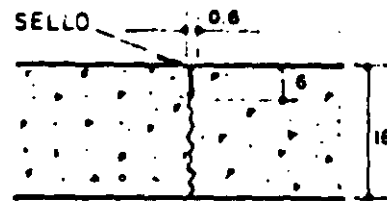


DETALLE B

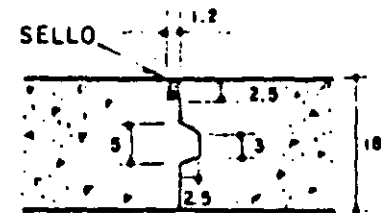
ESCALA 1:75



JUNTA (A)



JUNTA (B)
(TRANSVERSAL)



JUNTA (C)
(LONGITUDINAL)

DETALLES DE LAS JUNTAS

ESCALA 1:10

TABLE A3 (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, Ti, Btmn, AB	Fu, Ph, Ep
Gas water*	Ammonium salts seldom present in sufficient quantity to disintegrate	Btmn	Bk, Ti, Btmn, Ep	Fu, Ep
Gasoline	Liquid loss by penetration	Cl-R, Ep, Neo, PE, Vn	Bk, Ti, Neo, Ph	Fu, Ph, Ep
*Glucose	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Ep, Hy, Neo, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, Btmn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep
*Glycerine	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, S-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
*Grain	See fermenting fruits, grains, vegetables, extracts			
*Honey	Not harmful	Ep, PE, Vn	Bk, Ti	Ep, Fu
Horse fat	Solid fat disintegrates slowly, melted fat more rapidly	Ep, PE, Vn	Bk, Ti, Vn, PE, Ep	Fu, Ph, PE, Ep
Humic acid	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, Ep, Fu	Fu, Ph
*Hydrochloric acid, 10 percent	Disintegrates rapidly, including steel	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, SBD-II, S-R, Vn	Bk, Ti, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ph, S, Ep
*Hydrochloric acid, 30 percent	Disintegrates rapidly, including steel	SBD-R, S-R, Vn	Bk, Ti, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ph, S, Si, Ep
*Hydrochloric acid, 37 percent	Disintegrates rapidly, including steel	SBD-R, Vn	Bk, Ti, Btmn, Vn	Fu, Ph, Si
Hydrofluoric acid, 10 percent	Disintegrates rapidly, including steel	Btmn, Cl-R, Ep, Hy, SBD-R, Vn	CBk, Btmn, Vn, Bu-R, Lead, Pfn*	Fu, Ph, S, Ep, PE
Hydrofluoric acid, 30 percent	Disintegrates rapidly, including steel	Hy, SBD-R, Vn	CBk, Btmn, 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	GBk, Bu-II, Lead	Ph, Fu, S
Hydrofluoric acid, 75 percent	Disintegrates rapidly, including steel		GBk, Bu-II, 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, Ti, Btmn, Vn	Fu, Ph, S, Ep, PE
Hypochlorous acid, 10 percent	Disintegrates slowly	SBD-R, Vn	Bk, Ti, PE, Btmn, Vn	PE, Si
Iodine	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, 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, Ti, Vn, Bu-R, Neo	Fu, Ph, PE, Ep
*Lactic acid, 5 percent	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE
*Lactic acid, 25 percent	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Ti, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, PE
*Lamb fat	Solid fat disintegrates slowly, melted fat more rapidly	Ep, PE, Vn	Bk, Ti, Vn, PE	Fu, Ph, PE, Ep
*Lard and lard oil	Lard disintegrates slowly, lard oil more rapidly	Ep, PE, Vn	Bk, Ti, Vn, PE	Fu, Ph, PE, Ep
Lead nitrate	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Ti, Btmn, Vn, Eu-R	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 s, Table A2)	Mg/ZnSiF	Magnesium or zinc fluo-silicate (see Notation s, Table A2)
Asph	Asphalt	Neo	Neoprene
Bk	Brick (used with mortars of Column 5)	N-R	Natural rubber
Btma	Bituminous (asphalt or coal tar)	PbO	Litharge
Buna-SR	Butadiene-styrene rubber	PbSiF	Lead fluosilicate (See Notation s, 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
C-R	Chlorinated rubber	Ph	Phenolic
CT-Ep	Coal tar-epoxy	S	Sulfur
Ep	Epoxy	SBD-R	Styrene-butadiene rubber
FC	Fireclay	Si	Silicate
FL	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, peracylnitrates, 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, for 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).
- y Sand-filled.

225

25

TABLA 5.2.1 REVENIMIENTO Y RESISTENCIA RECOMENDADOS PARA CADA CLASE DE PISO DE CONCRETO

Clase de piso	Resistencia a la compresión a los 20 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 ^c	75
5	4 500	3	31	75
6 Base	3 500	4	24	100
6 Capa de desgaste ^d	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, véase 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).

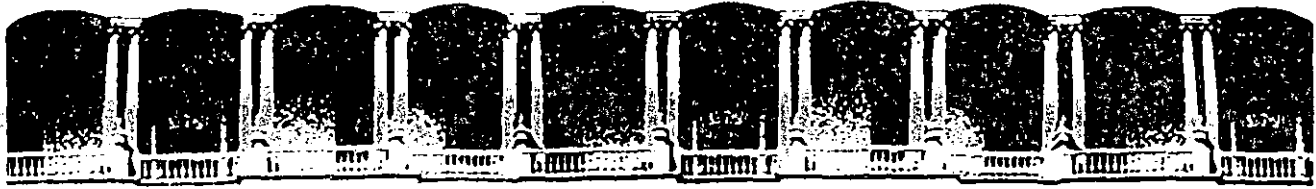
Los concretos estructurales con agregado ligero deben tener el contenido de aire especificado en la tabla 5.2.7.b. Para concretos ligeros sujetos al congelamiento y deshielo, las recomendaciones para el contenido de aire y cemento deben confirmarse con el fabricante del agregado ligero.

^d La cantidad de cemento o resistencia requerida dependerá de la severidad de la exposición a la abrasión. Esta escala cubrirá 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	ESPESOR 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

DEL 19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

**GUIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES**

**EXPOSITOR:
ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA**

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

GUIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Chester McDowell

*CALFINA S.A.
[Signature]*

México, D.F.

ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL, A.C.

Asociación Nacional de Fabricantes de Cal. A.C.

COMITE TECNICO:

**Juan Echeverría San Vicente
Salvador Lee Godínez
Alfonso Olivera Bustamante**

CONTENIDO

	Pág.
Capítulo I	
Introducción a la estabilización con cal.	1
Efectos de la cal en suelos arcillosos.	3
Glosario de abreviaciones y términos.	5
Capítulo II.	
Procedimientos para determinar el espesor del pavimento flexible-Un manual de proyecto.	6
Descripción del procedimiento de proyecto.	7
Capítulo III.	
Ejemplos ilustrativos.	9
Carretera con tránsito medio a pesado.	9
Area de estacionamiento en un centro comercial.	11
Calle con tránsito pesado, carretera o libramiento en zonas urbanas largas.	12
Area de estacionamiento para equipo pesado.	13
Camino rural o calle residencial con bajo tránsito.	14
Carretera de primer orden con tránsito pesado.	15
Capítulo IV.	
Comentarios.	17
Determinación de la resistencia de la subrasante.	17
Correlación de pruebas.	17
Gráfica del espesor mínimo.	17
Análisis del tránsito.	18
Reducción del espesor debido al esfuerzo de tensión.	19
Espesor de la carpeta.	20
Ejemplos ilustrativos.	20
Lista de referencias.	21
Apéndice.	22

Capítulo I

INTRODUCCION A LA ESTABILIZACION CON CAL

Este manual para diseño de pavimentos flexibles, es aplicable tanto para suelos naturales (no tratados) como para suelos estabilizados (tratados) y para materiales de base.

Provee un método de proyecto racional para evaluar materiales de pavimentación, permitiendo una reducción en su espesor, si las pruebas relativas así lo garantizan. De forma cada vez más común, los constructores modernos usan varios métodos para mejorar la calidad de los materiales para caminos, basados siempre en pruebas estandar (de calidad normativa), y este método provee una justificación para determinar el espesor del pavimento. También determina el espesor mínimo que se necesita para la carpeta asfáltica basado en la predicción del tránsito, en cargas por eje y en calidad de las terracerías; a través de este método de proyecto, equivalente con varias alternativas en combinaciones de materiales y métodos, se puede obtener el proyecto más económico. Con lo anterior se pueden lograr ahorros sustanciales, y emplearse aún con presupuestos recortados, ya que utiliza la menor cantidad de agregados costosos o difíciles de construir, reduciendo los gastos de conservación.

ESTABILIZACION CON CAL

La estabilización aplicada a la construcción de pavimentos, puede ser definida como un medio de consolidación de suelos y/o de materiales de la terracería, incrementando en forma clara su resistencia y capacidad de soporte, reduciendo su sensibilidad al agua y a los cambios de volumen producidos por variaciones de humedad en el suelo. Para lograr esta estabilidad se debe incorporar un aditivo al suelo de la terracería.

En suelos y en materiales de base conteniendo arcilla, lo más comúnmente usado para su estabilización, es la cal; ésta reacciona tanto químicamente, como físicamente, produciendo materiales estables para la pavimentación. La estabilización con cal empezó a impulsarse en 1955, incrementando su empleo rápidamente en forma gradual, se ha popularizado en todo el mundo, por sus grandes ventajas. La cal se ha usado para estabilización para la construcción de carreteras, aeropuertos, caminos vecinales, calles, patios y áreas de estacionamiento. Se emplea también la cal, para estabilizar una gran variedad de materiales, incluso suelos de baja calidad, para transformarlos en una subbase o mesa de trabajo en subrasantes plásticas y para estabilizar materiales marginales granulosos, por ejemplo: gravas arcillosas,

gravas contaminadas, agregados triturados, etc. además, se usa con puzolana silicosa, cenizas volcánicas y agregados para formar una base muy resistente.

La palabra "cal" es un término del que se abusa mucho, a veces con acepciones que implican cualquier tipo de materiales calcáreos. Por definición en este folleto nos referimos cuando se use el término, a Cal Viva (Oxido de Calcio) y la Cal hidratada (Hidróxido de Calcio). La estabilización se deberá hacer sólo con productos calcinados, no con piedra caliza pulverizada, ya que mientras la cal y la cal hidratada reaccionan químicamente con el suelo, la caliza (Carbonato de Calcio) es inerte químicamente.

En presencia de humedad, la reacción de la cal con los materiales arcillosos es de dos tipos. Primero ocurre un cambio básico, con los cationes de calcio de la cal, desplazando a los cationes de sodio, hidrógeno y otros. Inmediatamente después hay un efecto aglomerante o floculante, aglutinando las partículas finas de arcilla, en forma de arena y arcilla más gruesa, propiciando partículas más desmonorables y fáciles de trabajar. Después de una compactación y curado, se desarrolla una "cementación" muy definida y/o endurecimiento, porque la cal reacciona químicamente con la arcilla silicosa (óxido Silíceo) existente con los óxidos de aluminio, dando

silicatos y aluminatos complejos. Los productos de esta reacción, constituyen un pegamento insoluble que forma una matriz monolítica en el suelo y con el suelo.

Todos los materiales arcillosos reaccionan con la cal, sin embargo, la velocidad de reacción puede variar y algunos requieren más cal que otros. Generalmente la cal también reacciona con la mayor parte de los limos, lamas y con muchos suelos granulares, siempre y cuando estos materiales contengan un mínimo de 10% de arcilla. Los suelos que responden a la reacción con cal, tiene un rango de índice plástico (I.P.) de 10 a 50 +, siendo una excepción los

suelos altamente orgánicos, sin embargo hay algunos suelos que tienen un I.P. menor de 10% y que también reaccionan con cal. En este caso para que se pueda usar la cal con suelos de baja plasticidad (por ejemplo: arena limpia) hay que agregar una puzolana para que reaccionen.

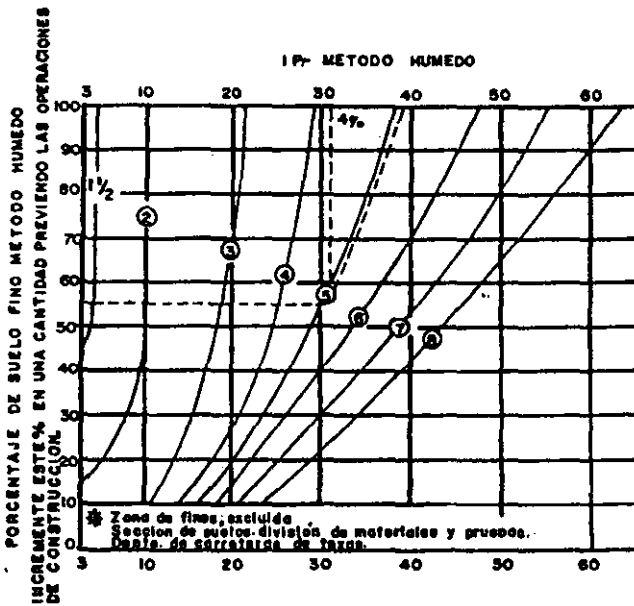
Aunque la estabilización en suelos con grano fino es impresionante, este material estabilizado no debe usarse de ninguna manera como base, sino como subbase. Para producir bases con cal, el suelo debe ser granular, debe retener más del 50% en la malla No. 0.420 (No. 40 U.S. Taylor) y por supuesto conteniendo una cantidad adecuada de arcilla.

Generalmente para estabilizar suelos de la subrasante o suelos para la subbase de grano fino, se usa de 4 a 6% de cal hidratada en peso, con lo que se logrará una estabilización total; en suelos granulares para usarse en base, se requiere, de 2 a 4% de cal.

Para determinar la reacción del suelo con la cal y la cal necesaria para la estabilización se necesitan algunas pruebas. La gráfica que sigue fue tomada de las Especificaciones y Métodos de Prueba de la AASHO (T-220-66 AASHO) y presenta una guía general para determinar porcentajes de cal. Para proyectos mayores se necesitan hacer más pruebas como son las de resistencia y estabilidad.

CANTIDADES DE CAL RECOMENDADAS PARA ESTABILIZACION DE SUBRASANTE Y BASES.

Estos porcentajes deben ser comprobados por métodos de prueba apropiados para cualquier prueba en particular.



Porcentajes de cal hidratada con respecto al peso seco del suelo. **

Entre con el IP en la parte superior, lea la cantidad para 100% de suelo fino, desde las curvas. Siga la curva hacia abajo hasta encontrar el % de suelo fino.

Desde esta intersección trace una línea vertical y lea en la parte superior el % de cal correspondiente a la curva, ejemplo... para IP = 39 55% material menor de la malla No. 0.420 (40)

* El diagrama excluye el uso de materiales con un contenido menor del 10% de suelos que pasan la malla No. 0.420 (No. 40 U.S. Taylor) y material cohesivo (IP menor de 3).

** Porcentaje de cal relativamente pura, generalmente con 90% o más de hidróxido de calcio y/o de magnesio y 85% o más del material que pasa la malla No. 0.074 (200) los porcentajes indicados son para estabilización de subrasantes y bases en donde se espera tener los resultados buenos en la estabilización.

Algunas veces se obtienen resultados temporales satisfactorios con el uso de la mitad de los porcentajes indicados.

Todo lo anterior, principalmente con respecto a los porcentajes de cal, solamente se debe usar en estabilización, en donde la capa estabilizada sea parte integral del pavimento y en donde se hayan llevado buenos controles de construcción y de calidad. Hay otros problemas y casos, en donde con menor cantidad de cal se consiguen modificar los suelos, tales como para apresurar la construcción, al secar los materiales saturados, para reducir el Índice de Plasticidad, para poner dentro de especificaciones a los materiales, etc. Cuando se usa de esta manera, al material modificado con la cal no se le atribuye o se le da muy poca contribución en el proyecto del pavimento, sin embargo el efecto es muy notable, aunque menos importante al caso en que se usa para otros fines.

EFFECTOS DE LA CAL EN SUELOS ARCILLOSOS

La cal cambia las características físicas de la mayor parte de los suelos arcillosos en varias formas, a saber:

1. El índice de plasticidad se abate rápidamente (en algunos casos, hasta en más de la cuarta parte). Esto es debido a que generalmente el límite líquido disminuye y el límite plástico aumenta.
2. El suelo se aglomera, disminuyendo substancialmente el contenido de finos (principalmente de partículas menores de 0.420 mm malla No. 40).

3. La cal y el agua aceleran la disgregación de grumos de arcilla durante la mezcla. Como resultado de los efectos de los puntos anteriores, el suelo se vuelve desmoronable o disgregable y puede ser trabajado fácilmente.
4. La cal ayuda a secar los suelos húmedos en forma rápida, por lo que acelera la operación de compactación.
5. Las características de contracción y expansión de los suelos se reducen marcadamente; el potencial expansivo vertical (P.E.V.) se reduce también.
6. Después de curado, la resistencia a la compresión no confinada, aumenta considerablemente, en algunos casos hasta 40 veces.
7. Los valores de soporte de carga medidos por varias pruebas como, V.R.S. valor de R., triaxial de Texas, placa de carga, valor de K, etc. se incrementan notablemente.
8. La resistencia de la tensión, medida por varias pruebas (cohesiómetro, tensión, cortante, etc.) se incrementa notablemente. De esta forma la capa estabilizada desarrolla resistencia (como losa) a esfuerzos de tensoflexión.
9. La capa estabilizada con cal forma una barrera resistente al agua, impidiendo la penetración de humedad por gravedad y por capilaridad a través del subsuelo. De esta manera la capa se convierte en una buena terracería o subrasante eliminando fácilmente el agua de lluvia que se le introduce, por lo cual permanece

estable, minimizando de esta forma los retrasos de la construcción.

Las mejoras aproximadas en la capacidad de carga y los valores de resistencia a la tensión que se pueden esperar al estabilizar con cal se indican en la tabla No. 1. Por supuesto al proyectar los pavimentos, estos datos deben ser confirmados previamente efectuando las pruebas específicas necesarias.

En vista de la variedad de cambios significativos y mejoras que se le producen a los suelos arcillosos por medio de la cal, en este método de proyecto se destacan los efectos de ésta en la capa estabilizada. Este folleto intenta por lo anterior, dar el crédito que merece la estabilización con cal en la reducción del espesor del pavimento, en la mayor parte de los casos esta medida se hace empíricamente y la mayor parte de las veces se hace conservadoramente o simplemente no se menciona, esto es debido a la ausencia de un buen método de proyecto. Cuando es necesario emplear la cal, y no se analiza su participación, se desperdician valiosos recursos de construcción. Por lo anterior se cree que el método de proyecto que más adelante se indica, es fácilmente aplicable a todos los otros materiales y procedimientos de construcción (suelo-cemento, base negra, piedra triturada (grava), base puzolánica, etc.), colocarán a la estabilización con cal en su perspectiva apropiada.

Tabla 1. Comparación aproximada de datos de las pruebas de estabilidad, con o sin cal.

TIPO DE SUELO	Sin Tratar					Tratada con Cal				
	Triaxial	VRS	Valor de R	Valor de k	Cohesiónmetro	Triaxial	VRS	Valor de R	Valor de k	Cohesiónmetro
Arcilla	5.5	2	20	100	—	3.2-3.5	15-30	55-69	250-350	350-850
Arcilloso	4.5	5	35	150	—	2.9-3.4	20-40	60-75	300-400	450-700
Arcilla arenosa	3.7	12	50	200	—	2.4-3.0	35-60	65-80	400-500	550-850
Suelo granular IP 8 +	3.2	30	65	250	—	1.5-2.7	50-75	70-80 +	450 +	650 +
Grava arcillosa IP de 6 a 10	2.6	50	75	400	—	1.0-1.6	70-100 +	80 +	500 +	800 +

La tabla está basada en el uso de 4 a 6% de cal para suelos arcillosos y de 2 a 4% para materiales granulares y grava arcillosa. Los valores de la prueba triaxial y del cohesiómetro se determinaron después de curar aproximadamente el espécimen durante 18 días en

el laboratorio, el VRS con 4 días de curado (saturado) y el valor de R de 2 días de curado. Los valores de estabilidad de especímenes tratados con cal, se incrementan marcadamente con mayor tiempo de curado o con curado acelerado, por ejemplo: los VRS que

se obtienen curando especímenes 2 días, serán el doble de las obtenidas sin curar. Este curado, acelerado corresponderá a 30 ó 45 días de curado en época de verano.

GLOSARIO DE ABREVIACIONES Y TERMINOS

TDPA: Tránsito diario promedio anual.

PDDCPR: Promedio diario de las 10 cargas por rueda, más pesadas.

VRS: Valor relativo de soporte, mide la resistencia a la penetración de un cilindro o pistón de 5.08 cm (2") de diámetro. (Equivalente a la prueba California Bearing Ratio).

PRUEBA DEL COHESIOMETRO: Se usa para determinar el esfuerzo a la tensión; mide la fuerza en gramos que se requiere para que una viga hecha con el suelo se doble o se rompa al probarse en canchiver. Si se divide el valor del cohesiometro entre 645.16 se obtiene el esfuerzo a la tensión en kg/cm^2 (entre 45.36 resulta en psi.) (ver capítulo IV).

NP: Número de proyecto, es un medio para clasificar la estabilidad y resistencia de suelos naturales y materiales de pavimentación; se correlaciona con V.R.S., Valor de R., Triaxial (Fig. 1).

NEE 8.2 T.: Número de ejes sencillos equivalentes 8.2 Tons., (18000 lb) que recibe el carril de proyecto, durante la vida útil (En sistema inglés se llama a éste E18KSALA).

VALOR DE K: El término se usa para designar la capacidad de carga de una subrasante o capa de pavimento basada en una prueba de placa de carga; el término se usa también como módulo de reacción de la subrasante.

FPFC: Factor de proyecto por frecuencia de aplicación de carga, es un medio de igualar diferentes condiciones de tránsito basado en el análisis del tránsito.

I.P.: Índice de plasticidad, es una medida del grado de plasticidad del suelo. Este valor se obtiene determinando los límites líquidos y plásticos del suelo; con la diferencia que se obtiene de estos dos valores, se determina el I.P. Representa el rango de contenido de humedad en el que el suelo permanece en condiciones plásticas.

EVP: Expansión vertical potencial, se define como la capacidad potencial de un suelo, cuando éste está expuesto a humedad capilar o humedad superficial, de incrementar la elevación de la superficie con una carga encima.

VALOR DE R: Valor de resistencia, es una medida de la estabilidad de los suelos y materiales de pavi-

mentación, se determina por medio de un instrumento llamado Estabilómetro; representa la resistencia de un material a la deformación plástica, reflejando su capacidad de carga.

PRUEBA DE RUPTURA A LA TENSION: Es una prueba de tensión indirecta, consistente en aplicar cargas aplicadas a lo largo de un plano diametral de un espécimen cilíndrico, la falla se causa al partirse la muestra a lo largo de este plano (Cap. IV).

St: Factor de modificación de la resistencia a la tensión, el cual está relacionado con el espesor de la capa estabilizada o el de la carpeta asfáltica.

CLASIFICACION POR RESISTENCIA TRIAXIAL (Triaxial Strength Class): Es un valor determinado por una prueba de corte en forma triaxial, en la cual el espécimen cilíndrico de suelo, envuelto en una membrana impermeable, se sujeta a una presión confinante y se carga axialmente hasta fallar. En este caso mientras más baja es la clasificación, más alta es la estabilidad.

Capítulo II

PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR EL ESPESOR DEL PAVIMENTO FLEXIBLE — Un manual de Proyecto.

Hay muchos métodos para determinar el espesor del pavimento. Todos ellos adecuados; cuando los usa un técnico o personal capacitado, permitirán asegurar que su capacidad no esté extendida más allá de las posibilidades o limitaciones del mismo. La mayor parte de los métodos están basados en la suposición de un sistema multicapa, en el cual se intenta lograr, que conforme la capa sea más débil, esté más profunda, para prevenir que se sobrecargue. Estas suposiciones son adecuadas hasta que se tienen que considerar problemas de durabilidad, bombeo, drenaje inadecuado, cambios de volumen, penetración de helada, etc., a pesar de estas circunstancias la mayor parte de los métodos de proyecto se pueden clasificar en una o en más de las categorías siguientes:

1. Comparación de las características de resistencia del suelo, con las capacidades de soporte de carga a los materiales que la expe-

riencia ha mostrado que poseen los suelos.

2. Comparación de las características de resistencia del suelo, con los esfuerzos que se calculan producirán las cargas por rueda (Usando generalmente cargas grandes producidas por los camiones o aeroplanos muy pesados).
3. Características de deflexión de pavimentos existentes, relacionados con las fallas de pavimentos.
4. Uso de números estructurales y coeficientes de materiales.
5. Análisis de sistemas, cubriendo con todos los datos pertinentes muchos factores, para alimentar en programas de computadoras y obtener un proyecto óptimo. Este es el método concebido más racional, pero requerirá muchos años de retroalimentación para que sea perfeccionado.
6. Un método racional que abarque lo siguiente:
 - A. Una comparación de las características de resistencia del suelo, con los esfuerzos producidos por las cargas por rueda a diferentes niveles.
 - B. La capacidad de las capas de materiales para soportar, tanto cargas pesadas, como cargas repetitivas.
 - C. Reducción del espesor, cuando la resistencia a la tensión de las capas de pavimento se incrementan.

D. Mínimo espesor de la carpeta asfáltica.

El método de proyecto que usaremos se parece al marcado con el No. 6, los otros no se discutirán en este trabajo. El método 6 es el que se puede usar actualmente incorporando una gran variedad de procedimientos de prueba y de estudios de tránsito.

El método permite lograr lo siguiente:

1. Utilizar el tránsito promedio diario anual (TPDA) para estimar, tanto cargas pesadas que causan fallas al cortante, como el número de cargas repetitivas que causan fallas por fatiga y al cortante también.
2. Mediante el uso de los datos de tránsito y de cualquiera de los métodos para determinar resistencia, se pueden seleccionar los espesores de la subbase y de la base, en forma que soporten las cargas por rueda y el número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton. que se espera circulará en el carril de proyecto durante la vida útil.
3. Obtener una base de alta calidad, en la parte superior, de 12 a 15 cm (5 a 8 pulgadas), usando la estabilización o un agregado de piedra triturada, controlado por un programa de pruebas de estabilidad.
4. De los datos de tránsito y del grado de calidad del material de

base, determinar el espesor mínimo de la carpeta de concreto asfáltico.

Se debe notar que este método de proyecto es sólo una guía para condiciones promedio y no sirve para reemplazar el buen juicio (técnico) y el conocimiento de los materiales y condiciones locales que posee el Ingeniero o el constructor.

Para usar el método 6 a todos los niveles de la profesión, es necesario hacer varias determinaciones, tales como:

1. Correlación de las constantes del suelo y pruebas de resistencia de tal forma que estos datos pueden ser aplicados indistintamente a cualquiera de los métodos.
2. Dado que el tránsito es una variable importante en el proyecto de pavimentos, es deseable establecer algunas técnicas, que serán de ayuda para grupos de ingeniería locales, que deseen obtener el promedio de tránsito diario a cargas habituales usadas en el proyecto. Esto incluye las cargas equivalentes de 8.2 Ton., por eje sencillo, que se espera circularán durante la vida del pavimento.

Con este antecedente, el siguiente es un procedimiento nuevo recomendado para el proyecto de pavimento flexible. Ver capítulo IV para la descripción del uso de las gráficas.

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE PROYECTO

1. Determine la resistencia del suelo

sin tratar de la subrasante, de acuerdo con cualquiera de los siguientes métodos.

A. Valor de resistencia (R): AASHO T190 ó ASTM 2844, Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas S.C.T., libro 6.

B. V.R.S. (CBR) AASHO T193 ó ASTM 1883, Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas S.C.T., libro 6.

C. Prueba Triaxial AASHO T212, Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas S.C.T., libro 6.

Los valores de prueba de los materiales estabilizados con cal a los que nos referimos después, se basan en las normas: AASHO det. T220-66 y métodos Texanos Tex-121 y 122E. El número total de días de curado es de aproximadamente 18, comprendiendo 7 días en cámara húmeda, uno de secado y 10 de humidificación capilar.

2. Con el valor obtenido en el punto 1, use la gráfica de la figura No. 1 del apéndice y obtenga el número de proyecto (NP). Si se conoce el valor de la prueba triaxial, proyecte hacia arriba de la curva de valores triaxiales en el ángulo de 45° hasta que intersecte la línea diagonal, luego verticalmente hasta el NP en la parte superior. Si se tiene el V.R.S., siga hasta la curva de valores triaxiales en forma horizontal y de allí a 45° a la diagonal y luego verticalmente para obtener NP. Si se tiene el valor de R proyecte verticalmente a la triaxial y de allí con el mismo procedimiento anterior.

Si no se tienen valores de resistencia y si la subrasante tiene más de 70% de suelo fino, [(partículas menores de 0.420 mm (malla No. 40)]. Y además no tiene mucha materia orgánica, use para estimar en NP la siguiente tabla:

Rango del Índice de Plasticidad	Número de Proyecto (N.P.)
0 a 12	5.5
13 a 30	3.0
31 a 50	1.5
más de 50	1.0

Desde luego este IP estimado es conservador y es posible que algunos de los valores NP se pudieran aumentar hasta en un 50% si se efectuaran las pruebas de resistencia. Sin embargo no es seguro suponer, sin hacer las pruebas de resistencia, que este incremento en el valor de número de proyecto está garantizado.

3. En la figura No. 2 entre en el eje de las abscisas con el NP, que corresponde a las condiciones del diseño más cercano, luego determine horizontalmente el espesor mínimo de la capa que se requiere. La curva a usar se puede determinar de la tabla que está en la gráfica y que clasifica las condiciones de tránsito basadas en cargas por eje y frecuencia.

Hay posibilidades que las condiciones de tráfico no correspondan exactamente a una de las condiciones que se describen en las cuatro curvas, esto no debe ser desconcertante debido a que los mínimos espesores mostrados son básicos y pueden ser corregidos para muchas otras condiciones de tráfico, como se mues-

... en los pasos 4 y 5.

A. Si el promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesadas (PDDCPR) para una de las curvas dadas en la figura No. 2, es similar a las cargas anticipadas, pero se tiene un número diferente de aplicaciones de carga, que las que se usan en la tabla de la figura No. 2, use el siguiente procedimiento:

A. Divida el valor del espesor mínimo que se obtuvo en el paso 5 por el factor de proyecto por frecuencia de aplicación de carga (FPFC) que se muestra en la figura No. 2, para curva de tráfico usada en el paso 3.

B. En la figura 3 con el número de resacas acumulados equivalente a 8.2 Ton. (NEE de 8.2 Ton) que circularán durante la vida del pavimento, lea el nuevo FPFC como abscisa. (Vea el capítulo IV para determinar los datos de conteo para estimar el PDDCPR y el NEE 8.2 T).

C. Para obtener el espesor adecuado, multiplique el valor del espesor obtenido en el paso 4, por el FPFC obtenido en el paso 4 B.

Si se desea determinar el espesor para su PDDCPR diferente de cualquiera de las cuatro curvas mostradas en la figura No. 2, se usa el siguiente procedimiento:

A. Seleccione una curva de proyecto en la figura No. 2 que tenga el valor del PDDCPR más cercano y abajo del deseado.

B. Obtenga el espesor de acuerdo con los pasos 3 y 4 A.

C. Multiplique este espesor (el del paso 5 B) por la raíz cuadrada de la relación que resulte de dividir la carga de las ruedas anticipadas PDDCPR entre la carga de las ruedas (PDDCPR) usadas en la curva de proyecto.

D. Continúe, corrigiendo el espesor por el factor FPFC, como se muestra en los pasos 4 (B) y (C).

Recapitulando los pasos 3, 4 y 5:

La ecuación que sigue, resume los cálculos:

$$\frac{\text{Espesor mínimo de la (fig. 2)}}{\text{FPFC de la (fig. 2)}}$$

$$\times \text{FPFC (fig. 3)} \times$$

$$\frac{\text{PDDCPR determinado para el proyecto}}{\text{PDDCPR indicado en la (fig. 2)}}$$

Se debe notar que los pasos anteriores se aplican al uso de los agregados convencionales, materiales de bancos y suelos que tienen poca o ninguna resistencia a la tensión.

En contraste, si se usan materiales estabilizados, estos desarrollan una resistencia a la tensión apreciable debido a la acción cementante y de adhesión que produce la sustancia estabilizadora; en este caso hay que seguir los pasos que se describen a continuación para determinar equivalencia de sustitución y/o reducción en el espesor total del pavimento. Por esto se deben evaluar dos o más proyectos.

6. Determine la resistencia a la tensión por flexión, compresión diagonal (resistencia al cortante) (18) o por pruebas de cohesiómetro, en muestras apropiadamente curadas o de preferencia en corazonas de suelo, muestreando directamente.

NOTA: Si se usa el cohesiómetro, el valor obtenido se deberá dividir entre 645.16 para convertirlo a resistencia a la tensión en kg/cm² (645.36 para obtener psi).

Si no hay datos disponibles de la resistencia a la tensión, se puede usar como guía general la compresión no confinada para estimarla, usando un factor de 0.10. Un ciclo de 18 días de curado, similar al que se recomienda en la AASHO-T220-66, se debe usar para obtener valores realistas de resistencia a la compresión no confiada. En el caso de mezclas de suelo-cal, las resistencias a la compresión no confinada tienen un rango entre 5.27 y 17.58 kg/cm² (75 a 250 psi) que corresponderían a valores de la resistencia a la tensión entre 5.27 y 1.758 kg/cm² (7.5 a 25 psi) respectivamente.

7. De la figura No. 4 determine el factor (St) de modificación por resistencia a la tensión; partiendo de las ordenadas de la gráfica; del espesor de la carpeta base o subbase (la que tenga mayor resistencia a la tensión) multiplique el valor de la resistencia a la tensión del paso 6 por este factor, obteniendo el valor modificado de la resistencia a la tensión.

8. En la figura No. 5 partiendo del espesor de los pasos 4 (C) ó 5 (D) y de la resistencia modificada a la tensión del paso 7, determine la reducción máxima del espesor debido a la resistencia a la tensión. Multiplique este valor por 0.75 como factor de seguridad.

9. Reste al espesor el valor obtenido en el paso No. 8. Este es el espesor mínimo total de la subbase, base y carpeta.

10. De la figura No. 6 determine el espesor mínimo de la carpeta asfáltica. Reste este valor del espesor obtenido en el paso No. 9, dando el espesor mínimo de la base y/o subbase.

Capítulo III

EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

EJEMPLO No. 1

Carretera con tránsito medio a pesado.

1. DATOS Y REQUERIMIENTOS.

— Tránsito TDPA 4000 vehículos.

— Tipo de subrasante. De muy mala calidad; subrasante de arcilla inestable con clasificación Triaxial de 5.7 ó VRS de 2.0.

— Tipo de subase. Deberá tener un número de proyecto (NP) mayor de 10, que corresponde a una resistencia a la compresión sin confinar de 3.515 kg/cm^2 (50 psi) o más. Esta especificación se puede lograr usando grava de la zona o estabilizando el suelo de baja calidad de la subrasante con cal hidratada.

— En pruebas de laboratorio se determinó, que el suelo de la subrasante estabilizado con cal, tiene una resistencia a la compresión axial sin confinar de 9.49 kg/cm^2 (135 psi) y un valor de cohesión de 675, correspondiente a un esfuerzo a la tensión de $675 \div 645.23 = 1.05 \text{ kg/cm}^2$ ($675 \div 45.36 = 15$ psi). Sin cal, el suelo tiene virtualmente un valor de 0 para el esfuerzo a la tensión.

— Tipo de material de Base. Grado 1, piedra triturada.

— Tipo de carpeta. Concreto asfáltico (Tiene un esfuerzo a la tensión de 0.84 kg/cm^2 (12 psi).

2. SOLUCION PARA EL ESPESOR DEL PAVIMENTO.

A. Análisis del tránsito.

a) Se determina el promedio diario de las cargas de los 10 ejes más pesados (PDDCPR), en la figura 7 (del apéndice). Para un tránsito diario promedio anual (TDPA) de 4000, el PDDCPR es de 5.5 Toneladas (12000 lbs).

b) Conocido el valor del PDDCPR de A (a), se determina la aplicación de cargas equivalentes a eje sencillo de 8.2 Ton. (18000 libras) en la figura 8. Use la curva inferior, para trabajar con un coeficiente de seguridad alto. Entonces para un PDDCPR de 5.5 Ton. (12 kips), se obtiene 4000000 de repeticiones de carga equivalentes a un eje sencillo de 8.2 Ton. en el carril de proyecto.

C. Conociendo el número de repeticiones de cargas equivalentes obtenido A (b) se determina el factor mínimo de proyecto para la frecuencia de carga a la figura 3. Con 4000000 de repeticiones de ejes sencillos en la ordenada y siguiendo horizontalmente hasta cortar a la diagonal, para bajar verticalmente hasta cortar el eje de las abscisas se obtiene un fac-

tor de 1.25.

B. Cálculo del espesor del pavimento, usando materiales convencionales (sin estabilizar).

a) Determine el número de proyecto (NP) de la subrasante en la figura 1; para una clasificación Triaxial de 5.7 ó VRS de 2, se obtiene de la ilustración un número de proyecto (NP) de 1.5.

b) Para determinar el espesor total del pavimento, se usa la figura 2; con el número de proyecto de 1.5 y en la intersección con la curva para PDDCR de 5.0 Ton. (11 kips) (que es el valor más cercano a 5.5 Ton. (12 kips) de promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesadas encontrado anteriormente), en el eje de las ordenadas se determinan 71 cm (28 pulgadas).

c) Se divide 71 cm (28 pulgadas) entre el factor de proyecto por frecuencia de aplicación de la carga de 1.10, dado en la tabla de la figura 2, para la curva de tránsito medio $\frac{71}{1.10} = 65 \text{ cm}$ (25.5 pulgadas).

d) Se multiplica 65 cm por el factor mínimo de proyecto por frecuencia de aplicación de carga en secciones buenas, que es de 1.25 determinado en A (c) (de la figura 3) y multiplíquese por la raíz

cuadrada de la relación

$$\frac{5.500}{5.000} \times 665 \times 1.25$$

$$\times \sqrt{\frac{5.5}{5}} = 84 \text{ cm (33 pulg.)}$$

que representa el espesor para obtener bajos esfuerzos de tensión en los materiales, incluyendo las capas de subbase, base y carpeta asfáltica de 4 cm (1.5 pulgadas) o menos (si se determina una carpeta asfáltica más gruesa, los espesores de las capas de subbase y base se pueden reducir, como se indica en B (f) y B (g) siguientes).

- e) En la figura 6 se determina el espesor mínimo de carpeta de concreto asfáltico, para un tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 Ton. (18000 libras) de 4 0 0 0 0 0 0
 = 9 cm (3.5 pulgadas) (suponiendo una base de grado 1). Restando este valor a los 84 cm (33 pulgadas) da el espesor para obtener bajos esfuerzos a la tensión en las capas de subbase + base que es de 75 cm (29.5 pulgadas).
- f) Para determinar la reducción del espesor por la influencia del uso de una carpeta de concreto asfáltico de 9 cm (3.5 pulgadas), calcule el esfuerzo a la tensión modificado, multiplicando el esfuerzo a la tensión de 0.84 kg/cm² (12 psi) por St, factor de modificación de 1.25 determinado en la figura 4. Entonces 0.84 × 1.25 = 1.05 kg/cm² (15 psi).
- g) Entrando en la figura 5 con el esfuerzo a la tensión modificado de 1.05 kg/cm² (15 psi) para el con-

creto asfáltico y espesor de 84 cm (33 pulgadas), determinado en el párrafo B (d) anterior, se obtiene una reducción del espesor de 27 cm (10.5 pulgadas). Multiplicando por el factor de seguridad de 0.75 se obtienen 20 cm (8 pulgadas) aproximadamente, de reducción en el espesor.

Restando este valor a los 84 cm (33 pulgadas) se obtiene un espesor de 64 cm (25 pulgadas) de subbase, base y carpeta asfáltica.

- C. Cálculo del espesor del pavimento, usando la subrasante estabilizada.

Ahora vamos a comparar el espesor del pavimento proyectado por el método convencional ya descrito, con uno en el que una subrasante de mala calidad se estabiliza con cal (probablemente con 5 a 6% en peso), entonces la capa estabilizada puede llegar a ser la subbase.

- a) Determine el valor de la resistencia a la tensión modificada de la capa estabilizada con cal, usando el factor de modificación St que se muestra en la figura 4. Para una capa de 15 cm (6 pulgadas) de espesor, St = 1 y para 23 cm (9 pulgadas) de espesor, St = 2. En el ejemplo siguiente usaremos 23 cm (9 pulgadas) de espesor de la capa. Con 2.1 kg/cm² (30 psi) para el valor de la resistencia a la tensión modificada (Resistencia a la tensión × St o 1.05 kg/cm² × 2 = 2.1 kg/cm² (15 × 2 = 30 psi).
- b) Entrando en el eje de las abscisas de la figura 5 con un valor de 2.1 kg/cm² (30 psi) y con 84 cm (33 pulgadas) en el eje de las ordena-

das, se determina el valor de la reducción del espesor de 33 cm (13 pulgadas). Multiplique este valor por el factor de seguridad de 0.75 y se obtiene 33 × 0.75 = 25 cm (9.8 pulgadas), restando este valor de 84 cm se obtiene 84 - 25 = 59 cm (23 pulgadas) de espesor de subbase, base y carpeta necesario, ó 50 cm (19.5 pulgadas) de subbase y base, después de reducir 9 cm (3.5 pulgadas) de espesor de carpeta determinado en el párrafo B (e) anterior.

Basado en los espesores mínimos determinado en los párrafos B (g) y C (b) descritos anteriormente; a continuación se indican 2 posibles proyectos del pavimento.

Método Convencional.

9 cm (3.5 pulgadas) carpeta asfáltica.
 27 cm (10.5 pulgadas) base de piedra.
 28 cm (11.0 pulgadas) Subbase de grava.

64 cm (25 pulgadas) Total

Estabilizando el material de la capa subrasante.

9 cm (3.5 pulgadas) carpeta asfáltica.
 27 cm (10.5 pulgadas) base de piedra.
 23 cm (9.0 pulgadas) subrasante estabilizada con cal.

59 cm (23.0 pulgadas) Total.

Por lo tanto una capa subrasante de 23 cm de espesor estabilizada con cal, substituye a la de subbase de 28 cm (11 pulgadas) constituida de grava, adicionalmente se forma una capa muy resister

EJEMPLO No. 2

TIPO DE SERVICIO

Área de estacionamiento en un centro comercial.

1. Datos y requisitos.

Tránsito: PDDCPR = 2.27 Ton. (5,000 lbs.) basado en la carga de camiones ligeros y pick ups que se estacionarán en la vida útil del estacionamiento. El número de aplicaciones de cargas que se esperan durante la vida del mismo, es de 6000000.

Tipo de subrasante: De muy mala calidad, arcilla inestable con un I.P. de 40.

Tipo de base: Deberá tener un valor de proyecto (NP) mayor de 10, podrá ser grava de la zona o suelo natural estabilizado con cal. Se ha determinado por pruebas que el suelo estabilizado tiene un valor de cohesiómetro de 460, correspondiente a un esfuerzo a la tensión de $460 \div 645.23 = .7129 \text{ kg/cm}^2$ ($460/45.36 = 10 \text{ psi}$).

Tipo de base: Piedra triturada grado 1.

Tipo de carpeta: Concreto asfáltico.

2. Solución para espesor del pavimento.

A. Análisis de tránsito.

a. Se puede determinar el NEE 8.2T como se indica en la figura No. 9 ó multiplicando $6,000,000 \times 0.069 = 414,000 \text{ NEE } 8.2T$ (0.069 es

el factor de equivalencia para convertir el tránsito de camiones ligeros a ejes equivalentes de 8.2 Tons.)

Nota: La figura No. 8 no se puede usar como en el ejemplo anterior porque el valor del PDDCPR es muy bajo.

b. Determina el factor mínimo de proyecto por frecuencia de aplicación de carga (FPFC) en la figura No. 3 entrando a la misma con 414,000 como ordenada, hasta la línea diagonal y lea el FPFC = 1 en la abscisa.

B. Cálculo del espesor del pavimento, usando materiales convencionales.

a. Determine el Número de Proyecto (NP) de la subrasante existente, mediante el paso 2 del procedimiento (Capítulo II), en donde para el Índice de Plasticidad de 40 corresponde un NP de 1.5.

b. Para determinar el espesor, en la figura No. 2 ponga el NP de la subrasante de 1.5 y encuentre la intersección de la curva PDDCPR de 3.6 Ton. (8,000 lbs.) (que es la más cercana a 2.27 Ton. (5 kip) PDDCPR (dado antes) y por último lea la ordenada de 36 cms. (14 in.).

c. Divida 36 cms. (14 in.) por el (FPFC) de 0.65 dado en la tabla de la figura No. 2 para la curva de tránsito ligero usado:

$$\frac{36}{0.65} = 55 \text{ cm.}$$

d. Multiplique 55 cms. (21.6 in) por el factor mínimo de proyecto por frecuencia de aplicación de carga (FPFC) de 1, obtenido en el párrafo A (b)

anterior y entonces por $\sqrt{\frac{2.27}{3.6}}$ para obtener 44 cms.

(17 in.), lo que representa el espesor de la subbase granular, base y concreto asfáltico. (Asumiendo que no se garantiza ninguna reducción por esfuerzo de la tensión de la carpeta asfáltica).

e. De la figura No. 6 determine el espesor mínimo de la carpeta asfáltica necesaria, se usa 414,000 NEE 8.2 Ton. = 4 cm (1.5 in.) Substrayendo este valor de 44 cms. (17 in.) nos deja un espesor de 40 cm. (15.5 pulgadas) de subbase y base para obtener baja resistencia a la tensión. Una buena combinación sería poner 23 cms. de subbase graduada con NP mayor que 10; 17 cm de base de grava grado 1, más 4 cm de carpeta de concreto asfáltico.

C. Cálculo del espesor del pavimento, usando estabilización con cal en la subrasante.

a.- Determine el esfuerzo de la capa estabilizada con cal usando la figura No. 4. Dado que se usará una capa de 15 cm (6 pulgadas), $St = 1$. Por lo tanto el esfuerzo a la tensión modificado es igual a $.72 \text{ kg/cm}^2$ (10 psi).

b).- Use la figura No. 5 y colocando $.72 \text{ kg/cm}^2$ (10 psi) como abscisa y 44 cm (17 pulgadas) como ordenada, se determina una reducción de espesor de 11 cm (4.2 pulgadas). Multiplicando este valor por un valor de seguridad de 0.75 obtendremos

una reducción de 8 cms. (3 pulgadas) y substrayendo esto de 44 cms. (17 pulgadas) da 36 cm (14 pulgadas), de subbase, base y carpeta necesarias ó 32 cm (12.5 pulgadas) de subbase y base, después de quitar la carpeta asfáltica de 4 cm (1.5 pulgadas). En este caso una buena combinación, será de 15 cms. (6 pulgadas) de subrasante estabilizada con cal, 17 cm (6.5 pulgadas) de base con material grado 1 y 4 cms. (1.5 pulgadas) de carpeta asfáltica.

En este ejemplo, los 15 cm. (6 pulgadas) de subrasante estabilizada, reemplazan a los 23 cms. (9 pulgadas) de subbase granular, permaneciendo iguales la base y la carpeta.

EJEMPLO No. 3

Tipo de servicio

Calle con tránsito pesado, carretera ó libramiento en zonas urbanas largas.

1.- Datos y requisitos.

Tránsito.- PDDCPR = 7711.1 kg (17000 lbs), y el número de repeticiones de cargas en ejes equivalentes a 8.2 Ton. (NEE) = 9000000, determinado por el análisis del tránsito completo (como se indica en la figura 9).

Tipo de subrasante.- Suelo arcilloso con valor de R de 27.

Tipo de subbase.- Tendrá un valor de proyecto (NP) mayor de 10. Podrá ser grava de la zona ó subrasante estabilizada con cal hidratada. En el laboratorio se

determinó que el suelo estabilizado con cal tiene un valor de cohesiómetro de 680, que corresponde a una resistencia a la tensión de $680/645.23 = 1.05$ kg/cm² (15 psi = 680/45.36).

Tipo de base.- Grava triturada de grado 1.

Tipo de carpeta asfáltica.- Concreto asfáltico con valor del cohesiómetro de 650 que corresponde a un esfuerzo a la tensión de 1.01 kg/cm² (14.3 psi).

2. Solución para el espesor del pavimento.

A. Análisis del Tránsito.

a). Determine el factor mínimo de proyecto por frecuencia de aplicación de carga, en la figura 3. En la ordenada con el valor de 9000000 de aplicación de carga de ejes equivalentes, siguiendo horizontalmente hasta cortar la diagonal y luego verticalmente hasta cortar la diagonal y luego verticalmente desde este punto hasta cortar el eje de las abscisas se determina el factor de 1.35.

B. Cálculo del espesor del pavimento, usando materiales convencionales.

a).- Se determina para la subrasante el número de proyecto (NP) en la figura 1, para un valor R de 27 y se obtiene NP = 3.

b).- Para determinar el valor total del espesor del pavimento, entrando en la figura 2 con NP = 3 y encontrando en la intersección con la curva para el promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesadas de 6.8 Ton. (15 kips) que es el valor más cercano a 7.7 Ton. (17 kips) dado,

se leen en el eje de las ordenadas 69 cm (27 pulgadas).

c). Divida 69 cm (27 pulgadas) entre el coeficiente de seguridad por frecuencia de aplicación de carga de 1.25 dado en la tabla de la figura 2 para la curva de tránsito pesado, $69 \div 1.25 = 55$ cm ($27 \div 1.25 = 21.6$ pulgadas).

d). Multiplique 55 cm (21.6 pulgadas) por 1.35 obtenido en la figura 3 como se determinó anteriormente en A (a) y luego por

$$\sqrt{\frac{7.7}{6.8}} = 79 \text{ cm}$$

$$(21.6 \times 1.35) \sqrt{\frac{17000}{15000}}$$

= 31 pulgadas) que es el espesor que proporciona los esfuerzos de tensión menores a los que requiere el material, sin hacer la reducción del espesor de la carpeta asfáltica requerida para soportar el tránsito pesado.

e).- En la figura 6 se determina 11.5 cm (4½ pulgadas) para el espesor mínimo de concreto asfáltico que se requiere de acuerdo con 9000000 de tránsito acumulado en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

C.- Cálculo del espesor del pavimento.

a).- Se determina el esfuerzo a la tensión modificada de la estabilización con cal y de la carpeta asfáltica, suponiendo que la capa estabilizada será de 23 cm (9 pulgadas) y el espesor de carpeta asfáltica de 11.5 cm (4½ pulgadas). En la figura 4 se obtiene el factor de modificación St de resistencia a la tensión para

capa estabilizada con cal de 23 cm (9 pulgadas) de 2, así la resistencia a la tensión modificada es de $2 \times 1.05 = 2.1 \text{ kg/cm}^2$ ($2 \times 15 = 30 \text{ psi}$). Si para 11.5 cm ($4\frac{1}{2}$ pulgadas) de espesor de carpeta es de 2.1 por lo tanto el esfuerzo a la tensión modificado para la capa de asfalto es de $2.1 \times 1.01 = 2.1 \text{ kg/cm}^2$ ($2.1 \times 14.3 = 30 \text{ psi}$).

b) Entrando en la figura 5 con un valor de 79 cm (31 pulgadas) en la ordenada y 2.1 kg/cm^2 (30 psi) de resistencia a la tensión en las abscisas (el cual puede influir en cualquiera de las capas de subrasante estabilizada con cal o en la carpeta asfáltica, pero nunca en las dos). Se obtiene un valor de reducción de 30.5 cm (12 pulgadas) aplicando el coeficiente de seguridad 0.75 se obtienen 23 cm (9 pulgadas) de reducción y restándolos de 79 cm (31 pulgadas) resultan 56 cm (22 pulgadas) de espesor de subbase, base y carpeta asfáltica necesarios (o 44.5 cm (17 pulgadas) de subbase y base después de reducir 11.5 cm ($4\frac{1}{2}$ pulgadas) de carpeta asfáltica como se determinó en el párrafo B (e) anterior.

Si no se usa la subrasante estabilizada, un proyecto factible es construir 23 cm (9 pulgadas) de subbase de grava de río, 22 cm (8.5 pulgadas) de base grado 1 de grava triturada y 11.1 cm ($4\frac{1}{2}$ pulgadas) de carpeta asfáltica. Empleando en el proyecto la capa subrasante estabilizada con cal, ésta puede substituir a la capa de subbase centímetro por centímetro y la capa de la base será del mismo espesor. Dado que la posible reducción de espesor

puede atribuirse a la mezcla asfáltica, no se puede admitir que el tratamiento con cal no se necesita porque en adición para formar 23 cm (9 pulgadas) de esta estructura, se necesita una capa de alta resistencia.

EJEMPLO No. 4

Tipo de Obra: Area de estacionamiento para equipo pesado.

1. Datos y requisitos ó especificaciones.

Tránsito mediano a ligero.

Tipo de subrasante. Suelo arcilloso con 3.0 de VRS (CBR).

Tipo de subase. Deberá tener un número de proyecto (NP) mayor de 10. El suelo estabilizado con cal tiene un valor de cohesímetro de 540 o una resistencia a la tensión de $540 \div 645.73 = .84 \text{ kg/cm}^2$ ($540 \div 45.36 = 12 \text{ psi}$).

Tipo de base. Grado 1 de piedra triturada.

Tipo de carpeta asfáltica.- Ligera.

2. Solución para el espesor del pavimento.

A. Análisis del tránsito.

a).- En la tabla de la figura 2 se obtiene para un tránsito ligero el promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesadas de 4.1 Ton. (9000 libras) y un número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton. (18000 lb) por eje sencillo de 250000.

b).- Con 250000 ejes sencillos equivalentes a 8.2 Ton. se ob-

tiene un factor de proyecto por frecuente de aplicación de carga de 0.95.

B. Cálculo del espesor del pavimento usando materiales convencionales.

a).- En la figura 1, para un VRS (CBR) de 3 se obtiene un número de proyecto de 2.8.

b).- En la figura 2 se obtiene el espesor mínimo del pavimento de 42 cm (16.5 pulgadas) para un número de proyecto de 2.8 y un tránsito medio a ligero.

c).- Dividiendo 42 cm (16.5 pulgadas) entre el factor de proyecto de frecuencia de aplicación de carga de 0.95 se obtiene 44 cm (17.5 pulgadas) y multiplicando este valor por el factor de frecuencia por aplicación de carga de la figura 3, se obtienen 42 cm (16.5 pulgadas) (los factores de corrección se anulan).

d).- El espesor de carpeta asfáltica que se requiere de acuerdo con la figura 6 es de 3 cm (1.25 pulgadas) basándose en un tránsito equivalente de 250000 ejes sencillos de 8.2 Ton.

Entonces el espesor de las capas de subbase y base es de 39 cm (15.25 pulgadas). Una buena combinación será 24 cm (9.5 pulgadas) de subbase y 15 cm (6 pulgadas) de base con 3 cm (1.25 pulgadas) de carpeta de mezcla asfáltica en caliente.

C. Cálculo del espesor del pavimento, usando una capa estabilizada con cal.

a). Para 15 cm (6 pulgadas) de espesor de capa estabilizada con cal, $St = 1$ (ver figura 4) entonces el esfuerzo modificado a la tensión es de 0.84 kg/cm^2 (12 psi).

b). En la figura 5 entre 42 cm (16.5 pulgadas) y 0.84 kg/cm² (12 psi) y se obtiene 12 cm (4.6 pulgadas) de reducción. Multiplicando por el factor de seguridad de 0.75 se obtienen 9 cm (3.5 pulgadas) de reducción para el espesor mínimo del pavimento de 33 cm (13 pulgadas) Una buena solución puede ser 15 cm (6 pulgadas) de subrasante estabilizada con cal, 15 cm (6 pulgadas) de base de grado 1 de piedra triturada y 3 cm de (1.25 pulgadas) carpeta de mezcla asfáltica en caliente.

c). Si se utiliza una capa de 23 cm (9 pulgadas) de espesor de suelo estabilizado con cal, se obtiene un factor de 2 (ver figura 4), obteniendo una resistencia modificada a la tensión de $2 \times 0.84 = 1.68 \text{ kg/cm}^2$ (24 psi).

Para determinar la reducción se entra en la figura 5 con 42 cm (16.5 pulgadas) y 1.68 kg/cm² (24 psi) para obtener 13.5 cm (5.3 pulgadas) de reducción en el espesor, obteniendo un valor de 10 cm (4 pulgadas) después de aplicar el coeficiente de seguridad de 0.75. Entonces el valor total del espesor quedará de 32 cm (12.5 pulgadas). Una solución sería 23 cm (9 pulgadas) de subrasante estabilizada 6 cm (2.5 pulgadas) de base de piedra triturada (o su equivalente) y luego 3 cm (1.25 pulgadas) de carpeta asfáltica).

En resumen: Usando materiales sin estabilizar.

3 cm (1.25 pulgadas) de carpeta asfáltica.

15 cm (6 pulgadas) de base triturada.
24 cm (9.5 pulgadas) de subase de grava.

42 cm (16.75 pulgadas) Total.

Con subrasante estabilizada con cal.

3 cm (1.25 pulgadas) carpeta asfáltica.
15 cm (6 pulgadas) de base triturada.
15 cm (6 pulgadas) de subrasante.

33 cm (13.25 pulgadas) Total

3 cm (1.25 pulgadas) carpeta asfáltica.
6 cm (2.5 pulgadas) de base triturada.
23 cm (9. pulgadas) de subrasante.

32 cm (12.75 pulgadas) Total

EJEMPLO No. 5

Tipo de Obra: Camino rural o calle residencial con bajo tránsito.

1.- Datos y requisitos ó especificaciones.

Tránsito. Muy ligero; 2.7 Ton. (6 kips) de promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesados.

Tipo de subrasante. Suelo arcilloso de muy mala calidad (índice plástico de 35).

Tipo de subase. Deberá tener más de 10 de Número de proyecto. El suelo estabilizado con cal tiene un valor de cohesiómetro de 450 o una resistencia a la tensión de 0.703 kg/cm² (10 psi).

Tipo de base. Grado 1 de piedra triturada.

Tipo de carpeta asfáltica Ligera.

2. Solución para el espesor del pavimento.

A. Análisis del tránsito.

a). En la figura 7 se obtiene 250 de tránsito promedio diario anual para 2.7 Ton. (6 kips) promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesados. El tránsito total para una vida útil de 20 años será $250 \times 365 \times 20 = 1825000$.

b). Para determinar la carga equivalente (Fig. 9) basándose en el tránsito que circulará compuesto por 90% de automóviles de pasajeros y 10% de camionetas y camiones será:

$$1825000 \times 0.90 \times 0.008 = 1314 \text{ automóviles}$$

$$1825000 \times 0.10 \times 0.069 = 12592 \text{ para camiones}$$

13906 ejes sencillos equivalentes a 8.2 Ton. (18 kips)

c). Con 13906 ejes equivalentes

a 8.2 Ton. (18000 libras) se obtiene 0.64 de factor mínimo de proyecto de frecuencia de aplicación de carga (Figura 3).

B. Cálculo del espesor del pavimento usando materiales convencionales.

a). Con índice plástico (IP) de 35 se obtiene el número de proyecto de 1.5 de acuerdo con el párrafo 2 del capítulo 2, que corresponde a un VRS (CBR) de 2 que se obtiene de la figura 1-A.

b). En la figura No. 2., entrando con el número de proyecto de 1.5 intersectando la curva de tránsito ligero, que corresponde a lo más próximo de las condiciones dadas, se obtienen 36 cm (14 pulgadas) de espesor necesario.

c). Dividiendo 36 cm (14 pulgadas) entre el factor de frecuencia de carga de 0.65 obtenido en la figura 2 se obtienen 55 cm (21.6 pulgadas).

d). Multiplicando 55 cm (21.6 pulgadas) por 0.64 obtenido en el párrafo A (c) anterior y multiplicado por

$$\sqrt{\frac{2.7}{3.6} \left(\sqrt{\frac{6000}{8000}} \right)}$$

se obtienen 30.5 cm (12 pulgadas) necesarias de subbase, base y carpeta asfáltica.

e). En la figura 6 basándose en un tránsito ligero de 13906 de ejes equivalentes a 8.2 Ton. (18000 libras), se comprueba que una carpeta de un riego es adecuada para este tránsito.

Una proposición para el espesor del pavimento sería subbase de material granulado de 15 cm (9 pulgadas), 15 cm de base con piedra triturada y una carpeta asfáltica de un riego.

C. Cálculo del espesor del pavimento usando subrasante estabilizada.

a). Entrando en la figura 5 con 30 cm (12 pulgadas) de espesor necesario (obtenido en el párrafo B(d) anterior) y 0.703 kg/cm² (10 psi) de resistencia a la tensión del suelo estabilizado con cal se obtienen 5 cm (2 pulgadas) de reducción del espesor. Multiplicando por el factor de seguridad de 0.75 se obtiene una reducción del espesor de 3 cm (1.5 pulgadas) quedando un espesor total de 27 cm (10.5 pulgadas). En la figura 5 se nota que para pavimentos delgados como el del ejemplo, 5 cm (2 pulgadas), de reducción se aplican para todas las resistencias a la tensión del suelo mayores de .63 kg/cm² (9 psi).

b). Para este caso el proyecto podrá ser 15 cm (6 pulgadas) de suelo de subrasante estabilizado (como subbase) y 12 cm (4.5 pulgadas) de base de grado 1 con material pétreo triturado y una carpeta asfáltica de un riego. Por lo tanto, la subrasante estabilizada substituye a 9 cm la capa de subbase y a 3 cm de base (1.5 pulgadas).

EJEMPLO No. 6

Tipo de Obra: Carretera de primer orden con tránsito pesado.

1. Datos y requisitos.

Tránsito. Promedio diario de las 10 cargas por rueda más pesados de 6804 kg (15000 libras), determinado por aforo de tránsito.

— Subrasante. Suelo limoso con arcilla y un índice plástico de 10 a 12 y VRS (CBR) de 5.

— Subbase. Deberá tener NP mayor de 10. Puede ser grava triturada o suelo natural estabilizado con cal.

El valor de cohesiómetro es de 690 que corresponde a una resistencia a la tensión de 1.07 kg/cm² (15 psi).

— Base. Grado 1 de piedra triturada ó como alternativa una capa de grava estabilizada con cal y ceniza volátil.

— Carpeta. Concreto asfáltico con un valor de cohesiómetro de 250 equivalente a una resistencia a la tensión de .387 kg/cm² (5.5 psi) = 250 ÷ 45.36).

2. Solución para el proyecto del espesor del pavimento.

A. Análisis del Tránsito.

a). Usando la curva de tránsito pesado como se indica en la tabla de la figura 2 para el promedio diario de las 10 cargas por eje más pesadas de 6.8 Ton. (15 kips) se obtiene un número de ejes acumulados equivalentes a 8.2 Ton (18000 libras) de 4000000 y un factor de proyecto por frecuencia de aplicación de la carga igual a 1.25 (En la figura 3 se obtiene inclusive un factor mínimo por frecuencia de aplicación de carga de 1.25 para una tránsito acumulado de 4000000 de ejes sencillos de 8.2 Ton. (18000 libras) entonces los dos factores se anulan, por lo cual no es necesario hacer ajuste por este concepto).

B. Cálculo del espesor del pavimento usando materiales convencionales.

a). De la figura 1 con VRS (CBR) de 5 se obtiene un número de proyecto igual a 4.

b). Entrando con 4 de número

de proyecto en la figura 2 hasta la intersección con la curva de tránsito pesado se obtienen 54 cm (21 pulgadas) de espesor necesario para obtener baja resistencia a la tensión en los materiales si el espesor de la carpeta es el adecuado.

c). En la figura 6 se obtiene que el espesor de la carpeta es de 9 cm (3.5 pulgadas), basándose en un número de ejes acumulados de 4000000 de ejes sencillos de 8.2 Ton.

d). Para determinar la reducción del espesor por la influencia de 9 cm (3.5 pulgadas) de carpeta asfáltica, primero determinamos la resistencia modificada a la tensión, multiplicando la resistencia a la tensión de .387 kg/cm^2 (5.5 psi) por St de 1.25 obtenido en la figura 4 resultando .48 kg/cm^2 (7 psi).

e). Entrando en la figura 5 con el valor modificado de la resistencia a la tensión de .48 kg/cm^2 (7 psi) y un espesor de 54 cm (21 pulgadas) se obtiene una reducción de 10 cm (4 pulgadas) y multiplicando por el factor de seguridad de 0.75 se obtienen 7.5 cm (3 pulgadas) de reducción haciendo un total de 46.5 cm (18 pulgadas).

Una buena combinación de espesores de capas de pavimento será 20.5 cm (8 pulgadas) de subbase 17.0 cm (6.5 pulgadas) de base de grado 1 de piedra triturada y 9 cm (3.5 de carpeta).

C. Cálculo del espesor del pavimento usando materiales estabilizados.

a). Para 15 cm (6 pulgadas) de subrasante estabilizada con cal St = 1 (ver figura 4).

Entonces la resistencia modificada a la tensión es igual a 1.07

kg/cm^2 (15 psi) determinada igual que como se hizo anteriormente.

b). En la figura 5 entramos con 54 cm (21 pulgadas) y 1.07 kg/cm^2 (15 psi) para encontrar una reducción de 16.5 cm (6.5 pulgadas) y multiplicando este valor por el factor de seguridad de 0.75 se obtiene una reducción del espesor de 16.5×0.75 cm (5 pulgadas). Con lo que se obtendrá un espesor total de 41.1 cm (16 pulgadas) (32 cm (12.5 pulgadas) para subbase y base).

c). Una buena solución sería 15 cm (6 pulgadas) de subrasante estabilizada con cal 17.0 cm (6.5 pulgadas) de base de grado 1 de piedra triturada o una base estabilizada equivalente y 9 cm (3.5 pulgadas) de concreto asfáltico. Comparando los dos proyectos indicados anteriormente, se observa que los 15 cm de subrasante estabilizada con cal equivalen a 20 cm de subbase.

En resumen: Sin estabilizar

9 cm (3.5 pulgadas) de concreto asfáltico.

16.5 cm (6.5 pulgadas) de base de piedra triturada.

20.0 cm (8.0 pulgs.) de subbase.

45.5 cm (18 pulgadas) Total.

Con estabilización.

9 cm (3.5 pulgadas) de concreto asfáltico.

17.0 cm (6.5 pulgadas) de base de piedra triturada o equivalente.

15 cm (6.0 pulgadas) de subrasante estabilizada.

41 cm (16.0 pulgadas) Total.

La estabilización del material base con cal y ceniza volátil usa, garantizando una gran reducción en el espesor, porque se producen fuertes resistencias en este material.

Capítulo IV

COMENTARIOS

Para explicar más efectivamente, los métodos usados en el Capítulo No 2, es preferible discutir los pasos de procedimientos dados en el orden que se presentaron. (Se dan abundantes referencias bibliográficas y resultados experimentales para avalar este trabajo).

Determinación de la Resistencia de Subrasante.

En este procedimiento el primer paso es determinar la resistencia de la subrasante, usando ya sea el Valor Relativo de Soporte, Valor de R, o la Clasificación Triaxial. Cuando estos valores no se conocen o no se pueden obtener, generalmente se usan algunas constantes del suelo, como el Índice de Plasticidad, siempre y cuando se haga en forma conservadora.

Correlación de Pruebas.

En la figura No. 1 se correlacionan los valores de las tres pruebas de resistencia y se igualan a un valor común de proyecto (NP). Los antecedentes para establecer las interrelaciones en las tres pruebas al esfuerzo, se originan en las siguientes fuentes:

1. Datos de pruebas obtenidos por varios laboratorios de la WASHO y AASHO, que han sido publicadas por la (Highway Research Board). (1.2) (Se usa el valor de

R, desarrollado por el Departamento de Caminos de California, Clasificación Triaxial del Departamento de Caminos de Texas; Valor relativo de soporte promedio para subrasante de WASHO y valor relativo de soporte del material de la capa subrasante de la AASHO, recomendados por (S) Finn).

2. Relación promedio de valores de VRS a Valor de R, reportados en los datos dados por Kersten (4).
3. Datos informados por Ahlvin (5) relacionando los valores teóricos del valor relativo de soporte a la clasificación triaxial.

Para las pruebas usadas en la figura No. 1, Y que se correlacionan como se indica, las muestras deberán ser saturadas, empapándolas o por adsorción capilar en donde la restricción de los moldes no es un impedimento mayor a la humidificación. Se debe recordar que cuando VRS (CBR) es mayor de 40, su correlación con el valor R o con la Clasificación Triaxial es muy errática. Usando la figura No. 1, primero halle un punto de la línea curvada desde el cual proyectar, si usted introduce un valor triaxial en la escala curva, estará listo para proyectar. Si entra con el VRS (CBR) en el eje de las ordenadas, horizontalmente interseque la línea curvada y está listo para proyectar, si entra con el valor de R en las abscisas, verticalmente interseque

la línea curva y está listo para proyectar. Para seguir adelante de la línea curvada en forma apropiada, proyecte en un ángulo de 45° hasta arriba de la horizontal hasta interceptar la línea diagonal, proceda entonces verticalmente hasta obtener el NP en la parte superior. Para facilidad de uso, la figura 1A presenta esta misma correlación en forma tabular.

La correlación de las constantes del suelo con número de proyecto (NP) se basa en pruebas triaxiales del Departamento de Caminos de Texas. Si los suelos de la capa subrasante son arenosos o granulares y el proyecto es importante, es deseable obtener pruebas de resistencia para complementar los datos y lograr un espesor económico. Basar totalmente el proyecto en las constantes del suelo, no es una buena práctica de diseño, se deben determinar los valores físicos.

Gráfica de espesor Mínimo.

Los pasos 3, 4 y 5, que se refieren a la figura No 2, requieren una explicación extensa. Los pavimentos están sujetos a una variedad infinita de condiciones de carga, por lo que sería imposible establecer todas o casi todas en la figura No. 2. Por lo anterior, se muestran cuatro curvas básicas (10), estas curvas abarcan el rango de los espesores usados generalmente. Estas curvas de espesor mínimo se basan en los que se requieren para clasificaciones triaxiales como lo define el Método de Prueba TEX 117-E del Departamento de Caminos de Texas.

mento de Caminos de Texas (6). Si los primeros 13 a 20 cms. (5 a 8 in.) de pavimento son de material de base no tratado, es muy deseable usar las especificaciones de Texas para material de base flexible grados 1 y 2 (7, 8 y 9) o equivalentes. Usando esta especificación y controlando la producción de agregados con pruebas triaxiales diarias efectuadas en suficiente cantidad, se pueden obtener materiales de muy buena calidad para base, de muchos bancos de aprovisionamiento locales. La única alternativa a este sistema de control por pruebas, es el uso de materiales de comportamiento conocido y que se pueden obtener de bancos homogéneos. El uso de buenos materiales no tratados, como base para vías rápidas, se deben estudiar, a menos que la carpeta sea de 13 cms (5 in.) o más de espesor.

Con relación a la figura No. 2, a continuación se ha incluido la tabla No. 2 como una ayuda, ésta muestra una correlación de espesores mínimos para obtener bajos esfuerzos a la tensión que se requieren en los materiales de subrasante, de acuerdo con los números de proyecto (NP) y para varios Valores Relativos de Soporte, además de incluir varios tipos de tránsito esperados. Note que el rango de espesores varía de un mínimo de 13 cm (5 in.) para una buena subrasante con tránsito ligero, hasta un máximo de 95 cms (37.5 in.) para una subrasante, de baja calidad con tránsito pesado. También debe notarse que el espesor dado se refiere a secciones de pavimento conteniendo capas convencionales (no estabilizadas) para la subase y base cubiertas con una carpeta asfáltica de (4 cms o menos). Si se usa una carpeta asfáltica superior a los 4 cms. de espesor, se puede reducir el espesor total del pavimento usando las figuras 4 y 5, como se muestra en los ejemplos, 1, 3 y

Tabla No. 2. Espesor mínimo de pavimento requerido relacionado el NP, VRS y tipo de tránsito (de la figura No. 2).

No. de Proyecto (Np)	VRS (CBR)	TIPO DE TRÁNSITO							
		Ligero		Medio-ligero		Medio		Pesado	
		cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.
1.5	2.	35.5	14	58.5	23	71	28	95	37.5
2	2.3	33	13	51	20	63.5	25	86.5	34
3	3.5	26.5	10.5	42	16.5	51	20	68.5	27
4	5	21.5	8.5	32	12.5	39.5	15.5	53.5	21
5	7.5	18	7	25.5	10	33	13	44.5	17.5
6	11	16.5	6.5	21.5	8.5	26.5	10.5	37	14.5
8	20	14	5.5	16.5	6.5	20.5	8	26.5	10.5
10	31	13	5	14	5.5	15	6	20.5	8

Con respecto a las cuatro curvas mostradas e la figura No. 2, los pasos 4 y 5 hacen posible calcular el espesor aplicable, multiplicando el espesor original por la raíz cuadrada de la relación de las cargas por rueda consideradas (10, 11 y 12). Esto significa que empleando los pasos 4 y 5, es posible a su vez usar la figura No. 2 como si ésta tuviera un número infinito de curvas de espesor total.

Se hace referencia en los pasos 4 y 5 al uso de los factores de proyecto por frecuencia de carga (FPFC), determinados como se indica en la figura No. 3. Los datos usados para la obtención, como se muestra en la figura, fueron tomados de los informes de Pruebas en Caminos de las Asociaciones WASHO y AASHO (13 y 14) y se explican en un informe separado (8). El proyectista de cualquier sistema de pavimentos de los que se espera resistan repeticiones de cargas, deberá admitir este factor de ajuste, debido a que puede crear

una variación hasta del 100% en pesor entre bajos y altos números de aplicación de carga.

Análisis de Tránsito.

Este folleto utiliza el promedio diario de las diez cargas más pesadas por rueda PDDCPR y el número de aplicaciones equivalentes de ejes sencillos de 8.2 Ton. (18,000 lbs.) (NEE 8.2 T), pero esto no ayudará a los ingenieros que no tienen un analista de tránsito o un estudio de datos para la planeación adecuada. En la ausencia de datos completos de tránsito una forma aproximada es relacionar el tránsito promedio diario (TDPA) al (PDDCPR), como se muestra en la figura No. 7. Esta gráfica es una aproximación basada en datos de estudios para planeación formados en una cantidad de estaciones de aforo, localizadas en carreteras de Texas. El paso siguiente sería introducir en la figura No. 8 el valor del PDDCPR obtenido en la figura No. 7 como ordenada y pro

tar horizontalmente hasta intersectar la curva inferior de la banda, proyecte entonces hacia abajo para leer el NEE 8.2T. Si se desea, es también posible usar la gráfica en forma invertida introduciendo los datos de NEE 8.2T como abscisa y extendiendo la línea a la curva superior de la banda y entonces horizontalmente hasta cortar la ordenada para obtener el PDDCPR (ej. 3'000,000 NEE 8.2T corresponderá a 6,500 kg. PDDCPR, como se ilustra). Es obvio que estas técnicas producen valores conservadores, pero proveen un punto de partida. Note, que en cualquiera de los ejemplos anteriores se tiene que seleccionar la curva que da la carga más alta para el proyecto en consideración, dando un mejor factor de seguridad.

Si se desea un análisis más completo de NEE 8.2T, se debe usar el estudio que recomienda el Departamento de Planeación del Departamento de Caminos de Texas, como se muestra en la figura No. 9. Los factores de equivalencia de 8.2 T (18,000 lb.) se tomaron de las pruebas para caminos de la AASHO, datos reportados por Scrivner an Duzan (15). La tasa de crecimiento anual que se usó fue de 4%. La distribución mostrada en la figura No. 9 fue propuesta por Derdeyn (16) y cuando se considere un número grande de ejes de carga en tandem, el PDDCPR debe ser incrementado multiplicado por 1.003 el porcentaje de ejes en tandem. Esto se hace para dar más seguridad por la carga extra y efectos destructivos de los ejes en tandem.

Reducción del Espesor Debido al Esfuerzo de Tensión

Los pasos 6, 7 y 8 están incluidos en las figuras 4 y 5 y se usan para lograr la reducción en el espesor al introducir materiales estabilizados y/o

concreto asfáltico que contenga una mayor resistencia a la tensión que el material no tratado, porque tienen un efecto de aglutinación permanente. Un sistema de pavimentos es similar a una viga de concreto con la excepción de que la viga está reforzada con varilla para incrementar su resistencia a la tensión. Este refuerzo incrementa la resistencia de la viga de forma tal, que puede soportar cargas mayores por la capacidad de distribuir los esfuerzos de tensión por flexión sobre una mayor longitud de la viga. Una condición similar a esta, pero de menor magnitud, existe en algunos pavimentos en los que se usan materiales con resistencias a la tensión medibles.

Se considera que estos pavimentos, son más que una viga de baja resistencia, la cual deriva parte de su resistencia en el soporte de la subrasante. La capacidad de soporte en la mayor parte de las subrasantes se incrementa con la profundidad; por lo tanto el espesor del pavimento determina los esfuerzos a la tensión que se inducen a los materiales; una gran reducción en espesor se puede obtener cuando se usan materiales con altas resistencias a la tensión. Ambos espesores y características de resistencia a la tensión de los materiales (hasta un cierto máximo), se usan como factores gobernantes con respecto a la reducción del espesor total.

Otra manera de ver este concepto, es considerar que el uso de una capa o capas de materiales con resistencia a la tensión, ayuda a "distribuir" o reducir los esfuerzos cortantes de las cargas de las ruedas. Algunas veces sólo una pequeña reducción en tales esfuerzos puede ser la diferencia entre un pavimento exitoso y uno con fallas.

Este principio de resistencia a la ten-

sión ha sido verificado tanto en la carretera de prueba como en la experiencia práctica (8). Swanson y Thompson (19) mostraron que las mezclas suelo-cal conservan su resistencia a la flexión aún después de aplicadas muchas cargas repetitivas. Las reducciones en espesor sin embargo, no se deberán hacer a menos que se tengan buenos controles de densidad y buenos métodos de curado. Si el contratista usa una capa estabilizada muy delgada, de tal manera que con el equipo de acarreo, durante la construcción se agrieta no podrá obtener ninguna reducción en espesor.

Considerando que se logra una buena construcción, hay algunos factores mayores que afectan la eficacia de reducción del espesor. Estos factores son la resistencia a la tensión de las capas del pavimento el espesor total del pavimento, el tipo de suelo o agregado usado y si se estabiliza con asfalto o colocando un material más rígido, como cal-hidratada o cemento portland.

La figura No. 4 muestra dos curvas para modificar los valores del esfuerzo a la tensión, uno para asfalto y el otro para cal o cemento. La curva para mezclas de asfalto se basa en los datos dados en el método de prueba TEX-117-E para modificación de valores de cohesiómetro (6 y 8). Las curvas para cal y cemento se dibujan en forma similar a la primera curva usando un factor de 1, ya que ha sido probado satisfactoriamente. La curva de asfalto tiene un factor mucho mayor de corrección, pues las mezclas asfálticas en capas delgadas son mucho más flexibles que las que producen capas delgadas de materiales tratados con cal o cemento. Ambas curvas se hacen asintóticas con espesores de 20 a 23 cm., indicando que para espesores grandes,

El factor de corrección S_t no se incrementa. Esto es debido a que las capas inferiores quedan fuera de la zona donde las cargas sobre el camino producen esfuerzos cortantes (10).

Sin embargo, note en la curva de cal-cemento la gran diferencia que existe entre capas con 5 ó 7.5 cm de espesor contra capas de 20 a 23 cm. Comparado con 15 cm., el espesor de 20 a 23 cm tiene un factor de corrección S_t de 2, indicando en el valor de esfuerzo a la tensión puede ser duplicado. Con respecto a la curva de asfalto, nótese que un incremento en el espesor de 7.5 a 11.5 cm duplica el factor de corrección S_f y que otra vez se duplica cuando pasa de 11.5 a 20 cm. Por otro lado, note lo abruptamente que caen los valores de S_t abajo de 15 cm de espesor para cal o cemento o de 7.5 cm de espesor para mezclas de asfalto. Esta debería ser justificación suficiente para no especificar una capa estabilizada con cal menor de 15 cm de espesor, pues carecería de resistencia como viga y por esto no sería costeable especificar un espesor inferior.

Cualquier modificación de esfuerzo a la tensión que no sea el mostrado en la figura No. 4, no es confiable. Si se hacen pruebas de esfuerzo a la tensión en mezclas de asfalto con una relación alta de deformación a la temperatura ambiente (18) en vez de los 60°C normalmente usados en las pruebas, la curva de cal-cemento pudiera ser más efectiva para determinar el S_t para el asfalto.

La figura No. 5 se usa para efectuar el paso 8, para la reducción que se efectuará en los espesores. Esta gráfica es similar a la que aparece en el método de pruebas TEX-117-E (6) y

en el reporte especial HRB 173 (8), pero la figura No. 5, cubre una mayor magnitud de profundidad.

Dado que estas reducciones se basan en datos de proyectos reales en los Estados de la Unión Americana, utilizando controles estrictos de construcción, es deseable reducir estos valores para uso general aplicando un factor de seguridad de 1.33. Esto quiere decir que los valores de producción se dividirán entre 1.33 o multiplicarán por 0.75. El factor de seguridad se consideró necesario al correlacionar este método con los resultados de las pruebas de caminos de la AASHO en donde el cemento o el aditivo asfáltico se usó para mejorar la subbase (8).

Si el equipo de prueba para determinar el esfuerzo a la tensión no se consigue, una estimación razonable se puede obtener para mezclas de cal, multiplicando el esfuerzo a la compresión no confiada por 0.10 Thompson (20) muestra que esta relación de esfuerzos a la tensión contra esfuerzo a la compresión no confiada, varía de 0.10 a 0.15 para mezclas con cal. Los especímenes para el VRS pueden hacerse mayores que las normales, se pueden curar más tiempo (18 días en vez de 4) y probar a la compresión en vez de por penetración, se puede estimar razonablemente el esfuerzo a la tensión.

En relación con la figura No. 5, la tabla No.3 se ha incluido para facilitar su consulta, ilustrando como los espesores de los pavimentos se pueden reducir incrementando el esfuerzo a la tensión a través de estabilización o usando carpetas asfálticas gruesas. Note que la reducción en el espesor permitido, varía hasta un máximo de 42 cm. Sin embargo pa-

ra pavimentos delgados (como de 25 cm) la reducción es solamente de 2.5 independientemente del esfuerzo a la tensión, inclusive si excede de .5624 kg/cm² (8 psi). Como se apuntó antes, en todos los casos los valores de reducción dados en la tabla No. 3 se deben corregir por un factor de seguridad del 75% en el diseño final.

Espesor de la Carpeta.

El paso 10 se refiere a la figura No. 6 para la determinación del espesor de la carpeta asfáltica. Esta tabla se toma del método de prueba TEX-117-E (6). Esta basado en un artículo publicado por el Departamento de Caminos de Texas (17) donde se compraron algunos espesores con clasificación triaxial.

Ejemplos Ilustrativos.

Para hacer siempre la presentación de los ejemplos, ninguno de ellos contiene una situación en donde una subbase de baja calidad (con un NP menor que 10) se coloca sobre una subrasante de muy baja calidad. En tal caso, el diseño del espesor se puede resolver usando el método de una segunda vez, aplicándolo a la resistencia de la subbase de baja calidad en la misma forma en que se le aplique a la subrasante en el primer cálculo. La diferencia entonces al espesor total del pavimento se corrige en ambos cálculos.

Los diseños en el pavimento siempre dependerán del costo de los materiales locales y del contratista que participa en la construcción, además de la calidad de las prácticas de mantenimiento que se usen en el área. En algunas ocasiones el problema de control del tránsito durante el

Tabla No. 3. Reducción permitida del espesor, con relación al esfuerzo a la tensión modificada de una capa estabilizada y/o concreto asfáltico (de la Fig. No. 5)

Espesor*		Reducción permitida en el espesor para los siguiente valores de esfuerzos a la tensión.													
Requerido		0.3515 kg/cm ² (5 psi)		0.703 kg/cm ² (10 psi)		1.0545 kg/cm ² (15 psi)		1.406 kg/cm ² (20 psi)		1.7575 kg/cm ² (25 psi)		2.109 kg/cm ² (30 psi)		2.4605 kg/cm ² (35 psi)	
cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.	cm.	in.
101.60	40	12.5	5	28.0	11	32.0	12.5	35.5	14	38	15	40.5	16	42	16.5
89.0	35	10.0	4	24.0	9.5	28.0	11	30.5	12	33	13	35.5	14	37	14.5
76.0	30	9.0	3.5	20.0	8	24.0	9.5	27	10.5	28	11	30.5	12	32.0	12.5
63.5	25	7.5	3	16.5	6.5	20.0	8	23.0	9	23.0	9	24.0	9.5	25.5	10
50.0	20	7.5	3	12.5	5	15.0	6	18	7	18	7	19	7.5	19	7.5
38.0	15	5.0	2	9.0	3.5	10.0	4	11.5	4.5	11.5	4.5	11.5	4.5	11.5	4.5
25.5	10	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1

* Para materiales de baja resistencia a la tensión (sin estabilizar o para cuando se usan carpetas asfálticas delgadas).

mantenimiento en la reconstrucción es un factor importante al seleccionar la sección de pavimento requerido.

Lista de Referencias.

1. The WASHO Road Test, Par I, Highway Research Board Special Report 18, Apéndice G, Páginas 109-118.
2. J.F. Shook and H. Y. Fang, "AASHO Road Test Coperative Materials Testing Program", Highway Research Board Special Report 66, Páginas 59-100.
3. Frend N. Finn, Pavement Research Forum, Highway Board Special Report 73, Páginas 267-269
4. Miles S. Kersten, Minnesota Highway Department Investigation 183.
5. R.G. Ahlvin, A Discussion of Reference 8, Highway Research Board Bulletin 114, Páginas 14-16.
6. Texas Highway Department, Manual of Testing Procedures, 100-E Series.
7. Texas Highway Department, Standard Specifications for Construction of Highways, Streets, and Bridges, Enero 1972, Páginas 125-134.
8. Chester McDowell, "Road Test Findings Utilized in Analysis of Texas Triaxial Method of Pavement Design", Highway Research Board Special Report 73, Páginas 314-386.
9. Texas Highway Department, Foundations for Pavements and Light Weight Structures, Part I, Artículo 13, Páginas 1-14.
10. Chester McDowell, "Wheel Load Stress Computations Related to the Texas Highway Department Triaxial Method of Flexible Pavement Design", Highway Research Board Bulletin 114, Páginas 1-14.
11. Stuart M. Fergus, A. Discuss on of Reference 8, Highway Research Board Bulletin 114, Páginas 16-18.
12. Texas Highway Department Foundations for Pavements and Light Weight Structures Part I, Artículo 10.
13. The AASHO Road Test, Report 5, Highway Research Board Special Report 61E, Apéndice A.
14. The WASHO Road Test, Part 2, Highway Research Board Special Report 22, Páginas 128.
15. F.H. Scrivner H.C. Fran, Application of AASHO Road Test Equations to Mixed Traffic, Highway Research Board Special Report 75, Páginas 387-392.
16. Conrad J. Derdey, An Evaluation of Traffic for Use in Flexible Base Design, Departmental Research Report No. 62-5, Texas Highway Department, Austin Texas, Páginas 1-77.
17. Texas Highway Department, Foundations for Pavements and Light Weight Pavements, Part I, Artículo 14, Páginas 2-14.
18. Thomas W. Kennedy and W. Ronald Hudson "Application of the Indirect Tensile Test to Stabilized Materials, "Highway Research Record No. 235, Páginas 36-49.
19. T.E. Swanson and Marshall R. Thompson, "Flexural Fatigue Strength of Lime-Soil Mixtures. "Highway Research Record 198, Páginas 9-18.
20. Marchall R. Thompson, "Split Tensile Strength of Lime-Stabilized Soils, Highway Research Record 92, Páginas 69-82.

APENDICE

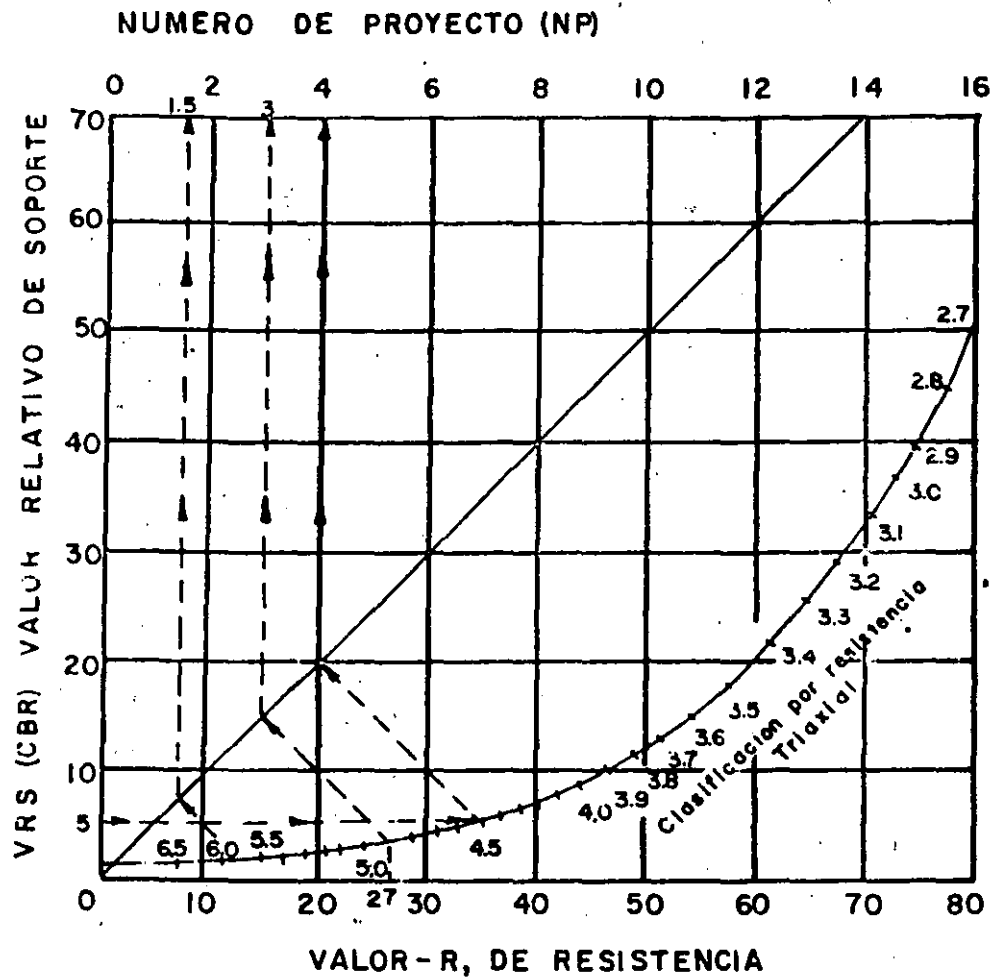


Fig.1 Grafica para obtener el numero de proyecto (NP) a partir de valores de resistencia de los suelos.

VRS (CBR)	CLASIFICACION POR RESISTENCIA TRIAXIAL	VALOR-R	NUMERO DE PROYECTO
1	6.5	8	1
2	5.7	13	1.5
3	5.0	25	2.8
4	4.7	31	3.6
5	4.5	35	4.0
6	4.3	38	4.4
7	4.2	41	4.8
8	4.1	43	5.1
9	4.0	45	5.4
10	3.9	47	5.8
15	3.6	55	7.0
20	3.4	60	8.0
25	3.3	65	9.0
30	3.2	68	9.8
31	3.15	69	10.0
35	3.0	72	10.7
40	2.9	75	11.6

Fig. I-A- Correlacion entre VRS (CBR) clasificación por resistencia triaxial, Valor de R y numero de proyecto.

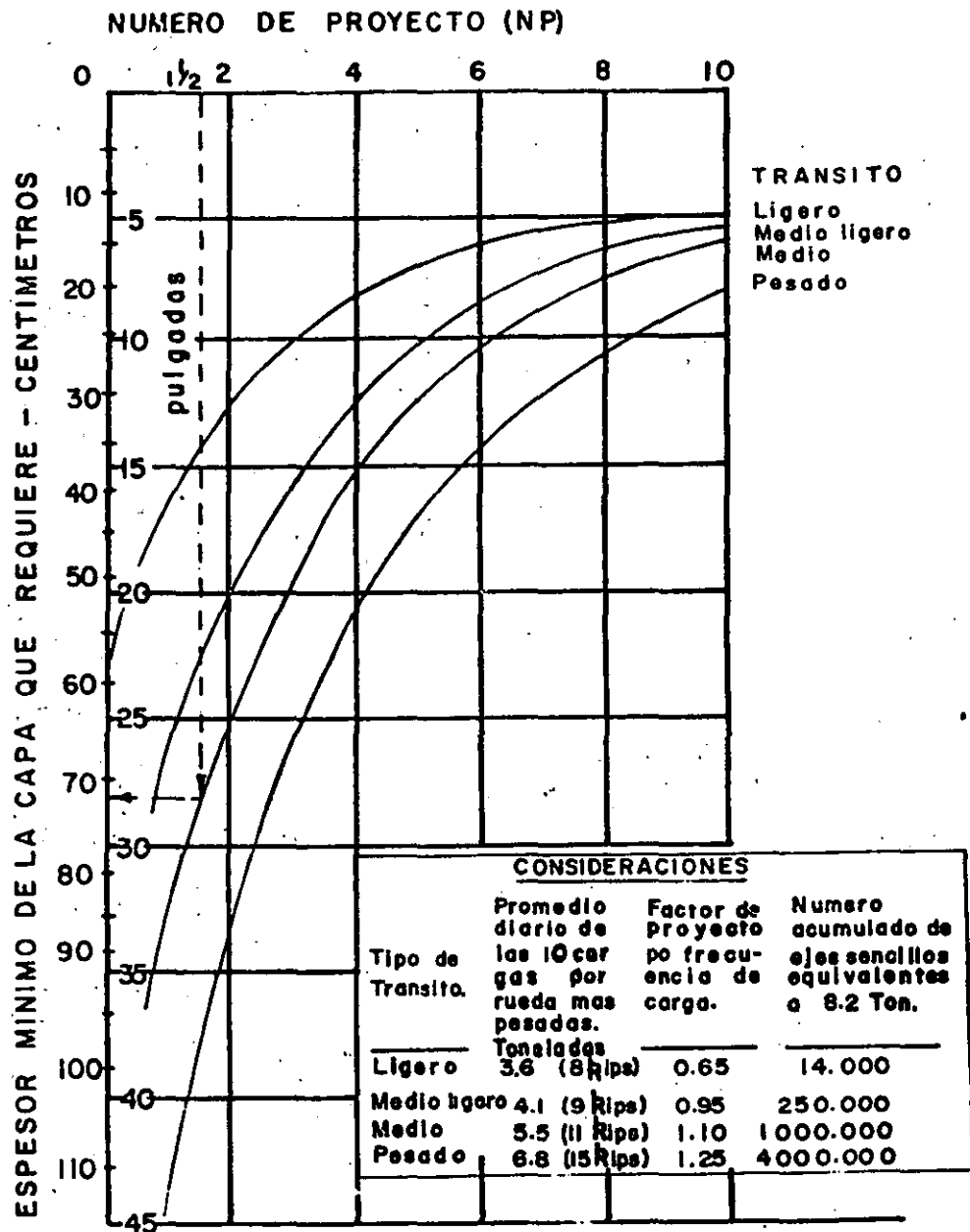


Fig. 2 Determinación del espesor mínimo de la capa que se requiere, tomando en cuenta el NP del material en que se apoyara y a las condiciones del trabajo.

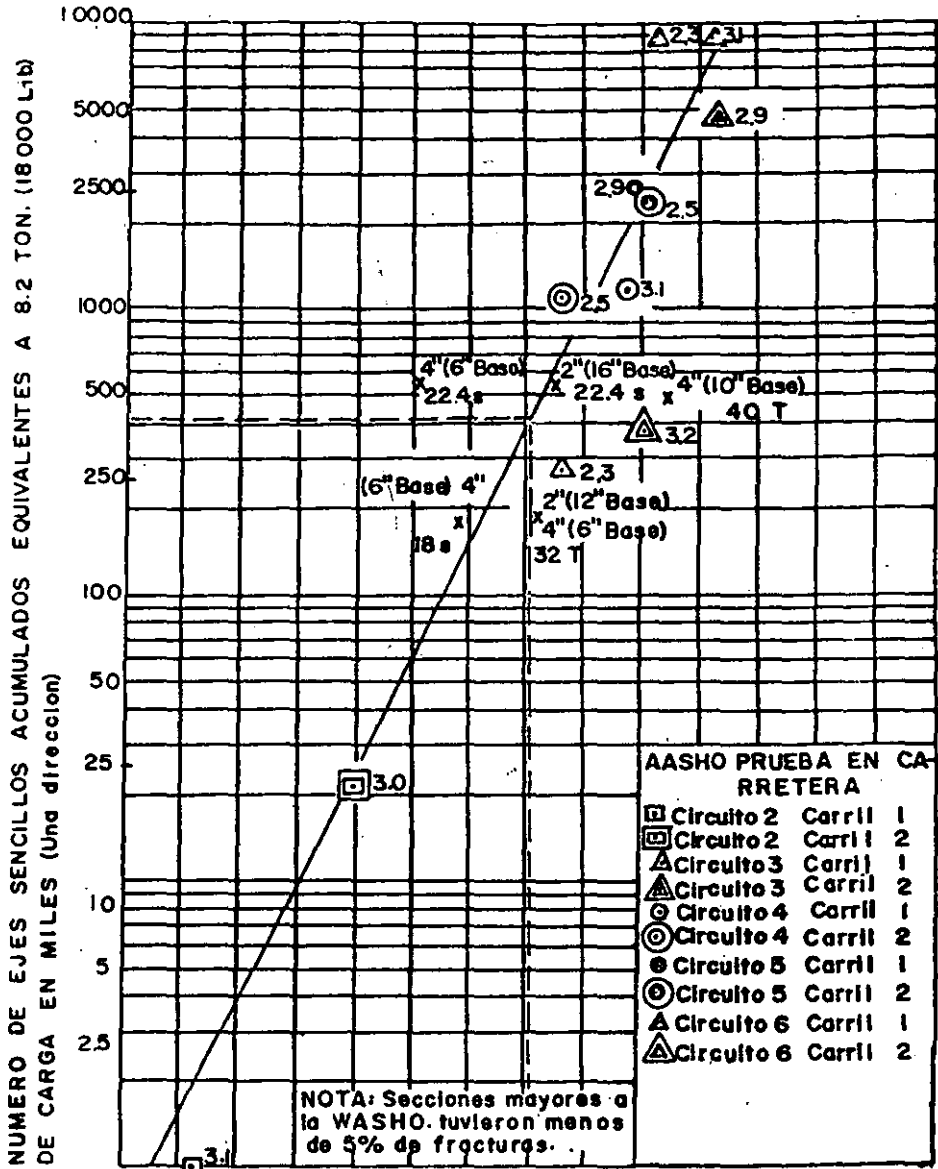


Fig. 3 FACTOR MINIMO DE PROYECTO POR FRECUENCIA DE APLICACION DE LA CARGA EN SECCIONES BUENAS

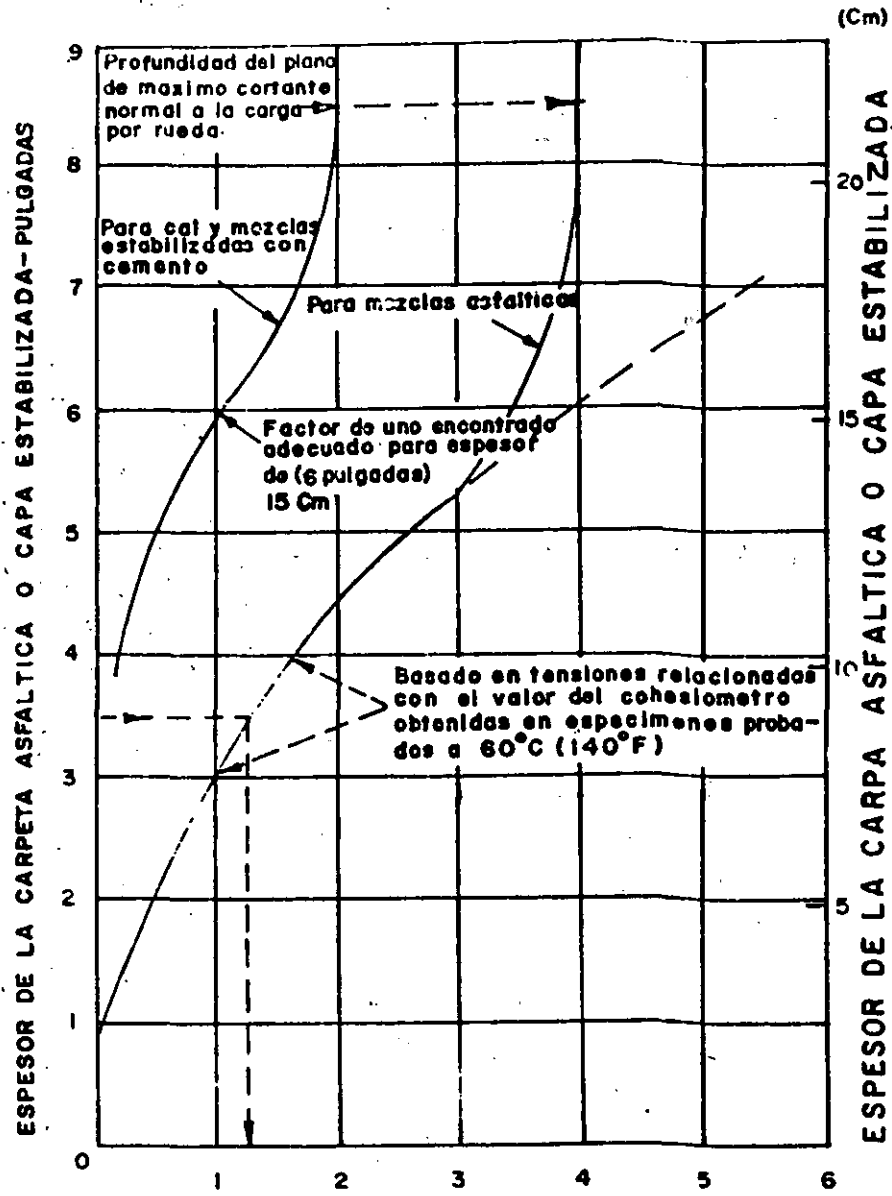


Fig. 4 FACTOR DE MODIFICACION, S_1 POR RESISTENCIA A LA TENSION

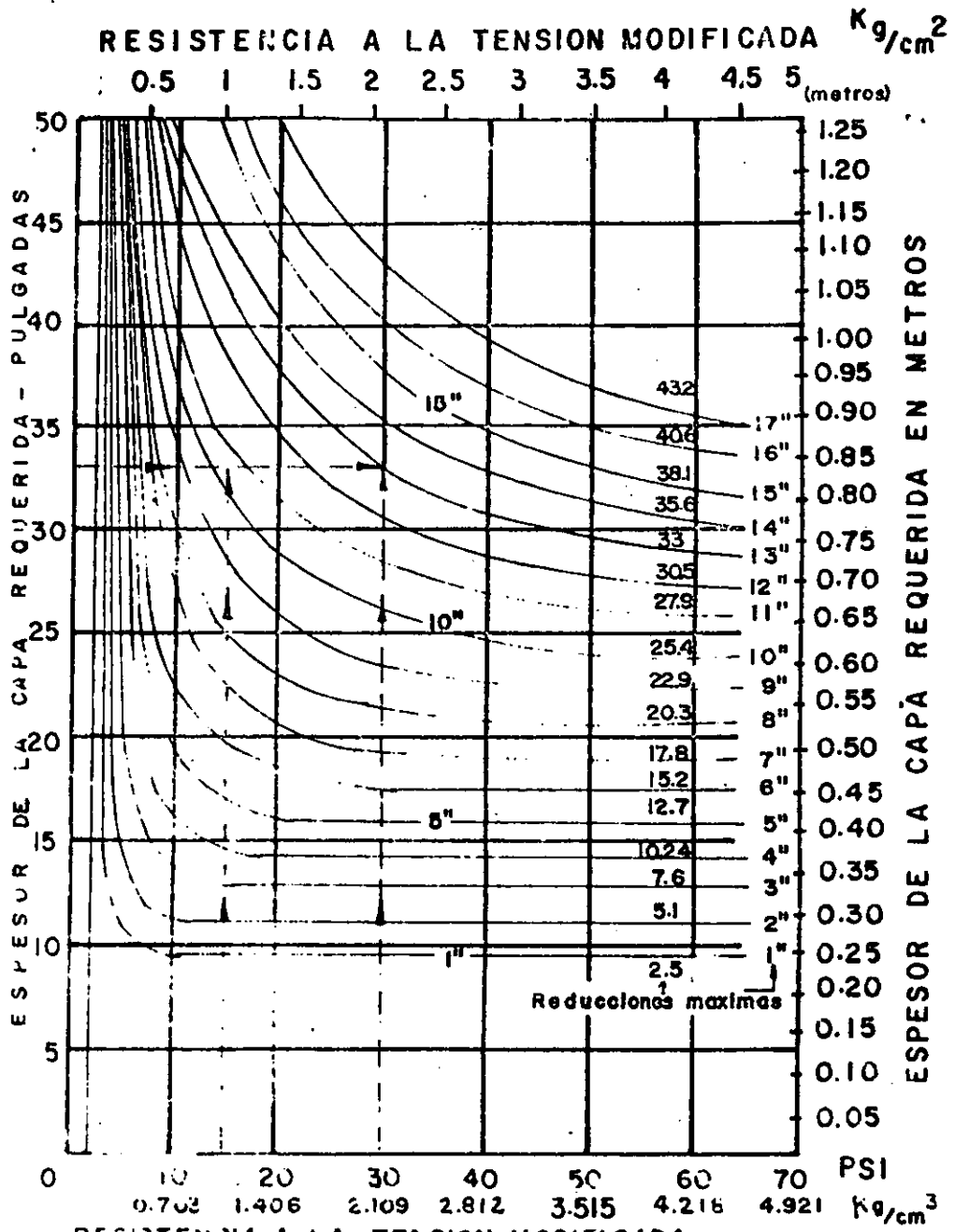


Fig.5 Grafica de reducción del espesor del pavimento.

Aplicaciones usuales de los ejes sencillos equivalentes a 8163 Kg (18 000 lb)

cuanto las siguientes muestras materiales que tienen grados de especificación de materiales de base

	Grado 1		Grado 2		Grado 3	
	ST	ST	ST	ST	ST	ST
14 000						
25 000						
36 000						
61 000						
100 000						
150 000						
250 000	1- $\frac{1}{4}$ (3.17)		2 (5.08)		1- $\frac{1}{2}$ (3.8)	
400 000	1- $\frac{1}{2}$ (3.81)		2- $\frac{1}{4}$ (5.71)		2- $\frac{1}{2}$ (5.33)	
600 000	1- $\frac{3}{4}$ (4.44)		2- $\frac{1}{2}$ (5.33)		3 (7.62)	
1 000 000	2 (5.08)		3 (7.62)		4 (10.16)	
1 500 000	2- $\frac{1}{2}$ (5.33)		3- $\frac{1}{2}$ (8.89)		4- $\frac{1}{2}$ (11.43)	
2 000 000	3 (7.62)		4 (10.16)		5- $\frac{1}{2}$ (13.97)	
4 000 000	3- $\frac{1}{2}$ (8.89)		4- $\frac{1}{2}$ (11.43)		6 (15.24)	
10 000 000	4- $\frac{1}{2}$ (11.43)		5- $\frac{1}{2}$ (13.97)		7 (17.78)	

Se recomienda para uso, excepto donde la disponibilidad de bases sea muy pobre.

El material en cuestión no es mejor que el grado mostrado.

Es un Esquema de materiales de bajo cohesión.

ST Tratamientos superficiales.

Estepa de construcción permitida si los estudios de tráfico

síte indican bajo número de aplicaciones acumuladas

de ejes sencillos equivalentes a 8163 Kg (18 000 lbs)

Fig. 6 ESPESOR DE CARPETA SUGERIDOS - PULGADAS (CM)

APLICABLE SOLAMENTE PARA CAMINOS Y CALLES.
NO ES APLICABLE PARA ESTACIONAMIENTOS, AEROPUERTOS, ETC.

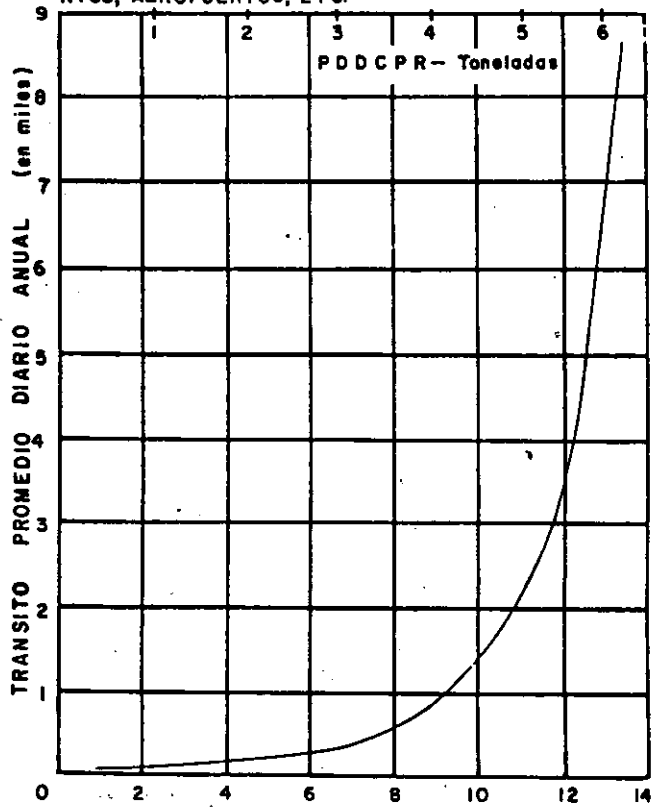


Fig. 7 A.D.T.H.W.L. - Kips

RELACION DE P.D.C.P.R A NUMEROS DE APLICACIONES DE CARGA EN EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 18.000 LIBRAS PARA UN PERIODO DE 20 AÑOS

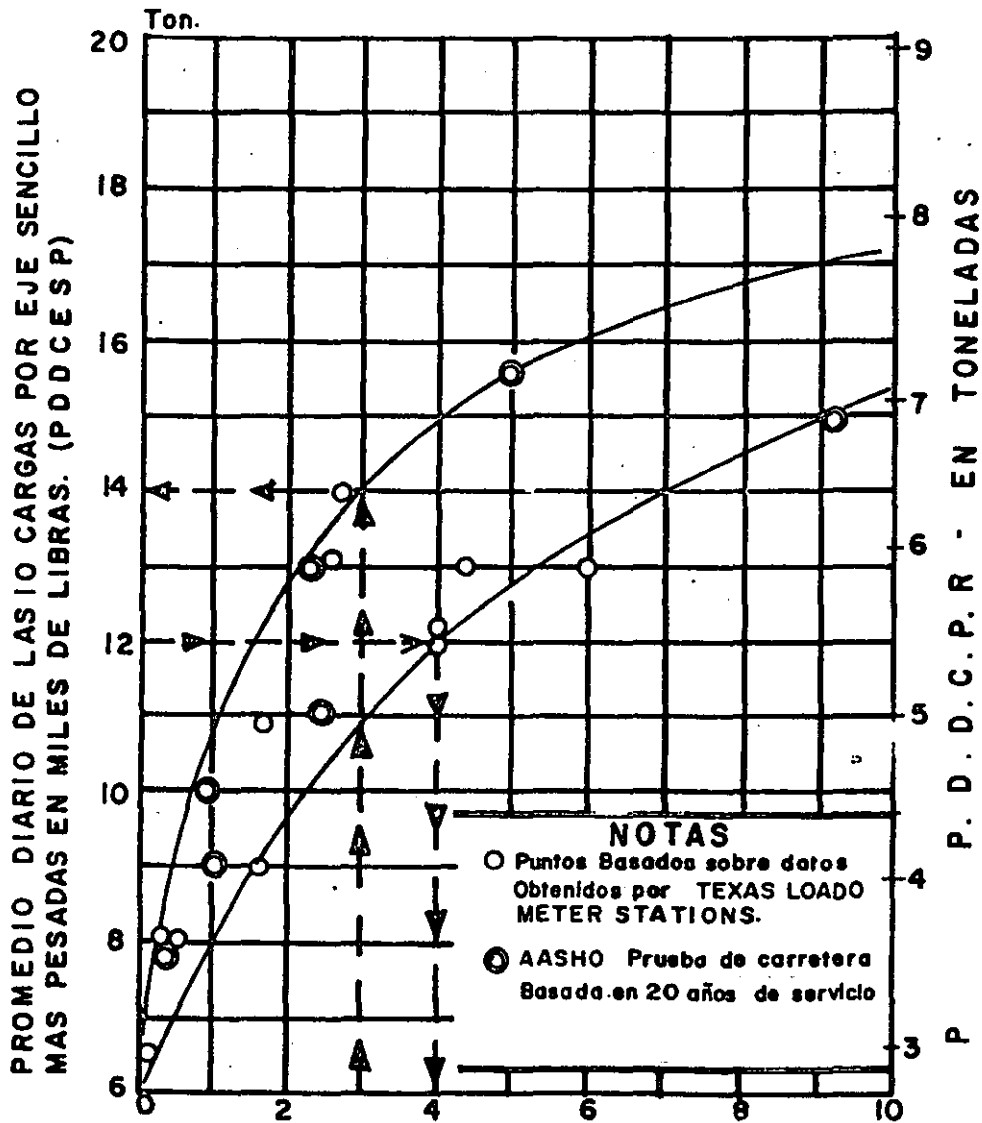


Fig8 Numero de ejes equivalente a eje sencillo de 8.2 toneladas (una direccion) Aplicacion en millones.

FIGURA No. 9

Departamento de carreteras de Texas, Análisis del tránsito para el proyecto de carreteras

A. Identificación _____ Fecha _____
 Municipio _____ Carretera _____
 Estación de aforo (s) Referencia _____
 Promedio de tránsito diario inicial _____
 Proyecto No. _____

B. Datos Geométricos.

1961 TPDA = 4720% de camiones 24.23% Vehículos pesados para el carril de proyecto 12% del TPDA
 1981 TPDA = 25000% de camiones 24.23% Vehículos pesados para el carril de proyecto 12% del TPDA

C. Datos estructurales en dos direcciones

Grupo de eje sencillo	Peso de eje TON (KIP)	Total de ejes en 1000'S	Dist. de ejes, %	Aumento de ejes por grupos en miles	Factor de equivalencia para ejes de 8.2 Ton. 18000 lbs.	Aplicaciones equivalentes a 8.2 Ton. 18000 lbs. en miles
menor de:						
I	2.3 (5)	239498	71.21	170546	0.0008	136
II	2.27-5.44 (5-12)		12.94	30991	0.069	2138
III	5.44-7.26 (12-16)		2.44	5844	0.46	2688
IV	7.26-9.07 (16-20)		1.13	2706	1.02	2760
mayor de:						
V	9.07 (20)		0.11	263	3.06 (1)	805
Grupos de ejes en TANDEM						
menor de:						
I	8.2 (18)	239498	5.64	13508	0.023	311
II	8.2 (18)-12.7 (28)		4.45	10658	0.31	3304
III	12.7 (28)-15.42 (34)		1.80	4911	0.81	3492
IV	15.42 (34)-18.14 (40)		0.27	647	1.41	912
mayor de:						
V	18.1 (40)		0.01	24	3.66 (1)	88

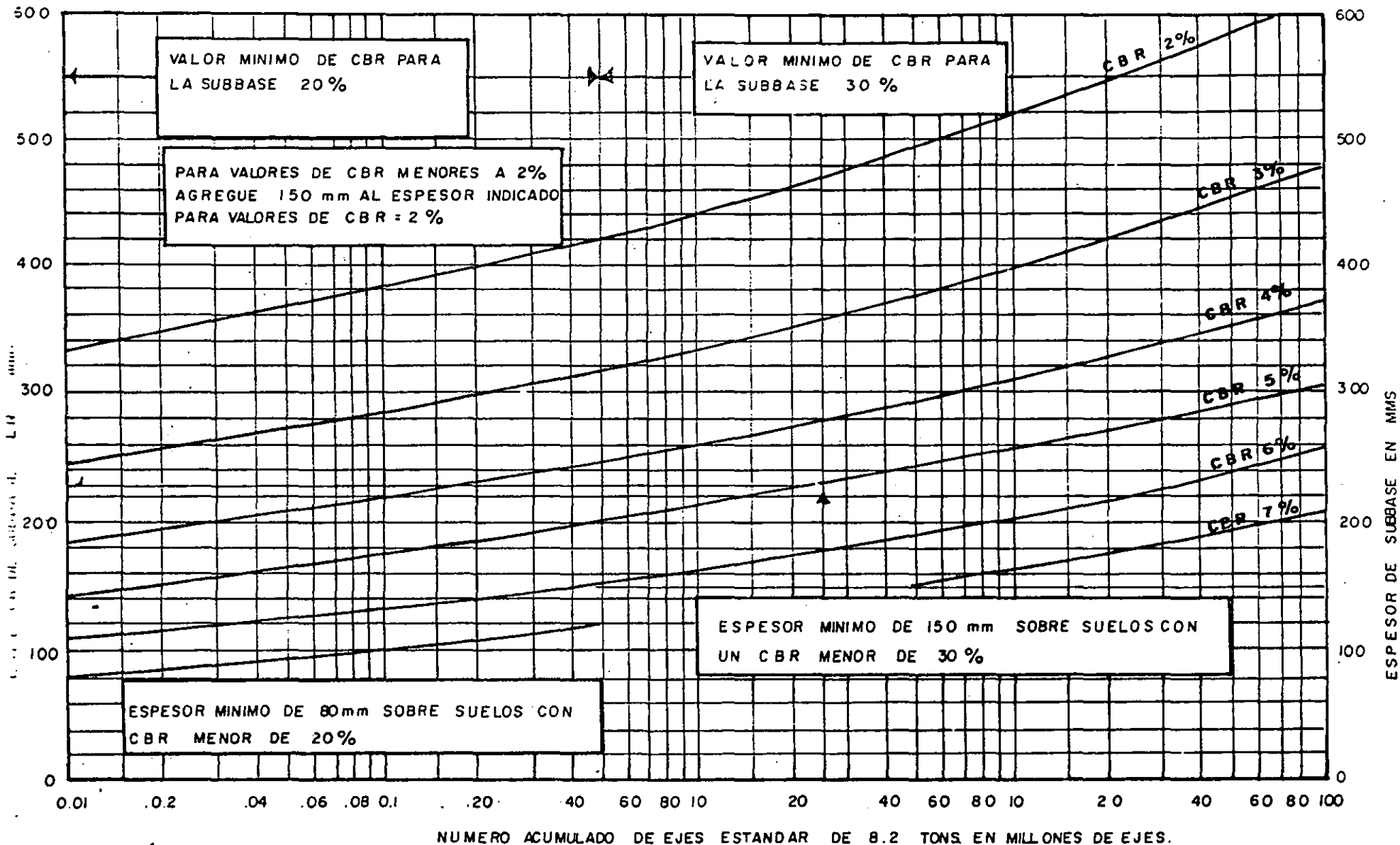
Σ16634 ; Divida : 2 =

Total de aplicaciones de ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton. (18000 libras) en una dirección 8317 (2)

1) Casos especiales pueden requerir una clasificación precisa de este grupo.

2) Entre a las gráficas de proyecto con este valor.

ROAD NOTE 29





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

CURSOS ABIERTOS

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
DEL 19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992**

BASES Y SUB-BASES

ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA

ALEMANIA (RFA 1987)

Eisenman, Leykauf
Universidad de Múnich.

PARA CONDICIONES COMUNES :
SE UTILIZA UN CATALOGO.

PARA CARGAS MUY PESADAS:
DISEÑO ESPECIAL.

TRANSITO :

$$VB = DTV^{(SV)} (f_1) \cdot (f_2) \cdot (f_3) \cdot (f_4)$$

VB = Vehículos por día

DTV^(SV) = Número promedio de camiones
con un peso total igual o
mayor a 2.8 Tons./por día.
(en todos los carriles)

f_i = Factores Relativos a:

- Tránsito Esperado.
- Número de Carriles.
- Ancho de los Carriles.
- Pendientes longitudinales.

(13)

SE Establece que la "Capacidad de Carga" en la subrasante sea igual o mayor a:

$$E_{v2} \geq 45 \text{ N/mm}^2 = 450 \text{ Kg. f/cm}^2$$

Determinada mediante Prueba de Placa.

De no ser esto posible se debe mejorar al suelo (?)

Arcilla Muy Blanca	$E = 3.5 \text{ Kg. f/cm}^2$
Arcilla Muy Dura	$E = 175 \text{ Kg. f/cm}^2$
Grava Suelta	$E = 200 \text{ Kg. f/cm}^2$
Grava Muy Compacta	$E = 2100 \text{ Kg. f/cm}^2$

EN EL CATALOGO SE PUEDEN EMPLEAR DIFERENTES TIPOS DE BASE, A SABER:

- Base Asfáltica
- Base de Grava triturada.
- Base tratada con cemento
- Capa para control de Congelamiento más Bases de Diferente tipo.

(PARA MAYOR DETALLE CONSULTAR:

III CONGRESO INTERNACIONAL
SOBRE ADOQUINES. ROMA, ABRIL 1988

TIPO DE CAMINO

CLASE (TRANSITO)

- Carretera Troncal
- Calle Industrial
- Terminal con tránsito Pesado
- Estacionamiento y carriles para Autobuses
- Entronques de Carreteras a Estacion. de Camiones.

III

-
- Avenidas.
 - Areas de Ascenso y Descenso de Pasaje.
 - Estacionamiento de Camiones ligeros y Autobuses.
 - Carriles de Alta Velocidad para coches y Camiones.

IV

-
- Caminos Secundarios
 - Areas Peatonales
 - Estacion. Ocasional de Camiones.
 - Estac. Poco Usado por Autobuses.

V

-
- Caminos Secundarios.
 - Estacionam. de Vehículos Ligeros

VI

PARA TOMAR EN CUENTA CONDICIONES LOCALES:

ESPESOR DE CONSTRUCCION =

$$= \text{Esp. MÍNIMO} + A + B + C + D + E$$

A. - SE REFIERE A CONDICIONES
CLIMÁTICAS:

$$A = 0 \text{ a } 15 \text{ cm (Adicional)}$$

B. - SE REFIERE AL ALINEAMIENTO:
VERTICAL:

$$B = +5 \text{ cm a } -5 \text{ cm.}$$

C. - SE REFIERE AL ALINEAMIENTO
HORIZONTAL:

$$C = 0 \text{ a } 5 \text{ cm.}$$

D. - SE REFIERE AL NAF, (si se encuen-
tra a menos de 2m. de la superficie:

$$D = +5 \text{ cm.)}$$

E. - SE REFIERE A LOS ACOTAMIENTOS:

$$E = 0 \text{ a } -5 \text{ cm ó } -10 \text{ cm.}$$

En condiciones muy Desfavorables se puede
tener un incremento de +30cm.

METODO ALEMÁN (EISENMAN 1987)

CARGAS ESPECIALES:

FUNDAMENTACION :

- Teoría Multicapa (Pickett y Ray) 3 Capas.
- Caracterización :
(h, E, γ) de Cada Capa.
- Carga Circular :
(Radio "a", Presión Uniforme "p")

SE CONSIDERA ADemás :

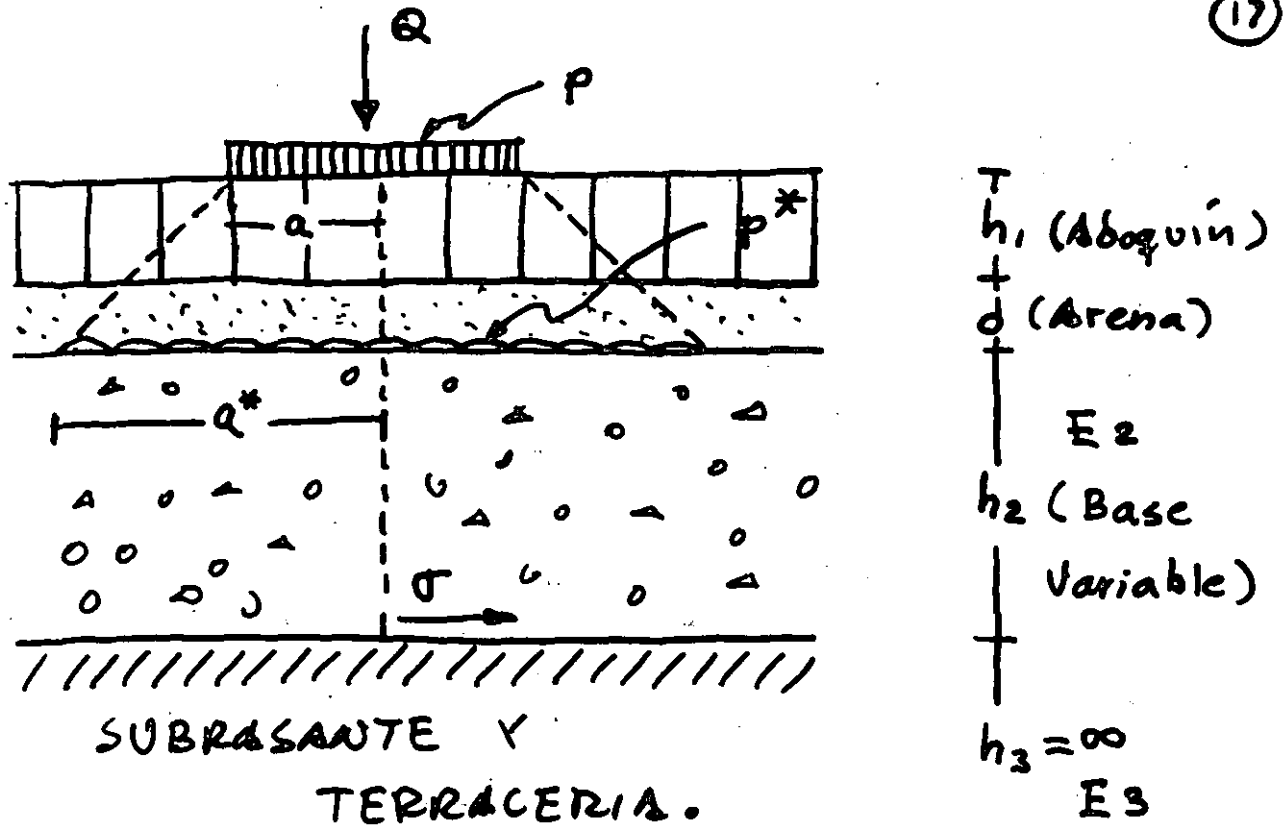
• Efecto por distribución de los Adoquines :

$$a^* = a + h_1 + d$$

h_1 = Espesor del Adoquín

d = Espesor de la Capa de Arena.

p^* = presión reducida en la parte superior de la segunda Capa, la cual debe estar estabilizada con cemento. Si la arena contiene cemento, se suma a la segunda Capa. (Sistema Bicapa)



- Se calcula el esfuerzo producido (Pickett y Ray)
- Se compara contra el esfuerzo permisible bajo cargas Repetidas.

En la Universidad de Munich; se ha encontrado que las Bases Tratadas con Cemento con:

$q = \text{Resistencia a la Compresion} \geq 5 \text{ N/mm}^2 = 50 \text{ Kg/cm}^2$
 a 28 días (Cilindros Proctor)

Presentarán ; Una RESISTENCIA A LA FATIGA POR FLEXION, DEL ORDEN DE 40 a 65% de la RESISTENCIA A LA FLEXION "ESTATICA". (3% RESISTENCIA ESTATICA A LA FLEXION = REF (ME ?).
 $REF = 0.8 \text{ a } 3 \text{ N/mm}^2$ (8 a 30 Kg.f/cm²)
 (Con un mínimo de Cemento de 3%)

ADEMAS :

$$E = 8000 \text{ a } 20\,000 \text{ N/mm}^2 \text{ (} 80,000 \text{ a } 200,000 \text{ Kg. f/cm}^2 \text{)}$$

DEBIDO AL ARIETAMIENTO DE LA BASE SE ACOSTUMBRA TOMAR :

$$E = 5000 \text{ N/mm}^2 = 50,000 \text{ Kg. f/cm}^2$$

$$R.E.F. = \beta_{BE} = 1.75 \text{ N/mm}^2 = 17.5 \text{ Kg. f/cm}^2$$

(VALORES QUE SE EMPLEAN EN EL DISEÑO)
(NORMAS ALEMANAS)

"SI no se respeta este criterio, ocurriran fuertes Roderas"

SE ADMITE :

AL NO OCURRIR RODERAS SEVERAS :

- Resistencia permisible a la Rodera bajo cargas Repetidas :

$$(0.6) \cdot \beta_{BE}$$

- Esfuerzo permisible de Trabajo bajo Cargas constantes (Por ejemplo : Apoyos de Contenedores :

$$(0.8) \cdot \beta_{BE}$$

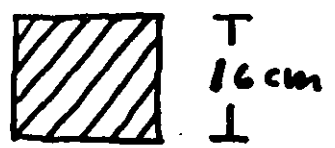
DISEÑO PARA SOPORTAR CONTENEDORES :

Peso de un Contenedor : 173 kN = 173000 N = 17.3 Tons.

Superponiendo 3 $W = 17.3 \times 3 = 51.90$ Tons.

Cada uno de 4 soportes recibirá = $\frac{51.90}{4} \approx 13$ Tons

Area de Cada apoyo :



Area = 16 x 17.5 = 280 cm²

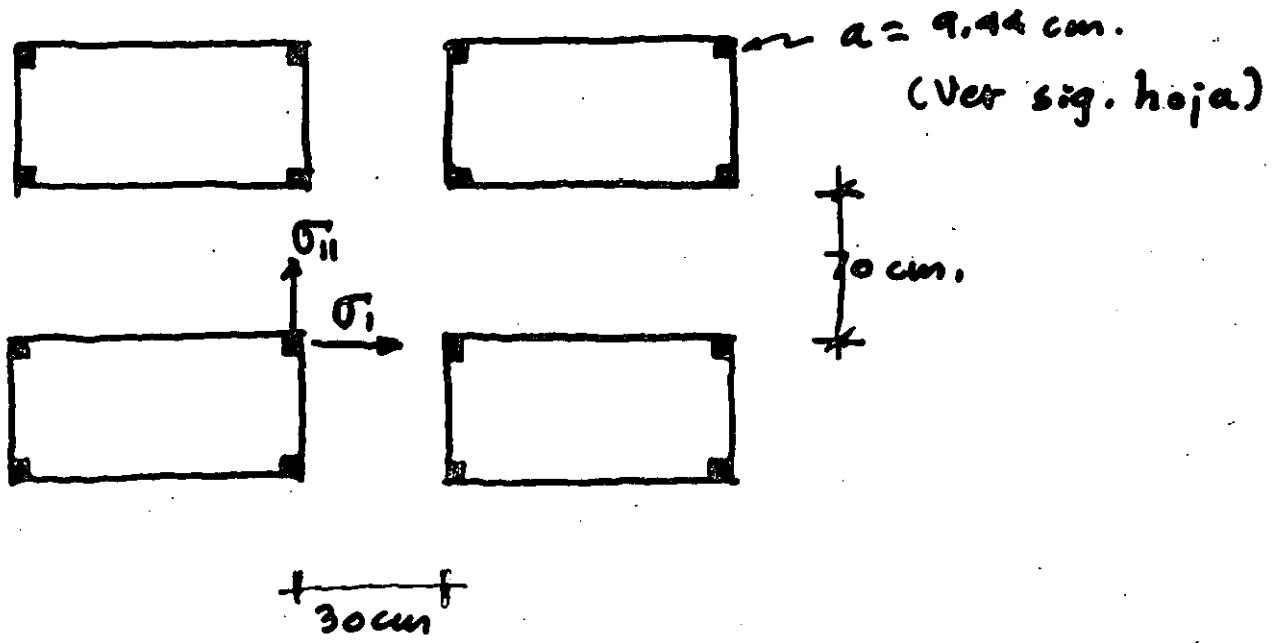
Presion de Contacto = 13000 / 280

17.5 cm

p = 46.32 Kg · f / cm²

p = 4.63 N / mm²

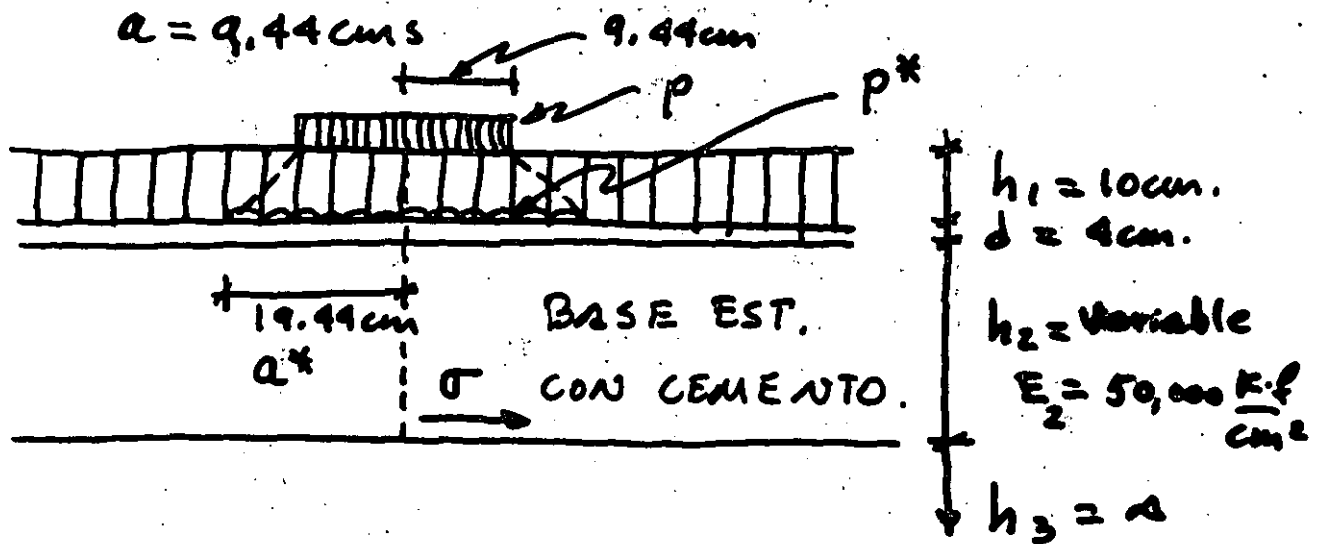
El acomodo de los Contenedores SERIA :



(21)

CONSIDERANDO QUE EL AREA ES CIRCULAR:

$$\text{Radio Equivalente} = \sqrt{\frac{12920}{46.32 \times \pi}} = 9.44 \text{ cms.}$$



La capa de arena contiene cemento Portland.

$$p = 46.32 \text{ Kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2 = 4.63 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$a = 9.44 \text{ cms.} ; a^* = a + h_1 = 9.44 + 10.0 = 19.44 \text{ cms}$$

$$p^* = 12920 / (\pi \cdot 19.44^2) = 10.92 \text{ Kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$$

$$p^* = 1.09 \text{ N} / \text{mm}^2$$

UTILIZANDO PICKETT Y RAY :
SE CALCULAN σ_I y σ_{II} PARA DIFERENTES
ESPEORES DE BASE + ARENA. (Ambos mate-
riales con Cemento)

SE OBTIENE LA FIGURA 3

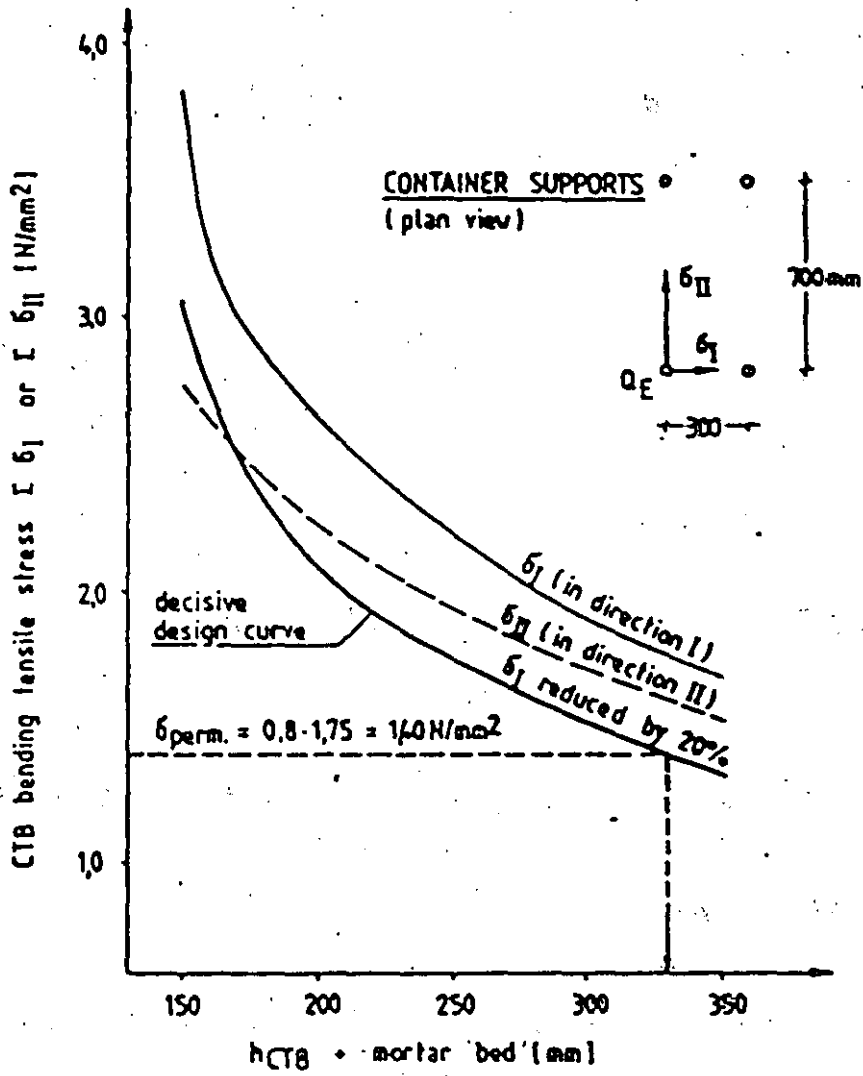
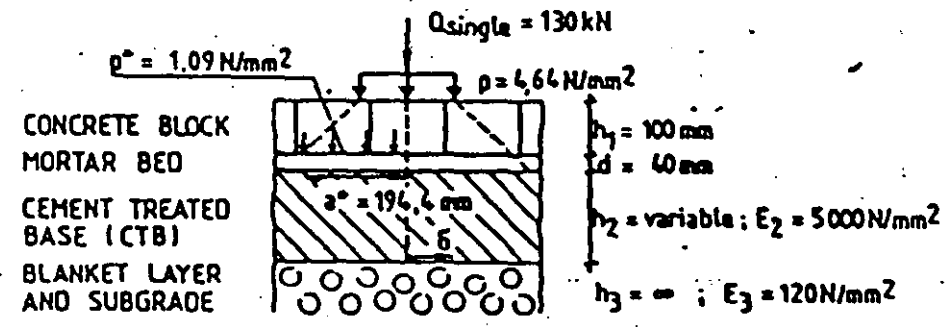


Fig. 3: Concrete block pavement for container terminals: bending tensile stresses at bottom of the cement treated base under container loading

EN LA FIGURA 3, SE HA INCLUIDO :

σ REDUCIDO EN 20%, CONSIDERANDO QUE LA FRICCIÓN DE LA ARENA ENTRE LOS BOQUINES REDUCE EL MOMENTO Y POR ENDE A LOS ESFUERZOS.

ENTRANDO A LA FIGURA OBTENIDA CON EL ESFUERZO PERMISIBLE DE TRABAJO BAJO CARGAS CONSTANTES :

$$\begin{aligned}\sigma_{perm} &= 0.8 \beta_{B2} = 0.8 (17.5) = 14 \text{ kg. f/cm}^2 \\ &= 1.40 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

DE DONDE RESULTA :

ESPESOR DE BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO :

$$H = 33 - 4 = 29 \text{ cms.}$$

QUE SE DEBERA APOYAR SOBRE UN MATERIAL QUE PRESENTE :

$$E_{\sqrt{2}} = 120 \text{ N/mm}^2 = 1200 \text{ kg. f/cm}^2$$

OBTENIDO DE UNA PRUEBA DE PLACA. (SIENDO ESTE MATERIAL NO SUSCEPTIBLE AL CONGELAMIENTO. "ALEMANIA")

NOTA IMPORTANTE :

CON ESTE MISMO METODO :

SI SE VARIA EL ESPESOR DEL ADOQUIN
DE 6cm a 14cm :

EL ESPESOR DE LA BASE TRATADA CON
CEMENTO SOLO VARIARA EN ± 2 cm.

ES DECIR VARIARA DE 31 a 27 cm.

POR TANTO :

BAJO ESTAS CONDICIONES LOS
ALEMANES ADMITEN :

"EN PAVIMENTOS PARA CARRAS
PEJADAS, ADOQUINES HASTA
DE 6cm."

AREAS DE TRABAJO PARA EQUIPO MUY PESADO :

- EN LA FIGURA 4 SE PRESENTA UN CMO TÍPICO DE UN CARRADOR FRONTAL.
- CON LAS GRÁFICAS DE PICKETT Y RAY SE OBTIENEN LOS ESFUERZOS

σ_I y σ_{II}

SEGUN SE INDICA EN LA FIGURA: 4 EN LA QUE TAMBIEN SE MUESTRAN LAS VARIACIONES.

- TOMANDO EN CUENTA A :
LA RESISTENCIA PERMISIBLE A LA FATIGA BAJO CARGAS REPETIDAS DE :

$$\sigma_{perm} = 0.60 (\beta_{0.05}) = 0.6 \times 17.50 = 10.5 \frac{\text{Kg} \cdot \text{f}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{perm} = 10.5 \text{ Kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2 = 1.05 \text{ N/mm}^2$$

ENTRANDO CON ESTE VALOR A LA VARIACION DE σ_I VS. h_{CTB} + Esp. de arena con cam.

SE OBTIENE:

$$\text{ESP. DE BASE EST.} = 36 \text{ cm} - 4 \text{ cm} = 32 \text{ cms.}$$

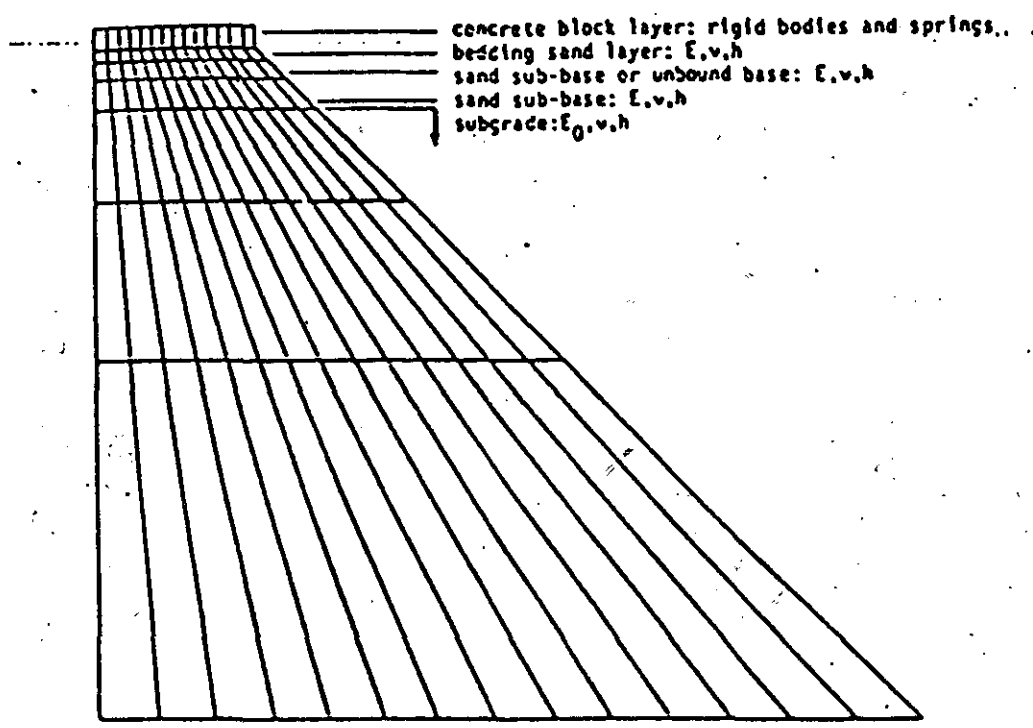


Figure 7. Schematic representation of the distribution of elements in the ICES STRUDL finite element calculations.

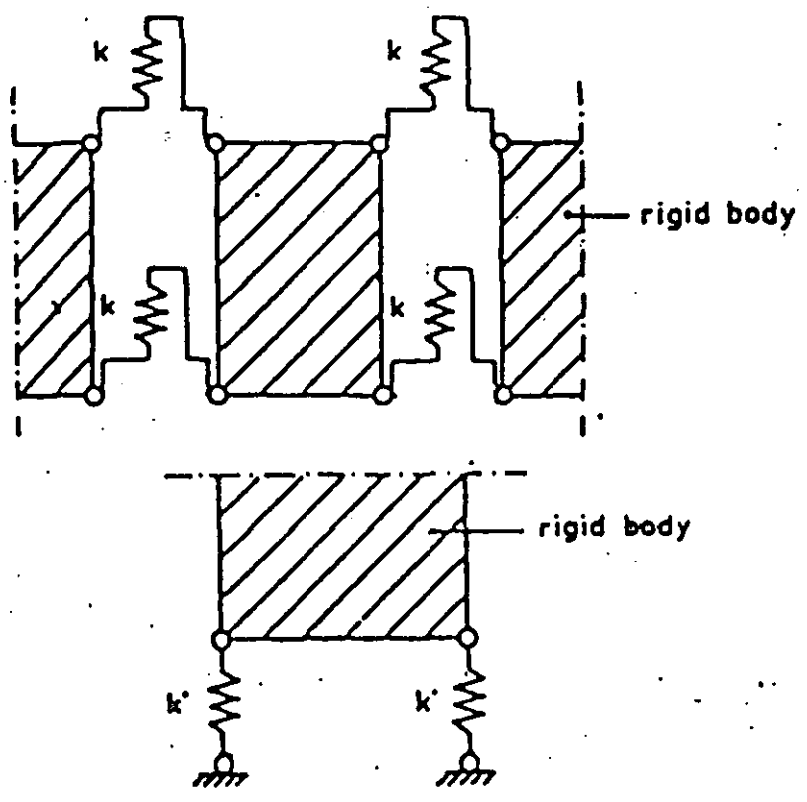


Figure 6. Model concept for the blocks and the joints (above) and the block support (below) in the ICES STRUDL calculations.

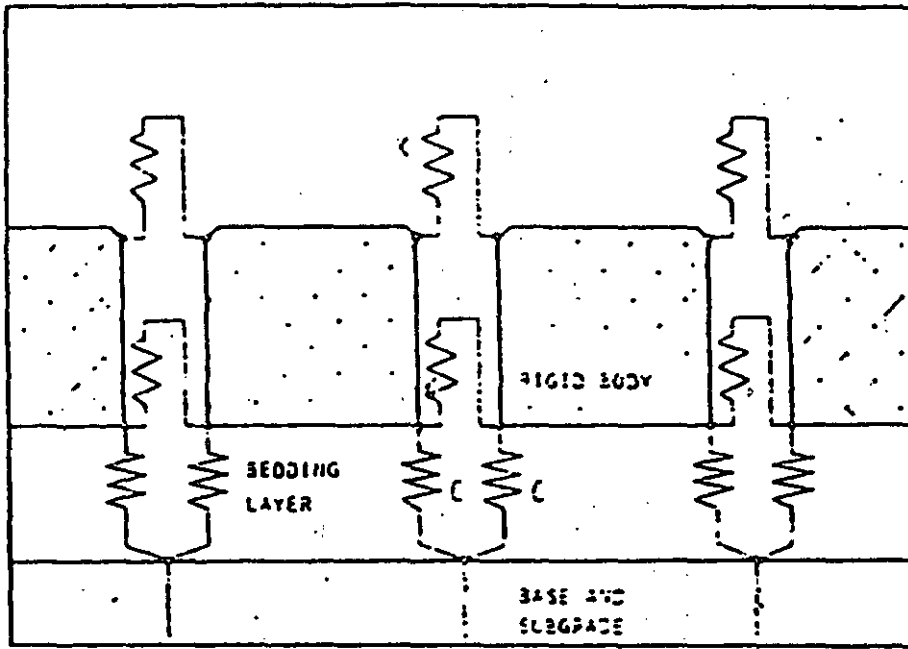


Figure 8. Modelling the concrete block pavement, (after Reference 6)

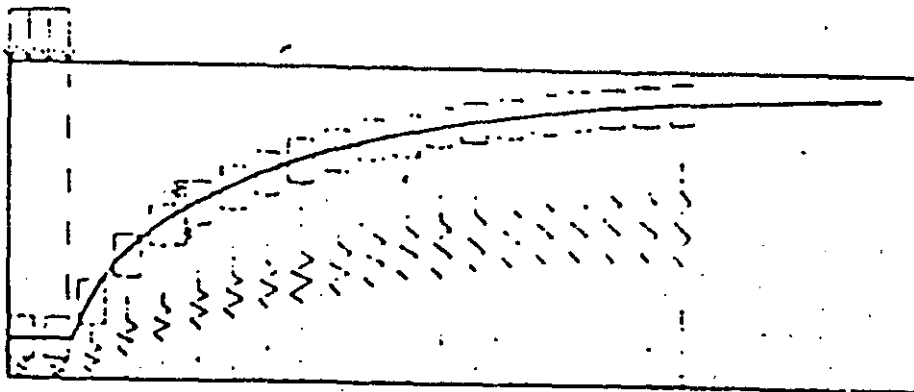


Figure 9. Concrete block layer as a simply

TABLA 1. Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo (Unificada, AASTHO) y los valores de σ_{vc} y k . (20)

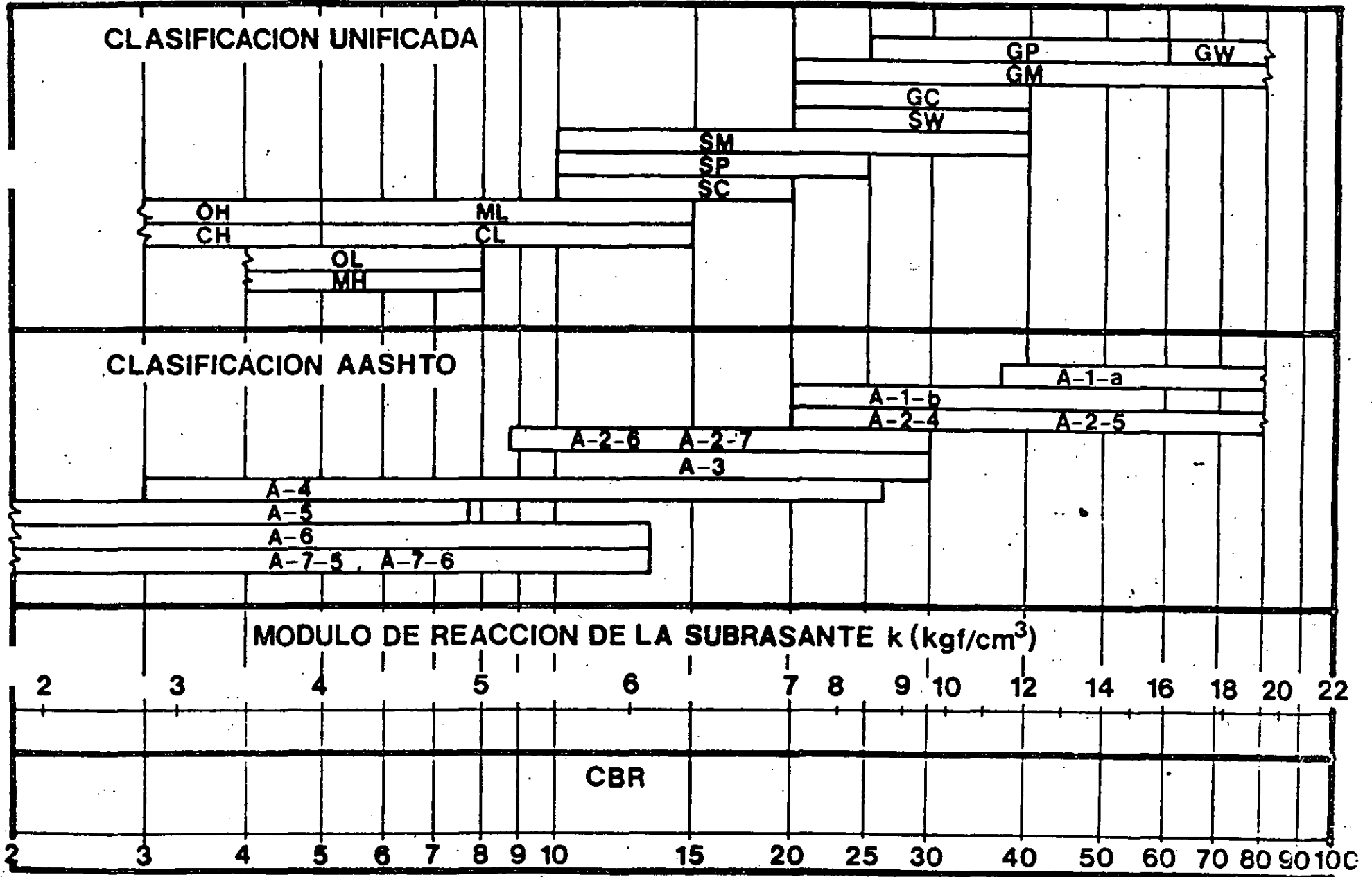


Tabla 2. Valores mínimos para la resistencia a la compresión del suelo cemento.

TIPO DE SUELO	CLASIFICACION UNIFICADA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)	
		7 días	28 días
Arenosos y cascajosos	GW, GC, SW, SC, SP, SM, GP	2	2,7
Limosos	NL y CL	1,7	2
Arcillosos	MH y CH	1,4	1,7

BASES GRANULARES⁽¹¹⁾

CBR	> 80%
Límite líquido (*)	< 25%
Indice de plasticidad (*)	< 6
Granulometría	
- Tamaño máximo	38,1 mm (1½")
- Fracción que pasa el tamiz 75 µ (Nº 200)	Menor que los 2/3 de la fracción que pasa el tamiz 420 µ (Nº 40)
Compactación	> 97% (Proctor modificado)
Desgaste en la máquina de Los Angeles	< 50%

(*) De la fracción que pasa el tamiz 420 µ (Nº 40).

TABLA 4. Diseño simplificado de pavimentos de adoquines de concreto.

CLASIFICACION DE LA VIA		SERVICIO SECUNDARIA	SERVICIO PRIMARIA		COLECTORA	ARTERIA
NUMERO DE VEHICULOS COMERCIALES POR DIA Y POR CARRIL (NVDC) (a)		1 a 5	6 a 20		21 a 50	51 a 200
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS DURANTE EL PERIODO DEL ANALISIS		de 1 a 50 000	de 50 001 a 500 000		de 500 001 a 2 500 000	de 2 500 001 a 15 000 000
ESPESOR DE LOS ADOQUINES EN MILIMETROS (mm)		60 u 80	60	80	80	80
TIPO DE BASE	CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO, CBR (%)	ESPESOR DE LA BASE (mm)				
GRANULAR	CBR \leq 3	150(b)	230	180	260	330
	3 < CBR \leq 15	(b)	(b)		(b)	140(b)
	CBR > 15	100(b)	100(b)		100(b)	100(b)
SUELO CEMENTO	CBR \leq 3	100(c)	140	110	160	210
	3 < CBR \leq 15	(c)	(c)		(c)	100
	CBR > 15	75(c)	75(c)		75(c)	75(c)

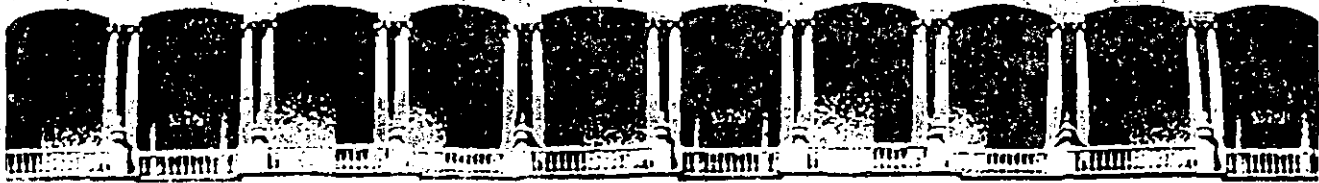
a) VEHICULO COMERCIAL: Aquel con dos o más ejes y 6 ó más llantas, en ambos casos incluyendo el eje direccional (delantero). No se tienen en cuenta los buses.

b) ESPESORES MINIMOS PARA BASES GRANULARES:

150 mm si CBR de la subrasante es \leq 6%

100 mm si CBR de la subrasante es > 6%

CLASIFICACION	NUMERO DE EJES EQUIVA- LENTES DE 8,2 TONELADAS
Vía de servicio secundarias	1 a 50 000
Vía de servicio primarias	50 001 a 500 000
Colectora	500 001 a 2 500 000
Arteria	2 500 001 a 15 000 000



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

A N E X O

ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

W = Total width of drainage layer and pavement (ft)
 i = Design infil. rate (in./hr)
 $C = k_b t_b$
 k_b = Permeability of drainage layer (ft/day)
 t_b = Thickness of drainage layer (in.)
 s = Cross slope of pavement

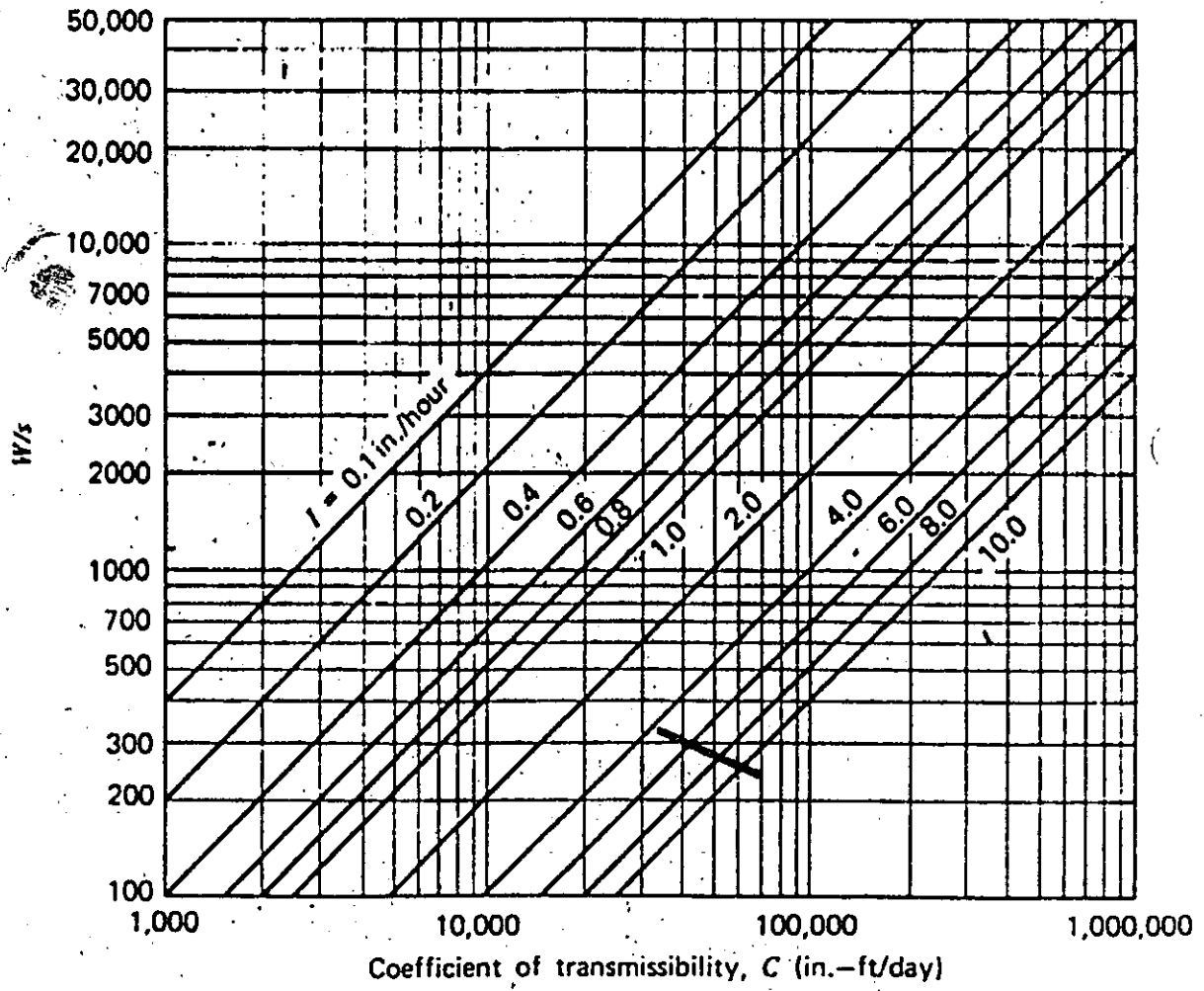


FIG. 5.4 Coefficient of transmissibility versus W/s ratio (from FHWA, 1973).

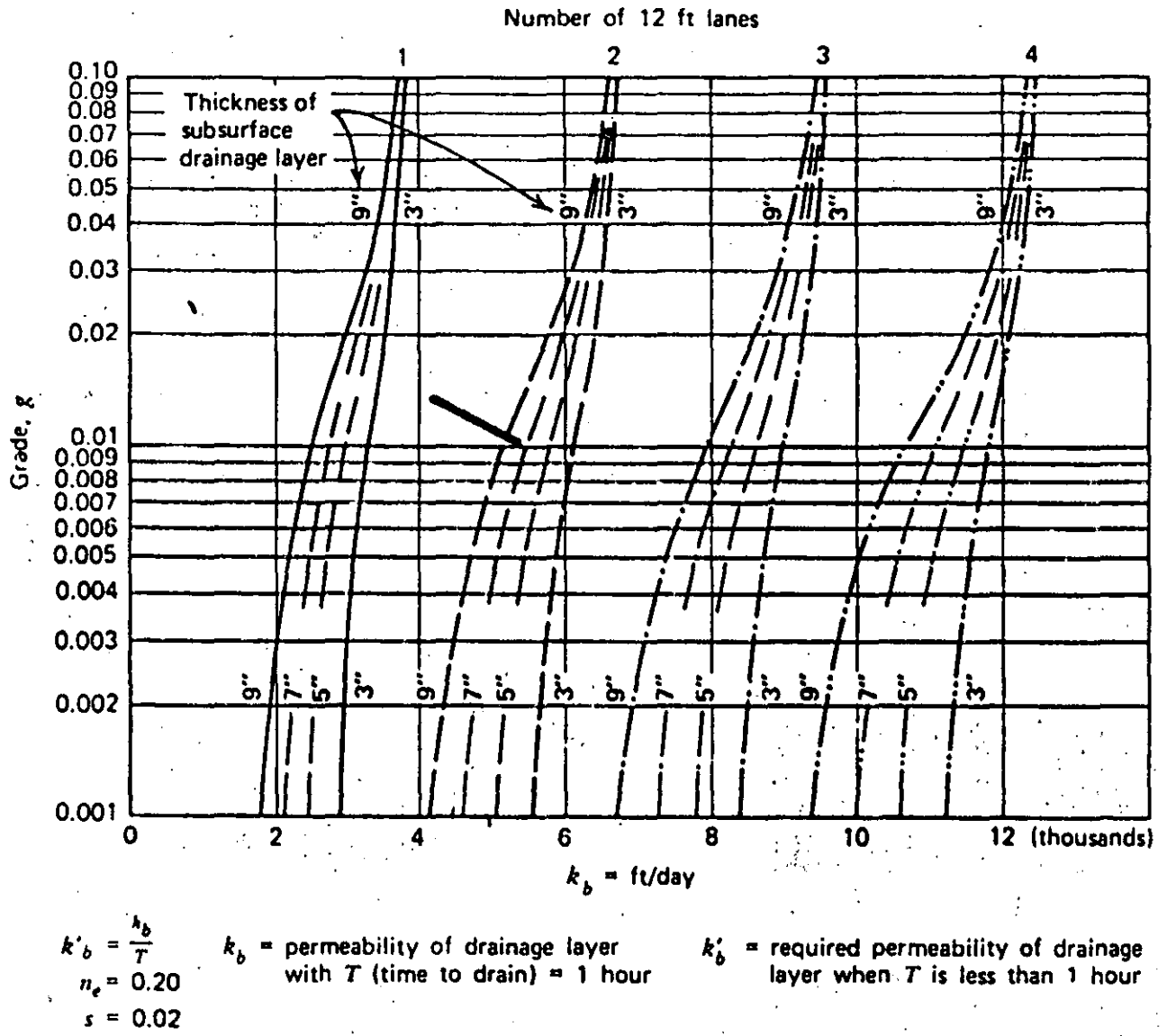


FIG. 5.6 Permeability required in order to drain subsurface drainage layer in 1 hour or less (FHWA, 1973).

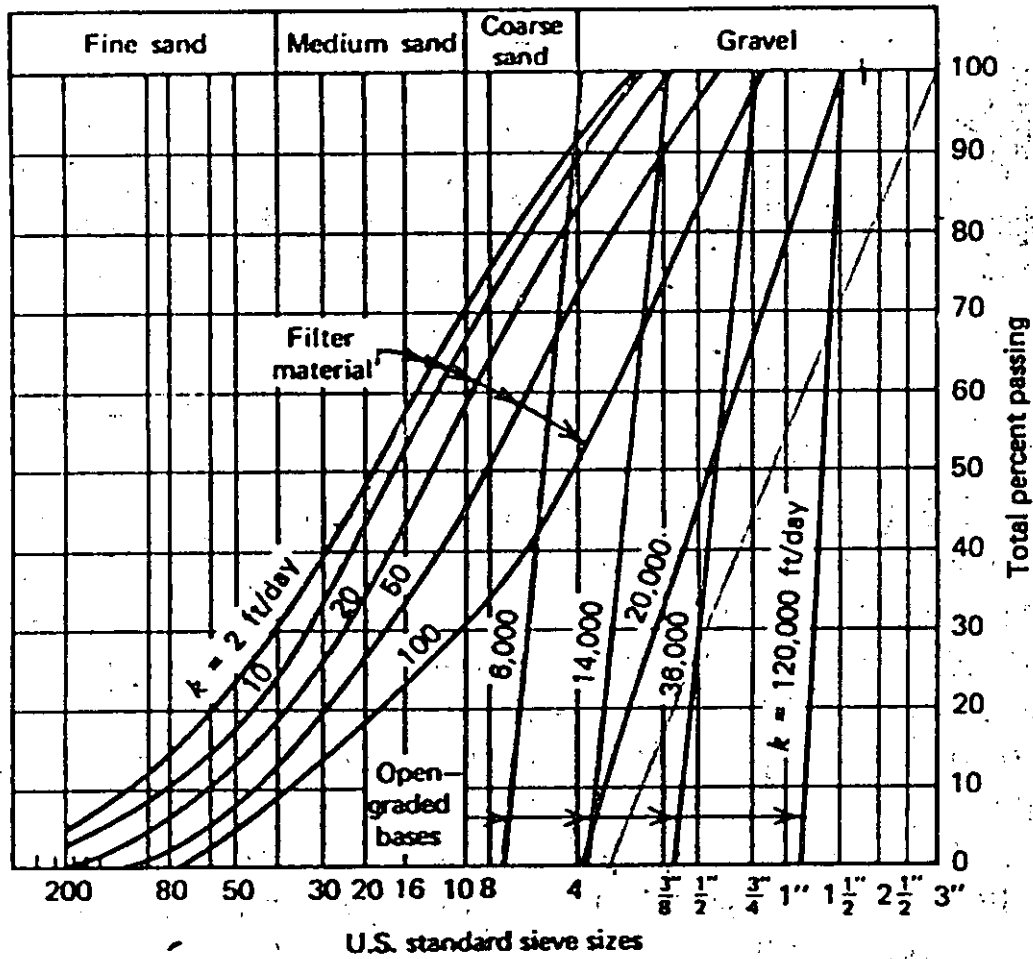
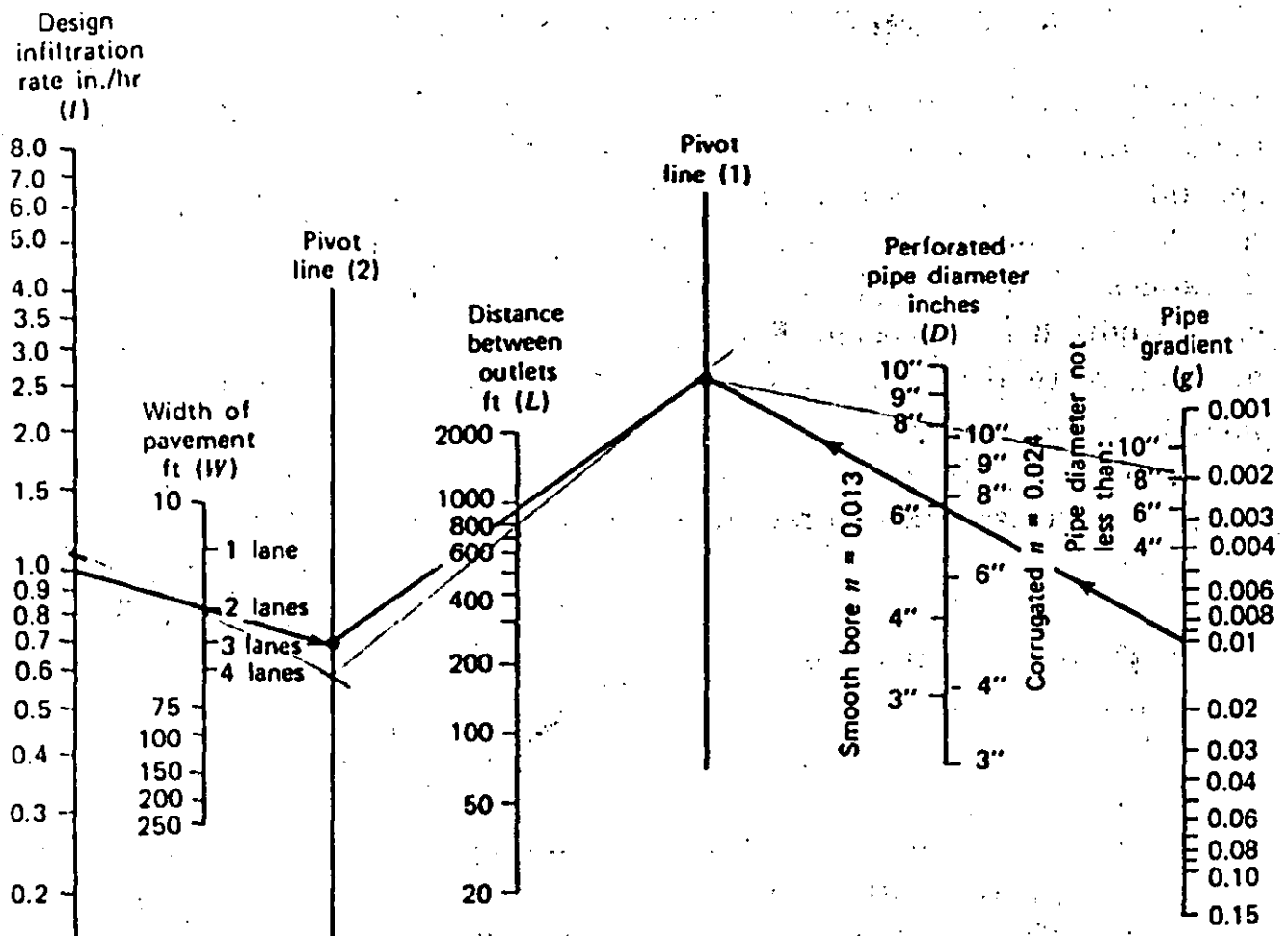


FIG. 6.9 Typical gradations and permeabilities of several open-graded aggregates and several filter materials. (FHWA *Guidelines for the Design of Subsurface Drainage Systems for Highway Structural Sections*, Figure No. 4).



Example

$W = 2$ lanes, $I = 1.0$ in./hr, $g = 0.01$, first trial: use 6" smooth bore pipe

- ① Extend line from $g = 0.01$ through 6" smooth bore to pivot line (1)
- ② Extend line from $I = 1.0$ in./hr through $W = 2$ lanes to pivot line (2)
- ③ Connect point on pivot line 1 to point on pivot line 2
- ④ Read distance between outlets: $L = 900$ ft
- ⑤ Repeat for various pipe diameters

FIG. 5.12 Nomograph for selection of perforated pipe diameters and outlet spacings (FHWA, 1973).

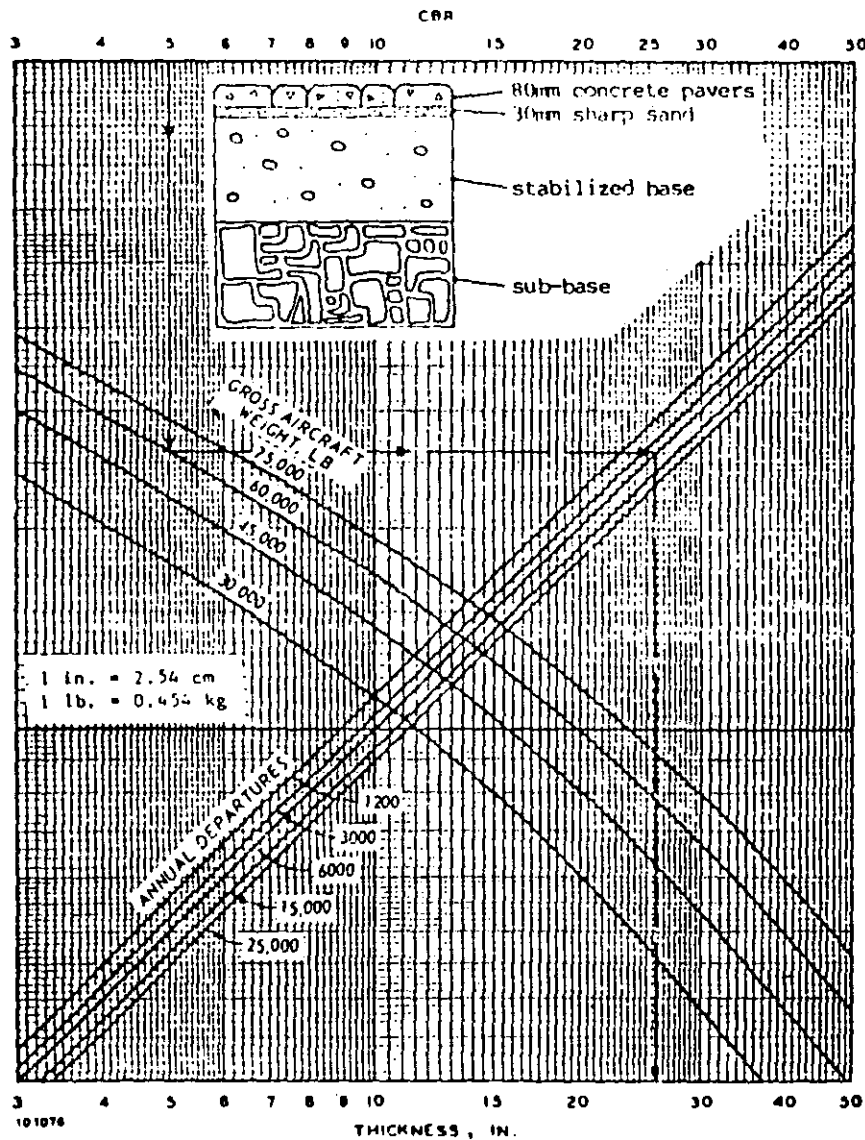


FIGURE 4 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, SINGLE WHEEL GEAR

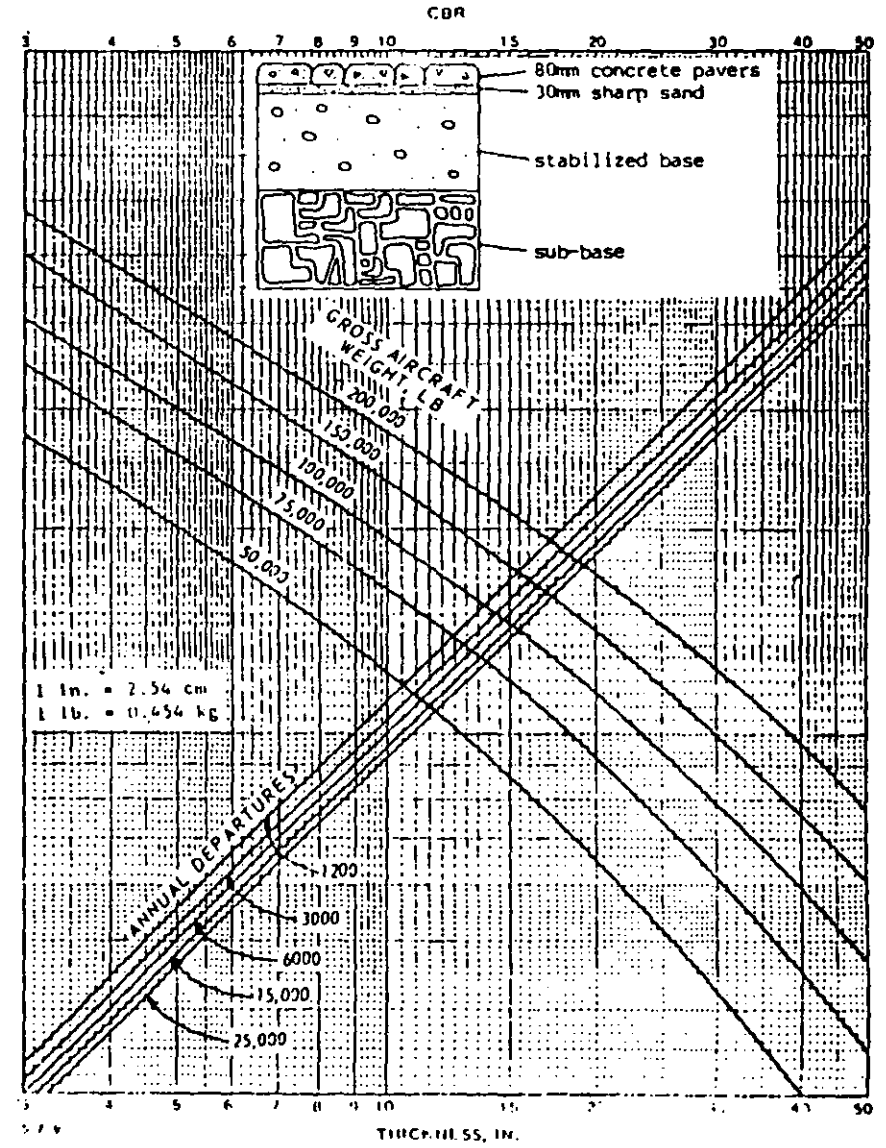


FIGURE 5 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, DUAL WHEEL GEAR

881

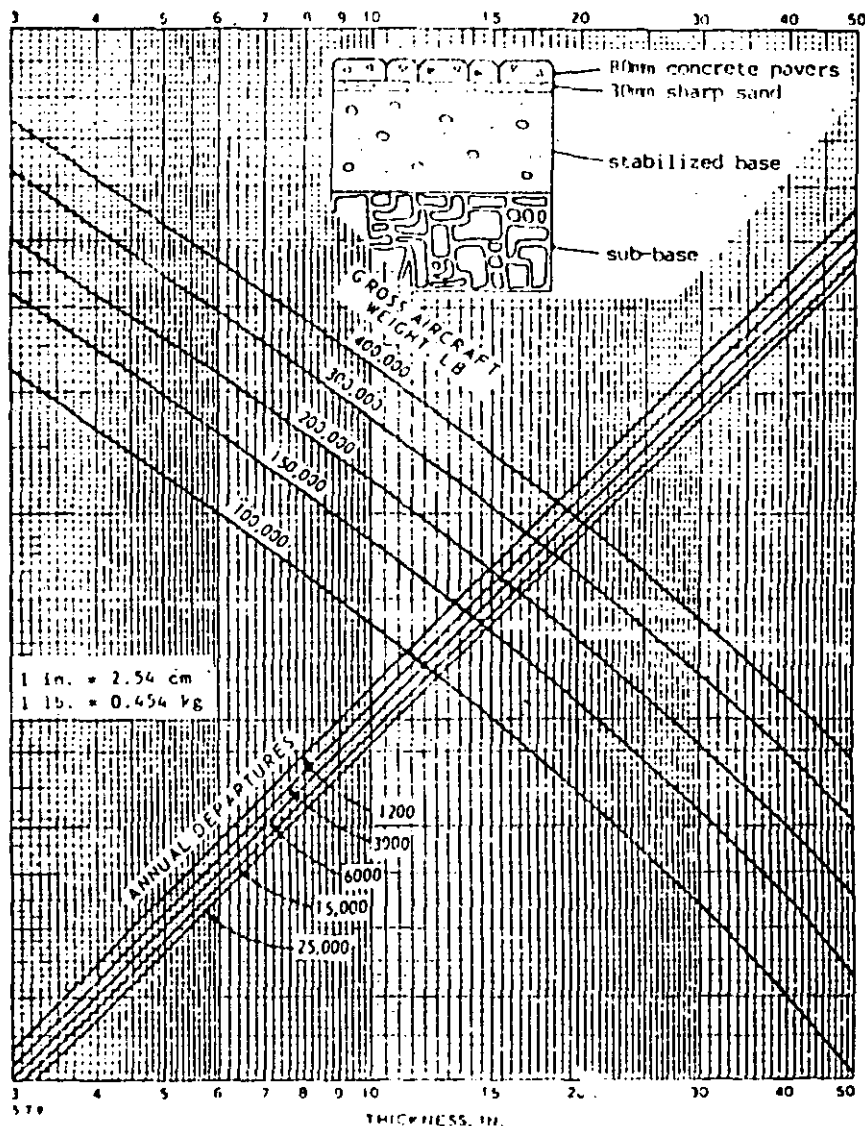


FIGURE 6 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, DUAL MAIN GEAR

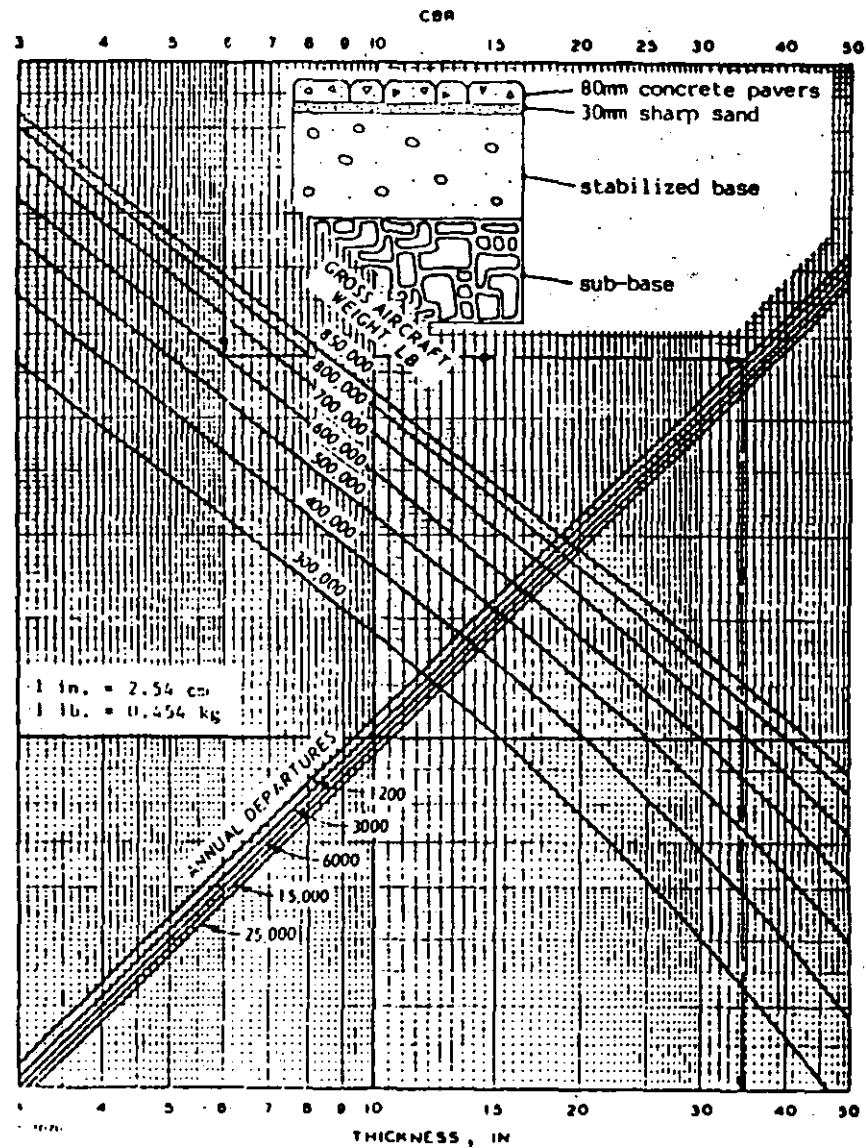


FIGURE 7 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, B-747-100, SR, 200 B, C, F

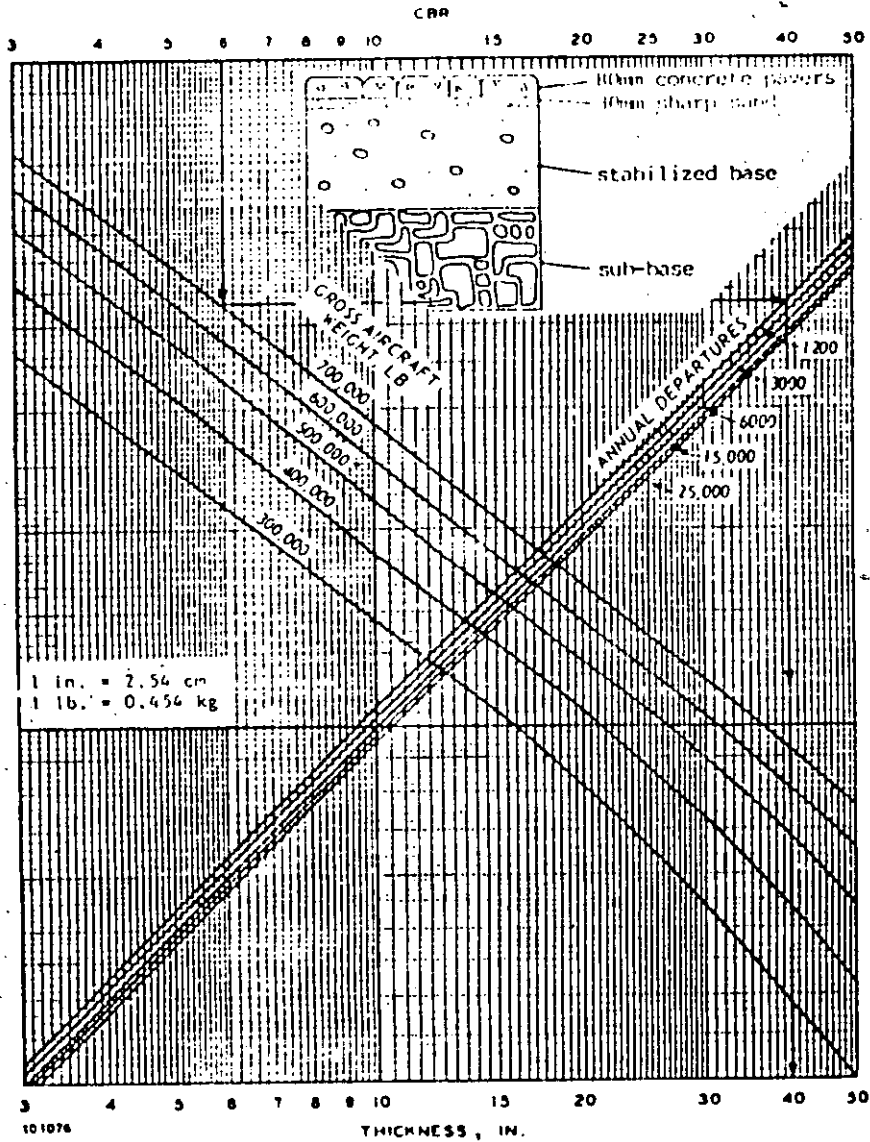


FIGURE 8 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, B-747-SP

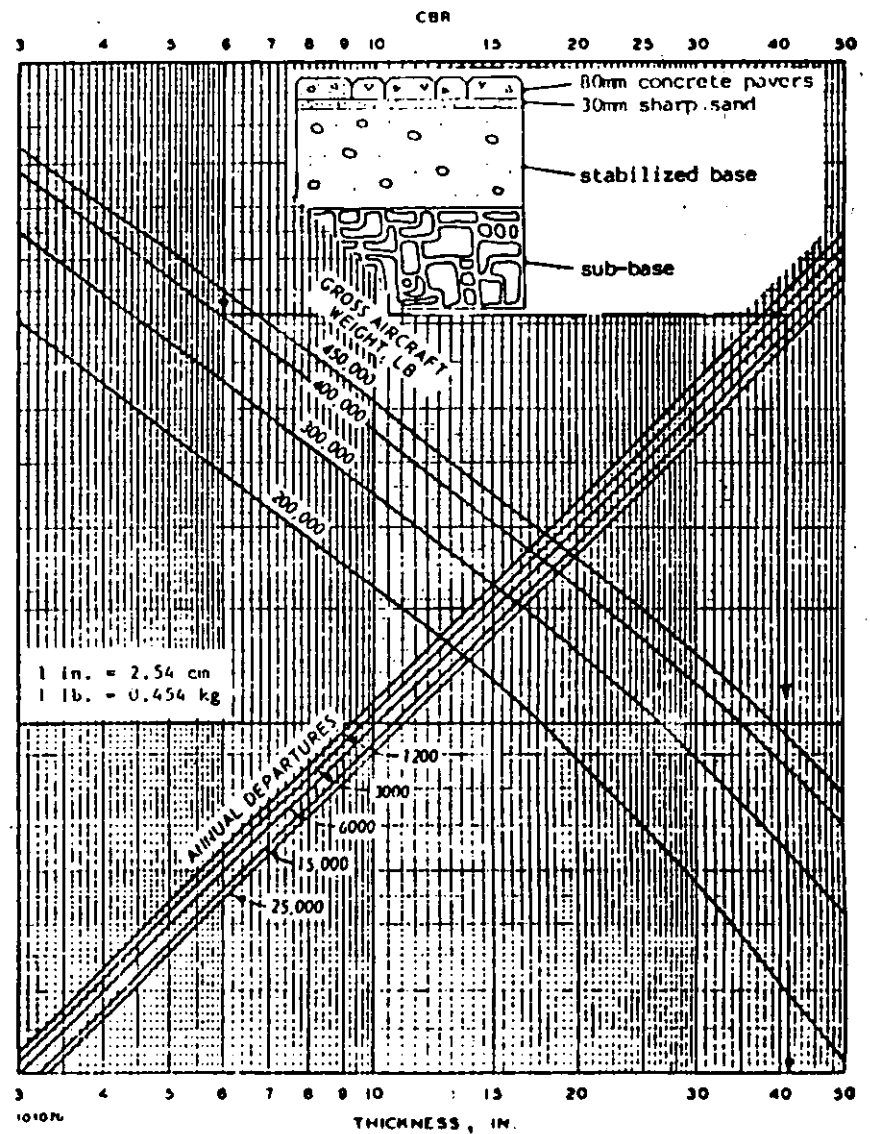


FIGURE 9 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, DC 10-10, 10CF

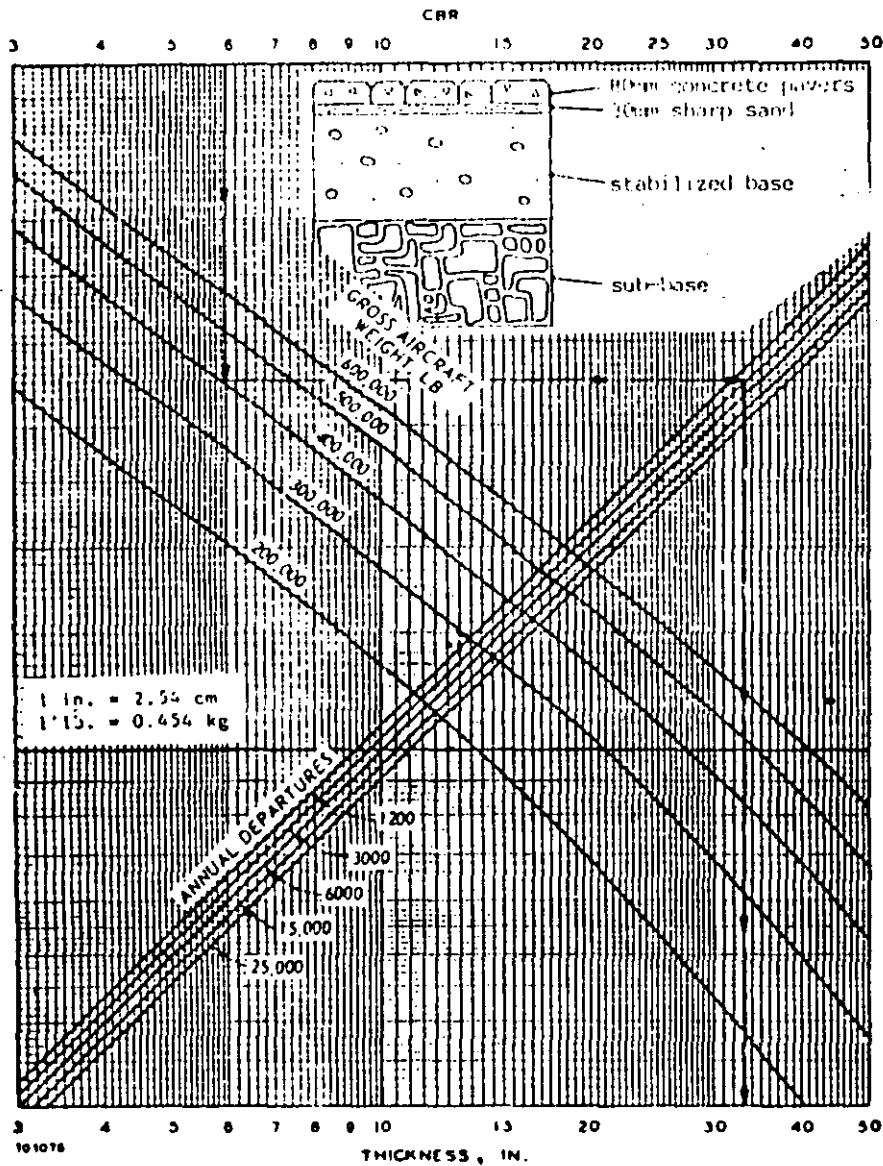


FIGURE 10 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, DC 10-30, 30CF, 40, 40CF

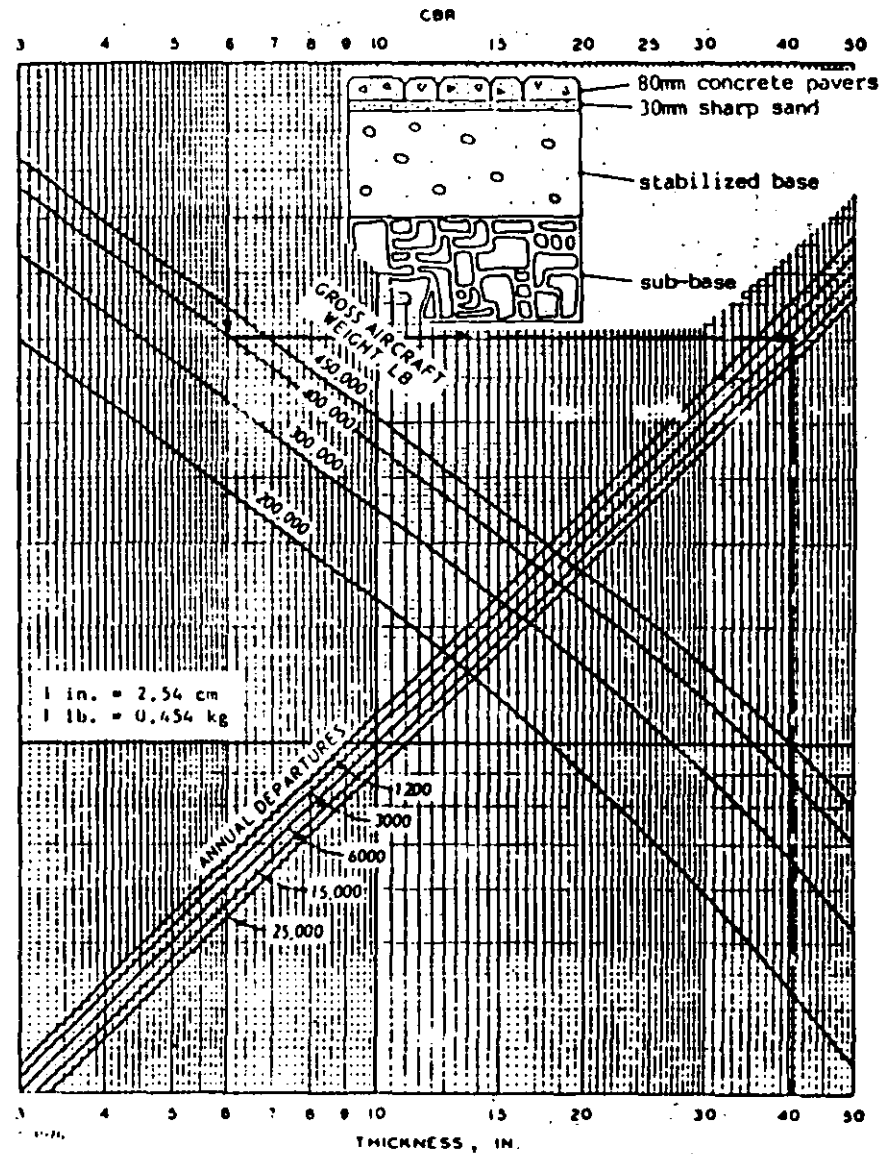


FIGURE 11 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, L-1011-1, 100

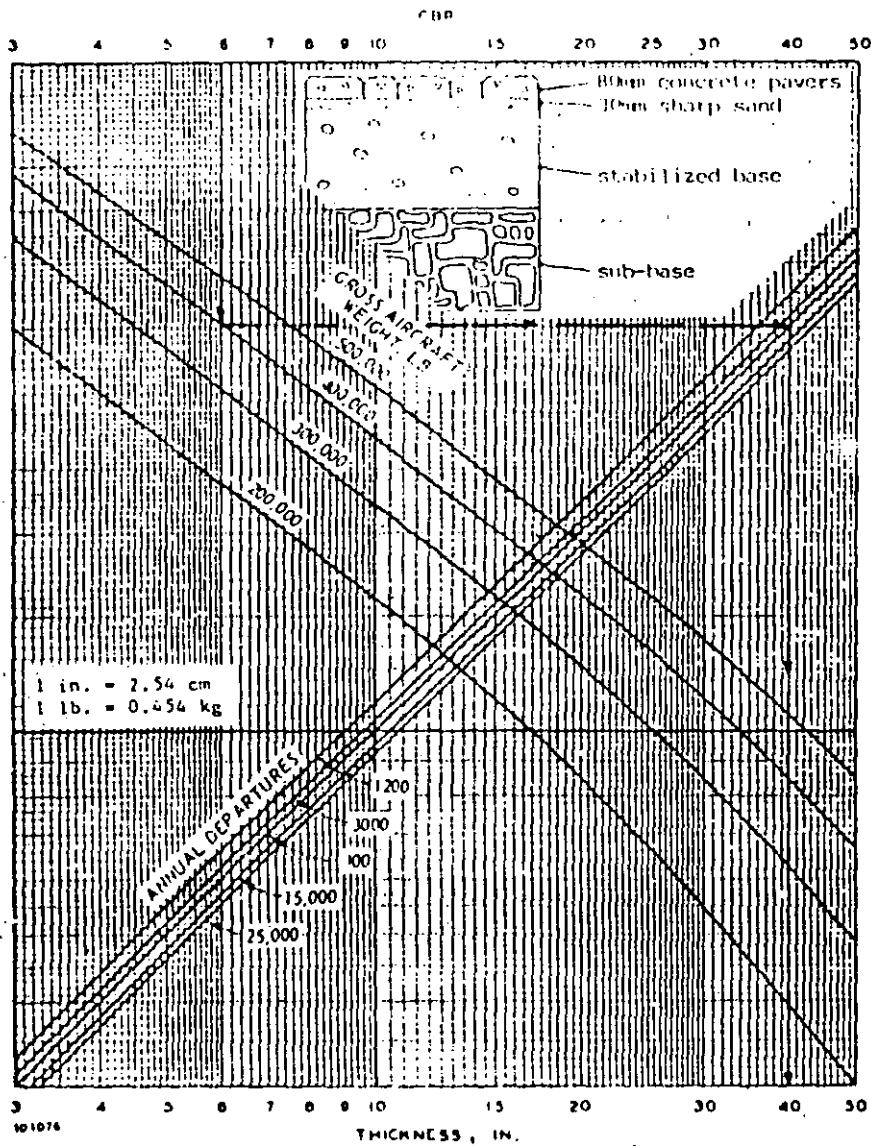


FIGURE 12 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES FOR CRITICAL AREAS, L-1011-100, 200

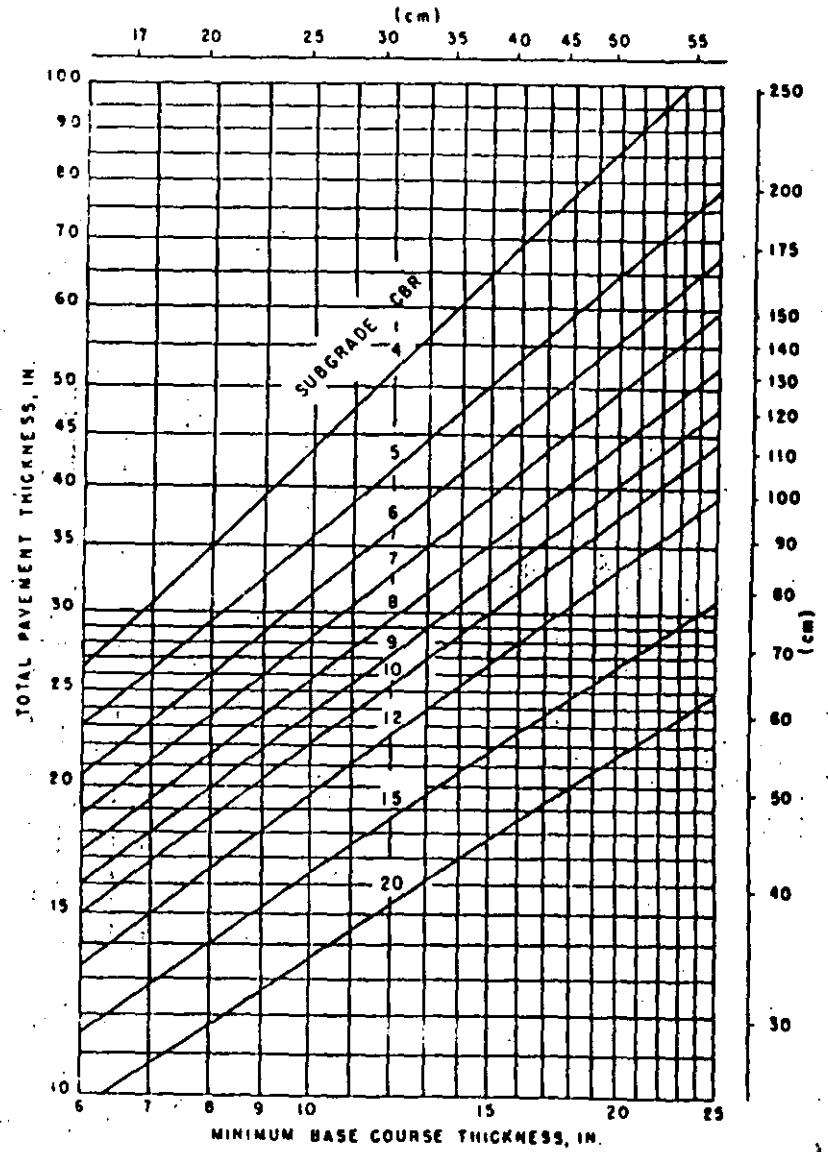


FIGURE 13 MINIMUM BASE COURSE THICKNESS REQUIREMENTS

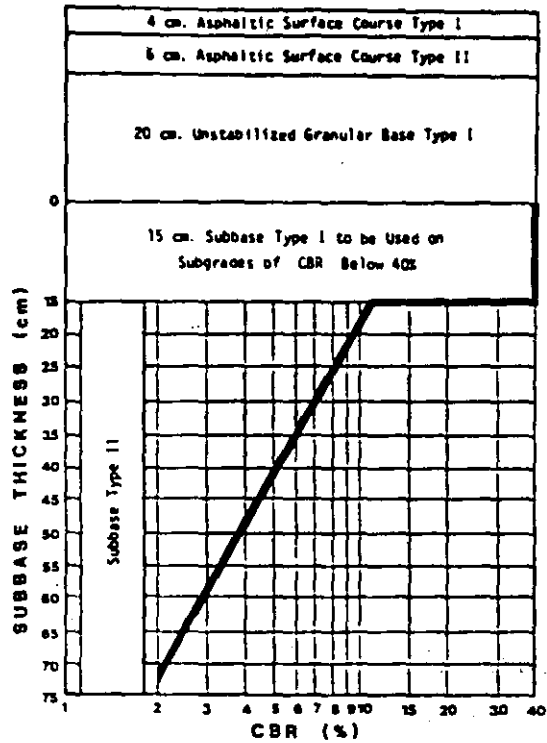


Figure 1: Flexible pavement design chart for very-heavy traffic category according to Israel PWD Design Method [4].

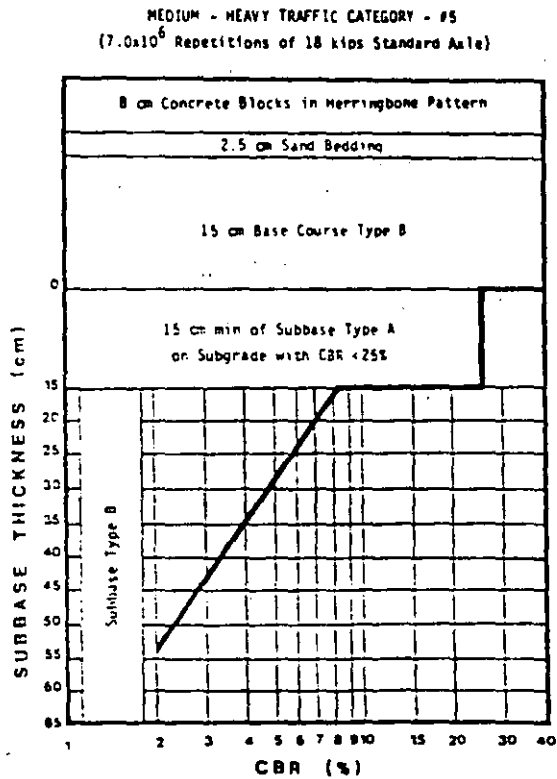


Figure 3: Design chart for concrete block pavements for medium-heavy traffic category (#5)

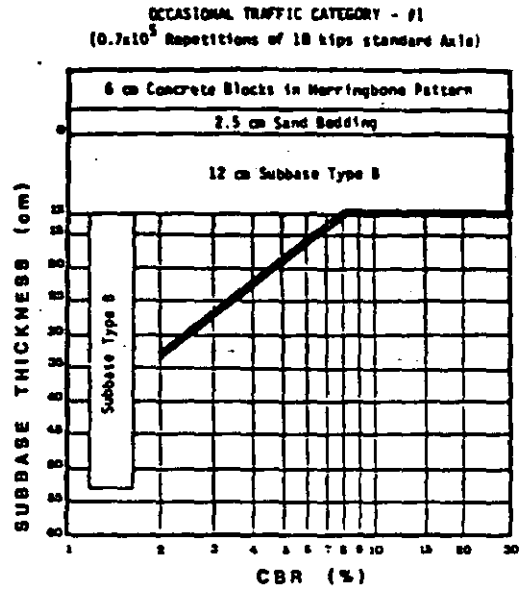


Figure 2: Design chart for concrete block pavements for occasional traffic category (#1)

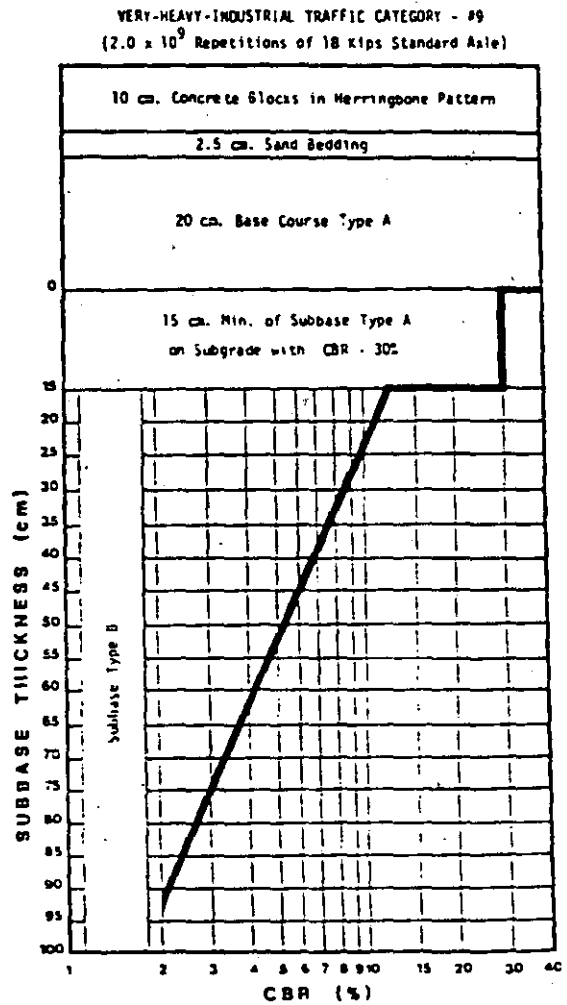
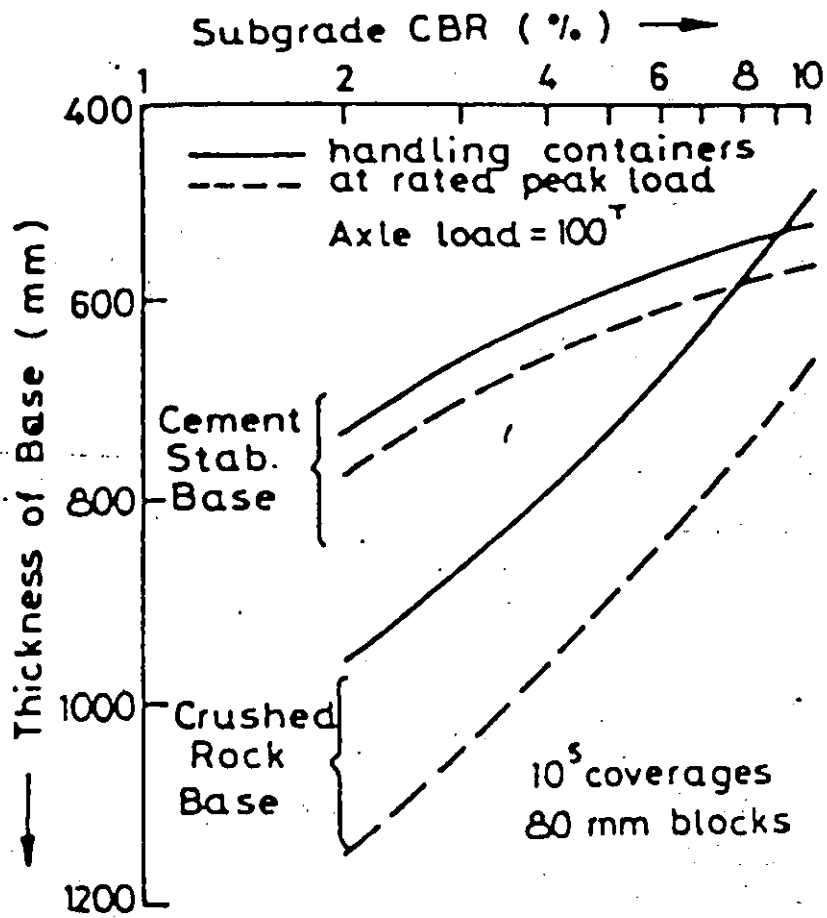
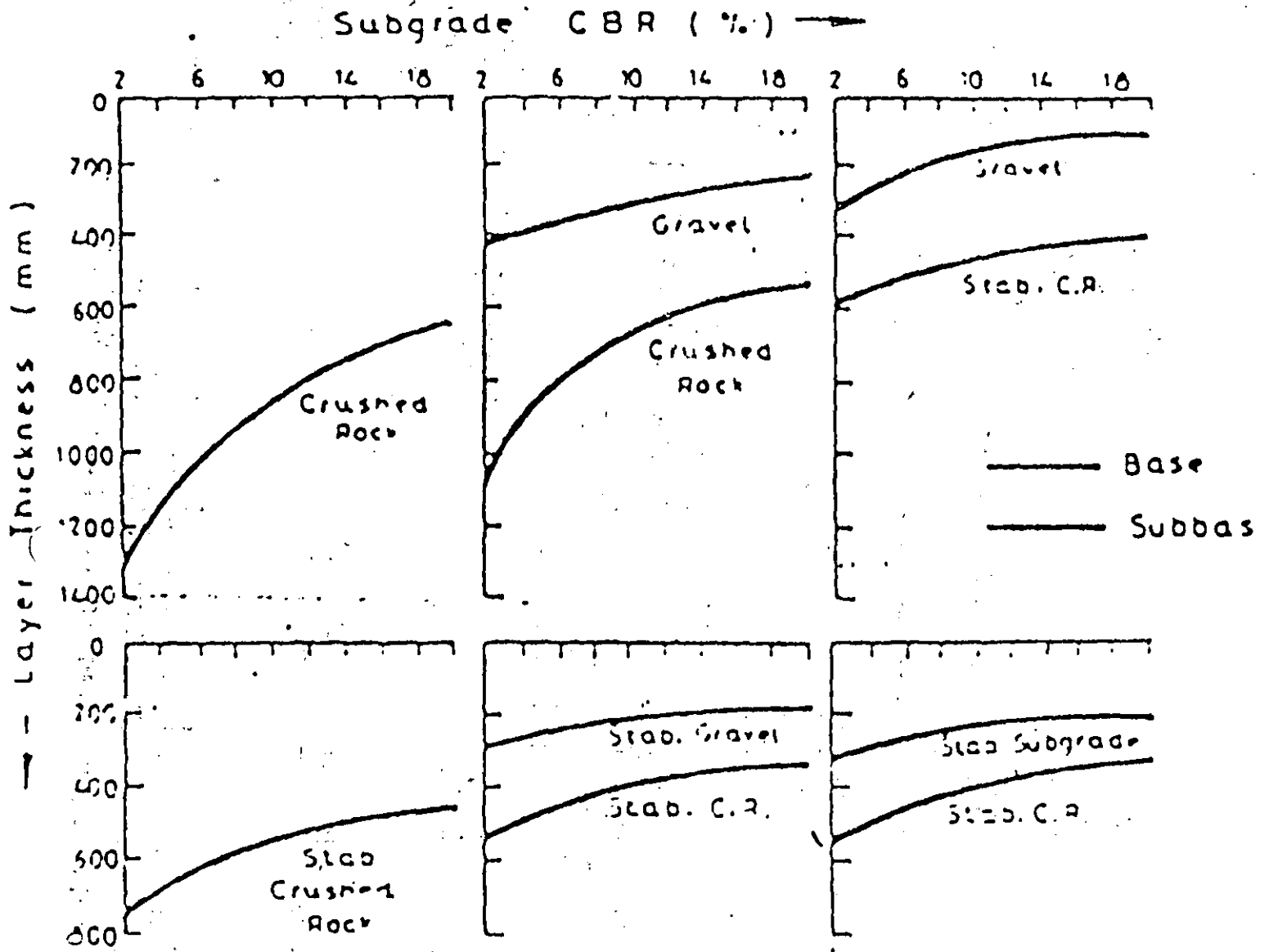


Figure 4: Design chart for Very-Heavy-Industrial traffic category (#9)





ALTERNATIVAS DADAS PARA
CONDICIONES COMUNITARIAS.

Fig. 4 Typical alternative pavement designs as a function of subgrade CBR

FIG. 1: STANDARDIZED CONCRETE BLOCK PAVEMENTS

(Thickness in cm, • modulus of reaction E_2 in MN/m^2)

17
X

CLASS	I	II	III	IV	V	VI
traffic volume (VB)	> 200	100 - 200	50 - 100	10 - 50	0 - 10	< 0
construction depth	22 24 26 28	24 26 28 30	26 28 30 32	28 30 32 34	30 32 34 36	32 34 36 38
ASPHALT BASE						
concrete block paving						
asphalt base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
ASPHALT- AND CRUSHED STONE -BASE						
concrete block paving						
asphalt base						
crushed stone base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
ASPHALT- AND GRAVEL-BASE						
concrete block paving						
asphalt base						
gravel base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
STABILISATION OF SOILS						
concrete block paving						
stabilisation of soils						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
CRUSHED STONE BASE						
concrete block paving						
crushed stone base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
GRAVEL BASE						
concrete block paving						
gravel base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74
GRAVEL OR CRUSHED STONE BASE (WITHOUT BLANKET LAYER)						
concrete block paving						
gravel or crushed stone base						
depth of base course			100 120 140 160	120 140 160 180	140 160 180 200	160 180 200 220
CEMENT TREATED BASE						
concrete block paving						
cement treated base						
blanket layer						
depth of blanket layer			50 54 58 62	54 58 62 66	58 62 66 70	62 66 70 74

- 1) round aggregate only when proved satisfactory under local conditions
- 2) only broken aggregates and when proved satisfactory under local conditions
- 3) only "mixed in place"
- 4) for temporary traffic use of asphalt base or if a membrane is required
- 5) if temporary traffic use of base or a membrane is required an 8cm asphalt base (10cm in class III) should be installed

III. Congresso Int.
Sobre Adog.
Roma Maio 1933

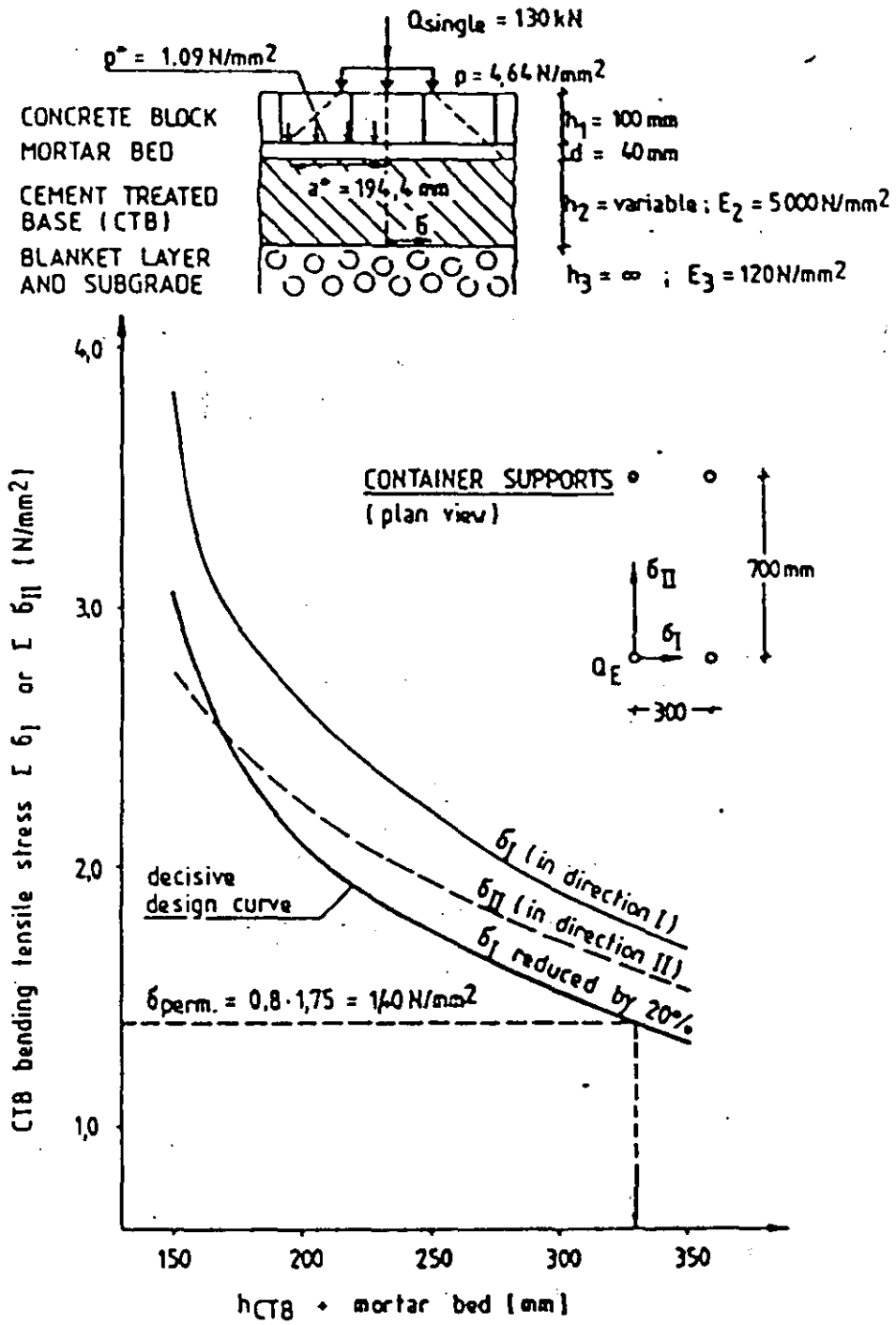
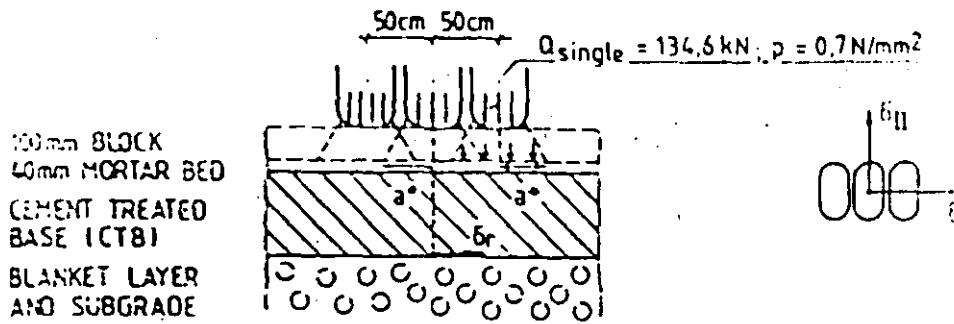


Fig. 3: Concrete block pavement for container terminals: bending tensile stresses at bottom of the cement treated base under container loading



?

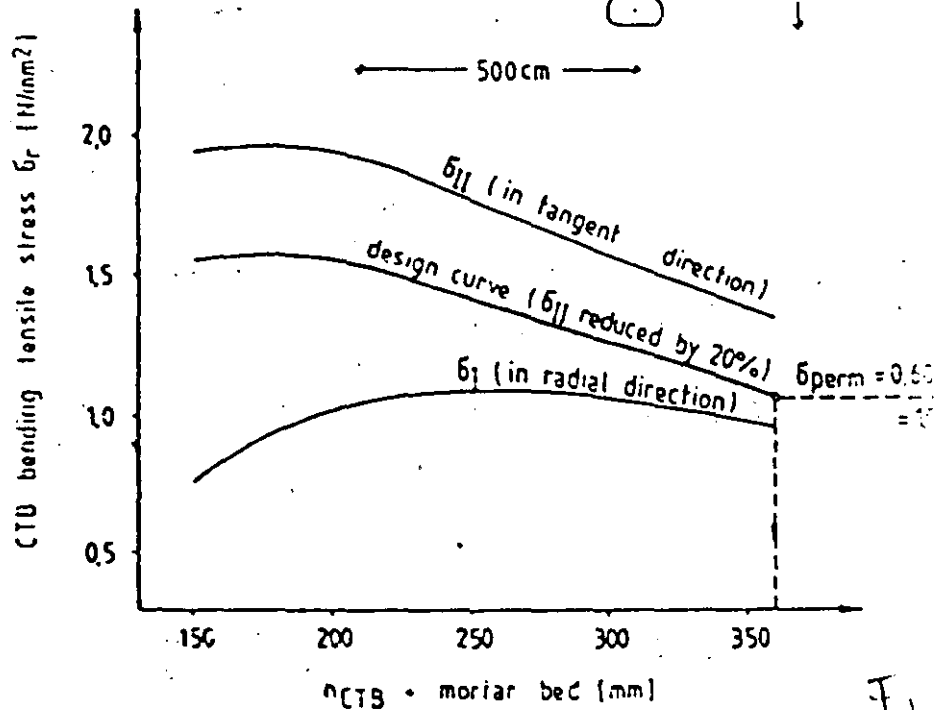
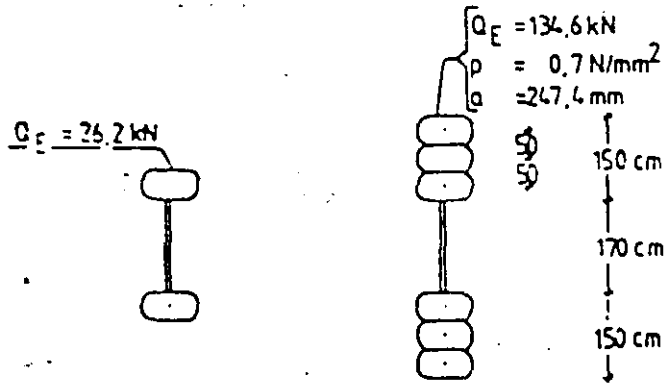


Fig. 4: Concrete block pavement: bending tensile stresses at bottom of the cement treated base under very heavy stacked trucks

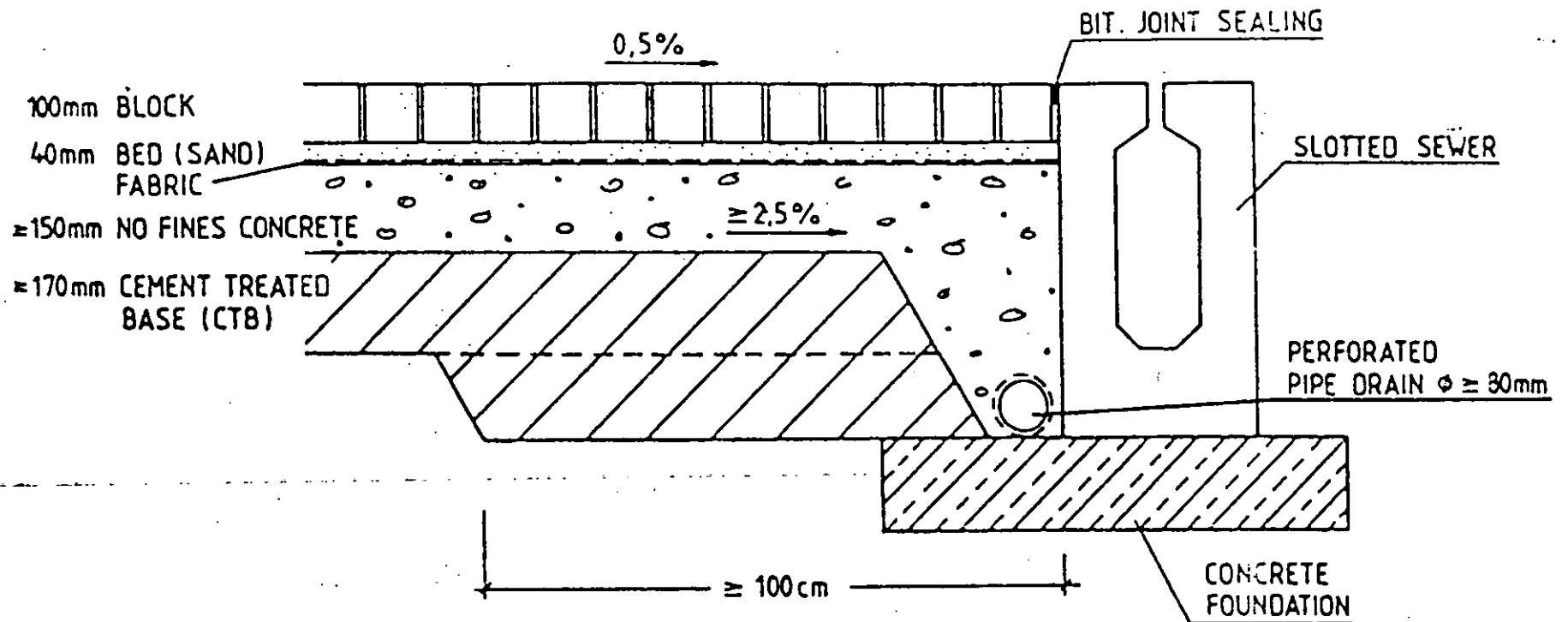


Fig. 5: Heavy trafficked concrete block pavement structure with a base course of No-Fines-Concrete

RECOMENDACION ALTERNATIVA PARA EL RAPIDO
 SOBRENDAJE (SERIO PROBL. DE CONGELAMIENTO)

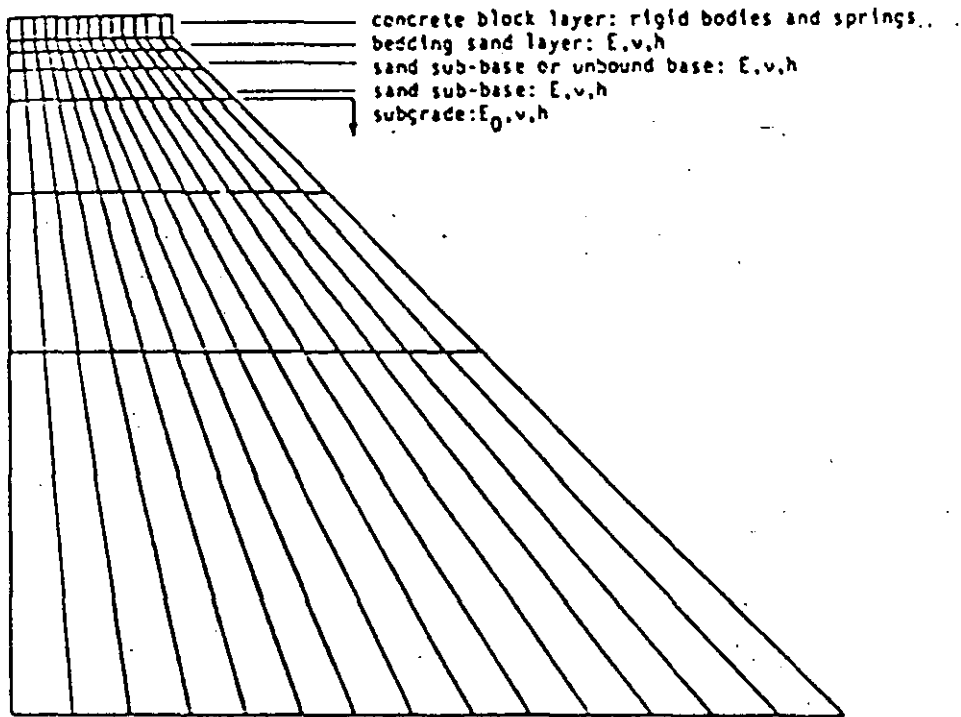


Figure 7. Schematic representation of the distribution of elements in the ICES STRUDL finite element calculations.

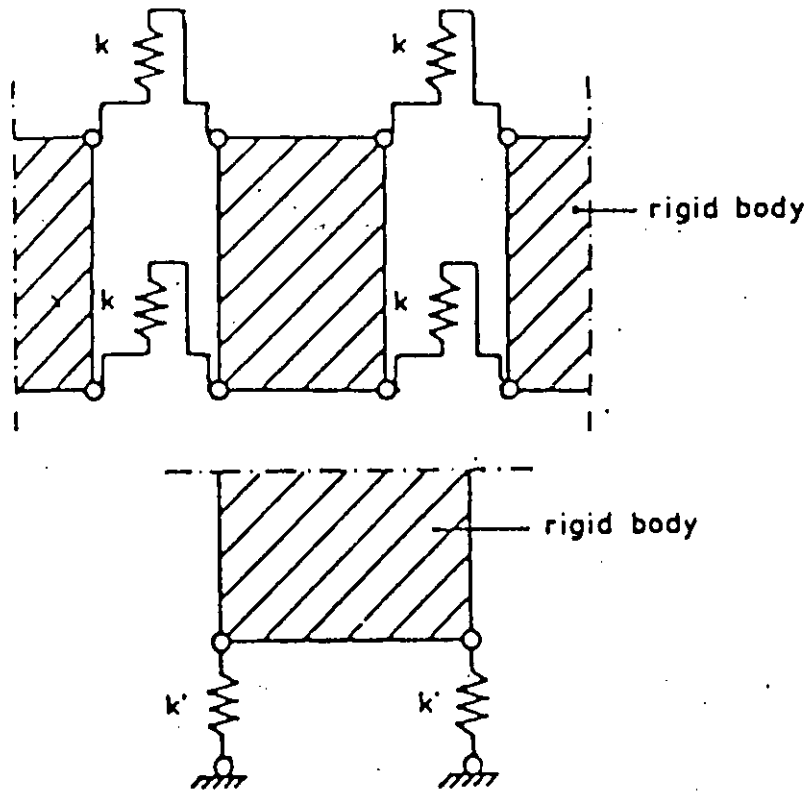


Figure 6. Model concept for the blocks and the joints (above) and the block support (below) in the ICES STRUDL calculations.

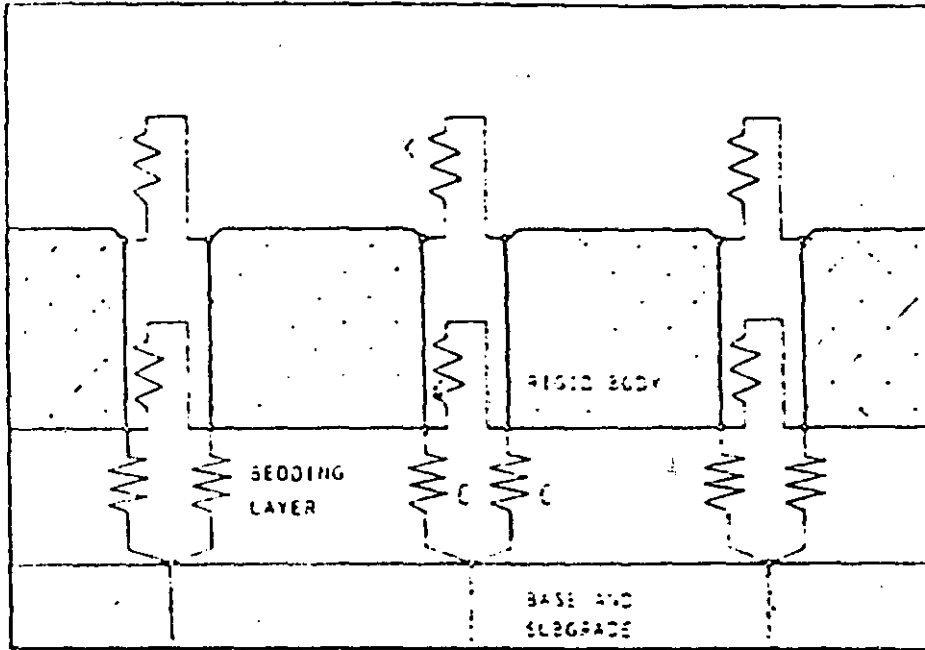


Figure 8. Modelling the concrete block pavement, (after Reference 6)

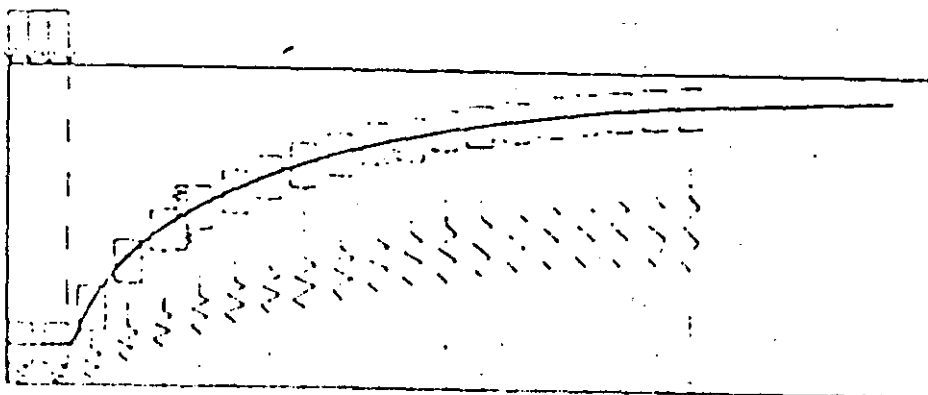


Figure 9. Concrete block layer as a simply

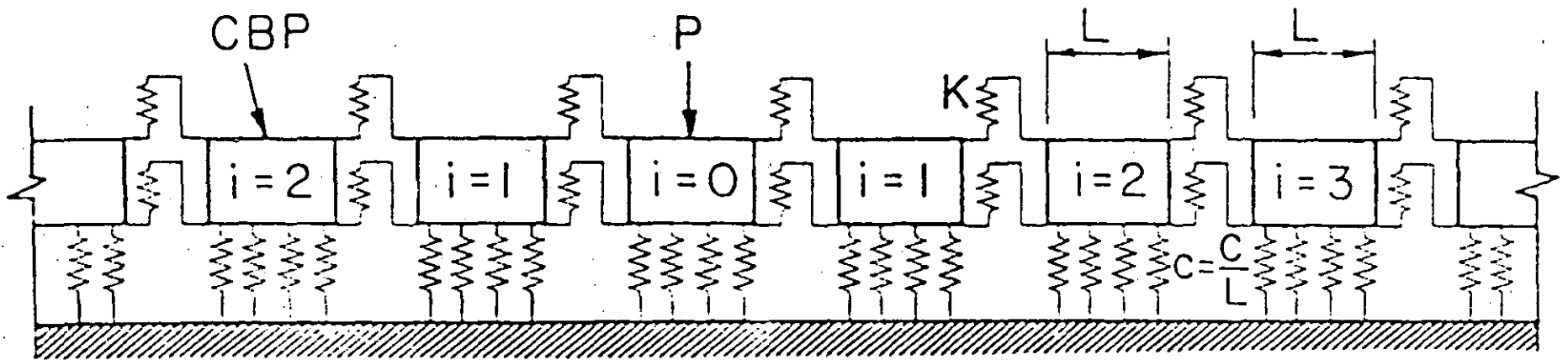
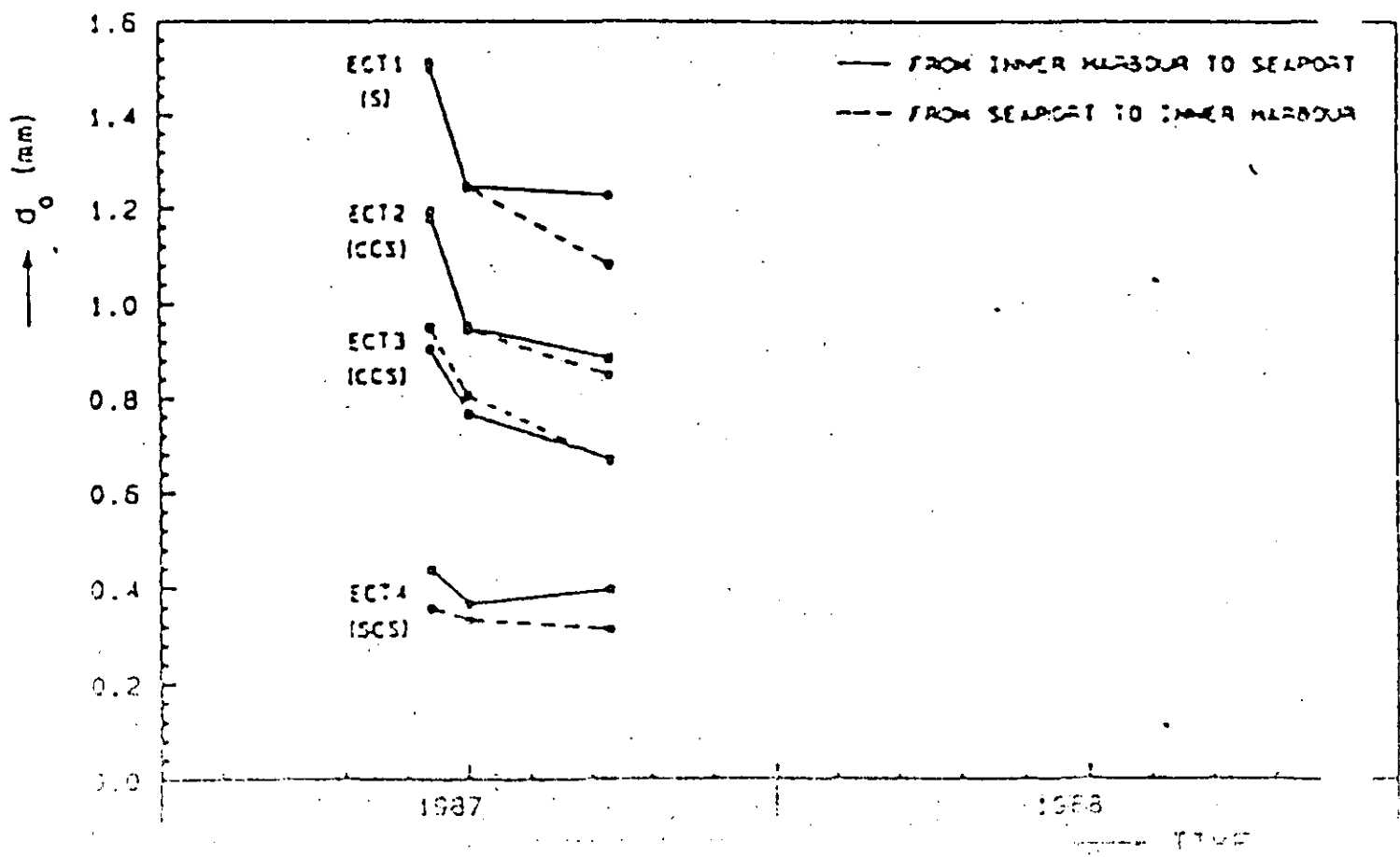
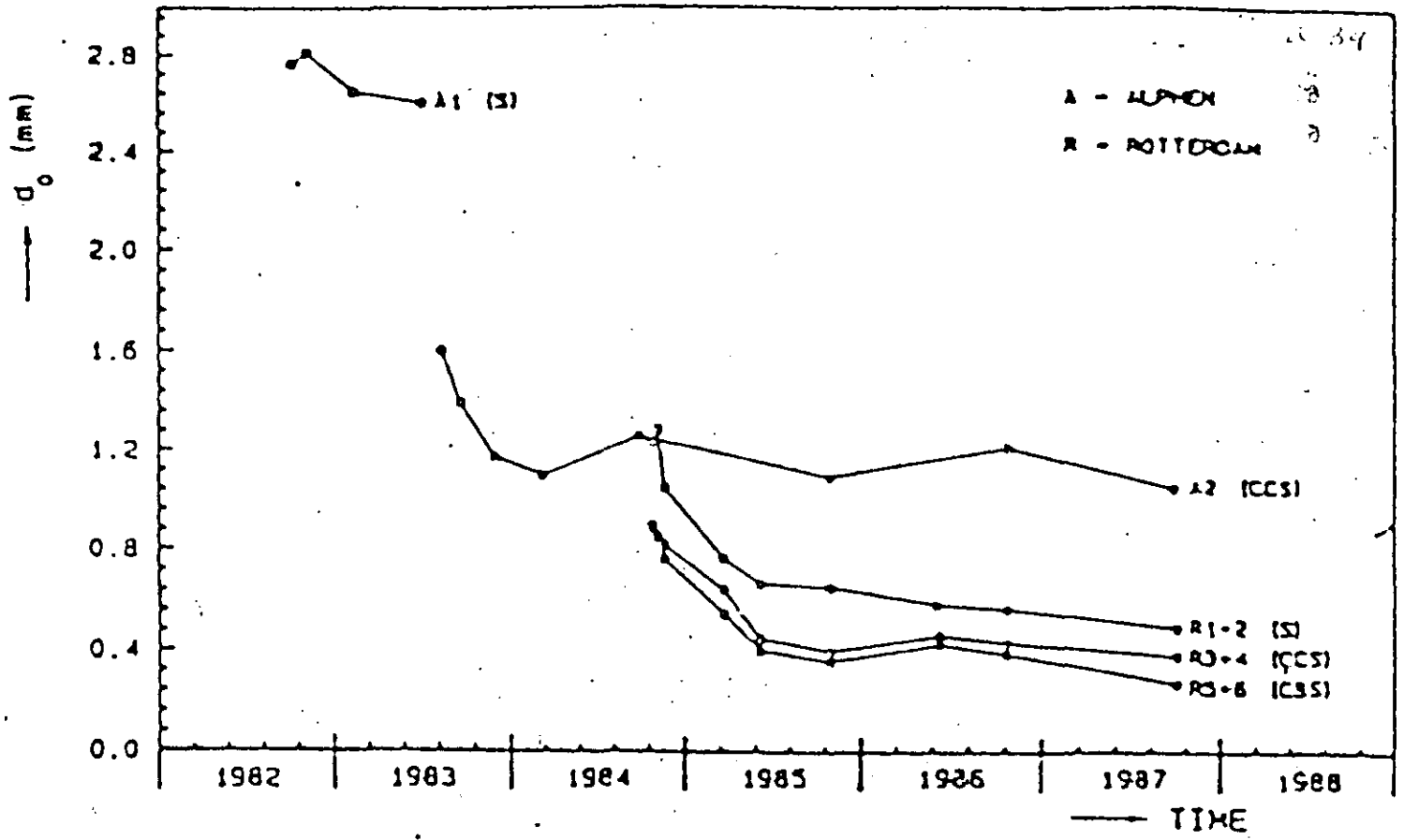
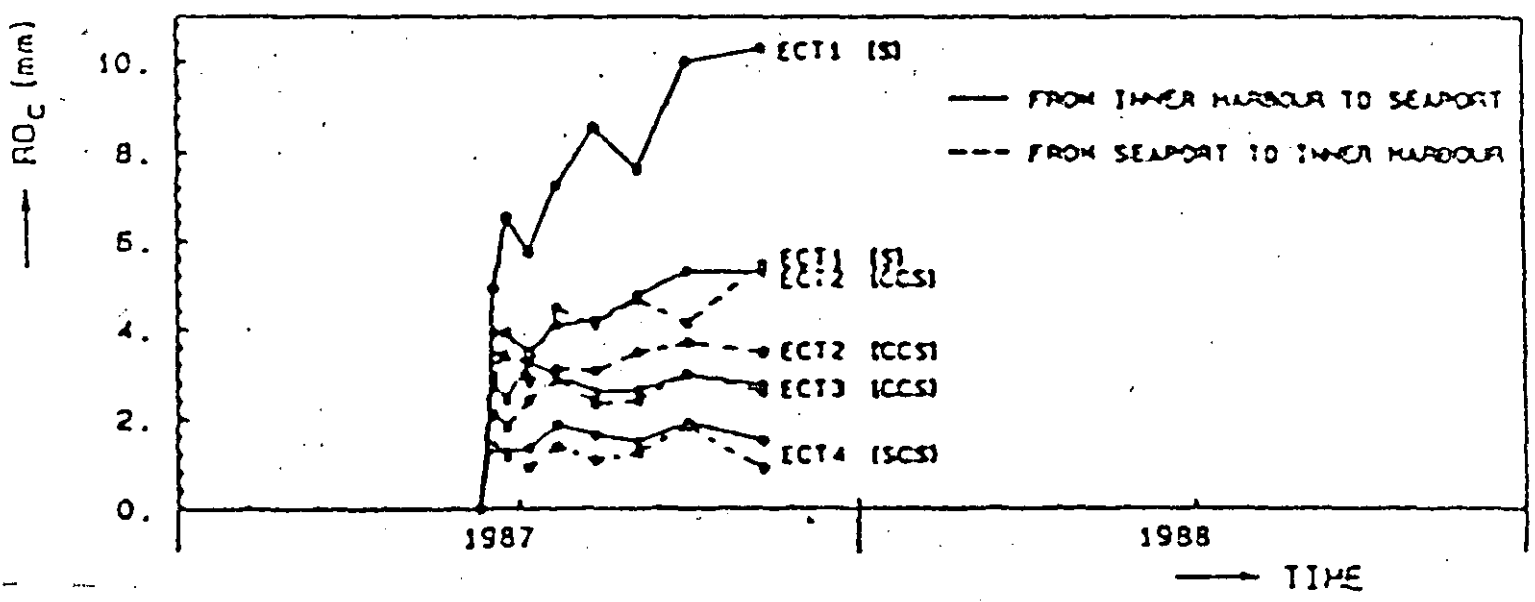
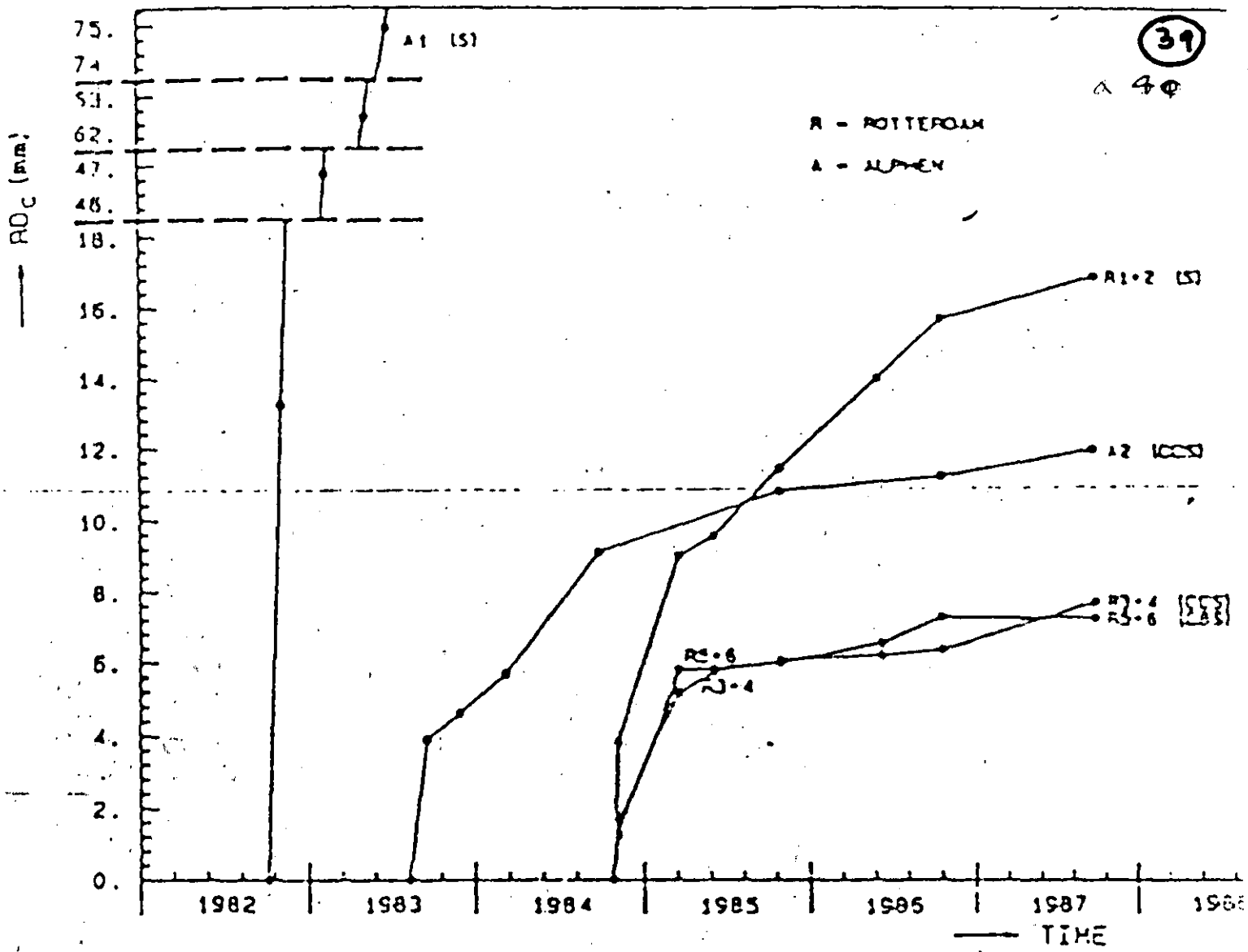


Figure 10. The static scheme of the beam constructed of interlocking blocks.





- S - SAND SUB-BASE ONLY
- CCS - CRUSHED CONCRETE BASE AND SAND SUB-BASE
- CBS - CRUSHED CONCRETE/CRUSHED CLAY BRICKS BASE AND SAND SUB-BASE
- SCS - SAND-CEMENT BASE AND SAND SUB-BASE

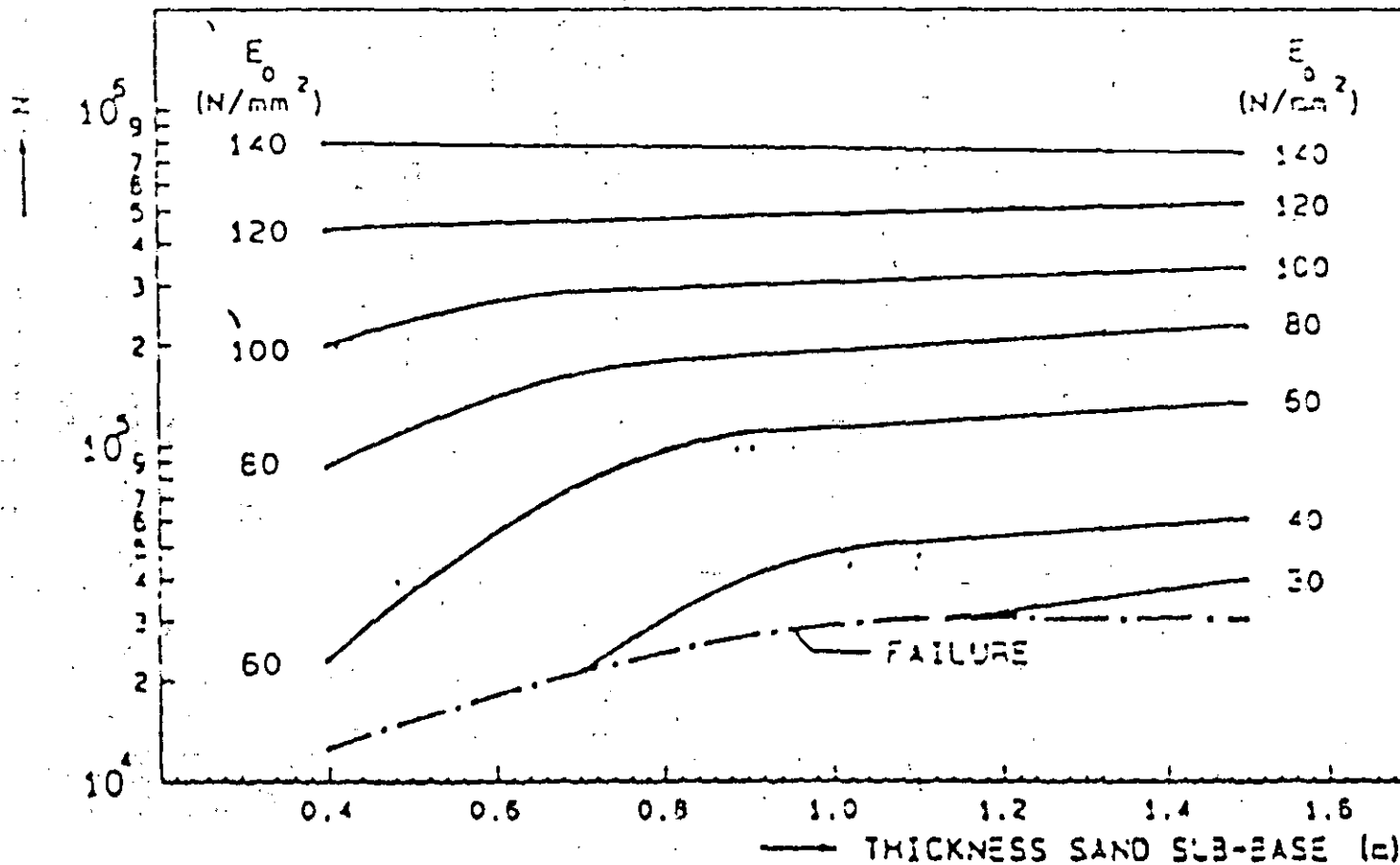
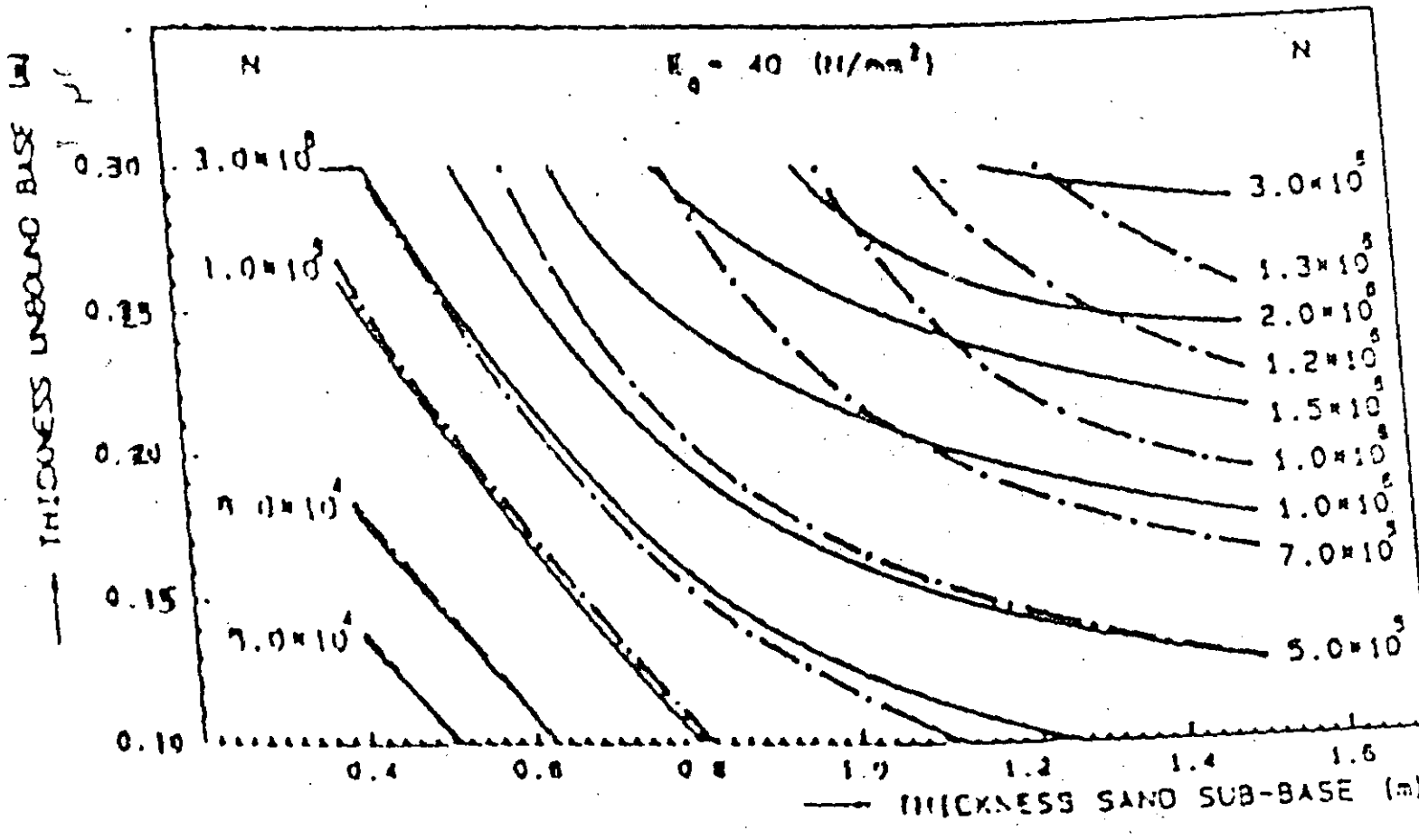
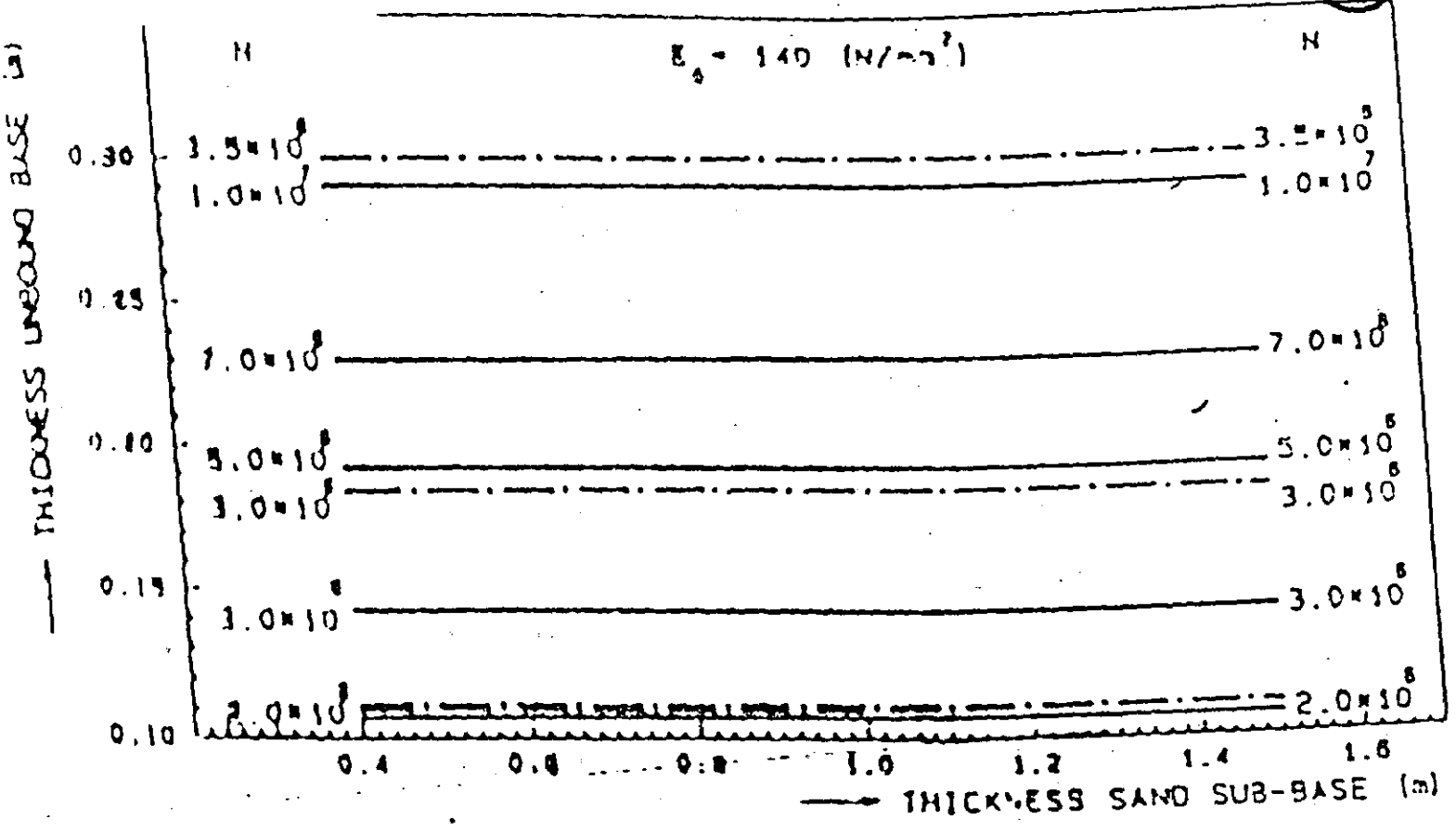


Figure 11. Design chart for concrete block road pavements, consisting of rectangular concrete paving blocks (thickness ≥ 0.08 m) in herringbone bond, 0.05 m crushed sand bedding layer and a sand sub-base.



— (CRUSHED) CONCRETE / CRUSHED CLAY BRICKS BASE (100 PER CENT MASS CRUSHED CONCRETE)

— (CRUSHED) CONCRETE BASE (200 PER CENT MASS CRUSHED CONCRETE)

FIG. 12



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

DEL 19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

A N E X O

ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA

TRANSITO :

$$NDT = NV \times FC \times FPV$$

NDT = NUM. DE DISEÑO DE TRANSITO

NV = NUM. DE VEHICULOS

- DIARIO PROMEDIO

- CARRIL DE DISEÑO

- PRIMER AÑO

FC = FACTOR CAMION

$$FC = \frac{\sum \left(\frac{PES}{8.2}\right)^4 + \sum \left(\frac{PET}{14.5}\right)^4 + \sum \left(\frac{PETR}{18.2}\right)^4}{NUM. TOTAL}$$

PES = PESO EJE SENCILLO, TONS.

PET = PESO EJE TANDEM, TONS.

PETR = PESO EJE TRIDEM, TONS.

$$FPV = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{20i} \right] ; n = NUM. AÑOS$$

i = TASA CRECIMIENTO

ESPESOR DE BASE :

$$EB = \left[\left(\frac{233.4 + 100 \log NDT}{CBR^{0.4}} \right) - 160 \right] FB$$

CBR = VALOR RELATIVO SOPORTE
DE LA SUBRASANTE.

NDT = NUM. DISEÑO DE TRANSITO

FB = FACTOR DE BASE .

BASE GRANULAR = FB = 2.0

BASE EST. CON CEMENTO = FB = 1.2

ESP. MINIMOS :

SUBRASANTE	BTC.	BGR
CBR		
$\geq 6\%$	7.5 cm.	10 cm.
$< 6\%$	10.0 cm.	15 cm.

Tabla 2. Valores mínimos para la resistencia a la compresión del suelo cemento.

TIPO DE SUELO	CLASIFICACION UNIFICADA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)	
		7 días	28 días
Arenosos y cascajosos	GW, GC, SW, SC, SP, SM, GP	2	2,7
Limosos	ML y CL	1,7	2
Arcillosos	MH y CH	1,4	1,7

BASES GRANULARES⁽¹¹⁾

CBR	> 80%
Límite líquido (*)	< 25%
Indice de plasticidad (*)	< 6
Granulometría	
- Tamaño máximo	38,1 mm (1½")
- Fracción que pasa el tamiz 75 µ (Nº 200)	Menor que los 2/3 de la fracción que pasa el tamiz 420 µ (Nº 40)
Compactación	> 97% (Proctor modificado)
Desgaste en la máquina de Los Angeles	< 50%

(*) De la fracción que pasa el tamiz 420 µ (Nº 40).

TABLA 4. Diseño simplificado de pavimentos de adoquines de concreto.

CLASIFICACION DE LA VIA		SERVICIO SECUNDARIA	SERVICIO PRIMARIA		COLECTORA	ARTERIA
NUMERO DE VEHICULOS COMERCIALES POR DIA Y POR CARRIL (NVDC) (a)		1 a 5	6 a 20		21 a 50	51 a 200
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS DURANTE EL PERIODO DEL ANALISIS		de 1 a 50 000	de 50 001 a 500 000		de 500 001 a 2 500 000	de 2 500 0 a 15 000 0
ESPESOR DE LOS ADOQUINES EN MILIMETROS (mm)		60 u 80	60	80	80	80
TIPO DE BASE	CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO, CBR (%)	ESPESOR DE LA BASE (mm)				
GRANULAR	$CBR \leq 3$	150(b)	230	180	260	330
	$3 < CBR \leq 15$	(b)	(b)		(b)	140(b)
	$CBR > 15$	100(b)	100(b)		100(b)	100(b)
SUELO CEMENTO	$CBR \leq 3$	100(c)	140	110	160	210
	$3 < CBR \leq 15$	(c)	(c)		(c)	100
	$CBR > 15$	75(c)	75(c)		75(c)	75(c)

a) VEHICULO COMERCIAL: Aquel con dos o más ejes y 6 ó más llantas, en ambos casos incluyendo el eje direccional (delantero). No se tienen en cuenta los buses.

b) ESPESORES MINIMOS PARA BASES GRANULARES:

150 mm si CBR de la subrasante es $\leq 6\%$

100 mm si CBR de la subrasante es $> 6\%$

DE ACUERDO CON EL METODO
DEL INSTITUTO DE INGENIERIA
UNAM

CARPETA	5 CMS
BASE HIDRAULICA	20 CMS
SUBBASE HIDRAULICA	28 CMS

NECESARIO:

REALIZAR INVESTIGACION
EN NUESTRO MEDIO.

CLASIFICACION	NUMERO DE EJES EQUIVA- LENTES DE 8,2 TONELADAS
Vía de servicio secundarias	1 a 50 000
Vía de servicio primarias	50 001 a 500 000
Colectora	500 001 a 2 500 000
Arteria	2 500 001 a 15 000 000

TRANSITO PESADO

METODO CCA

DEFINICION: + DE 1300 000 EE 18000 LBS.

SUBRASANTE (ROAD NOTE 29)

TIPO	I.P (%)	C. B. R (%)	
		NAF > 600 MM	< 600 MM
ARCILLA	70	2.0	1.0
	60	2.0	1.5
	50	2.5	2.0
	40	3.0	2.0
ARCILLA LIMOSA	30	3.0	3.0
ARCILLA	20	6.0	4.0
ARENOSA	10	7.0	5.0
LIMO	-	2.0	1.0
SP	-	20.0	10.0
SW	-	40.0	15.0
GW	-	60.0	20.0

PARA CBR < 5% USAR CAPA DE MEJORAMIENTO

EJES DE 18000 LBS (AAS#TC)

USO DE LA GRAFICA DE LA FIGURA 3

PUBL. CCA

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

$ZLn = P(n, r, TEDI)$

n = PERIODO DE DISEÑO EN AÑOS

r = TASA DE INTERES

$TEDI = P(C.E, TPDA)$

C.E = COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA

TPDA = TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL

¿EJES DOBLES, TRIPLES?

- SUBBASE

- + FIGURA 6 ROAD NOTE 29

- + PROBLEMA DE HELADAS

45 CMS SOBRE EL NAF.

φ NO IMPORTA LA FORMA DEL ADOQUIN

φ A IGUALDAD DE ESPESORES:

PAV. ASF. = PAV. ADOQUIN

φ PAV. ASF. SE FATIGAN

PAV. ADOQ. SE RIGIDIZAN

φ EN UN CIERTO MOMENTO LA DEFORMACION PERMANENTE YA NO SE INCREMENTA.

φ ALTA RESISTENCIA EN EL CONCRETO DEL ADOQUIN

φ INCREMENTAR EL ESPESOR DE BASE

φ REDUCIR EL ESPESOR DE ARENA

φ FUERTE GANANCIA DE 60 MM A 80 MM

BAJA GANANCIA DE 80 MM A 100 MM

φ CON EL TIEMPO SE IMPERMEABILIZA LA JUNTA

φ SATURAR LA ARENA, ANGULOSA

EJEMPLO DE DISEÑO

DATOS:

SUBRASANTE Y TERRENO NATURAL	<u>CBR = 5%</u>
SUBBASE	<u>CBR = 15%</u>
BASE	<u>CBR = 60%</u>

TRANSITO:

VEHICULO	NUM. PROM. DIARIO POR CARRIL.
AUTOMOVILES	800
AUTOBUS	100
CAMION C3	300
CAMION T2-S2	50
CAMION T3-S2	20
TASA ANUAL DE CRECIMIENTO	= 7%
PERIODO DE DISEÑO	= 10 AÑOS.

TASA DE CRECIMIENTO ANUAL = 7 %
PERIODO DE DISEÑO = 10 AÑOS

TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

$$\sum L_n = 636.96 (365) \sum_{n=1}^{10} (1+r)^{n-1}$$

$$\sum L_n = 232490 \left[(1.07)^0 + (1.07)^1 + (1.07)^2 + (1.07)^3 + (1.07)^4 + (1.07)^5 + (1.07)^6 + (1.07)^7 + (1.07)^8 + (1.07)^9 \right]$$

$$\sum L_n = 232490 \left[1.0 + 1.07 + 1.14 + 1.22 + 1.31 + 1.40 + 1.50 + 1.60 + 1.72 \right]$$

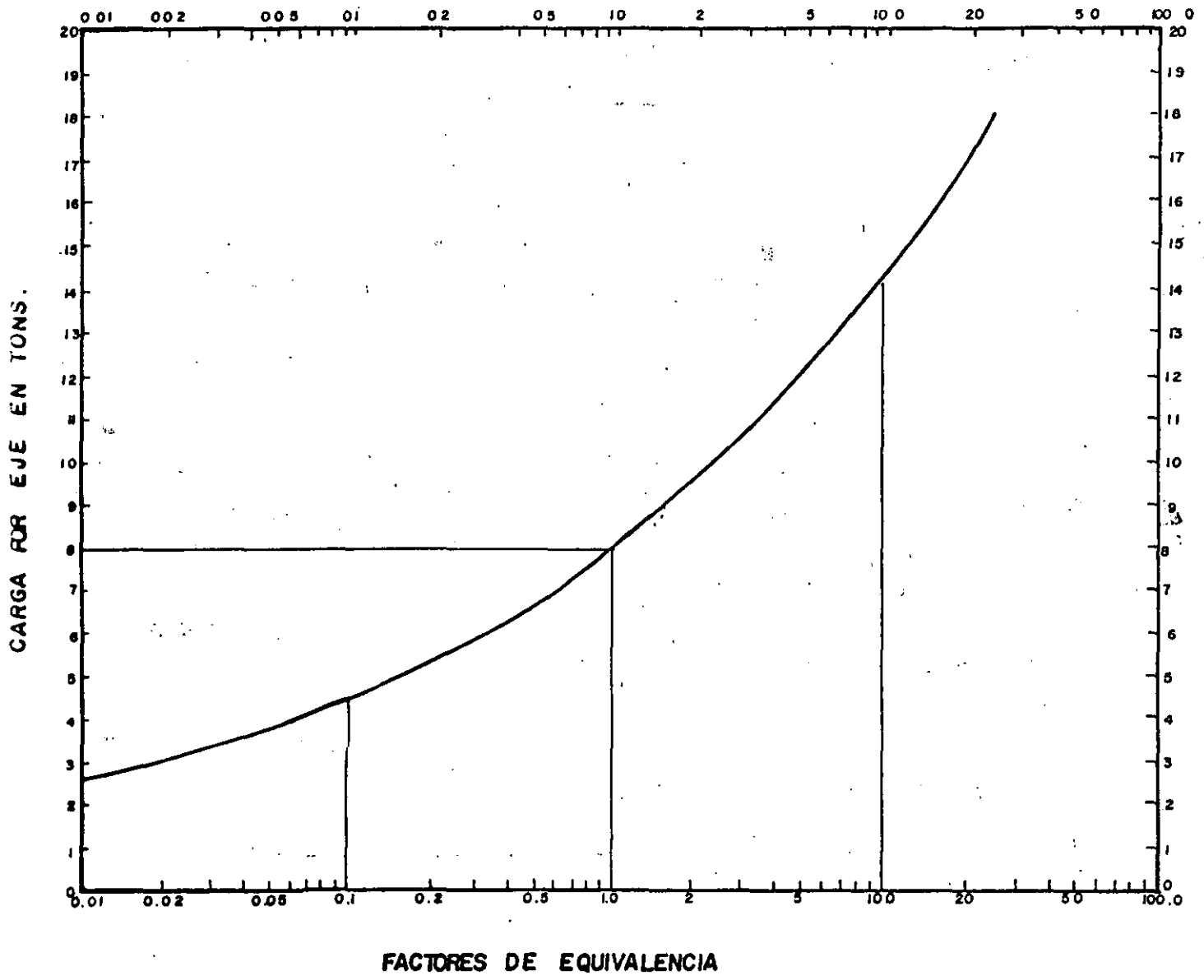
$$\sum L_n = 232490 [11.96] = 2.78 \times 10^6 \text{ ESES E}\phi\text{S.}$$

DE LA FIGURA 6 DEL ROAD NOTE 29

CON $\sum L_n = 2.78 \text{ E.E.}$ Y C.B.2. = 5 %

SE OBTIENE :

ESPESOR DE SUBBASE = 228 mm



Road Note 29

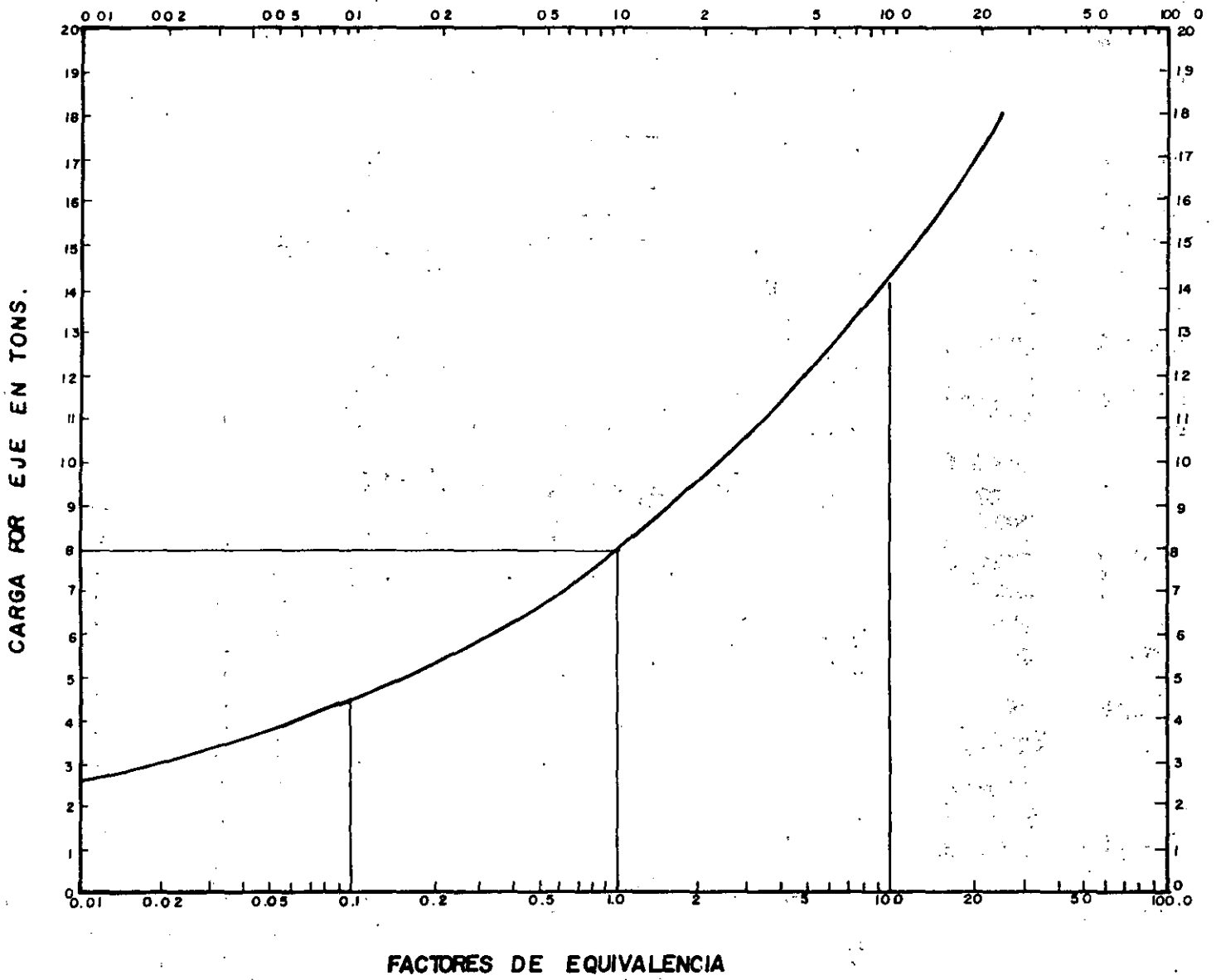
CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

VEHICULO	NUM. DIARIO	EJE DEL.		EJE INT		EJE TRAS.		NUM. DE EJES EP. (+)
		PESO (KG)	F.E	PESO (KGS)	F.E	PESO (KGS)	F.E	
AUTOMOVIL	800	1000	0.00			1000	0.00	0.00
AUTOBUS	1.00	4200	0.068			8300	1.20	(68+120)
CAMION C3	300	2600	0.010			(*) 2x7000	1.22	(30+360)
CAMION T2-52	50	4000	0.060	8500	1.30	(*) 2x6000	0.72	(50x30+60)
CAMION T3-52	20	3900	0.058	(*) 2x6500	0.90	(*) 2x6500	0.90	(1.16+180+80)

TOTAL: 636.96 EE.

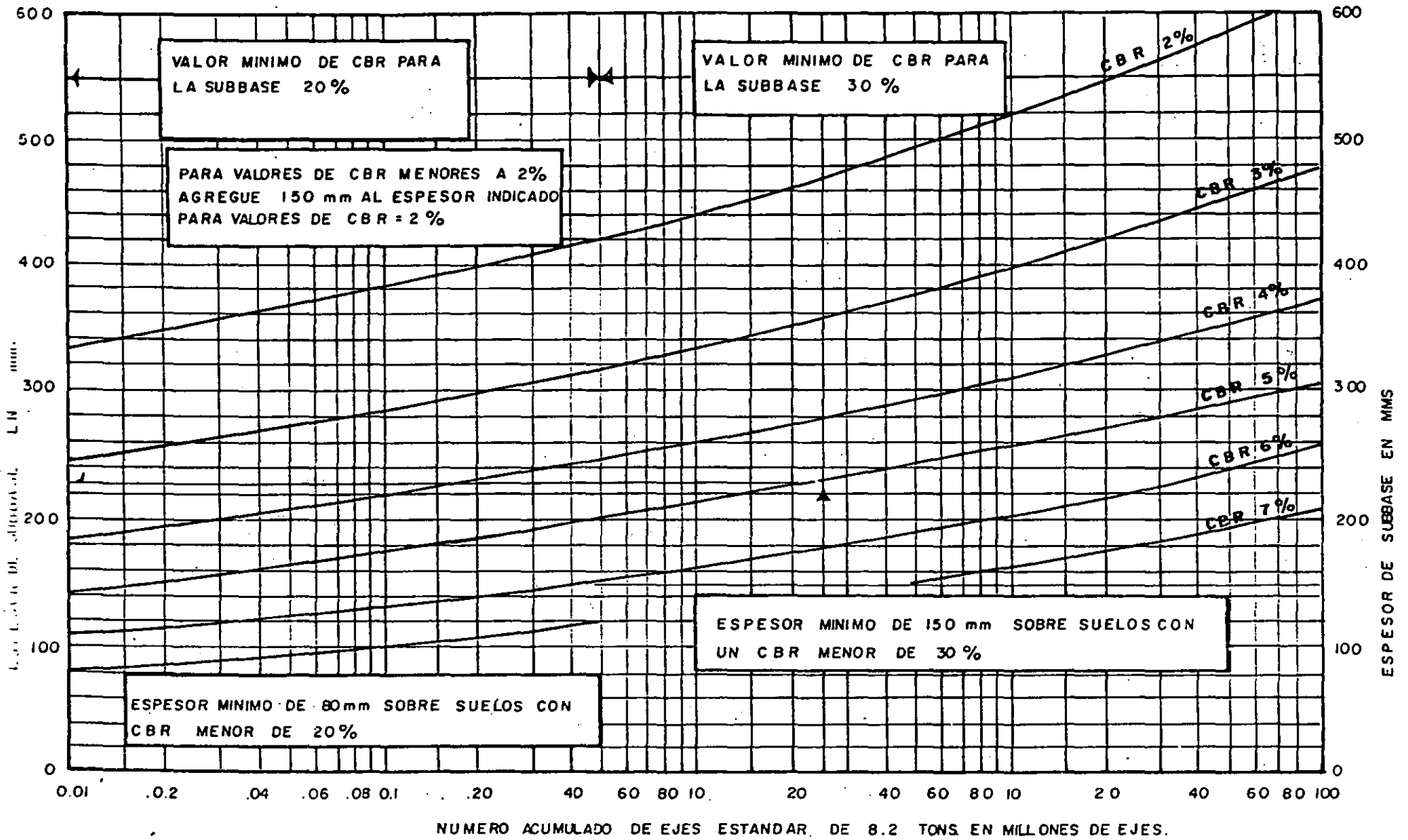
(*) LA CONSIDERACION DEL TRANSITO ES CONSERVADORA EN ESTE METODO PUES NO TOMA EN CUENTA EL EFECTO DE TANDEM.

(+) EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONS (AASHTO)



Road Note 29

ROAD NOTE 29



DE LA FIGURA 4 DEL CCA.

$\Sigma L_n = 2.78 \times 10^6$ EJES EQUIVALES

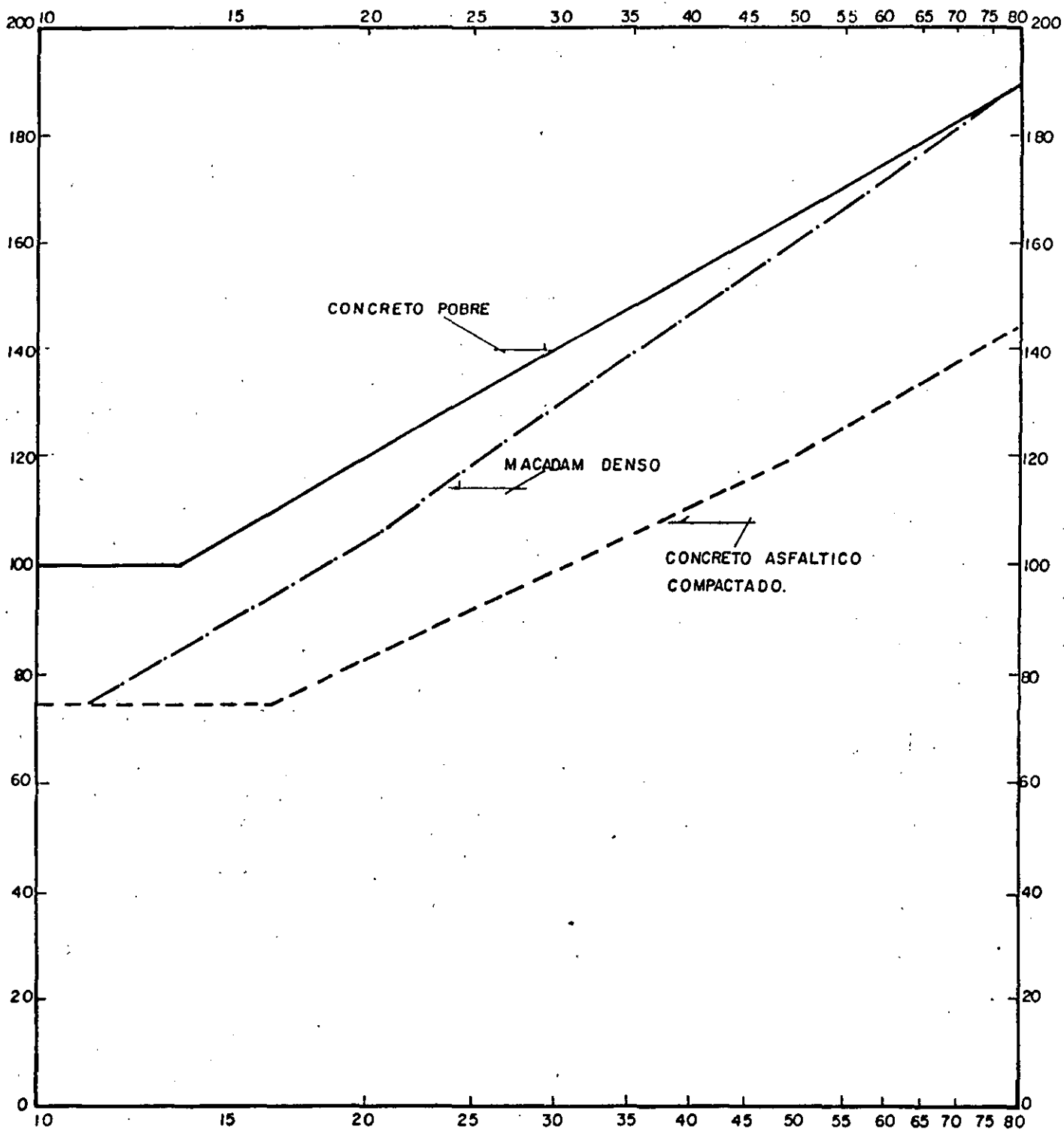
SE OBTIENE:

ESPESOR DE BASE:

- 75 MM DE CONCRETO ASFALTICO
- 75 MM DE MACADAM DENSO
- 100 MM DE CONCRETO POBRE

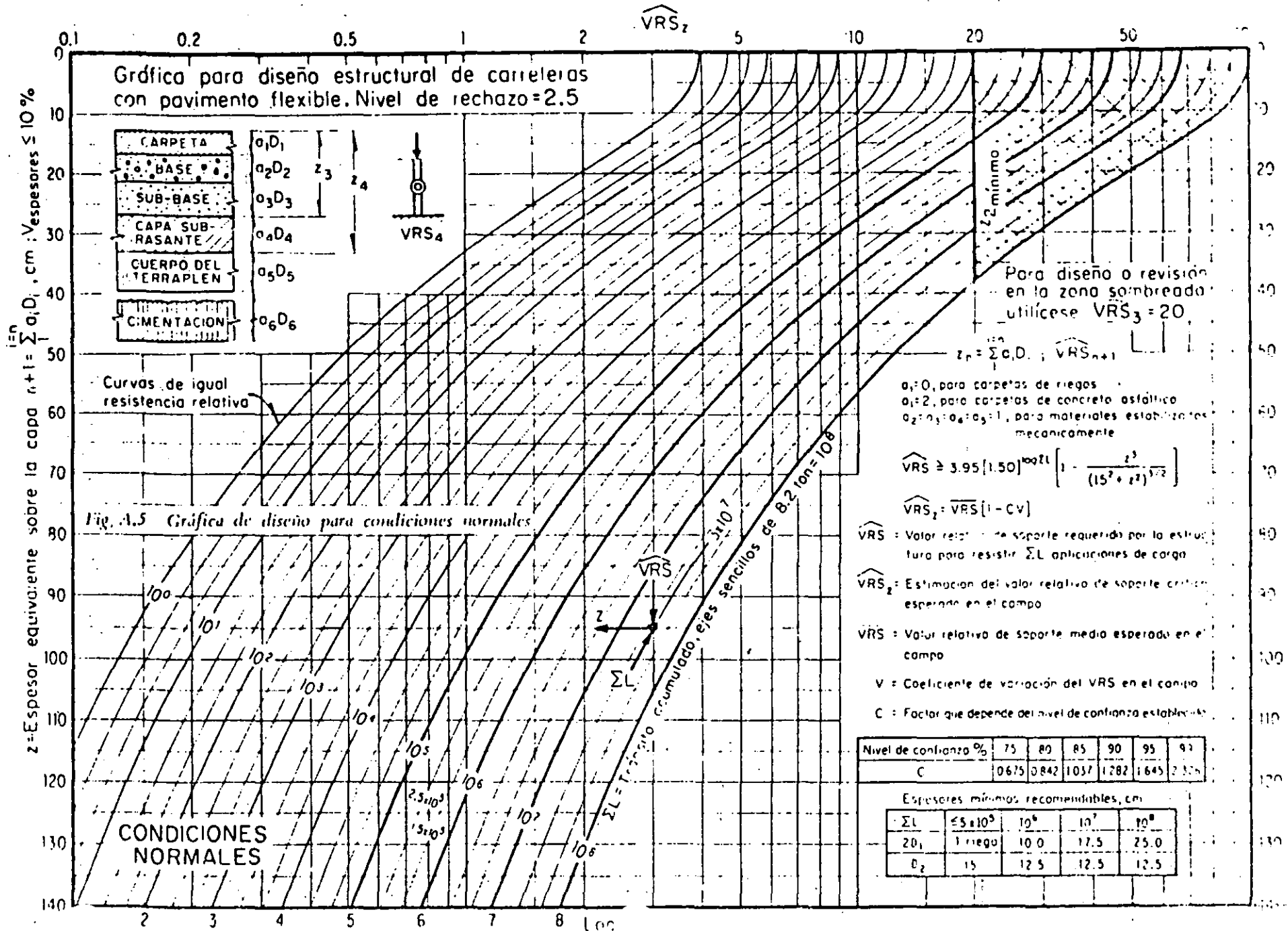
EL DISEÑO SERA:

SUBBASE	23 CMS
BASE DE CONCRETO POBRE	16 CMS
CAPA DE ARENA	5 CMS
ADOCUIN	8 CMS



NUMERO ACUMULADO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONS, EN MILLONES DE EJES.

Fig. A.4 Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



TRANSITO MEDIO

Y

LIGERO

ALTERNATIVAS { POSPONER ADOQUINADO
ADMITA REPARACIONES

TRANSITO < 1'500,000 EE. NO SE
REQUIERE BASE (CCA)

ESPESOR MINIMO DE BASE ESTABILIZADA CCA.

CON CEMENTO ————— 10 CMS

CON ASFALTO ————— 7.5 CMS

¿ RELACION AGUA CEMENTO ?

¿ CONTENIDO DE ADITIVO ?

¿ HOMOGENEIDAD ?

¿ COMPACTACION ?

- ADOQUIN

ESPESES. MINIMO ————— 8 CMS

DESEABLE ————— 10 CMS

- DRENAJE

- SELLADO AUTOMATICO DE LAS JUNTAS
- PENDIENTE MINIMA 2.5 %
- PENDIENTE EN CAVALES COLECTORES PREFABRICADOS 0.5 % MINIMA
- ADOQUINES 3MM ARRIBA COLECTORES.

BASE

KNAPTON:

5 CM ARENA COMPACTA + ADOQUIN (8 CMS)
EQUIVALEN A 16 CM CONCRETO ASFALTICO.

TCAD NOTE 29 :

EQUIVALENCIAS PARA 1500 000 E.E.

160 MM (CONCRETO ASFALTICO)

70 MM (CONCRETO ASF) + 100 MM (MAC. ASF)

70 MM (CONCE. ASF) + 155 MM (SUELDO CEM)

PARATRANITO > 1500 000 E.E. USAR:

CONCRETO POBRE

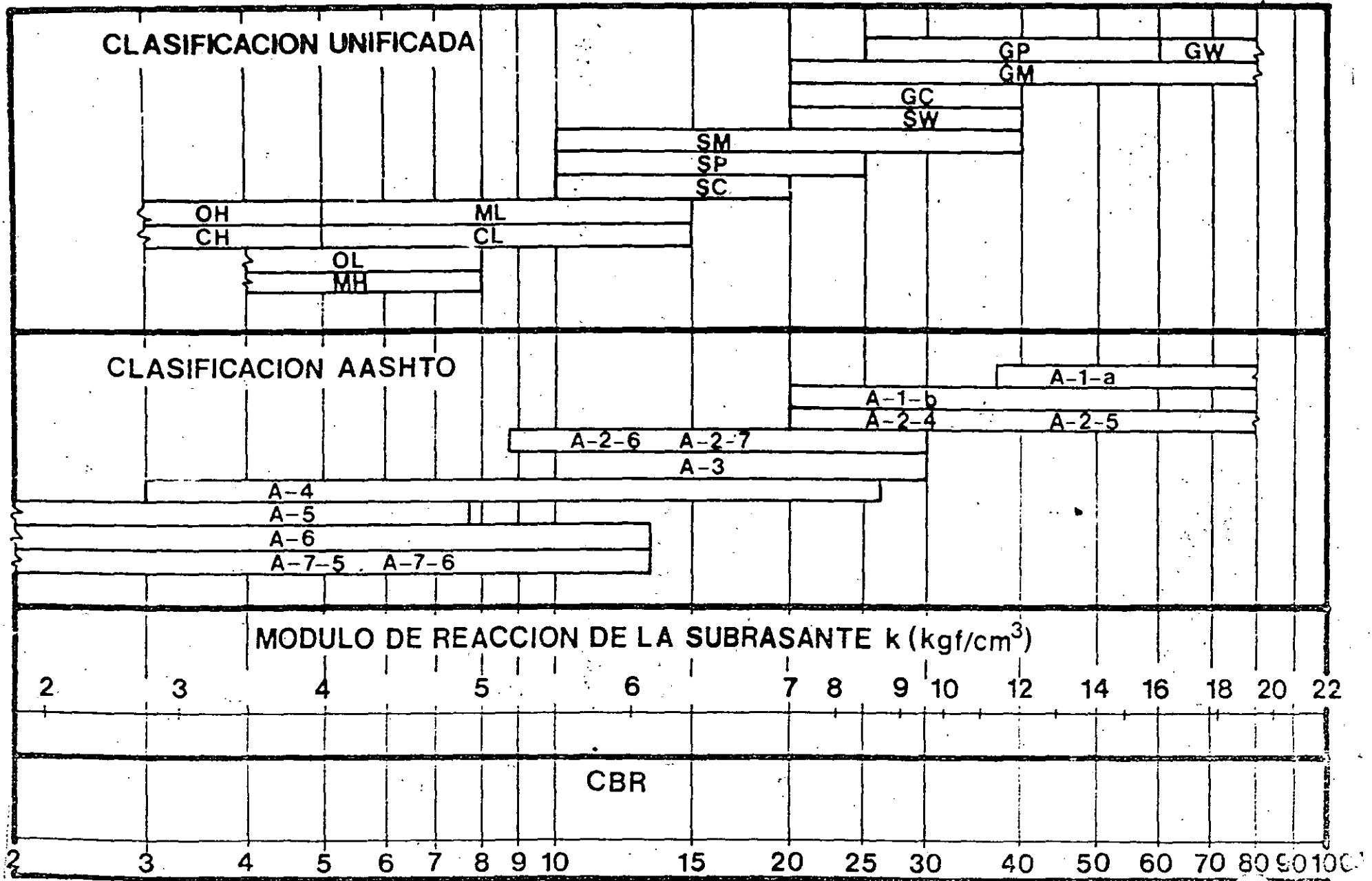
CONCRETO ASFALTICO

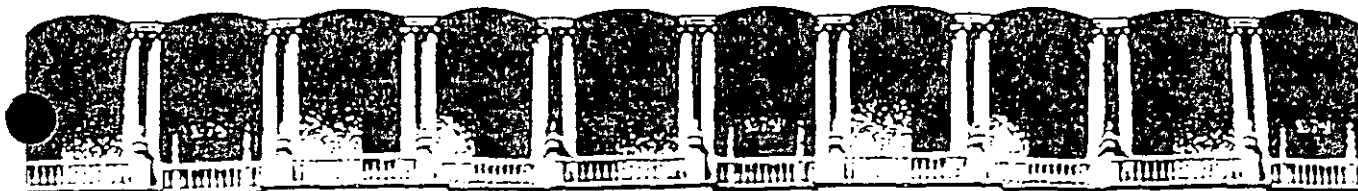
GRAVA CEMENTO

MACADAM ASFALTICO

USAR FIGURA 4 CCA.

Tabla 1. Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo (Unificada, AASHTO) y los valores de k . (20)





**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).

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 y 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 el 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 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 pueden 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; 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 fundamentado en los conocimientos

adquiridos en las obras realizadas en otros países, y en 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



Figura 5. Área de servicio de una gasolinera.

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.

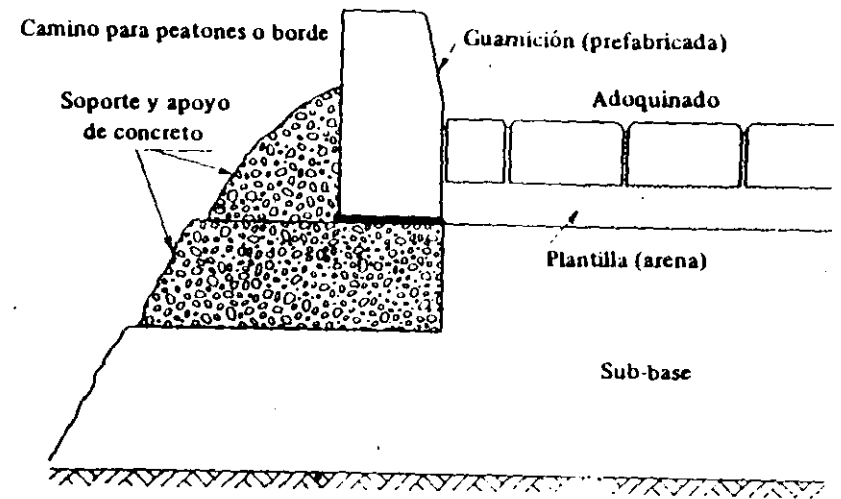
1.1.2 Cuatrapeo

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".

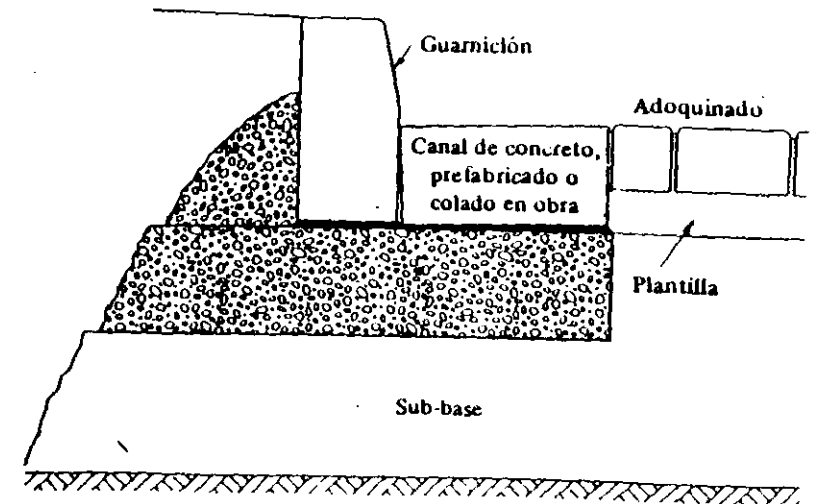
El cuatrapeo también impide que las fuerzas producidas por vehículos que frenan o que aceleran, desplacen a los adoquines horizontalmente, situación conocida con el nombre de "deslizamiento". Ahora bien, si se permite que se presente un desplazamiento horizontal de cierta importancia, las juntas se abrirán 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 pavim. 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.



a) Adoquinado que colinda con la guarnición.



b) Adoquinado que colinda con el canal de concreto.

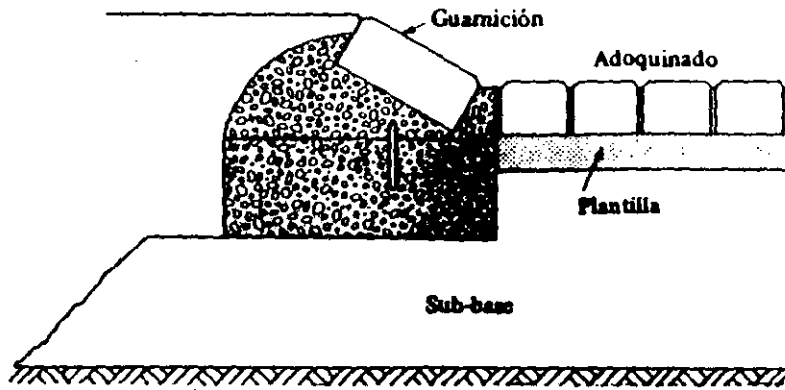


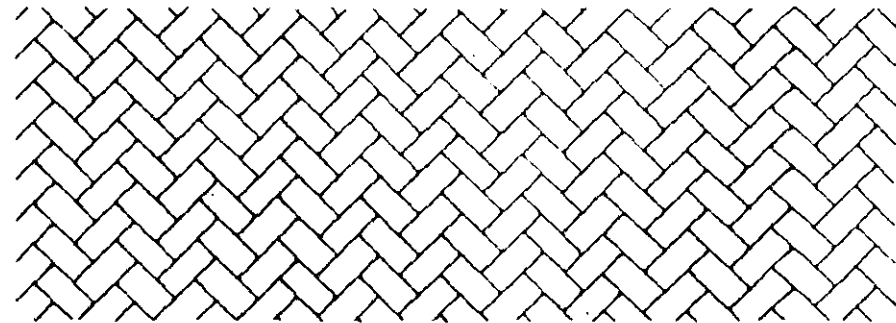
Figura 7. Sección transversal, que muestra un adoquín inclinado colocado sobre una cimentación de la contención, cubriendo el borde.

1.1.3 Sub-base

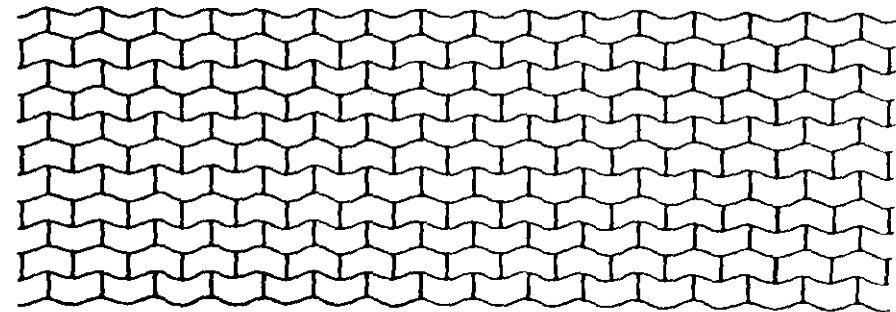
La pavimentación con adoquines de concreto se puede colocar directamente sobre una sub-base, diseñada de acuerdo con las normas de las *Road Note 29*³, donde la base, la capa y la superficie de rodamiento se sustituyen con los adoquines y con 5 cm de arena. Knapton⁴, demostró que los adoquines tienen 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 o debajo del nivel de formación; en caso de que sea mayor, se deberán utilizar los espesores proporcionados entre paréntesis.

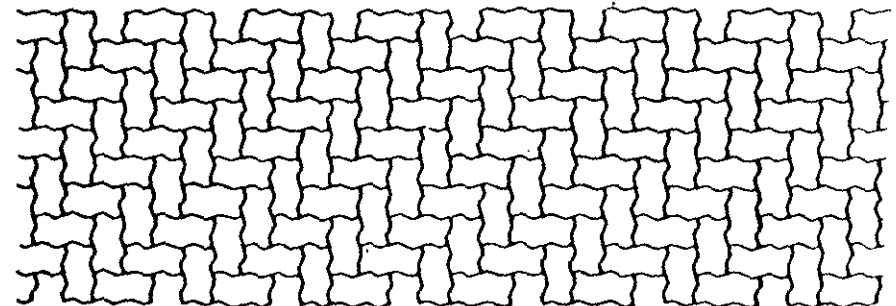
Figura 8. Modelos para la colocación de adoquines, para obtener una unión horizontal entre ellos.



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



b) Adoquines con forma patentada, colocados en cuatraneo.



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% 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 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 graduada
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 sufre 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^o/o de sedimentos y de arcilla por peso, ni más del 10^o/o 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.

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

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.

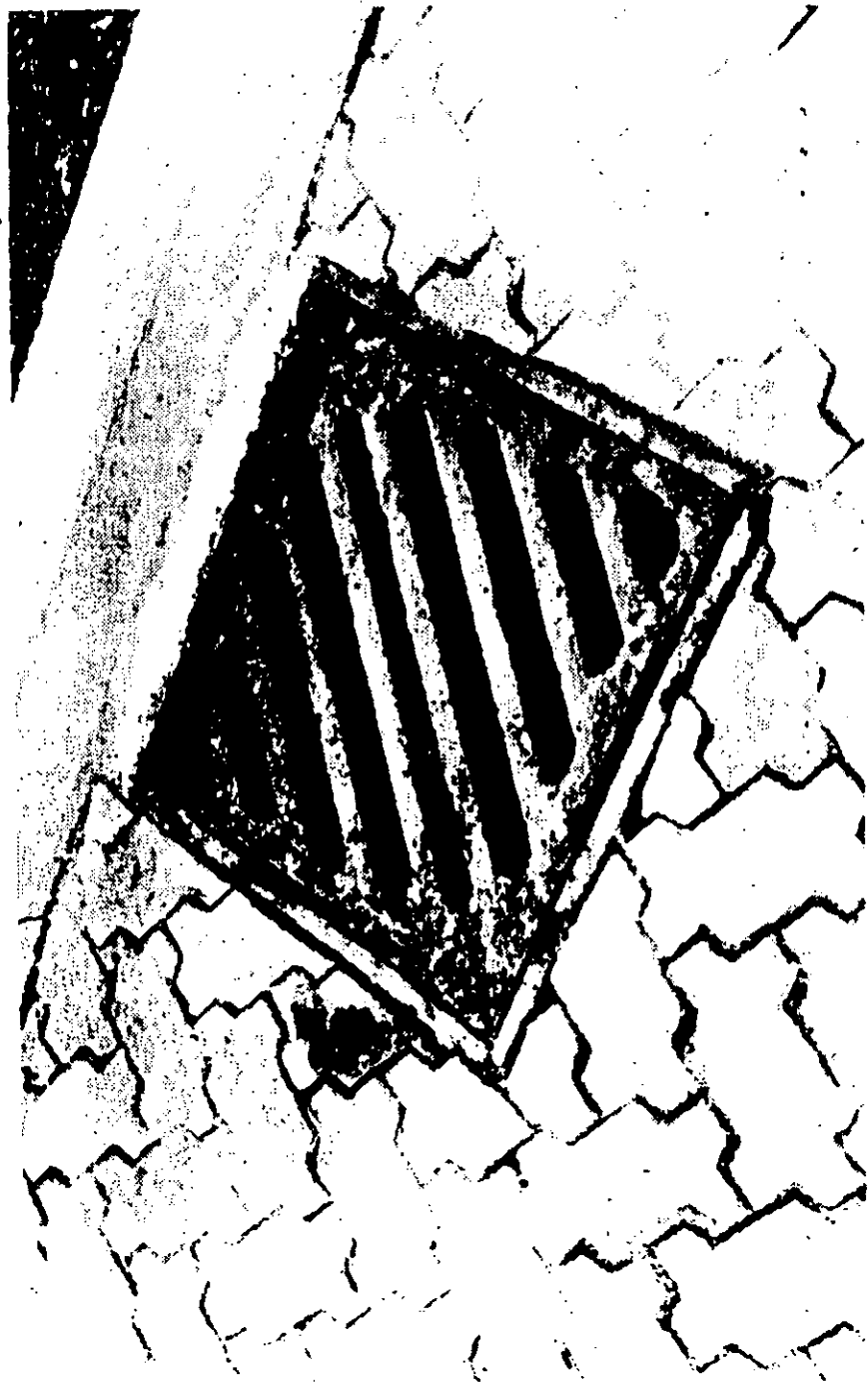


Figura 9. Entrada de alcantarilla.

Por otra parte, con el fin de prevenir la formación de enarcos, 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.

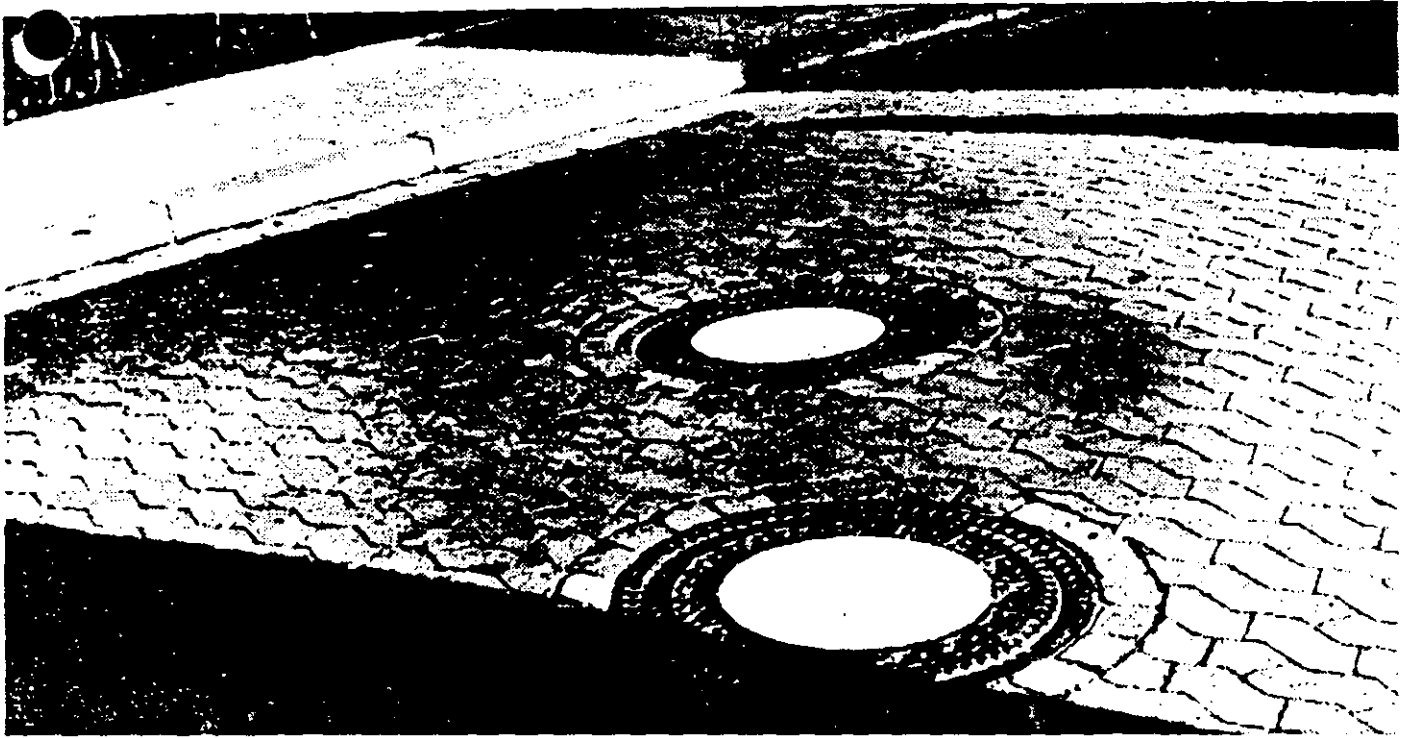


Figura 10. Cubiertas de inspección.

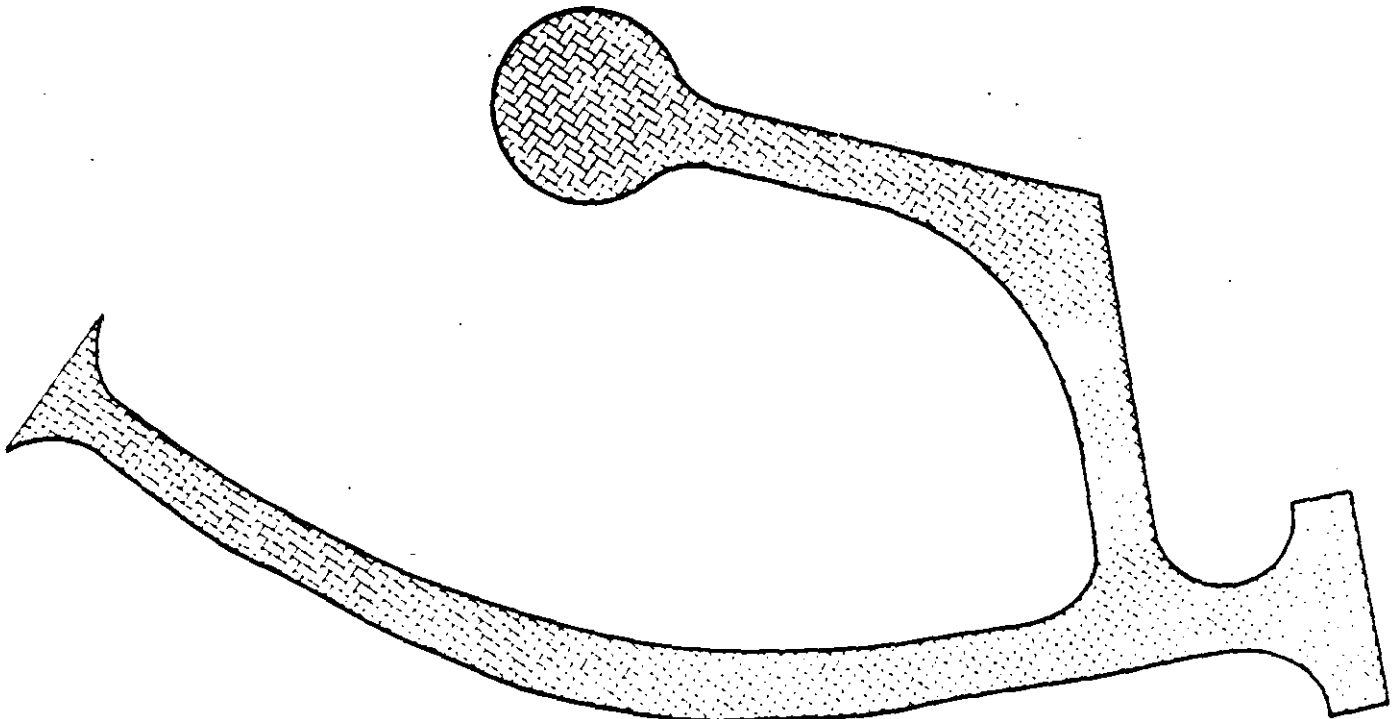


Figura 11. Colocación de adoquines en un camino residencial. Se ha exagerado la escala de los adoquines para que se aprecie mejor el modelo. Observe que no hay ninguna necesidad de cambiar la orientación de los adoquines, para seguir la línea del camino.

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 presentará 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 adoquín 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 adecuada, 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 adocuin 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^o/o 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^o/o 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.

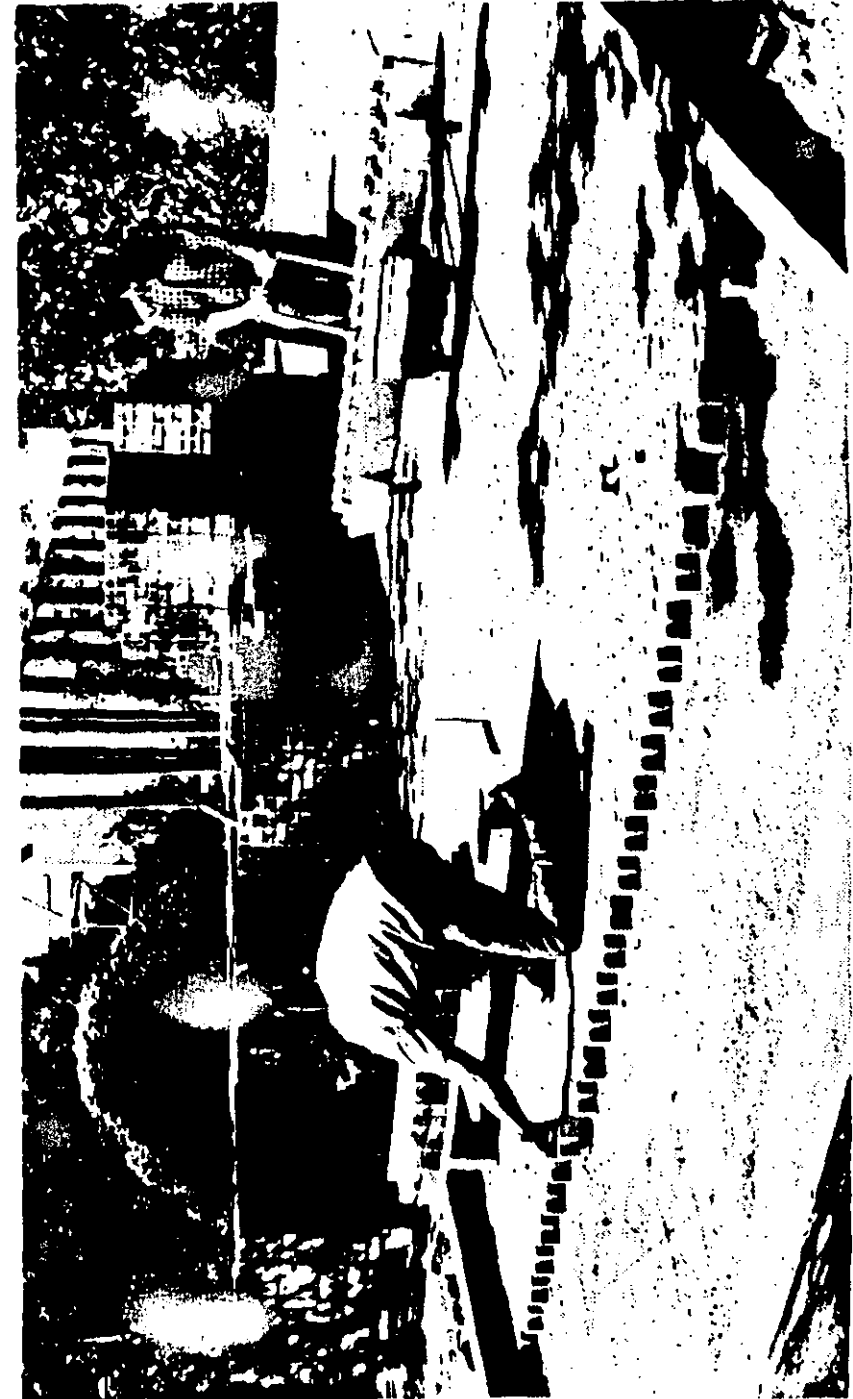


Figura 16. Organización en la obra. El trabajador toma los adoquines de una tabla, mientras otro hombre transporta una tabla por la obra.

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-

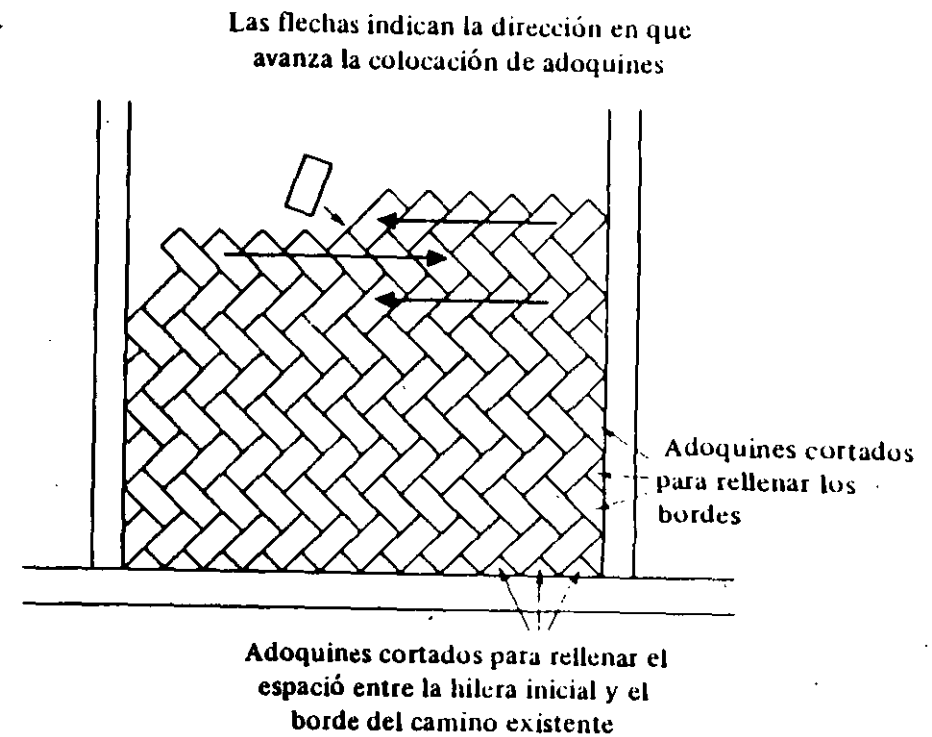


Figura 19. Método de colocación siguiendo un modelo de petatillo, el cual permite que sólo un trabajador labore en la superficie.

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.

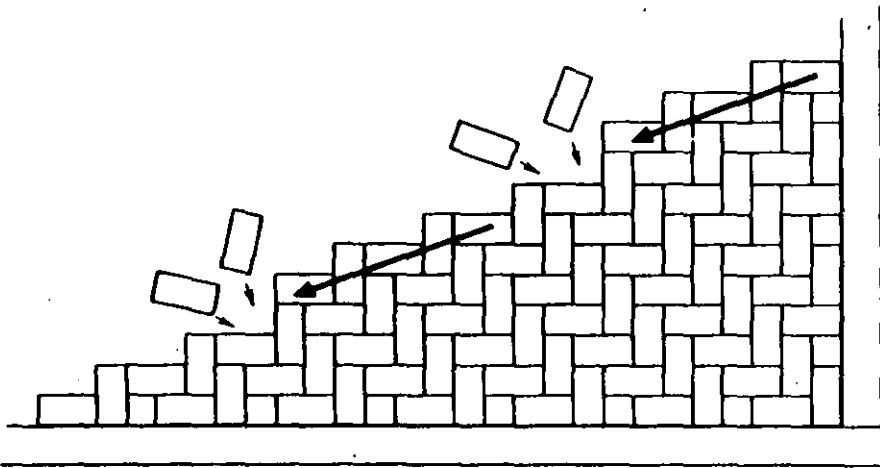


Figura 20. Método de colocación siguiendo un modelo de petatillo, el cual permite que trabaje más de un hombre en la superficie. Observe el cambio en la orientación de los adoquines, en relación con la plantilla.

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 entrase 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.

REINSTALACION DEL ADOQUINADO

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-

nuales. 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 adherirán algunos desperdicios, que será preciso quitar antes de apilar los 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 lectuada esta operación, se podrá permitir el acceso al área reparada.

REQUISITOS

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

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

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% 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. Reinstitación 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, SCOTISH 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 un 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.

Adoquines de concreto

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.

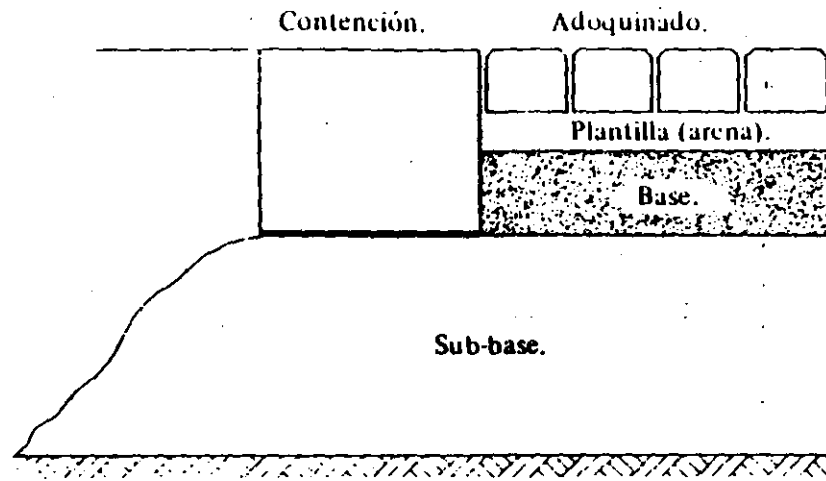


Figura 1. *Sección transversal de un pavimento con superficie de adoquines de concreto. (No es necesaria la base, cuando está diseñado para soportar menos de 1.5 millones de cargas de ejes estándar. En la primera parte de este libro se estudian los requisitos referentes a los caminos para tránsito ligero.)*

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 cuatrapeados (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 2c).

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 900 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, porque 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.

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 desca lograr.

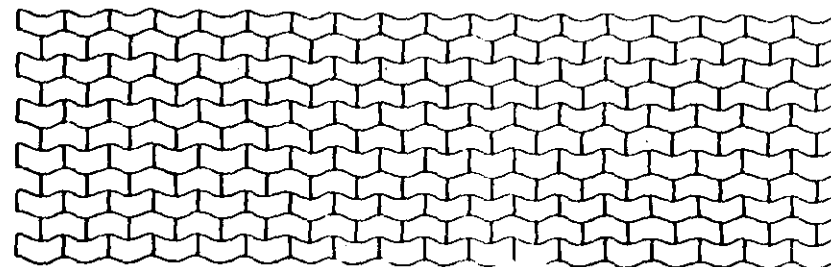
1.2 Subrasante

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.

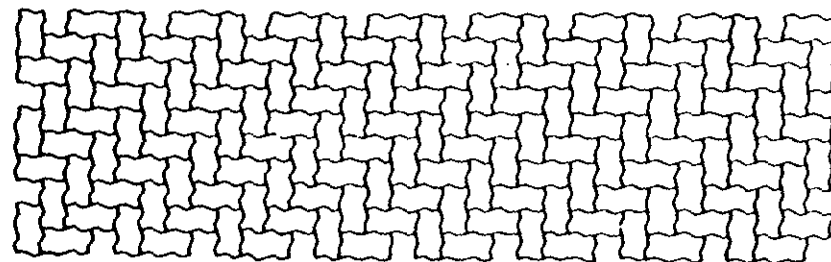
Ahora bien, debido a que los valores de soporte del suelo se ven afectados por la humedad, dicha tabla proporciona dos valores para cada tipo de suelo: si el manto freático es de 60 cm o menos bajo el nivel de la terracería, se debe adoptar el valor CBR más bajo, para fines de diseño.

El *Technical Memorandum núm. H6/78*, del Departamento de Transporte, recomienda que cuando el valor CBR de la subrasante pueda ser menor a un 5%, es necesaria una capa adicional, y ésta debe tener un valor CBR de —por lo menos— 5% 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 —por lo 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.

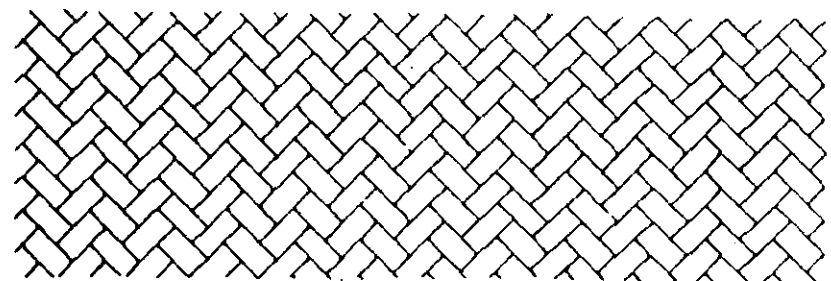
Figura 2. Modelos de colocación de adoquines para obtener una unión horizontal entre ellos.



(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).

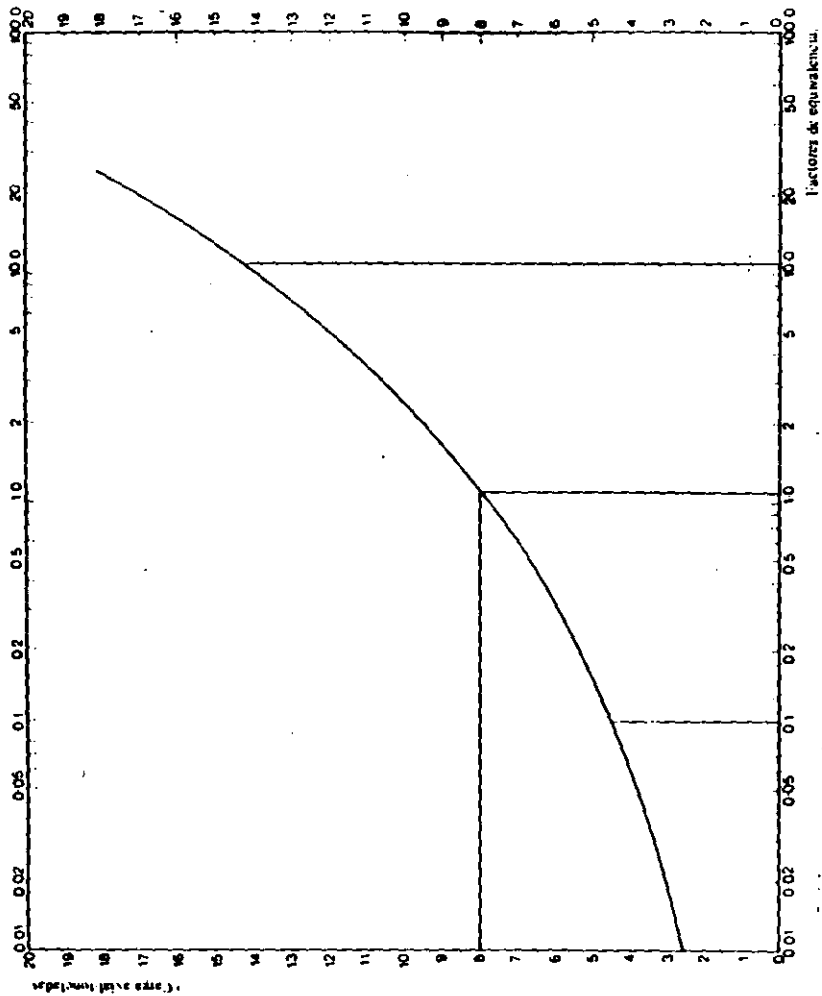


Figura 3. La influencia desfavorable relativa de las diferentes cargas axiales.

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.

A) 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.

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

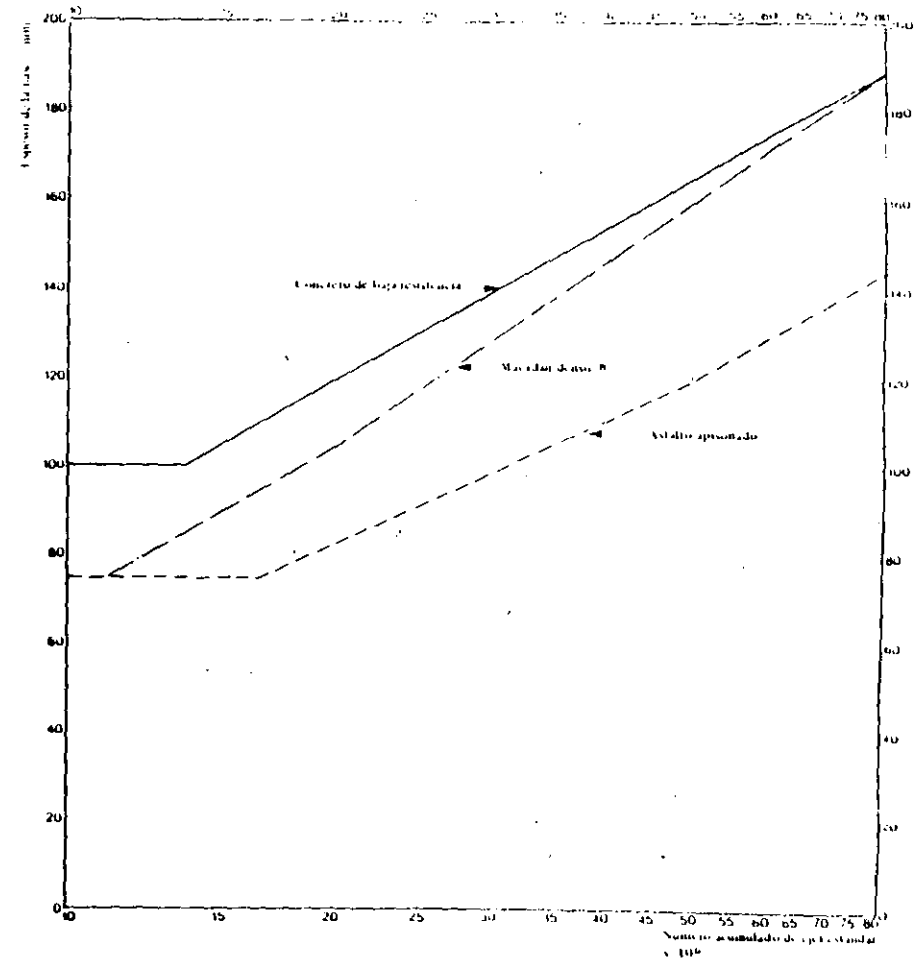


Figura 4. Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

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.

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.

* *cfr.* tercera parte de este libro.

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*⁸, 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, de 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

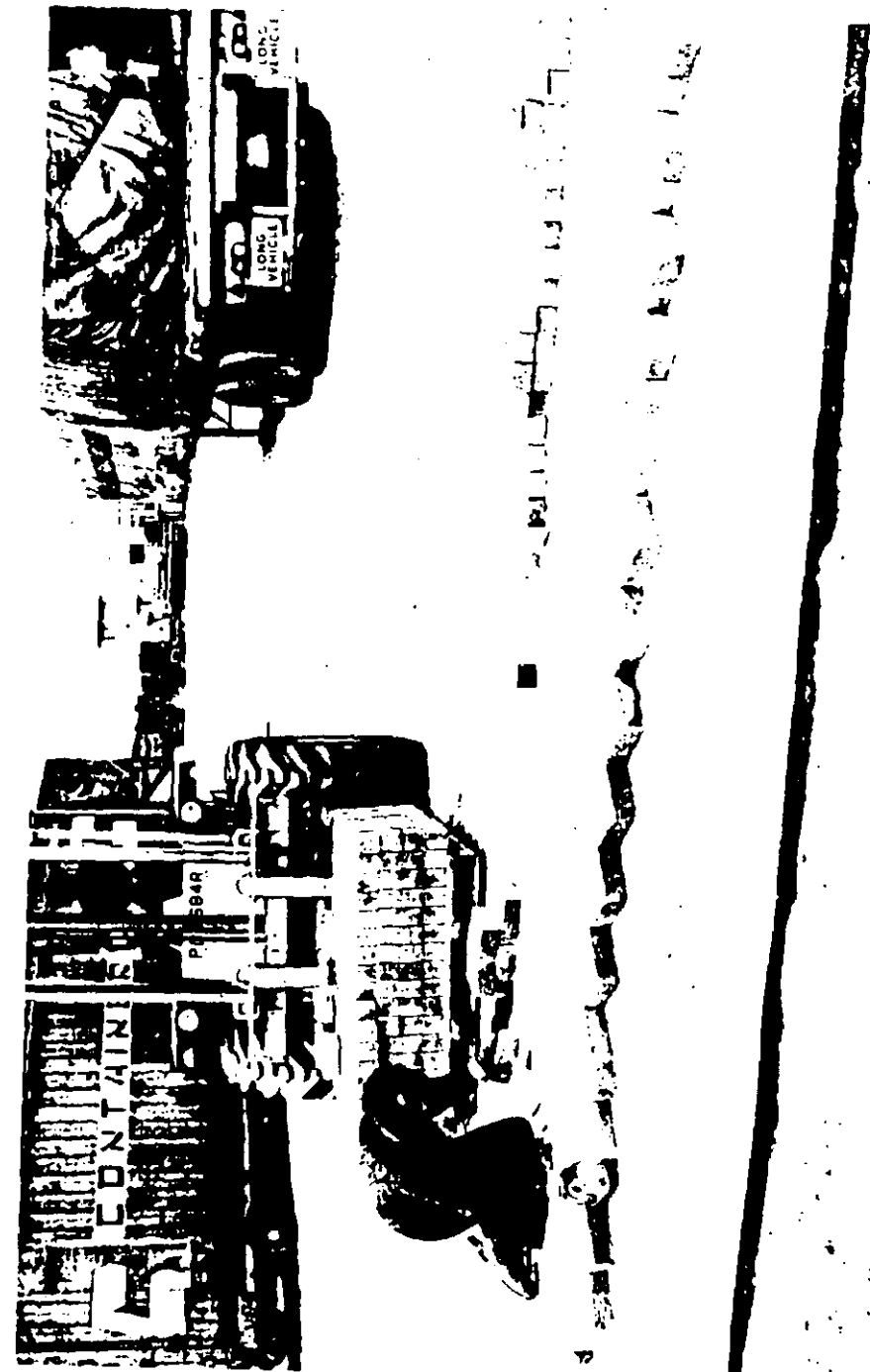


Figura 5. Manejo de adoquines para una nueva terminal de carga en general

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 puede trabajar en la superficie de colocación, mientras se adelanta el trabajo en la obra— en cuanto el adoquinado haya rebasado el camino, se forman dos superficies de colocación, cada una de las cuales permitirá el trabajo de más de un colocador.

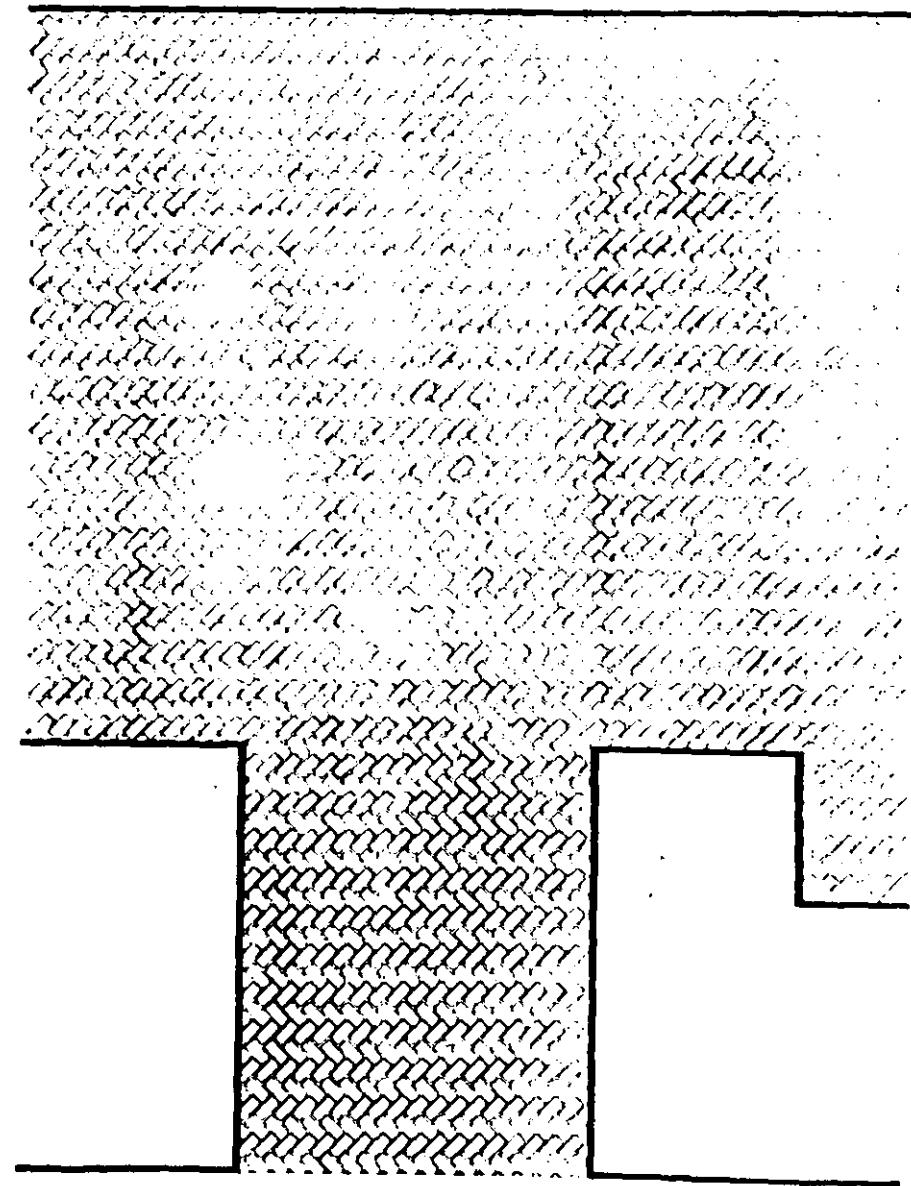


Figura 6. Plano que muestra un método de colocación de adoquines, para una extensa área abierta, con un camino de acceso entre edificios. (Los adoquines no están a escala.)

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
						935

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	22 cm	de cualquier material, para la que cumpla con lo establecido en la referencia 5
	45 cm	

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 Memo* publicado en abril de 1978, recomienda que debido a que el valor menor 50% — se deberá colocar otra capa, cuyo espesor variará según *con núm. 116/78,* la subrasante es *copio valor CBR.*

BIBLIOGRAFIA

Libros, informes y artículos

1. LILLEY, A. A.; *Concrete block paving for specialized traffic - a desing 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, SCOT-TISH DEVELOPMENT DEPARTMENT AND WELSH OFFICE; *Specification for road and bridge works*, Londres, H. M. Stationery Office, 1976, 194 págs.
6. DEPARTMENT OF TRANSPORT, SCOT-TISH 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 and 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.

██████████ 3ª 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 119, 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 μ m. 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 silíceo natural, se mantiene una resistencia adecuada al derrapamiento. En el caso de los adoquines para pavimentación, es posible que algún 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 silíceo 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 pérdida de humedad, y deberán protegerse de algunos daños, especialmente de aquellos causados por las heladas, durante las primeras etapas de curado.

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 1, a fin de adaptar el efecto de la proporción espesor/ancho del adoquín y la influencia de cualquier bisel o radio.

TABLA 1. 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 uno 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. DETERMINACIÓN DE LA PORCIÓN 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 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Adoquines de concreto

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 A_s, 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

Resistencia promedio del adoquín = f_m = $\frac{595}{10}$ = 59.5 N/mm²

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

Obtención de la resistencia característica:

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

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

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

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:

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

* N/mm² = 10.2 kg/cm²

PUBLICACIONES DEL BSI, REFERIDAS
A ESTA TERCERA PARTE:

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



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

EMULSIONES ASFALTICAS

MORTEROS ASFALTICOS

ING. JORGE AGUILAR

PALACIO DE MINERIA

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.

LIGANTES ASFÁLTICOS:

NATURALES: ROCAS ASFÁLTICAS

- Gilsonitas
- Asfaltites
- Asfalto de Trinidad

ARTIFICIALES:

- Alquitranes
- Asfaltos de destilación o penetración.
- Asfaltos fluidificados
- Emulsiones asfálticas

**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 componentes se suelen subdividir en tres grupos:

- Asfaltenos
- Resinas
- Aceites

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.

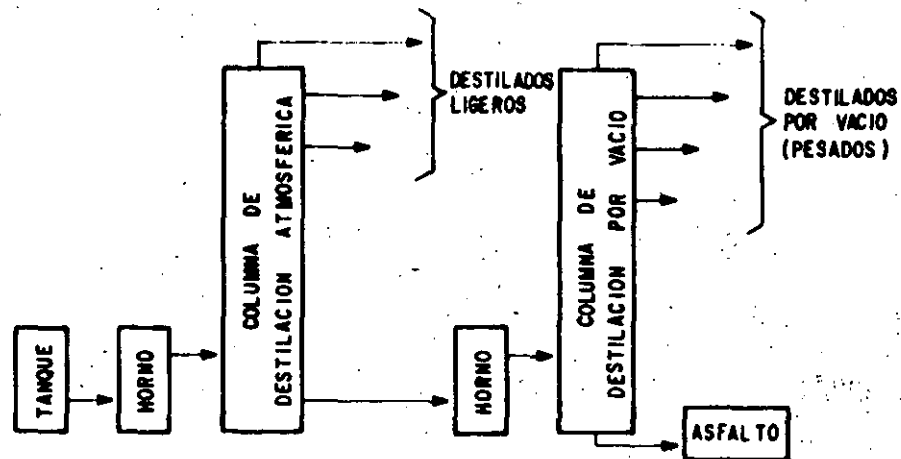


FIG. 1 ESQUEMA DE LA OBTENCION DE ASFALTO DE DESTILACION

- 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.

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

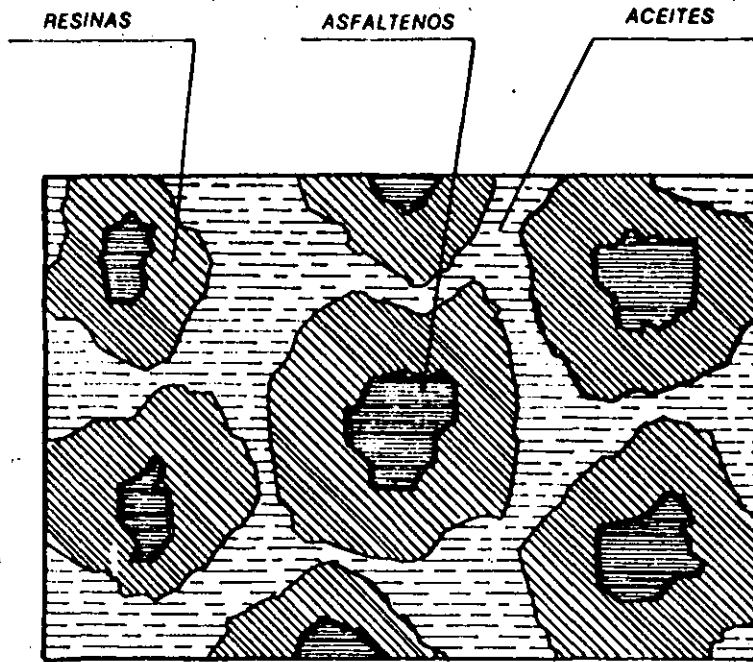


FIGURA 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS COMPONENTES DEL ASFALTO

**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

CARACTERISTICAS	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

CARACTERISTICAS	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	68	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					
Agua por destilación, %, máximo	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx.
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

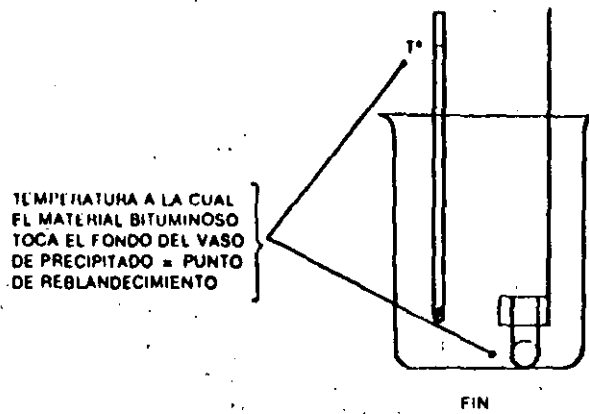
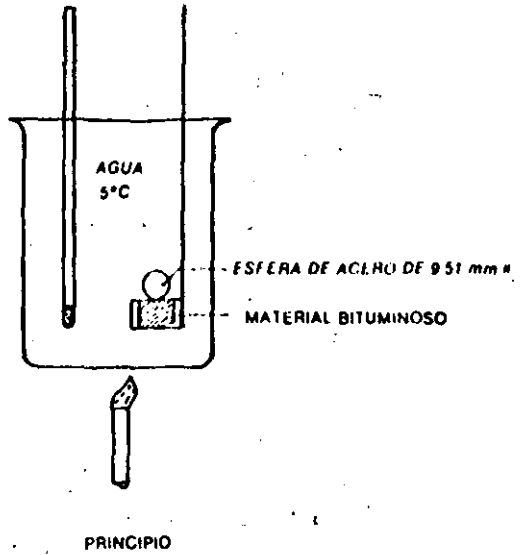
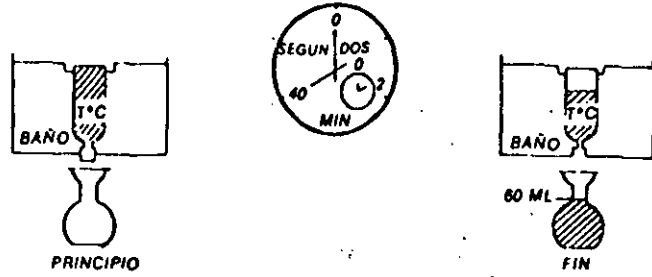


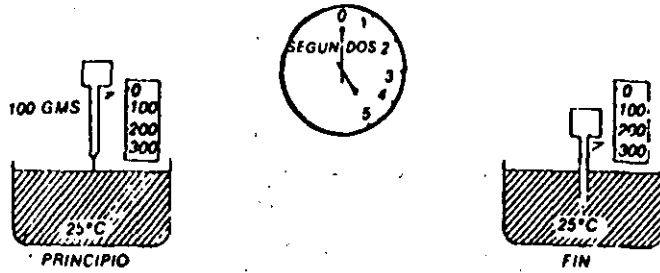
FIGURA 9. PRUEBA DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

A. PRUEBA DE VISCOSIDAD



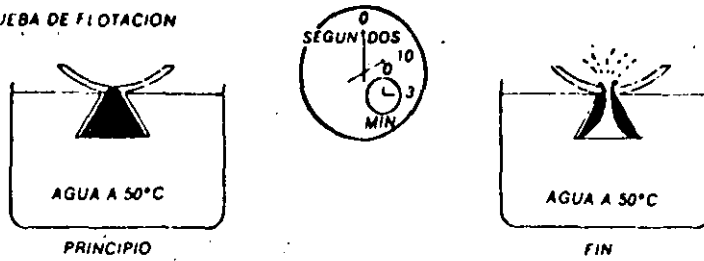
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 160 SEG A T°C

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

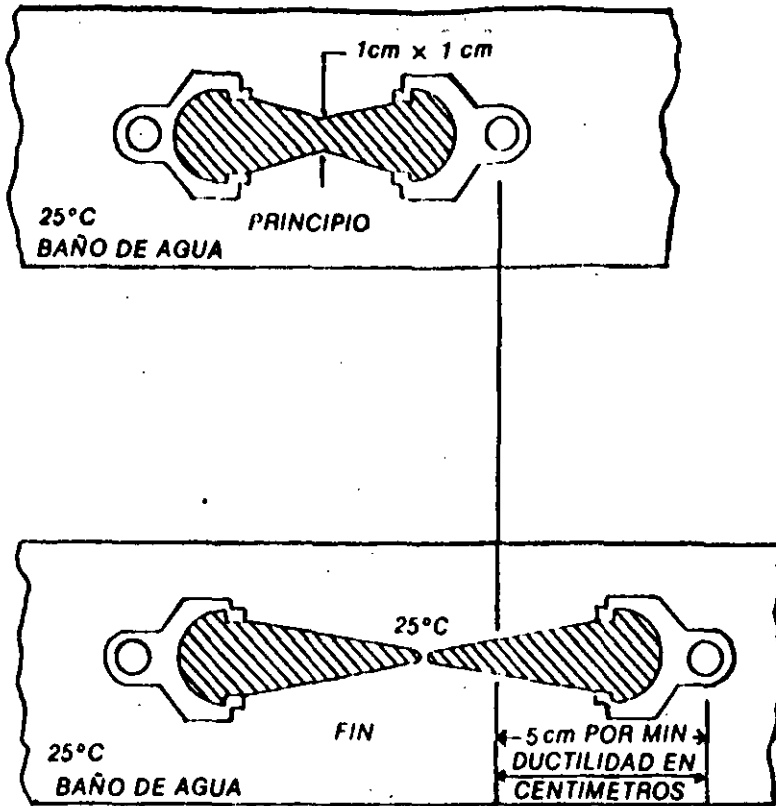
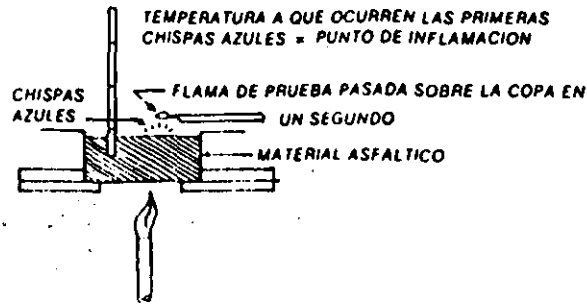
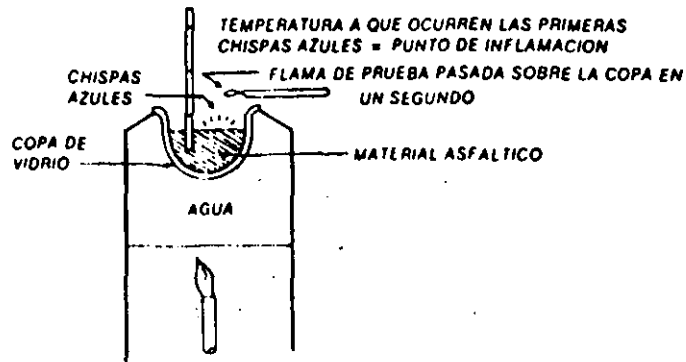


FIGURA 10. PRUEBA DE DUCTILIDAD

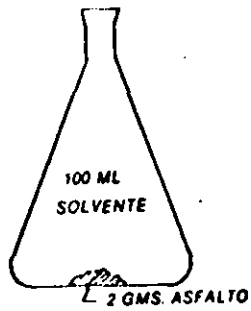


COPA ABIERTA DE CLEVELAND
CEMENTOS ASFALTICOS Y ASFALTOS REBAJADOS FL

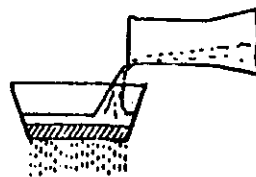


COPA ABIERTA DE TAG
REBAJADOS FR Y FM

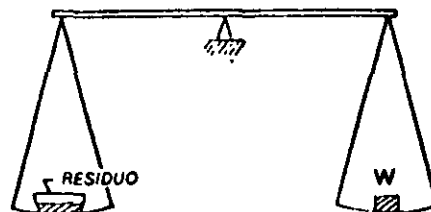
FIGURA II. PRUEBA DE PUNTO DE INFLAMACION



A. DISOLVER MATERIAL ASFALTICO
EN EL DISOLVENTE




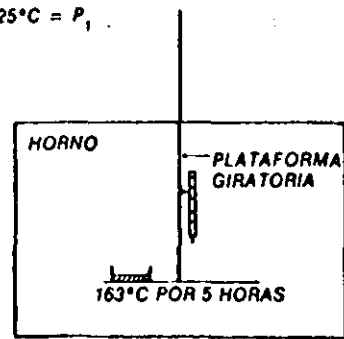
B. FILTRAR



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



PERDIDA POR CALENTAMIENTO, % = $\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$

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 si, se utilizan agentes químicos denominados emulsionantes o emulsificantes.

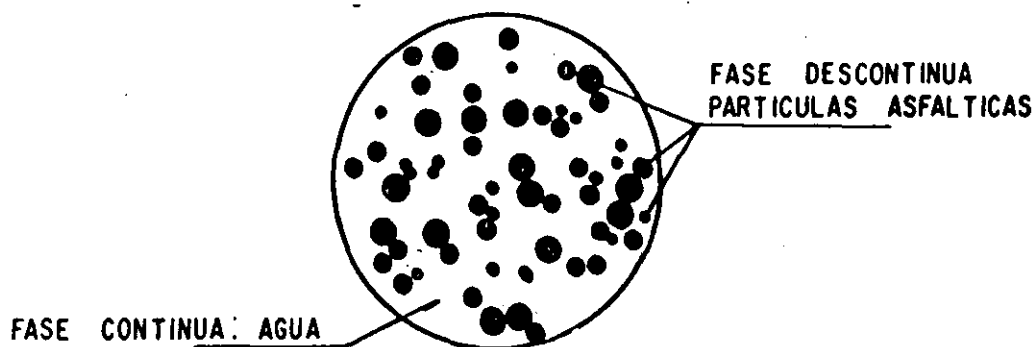


FIG. 2

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 sí.
- 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: $R-NH_2-Cl$

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 -

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.

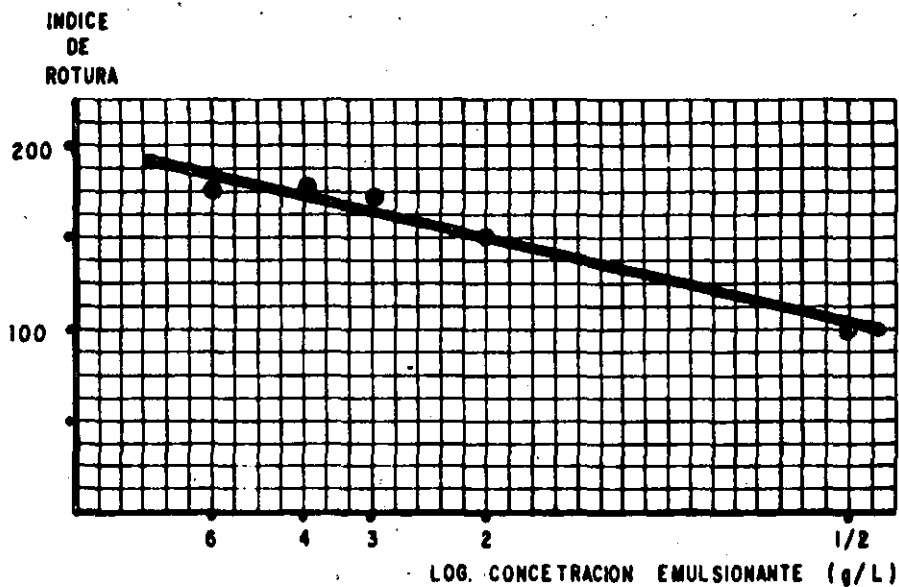
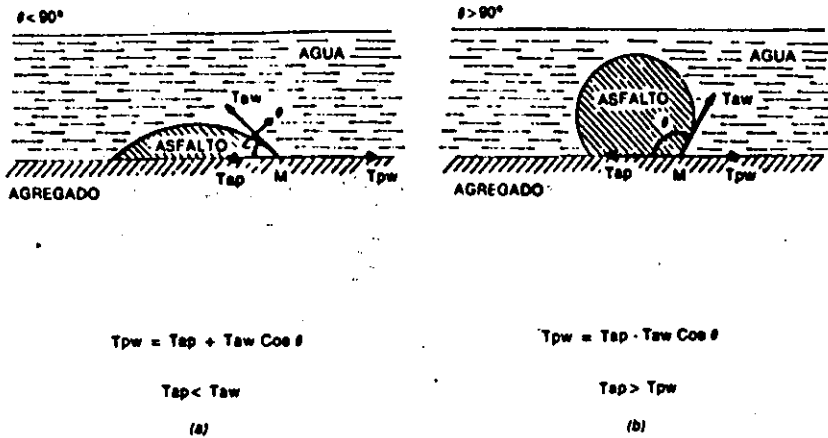


FIG. 4 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE EMULSIONANTE

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.



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

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

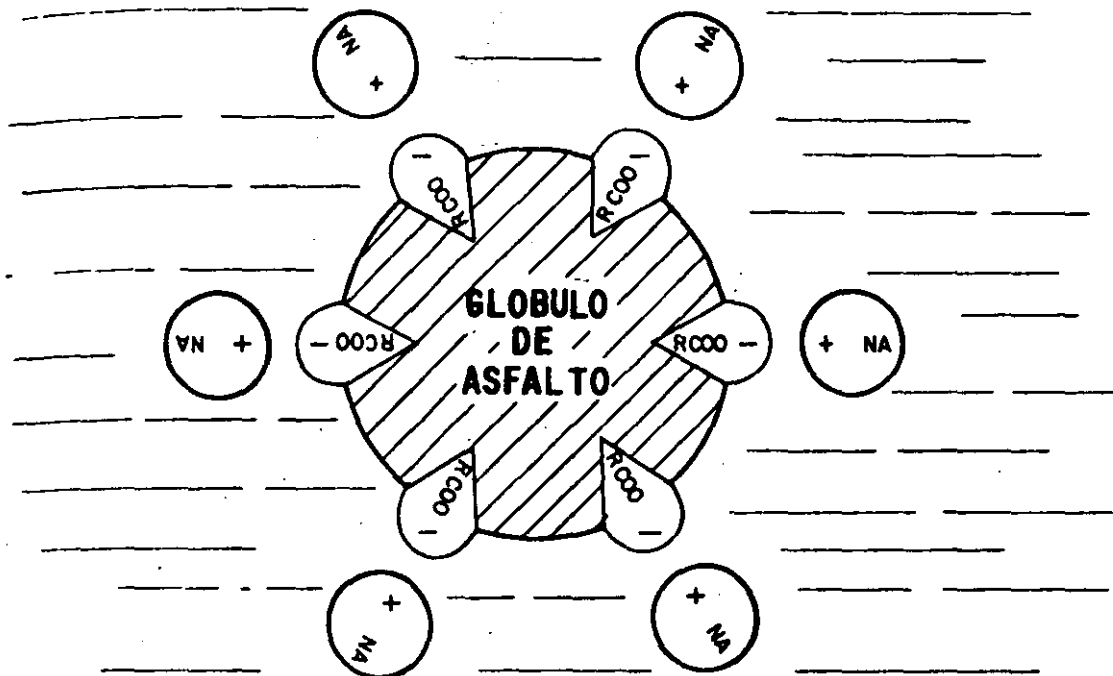


FIG. 3 EMULSION ANIONICA

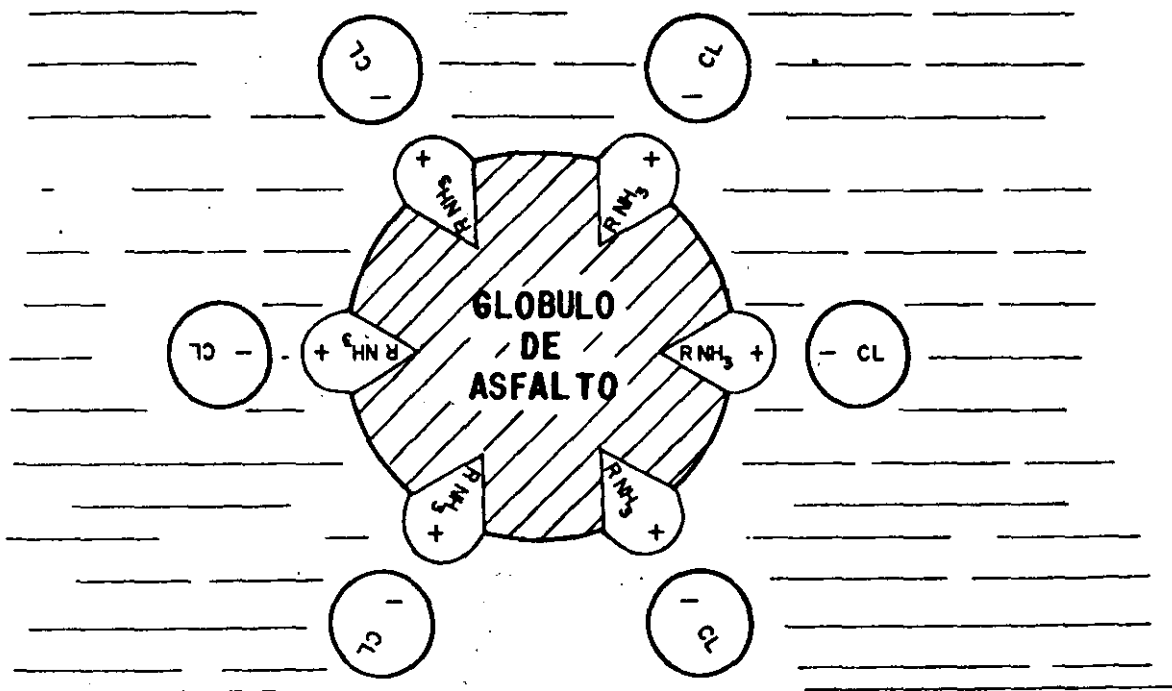


FIG. 3 EMULSION CATIONICA

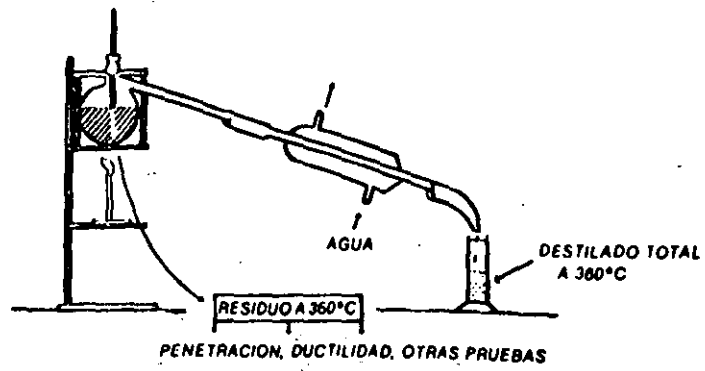


FIGURA 14. PRUEBA DE DESTILACION

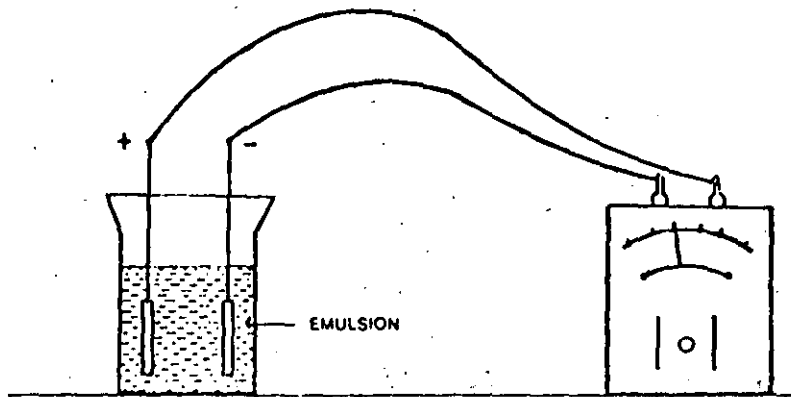


FIGURA 15. PRUEBA DE CARGA DE LA PARTICULA

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 ($PH < 7$).

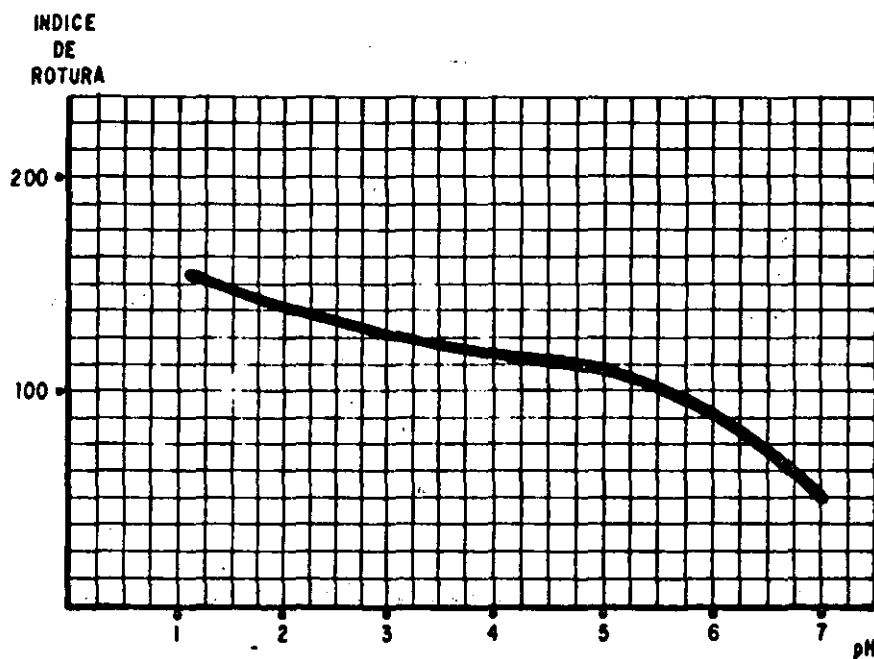


FIG. 5 VARIACION DEL INDICE DE ROTURA CON EL pH DE LA FASE ACUOSA.

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.

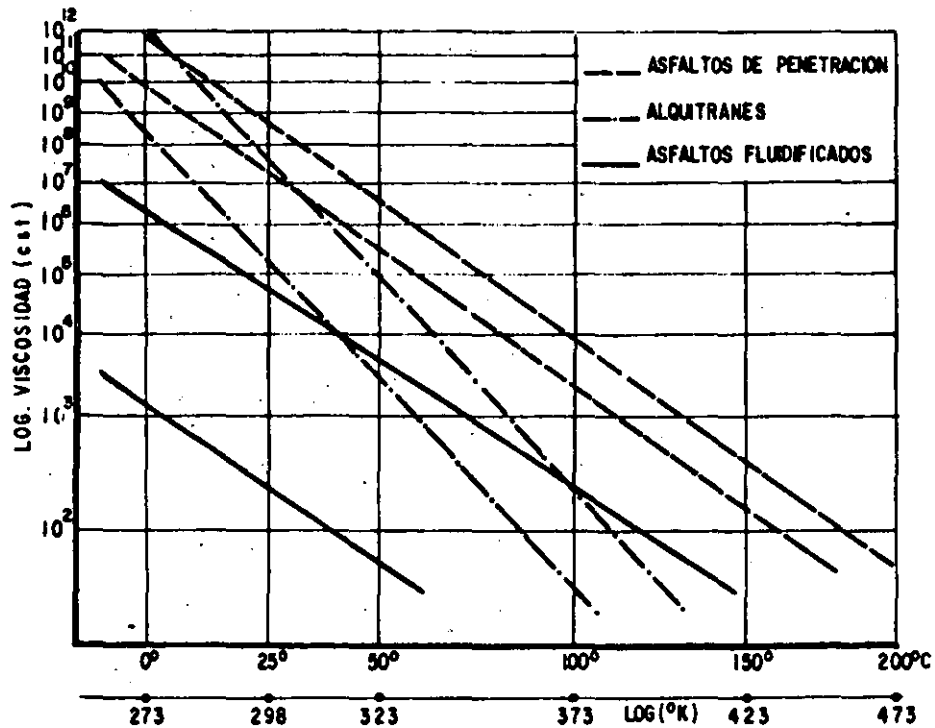


FIG. 6 DIAGRAMAS VISCOSIDAD TEMPERATURA DE DIFERENTES LIGANTES ASFALTICOS.

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

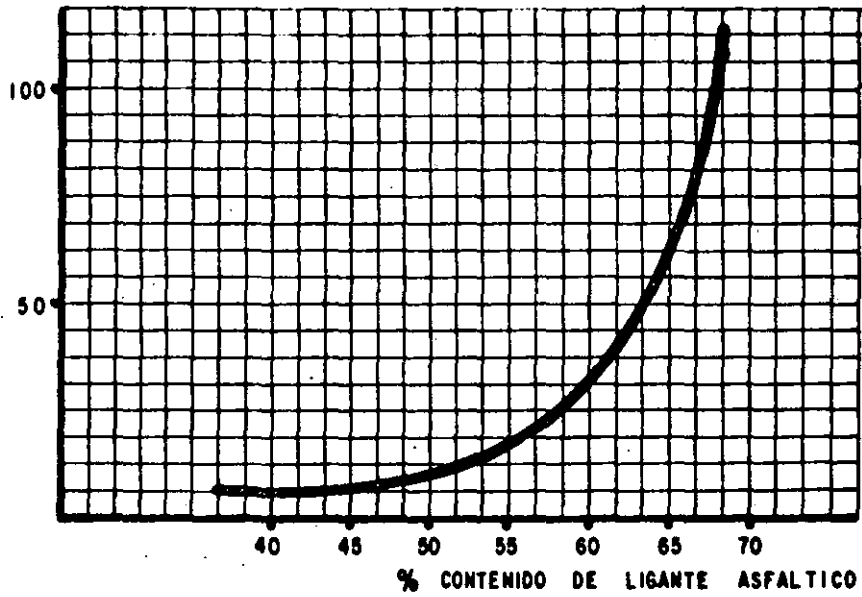


FIG. 7 VISCOSIDAD DE UNA EMULSION EN FUNCION DEL CONTENIDO DE LIGANTE

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.

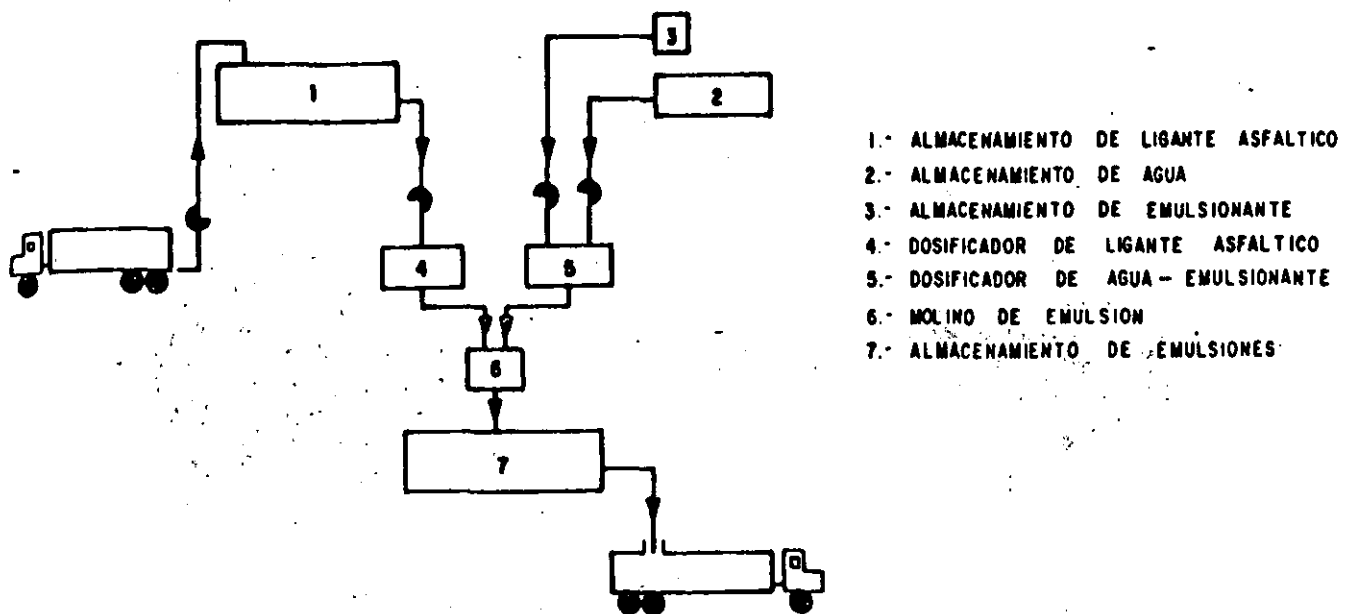


FIG. 8 ESQUEMA DE UNA FABRICA DE EMULSIONES.

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.

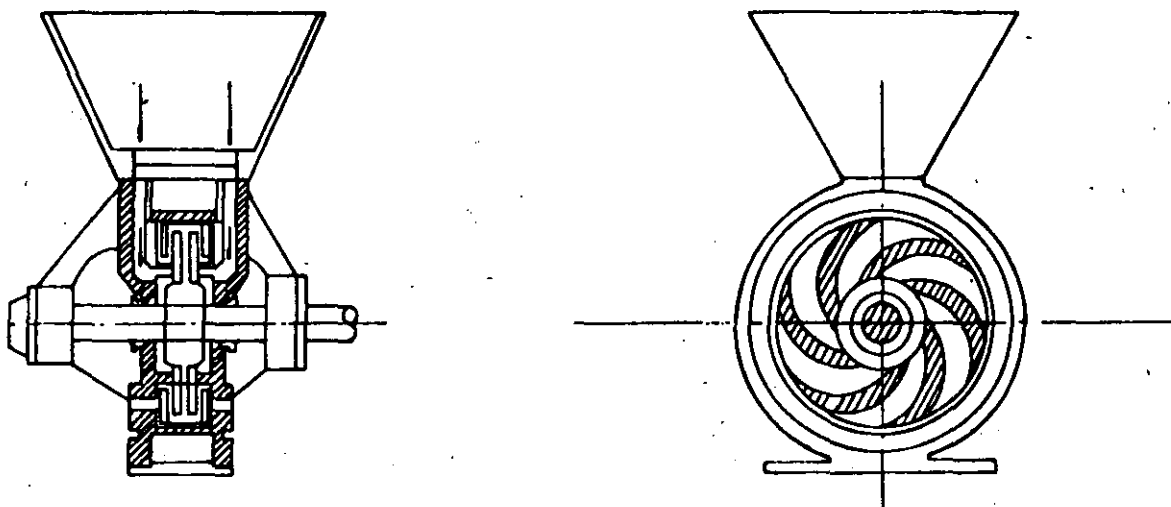


FIG. 9 ESQUEMA DE UN TURBO - MEZCLADOR

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.

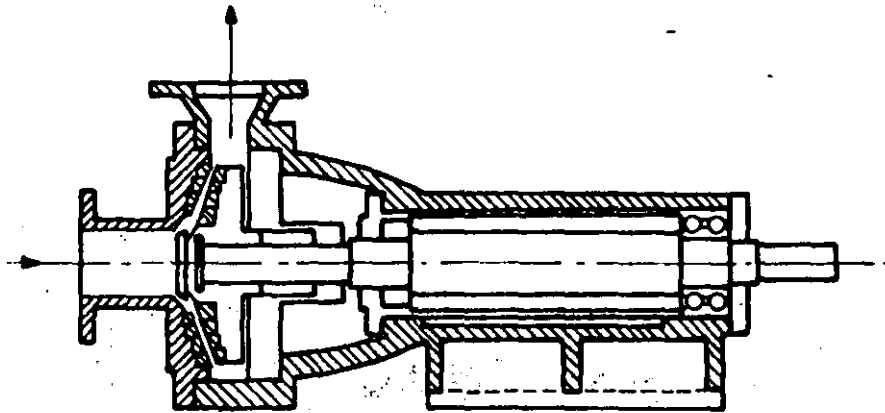


FIG. 10 ESQUEMA DE UN MOLINO DE CONOS.

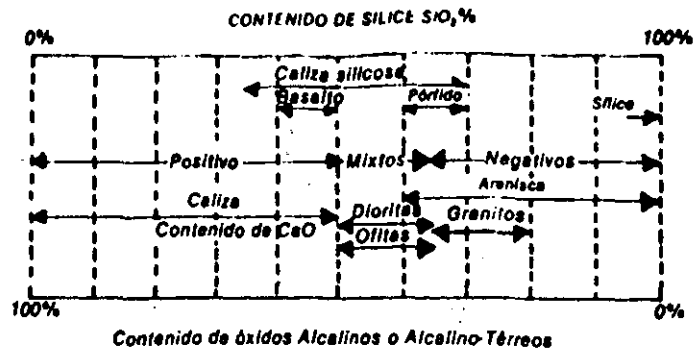


FIGURA 20. CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS PETREOS

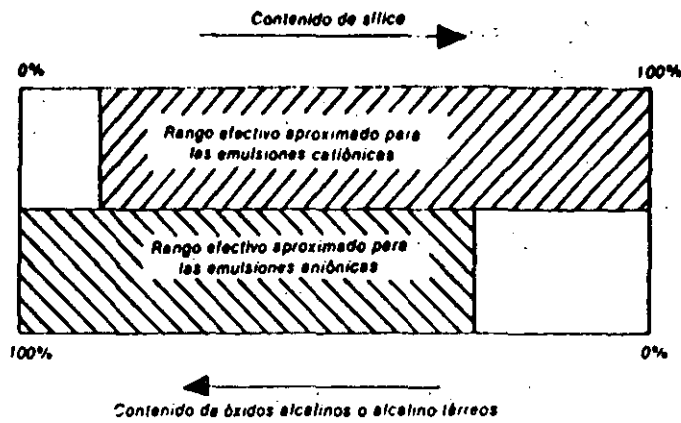


FIGURA 21. RANGO EFECTIVO APROXIMADO DE APLICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS SOBRE VARIOS TIPOS DE AGREGADOS PETREOS

TABLA 6. NORMAS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS

CARACTERISTICAS	GRADO				
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio	Rompimiento 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					
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio		Rompimiento 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 B. PRODUCTOS ASFALTICOS 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	HUMEDO
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 ASFALTICA 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 ASFALTICA EN FRIO PARA ESTABILIZACIONES 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, EL
CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO HECHO 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 ASFALTICOS. 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. ER.- Emulsión aniónica de rompimiento rápido.
 FM.- Asfalto rebajado de fraguado medio. EM.- Emulsión aniónica de rompimiento medio.
 FL.- Asfalto rebajado de fraguado lento. ERK.- Emulsión catiónica de rompimiento rápido.
 CA.- Cemento asfáltico. 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 fraguado 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.

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 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 a diferencia 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.

A P L I C A C I O N E S

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 asentos 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 renovación 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.

M A T E R I A L E S

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.

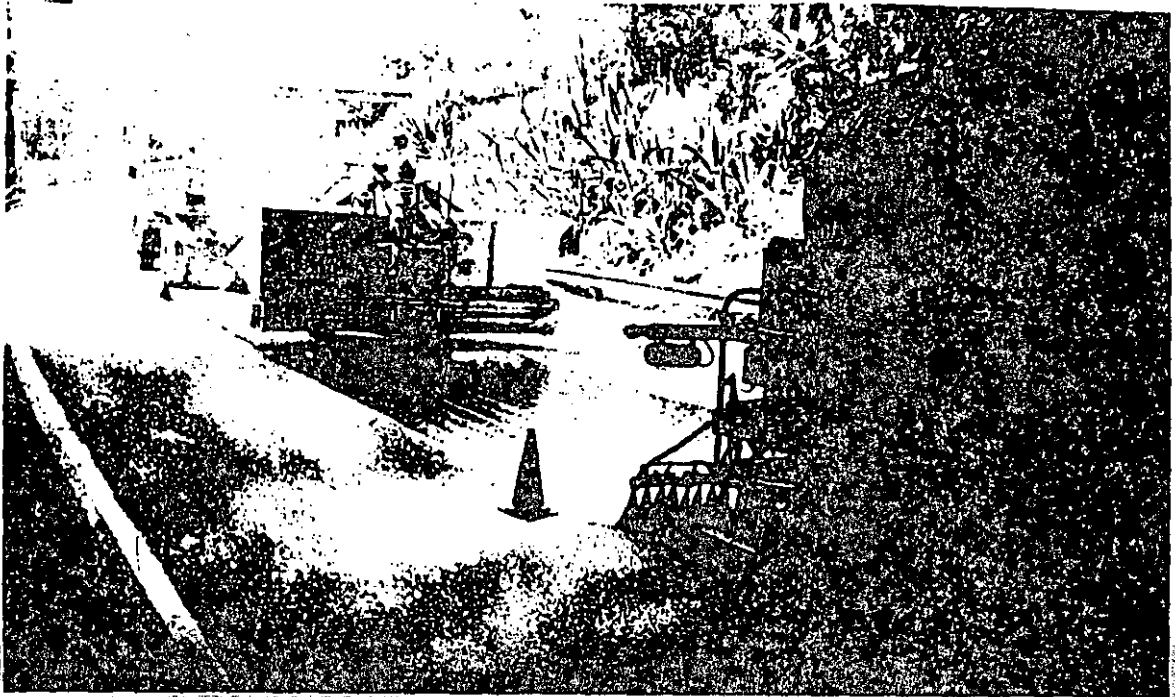
F A B R I C A C I O N Y P U E S T A E N O B R A

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 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.



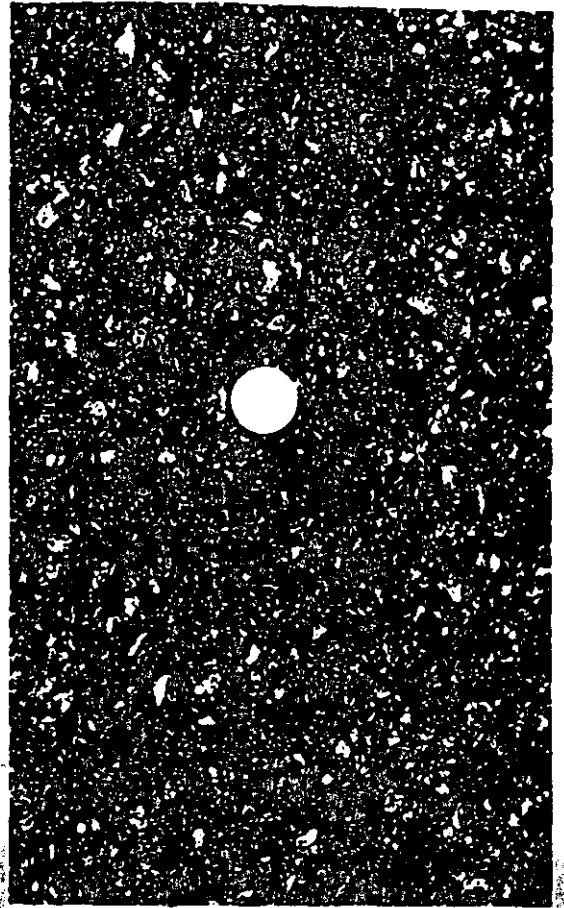
ASPECTOS DEL TENDIDO DE UN SELLO CON MATERIAL 3-A



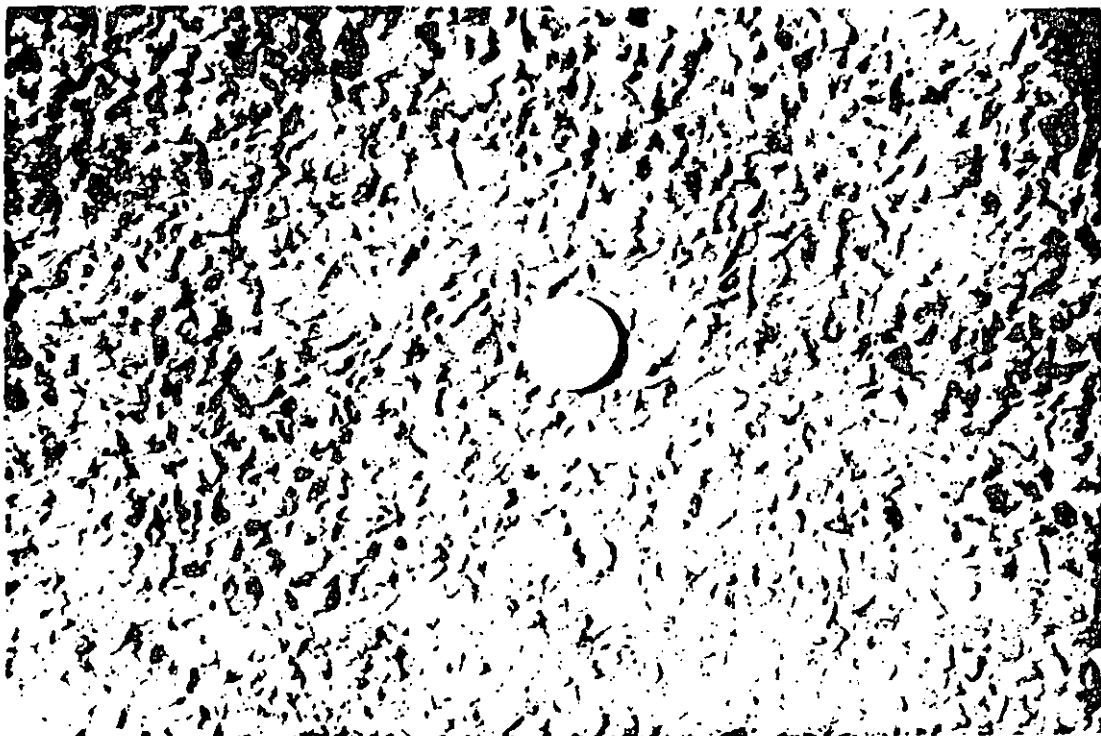
TRABAJOS DE COLOCACION DE BASE NEGRA.



TRIBUIDOR CENTRIFUGO PARA SELLO DE
ENA.



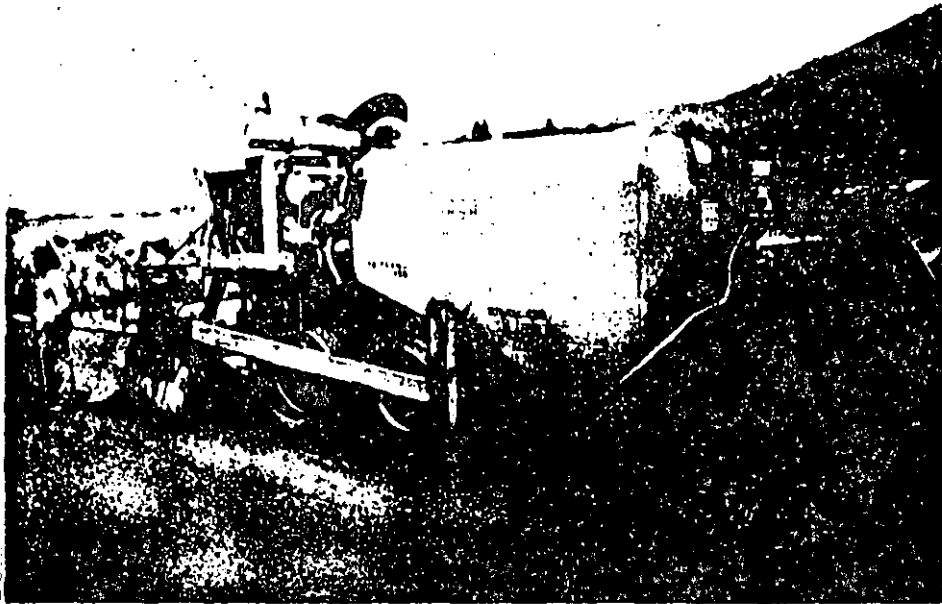
ASPECTOS DE UNA CARPETA ASFALTICA ABIERTA
RECIENTE COLOCADA.



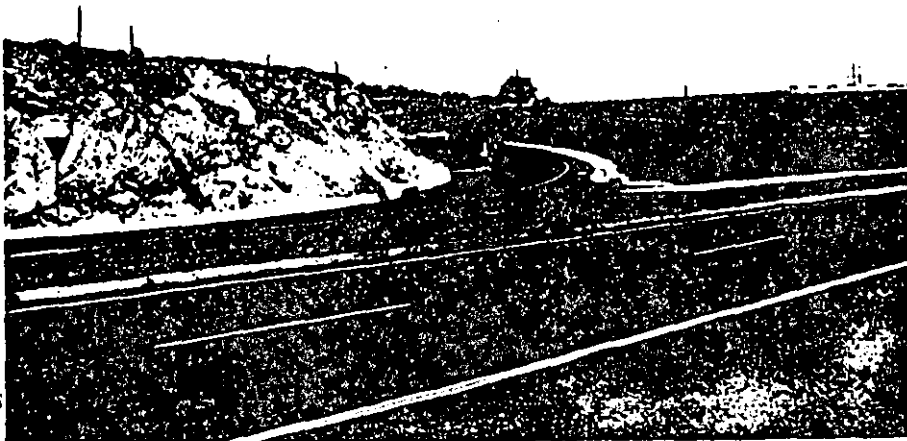
MEZCLA ASFALTICA ABIERTA. TEXTURA DEL TRAMO YA EN SERVICIO.



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.



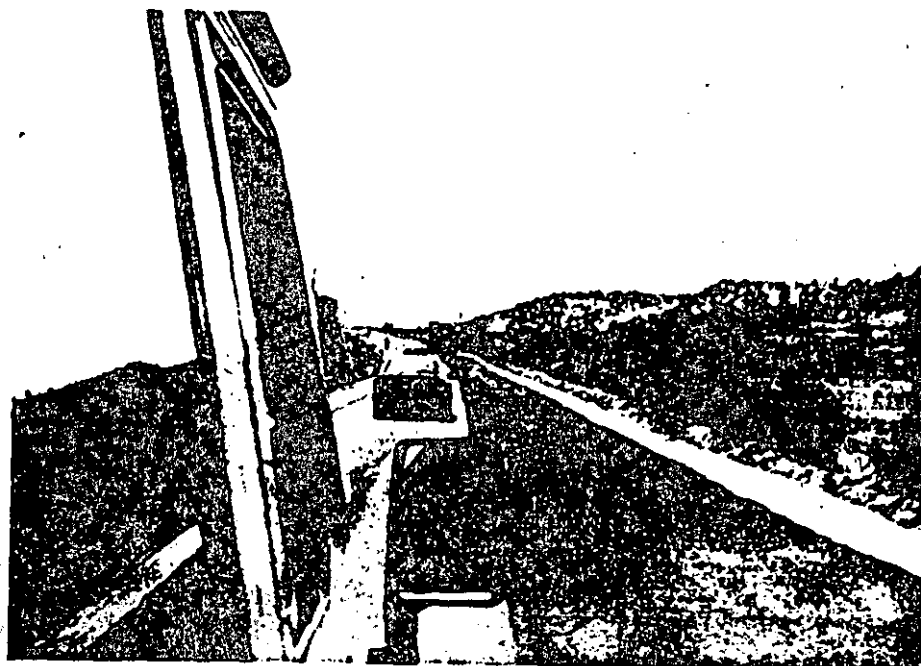
ASPECTO DE UNA CARRETERA EN SERVICIO, CUYA CARPETA SE REALIZO CON EMULSION.



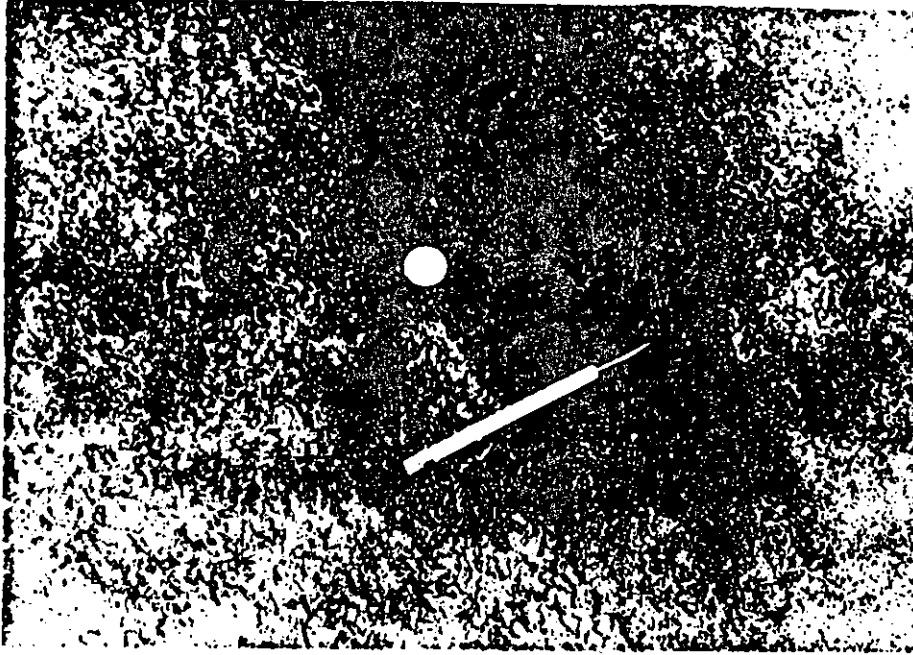
**TENDIDO DE LECHADA
ASFALTICA.**



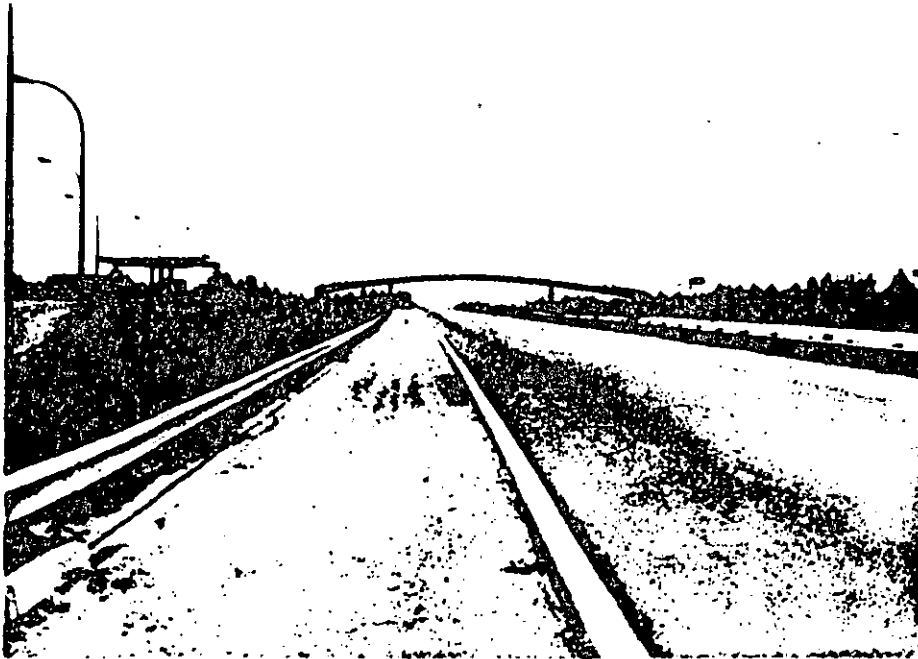
**DETALLES DE LA MAQUINA
EXTENDEDORA.**



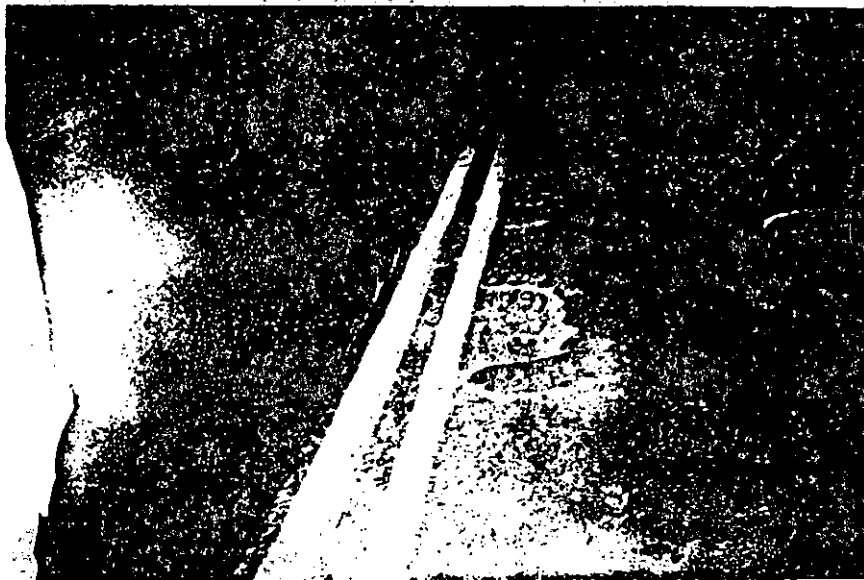
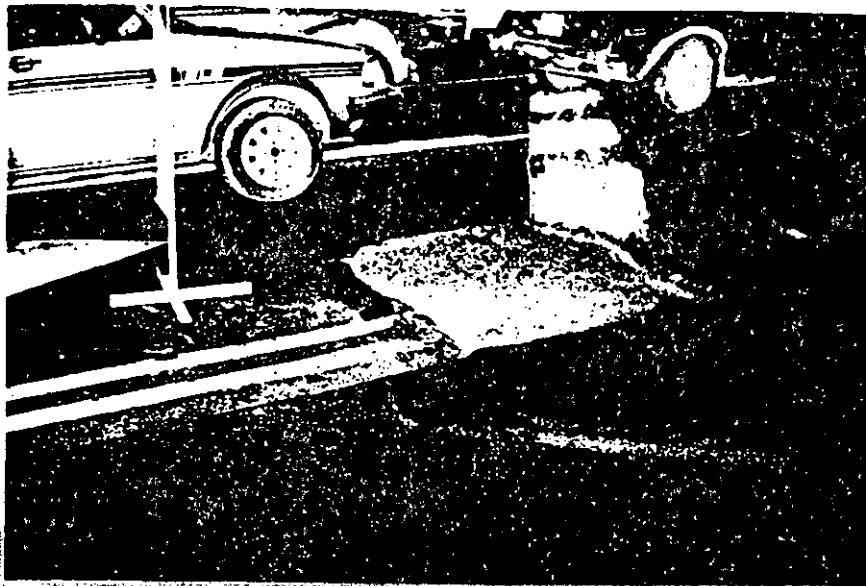
ASPECTOS DEL TENDIDO DE LECHADA ASFALTICA EN CARRETERAS. EN LA PARTE SUPERIOR SE APRECIA LA LECHADA RECIEN EXTENDIDA. LA INFERIOR MUESTRA EL MISMO TRAMO LISTO PARA SER ABIERTO AL TRAFICO.



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.).

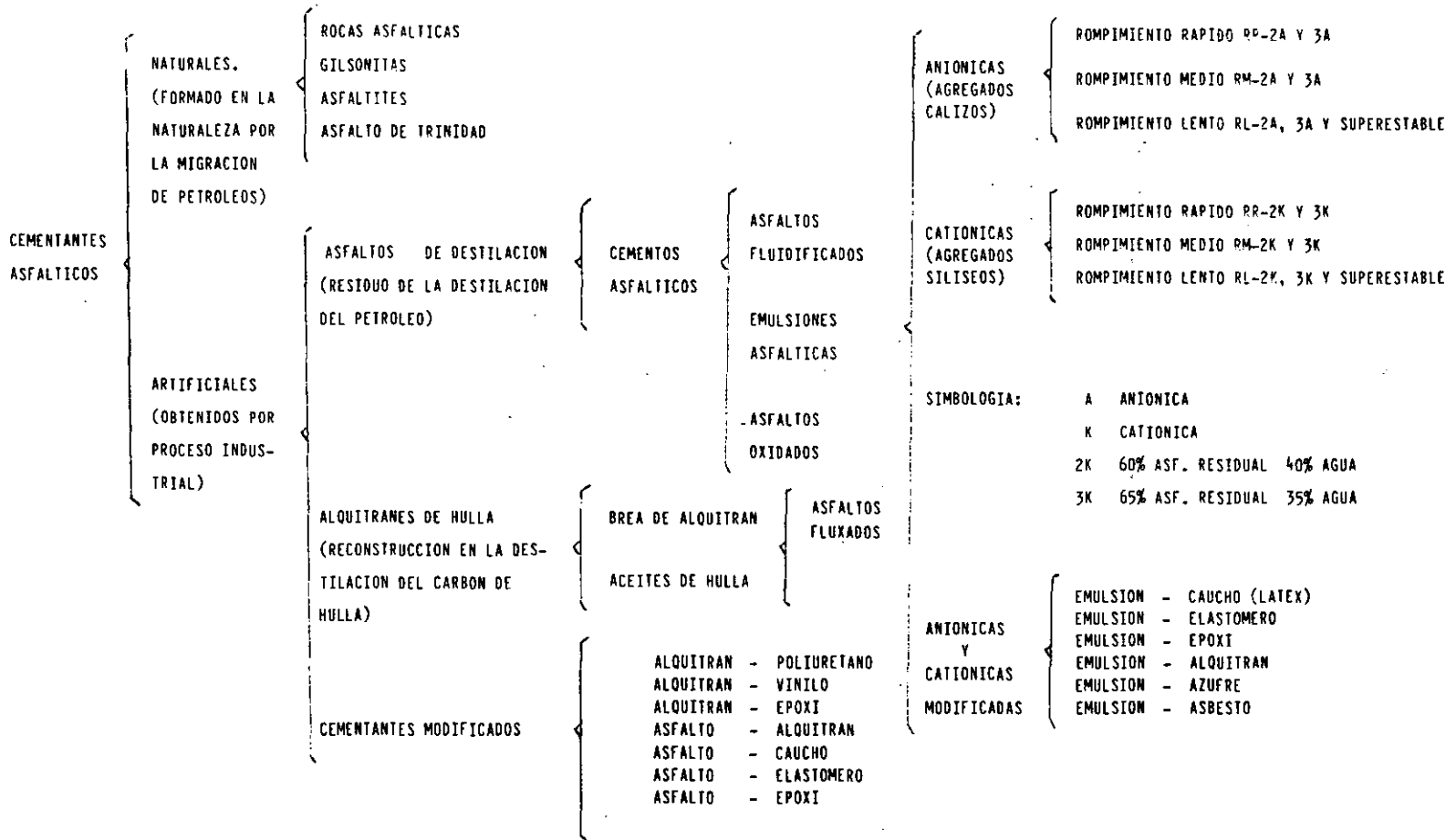
MORTEROS ASFALTICOS

ANTECEDENTES

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 FRICCIÓN 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



		APLICACION	TIPO Y DOTACION	CARACTERISTICAS	EQUIPO A UTILIZAR			
APLICACION DE LAS EMULSIONES	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	RIEGOS SIN AGREGADOS	IMPREGNACION	SOBRE BASES HIDRAULICAS, DA IMPERMEABILIDAD.	PMI, PLI, 2K Y 3K 2 LT./M2	FLUIDIFICADO NO VISCOSO	BARREDORA, PETROLIZADORA.	
			LIGA	UNION DE CAPA ASFALTICA Y SUPERFICIE	RR-2K Y 3K 0.7 LT./M2	NO VISCOSO	BARREDORA, PETROLIZADORA.	
		RIEGO CON AGREGADO	RIEGO DE SELLO	MONOCAPA	PELICULA DE LIGANTE Y CAPA DE AGREGADO TRABAJOS MANTENIMIENTO	RR-3K	VISCOSO AGREGADO HUMEDO Y SECO	BARREDORA, PETROLIZADORA, ESPARCIDOR DE AGREGADOS, A) ASESADO 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 LT./M2	NO VISCOSO ARENA HUMEDA Y SECA	BARREDORA, PETROLIZADORA, DISTRIBUIDOR CENTRIFUGA DE ARENA.	
	MEZCLAS	ABIERTAS		LIGANTE QUE ENVUELVE AL AGREGADO, TRABAJOS DE BACHEO Y CAPAS GRANULARES DRENANTES	RM-3K	MEZCLA ALMAC. VACIOS 12% PETREO SIN FINOS FLUIDIFICADO Y VISCOSA.	PETROLIZADORA, MOTOCONFORMADORA ESTABILIZADOR, MEZCLADORA, EXTENDEDORA, REVOLVEDORA, COMPACTADOR LISO VIBRATORIO 8-12 TON., NEUMATICO 12-16 TON.	
			ESTABILIZACION DE SUELOS	MEJORA DE UN SUELO MATERIAL. (DISGREGACION)	RM, RL, 2K Y 3K	NO VISCOSO MEZCLA > COHESION.	IDEM MEZCLAS ABIERTAS.	
		CERRADAS	GRAVA-EMULSION	BASES ESTABILIZADAS, USO GRANULOMETRICO ESTRECHO	RL, 2K Y 3K Y SUPERESTABLE	PUNTO MEDIO DE VISCOSIDAD	IDEM MEZCLAS ABIERTAS	
			CARPETAS DENSAS	CARPETAS ASFALTICAS GRANULOMETRIA DEFINIDA.	RL, 2K Y 3K Y SUPERESTABLE	IDEM. G. E.	IDEM MEZCLAS ABIERTAS	
			MORTEROS ASFALTICOS	IMPERMEABILIZAR Y TEXTURAS ASPERA SOBRE CAPAS DE RODAMIENTO.	RRSP + ADITIVO RMSP + ADITIVO RLSP	NO VISCOSA PETREO ARENA CRITERIO SUCS.	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"

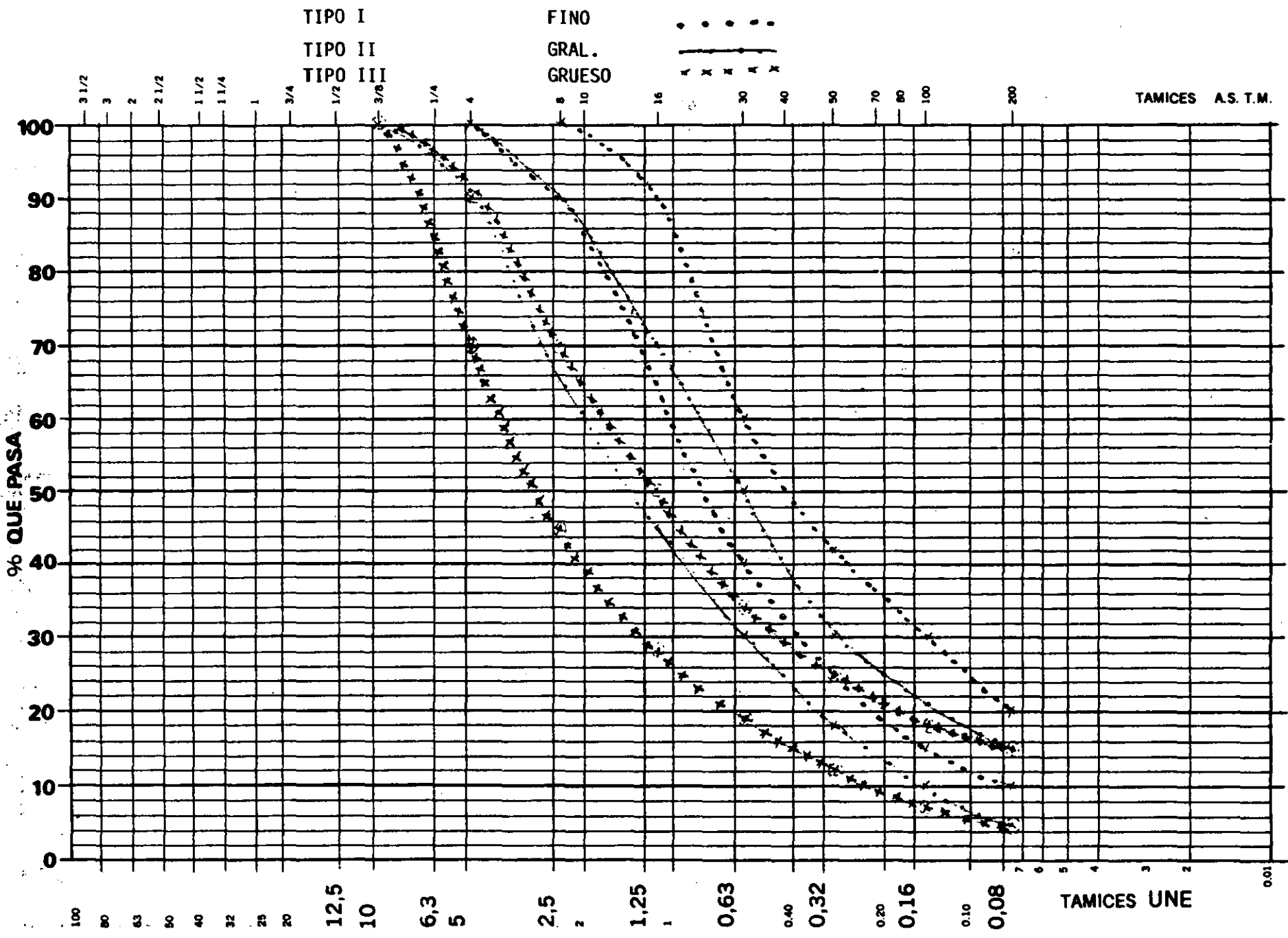
COMPONENTES DEL MORTERO ASFALTICO

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 (KG./M2) MEZCLA		3-5.5	5.5-8	> 8

ANALISIS GRANULOMETRICO





ANALISIS DE AGREGADOS

LABORATORIO CENTRAL

TRABAJO No.

MUESTRA No.

FECHA

DENOMINACION _____

TIPO DE AGREGADO

E. ARENA — NLT 113 / 72

REACCION CIH DEL AGREGADO

HUMEDAD — NLT 102 / 72

DENSIDAD APARENTE DEL FILLER EN TOLUENO. — NLT 176 — 74

COEF. ACT. IHORTY — NLT, 178 / 74

REACCION CIH DEL FILLER

DENS. RELATIVA REAL NLT 154 / 76

GRANULOMETRICO

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							

REVISADO

OF .DOR

EMULSION ASFALTICA

SE FABRICAN CON CEMENTO Nº 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 POR SEPARADO.

A G U A

CARACTERISTICAS

VIGILAR SU DUREZA.

LIMPIA Y/O POTABLE

C E M E N T O P O R T L A N D

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 + 1.5%

% E + 1.0%

% E + 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" Ø 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

$$\text{RESIDUO TEORICO DE ASFALTO} = 2 (0.032 (a) + 0.045 (b) + Kc + Ki)$$

$$R = 2 (0.032 * 18 + 0.045 * 28 + 0.18 * 6.5 + 1.8) = 9.612\%$$

$$a = \% \text{ RETENIDO EN MALLA } \text{N}^{\circ} 10 = 18\%$$

$$b = \% \text{ QUE RETIENE MALLA } \text{N}^{\circ} 10 \text{ Y SE RETIENE EN LA } \text{N}^{\circ} 20 = 28$$

$$c = \% \text{ QUE PASA LA MALLA } 200 = 6.5\%$$

$$K = 0.18 \text{ (CTE. = .18)} \quad 6-10\% \text{ QUE PASA MALLA } 200)$$

$$Ki = \text{ABSORCION } 1.8$$

$$\text{EMULSION} = \frac{9.612}{0.60} = 16.02\%$$

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO PETREO MORTERO ASFALTICO

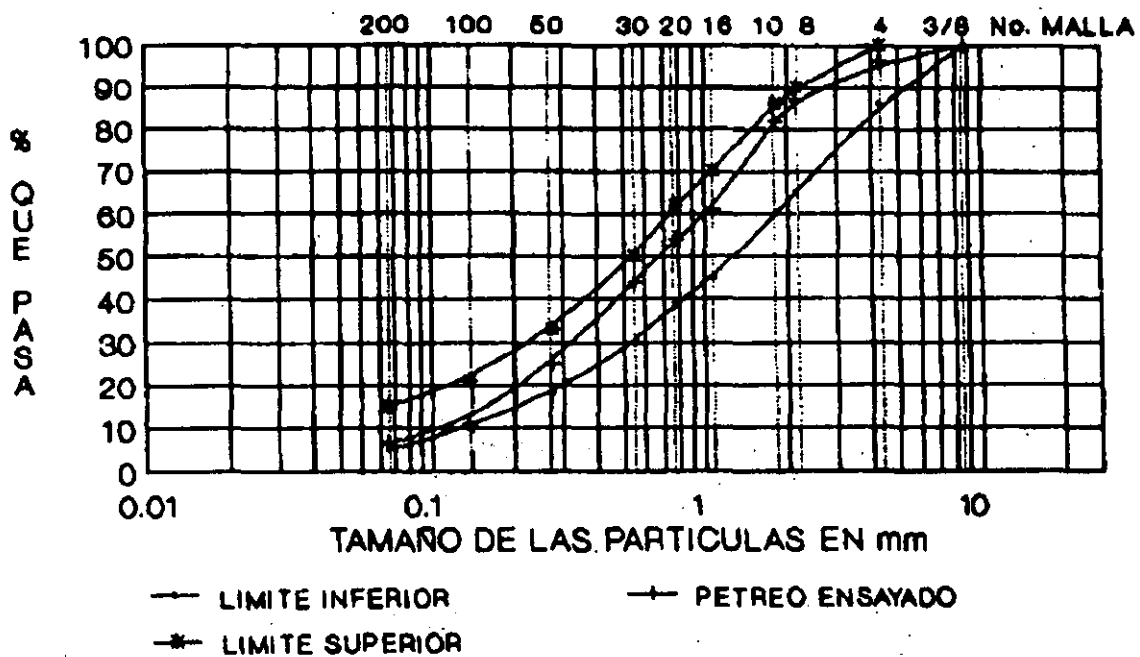
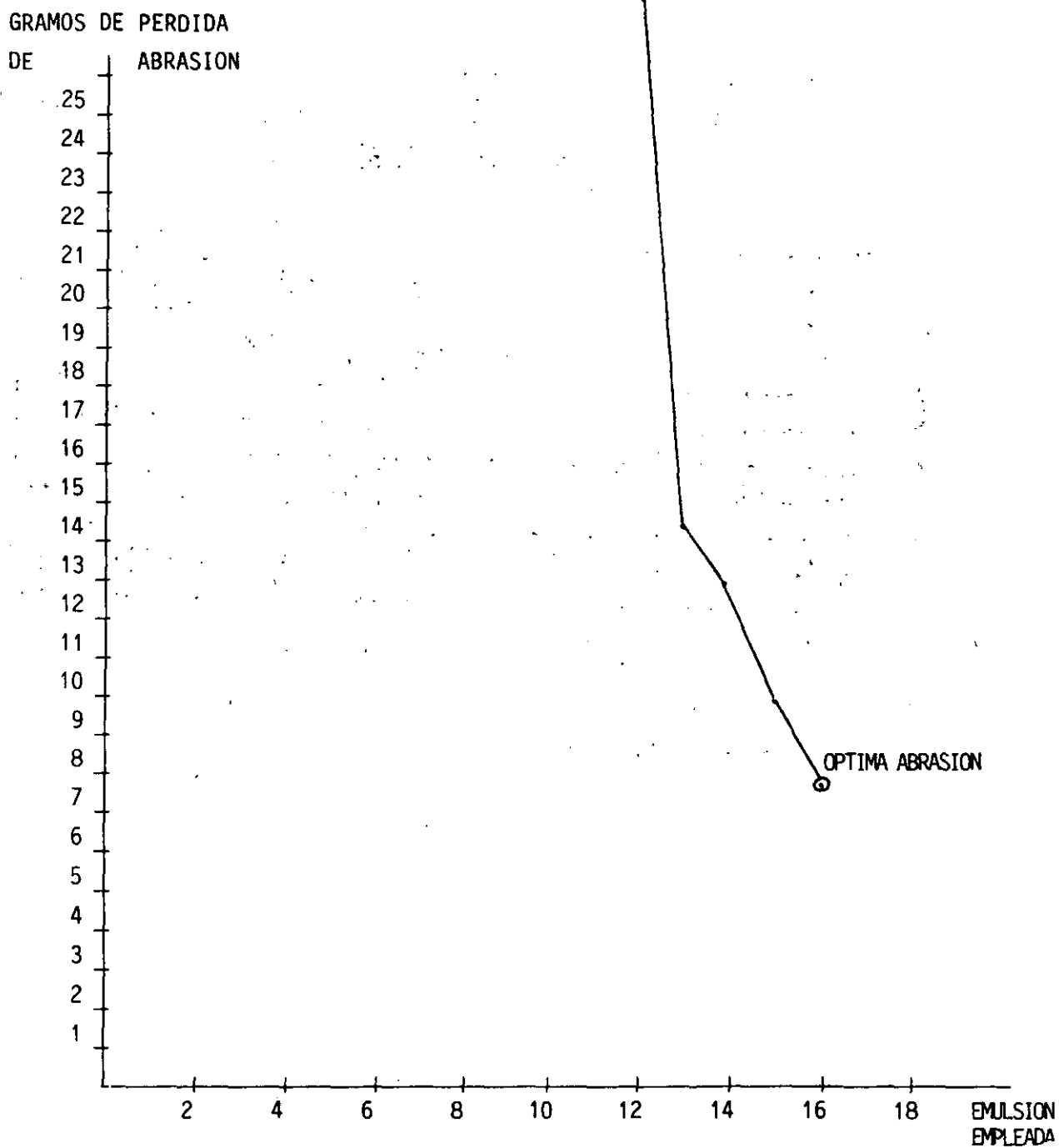


FIGURA 4

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

ENSAJE 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)	ROTURA	COHESION	GRAMOS DE PERDIDA POR ABRASION	ABRASION 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	33	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

PUESTA EN OBRA

MAQUINARIAS

PRINCIPAL

MEZCLADORA - EXTENDEDORA MONTADA
SOBRE CAMION DE 2 O 3 EJES.

AUXILIAR

BARREDORA MECANICA
CARGADOR FRONTAL
PIPA DE AGUA
PETROLIZADORA
COMPACTADOR NEUMATICO

EQUIPO
PRINCIPAL

MEZCLADOR
EXTENDEDOR

- TANQUES DE ALMACENAMIENTO: PARA AGUA (CON INDICADOR DE COLUMNA)
PARA EMULSION (CON INDICADOR DE COLUMNA)
 - TOLVA DE AGREGADOS (CON 4) DE 450 CON LA VERTICAL Y VIBRADOR DE PARED)
 - MOTOR AUXILIAR (PROPORCIONA LA FUERZA PARA LA FABRICACION Y MEZCLADO)
 - ALMACENAMIENTO DE MATERIALES:
 - BARDA 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) FILIER SE AGREGA AL PETREO ANTES DE CAER AL MEZCLADOR, 2) ADICION DEL AGUA, 3) ADICION DEL ADITIVO, 4) SE MEZCLAN Y SE VIERTEN LA EMULSION A LA MITAD DEL RECORRIDO, 5) SALE POR COMPUERTAS LA MEZCLA.
 - RASTRA: CAJA QUE EXTIENDE EL MORTERO EN UN ANCHO, ESPESOR , 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, SOPLETEADO 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 - ARPILLAS, 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 APÉRTURA 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 APERTURA AL TRAFICO = SE PROCEDE PARA UN INTERVALO DEL PAR
DE TORSION DE 20-21 KG./CM.

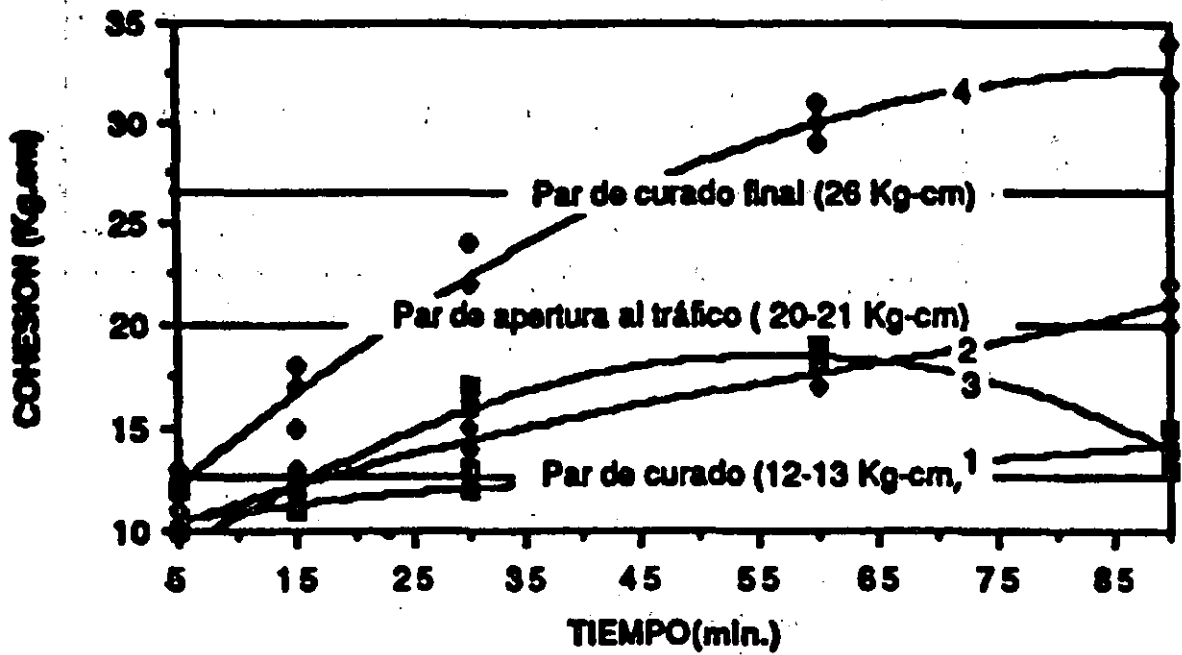
CURADO RAPIDO 30 MINUTOS

LECHADA DE

TIEMPO APERTURA AL TRAFICO RAPIDO 60 MINUTOS

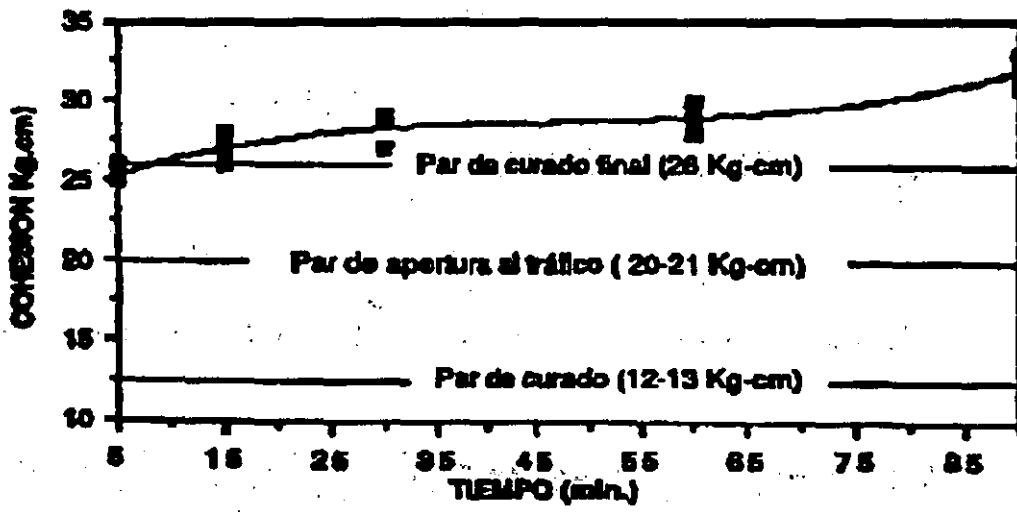
Figura nº1

"COHESIOMETRO"



"COHESIOMETRO"

"COHESIOMETRO"



ENSAYOS EN EMULSIONES

<u>ENSAYES</u>	<u>FINALIDAD</u>
<p>* PRUEBA DE ASENTAMIENTO EN 5 DIAS.</p> <p>ASENTAMIENTO = % ASF. RESIDUAL PROM. PARTE SUP. - % ASF. RESIDUAL PROM.</p>	SE CONSIDERA COMO UN INDICE DE LA <u>ES</u> TABILIDAD QUE CONTIENEN LAS EMULSIONES, PARA SOPORTAR UN ALMACENAMIENTO PROLONGADO.
<p>* PRUEBA DE DEMULSIBILIDAD.</p> <p>% DEMULSIBILIDAD = $\frac{\text{ASFALTO COAGULADO} \times 100}{\text{ASF. RESIDUAL}}$</p>	SE APLICA EN 2 CASOS, A EMULSIONES - RR Y RL.
<p>* PRUEBA DE MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND EN EMULSIONES. RL.</p>	DETERMINA LA RESISTENCIA A LA COAGU LACION.
<p>* PRUEBA DE DESTILACION.</p>	DETERMINA EL CONTENIDO DE AGUA Y <u>RE</u> SIDUO ASFALTICO PARA PROCEDER A - - EFECTUAR PRUEBAS DE PENETRACION Y - DUCTILIDAD.
<p>* RETENIDO EN MALLA N° 20.</p>	DETERMINA SI LA EMULSION CONTIENE - GRUMOS QUE ENTORPEZCAN LA CONDUCCION POR TUBERIAS.
<p>* POTENCIAL DE HIDROGENO.</p>	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 AGREG. 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 TAMIZADO.	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°C TEMPERATURA AMBIENTE 40°C
BAJA TEMPERATURA	ROTURA LENTA	PREVISION CLIMATOLOGICA

FALLAS

DEFECTOS ORIGINADOS POR LOS AGREGADOS PETREOS

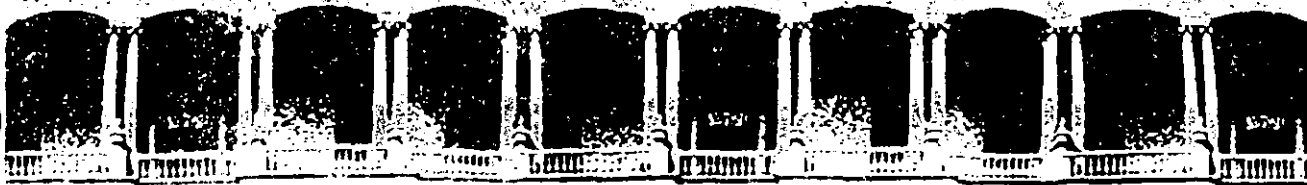
DEFECTOS ORIGINADOS POR LA EMULSION

DEFECTOS ORIGINADOS POR FABRICACION Y MEZCLA

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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

**RECUPERACION Y RACLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES ASFALTICOS RECIACLADOS**

INF. RAFAEL LIMON LIMON

PALACIO DE MINERIA

**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.,**

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES ASFALTICOS
RECICLADOS.

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 elásticas 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 cementos 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 tomados 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 Ó 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 tanbién 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 tira 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 registraron 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:

$$N_f = K_2 \left[\frac{1}{T_T} \right] \quad n_2 = K'_2 \left[\frac{1}{AT} \right] \quad n_2$$

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 2). 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' para diferentes relaciones logarítmicas generalmente vario de 0.79 a 0.98%, 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 estan 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 -
sumarizaron en la (Ref. 1). La Tabla 3 comprendia los resultados de la prueba --
estática e incluye los promedios y coeficientes de variación, aunque el coeficien
te de variación puede no ser muy útil debido al número pequeño de puntos (valo
res) obtenidos de los especímenes probados y de los valores reportados previamen
te.

La resistencia y los valores del módulo obtenidos para las mezclas recicladas --
fueron ligeramente mayores que los obtenidos previamente para las mezclas conven
cionales. 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 692×10^3 N/cm² 17.4×10^3 a 70.21×10^3 Kgs/cm²) 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 349×10^3 N/cm² (12.95×10^3 a 35.42×10^3 Kgs/cm²) 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:

$$n_2 = - 0.5368 + 0.3793 \log K'_2$$

$$(R^2 = 0.94, S_e = 0.30)$$

y

$$\log K'_2 = 2.2426 + 2.476 n_2$$

$$(R^2 = 0.94, S_e = 0.78)$$

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:

$$n_2 = 0.4836 + 0.3756 \log K'_2$$

$$(R^2 = 0.96, S_e = 0.29)$$

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/cm^2 a velocidad lenta y de 7.0 Kgs/cm^2 a velocidad rápida.

Para el material de base más pobre aceptado, la resistencia a la compresión sin confinar no menor de 2.1 Kgs/cm^2 a velocidad lenta y 7.0 Kgs/cm^2 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.

Basados 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 - 138 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): n₂ = 2 - 8

K₂ = 10¹¹ - 10¹⁸

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 8.
- 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

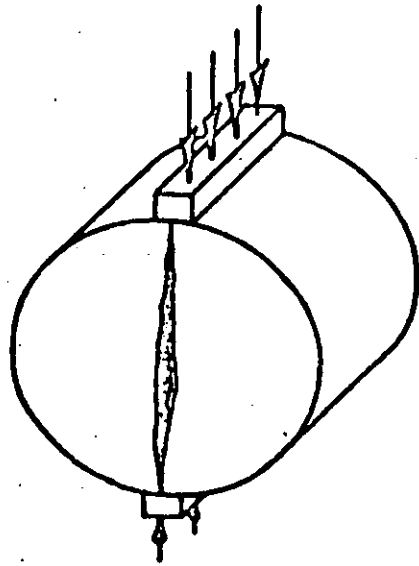


FIG. 1.- PRUEBA DE TENSION INDIRECTA A LA FALLA.

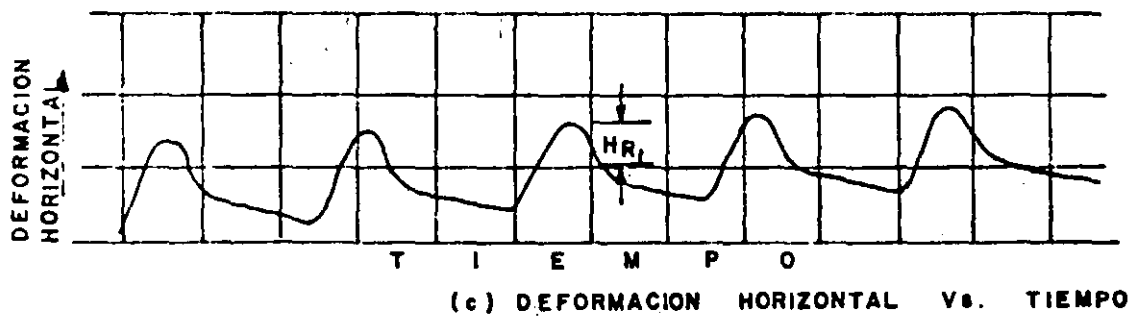
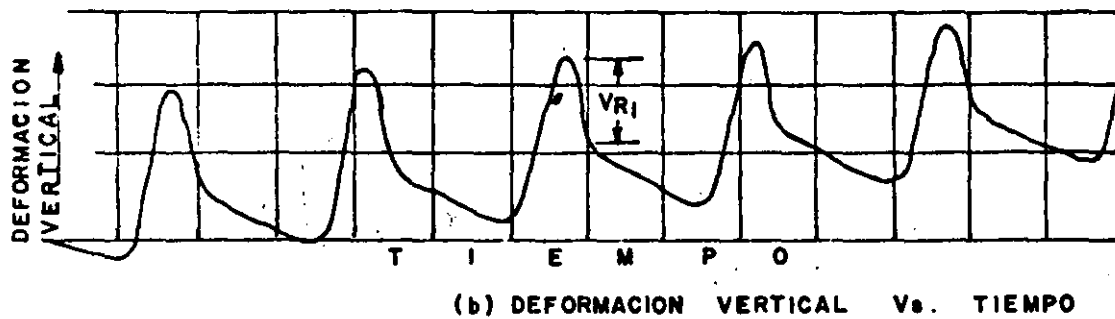
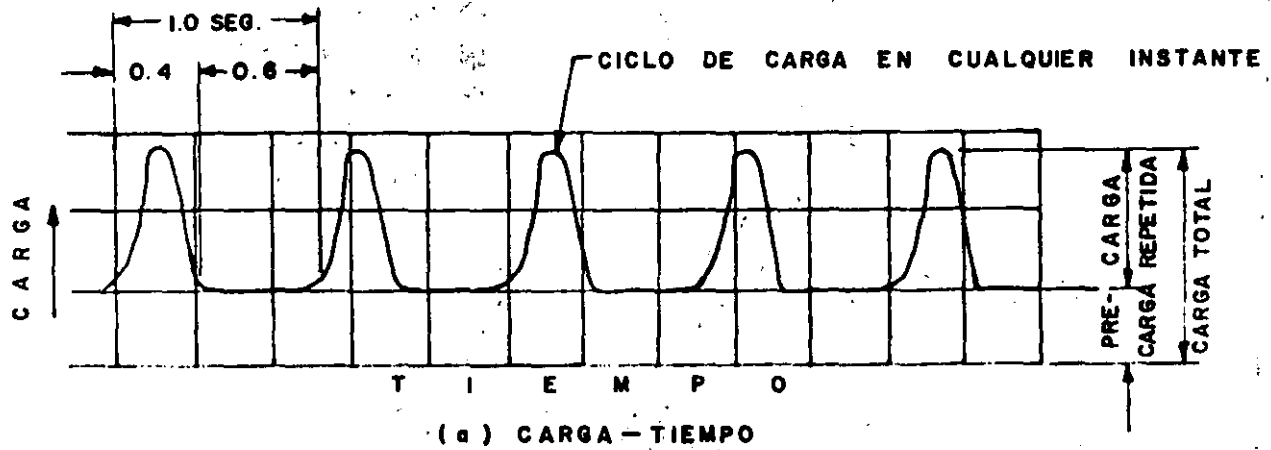


FIG. 2 - RELACIONES TÍPICAS DE CARGA Y DEFORMACION "Vs" TIEMPO, PARA LA PRUEBA DE TENSION INDIRECTA CON CARGA REPETIDA.

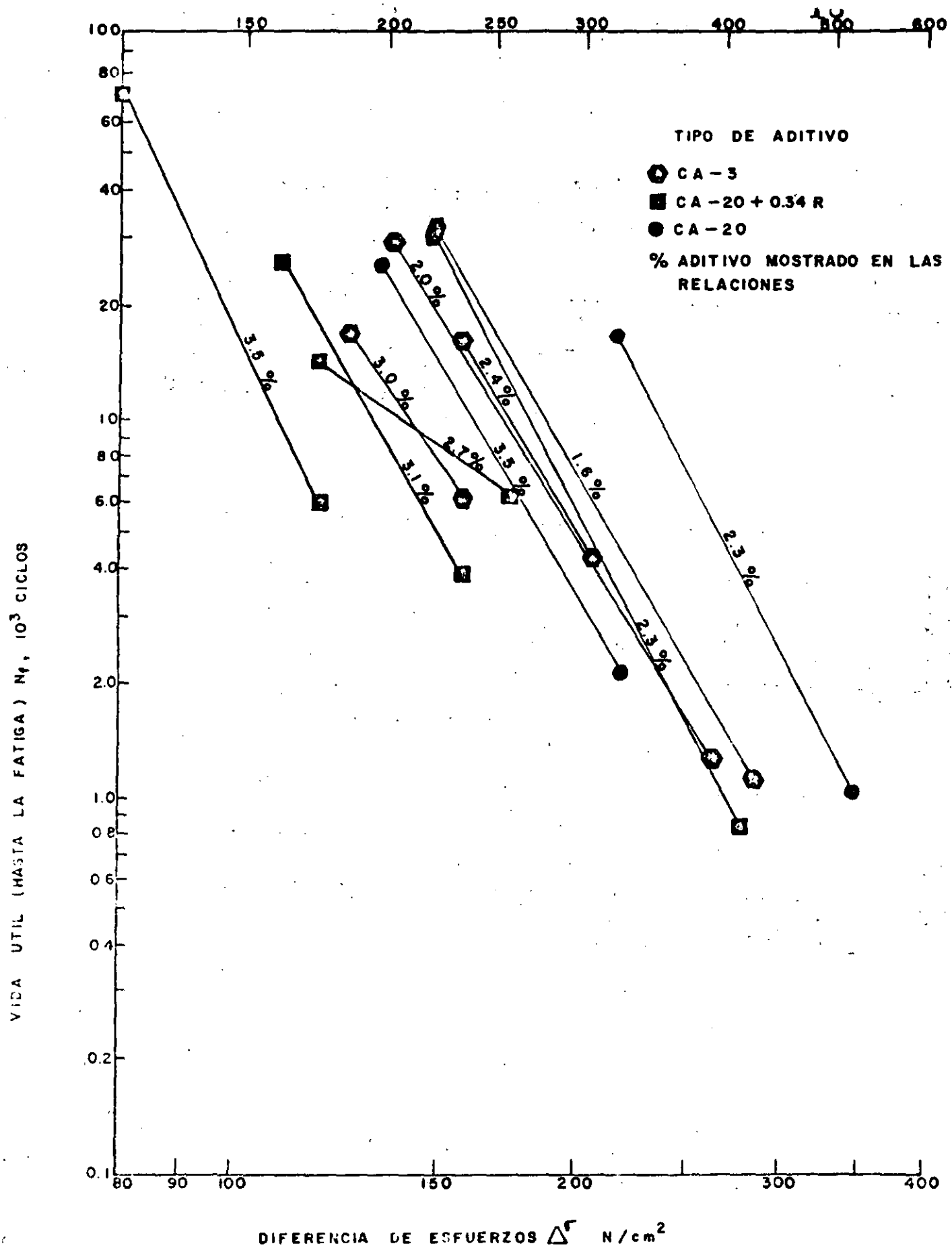


FIG. 3 - RELACIONES ENTRE LOS LOGARITMOS DE LA VIDA UTIL Y LOS ESFUERZOS (DIFERENCIA) PARA LAS MEZCLAS RECICLADAS DE IH 20 —

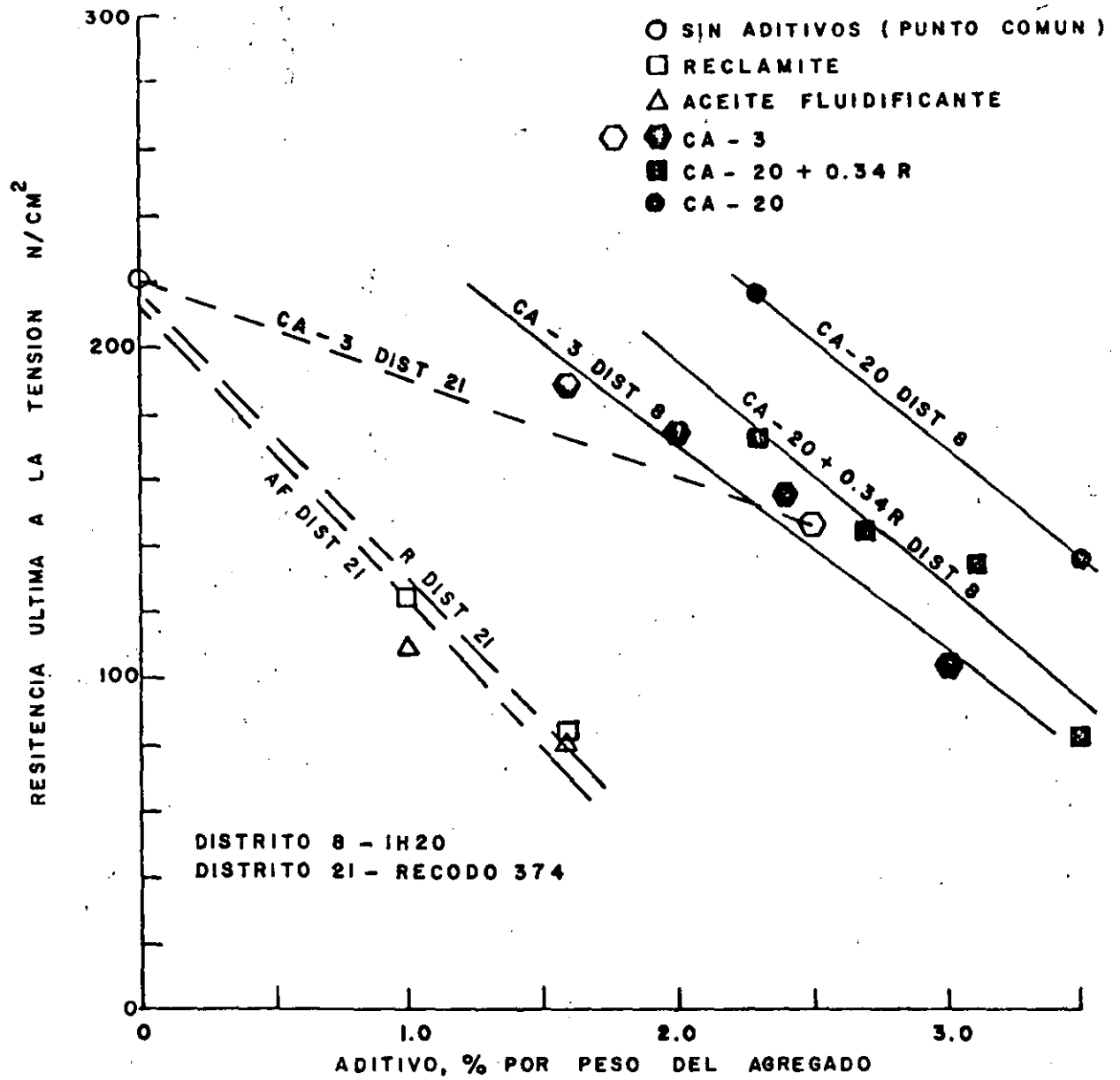


FIG. 4 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSION

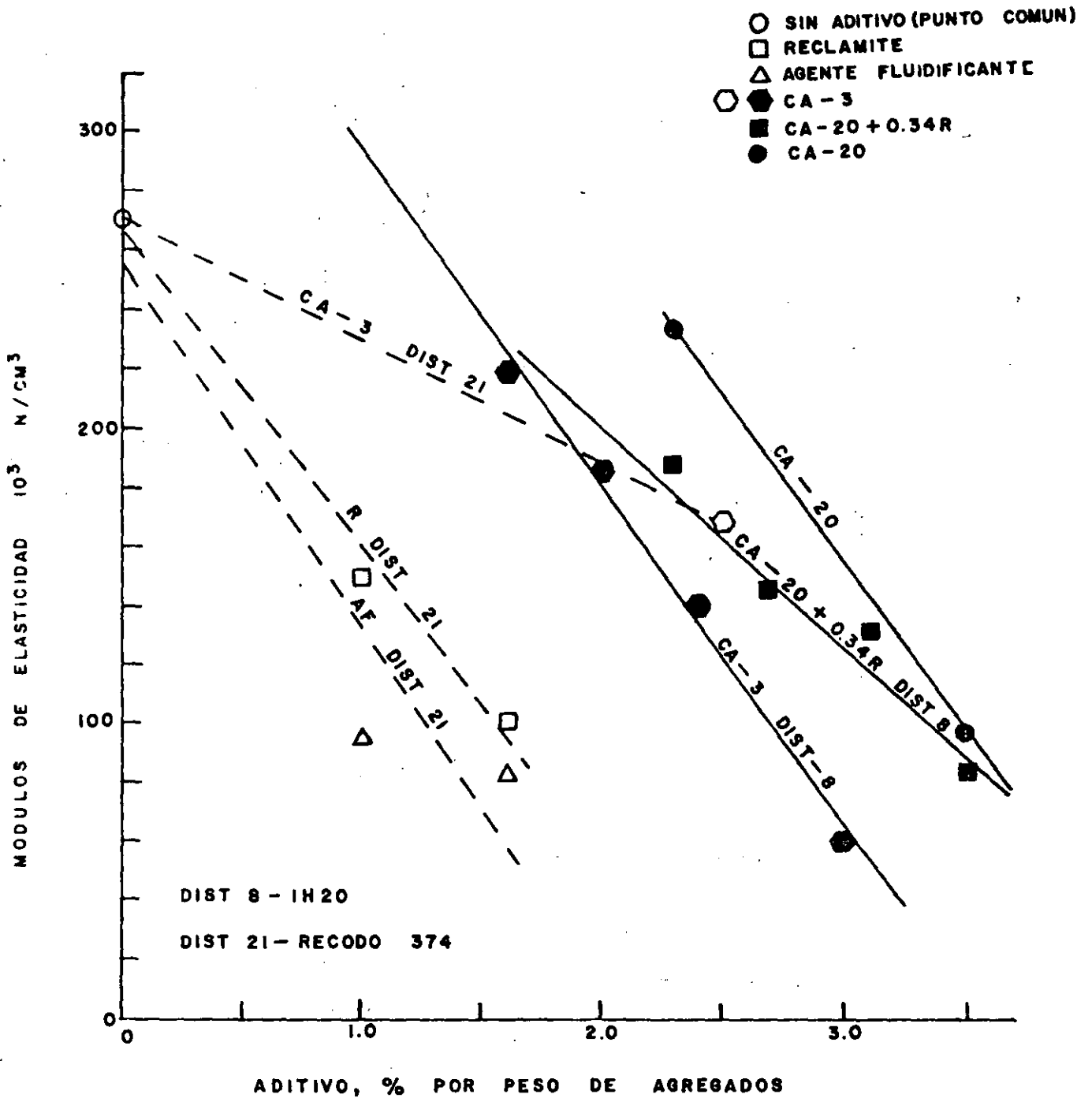


FIG. 5 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD

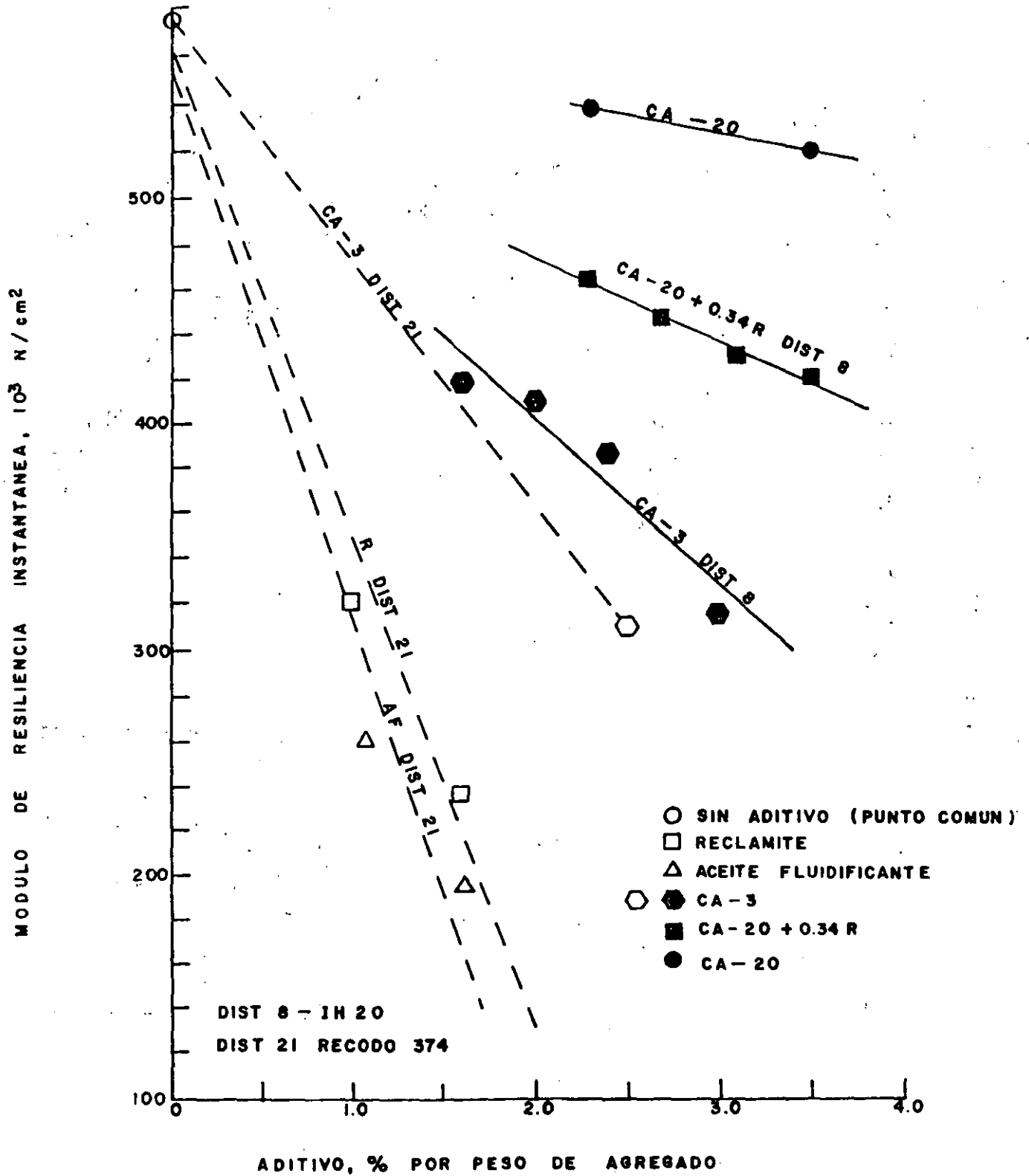


FIG. 6—EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD CON RESILIENCIA

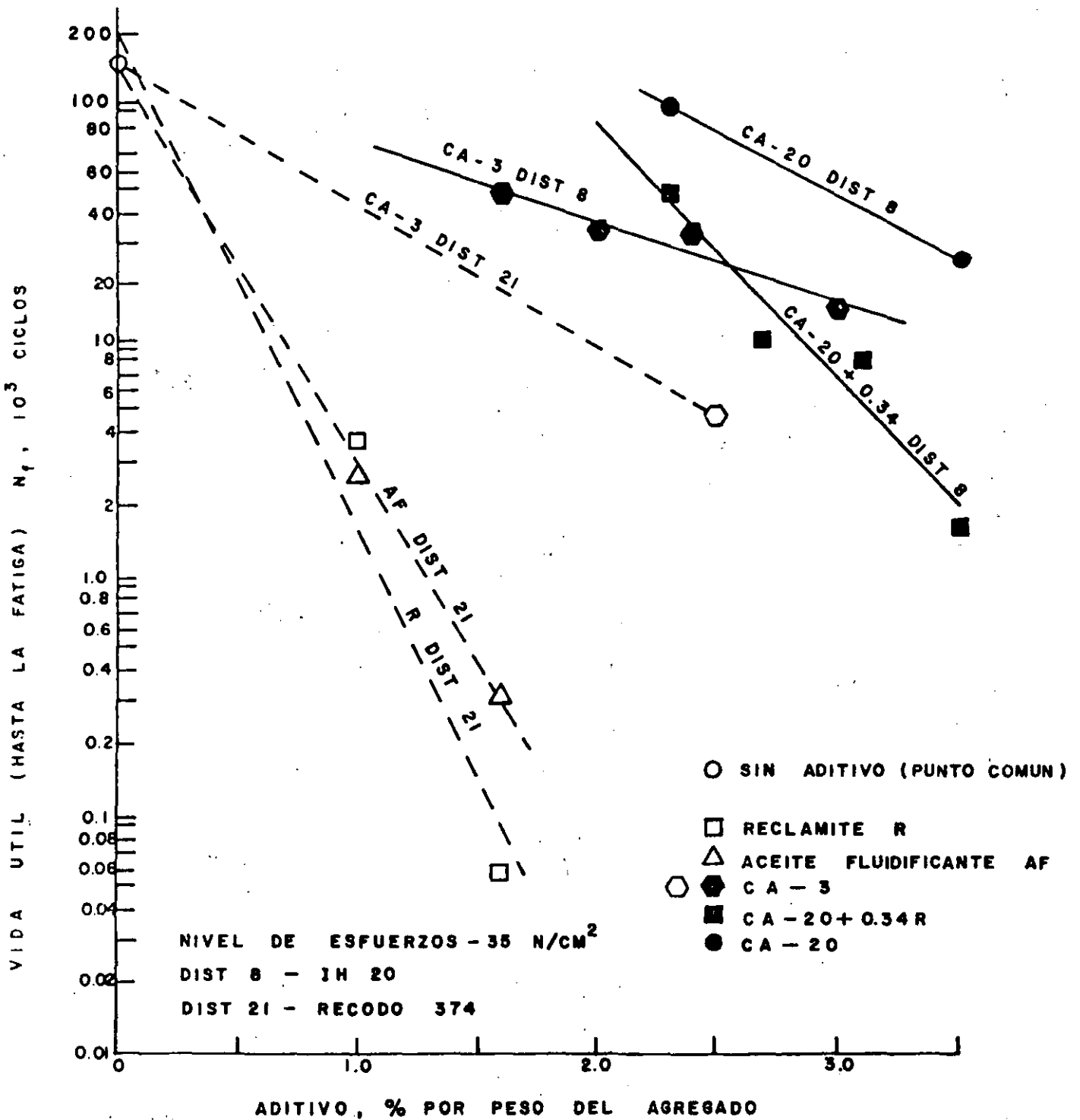


FIG. 7 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA VIDA UTIL

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 Resilencia 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 III-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 se 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	
		4	4	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	2.30	
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	Reclamite	1.6	
		6	3	Aceite fluidificante.	1.0	
		6	3	Aceite fluidificante.	1.6	
	Mezcla en el campo	12	6	Aceite fluidificante.	2.0	
		6	6	Aceite fluidificante.	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	

* 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)
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 3 - RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADICA

Laboratorio	Preparación	Tratamiento	Número de Especímenes	Resistencia Última a la Tensión		Módulo Elástico de Elasticidad		Índice Esfuerzo-Deformación	Poisson			
				Promedio N/cm ² (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación %	Promedio 10 ³ N/cm ² (10 ³ kg/cm ²)	Coefficiente de Variación %					
Laboratorio		2.0% CA-5	3	155	15.3	7	131	13.44	10	0.12	18	
		3.0% CA-5	2	124	10.5	-	51	6.23	--	0.12	18	
		2.4% CA-5	2	156	15.8	-	143	14.42	--	0.12	18	
		2.0% CA-5	2	175	17.3	-	186	18.33	--	0.12	18	
		1.6% CA-5	2	191	18.9	-	220	22.32	--	0.12	18	
		3.5% CA-8	3	84	8.5	12	87	8.73	10	0.12	18	
		0.34% R										
		3.1% CA-8	2	131	13.8	-	132	13.37	--	0.12	18	
		0.34% R										
		2.7% CA-8	4	145	14.8	4	147	14.51	34	0.12	18	
		0.34% R										
		2.3% CA-8	4	174	17.6	11	192	19.25	27	0.12	18	
		0.34% R										
		3.5% CA-8	2	137	13.9	-	99	9.94	--	0.14	18	
		2.3% CA-8	2	217	22.1	-	235	23.45	--	0.12	18	
		2.5% CA-8	2	181	18.3	-	165	16.73	--	0.12	18	
		Muda A	3	191	19.4	14	201	20.30	37	0.12	18	
		Muda A	3	220	22.3	4	270	27.04	5	0.12	18	
2.5% CA-3	3	147	14.9	3	169	17.15	7	0.12	18			
1.0% R	3	124	12.6	7	152	15.19	10	0.12	18			
1.0% R	3	84	8.5	23	101	10.11	20	0.12	18			
1.0% AF	3	125	12.0	23	95	9.50	16	0.12	18			
1.6% AF	3	82	8.3	4	83	8.40	22	0.12	18			
Campo		1.6% AF	3	86	8.8	4	77	7.77	10	0.12	18	
		2.0% AF	3	124	12.5	8	90	9.10	25	0.12	18	
		2.0% AF	3	84	8.8	3	62	6.23	10	0.12	18	
		1.6% R	3	131	13.2	2	84	8.43	--	0.12	18	
		1.4% R	3	129	13.0	11	97	9.70	39	0.12	18	
		2.5% CA-3	3	155	15.7	5	124	12.53	4	0.12	18	
		3.0% CA-3	3	191	19.4	2	147	14.71	6	0.12	18	
3.0% CA-3	3	154	15.81	3	119	12.04	10	0.12	18			
Continuos		1.5% CA-20	7	56	5.67	39	40	3.30	50	0.12	18	
Intervalo				56 - 220 (11)	220 - 379	2 - 23	40 - 130 (57)	130 - 25	0.12-0.17	18-21		

27

TABLA 4 - RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ELASTICAS CON CARGA REPETIDA

Distrito Cdra	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	
5 14 20	Laboratorio	2.0% CA-3	55	5.6	2	453	45.99	-	0.21	-
			30	3.1	2	306	35.14	-	-----	-
		3.0% CA-3	40	4.1	2	327	33.18	-	0.17	-
			32	3.2	2	310	31.50	-	0.05	-
		2.4% CA-3	52	5.3	2	394	39.97	-	0.09	-
			40	4.1	3	380	38.99	-	0.13	-
		2.0% CA-3	56	6.7	2	458	46.48	-	0.16	-
			35	3.6	2	265	37.03	-	0.04	-
		1.6% CA-3	72	7.3	2	433	43.96	-	0.13	-
			38	3.9	3	407	41.30	3	0.20	60
		3.5% CA-20	30	3.1	2	441	44.80	-	0.20	19
		0.34% R	20	2.0	2	405	41.09	-	0.34	-
		3.1% CA-20	40	4.1	2	419	42.56	-	0.11	-
		0.34% R	28	2.9	3	445	45.15	19	0.22	52
		2.7% CA-20	45	4.6	2	444	45.08	-	0.12	-
		0.34% R	30	3.1	2	455	46.20	-	0.14	-
		2.3% CA-20	70	7.1	2	518	52.57	-	0.42	-
		0.34% R	38	3.9	2	414	42.00	-	0.17	-
		3.5% CA-20	55	5.6	2	500	50.75	-	0.19	-
			34	3.4	2	546	55.44	-	0.14	-
		2.3% CA-20	87	8.8	2	533	54.11	-	0.13	-
			55	5.6	2	550	55.86	-	0.21	-
		2.5% CA-20	72	7.3	2	369	37.45	-	0.19	28
0.20% R	41	4.1	2	458	46.48	-	0.15	-		
Nada *	72	7.3	2	616	62.72	-	0.38	-		
	45	4.6	2	521	52.85	-	0.20	-		

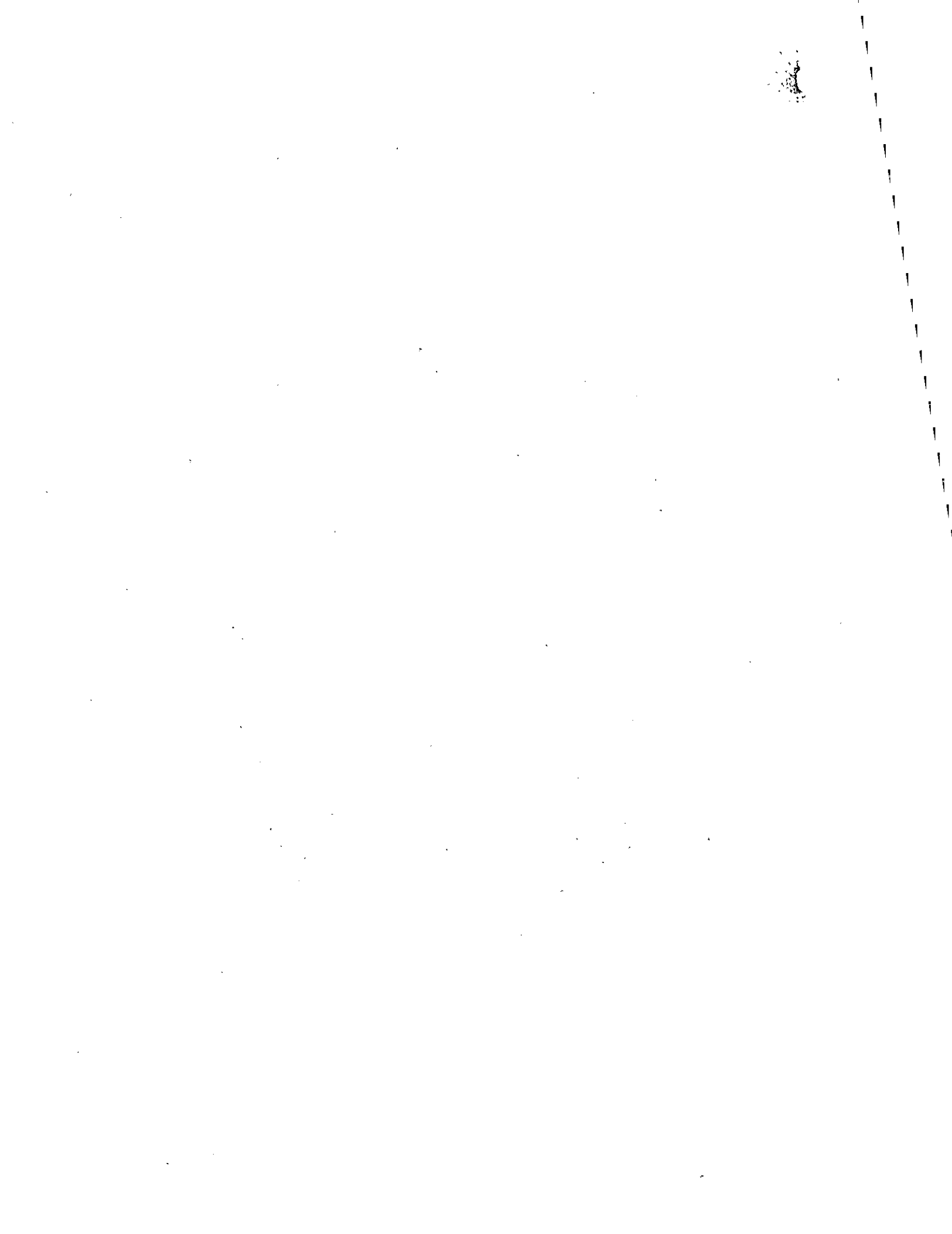
Continua.

TABLA 4 - (CONTINUACION)

Distrito Obra	Propiedades	Tratamiento	Nivel de Esfuerzos		Número de Especímenes	Módulo de Resiliencia Instantánea			Valor de Poisson para Esfuerzos	
			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 274	Laboratorio	Nada *	57	5.8	2	692	20.21	-	---	---
			40	4.1	2	465	47.18	-	---	---
		2.5% CA-3	39	3.9	3	317	31.50	6	0.34	13
			26	2.7	3	313	31.78	5	0.37	40
		1.0% R	40	4.1	3	337	34.23	3	0.41	17
			22	2.0	2	305	30.94	-	---	---
		1.6% R	22	2.0	3	246	24.99	16	0.66	17
			12	1.2	3	228	23.17	15	0.52	22
		1.0% AF	35	3.9	3	278	28.21	5	0.41	20
			26	2.7	2	245	24.85	-	---	---
	1.6% AF	20	2.8	3	211	21.42	5	0.51	-	
		14	1.4	3	184	18.69	12	0.36	26	
	Campo	1.6% AF	28	2.9	3	172	17.49	5	0.39	15
			13	1.3	3	217	21.98	5	0.43	10
		2.0% AF	40	4.1	3	200	20.30	3	0.37	17
			16	1.6	3	188	19.04	6	0.22	31
		2.0% AF	30	3.1	3	174	17.64	3	0.33	24
			13	1.3	3	207	21.00	10	0.25	15
		1.6% R	26	2.7	3	265	26.89	2	0.32	13
			20	2.0	3	261	26.46	9	0.35	21
1.5% R		51	5.2	2	275	27.93	-	0.37	11	
		20	2.0	2	237	24.08	-	0.20	10	
2.5% CA-3	50	5.0	3	305	30.94	5	0.31	17		
	30	3.1	3	285	28.91	12	0.17	11		
3.0% CA-3	50	5.0	3	330	33.44	9	0.20	10		
	28	2.9	3	339	34.44	6	0.15	10		
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	9		
21	Corazones	15% CA-20	15	1.5	5	224	22.75	9	0.33	4
US 231			11	1.1	6	260	26.39	6	0.35	11
Intervalo						172 - 546 (249 - 797)	2-16	0.04-0.65	3-50	

* El material reciclado se calentó y compactó sin aditivo o agregado nuevo.
 R = Resiliencia
 AF = Aceite Fluidificante

29





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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

**RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES
DE PAVIMENTACION (RECUPERACION DE LOS MATERIALES)**

ING. RAFAEL LIMON LIMON

PALACIO DE MINERIA

**LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO -
DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION
(RECUPERACION DE LOS MATERIALES)**

POR:

J O H N A . E P P S

REUNION ANUAL DE RECICLADO DE PAVIMENTOS EN NUEVA YORK, USA.

LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION
(RECUPERACION DE LOS MATERIALES)

(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 ASFÁLTICOS

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 recubrimiento delgado o agregado	A4
			Escarificación en caliente más un recubrimiento 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 Revestimiento	Ventajas	Desventajas
Superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el agrietamiento por reflexión. • Facilita la trabazón entre el pavimento viejo y el nuevo (capa de sellado) • Proporciona una transición entre la nueva sobrecoja y la tuerca puente, pavimentos, etc. que resiste al desprendimiento (evita la incrustación) • Veloz en las zonas ásperas • Trata una variedad de tipos de desperfectos de pavimentos (desprendimiento, llorido, aspersiones, surcamentos rodados, asfaltos oxidados, fallas) a un costo razonable. • Mejora la resistencia al derrapamiento • Interrupciones mínimas del tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora estructural limitada • La resquebrajación en las juntas de dilatación en curvas puede ser difícil de controlar sin pruebas previas del tipo de mezcla. • Reparación limitada de los pavimentos deug tables o que fueran especialmente • Algunos problemas de control de calidad • La vegetación cercana a la carretera puede ser dañada. • Mezclas con agregados de tamaño máximo de 6 mayor a una pulgada, necesitan tratamiento con cualquier agente.
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 revestimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • El control de calidad no es tan bueno como en planta central. • Interrupciones de tránsito • El equipo de pulverización requiere reparaciones. • Costoso • No puede realizarse fácilmente en los pavimentos de concreto hidráulico.
Central	<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 y/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 subsiguientes 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		

08
 TABLA 5 - CIERRE DEL DE LAS MEJORA DEL EFECTUACIONES PARA MEJORAR LA DURABILIDAD ESTRUCTURAL BASADO EN LA DUREZA DEL PAVIMENTO.

METODOS DE RECICLAMIENTO			ESPECIES DE LA PAVIMENTO		
			Número	Mejoras en Capa delgada	Mejoras en Capa gruesa
Dembastado en Caliente	A1	Sin agregado adicional	■	■	
	A2	Con agregado adicional	■	■	
Escarificación en Caliente	A3	Escarificación en caliente solamente	■	■	
	A4	Escarificación en caliente más sobre-capas delgada de concreto asfáltico -- 1.5 cms. compactos.		■	
	A5	Escarificación en caliente más recubrimiento grueso 8 cms. compactos.			
Método o tratamiento Superficial.	A6	Moler la parte superficial solamente	■	■	
	A7	Molido superficial en capa delgada -- nueva		■	
	A8	Molido superficial en capa gruesa -- nueva			
Concreto Asfáltico menor a 2 pulgs.	B1	Menores mejoras estructurales sin nuevo aglutinante		■	
	B2	Menores mejoras estructurales con -- nuevo aglutinante		■	
	B3	Mejoras estructurales sin nuevo aglutinante			
	B4	Mejoras estructurales con nuevo aglutinante			
Concreto Asfáltico mayor a -- 2 pulgs.	B5	Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo		■	
	B6	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo		■	
	B7	Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo			
	B8	Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo			
Proceso de mezcla en frío	C1	Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo		■	
	C2	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo		■	
	C3	Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo			
	C4	Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo			
Proceso de mezcla en caliente	C5	Mejoras estructurales menores sin -- aglutinante nuevo		■	
	C6	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo		■	
	C7	Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo			
	C8	Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo			

Tabla 7 - Resumen de las Alternativas Preliminares de Reciclamiento

Métodos de Reciclamiento		Mejoras Estructurales	Mejoras de Durabilidad	Mejoras de Resistencia a la Abrasión	Mejoras de Resistencia a los Impactos	Mejoras de Resistencia a la Fatiga	Mejoras de Resistencia a la Corrosión
Bebido en caliente	Sin agregado adicional	A1					
	Con agregado adicional	A2					
Escarificación en caliente	Escarificación en caliente solamente	A3					
	Escarificación en caliente más capa delgada de concreto asfáltico 1.5 cm. compactos.	A4					
	Escarificación en caliente más sobrecapa gruesa 8 cm. compactos.	A5					
Método de triturada 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					

TABLA 6 - CONTINUACION

Categoría	Método	Descripción	Codificación	Costo Representativo		Cm
				Presupuesto	Rango	
C. Píntada Central	Proceso de mezcla en frío	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	C1	122.24	87.36-122.12	Remover, triturar y recolocar hasta 4" de profundidad con 2" de concreto asfáltico, control de tránsito
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	C2	135.20	68.16-102.24	Remover, triturar, mezclar y recolocar hasta 4" de profundidad con 1" de asfalto asfáltico, control de tránsito
		Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo	C3	121.76	144.84-218.68	Remover, triturar y recolocar 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 recolocar hasta 6" de profundidad con 1" de asfalto asfáltico, control de tránsito
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	C5	111.76	88.04-133.48	Remover, triturar y recolocar hasta 4" de profundidad con 1.5" de concreto asfáltico, control de tránsito
	Proceso de mezcla en caliente	Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	C6	93.72	73.34-113.60	Remover, triturar, mezclar y recolocar hasta 4" de profundidad con 1/2" de concreto asfáltico, control de tránsito
		Mejoras estructurales importantes sin aglutinante nuevo	C7	127.44	150.52-224.36	Remover, triturar y recolocar hasta 6" de profundidad con 3" de concreto asfáltico, control de tránsito
		Mejoras estructurales importantes con aglutinante nuevo	C8	147.88	114.24-176.08	Remover, triturar, mezclar y recolocar hasta 6" de profundidad con una 1" de concreto asfáltico.

7B

76

Categoría	Método	Descripción	Codificación	Corte Representativo por M ²		Detalle
				Precedio	Fango	
A	Rebostado en caliente	B1 agregado adicional	A1	14.25	9.84-22.56	Calentar, desmenuzar, limpiar, tamizar, control de tránsito
		C1 agregado adicional	A2	12.75	8.52-22.72	Esperar, agregar, tamizar, limpiar, control de tránsito y limpieza
	Escarificación en caliente	Escarificar en caliente existente	A3	9.37	7.10-22.72	Calentar, escarificar, compactar, control de tránsito (escarificación de 5" a 7")
		Escarificación en caliente de superficie de concreto asfáltico 1.5 cms. compactado	A4	31.24	22.72-39.76	Calentar, escarificar, compactar, control de tránsito (escarificación de 5" a 7")
		Escarificación en caliente de superficie de concreto asfáltico 1.5 cms. compactado	A4	23.53	17.04-25.40	Calentar, escarificar, compactar, control de tránsito (escarificación de 5" a 7")
		Escarificación en caliente de superficie de concreto asfáltico 1.5 cms. compactado	A5	93.72	73.84-113.60	Calentar, escarificar, compactar, control de tránsito (escarificación de 5" a 7")
			A6	17.04	9.84-34.09	Limpiar, limpiar, compactar, control de tránsito (ver los datos)
B	Triturar y tamizar	B6	73.64	59.84-83.00	Triturar, pulverizar y tamizar a 75 micras más hasta 4" de profundidad por las partes de concreto existente control de tránsito	
		B7	156.20	121.96-127.44	Triturar, pulverizar y tamizar a 75 micras más hasta 4" de profundidad por las partes de concreto existente control de tránsito	
		B8	124.26	93.40-131.50	Triturar, pulverizar y tamizar a 75 micras más hasta 4" de profundidad por las partes de concreto existente control de tránsito	

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 escarificar 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	1.83-3.67
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 agregar 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} = 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 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)

$$D_T = V_R D_R + V_N D_N \quad (1)$$

$$D_R = D_{CKE} - A_R \quad (2)$$

$$D_R = 5.0 - 4.0 = 1.0$$

$$D_T = (0.70) (1.0) + (.30) (6.0)$$

$$D_T = 2.5\%$$

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, 1978.
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 -- 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 12 - REQUERIMIENTOS TÍPICOS DE ENERGÍA EN LAS OPERACIONES DE RECICLA-
MIENTO.

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	15,000-20,000 BTU'S/yd ² - pulg.
6. Reciclamiento en Planta Central	20,000-25,000 BTU'S/yd ² - pulg.

TABLA 11 - COSTOS DE LAS OPERACIONES COMUNES EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

CLASE DE CONSTRUCCION	COSTOS REPRESENTATIVOS POR 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 14 - CONSUMO DE ENERGIA PARA LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION EN EL LUGAR *

Material	Energía Requerida			Ref.
	Btu/ton	Btu/yd ³	Btu/yd ² -pulg.	
Concreto Asfáltico	512,000	1,000,000	27,800	(14)
	533,000	1,040,000	29,000	(16)
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	(10)
Concreto Hidráulico Reforzado Continuamente	1,620,000	3,280,000	91,110	(14)
Slurry Seal			1,340 **	(19)
Riego de Sello-Emulsión y Piedra Triturada			3,950 **	(14)
Riego 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 Cal	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/yd²-pulg. = 497 J/m²cm

1 Btu/yd³ = 1.381 J/m³

1 pulg. = 2.54 cm

Tipo de trabajo	Requerimiento de energía				Energía requerida (kWh)	Energía requerida (kWh)
	Energía requerida (kWh)	Stu/yd ² de superficie	Stu/yd ²	Stu/carril mi		
Pavimento-asfalto - base	10,500 Stu/gal (24)	1,351 (24)		3,700,000 (24)	11.1 (24)	
	11,100 Stu/gal	1,353 (25)		3,800,000 (25)	10.9 (25)	
Pavimento-asfalto - cruce	5,450,000 Stu/carril mi (24)	572 (24)		5,450,000 (24)	572 (24)	100 pies por carril mi
	3,300,000 Stu/carril mi (24)	370 (24)		3,300,000 (24)	370 (24)	
Guía de sello parcial	597,000 Stu/yd ² (24)	5,500 (24)		6,600,000 (24)	1,350 (24)	
	1,100,000 Stu/yd ² (32)	9,210 (32)		9,700,000 (32)	1,380 (32)	
	1,000,000 Stu/yd ² (33)	6,500 (33)		8,300,000 (33)	100 (33)	
	1,600,000 Stu/yd ² (34)	7,500 (33)		7,200,000 (33)	1,350 (33)	
	1,100,000 Stu/yd ² (32)	6,100 (33)		6,670,000 (33)	1,310 (33)	
Pavimento-asfalto - cruce	30,700,000 Stu/carril mi (24)	4,360 (24)		30,700,000 (24)	4,360 (24)	100 pies por carril mi
	17,800,000 Stu/carril mi (24)	3,550 (24)		17,800,000 (24)	3,550 (24)	
Parchado superficial - de la superficie	1,700,000 Stu/yd ³ (32)	45,300 (32)	45,000 (32)	8,000,000 (32)	1,100 (32)	400 pies por carril mi
	2,710,000 Stu/yd ³ (33)	75,300 (33)	69,300 (32)	15,700,000 (33)	2,710 (33)	400 pies por carril mi
Sello superficial - de la superficie	610,000 Stu/yd ³ (32)	24,500 (33)	24,500 (33)	17,200,000 (33)	2,710 (33)	100 pies por carril mi
	1,070,000 Stu/yd ³ (24)	29,300 (24)	29,300 (24)	21,000,000 (24)	2,710 (24)	100 pies por carril mi
	1,000,000 Stu/yd ³ (32)	33,060 (32)	33,060 (32)	23,000,000 (32)	2,710 (32)	
Aplicación y método manual de reparación	1,600,000 Stu/yd ³ (24)	178,000 (24)	44,460 (24)	25,000,000 (24)	2,300 (24)	200 pies por carril mi
Aplicación y método mecánico de reparación	11,120,000 Stu/yd ³ (24)	287,000 (24)	31,200 (24)	65,300,000 (24)	9,350 (24)	200 pies por carril mi
	810,000 Stu/yd ³ (33)	155,000 (33)	22,500 (33)	47,500,000 (33)	6,450 (33)	200 pies por carril mi
Sello de grietas - asfalto	32,700 Stu/gal (24)			8,500,000 (24)	1,200 (24)	50 pies por carril mi
	60,670 Stu/gal (33)			16,500,000 (33)	2,250 (33)	50 pies por carril mi
	33,500 Stu/gal (25)			8,700,000 (25)	1,230 (25)	50 pies lineales / gal
	29,300 Stu/gal (32)			7,300,000 (32)	1,040 (32)	50 pies lineales / gal
Sello de sello	9,400,000 Stu/carril mi (19)	1,340 (19)		9,400,000 (19)	1,340 (19)	100 pies por carril mi
Abrillanteo de con- creta asfáltica	512,000 Stu/ton. (14)	55,800 (14)	27,800 (14)	391,000,000 (14)	55,430 (14)	100 pies por carril mi
	533,000 Stu/ton. (16)	57,800 (16)	28,900 (16)	407,000,000 (16)	57,500 (16)	100 pies por carril mi

* Energía requerida por yarda cuadrada de la superficie total del pavimento mantenido. Por ejemplo, el parchado superficial por el método manual podría haberse aplicado sobre 55 solapantes del área total de la superficie del pavimento, sin embargo la energía reportada es para el mantenimiento del área del pavimento en un carril por milla del pavimento. (25) indica la referencia en la que se basan los datos. Conversión métrica:

$$1 \text{ Stu/gal} = 278.7 \text{ J/l}$$

$$1 \text{ Stu/gal} = 1.164 \text{ J/kg}$$

$$1'' = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ Stu/mi} = 656.1 \text{ J/km}$$

$$1 \text{ Stu/yd}^2 = 1263 \text{ J/m}^2$$

$$1 \text{ pie} = .305 \text{ m}$$

$$1 \text{ Stu/yd}^3 = 1.381 \text{ J/m}^3$$

$$1 \text{ Stu/yd}^2 = 497 \text{ J/m}^2 \text{ cm}$$

MAPA 11. COSTOS UNITARIOS PARA LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Ítem Descriptivo	Descripción General	Estado	Nº.	Costo Unitario Promedio Dólares	Costo Promedio	Costo	Costo	Costo	Costo
Riego final-amplitud parcial	Aplicación ligera de emulsión diluida o un material apropiado sobre un carril parcial	ARI	105	0.365/yd ²	105	105			
Riego final-amplitud total	Aplicación ligera de emulsión diluida o material apropiado sobre un carril completo en una sección continua	ARI CAL REV ND	106 01-963 101.06 435	0.069/yd ² 0.06 /yd ² 0.06 /yd ² 0.11 /yd ²	106	106	106		yd ²
Riego de sellos-amplitud parcial	Aplicación de asfalto y cubrimiento con agregado en una área limitada	ARI CAL REV ND	104 01-051 101.05 412	0.36 /yd ² 0.41 /yd ² 0.23 /yd ² 0.26 /yd ²	104	104	104		yd ²
Riego de sellos-amplitud total	Aplicación de asfalto y cubrimiento con agregado en una amplitud total de carril en una sección continua	ARI CAL REV ND	106 01-054 101.09 422	0.18 /yd ² 0.24 /yd ² 0.23 /yd ² 0.21 /yd ²	106	106	106		yd ²
Método manual de parchado superficial	Aplicación por método manual de un material premezclado, sobre la superficie del pavimento	ARI CAL REV	102 01-031 101.02	34.56/yc ³ 147.00/yc ³ 123.60/yc ³	102.00	102.00	102.00		yc ³
Método de mecanizado a máquina de la superficie	Aplicación con máquina, de un material premezclado sobre la superficie de pavimento	ARI CAL CAL CAL REV ND	102 01-021 01-022 01-023 01-024 101.03 421	34.56/yc ³ 52.80/yc ³ 43.00/yc ³ 28.50/yc ³ 40.40/yc ³ 27.96/yc ³ 22.35/yc ³	26.00	26.00	26.00		yc ³
Método de raspado y reparación manual	Remover y reparar las áreas limitadas usando herramientas manuales	ARI CAL ND	101 01-034 411	112.39/yc ³ 145.00/yc ³ 55.34/yc ³	110.00	110.00	110.00		yc ³
Método de escurbado y reparación con máquina	Remover y reparar las áreas limitadas usando equipo mecanizado	ARI CAL REV	105 01-011 101.01	27.38/yc ³ 68.00/yc ³ 17.35/yc ³	25.00	25.00	25.00		yc ³
Llenado de grietas (calafateo)	Llenado de grietas en pavimentos flexibles con material asfáltico (puede incluir limpieza con aire comprimido y cubrimiento con arena)	ARI CAL CAL REV ND	103 01-041 01-042 101.07 414	3.38 /gal 4.83 /gal 6.41 /gal 3.00 /gal 1.18 /gal	3.25	3.25	3.25		gal
Recubrimiento con concreto asfáltico	Aplicación de una sobrecapa de concreto asfáltico comúnmente menor a 2" aproximadamente	TEX US		21.00 ^a /ton 15.12 ^b /ton	21.00	21.00	21.00		ton

^a Costo por tonelada conversiones métricas: 1 yd³ = 0.83 M³
1 yd² = 3.76 M² 1 ton = 907 Kg.

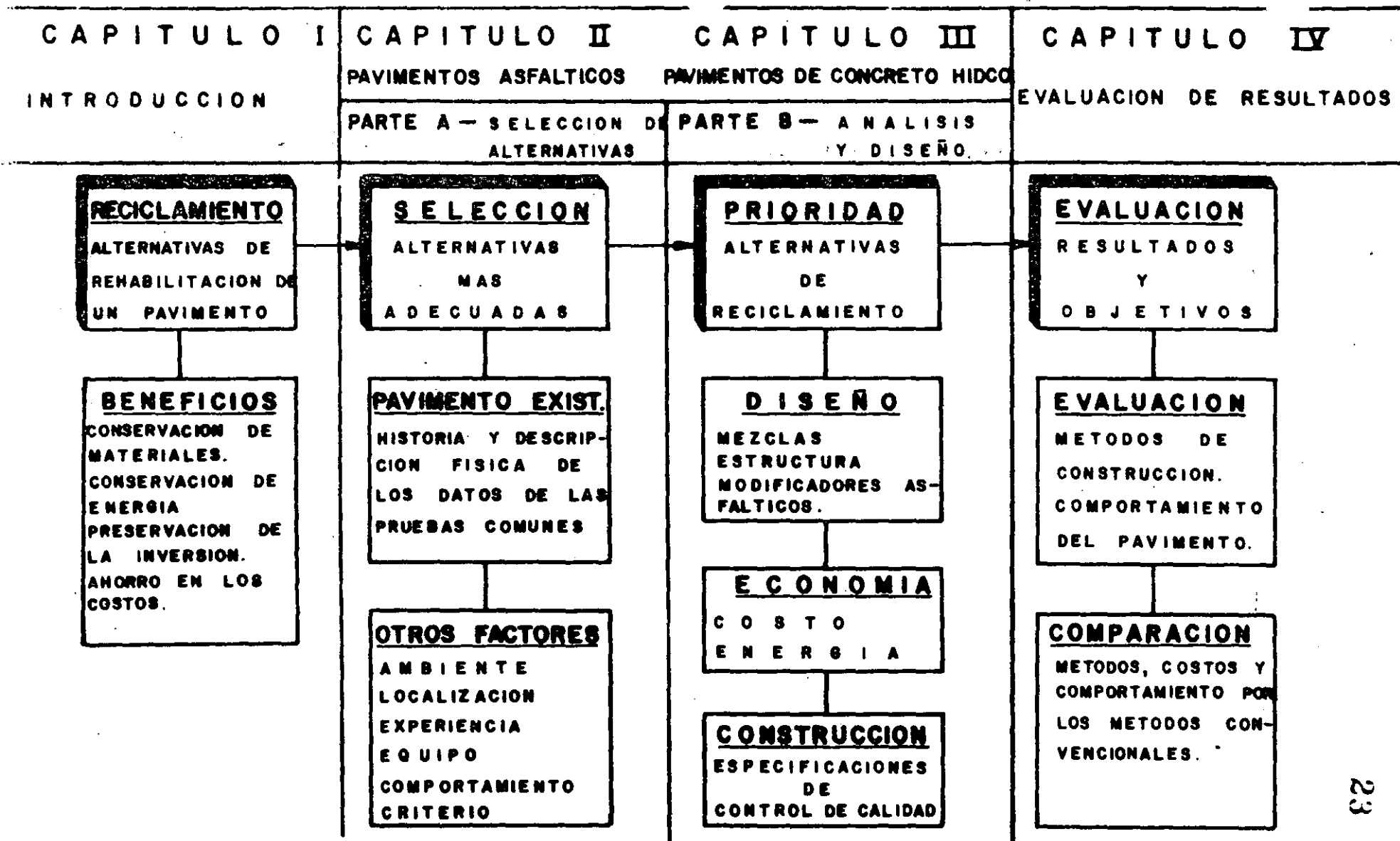


FIG. 1 - PRESENTACION DE LOS LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

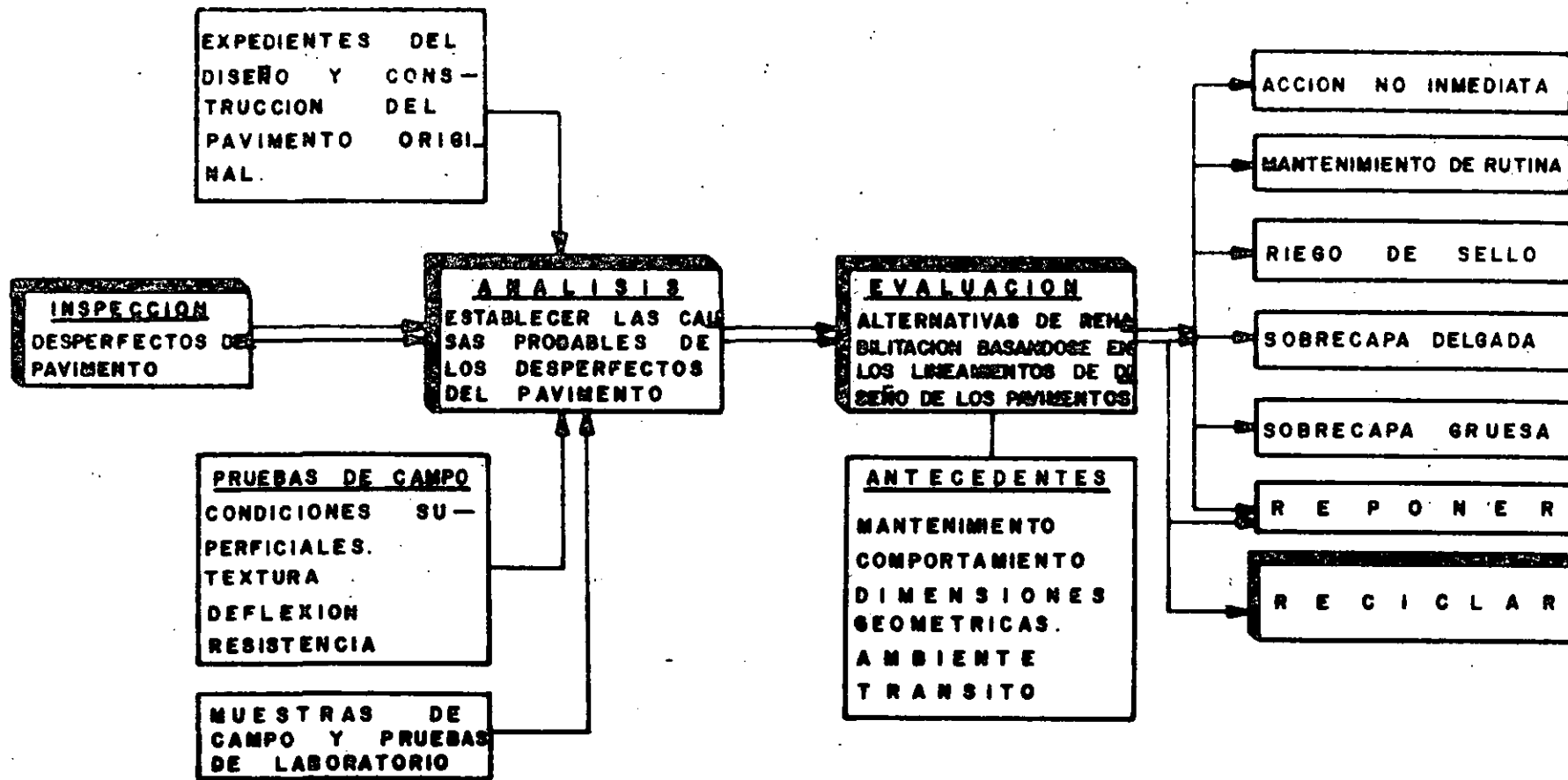


FIG. 2 — EL RECICLAMIENTO COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACION

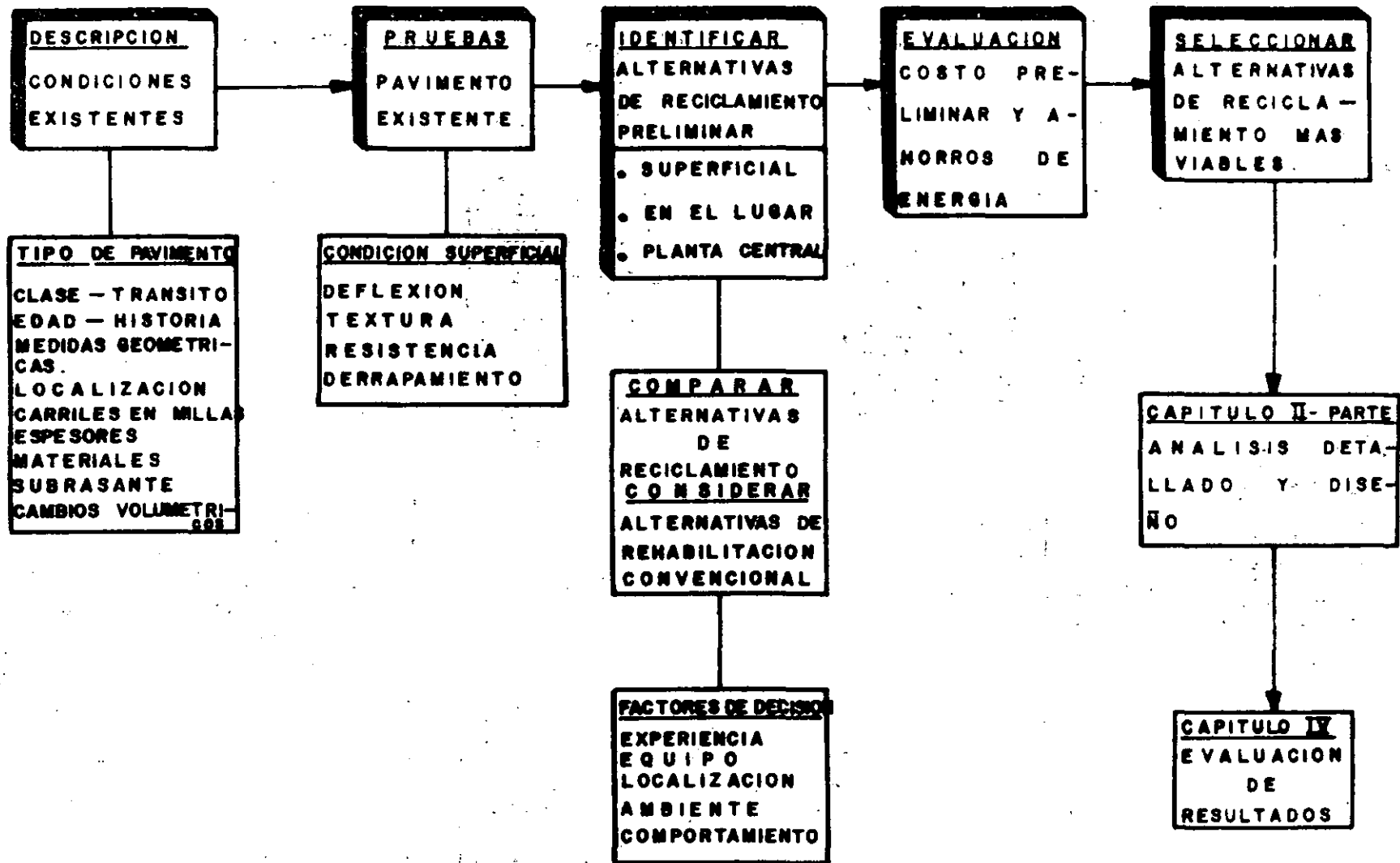


FIG. 3- ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS

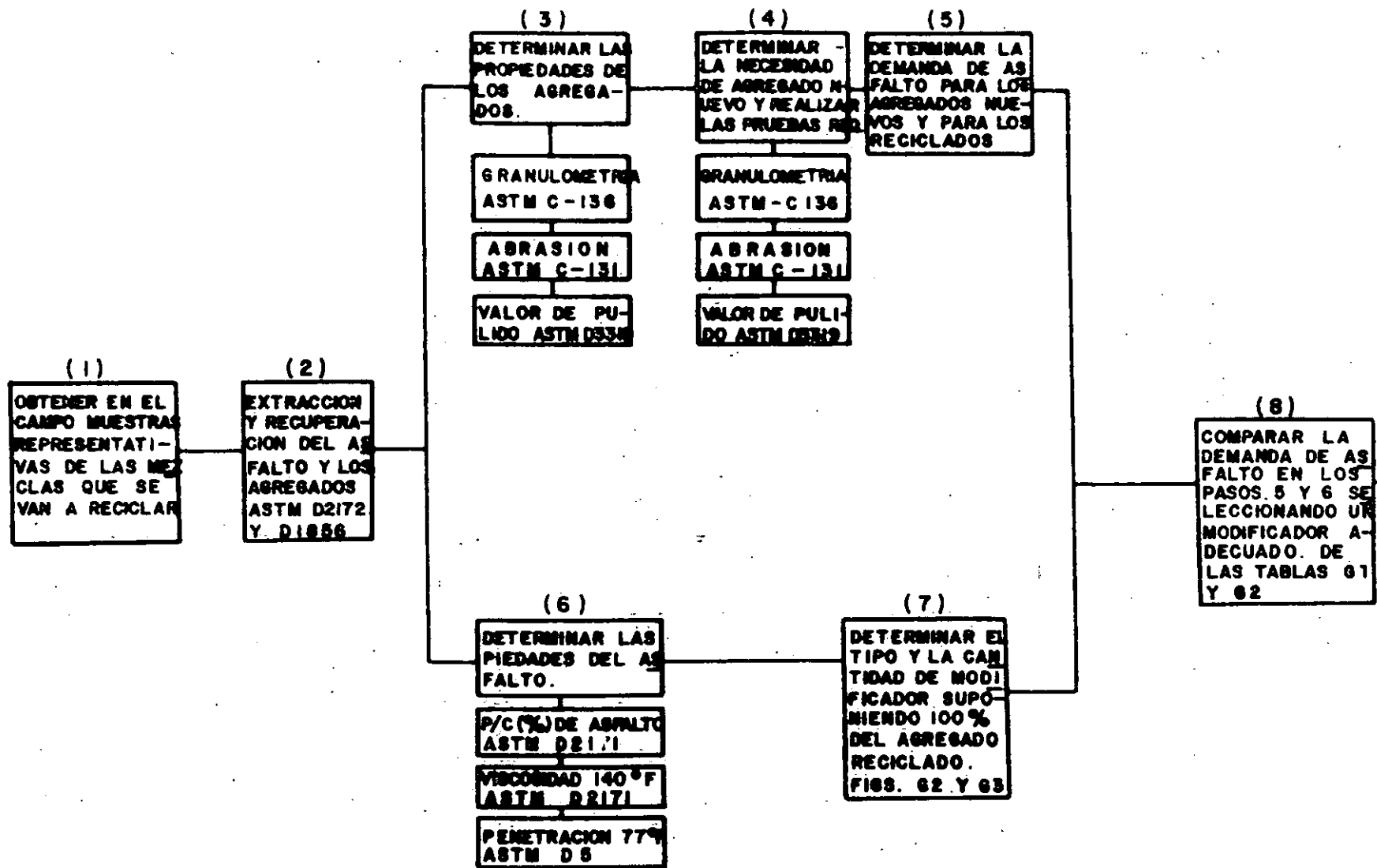
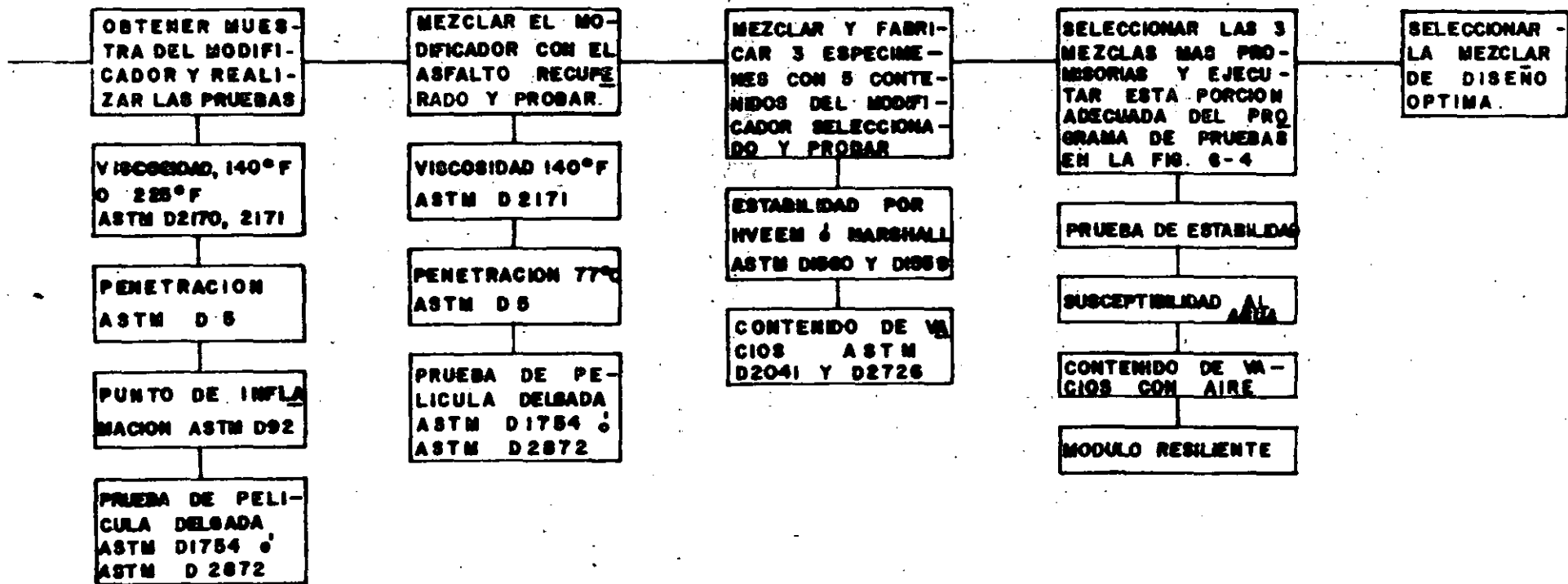


FIG. G1- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA MEZCLA



CONTINUACION DE LA FIG. 61

CARTA DE VISCOSIDAD DE LA MEZCLA
RANGO COMPLETO

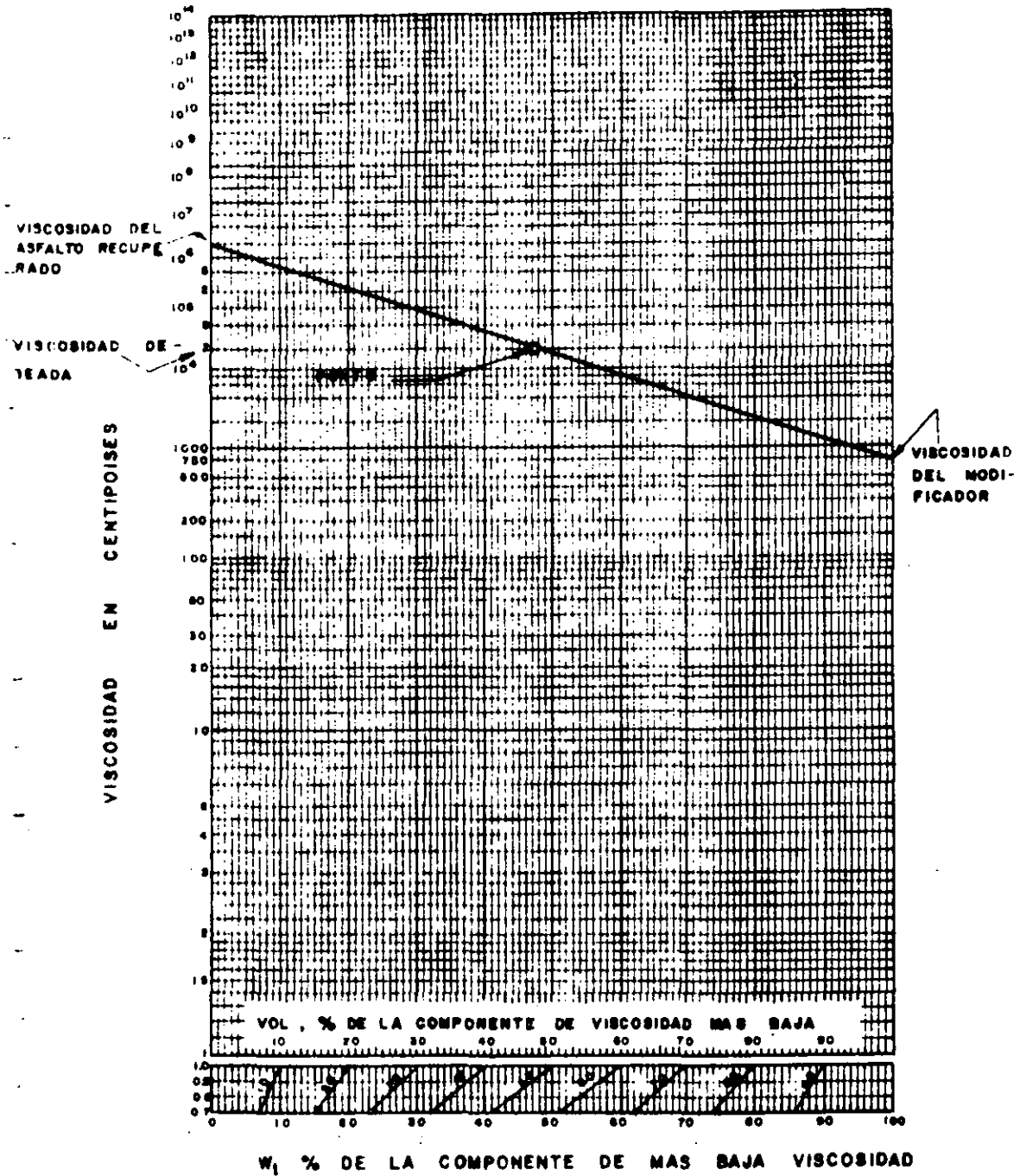
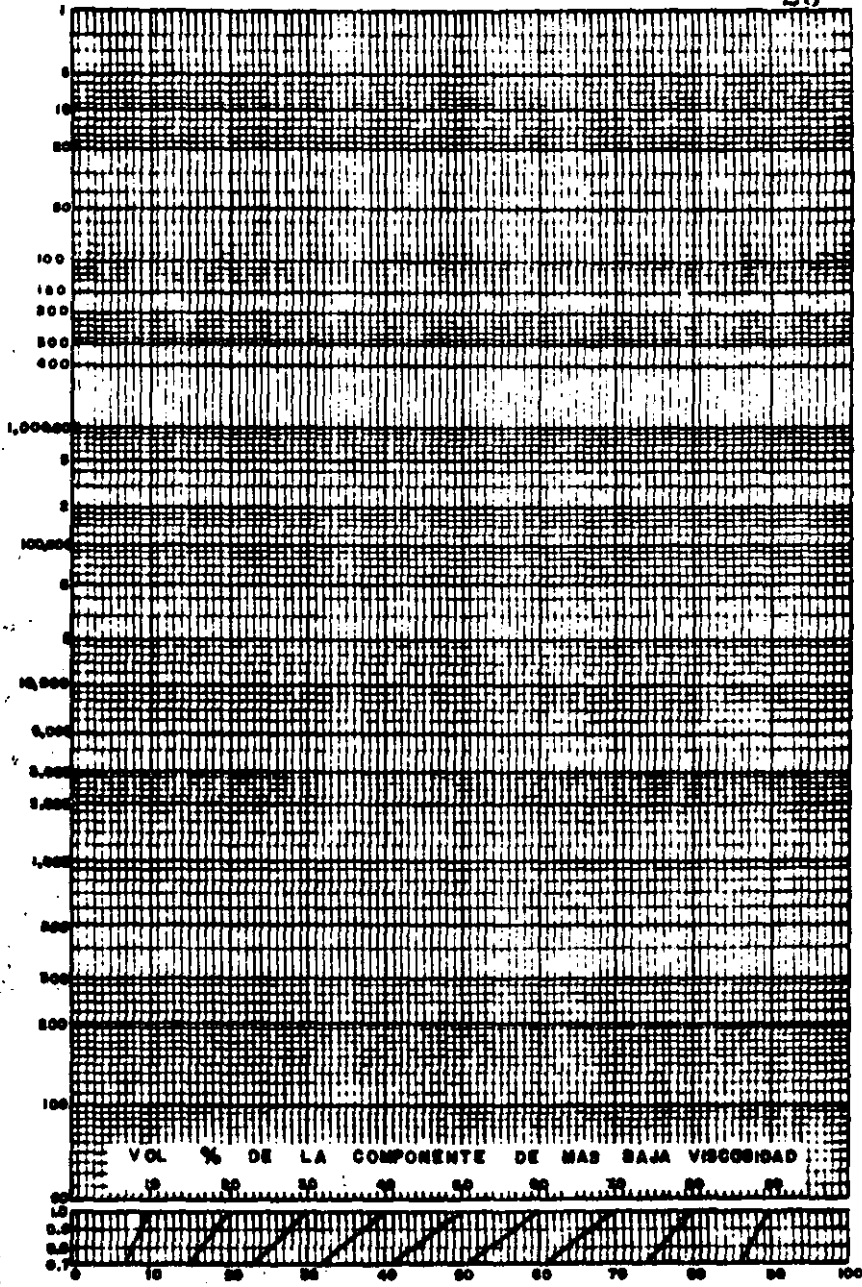


FIGURA 8-2

PENETRACION

VISCOSIDAD EN CENTIPOISES

RELACION DE DENSIDAD



W_1 % DE LA COMPONENTE DE MAS BAJA VISCOSIDAD

(DESPUES DE LA REFERENCIA 66)

FIGURA - 9-3

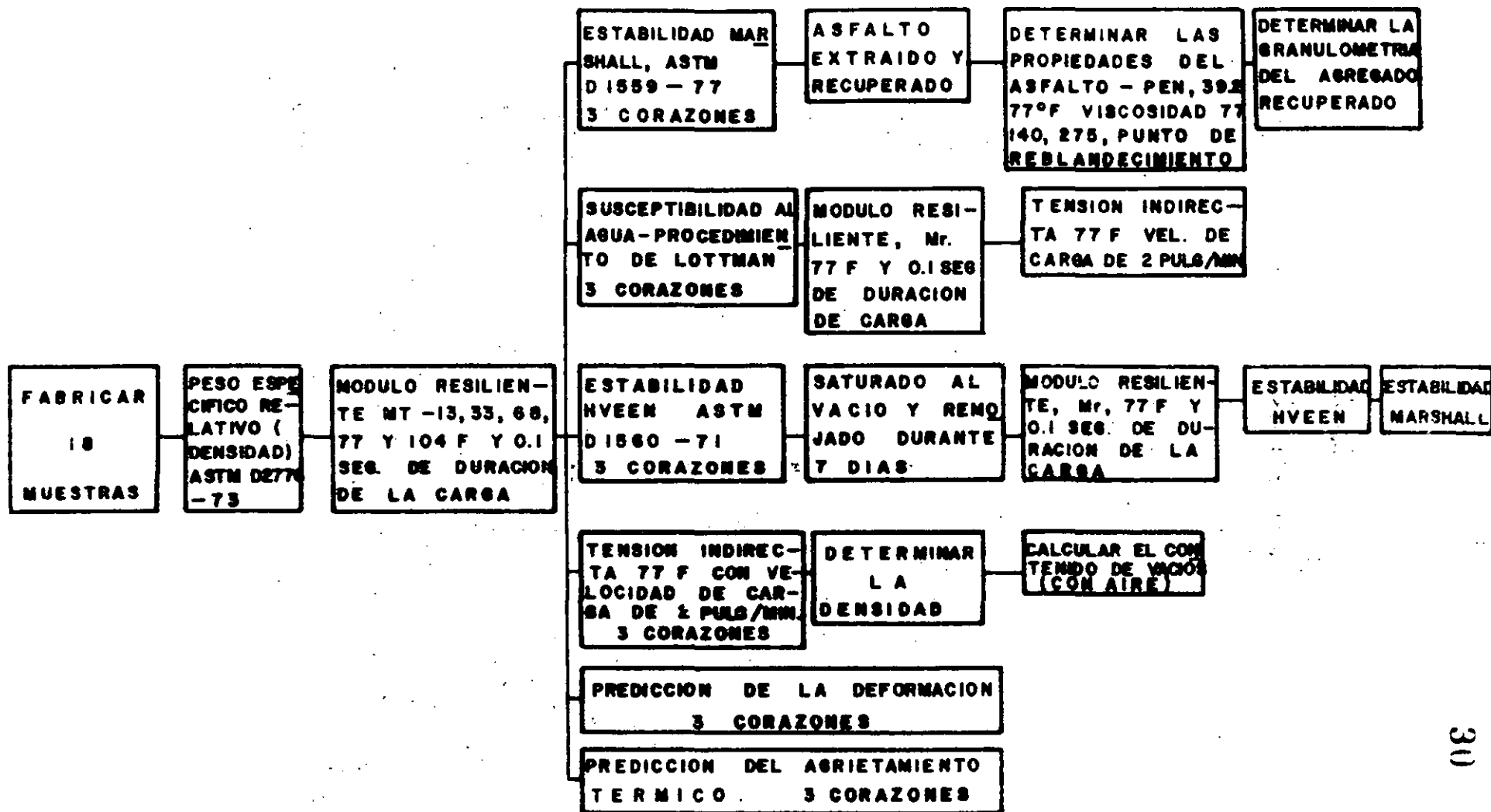


FIG. 64 - SECUENCIA DE PRUEBAS PARA LOS CORAZONES DE CAMPO

TABLA 31 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA EL AGENTE MODIFICADOR

Grado	A	B	C	D	E	F
<u>Pruebas</u>						
<u>Original</u>						
Viscosidad a 140°F, cs	80- 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 Enve- jecimiento						
<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 27

TABLA G2 : 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 (MCD) ⁽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 (MCD) ⁽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 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 óptima	Prueba en Malla, ASTM D 244-76 (MOD) ⁽³⁾	0.1 max.
Sensibilidad 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 G3 : LISTA PARCIAL DE LOS MODIFICADORES PARA EL REEMPLAZAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASPHALTO-AGREGADO

Compañía	Nombre o identificación del producto	Historia de su uso	
		Estudio en el Lab.	Estudio en Campo
Arizona Refining Co.		x	
	Light Aromatic Oil	x	
Ashland Petroleum Company	Medium Aromatic Oil	x	
	Slurry Oil	x	
	Ashland Plasticizer Oil (APO)	x	x
Bituminous Materials Company, Inc.		x	
Cenex	Dust Oil	x	
Chem-Crete Corporation		x	
Chevron USA, Inc.	Chevron X109	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	
	Mobilisol 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-Base	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

Names and Addresses

Arizona Refining Company
P. O. Box 1453
Phoenix, Arizona 85001
602-258-4883

Ashtand Petroleum Company
P. O. Box 391
Ashtand, Kentucky 41101
606-736-0166

Birmingham Materials Co., Inc.
P. O. Box 1507
Terre Haute, Indiana 47808

Index

Montana

Chem-Crete Corporation
2180 Sand Hill Road
Suite 390
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
Spokane, Washington 99208
509-326-5989

Phillips Petroleum Company
Bartlesville, Oklahoma 74004
918-661-6600

Sanders Chemical Division
P. O. Box 9
Evans, Colorado 80620
303-352-0467

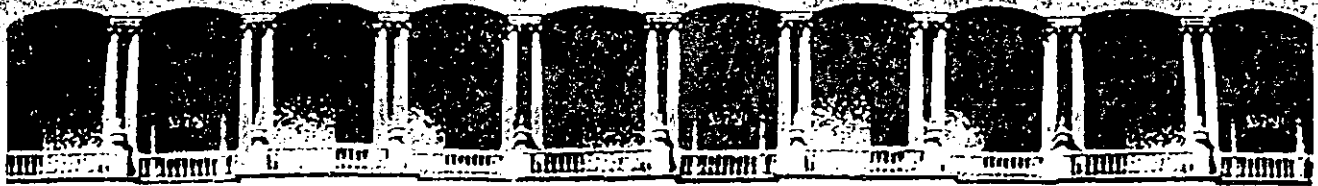
Shell Oil Company
P. O. Box 2105
One Shell Plaza
Houston, Texas 77001

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 378
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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

CRITERIOS DE SELECCION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

PARA AEROPUERTOS

ING. RAFAEL LIMON LIMON

PALACIO DE MINERIA

CRITERIOS DE SELECCION ENTRE PAVIMENTOS

RIGIDOS Y FLEXIBLES

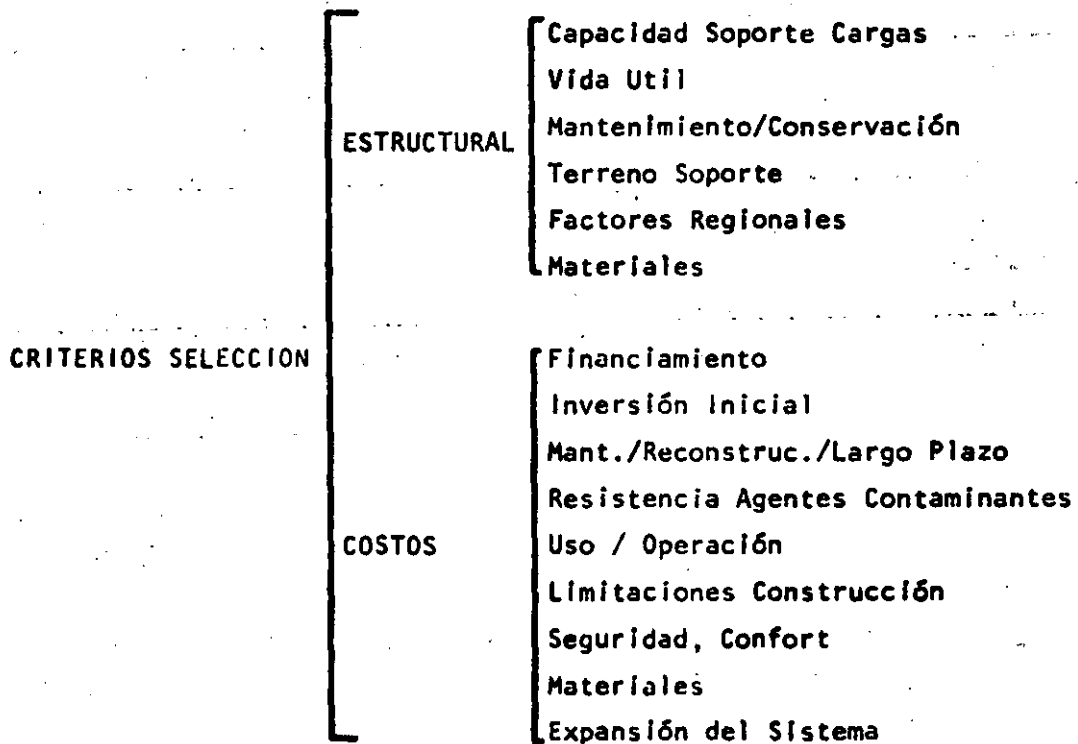
M. en C. Ing. Rodolfo Téllez G.

La infraestructura aeroportuaria es fundamental para el desarrollo de un país por los beneficios socio-económicos que genera. Se ve 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 significante, 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 involucran 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.

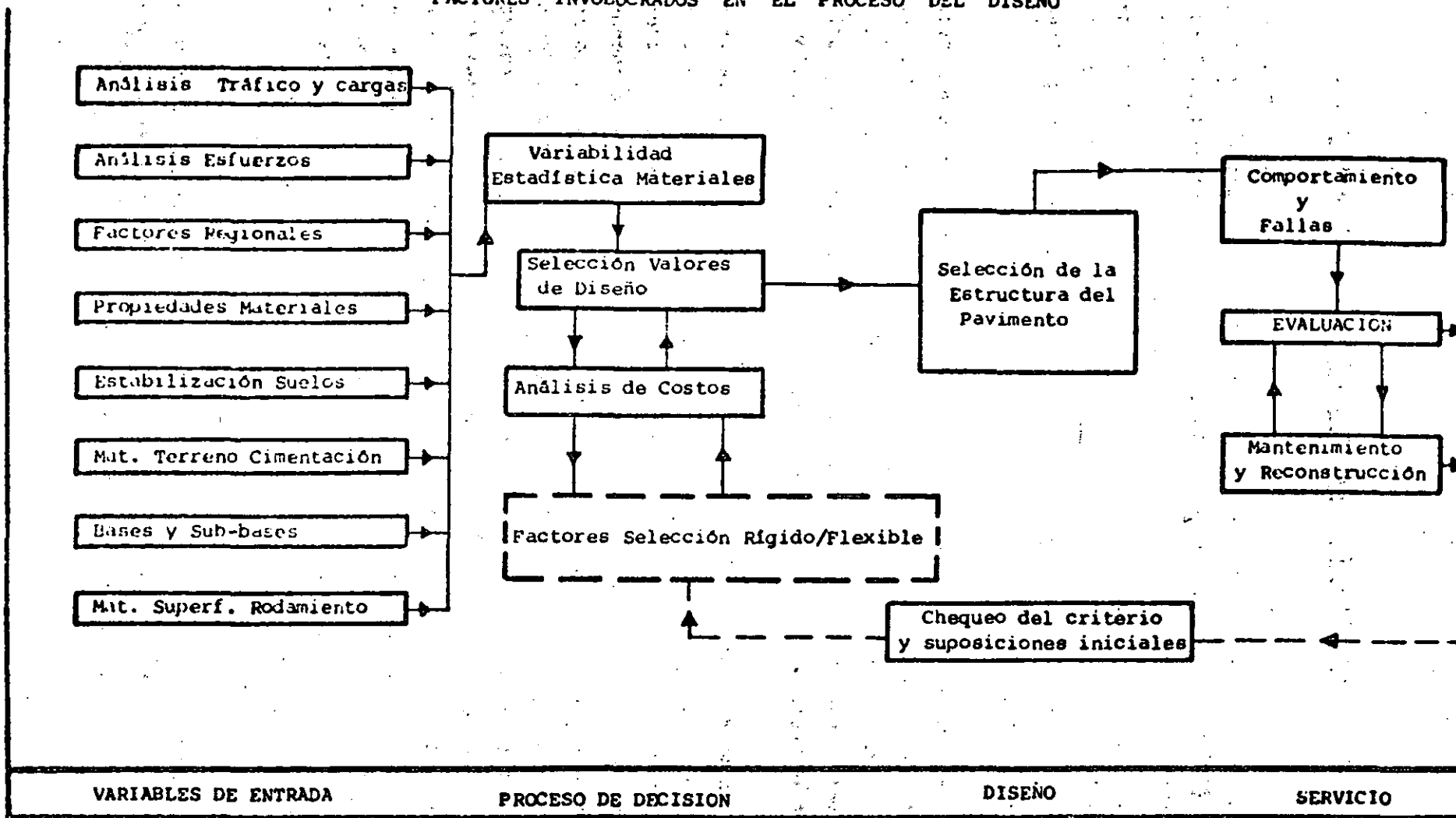
En las dos tablas anexas se resume el listado de factores para la decisión en función de conceptos fundamentales y su grado de prioridad y cómo estos factores intervienen en el "Análisis del Sistema" general del diseño de los pavimentos.

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



RTG/

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.

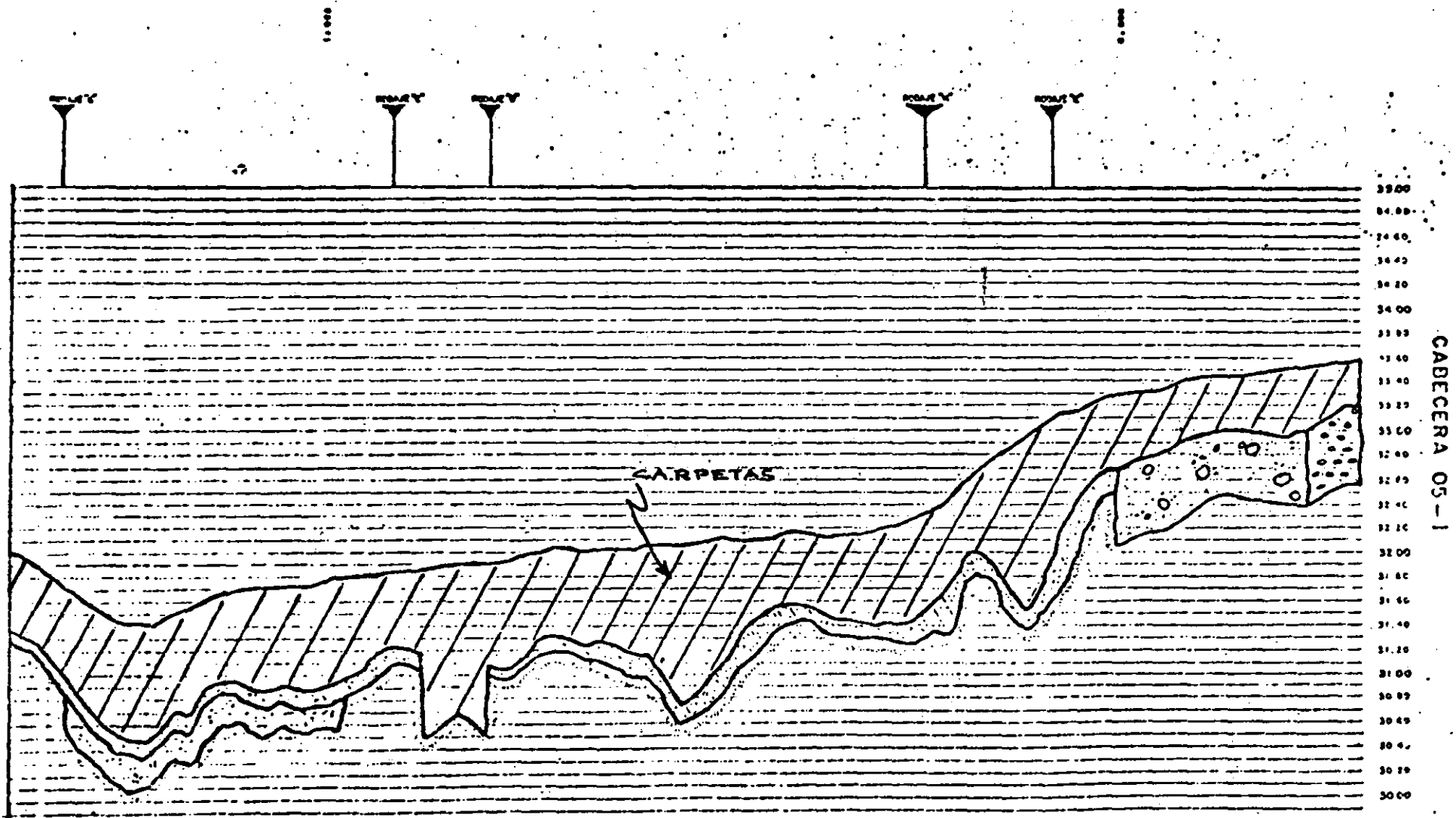
Sin embargo y aquí está la ironía, el actual aeropuerto se encuentra localizado sobre un terreno cuyas propiedades, comportamiento y capacidad estructural son muy pobres (V.R.S. 0-3)

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).

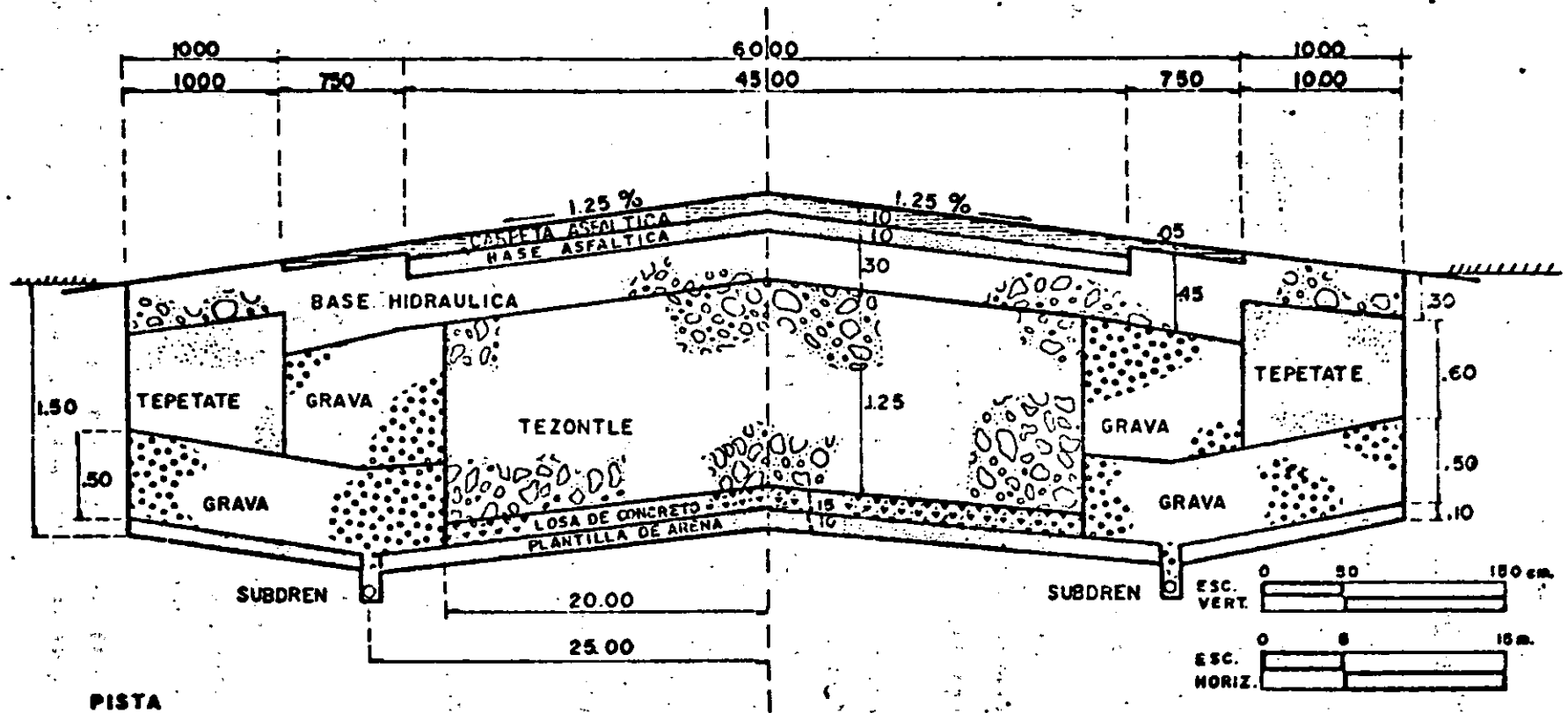
Resultados de las ampliaciones de los pavimentos en las pistas, nuevos rodajes, al conocimiento y experiencia de este tipo de suelo y su reacción cuando el ingeniero lo altera, han comprobado que para soportar las cargas actuales, el número de operaciones existentes, controlar los asentamientos diferenciales, 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 el 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 construidos 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.

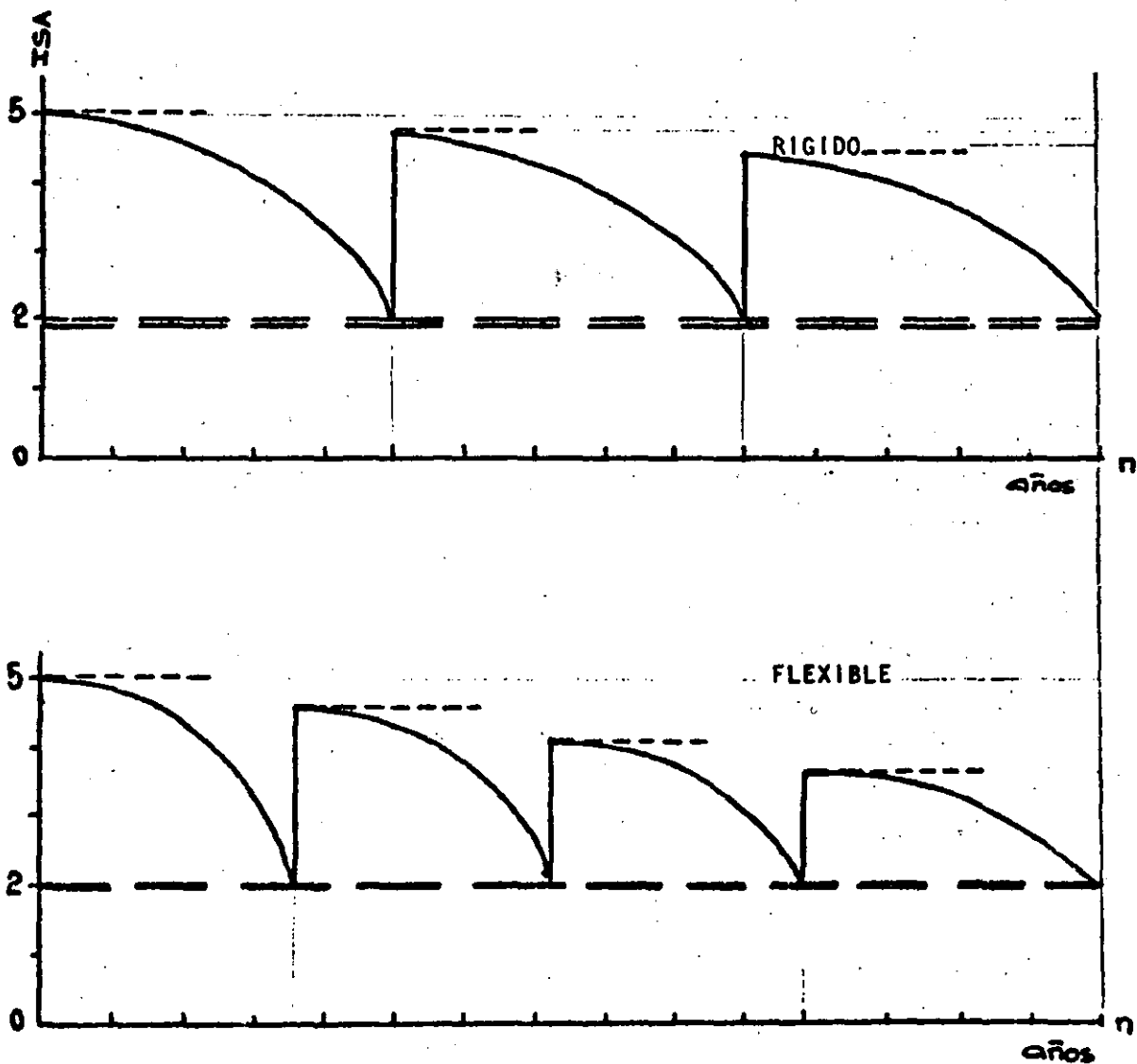
No siempre resulta costeable a largo plazo lo que aparente o inicialmente es más económico. Con la ayuda de la Ingeniería de Sistemas y los diversos programas para computadoras existentes para el diseño de pavimentos rígidos, flexibles, revestidos o de terracerías para aeropuertos, existen programas 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.



MANTENIMIENTO / CONSERVACION. -

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 del pasajuntas. - 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 carenres 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. Arietamientos 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 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 arietamientos 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 fallida 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"> - 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.	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 alla 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, 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 allora 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.	- 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 (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. - Contratar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alterna: Tender sobrecarpetas (generalmente es una solución mas costosa).
<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 Asentamientos Humanos y Obras Públicas.</p>		



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.e.) 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 encuentre en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. - Si la falla se encuentre 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 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 - excesivos. - Solventes que acarrear 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/o 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 ("Reciaulante")
Concimientos 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 cuida do 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"> - Ceros de los 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 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 rebajados). 	<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 renivelación. - 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"> - Renivelar 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 aislados de la subrasante, 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 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 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.ej. 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 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, sub-base y/o base inestable 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 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.
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.- Rejuner el pavimento alterado.- Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta.



CONSERVACION DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES

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 hidráulico, 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 apegarse 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 aerona- ve 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.

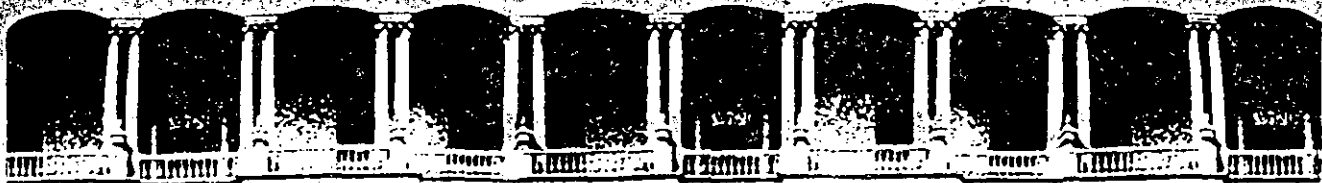
La decisión entre un pavimento flexible, un rígido o un mixto, generalmente ha funcionado adecuadamente en la mayoría de los aeropuertos

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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

MATERIALES DE RECICLAJE PARA CARRETERAS

ING. RAFAEL LIMON LIMON

PALACIO DE MINERIA

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.

SINTESIS 54 NCHRP (Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras).

Proyecto 20-5 FY *76 (Topico 8-01)
ISSN 0547-5570
ISBN 0-309-02859-0
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
2101 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 intereses.

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 mas 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 Frio
Remoción en Frio
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 especiales. Esta síntesis fué editada por Gay I. Leslie.

Se hace un especial reconocimiento a Jon A. Epps, Ingeniero Asociado en Investigación 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 Departamento de Transportación de Iowa; A. Jackson, propietario, Jim Jackson, contratista, de Little Rock, Ark.; Robert H. Joubert, Ingeniero de Distrito en el Instituto del Asfalto; C. O. Leigh, Ingeniero de mantenimiento del Departamento de Carreteras y Transportación de Virginia; Richard A. McComb, Ingeniero en investigación de carreteras de la Oficina de Investigación, Administración Federal de Carreteras; John J. Schultz, Ingeniero en carreteras de la Oficina de Operaciones de Carreteras, Administración Federal de Carreteras.

Bob H. Welch, Ingeniero asociado en materiales y construcción de la Junta de Investigación de Transporte asistido por el staff de Proyectos Especiales y el Alto 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 transporte 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 mas 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 transporte 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 sola operación. El retiro de acero reforzado antes de que el material sea procesado a través de la trituradora no ha sido un problema serio. Para demoler

cinceles aéreos, grúas, bolas y equipo similar. ①

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 guardacamios 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.

CAPITULO UNO

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, decenso en la base del impuesto, decenso 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 constreñimientos 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 guardacamino 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 lin.	Vidrio (ton.)	Llantas (ton.)	Desperdicios de -	Mira (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 finitas 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 circularado 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 estan 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 reciclado. 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 estan basadas en las sugerencias de las

entidades citadas además de los miembros de la Junta de la síntesis. (16)
Reciclaje de superficie--Retratamiento de la superficie de un pavimento a una -- profundidad de menos de 1 pulgada (25mm.) mediante aparatos de calentamiento--ni velación, 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 a-- gregado, modificadores o mezclas.

Reciclaje de superficie y base en el lugar de trabajo--Pulverización a una pro-- fundidad mayor que 1 pulgada (25mm.) en el lugar de trabajo, seguida por remol-- deo y compactación. Esta operación puede ser llevada a cabo con o sin la adici-- ón 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, dependien-- do del tipo de material reciclado y el estabilizador usado.

Según se muestra en la Figura 1 y como se definió previamente, el proceso de re-- ciclaje puede incluir la adición de calor o puede llevarse a cabo en ausencia -- del mismo. Las definiciones actualmente utilizadas por la Administración Fede-- ral de Carreteras están basadas en parte en aquellas desarrolladas por el comi-- te 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 cate-- gorías de reciclaje, es necesario tener en claro que el reciclaje de pacimento es una de muchas alternativas de rehabilitación o mantenimiento de entre las cua-- les el ingeniero debe seleccionar (Fig. 2). La selección de una alternativa de-- pende 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 labo-- ratorio y de campo para establecer los recursos materiales disponibles en el pa-- vimento y los estabilizadores que pueden ser utilizados con estos materiales. A -- partir de esta información preliminar, las alternativas potenciales de recicla-- je pueden ser seleccionadas y asimismo desarrollarse los diseños de pavimento y los análisis económicos. En base a esta información, se seleccionan las alterna-- tivas de reciclaje más promisorias, se desarrollan pruebas detalladas de labora-- torio 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 opera-- ción 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 reha-- bilitación de pavimento. Los detalles del proceso de selección descrito anteri-- ormente e ilustrado en la Figura 3 están contenidos en un reporte preparado ba-- jo 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.

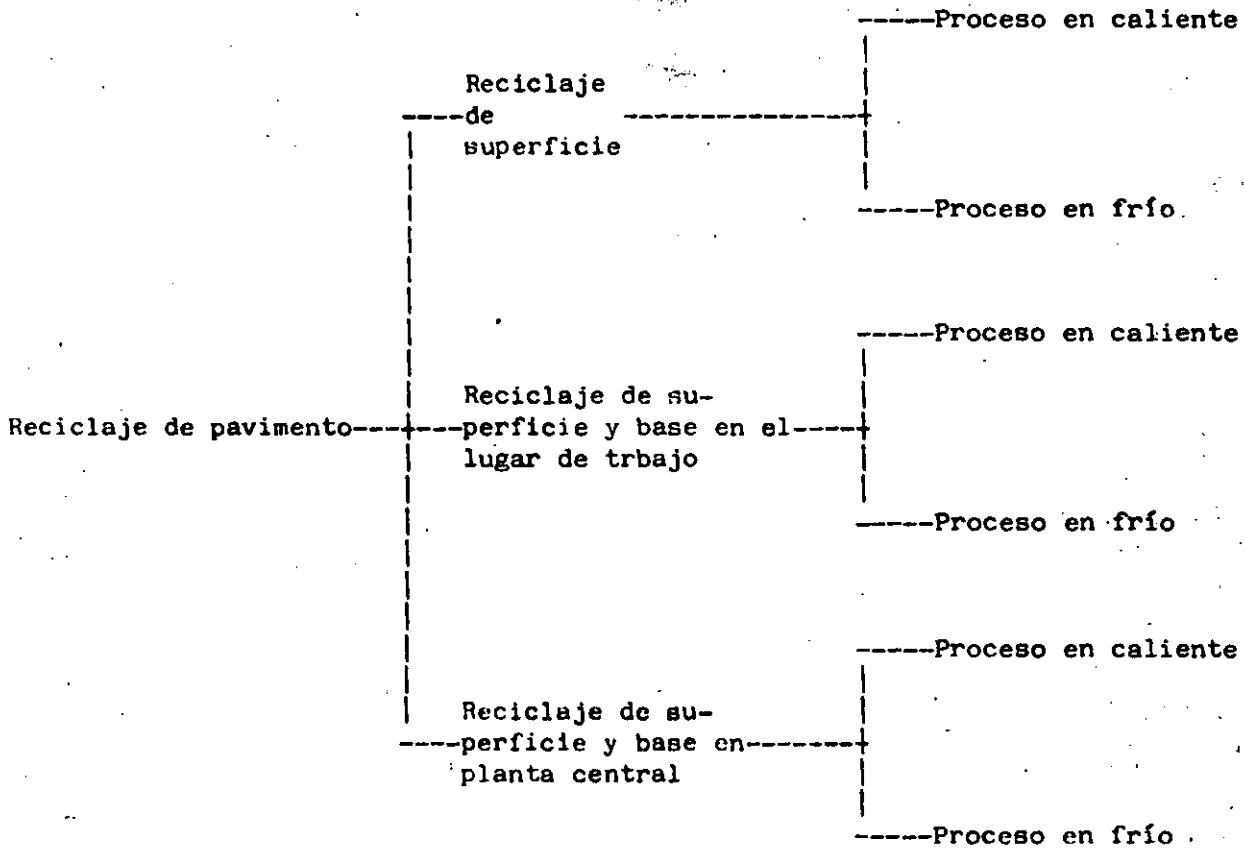


TABLA 2
PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CATEGORIAS DE RECICLAJE

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 asfáltico *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 *Arietamiento 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 - más fácilmente alterada
- *Mejor control si se tienen que utilizar - aglomerante y/o agregados
- *Mejora la calidad del rodaje

Figura 2. El reciclaje como alternativa de rehabilitación.

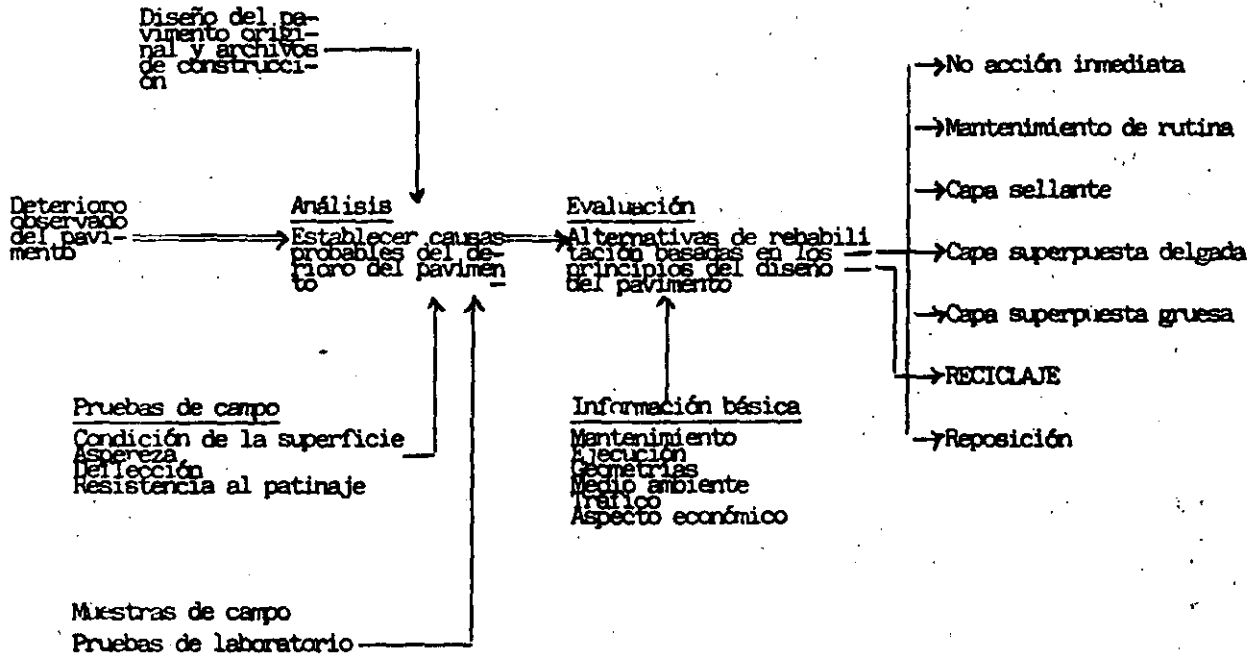
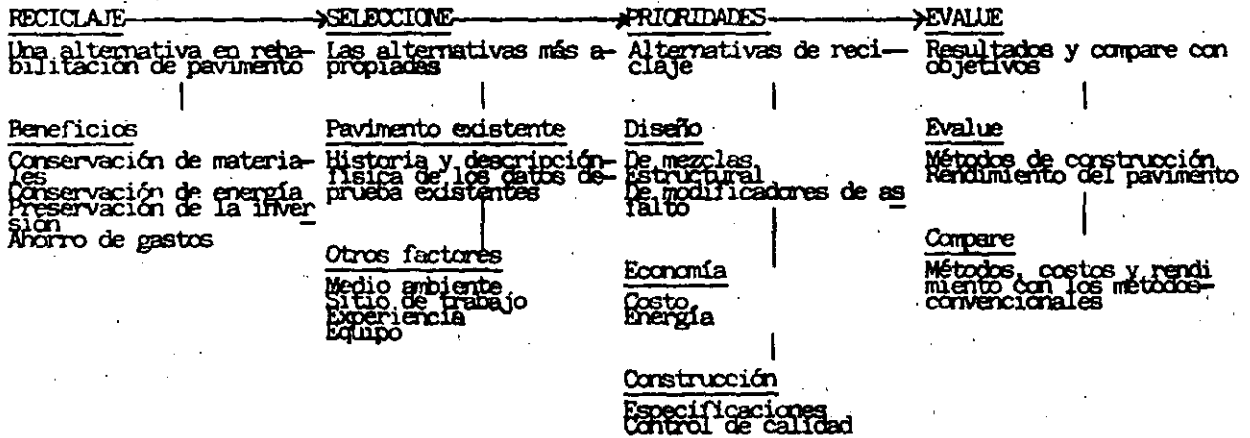


Figura 3. Selección de una operación de reciclaje.

- I. Reconocimiento II. Análisis Preliminar III. Análisis Detallado y diseño IV. Resultados



CAPITULO TRES

RECICLAJE DE SUPERFICIE

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 semitrailer 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.

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 operación, 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 reblandecedor 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 (12 600 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. Debe hacerse la anotación de que la Wirtgen SF800/1000 es una unidad relativamente pequeña.

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 construidos 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

(22)

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/yard² (\$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/yard² (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 fue 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 fue 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

23
trituradoras móviles de martillos para reciclaje de concreto asfáltico 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/m²) 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 agregado.

LA EXPERIENCIA DE FLORIDA

El recatamiento 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)
1532	3
1348	3
1391	3
1405	4.5
1436	3
1524	1.5

Tomando los ultimos cuatro contratos se tiene un costo de escarificado y pulverizado de aproximadamente \$0.45/yd² (\$0.54/m²). El costo total, con 8 pulgadas (200 mm) de estabilización de cemento, fluctuó entre \$1.38/yd² (\$1.65/m²) para cemento al 1.5 por ciento y \$2.24/yd² (\$2.68/m²) 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 desgarrador 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 $2 \text{ gal}/\text{yd}^2$ ($9\text{L}/\text{m}^2$) 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).

27

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 macadam 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 \$0.25 y \$0.40/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 15 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 Metraron 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 Metraron, y (e) estabilización mediante uso de equipo convencional. La pulverizadora Metraron 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 Metraron 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 paso 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 pulgadas, 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 transporte, 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 pavimento 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/yard²-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/yard²-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

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 porciento 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. Dos 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 marcha 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 aplanadores 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. (32)
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 porciento 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 porciento de materias bituminosas recicladas.

Usuarios del reciclaje en planta central

Los contratistas y fabricantes de equipo que han estado activamente 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.

(33)
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).

Michigan

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 bién y tuvo una buena apariencia (37).

Distrito de Columbia

Dos firmas de Washington, D.C. estan 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 esta 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 esta 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

(37)

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 Hemphill. 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 no 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 rompegor 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 250-mm). 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 REX.

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 %.

Se 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 normal 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 Rohlin 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 Marshall, 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 más 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 consistenentemente. 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 Brithera, 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 construído 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 rottorio, 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 Galion RP-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 aspas 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 por ciento, 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 por ciento 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 estos 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 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 mas 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 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 deggarrador, 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 removió 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 partículas 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 ha 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 guardacaminos 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 dañados. 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 \$0.45 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 substancias 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

A

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

(48)

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 estabilización representen un ahorro de energía y sean lo menos costosas posibles. Además 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.

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-pulgada (\$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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y

FLEXIBLES

ING. FRANCISCO FERNANDO RODARTE LAZO

PALACIO DE MINERÍA

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.

Quando 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 costrosa								
			En esquina								
			En orilla								
			Ablatamiento o desconchamiento								
			Desintegración del concreto								
			Mudamientos diferenciales								
			Bombeo								
						Losos que se botan					
10 } Muy bien 9 } A	A		Pérdida del sello de la junta								
			Grietas sin sellar								
			Cortes en el pavimento								
8 } Bien 7 } B	B		Parches								
			Reconstrucción localizada								
6 } Regular 5 } C	C		Rugosidad superficial								
			Drenaje superficial								
4 } Pobre 3 } D	D		Sub drenaje								
			Condiciones generales								
2 } Muy pobre 1 } E	E		Efectos de las turbinas en el sello de las juntas								
			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.

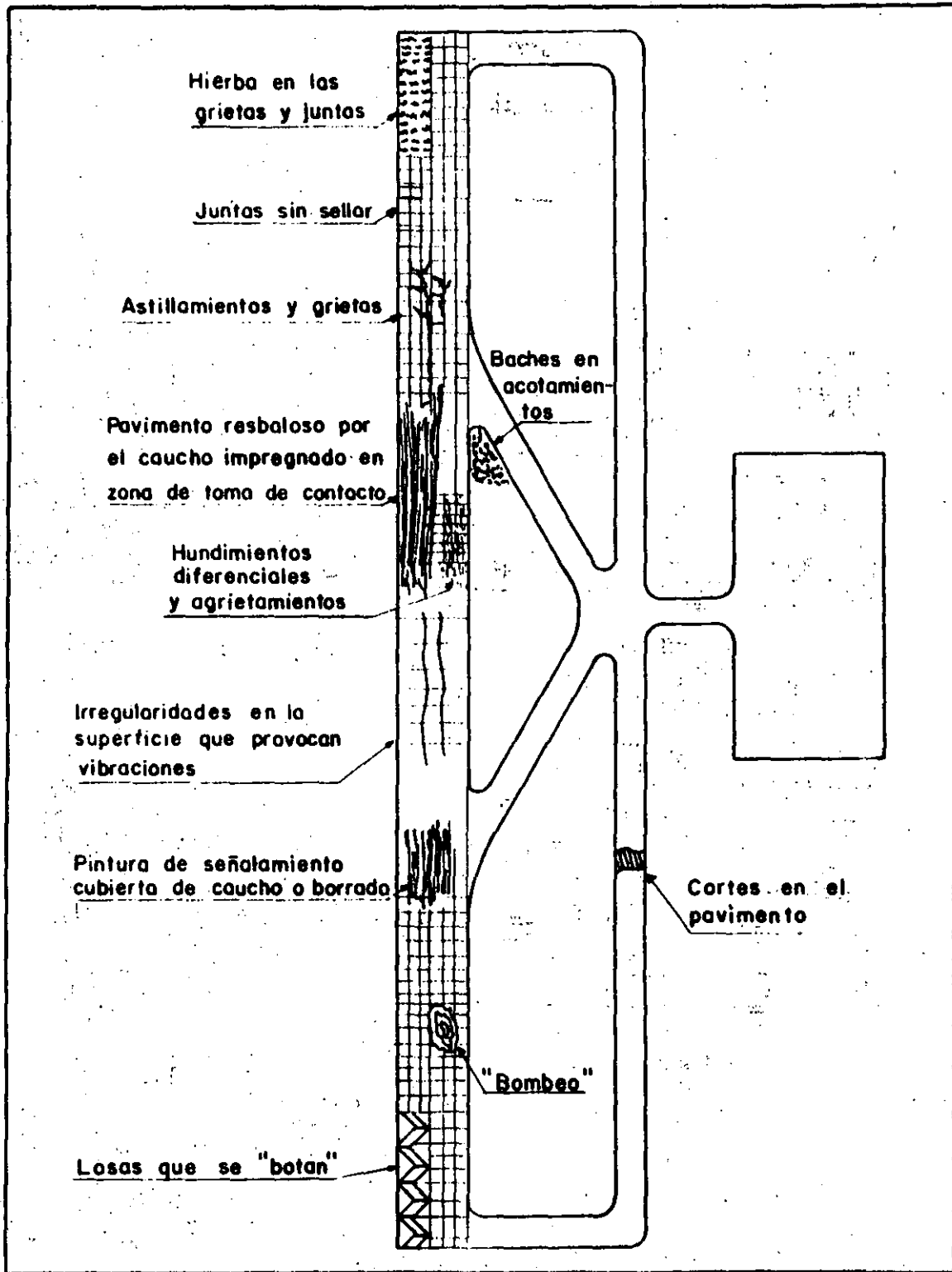


Fig. 1.1-1 Detalles a observar en pavimentos rígidos

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 epoxicas 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).

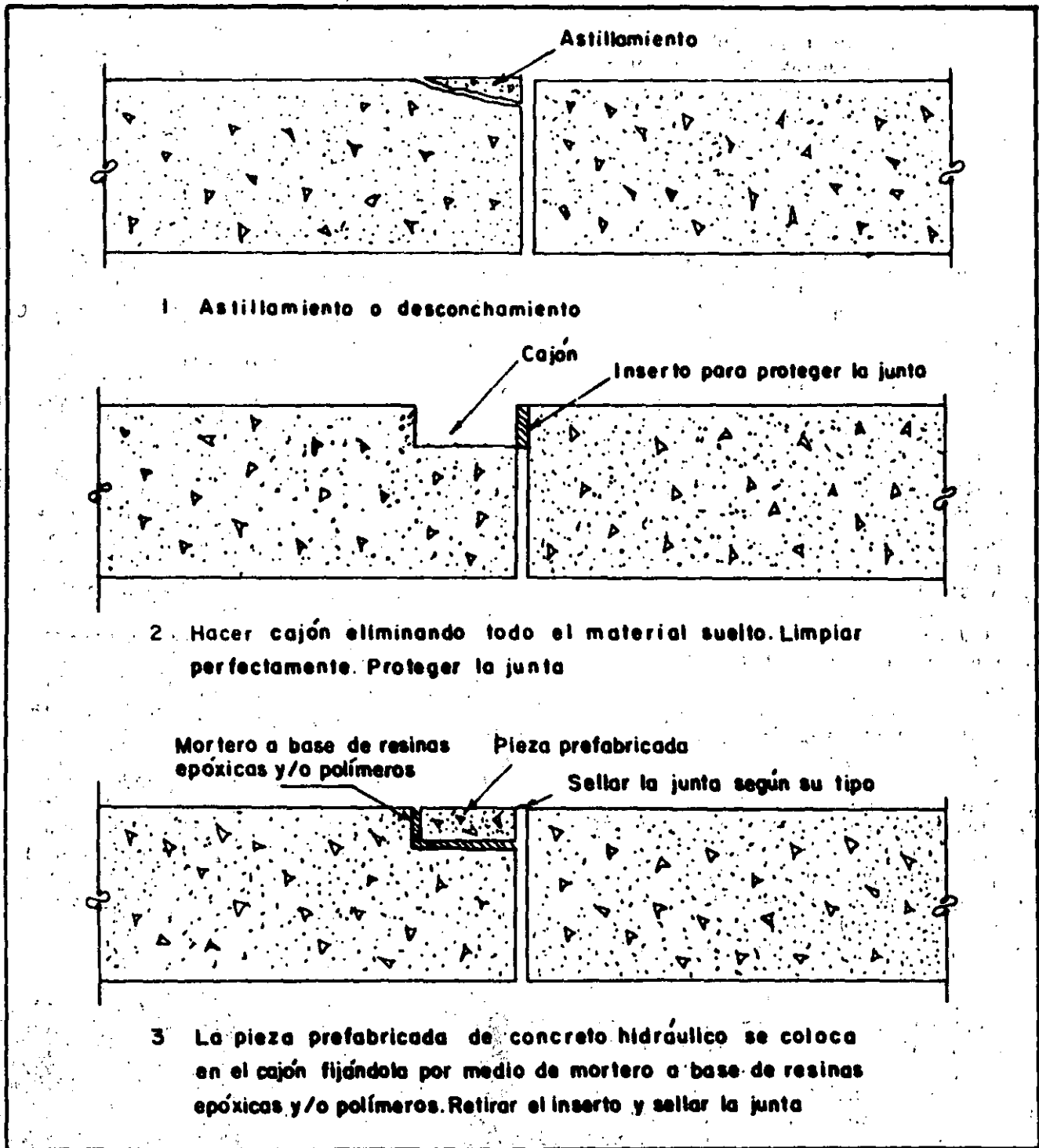


Fig. 1.2-1 Reparación de astillamientos con insertos prefabricados

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 a 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 una 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 relleno 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 la 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 del 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 martinets 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 aserrado. De ser necesario se remueve la subbase; 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 y 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 chaflán 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 pailas convencionales. Sin embargo, se requieren calderas o peroles con calentamiento indirecto, para calentar compuestos conteniendo hule o látex.

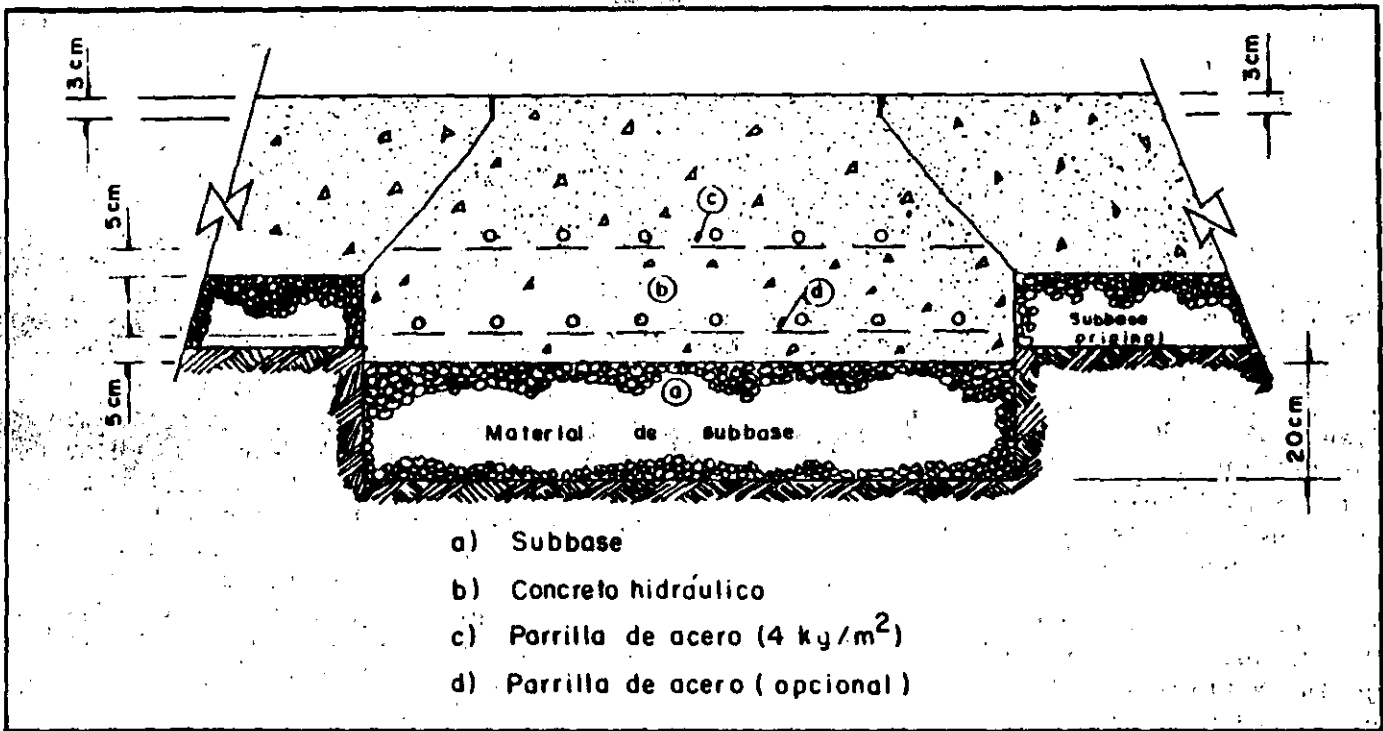


Fig. 1.2-2 Reparación de fallas de pavimentos

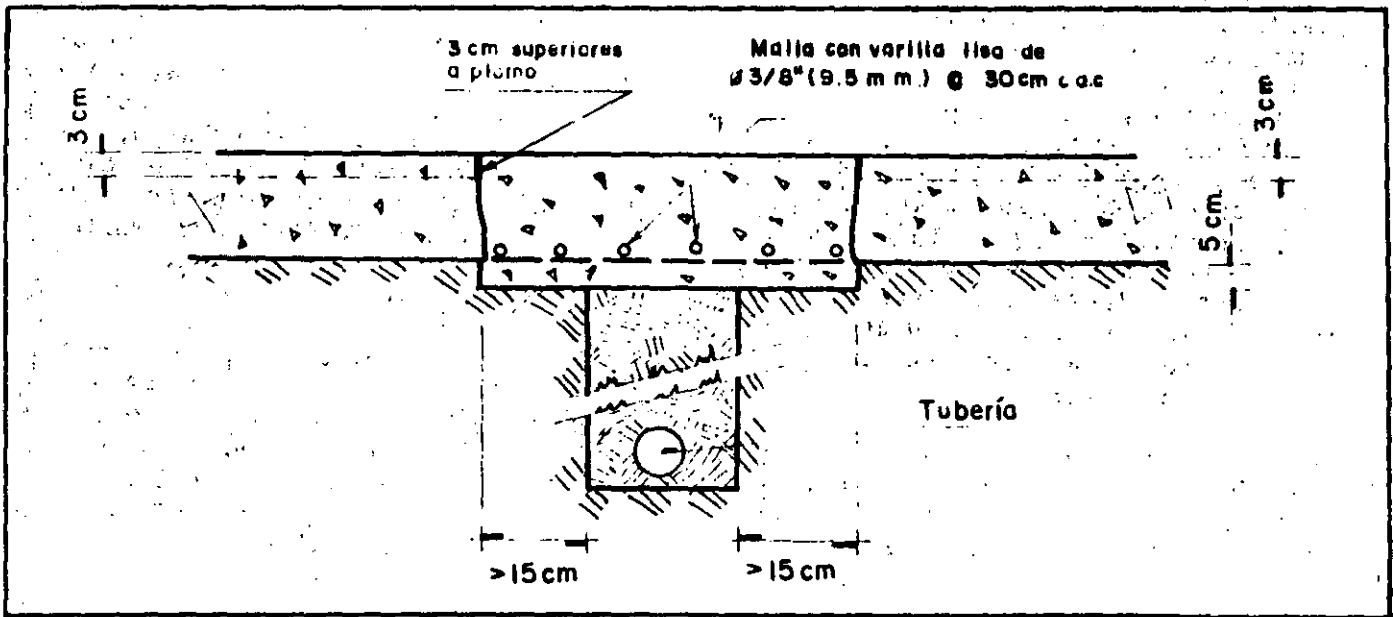


Fig 1.2-3 Cortes en el pavimento

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/cm²
(1000 lb/pulg.²)

Compresión = 527 kg/cm² (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 pueda 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.

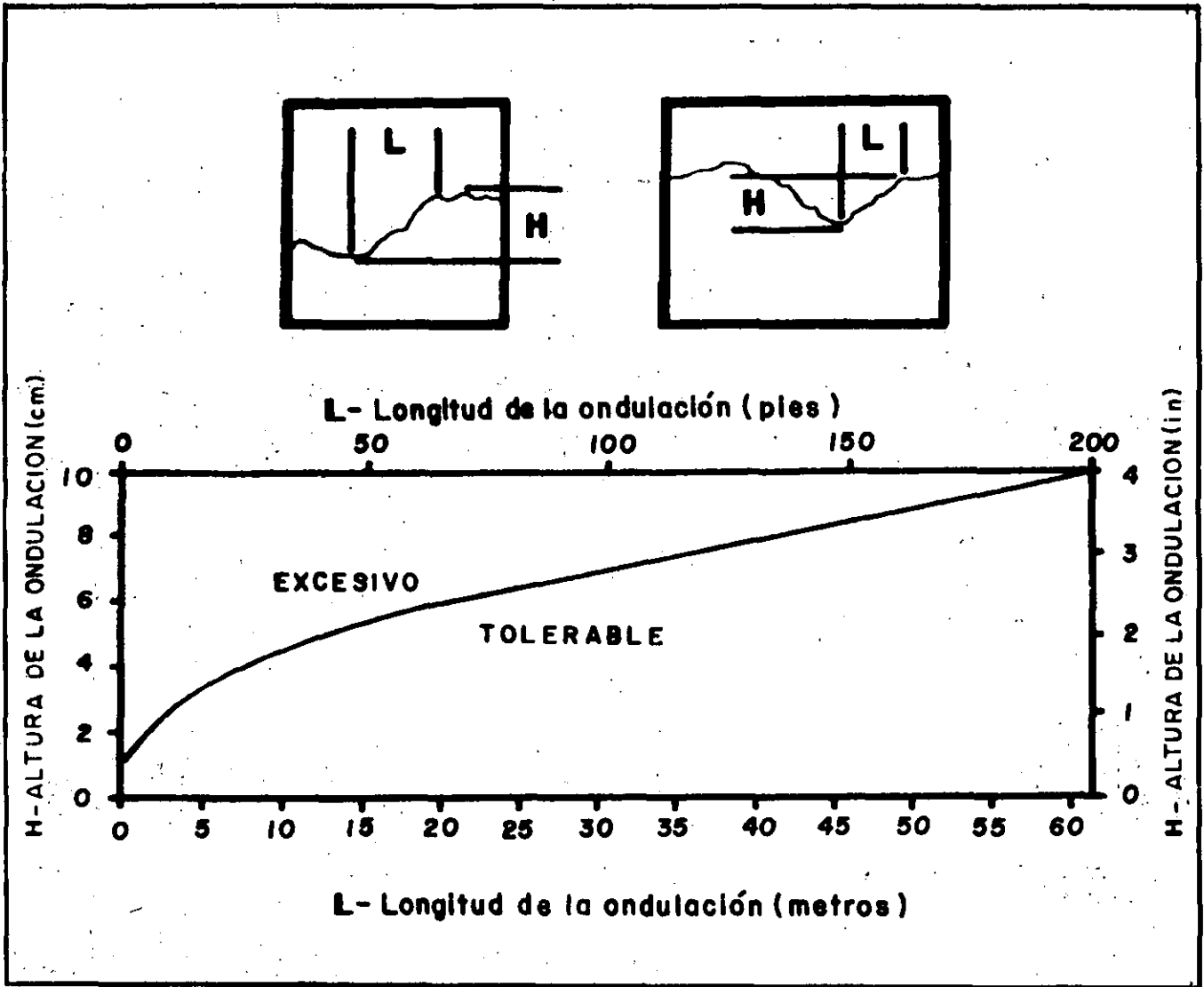


Fig. I.2-4 Criterio de Boeing para conservación de pistas (por irregularidades de la superficie)

Tabla 1.3-1 Resumen conservación de pavimentos rígidos

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Desintegración del concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales poco durables - Condiciones severas del clima - Ciclos de hielo - deshielo - Escaso o nulo aire incluido 	<ul style="list-style-type: none"> - Demoler y reponer el pavimento defectuoso
Superficies con escamas o costras	<ul style="list-style-type: none"> - Colocación del concreto con exceso de agua - Acabados excesivos de la superficie - Impurezas en los agregados - Utilización de productos químicos en la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 desconchamientos cercanos a las juntas	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisión inadecuada durante la colocación del concreto 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - Contracción por cambios de temperatura - Contracción de fraguado - Alabeos - Movimiento en la cimentación - Falta estructural 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> - Falta estructural debida a las cargas sobre esquinas carentes de apoyo adecuado 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 3 - 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 - Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista 	<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"> - Poco control durante la construcción - Equipo inadecuado para el colado - Fallas del pavimento 	<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 - 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)
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 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 - 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)

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



Fig. 14-1 Desintegración del concreto, debida probablemente a una mala calidad del concreto en las losas del lado derecho, combinado con los pésimas condiciones de subdrenaje

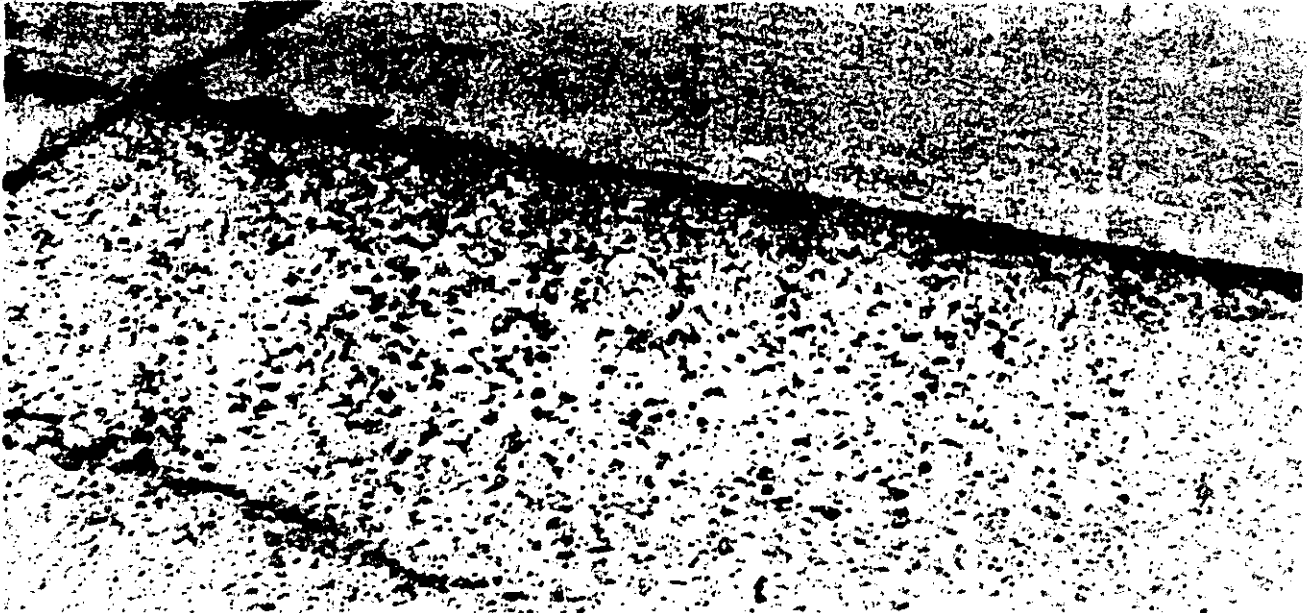


Fig. 1.4-2 Escamas o costras en la superficie de algunas losas de una vía de circulación de vehículos terrestres



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 Otra 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

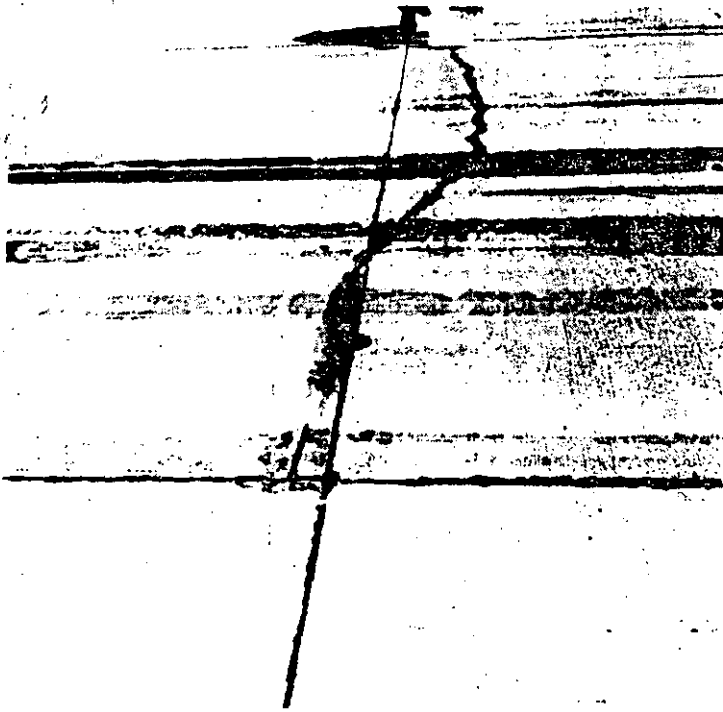
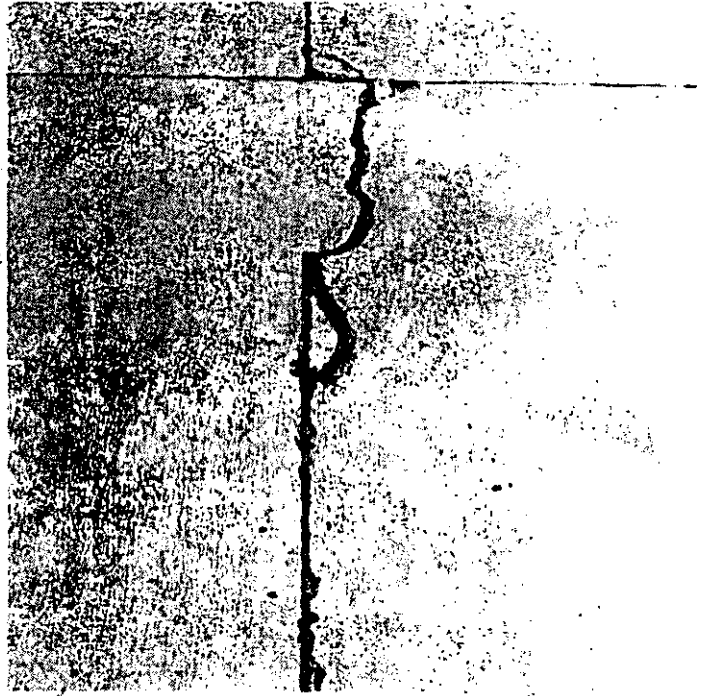


Fig. 1.4-9 Grieta cercana a la junta debida probablemente al aserrado extemporáneo de la junta, durante la construcción

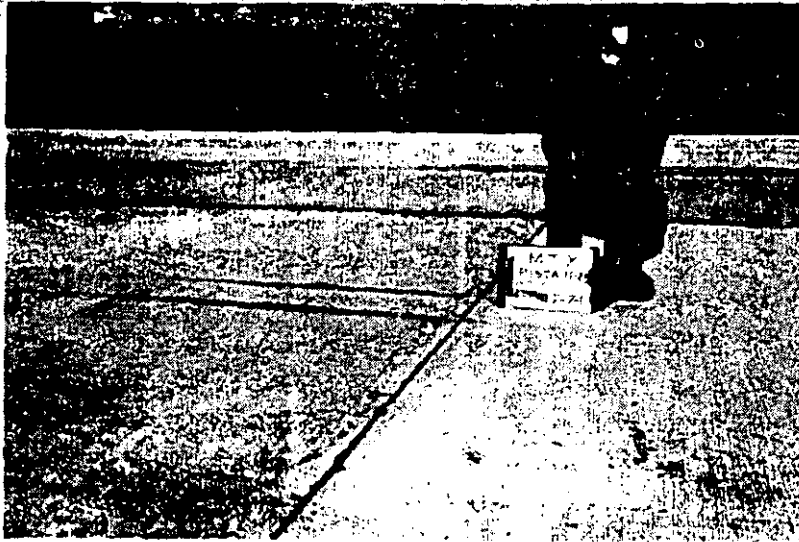


Fig. 1.4-10 Grieta con astillamiento cercana a una junta transversal debida probablemente al concreto poco resistente en la junta, a la formación de una junta fría y a los efectos de temperatura, lo que originó que el aserrado de la junta no cumpliera con su propósito.

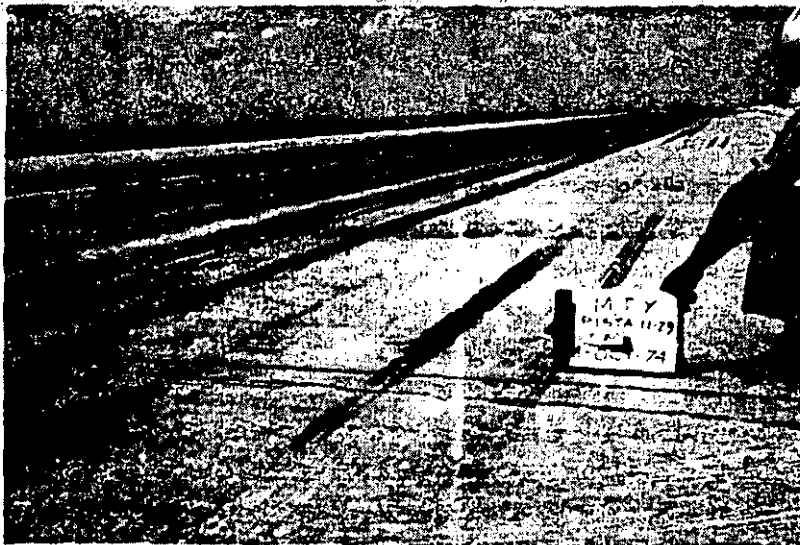


Fig. 1.4-11 Otro muestra de grieta provocada por aserramiento tardío



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

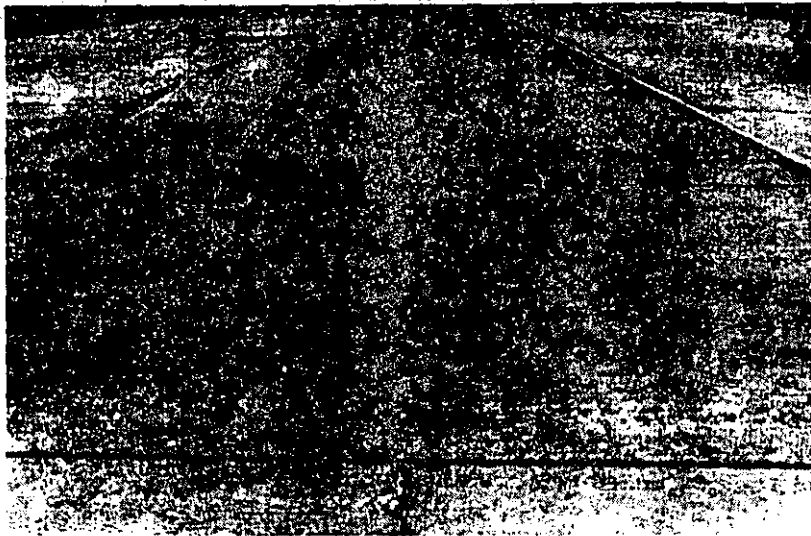


Fig. 1.4-15 Grieto longitudinal debido probablemente al alabeo de las losas combinado con los efectos de las cargas. La junta longitudinal en el eje del rodaje no funcionó odecuadamente debido probablemente a impedimento de movimiento causado por un exceso de pasajuntas a base de varillas corrugadas



Fig. 1.4-16 Uno mismo grieto afectando varias losas

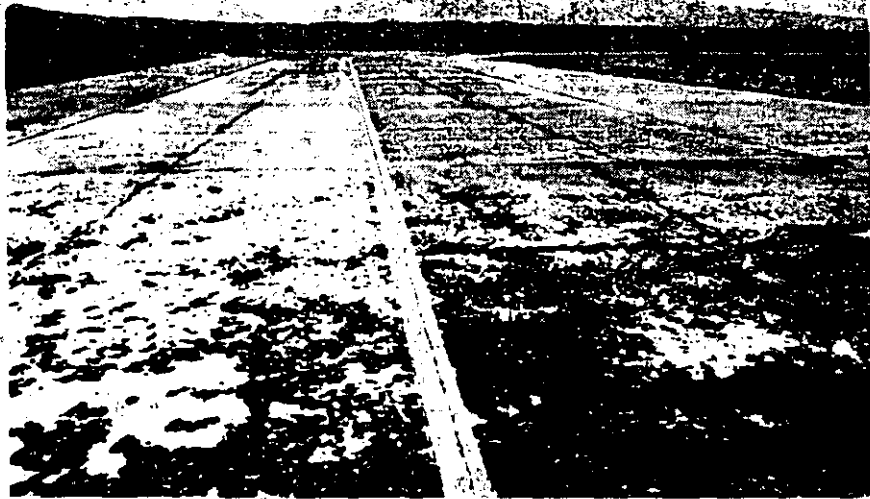


Fig. 1.4-17 Grietas longitudinales en el centro de los losas contiguas al eje del rodaje, las cuales ya han sido selladas. El alabeo, combinado con las cargas del tráfico, ocasionó probablemente la falla. Las manchas oscuras de asfalto, en la parte inferior de la fotografía, indican un trabajo falto de limpieza en la unión de los pavimentos de concreto hidráulico y de concreto asfáltico (que no aparece en la foto).

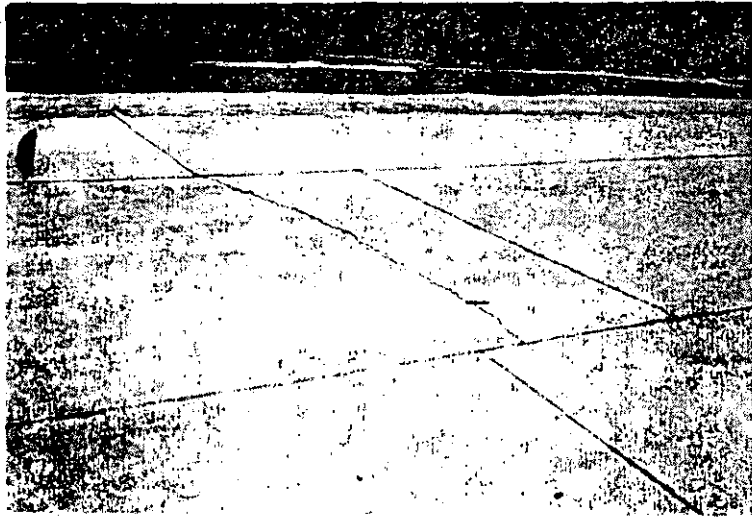


Fig. 1.4-20 Grieta transversal debido al alineamiento defectuoso de las juntas, la cual aún no ha sido tratada (grieta por simpatía)

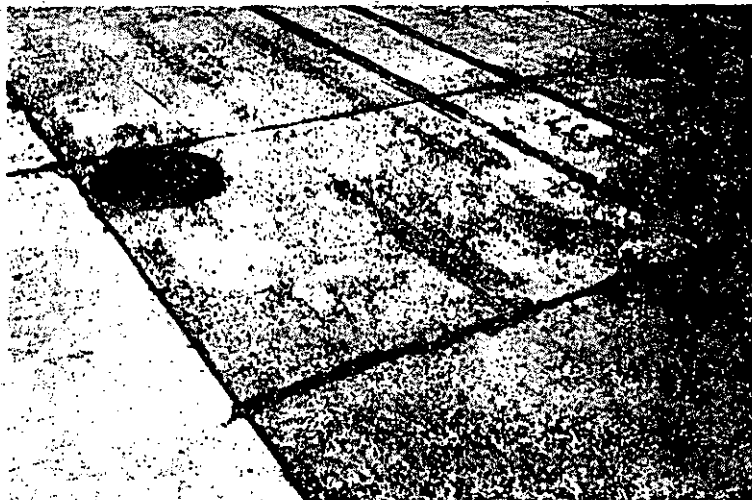


Fig. 1.4-21 Grieta transversal debido probablemente a una junta fría. La grieta ya ha sido sellado



Fig. 1.4-22 Grietas en el centro de las losas, en una plataforma de operaciones, probablemente debidas a fallo estructural, en la cual tuvo una influencia muy importante el subdrenaje defectuoso existente

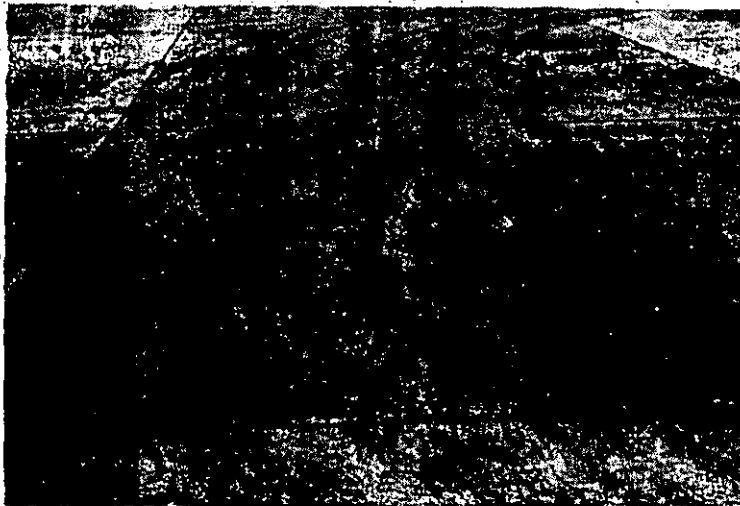


Fig. 1.4-23 Otra vista de este tipo de grietas

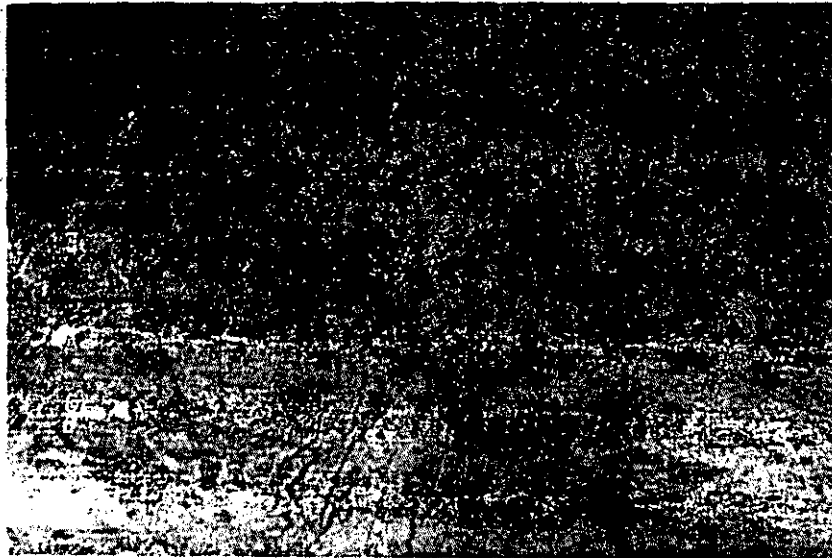


Fig. 1.4-24 Grietas en una plataforma de operaciones debidos probablemente a contracción del fraguado



Fig. 1.4-25 Grietas semejantes a las mostradas en la figura anterior. Las malas condiciones del sub-drenaje probablemente también hoyan 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

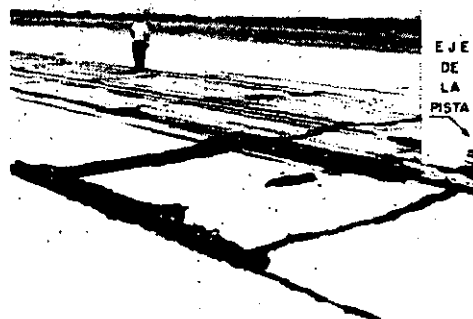


Fig. 1.4-27 Grietas ya reparadas con material asfáltico

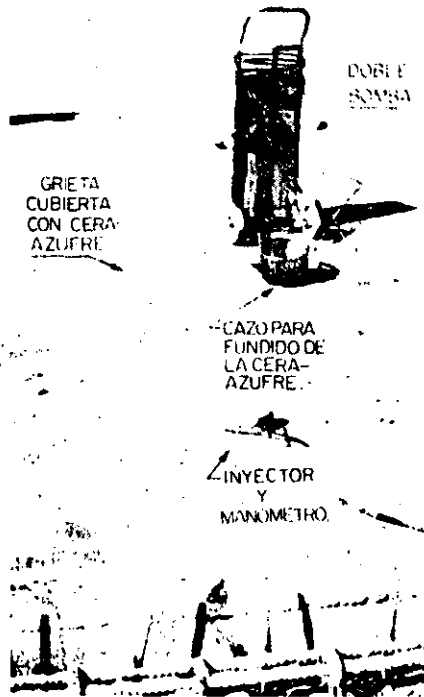


Fig. 1.4-28 Equipo para el sellado de grietas por medio de inyectado de adhesivos a base de resinas epóxicas



Fig. 1.4-29 Preparación de la grieta para su sellado



Fig. 1.4-30 Inyectado de adhesivos en la grieta ya preparada



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

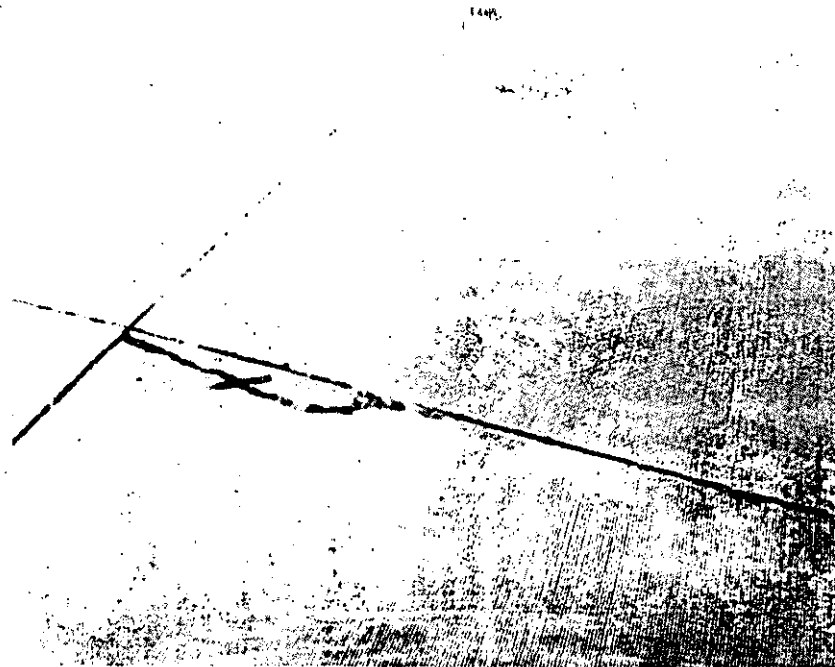


Fig. 14-36 Grieta en esquina sellada con material asfáltico. La textura superficial rayada es debido al tratamiento de rebajado longitudinal del pavimento de la pista para eliminar irregularidades que provocan vibraciones en los aviones

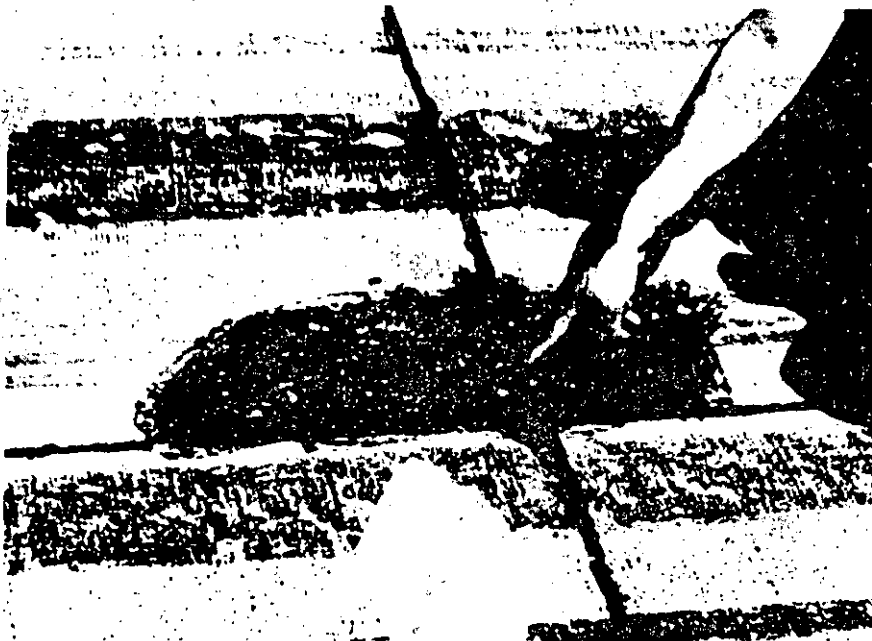


Fig. 14-37 Grietas en esquina reparadas con mezcla asfáltica. La junta no fue respetada y por tanto se formo una grieta

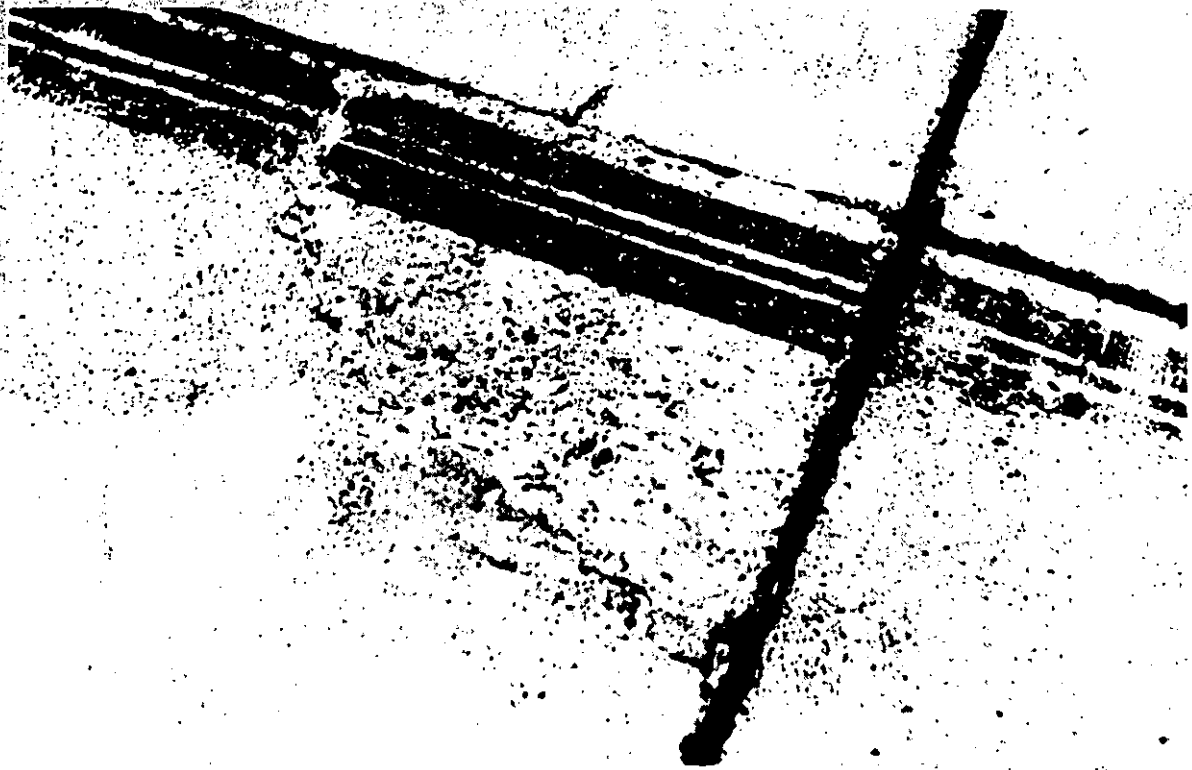


Fig. 1.4-38 Grieta en esquina reparada con concreto hidráulico. Unión mediocre entre el parche y el concreto viejo. La junta superior no fue adecuadamente reparada. El acabado del parche no es igual al de la losa

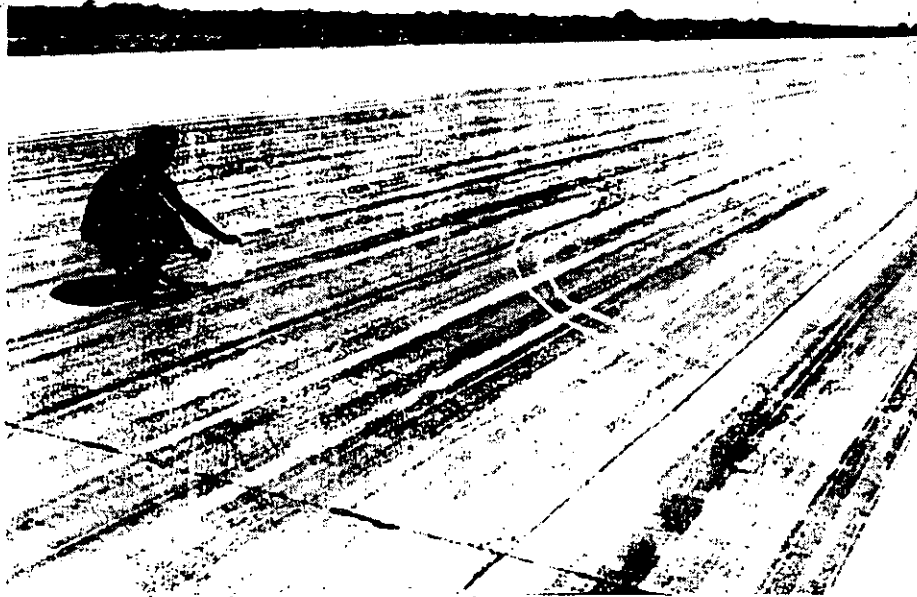


Fig. 1.4-39 Grietas en esquina en la zona de toma de contacto de la pista. Probable fallo estructural debido a la repetición de los esfuerzos de impacto provocado por la rugosidad de la superficie del pavimento. En esta zona de la pista los aviones llevan su mayor energía cinética durante el carrera de despegue

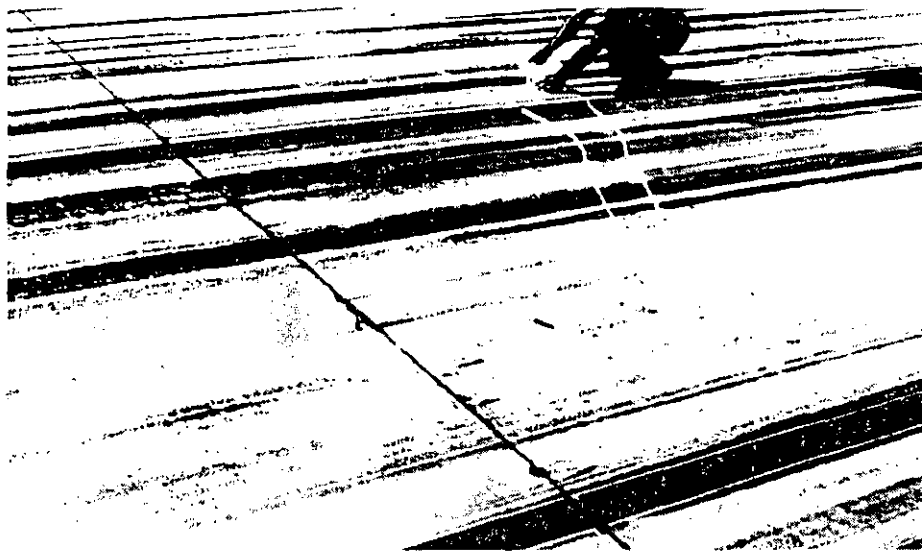


Fig. 1.4-40 Otro ejemplo de grieta en esquina en la zona de toma de contacto de la pista



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 o las cargas

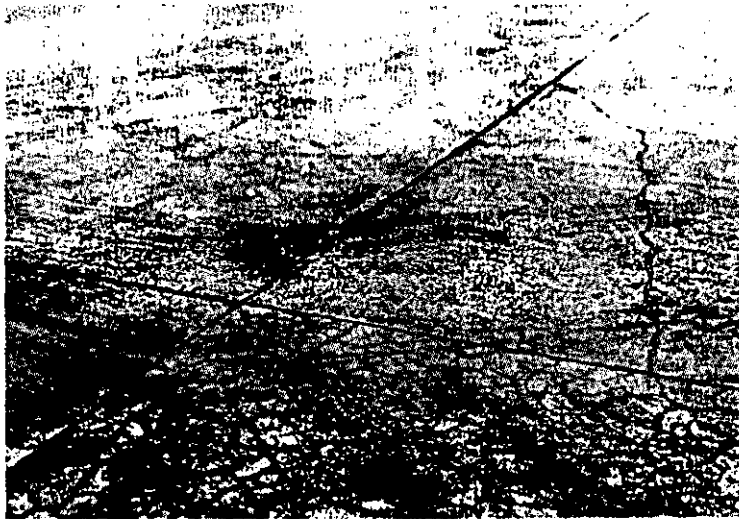


Fig. 1.4-42 Grieta en esquina o diagonal y desintegración del concreto

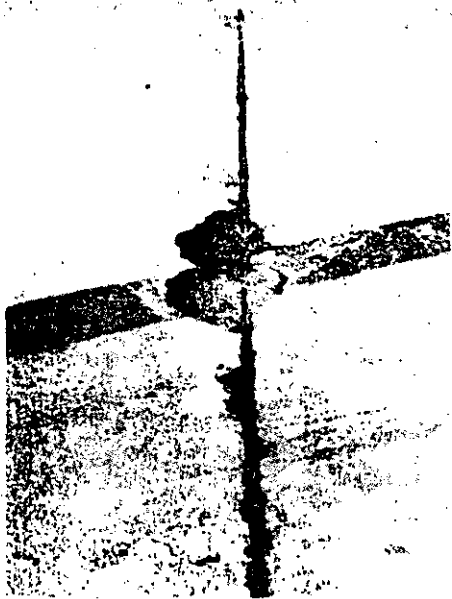


Fig. 1.4-43 Agua que afloró a través de la junta debido a una carga en la superficie.



Fig. 1.4-44 Al paso de un "eje doble-doble tandem" es "bombeada" 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

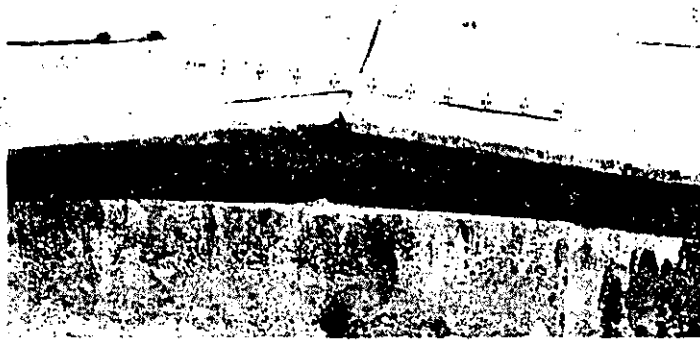


Fig. 1.4-47 Etapa inicial de flambéo. Losas que se "botan"



Fig. 1.4-48 Fractura de losas



Fig. 1.4-49 En la losa inferior no ha sido levantado su tramo fallado y parchado con concreto asfáltico. El trabajo ha sido incompleto y pobre

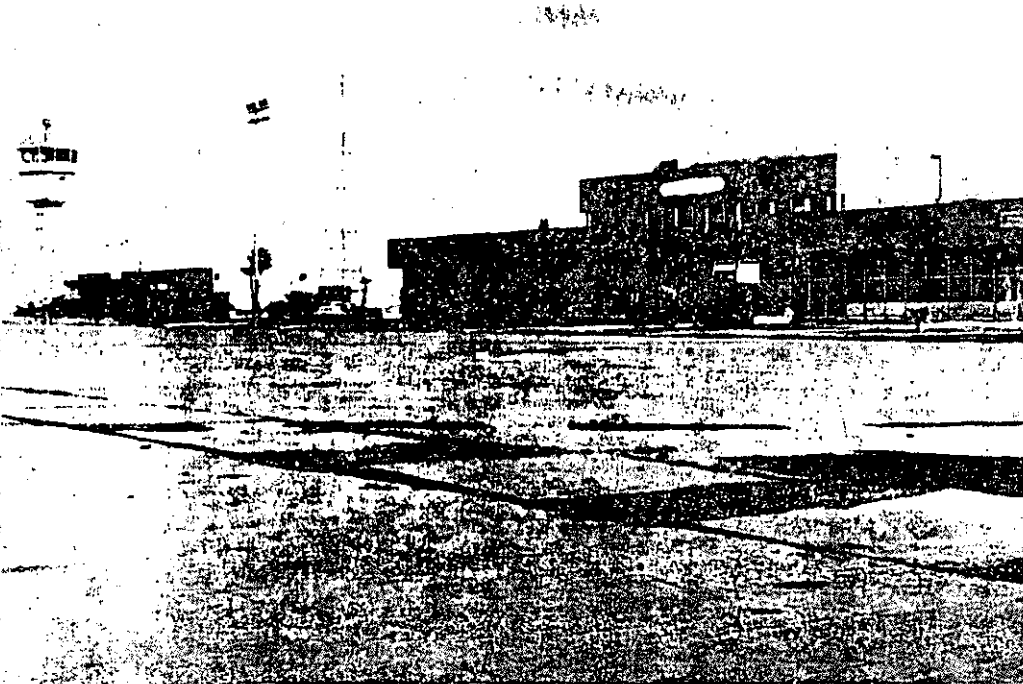


Fig. 1.4-50 Una faceta de losas que se "botan" en una plataforma de operaciones

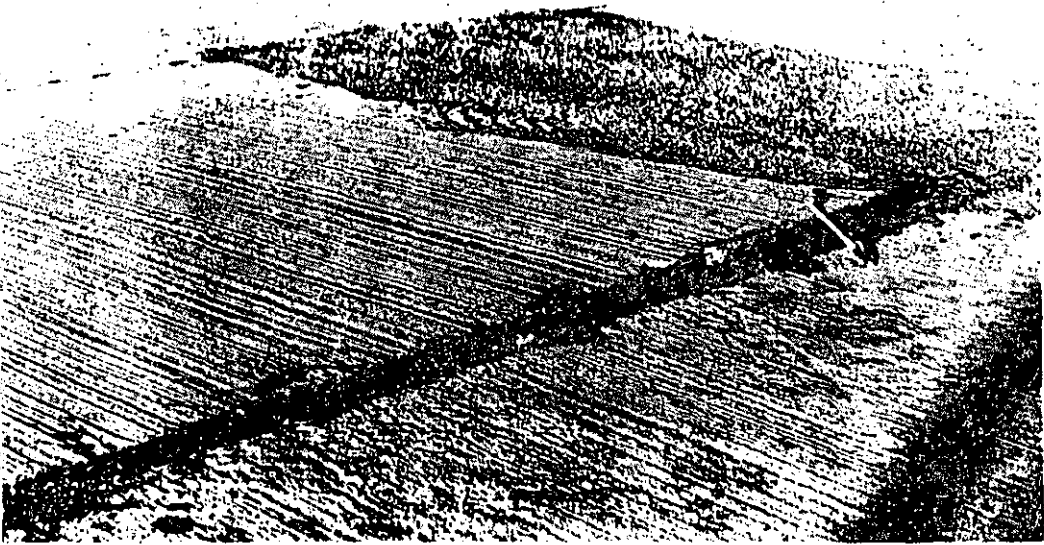


Fig. 1.4-51 Detalle de loso "botado"



Fig. 1.4-52 Grieta que probablemente se formó con anterioridad al aserrado de la junta; es necesario sellar la grieta

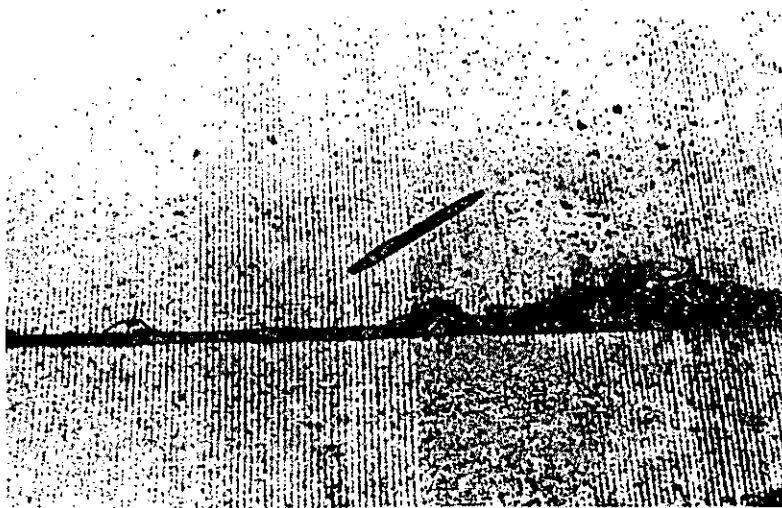


Fig. 1.4-53 Pequeños ostillamientos tratados por medio del resellado de la junta. El pavimento ha sido tratado con rebajado longitudinal para eliminar irregularidades que provocan vibraciones

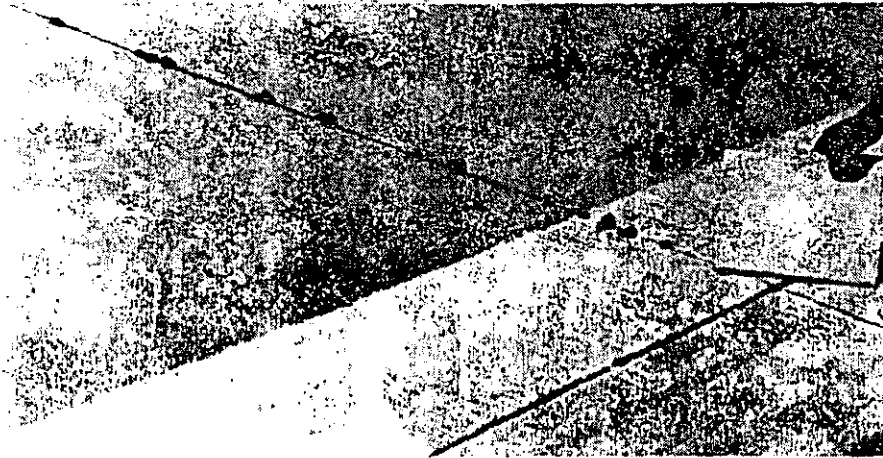


Fig. 1.4-54 Material sellante que aflora sobre el borde de la junta

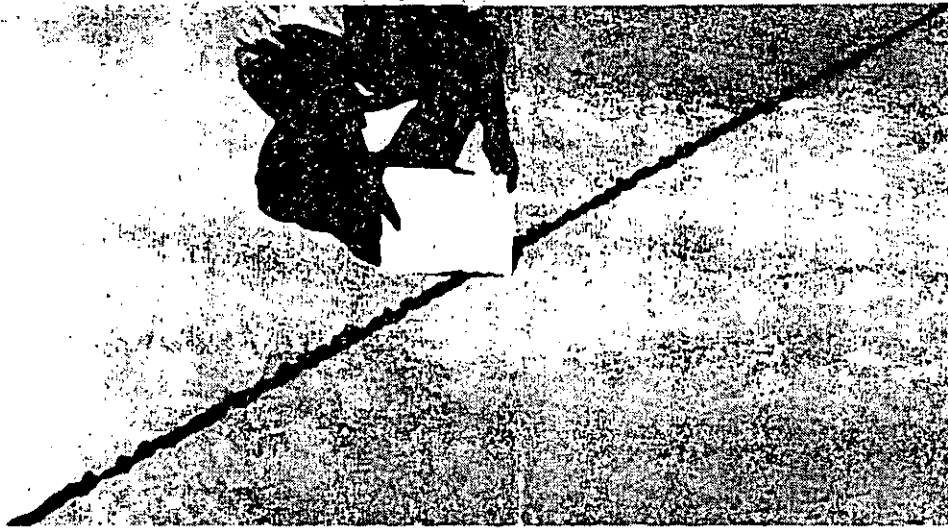


Fig. 1.4-55 Material de sello totalmente fuera de la junta

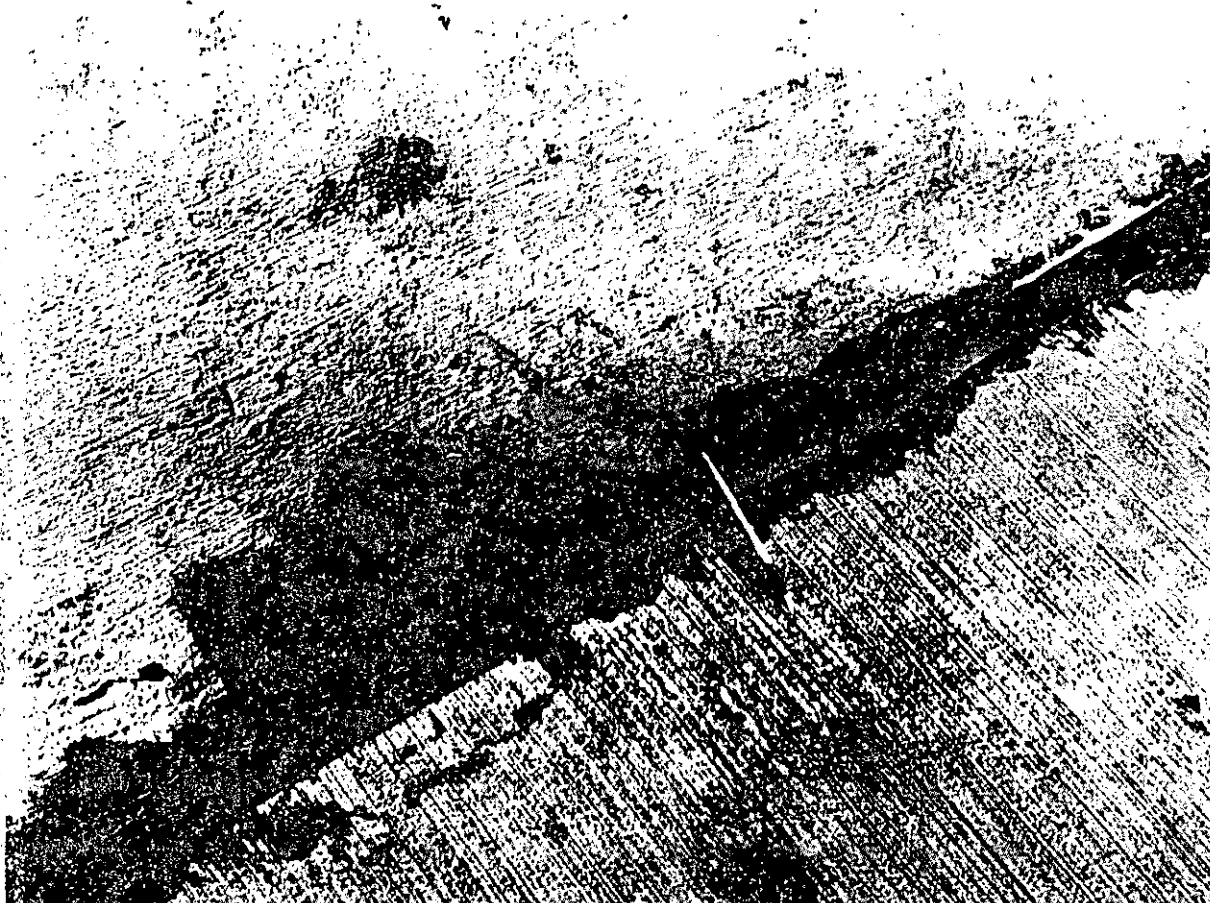


Fig. 1.4-56 Material de sello que ha perdido sus características para trabajar adecuadamente. Una parte se ha despegado de las losas y el polvo y la tierra comienzan a invadir la junta, lo que ya ha dejado de ser impermeable



Fig. 1.4-57 Detalle de material de sello despegado de las losas, y que ha perdido su finalidad: impermeabilizar

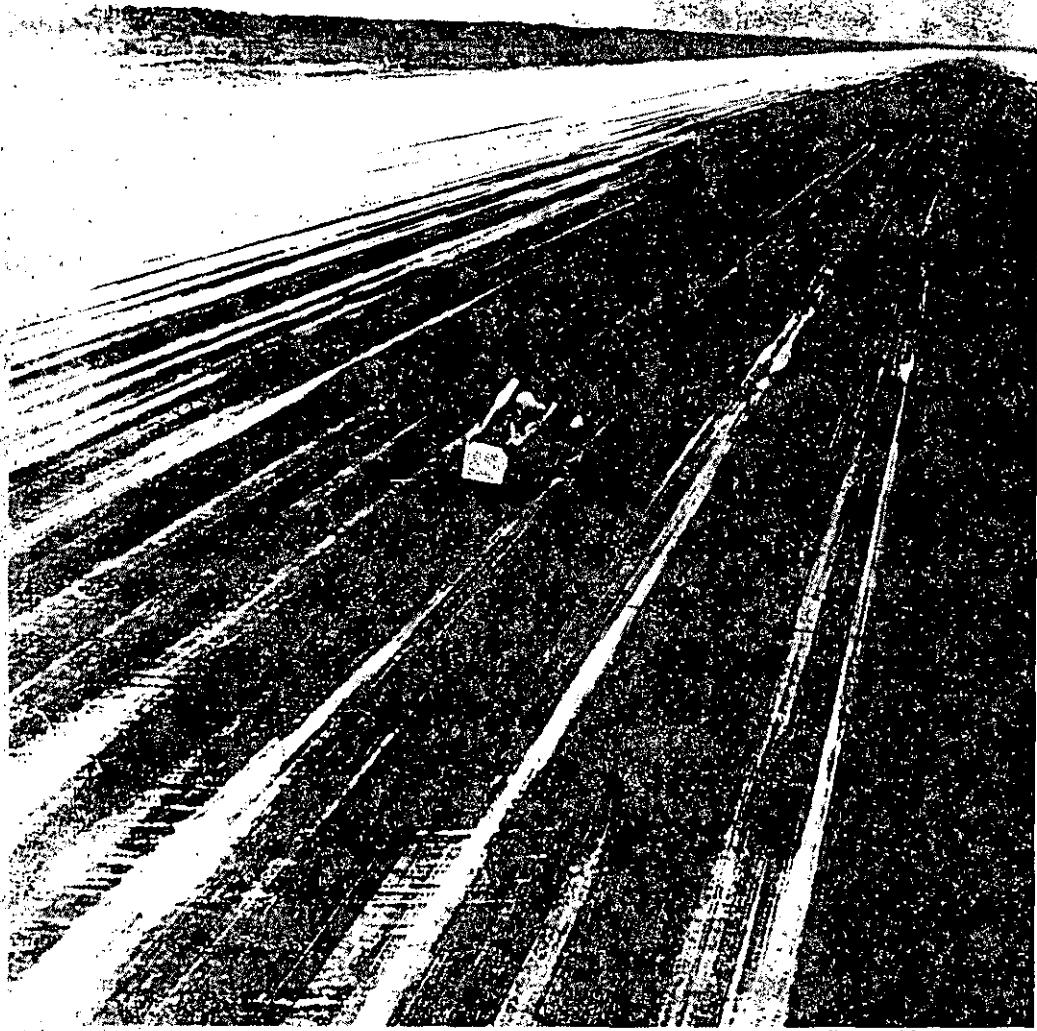


Fig. 1.4 - 58 Acumulación de caucho en la superficie de la zona de toma de contacto de una pista con pavimento rígido, lo que ha originado que se hayan devaluado las características originales de resistencia al derrapamiento

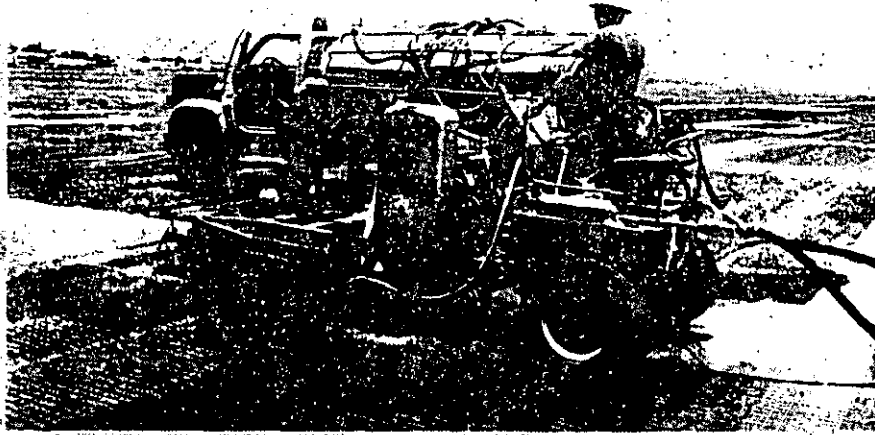


Fig. 1.4-59 Ranurado de pavimentos para mejorar su coeficiente de fricción

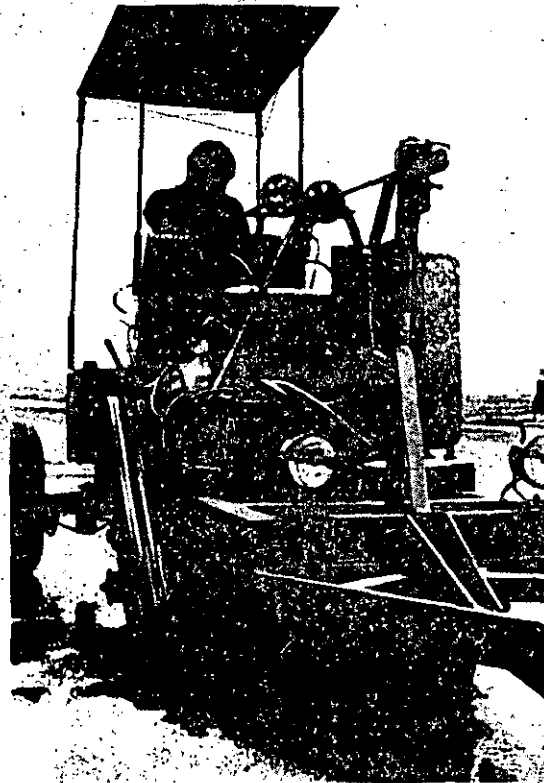


Fig. 1.4-60 Máquina ranuradora en acción



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 terminada 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"

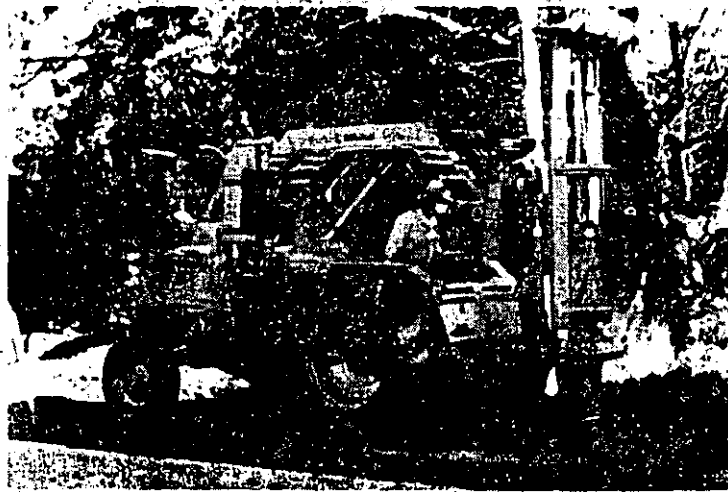


Fig. 1.4-65 Martinete para demolición y para compactación

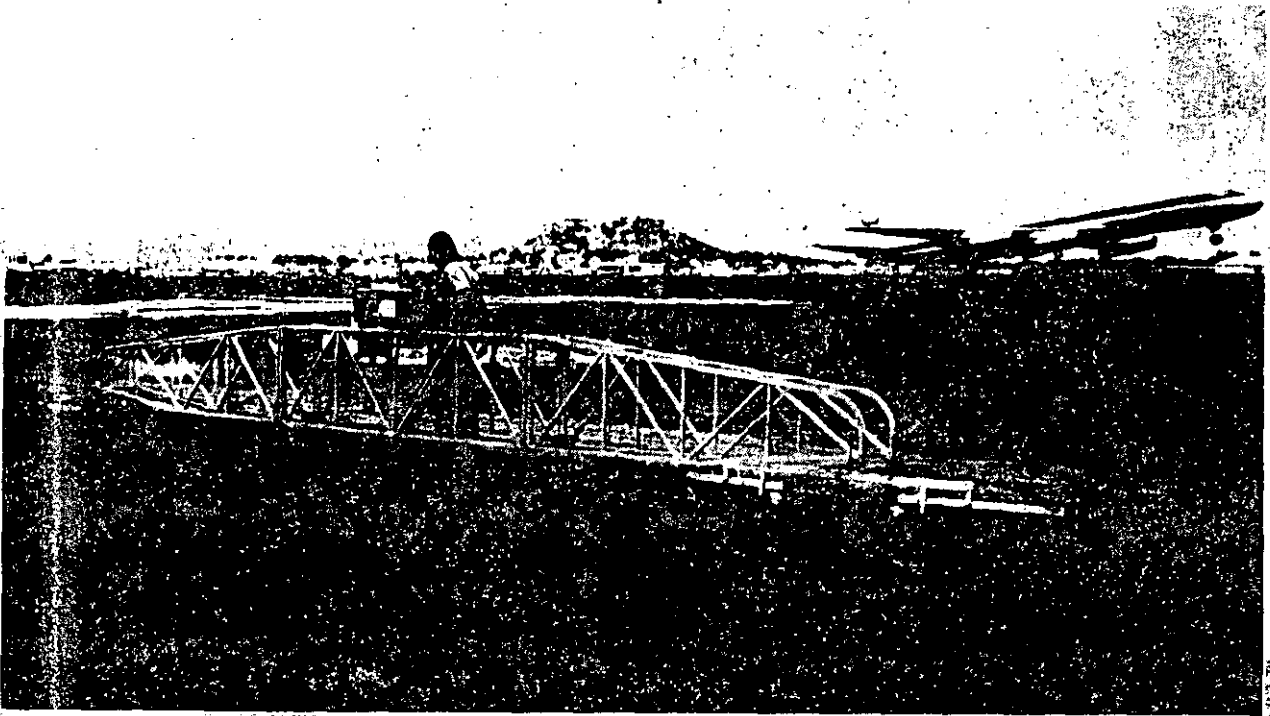


Fig. 1.4-66 Perfilógrafo longitudinal tipo Hveem

VALORES TÍPICOS DE INDICE DE PERFIL

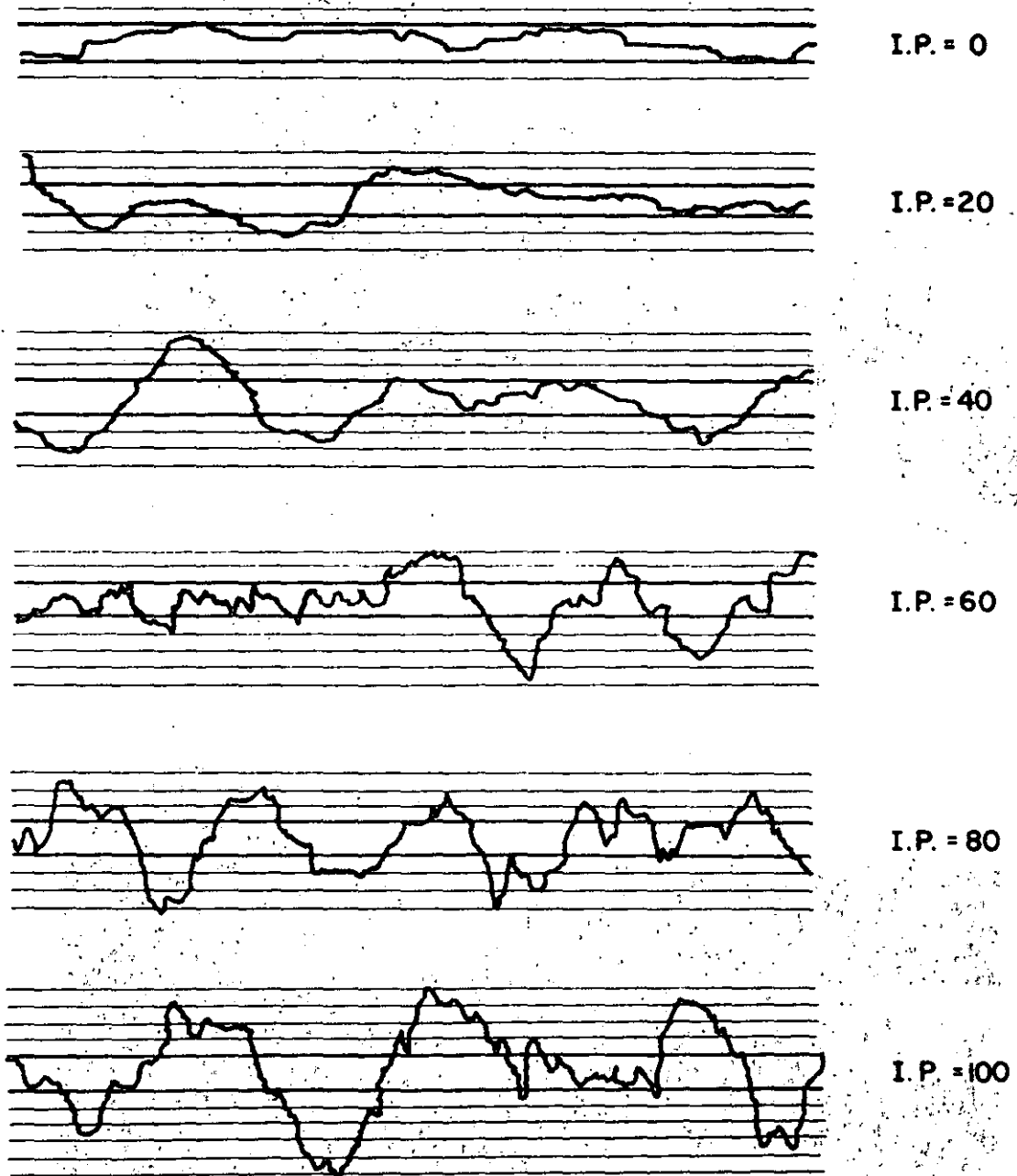


Fig. 1.4-67 Valores típicos de índice de perfil (I.P.)

Esc. H. 1 : 300
Esc. V. 1 : 1

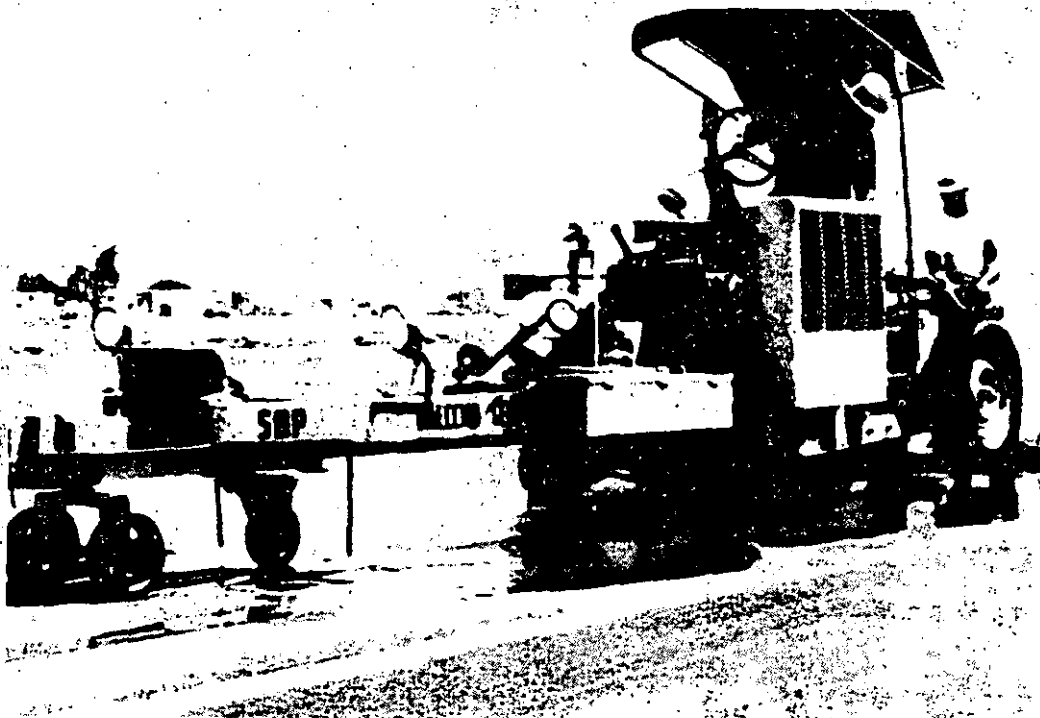


Fig. 1.4-68 Máquina rebajadora a base de rodillo de discos diamantados

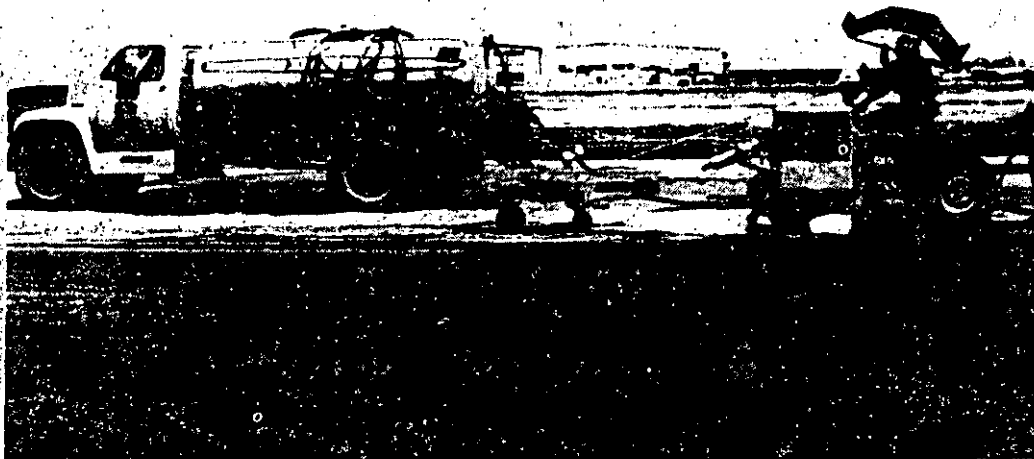


Fig. 1.4-69 Máquina rebajadora en operación



Fig. 1.4-70 Equipo para corte y demolición de concreto y roca, 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 se 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 DESCRIPCIÓN 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 : _____																						
<p>0: Ninguna 1: Menor 2: Moderada 3: Mayor 4: Severa</p> <p>10 Muy bien 9 a 8 Bien 7 b 6 Regular 5 c 4 Pobre 3 d 2 Muy pobre 1 0</p>	TIPO	GRIETA	Fisuración																			
			Longitudinal																			
			Transversal																			
			Polidrica (75 cm aprox.)																			
			Polidrica (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")																			
			Desprendimiento local																			
			Desprendimiento general																			
			Deformación transv. marcada																			
			Deformación longitudinal																			
			Distorsión																			
			Asentamiento subrasante																			
			Bacheo superficial																			
			Bacheo profundo																			
			Reconstrucción localizada																			
			Rugosidad superficial																			
		Drenaje superficial																				
		Subdrenaje																				
		Condiciones generales																				
		Calificación general																				
		Trabajos requeridos																				
<p>Observaciones (Drenaje)</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																						
<p>Observaciones : _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																						

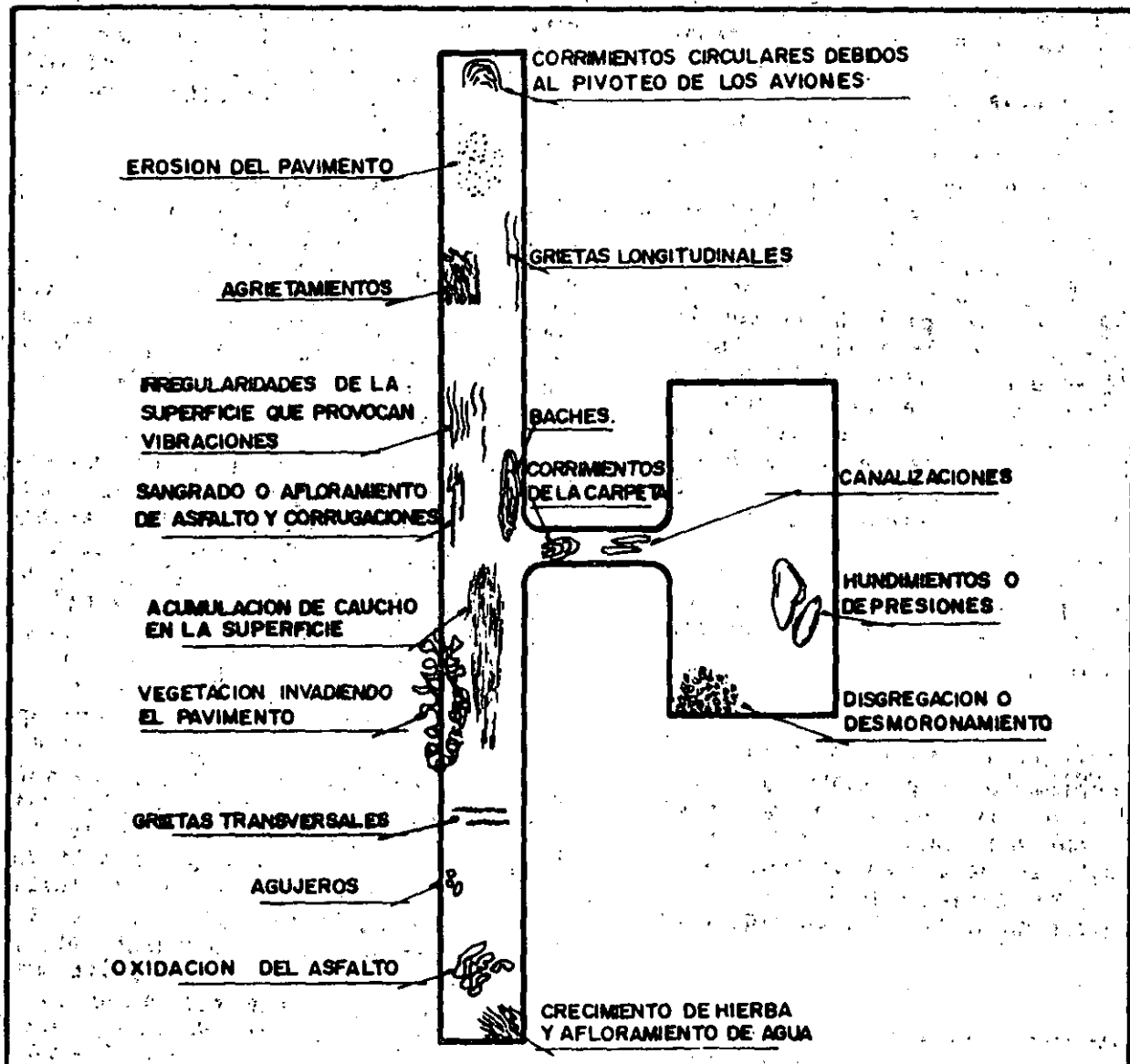


Fig 2.1-1 Conservación y detalles a observar en pavimentos flexibles

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 renovación. 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 emulsiones asfálticas rebajadas 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 turborreactión 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 del 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 renivelación 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 capas, 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 nivelar, 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 nivelación, así como para evitar que la mezcla se corra; se pica la superficie por nivelar 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.

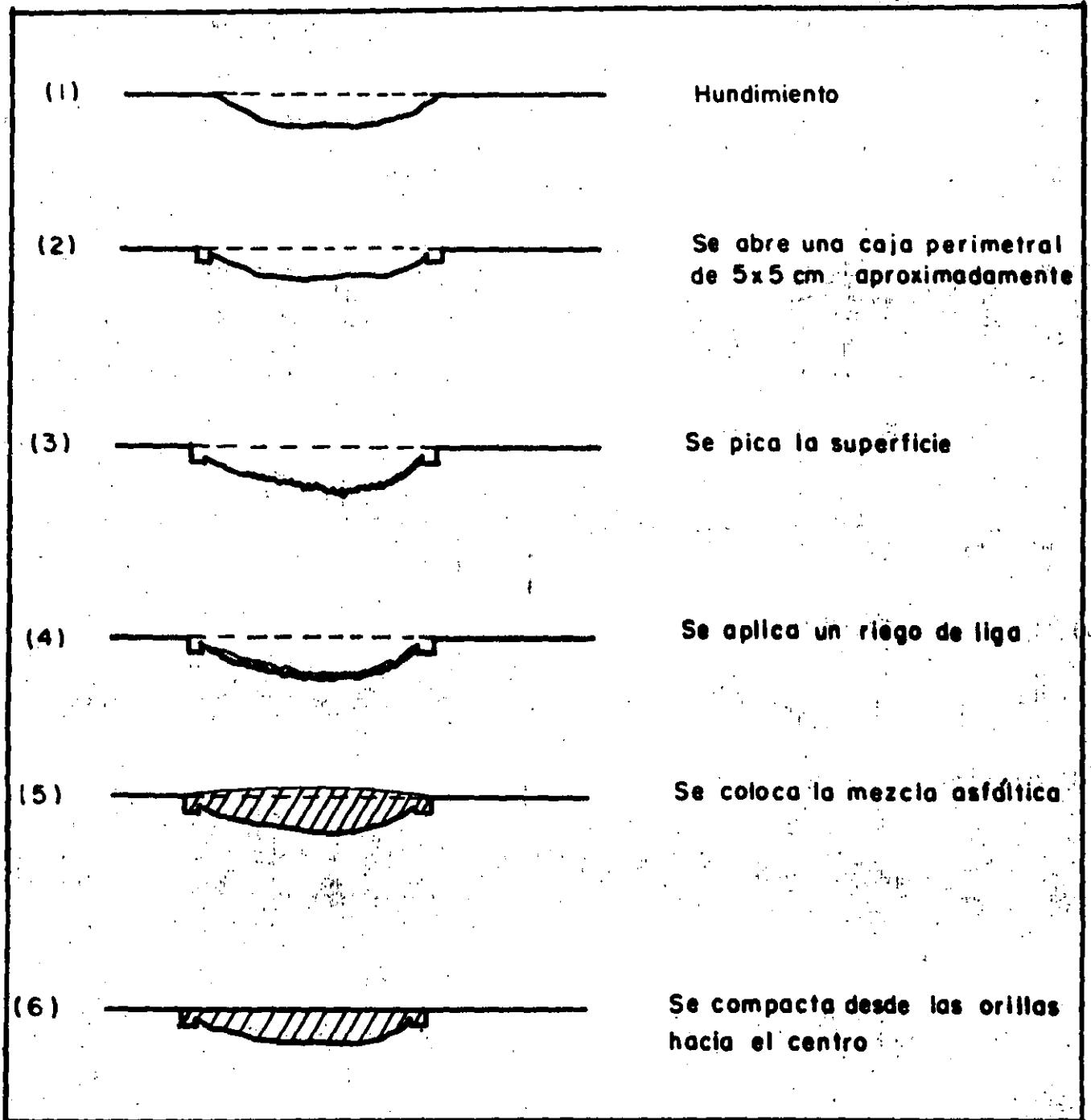


Fig.2.2-1 Renivelación de hundimientos

- Cuando existen hundimientos acompañados de grietas, es necesario efectuar estudios para determinar la causa de la

falla y suprimirla. En general las renivelaciones no son aplicables a estos casos.

2.2.10 Canalizaciones o roderas

Esta falla está caracterizada por depresiones que forman canales; generalmente e 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 nivelación 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 se 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 este 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).

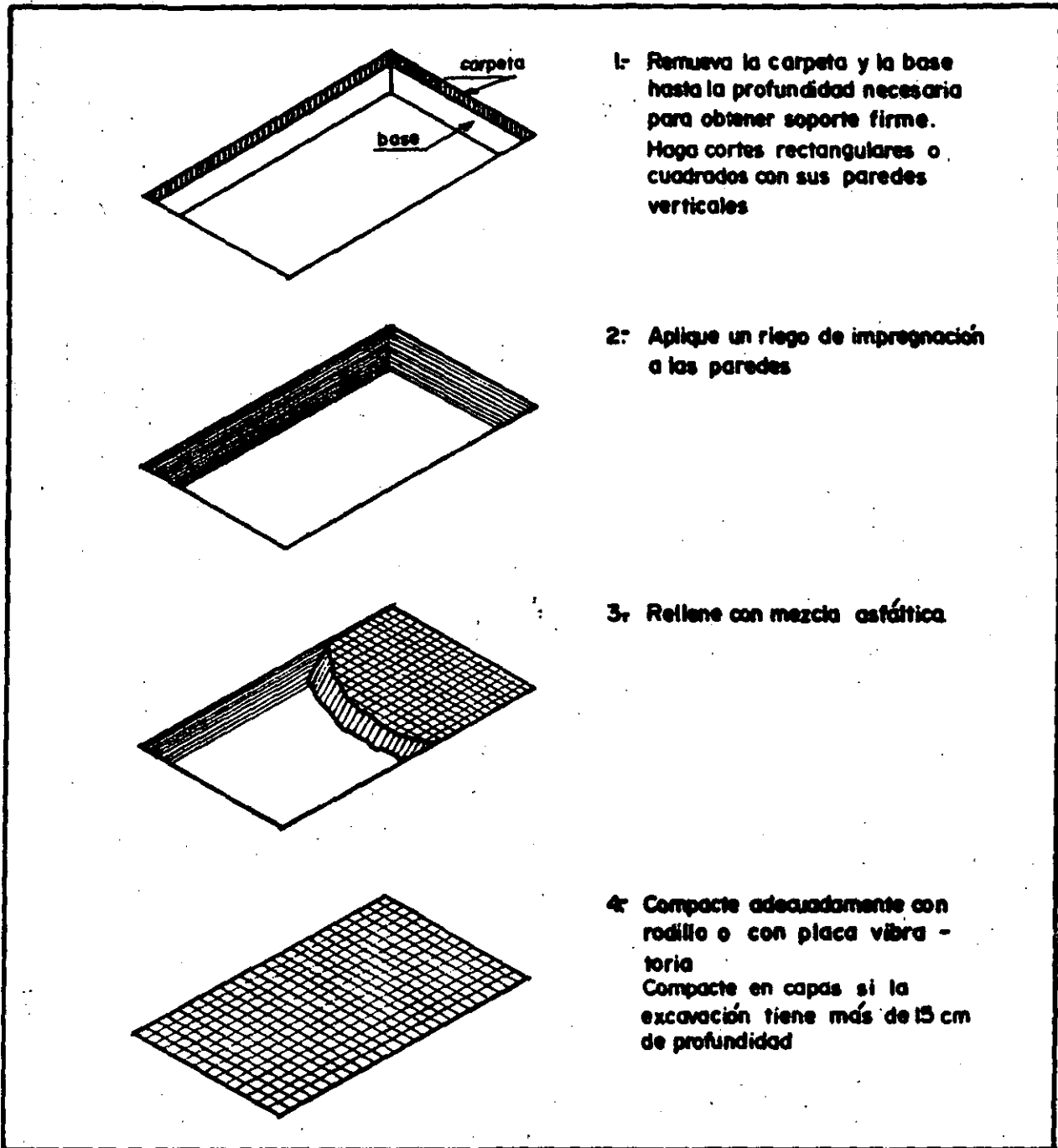
La causa de la falla puede ser similar a la indicada en el inciso 2.2.15 de este capítulo, pero la capa problema está mucho más profunda, probablemente en la subrasante.

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 aflora 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 delgadas. 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 periodo 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 a 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 baño 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 alterno 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.

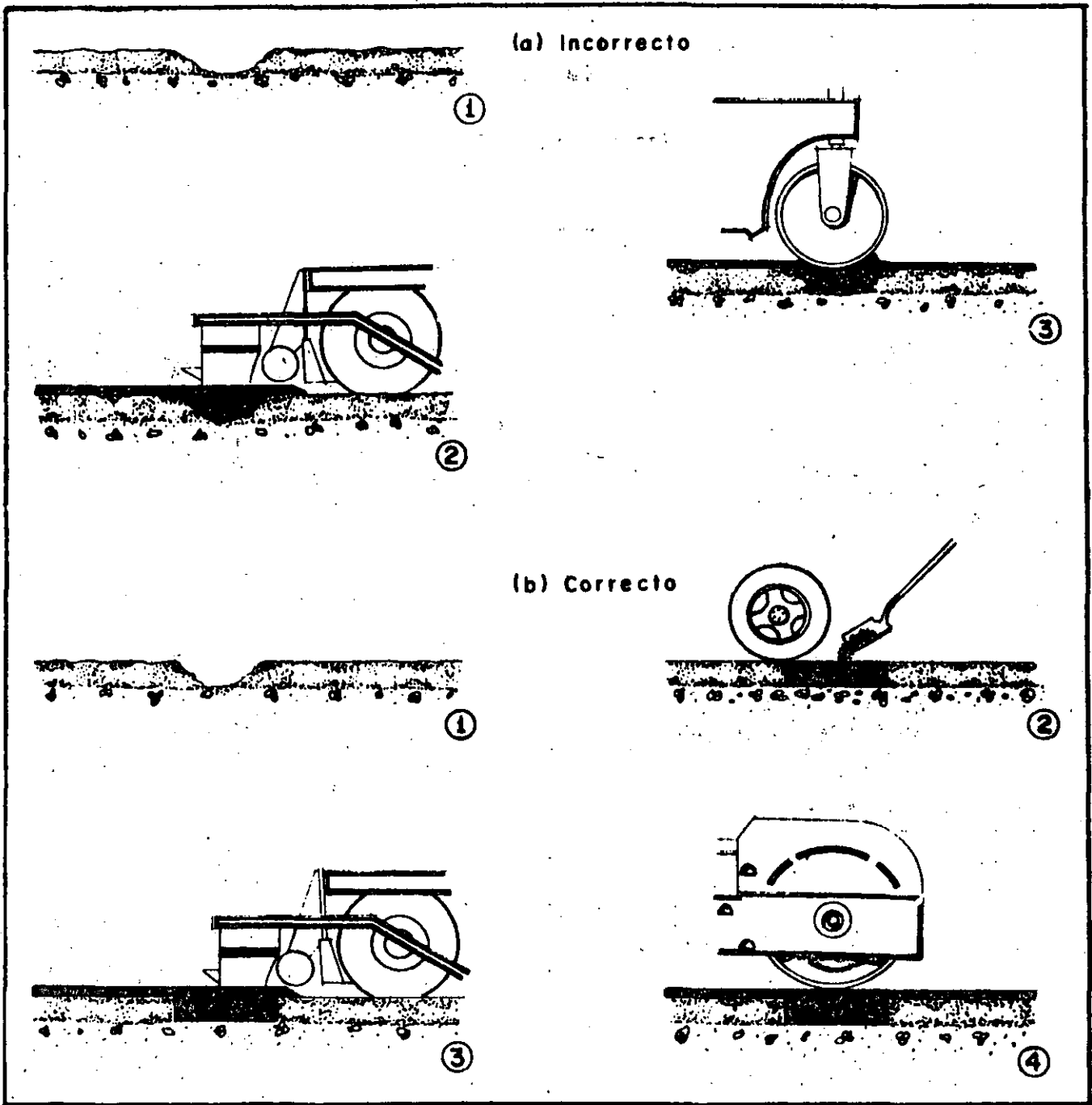


Fig. 2.3-1 Los baches deben ser rellenados convenientemente antes del tendido de la sobrecarpeta

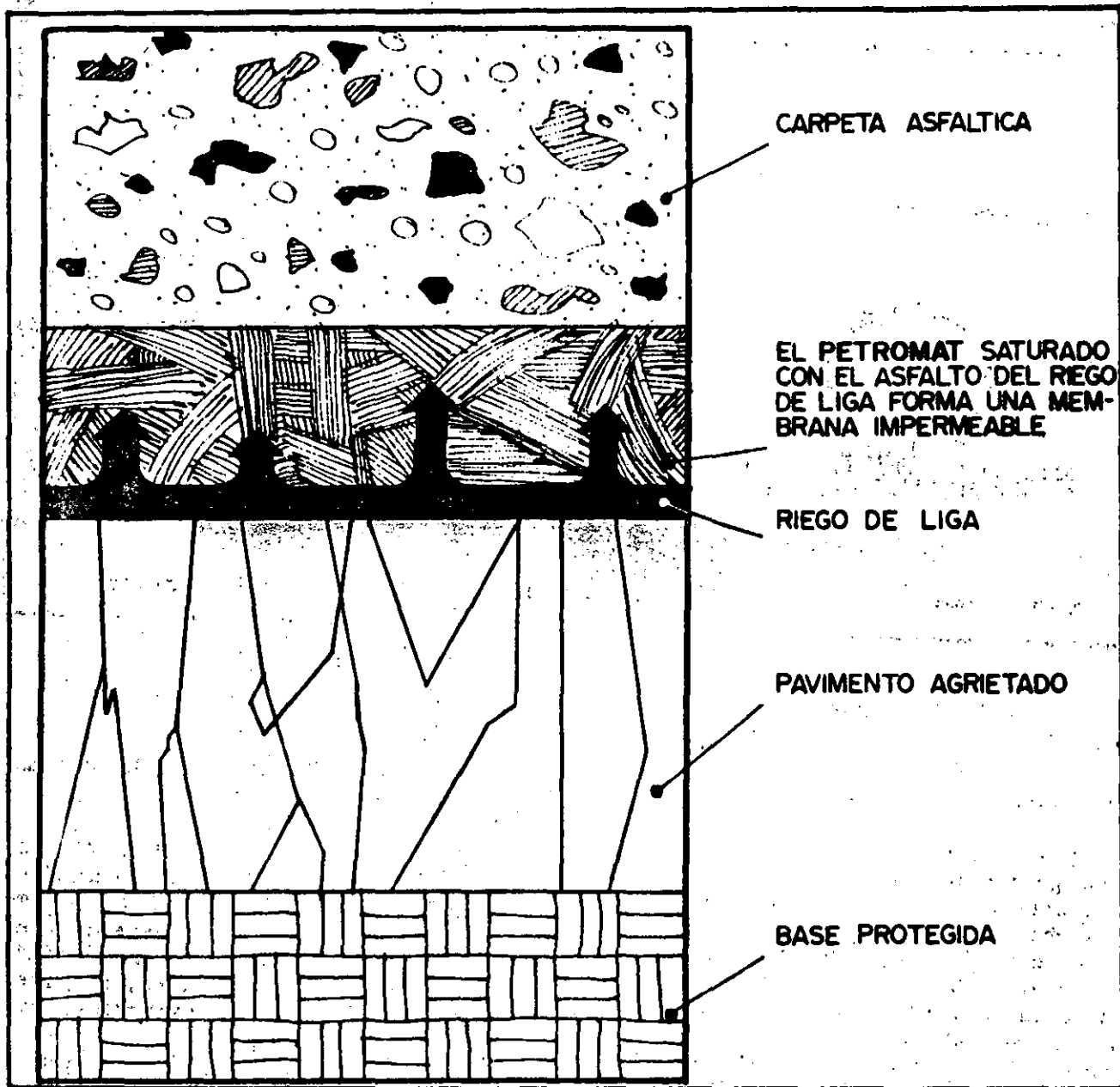


Fig. 2.3-2 Sistema Petromat de membrana protectora de pavimentos flexibles

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.

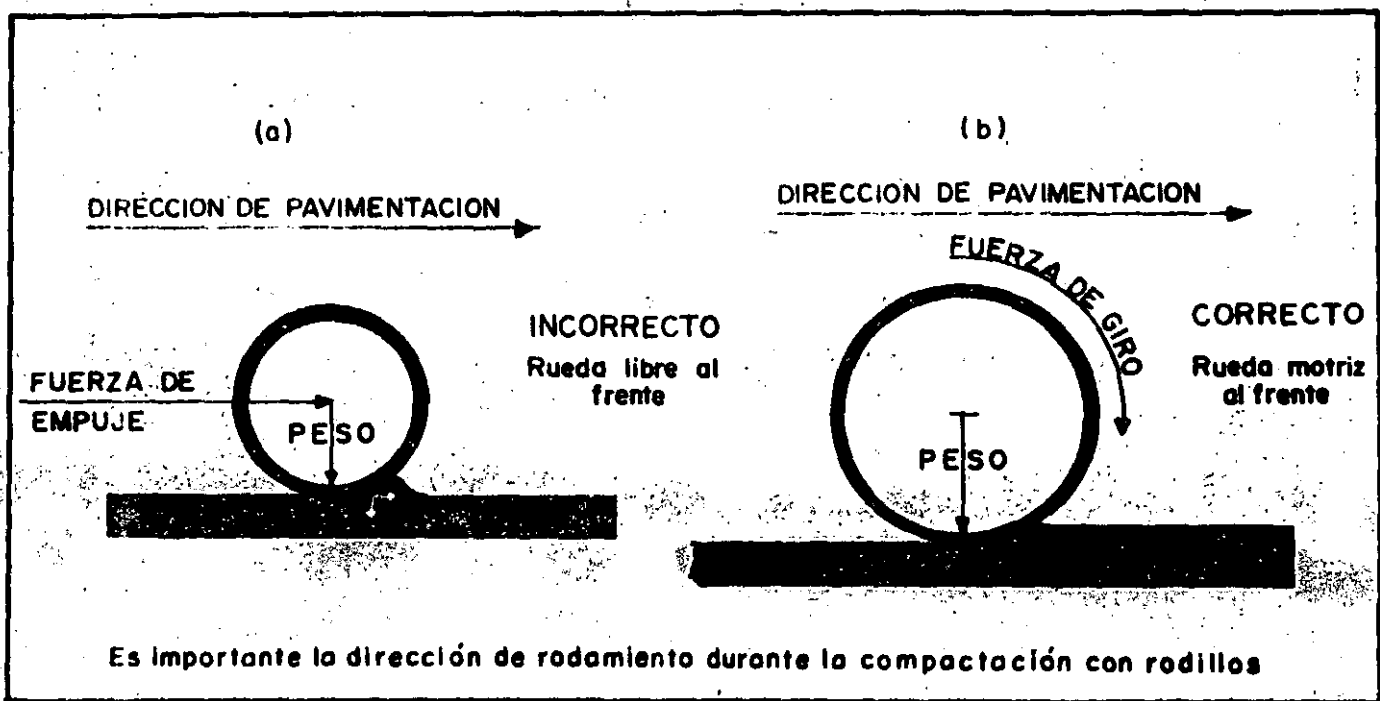


Fig. 2.3-3 Compactación con rodillo

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.

Tabla 2.3-1 Posibles causas de imperfecciones en los acabados de pavimentos

Tipos de imperfecciones de pavimentos que pueden encontrarse en el tendido de las mezclas de concreto asfáltico en caliente		Sangrado	Café, apariencia mortecina	Manchas en gran cantidad o muy grandes	Textura de la carpeta débil	Rugosidad irregular de la carpeta	Panel o desmoronamiento	Junta defectuosa	Huellas de rodillos	Ondulaciones o depresiones	Agrietamiento (grietas finas en gran cantidad)	Agrietamiento (grietas grandes y largas)	Piedras partidos por el rodillo	Llorado de la superficie durante el tendido	Corrimiento de la carpeta en la base
Insuficiente o no uniforme riego de liga															
Curado impropio del riego de liga															
Mezcla muy mal elaborada															
Exceso de finos en la mezcla															
Asfalto insuficiente															
Asfalto en exceso															
Mezcla mal proporcionada															
Revolura en carga no satisfactoria															
Exceso de humedad en la mezcla															
Mezcla demasiado caliente o quemada															
Mezcla demasiado fría															
Operación de tendido defectuosa															
Extendedor en malas condiciones															
Compactación con rodillos inadecuada															
Compactación en tiempo inconveniente															
Sobrecompactada															
Compactación de mezcla demasiado caliente															
Compactación de mezcla demasiado fría															
Rodillo mantenido inadecuado sobre pavimento caliente															
Rodillos demasiado pesados															
Vibración del rodillo															
Base inestable															
Humedad excesiva en el sub suelo															
Riego de imprimación o riego de liga excesivos															
Obr de mano deficiente otros de la extensora															
Rastrillado excesivo															
Ejecución del trabajo en forma defectuosa o inadecuada															
Exceso segregación en el tendido															
Tolerancia incorrecta en la compactación															
Mediana terminadora operada demasiado rápido															
Tendido de mezclas en capas muy gruesas															
Abrir el tráfico pavimentos mientras las mezclas están aún demasiado calientes															

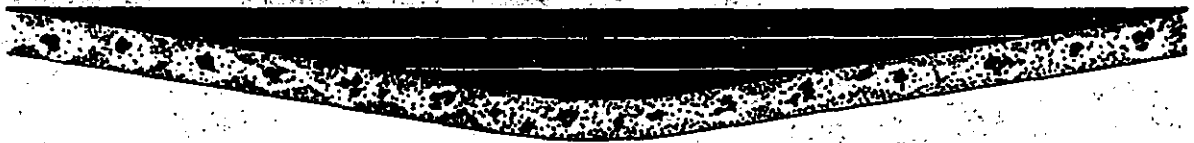
Tabla 2.3-2 Posibles causas de deficiencias en concretos asfálticos de plantas dosificadoras de mezclado en caliente

Tipo de deficiencia que puede encontrarse en la producción de las mezclas en plantas de concretos asfálticos		Muestras defectuosas	
A	Agregados de baja calidad	A	El contenido del asfalto no corresponde al especificado
A	Agregados demasiado húmedos	A	La graduación del agregado no corresponde al especificado
A	Separación inadecuada de la sierra	A	Exceso de limos en la mezcla
A	Puertas vibratorias de agregados colocados inadecuadamente	A	Dificultad de mantener temperaturas uniformes
A	Capacidad de secado rebasada	A	Los pesos en el camión no corresponden al peso de la revoltura
A	Colocación del secador demasiado inclinada	A	Asfalto suelto sobre la mezcla en el camión
A	Operación impropia de secado	A	Pólvora suelta sobre la mezcla en el camión
A	Indicador de temperatura fuera de ajuste	A	Agregados grandes no revestidos
A	Temperatura de las agregados demasiado alta	A	Mezcla en el camión no uniforme
A	Crisas deterioradas	A	Mezcla en el camión gruesa en un lado
A	Operación de cribado defectuosa	A	Mezclas aplastadas en el camión
A	Depósitos de derrame sin funcionar	A	Mezcla quemada
A	Depósitos con fugas	A	Mezcla demasiado café o gris
A	Segregación de agregados en depósitos	A	Mezcla demasiado gruesa
A	Sobrecarga o depósitos debido a cribas sobrecargadas	A	Mezcla con humos en el camión
A	Agregados mal graduados	A	Mezcla con vapores en el camión
A	Peso impropio del operador	A	Mezcla con apariencia opaca en el camión
A	Alimentación del agregado no uniforme	A	
A	In suficiencia de agregados en depósitos calientes	A	
A	Serie de peso impropio	A	
A	Asfalto insuficiente	A	
A	Exceso de asfalto	A	
A	Distribución defectuosa del asfalto o agregados	A	
A	Balanzas para pesar el asfalto fuera de ajuste	A	
A	Medidor del asfalto fuera de ajuste	A	
A	Tamaño mayor o menor del tamaño normal	A	
A	Tiempo de mezclado uniforme	A	
A	Colocación impropia o conetes usados	A	
A	Puerta vaciadora defectuosa	A	
A	Alimentación de asfalto y agregados no sincronizados	A	
A	Socudir el polvo ocasional al interior de los depósitos	A	
A	Operación irregular de la planta	A	

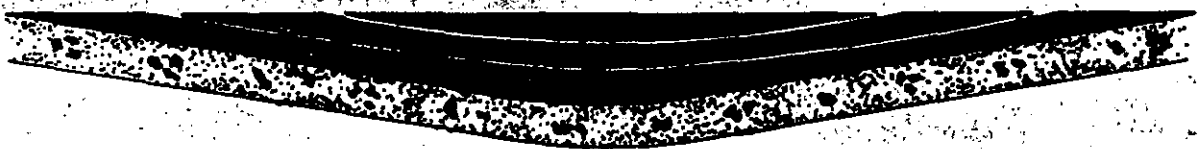
A - Aplicable a plantas de revoltura y plantas de tipo continuo. B - Aplicable a plantas de revolturas únicamente.

C - Aplicable a plantas de tipo continuo.

CORRECTO



INCORRECTO



Quando se requieran varias copas 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 allena 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 Bacheo

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 uniforme 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	
2.5			
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 seco	10-18	7.5-13.5	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	1ª capa	1ª capa capa única	capa única	capa única 2ª capa	capa única 2ª capa
Textura del pavimento a recubrir	gruesa permeable	gruesa descarnada	media	fin 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

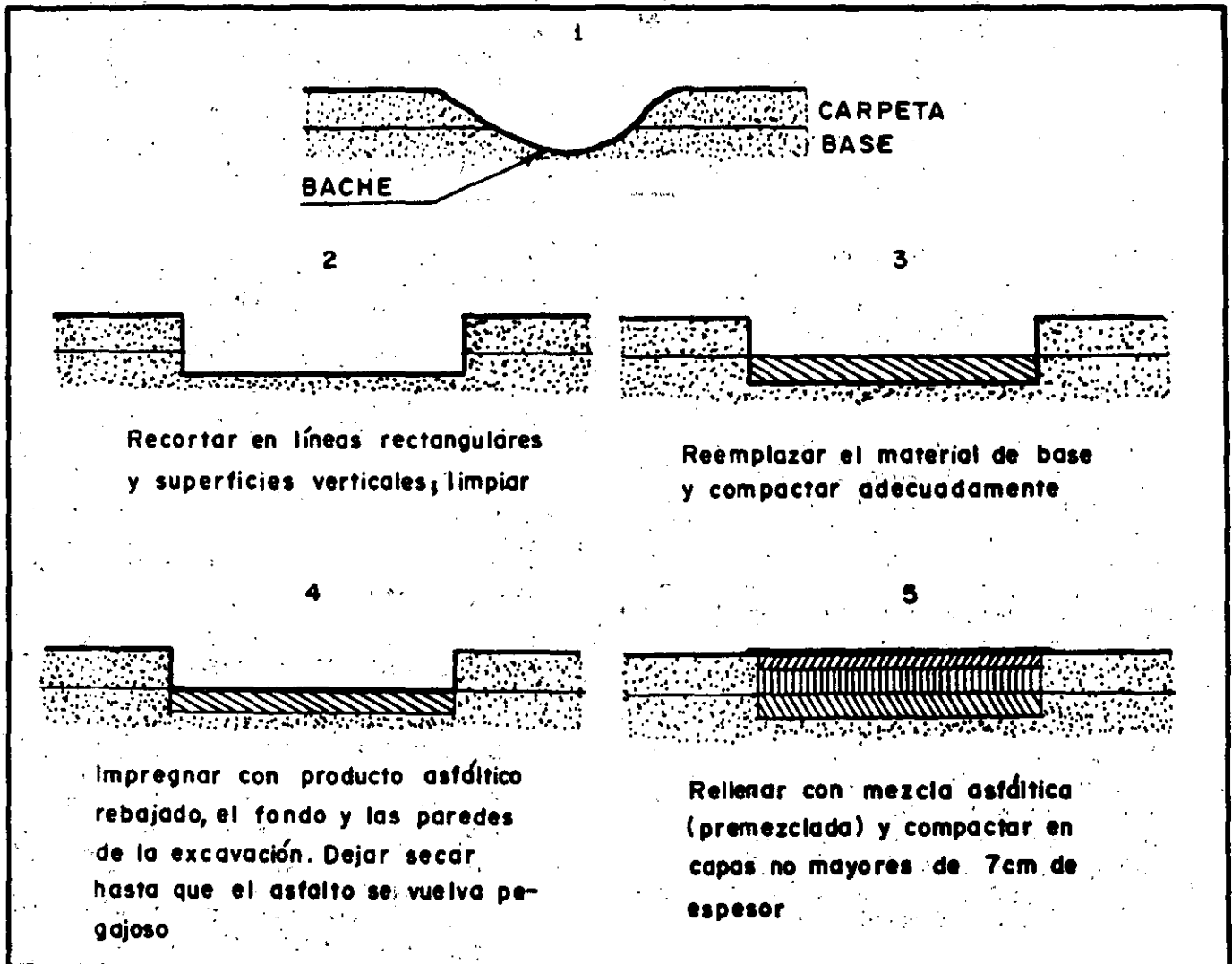
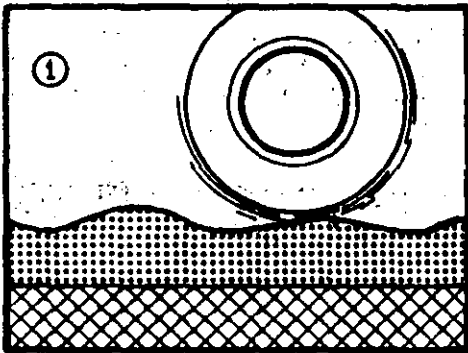


Fig. 2.3-5. Etapas en la reparación de un bache

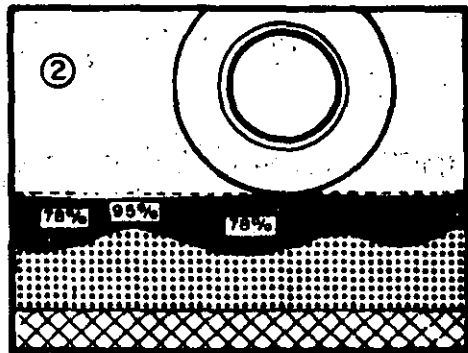
de la plataforma móvil y evitando fracturar los agregados (fig 2.5-60).

la ventaja de permitir la circulación del tránsito inmediatamente (figs 2.5-61 y 2.5-62).

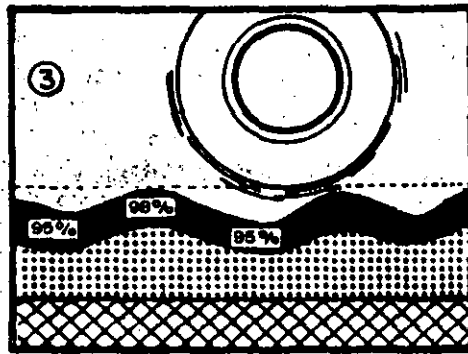
3. Se distribuye el material escarificado y se compacta con tandem de 8 a 10 toneladas. Esta fase intermedia puede suprimirse como se indica en la fig 2.3-7(b), pero sin



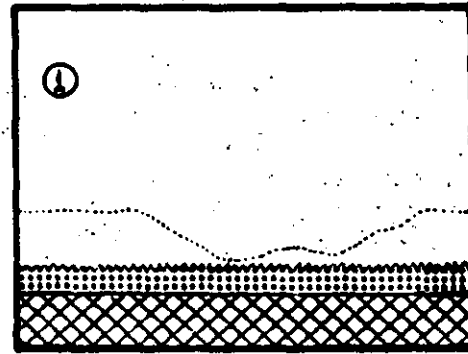
① Pavimento fatigado; su superficie irregular provoca exceso de vibraciones al transitar por él



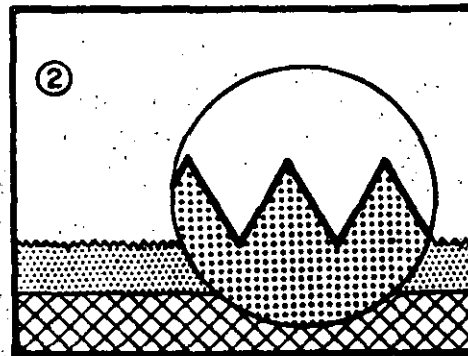
② El reencarpetao directo restablece las condiciones iniciales de rodamiento pero la compactación es variable



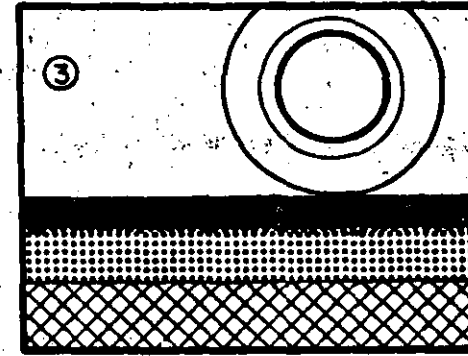
③ El tráfico compacta el nuevo material y las irregularidades vuelven a aparecer



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

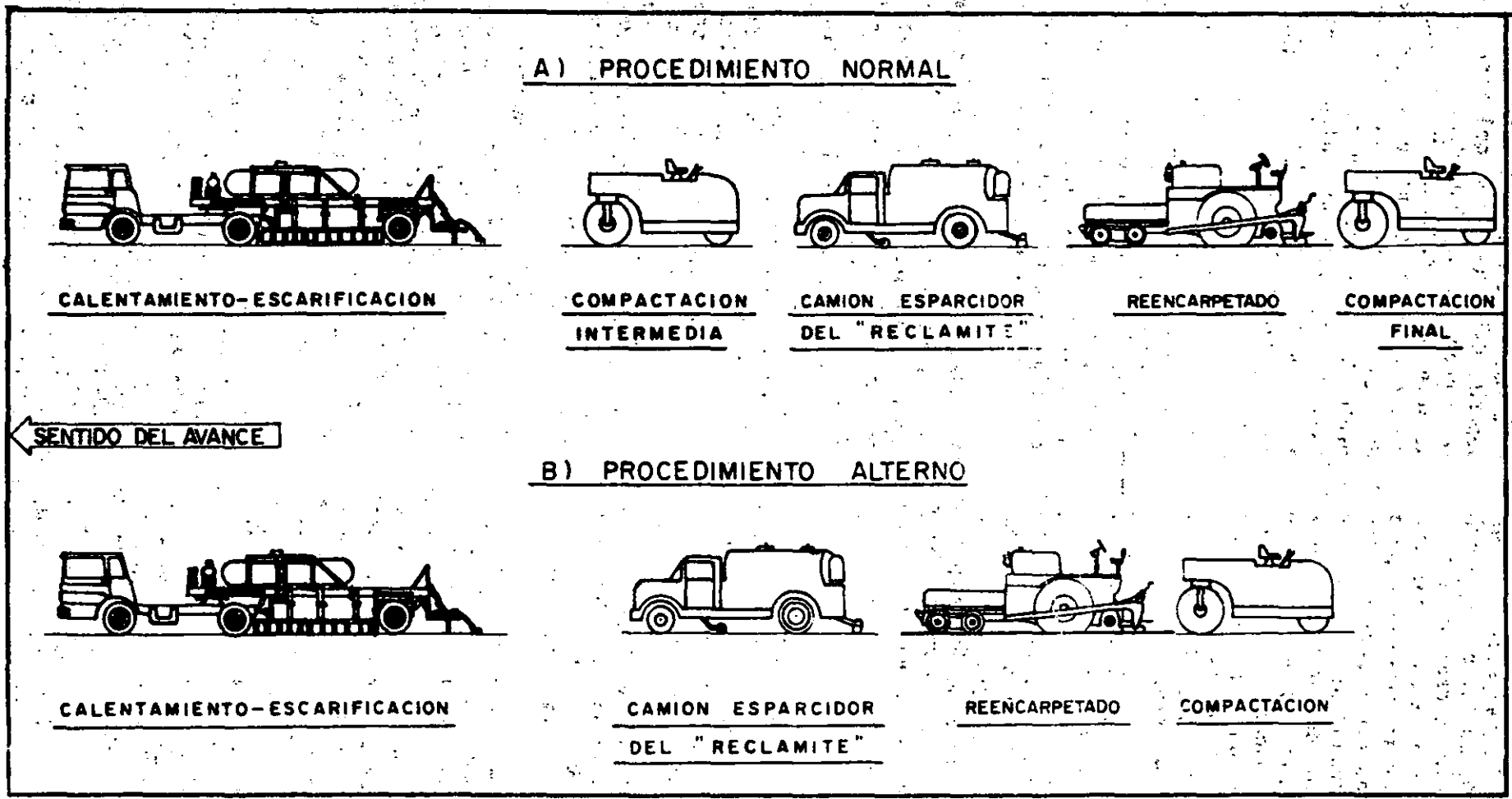


Fig. 2.3-7 Procedimiento de "reciclado" en el lugar

tubo. El resto de la zanja se rellena en capas menores de 20 cm de espesor, compactándolas 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 pues 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:

$$\frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{85} \text{ suelo}} \geq 5 \text{ (para filtro bien graduado)}$$

$$\frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{85} \text{ suelo}} \leq 4 \text{ (para filtro mal graduado)}$$

$$25 > \frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{15} \text{ suelo}} \geq 5$$

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_{85} 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.

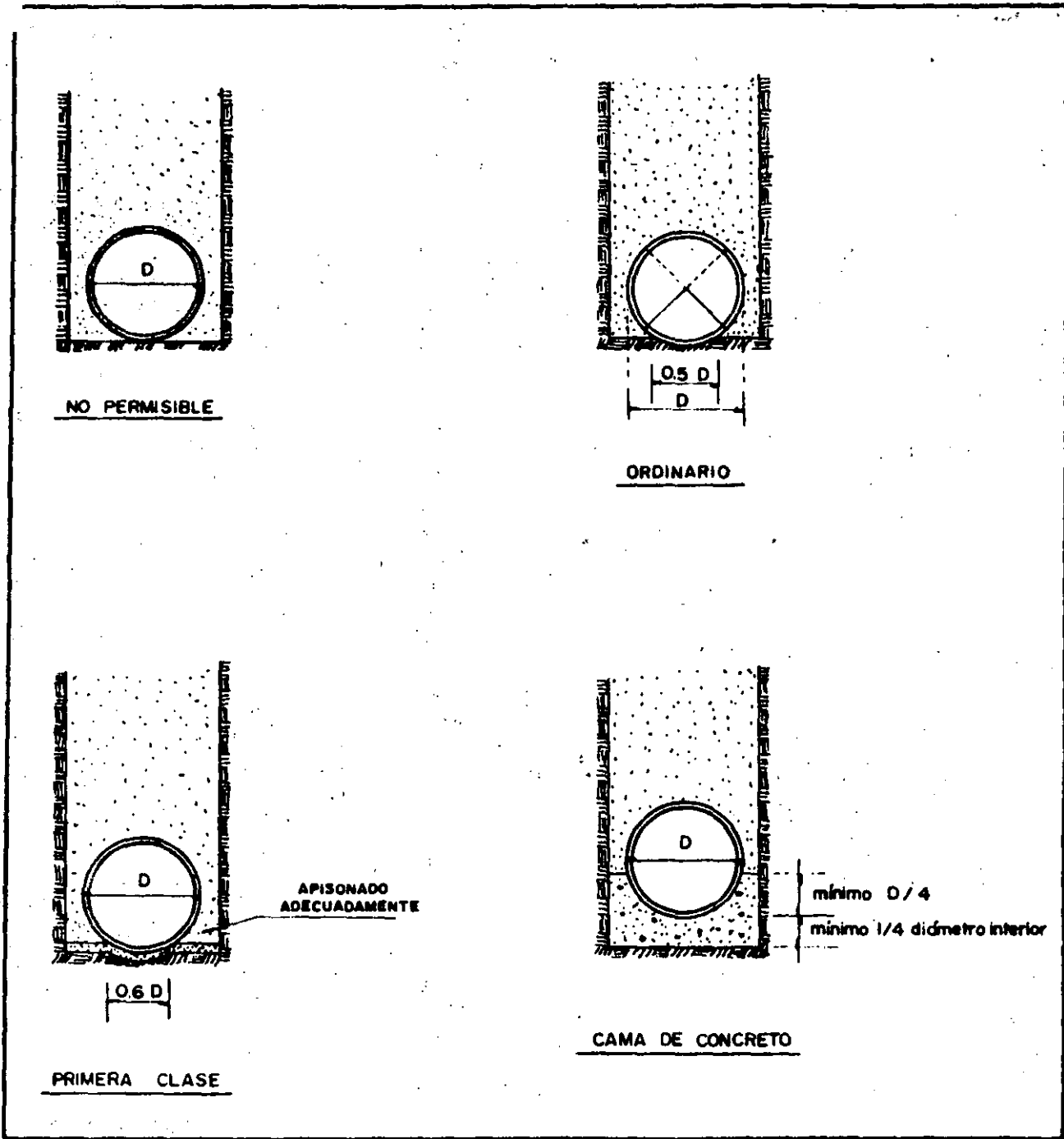


Fig. 2.3-8 Tipos de camas para tuberías en zanjas

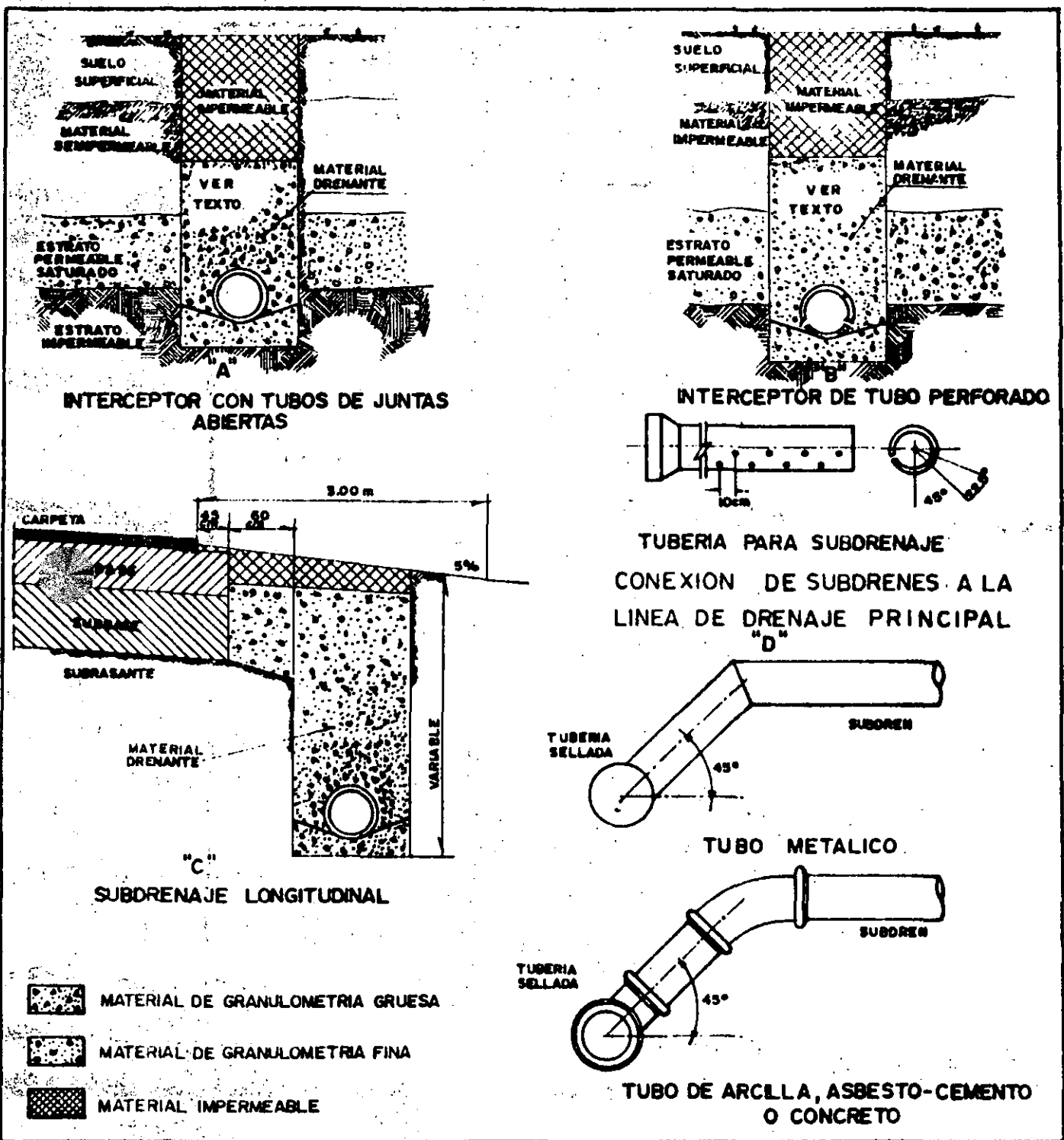
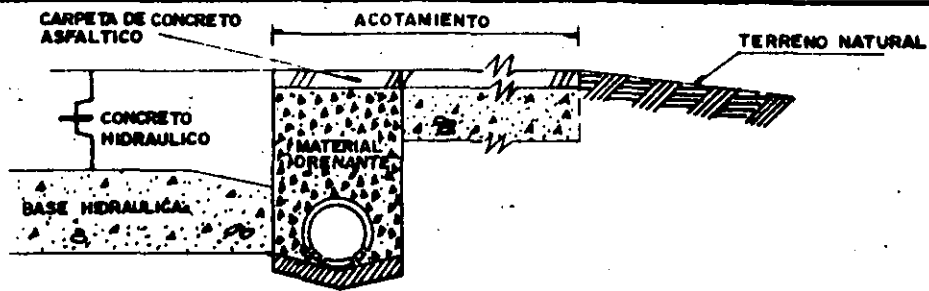
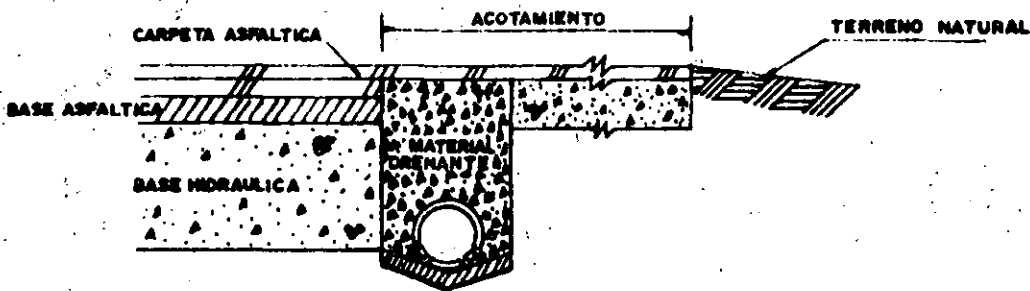


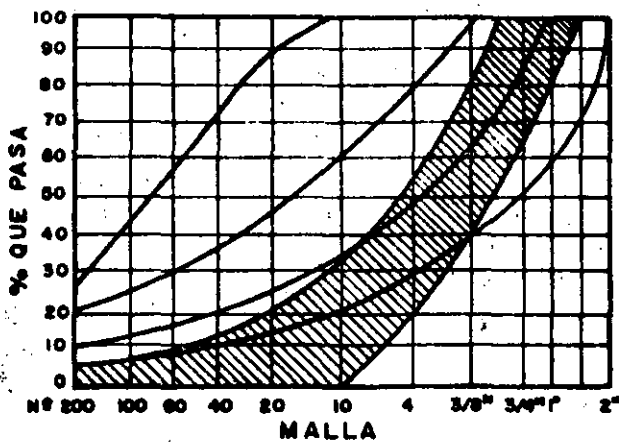
Fig. 2.3-9 Secciones transversales de subdrenes en zanja



DETALLE DEL SUBDREN



DETALLE DEL SUBDREN



ZONA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL DRENANTE

Fig. 2.3-10 Subdrenes, criterio S C T

Tabla 2.4-I 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: <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 - 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 - Sobre calentamiento de la mezcla asfáltica - 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 finos en la mezcla y/o - Drenaje deficiente 	<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"> - Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica - Construcción inadecuada del sello - Riego de liga o de impregnación excesivos - Solventes que acarrear el asfalto a la superficie - El paso de las cargas del tráfico pesado puede acelerar el sangrado 	<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 acarrear 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/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: <ul style="list-style-type: none"> - 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 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 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
Canalizaciones 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 los helados 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.e.) cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos) - Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (p.e. 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, compactado 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.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 - Si la falla es muy intensa "reciclar" la carpeta o colocar sobrecarpeta reforzada con un geotextil para evitar la reflexión de las grietas

253 11
077

Tabla 2.4-I 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 renovar con mezcla asfáltica (sólo de carácter temporal)
Crecimiento de hierba y ramamiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Textura de la carpeta demasiado abierta - Capa base saturada de agua - Agua atrapado en la carpeta durante la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir el subdrenaje y/o el drenaje si éstos 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)

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

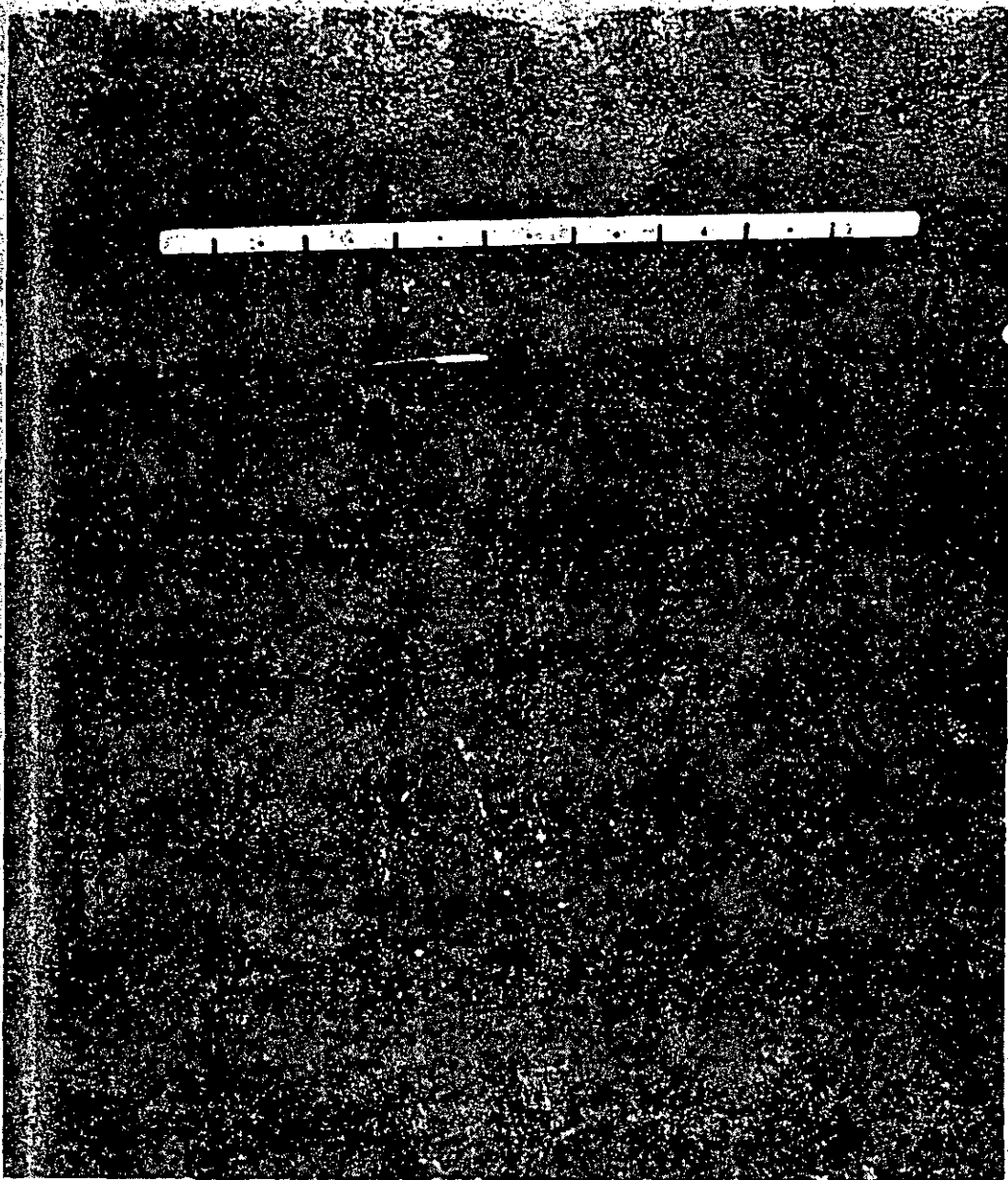


Fig. 2.5-1 Erosión de la superficie del pavimento probablemente ocasionada por el chorro de las turbinas y el paso de las ruedas en combinación con una pobre adherencia del asfalto con los agregados pétreos

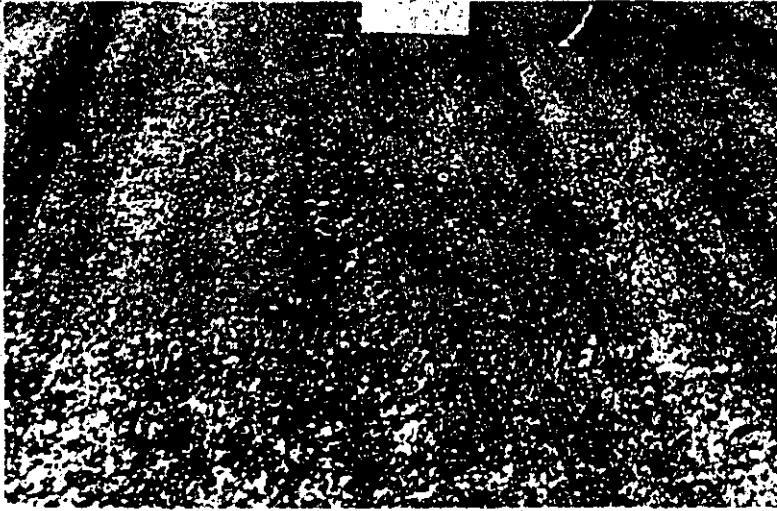


Fig. 2.5-2 Erosión del pavimento



Fig. 2.5-3 Detalle de erosión del pavimento

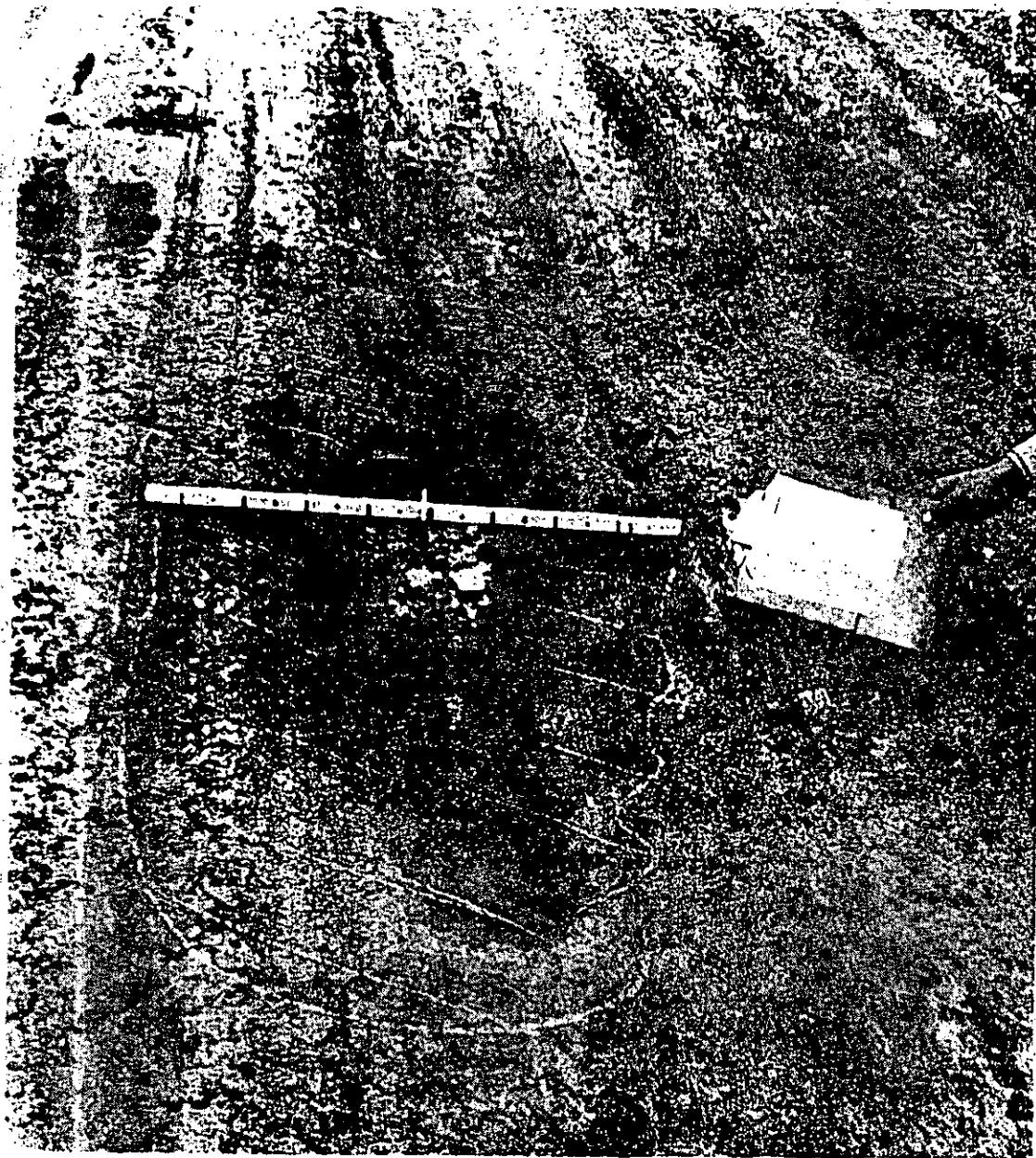


Fig. 2.5-4 Destrucción localizada de la carpeta probablemente debido a derrame de combustible combinado con el paso de las ruedas de los aviones

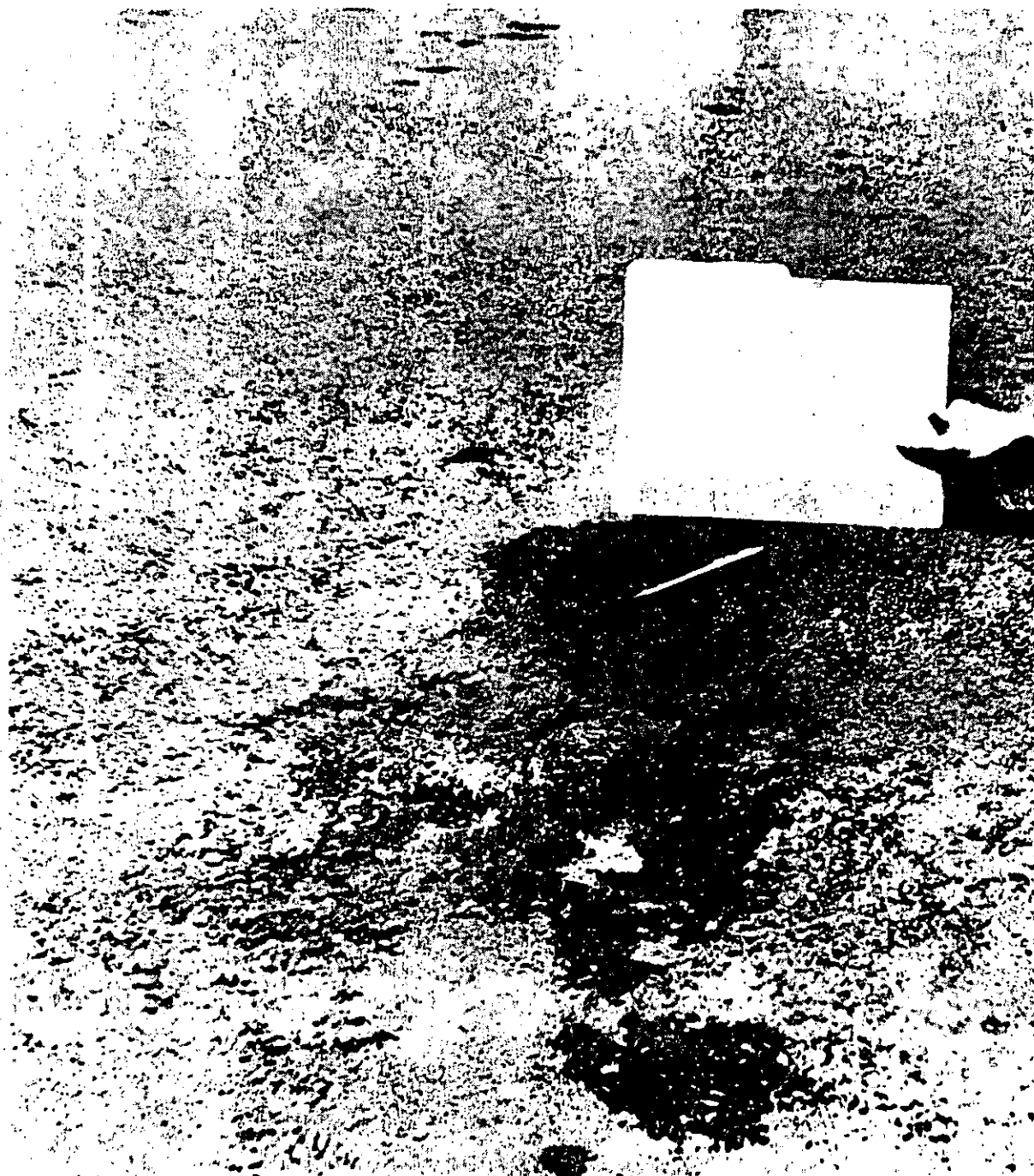
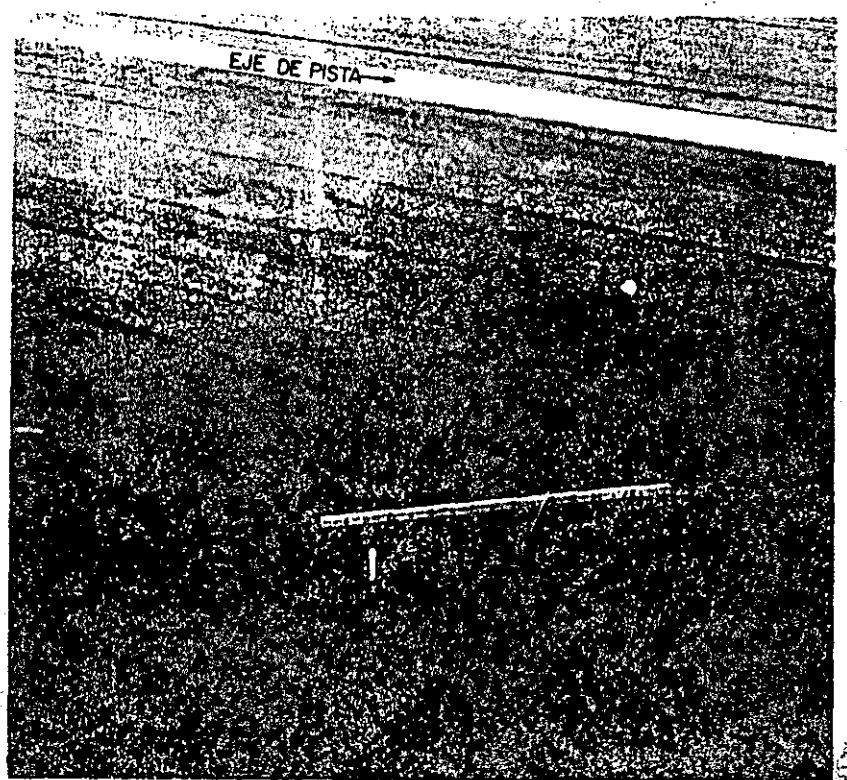


Fig. 2.5-5 Disgregación o desmoronamiento

Fig. 2.5-6 Agujero con agua



Fig. 2.5-7 Agujeros



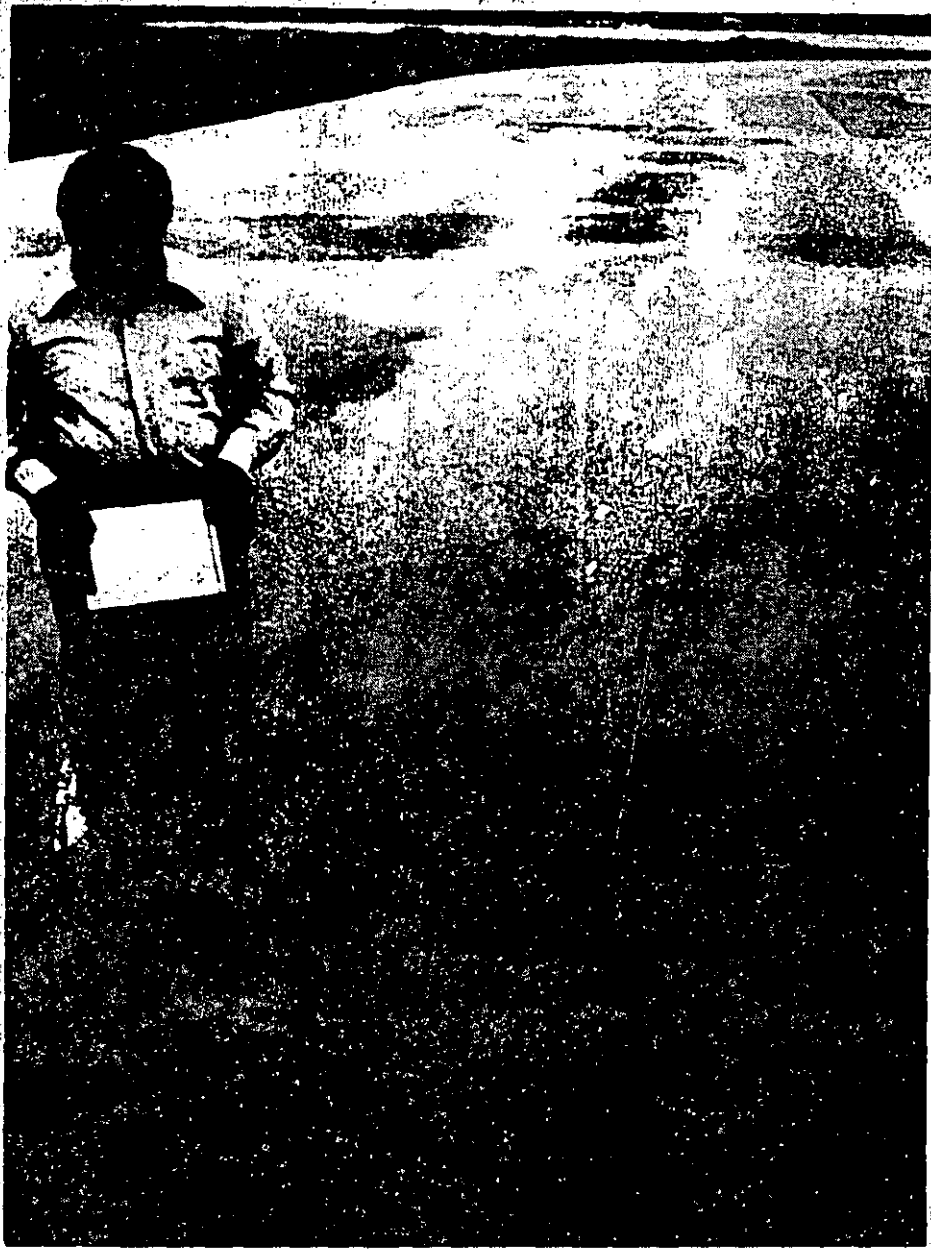


Fig. 2.5-8 Sangrado o afloramiento de asfalto y formación de pequeños charcos en una calle de rodaje

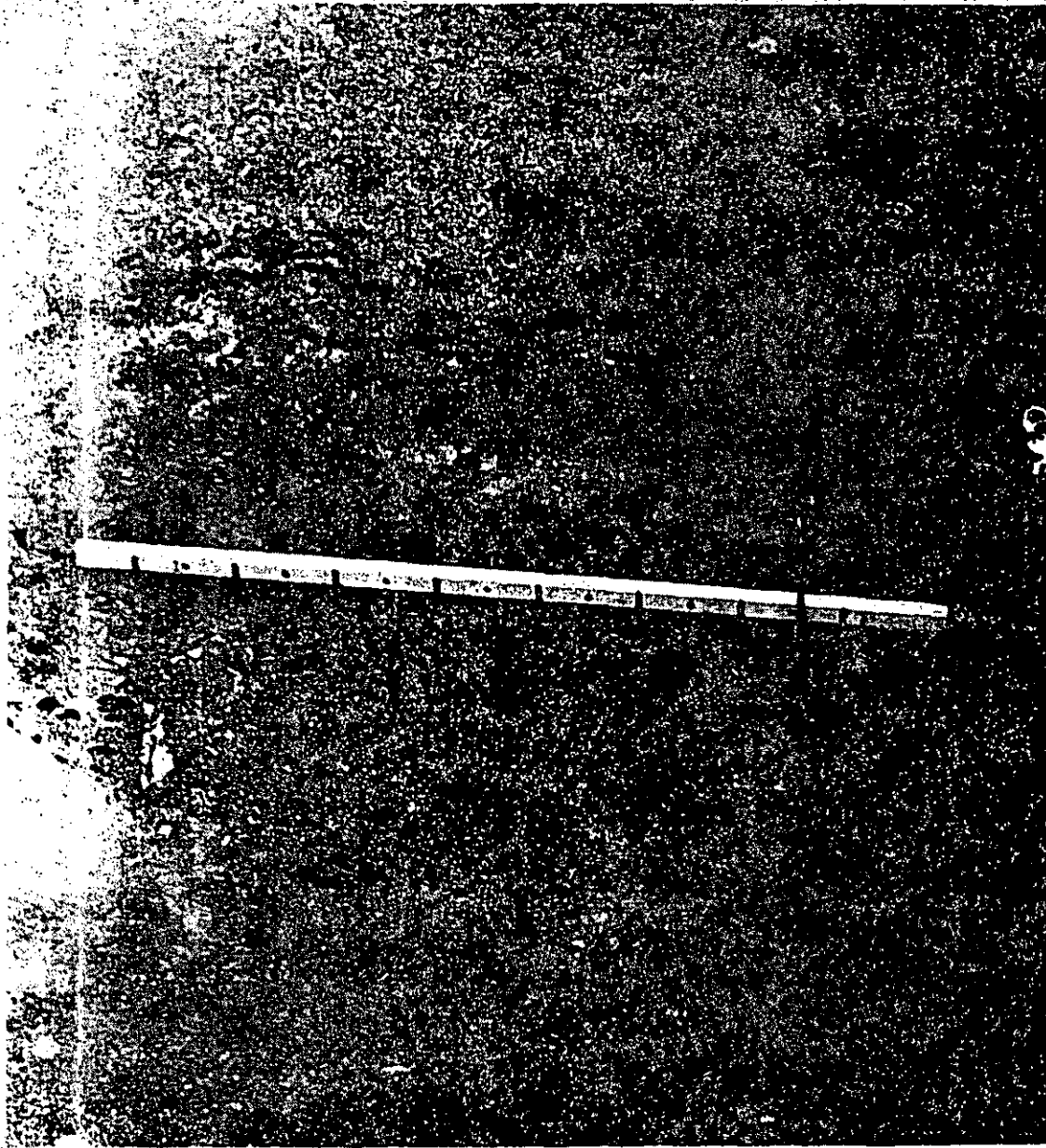


Fig. 2.5 - 9 . Afloramiento de asfalto con burbujas de agua atrapadas



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

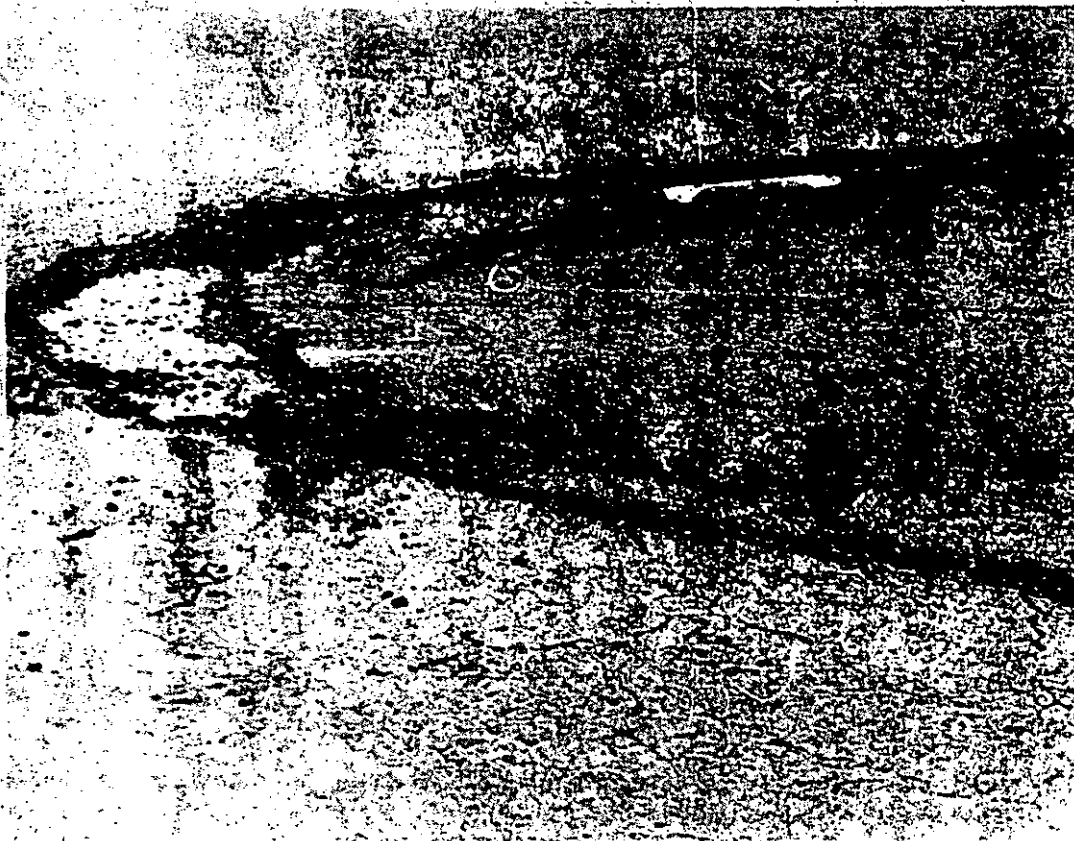


Fig. 2.5-12 Corrimiento de la sobrecarpeta en una vía de circulación de camiones pesados, debido probablemente a la liga defectuosa entre la sobrecarpeta y la superficie original del pavimento, combinado con la acción de frenado de los vehículos

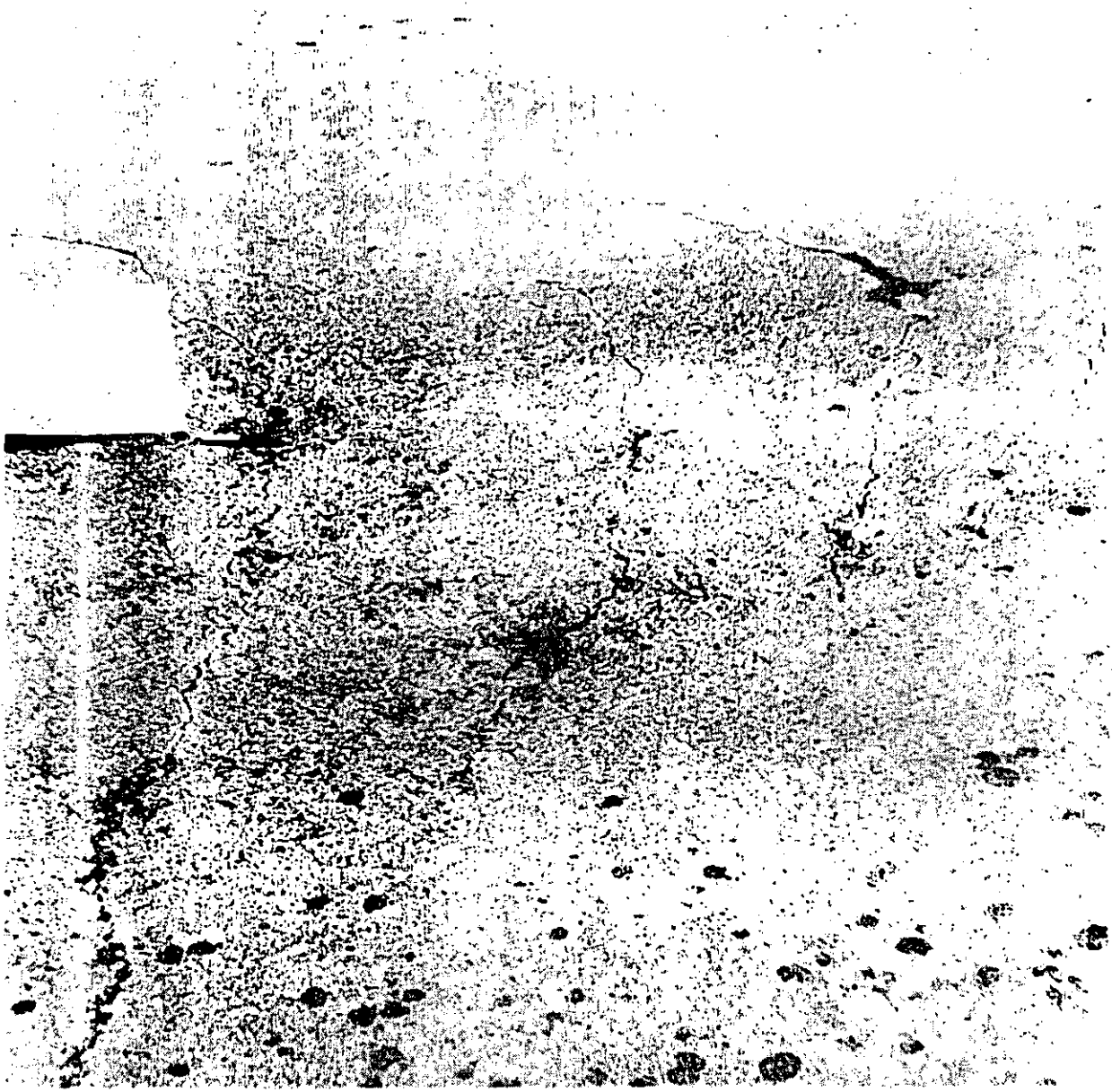


Fig. 2.5-13 Agrietamientos en forma de media luna en una calle de rodaje, en las inmediaciones del cruce con una pista, lo que obliga a frenar a los aviones que circulan por ella. Indicios de corrimientos de la carpeta, que presenta un espesor superior a 30 cm. Afloramiento de agua al paso de los aviones, subdrenaje defectuoso

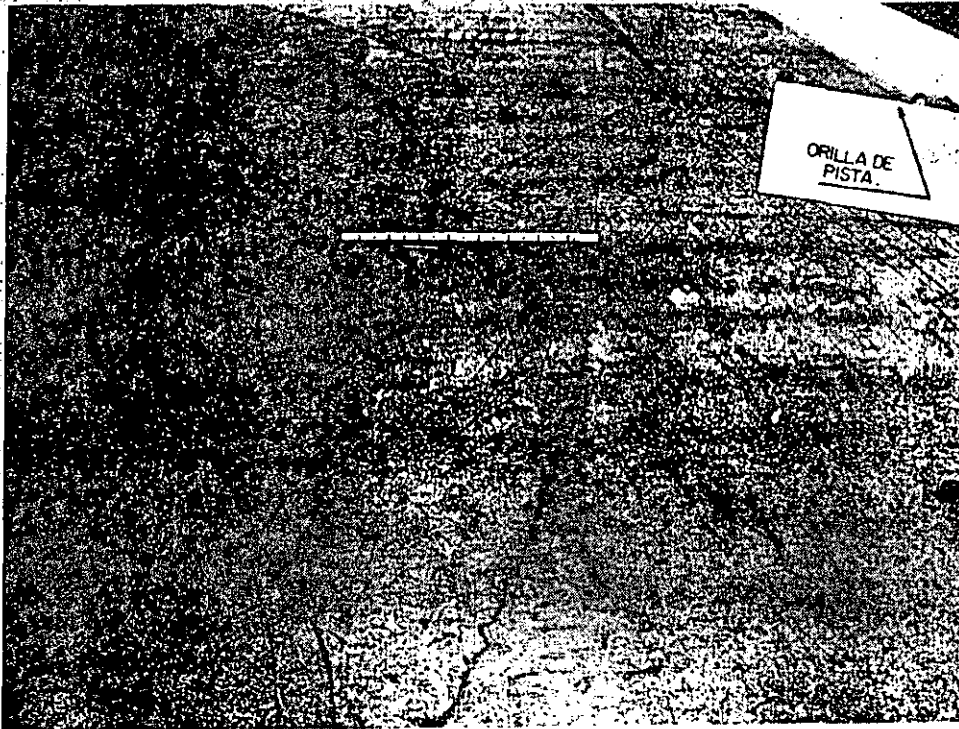


Fig. 2.5-14 Corrimientos circulares o radiales

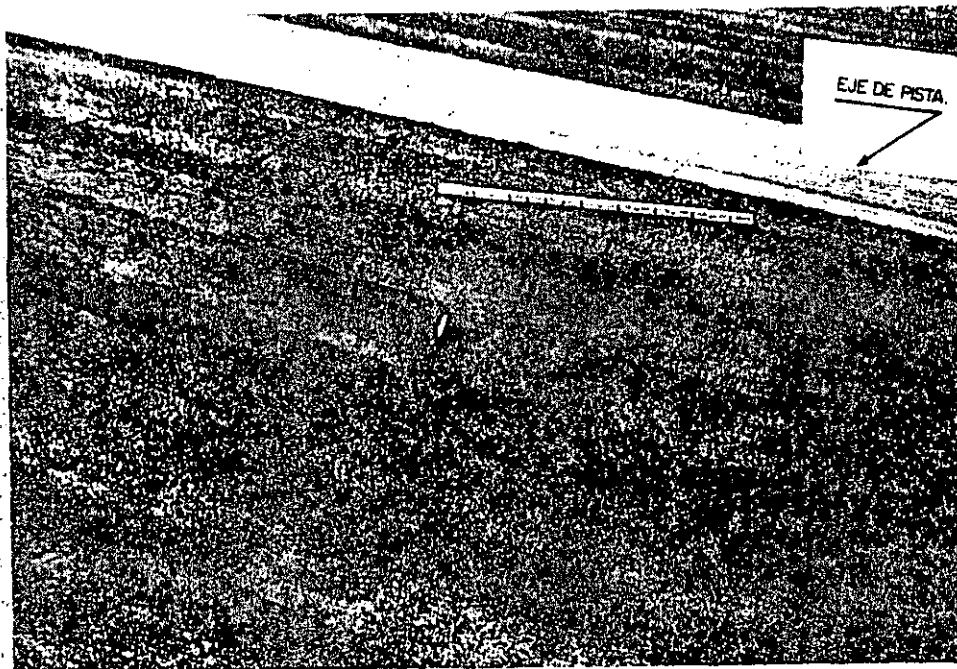


Fig. 2.5-15 Corrimientos circulares

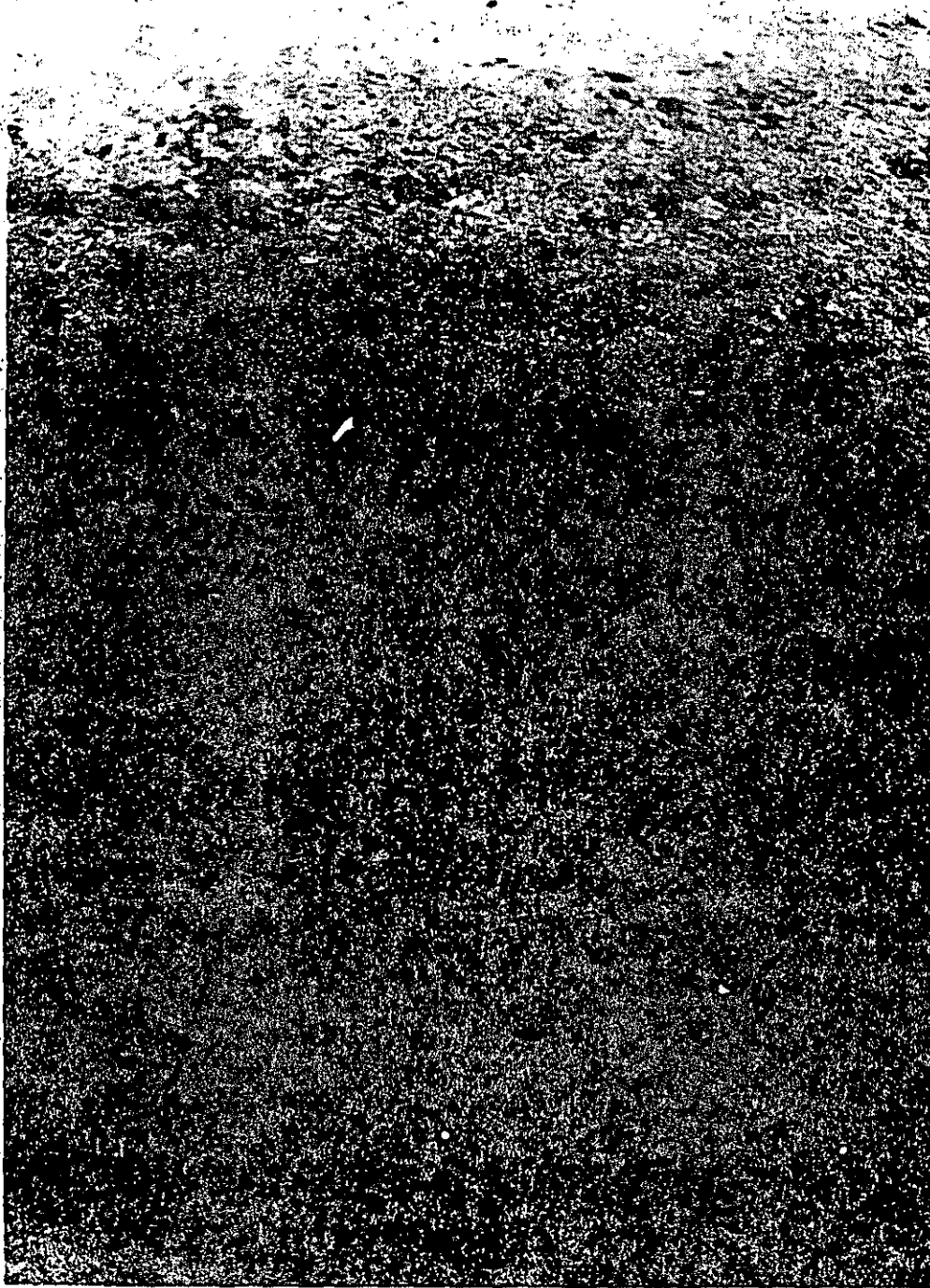


Fig. 2.5-16 Corrimiento debido al pivoteo de un avión sobre una carpeta con poca estabilidad



Fig. 2.5-17 Corrugaciones del pavimento y pequeños 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. 2.5-21-C Muestra de una reciente colisión de las aves contra un avión

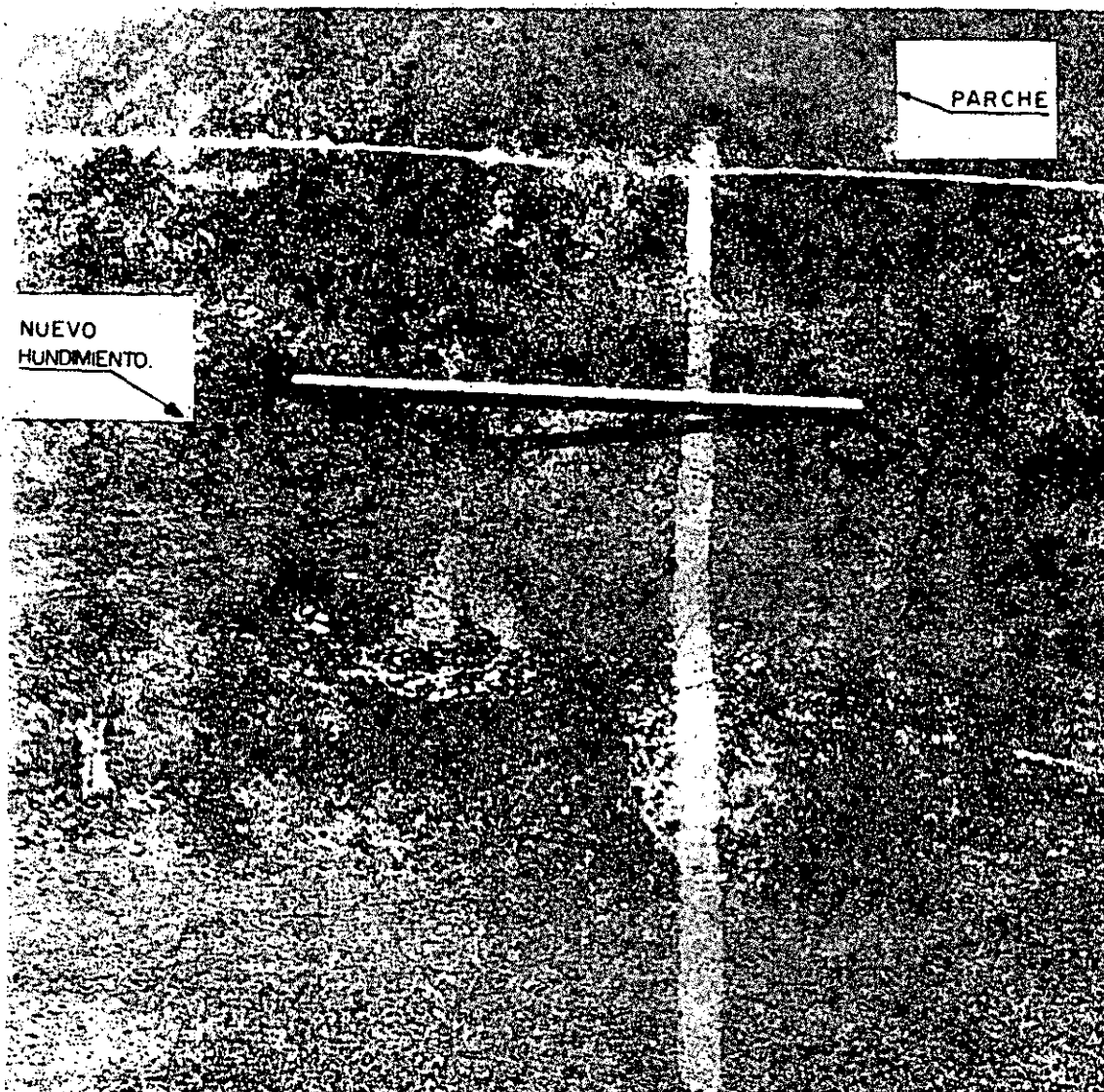


Fig. 2.5-22 Hundimiento en una vía para vehículos terrestres causado probablemente por la compactación inadecuada del material de relleno de la zanja que aloja la tubería de drenaje, o por la utilización de un material de relleno inadecuado y/o por el efecto de tubificación al ser arrastrado el material de relleno a través de aberturas en la tubería

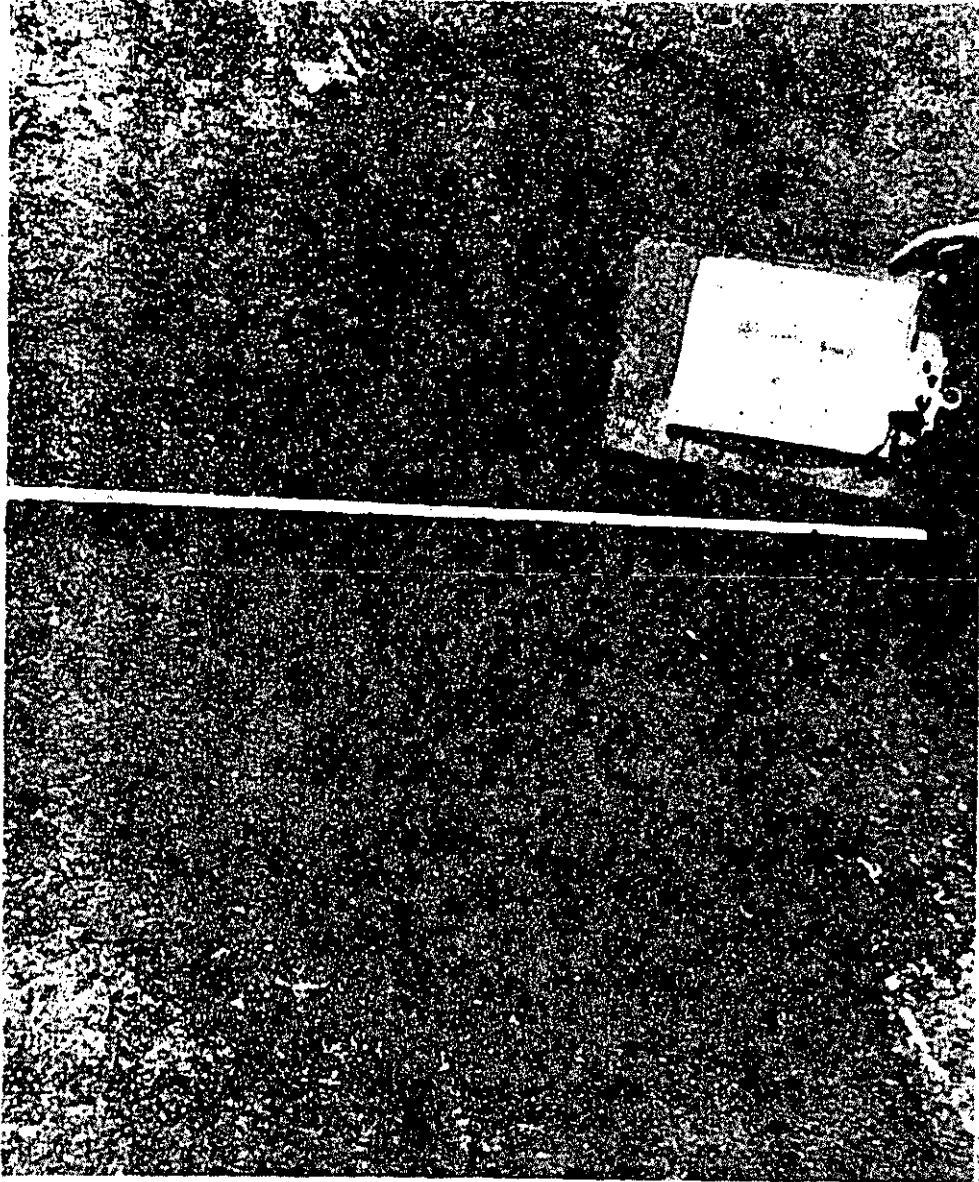


Fig.2.5-23 Grieta con hundimiento. Canalización en una calle de rodaje; obsérvese la huella del tren de aterrizaje de un avión



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 orillo

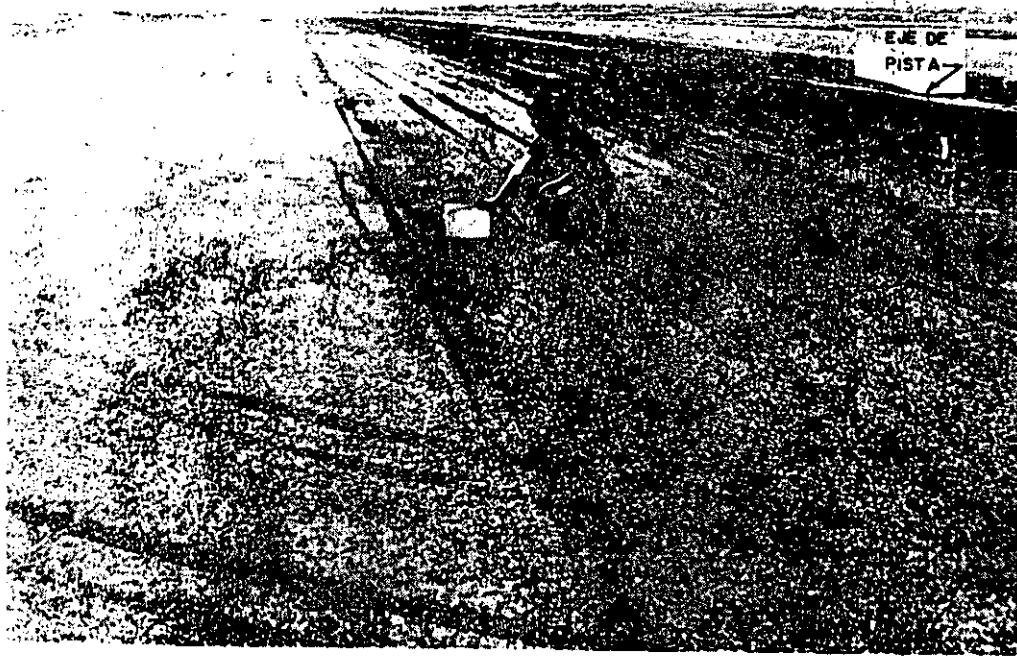


Fig. 2.5-28 Grietas longitudinales de junta

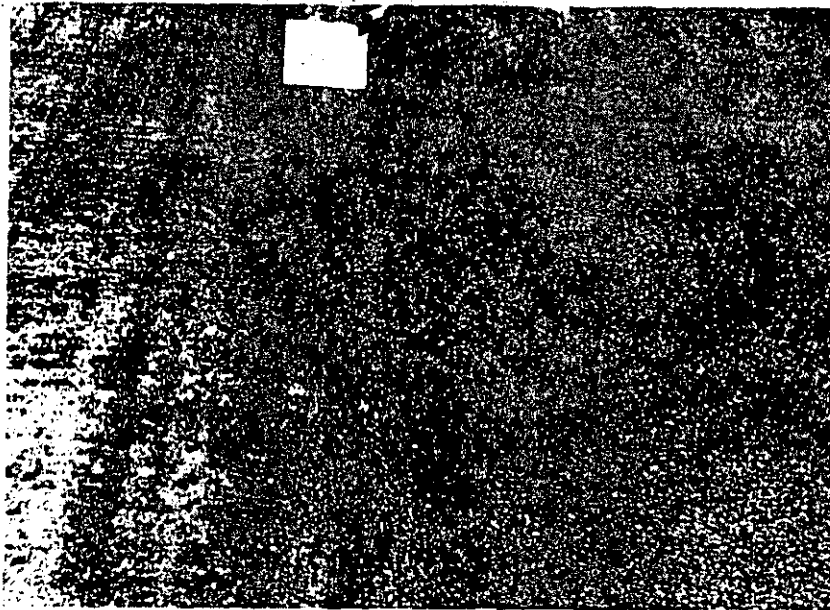


Fig. 2.5-29 Detalle de grietas longitudinales de junta

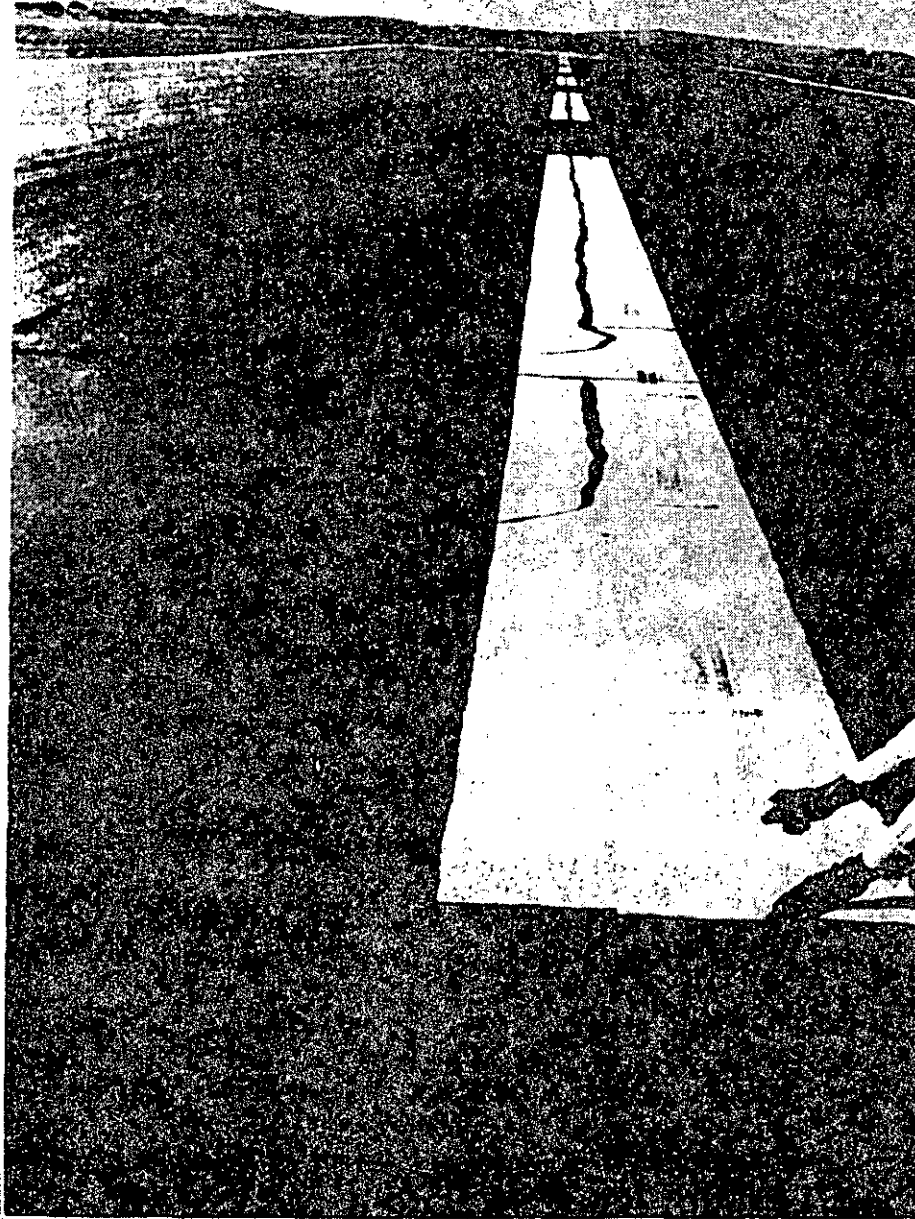


Fig. 2.5-30 Grietas longitudinales en el eje de la pista

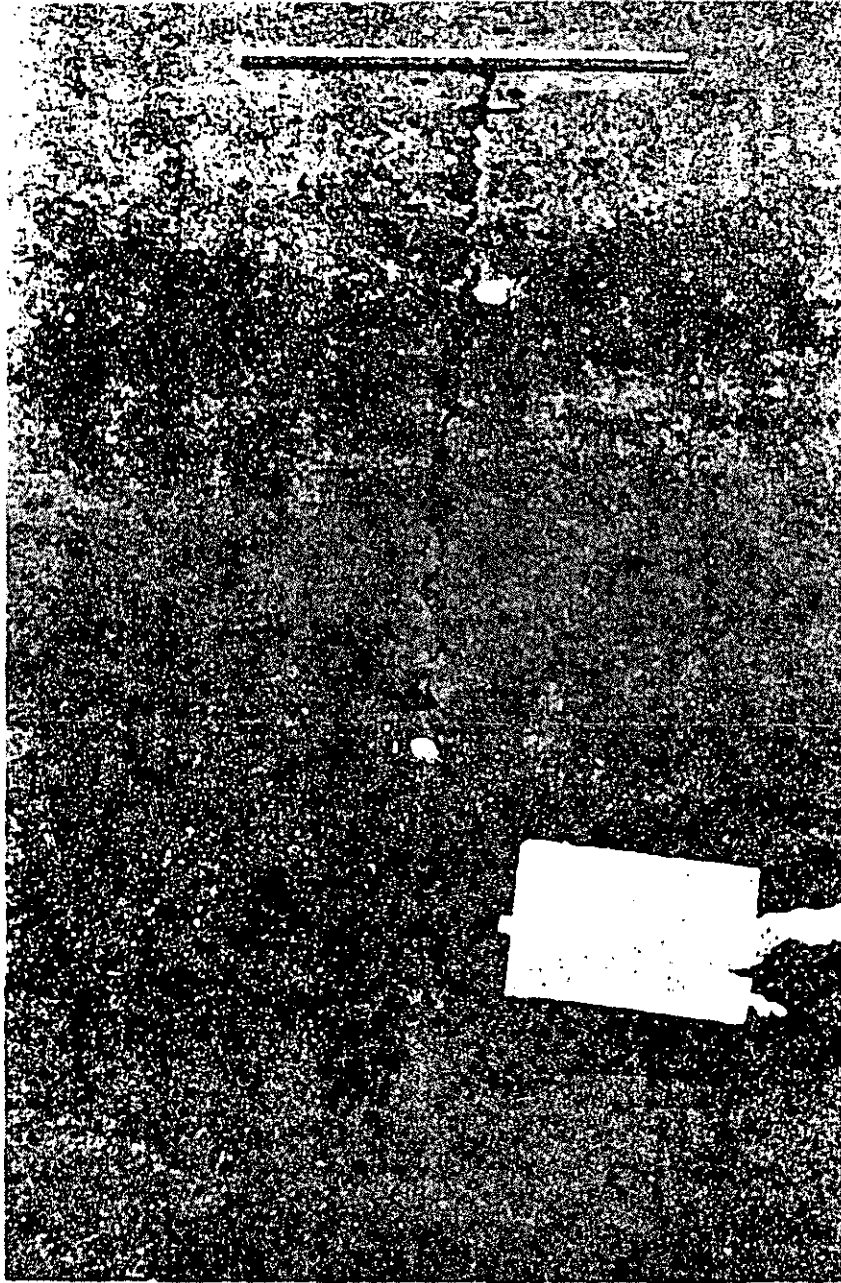


Fig. 2.5 -31 Grieta longitudinal acompañada de ligeras deformaciones. La introducción del agua de lluvia a través de la grieta hace más críticas las condiciones de trabajo del pavimento

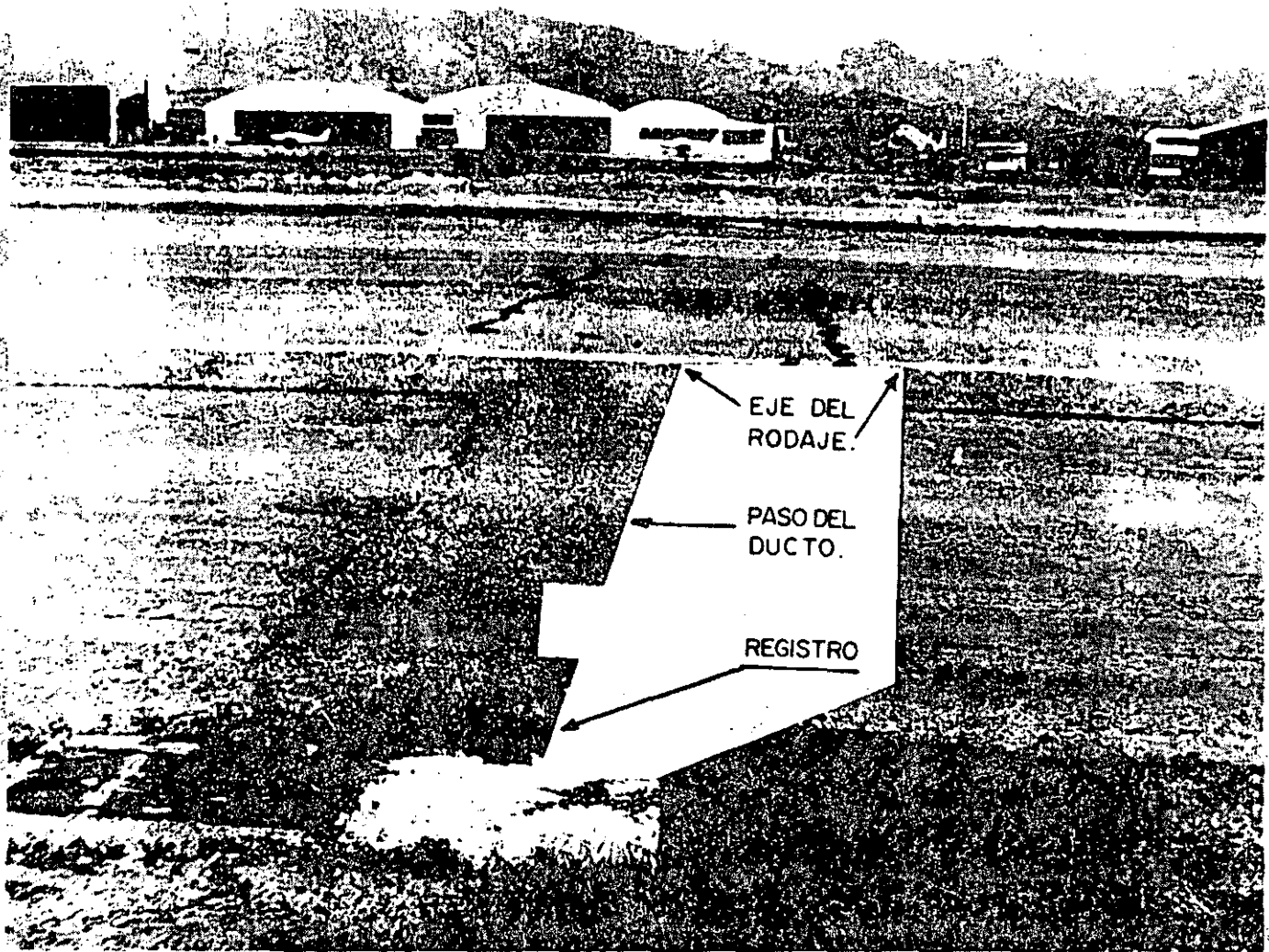


Fig. 2.5-32 Grietas transversales en la zona de pavimento cruzada por un ducto.

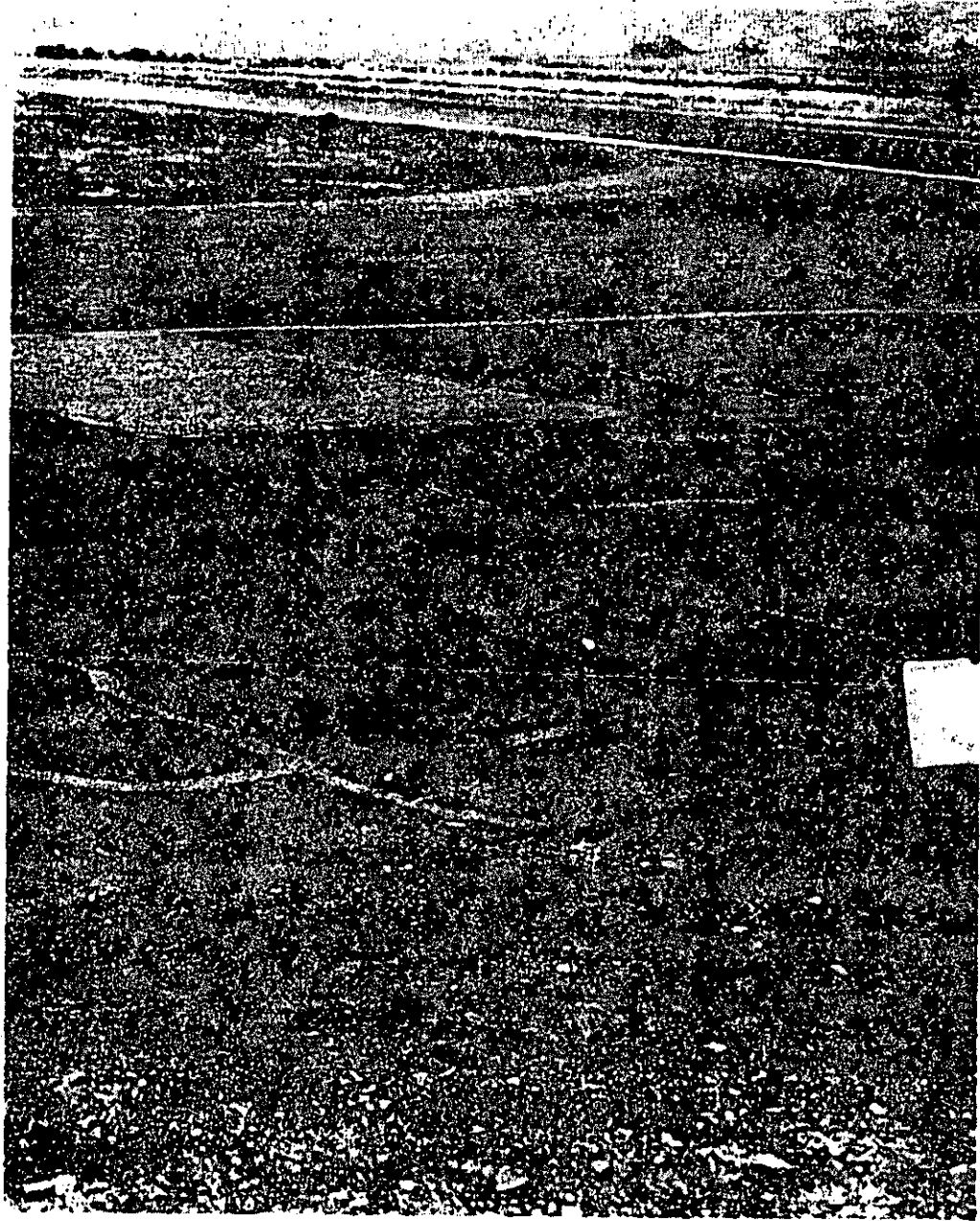


Fig. 2.5 - 33 Grietas transversales y un bache reparado. Es deseable que el acabado del parche sea igual que el del pavimento que lo rodea, y es indispensable que los niveles de sus superficies coincidan

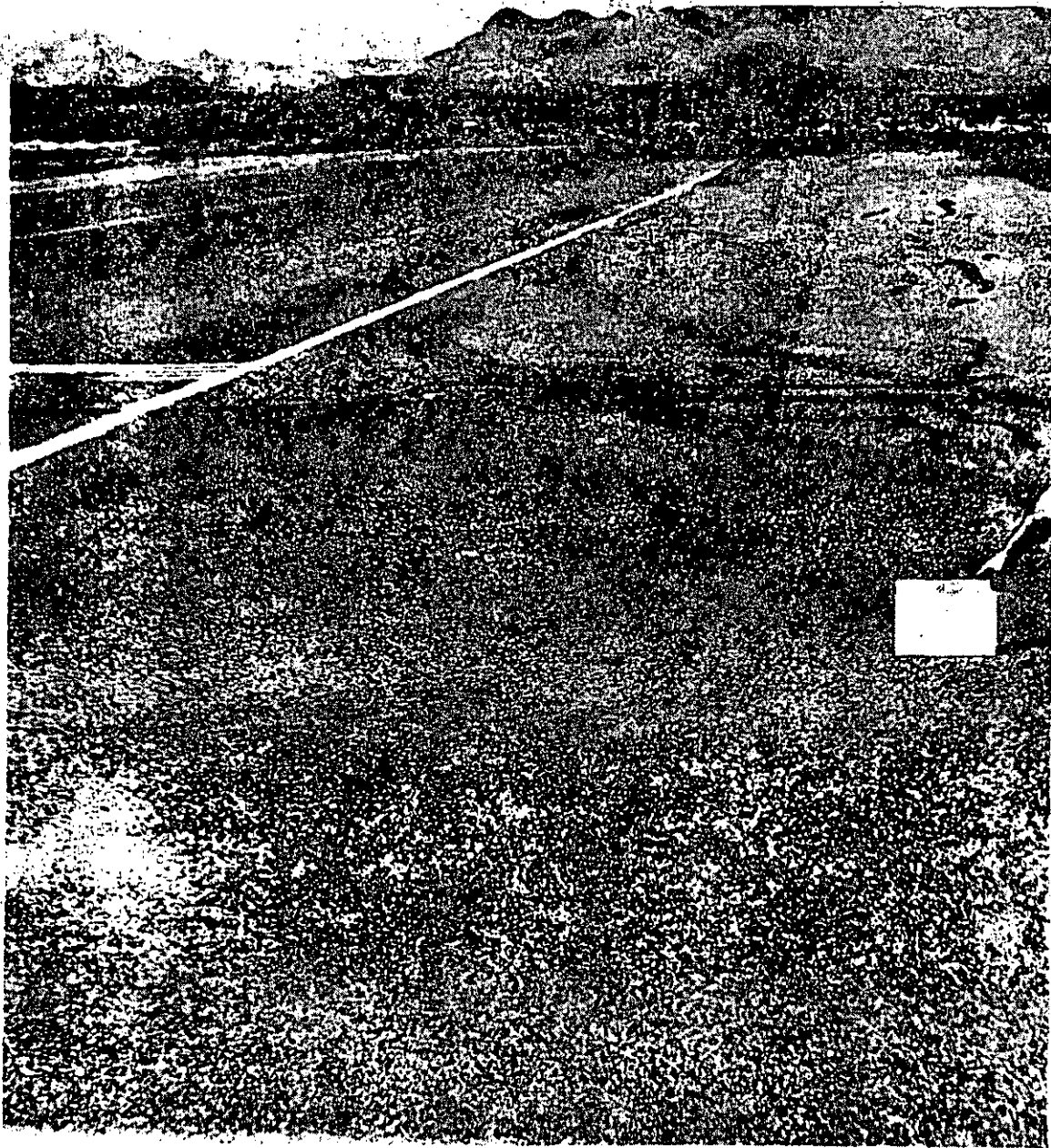


Fig. 2.5 - 34 Grietas longitudinales y transversales ocasionadas probablemente por el secado de los suelos

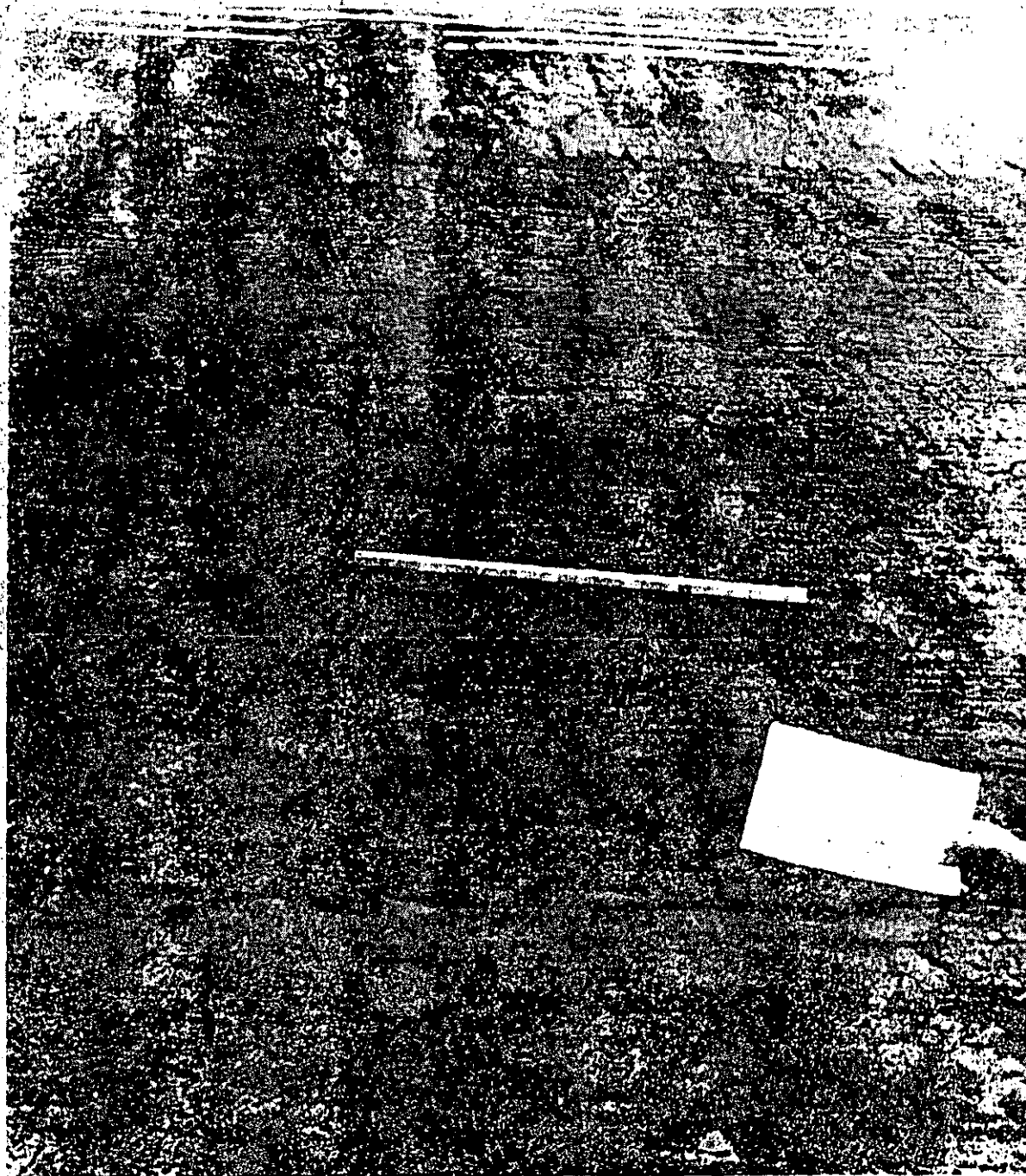


Fig. 2.5-35 Probables grietas de contracción en un rodaje con poco tráfico

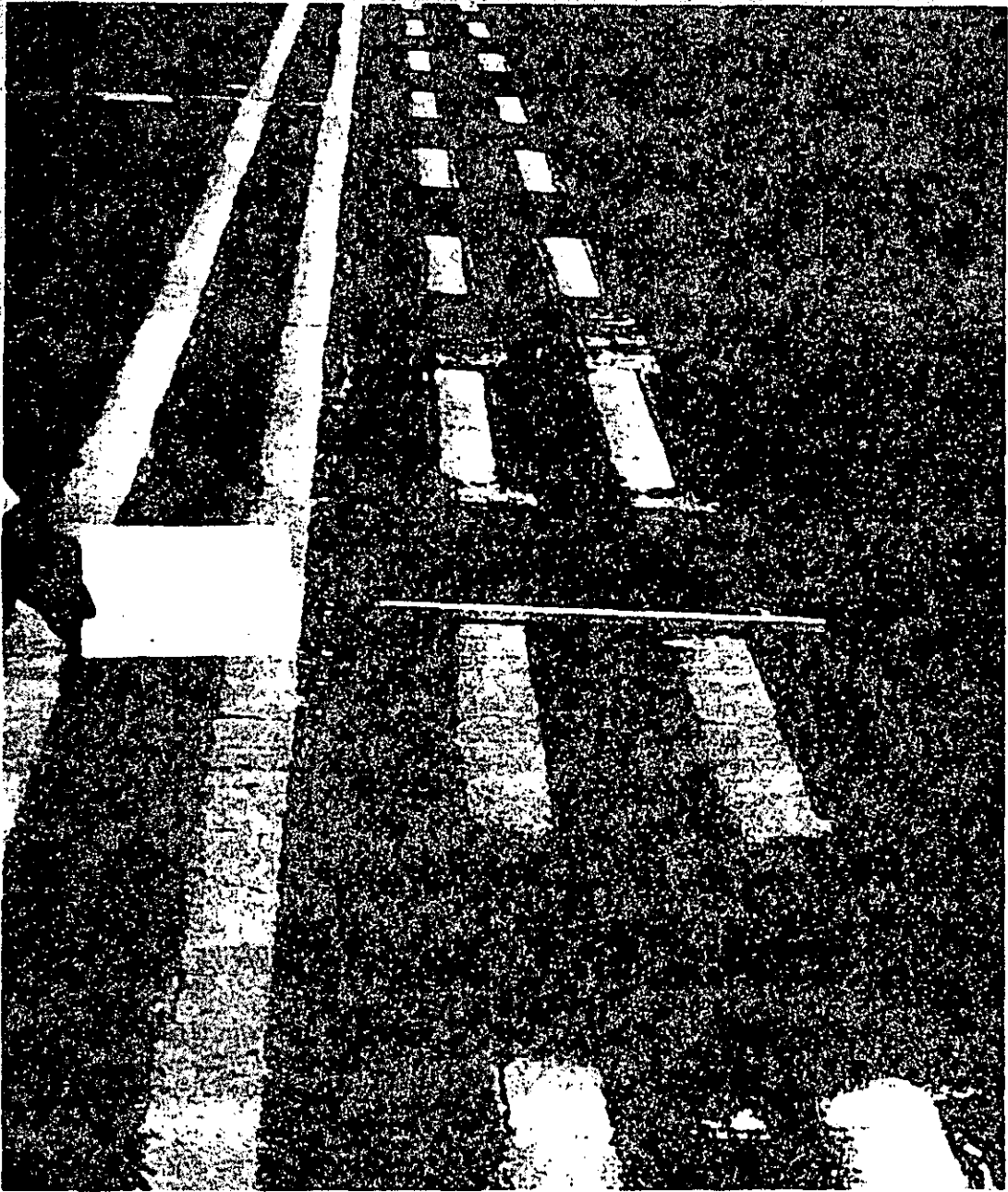


Fig. 2.5-36 Grietas de contracción probablemente ocasionadas por la diferente absorción térmica debida a la diferencia de colores de la superficie. Las marcas de pintura actuales no coincidieron con las anteriores

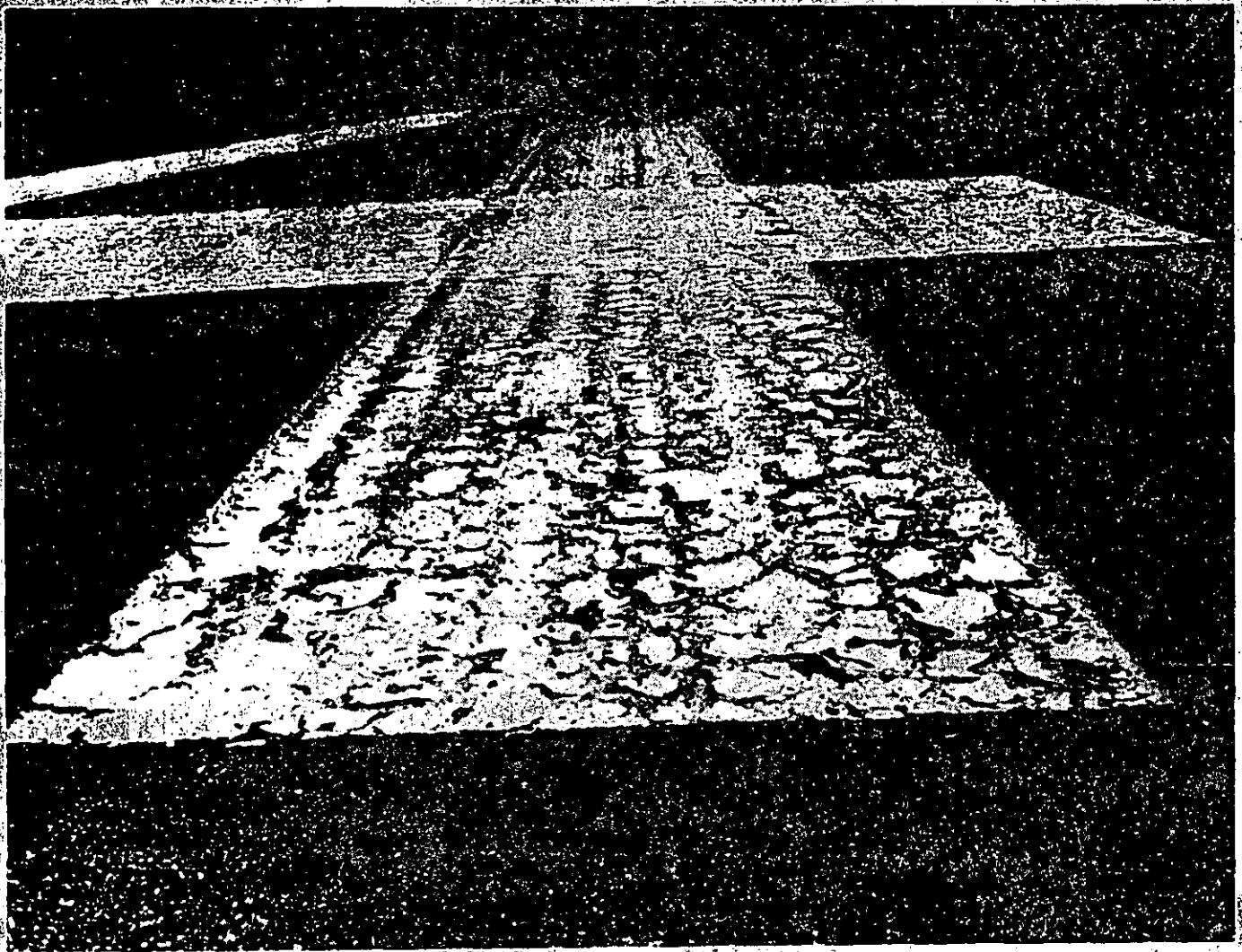


Fig. 2.5-37 Grietas de contracción probablemente ocasionadas por las marcas de pintura. Es importante escoger el tipo de pintura con las características adecuadas de adherencia al pavimento, elasticidad, durabilidad y visibilidad; así mismo, seguir los procedimientos correctos para su aplicación

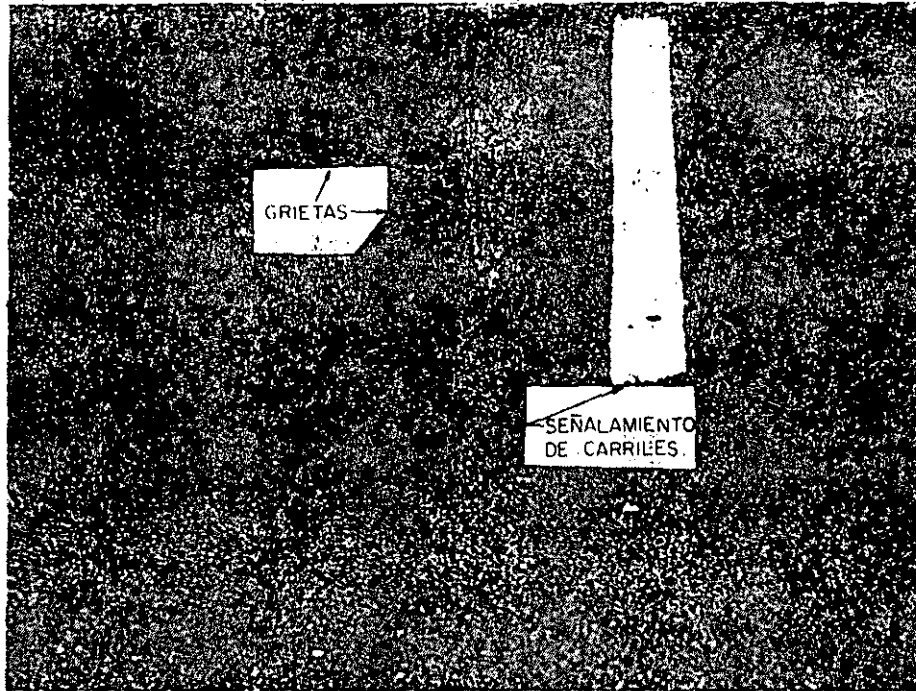


Fig. 2.5-38 Grietas de reflexión en una sobrecarpeta colocada sobre un pavimento rígido

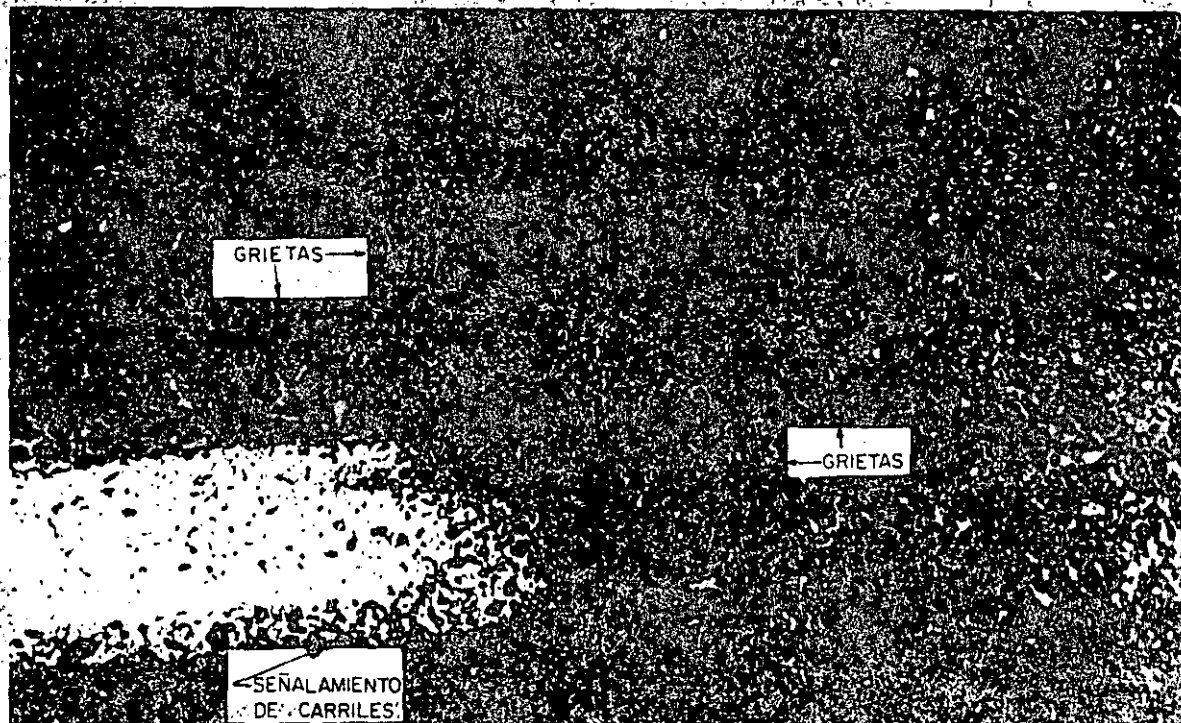


Fig. 2.5-39 Más grietas de reflexión en sobrecarpeta

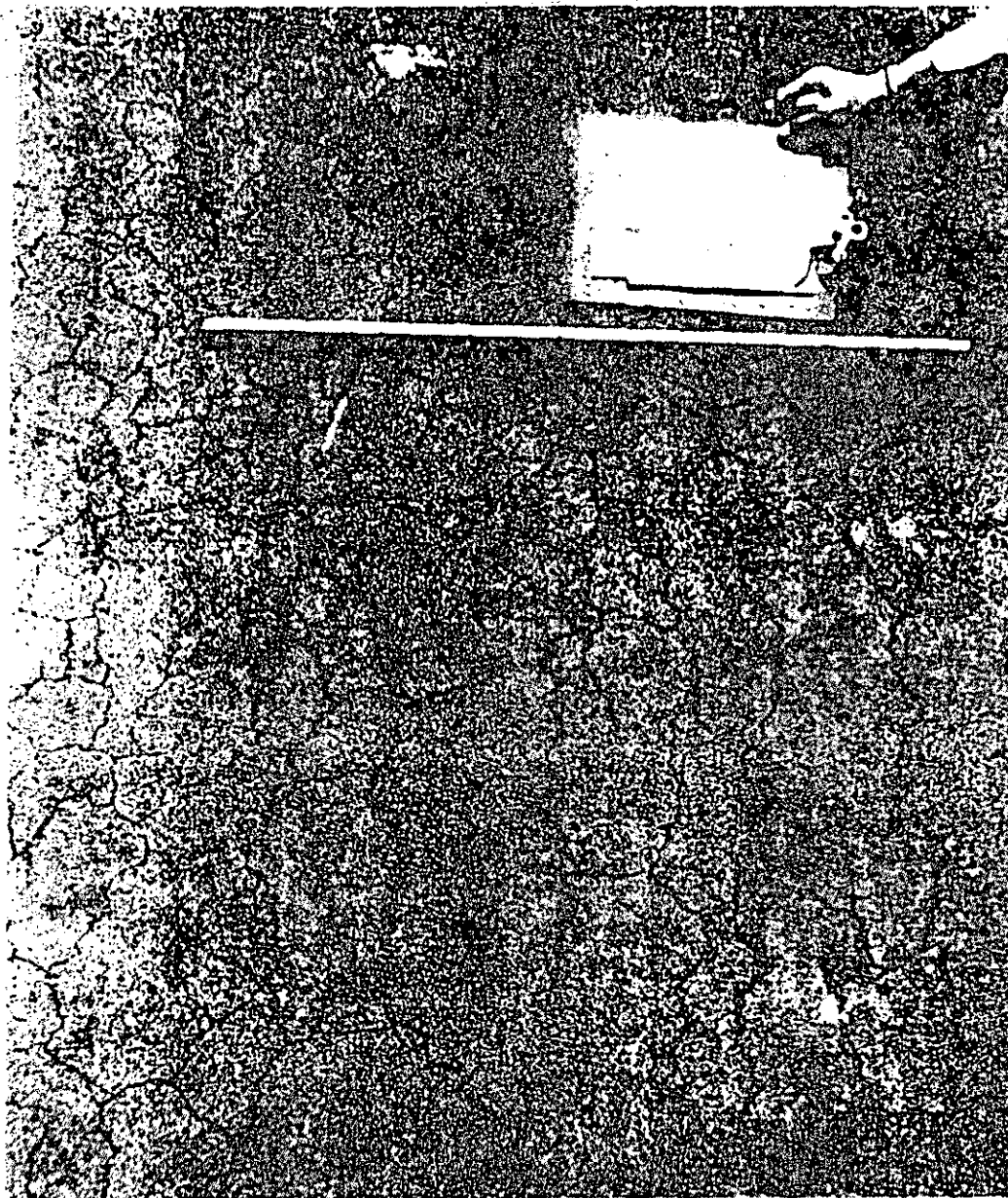


Fig. 2.5-40 Grietas en forma de piel de cocodrilo con espacios regulares y asentamientos de relativa gran amplitud, lo cual es indicativo de que el problema proviene de las capas más alejadas de la superficie.
Los espacios estrechos indican que también hay problema en las capas superiores

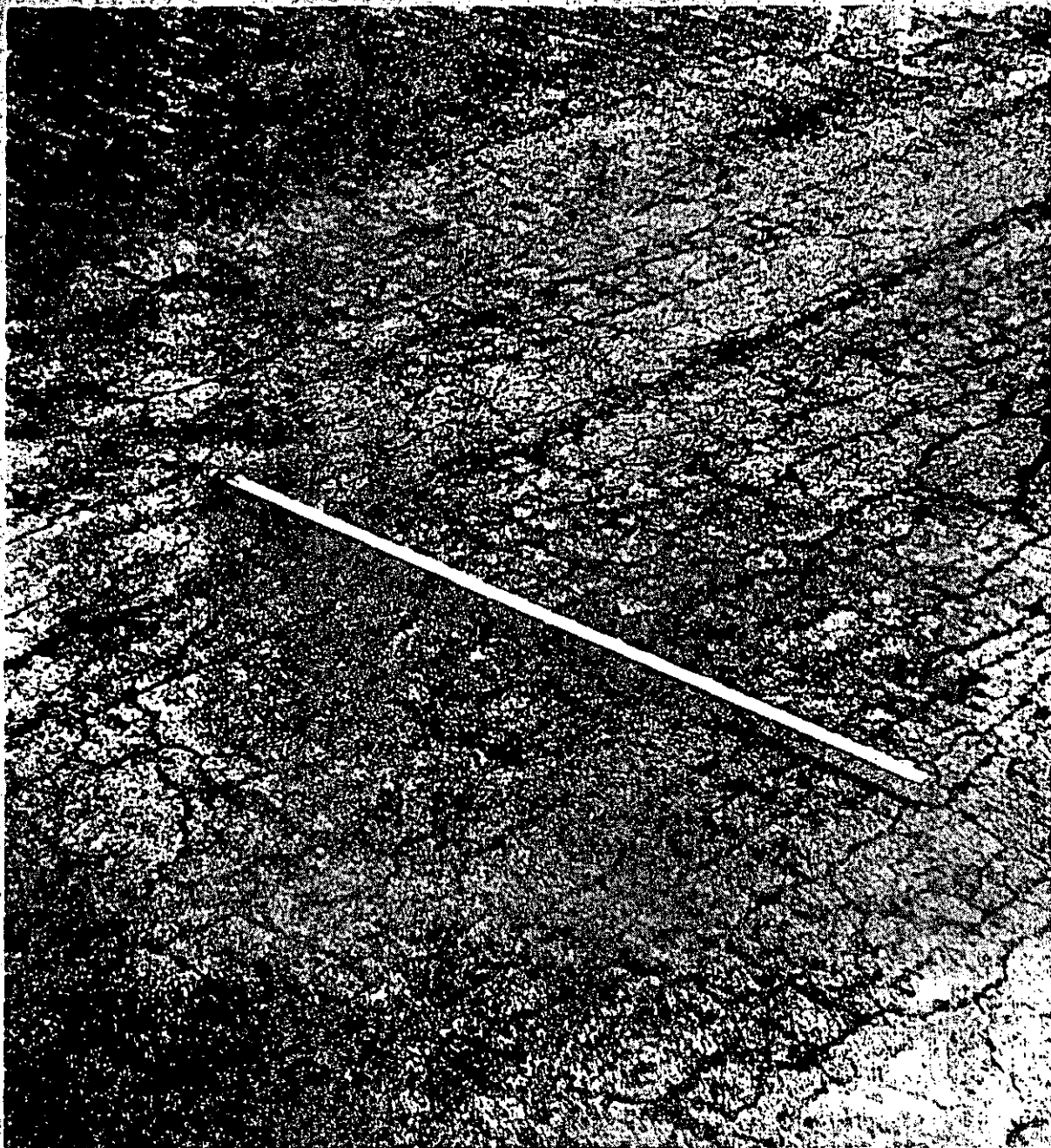


Fig. 2.5-41 Asentamientos y grietas en forma de piel de cocodrilo, en la faja de rodamiento de una calle de rodaje

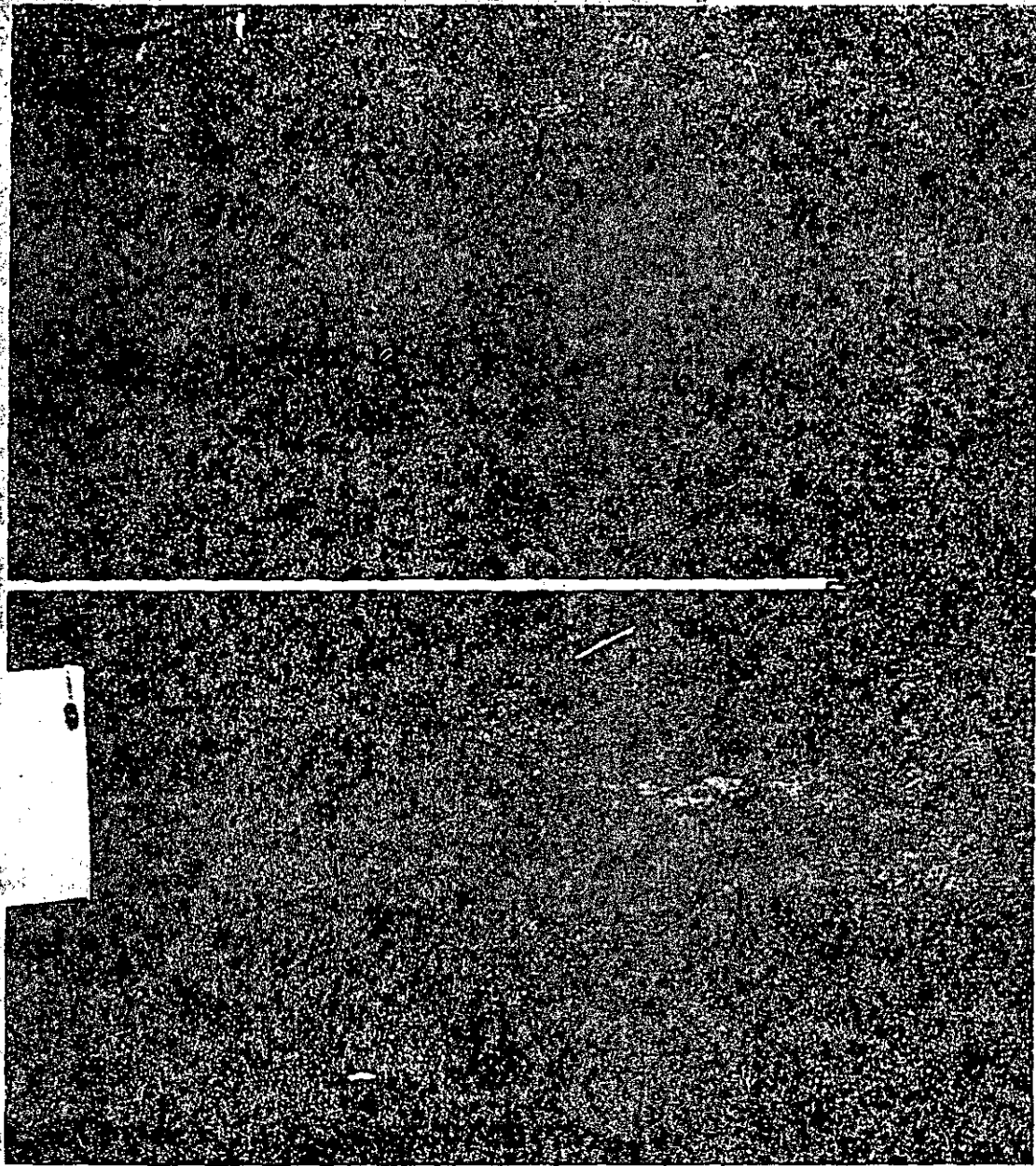


Fig. 2.5-42 Asentamientos y agrietamientos tipo piel de cocodrilo con espacios estrechos, lo cual es indicativo que el problema esta en las capas cercanas a la superficie

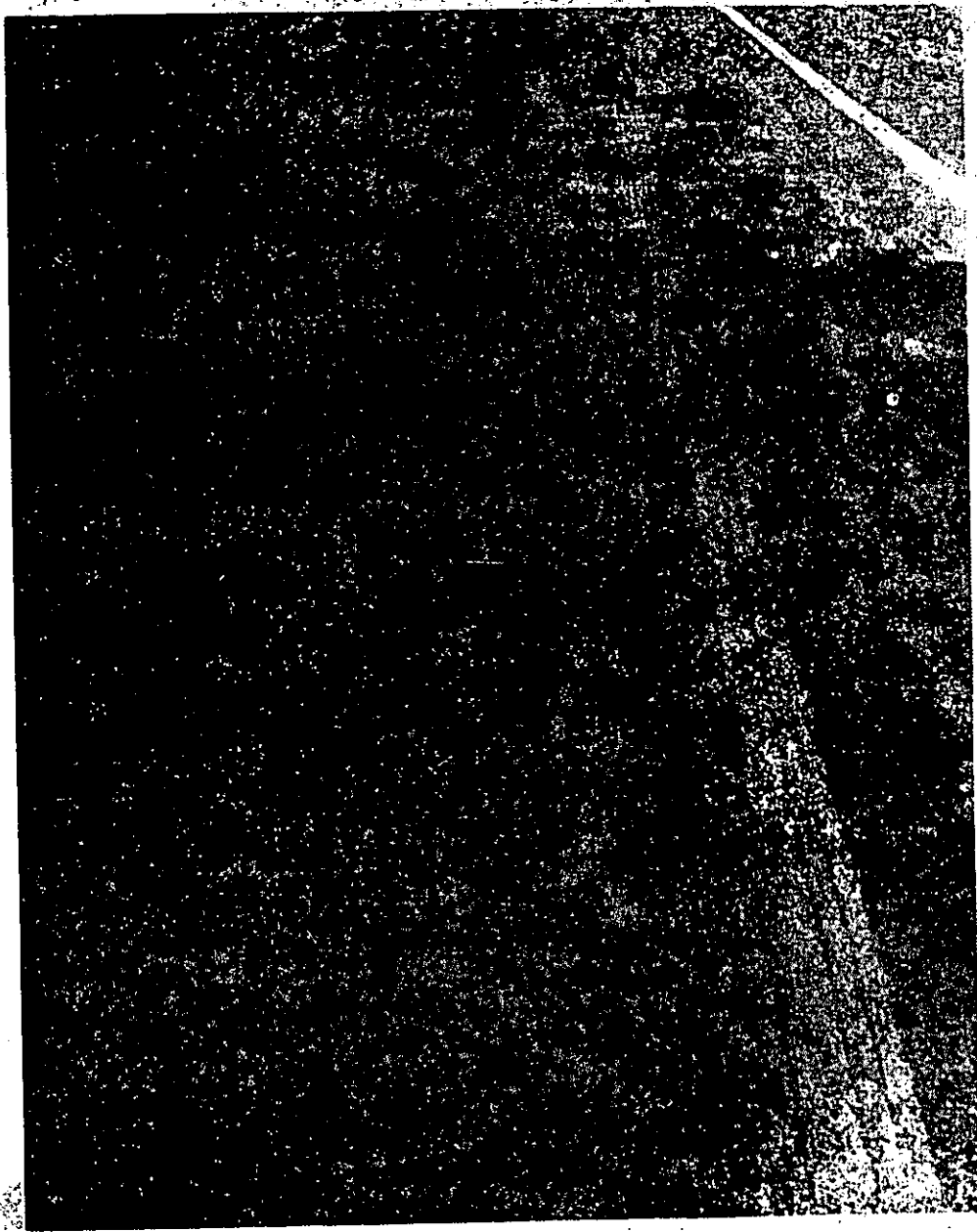


Fig. 2.5-43 Hundimiento y grietas en forma de piel de cocodrilo en un bacheo que resultó de baja resistencia en una calle de rodaje. Es necesario utilizar los materiales adecuados y seguir los procedimientos de reparación correctos para no estar continuamente reparando el mismo bache.

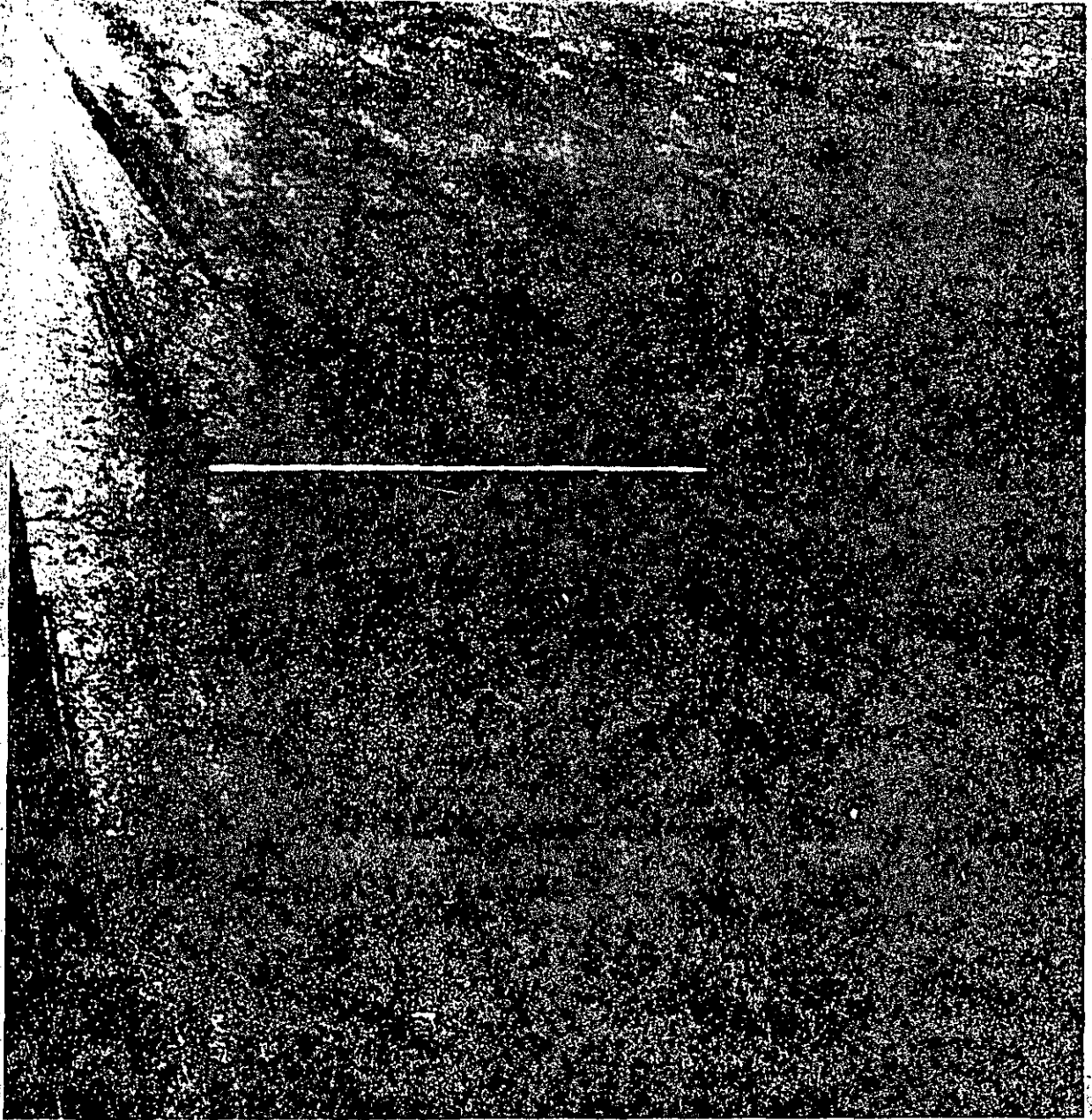


Fig. 2.5-44 Agrietamiento tipo mapa con preponderancia de grietas longitudinales, acompañados de hundimientos de corto amplitud en la zona de toma de contacto de los aviones en la pista.



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)

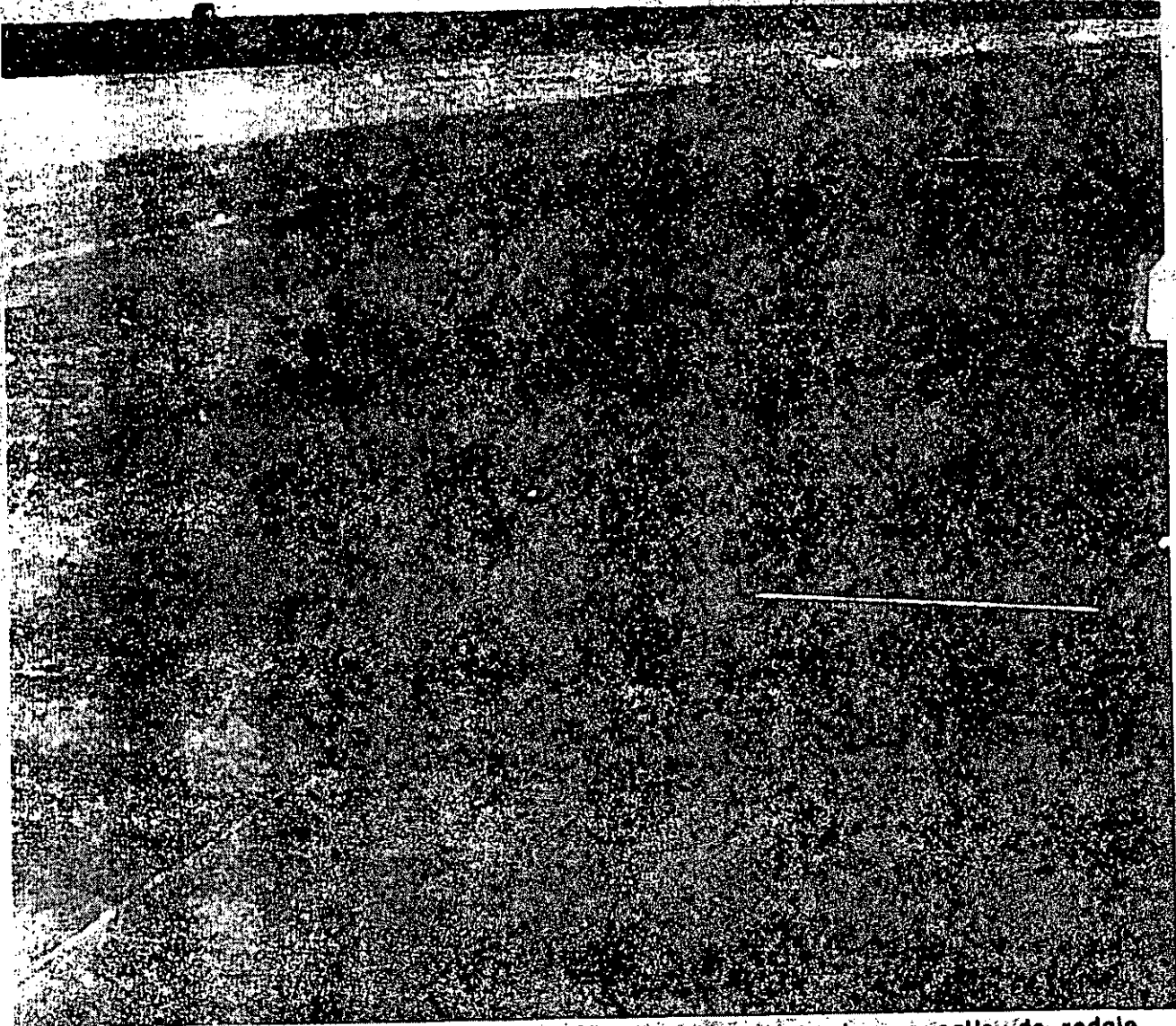


Fig. 2.5-46 Crecimiento de hierba en el acotamiento de una calle de rodaje

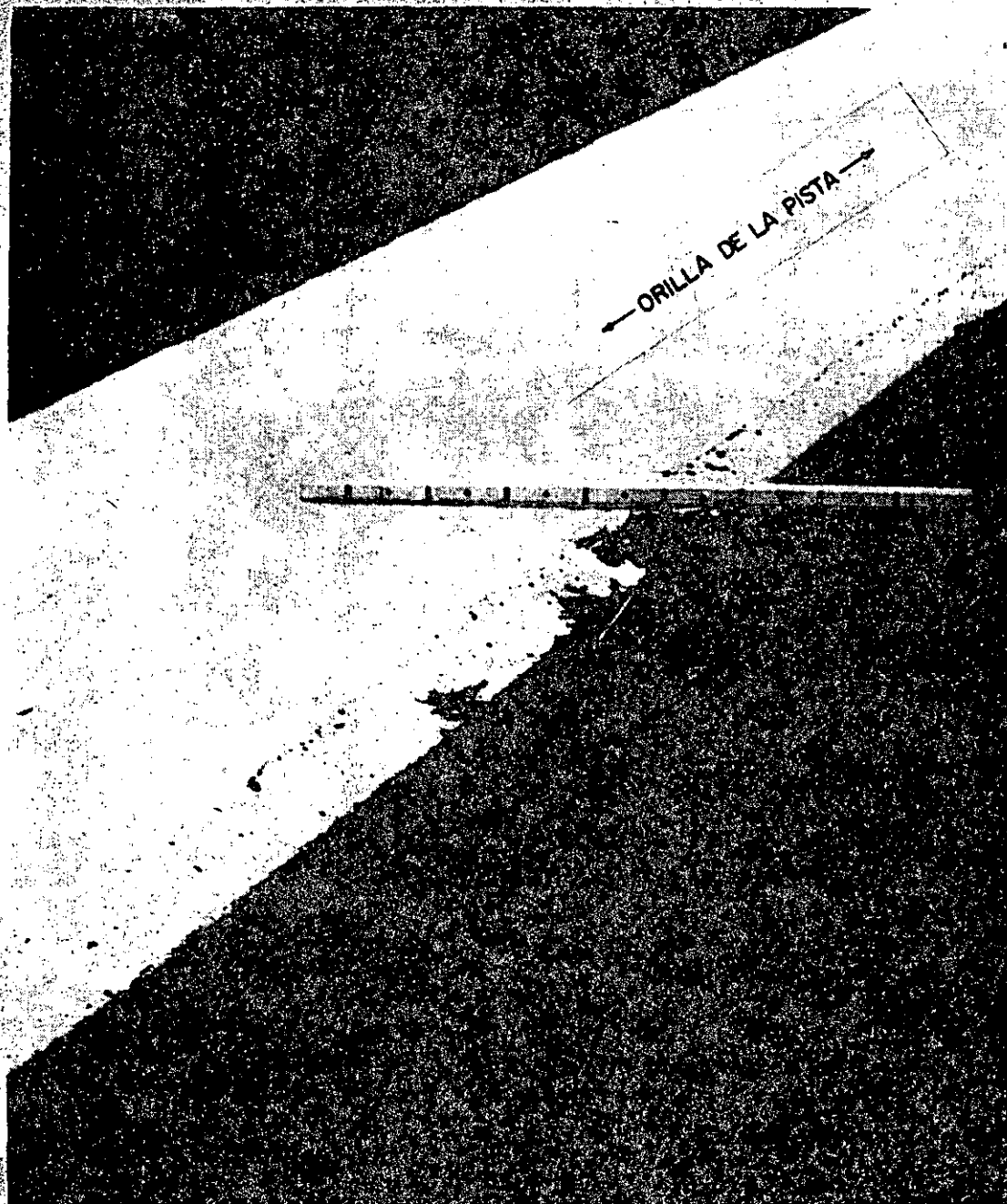


Fig.2.5-47 Crecimiento de hierba en la orilla de un pista. Es necesario eliminarlo antes de que crezca demasiado y dañe el pavimento.

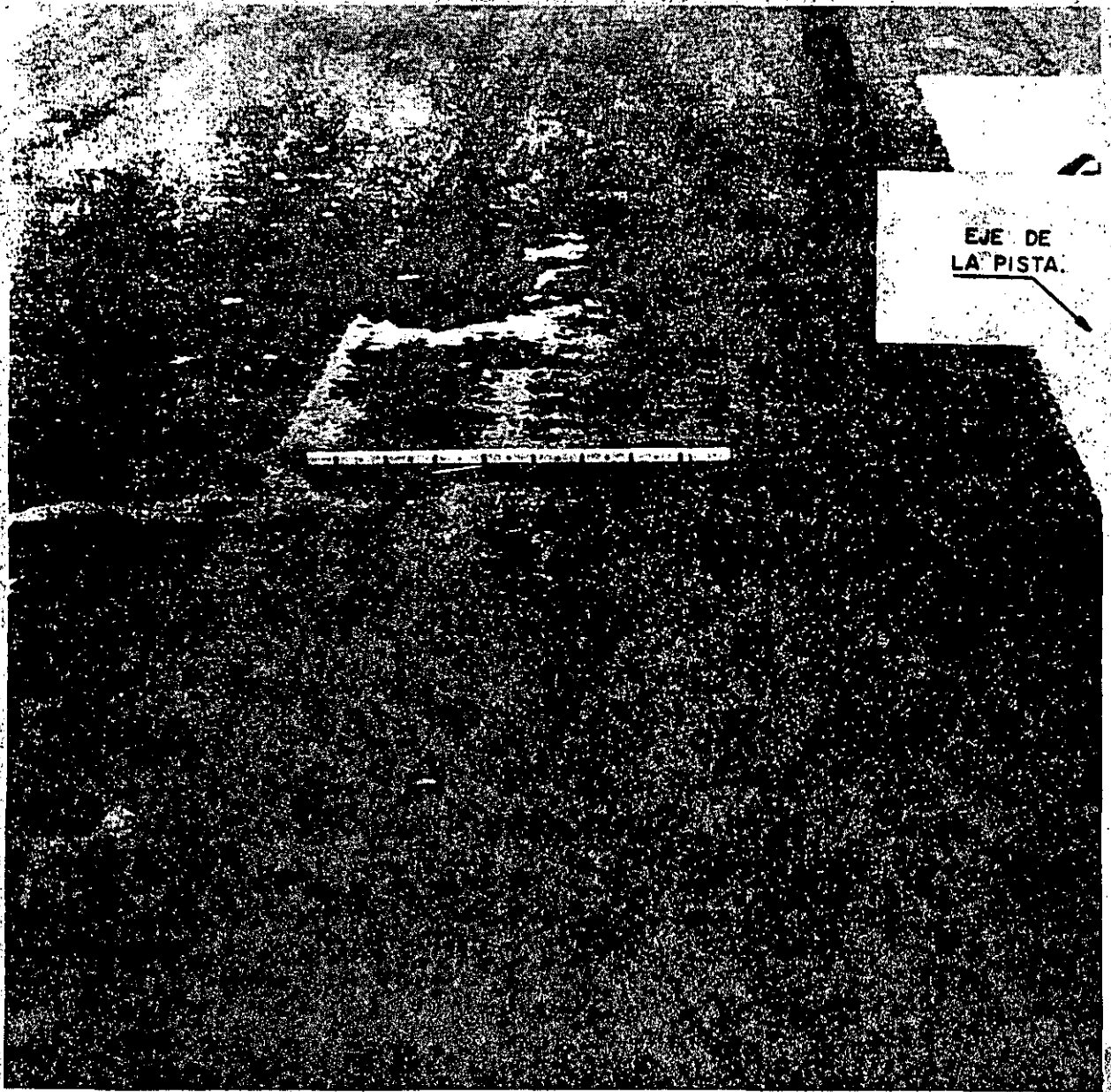


Fig. 2.5-48 Afloramiento de agua al paso de las cargas, probablemente debido a la sobresaturación de las capas del pavimento y de la subrasante y a la inexistencia de subdrenaje



Fig. 2.5-49 Afloramiento de agua a través de las grietas, cuando pasan las cargas 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

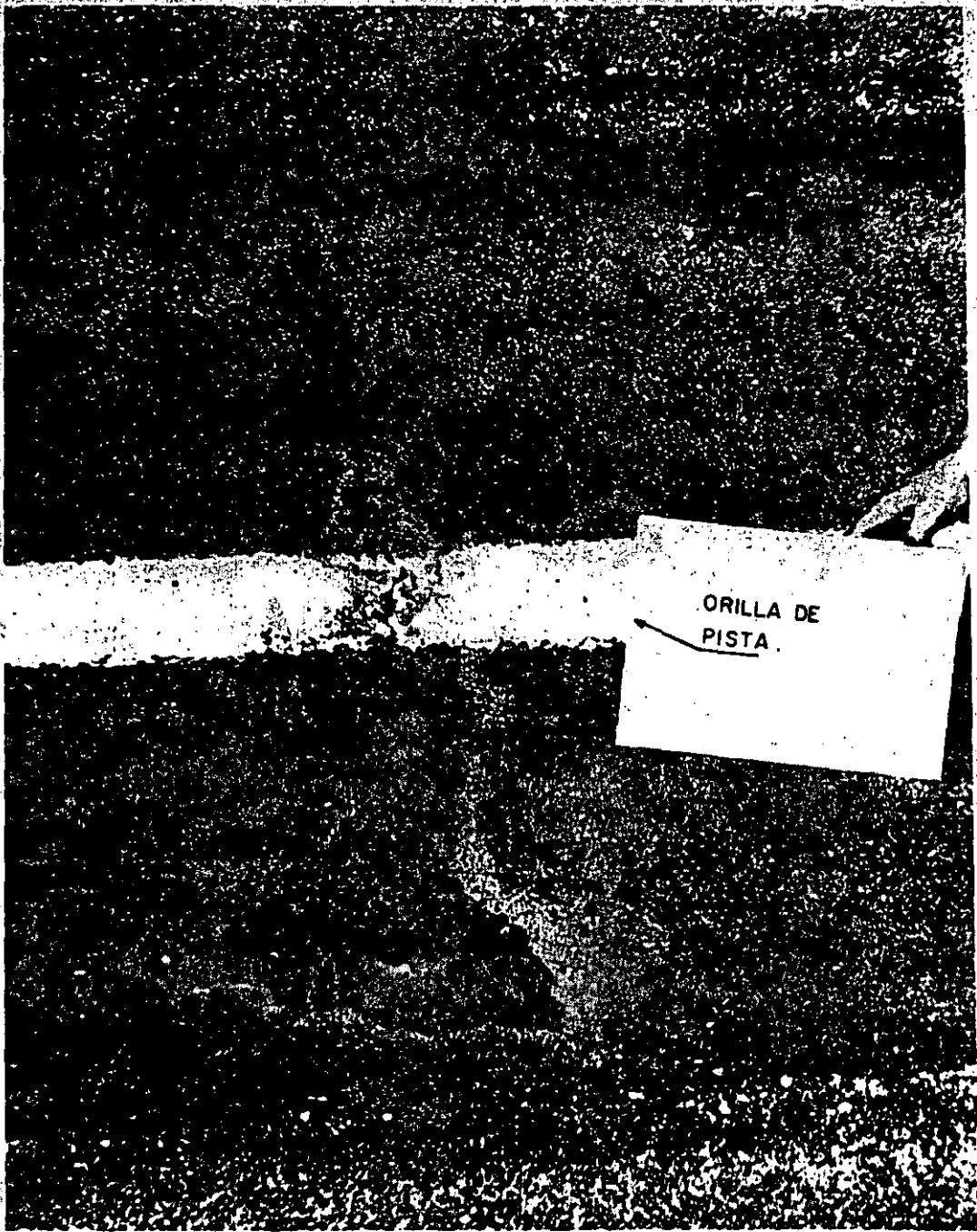


Fig. 2.5-52 Afloramiento de agua en la orilla de la pista



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

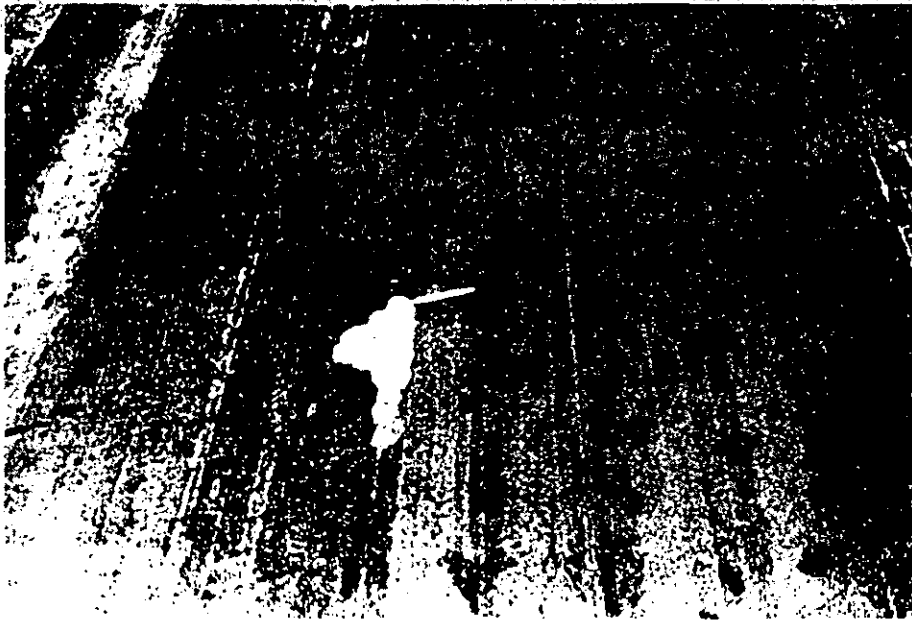


Fig. 2.5-55 Pavimento con tratamiento superficial de mortero asfáltico, al despidarse el mortero asfáltico quedó al descubierto la marca de pintura blanca sobre la carpeta de la pista

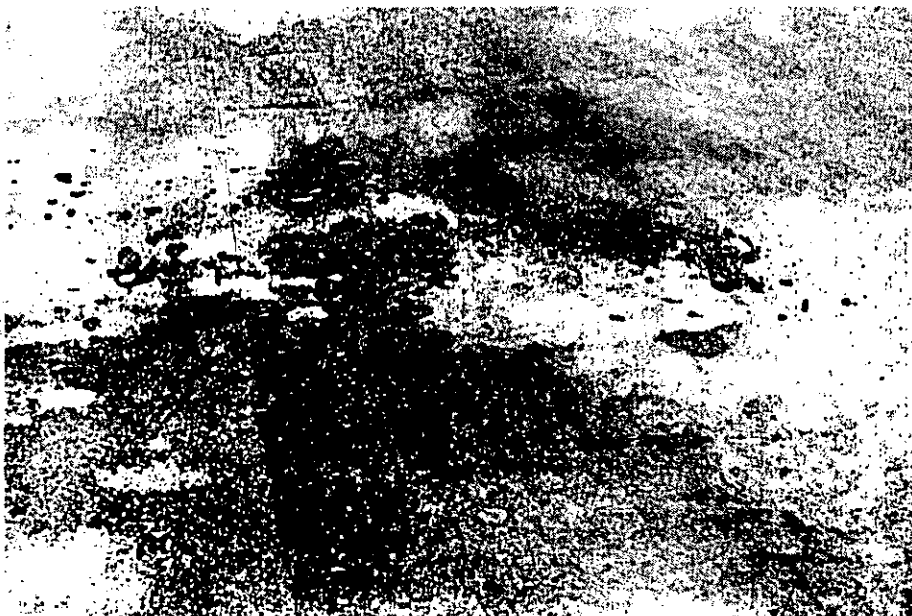


Fig. 2.5-56 Los pedazos de mortero asfáltico desprendidos y los charcos que se forman, constituyen un peligro para las operaciones aeronáuticas

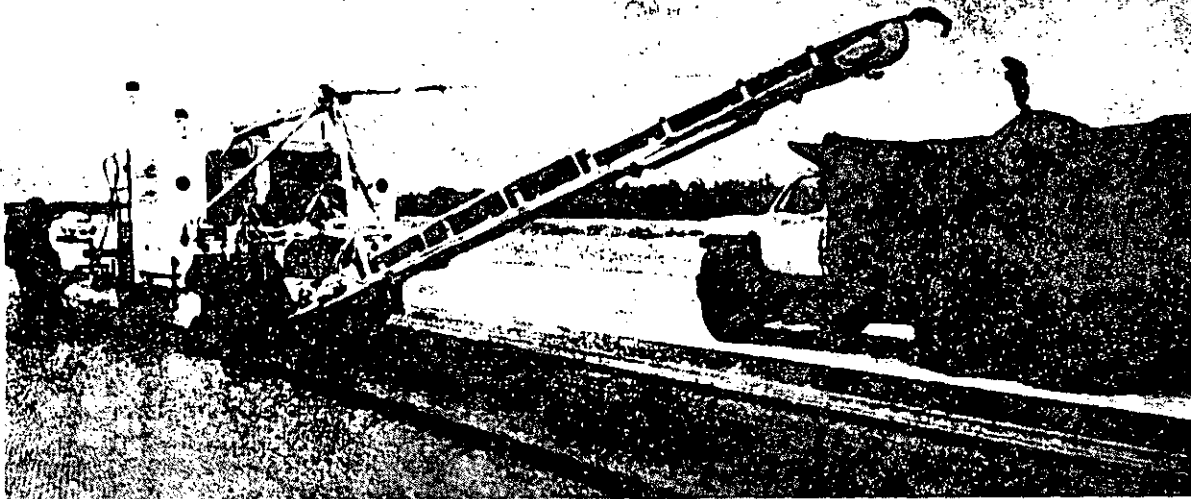


Fig.2.5-57 Máquina perfiladora en frío

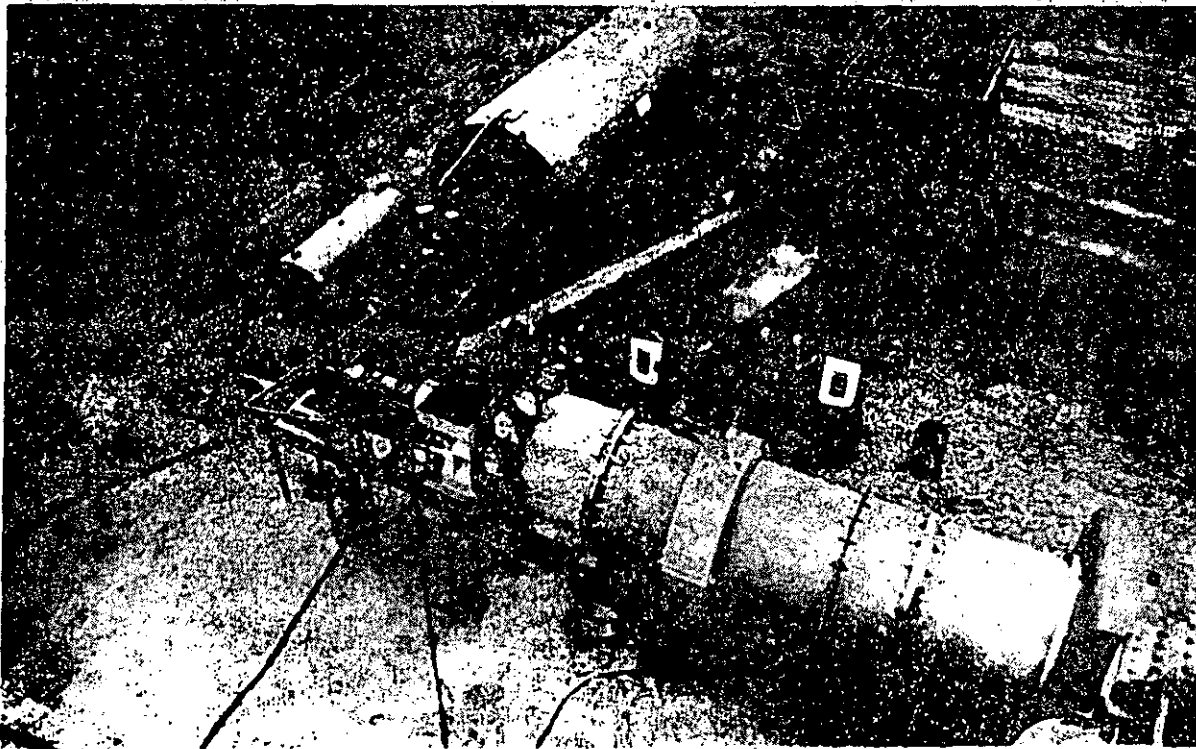


Fig. 2.5 - 58 Planta de concreto asfáltico en caliente. La alimentación de la izquierda es para el material pétreo virgen y la de la derecha para el material a reciclar



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 hornillos 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

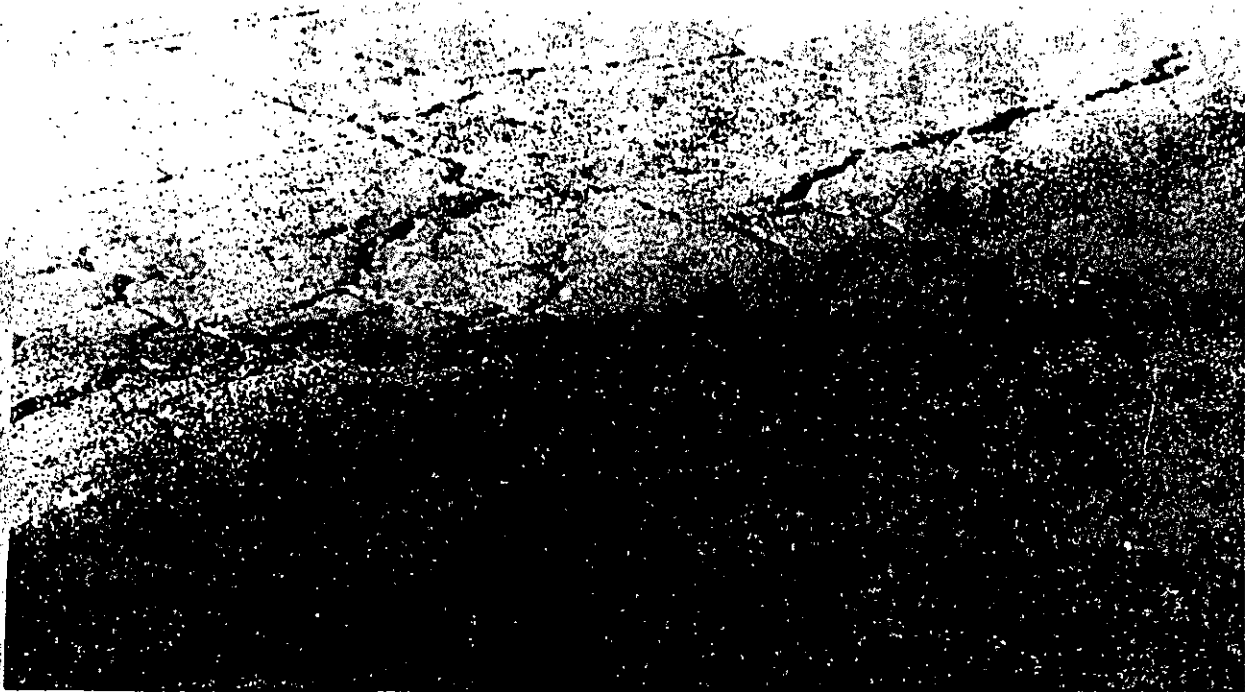


Fig. 2.5-62 Reciclado de carpetas—Aspectos que presenta la carpeta Después de la aplicación del producto "Reclamite" (parte inferior derecha) y antes del tratamiento (parte superior izquierda)



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

MANTENIMIENTO MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

ING. BENJAMIN BARREDA AMIGON

PALACIO DE MINERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

EXPOSITOR: ING. BENJAMIN 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 RE COMPACTA.
- 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, REBLANDECIENDO. 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, ADEMÁS 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 CONSTRUCCION 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, ADEMÁS 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,

7.
ALTERNADAMENTE A UNO U OTRO LADO DEL EJE DE LA CARRETERA,
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 HIDROPLANEAO, AL QUE SE CONSIDERA RESPONSABLE DE VARIOS INCIDENTES Y ACCIDENTES SUFRIDOS POR LAS AERONAVES.

LOS ESFUERZOS REALIZADOS PARA AMINORAR EL PROBLEMA DEL HIDROPLANEAO, 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 HIDROPLANEAO,

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 PROPORCIONADOS 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 ANTIDERRA PANTE 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 PREVALECN 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 MACROTTEXTURA. 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 MICROTTEXTURA EXISTENTE. SI SE DETERMINARA QUE EL BAJO NIVEL DE FRICCION EN PISTA MOJADA SE DEBE AL DETERIORO DE LA MICROTTEXTURA DE LA SUPERFICIE, EXISTEN METODOS PARA RESTAURAR EFICAZMENTE LA MICROTTEXTURA 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 HIDROPLANEAO, 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 CHARCOS EN RELACION CON EL HIDROPLANEAO, 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 EMPIRICAMENTE 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 MACROTTEXTURA 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 PREVALEGEN 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 HIDROPLANE0. 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 MEJORA ESTARA EN RELACION CON LA CALIDAD DE LA CAPA DE RODAMIENTO EXISTENTE. LA DURACION DE LA MEJORA 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.

TECNICA

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 PELIGROSAS 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 ACEPTE 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 BIEN 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 VERTEDERO 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, SUPONGAMOS 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 MANERA 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 ADVIERTIENE 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:

Cr = 1.0 PARA EL PAVIMENTO EXISTENTE EN BUEN ESTADO-SON EVIDENTEN ALGUNAS GRIETAS MENORES, PERO NO TIENE DEFECTOS ESTRUCTURALES.

Cr = 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.

Cr = 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 EXIGIE 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:

$$H_c = \sqrt[1.4]{\frac{H^{1.4}}{Cr} - He^{1.4}}$$

Hc = ESPESOR REQUERIDO

H = ESPESOR REQUERIDO DE LA LOSA SIMPLE, DETERMINADA SEGUN LAS CURVAS

He = ESPESOR EXISTENTE

Cr = 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.

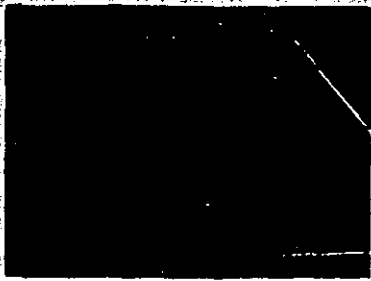
H_e = ESPESOR DEL PAVIMENTO RIGIDO EXISTENTE.

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 SECUELA 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

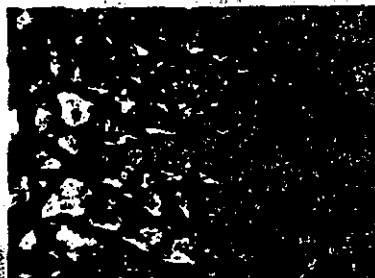


BASE PAVEMENT

b)



SURFACE OF OVERLAY



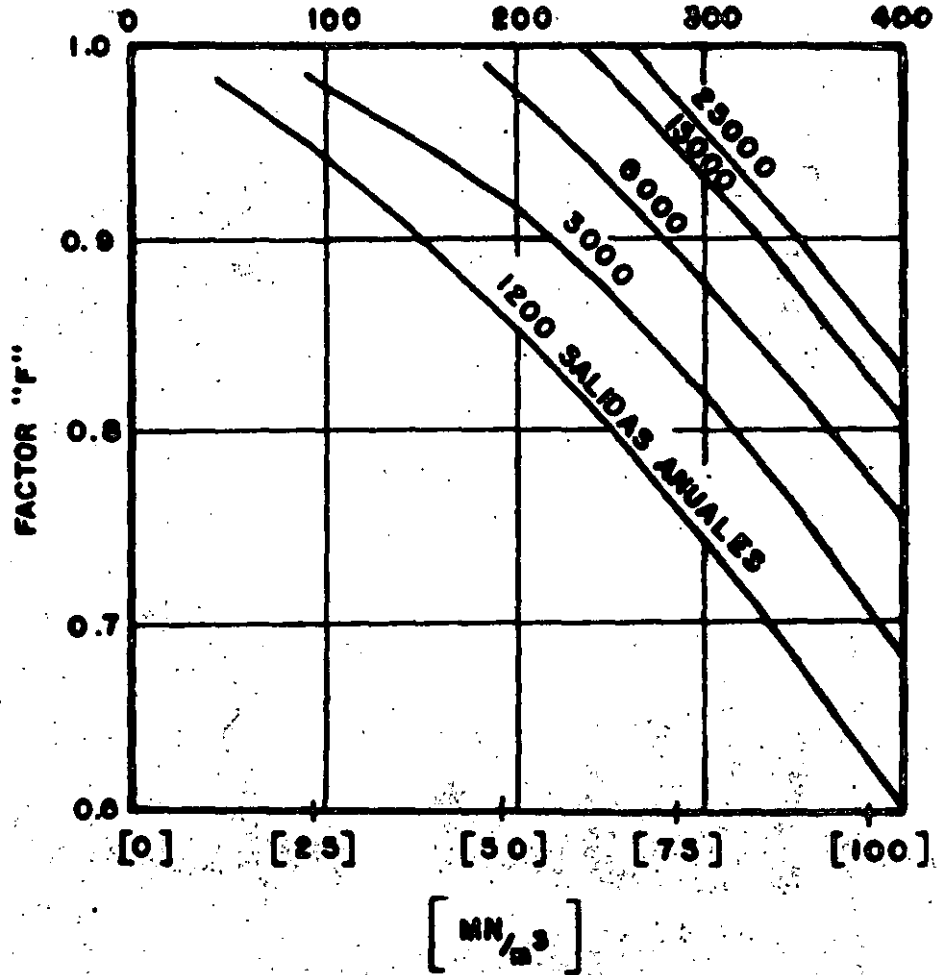
BASE PAVEMENT

c)

FIGURE 1. ILLUSTRATION OF VARIOUS "F" FACTORS FOR BITUMINOUS OVERLAY DESIGN

FIG. 2

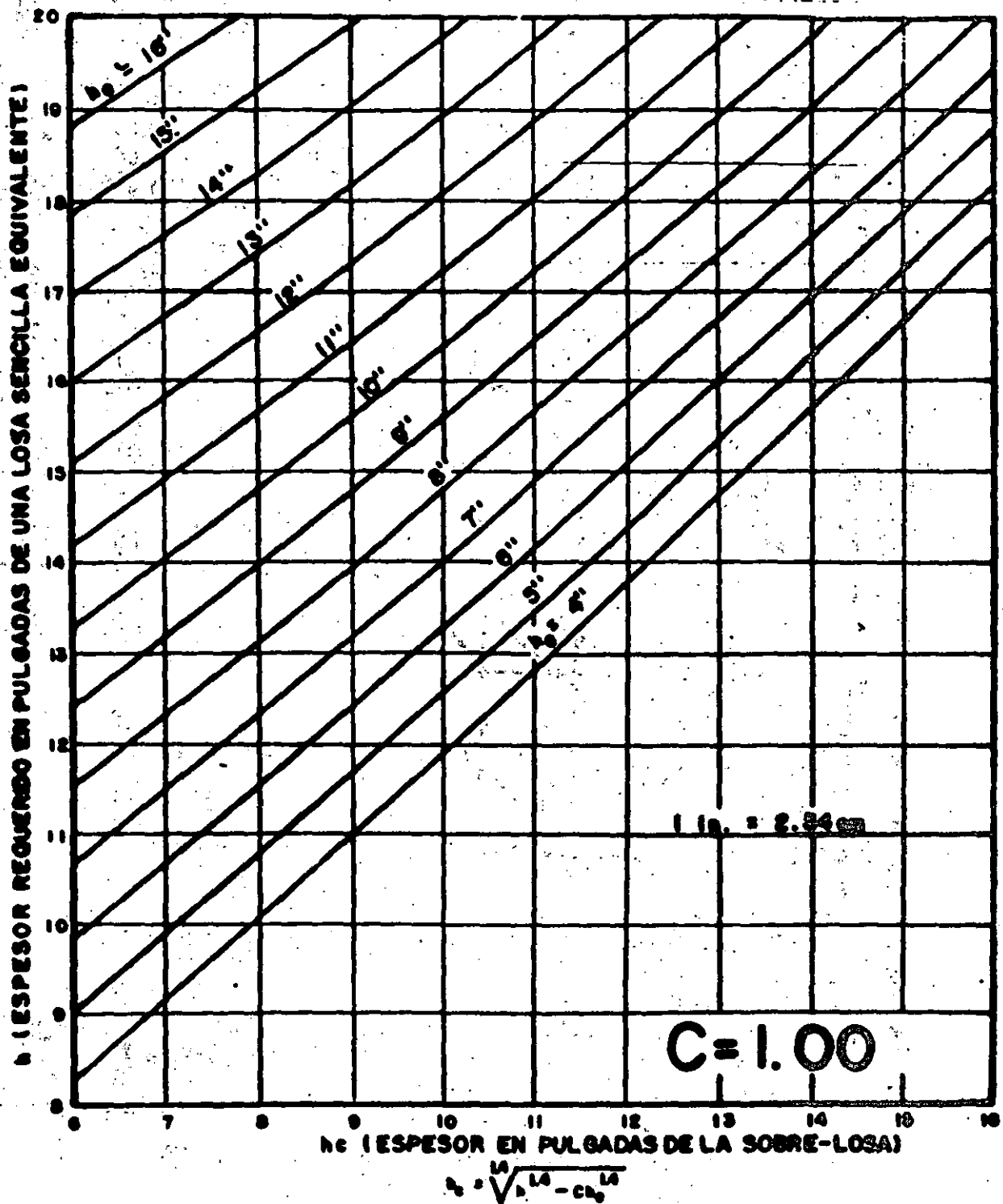
**MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE
(Lb/pulg²)**



**GRAFICA DE FACTOR "F" vs. MODULO DE REACCION
DE LA SUBRASANTE PARA DIFERENTES NIVELES DE
TRANSITO**

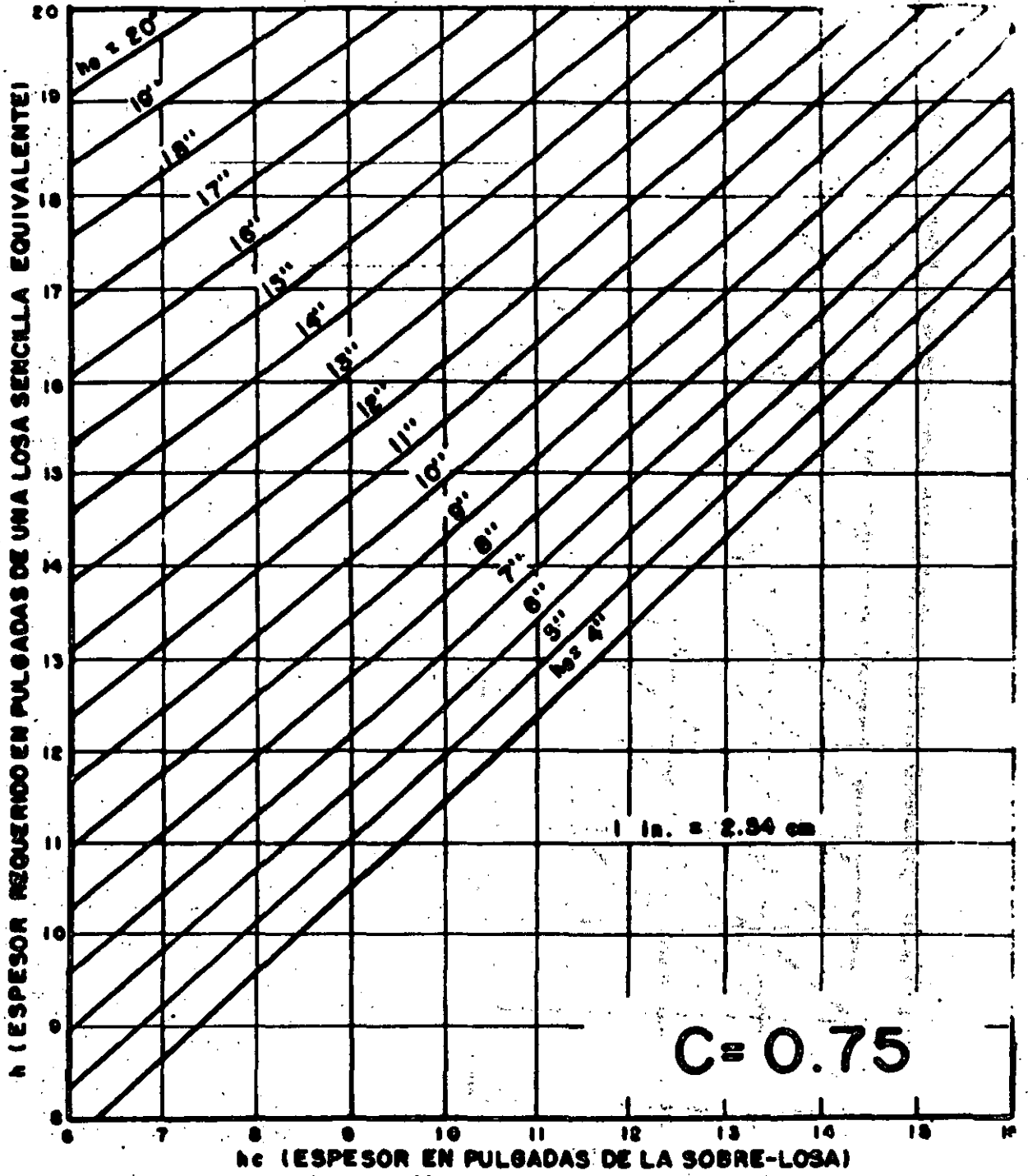
(FAA - 1978)

FIG 3.



**CAPA ADICIONAL DE CONCRETO SOBRE
PAVIMENTOS RIGIDOS
(FAA-1978)**

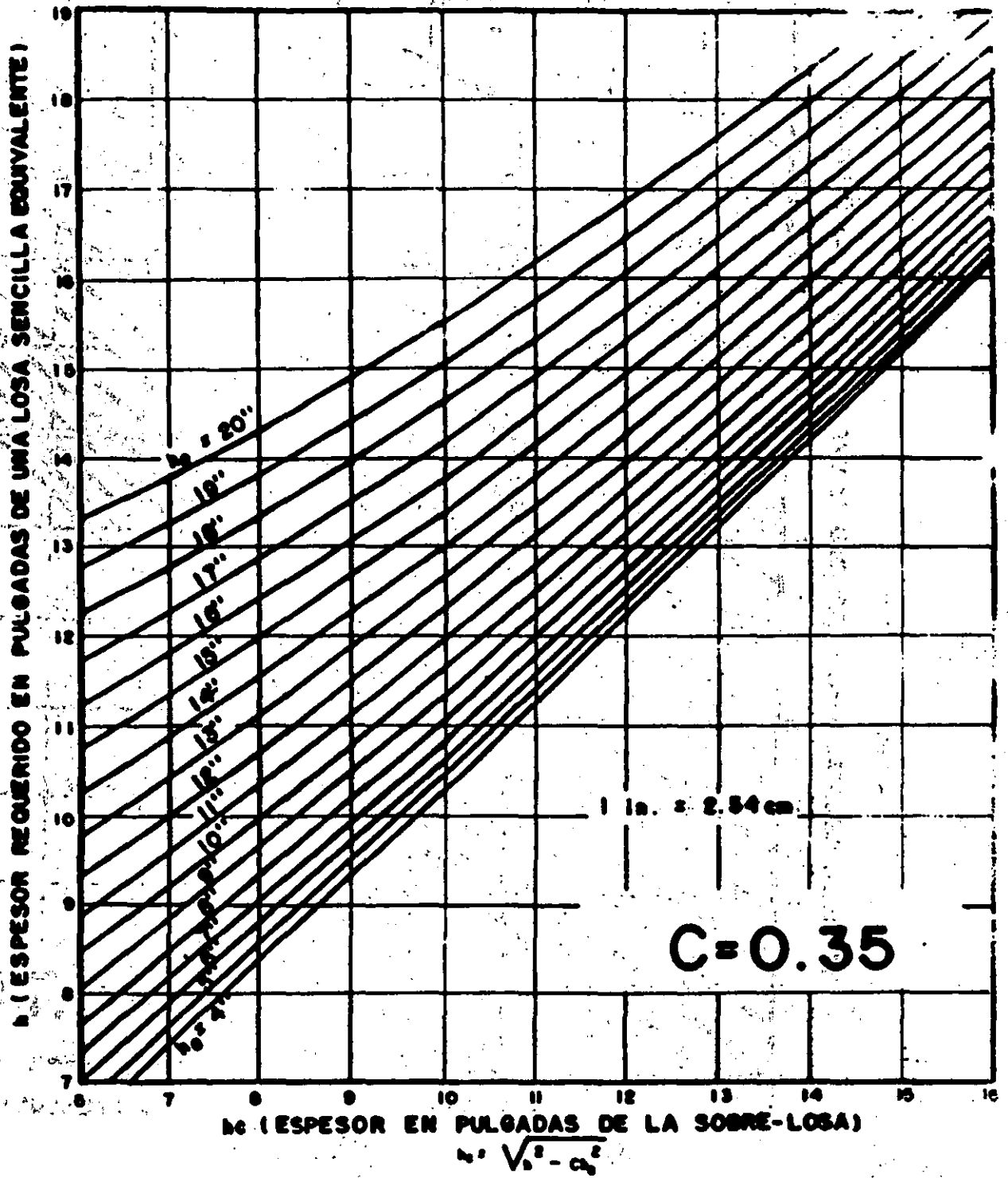
FIG. 4.



$$h = \sqrt[3]{\frac{L^4}{D} - C h_c^3}$$

**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)

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

44

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 ESTATICA 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-RATER
- . 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)

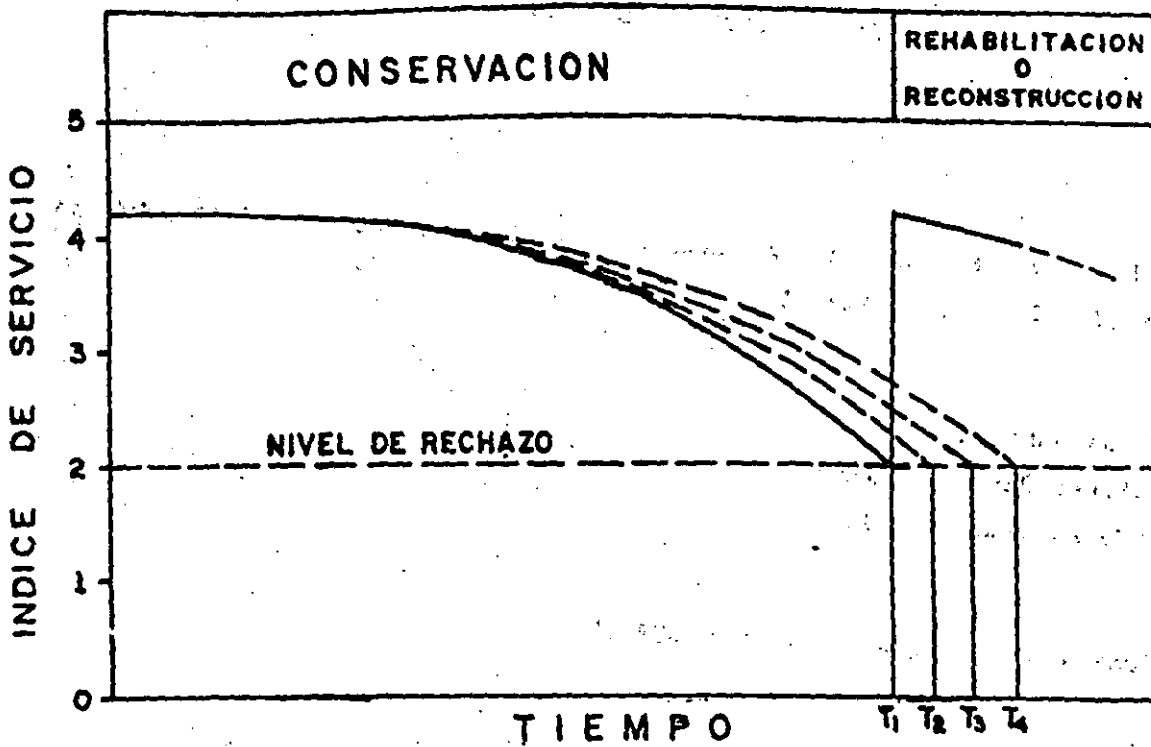


Fig 1.- Variación del índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

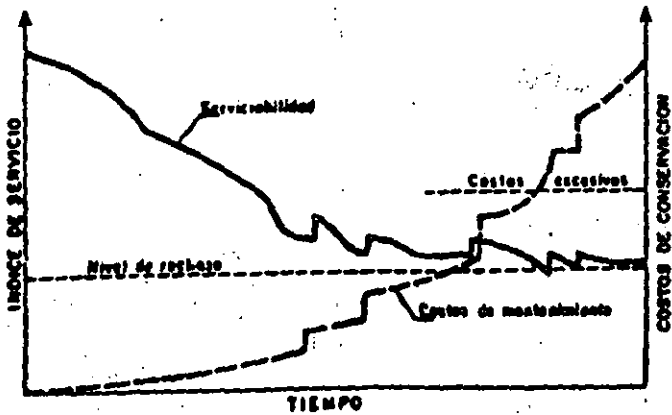


Fig 2.- Variación del índice de servicio y costos de conservación con el tiempo, con una política inadecuada de conservación. Haas y Hudson.

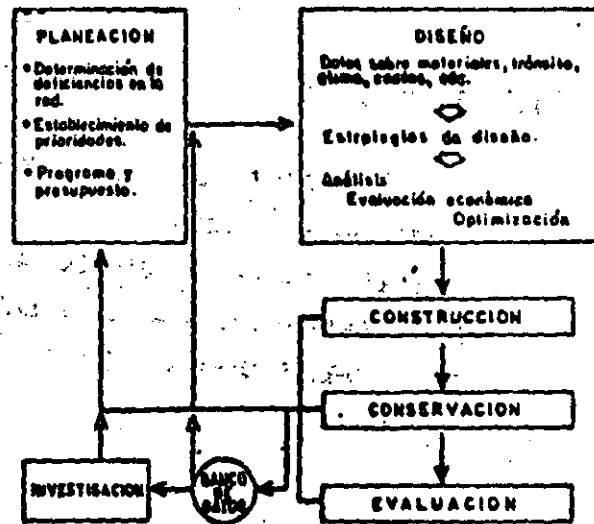


Fig 3.- Actividades principales de un sistema de administración de pavimentos. Haas y Hudson.

Fig 5

MATRIZ DE DECISIONES

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO			DECISION (2)		
			T D P A		
INDICE DE SERVICIO	CONDICION (1)	DEFLEXION $\times 10^{-3}$ 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.

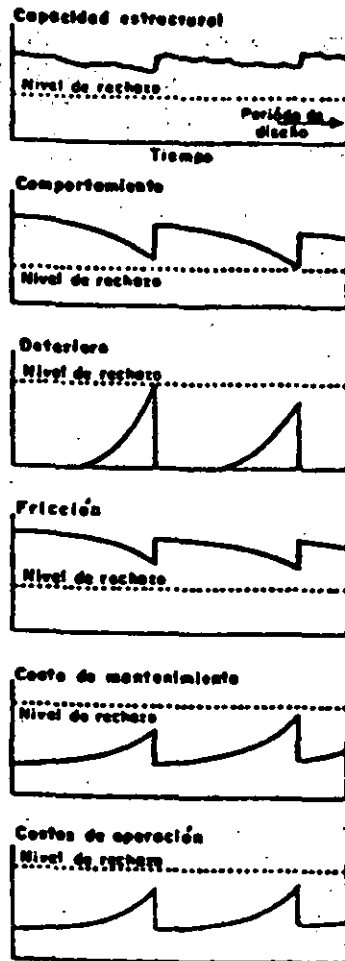


Fig 4.- Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento. Haas y Hudson.

Fig 6.- Acciones recomendables en función del tránsito y estados del pavimento.

CARRERA _____	TRAMO _____
SUBTRAMO _____	SECCION CORONA _____ ANCHO CARRETA _____
TIPO DE PAVIMENTO _____	FECHA _____

DEFECTOS:	CALIFICACION
Cracks Transversales _____	0-5
Cracks Longitudinales _____	0-5
Flot de cedeante _____	0-10
Cracks de contracción _____	0-5
Rodajas _____	0-10
Corrugaciones _____	0-5
Desprendeos _____	0-5
Deflexiones plásticas _____	0-10
Dachos _____	0-10
Fallas de asfalto _____	0-10
Agregados perdidos _____	0-5
Deficiencias de drenaje _____	0-10
Cantidad de Rodadura (0 es exacta y 10 es muy mala) _____	0-10

Suma de Defectos _____

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos
= 100 - _____

Calificación de Condición del Pavimento = _____

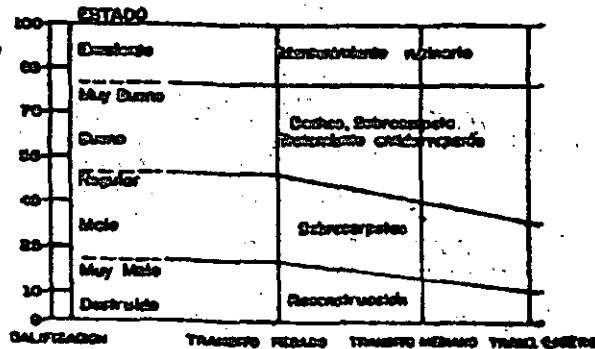


Fig 7.- Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

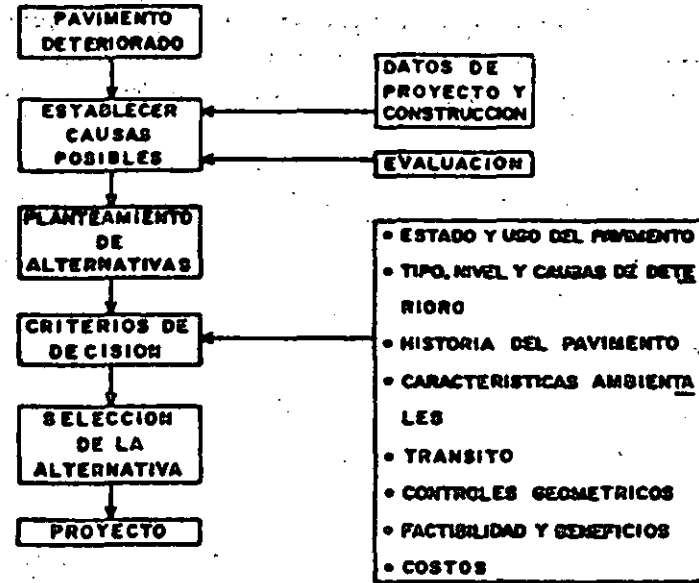


Fig 8.- Acciones de la conservación y rehabilitación. Monismith

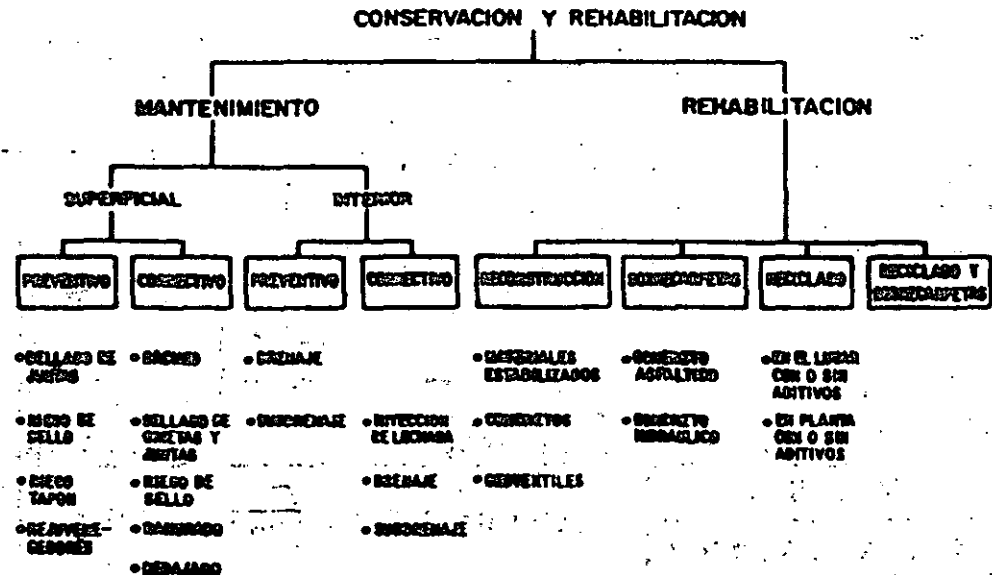


TABLA 3.- Tolerancias para conservación de vía

Parámetro Vía	Ancho	Variación del ancho	Nivelación transversal	Nivelación longitudinal	Alineación en recta	Alineación en curva	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 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		
Dresna 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

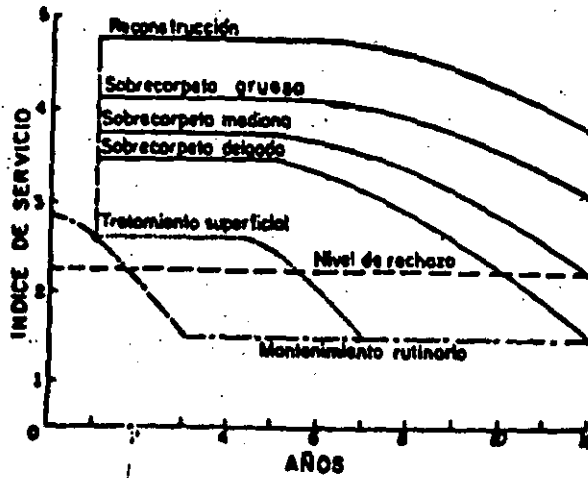


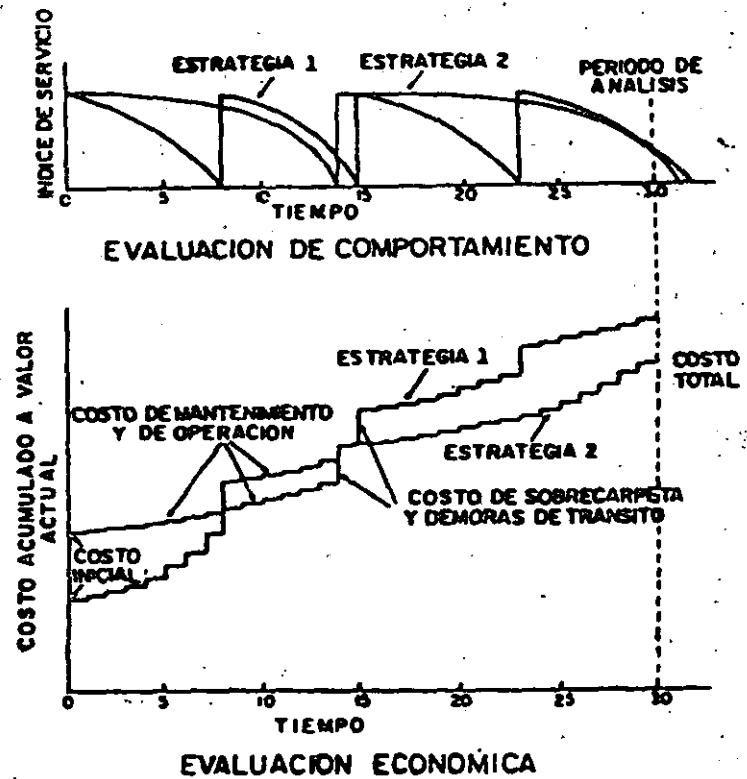
Fig 9.- Curvas típicas de comportamiento para diferentes alternativas de conservación y rehabilitación.

TABLA 4.- Tolerancias para vía RENFE 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.



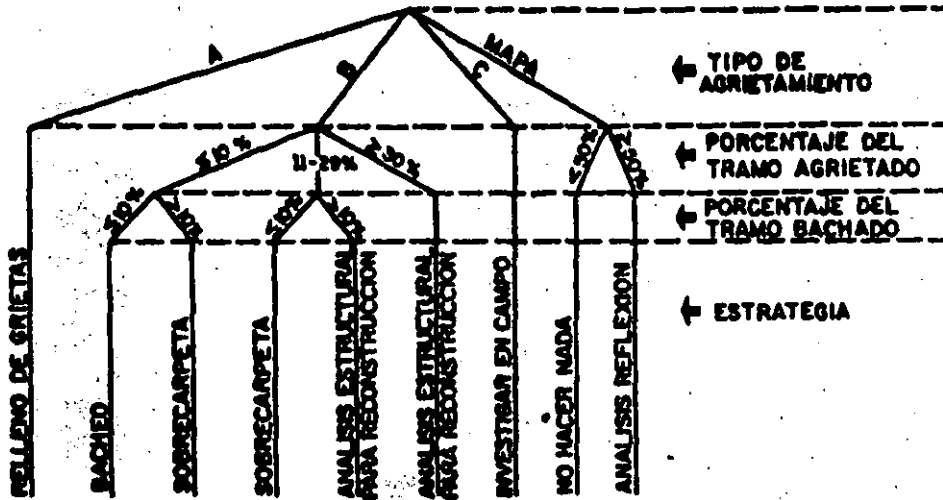
148 26

148 26

25

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 "BILES"

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
	2-0	2-60	
A1 A2 B1 B2 B3 B4 C1 C2 C3 C4	0.004 0.538 2.000 1.999 2.686 2.000 1.999 4.000	0.000 0.015 0.899 0.756 0.753 0.899 0.756 2.937	W = 23.5 ton
T1-S1 T1-S2 T1-S3 T1-S4	3.000 4.000 5.000 6.000	3.331 2.790 2.249 0.788	W = 46.0 ton
C1-R1 C1-R2 C1-R3	4.000 5.000 6.000	6.879 6.880 6.881	W = 43.5 ton
T2-S1-R1 T2-S2-R1 T2-S3-R1 T2-S4-R1 T2-S1-R2 T2-S2-R2 T2-S3-R2 T2-S4-R2	5.000 6.000 6.000 7.000 8.000 8.000 9.000	11.399 11.400 11.400 11.401 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 vía nueva

Parámetro Vía	Ancho	Variación del ancho	Nivelación transversal	Nivelación longitudinal	Alineación en recta	Alineación en curva	Alabeo en recta y curva circular	Peralto
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 3 m	
F.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

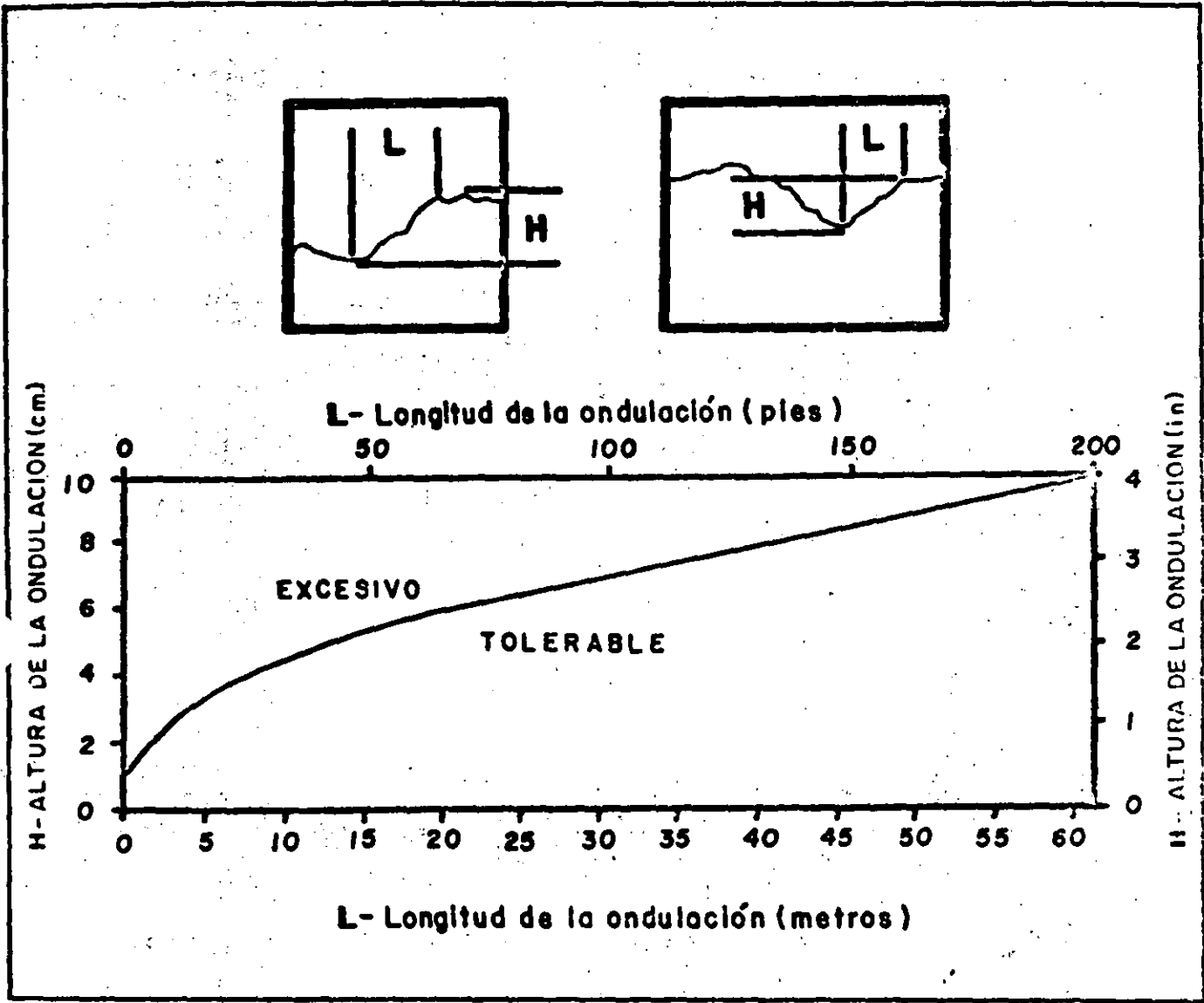


Fig. 1.2-4 Criterio de Boeing para conservación de pistas (por irregularidades de la superficie)

VALORES TÍPICOS DE ÍNDICE DE PERFIL

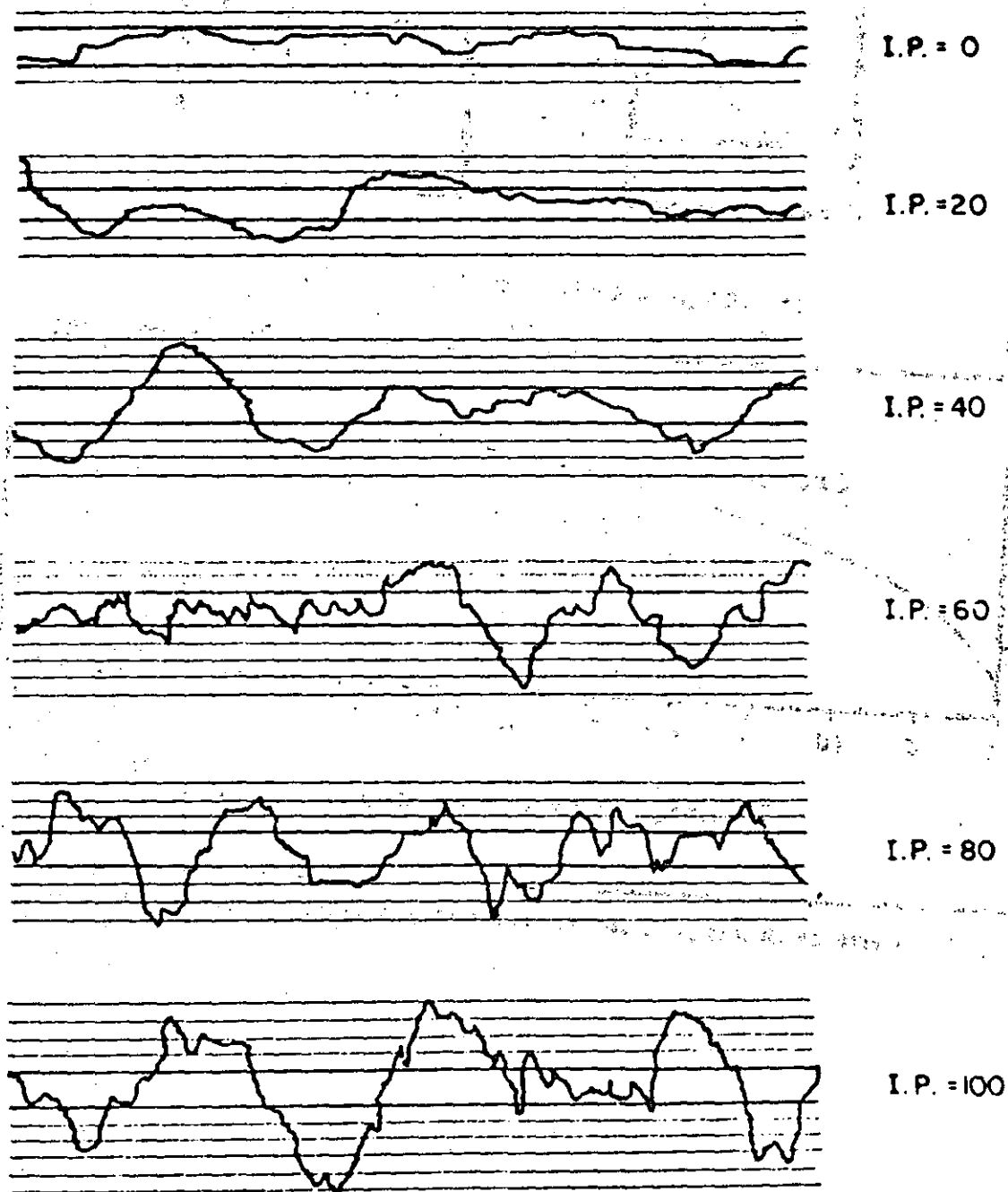


Fig. 1.4-67 Valores típicos de índice de perfil (I.P.)

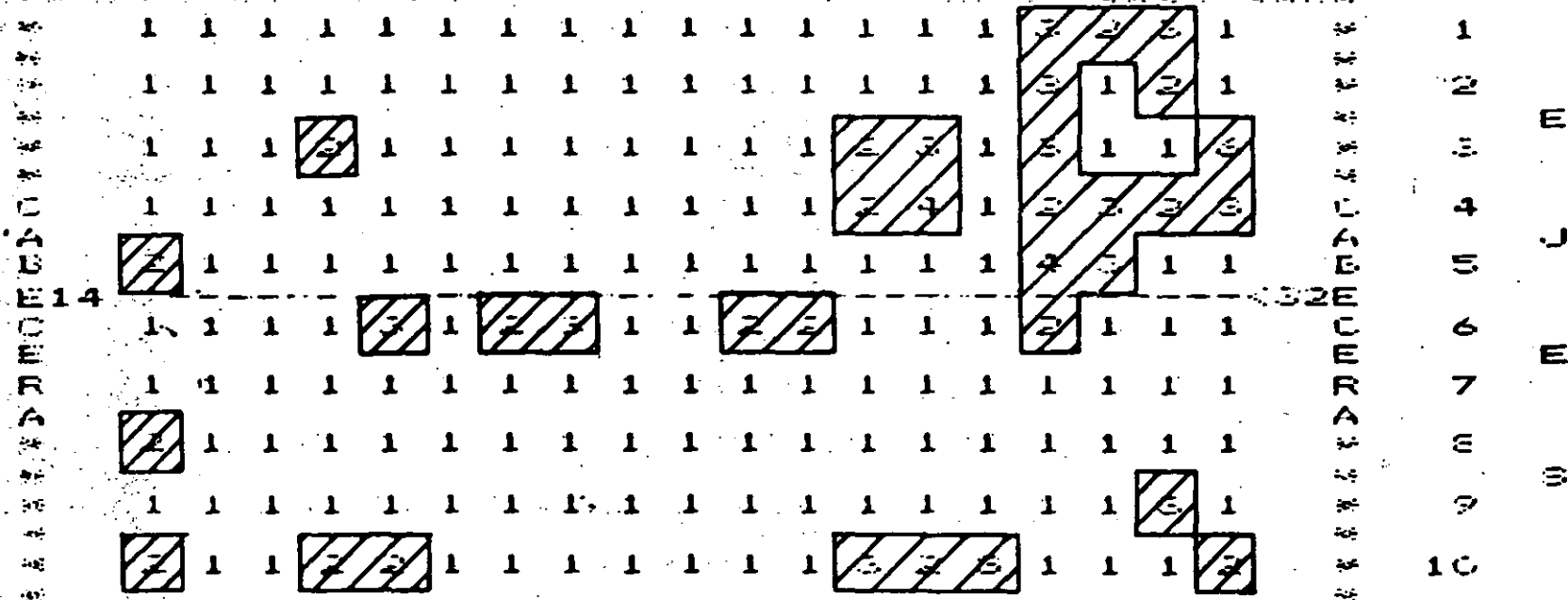
Esc. H. 1:300

Esc. V. 1:1

CROQUIS DE PERFILES LEVANTADOS

CLAVES DE PERFILES

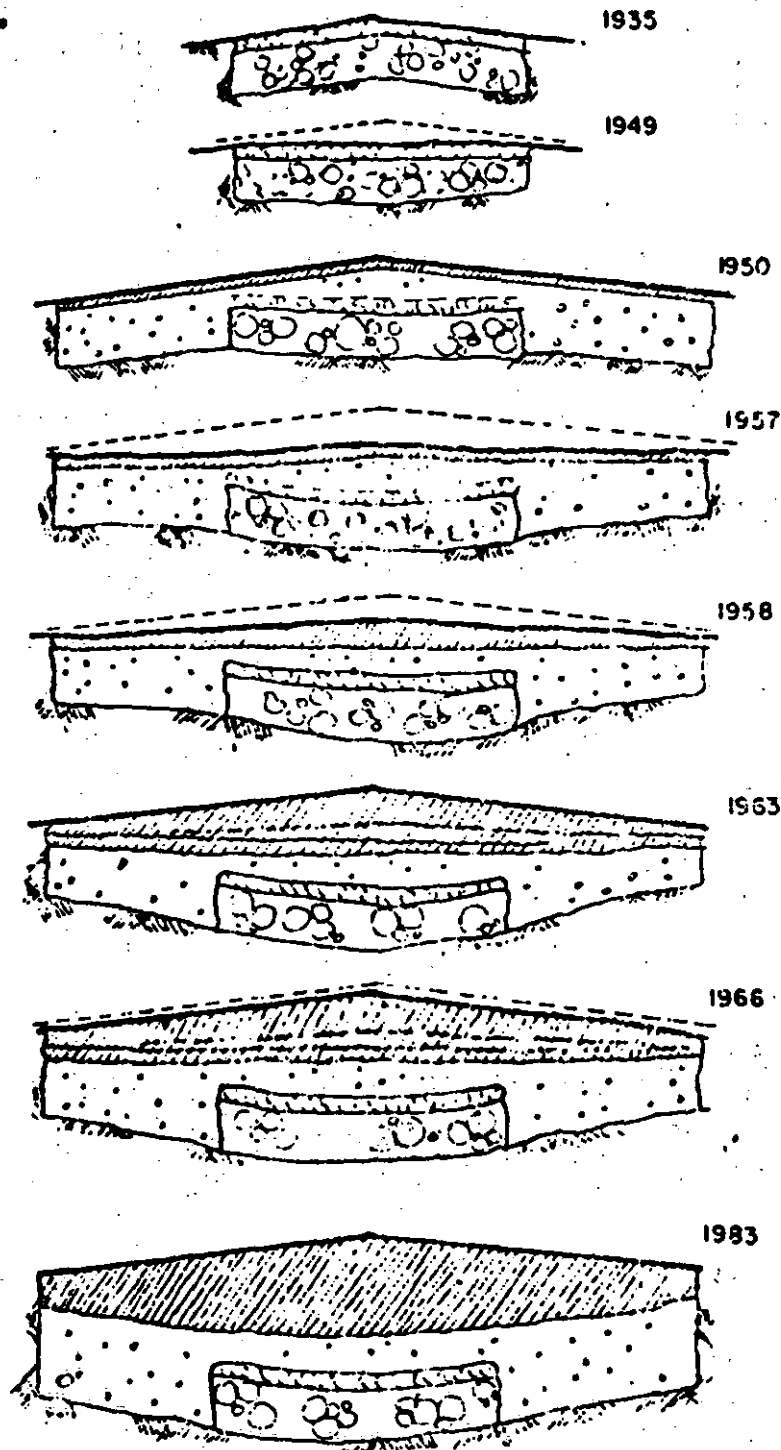
1.-	DE	0	A	30
2.-	DE	30	A	40
3.-	DE	40	A	50
4.-	DE	50	A	60
5.-	DE	60	A	70
6.-	DE	70	A	80
7.-	DE	80	A	90
8.-	DE	90	A	100
9.-	DE	100	A	110



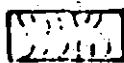
▨ ZONAS CON I.P. MAYOR DE 30.0

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	0.7	0.92	0.88	0.91	0.76

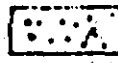
EVOLUCION DE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES (FIG. 1)



SIMBOLOGIA:



MACADAM ASFALTICO



GRAVA

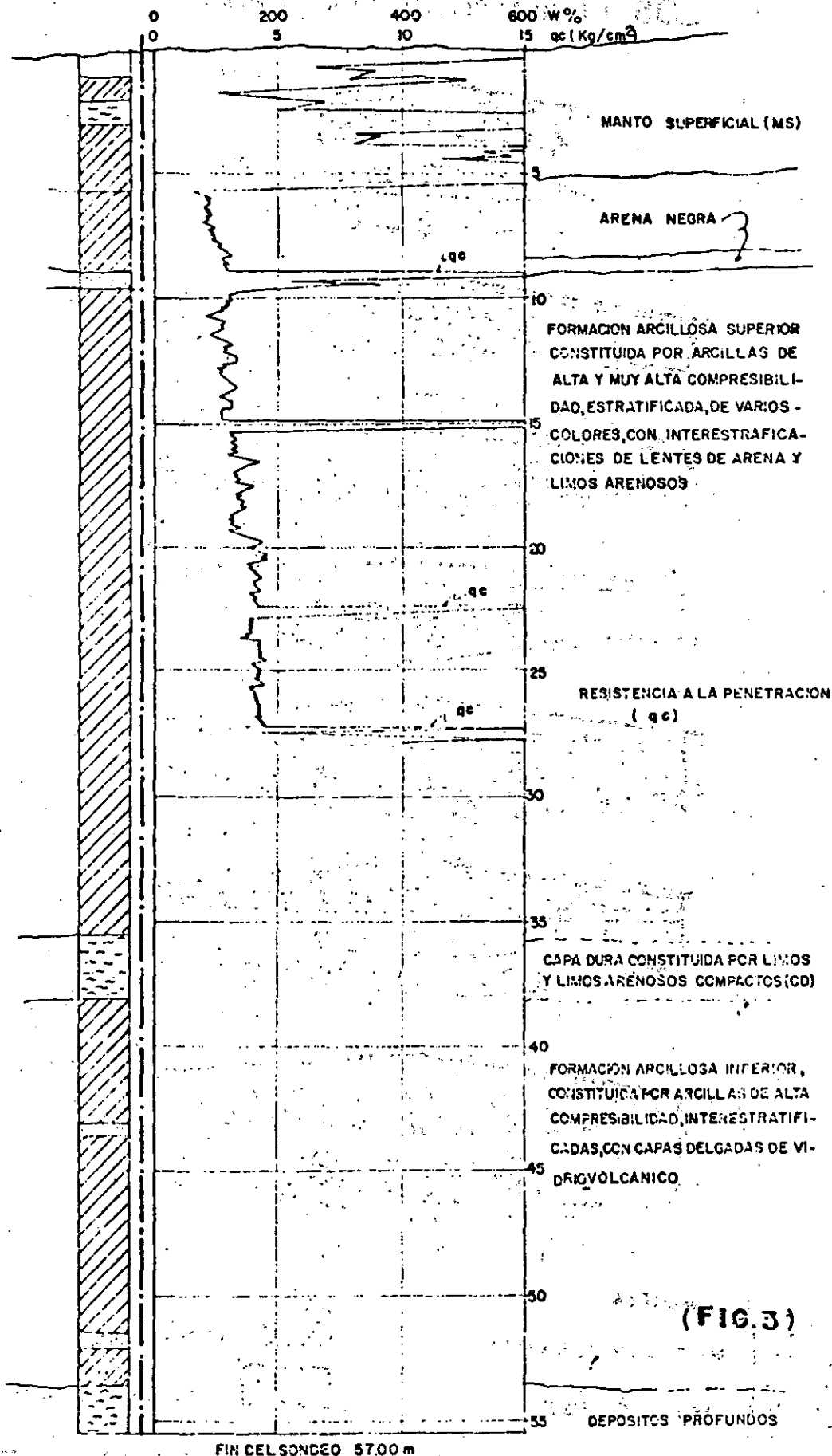


BASE TELEFORD



CONCRETO ASFALTICO

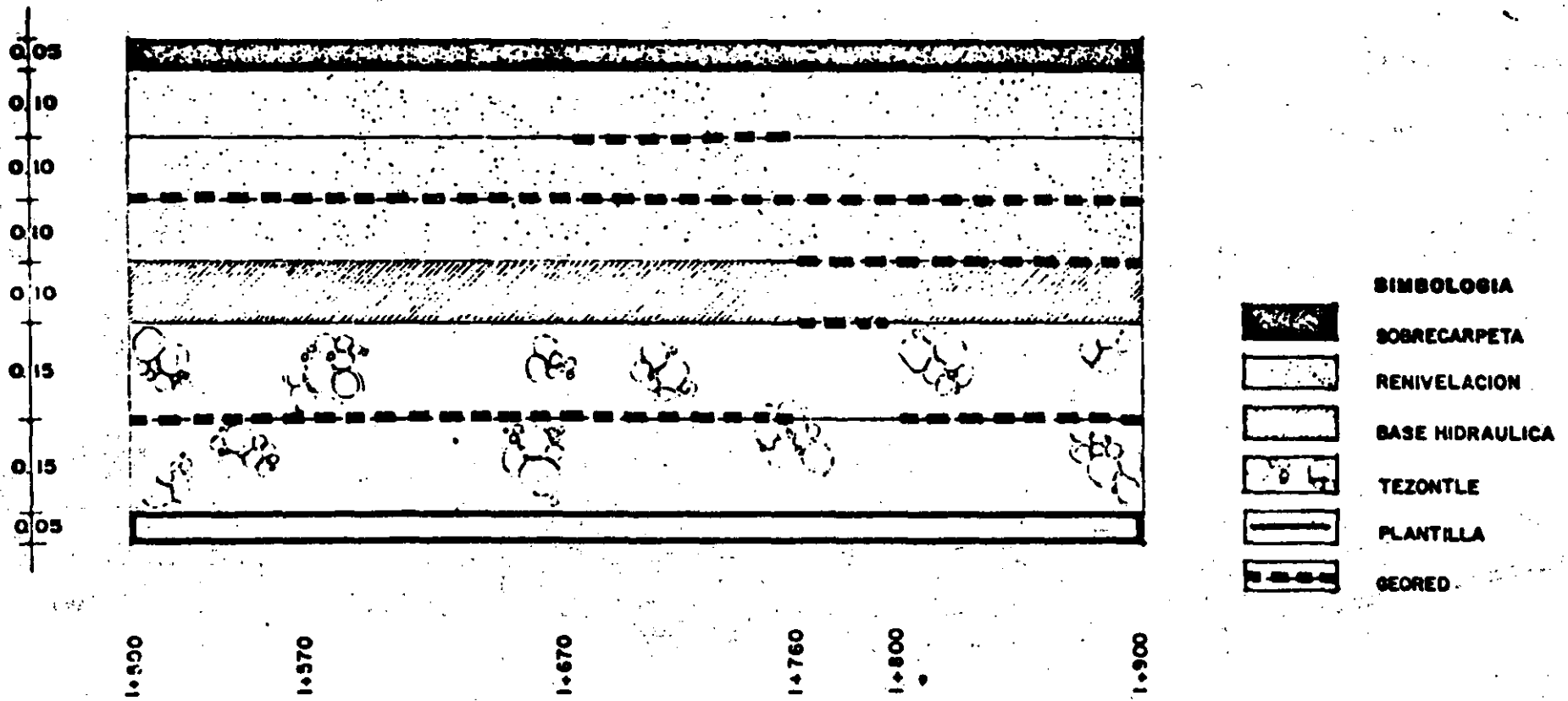
SONDEO UTILIZANDO EL CONO HOLANDES
 - SC-2 ubicado en la estación 1+300 eje de pista -

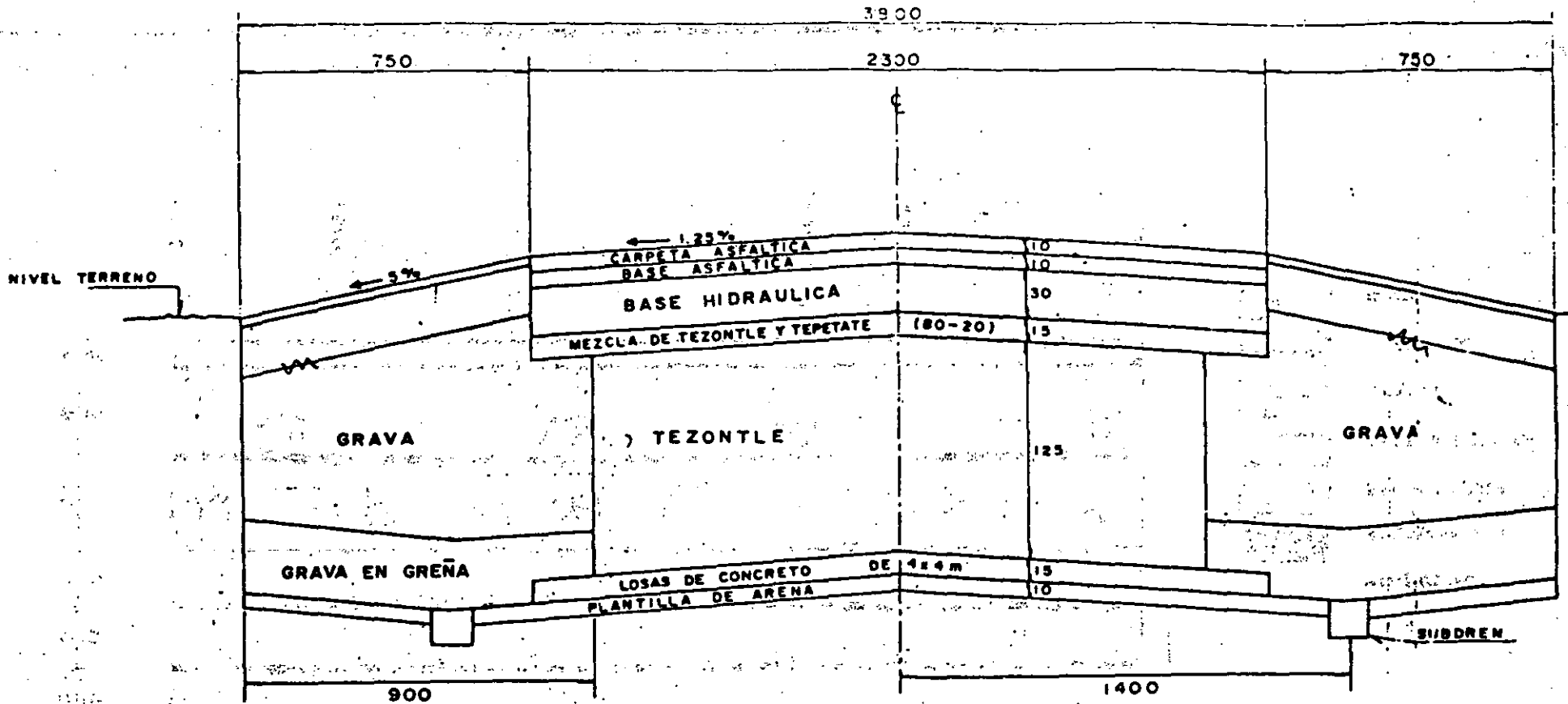


(FIG. 3)

FIN DEL SONDEO 57.00 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

PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION DEL TUNEL DE...
ESTACIONES 4+000 A 4+1000

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
DRECHAS 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.

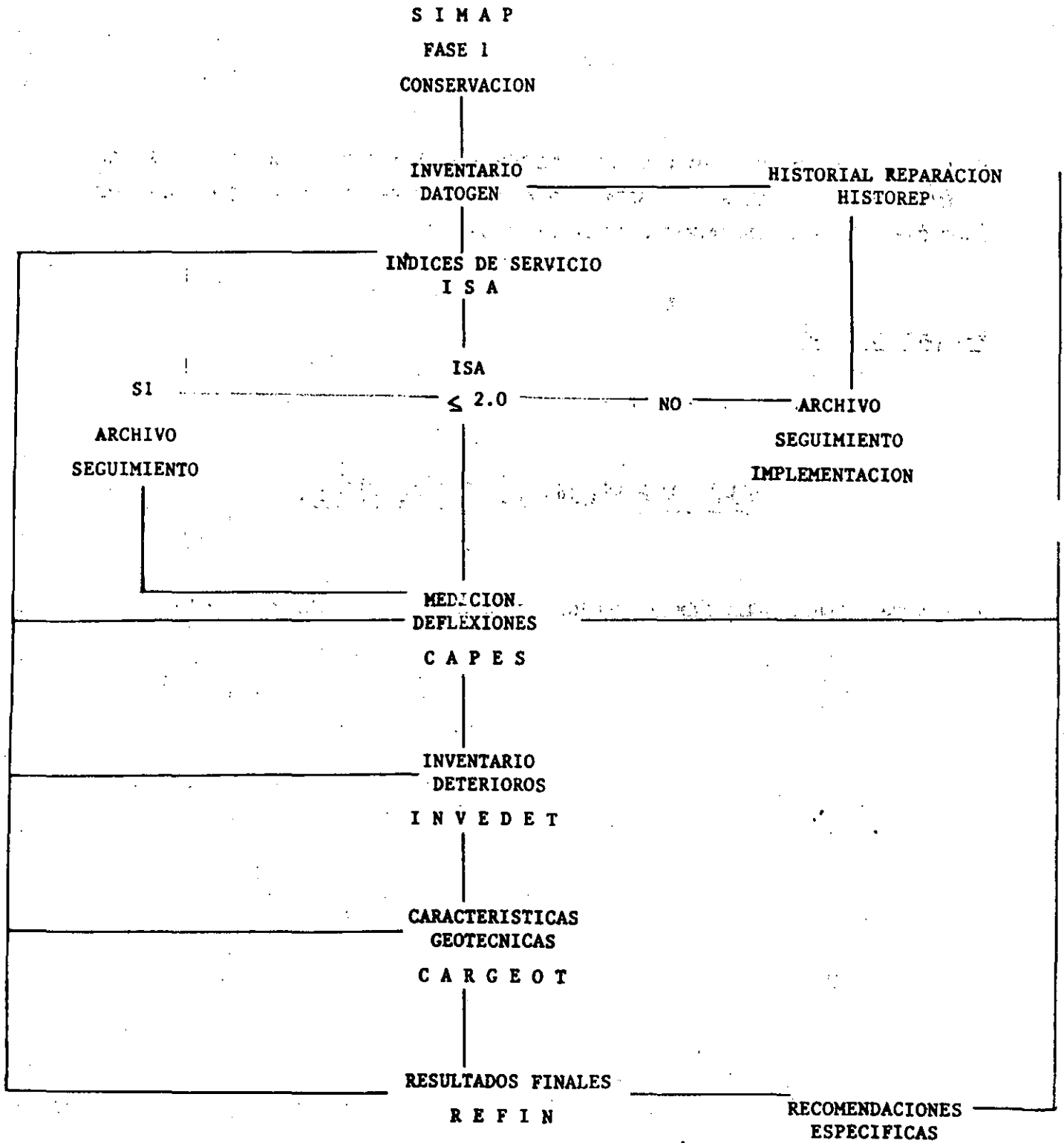
ASIGNACION 1990

\$ 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 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.



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

ANEXO AL TEMA

MANTENIMIENTO MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

ING. BENJAMIN BARRERA AMIGON

PALACIO DE MINERIA

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

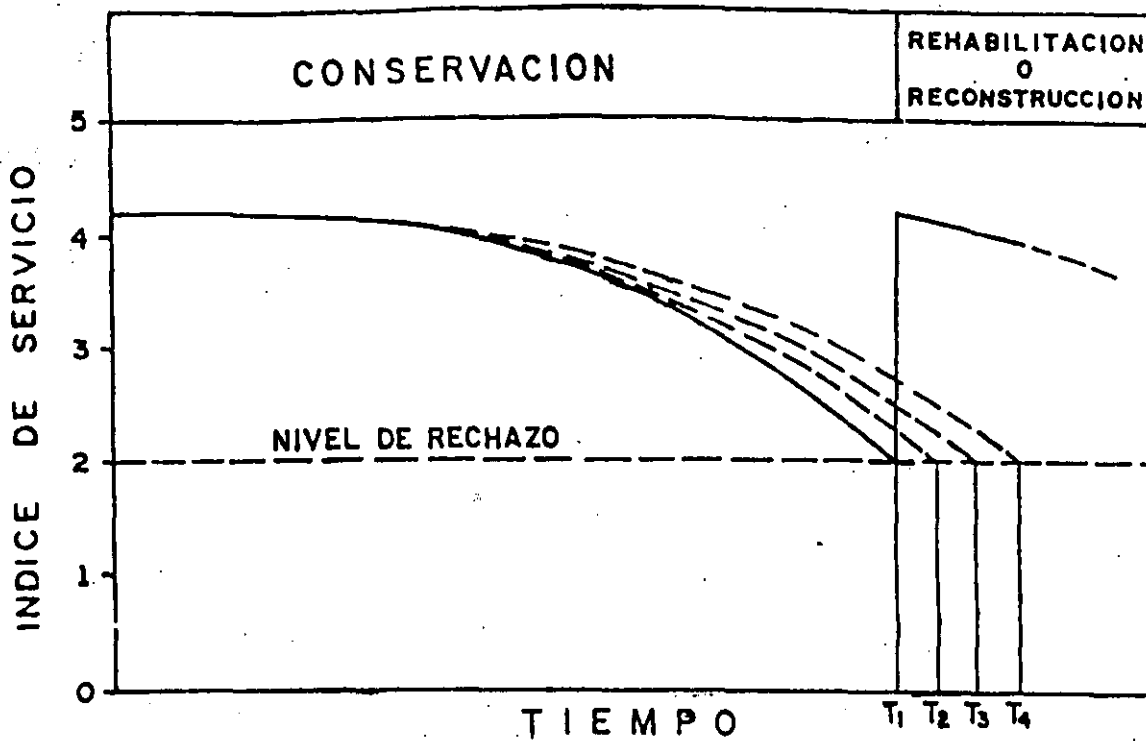


Fig 1.- Variación del Índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

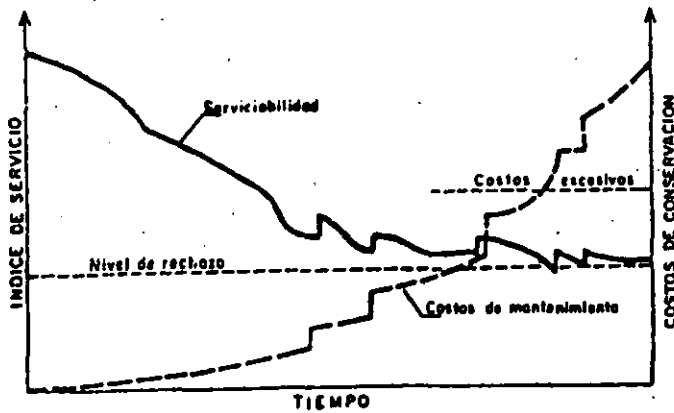


Fig 2.- Variación del Índice de servicio y costos de conservación con el tiempo, con una política inadecuada de conservación. Haas y Hudson.

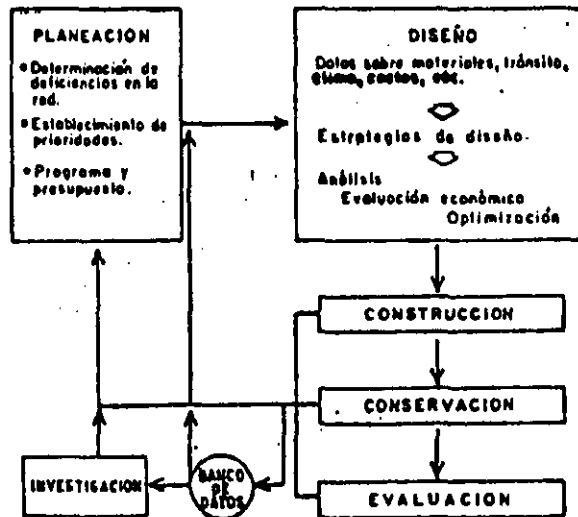


Fig 3.- Actividades principales de un sistema de administración de pavimentos. Haas y Hudson.

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)	DEFLEXION x 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.

Fig 4.- Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento. Haas y Hudson.

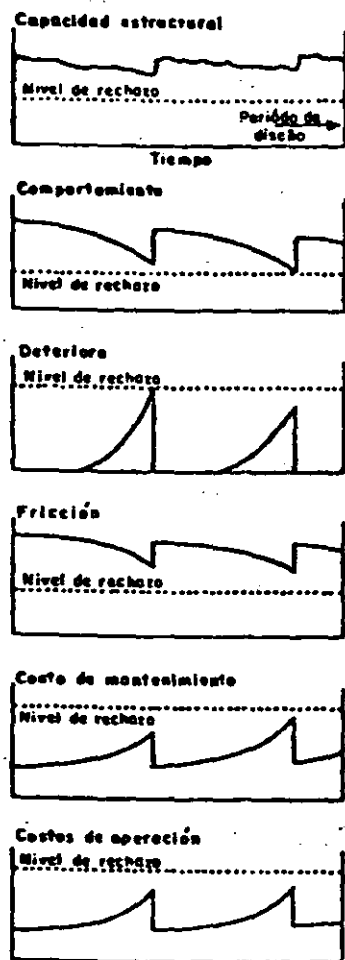


Fig 6.- Acciones recomendables en función del tránsito y estados del pavimento.

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	---
Flecos de asfalto _____	0-10	---
Agregados pulidos _____	0-5	---
Deficiencias de drenaje _____	0-10	---
Cantidad 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 = _____

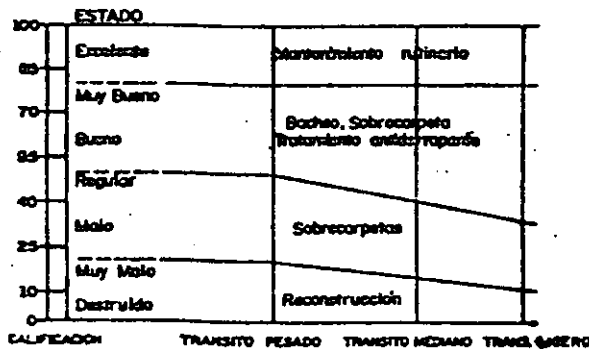


Fig 7.- Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

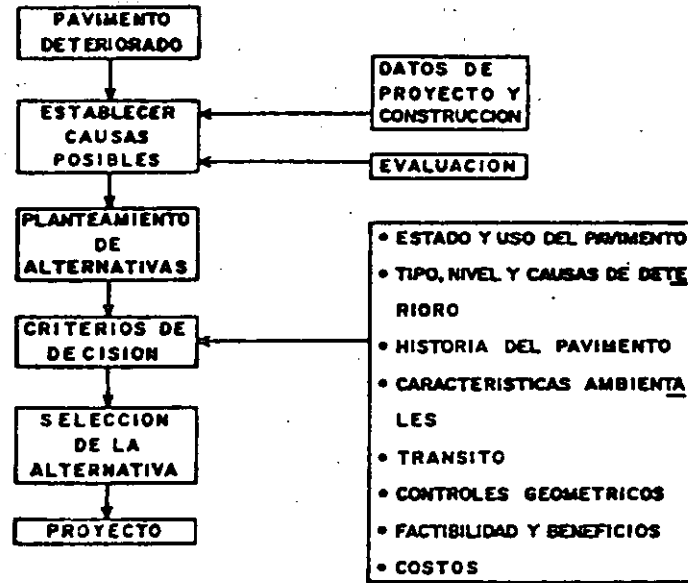


Fig 8.- Acciones de la conservación y rehabilitación. Monismith

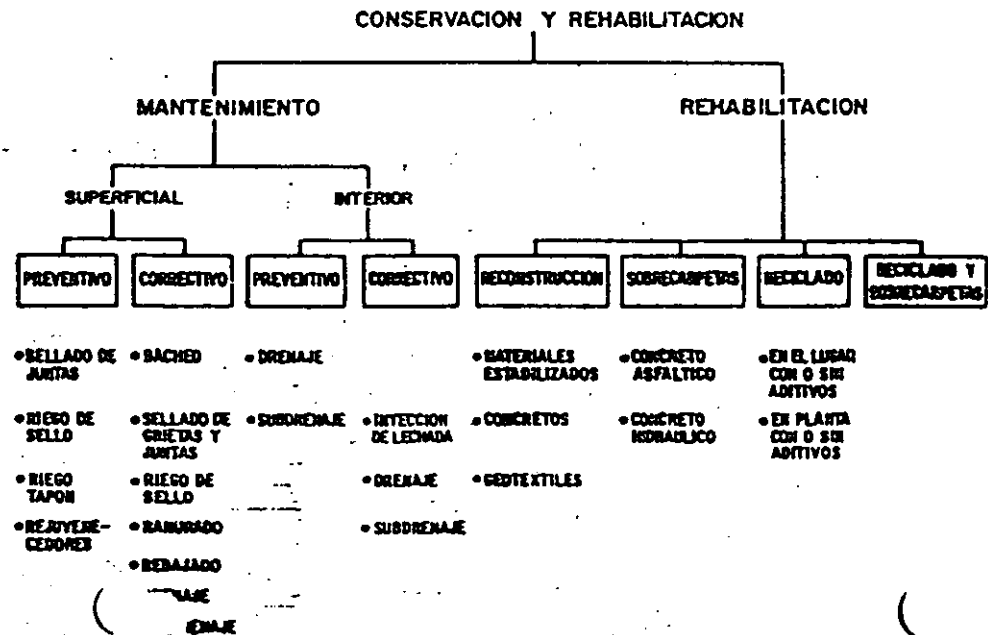
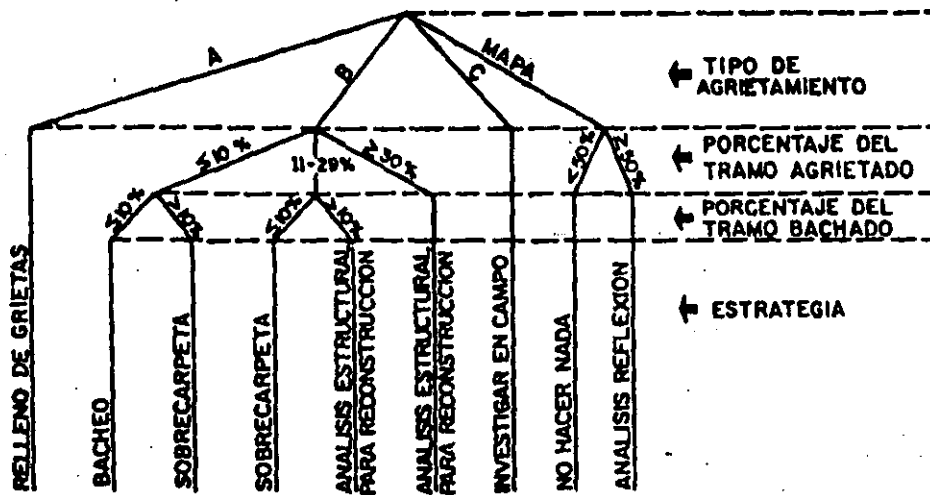


Fig 11.- Ejemplo de selección del procedimiento para corrección de deterioros. California

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	
A1 A2 B1 B2 B4 C1 C3 C4	0.004 0.836 2.000 1.999 2.666 2.000 1.999 4.000	0.000 0.016 0.899 0.756 0.753 0.899 0.756 2.937	W = 23.5 ton
T2-S1 T2-S2 T3-S2 T3-S3	3.000 4.000 5.000 8.000	3.331 2.790 2.249 5.758	W = 46.0 ton
C1-R1 C3-R2 C3-R3	4.000 5.000 6.000	6.578 6.580 6.581	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 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	
F.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		
Bresina RENFE España	± 3 mm $- 2$ mm			± 3 mm en 6,5 m	± 3 mm en 10 m	± 5 mm en 10 m con $R \leq 10$ m	± 3 mm en 3 m	± 3 mm

TABLA 3.- Tolerancias para conservación de vía

Vía \ parámetro	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 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	+ 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

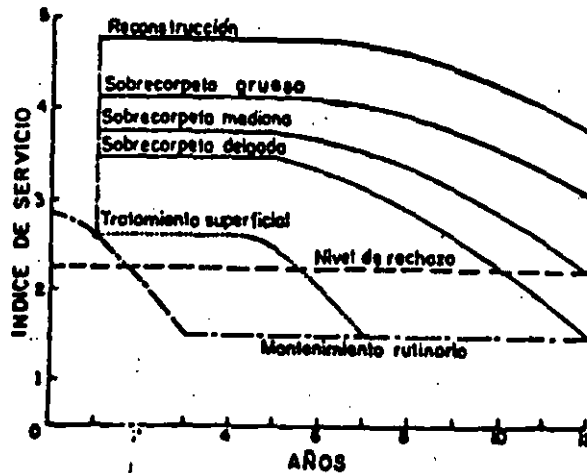


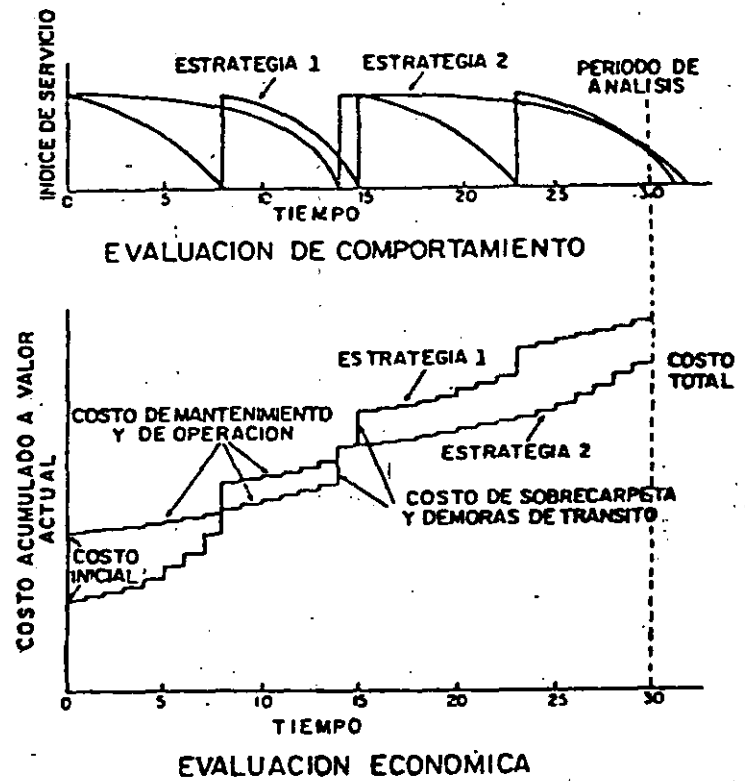
Fig 9.- Curvas típicas de comportamiento para diferentes alternativas de conservación y rehabilitación.

TABLA 4.- Tolerancias para vía RENFE 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 EFICACES 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, EQUIPO 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 CONSTRUCCION 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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

INTRODUCCION A LOS GEOTEXILES Y SUS APLICACIONES

ING. JAVIER HERRERA LOZANO

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería, Calle de Tacuba 5, Primer piso, Deleg. Cuauhtémoc, 06000 México, D.F. Tel.: 521-40 20 Apdo. Postal M 2285

INTRODUCCION A LOS GEOTEXILES 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 GEOTEXILES

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-- tituidos 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-- ción 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 e incrustarse, entre otras cosas por los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas o por pesos propios; 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 caídos.
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.- Prevensión 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 multiples 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)

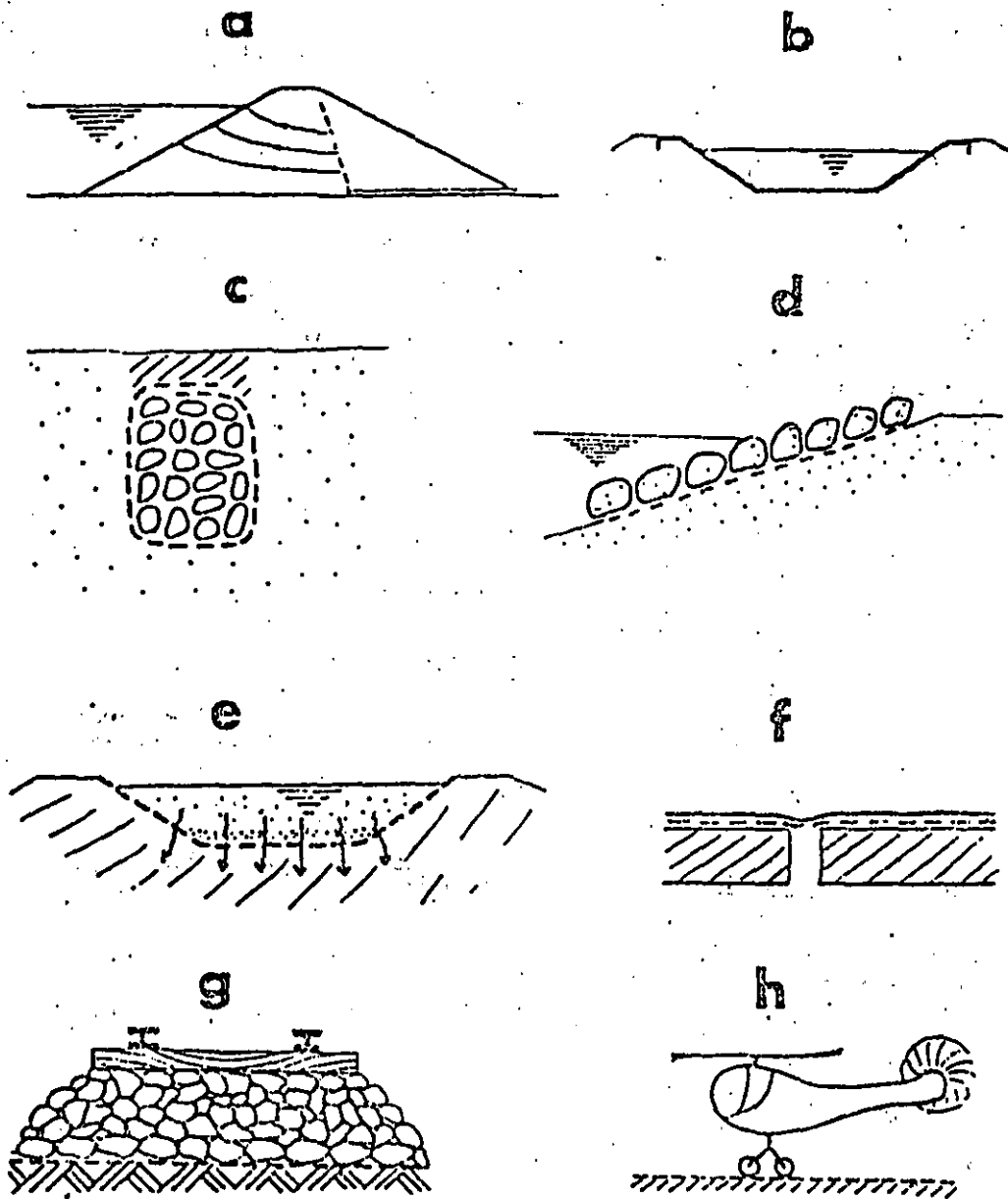


FIGURA No. 1.

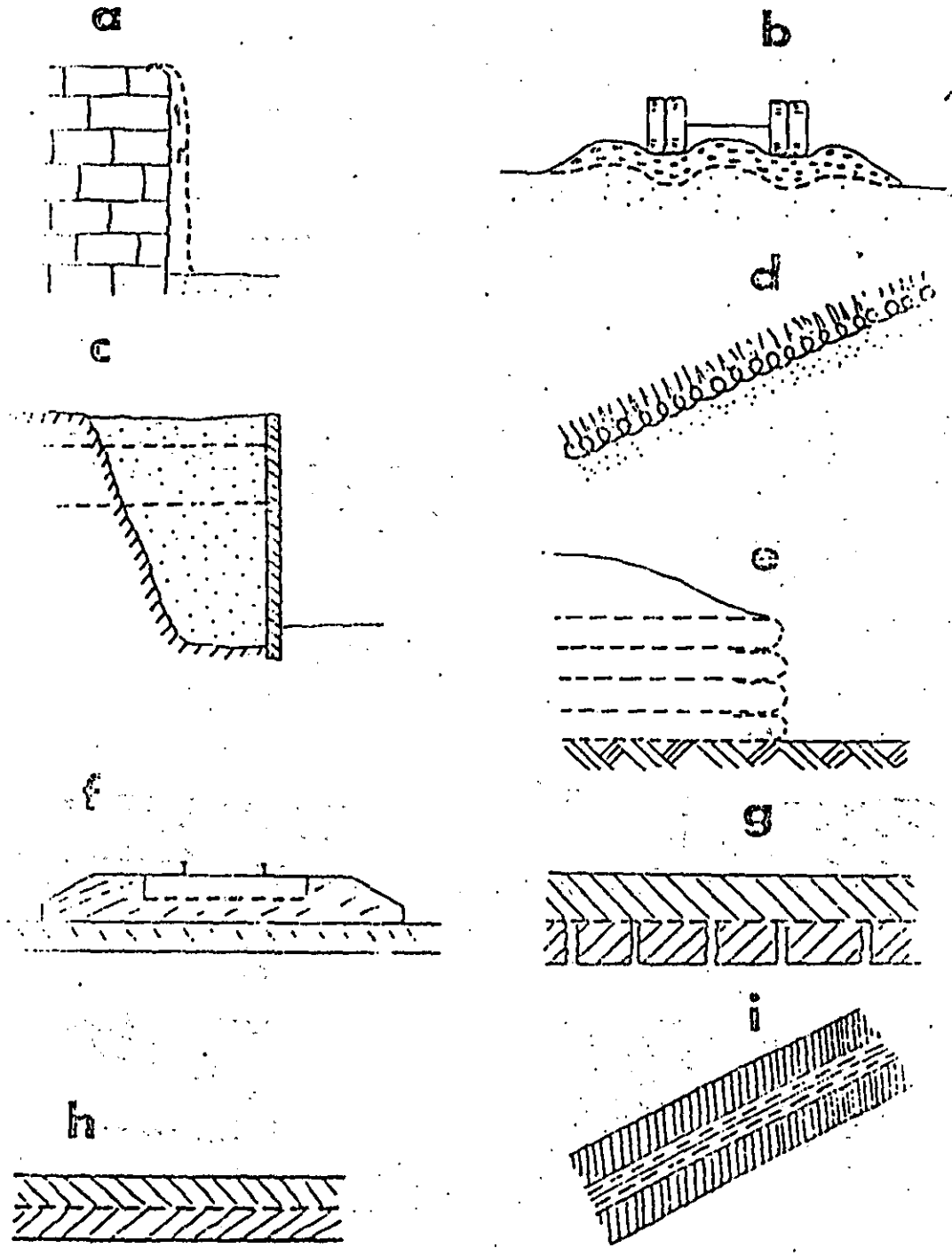


FIGURA No. 2



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

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**

PALACIO DE MINERIA

25ª 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 empíricas que tuvo el concreto compactado en las vías terrestres nacen en la década 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 espécimense 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 autopulsados 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 m² 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 m² 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. $K = 270 \text{ PCI} = 7.5 \text{ KG/CM}^3$

$\text{VRS} = 30\% \text{ MINIMO} \implies K_c = 250 \text{ PCI}$

$c = 4" \text{ GRANULAR} \therefore K_c = 270 \text{ PCI}$

2. $\text{MR} = 500 \text{ PSI (28 DIAS)} = 35 \text{ KG/CM}^2$

3. $\text{ADTT} = 2782 \text{ VEHICULOS}$ * (JUNIO 1991, CPFISC)

TIPO B+C CARR. DIS. F.P.

$\text{TDPA}_D = 18400 \times 0.12 \times 0.70 \times 1.8 = 2782 \text{ VEHIC, } 3500 \text{ VEHIC}$

$\text{F.P.} = 1.8, 2.26$

4. $\text{D.L.} = 20 \text{ AÑOS}$

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

* THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS, FIG. 3, PAG. 9.

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
	100.0	18,400

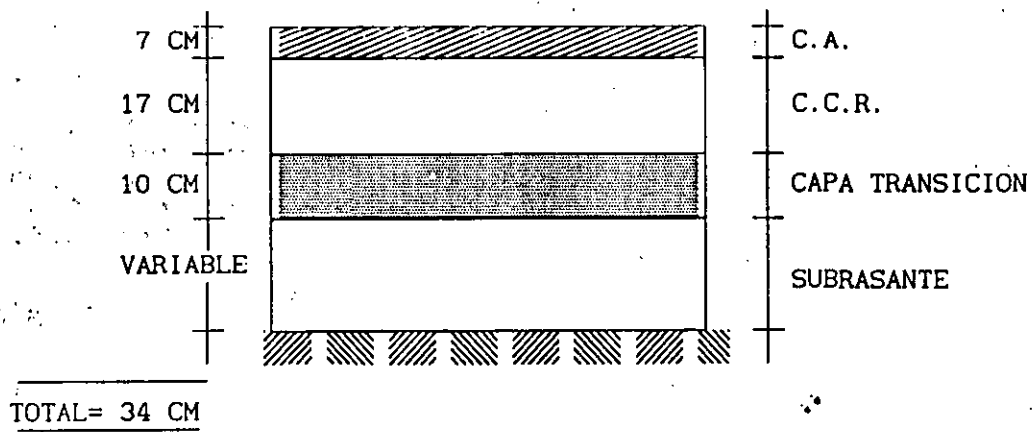
<u>VEHICULO</u>	<u>%</u>	<u>No. DE VEHIC</u>
B-3	54	1,196
C-3	46	1,016
	100	2,208

		<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	
	Single	Axles per	1000 Trucks	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:
 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
 Aggregate Interlock Joints
 Concrete Shoulders
 Load Safety Factor 1.2
 Estimated Pavement Thickness 8.0 IN

Axles per Single	A X L E L O A D S	
	Axles per 1000 Trucks	Tandem
22	0.00	40
20	0.00	36
18	0.00	32
16	0.00	28
14	0.00	24
12	120.00	20
10	0.00	16
8	0.00	12
6	0.00	8
4	0.00	4

Design Thickness =8.0 Inches

Load Repetitions ---Fatigue Analysis----- ---Erosion Analysis---

SAL	*LSF	Axle/1000	Expected Repts	Stress Ratio	Allowable Repts	Fatigue Consump	Power	Allowable Repts	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 Repts	Stress Ratio	Allowable Repts	Fatigue Consump	Power	Allowable Repts	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.
ASTHO 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.
ASTHO 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 longitud, 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 días. 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.	3/75 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 absorba 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 \$
			TOTAL	=	129.862.103 \$
			COSTO POR M03		100.202 \$

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO DEL CCR COLOCADO

MATERIALES:	100.202 \$/M03
EQUIPO:	19.040 \$/M03
TOTAL:	119.242 \$/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

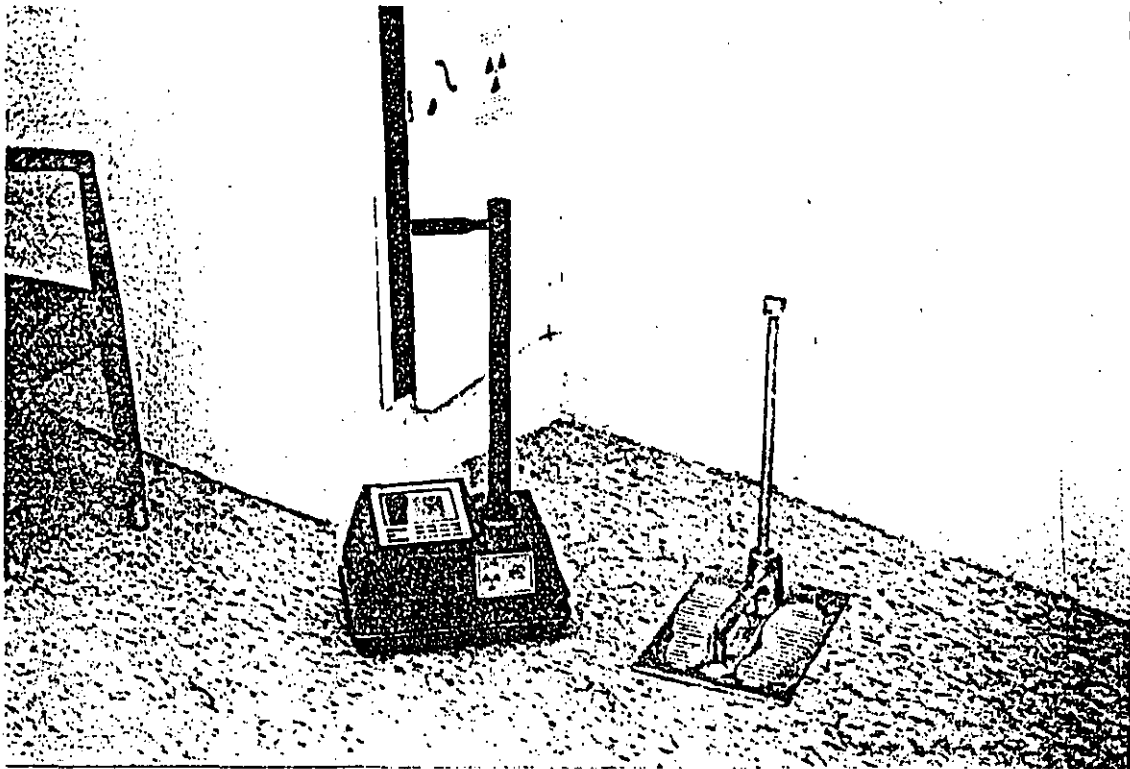


Figura 1.- Densímetro Nuclear



Figura 2.- Tramo experimental en la Autopista México-Cuernavaca, Km. 23

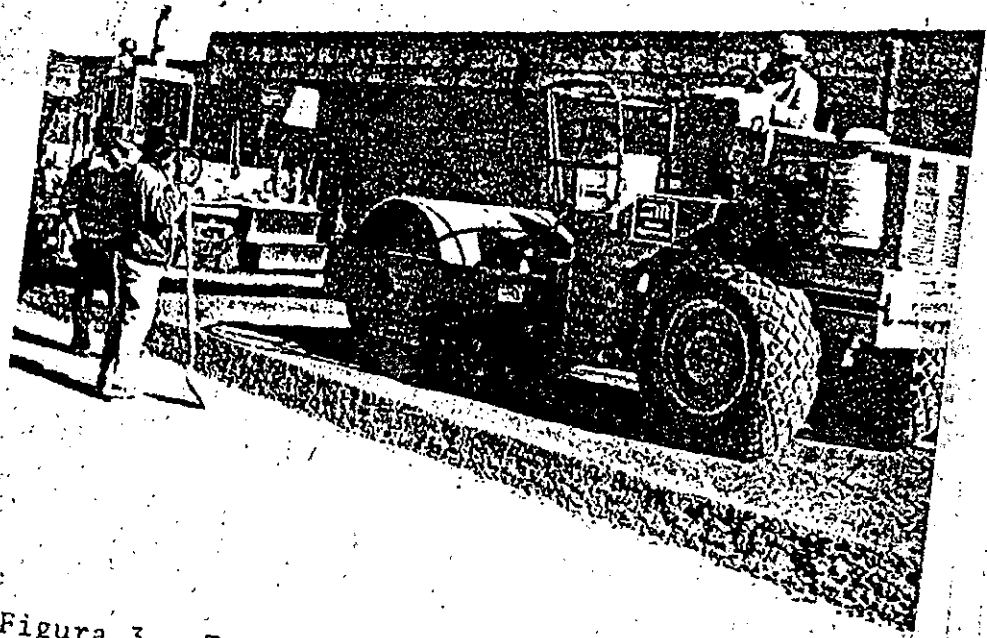


Figura 3.- Tramo experimental en una Planta de Concreto Premezclado, Cd. Juárez, Chih.

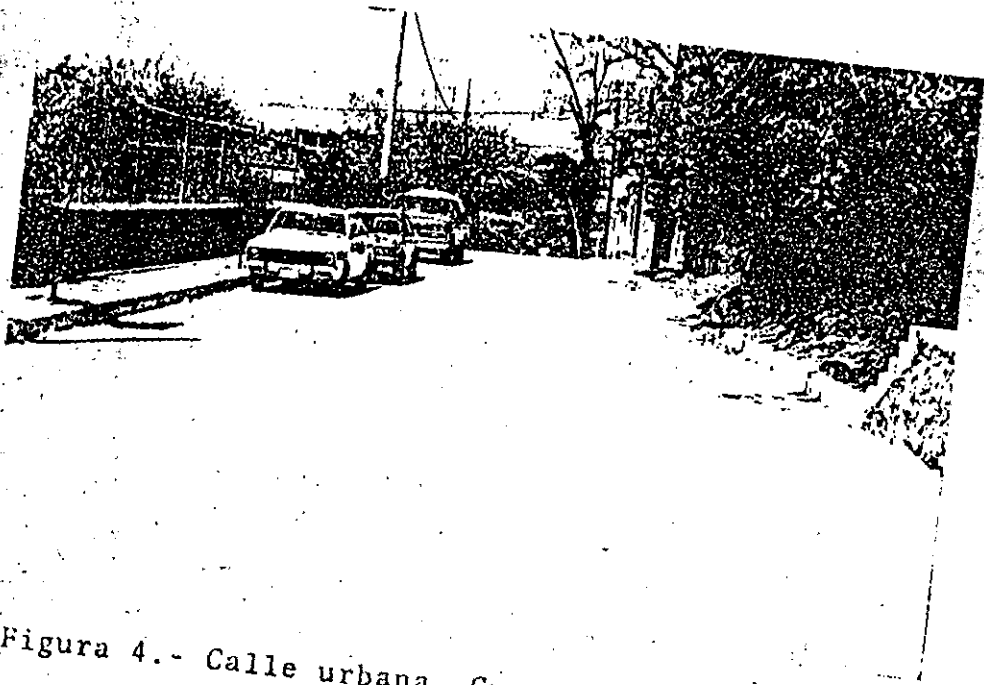


Figura 4.- Calle urbana, Cuernavaca, Mor.

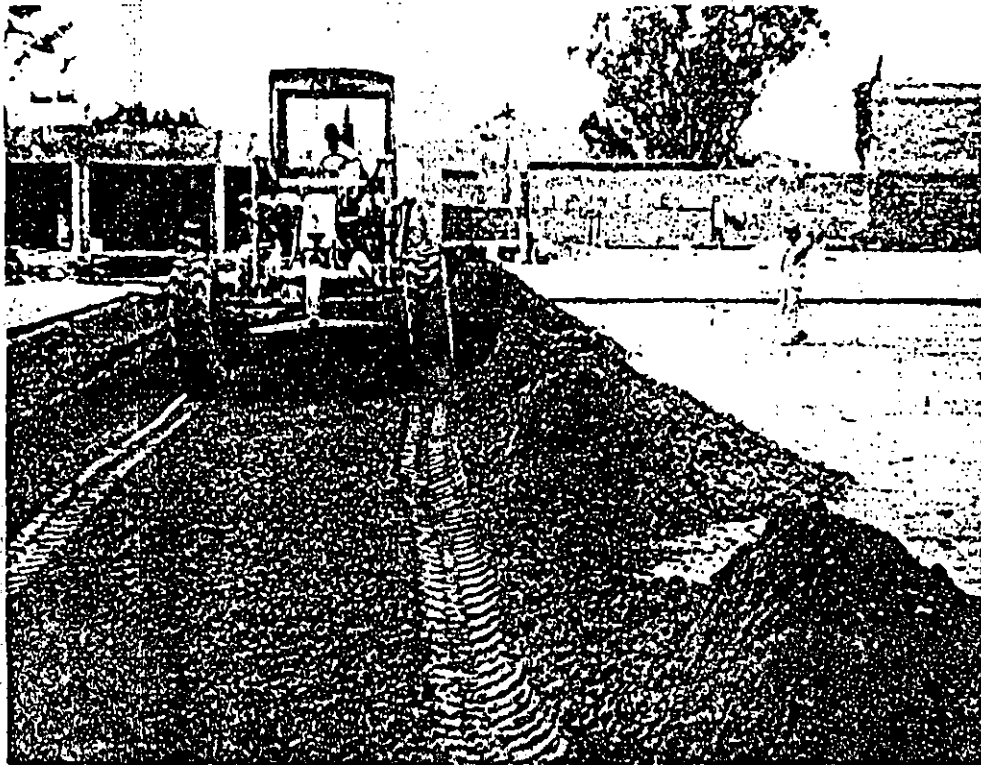


Figura 5.- Patio comercial, Temixco, Mor.

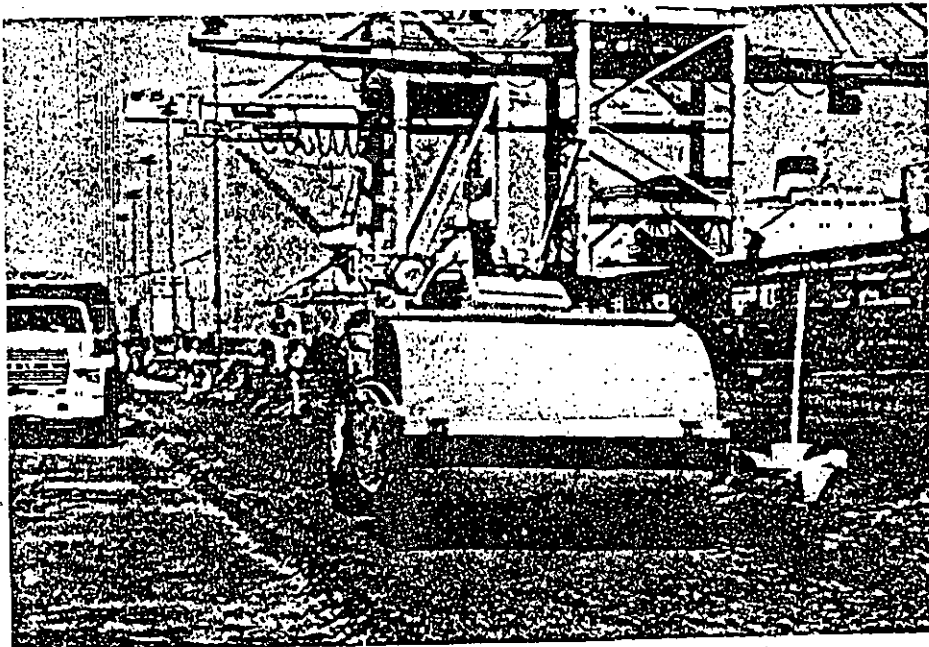


Figura 6.- Caminos de acceso a la Terminal de Usos Múltiples del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

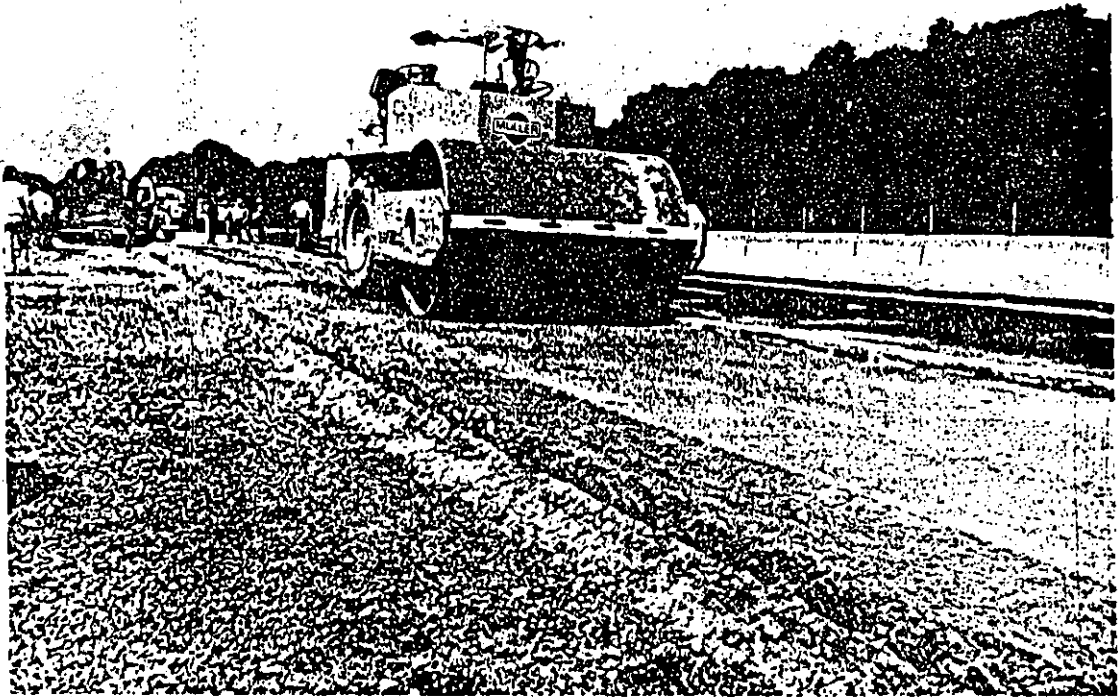
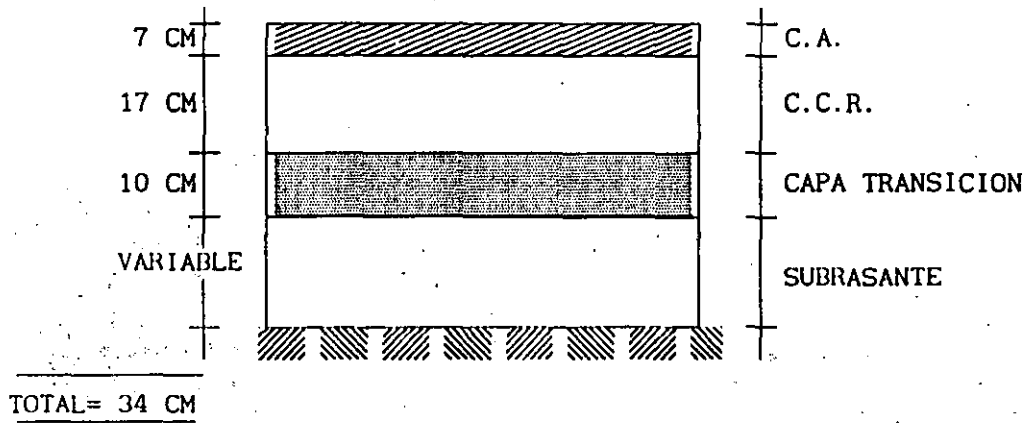


Figura 7.- Tramo de Pavimento en el Cuerpo B,
carril de ascenso, Km. 73 + 100 de
la Autopista México-Cuernavaca.

SECCION RIGIDA



SECCION FLEXIBLE

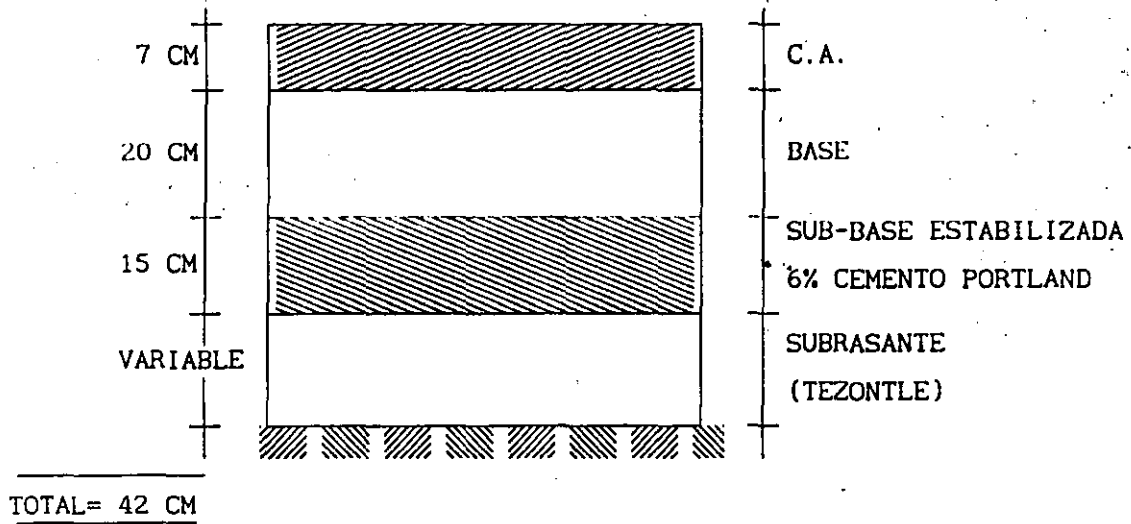


Figura 8

Estructura de Pavimento Rigido y Flexible

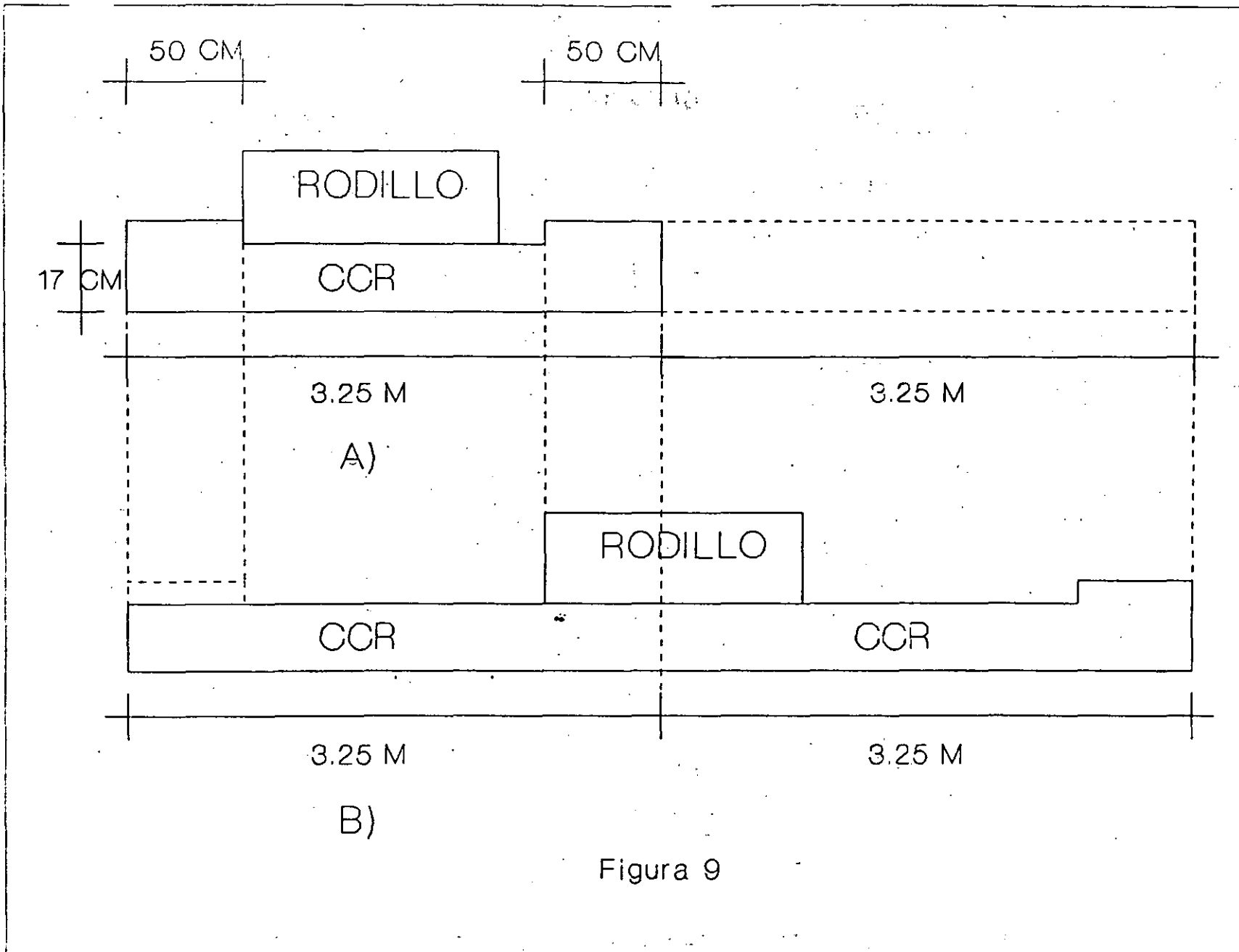
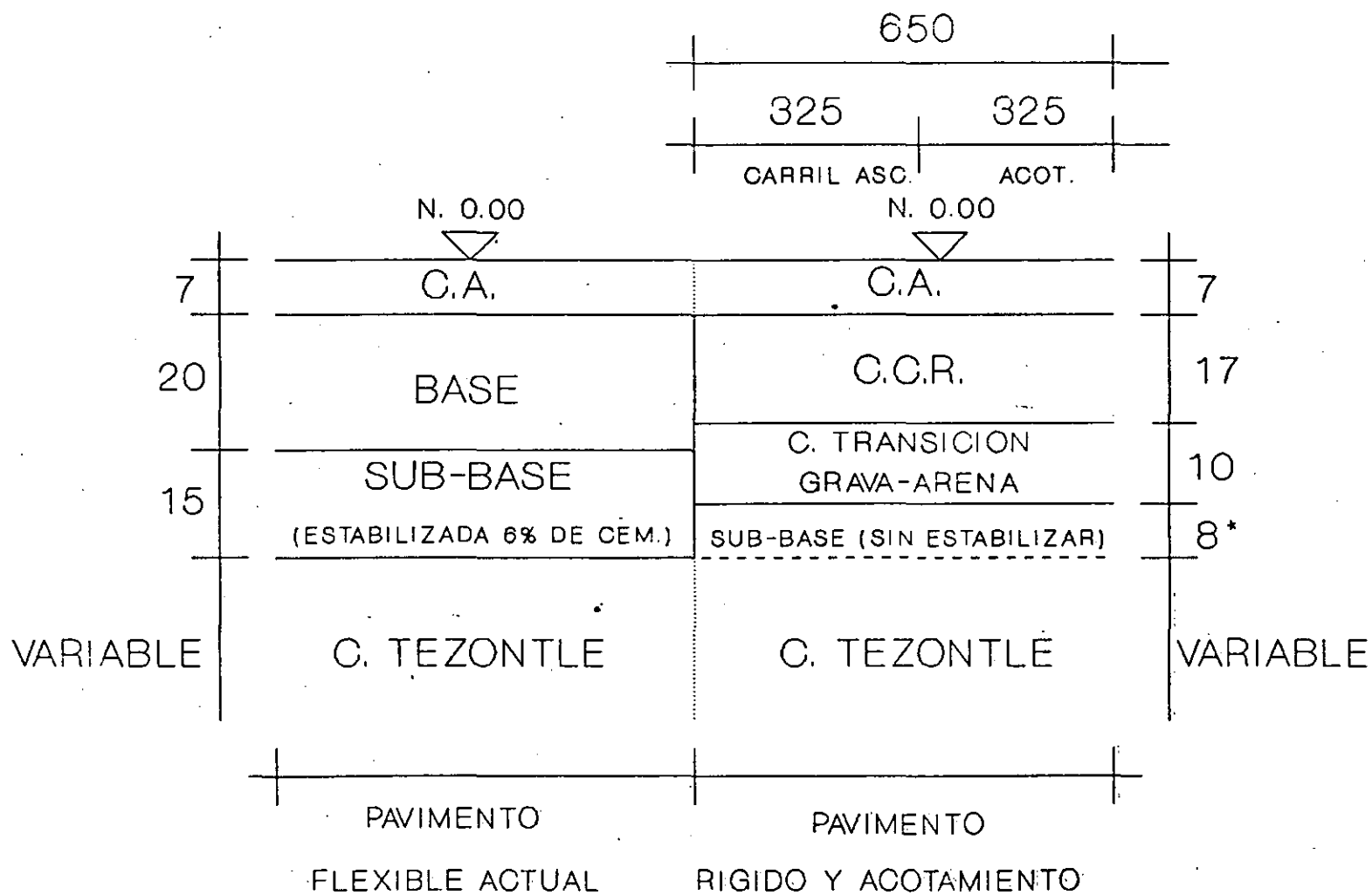


Figura 9

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

Figura 10

ACOTACIONES EN CM

Figura 10.- Junta de Pavimento Rigido y Flexible.

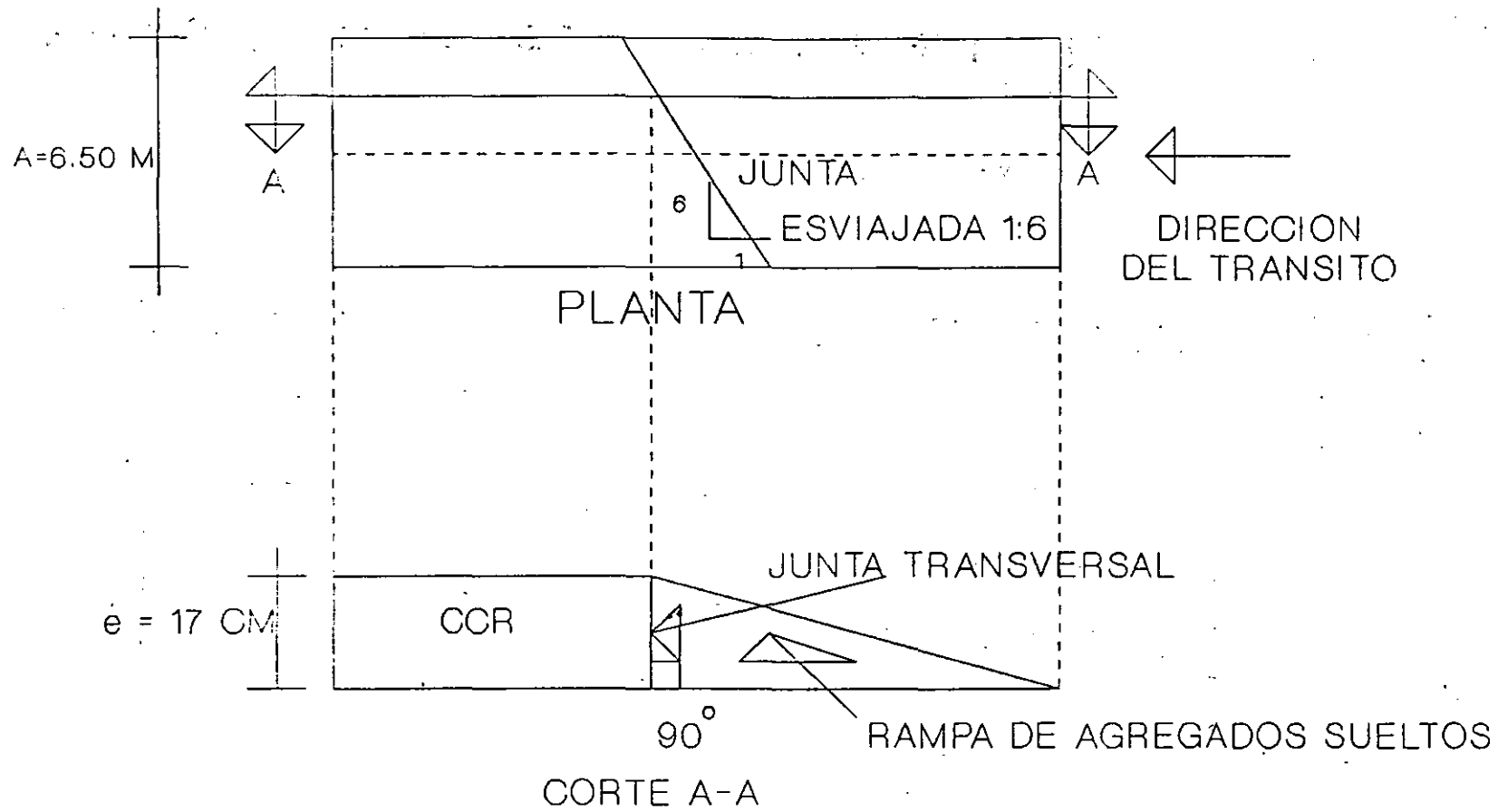


Figura 11

Figura 11.- Juntas esviajadas 1:6 y Rampas de Acceso.

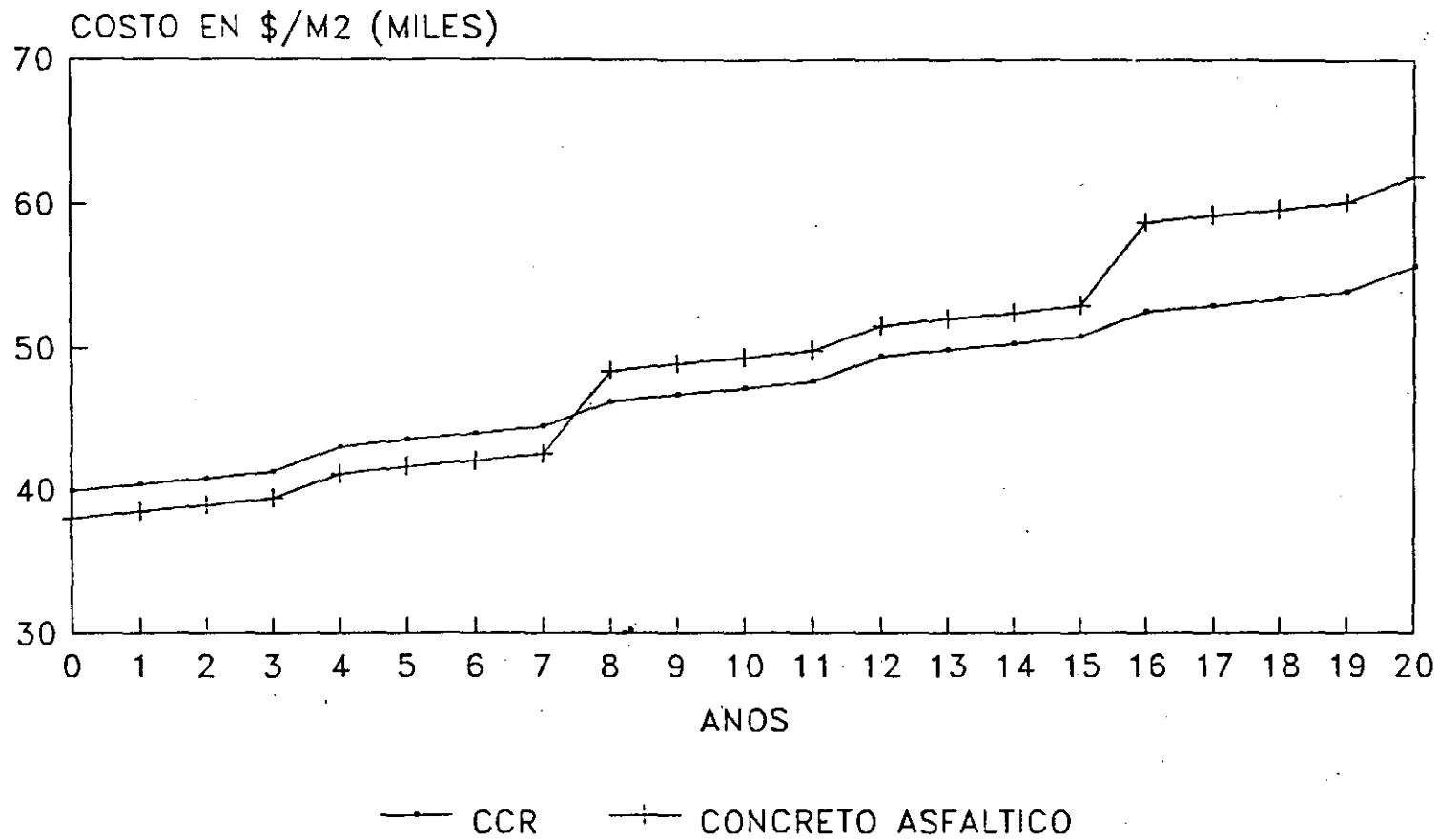


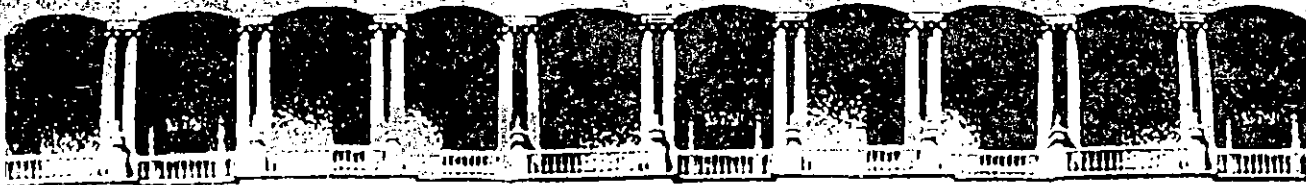
Figura 12 Costo del Mantenimiento de Pavimentos de CCR y Asfalto

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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

CARRETERAS DE C.C.R. ... LA MEJOR SOLUCION

M. EN I. DONATO FIGUEROA GALLO

PALACIO DE MINERIA

CARRETERAS DE C.C.R. ..LA MEJOR SOLUCION

M. en I. Donato Figueroa 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 autovía 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 período 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



Fig. 1 Pavimento de CCR en caminos rurales.



Fig. 2 Pavimento de CCR en zonas urbanas.

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.
Total	6550 Km.

Investigador Area de Construcción, IMCYC

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).

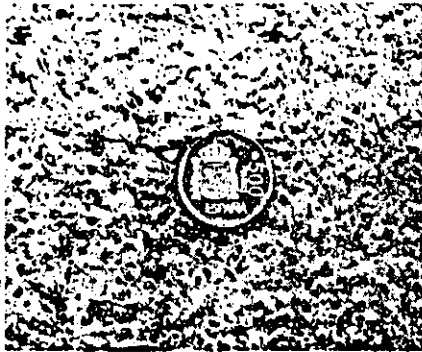


Fig. 3 Muestra de un detalle de la textura del CCR en una calle urbana.

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.

ticulares. 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		T0		T1		T2	T3	T4	
CATEGORIA DE EXPLANADA		ALTERNATIVA I		ALTERNATIVA II		ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II
CARRETERA DE DISEÑO	E3								
		28 15	30 25 20	25 15	30 25 20	8 20	4 20 15	4 30 30 (NO TRATADA)	4 20
ACOTAMIENTO	E3								
		26-30 15	30 25-27 20	23-27 15	30 20-24 20				

	Concreto asfáltico		
	Concreto hidráulico	M _r = 40 Kg/cm ² a 28 días	T ₀ TRANSITO > 2000 Vehículos pesados/día
	Concreto compactado con rodillos	A _b = 15 Kg/cm ² a 28 días M _R = 40-55 Kg/cm ² a 28 días	T ₁ E3 / < TRANSITO < 2000 Vehículos pesados/día T ₂ T0 / < TRANSITO < 800 Vehículos pesados/día
	Base granular tratada con cemento		T ₃ T0 / < TRANSITO < 200 Vehículos pesados/día T ₄ TRANSITO < 50 Vehículos pesados/día
	Sub-base greda-cemento	F _c = 25 Kg/cm ² a 28 días 38 Kg/cm ² a 90 días	E ₃ 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-

Juntas 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.

algunos tramos de carretera que se han construido anteriormente se plancó 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 esta 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 todo lo ancho del pavimento y tender la rampa de arena o material suelto para que el equipo pueda subir al área de trabajo cuando las actividades se inician. 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 subrasante 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

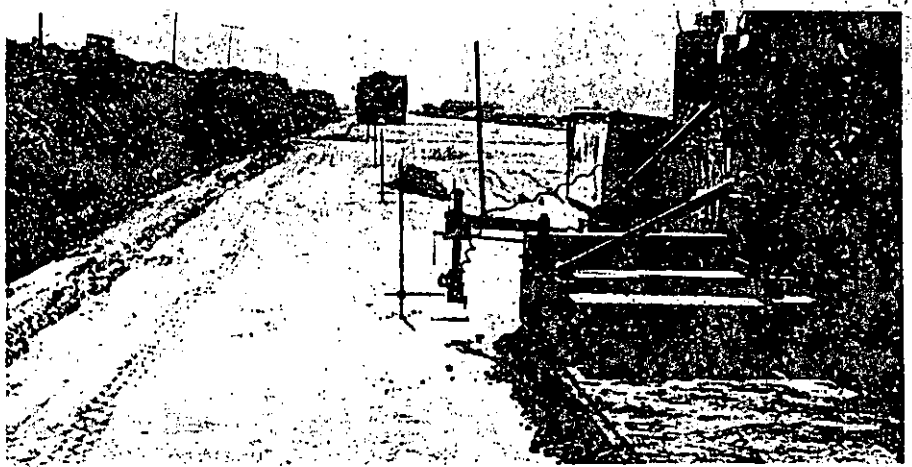


Fig. 8 Sub-base estabilizada con cemento

El mismo equipo que se utiliza para 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 tón. 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: berilium (neutrones), en la figura 10, se puede observar un densímetro nuclear 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/M ²	%
1) C.A. 2) C.C.R. 3) S.C.	21,251,226	1,000
4) C.A. 5) S.C.	21,703,870	1,026
6) C.A. 7) S.C. 8) S.C.	21,470,480	1,011
9) C.C.C. 10) S.C. 11) S.C.	22,363,180	1,054
12) C.A. 13) S.C. 14) S.C.	24,344,600	1,147

Acabados y presentados
 * Puntos especiales
 Hacerse en:
 C.A. ...
 C.C.R. ...
 S.C. ...
 C.C.C. ...
 C.C.R. ...

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



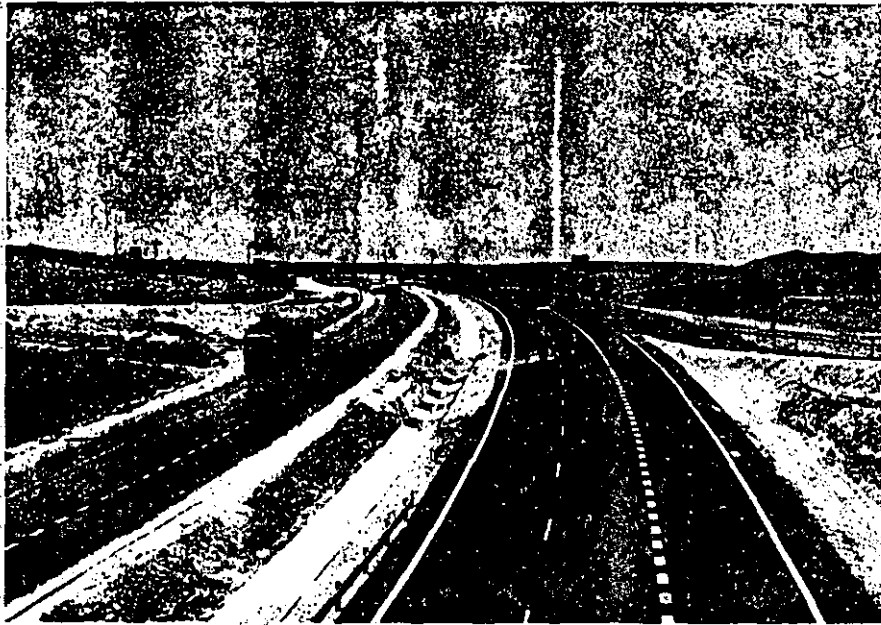


Fig. 15 Autovía en operación

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 compite 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 acuplancamiento.

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 Carracón 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 Ferrovial.

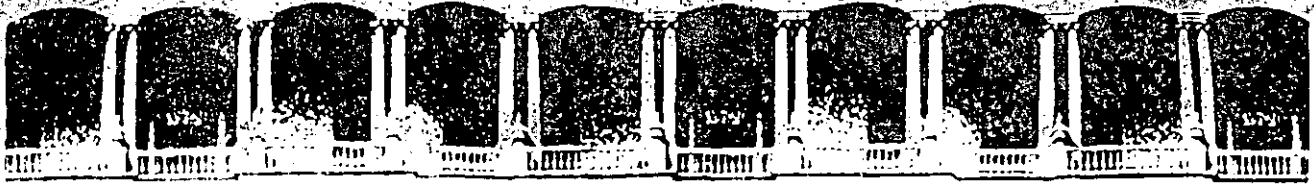
Finalmente, se extiende un reconocimiento a la Dirección Técnica del IMCYC y al Ing. Carlos J. Bárcenas Martínez por su apoyo en la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

- (1) Jofré, C., Josa, A., Fernández, R., Kramer, C. Fourth International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, Abril 18 al 20 de 1989, U.S.A.
- (2) Alarcón & Harris, Agencia de Información Técnica, Junio de 1989, Pasco de la Habana 14, 20036 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. 5, Octubre de 1988.
- (6) Fly Ash and Row or Calined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, ASTM: C 618-87.

	<p>INGENIERIA EN CIMBRAS, S.A. DE C.V.</p>
<p>Fabricantes exclusivos</p>	
<p>de productos</p>	
<p>SYMONS </p>	
<p>RENTA Y VENTA</p>	
<p>CIMBRA-METALICA CON CONTACTO DE MADERA DE BAJO PESO. SEPARADORES Y ACCESORIOS PARA TODO TIPO DE CIMBRA CIMBRA PARA TUNELES Y PUENTES COLAPSIBLES Y RECTRACTILES.</p>	
<p>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</p>	





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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

PAVIMENTOS DE CONCRETO ROLADO, UNA NUEVA ALTERNATIVA

EN LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS

**DR. JOSE ANTONIO NIETO RAMIREZ
M. EN I. DONATO FIGUEROA GALLO**

PALACIO DE MINERIA

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 éstos proyectos con el apoyo de instituciones crediticias internacionales siempre 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 planchas 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 planchas 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 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 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 energético. La forma y disposición de las paletas son diseñadas precisamente para obtener mezclas homogéneas y altos rendimientos.

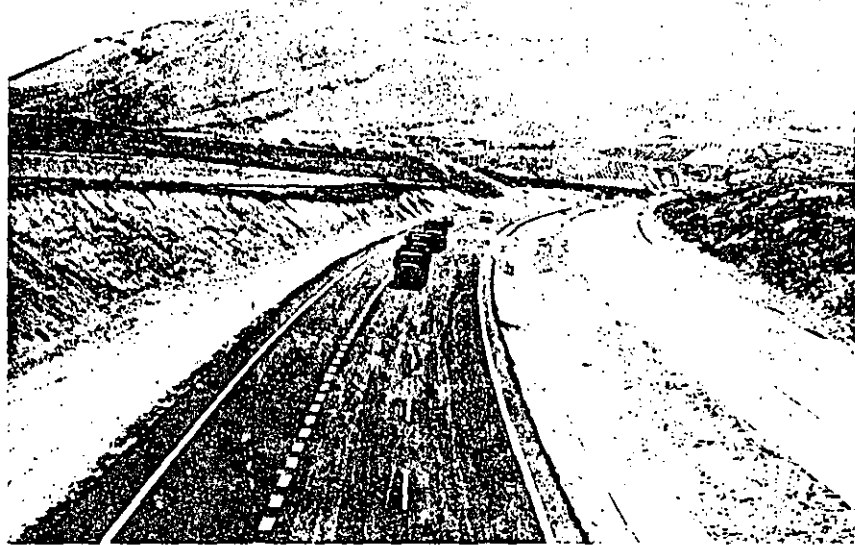
El equipo se seleccionará de acuerdo al tipo de obra que se vaya a construir, al tiempo y volumen de concreto que se vaya a producir y a la distancia de acarreo, pues en el mercado existen una serie de plantas con diferentes rendimientos, que pueden seleccionarse de acuerdo a las necesidades de cada 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 costos 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 extendidora 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 Angules, Coeficiente de Forma o



Medidor nuclear de la densidad-humedad del concreto

Coeficiente 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 vibrocompresión. 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 microtextura, 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-

ríodo 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

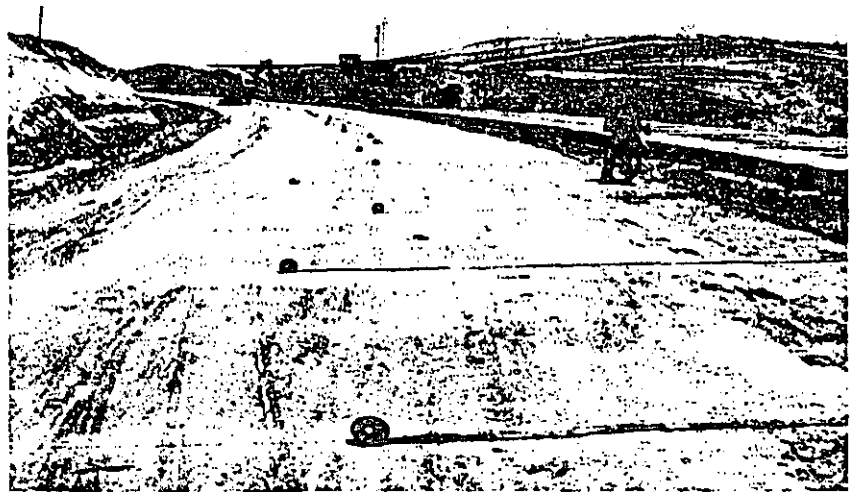
En la actualidad existe una cantidad razonable de equipos en el mercado para producir, transportar, extender y compactar, de una manera adecuada, las mezclas de concreto a base de cemento Portland con cero revenimiento. Desde luego, la selección de estos equipos irá en función directa al tipo de proyecto, 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 nueva 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

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS Y ASFALTOS AHULADOS

ING. MARIO TENA BERNAL

PALACIO DE MINERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS CORTAS Y ASPALTO: ANILAJOS

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.

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

RECTAS

REDONDAS
CUADRADAS
RECTANGULARES

RIZADAS

SINUSOIDAL

CON EXTREMOS CURVADOS

HACES PEGADOS

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 apelotonamiento, 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 apelotonamiento 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 TÍPICAS DEL MATERIAL.

Resistencia Estática.

Las fibras aumentan la ductilidad del concreto en forma importante, dependiendo del tipo y porcentaje de fibras.

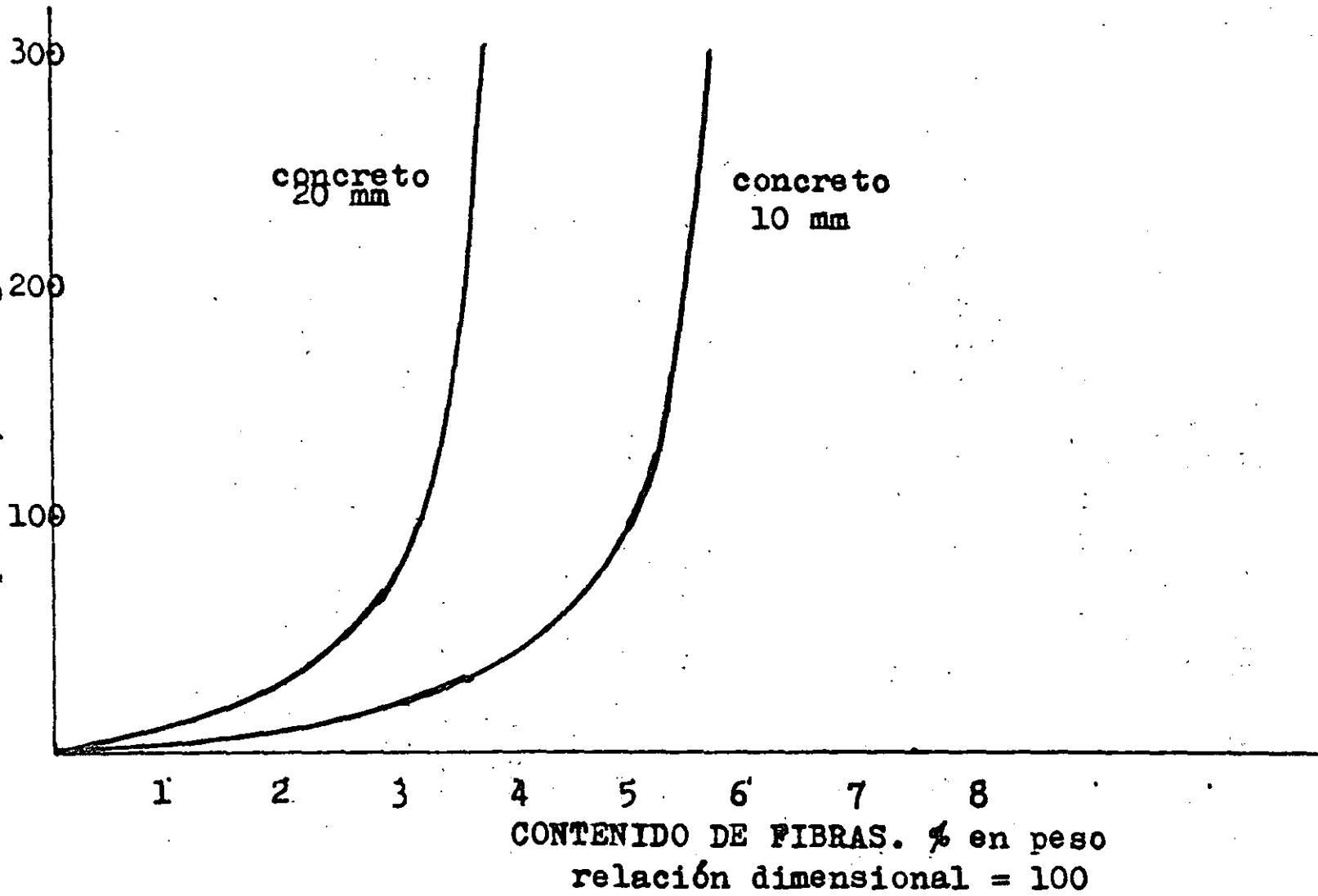
Las fibras con terminaciones especiales pueden proporcionar las mismas propiedades que las fibras rectas de la misma longitud y diámetro, pero con 40% menos de fibras.

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



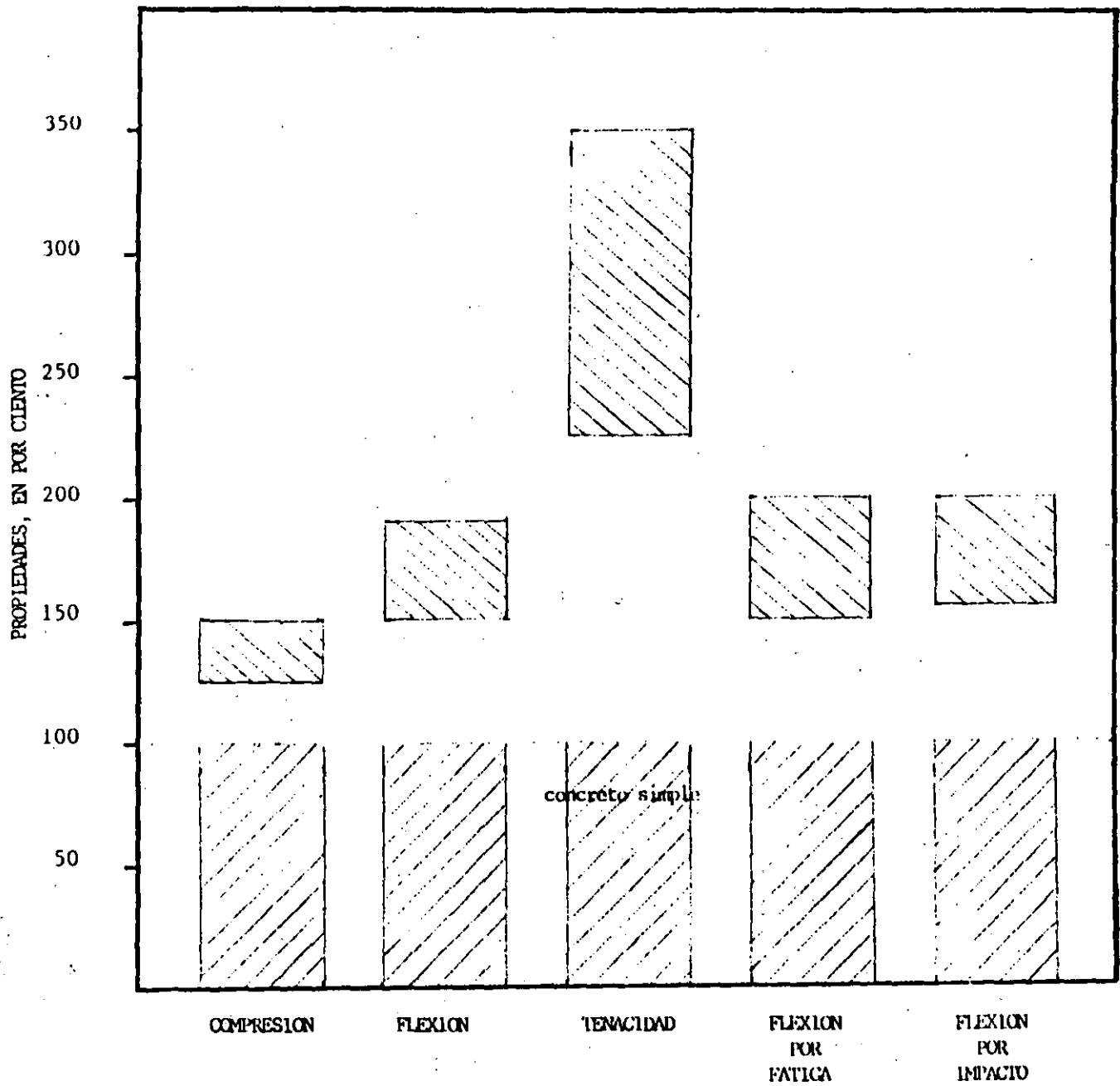


Figura No. 2.- Propiedades medidas en concretos reforzados con 1.5% de fibras de acero, en volumen.

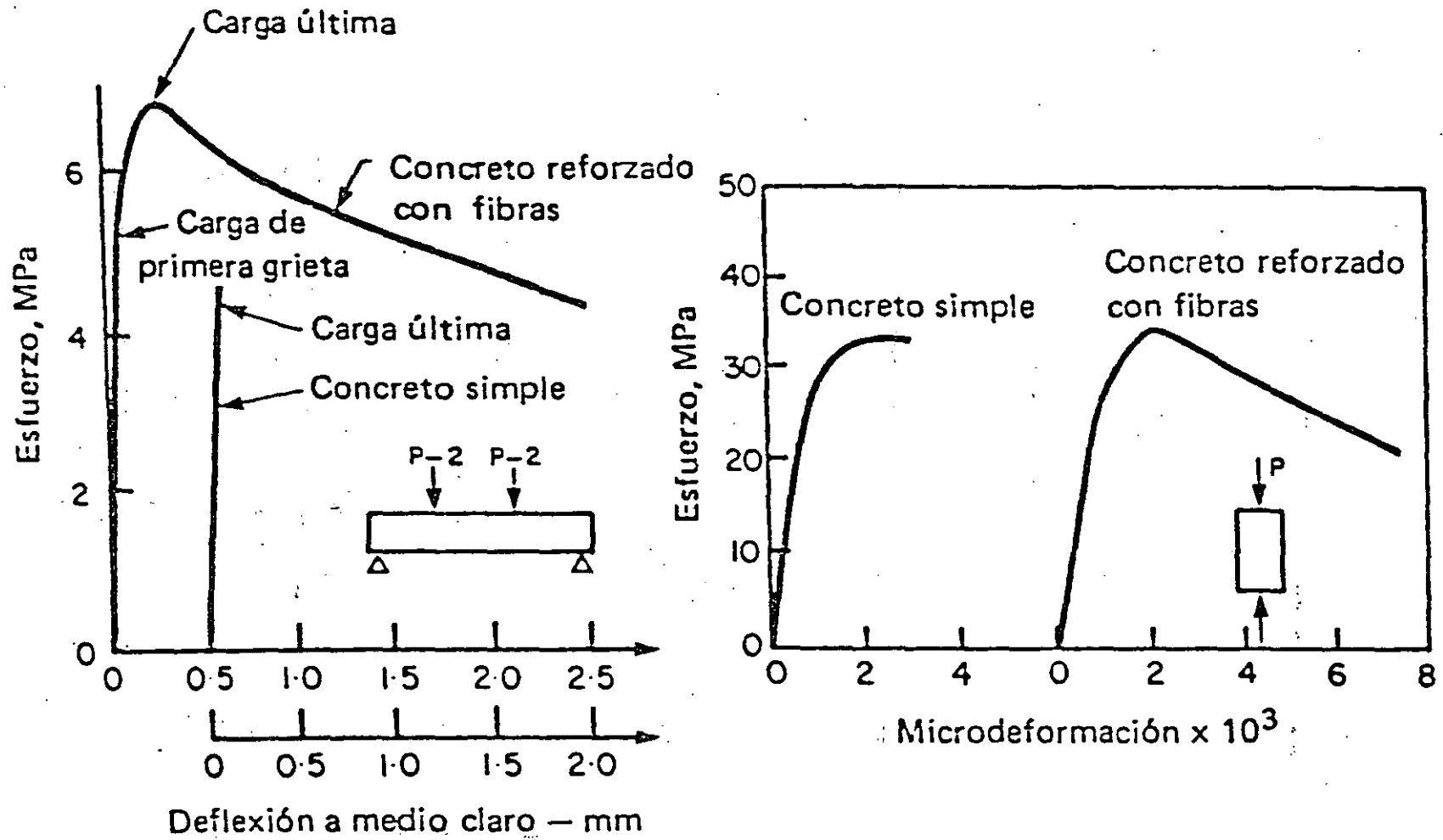


Fig. 1. Comportamiento comparativo de materiales cementantes no reforzados y reforzados con fibras, en flexión (izquierda) y en compresión (derecha). 1 MPa = 10.2 kg/cm²



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

CURSOS ABIERTOS

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992

TIERRA ARMADA

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

PALACIO DE MINERIA

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

COMPONENTES DE LA TIERRA ARMADA

- ESCAMAS DE CONCRETO
- ARMADURA METALICA , BANDA DE ACERO GALVANIZADO
- RELLENO FRICCIONANTE

Fig. 2a : Profile of a metal element.

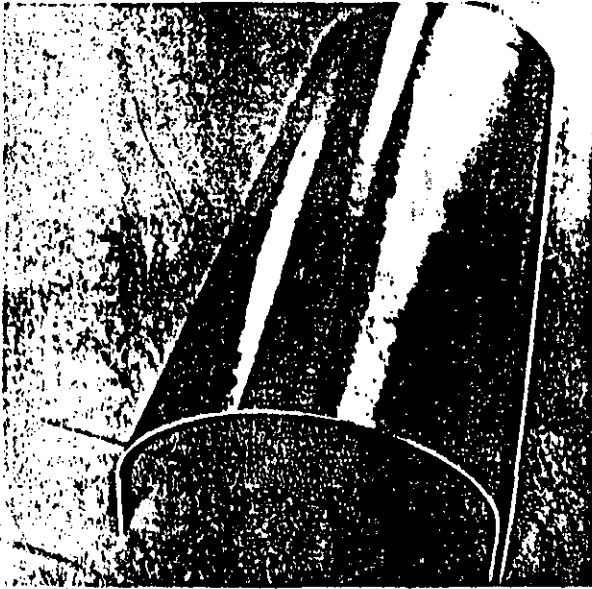
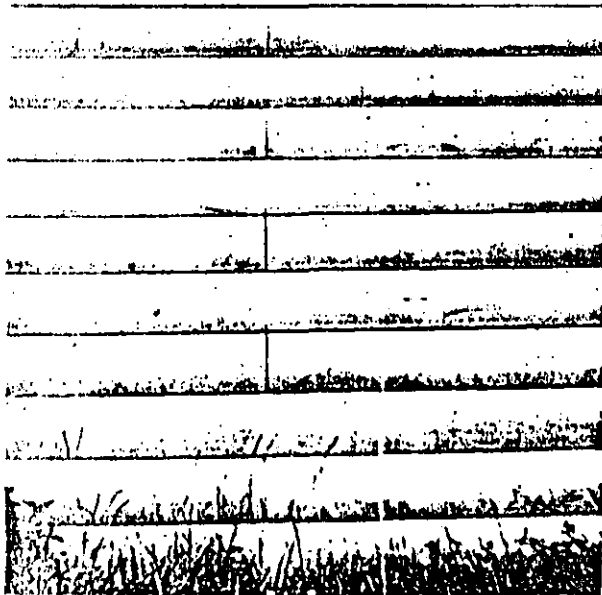


Fig. 2b : Skin consisting of metal elements (lining).



vertical joints. Vertical dowels set into the panels.

Fig. 3a : Profile of a concrete panel.

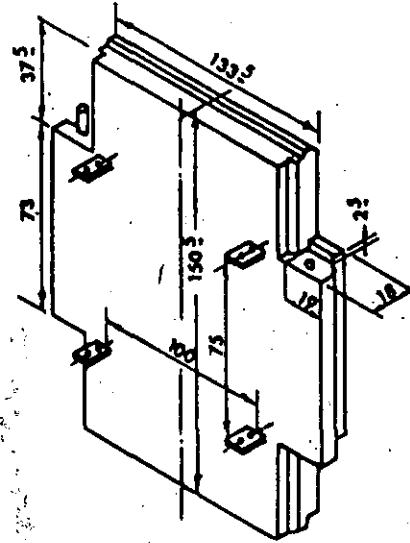
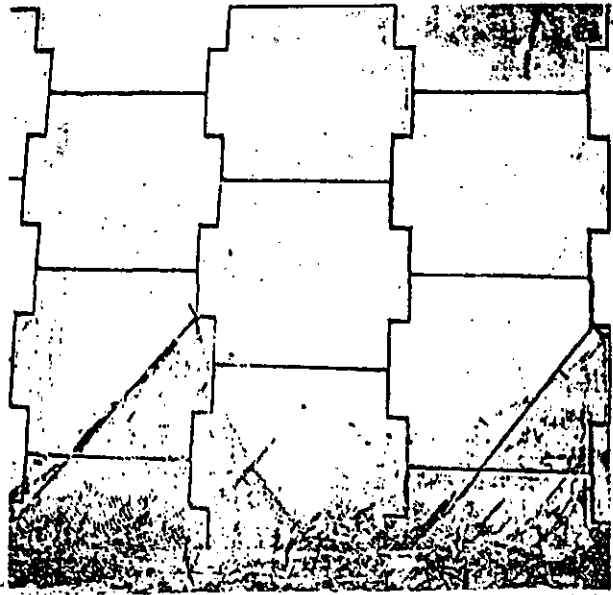


Fig. 3b : Skin consisting of concrete panels (lining).



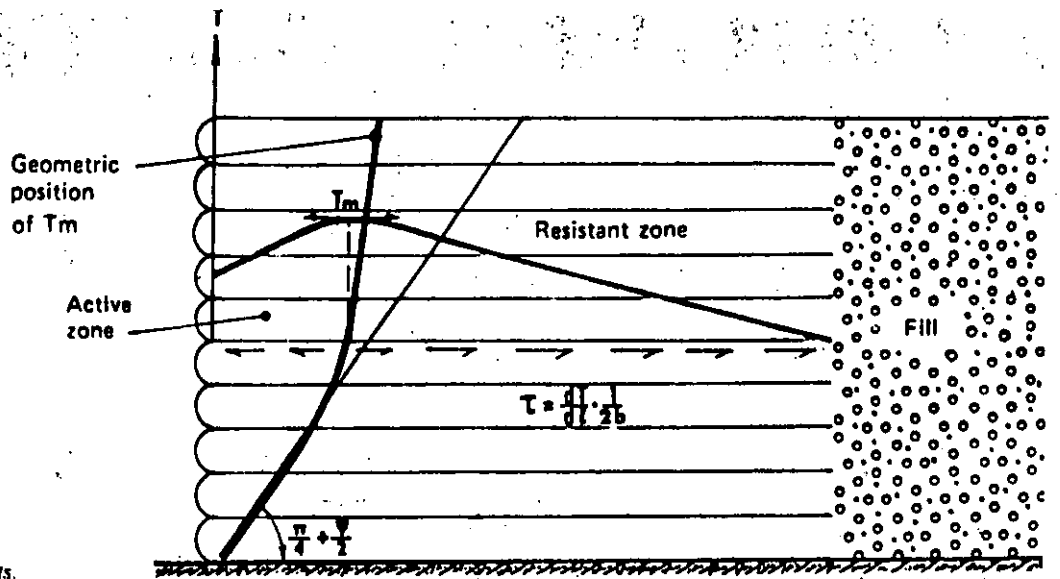
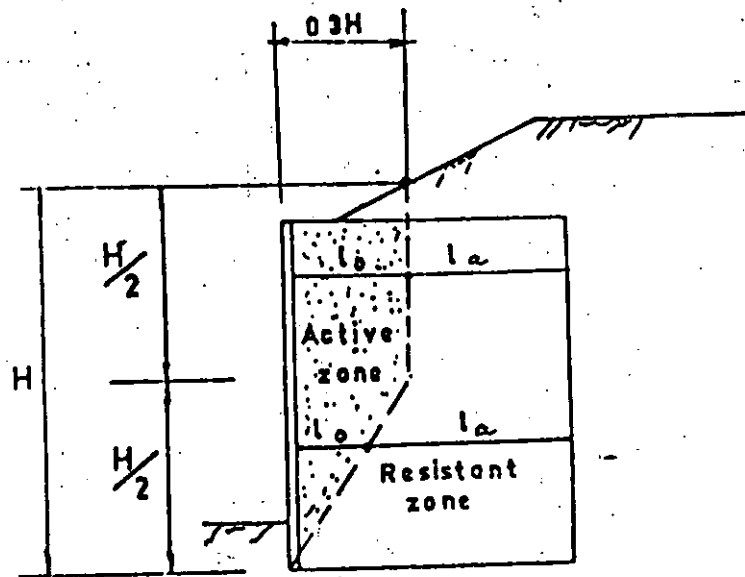
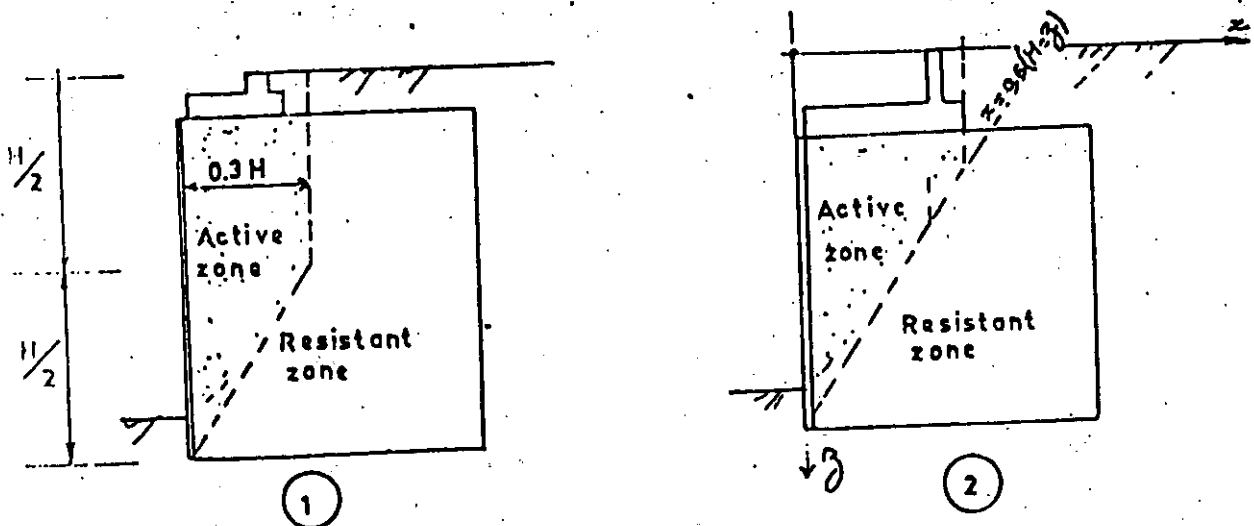


Fig. 1 :
Distribution
of tractions
along the reinforcements.

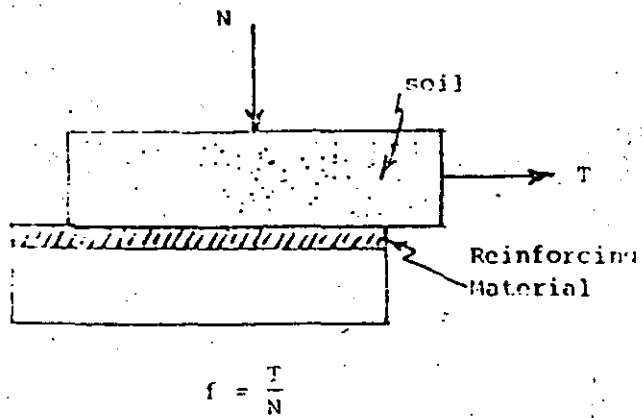


a) Walls

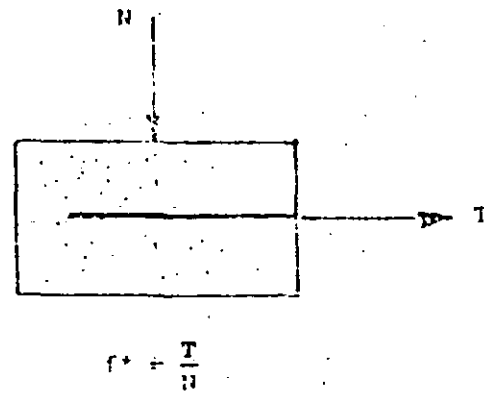


b) Abutments

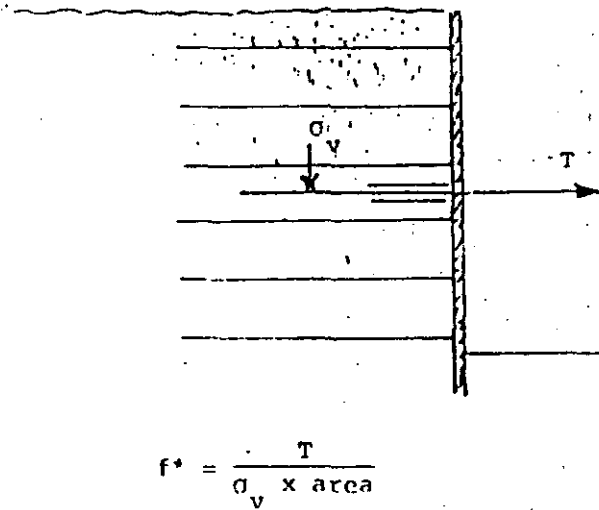
Fig. 16 : Schema of the locus of maximum traction forces.



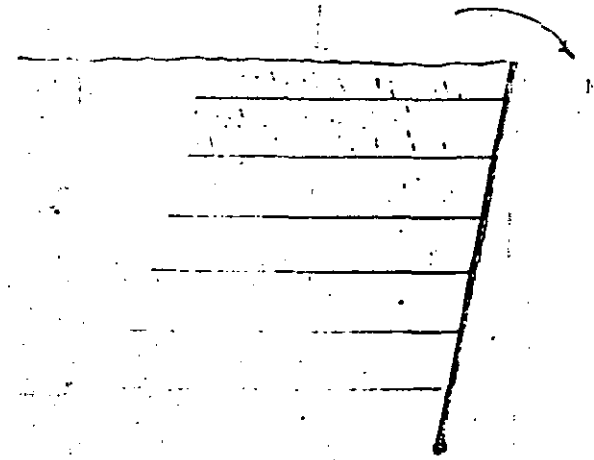
DIRECT SHEAR TEST



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. 13 : Construction of a wall using concrete panels.

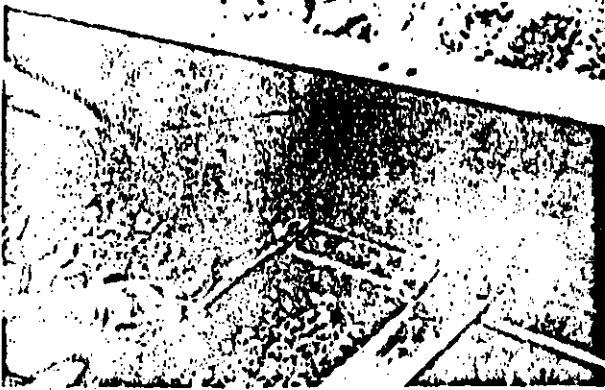
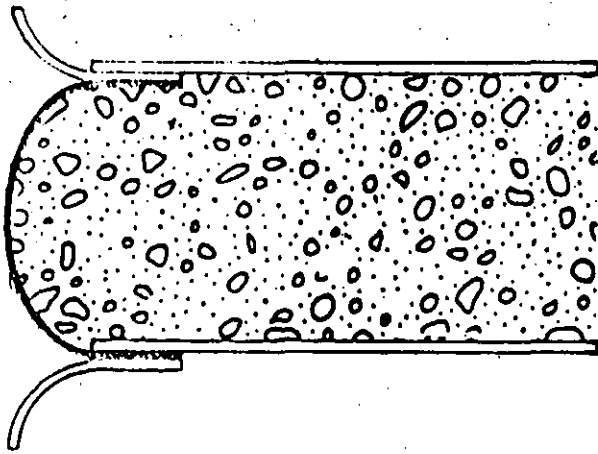


Fig. 14 : Diagram of a metal lining element, and photo showing how the metal lining is assembled.

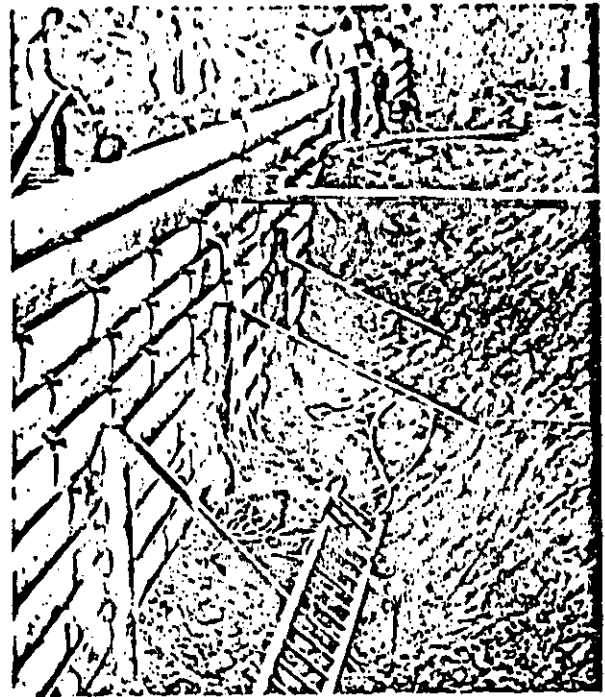


Fig. 15 : Arrangement of temporary shoring.

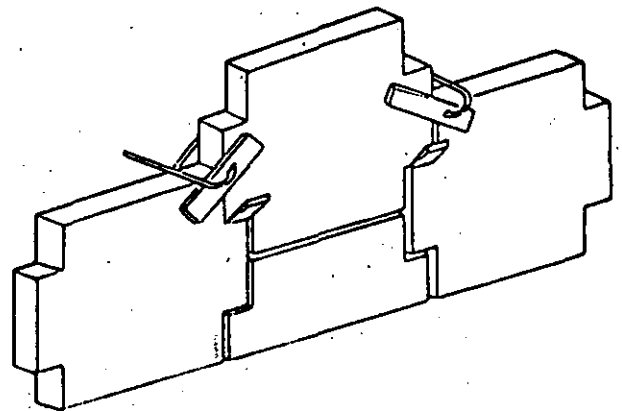
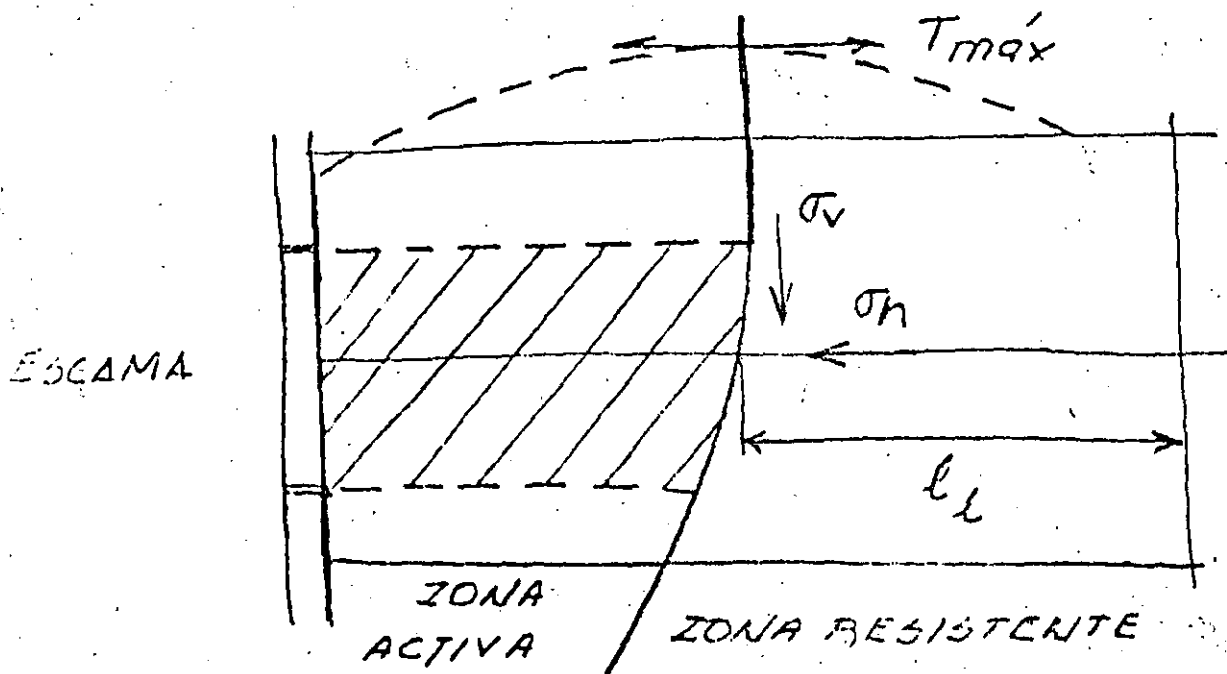


Fig. 16 : Arrangement of clamps.



$$T_{\max} = \sigma_h \cdot A \quad ; \quad \sigma_h = K \sigma_v$$

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.

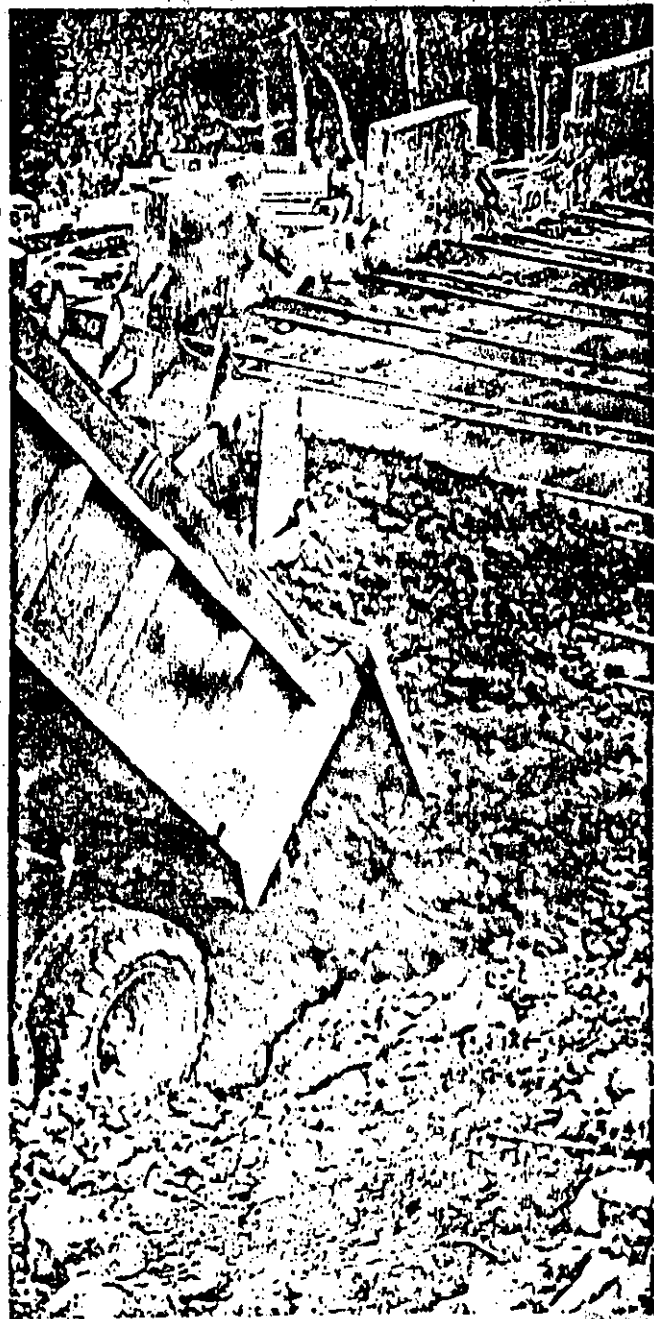
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO

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

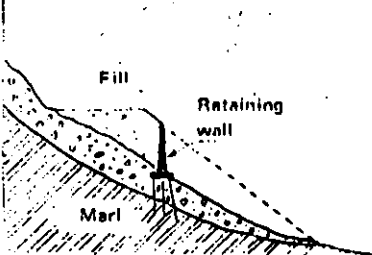
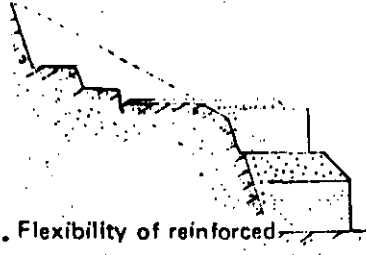

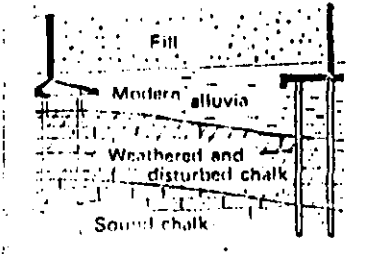
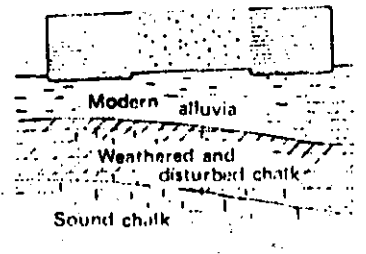
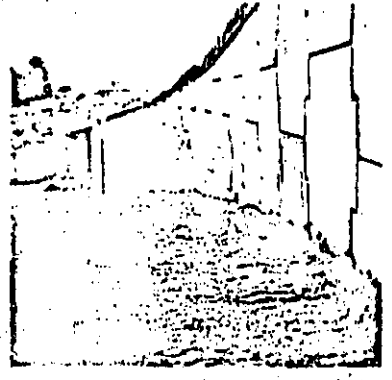
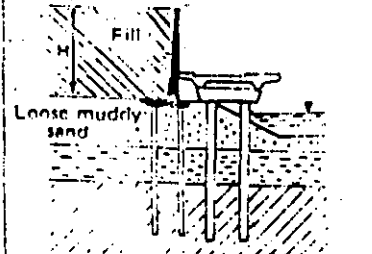
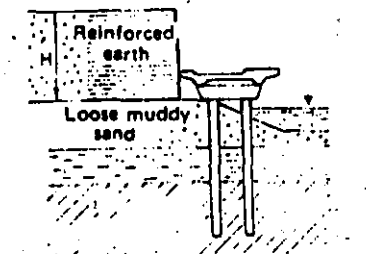



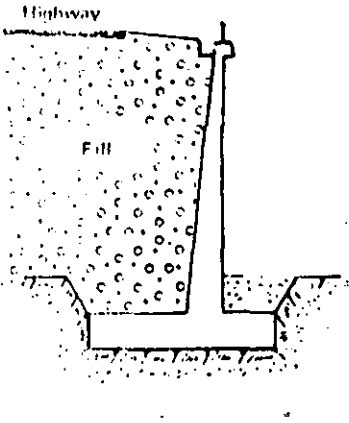
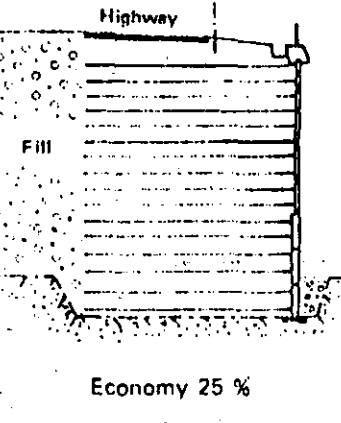

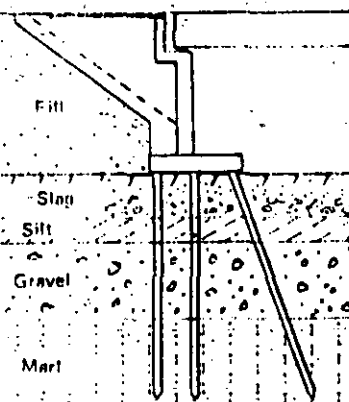
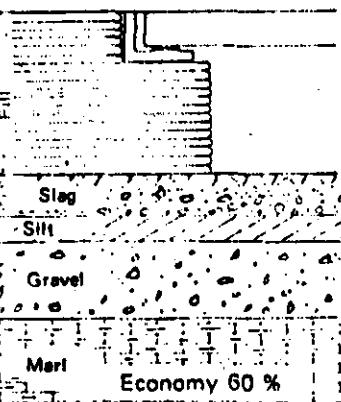

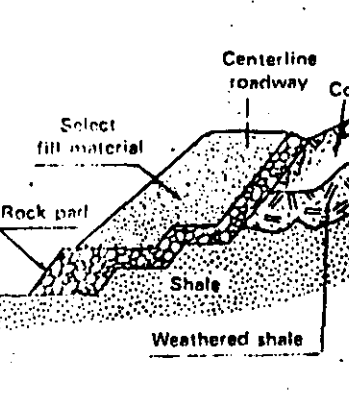
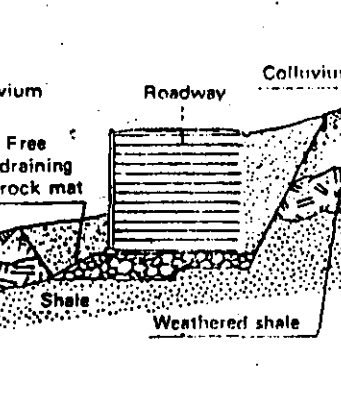

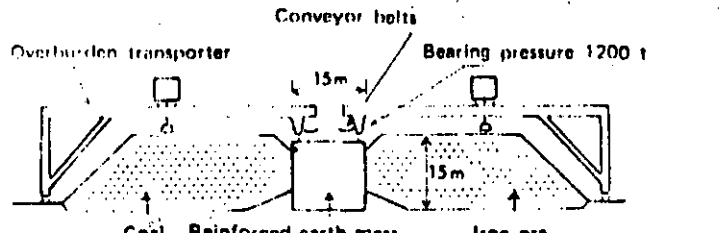
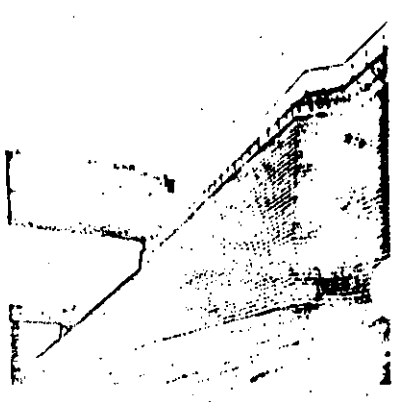
Reinforcing strips connect to
forming panels using nut, ball and
washer.

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 OF STRUCTURE	CONVENTIONAL SOLUTION	REINFORCED EARTH SOLUTION	PHOTOGRAPH OF STRUCTURE
URBAN RETAINING WALLS	Highway A 8 (Roquebrun-Vigna II - 1968 Menton)	 <ul style="list-style-type: none"> - Unstable scree - Deep foundations necessary - Brut 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 % 	
URBAN RETAINING WALLS	RN 137 - F 18 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 RETAINING WALLS	Site interchange (CD 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 % 	

Situation	Conventional solution	Reinforced earth solution	Photograph of structure
Palaisats (1971)		 <p>Economy 25 %</p>	
Thionville abutment (1972)		 <p>Economy 60 %</p>	
Interstate route 40 Tennessee USA			
Port of Dunkirk (1970)	 <p>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

- ① ESTRUCTURA FLEXIBLE, SUSTITUTO DE MUROS DE ---
CONTENCION, ESTRIBOS, MUELLES, REVESTIMIENTO, ETC
 - ② MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA AL
ESFUERZO CORTANTE
 - ③ MEJORAMIENTO EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES
 - ④ AHORRO EN EL VOLUMEN DE TERRACERIAS
 - ⑤ AHORRO DE ESPACIO
 - ⑥ MENOR TIEMPO DE CONSTRUCCION
 - ⑦ FACIL CONTROL DE CALIDAD
 - ⑧ CIMENTACION SENCILLA
 - ⑨ SOLUCION ARQUITECTONICA
-

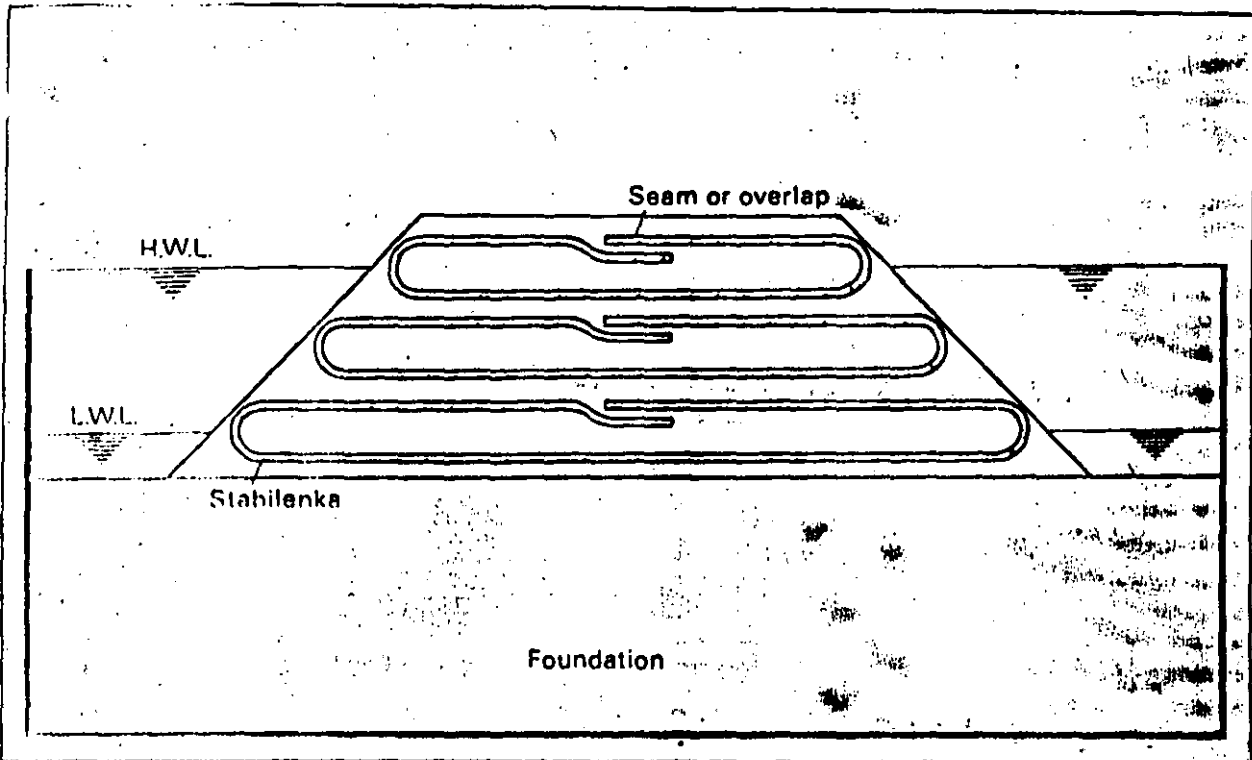
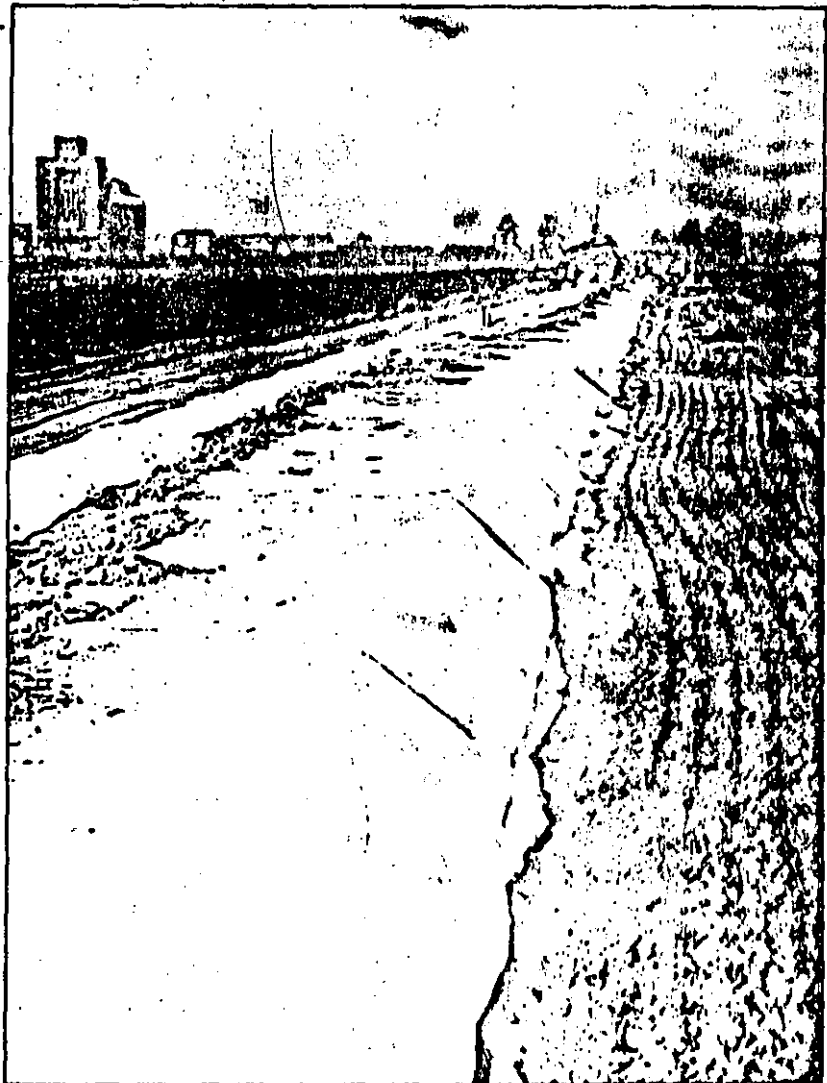


Fig. 2. Faced sand in envelopes of Stabilenka to prevent migration of particles in saturated fills.

Tried and tested

In this and all other applications mentioned in this chapter, Stabilenka 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 Stabilenka 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

- METODO RACIONAL DE DISEÑO
- RESISTENCIA A LA CORROSION
- RELLENOS DE MATERIALES COHESIVOS
- MAYOR RESISTENCIA Y DURACION
- 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, and 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 of dikes, cuttings, sound absorbing embankments and other steep slopes, consist of concrete structures, anchored bulkheads, sheet pilings 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 counter-balance 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

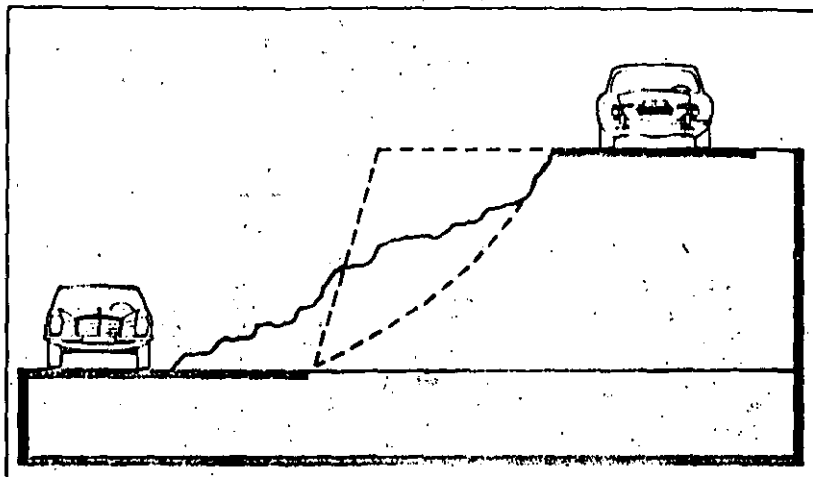


fig. 10 - Failure mechanism of earth retaining structure, acc. Rankine

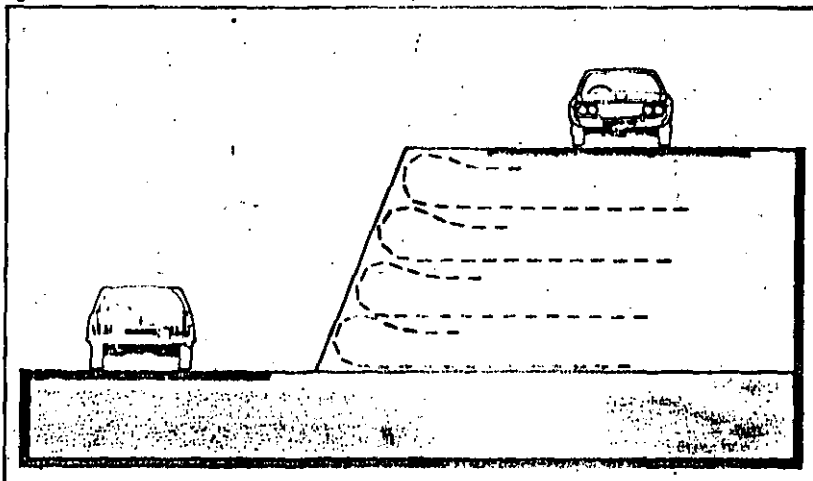


fig. 11 - Stable steep slope by using envelopes of Stabilenka

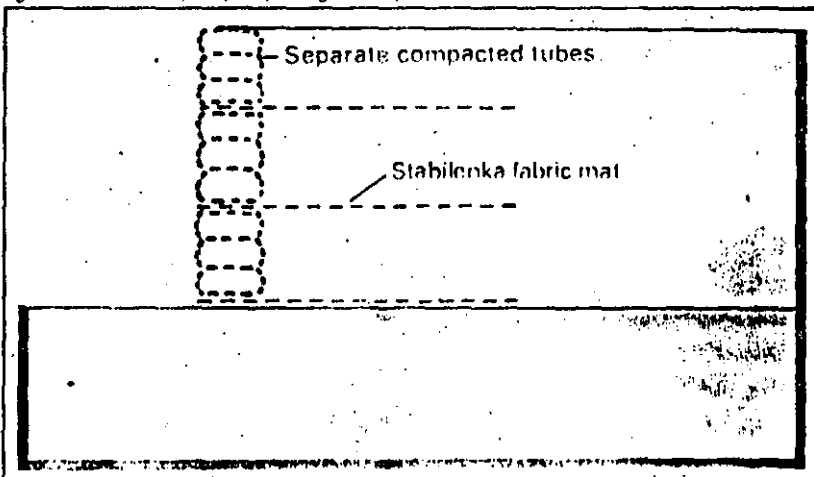
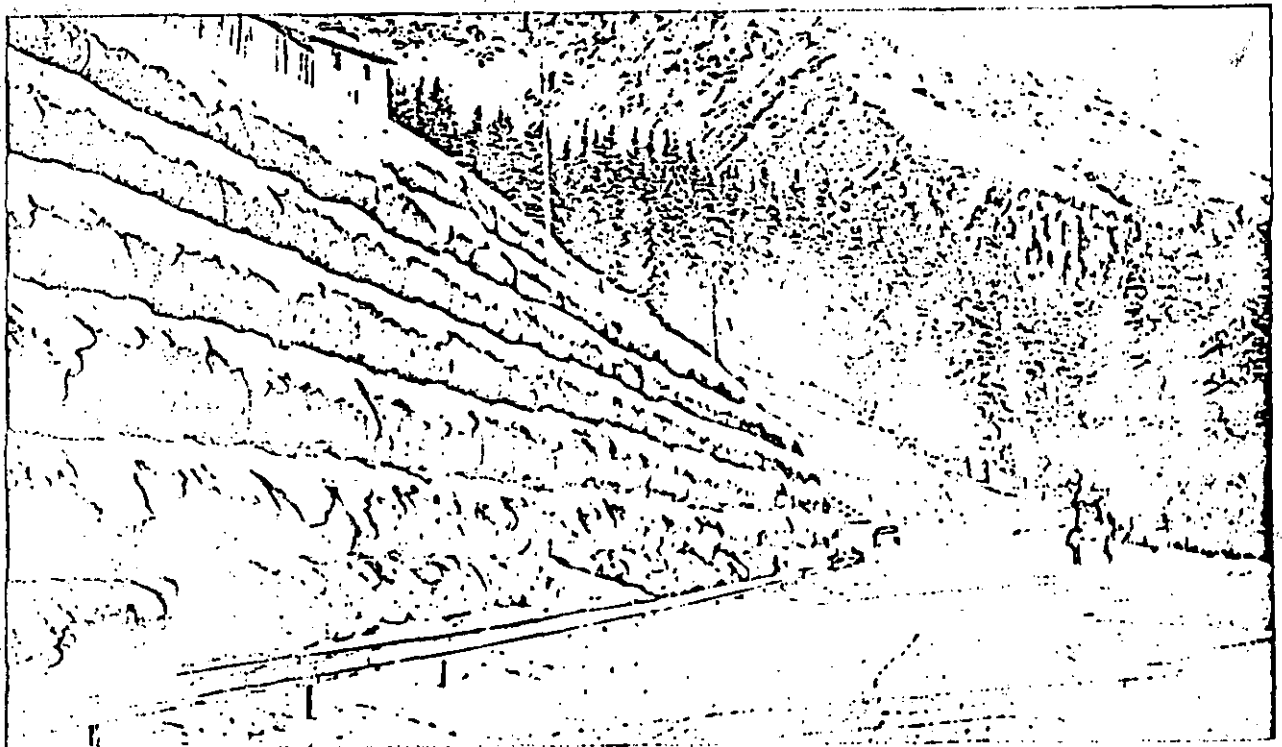
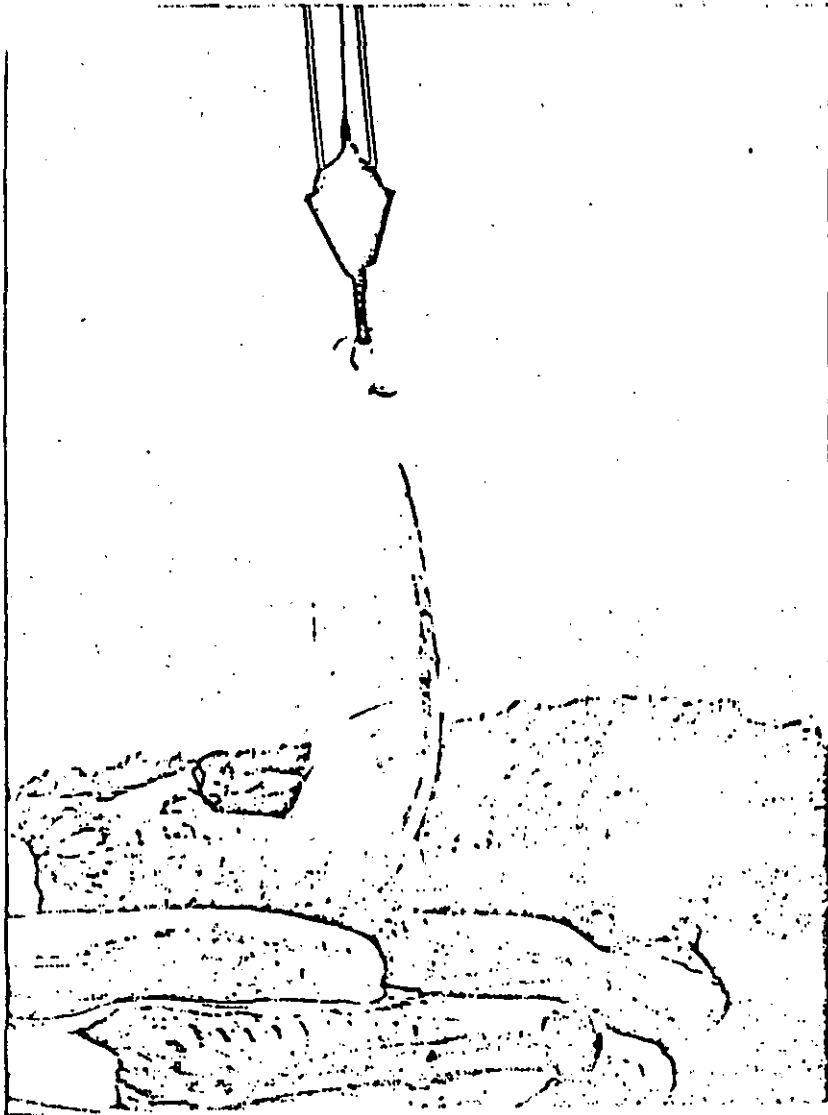


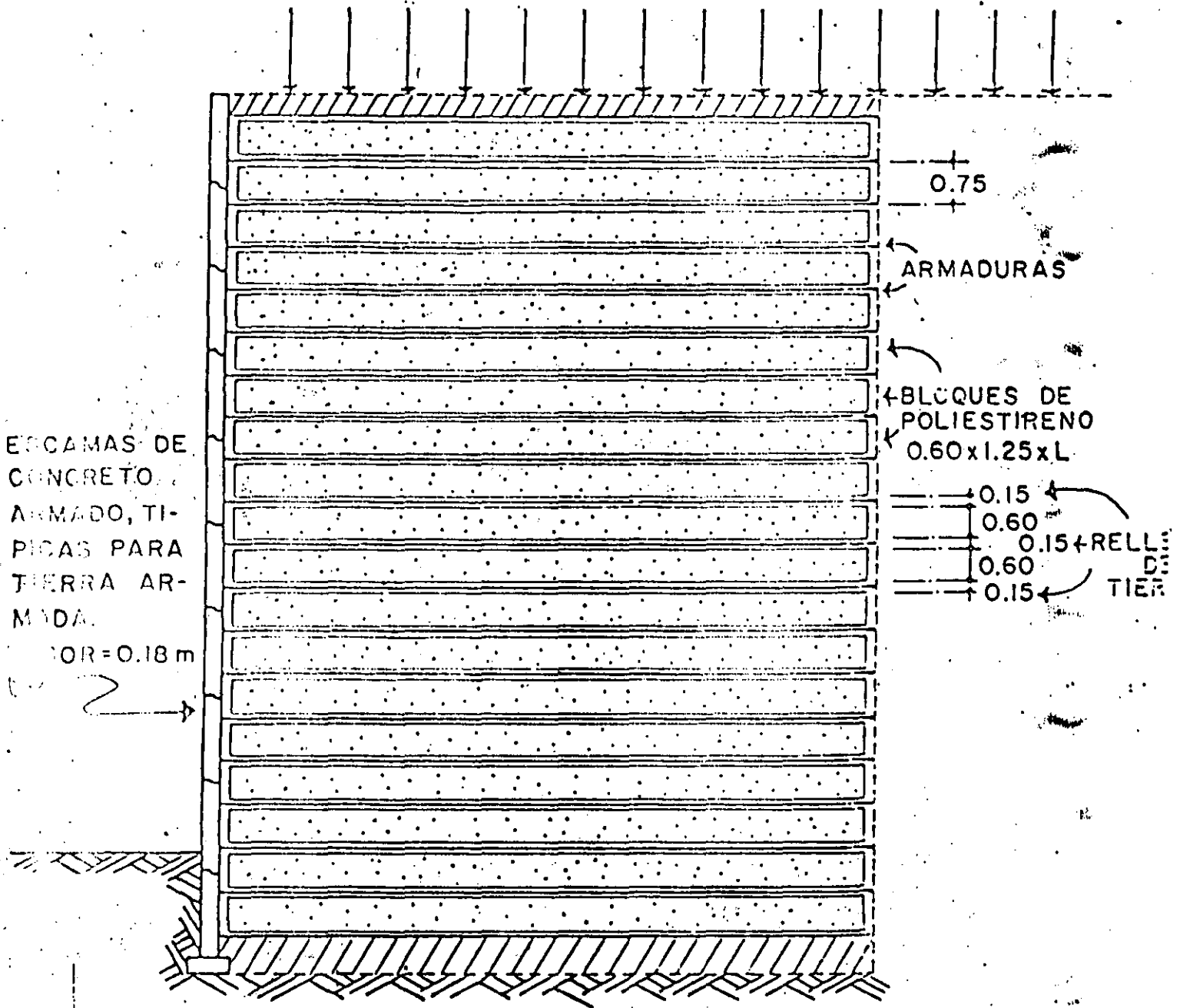
fig. 12 - Compacted earth-filled tubes of Stabilenka at the outside of a vertical wall

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



ESCAMAS DE CONCRETO ARMADO, TÍPICAS PARA TIERRA ARMADA.

ESPAZOR = 0.18 m

0.75

ARMADURAS

BLOQUES DE POLIESTIRENO
0.60 x 1.25 x L

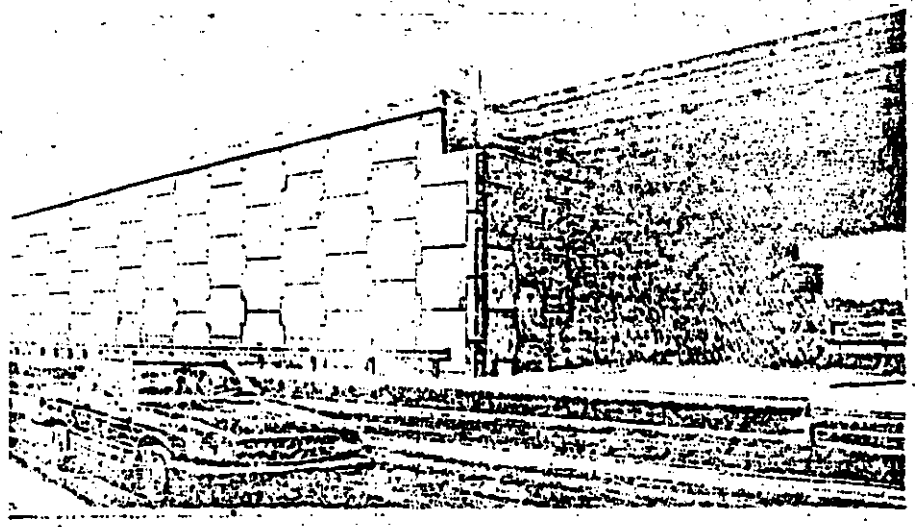
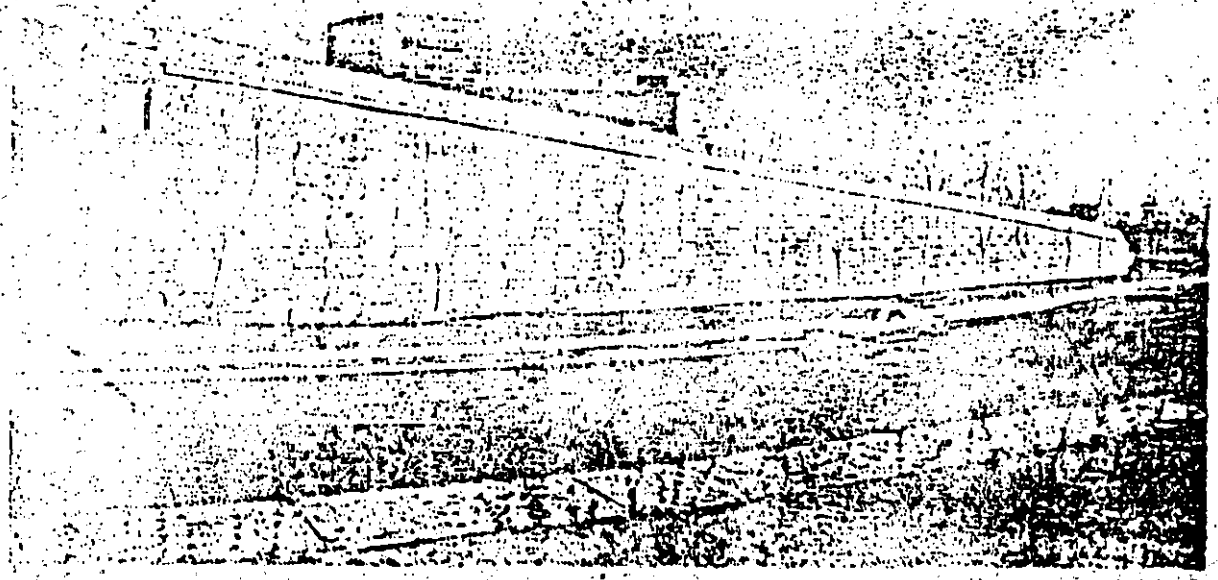
0.15

0.60

0.15 + RELLE
DE TIERRA

0.15

CORTE TIPICO DE UN MACIZO DE TIERRA ARMADA ALIGERADA CON POLIESTIRENO
PESO VOLUMETRICO PROMEDIO 4.40 KG/...





**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

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 disgregó

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.

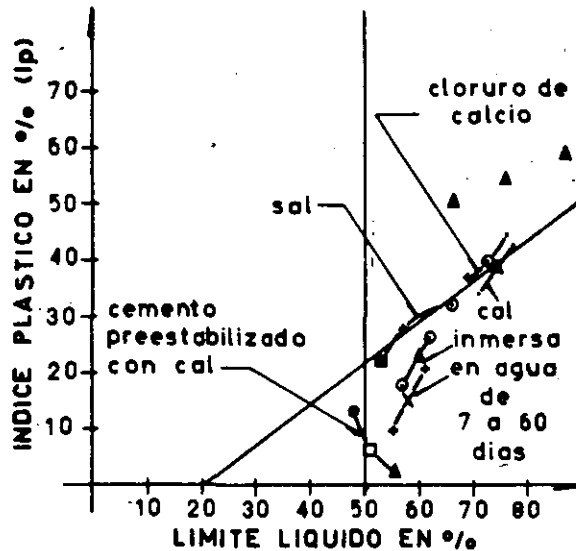
Los valores relativos de soporte y la expansión lineal que recomiendan las normas mexicanas para que los materiales se usen en sub-bases y bases para pavimentos de carreteras de primer orden los cumplen ampliamente las alternativas 3 a 5, 7, 8, 11, así como las 15 a 20, la decisión de cuál emplear será 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 lamosa

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	Prestabilizado con 3, 5 y 7% de cal



Nomenclatura

- △ 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.

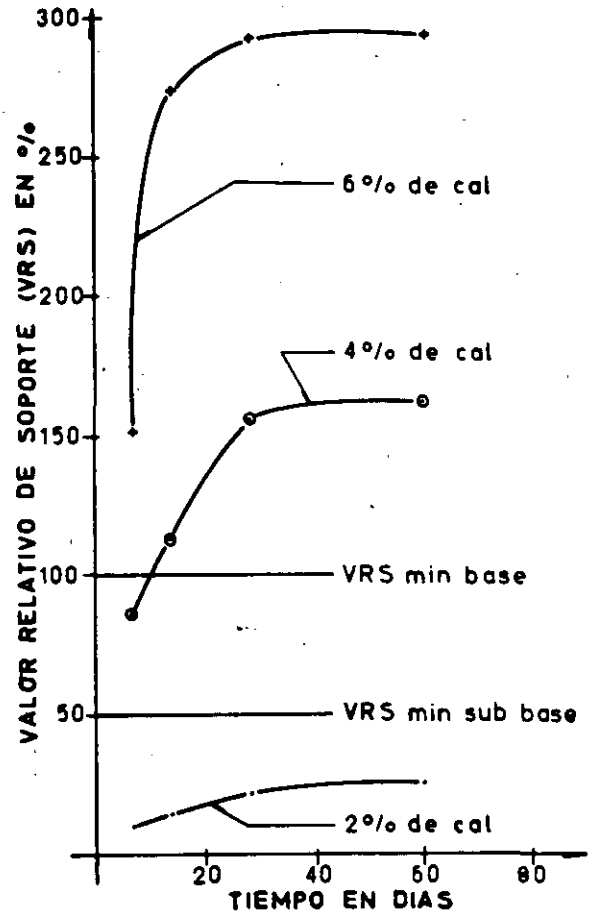


Fig. 2 Evolución del VRS con el tiempo

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.

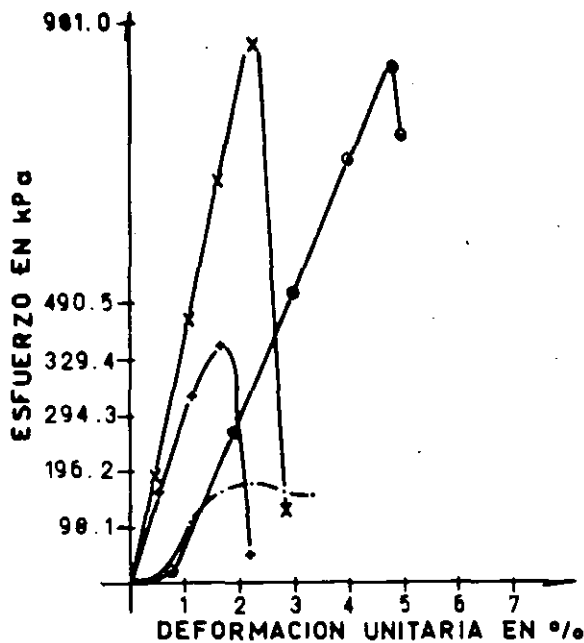
Sin embargo, a mayor resistencia, como se observa en la fig 3, el comportamiento del material cambia de una falla plástica a una frágil, es decir, el nuevo material llega a la falla con deformaciones muy pequeñas, lo cual se debe considerar en el diseño y construcción de las secciones estructurales.

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 desecharse
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

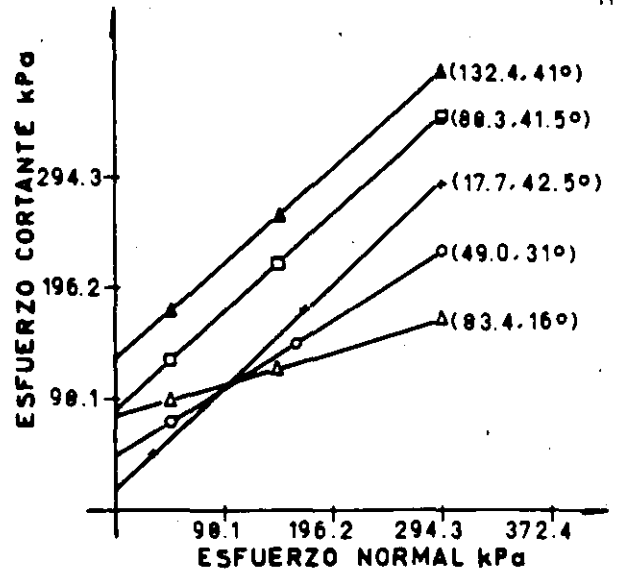
3.2.3 Los ensayos de pruebas triaxiales rápidas se hicieron para conocer cuál era la evolución real de la resistencia al esfuerzo cortante, los resultados se muestran en las figs 4 y 5.

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

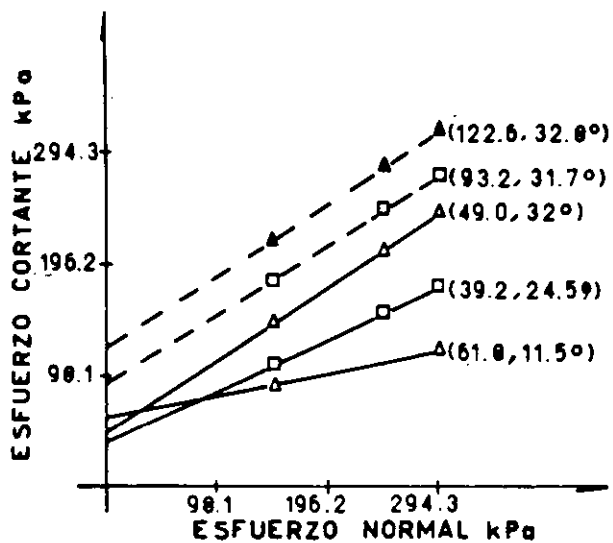
Fig. 4 Resultados de ensayos del tipo triaxial rápido para la arcilla activa

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 costoso 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 grumos 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

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 emplearse 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	98%	60 DIAS	FOR SER UN VALOR CERCANO AL OPTIMO.
SAL COMUN	DE 2 A 10	3 DIAS	98%	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 4.75×10^{-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 denotarán 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 agregarsele 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 98.77% 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.

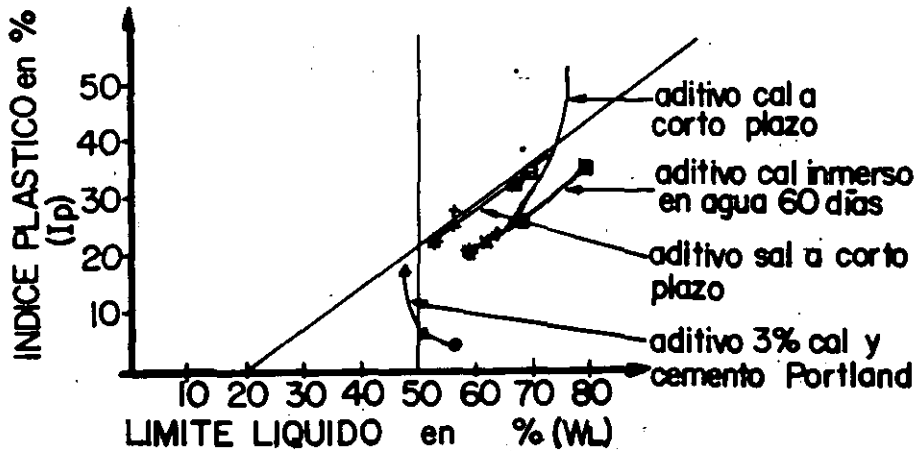


FIGURA 1. CARTA DE PLASTICIDAD, RESULTADOS DE ESTABILIZACION DE SUELOS.

NOMENCLATURA

- 0%
- ▲ 1%
- ◻ 2%
- ▲ 3%
- 4%
- 5%
- + 6%
- x 8%
- * 10%

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 5% 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.

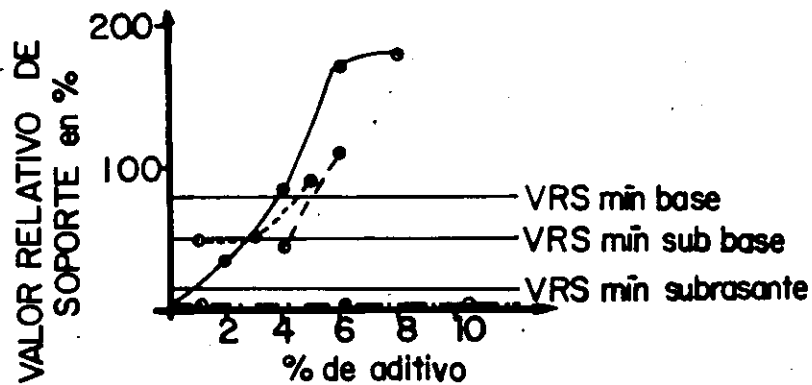


FIGURA 2. VARIACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CON DISTINTOS ADITIVOS.

NOMENCLATURA			
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 son 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.

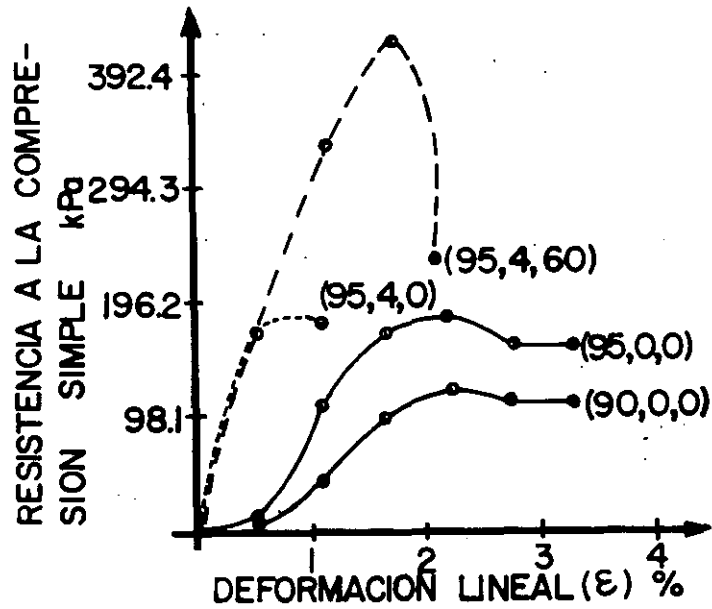


FIGURA 3. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE BAJO DIFERENTES CONDICIONES

NOMENCLATURA :

(a, b, c)

- a - grado de compactación
- b - % de cal
- c - tiempo de inmersión en días.

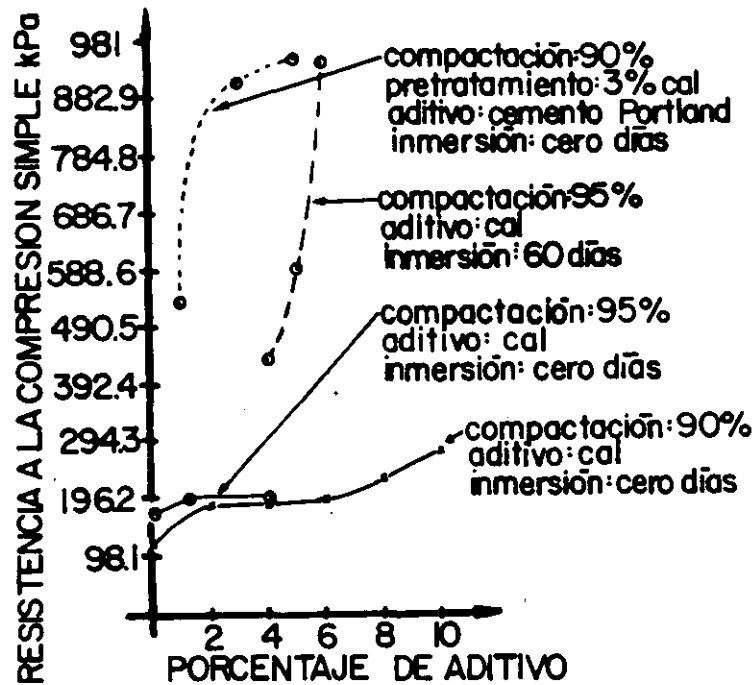


FIGURA 4. VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CON DIFERENTES TIPOS DE ADITIVOS

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.

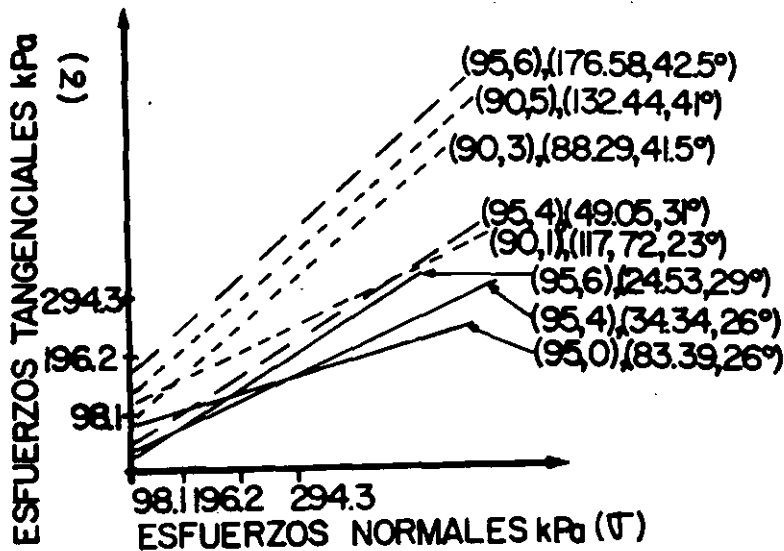


FIGURA 5. RESULTADOS DE ENSAYES DEL TIPO TRIAXIAL RÁPIDO.

NOMENCLATURA :

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.

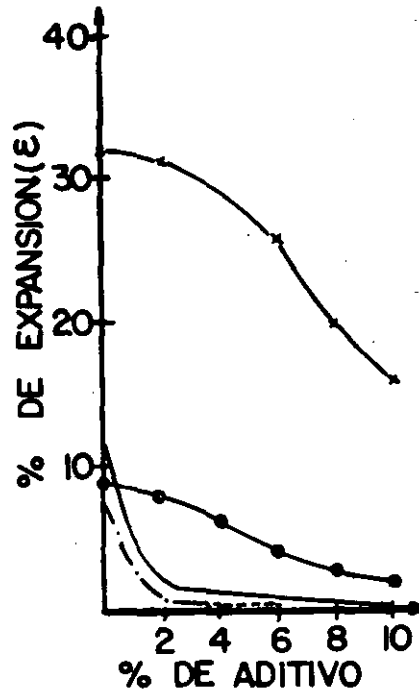


FIGURA 6. RESULTADOS DE EXPANSIVIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA Y CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ADITIVOS.

N O M E N C L A T U R A :				
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 9.81 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 campo 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 se-
senta 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 unidimensio-
nal 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 valo-
res relativos de soporte adecuados para sub-base o base.
6. El comportamiento de los materiales estabilizados es del tipo de falla frá-
gil a diferencia del comportamiento plástico que tiene el material sin adi-
tivo, 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 peque-
ñas, 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 evi-
tar la expansión.
8. Se puede concluir que los resultados obtenidos en el Laboratorio, fundamen-
tan 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 pa-
ra abatir la plasticidad. Por otra parte, con el fin de evitar los cambios
de humedad se sugiere que la sección estructural siempre se arroje.

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. Vo-
lumen 2 Limusa. México 1982.
3. Estudio en el Laboratorio del Tratamiento con Cal y Cemento de Suelos de Gra-
nulometría 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 tan-
to la Universidad Nacional Autónoma de México como la Secretaría de Comunica-
ciones y Transportes; al mismo tiempo quiero agradecer a todas aquellas per-
sonas que aportaron ideas y puntos de vista, a todos aquellos alumnos que
contribuyeron a realizar las pruebas y a todas aquellas personas que hicie-
ron posible la presentación de este trabajo.

REPUBLICA MEXICANA.



Zonas con suelos
expansivos.
(1969)

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 cristálinico 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.

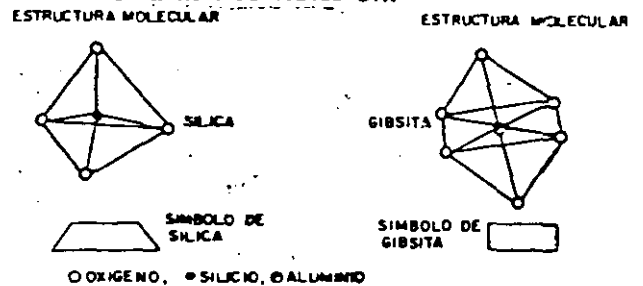


Figura No. 1 Unidades estructurales o bloques constructivos, con los que se forman los minerales arcillosos.

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 combinar se 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.

y formar capas de octaedros.

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.

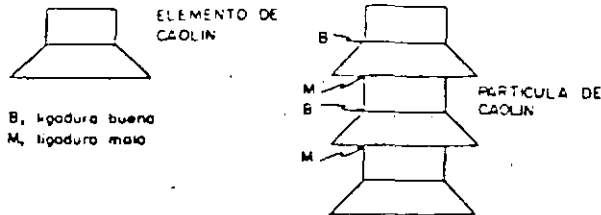


Figura No. 2 Unidades estructurales que forman un elemento y una partícula de caolín.

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.

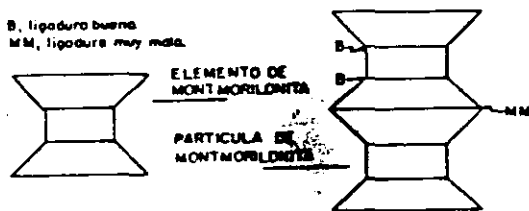


Figura No. 3 Unidades estructurales que forman un elemento y una partícula de montmorilonita.

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 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 isomórficos 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.

Mejoramiento de suelos para Pavimentos

G. García
Jefe del Area 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

(Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Pruebas de resistencia : Valor Relativo de Soporte estándar, resistencia a la compresión simple unidimensional no confinada y ensayos triaxiales rápidos con saturación previa.

III - ANÁLISIS DE RESULTADOS

III.A. Propiedades Índica

III.A.1. Granulometría. El análisis granulométrico indicó que en estado natural , para el caso más desfavorable en el cual se disgregaban los grumos, el 49 % pasa por la malla N° 200 (0.074 mm) es decir se trata de una arena con finos.

Los resultados de las pruebas de granulometría indican que al agregársele cal al material, saturarlo durante 24 horas y después mediante el método de lavado hacer las granulometrías correspondientes se forman grumos, pues los porcentajes de finos disminuyeron de 49% hasta 34% , es decir el material se cementa, una cosa semejante sucede al agregársele además 3% de cemento Portland en este caso el porcentaje de finos varió entre 25% (con 3% de cal) y 16% (con 7% de cal).

Como se puede observar en las figs. 1 y 2 , al agregársele aditivo se forman grumos que actúan como partículas angulares y que al compactarse producen materiales más resistentes, pues la forma de los granos ahora es anguloso, tienen menos porcentaje de finos y contienen una mejor granulometría, además al agregársele cemento Portland la cementación es más resistente y aumenta con el tiempo.

III.A.2. Plasticidad. De acuerdo con la carta de plasticidad se trata de una arena limosa pues en estado natural su límite líquido es del 44% y su índice plástico del 13%, como se puede observar en la fig. 3 al agregársele cal y cemento Portland, los límites líquido y plástico aumentan, es decir el material adquiere mayor plasticidad lo cual se transforma para fines prácticos de construcción en que es menos fácil su manejo.

En resumen de las pruebas indica 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 agregarse 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 agregarse 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 agregarse 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 Terrestes. 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.

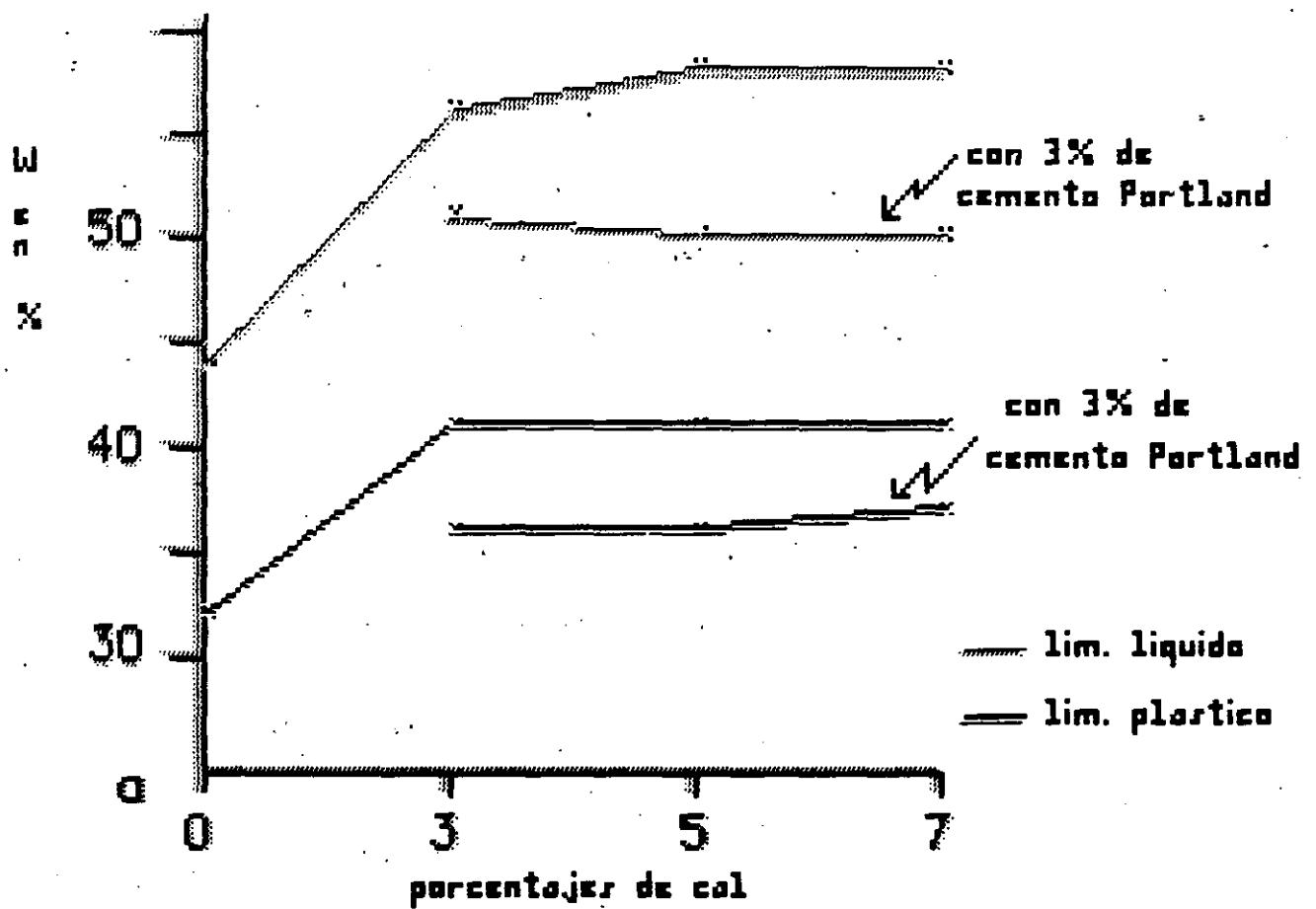


FIG.3.-Variacion de los limites liquido y plastico

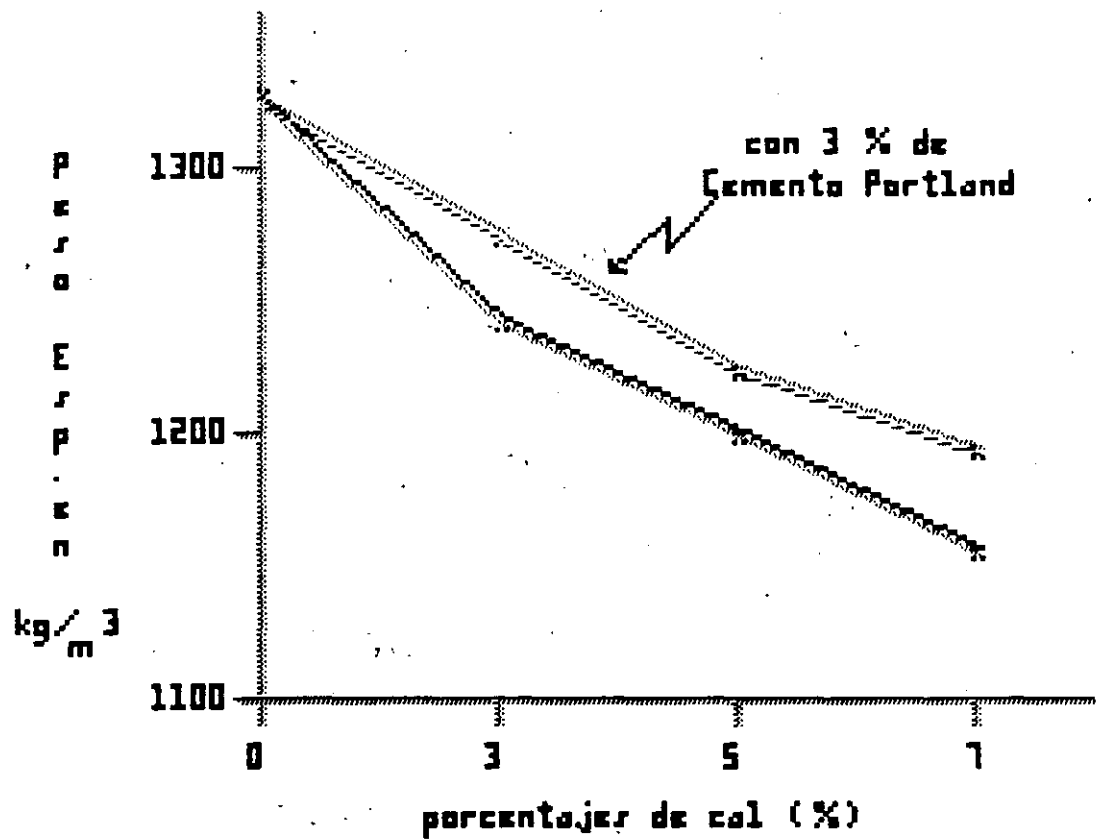


FIG.4.-Variacion del peso volumetrico seco maximo en prueba proctor

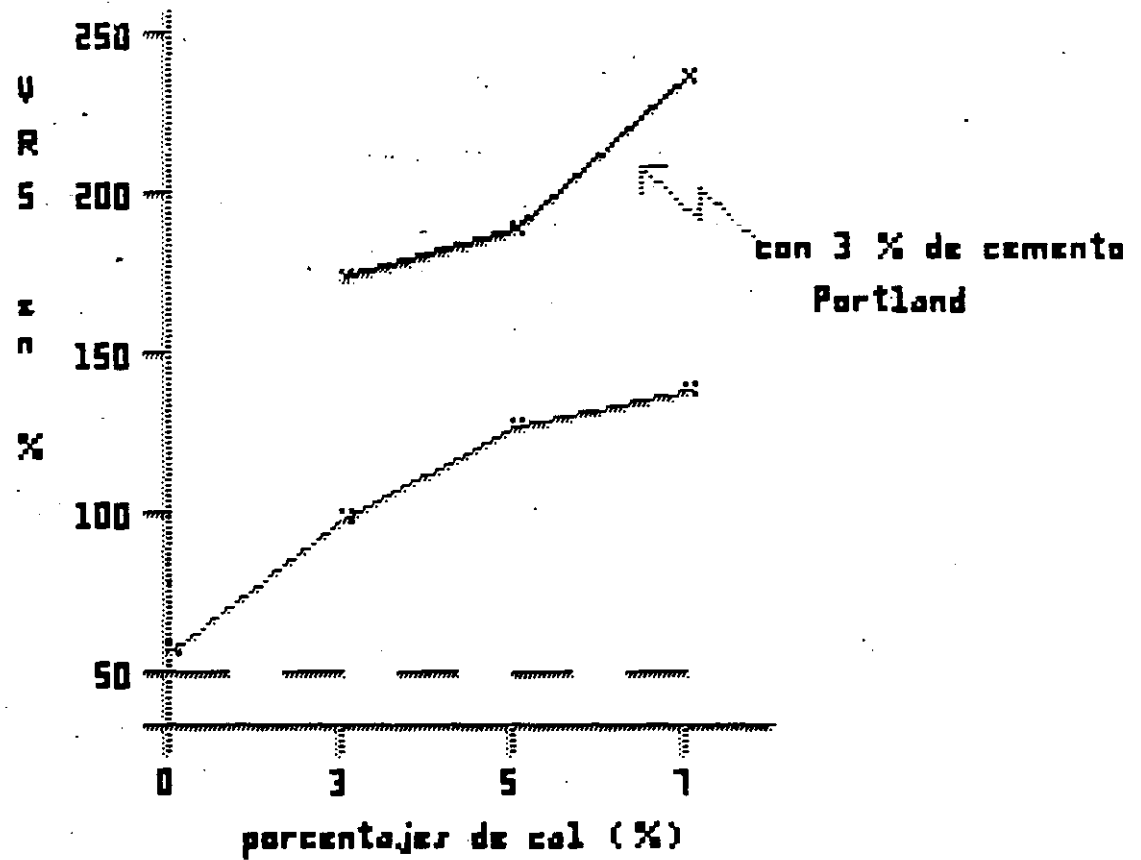


FIG.5.- Evolucion del Valor Relativo de Soporte

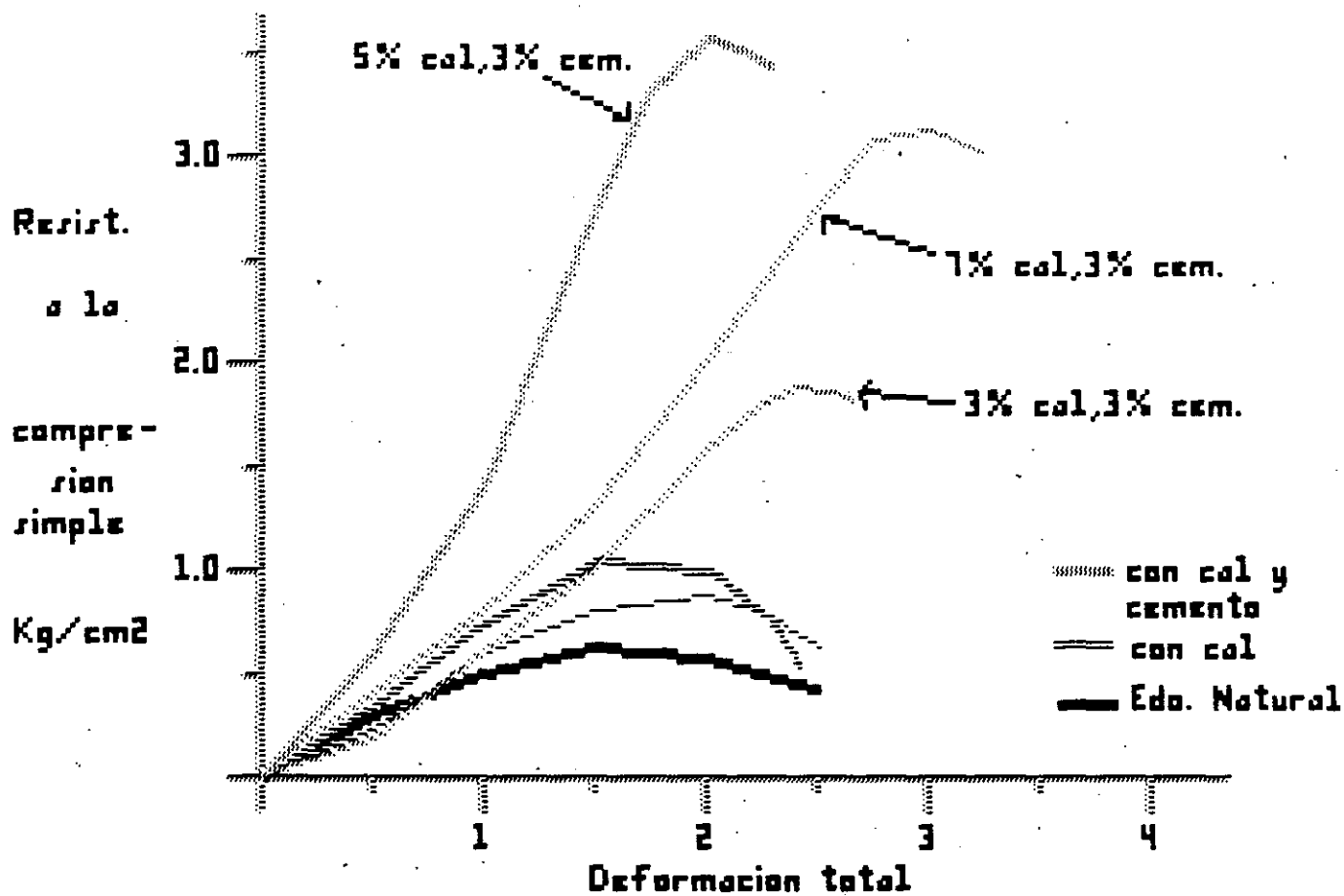


FIG.6.- Variacion de la resistencia a la compresion simple

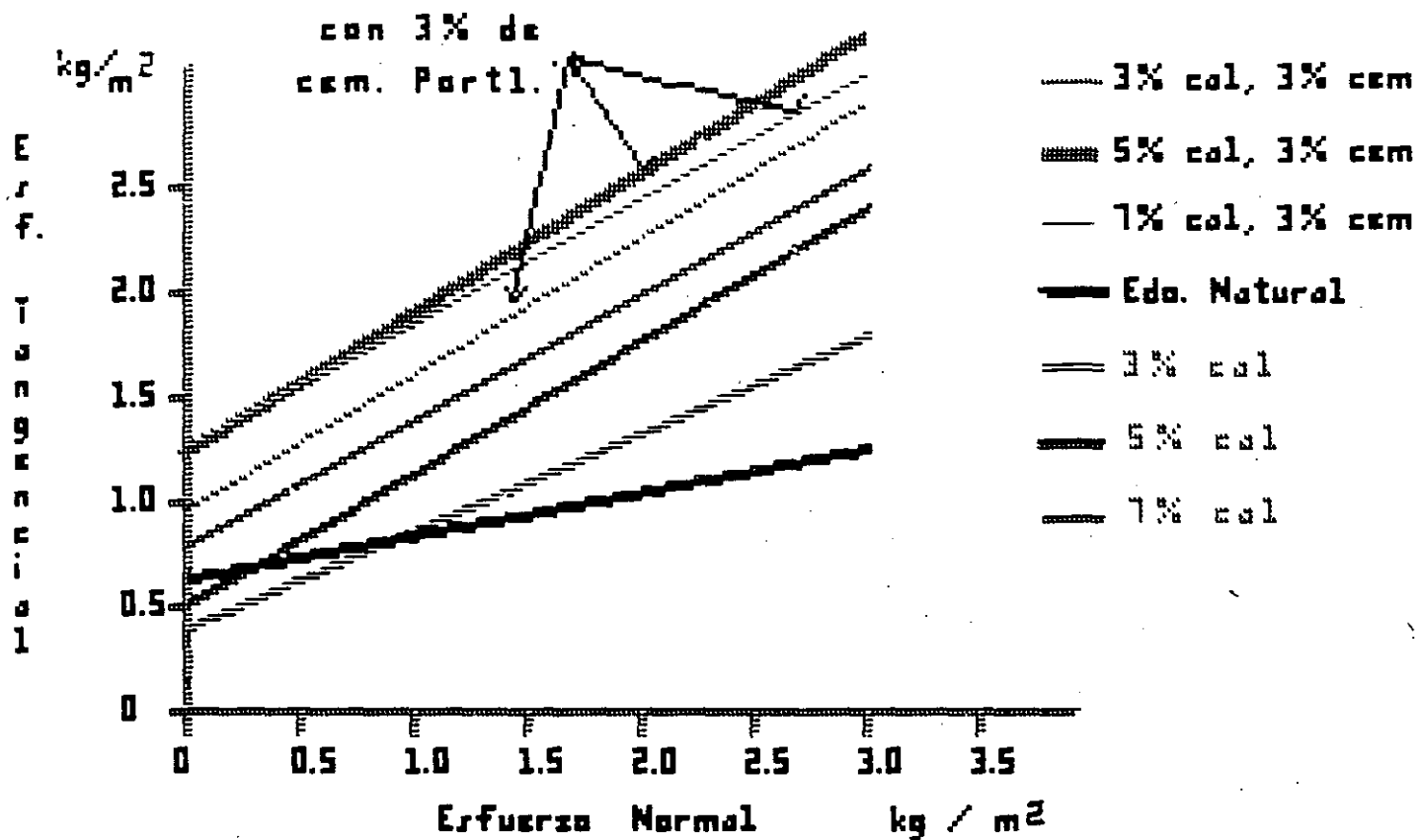


FIG.7.- Resultados de ensayos de la Prueba Triaxial Rapida



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

CURSOS ABIERTOS

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
DEL 19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992**

PAVIMENTOS ADOQUINADOS

ING. ROBERTO SOSA GORRIDO

PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. Tel.: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

TABLA 3

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERISTICA	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría Tamaño Máximo (mm)	76	76	76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	25 máx	35 máx	40 máx
Límite Líquido (w _L) (%)	30 máx	40 máx	50 máx
Índice Plástico (I _P) (%)	10 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) AASHTO estándar (1)	100 mín	100 ± 2	100 ± 2
C. B. R. (%) (Compact. dinámica)(2)	20 mín	20 mín	15 mín

(1) Con humedad de compactación hasta 3% mayor a la óptima.

(2) Determinado por el procedimiento recomendado por el Cuerpo de Ingenieros, al porcentaje de compactación indicado, en condiciones saturadas.

TABLA 4

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

CARACTERISTICA	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	
	DÉSEABLE	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.

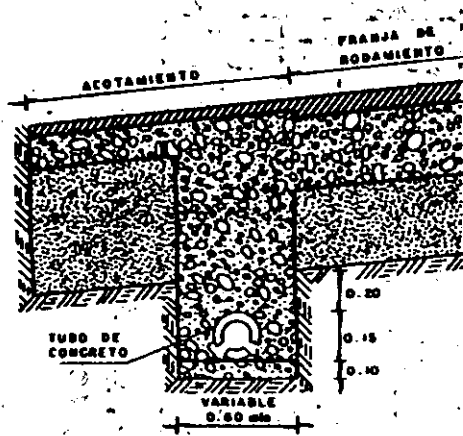
TABLA 7

GUIA DE ALGUNAS SECCIONES ESTRUCTURALES RECOMENDABLES PARA CARRETERAS

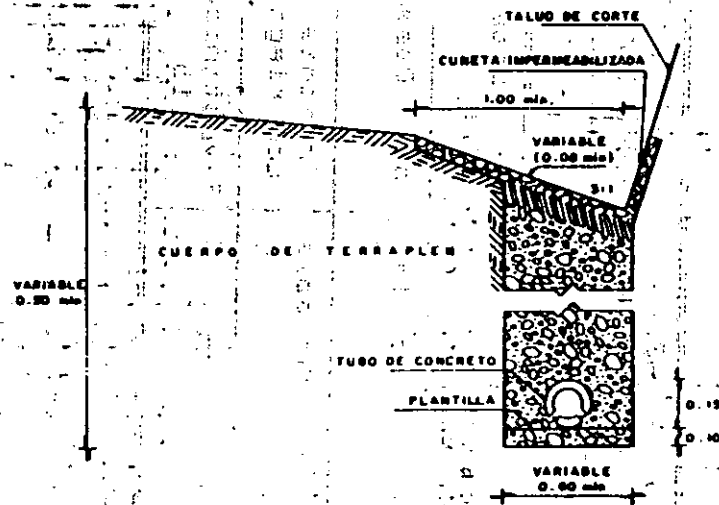
Estructuración y Calidad de capas superiores según el Tipo de Obra Vial

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.

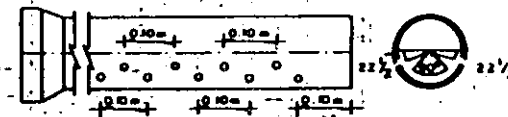
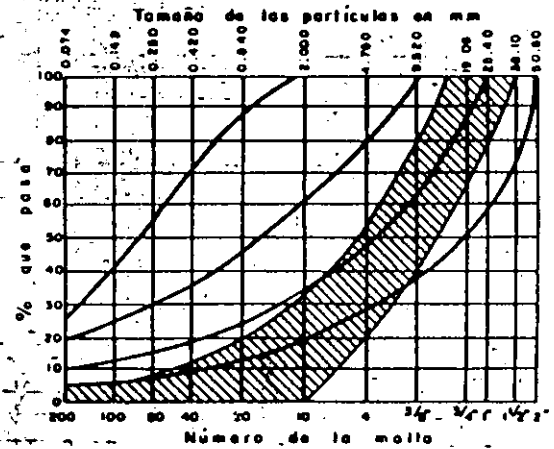


SUB-DREN EN CAJA

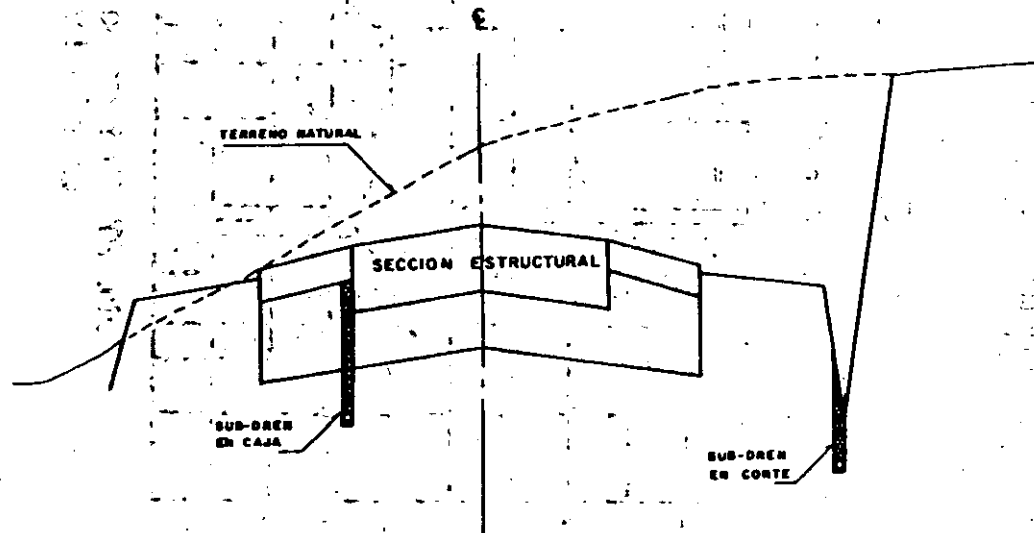


SECCION DE SUB-DREN EN CORTE

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL FILTRANTE



DETALLE DEL TUBO DE CONCRETO



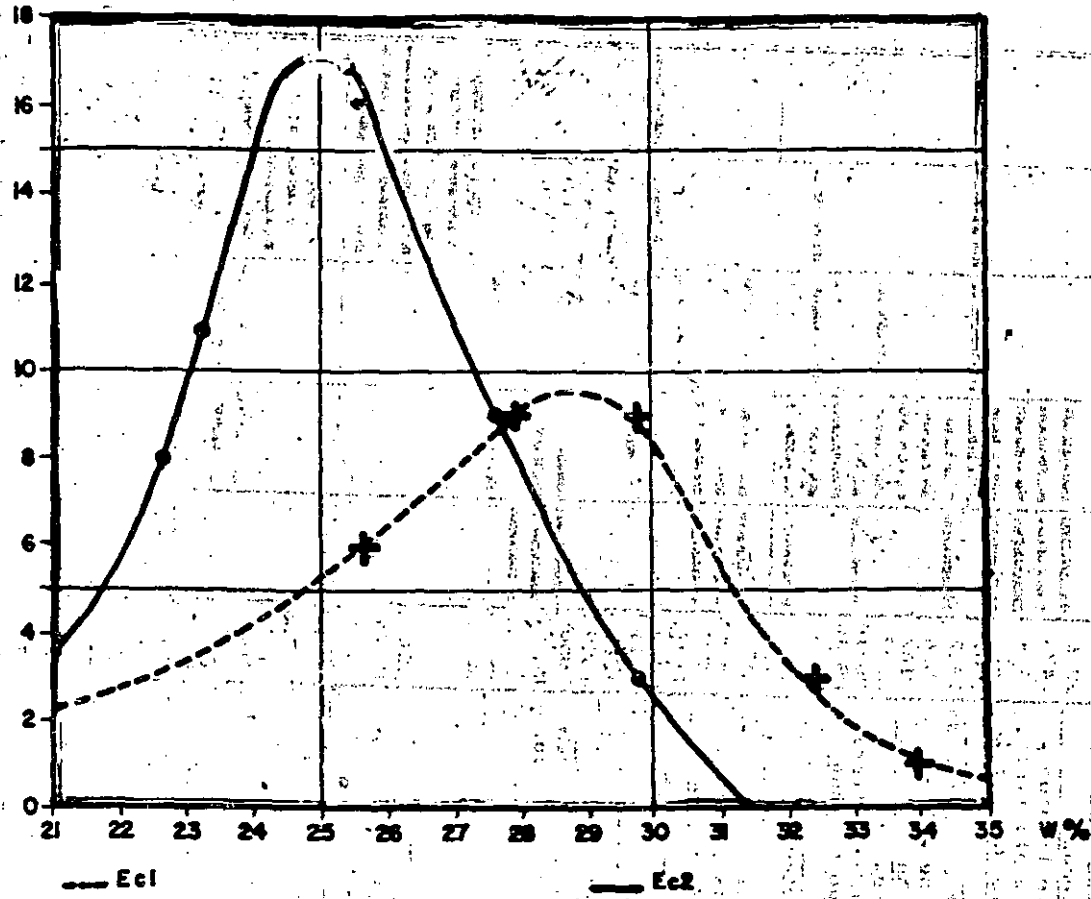
NOTAS:

1. Para el material filtrante podrán emplearse agregados triturados de los bancos propuestos 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 subdren, dándole un espesado energético.
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. Acreditaciones en metros. Min. significa dimensiones mínimas.

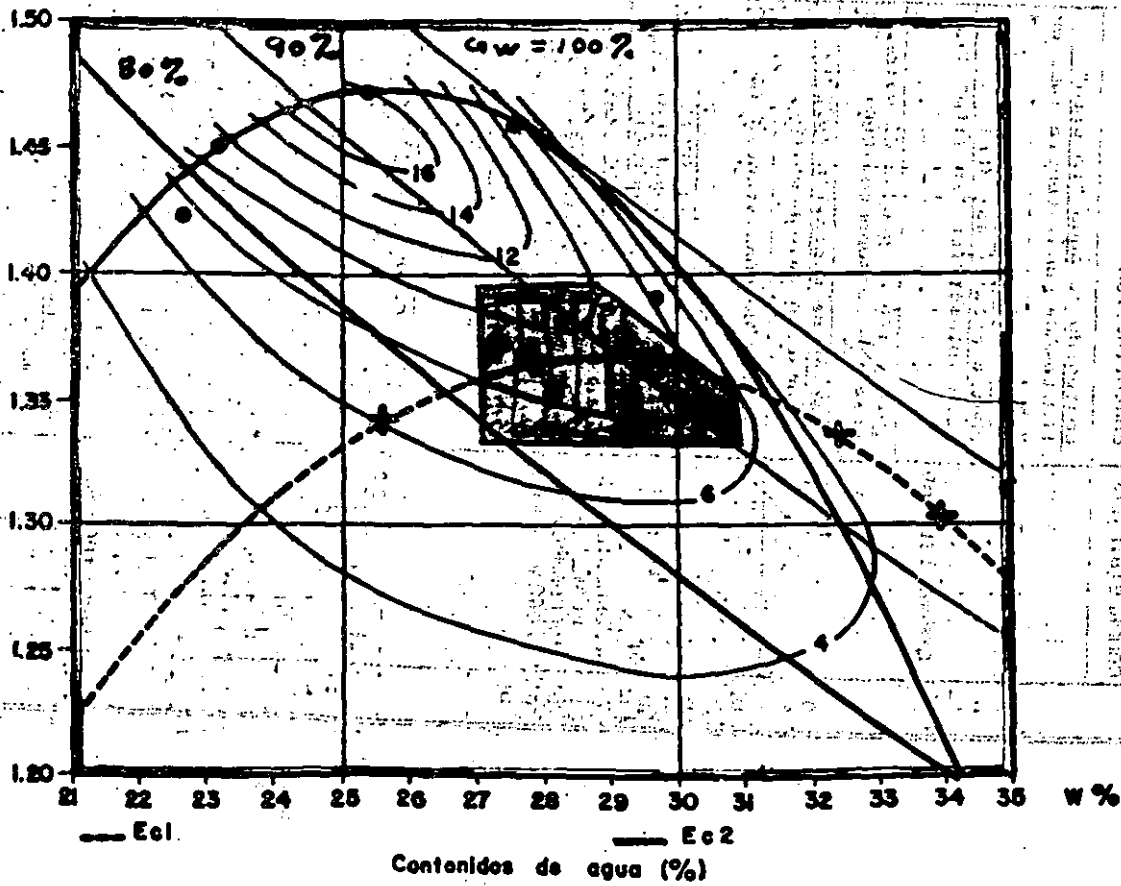
FIG. SUB-DRENES EN ZANJA (PROYECTO TIPO)

Barco "EL BEBEDERO" CBR Cuerpo de Ings.

1.00%



1.00%



PROPIEDADES FUNDAMENTALES	ENSAYES TÍPICOS PARA SU VALUACION	METODO DE PRUEBA	DENOM. ASTM	TERRENO DE CIMENT	TERRAC Y SUBRS	SUB-BASE Y BASE	CARPETA ASF	LOSA 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 PL)	límite líquido límite plástico límite de contrac.	423 424 427				
		contracción lineal (CL)		T107				
		peso volumétrico "in situ" (γ_w)	muestra inalterada cono de arena membrana de hule	2937 1556 2167				
		saturación en prueba de valor relativo de soporte (CBR)	estándar muestra inalterada Cuerpo de Ings.	N.02 MS-10 MS-10				
		presión de expansión (p_{exp})	Hveem	2744				
		saturación bajo presión	odómetro					
	D E F O R M A B I L I D A D FLÁSTICA (DEFORMACION PERMANENTE)	límites de consistencia (WL, WP y PL)	límite líquido límite plástico límite de contrac.	423 424 427				
		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 (C)		no cons. no dren. cons. no drenada cons. drenada Texas Hwy. Dept.	2850					
perfilómetros (ISA, A)		regla de 3-m AASHTO CHLGE	3397 SCT					
perfilógrafos (ISA, A, IF)		transversal Calif. Hwy. Dept. Mays Ride Meter	SCT C-526					
D E F O R M A B I L I D A D ELÁSTICA (FATIGA)		deflexómetros (δ)	Viga Bentelmar Calif. Hwy. Dept. Dynalect	C-356 C-356 C-356				
	deflexión en pba. de placa (δ)	repetitiva	1195					
	módulo de resiliencia (suelos) (mezclas asfálticas)	triaxial dinámica tensión indirecta	4123					
D U R A B I L I D A D	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	8812					
P E R M E A B I L I D A D	granulometría (G, S, F)	por mallas hidrómetro	422 422					
	permeámetros (k)	de carga constante de carga variable de aire	2434 3637					
	FRICCIÓN SUPERFICIAL	texturómetros (μ)	y aeter péndulo de fricción	E-670 E-303				

1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022
 2023
 2024
 2025
 2026
 2027
 2028
 2029
 2030

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, METODO II UNAM

TIPO: Autopista

Longitud (km): 204.5

Corona (m): 14

3.12.1991

Vida útil (años): 20

Qu = 0.90

PROYECTO: Mazatlán - Culiacán
 TRAMO: Est. Dimas - La Cruz de Eleta
 SUBTRAMO: Km 85+000 a Km 90+000
 ORIGEN: El Venadillo, Sin.

Tránsito:
 TDPAS: 1,664
 A 55%
 B 37%
 C 8%

A) ANALISIS DE TRÁNSITO, 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

W/eje (t)	FDC	FDB	Kd	1	3	5	10	15	20	25	30
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	0	1	1

EJES TANDEM Y TRIPLES

W/eje (t)	FDC	FDB	Kd	1	3	5	10	15	20	25	30
25.4	0.83%	0.00%	16.426	30	94	162	349	586	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	1,803
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	0	0	0	0	0	0
5.5	2.70%	0.00%	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0

Tránsito Acum en miles ELD = 753 2,327 3,998 8,632 14,004 20,232 27,453 35,823
 ELo = 685 2,118 3,639 7,957 12,748 18,417 24,989 32,608

INGENIERO EN CARRETERAS
 MARIO ESCOBEDO
 CARRERA DE INGENIERIA EN CARRETERAS
 UNAM

**DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
DEL 19 AL 23 DE OCTUBRE DE 1992.**

- 1.- CRUZ ANGELES JAVIER V.
EFREN REBOLLEDO 54-4, COL. OBRERA, DELEG. CUAUHEMOC,
C.P. 06800, TEL. 588 45 97 DOM.
- 2.- DOMINGUEZ GUILLEN JOSE LUIS
ANALISTA DE PRECIOS UNITARIOS
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
ALTADENA 23, COL. NAPOLES, DELEG. B. JUAREZ, C.P. 03810
TEL. 687 61 99 OFNA.
- 3.- DZUL GONGORA JIMMY
CATEDRATICO
FACULTAD DE INGENIERIA (U.A.CH.)
CD. UNIVERSITARIA, U.A.CH. TEL. 13 37 11
- 4.- FIERRO RODRIGUEZ JUAN MANUEL
PROFESIONAL DICTAMINADOR ESPECIALIZADO EN MANEJO DE
FONDOS Y VALORES
SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
MIGUEL LAURENT 840, 6o. PISO, COL. LETRAN VALLE, DELEG.
B. JUAREZ, TEL. 604 71 11 OFNA.
- 5.- FIERRO RODRIGUEZ NICOLAS
JEFE DE OFICINA
SEDESOL
MIGUEL LAURENT 840, 6o. PISO, COL. LETRAN VALLE, DELEG.
B. JUAREZ, TEL. 604 71 11 OFNA.
- 6.- GARCIA PEVIA AMADA
JEFE DE LABORATORIO
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
HEROES DE CHAPULTEPEC Y 20 DE NOVIEMBRE, COL. URSULO
GARCIA, TEL. 236 47 OFNA.
- 7.- GARRIDO GALINDO SUSANA
AYUDANTE DE COORDINADOR
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL TOPOGRAF. Y GEODES (F.I.)
CIRCUITO INTERIOR UNAM, TEL. 622 80 05
- 8.- HERNANDEZ MOCTEZUMA PATRICIA
PROFESIONISTA-A
ICA INGENIERIA
CALZ. LEGARIA 252, COL. PENSIL, TEL. 399 69 22 EXT. 6317
- 9.- LUGO REYES RAUL
SUPERVISOR DE OBRAS
PEMEX
AV. MARINA NACIONAL 329, C.P. 11311

1947-1948
1949-1950
1951-1952
1953-1954
1955-1956

1957-1958
1959-1960
1961-1962
1963-1964
1965-1966

1967-1968
1969-1970
1971-1972
1973-1974
1975-1976
1977-1978
1979-1980
1981-1982
1983-1984
1985-1986
1987-1988
1989-1990
1991-1992
1993-1994
1995-1996
1997-1998
1999-2000
2001-2002
2003-2004
2005-2006
2007-2008
2009-2010
2011-2012
2013-2014
2015-2016
2017-2018
2019-2020
2021-2022
2023-2024
2025-2026
2027-2028
2029-2030
2031-2032
2033-2034
2035-2036
2037-2038
2039-2040
2041-2042
2043-2044
2045-2046
2047-2048
2049-2050