

Directorio de Asistentes al Segundo Curso de Diseño y Construcción de Pavimentos 1980.

1. Antrade Lara Salvador
Junta Local de Caminos de B.C.
Av. Zaragoza y Calle "H" No. 490
Mexicali, B.C.
2 98 90
2. J. Luis Castañeda Herrera
SAHOP
Jefe de la Oficina de Estudios
Dir. Gral. de Maquinaria y Transportes
Miguel Laurent No. 840-3^o
Z.P.12
575 63 44
Gabriel Mancera 1337-308
Z.P.12
575 53 46
3. Rubén Castillejos Sosa
Dir. Gral. de Obras Marítimas
S C T
Insurgentes Sur 465
México 7, D.F.
564 51 01
El Cántaro 33 C 106
Col. Villa Coapa
Z.P. 22
594 33 65
4. Carlos Dávila Muro
Junta Local de Caminos de Jalisco
Prolong. Calle # 2 No. 2357
Col. del Ferrocarril
Guadalajara, Jal.
12 57 62
Lisboa 507
Sta. Elena Estadio
Guadalajara, Jal.
24 21 09
5. Benito del Río Torres
Junta Local de Caminos de B. C.
Av. Zaragoza y Calle "H"
Mexicali, B.C.
264 15
6. Jaime O. Estrada Esponosa de los Monteros
Junta Local de Caminos del Estado de Oaxaca
García Vigil No. 610
Oaxaca, Oax.
6 27 31
Centzontles No. 101
Parque Residencial Coacalco
Estado de México
7. Rafael Angel Fierro Castillo
Laboratorio Nacional de la Construcción, S.A.
Calle 23 No. 22
Sn. P. de los Pinos
Z.P.18
516 25 65
Calle 18 No. 10 Dept.9
Sn. P. de los Pinos
Z.P.18
516 25 67

8. Rubén Frías Aldaraca
Depto. de Proyectos
Dir. Gral. de Conservación
S A H O P
Miguel Laurent 840-1°
Z.P. 12
559 21 50
Ote. 166 No. 71
Col. Moctezuma
Z.P. 9
7 62 48 13
9. Arnoldo Guzmán Nieves
S A H O P
Perímetro Noroeste Anexo a
Col. La Salle
Junta Local de Caminos
Chihuahua, Chih.
5 34 68
Calle 24 No. 1700
Col. Mirador
Chihuahua, Chih.
5 14 34
10. Sergio Rosales Pérez
Junta Local de Caminos del Estado de Méx.
Km. 5 Carr. Guanajuato J. Rosas
Gto. Gto.
2 09 59
San Mateo 407
Col. Florentina
León, Gto.
4 34 69
11. Miguel Trujillo Ferrusquía
Dir. Gral. de Obras Marítimas
Insurgentes Sur 465
México 7, D.F.
5 64 51 01
Av. Sta. Lucía M 24 L 4
Col. Olivar del Conde
Z.P. 19
651 79 76



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



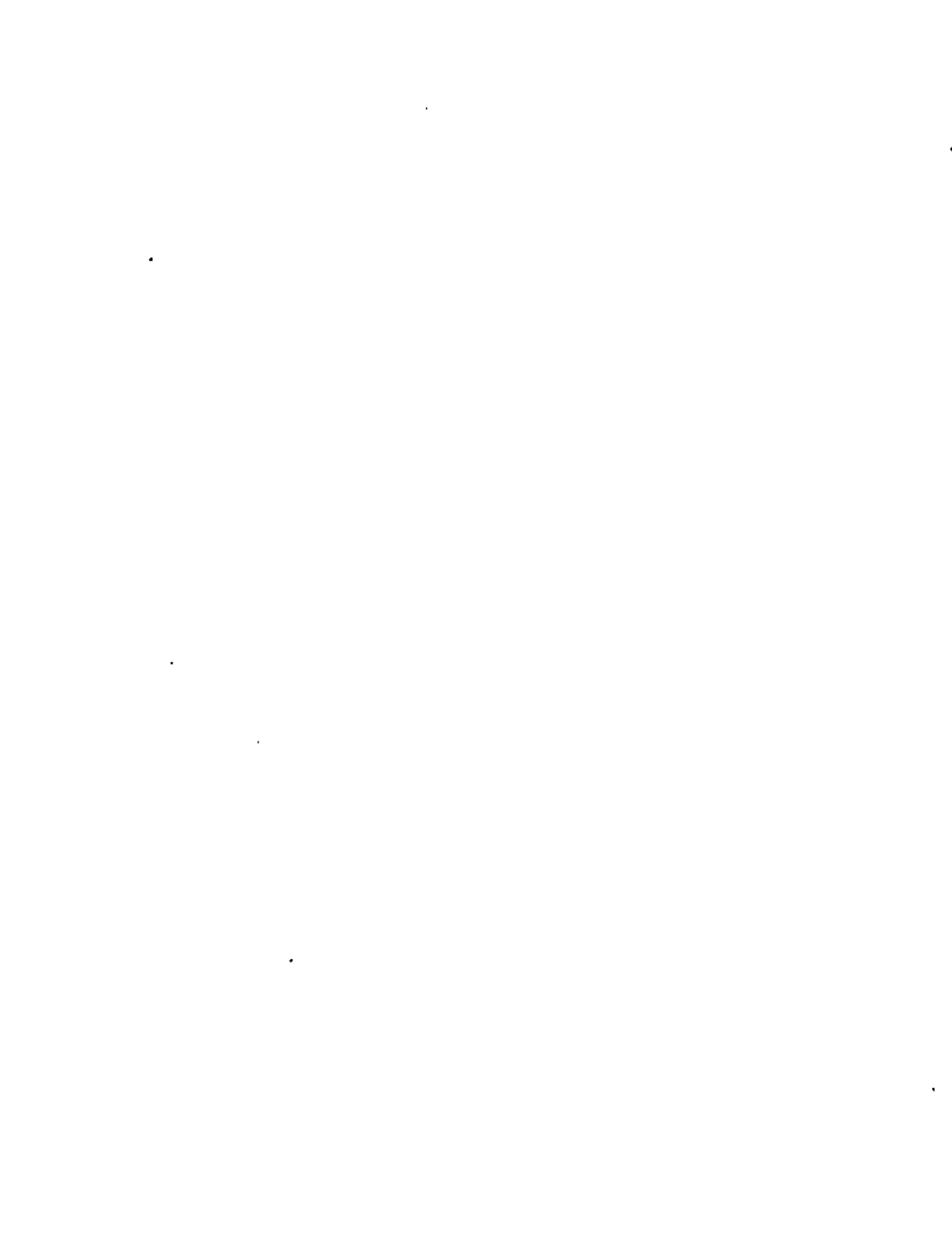
SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Prolongación de la vida útil de los pavimentos de concreto
asfáltico

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



PROLONGACION DE LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO

William Canessa, P.E.
Gerente de Productos de
Ingeniería de la

Golden Bear División,
Witco Chemical Company, Inc.,
Bakersfield, California.

Reimpreso de la Revista de Obras Públicas
de Noviembre de 1968
Ridgewood, N. J.

La vida útil efectiva del pavimento de concreto asfáltico se puede prolongar considerablemente usando un agente rejuvenecedor de asfaltos como sellador. Esto es sostenido y verificado en la inspección de campo y por los análisis de laboratorio de los pavimentos construídos desde 1961 en los cuales se usó el rejuvenecedor como sellador.

El agente rejuvenecedor del asfalto ha sido efectivo en una gran variedad de usos, tales como mantenimiento preventivo en los pavimentos viejos, operaciones de relleno de grietas, construcciones de sello y recubrimientos por el proceso de calentamiento remezclado. Existen muchos artículos y manuales que describen el primero de los usos que se mencionan anteriormente y, un departamento de carreteras del estado, está estudiando y preparando detalladamente un reporte sobre el uso del agente rejuvenecedor, así como de otros productos para rellenar grietas.

Este artículo discutirá detalladamente las dos funciones mencionadas anteriormente: el uso del rejuvenecedor del asfalto como sellador, y en los recubrimientos con calentamiento-remezclado para los pavimentos asfálticos existentes.

El rejuvenecedor asfáltico usado en la obra que se describe aquí es RECLAMITE, una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, desarrillada por la Golden Bear División de Witco Chemical Co., Inc.

Suponiendo que todas las fases de la constitución de un pavimento de concreto asfáltico se ejecuten en la mejor forma de la práctica actual, hay tres operaciones básicas de la construcción que acortan la vida útil esperada de la obra: La operación de calentamiento en planta donde el asfalto se expone al calor; las temperaturas ambientales y la distancia de acarreo tales que enfrían la mezcla en caliente a un grado tal que no pueda obtenerse la debida compactación, exponen a los pavimentos a la introducción de aire y agua; que afectan las características químicas del asfalto.

Usado como sellador, el agente rejuvenecedor tenderá a corregir estos problemas, restaurando las fracciones del asfalto que se han perdido durante el ciclo de mez-

clado en la planta de calentamiento; sellando la superficie contra la intrucción de aire y agua, lo cual constituye un sello con profundidad para no ceder al uso o al intemperismo; además cambian las características químicas del asfalto mejorando su durabilidad.

La figura 1 muestra los datos de varias obras de construcción de sellos, de las cuales se hace referencia más adelante, indicándose los valores de penetración de las áreas tratadas con emulsión asfáltica y las no tratadas, comparadas con las que se trataron con el agente rejuvenecedor.

La figura 2 muestra los valores de penetración del asfalto en varios niveles del pavimento asfáltico. Se nota que la curva normal de los valores de penetración del asfalto en diferentes niveles del pavimento es inversa desde la superficie a una profundidad de aproximadamente una pulgada.

Descripción de experiencias:

En 1961, dos pavimentos en Kern (Condado de California) y otro en Arizona, fueron tratados con el agente rejuvenecedor, en una construcción de sello en plan experimental; dichos pavimentos están en la carretera Panamá y en la Carretera Douglas en el Condado de Kern y, el de Arizona en la Carretera Hilton.

En la Carretera Panamá se hicieron pruebas de permeabilidad (al agua) poco después de que se terminó y los resultados indicaron 102 ml/min. en la sección sin tratar y 54 ml/min en la porción tratada. En 1964 tres años después de la construcción se tomaron corazones de las secciones tratadas y sin tratar para analizarlas y compararlas. El valor de penetración del asfalto extraído de la parte superior (con profundidad de 1/2"), en la sección tratada fué de 46, mientras que el valor en la sección sin tratar fué de 13. Debe hacerse notar también que la inspección visual de la sección tratada con el agente rejuvenecedor no mostró desprendimiento o daños superficiales, mientras que la parte sin tratar estaba empezando a desarrollar grietas por contracción, desprendimiento y deterioro general.

Los corazones removidos de la Carretera Douglas en 1964 y en 1966 indican la misma tendencia general. En 1964 el valor de penetración del asfalto extraído en la última 1/2" superficial de la parte tratada fué de 37 y de la de sin tratar fue de 18, mientras en 1966 la parte tratada tenía un valor de 25 y la sin tratar de 13. Nuevamente una inspección visual de este pavimento, muestra el deterioro de la superficie en la parte sin tratar, mientras que la parte tratada se encuentra en buenas condiciones.

La carretera Hilton en su sección de prueba en Arizona nunca ha sido muestreada, por lo que no se dispone de la información analítica. Claramente, esto ha demostrado en forma espectacular los grandes beneficios de los efectos del agente rejuvenecedor.

cedor como construcción de sellado. La sección sin tratar empezaba a mostrar desprendimiento severo casi inmediatamente a diferencia de la sección tratada que no tenía material suelto. En 1966 se empezaron a desarrollar grandes grietas longitudinales en la sección sin tratar las cuales se detuvieron en las áreas tratadas, - que se mantenían sin apariencias de agrietamiento en toda la zona tratada.

En 1963, el Departamento de Carreteras de Nuevo Mexico aplicó el agente rejuvenecedor como construcción de sellado en una obra de 4 millas. En 1965 se sacaron corazones y el análisis fué el siguiente: Los valores de penetración del asfalto de la parte de arriba (1/2" de profundidad) en tres corazones de partes separadas, en la sección tratada, fueron de 52, 48 y 40; y en los tres corazones de la sección sin tratar los valores obtenidos fueron de 17, 23 y 22. La inspección visual de este pavimento nuevamente indica una diferencia muy notoria entre las partes tratadas y sin tratar, con grietas y desprendimiento apareciendo a través de toda la longitud de 4 millas del carril sin tratar, lo contrario del carril tratado que no presenta tal deterioro superficial, ni en desarrollo.

Algo importante que debe mencionarse en relación con los experimentos de Nuevo Mexico y Arizona es la extrema diferencia en condiciones climáticas. La sección de Arizona está cerca de PHOENIX en una área sumamente caliente y seca; la sección de Nuevo Mexico está en Bibó, a una altura de más de una milla y expuesta a condiciones invernales muy severas.

Otros ejemplos:

A finales de 1964 la División de Carreteras de California recubrió una ruta (U.S.-101) constituida por 4 carriles, con porciones de las líneas hacia el Norte y hacia el Sur tratadas con el agente rejuvenecedor. En julio de 1965 se sacaron corazones y los valores de penetración del asfalto extraído (1/2" de profundidad) de la parte tratada fué de 47 y de la de sin tratar 33. En ese tiempo se empezó a notar la diferencia marcada entre la textura superficial de las dos secciones, indicando nuevamente las secciones sin tratar desprendimiento de material, picaduras y en general deterioros en la superficie, los cuales no eran visibles en las secciones tratadas.

Otro proyecto experimental realizado por la División de Carreteras de California usando agente rejuvenecedor como sellador, comparado con un sello asfáltico (SS-1h)-de fraguado lento, se llevó a cabo en la autopista 178 en Bakersfield. Tanto el agente rejuvenecedor como el SS-1h, fueron regados en el nuevo pavimento asfáltico - en diciembre de 1966; se sacaron corazones de muestra en marzo de 1968. El valor de penetración del asfalto de la parte superior (1/4" de profundidad) de la porción -- tratada con el agente rejuvenecedor fue de 58, mientras que el valor correspondiente a la sección tratada con el SS-1h fue de 12.

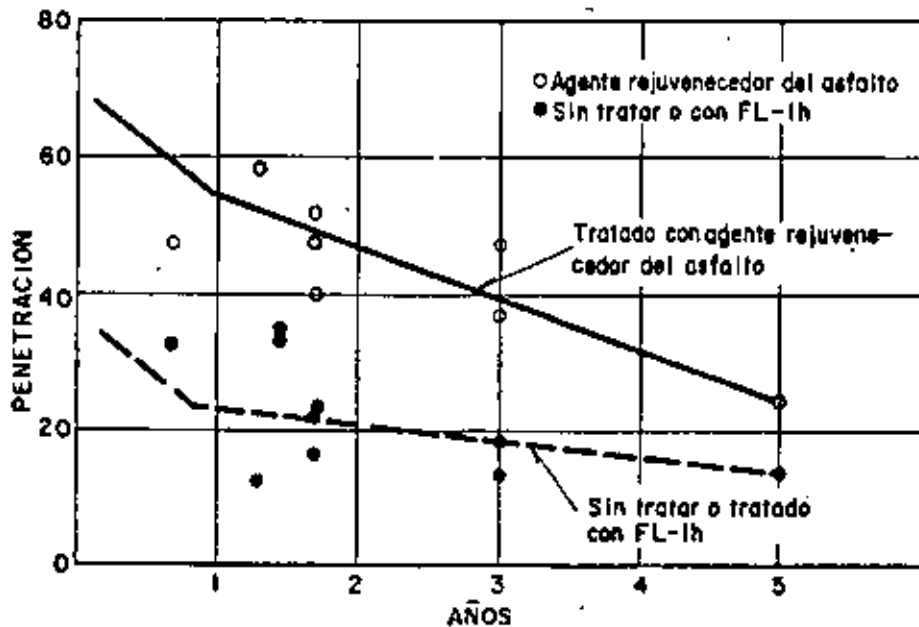


Figura 1.- Valores de penetración del asfalto extraído de la parte superior de los corazones (1/4 a 1/2 Pulg) del pavimento tratado y sin tratar durante la construcción.

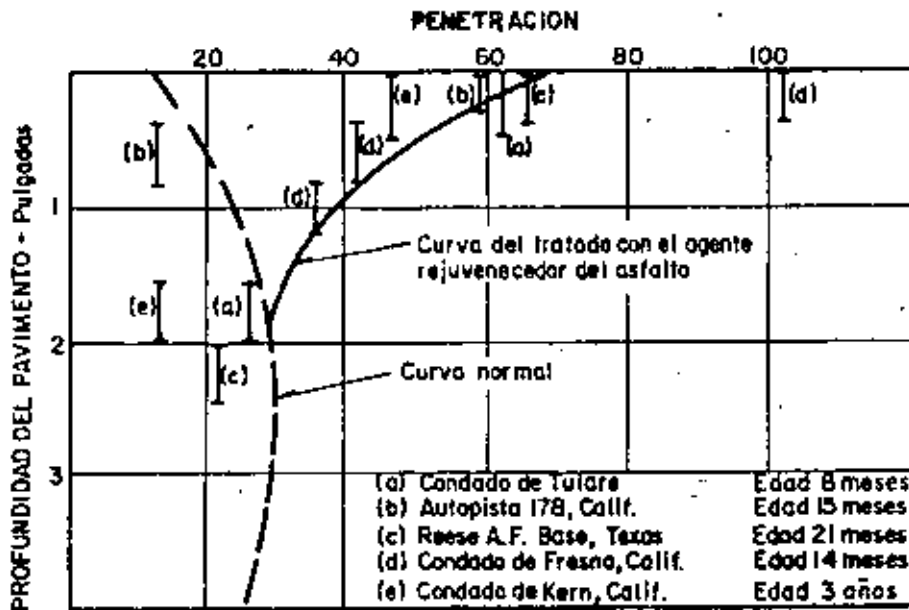


Figura 2.- Valores de penetración del asfalto extraído de la parte superior e inferior del pavimento donde se usó el agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello.

Figura 1, Los valores de penetración del asfalto extraído de la parte superficial (1/4" ó 1/2" de profundidad) de los corazones de pavimento de las secciones tratadas, durante la construcción.

Figura 2, Valores de penetración del asfalto extraído de la parte superficial y de cierta profundidad, de los pavimentos donde se usó rejuvenecedor asfáltico como construcción de sellado.

El condado de Fresno realizó un proyecto experimental similar en septiembre de 1966 en la parte alta de las montañas de la Sierra Nevada, con un extremo de la obra tratada con agente rejuvenecedor y el otro extremo con SS-1h (FL). Se sacaron corazones en diciembre de 1967. El asfalto de la parte de arriba (1/4" de profundidad) de la sección tratada con el agente rejuvenecedor tuvo valores de 134 y 101 en dos corazones separados, mientras que los corazones de la parte tratada con el SS-1h tuvieron valores de 33 y 34. Vale la pena hacer notar que los valores del estrato de media a 3/4" de la parte superficial, fueron de 70 y 41.5 en los corazones de la parte tratada con el agente rejuvenecedor y de 36 y 33 en los de la parte tratada con el SS-1h (FL).

Existen muchos otros pavimentos que podrían ser mencionados como ejemplo de la aplicación del agente rejuvenecedor pero los datos son similares en naturaleza y, con objeto de ser breves, no es necesario incluirlos. Los pavimentos y la información mencionada tomados en diferentes condiciones climáticas, variaciones en construcción y agregados diferentes, indican que los resultados finales son consistentes en el sentido de que las secciones tratadas con el agente rejuvenecedor muestran un comportamiento superior, tanto visual como analíticamente.

También se ha determinado que la textura superficial de un pavimento que ha sido tratado con el agente rejuvenecedor como construcción de sello, no cambia apreciablemente. Esto ha sido verificado y documentado por medio de las pruebas ejecutadas en el Aeropuerto Internacional El Paso, usando especificaciones de la Fuerza Aerea de los Estados Unidos, para medir las condiciones de derrapamiento con un decelerómetro.

Una técnica para el recubrimiento:

Este procedimiento para recubrir los pavimentos asfálticos existentes, está ganando una popularidad muy amplia y se lleva a cabo en todo tipo de obras con dicho pavimento, tales como calles, áreas de estacionamiento y aeropistas.

Brevemente, el proceso consiste en calentar el pavimento existente y a continuación escarificarlo a una profundidad de cuando menos 1/2", preferiblemente 3/4", regando el material del recubrimiento con una cantidad de 0.10 a 0.20 galones por yarda cuadrada de agente rejuvenecedor concentrado y entonces recubrir con una mezcla asfál-

tica.

El procedimiento presente tres ventajas básicas sobre los otros recubrimientos de tipo convencional; asegura la adhesión, rejuvenece el pavimento viejo escarificado (desarrollando cuando menos 1" de pavimento flexible adicional) y elimina las grietas superficiales de la capa existente, dilatando por consiguiente el agrietamiento por reflexión.

Otro beneficio que debe mencionarse aunque se encuentra en etapa teórica y que necesita investigación adicional, es la eliminación de la tendencia a producir láminas entre el viejo y nuevo pavimento. Es un hecho que el valor de la deflexión de una carpeta asfáltica vieja es muy diferente que el de un recubrimiento nuevo; consecuentemente, la posibilidad de laminación puede desarrollarse entre la carpeta vieja y la nueva. Esto se desarrolla probablemente algún tiempo después de que se terminó el recubrimiento, pero puede deberse o se atribuye a la falta de trabazón. Se cree que este tipo de falla se debe básicamente a la diferencia en la relación de deflexión. El procedimiento de calentamiento-remezclado, aplicando el agente rejuvenecedor, produce una área de transición que elimina o disminuye los efectos de la diferencia en los coeficientes de deflexión.

El efecto del agente rejuvenecedor sobre un pavimento existente que se calienta y escarifica es para incrementar el valor de penetración del asfalto de esta capa -- del pavimento hasta una profundidad de cuando menos 3/4", generalmente de 1", esto significa que si el recubrimiento tiene una 1" de espesor, en realidad el espesor de la carpeta flexible es aproximadamente de dos pulgadas. Muchos corazones sacados de las obras donde se empleo el procedimiento de calentamiento-remezclado indican que el asfalto de dicha capa tiene un valor de penetración más elevado que el de un recubrimiento nuevo.

Las pruebas de laboratorio pueden ejecutarse fácilmente sobre los pavimentos viejos para determinar la cantidad del agente rejuvenecedor, así como cuáles serán los efectos. Esto se realiza tomando un corazón (6" de diám. como mínimo) del pavimento existente, el cual se calentó y escarificó hasta 3/4" y se trató con el agente rejuvenecedor concentrado, dicho corazón se coloca en un horno a 140°F cuando menos dos días y entonces se prueba. Las muestras con diferentes cantidades de agente rejuvenecedor concentrado exhibirán diferentes valores de penetración, y la cantidad de concentrado que produce los resultados deseados puede determinarse.

Las grietas existentes en el pavimento viejo tienden a reflejarse rápidamente en el recubrimiento convencional; pero con la operación de calentamiento-remezclado se retarda dicho agrietamiento. Las grietas podrán reflejarse eventualmente y algunas más bien pronto, pero generalmente la magnitud de las grietas es inferior a la esperada.

Otra ventaja digna de mencionarse es que se puede diseñar un recubrimiento delgado, cuando se utiliza el calentamiento-remezclado, el cual evita las coronas abultadas y los problemas de drenaje.

Existen dos requisitos importantes que deben tenerse en mente para tener éxito en una obra con el procedimiento de calentamiento-remezclado: el pavimento no debe -- tener fallas estructurales; y la escarificación debe ser de cuando menos 1/2", preferiblemente de 3/4", de profundidad.

Basándose en los datos presentados, junto con la experiencia obtenida desde 1961, se hacen evidentes las siguientes conclusiones, cuando se usa el rejuvenecedor del asfalto en un tratamiento superficial en un pavimento recién construido, o en conjunción con la operación de recubrimiento a base de calentamiento-remezclado:

Se restauran las fracciones del asfalto que normalmente se pierden en la planta de calentamiento.

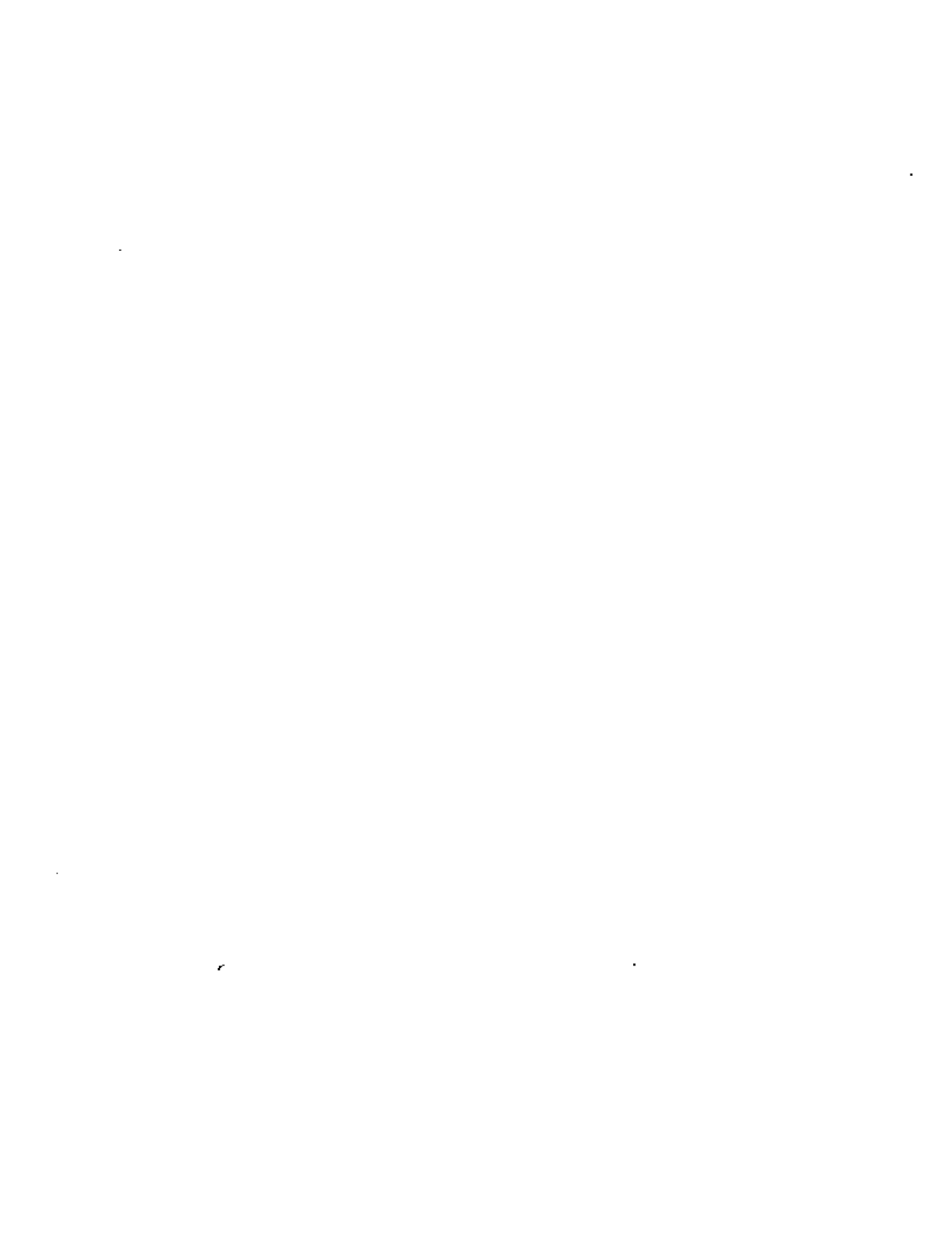
El nuevo pavimento queda sellado contra la introducción de aire y agua y, dicho sello, no se deteriora ni con el uso ni con el intemperismo.

Se extiende la vida útil efectiva de un pavimento asfáltico, generalmente al doble, antes de que se haga necesario el mantenimiento normal.

La textura superficial del pavimento no se afecta apreciablemente, por consiguiente, las características antiderrapantes, ya sea húmedas o secas, no se decrementan.

Cuando se aplica en pavimentos que han sido calentados y escarificados antes del recubrimiento, se obtiene un espesor adicional de carpeta flexible, se asegura la adhesión, se retardan las grietas por reflexión y se elimina la tendencia a laminarse.

La información analítica anterior y las conclusiones están basadas en el comportamiento particular del agente rejuvenecedor RECLAMITE y no son necesariamente representativas de otros productos similares.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



RECLAMITE

Un tratamiento superficial comprobado en el campo para extender la Vida Útil de los Pavimentos Asfálticos.

Por William Canessa, P.E. Gerente de Productos de Ingeniería de Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation Bakersfield, California.

Existen numerosas ventajas en la utilización del asfalto en la construcción de los pavimentos requeridos para las carreteras, aeropistas, caminos de acceso, calzadas y zonas de estacionamiento. La primera y más importante es el costo inicial de la construcción donde el asfalto ha probado ser el más económico para cualquier situación dada. Debe mantenerse en mente que el pavimento considerado es capaz de soportar las cargas del tránsito moderno, lo que significa que debe ser una estructura diseñada con las más altas especificaciones.

Existen pavimentos asfálticos construidos desde hace décadas que todavía están dando un excelente servicio con un mínimo de mantenimiento. La magnitud de la vida de servicio de un pavimento asfáltico, que puede considerarse antes de tomar en cuenta el mantenimiento, ya sea menor o mayor, varía para cada situación dada. Hay muchos factores que afectan la magnitud de la vida de un pavimento asfáltico libre de mantenimientos, esto se debe a las especificaciones de diseño originalmente establecidas para la construcción del pavimento en sí, así como de la mezcla de diseño, operación de la planta en caliente, compactación, condiciones climatológicas durante la construcción, bancos de agregados, etc.

Si por algo, uno o más de los factores anteriormente mencionados, no cumplen las especificaciones necesarias, el pavimento asfáltico es tal que deben tomarse medidas correctivas o preventivas para corregir la deficiencia después de terminado el camino, ya sea inmediatamente o años más tarde. Algunas de las medidas correctivas o preventivas generalmente son a base de riegos complementarios de emulsión asfáltica (de niebla), riegos de sello, slurry seal, riegos de arena, recubrimientos y otras técnicas que utilizan asfalto o productos asfálticos.

Recientemente ha sido desarrollado un producto del petróleo, Reclamite, que es una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, que da al ingeniero dedicado a los pavimentos una herramienta muy valiosa para utilizarse en el mantenimiento preventivo y correctivo de los pavimentos asfálticos.

El Reclamite puede usarse, en varios métodos, sobre los pavimentos asfálticos; (1) el más ventajoso es el de un tratamiento superficial sobre los pavimentos asfálticos nuevos; (2) mantenimiento preventivo en los pavimentos más viejos que están -- mostrando signos de desperfectos superficiales debidos al envejecimiento del asfalto; (3) en los procesos de remezclado en caliente para recubrimientos (sobre-capas) en los pavimentos diseñados con deficiencias estructurales, para adaptarlos a los estándares modernos ó rehabilitar los pavimentos viejos, (4) en las operaciones de llenado de las grietas limitadas (calafateado).

Tratamiento Superficial de los Pavimentos Asfálticos Nuevos.

Los resultados benéficos del Reclamite como construcción de sello en los pavimentos asfálticos nuevos son muchos. El más importante es el de incrementar el valor de penetración del asfalto en el pavimento mismo. Esto solamente sucede en la parte superficial de la carpeta hasta la profundidad de un 0.6 a 1.5 cms., por consiguiente, no existe efecto negativo sobre la estabilidad de la estructura. La elevación de -- los valores de penetración resultará en un período mayor sin que el efecto del envejecimiento u oxidación requiera mantenimiento preventivo. Otra función importante es el sellado efectivo y duradero que desarrolla, por lo que es un sello profundo -- que no puede ser afectado por el tránsito o la meteorización. También contrarresta los efectos del sobrecalentamiento accidental en la planta, que resulta en un pavimento quebradizo prematuro, restaurando las fracciones más reactivas que comúnmente se pierden por el sobrecalentamiento; si la mezcla de diseño resulta en un contenido bajo de asfalto, el Reclamite parará el desprendimiento y el desgarramiento que comúnmente se desarrolla en las mezclas con bajo contenido de asfalto; si resulta -- la compactación inadecuada debido al uso indebido del equipo de compactación temperaturas ambientales frías, o mezclas frías, debido a las largas distancias de acarreo, el Reclamite sellará la superficie como se indicó anteriormente. También se -- ha determinado que las superficies debiles del pavimento que han sido tratadas con el agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello no cambian apreciablemente. Esto ha sido verificado y documentado por medio de pruebas ejecutadas en el Aeropuerto Internacional del Paso usando procedimientos y especificaciones de la Fuerza Aérea de los EE.UU. para medir la rugosidad, por medio del uso de un decelerómetro. Debe tenerse la precaución con respecto a que el Reclamite no siempre debe usarse en cualquier pavimento asfáltico, nuevo o viejo, donde hay asfalto libre en la superficie ó se trata de una mezcla diseñada con exceso de asfalto.

Mantenimiento Preventivo en los Pavimentos Asfálticos Viejos

El efecto de Reclamite en los pavimentos más viejos que han alcanzado un estado don -- de se hace deseable el mantenimiento preventivo para extender su vida, con un costo

mínimo, ha probado ser muy efectivo. Debe tenerse en cuenta que si están involucrados problemas estructurales o el pavimento ha llegado al estado donde se hace necesario el mantenimiento correctivo, un tratamiento superficial con Reclamite será de poco o ningún valor. Estas condiciones requerirán otros métodos o procedimientos para corregir la situación, pero solamente con un pavimento asfáltico el ingeniero de mantenimiento tiene disponibles varios métodos para enfrentarse a la corrección de las condiciones que han llevado a un estado más allá del mantenimiento preventivo.

Proceso de Recubrimiento con Remezclado en Caliente con Reclamite.

Uno de los problemas a que se enfrentan las dependencias gubernamentales responsables del diseño y mantenimiento de carreteras y aeropistas, es la demanda creciente, tanto en el número de vehículos y del tránsito aéreo, así como del incremento de cargas. Aunque muchos pavimentos asfálticos, tanto para autos como para aeronaves, fueron diseñados adecuadamente en su tiempo y han dado buen servicio, ahora están en el estado en que deben ser reforzados por medio del incremento de espesores de la carpeta. Con un pavimento asfáltico, esto puede lograrse con un mínimo de esfuerzo simplemente colocando, el espesor requerido por el diseño de un pavimento asfáltico nuevo, sobre el pavimento existente. El procedimiento de recubrimiento con una mezcla en caliente y aplicación de Reclamite ha definido ventajas sobre los cubrimientos con riego de liga, ya conocidos, y el método de recubrimiento normalmente usado. Este procedimiento consiste en calentar el pavimento existente, escarificar hasta una profundidad de cuando menos 1.3 cms. preferible 20 cms., regar de 0.6 a 1.2 litros por metro cuadrado de Reclamite concentrado, y entonces recubrir con una mezcla asfáltica. Este procedimiento tiene tres ventajas básicas sobre los tipos de recubrimiento convencional: (1) asegura la trabazón, (2) rejuvenece el pavimento viejo escarificado, logrando cuando menos 2.5 cms. de pavimento flexible adicional, (3) elimina las grietas superficiales en la carpeta, retardando por consiguiente el agrietamiento por reflexión. Otro beneficio que debe mencionarse, aunque en forma teórica, pero sin embargo significativo y que necesita investigación adicional, es la eliminación de tendencias de laminación entre el pavimento viejo y el pavimento nuevo. El valor de la deflexión de una carpeta asfáltica vieja es muy diferente que el de una sobrecarpeta nueva, consecuentemente, la posibilidad de laminación puede desarrollarse entre las carpetas -- viejas y nuevas, y comúnmente desarrolla en uno o tres años después de que se termina la sobrecarpeta. Se estima que este tipo de falla es debida basicamente a la diferencia en los valores de la deflexión. El remezclado en caliente con Reclamite desarrolla una área de transición que elimina o disminuye los efectos de la diferencia en los coeficientes de deflexión y elimina este tipo de falla.

Llenado de Grietas (calafateo)

El Reclamite usado en el llenado de las grietas ha probado ser de mucho éxito si se usa en grietas de 0.6 cms. de espesor o menos. Este tamaño de grieta es difícil de llenar con los componentes normales para tal efecto utilizando asfalto, mientras que la viscosidad muy baja de Reclamite lo hace que se introduzca en las grietas fácilmente. A continuación se riega arena sobre el área agrietada y se abre el camino nuevamente al tránsito.

Las ventajas de esta técnica son varias (1) las grietas no necesitan limpiarse, (2) el Reclamite restaura la flexibilidad en el área agrietada eliminando así el descantillamiento, (3) ó provoca deformaciones o decoloración. También es digno de mencionarse que, debido a que el Reclamite no requiere calentamiento, se simplifica toda la operación.

Conclusiones

Los pavimentos asfálticos son extremadamente versátiles, si por algo, se abusa impropriadamente en el diseño; mezclado, manejo o tendido durante la construcción inicial, la fragilidad resultante puede corregirse por uno de varios métodos. Estos pavimentos dan una vida útil larga y cuando parece que han llegado a su fin, aún puede extenderse su vida útil o utilizarlos como parte de una capa adicional de pavimento asfáltico aplicando el procedimiento de remezclado en caliente o si se trata de una carpeta con mezcla en el lugar utilizando asfaltos rebajados, puede restaurarse retrabajando, adicionando agregado y rebajado asfáltico.

La parte importante que toca al Reclamite en el campo de los pavimentos asfálticos es la de extender y aún doblar el tiempo de vida antes de que se haga necesario el mantenimiento normal. Existen muchas publicaciones que tratan tanto la información analítica como la de las pruebas visuales, que prueban la efectividad del Reclamite sobre los métodos convencionales que utilizan materiales asfálticos. Un hecho importante que debe tenerse en cuenta es que aunque el Reclamite ha probado ser efectivo en muchos casos, no puede usarse en cualquiera ni en todos los pavimentos porque no es una panacea para todos los problemas de pavimentación que se encuentren.

Las consideraciones económicas son de suma importancia para los ingenieros y los administradores responsables de la construcción de pavimentos asfálticos. El costo de un tratamiento con Reclamite variará desde (\$ 1.50 pesos a \$ 2.25 pesos por metro cuadrado) para la proporción media de aplicación de 0.4 a 0.6 litros por metro cuadrado de una dilución 2:1 (dos partes de Reclamite por una de agua). El precio se incrementará ligeramente en las obras fuera de los Estados Unidos por ejemplo en el aeropuerto Internacional Honolulu de Hawaii los precios se incrementaron ligeramente hasta \$ 2.80 pesos por metro cuadrado, terminada en el lugar con una aplicación de 0.5 li-



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Una discusión de cuando y donde debe usarse el
RECLAMITE, como aplicarlo debidamente, y algunos
datos que muestran sus efectos.

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



RECLAMITE

Una discusión de cuando y donde debe usarse el RECLAMITE como aplicarlo debidamente, y algunos datos que muestran sus efectos.

Los ingenieros dedicados a la construcción de caminos cada vez incrementan el uso del agente rejuvenecedor Reclamite* en sus procedimientos de mantenimiento y en sus programas de construcción. Entre los trabajos específicos en que se está aplicando están los siguientes:

Restaura o mejora grandemente la flexibilidad y ductilidad de los pavimentos asfálticos viejos que han sido atacados por el intemperismo.

En construcción nueva, para restaurar las cualidades originales del asfalto, que han sido parcialmente perdidas debido al envejecimiento artificial ocurrido durante la operación de calentamiento en la planta. La acción de rejuvenecimiento ocurre solamente en la parte superficial de la carpeta hasta la profundidad de 0.6 a 1.5 cms. por consiguiente, no provoca ningún efecto adverso en la estabilidad de las carpetas.

Reduce la intrusión de aire y agua proporcionando un sello profundo y duradero que no puede ser removido por el tránsito o el intemperismo. Esta acción ocurre en los pavimentos viejos y en los nuevos que reciben un tratamiento -- con RECLAMITE.

Ayuda a reducir la permeabilidad donde las densidades deseadas no se logran debido a las bajas temperaturas ambientales o a las mezclas empleadas durante el acarreo debido a las largas distancias desde la planta hasta la obra.

Los tratamientos con RECLAMITE también son usados ampliamente para mejorar las propiedades del asfalto en las operaciones de reciclamiento en caliente y repavimentación en caliente, y para llenar y sellar las grietas pequeñas del pavimento. Como tales tratamientos tienen mucho uso, cada vez incrementa la importancia de conocer y entender cuando son más efectivos y cuando deben aplicarse, particularmente en las aplicaciones a construcciones nuevas.

La experiencia ganada con RECLAMITE, el agente rejuvenecedor más efectivo y más ampliamente usado, puede ayudar a guiar a los ingenieros cuando están considerando programas de tratamiento rejuvenecedor. El agente, que es una emulsión con agua y petroquímicos seleccionados, se proporciona en forma de un concentrado frío y diluido en el lugar de la obra con cualquier agua fría disponible (aún agua de mar) en una dilución de dos partes de concentrado por una de agua.

Puede ser aplicado por los vehículos distribuidores convencionales o regado con --, equipo manual sin calentar.

* T.M., Golden Bear Div., Witco Chemical Corp.

Prueba del Anillo de Grasa

La prueba del anillo de grasa proporciona un método simple para determinar la condición de absorbencia del pavimento, su propiedad para el tratamiento rejuvenecedor -- y la proporción debida de aplicación. Esto consiste en formar un anillo de 15 cms. de diámetro sobre el pavimento de prueba con un tubo de grasa para lograr un reci-- piente sellado para la aplicación de una cantidad decreciente de la emulsión. El es-- tuche de prueba contiene un frasco marcado que corresponde a varias proporciones de aplicación.

La cantidad en escala decreciente del agente rejuvenecedor se basa en un juicio pre-- liminar de las condiciones del pavimento, se mide en el frasco, y se vierte dentro del anillo, y se extiende rapidamente y uniformemente dentro del área circular con un cepillo pequeño. El tiempo requerido para que el agente penetre en la superficie se registra. La prueba debe realizarse sobre las huellas del rodamiento, donde el pa-- vimento es comúnmente más denso (mayor dificultad para penetrar) para asegurar los mejores resultados y porque las condiciones superficiales varían, debe repetirse -- en diferentes áreas.

La información y los datos que deben registrarse de esta prueba incluyen: descrip-- ción de la superficie de prueba; localización del anillo de prueba; tiempo de pene-- tración para cada cantidad aplicada; y la velocidad de aplicación, que debe ser la mayor cantidad que penetre la superficie en un tiempo de 15 a 20 minutos.

Si en el área superficial aparece residuo espeso del material aplicado, permanecien-- do después de un intervalo de 15 min., indica que se usó mucho agente rejuvenecedor para la prueba o que el pavimento no requiere tratamiento.

Donde se está probando el agente para usarse en pavimentos asfálticos nuevos, la pro-- porción recomendada varía desde 0.3 hasta un máximo de 0.6 litros por metro cuadrado y comúnmente caerá dentro del intervalo de 0.3 a 0.5 litros por metro cuadrado. Ja-- más debe excederse de 0.75 litros por metro cuadrado de la dilución 2:1. Si 0.3 li-- tros por metro cuadrado del agente no penetran completamente un pavimento nuevo, en-- tonces no debe aplicarse.

Condiciones del Pavimento

Las características del nuevo pavimento dictaminarán el criterio del ingeniero no solamente en la velocidad de aplicación del material sino también en si debe hacerse el tratamiento. Se debe hacer cuidadoso de las condiciones del pavimento, antes de decidir sobre el uso de un tratamiento de este tipo.

El pavimento asfáltico debe tener un contenido de vacíos de cuando menos 5% para que la aplicación resulte práctica y benéfica. Los pavimentos con un contenido de asfalto alto o en exceso, tienen pocos vacíos y por lo tanto están sujetos a inestabilidad, surcamientos, y llorado ya sea que sean o no tratados con el rejuvenecedor por lo tanto, el tratamiento de tales pavimentos es contraindicado. Además, si la calidad del agregado es tal que será pulido o degradado rápidamente, la longevidad extra que un tratamiento proporcionaría se nulifica, por lo que el tratamiento debe evitarse.

Los pavimentos más viejos, antes de ser tratados con RECLAMITE en un mantenimiento preventivo, también requieren un examen cuidadoso. El tratamiento será efectivo solamente si el material rejuvenecedor puede penetrar debidamente. El pavimento no debe exhibir asfalto libre en su superficie, y su absorbencia debe determinarse con la prueba de anillo de grasa. Los proporcionamientos de aplicación recomendados varían desde 0.3 a 1.7 litros por metro cuadrado dependiendo de las características de absorbencia.

Los ingenieros deben estar alertas sobre ciertas condiciones que hacen los pavimentos más viejos inadecuados para tales tratamientos. Entre estos están; los pavimentos recientemente sellados con materiales asfálticos (tipo niebla), emulsión asfáltica o rebajados; las superficies inestables (como las indicadas por surcamientos, corrimientos o grietas); las superficies que han desarrollado zonas vidriadas por el tránsito o acumulaciones considerables de materiales extraños que pueden evitar la absorción del agente. El RECLAMITE debe absorberse completamente, para que sea de valor.

Aplicación

El RECLAMITE se riega mejor usando una Petrolizadora convencional de asfaltos.

El equipo debe estar limpio, sin remanentes de asfalto o disolventes en el tanque y ajustado para que no se propicien goteos en las conexiones. Es aconsejable aplicar una pequeña cantidad del material a través de la barra distribuidora, fuera del camino, para asegurarse de que la barra está limpia y debidamente ajustada. Las boquillas rociadoras deben ser del menor diámetro (aproximadamente de 3 milímetros de

abertura en los orificios).

El RECLAMITE puede ser generalmente regado bajo un amplio rango de temperatura desde tan bajas como 0°C, hasta tan altas como pueda haber. Debe ser aplicado a los pavimentos secos cuando la lluvia no es inminente. La experiencia ha mostrado que la penetración ocurre más rápidamente si el trabajo se ejecuta durante climas cálidos.

Pavimentos Tratados con Areneo

El efecto del RECLAMITE sobre la tracción de los caminos depende de las condiciones y de la textura superficial del pavimento antes del tratamiento. Después del tratamiento, puede existir en ciertos casos un peligro temporal. Esto incluye; Penetración incompleta de la emulsión debido a la aplicación excesiva o no uniforme o a las variaciones en la permeabilidad del pavimento; acumulaciones de aceite y grasa debido al goteo o a remanentes de aplicaciones de sellado previas en los pavimentos; agregados expuestos que han sido pulidos por el tránsito hasta suavizar la superficie.

Si se encuentra una condición resbaladiza después del tratamiento, la aplicación de 0.5 a 1.0 litros de arena por metro cuadrado de arena seca o polvo de roca generalmente proporcionará la tracción necesaria para reducir el derrapamiento a un mínimo. En cualquier caso donde hay duda sobre la seguridad del tránsito en un pavimento tratado, se debe aplicar areneo y, si es necesario, repetidamente de acuerdo a las condiciones locales reales. Se ha determinado durante diez años de experiencia en los tratamientos con RECLAMITE que los pavimentos más viejos requieren areneo si se van abrir al tránsito en unas cuantas horas. Sin embargo, se ha encontrado que el areneo es generalmente innecesario en las zonas de estacionamiento y en otros pavimentos que pueden cerrarse al tránsito durante varios días.

Durante cualquier tipo de trabajo en los caminos, incluyendo tratamientos con RECLAMITE, deben usarse señales preventivas, barricadas, sistemas de control de tránsito (tales como hombres con banderines o autos pilotos). Donde es necesario el areneo, el trabajo no debe considerarse terminado a menos que se haya proporcionado dicho areneo adecuadamente y hasta que el rejuvenecedor sea absorbido completamente.

Técnicas para Otros Usos

Esta exposición ha tocado principalmente las consideraciones para la aplicación de RECLAMITE como un tratamiento en los pavimentos nuevos y como mantenimiento preventivo en los pavimentos más viejos. Debe mencionarse su uso adecuado en otras áreas de importancia comercial: Recubrimiento con escarificado en caliente, y llenado de grietas (calafateo).

En el proceso de escarificación en caliente, el Reclamite se aplica sobre la carpeta vieja después de la escarificación, en forma concentrada (sin diluir) en proporciones que varían desde 0.6 a 1.2 litros por metro cuadrado. Es práctica común recubrir inmediatamente el pavimento escarificado y tratado. En ocasiones esta etapa de recubrimiento se retrasa, y es deseable abrir al tránsito la sección escarificada y compactada. Si esto sucede, debe hacerse solamente si ha ocurrido la penetración completamente y la superficie ha obtenido suficiente coeficiente de fricción para considerarse segura.

Existen dos requisitos importantes que deben tener en mente para tener éxito en una obra de escarificación en caliente; El pavimento existente no debe tener fallas estructurales; y la escarificación debe llegar hasta cuando menos 1.5 cms., preferiblemente 2.0 cms. de profundidad.

Este procedimiento tiene tres ventajas básicas sobre un tipo convencional de recubrimiento: 1) Asegura la trabazón; 2) Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible; y 3) elimina las grietas superficiales en la carpeta, retardando por lo tanto el agrietamiento reflectivo.

El Reclamite usado en el llenado de grietas ha probado tener mucho éxito si se usa en grietas de un cuarto de pulgada o menos. Este tamaño de grieta es difícil de llenar con los componentes normales para el calefateo que utilizan materiales asfálticos, mientras que la baja viscosidad de Reclamite la permite penetrar en las grietas fácilmente. A continuación se riega arena sobre el área agrietada y el pavimento queda listo para el tránsito. Las ventajas de esta técnica son: 1) no es necesario limpiar las grietas; 2) el Reclamite restaura la flexibilidad en el área agrietada por lo que elimina el descantillamiento y las zonas frágiles; 3) no provoca deformaciones o decoloración peligrosa. También es digno de mencionarse que debido a que Reclamite no requiere calentamiento, se simplifica toda la operación.

El pavimento asfáltico es extremadamente versátil, y si por cualquier motivo se abusa en un diseño impropio o durante la construcción inicial en las operaciones de mezclado, las fallas resultantes pueden corregirse por alguno de los diferentes métodos que existen.

Dicho pavimento proporciona una vida útil larga y, cuando parece que ha concluido su tiempo de vida, puede aún ser utilizado y formar parte de una capa adicional de pavimento asfáltico aplicando de escarificación en caliente o las técnicas convencionales de recubrimiento.

El Reclamite es importante en el campo de los pavimentos asfálticos porque extiende y aún dobla el tiempo sin que se haga necesario el mantenimiento superficial normal. Existen muchas publicaciones que muestran tanto los datos analíticos como las pruebas visuales que comprueban que la efectividad de RECLAMITE es superior a la de los métodos que utilizan como base los materiales asfálticos.

Un hecho importante que debe tenerse en mente es que aunque RECLAMITE ha probado ser efectivo en muchos casos, no siempre puede usarse en todos los pavimentos, no es una panacea para todos los problemas de pavimentación.

Las consideraciones económicas son de importancia primordial para los ingenieros o administradores encargados de los pavimentos asfálticos. El costo de un tratamiento con RECLAMITE variará desde cuatro centavos (\$ 1.25) a \$ 2.50 por metro cuadrado -- con un promedio de aplicación de 0.5 a 0.75 litros por metro cuadrado de una dilución de 2:1. En obras fuera de la zona continental de los EE.UU. el precio será ligeramente más alto. Por ejemplo en el Aeropuerto Internacional de Honolulu, en Hawaii costó (\$ 2.80) por metro cuadrado terminado en el lugar con una aplicación de 0.6 -- litros por metro cuadrado sobre la pista 4 izquierda.

A continuación se da la información de varias obras de prueba para comparar el efecto de los tratamientos con el Reclamite sobre el valor de penetración del asfalto -- comparandose con el de los pavimentos no tratados, o tratados con los productos convencionales tales como los rebajados de fraguado rápido y medio o bien con emulsiones asfálticas.

1. Corazones extraídos en noviembre de 1967 de la Carretera a Dinkey Creek, del Condado de Fresno, Calif., construida en septiembre de 1966. Porción del pavimento tratado con 0.6 a 0.75 litros por metro cuadrado de una dilución de Reclamite en la porción 2:1; la parte restante se trató con emulsión asfáltica aniónica de rompimiento lento (RL-1), ambos casos como construcción de sello. Dos corazones de cada sección.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO.

Profundidad	Sección con RECLAMITE		Sección con RL-1H	
Parte superior				
0.6 cms.	134.0	101.0	33.5	34.5
0.6 a 2.0 cms.	70.0	41.5	36.0	32.8

2. Corazones sacados de la Carretera 178 (Autopista) de Calif., Bakersfield, construida en Diciembre de 1966. Porción del pavimento tratada con 0.5 - litros por metro cuadrado de una dilución de Reclamite 2:1 la otra parte se trató con emulsión asfáltica aniónica (RL-1), ambos tratamientos como construcción de sello. Los corazones se sacaron en marzo de 1968.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección con RL-1H
Parte superior		
0.6 cms.	57.8	11.5
0.6 a 2.0 cms.	13.8	13.2

3. Corazones de la Carretera Estatal de Nueva York, sección Berkshire, trata da con 0.6 litros por metro cuadrado de una dilución de RECLAMITE 2:1 en Agosto de 1964 cuando la edad del pavimento era de 6 años. Los corazones se sacaron en octubre de 1965, dos corazones de cada sección.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección sin tratar
Parte superior		
1.5 cms.	43 - 42	20 - 19

4. Corazones de una carpeta de granulometría densa sobre la Carretera al Nor te de Carson City, Nevada, tratados en septiembre de 1965 con 0.75 litros por metro cuadrado de una dilución de RECLAMITE 2:1, con excepción de tra mos cortos que se dejaron para comparación.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

	Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección sin tratar
NOV/1965	Superior 1.3 cms.	82.0	23.5
	1.3 - 2.6 cms.	46.0	45.0
	2.6 - 4.0 cms.	45.5	48.0
ABR/1967	Superior 1.3 cms.	48.0	19.4
	1.3 - 2.6 cms.	40.0	34.5
	2.6 - 4.0 cms.	41.6	34.5
DIC/1968	Superior 1.3 cms.	39.8	16.8
	1.3 - 2.6 cms.	34.6	22.0
	2.6 - 4.0 cms.	33.5	26.0

5. Corazones de la Carretera Federal 50 al Oeste de Cold Springs, Nevada, construida en julio de 1967 con asfalto 85/100, con granulometría abierta sobre una densa. Se efectuaron tratamientos superficiales experimentales sobre secciones cortas separadas, en el verano de 1969. Se tomaron corazones en enero de 1970.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO DE 1.5 CMS. SUPERIORES

Sin tratar		8.6
RR - 250	0.4 litros/m ²	10.1
RM - 250	0.4 litros/m ²	8.2
RELCAMITE	0.36 litros/m ²	21.4
RECLAMITE (Lab.prueba)	0.68 litros/m ²	28.5

6. Corazones del proyecto de investigación sobre la Carretera Federal U.S. - 101 Zaca - Wigmore, División de Carreteras de California. El RECLAMITE -- se aplicó el 1° de diciembre de 1964, 0.75 litros por metro cuadrado en la dilución 2:1.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

	Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sin tratar
JUL/1965	Superior 1.3 cms.	47.0	33.5
	4.0 - 5.3 cms.	64.5	62.0
FEB/1970	Superior 1.3 cms.	27.5	11.2
	1.3 - 2.6 cms.	62.8	14.2
	2.6 - 4.0 cms.	49.2	34.5
	4.0 - 5.3 cms.	56.8	51.5



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Función del Reclamite en el procedimiento de
de escarificación en caliente

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

RECLAMITE

Función del RECLAMITE en el procedimiento de Escarificación en Caliente:

Por: Inq. William Canessa

Gerente de Productos de Ingeniería
Golden Bear Division, Witco Chemical
Corporation Bakersfield, California.

En vista del alto costo actual de los materiales de construcción de caminos y del mantenimiento de los mismos, junto con el hecho de que la renta pública de los caminos no se está incrementando y en muchas áreas se está reduciendo, la utilización completa de los pavimentos asfálticos existentes se hace una necesidad económica. Sin embargo, para que este pavimento existente sea una parte integral útil de un recubrimiento planeado o de un programa de rehabilitación, tiene que ser restaurado a su condición original o cerca de la original. Esta restauración puede hacerse a través del procedimiento de reciclamiento completo del espesor total de la carpeta, o por el método de eskarificación en caliente donde la restauración se realiza generalmente en la parte superficial a 2:5 cms. de profundidad del pavimento existente.

Este artículo se dirigirá a este último método de eskarificación en caliente y aplicación de RECLAMITE para la rehabilitación de los pavimentos de concreto asfáltico existentes, lo cual es mucho menos costoso que el reciclamiento.

Función del RECLAMITE

Un paso importante y vital en el proceso de eskarificación en caliente es el de rejuvenecer cuando menos 2.5 cms. de espesor del pavimento existente (parte superficial), y esto puede realizarse solamente con el uso de un agente rejuvenecedor probado y conocido como el RECLAMITE. El RECLAMITE es una emulsión catiónica de maltenos que restaura la plasticidad y ductilidad del pavimento asfáltico hasta la profundidad donde penetra. Esta acción se realiza químicamente por la adición de las fracciones del asfalto que se perdieron durante el proceso de envejecimiento, incrementando por consiguiente el valor de penetración del asfalto existente. El uso de emulsiones asfálticas, rebajados, o cualquier otro producto asfáltico no rejuvenecerá un pavimento asfáltico existente.

El RECLAMITE tiene una función muy útil en la vida total de un pavimento asfáltico, desde el momento en que el pavimento se coloca al nivel y se usa el RECLAMITE como construcción de sello, hasta el momento en que el reciclamiento se hace necesario -

y el RECLAMITE se usa para rejuvenecer el asfalto existente. Entre estos dos extremos se usa como mantenimiento preventivo o en el sellado de grietas o en el proceso que se detalla a continuación (escarificación en caliente).

Escarificación en Caliente

El avance de la escarificación en caliente en los recubrimientos ofrece tres ventajas básicas sobre el método convencional de riego y recubrimiento:

- 1.- Asegura una trabazón positiva entre el pavimento asfáltico viejo y el nuevo.
- 2.- El uso de RECLAMITE rejuvenece la parte superficial del pavimento, generalmente desarrolla cuando menos 2.5 cms. adicionales de pavimento flexible.
- 3.- Las grietas superficiales en el pavimento existente se eliminan, retardando sus efectos o reflexión, y por consiguiente la magnitud de la grieta se reducirá considerablemente.

RECLAMITE es una marca registrada de la Witco Chemical Corporation.

Hay una limitación en el espesor del recubrimiento en este proceso. Para el espesor de 10 cms. o menos, el procedimiento de escarificación en caliente es probablemente el mejor. Espesores de 10 a 15 cms. requieren un estudio y el juicio de la ingeniería. Para espesores sobre 15 cms., la escarificación en caliente tiene muy poca o nada de ventaja.

Se tiene también el método que usa un slurry seal o aun un riego de sello como recubrimiento en lugar de una sobrecapa, para rebajar el costo. Este se ha realizado satisfactoriamente y ha sido planeado por varias agencias, pero solamente debe considerarse para caminos con volumen bajo de tránsito tales como las calles residenciales o aeropistas pequeñas usadas solamente por aviones ligeros. El proyecto (la obra) debe estar estructuralmente sano si se planean recubrimientos delgados y debe corregirse cualquier falla local de la base antes de iniciar los trabajos de escarificación en caliente.

Cuando el nivel no presenta problemas el espesor del recubrimiento puede variar dependiendo de los requerimientos estructurales del camino o de lo que sea necesario desarrollar para un nivel adecuado. Sin embargo, si existen factores de control tales como cunetas, banquetas, coladeras, consideraciones de drenaje, acotamientos de concreto asfáltico con banquetas de concreto asfáltico, o estructuras donde el espesor del recubrimiento necesariamente será mínimo, se ve que la escarificación en caliente es probablemente el único método que aportará un resultado satisfactorio y de larga duración. No hay necesidad de remarcar la importancia de la pulgada adicional de pavimento flexible que se desarrolla con el procedimiento de escarificación

en caliente y aplicación de RECLAMITE cuando se va a usar un recubrimiento (1.8 a 2.5 cms.) o slurry seal.

Existen dos procedimientos para la escarificación en caliente, el método en serie y el método de pavimentación retardada. El método en serie se usa cuando el recubrimiento va a ser de una mezcla de graduación densa. Para recubrimientos de granulometría abierta, slurry seal o riego de sello, el método de pavimentación retardada es el que debe usarse. También puede usarse el de una graduación densa después del pavimento retardado.

Método en Serie

Este método de escarificación en caliente y aplicación de RECLAMITE en procesos de recubrimiento es un procedimiento de 4 pasos. El primer paso es para calentar y escarificar la parte superficial con espesor de 1.5 a 2.0 cms. del pavimento. El segundo paso consiste en aplicar por regado de 0.5 a 1.0 litros por metro cuadrado de RECLAMITE concentrado inmediatamente después de la operación de escarificación para rejuvenecer el material viejo.

En la tercer etapa o paso se coloca un recubrimiento asfáltico nuevo sobre el pavimento rejuvenecido. La colocación del recubrimiento se efectúa en forma convencional tan pronto como sea práctico después de la aplicación del RECLAMITE. Debe mantenerse en mente que debe haber suficiente espacio entre las operaciones para que el equipo funcione debida y eficientemente.

El cuarto paso del procedimiento es la compactación. Para compactar se usan compactadores convencionales de rodillos de acero y neumáticos con objeto de lograr una carpeta adecuada con la mezcla preparada y la de asfalto fresco. Un tratamiento subsecuente de la sobrecapa con aproximadamente 0.25 a 0.35 litros por metro cuadrado de RECLAMITE diluido a razón de dos partes de concentrado por una parte de agua prolongará la vida útil del pavimento. Debe hacerse notar que si el RECLAMITE se va a usar como construcción de sello el nuevo recubrimiento no debe diseñarse con un alto contenido de asfalto y que debe haber cuando menos 4% de vacíos en la carpeta.

Método de Pavimentación Retardado

Este método de pavimentación es el siguiente: el primer paso es de calentamiento y escarificación. El segundo paso es seguir inmediatamente detrás de la escarificadora con equipo de compactación de rodillos de acero y neumáticos. La aplicación de RECLAMITE por medio de riego sobre el área compactada, se hace al final de cada día de trabajo. La proporción de aplicación puede variar desde 0.70 a 1.12 litros por metro

cuadrado de RECLAMITE, y se recomienda que se diluya antes de la aplicación. La razón de la dilución es de dos partes de RECLAMITE a una parte de agua. La nueva carpeta asfáltica, slurry seal, riego de sello, o mezcla de granulometría abierta pueden colocarse cuando el área total se haya escarificado, compactado y tratado con RECLAMITE, lo cual puede ser cosa de días o aún de semanas después que el trabajo se ha iniciado. Las aeropistas deben cerrarse al tránsito hasta que se termine el recubrimiento. En otros lugares, el tránsito de vehículos puede permitirse antes del recubrimiento, sin problemas. Sin embargo, si hay partes del pavimento que sean de mezcla muy gruesa que se desprenda fácilmente, entonces puede requerirse el recubrimiento inmediatamente. Se sugiere que en el contrato se incluyan los requerimientos de barrido y de riego de liga con vencional en caso de que sea necesario uno o ambos, con la estipulación de que pueden ser eliminados sin costo para la agencia contratante.

Pruebas Preliminares

Se ha desarrollado un método para probar los pavimentos que van a ser calentados y escarificados y determinar la cantidad de RECLAMITE que debe aplicarse y el efecto que tendrá en el pavimento existente. El procedimiento consiste en remitir al laboratorio de prueba tres corazones de muestra cuando menos de 15 cms. de diámetro. Un corazón se prueba para determinar el valor de penetración del asfalto de la parte superficial del pavimento (2.0 cms. de espesor). Los otros dos corazones se calientan y escarifican hasta una profundidad de 2.0 cms., entonces se aplica 0.5 litros por metro cuadrado de RECLAMITE concentrado sobre uno de dichos corazones y 1.0 litros por metro cuadrado sobre el otro. Estos corazones se colocan en un horno a la temperatura de 60°C durante un tiempo mínimo de tres días, después de lo cual se extrae el asfalto de los 2.0 cms. superficiales de cada corazón y se prueba.

Las tablas siguientes muestran los resultados de varias obras donde se realizó este tipo de pruebas en el laboratorio de investigación de la Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation, at Bakersfield, California.

Las tablas muestran dichos valores de penetración del asfalto extraído:

Aeropuerto Internacional de Honolulu, Aeropista 4R-22L	Sin tratar	Tratado con 0.5 litro/m ² y RECLAMITE concentrado	Tratado con 1.0 lts/m ² y RECLAMITE concentrado.
20 + 000	6.3	35.0	
37 + 000	Demaciado duro para reportarse.	34.5	

Localización 1	10.3	16.0	18.1
Localización 2	25.3	46.4	63.0

Departamento de Trans-
portes de Arizona Ca-
rretera Panamericana

Corazón # 1	6.5	19.9	35.5
-------------	-----	------	------

La siguiente operación es de un corazón de prueba del aeropuerto del Condado de -- Yuba California, que se escarificó y se trató con RECLAMITE, colocándose además -- una sobrecarpeta de 6.5 cms.. El corazón se tomó, aproximadamente, tres meses después que el trabajo se terminó.

Espesor de 1.5 cms. de mezcla nueva sin tratar	37.4 valor de penetración
2.0 cms. del pavimento original, escarificado en caliente y tratado con 1.0 litros/m ² de RECLAMITE concentrado.	147.0 valor de penetración
4.0 cms. bajo la porción escarificada en caliente.	Demasiado duro para registrarse.

CONCRETO ASFALTICO (Reciclado)

Descripción:

El concreto asfáltico reciclado consistirá de mezclar en una planta el material removido de acuerdo con el artículo 2020030 y un agente reciclante para formar una capa de pavimento de acuerdo a los requerimientos del proyecto y de los requisitos especiales.

Material:

Agregado Mineral:

Se procesa el concreto asfáltico existente para que cumpla los siguientes requisitos de granulometría:

Pasa Malla	Por ciento
1 1/2"	100
1"	90 - 100

Material Asfáltico:

El agente reciclante debe ser equivalente al Ciclogen (L) y cumplir lo siguiente:

Viscosidad a 60°C	CS	80 - 500
Punto de inflamación,	CAC, Min.	177°

Separación por destilación:

N/P Mínimo		0.5
$(N + A_1) / (P + A_2)$	Min.	0.4
	Max.	1.2

El contratista deberá enviar, al Laboratorio de Materiales, una muestra de su agente reciclante propuesto, para su aprobación, dos semanas antes de iniciar las operaciones de mezclado.

Requisitos de la Planta de Mezclas Asfálticas:

La planta será diseñada, equipada y operada para que el proporcionamiento, el calentamiento y el mezclado produzcan una mezcla uniforme, que cumpla lo establecido en estas Especificaciones. La capacidad de producción de la planta será cuando menos - de 150 tons. por hora.

El material asfáltico se introducirá en la mezcladora por un dispositivo de entrada con desplazamiento positivo. Este dispositivo deberá estar equipado para variar las velocidades de entrega.

La planta deberá estar dotada de controles para cierre entre el flujo de cada alimentador de agregados y el flujo del asfalto. El control de cierre producirá una señal visible o audible cuando el nivel de flujo alcance la capacidad indicada de los dispositivos alimentadores.

La planta debe tener un dispositivo de mezclado capaz de producir homogeneidad y cubrimiento uniforme, la producción de mezcla no debe exceder la capacidad indicada por el fabricante.

La planta debe estar equipada con un depósito de agitado, aprobado, en la descarga. Este depósito tendrá una capacidad superior a 20 tons. y estará equipado con un separador de porciones (cantidades) también con agitado aprobado u otro método satisfactorio para evitar segregación de la mezcla asfáltica mientras se descarga en los vehículos de acarreo.

Las líneas de alimentación del asfalto y del derivado aromático (hidrocarburo) deberán tener termómetros blindados de rango y aproximación adecuados. En los canales de descarga del calentador deberán instalarse pirómetros eléctricos o indicadores de ca

rátula u otros instrumentos termométricos aprobados, para determinar la temperatura de los agregados asfálticos.

El contratista debe instalar dispositivos satisfactorios de precipitación o usar -- otros tipos de aparatos para el control de emisiones excesivas durante las operaciones de mezclado de la planta y cumplir las normas para la protección del ambiente, tanto las Locales como las Estatales o Federales.

El contratista debe poner especial atención a las posibilidades de emisión excesiva de contaminantes del ambiente debida a los materiales asfálticos para el recubrimiento, utilizados en la mezcla.

Mezclado:

La temperatura de mezclado de las carpetas asfálticas recicladas estarán en el intervalo de 85° a 100°C.

La atención del contratista se dirige a las posibilidades de emisión excesiva de contaminantes del ambiente debido al material recubierto con asfalto. Por lo que instalará elementos de control para estas emisiones durante las operaciones de la planta de mezclado, cumpliendo así las normas Locales, Estatales y Federales al respecto.

El concreto asfáltico para reciclamiento se introduce a la planta y se mezcla aproximadamente con 1.0 por ciento de agente reciclante como porcentaje del peso total de la mezcla.

El porcentaje real se determinará con la fórmula del mezclado en obra.

Se debe adicionar uniformemente, de cinco a siete por ciento de agua en peso al agregado, inmediatamente antes del mezclado, con objeto de retardar la inflamación del agente reciclante y reducir la contaminación del aire.

Colocación y Acabado:

La temperatura del concreto asfáltico reciclado, justamente antes de compactar, no debe ser menor a 77°C; sin embargo, la temperatura deberá ser tal que el material reciclado pueda ser colocado, terminado y compactado según lo requerido por el ingeniero.

Se debe agregar de 5 a 7% en peso de agua al agregado por medio de boquillas rociadoras colocadas en dos o más lugares a lo largo de la banda de alimentación en frío, con objeto de retardar la inflamación del agente reciclante y de reducir la contaminación del aire.

En el caso de que la adición de agua junto con otros controles de emisiones no reduzca la cantidad de contaminantes hasta un nivel satisfactorio, puede adicionarse un agregado con la siguiente granulometría y en una cantidad que no exceda del 10% de la mezcla total.

Pasa Malla	8
1/4"	100
Núm. 8	70 - 90
Núm. 200	0 - 8

Debido a la adición de agregado, puede ser necesario cambiar el tipo de agente reciclante empleado y el porcentaje que debe usarse. No se hará pago adicional debido a un cambio de este tipo. El pago por el agente reciclante se hará de acuerdo a lo convenido con el contrato respectivo.

El concreto asfáltico reciclado se compacta cuando menos al 95% del peso específico máximo, determinado con el Método de Prueba 811 de Arizona.

Método de Medición:

El Concreto Asfáltico Reciclado se mide por ton. de mezcla realmente usada, incluyendo el peso del agregado mineral y del agente reciclante (rejuvenecedor).

Bases para el Pago:

Las cantidades aceptadas de Concreto Asfáltico Reciclado, medidas de acuerdo con lo anterior, se pagarán al precio unitario estipulado en el contrato, para la mezcla asfáltica terminada en el lugar.

El pago se hará por:

Pago por Artículo	Pago Unitario
Concreto Asfáltico (reciclado)	Tonelada

Pago por el Agente Reciclante (para el Concreto Asfáltico Reciclado se hará de acuerdo con el artículo 4010200).

Especificación 4060701 de 20 - Rev: 22-III-78

Artículo 4060701

RECICLAMIENTO DE CIPETAS ASFALTICAS

El trabajo considerado en este artículo consiste de calentamiento, esscarificación y-

remezclado de la carpeta asfáltica existente, donde el ingeniero lo juzgue práctico, sobre la cual se coloca concreto asfáltico.

El equipo de escarificación en caliente debe usar como combustible gas licuado derivado del petróleo que cumpla con las especificaciones de la Oficina del Control de la Contaminación Ambiental, de la División de Servicios de Salubridad Ambiental del Departamento de Salubridad de Arizona, E. U. A.

Antes de iniciar las operaciones de escarificación en caliente debe limpiarse, el pavimento existente, de todo material extraño. Cuando sea necesario debe reforzarse a la barredora mecánica con un barrido a-mano, hasta que todo el material perjudicial se elimine de la superficie.

El pavimento existente debe calentarse hasta una extensión mínima de dieciséis (16)-cms., más grande que la amplitud del material que va a ser escarificado.

El material que se va a reciclar debe escarificarse y voltearse para separar las partículas pero no al grado de quebrar el agregado. El material escarificado debe distribuirse por medio de una máquina pavimentadora aprobada o cualquier otro equipo capaz de producir el mismo resultado final. La extensión del material procesado por la pavimentadora u otro dispositivo de nivelación, deberá confiarse a la extensión original del material escarificado. Se estima que se alcanzó la profundidad de escarificación requerida, cuando al medir dicha profundidad se tiene un mínimo de 2.5 cms.

No menos de 58.5 kgs. por metro cuadrado, de acuerdo con el procedimiento 409 de Arizona, de la superficie del pavimento existente deberán escarificarse y remezclarse basándose en un peso unitario de 2,300 kgs./m³ del material especificado. El ingeniero deberá ajustar los kgs. especificados por metro cuadrado cuando las pruebas indiquen que el peso específico del material escarificado varía en más del 5% de 2,300 kgs/m³.

El peso específico deberá determinarse de acuerdo al método AASHTO T-166 empleando el material escarificado, compactado según el artículo 3.5 de Método AASHTO T-245 excepto que las temperaturas de compactación deberán ser de 150°C ± 5°.

La escarificación se considerará aceptable cuando el promedio móvil de tre (3) pruebas consecutivas (al azar) sea igual o exceda a los 58.5 kgs/m², determinado con el Método Tentativo 409 de Arizona. Si no se obtienen resultados satisfactorios después de la primera hora completa de operación, se suspenderá la escarificación. El trabajo se reanudará solamente después de que el contratista haya hecho ajustes y de que el ingeniero compruebe que pueden cumplirse los requisitos.

La temperatura del material escarificado no deberá exceder de 280°F cuando se mide inmediatamente atrás de la escarificadora.

El material escarificado debe compactarse inmediatamente después de la escarificación y mientras el material esté caliente. Solamente se requiere un compactador que puede ser neumático, rodillo de acero (tandem) o rodillo vibratorio.

El ingeniero especificará el tipo requerido. Los compactadores neumáticos y el rodillo de acero en tandem deben cumplir los requerimientos de la Subsección 406-3.05 -- (F) (2) y (3), respectivamente.

Debe hacerse todo lo posible para obtener el mayor peso específico y el mejor acabado de la superficie.

Inmediatamente después de terminar la compactación, y mientras el concreto asfáltico está todavía caliente, se debe aplicar la resina de petróleo emulsificada de acuerdo a lo especificado en el artículo 4012311.

Si el ingeniero considera que ha ocurrido desprendimiento excesivo, indicará al contratista la aplicación de un sellado utilizando el tipo de asfalto especificado para el riego de liga.

La medición de este trabajo se hace por metro cuadrado de carpeta asfáltica escarificada.

El pago por el trabajo de escarificación se hará al precio de concreto por metro cuadrado según el artículo 4060-701-RECICLAMIENTO DE CARPETAS ASFALTICAS, cuyo precio debe ser la compensación total, incluyendo la compactación según se describe aquí y en los proyectos.

El pago por la resina de petróleo emulsificada y por el material asfáltico que se emplea en el riego de sello o de liga se hará bajo el artículo del contrato respectivo.

Estipulaciones Especiales

IR-I 10-4 (66) y I 10-4 (75)



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Influencia del agente rejuvenecedor del asfalto como construcción
de sello en los pavimentos asfálticos

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

|

|

|

|

.

.

.

.

.

INFLUENCIA DEL AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO CONSTRUCCION DE SELLO EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Por el Ing. William Canessa,
Gerente de Productos de Ingeniería de la Golden Bear Division,
Witco Chemical Company, Inc.,
Bakersfield, California.

La vida útil de un pavimento de concreto asfáltico puede extenderse considerablemente usando agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello. Esto es verificado por los inspectores de campo y el análisis de laboratorio de los pavimentos - construídos en 1961 en los que se usó agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello.

El agente rejuvenecedor del asfalto ha sido efectivo en una variedad de usos, tales como (1) mantenimiento preventivo de los pavimentos más viejos, (2) operaciones de llenado de grietas (calafateo), (3) construcción de sello, (4) sobrecapa con remezclado en caliente.

Existen muchos artículos e instructivos publicados que describen el primero de los usos anteriores, y un departamento de carreteras estatal está en el proceso de estudiar y preparar un reporte detallado sobre el uso del agente rejuvenecedor, así como el uso de otros productos, para el llenado de grietas.

Este artículo tratará en detalle las dos últimas aplicaciones mencionadas anteriormente, o sea el uso del agente rejuvenecedor como construcción de sello, y en la sobrecapa de remezclado en caliente sobre los pavimentos asfálticos existentes.

El rejuvenecedor del asfalto que se usó en el trabajo aquí descrito es "RECLAMITE", que es una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, desarrolladas por la Golden Bear Division de Witco Chemical Company, Inc.

Construcción de Sello

Suponiendo que todas las fases de la construcción de una obra de pavimentación con concreto asfáltico se ejecuten con los mejores métodos actuales, aún permanecen tres funciones básicas de los procedimientos de construcción que acortan la vida útil esperada de la obra, (1) la operación de calentamiento en la planta donde el asfalto - se expone al calor, (2) que las temperaturas ambientales y las distancias de acarreo sean tales que enfrien la mezcla caliente hasta un grado en que no pueda obtenerse la debida compactación, lo cual posteriormente expone al pavimento a la intrusión de aire y agua, y (3) las características químicas del asfalto.

Usado como construcción de sello, el agente rejuvenecedor tenderá a corregir estos tres problemas, (a) restaurando las fracciones del asfalto que se pierden durante el ciclo de mezclado en la planta en caliente, (b) sellando la superficie contra la intrusión de aire y agua, con un sello profundo que no puede ser removido por el uso o el intemperismo, (c) cambiando las características químicas del asfalto mejorando su durabilidad.

La Figura (1) muestra datos de campo sobre varias obras de construcción de sello, indicando los valores de penetración de las áreas sin tratar o tratadas con emulsión asfáltica comparadas con aquellas tratadas con agente rejuvenecedor.

La Figura (2) muestra el valor de penetración del asfalto a diferentes niveles del pavimento asfáltico. Debe notarse que la curva normal de los valores de penetración del asfalto a diferentes niveles del pavimento es inversa desde la superficie hasta aproximadamente una profundidad de 2.5 cms.

Ejemplos:

En 1961, dos pavimentos en el Condado de Kern, California, y uno Arizona, se trataron con agente rejuvenecedor como construcción de sello con fines experimentales. Estos fueron la Ruta Panamá y la Carretera Douglas en el Condado de Kern, y la Carretera Hilton, perteneciente al sistema de pavimentos del Departamento de Carreteras de Arizona.

Sobre la Ruta Panamá, se efectuaron pruebas de permeabilidad inmediatamente después de terminada, indicando 102 ml/mín en la sección sin tratar, y 54 ml/mín en la porción tratada. En 1964, tres años después de la construcción, se tomaron corazones de las secciones tratadas y sin tratar para análisis y comparación. El valor de penetración del asfalto extraído de la parte superficial con espesor de 1.3 cms. de la parte tratada fue 46, mientras que el valor en la porción sin tratar fue 13, ver Figura núm. 1. Debe hacerse notar también que en la parte tratada con el agente rejuvenecedor no se ven desprendimientos o desperfectos, mientras que en la sección sin tratar estaban empezando a desarrollarse grietas por contracción, desprendimiento y deterioro general.

Los corazones tomados de la Carretera Douglas en 1964 y 1966, indican la misma tendencia general. En 1964 el valor de penetración del asfalto extraído de 1.3 cms. de espesor superficial de la parte tratada era 37 y de la sin tratar 18, mientras que en 1966, la tratada tenía un valor de 25 y la sin tratar de 13, ver Figura 1. Nuevamente, la inspección visual de este pavimento indica deterioro superficial en la sección sin tratar, mientras que la sección tratada está en buenas condiciones.

La sección de prueba de la Carretera Hilton en Arizona jamás se ha mostrado por lo que no se dispone de información analítica. Visualmente, ésta es una demostración muy espectacular del beneficio duradero del efecto benéfico del agente rejuvenecedor como construcción de sello. La sección sin tratar empezó a mostrar desprendimiento severo casi inmediatamente, mientras que la tratada con agente rejuvenecedor no había perdido material. En 1966 empezaron a desarrollarse grandes grietas longitudinales en la sección sin tratar y se detuvieron en las áreas tratadas con el agente rejuvenecedor sin la aparición de grietas en la porción tratada.

En agosto de 1963, el Departamento de Carreteras de Nuevo Mexico usó agente rejuvenecedor como construcción de sello sobre un carril de una obra de cuatro vías. Se tomaron corazonces en marzo de 1965, y los análisis fueron los siguientes. Los valores de penetración del asfalto en 1.3 cms. de espesor superficial en tres diferentes corazonces de las secciones tratadas con el agente rejuvenecedor fueron 52, 48 y 40, y en tres corazonces de la sección sin tratar, se obtuvieron valores de 17, 23 y 22 (Figura 1). La inspección visual de este pavimento nuevamente indica una diferencia espectacular entre la parte tratada y la sin tratar, grietas y desprendimiento en la parte sin tratar en todos los 6.0 kilometros de longitud del carril, tal deterioro superficial no existe en el carril tratado.

Un hecho importante que debe mencionarse en los experimentos de Arizona y Nuevo Mexico es la extrema diferencia en las condiciones climáticas. La sección de prueba en Arizona está cerca de Phoenix, que es una área extremadamente seca y caliente, mientras que la sección de Nuevo Mexico está en Bibo, que está a una altitud de 1,600 mts. S.N.M. y expuesta a severas condiciones invernales.

A fines de 1964, la División de Carreteras de California recubrió un tramo de la carretera de cuatro carriles U.S. 101 con porciones de los carriles hacia el norte y hacia el sur tratadas con agente rejuvenecedor. En julio de 1965 se sacaron corazonces y los valores de penetración del asfalto de la parte superior de 1.3 cms. de espesor de la sección tratada fue de 47 y de la sin tratar 33 (Figura 1).

Para este tiempo la diferencia entre la textura superficial de las dos secciones era notable, indicando nuevamente pérdida de material, desprendimiento y deterioro general de la superficie en las secciones sin tratar, pero tales condiciones no eran visibles en las partes tratadas.

Otro proyecto experimental de la División de Carreteras de California se realizó sobre la Carretera 178 en Bakersfield, Calif., donde se comparó el uso de agente rejuvenecedor como construcción de sello, con un riego negro de emulsión asfáltica (sello de tipo nichla) (RR-1b). Tanto el agente rejuvenecedor como la emulsión RR-1 se rega

ron sobre el pavimento asfáltico nuevo en diciembre de 1966; se sacaron corazones en marzo de 1968. El valor de penetración del asfalto en la parte superior de 0.63 cms. de espesor en la porción tratada con el agente rejuvenecedor fue de 58, mientras que en la sección tratada con la emulsión aniónica RR-1 el valor fue de 12 (Figura 1).

El Condado de Fresno dispuso una sección experimental similar, en septiembre de 1966, en una de sus obras en construcción en la parte alta de las montañas de la Sierra Nevada, con un extremo de la obra tratada con agente rejuvenecedor y el otro con emulsión aniónica RR-1. Se sacaron corazones en diciembre de 1967, obteniéndose los resultados siguientes. El asfalto de la parte superior con espesor de 0.63 cms. de la sección tratada con el agente rejuvenecedor tuvo valores de 154 y 104 en dos corazones separados, mientras que los corazones tratados con la mencionada emulsión tuvieron valores de 33 y 34 (Figura 1). Es interesante notar que los valores en la capa comprendida entre 0.63 a 1.9 cms. medidos desde la parte superficial fueron de 70 y 41.5 en los dos corazones tratados con agente rejuvenecedor, y 36 y 33 en los corazones tratados con la emulsión (Figura 2).

Hay muchos otros pavimentos que podrían ser mencionados, pero la información es similar y debido al deseo de ser breves se consideró innecesario incluirlos. Los pavimentos y la información mencionada tomada en diferentes condiciones climáticas, variaciones en la construcción, diferencias en los agregados, etc., proporcionaron resultados finales similares, en que las secciones tratadas con el agente rejuvenecedor indican comportamiento superior, tanto visual como analíticamente, a pesar de las diferencias en las condiciones climáticas o procedimientos de construcción.

También se ha determinado que la textura de un pavimento que ha sido tratado con el agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello no cambia apreciablemente. Esto ha sido verificado y documentado por las pruebas realizadas en el Aeropuerto Internacional El Paso usando un procedimiento estándar de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para medir la textura superficial de las pistas por medio de un decelerómetro.

También debe notarse que desde 1964 muchas dependencias públicas (en ciudades y condados) han estado especificando el agente rejuvenecedor del asfalto para usarse en la construcción de sello en sus obras de pavimentación asfáltica.

Sobrecapa Remezclada en Caliente con Agente Rejuvenecedor

Este procedimiento para recubrir los pavimentos asfálticos existentes está extendiendo su popularidad y se está efectuando en todos los tipos de obras de pavimentación, tales como calles, estacionamientos y aeropistas.

Muchas dependencias gubernamentales han utilizado este avance y han tenido grandes contratos durante los tres ó cuatro años pasados; por nombrar unos cuantos, San José California; Reno, Nevada; Las Vegas, Nevada; así como los de los Departamentos de Carreteras de los Condados de Kern y Tulare en California. Las aeropistas que han sido recubiertas usando este proceso son las del Aeropuerto Internacional El Paso (tres contratos), la Base de la Fuerza Aérea Mountain Home, La Base Aérea en Travis, la Estación Aérea Naval en Point Mugu y las Estaciones Navales Armadas en el Lago China, así como en las carreteras de las Bases de la Fuerza Aérea en Edwards y Vandenberg.

Brevemente, el proceso consiste en calentar el pavimento existente, escarificarlo hasta una profundidad de cuando menos 1.3 cms., preferiblemente 2.0 cms. y luego regar de 0.5 a 1.2 litros por metro cuadrado de agente rejuvenecedor concentrado, y a continuación recubrir con mezcla asfáltica. Este proceso tiene tres ventajas básicas sobre los tipos de recubrimiento convencional (1) asegura la trabazón, (2) rejuvenece el pavimento viejo escarificado desarrollando, cuando menos, 2.5 cms. de pavimento flexible adicional, (3) elimina las grietas superficiales en la carpeta existente retardando así las grietas por reflexión. Otro beneficio que debe mencionarse, aunque de tipo teórico, que sin embargo es significativa y que necesita investigación adicional, es la eliminación de las tendencias de laminación entre el pavimento viejo y el nuevo. Es un hecho que el valor de la deflexión en una carpeta asfáltica vieja es muy diferente que el de la sobrecapa nueva, consecuentemente, la posibilidad de laminación puede desarrollarse entre las capas viejas y nuevas. Esto probablemente se desarrollará algún tiempo después de que se haya terminado el recubrimiento, pero así sucede, y se atribuye a la falta de trabazón. Se cree que este tipo de falla se debe básicamente a la diferencia en el valor de la deflexión. El remezclado en caliente con el agente rejuvenecedor desarrolla un área de transición para absorber o amortiguar los efectos de la diferencia en los coeficientes de deflexión.

El efecto del agente rejuvenecedor en un pavimento escarificado en caliente, es el de incrementar el valor de penetración de esta capa de pavimento hasta una profundidad de cuando menos 2.0 cms. y generalmente hasta 3.0 cms. Esto significa que si la sobrecapa tiene 2 o 3 cms. de espesor, en realidad el espesor del pavimento nuevo es de 4 a 6 cms. Varios corazones extraídos de las obras de remezclado en caliente indican que el asfalto en la capa remezclada en caliente tiene un valor de penetración más alto que el de una sobrecapa nueva.

Las pruebas de laboratorio se pueden efectuar fácilmente sobre los pavimentos viejos para determinar la cantidad de agente rejuvenecedor que debe especificarse y también

cual será el efecto. Esto se realiza extrayendo un corazón (diámetro mínimo 1.5 cms.) del pavimento existente, calentarlo y escarificarlo hasta 2,0 cms, y tratarlo con el agente rejuvenecedor concentrado, y a continuación colocarlo en un horno con temperatura de 60°C durante cuando menos dos días, y luego proceder con la prueba. Los siguientes son datos de laboratorio obtenido de corazones extraídos de una aeropista de la Marina de Estados Unidos. El corazón sin tratar estuvo demasiado duro para registrarse, por consiguiente tuvo un valor de penetración de cero, el valor de penetración se incrementó hasta 12 con una aplicación de 0.6 litros por metro cuadrado de un agente rejuvenecedor concentrado; hasta 19 con 0.9 litros por metro cuadrado - y hasta 30 con 1.2 litros por metro cuadrado. También es sabido que los valores reales de penetración en el campo, de los pavimentos tratados con agente rejuvenecedor y reneziados en caliente, generalmente doblan los valores de penetración obtenidos en el laboratorio. Consecuentemente, por razones económicas, las recomendación para este pavimento particular de la Marina fue el de usar 0.9 litros por metro cuadrado del agente rejuvenecedor, ya que se estimó que un valor de penetración de 40 sería satisfactorio.

Por los datos siguientes, proporcionados por el laboratorio, se comprueba el hecho de que los datos de campo muestran valores de penetración más altos que los de las pruebas de laboratorio. Las pruebas se realizaron en la capa superficial de 2.5 cms. de espesor del pavimento.

	<u>C O R A Z O N</u>				
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Valor de penetración del asfalto original sin tratar	12.5	17.5	19.0	18.0	14.5
Valor de penetración del asfalto tratado en el laboratorio con agente rejuvenecedor.	25.0	32.0	29.5	27.0	24.5
Valor de penetración del asfalto de corazones extraídos dos meses después del reneziado en caliente con el agente rejuvenecedor en la obra.	33.0	49.0	64.0	50.0	60.0

Las grietas existentes en un pavimento viejo tienden a reflejarse rápidamente en un recubrimiento convencional, pero en la operación de remezclado en caliente, el agrietamiento por reflexión se retarda. Las grietas se reflejarán eventualmente y algunas lo harán más bien pronto, pero generalmente, la magnitud de la grieta es mucho menor que la esperada normalmente.

Otra ventaja que debe mencionarse es que cuando se utiliza el remezclado en caliente puede diseñarse una sobrecapa delgada, la que a su vez evita la construcción por arriba de la corona y por lo tanto los problemas de drenaje.

Existen dos requisitos importantes que deben tenerse en cuenta para obtener éxito -- en una obra de remezclado en caliente (1) el pavimento no debe tener fallas estructurales, y (2) la escarificación debe llegar hasta cuando menos 1.3 cms., preferiblemente hasta 2.0 cms. de profundidad.

CONCLUSIONES

Basándose en los datos presentados, y en la experiencia obtenida desde 1961, las siguientes conclusiones son evidentes cuando se usa el agente rejuvenecedor del asfalto como tratamiento superficial sobre pavimentos recientemente construidos, o en conjunción con el remezclado en caliente, en las operaciones de recubrimiento.

1. Las fracciones del asfalto que normalmente se pierden en el calentamiento en la planta se restauran.
2. El pavimento nuevo se sella contra la intrusión de aire y agua formando un sello que no puede ser removido por el uso o el intemperismo.
3. La vida útil efectiva de un pavimento asfáltico se extiende, generalmente al doble, antes de que se haga necesario el mantenimiento superficial normal.
4. La textura del pavimento no se afecta apreciablemente, por lo que las características de propensión al derrapamiento no se incrementan ni en mojado ni en seco.
5. Cuando se usa sobre pavimentos que han sido calentados y escarificados antes del recubrimiento, se obtiene un espesor adicional de pavimento flexible, asegurando la trabazón, retardando el agrietamiento por reflexión y eliminando las tendencias de laminación.

Los datos analíticos y las conclusiones anteriores están basados en el agente rejuvenecedor del asfalto (RECLAMITE) ya que otros materiales o compuestos que pueden --

usarse como agentes rejuvenecedores pueden no tener los mismos resultados finales.

ESPECIFICACIONES PARA EL AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO

El agente rejuvenecedor del asfalto deberá estar compuesto de una base de resinas y aceites del petróleo emulsificados uniformemente con agua.

La emulsión rejuvenecedora del asfalto deberá cumplir los siguientes requisitos físicos y químicos:

<u>Designación de la Especificación</u>	<u>Método de Prueba</u>	<u>Requisitos</u>
Viscosidad, S.F. a 25°C seg.	ASTM-D244-60	15 - 40
Residuo, por ciento (1)	ASTM-D244-60 (Mod)	58 - 62
Miscibilidad con cemento portland, por ciento	ASTM-D244-60	Cero
Retenido en Malla 200, por ciento máx. (2)	ASTM-D244-60 (Mod)	0.10
Carga de la partícula	ASTM-D244-60	Positiva
Pruebas sobre el Residuo	ASTM-D244-60 (Mod)	
Viscosidad, cs, 160°C	ASTM-D445	100 - 200
Asfaltenos, por ciento máx.	ASTM-D2006-62-T	0.75

(1) La Prueba de Evaporación ASTM-D244 modificada, para el por ciento de residuo, se hace calentando una muestra de 50 gr. a 149°C hasta que cesa la espuma, a continuación se enfría y se calculan los resultados.

(2) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM-D244 excepto que debe usarse agua destilada en lugar de la solución al 2% de oleato de sodio.

PENETRACION EN LA PARTE SUPERIOR DEL PAVIMENTO

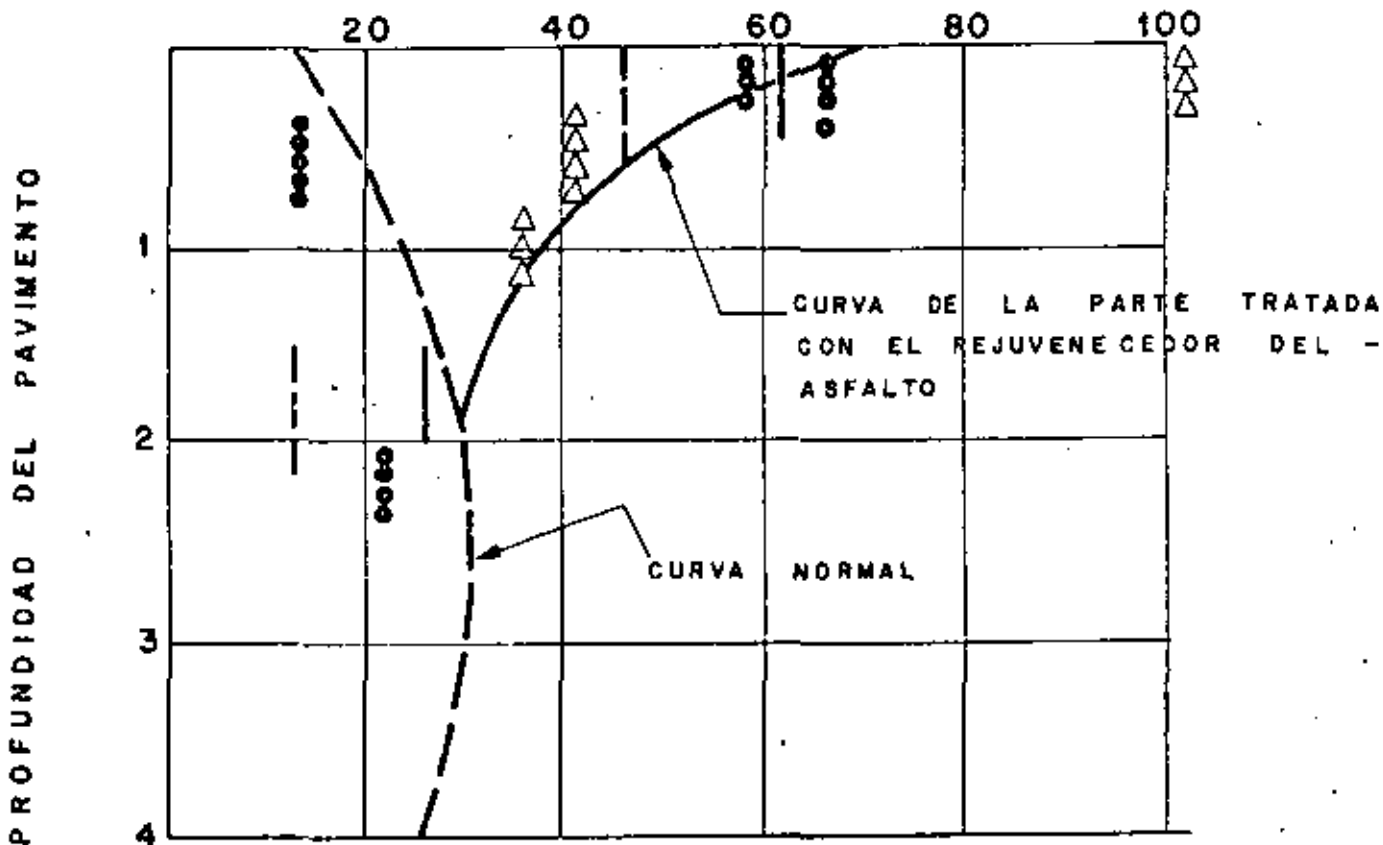


FIGURA 2

- | CONDADO DE TULARE, CALIF. EDAD 8 MESES
- AUTOPISTA 178, CALIF. EDAD 15 MESES
- BASE F.A. EN REESE, TEXAS EDAD 21 MESES
- △ CONDADO DE FRESNO, CALIF. EDAD 14 MESES
- | CONDADO DE KERN, CALIF. EDAD 3 AÑOS

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO DE LA PARTE SUPERIOR Y DE PROFUNDIDADES MAS BAJAS DE LOS PAVIMENTOS DONDE SE USO AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO CONSTRUCCION DE SELLO.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO DE LA PARTE SUPERIOR CON ESPESOR DE 1/4" ó 1/2" DE LOS CORAZONES EXTRAIDOS DE LAS SECCIONES DE VARIOS PAVIMENTOS TRATADOS CON EL REJUVENECEDOR DE ASFALTO ó RL - 1H, AL CONSTRUIRSE ó SIN TRATAR.

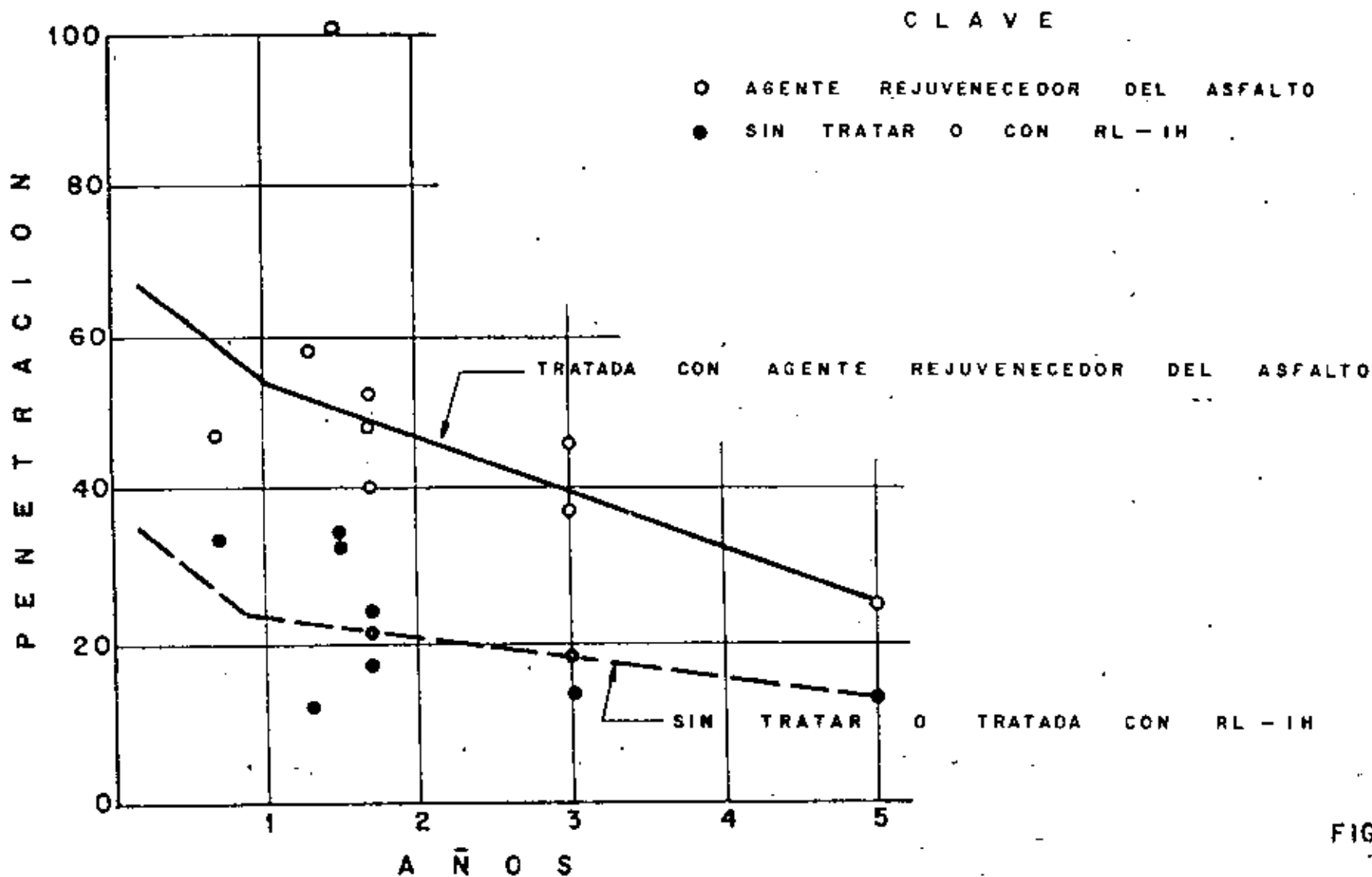


FIGURA 1



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Rejuvenecimiento y reciclamiento del
asfalto

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



REJUVENECIMIENTO Y RECICLAMIENTO DEL ASFALTO

Por William Canessa, P. E..

Gerente de Productos de Ingeniería
Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation
Bakersfield, California

Mucho se ha publicado sobre las técnicas, procedimientos, equipo y todo lo demás involucrado en el área de reciclamiento de los pavimentos asfálticos, tanto superficial como profundo.

Este artículo se dedica primeramente a decir como evitar la etapa de reciclamiento total que resulta caro, por medio de la utilización de herramientas disponibles, tecnología y materiales para prolongar la vida de los pavimentos existentes, usando procedimientos de mantenimiento ya sea preventivos o correctivos.

Sin embargo, antes de entrar en materia, sería conveniente hablar por un momento acerca de la significancia de los agentes rejuvenecedores en los procedimientos de reciclamiento y de como se relacionan para el desarrollo de un procedimiento racional de diseño de la mezcla. Estos son conceptos que ya habíamos presentado otros compañeros y yo en dos artículos recientes.

Uno de ellos, salió en la junta de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, y es una guía para un procedimiento de diseño racional de la mezcla y el otro que apareció en diciembre de 1977 en la junta de la ASTM, ofrece recomendaciones prácticas para seleccionar el agente rejuvenecedor indicado. Las copias de ambos artículos están disponibles para los que deseen más detalles.

Uno de los principales puntos de estas presentaciones es la importancia de rejuvenecer o reconstituir el asfalto residual más bien que limitar el procedimiento de reciclamiento a la adición de un asfalto de alta penetración para satisfacer la demanda total de asfalto del agregado. Creemos que la última condición es insana desde el punto de vista de la ingeniería. Si hay un 4% de asfalto residual y la demanda es de 6% ¿como puede alguien ignorar el 60% del aglutinante?. Tiene que restaurarse si la mezcla final reciclada tiene que ser durable. ¿Porque aceptar todos los problemas, gastos, esfuerzos y el uso de la energía para reciclar sin asegurar la durabilidad?.

También cuestionamos la práctica de adicionar 50% de agregado vírgen al pavimento asfáltico envejecido triturado. Se dice que esto se hace para eliminar el problema de la contaminación ambiental. La opinión de la Golden Bear, por otro lado, recomienda la adición del 10 al 15% de agregado vírgen, si es necesario para ajustar la granulometría. Los fabricantes del equipo y los operadores de la planta son capaces de manejar el problema de la contaminación, y de verdad que lo hacen.

La adición de grandes cantidades de agregado vírgen o el levantamiento del espesor total de la base de agregados para mezclarla con el pavimento envejecido, diverge mucho del concepto de reciclamiento. Lo cual demanda cantidades significantes de asfalto y agregados que es precisamente lo que el reciclamiento está tratando de evitar.

El procedimiento establecido por la Golden Bear para diseñar la mezcla así como el sistema de aditivos desarrollado para rejuvenecer y reconstituir el asfalto residual ya se ha puesto como uso práctico en el campo.

Entre las obras de reciclamiento total que han usado el método de diseño y los agentes rejuvenecedores CYCLOGEN y RECLAMITE son las siguientes:

Av. Russel, Condado de Fresno (CYCLOGEN ME, frío y en el lugar); 1-8, Departamento de Transportes de Arizona (CYCLOGEN L, caliente, fuera del lugar); Viaducto George Washington (CYCLOGEN L, caliente, fuera del lugar); 1-10, Departamento de Transportes de Arizona (CYCLOGEN M, caliente, fuera del lugar); Ciudad de Reno (RECLAMITE, frío, fuera del lugar); Aeropuerto de Montana (RECLAMITE, frío, fuera del lugar); - algunas obras del Departamento de Transportes de Texas tanto frío en el lugar como caliente fuera del lugar usando RECLAMITE. La Golden Bear ha usado la serie del CYCLOGEN en los Departamentos de Transporte de Nevada, Michigan, Utah y Colorado y en el servicio forestal de los Estados Unidos, así como en numerosas ciudades y condados de ese País.

Para proceder con las principales materias, referentes al mantenimiento preventivo y correctivo, estos procedimientos son mucho menos onerosos que reciclar y son relativamente más simples de realizarse. El mantenimiento preventivo es el proceso para realizar algún tipo de tratamiento superficial al pavimento asfáltico mientras se encuentra aún en buenas condiciones de servicio.

El procedimiento más efectivo para extender la vida de un pavimento es utilizar un agente rejuvenecedor ya comprobado tal como el RECLAMITE. El RECLAMITE no solamente efectuará acción reversible de la oxidación que se ha producido en la parte superficial del pavimento (de 0.75 a 1.5 cms. de profundidad) sino que desarrollará un sello resistente al uso y a la acción de la intemperie ya que es un "sello profundo". Sin embargo, si los pavimentos en cuestión no pueden ser tratados con el rejuvenecedor debido a las condiciones de la superficie que no permitirá la penetración, y ésta debe ser efectiva, el ingeniero puede utilizar otros tratamientos superficiales disponibles tales como riego de sello usando emulsión asfáltica diluida, riegos de arena, slurry seal, o agregado fino. Sin embargo, ninguno de estos tratamientos tiene acción reversible para el proceso de envejecimiento, lo cual solamente el agente rejuvenecedor puede realizar.

El procedimiento de recubrimiento aplicando la escarificación en caliente y RECLAMITE se emplea para cubrir el área de mantenimiento correctivo y es probablemente el menos utilizado o comprendido. Todas las agencias interesadas deberían de examinar este avance cuidadosamente y sus tres marcadas ventajas: 1.- Economía, 2.- evitar el alto costo del reciclamiento total; 3.- se dispone, al mismo tiempo, de 5 a 10 años o más de uso adicional al costo nominal. El proceso de calentamiento-escarificación se termina generalmente con una superficie de rodamiento en buenas condiciones de tracción para el tránsito, que puede ser un slurry o riego de sello para caminos de bajo volumen de tránsito o bien del tipo de granulometría densa o abierta para los caminos importantes y las aeropistas.

Se anexa a este artículo una copia de una presentación hecha en la Universidad de Texas, que describe todos los aspectos del proceso de calentamiento-escarificación detalladamente, junto con el procedimiento que usa la Golden Bear en las pruebas preliminares de los pavimentos para determinar la cantidad del agente rejuvenecedor que debe aplicarse y lo que se hará con un pavimento dado. También se incluyen páginas seleccionadas de las especificaciones del Departamento de Transportes de Arizona, que establecen detalladamente los requisitos para obras recientes de reciclamiento total fuera del lugar, así como en la aplicación del agente rejuvenecedor en el procedimiento de escarificación en caliente en este mismo proyecto. El procedimiento del Departamento de Transportes de Arizona para las carreteras de carriles múltiples es el reciclamiento en caliente del carril de viaje, fuera del lugar, y la escarificación en caliente en el carril de rebase, y entonces colocar como acabado una superficie de rodamiento sobre la completa extensión, consistiendo generalmente de una mezcla de granulometría abierta de 2.0 cms. La porción de reciclamiento de estos contratos requiere la aplicación del aditivo CYCLOGEN-TM y para la escarificación en caliente requiere del aditivo RECLAMITE^R.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los aspectos químicos del reciclamiento de los pavimentos
asfálticos que debe conocer el ingeniero

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

LOS ASPECTOS QUÍMICOS DEL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO.

INTRODUCCION.

Mi contribución en el simposium es un intento para presentar los puntos de vista de un ingeniero, sobre los aspectos químicos, del reciclamiento de los pavimentos asfálticos. Es básicamente una discusión de cómo, el tópico de este simposium, se trata generalmente. Se han publicado un gran número de artículos y reportes por los ingenieros que tratan con los aspectos mecánicos y económicos de la materia, pero su lectura revela una clara omisión de los aspectos químicos relevantes en las consideraciones ingenieriles. Las presentaciones hechas por los químicos son, en la mayoría de los casos, difíciles de entender para los ingenieros. Los términos científicos de las reacciones químicas, nombres de compuestos químicos específicos la estructuración con las fórmulas y de otros recursos para describir los fenómenos químicos, que resultan claros para un químico orgánico con práctica, resultan barreras para los ingenieros encargados de la construcción y por lo tanto dichos artículos resultan confusos.

Nosotros los ingenieros, debido a nuestra práctica, no tenemos dificultad para entender los fenómenos químicos, pero cuando aparece la química es otra historia diferente. Sin embargo, tenemos muchas preguntas con respecto a la química de los materiales que manejamos y usamos, pero por las razones mencionadas la mayoría de los ingenieros están temerosos de preguntar. Afortunadamente yo tengo muy buen trato con los químicos que trabajan con el asfalto en nuestro departamento de investigación y tuve confianza de preguntarles sobre la química del asfalto, sobre la cual recibí muy buenas respuestas en un lenguaje fácil de entender por el ingeniero civil.

El propósito de este artículo es el de mostrarles lo que yo aprendí.

No es mi intención indicar que los aspectos químicos son los únicos que deben considerarse, pero quiero enfatizar que deben tenerse en cuenta y que no pueden ignorarse en las aplicaciones de la ingeniería de los pavimentos asfálticos.

La presentación comprende los siguientes tópicos del reciclamiento:

- (1) Objetivos Generales
- (2) Operaciones Mecánicas
- (3) Aspectos físicos y químicos fundamentales
- (4) Procedimientos de Operación
- (5) Resumen

Para discutir estos tópicos introduciré los aspectos químicos involucrados, en los puntos apropiados, e intentaré manejar conjuntamente los hechos químicos y físicos de acuerdo con su aplicación en las operaciones de reciclamiento.

En mi opinión, el hacer práctico el uso de todos los aspectos científicos en la ejecución de las operaciones mecánicas, es lo esencial de la tecnología.

Objetivos del Reciclamiento en General.

Los objetivos básicos del reciclamiento de los pavimentos asfálticos son los mismos que los de cualquier industria: (1) Resolución de un problema de reposición, y (2) Salvar la materia prima valiosa contenida en el material descartado.

Los aspectos económicos del reciclamiento son bien conocidos y no se requiere que se discutan aquí. Los costos del reciclamiento son primeramente consecuencia del costo del equipo, mano de obra y transportación. Además, como no se usan ni agregado ni asfalto nuevos, el costo del material es comúnmente menor, lo que constituye la principal atracción económica del reciclamiento.

Un sistema de equipo para reciclamiento se consigue de firmas respetables. Las capacidades y detalles del equipo disponible son bien conocidos tanto por los distribuidores como por sus fabricantes. La decisión final en lo referente al empleo del equipo y selección de procedimientos debe siempre hacerse por el ingeniero de diseño encargado de la obra y familiarizado con las condiciones.

Toda o parte de las operaciones de reciclamiento pueden efectuarse en el lugar o fuera de él (en otro sitio) y pueden hacerse ya sea en caliente o en frío. -- El reciclamiento puede involucrar la profundidad total de un pavimento o solamente la parte superior de 5 cms. de espesor, lo cual se conoce como reciclamiento superficial. El reciclamiento superficial in situ es el menos caro y el más simple. Sin embargo, el reciclamiento superficial, solamente es apropiado si la base y sus condiciones estructurales son adecuadas. Es de esperarse que el reciclamiento superficial será más ampliamente usado en calles y caminos secundarios. La Figura 1 muestra fotografías tomadas durante una operación de reciclamiento superficial realizada por nosotros en 1955, lo cual prueba, incidentalmente, que hemos practicado el reciclamiento durante un largo tiempo.

Existe equipo disponible para todas las combinaciones posibles en la ejecución de una obra de reciclamiento. Se considera innecesario describir la operación, particularmente debido a que todos los términos usados para clasificar los métodos se explican por sí mismos y son completamente descriptivos.

Mecánica del Reciclamiento.

Los aspectos básicos que deben considerarse en todas las operaciones de reciclamiento son los mismos.

Los pasos ejecutados son también los mismos, y consisten en (1) desbastar el pavimento viejo, (2) analizar su composición, (3) determinar la cantidad requerida de agente rejuvenecedor, (4) mezclar los ingredientes, lo cual en algunos casos puede incluir pequeñas cantidades de agregados y asfalto nuevos y (5) tender el pavimento reciclado.

El primer hecho básico .- que debe considerarse es que el calentamiento es benéfico en todas las operaciones desde el desbastado del pavimento hasta la etapa final de tendido de la nueva mezcla.

El calentamiento moderado reduce la viscosidad del cemento asfáltico envejecido y por lo tanto ayuda a desmenuzar los trozos de la carpeta vieja sin triturar el agregado; el mezclado en caliente agiliza la combinación de los ingredientes (asfalto viejo y aditivos) y ayuda a la distribución uniforme del cemento asfáltico nuevamente formado, a través del agregado; el calentamiento empleado al pavimentar, ayuda a la compactación y agiliza las operaciones de acabado. Otro punto importante es que en todas las operaciones, el calentamiento, reduce el uso del equipo empleado. Al escoger el equipo, el proporcionamiento de calor, en adición a las operaciones mecánicas eficientes, será siempre preferido.

El segundo aspecto básico.- que debe considerarse es que entre mayor sea el volumen del aditivo que se incorpore en la mezcla los resultados son mejores. Es difícil, y frecuentemente imposible, distribuir uniformemente una pequeña cantidad de fluido a través de una cantidad grande de ingredientes sólidos secos. Una masa porosa seca, como la de un pavimento viejo desmenuzado, absorberá rápidamente cualquier tipo de hidrocarburo líquido en el lugar donde se adicione antes de que pueda ser distribuido uniformemente en toda la mezcla. La situación se agrava si se usa más de un aditivo. Por ejemplo si los ingredientes que van a mezclarse son (1) el pavimento viejo desmenuzado, (2) un agente rejuvenecedor, (3) agregado nuevo, y (4) asfalto nuevo, la práctica mejor será premezclar (1) con (2) y (3) con (4) y entonces combinar dichas mezclas.

Tal mezclado múltiple de ingredientes múltiples requiere de consideraciones especiales en cuanto al equipo y tiempo de mezclado empleados en cada paso.

El cumplimiento de lo dictado en este segundo aspecto básico requiere que solamente se use un aditivo para rejuvenecer un pavimento viejo y que el volumen de fluido agregado sea tan grande como sea permisible. Esto se cumple mejor usando el aditivo en la forma de emulsión en la cual el contenido de agua es el máximo que puede tenerse bajo las condiciones de temperatura y tiempo determinados por el equipo y las condiciones ambientales. El uso de un aceite estable, en una emulsión con agua, tiene la ventaja adicional, de proporcionar tiempo suficiente para la distribución uniforme de la fase aceite antes de ser absorbido y combinado con el asfalto envejecido.

La figura 2, muestra cuan facilmente un agente rejuvenecedor emulsificado se mezcla con el agua adicional. La figura 3, es una microfotografía de una gota de emulsión diluida.

El tercer aspecto básico .- que debe considerarse es que la trabajabilidad mecánica de una mezcla o la apraciencia de una nueva capa de pavimento no es garantía del valor en terminos de comportamiento y durabilidad. El cumplimiento de la calidad requerida solamente puede lograrse por la recuperación del asfalto envejecido hasta una consistencia (medida por la viscosidad o penetración) del asfalto con grado de pavimentación con una composición química que asegure un alto grado de resistencia al envejecimiento.

Para cumplir estos dos requerimientos (consistencia y composición) se debe usar un agente rejuvenecedor que imparta al asfalto recuperado la viscosidad y otras propiedades reológicas del asfalto y que corrija su composición química hasta contener, dentro de ciertos límites, un mínimo de componentes susceptibles a la oxidación y a otras reacciones asociadas con el envejecimiento. Estos ciertos límites están definidos por el requerimiento de que el cemento asfáltico nuevamente formado sea estable y libre de sinéresis.

NOTA: Sobre el término químico sinéresis: Es el fenómeno que se observa en la coagulación de las disoluciones coloidales, la cual es seguida durante un tiempo más o menos prolongado de una exudación del líquido contenido por el coágulo o jalea, y éste, al mismo tiempo que endurece, disminuye progresivamente de volumen.

Coloide: Sistema en el cual las partículas de una substancia se hayan en suspensión en un líquido.

La experiencia en el laboratorio y en el campo práctico ha mostrado que un agente rejuvenecedor que imparte a un cemento asfáltico envenecido la consistencia de un CA-10 y un parámetro de composición de $(N+A_1) / (P+A_2)$ de 0.4 a 1.2, preferentemente de 0.4 a 0.8 será efectivo en casi todos los casos.

Esta ha sido mi primera referencia sobre la composición química y creo apropiado explicar la pertinencia de la química en la ingeniería en este punto. La química del asfalto es más importante cuando se examina la durabilidad. Ya que la falta de durabilidad es la causa del deterioro, y restaurar la utilidad de los pavimentos deteriorados constituye la esencia del reciclamiento, por lo que es conveniente poner un poco de atención a la química involucrada.

Fundamentos Físicos y Químicos del Reciclamiento.

El comportamiento mecánico del asfalto y de los agregados, así como de las mezclas de los dos está gobernado por las leyes de la física. Los principales factores que deben con las leyes de la física. Los principales factores que deben considerarse son los efectos de la temperatura y de las fuerzas mecánicas aplicadas. Esta es el área donde el equipo eficiente es más importante. Debido a la previsión de los fabricantes de equipo, actualmente se tiene disponible maquinaria que proporciona, en el lugar o fuera de él, mezclado efectivo y calentamiento cuando se requiera. Se está desarrollando nuevo equipo para cumplir con las necesidades y adaptarse con los procedimientos de procesamiento mejorados. Los fabricantes de equipo están muy avanzados en el campo de la pavimentación.

La investigación química ha creado agentes rejuvenecedores que pueden reconstituir los cementos asfálticos envejecidos hasta una calidad superior en durabilidad al asfalto originalmente empleado en el pavimento viejo y, aún superior, a la de muchos asfaltos que cumplen solamente los requerimientos de la especificación física. La composición de los agentes rejuvenecedores puede especificarse, ahora, para asegurar la compatibilidad deseada con todos los asfaltos envejecidos, y un alto grado de durabilidad del asfalto nuevamente formado. Las Figuras 4 y 5 muestran los cambios físicos y químicos de un asfalto durante el envejecimiento, reciclamiento, y reenvejecimiento.

El requerimiento importante de que el agente rejuvenecedor debe impartir ligazón a la mezcla, es olvidado con frecuencia. La ligazón es necesaria no sólo para desarrollar la cohesividad en la mezcla durante la compactación, sino también adhesión y fusión de las capas, si un pavimento es tendido en dos o más niveles.

Los principios químicos pertinentes que gobiernan el comportamiento de un asfalto pueden explicarse y entenderse fácilmente con unos cuantos hechos fundamentales. Los asfaltos consisten de cinco grupos de componentes:

- A - Asfaltenos - que producen consistencia,
- N - Bases de nitrógeno, o compuestos polares insaturados-peptizador (solvente) para A,

NOTA: Peptización: Disolución de un gel por dilución en agua.

Gel: Masa que resulta de la floculación y coagulación - de una disolución coloidal.

A₁ - Primeros ácidoafines, o hidrocarburos insaturados, Grupo I solvente para A, peptizada.

A₂ - Segundos ácidoafines, o hidrocarburos insaturados, Grupo II - solventes para A, peptizada.

P - Parafinas, o hidrocarburos saturados-agente gelizante (floculante) para A.

NOTA: Gelificar: Transformar en gel.

Estos son los últimos grupos básicos de componentes y su función en el asfalto. El hecho de que los grupos individuales de componentes contengan una multitud de compuestos químicos es imaterial, ya que cada grupo químicamente identificable se comporta de una manera predecible y tiene propiedades específicas genéricas. Es importante, sin embargo, que los cinco componentes estén presentes en un asfalto debidamente balanceados para asegurar el comportamiento satisfactorio durante un período largo de tiempo. Para funcionar como un agente cementante adecuado el asfalto debe ser un sistema homogéneo que contiene todos los cinco componentes en la forma de una solución estable.

Los cuatro componentes N, A₁, A₂ y P, también llamados maltenos, son mutuamente solubles en todas las proporciones. La fracción A (asfaltenos) es, sin embargo, solamente soluble en la fracción N y en los maltenos que contienen una cierta cantidad de N, que funciona como peptizador para A. La fracción P es el agente gelizante para A y, aunque juega una parte importante en la durabilidad y en las propiedades reológicas, no debe exceder de un cierto límite. Expresado en forma diferente, una solución de A en N puede ser diluida con las otras fracciones de maltenos (A₁, A₂ y P) sin floculación de A mientras se mantienen las relaciones balanceadas de A a N y de N a P.

Las fracciones N y A₁ son las componentes químicamente más activas del asfalto y por lo tanto más susceptibles al envejecimiento que las otras dos fracciones de maltenos, A₂ y P. Todos estos hechos son tomados en cuenta por la simple es-

pecificación de que la relación de composición, $(N+A_1) / (P+A_2)$, debe estar para un asfalto altamente durable entre 0.4 y 0.8.

La relación, N/P, cantidad de péptizador (solvente) para el agente gelizante - (floculante), regula la sinéresis, o sea la compactibilidad de las fracciones. La viscosidad de los maltenos la mezcla de N, A₁, A₂ y P, juega un papel significativo para formar un asfalto de acuerdo con la cantidad de agente estructurador (A) necesario para satisfacer los requerimientos de consistencia del asfalto. Un asfalto con valor de penetración de 60 (por ejemplo, BPR 348) que contiene maltenos con una viscosidad de 300,000 poises a 25°C contiene solamente 11% de asfaltenos, mientras que un asfalto con igual penetración (por ejemplo asfalto BPR 349) que contiene maltenos con viscosidad de 6,000 poises a 25°C tiene - aproximadamente 28% de asfaltenos.

El envejecimiento de un asfalto se inicia al aplicarlo. El envejecimiento causa un desequilibrio de estos componentes, resultando en un incremento de asfaltenos a expensas de la fracción de maltenos, los cuales se convierten gradualmente en asfaltenos.

El efecto sobre los pavimentos es de endurecimiento, pérdida de cohesión, desprendimiento, agrietamiento y desgarramiento. Estos efectos adversos del envejecimiento son progresivamente más severos con el contenido de vacíos incrementado del pavimento. Un agente rejuvenecedor debidamente formulado reconstituye al asfalto envejecido reabastociéndole la cantidad requerida de las fracciones de maltenos, formando un nuevo cemento asfáltico altamente durable.

Esto es en forma simplificada, toda la química que el ingeniero de pavimentos - necesita para especificar un agente rejuvenecedor adecuado. Las especificaciones para los agentes rejuvenecedores que se muestran en las Tablas 1 y 2 aseguran que el cemento asfáltico reciclado tenga una composición que le de libertad de sinéresis y resistencia al envejecimiento.

En mi discusión sobre la química del asfalto, yo confío en los estudios químicos y en las interpretaciones de los resultados que se practicaron en nuestro laboratorio de investigación. Estoy consciente de que algunos otros usan diferentes - recursos. Yo estoy usando solamente los recursos de la Witco-Golden Bear para explicar nuestros razonamientos y presentar las evidencias experimentales acumuladas.

Procedimientos de Operación.

El principal pre-requisito para un procedimiento de diseño racional es entender y conocer la validez de los principios científicamente establecidos aplicables -

al reciclamiento. Ignorar los hechos inalterables es una garantía de falla. Antes de iniciar cualquier operación el ingeniero debe conocer la condición del pavimento que va a ser reciclado, las cantidades de material involucradas, y el uso específico final del material reciclado, por ejemplo, si va a ser usado para material de base, para nivelar una capa que se va a recubrir, para la construcción de un pavimento en la misma manera que con mezcla de concreto asfáltico nuevo, o como una revoltura para incrementar el volumen de una mezcla que contiene esencialmente cemento asfáltico y agregado. En el significado correcto del término, el reciclamiento verdadero es solamente la parte de la operación que comprende la combinación del pavimento viejo con el agente rejuvenecedor.

Una vez que estos hechos han sido establecidos, los pasos a seguir son directos. El primer paso es tomar una muestra del pavimento viejo para que sea analizada en un laboratorio de prestigio, donde se le determinará:

- a) Los porcentajes de agregado y de asfalto viejo.
- b) La granulometría de los agregados, y
- c) La consistencia (penetración o viscosidad del asfalto viejo extraído.

Con esta información el ingeniero puede establecer la cantidad y tipo del agente rejuvenecedor para la mezcla.

Una simple fórmula matemática puede usarse para calcular la cantidad de asfalto necesaria en la mezcla reciclada, lo mismo que la cantidad de agente rejuvenecedor que debe agregarse, la cual igualará a la demanda de asfalto menos la cantidad de asfalto en la mezcla vieja. Esta fórmula se encuentra en la Tabla 3.

La viscosidad de penetración del asfalto reciclado puede leerse en los nomogramas. La fórmula en la Tabla 3 y las gráficas mostradas en las figuras 7 y 8 -- son para un agente rejuvenecedor específico y para un cemento asfáltico reciclado, con la viscosidad de un asfalto #10. La experiencia ha mostrado que un simple agente rejuvenecedor del tipo especificado y con una viscosidad de un asfalto # 10, se pueden satisfacer casi todas las operaciones de reciclamiento. Pueden hacerse ajustes para lograr algún fin deseado, usando un agente rejuvenecedor de viscosidad más alta o más baja. Si el agente rejuvenecedor cumple con las especificaciones que limitan la composición química ya citada, la durabilidad del asfalto reciclado estará asegurada. El ingeniero solamente necesita preocuparse del contenido final del asfalto y de la viscosidad.

R E S U M E N :

La información presentada en este artículo demuestra que el reciclamiento de los pavimentos asfálticos ha alcanzado un nivel tecnológico que asegura el éxito en

cualquier obra de reciclamiento con la condición de que sean observados los principios científicos adecuados y que se use el equipo apropiado. Se ha mostrado -- que la química del asfalto no es tan compleja como se cree comúnmente, sino que puede entenderse fácilmente si se reduce a lo fundamental y se ve al asfalto constituido de 5 fracciones con propiedades específicas relacionadas con el comportamiento del asfalto total.

Los principios químicos y de ingeniería presentados están de acuerdo con el conocimiento técnico general y con los hechos específicos de la química del asfalto involucrada y comprobada en los estudios realizados durante muchos años en -- los Laboratorios de Investigación de la Witco Golden Bear Division. Todos los aspectos mostrados están bien documentados en la literatura publicada.

Se ha hecho un esfuerzo para no mencionar simplemente un equipo o material específicos y para usar solamente términos y definiciones genéricos. Sobre solicitud, con gusto proporcionaremos el material y el equipo específicos que se usaron en los ejemplos, así como las referencias de la literatura que documenta los hechos mostrados.

TABLA 1

ESPECIFICACIONES PARA EL AGENTE REJUVENECEDOR

<u>PROPIEDAD</u>	<u>METODO DE PRUEBA</u>	<u>ESPECIFICACIONES</u>
Viscosidad 140 F, CST	ASTM D 2170-74	1000-4000
Punto de Inflamación Copa Abierta de Cleveland	ASTM D 92-72	350 min.
Volatilidad	ASTM D 1160-61,	
IBP, F	10 mm.	300 min.
2% , F		375 min.
5% , F		410 min.
Compatibilidad, N/P	ASTM D 2006-70	0.5 min.
Composición Química, (N+A ₁) / (P+A ₂)	ASTM D 2006-70	0.2 - 1.2

TABLA 2

ESPECIFICACIONES PARA EL AGENTE REJUVENECEDOR EMULSIFICADO

<u>PROPIEDAD</u>	<u>METODO DE PRUEBA</u>	<u>ESPECIFICACIONES</u>
Viscosidad 77 F, Saybolt-Furol-seg.	ASTM D 244-76	15 - 85
Estabilidad de Bombeo	G. B. Method	Pass
Grosor de la emulsión, %	Retenido en Malla #	0.1 max.
Sensibilidad a los finos, %	Miscibilidad con cemento portland	2.0 max.
Carga de la partícula	ASTM D 244-76	Positivo
Concentración de la fase aceite	ASTM D 244-76 (MOD)	60 min.

TABLA 3

CALCULO DE LA DEMANDA DE ASFALTO DE LA MEZCLA

$$P = \frac{4R + 7S + 12F}{100} \times 1.1$$

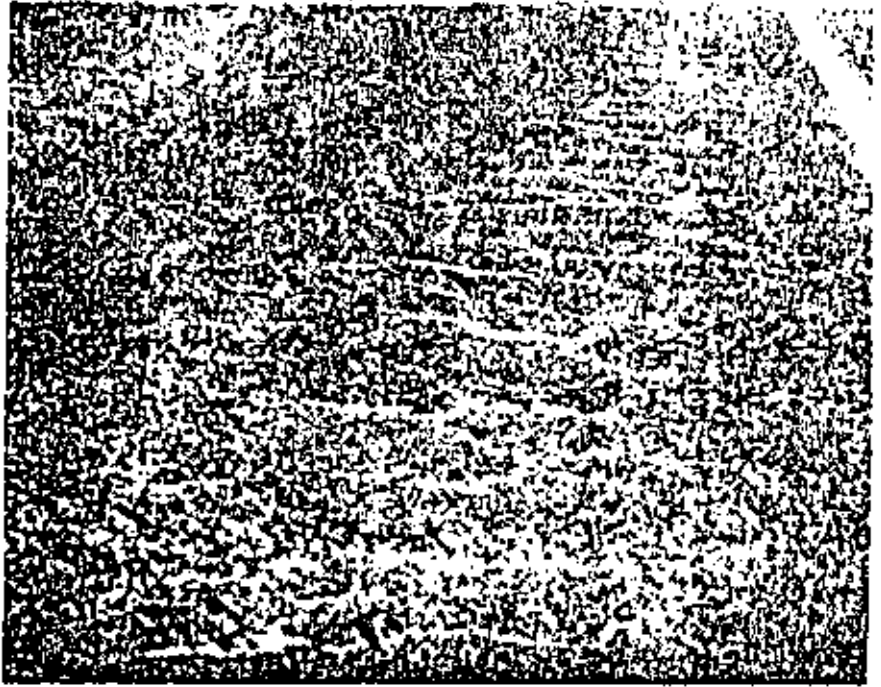
P = % Total de asfalto requerido en la mezcla reciclada (asfalto viejo + agente rejuvenecedor)

R = Grava (retenida en malla No. 8)

S = Arena (pasa malla No. 8; se retiene en No. 200)

F = Finos (pasa malla No. 200)

Superficie antes
del Reciclamiento



Petrolizadora
Aplicando el Rejuvenecedor
atras de la Escarificadora

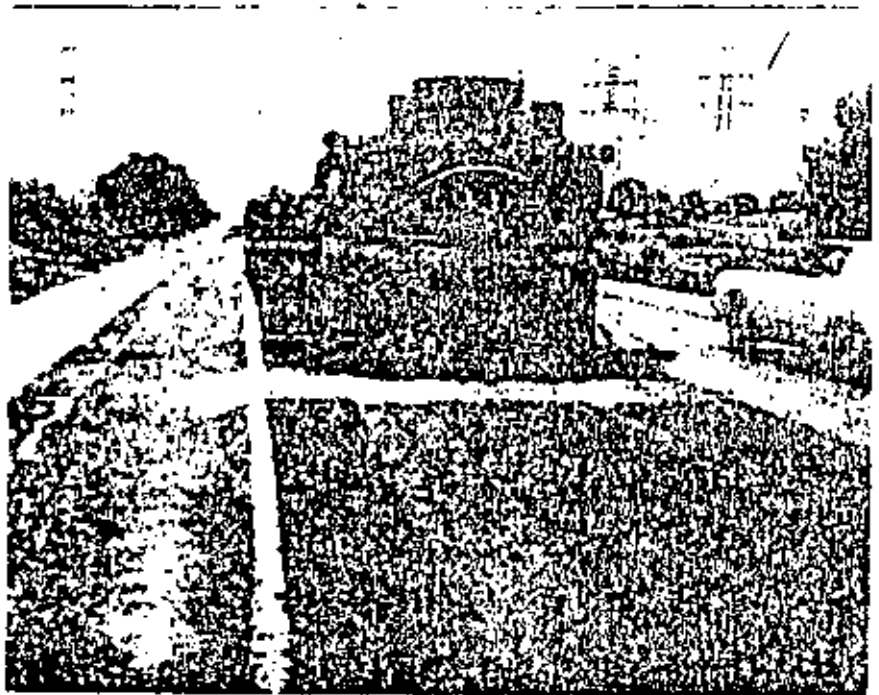
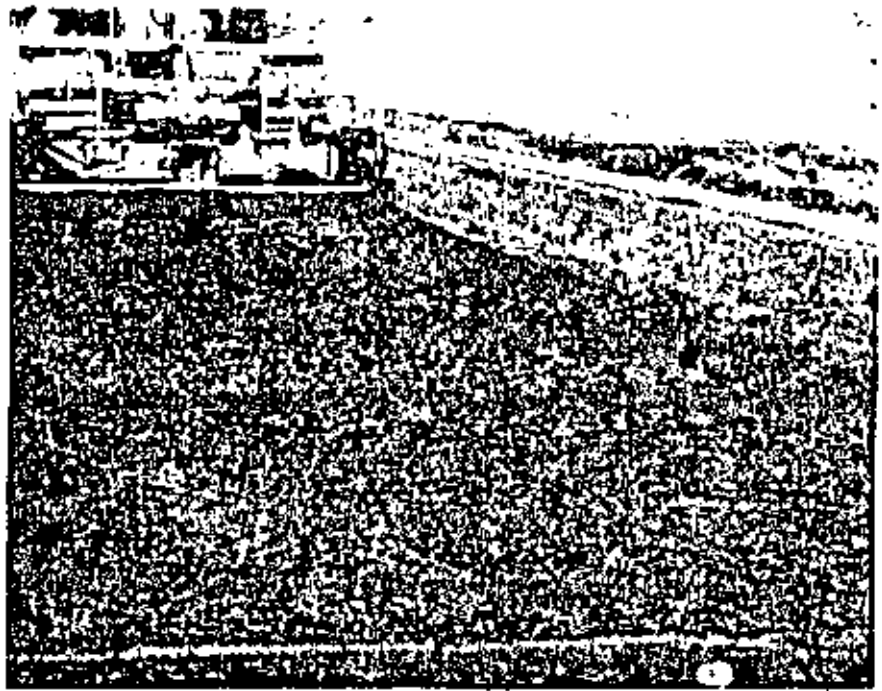


FIGURA - 1 RECICLAMIENTO SUPERFICIAL.
(REEDLY CALIF, 1955)

Nivelación sobre la
Superficie Tratada .



Superficie después de
la Compactación.

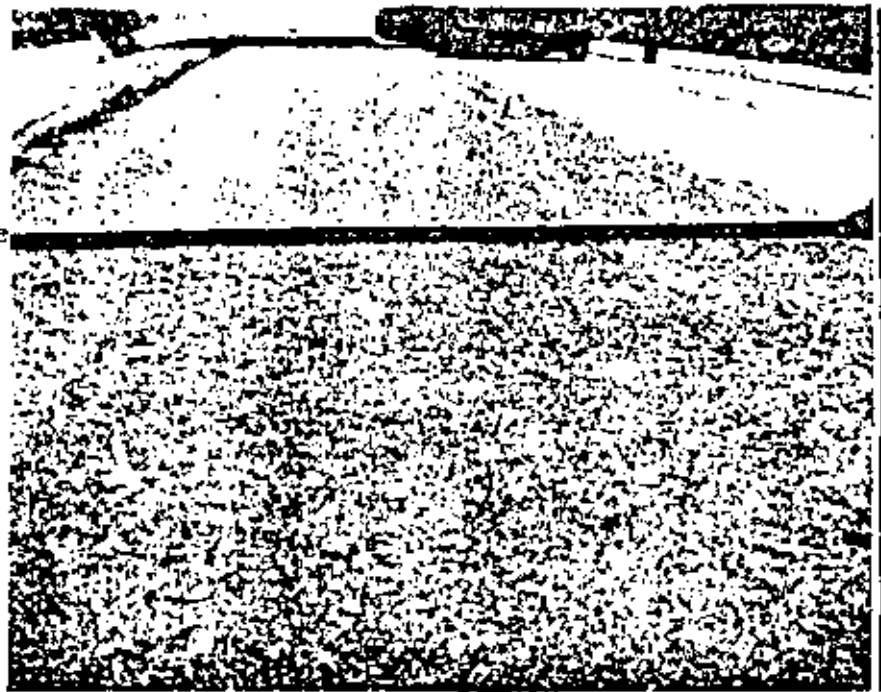


FIGURA - 2 RECICLAMIENTO SUPERFICIAL
(REEDLY, CALIF. 1955)

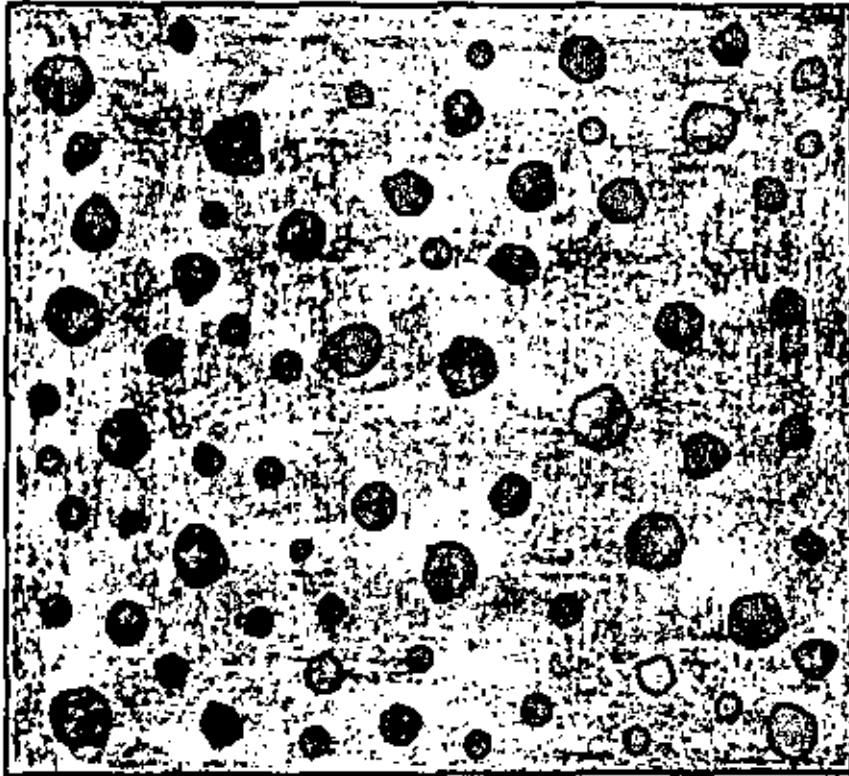


FIGURA 3. ACEITE EN EMULSION CON AGUA
(AMPLIFICACION 530X)

FRAGILIDAD (QUEBRADIZO)

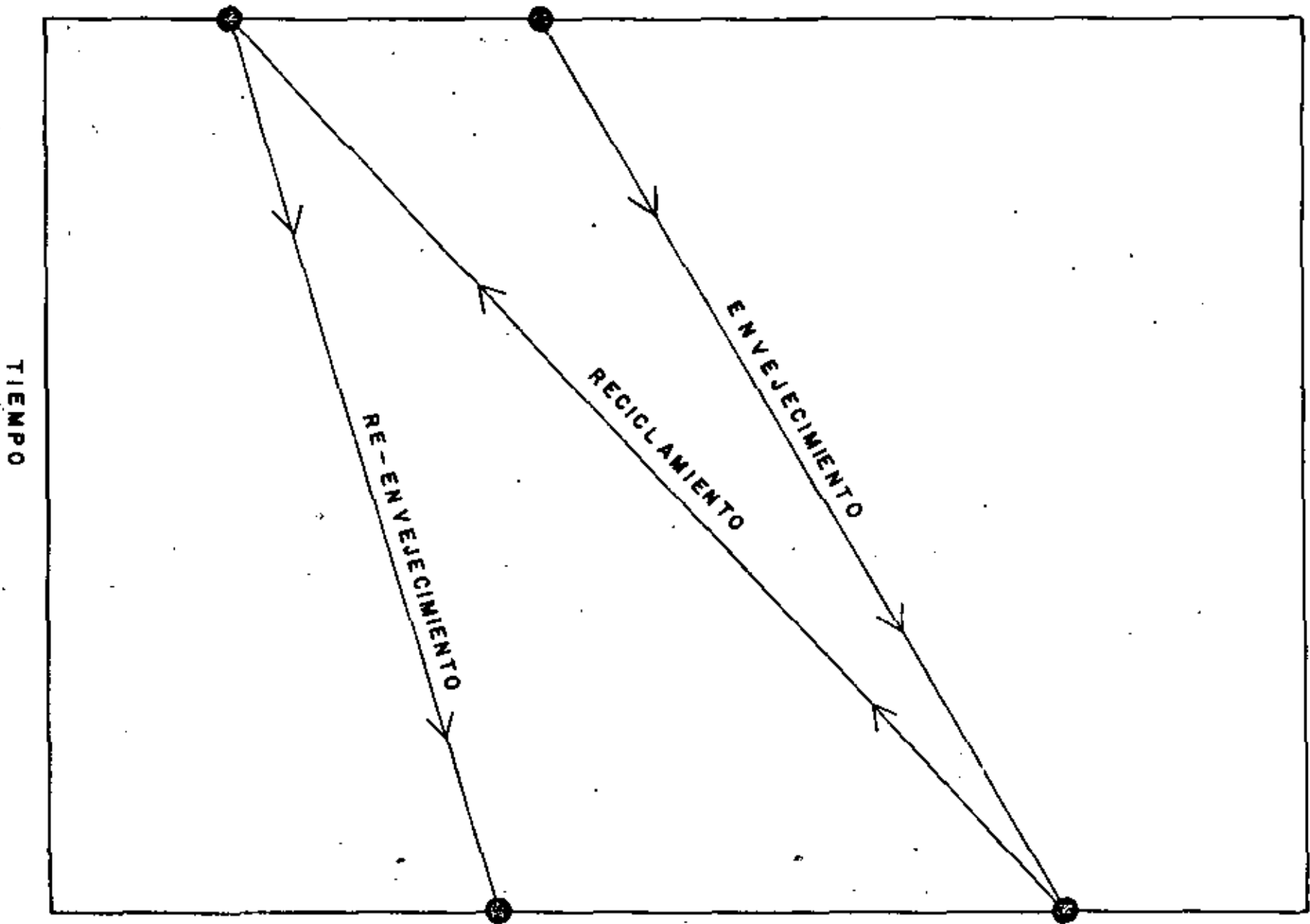


FIGURA 4 - CAMBIO EN LAS PROPIEDADES DEL COMPORTAMIENTO

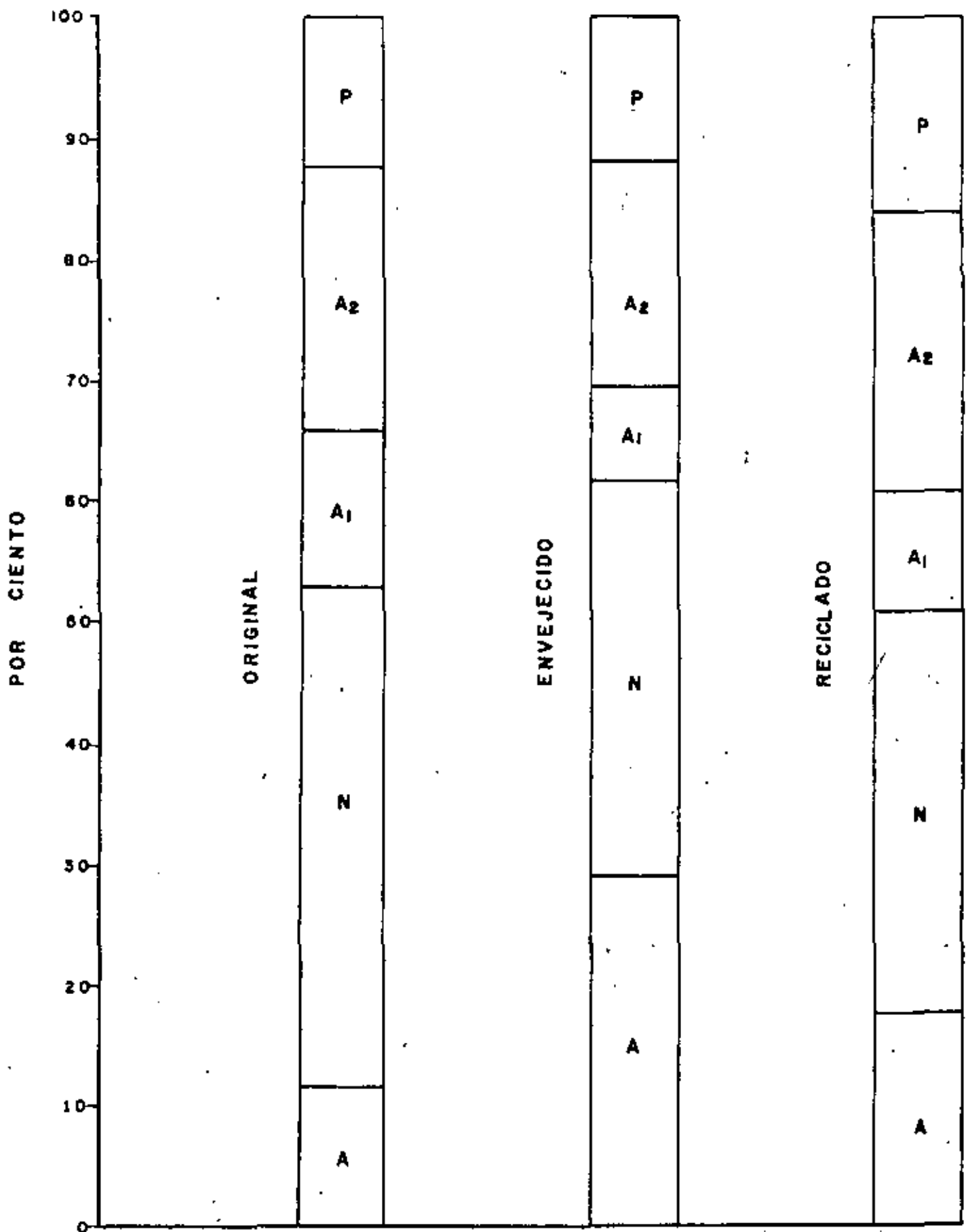


FIGURA 5 - CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA DE UN ASFALTO EN EL VALLE DE CALIFORNIA.

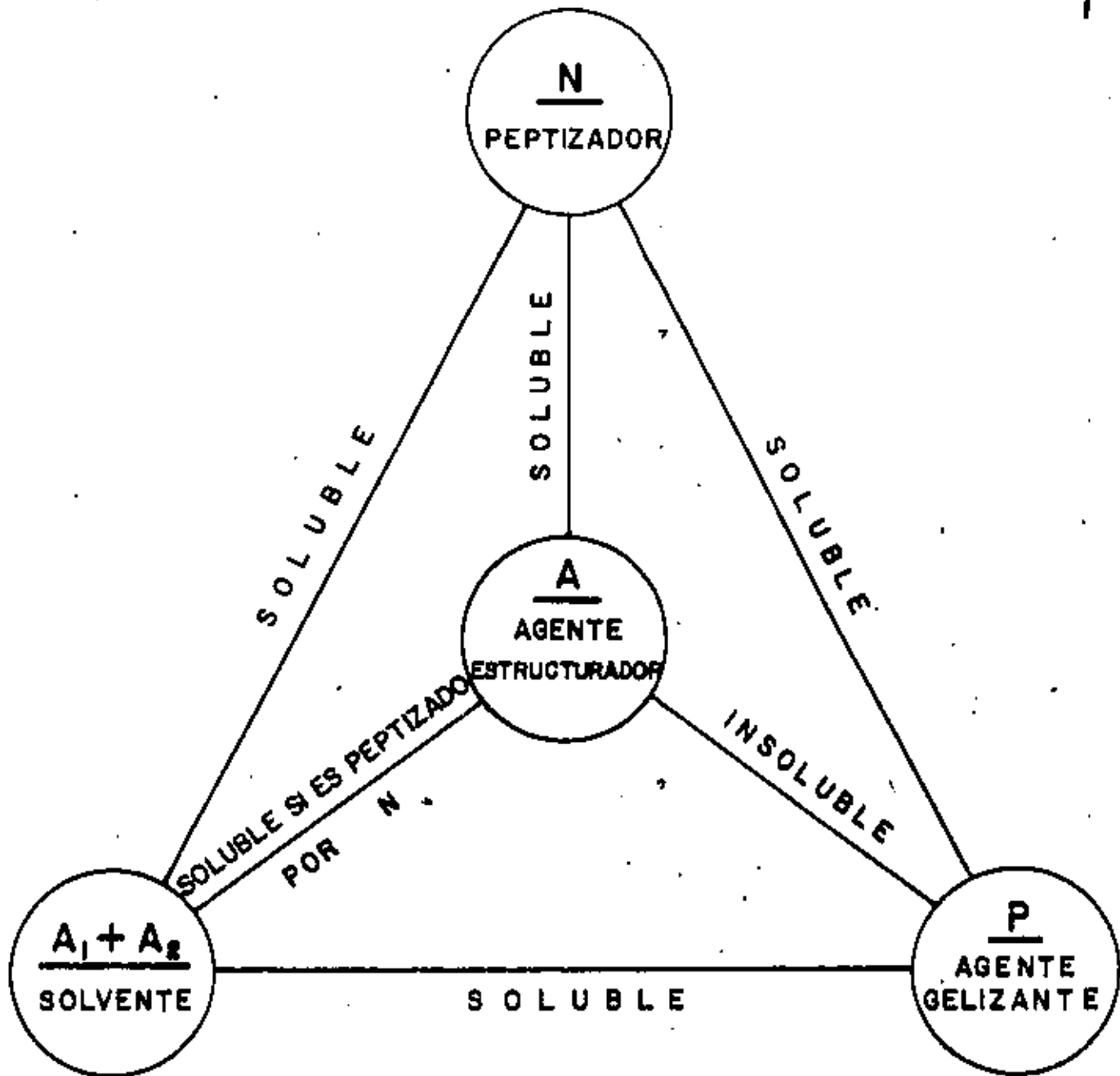
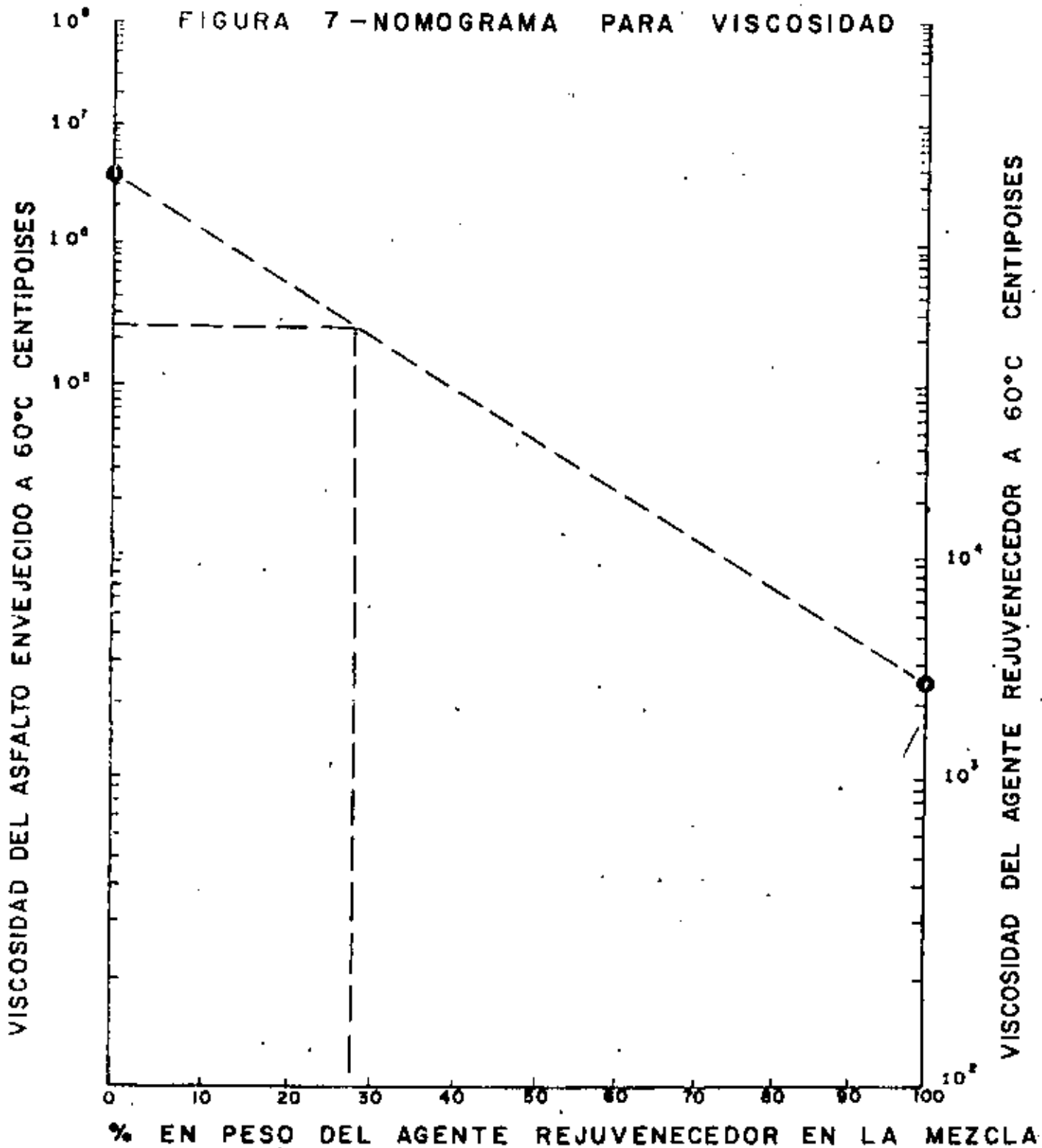


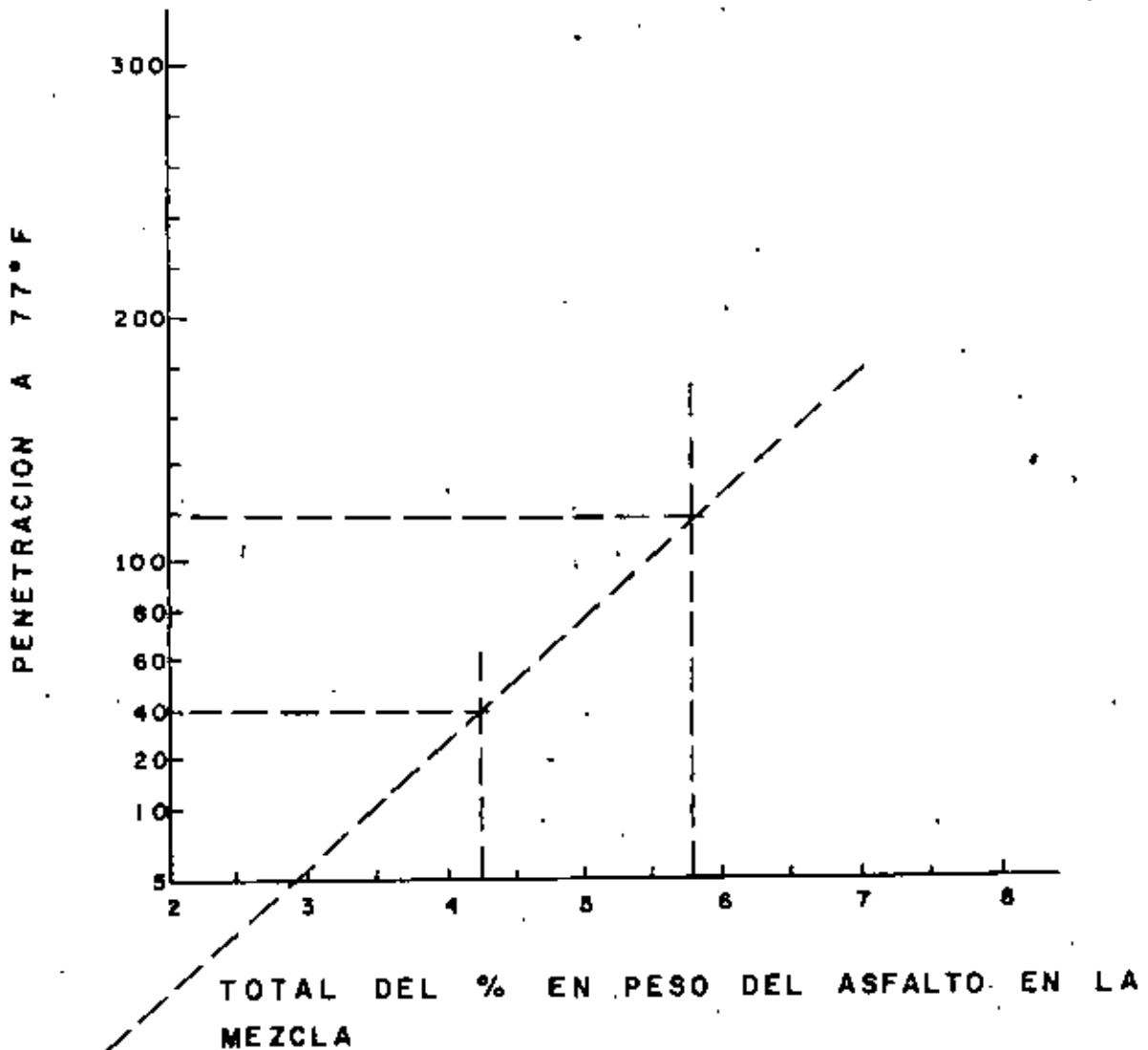
FIGURA 6 - RELACIONES DE SOLUBILIDAD DE LOS COMPONENTES DEL ASFALTO.

FIGURA 7 - NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD



MODO DE EMPLEO: Trace una línea recta que conecte la viscosidad del asfalto envejecido con la viscosidad del agente rejuvenecedor, trace una línea vertical hacia arriba desde el por ciento de agente rejuvenecedor en la mezcla, la intersección de las dos líneas define aproximadamente la predicción de la viscosidad del asfalto reciclado.

FIGURA NUM. 8 NOMOGRAMA PARA LA PENETRACION



MODO DE EMPLEO: Defina un punto "X", correspondiente al contenido de asfalto y a la penetración del pavimento envejecido, dibuje una línea recta desde el origen 0, a través de X, la intersección de esta línea con una línea vertical que representa el contenido de asfalto deseado para el pavimento reciclado (asfalto envejecido + agente rejuvenecedor) da la predicción aproximada de la penetración del asfalto rejuvenecido.

ORIGEN



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Diseño y construcción de materiales
asfálticos reciclados

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

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 Conferencias sobre Inge
nería 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 O D U C C I O N

Investigaciones previas han estudiado algunas de las propiedades de las mezclas recicladas; sin embargo, no están disponibles propiedades fundamentales como -- la resistencia a la tensión, características elásticas, comportamiento elástico resiliente, y propiedades de fatiga. Por lo tanto, el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas solicitó que se realizara un estudio preliminar de las mezclas asfálticas recicladas. Los objetivos principales de este estudio fueron: (1) evaluar las propiedades ingenieriles de las mezclas asfálticas recicladas y (2) desarrollar un procedimiento preliminar de diseño de mezclas - asfálticas recicladas.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para lograr los objetivos anteriores se prepararon especímenes en el laboratorio y se obtuvieron corazones de prueba de las mezclas asfálticas recicladas de tres diferentes obras y se probaron a la tensión indirecta usando carga estática y repetida, se evaluaron por comparación de las propiedades de las mezclas recicladas con las propiedades de las mezclas convencionales (Ref.1). Se realizaron también pruebas adicionales y evaluaciones conducidas por el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas, EE. UU.

OBRAS Y ESPECIMENES PROBADOS.

Se proporcionaron especímenes elaborados con las mezclas de tres diferentes obras en construcción en el Estado de Texas, al Centro de Investigación de Carreteras por el Departamento de Carreteras y Transportación. La tabla Núm. 1 contiene el resumen de la información relacionada con la obra. Los especímenes de tres obras pueden dividirse en tres grupos: especímenes preparados en el laboratorio, corazones y especímenes de la mezcla en el campo. Se usaron cuatro tipos de aditivos en las siguientes combinaciones, CA-5, CA-8, reclamite, aceites fluidificantes y CA-8 más reclamite.

Todos los especímenes de laboratorio fueron preparados por el Departamento de Carreteras y Transportación de Texas, de acuerdo con TEX-126-E para los materiales de la base negra y TEX-206-F para los materiales de la carpeta (Ref.2). Los agregados se mezclaron (en bachadas) por peso seco para cumplir las especificaciones de graduación. Tanto los agregados como el aditivo se calentaban y se mezclaban durante aproximadamente tres minutos. Se muestrearon especímenes mezclados en el campo y en la planta, y se recalentaron antes de compactar en el laboratorio. Se colaron entonces las mezclas en hornos precalentados hasta obtener la temperatura de compactación y luego se compactaron usando el compactador giratorio de Texas de acuerdo con TEX-206-F TEX-226-F, Parte II (Ref.2).

Se prepararon por duplicado especímenes para cada grupo de condiciones. Se probó una porción de los especímenes en el Departamento de Carreteras y Transportación de acuerdo con TEX-126-E, Parte III. Los especímenes remanentes se probaron en el Centro de Investigación de Carreteras utilizando las pruebas de tensión indirecta con carga estática y repetida, respectivamente.

Se probaron especímenes de dos tamaños diferentes. Los especímenes de la mezcla superficial y de los corazones tomados en el campo tenían un diámetro nominal de 102 mm y una altura nominal de 51 mm. Se obtuvieron especímenes de las mezclas para la base con un diámetro nominal de 152 mm y altura de 76 mm.

Una tercera parte de los especímenes se sometieron a la prueba indirecta de tensión con carga estática, y dos terceras partes se probaron bajo cargas repetidas para obtener estimaciones de la fatiga y de las propiedades resilientes.

Los estudios previos (Ref. 3 y 4) han mostrado que la relación entre la fatiga final y el esfuerzo de tensión es lineal; por lo tanto, solamente dos niveles de esfuerzo se usaron en la porción de carga repetida de este estudio.

METODO DE PRUEBA

La prueba de tensión indirecta consiste en aplicar a un espécimen cilíndrico - carga de compresión estática o dinámica actuando paralela y a lo largo del plano vertical diametral. La carga de compresión se distribuye a través de la extensión de 13 mm de la pieza de carga de acero, que esta curvada en la cara de contacto para ajustarse al espécimen. Esta configuración de carga produce un esfuerzo relativamente uniforme perpendicular al plano de la carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral hasta causar la falla del espécimen -- partiéndolo a lo largo del diámetro vertical (Fig. Núm.1). La resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, y la relación de Poisson se pueden calcular de la carga medida y de las correspondientes deformaciones verticales y horizontales.

El equipo de prueba fue el mismo que se usó en los estudios previos en el Centro de Investigación de Carreteras e incluye una estructura de carga, un cabezal de carga, y un sistema impulsado con dispositivos electrohidráulicos para aplicar la carga con una velocidad de deformación controlada. El cabezal de carga asegura que las platinas permanezcan paralelas durante la prueba. Una 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 continua -- ron hasta que ocurrió la falla, o sea cuando el espécimen se fracturó completa -- mente. 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 registra -- ron en los ciclos números 25 y 50, y para los ciclos correspondientes aproxima -- damente a 30, 50 y 70% de la vida de fatiga. Estos porcentajes de la vida de fa -- tiga 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 ad -- itivos 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:

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

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^2 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 están calculados basándose solamente en tres observaciones, fueron similares a los obtenidos con los espécimenes mezclados en el campo y con los corazones, indicando que una mayor variación puede ocurrir en las mezclas recicladas.

RESISTENCIA Y PROPIEDADES ELASTICAS CON CARGA ESTATICA

Se determinaron estimaciones de la resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, y relación de Poisson usando la prueba elástica de tensión indirecta y se resumizaron en la (Ref. 1). La Tabla 3 comprendía los resultados de la prueba estática e incluye los promedios y coeficientes de variación, aunque el coeficiente de variación puede no ser muy útil debido al número pequeño de puntos (valores) obtenidos de los especímenes probados y de los valores reportados previamente.

La resistencia y los valores del módulo obtenidos para las mezclas recicladas fueron ligeramente mayores que los obtenidos previamente para las mezclas convencionales. Por lo tanto, basados en la elasticidad con carga estática y en las

propiedades de resistencia, se considera que el material reciclado se comporta tan bien como las mezclas convencionales.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DINAMICA (CARGA REPETIDA)

La relación entre la deformación permanente y el número de aplicaciones de carga, es lineal entre 10 y 80% de la vida útil (hasta la fatiga), y después de un período de acondicionamiento, los módulos de elasticidad disminuyen con un incremento en el número de aplicaciones de carga (Ref. 3). Para este estudio, se calcularon las propiedades elásticas y aproximadamente 50% de la vida útil hasta la fatiga. La tabla 4 contiene el resumen de los valores de las pruebas y de los coeficientes de variación.

MODULO ELASTICO DE RESILIENCIA INSTANTANEA

Los valores promedio de los módulos elásticos de resiliencia instantanea para los especímenes preparados en el laboratorio a 24°C variaron desde $(172 \times 10^3$ a 692×10^3 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.

EFFECTO 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/cm² a velocidad lenta y de 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

Para el material de base más pobre aceptado, la resistencia a la compresión sin confinar no menor de 2.1 Kgs/cm² a velocidad lenta y 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

(b) concreto asfáltico TEX-208-F, estabilidad no menor que 30%.

(4) Prueba de tensión indirecta aplicando carga estática y carga repetida, respectivamente.

Procedimientos tentativos de prueba con aplicación estática se describen en la (Ref. 10). En las referencias 11 y 12 están los procedimientos tentativos de prueba de tensión indirecta con carga repetida.

(5) Comparar los resultados con los obtenidos para las mezclas convencionales. -- Las propiedades que deben considerarse son:

(a) Resistencia a la tensión.

(b) Módulo de elasticidad (con carga estática)

(c) Vida útil (hasta la fatiga), y

(d) Módulo resiliente de elasticidad.

Deben desarrollarse las relaciones entre las propiedades anteriores y la cantidad de aditivo. Los valores resultantes deben considerarse entonces con respecto a los valores deseados para los cuales hay una cantidad limitada de información. La mayoría de las especificaciones marcan valores mínimos de resistencia, etc. Para las mezclas asfálticas recicladas normalmente se necesita reducir los valores por abajo de algunos máximos ya que el asfalto esta extremadamente rígido y que bradizo.

(6) 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 estan 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): $n_2 = 2 - 8$

$K_2 = 10^{11} - 10^{18}$

CONCLUSIONES

Este artículo comprendía los resultados de un estudio para evaluar la fatiga y las propiedades elásticas de las mezclas asfálticas recicladas y describe un procedimiento preliminar para el diseño de mezclas. A continuación se resumen las conclusiones y recomendaciones de este estudio:

- (1) Las propiedades ingenieriles de las mezclas recicladas, evaluadas en este estudio, generalmente fueron ligeramente mayores que las mezclas convencionales evaluadas.
- (2) Basados en los resultados de este estudio así como en la experiencia y en los resultados de otros investigadores, se concluye que se pueden obtener mezclas satisfactorias con los materiales reciclados.
- (3) Un procedimiento preliminar de diseño de mezclas se ha presentado y, será modificado cuando se obtengan experiencias adicionales.

LISTA DE FIGURAS

- Fig. Núm. 1 Prueba de tensión indirecta con carga hasta la falla.
- Fig. Núm. 2 Relaciones típicas de carga y deformación "Vs" tiempo para la prueba de tensión indirecta con carga repetida.
- Fig. Núm. 3 Relaciones entre los logaritmos de la vida útil y los esfuerzos -- (diferencia) para las mezclas recicladas de IH 20 - Distrito 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

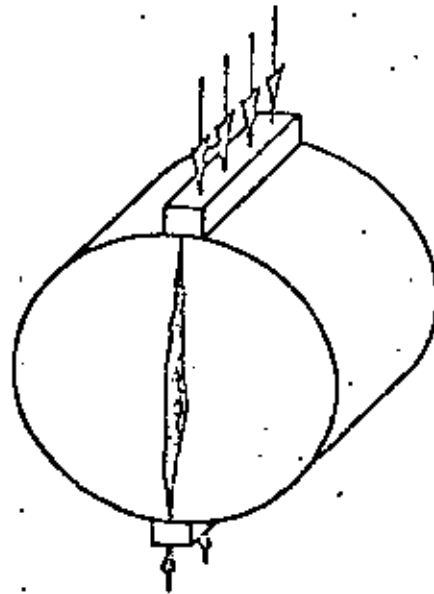


FIG. 1.- PRUEBA DE TENSION INDIRECTA A LA FALLA.

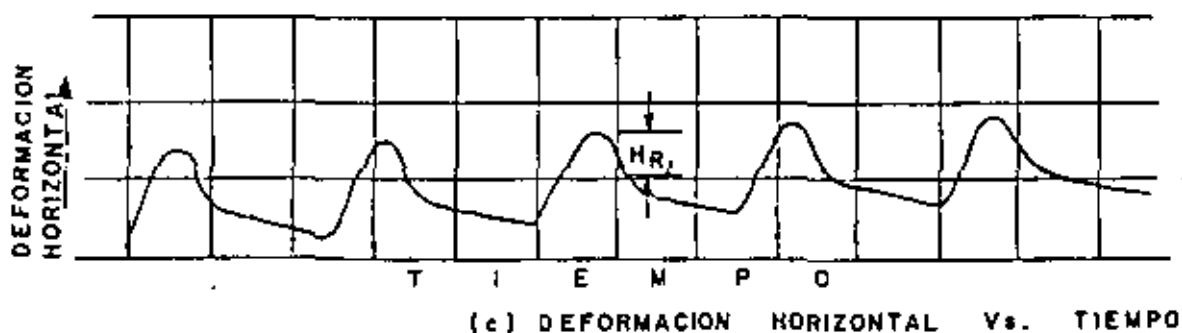
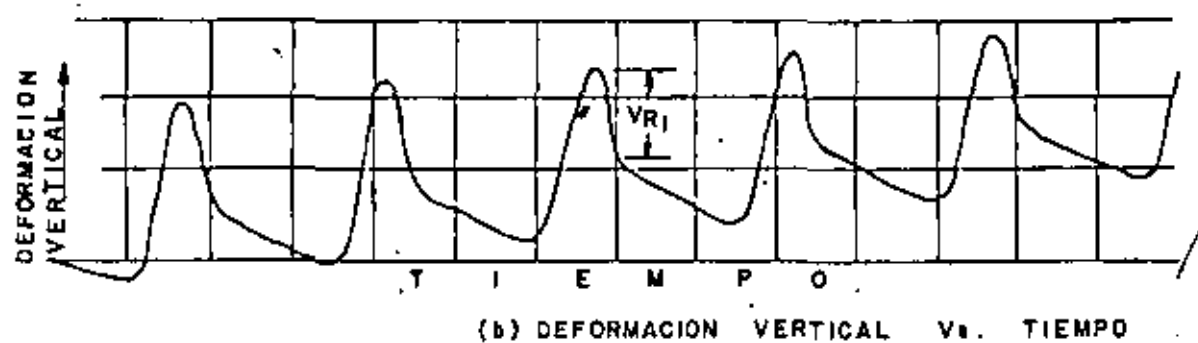
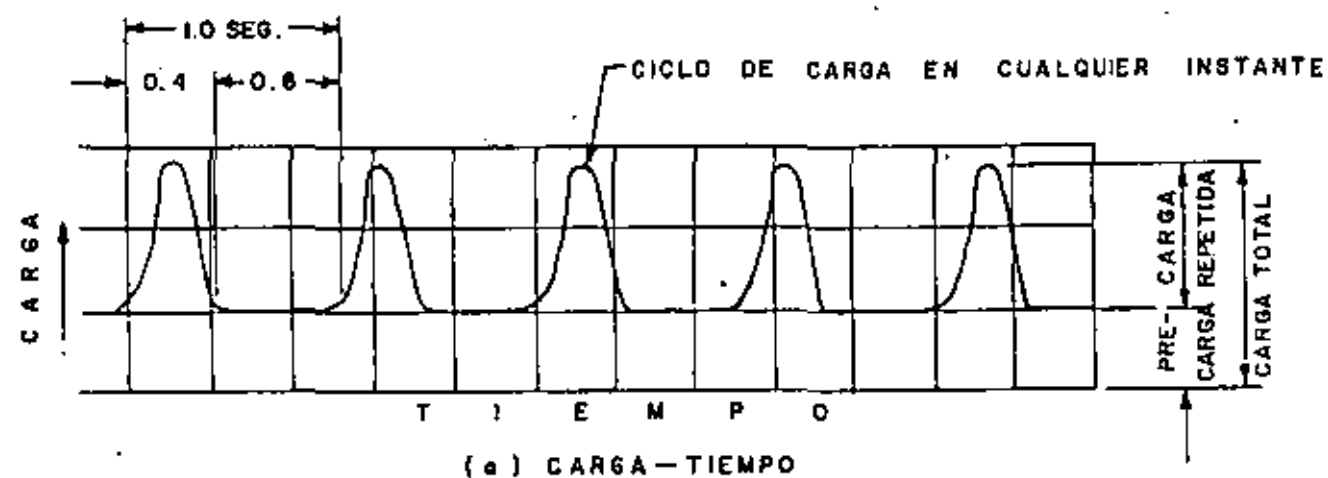


FIG. 2 - RELACIONES TIPICAS DE CARGA Y DEFORMACION "Vs" TIEMPO, PARA LA PRUEBA DE TENSION INDIRECTA CON CARGA REPETIDA.

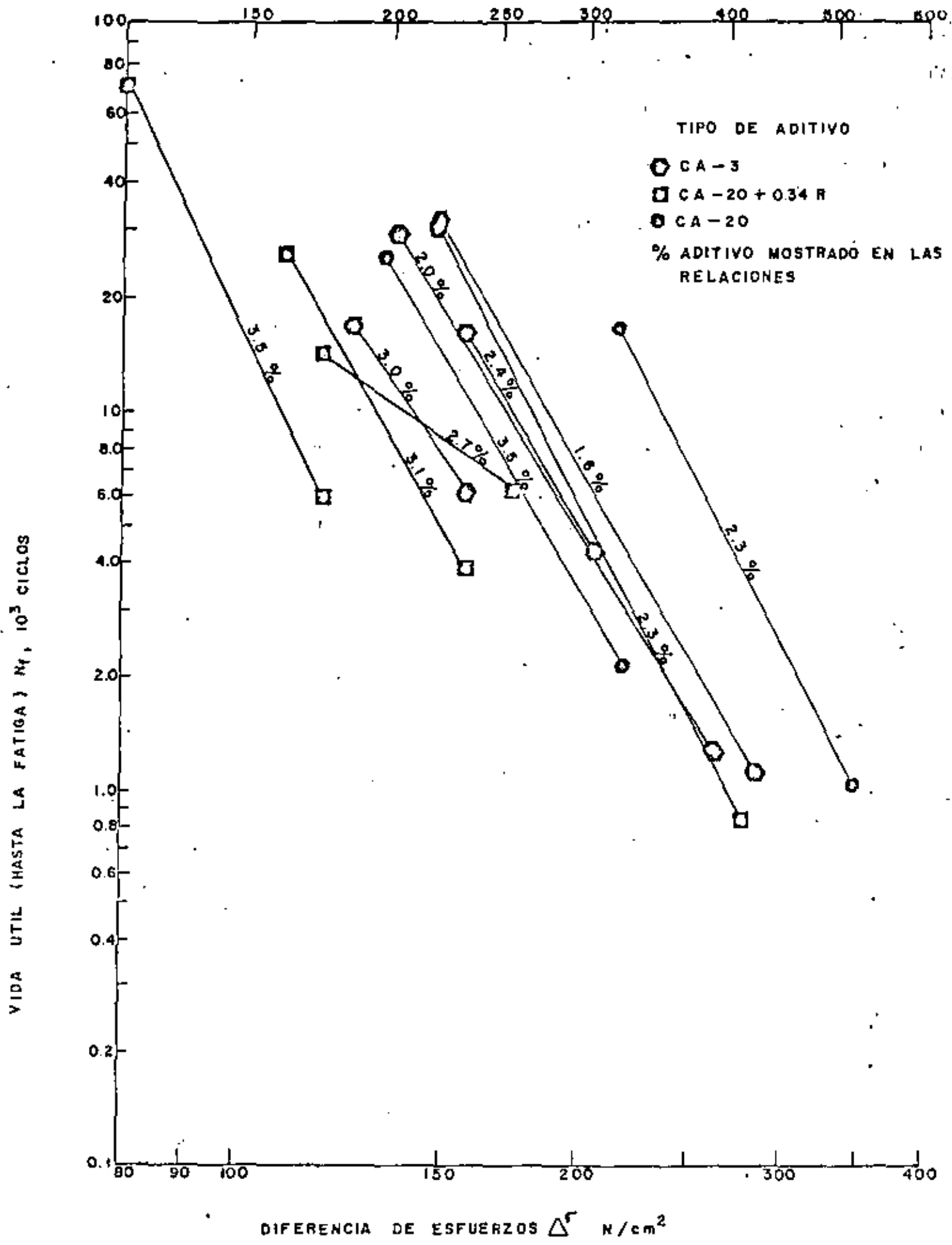


FIG. 3 - RELACIONES ENTRE LOS LOGARITMOS DE LA VIDA UTIL Y LOS ESFUERZOS (DIFERENCIA) PARA LAS MEZCLAS RECICLADAS DE IH 20 --

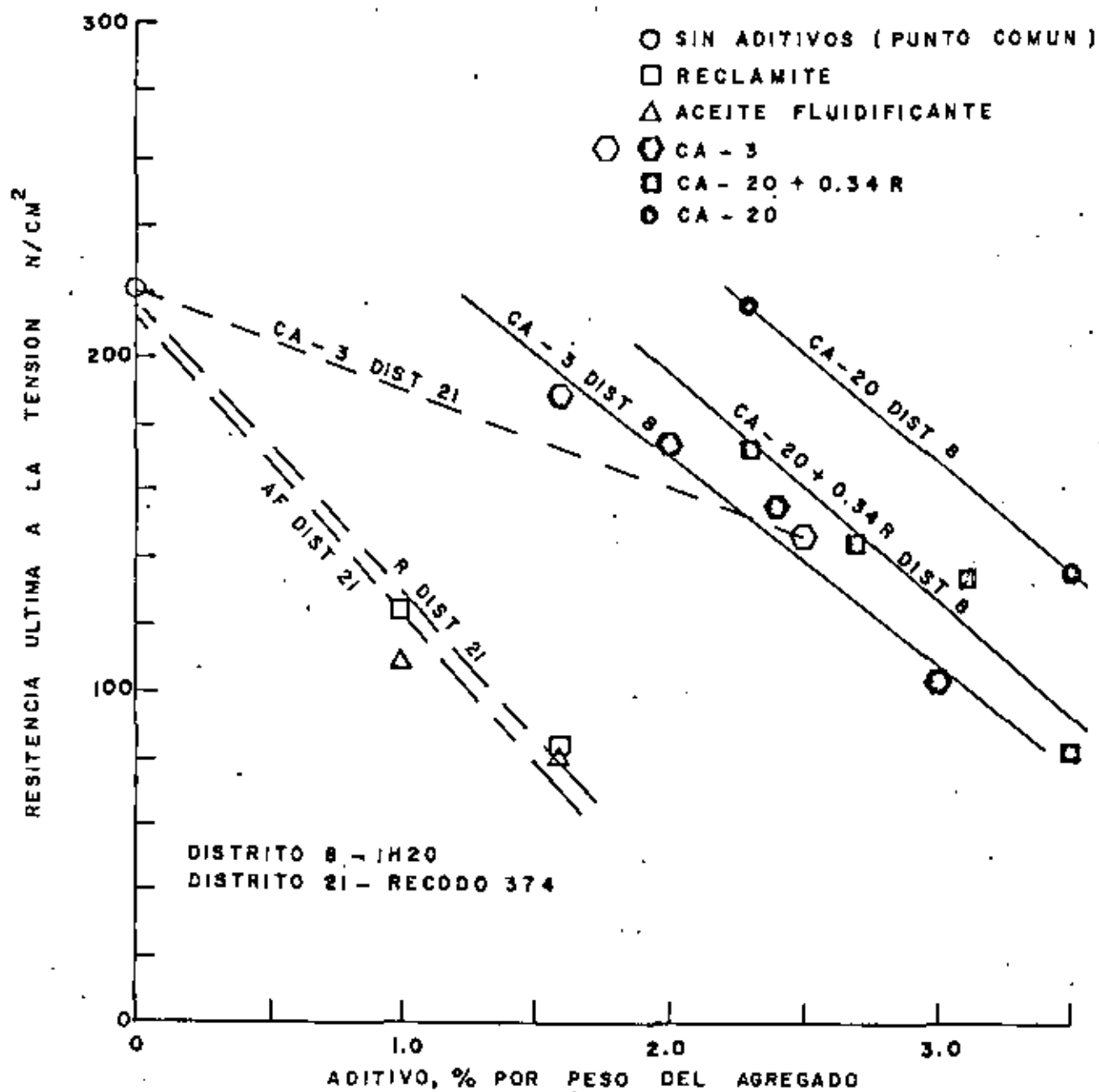


FIG. 4 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSION

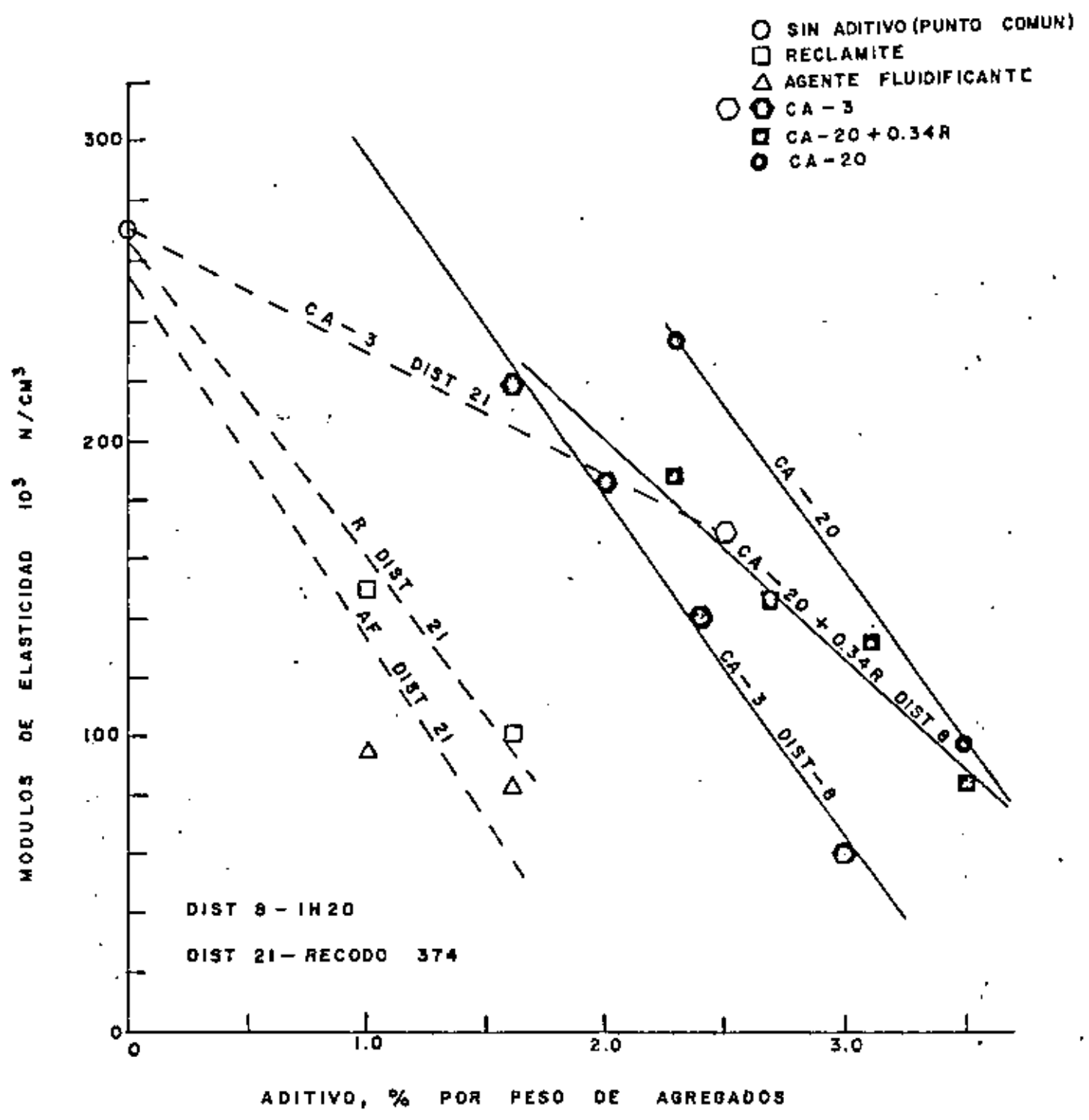


FIG. 5 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD

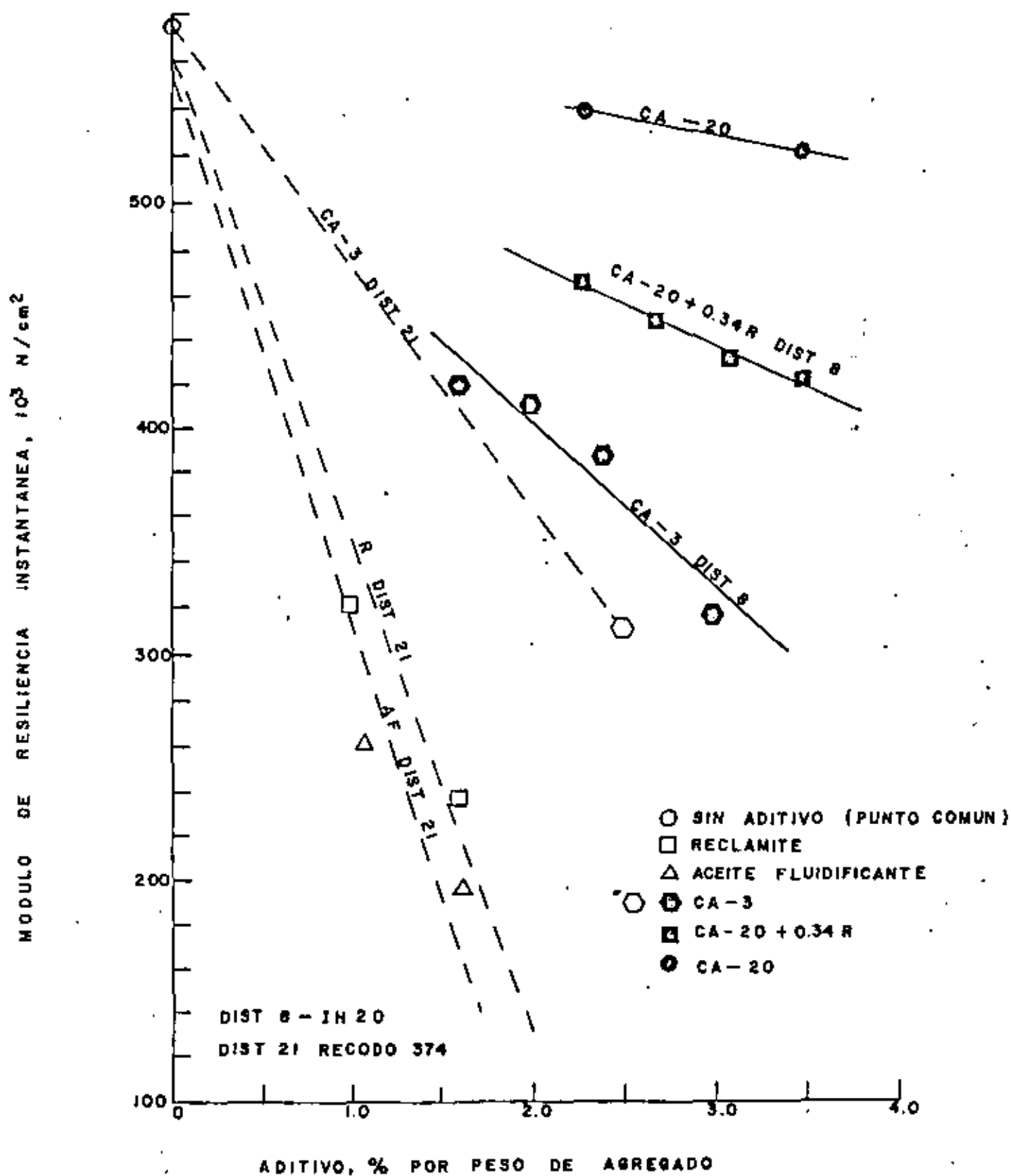


FIG. 6 — EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD CON RESILIENCIA

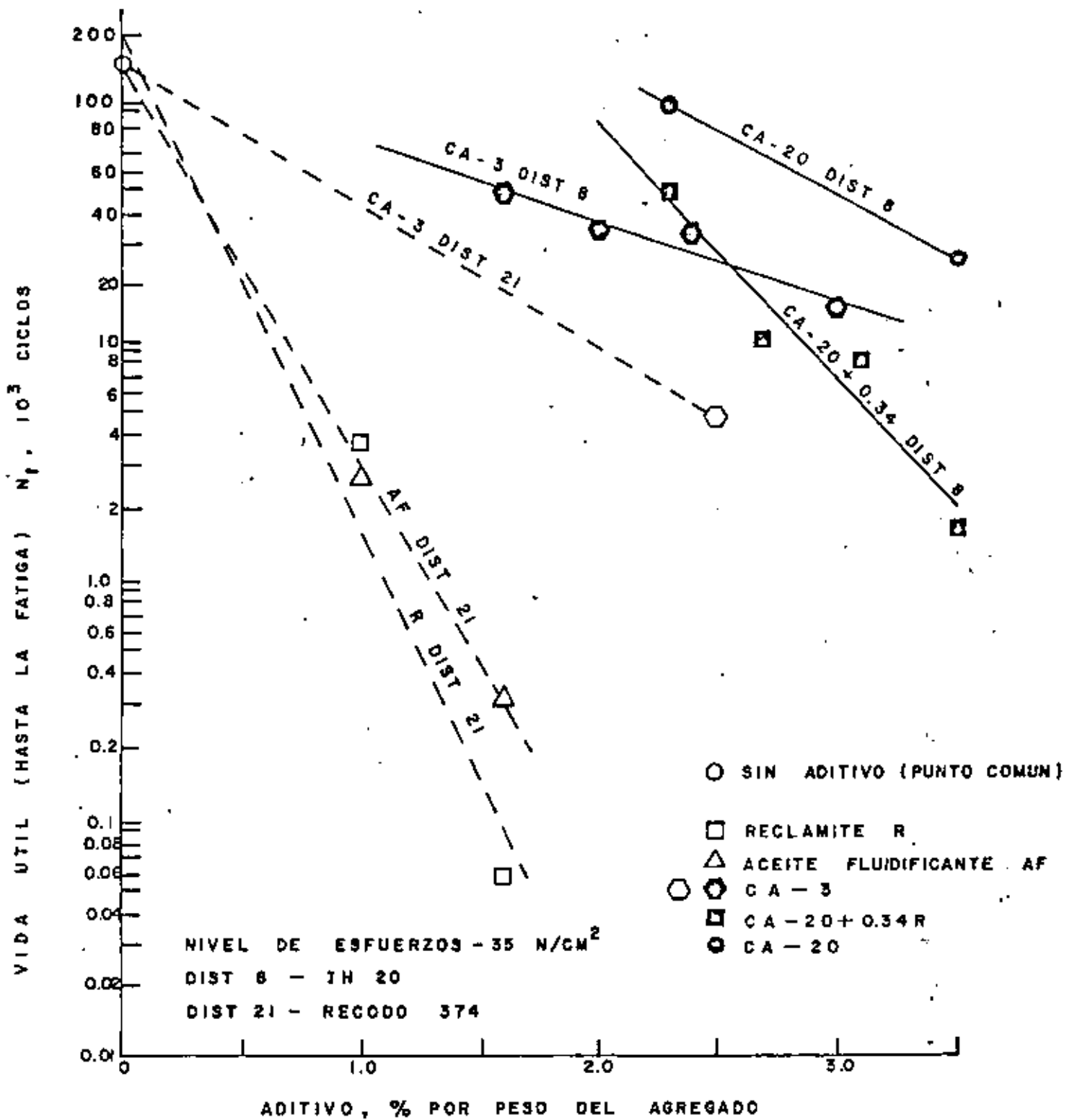


FIG. 7 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA VIDA UTIL

ACLARACIONES

El contenido de este artículo refleja los puntos de vista de los autores, quienes son responsables de los hechos y de la precisión de los datos presentados aquí. El contenido no refleja necesariamente los puntos de vista oficiales o las políticas de Administración Federal de Carreteras. Este artículo no constituye un estándar, especificación, o regulación.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin. Los autores agradecen el patrocinio, del Departamento de Estado de Carreteras y Transportación Pública de Texas, y al Departamento de Transportación de la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

REFERENCIAS

1. Ignacio Pérez y Thomas W. Kennedy, "Evaluación de las Propiedades Ingenieriles de las Mezclas Asfálticas Recicladas". Reporte de la investigación 183-10, Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Septiembre 1977.
2. Procedimientos de Prueba (Manual). Departamento de Carreteras de Texas, Vol. 1 y 2.
3. Adedimila, Adedare S., y Thomas W. Kennedy. "Características Resilientes de -- Fatiga de las Mezclas Asfálticas con la Prueba de Tensión Indirecta con Carga Repetida", Reporte de la investigación 183-5. Centro de Investigación de Carreteras, de la Universidad de Texas en Austin, Agosto 1975.
4. Navarro, Domingo, y Thomas W. Kennedy, "Características Elásticas y de Fatiga con Carga Repetida de los Materiales Asfálticos Tratados", Reporte de Investigación 183-2. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Enero de 1975.
5. Porter, Byron W., y Thomas W. Kennedy, "Comparación de los Métodos de Prueba -- por Fatiga de los Materiales Asfálticos", Reporte de Investigación 183-4. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas, Abril de 1975.

6. Monismith, C.S., y H. B. Seed, "Predicción de la Deflexión de los Pavimentos por medio de las Pruebas de Laboratorio", Procedimientos, Segunda Conferencia Internacional sobre el Diseño Estructural de los Pavimentos Asfálticos, Universidad de Michigan, 1967, Págs. 109-140.
7. Manuel Rodríguez y Thomas W. Kennedy, "Las características de Resiliencia y Fatiga de las Mezclas Asfálticas Procesadas en el Mezclador con Tambor Secador", Reporte de Investigación 183-8, Centro de Investigación de Carreteras, de la Universidad de Texas en Austin, Enero de 1977.
8. Monismith, C.L., J.A. Epps, D.A. Kasianchuck, y D.B. McLean, "Comportamiento de las Mezclas Asfálticas sometidas a Flexión Repetida", (para presentarse en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, San Antonio Texas, Febrero de 1977). Reporte Núm. TE-70-5 Instituto de Transportación e Ingeniería de Tránsito, Univ. de Calif., Dic. 1970.
9. Davidson, D.D., Canessa, W., y Escobar, S.J., "Reciclamiento de Pavimentos Asfálticos Deteriorados o Pobres," para presentarse en la Junta Anual de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, San Antonio Texas, Febrero 1977.
10. Anagnos, James N., y Thomas W. Kennedy, "Método Práctico para realizar la Prueba de Tensión Indirecta" Reporte de Investigación 98-10, Centro de Investigación de Carreteras, Universidad de Texas en Austin, Agosto de 1972.
11. Kennedy, Thomas W., "Caracterización de los Materiales Asfálticos para Pavimento, usando la Prueba de Tensión Indirecta", Procedimientos, Volumen 46 de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentación Asfáltica, San Antonio, Texas - 1977.
12. Guillermo González, Thomas W. Kennedy y James N. Anagnos, "Evaluación de las Características Elásticas Resilientes de Mezclas Asfálticas Usando la Prueba de Tensión Indirecta", Reporte de Investigación 183-6, Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Noviembre de 1975.

TABLA 1 - DESCRIPCION DE LAS OBRAS RECICLADAS

Distrito Condado Obra	Preparación	Núm. de Especímenes		Tipo de Aditivo	Aditivo % Wt.	Agregado
		Fatiga	Estática			
8 Nolan IH-20	Laboratorio	4	3	CA-3	2.0	Caliza triturada del concreto asfáltico viejo con 15% de agregado nuevo, (tamaño, para malla de 1 pulg. y 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 CA-20	0.34 2.76	
		4	4	Reclamite CA-20	0.34 2.36	
		4	4	Reclamite CA-20	0.34 1.96	
		4	2	Reclamite CA-20	0.34 2.30	
		4	2	Reclamite CA-20	0.20 3.5	
		4	2	CA-20	2.3	
		4	3	Nada*	- -	
		21 Hidalgo Loop 374	Laboratorio	5	3	
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	CA-20	1.5	Caliza Triturada

* El material reciclado se calentó y compactó sin aditivos o agregados nuevos.

TABLA 2 - RESUMEN DE LOS EXPONENTES Y COEFICIENTES DE FATIGA

(a)

Material	Exponente n_2	Fuente
Especímenes de mezclas asfálticas recicladas	2.15 - 8.07	---
Especímenes de concreto asfáltico	1.85 - 6.06	Monismith y Seed (Ref.6)
Corazones de base negra en -- servicio	1.58 - 5.08	Navarro y Kennedy (Ref.4)
Especímenes de concreto asfáltico	3.20 - 3.40	Adedimila y Kennedy (Ref.3)
Especímenes de mezclas en tambor secador	1.24 - 2.28	Rodríguez y Kennedy (Ref.7)

(b)

Material	Coefficiente K'_2	Fuente
Especímenes de mezclas asfálticas recicladas	$3.96 \times 10^8 - 1.11 \times 10^{23}$	---
Especímenes de concreto asfáltico	$4.02 \times 10^7 - 4.30 \times 10^{17}$	Monismith, entre otros (Ref.8)
Corazones de base negra en -- servicio	$1.38 \times 10^6 - 1.24 \times 10^{15}$	Navarro y Kennedy (Ref.4)
Especímenes de concreto asfáltico	$1.44 \times 10^9 - 3.68 \times 10^9$	Adedimila y Kennedy -- (Ref.3)
Especímenes de mezclas en tambor 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 ESTÁTICA

Módulo Pav	Preparación	Tratamiento	Número de Especímenes	Resistencia Última a la Tensión			Módulo Elástico de Elasticidad			Valor Elástico de Poisson		
				Promedio N/cm ²	Kgs/cm ²	Coefficiente de Variación %	Promedio 10 ³ N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²)	Coefficiente de Variación %	Promedio	Coefficiente de Variación %		
20	Laboratorio	2.0% CA-5	3	156	15.8	7	133	13.44	24	0.17	71	
		3.0% CA-5	2	104	10.5	-	51	6.29	--	0.09	--	
		2.4% CA-5	2	156	15.8	-	143	14.42	--	0.04	--	
		2.0% CA-5	2	176	17.8	-	186	18.90	--	0.17	--	
		1.8% CA-5	2	191	19.9	-	220	22.33	--	0.11	--	
		3.5% CA-8	3	84	8.5	12	87	8.75	10	----	----	
		0.34% R										
		3.1% CA-8	2	136	13.8	-	132	13.37	--	----	----	
		0.34% R										
		2.7% CA-8	4	146	14.8	4	147	14.91	34	----	----	
		0.34% R										
		2.3% CA-8	4	174	17.6	11	190	19.25	27	----	----	
		0.34% R										
		3.5% CA-8	2	137	13.9	-	98	9.94	--	0.14	--	
		2.3% CA-8	2	217	22.1	-	235	16.45	--	0.17	--	
		2.5% CA-8	2	181	18.3	-	165	16.73	--	0.12	--	
		Nada *	3	191	19.4	14	201	20.30	37	----	----	
		Nada *	3	220	22.3	4	270	27.44	6	----	----	
		2.5% CA-3	3	147	14.9	3	169	17.15	7	0.37	15	
		1.6% R	3	124	12.6	7	153	15.54	10	0.30	3	
1.6% R	3	94	9.5	23	101	10.27	20	0.27	22			
1.0% AF	3	108	11.0	23	95	9.66	16	0.23	20			
1.6% AF	3	82	8.3	4	83	8.40	22	0.25	71			
21	Campa	1.6% AF	3	86	8.8	4	77	7.77	10	0.36	10	
		2.0% AF	3	104	10.5	8	90	9.10	28	0.33	14	
		2.0% AF	3	86	8.8	3	69	7.00	10	0.28	24	
		1.6% R	3	130	13.2	2	44	4.48	4	0.33	15	
		1.6% R	3	128	13.0	11	97	9.77	39	0.33	20	
		2.5% CA-3	3	165	16.7	5	124	12.53	4	0.28	17	
		2.0% CA-3	3	191	19.4	2	147	14.91	6	0.23	4	
		3.0% CA-3	3	154	15.61	3	119	12.04	10	0.32	10	
21	Corzonos	1.5% CA-20	7	56	5.67	39	40	3.99	55	0.03	450	
Intervalo				56 - 220 (81 - 379)	2 - 23	40 - 270 (57 - 377)	4 - 55	0.03-0.37	3-71			

* El material se recibió ya calentado y compactó sin aditivo o agregado nuevo

TABLA 4 - RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ELASTICAS CON CARGA REPETIDA

Distrito Obra	Propiedades	Tratamiento	Nivel de Esfuerzos		Número de Especímenes	Módulo de Resiliencia Instantánea			Valor de Poisson para Resiliencia Instantánea.		
			N/cm ²	Kgs/cm ²		10 ³ Promedio N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²)	Coefficiente de Variación	Promedio	Coefficiente de Variación		
6 H 20	Laboratorio	2.0% CA-3	55	5.6	2	453	45.99	-	0.21	--	
			30	3.1	2	346	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	384	38.99	-	0.13	--	
		2.0% CA-3	56	6.7	2	458	46.48	-	0.16	--	
			35	3.6	2	365	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	--	
		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	--			
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	--			

Continúa...

TABLA 4 - (CONTINUACION)

Distrito Obra	Propiedades	Tratamiento	Nivel de Esfuerzos		Número de Especímenes	Módulo de Resiliencia Instantánea			Valor de Poisson para Resiliencia	
			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 Código 374	Laboratorio	Nada *	57	5.8	2	692	70.71	-	----	--
			40	4.1	2	465	47.18	-	----	--
		2.5% CA-3	38	3.9	3	310	31.50	6	0.34	19
			26	2.7	3	313	31.78	5	0.37	40
		1.0% R	40	4.1	3	337	34.23	8	0.41	17
			20	2.0	2	305	30.94	-	----	--
		1.6% R	20	2.0	3	246	24.99	16	0.68	17
			12	1.2	3	228	23.17	15	0.52	23
		1.0% AF	38	3.9	3	278	28.71	5	0.41	30
			26	2.7	2	245	24.85	-	0.35	--
	1.6% AF	20	2.8	3	211	21.47	5	0.51	7	
		14	1.4	3	184	18.69	12	0.36	28	
	Campo	1.6% AF	28	2.9	3	172	17.43	5	0.39	15
			13	1.3	3	217	21.98	5	0.43	3
		2.0% AF	40	4.1	3	200	20.30	5	0.32	21
			16	1.6	3	188	19.04	6	0.22	34
		2.0% AF	30	3.1	3	174	17.64	3	0.33	24
			13	1.3	3	207	21.00	10	0.25	25
		1.6% R	26	2.7	3	265	26.88	2	0.32	13
			20	2.0	3	261	26.46	9	0.35	22
1.6% R		51	5.2	2	275	27.93	-	0.37	--	
		20	2.0	2	237	24.08	-	0.30	--	
2.5% CA-3	50	5.0	3	305	30.94	5	0.31	27		
	30	3.1	3	285	28.91	12	0.17	27		
3.0% CA-3	50	5.0	3	330	33.46	9	0.20	6		
	28	2.9	3	339	34.44	6	0.15	22		
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	8		
21 S 231	Corazones	15% CA-20	15	1.5	5	224	22.75	9	0.33	4
			11	1.1	6	260	26.39	6	0.35	31
Intervalo						172 - 346 (249 - 797)	2-16	0.04-0.66	3-60	

* El material reciclado se calentó y compactó sin aditivo o agregado nuevo.

R = Reclamita

AF = Aceite Fluidificante



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Lineamientos para el reciclamiento de los materiales
de pavimentación (recuperación de los materiales)

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

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 ASFALTICOS

Categoría	Método	Descripción	Código	
SUPERFICIAL	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	
EN EL LUGAR	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	
PLANTA CENTRAL	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 aglutinante nuevo	C8	

Métodos de Reciclamiento	Ventajas	Desventajas
Superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el agrietamiento por reflexión • Facilita la trabazón entre el pavimento viejo y el recubrimiento delgado • Proporciona una transición entre la nueva sobrecapa y la cuneta puente, pavimento, etc. que resiste el desprendimiento (elimina la incrustación) • Reduce las zonas ásperas • Trata una variedad de tipos de desperfectos de pavimentos (desprendimiento, llorido, asperezas, surcamientos 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 desbarración en caliente y la compactación en caliente tienen una profundidad limitada sobre la reventa. Sin pasacas múltiples del 4, 5, 6, 7. • Reparación limitada de los pavimentos inestables o que fluyen excesivamente. • Algunos problemas de contaminación del aire • La vegetación cercana a la carretera puede ser dañada. • Mezclas con agregados de tamaño máximo de 1 1/2" o mayor a una pulgada, no pueden tratarse con cualquier equipo.
En el lugar	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras estructurales significativas • Trata todos tipos y grados de desperfectos del pavimento • Las grietas por reflexión pueden ser eliminadas • Se puede mejorar la resistencia a los efectos del congelamiento • Mejora la calidad de rodamiento 	<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 restricciones. • 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 al rod- 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa las interrupciones • Puede haber problemas de contaminación del aire en el lugar de la planta

TABLA 3 - RESUMEN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Características	Valor	Comentario
Localización		
Tamaño de la obra (long.en Kms)		
Clase de camino		
Sección recta del pavimento existente (incluye información, espesor y tipo de las capas del pavimento original; fecha, espesor y tipo de las rehabilitaciones subsecuentes y de las actividades de mantenimiento)		
Geométricas (número de carriles, ancho, extensión vertical, otras restricciones)		
Características de Tránsito PDT - Promedio diario de cargas por eje equivalente de 18 kip		
Características de la sub base		
Condiciones superficiales (tipo de clasificación del pavimento -- PRS)		
Condiciones estructurales, (deflexión, recubrimiento requerido de - 0.01 cms)		
Textura (índice de servicio)		
Resistencia al derrapamiento (SN40)		
Otros: Factores (distancia a la -- fuente de los agregados y el aglutinante, equipo disponible y experiencia del contratista)		

TABLE 5 - SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLAMIENTO PARA MEJORAR LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL BASADO EN LA DEPLECIÓN DEL PAVIMENTO.

MÉTODOS DE RECICLAMIENTO			ESPESOR DE LA CAPA DE COBERTA		
			Ninguno	Menor a 2 pulgs.	Mayor a 2 pulgs.
Desbastado en Caliente	A1	Sin agregado adicional		Shaded	Shaded
	A2	Con agregado adicional		Shaded	Shaded
Escarificación en Caliente	A3	Escarificación en caliente solamente		Shaded	Shaded
	A4	Escarificación en caliente más sobrecapa delgada de concreto asfáltico -- 1.5 cms. compactos.			Shaded
	A5	Escarificación en caliente más recubrimiento grueso 8 cms. compactos.			
Molido o triturado Superficial.	A6	Moler la parte superficial solamente		Shaded	Shaded
	A7	Molido superficial en capa delgada -- nueva			Shaded
	A8	Molido superficial en capa gruesa -- nueva			
Concreto Asfáltico menor a -- 2 pulgs.	B1	Menores mejoras estructurales sin -- nuevo aglutinante			Shaded
	B2	Menores mejoras estructurales con -- nuevo aglutinante			Shaded
	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			Shaded
	B6	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo			Shaded
	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			Shaded
	C2	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo			Shaded
	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			Shaded
	C6	Mejoras estructurales menores con -- aglutinante nuevo			Shaded
	C7	Mejoras estructurales importantes -- sin aglutinante nuevo			
	C8	Mejoras estructurales importantes -- con aglutinante nuevo			

TABLA 9 - COSTOS DE LAS OPERACIONES DE RECICLAMIENTO COMUN

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.

APENDICE G

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 ha 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 ha 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) (G5).

EXTRACCION Y RECUPERACION DEL ASFALTO Y LOS AGREGADOS (2)

Las pruebas de extracción y recuperación deben realizarse en cada lugar muestreado. Los resultados de estas pruebas junto con las mediciones del espesor hechas en los corazones, deben ayudar a determinar la uniformidad de la sección bajo consideración para el reciclamiento. Se debe recuperar suficientemente asfalto para permitir la combinación con los modificadores asfálticos para pruebas posteriores.

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS (3)

Los agregados recuperados de las muestras en el paso (2), descrito anteriormente, se deben probar por granulometría durabilidad (como las pruebas de abrasión, Los Angeles), valor de pulido, si es apropiado. Si las propiedades de los agregados no son adecuadas para la mezcla final especificada, entonces se necesitará agregado adicional para combinarse con la mezcla vieja para cumplir estos requerimientos. Típicamente, la graduación no será adecuada si los pavimentos viejos consisten de capas múltiples y diversos tipos de mantenimiento.

La graduación debe determinarse en todas las muestras extraídas mientras que pruebas tales como la de abrasión de Los Angeles y la del Valor del Pulido deben determinarse en las muestras representativas seleccionadas. Estos datos pueden utilizarse para determinar la uniformidad de la obra. El Valor de Pulido necesita considerarse solamente si la mezcla reciclada se va a utilizar para la carpeta.

AGREGADOS NUEVOS (4)

Los agregados nuevos pueden adicionarse a la mezcla por uno o más de los propósitos siguientes:

1. Requerimientos para satisfacer la graduación
2. Requerimientos de resistencia al derrapamiento para las carpetas
3. Problemas de contaminación del aire asociados con el calentamiento, Reciclamiento en planta central
4. Requerimientos de espesor.

Las normas de graduación para las mezclas recicladas deben ser aquellas requeridas actualmente por la agencia especificadora o ASTM D3515.

Para proporcionar la resistencia al derrapamiento inicial y en forma duradera - para las carpetas asfálticas recicladas, puede ser necesario combinar el agregado grueso sin pulir con el pavimento reciclado. Parece que 40% en volumen de la fracción retenida en la malla Núm. 4 que no esté pulida proporciona la buena textura contra el derrapamiento en las carreteras con volumen de tránsito moderado a alto.

Las normas para la calidad del aire en las operaciones en caliente o en planta-central necesitan el uso de un mínimo de aproximadamente 30% en volumen de agregado nuevo. Este requisito se reducirá gradualmente según se mejoren las operaciones de reciclamiento en caliente presentadas por los fabricantes de equipo o por los contratistas.

Si se requiere colocar el pavimento-reciclado con una sección de mayor espesor de material asfáltico estabilizado, por algún requerimiento especial de diseño estructural del pavimento. Esto puede lograrse combinando agregados nuevos con el material reciclado o con capas adicionales de materiales nuevos estabilizados con asfalto. Si se van a utilizar las operaciones en caliente en planta central, parece práctico mezclar los agregados nuevos con el pavimento reciclado.

DEMANDA DE ASFALTO (5)

La cantidad de asfalto necesaria para lograr el reciclamiento de los materiales puede estimarse de la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

Y

D_R = asfalto requerido para recuperar el agregado reciclado, en por ciento

D_{CKE} = D_{CKE} derivado de los agregados recuperados o reciclados, en por ciento

A_R = contenido de asfalto de los agregados recuperados o reciclados

D_N = valor del D_{CKE} de los agregados recuperados o reciclados, por ciento

V_R = volumen de los agregados reciclados en las mezclas

V_N = volumen de los agregados nuevos en las mezclas

Debe hacerse notar que si no se van a utilizar agregados nuevos, la ecuación (1) se convierte en la ecuación (2).

El asfalto necesario determinado de esta manera es una estimación confiable y debe utilizarse como punto de partida para diseñar la mezcla. Debe notarse también que el asfalto necesario se satisfará con el modificador, que puede ser un agente suavizante, un rejuvenecedor, un aceite fluidificante, cemento asfáltico suave o combinación de los anteriores.

PROPIEDADES DEL ASFALTO (6)

El asfalto recuperado de las muestras, en el paso (2), se debe probar para determinar el contenido de asfalto, penetración a 25°C y viscosidad a 60°C. El contenido de asfalto, la penetración y la viscosidad deben determinarse de todas las muestras extraídas. Estos datos pueden usarse para determinar la uniformidad de la obra.

DETERMINAR EL TIPO Y LA CANTIDAD DE LOS MODIFICADORES (7) (8)

El tipo y la cantidad de los modificadores puede seleccionarse utilizando la Fig. G2 o G3 y la Tabla G1 o G2 junto con una definición de la penetración o mejor aún de la viscosidad del aglutinante en el proceso de la mezcla reciclada y en un conocimiento de la demanda de asfalto de la mezcla reciclada que se obtuvo en el paso (5), ecuación 1. Por ejemplo, considerar lo siguiente:

1. Valor del CKE obtenido del material recuperado o reciclado, $D_{CKE} = 5.0\%$
2. Por ciento de asfalto en el material recuperado o reciclado, $A_R = 4\%$
3. Viscosidad del asfalto envejecido 20,000 poises
4. Agregado nuevo adicional, $V_N = 30\%$
5. Valor del CKE en los agregados nuevos, $D_N = 6\%$
6. Viscosidad deseada del asfalto reciclado = 2,000 poises

La demanda de asfalto puede calcularse de la ecuación (1) y (2)

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

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

$$D_R = 5.0 - 4.0 = 1.0$$

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

$$D_T = 2.5\%$$

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 por ciento 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 de curado 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 Huemana, 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. Comunmente 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 10 - COSTO UNITARIO PARA LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS EN CALLES

Título Descriptivo	Descripción General	Estado	No.	Costo Unitario Promedio Dolares	Costos Superficiales Laborales			
					Promedio	Bajo	Alto	Unidad de medida
Tratamiento final-amplitud parcial	Aplicación ligera de emulsión diluida o un material apropiado sobre un carril parcial	ARI	106	0.085/yd ²	.085	.075	.121	yd ²
Tratamiento final-amplitud total	Aplicación ligera de emulsión diluida o material apropiado sobre un carril completo en una sección continua	ARI	106	0.069/yd ²	.06	.05	.11	yd ²
		CAL	01-963	0.06 /yd ²				
		NEV	101.06	0.06 /yd ²				
		ND	435	0.11 /yd ²				
Tratamiento de sellado-amplitud parcial	Aplicación de asfalto y cubrimiento con agregado en una área limitada	ARI	104	0.36 /yd ²	.35	.33	.41	yd ²
		CAL	01-051	0.41 /yd ²				
		NEV	101.05	0.23 /yd ²				
		ND	412	0.26 /yd ²				
Tratamiento de sellado-amplitud total	Aplicación de asfalto y cubrimiento con agregado en una amplitud total de carril en una sección continua	ARI	106	0.18 /yd ²	.21	.19	.24	yd ²
		CAL	01-054	0.24 /yd ²				
		NEV	101.09	0.23 /yd ²				
		ND	422	0.21 /yd ²				
Tratamiento manual de parchado superficial	Aplicación por método manual de un material premezclado, sobre la superficie del pavimento	ARI	102	34.56/yd ³	130.00	60.00	170.00	yd ³
		CAL	01-031	147.00/yd ³				
		NEV	101.02	123.60/yd ³				
Tratamiento de parchado a máquina de la superficie	Aplicación con máquina, de un material premezclado sobre la superficie de pavimento	ARI	102	34.56/yd ³	28.00	20.00	40.00	yd ³
		CAL	01-021	52.80/yd ³				
		CAL	01-022	43.00/yd ³				
		CAL	01-023	28.50/yd ³				
		CAL	01-024	40.40/yd ³				
		NEV	101.03	27.96/yd ³				
ND	421	22.35/yd ³						
Tratamiento de escurbado y reparación manual	Remover y reparar las áreas limitadas usando herramientas manuales	ARI	101	112.39/yd ³	110.00	50.00	150.00	yd ³
		CAL	01-034	145.00/yd ³				
		ND	411	55.34/yd ³				
Tratamiento de escurbado y reparación con máquina	Remover y reparar las áreas limitadas usando equipo mecanizado	ARI	105	27.38/yd ³	25.00	10.00	70.00	yd ³
		CAL	01-011	68.00/yd ³				
		NEV	101.01	17.35/yd ³				
Sellado de grietas (calafateo)	Llenado de grietas en pavimentos flexibles con material asfáltico (puede incluir limpieza con aire comprimido y cubrimiento con arena)	ARI	103	3.38 /gal	3.25	2.10	5.50	gal
		CAL	01-041	4.83 /gal				
		CAL	01-042	6.41 /gal				
		NEV	101.07	3.00 /gal				
		ND	414	1.18 /gal				
Cubrimiento con concreto asfáltico	Aplicación de una sobrecapa de concreto asfáltico comúnmente menor a 2" aproximadamente	TEX		21.00#/ton	31.00	22.00	43.00	yd ³
		US		15.12#/ton				

Costo por tonelada conversiones métricas: 1 yd² = 0.83 M²
 1 yd³ = 0.76 M³ 1 ton = 907 Kg.

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
Concrêto Asfáltico	1.00	0.80 - 1.20
Riego de Sello	0.35	0.20 - 0.45
Concrêto Hidráulico	1.35	1.00 - 1.50

TABLA 12 - REQUERIMIENTOS TIPICOS DE ENERGIA EN LAS OPERACIONES DE RECICLAMIENTO.

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.

Categoría de mantenimiento	Requerimiento de energía				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 5% solamente 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:	
	Energía/Unidad	Btu/yard ² de área tratada	Btu/yard ²	Btu/carril mi ²		
Final-empalme -	10,500 Btu/gal (24)	1,050 (24)		3,700,000 (24)	1,200 (24)	100 pies por carril
	12,100 Btu/gal	1,120 (33)		3,800,000 (33)	1,200 (33)	
Final-extensión -	6,850,000 Btu/carril mi (24)	970 (24)		6,850,000 (24)	970 (24)	100 pies por carril
	3,300,000 Btu/carril mi (14)	470 (14)		3,300,000 (14)	470 (14)	
de sello parcial	537,000 Btu/yard ² (24)	6,200 (24)		2,250,000 (24)	1,250 (24)	100 pies por carril
	1,100,000 Btu/yard ² (32)	5,210 (32)		3,725,000 (32)	1,360 (32)	
	1,300,000 Btu/yard ² (33)	6,000 (33)		6,300,000 (33)	900 (33)	
	1,630,000 Btu/yard ² (33)	7,500 (33)		7,025,000 (33)	1,130 (33)	
	1,160,000 Btu/yard ² (32)	8,100 (33)		6,600,000 (33)	1,210 (33)	
de sello-extensión -	10,700,000 Btu/carril mi (24)	4,360 (24)		10,700,000 (24)	4,360 (24)	100 pies por carril
	17,000,000 Btu/carril mi (14)	5,950 (14)		17,000,000 (14)	5,950 (14)	
de parchado -	1,700,000 Btu/yard ³ (32)	45,000 (32)	45,000 (32)	5,000,000 (32)	1,240 (32)	100 pies por carril
	3,210,000 Btu/yard ³ (33)	89,000 (33)	89,000 (32)	15,700,000 (33)	2,260 (33)	
o reparación de -	820,000 Btu/yard ³ (33)	24,500 (33)	24,500 (33)	17,200,000 (33)	2,450 (33)	100 pies por carril
	1,070,000 Btu/yard ³ (24)	29,800 (24)	29,800 (24)	21,000,000 (24)	2,980 (24)	
	1,150,000 Btu/yard ³ (32)	33,065 (32)	33,065 (32)	25,500,000 (32)	3,300 (32)	
Reparación y recodo -	1,600,000 Btu/yard ³ (24)	178,000 (24)	44,460 (24)	25,000,000 (24)	3,560 (24)	75 pies por carril
Reparación y recodo -	1,120,000 Btu/yard ³ (24)	187,000 (24)	33,200 (24)	65,800,000 (24)	9,350 (24)	75 pies por carril
	810,000 Btu/yard ³ (33)	135,000 (33)	22,500 (33)	47,500,000 (33)	6,750 (33)	
de grietas -	32,700 Btu/gal (24)			8,500,000 (24)	1,220 (24)	100 pies por carril
	60,670 Btu/gal (33)			16,020,000 (33)	2,280 (33)	
	33,500 Btu/gal (25)			2,700,000 (25)	1,230 (25)	
	23,300 Btu/gal (32)			7,600,000 (32)	1,030 (32)	
de Seal -	9,400,000 Btu/carril mi (19)	1,340 (19)		9,400,000 (19)	1,340 (19)	100 pies por carril
de mantenimiento de con-	512,000 Btu/ton. (14)	55,600 (14)	27,800 (14)	391,000,000 (14)	55,600 (14)	100 pies por carril
	533,000 Btu/ton. (16)	57,900 (16)	78,900 (16)	457,000,000 (16)	57,900 (16)	

* 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 5% solamente 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:

$$1 \text{ Btu/gal} = 378.7 \text{ J/l}$$

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

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

$$1 \text{ Btu/mi} = 655.1 \text{ J/km}$$

$$1 \text{ Btu/yard}^2 = 1263 \text{ J/m}^2$$

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

$$1 \text{ Btu/yard}^3 = 1.281 \text{ J/m}^3$$

$$1 \text{ Btu/yard}^2 = 437 \text{ J/c}^2\text{cm}$$

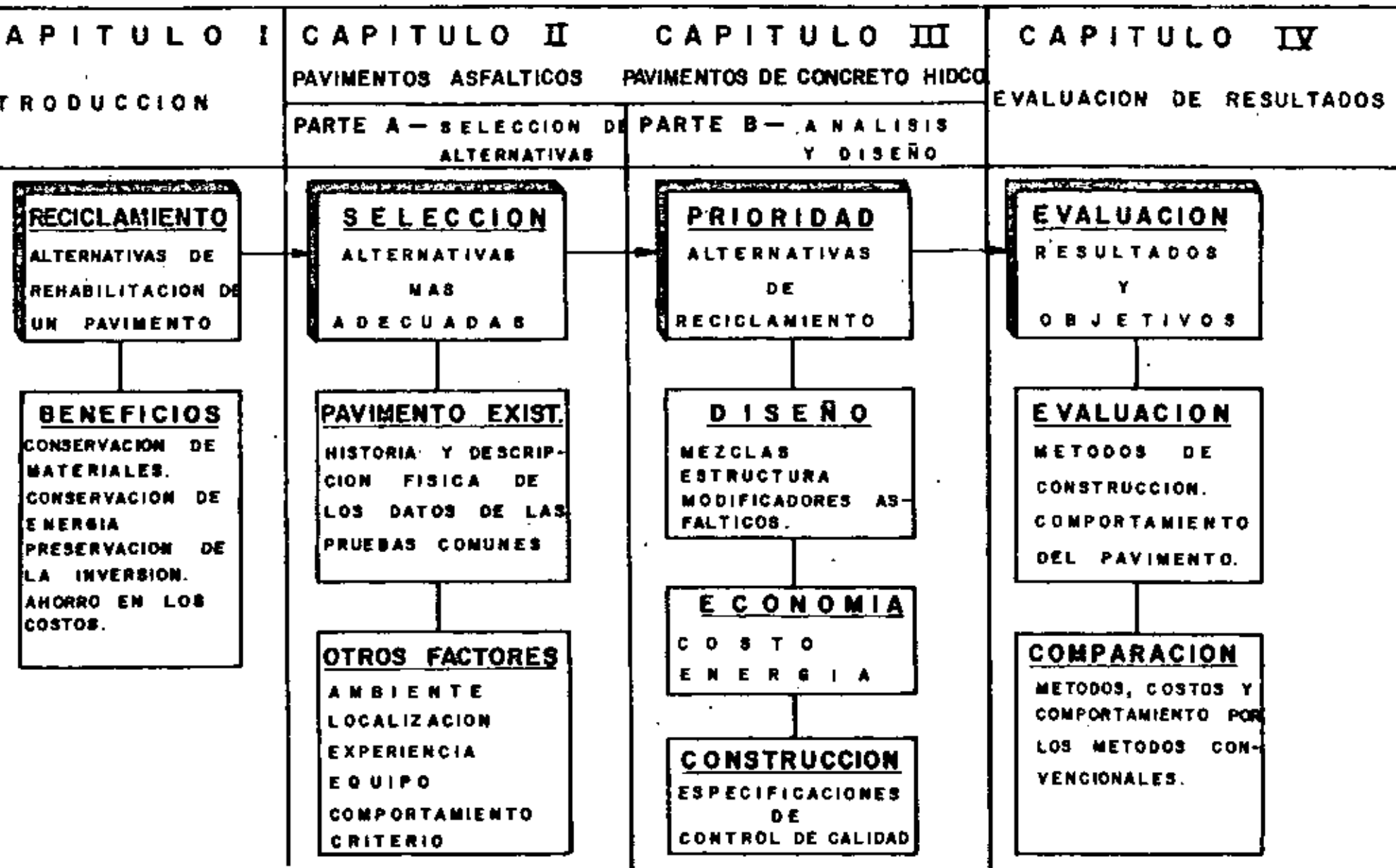


FIG. 1 - PRESENTACION DE LOS LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

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	(14)
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:

$$1 \text{ Btu/ton} = 1.164 \text{ J/kg}$$

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

$$1 \text{ Btu/yd}^2\text{-pulg.} = 497 \text{ J/m}^2\text{cm}$$

$$1 \text{ pulg.} = 2.54 \text{ cm}$$

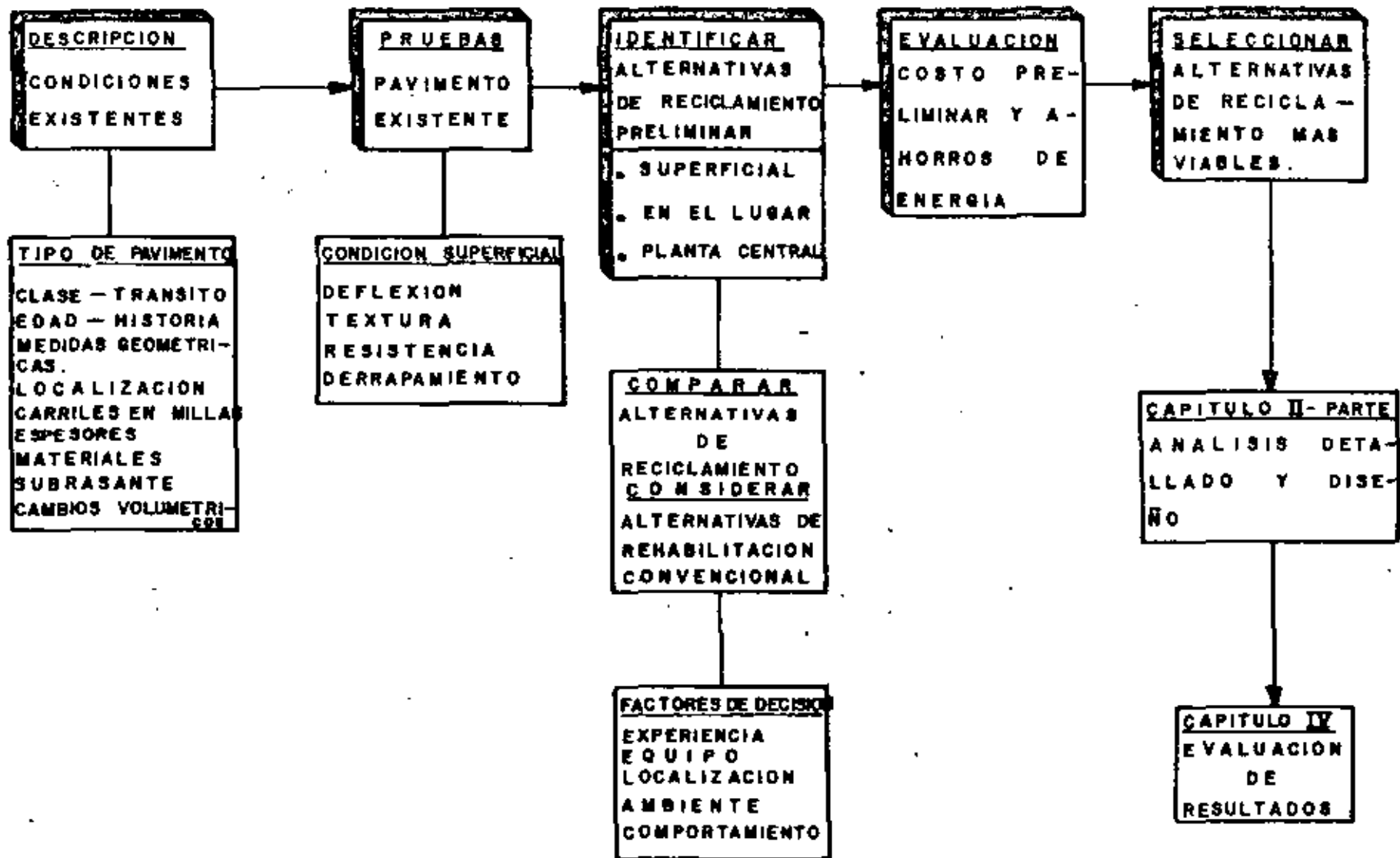


FIG. 3- ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS

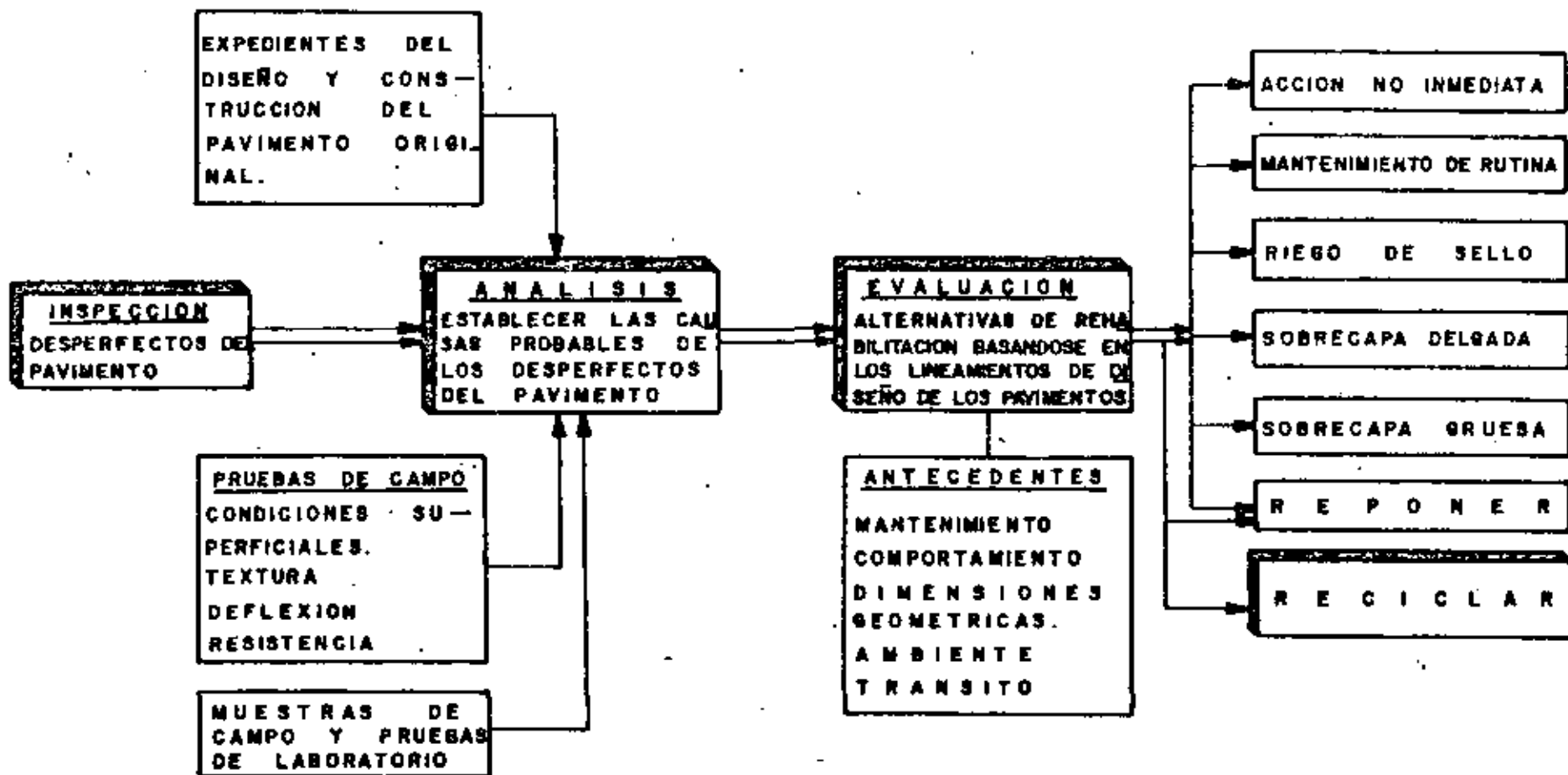


FIG. 2 — EL RECICLAMIENTO COMO UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACION

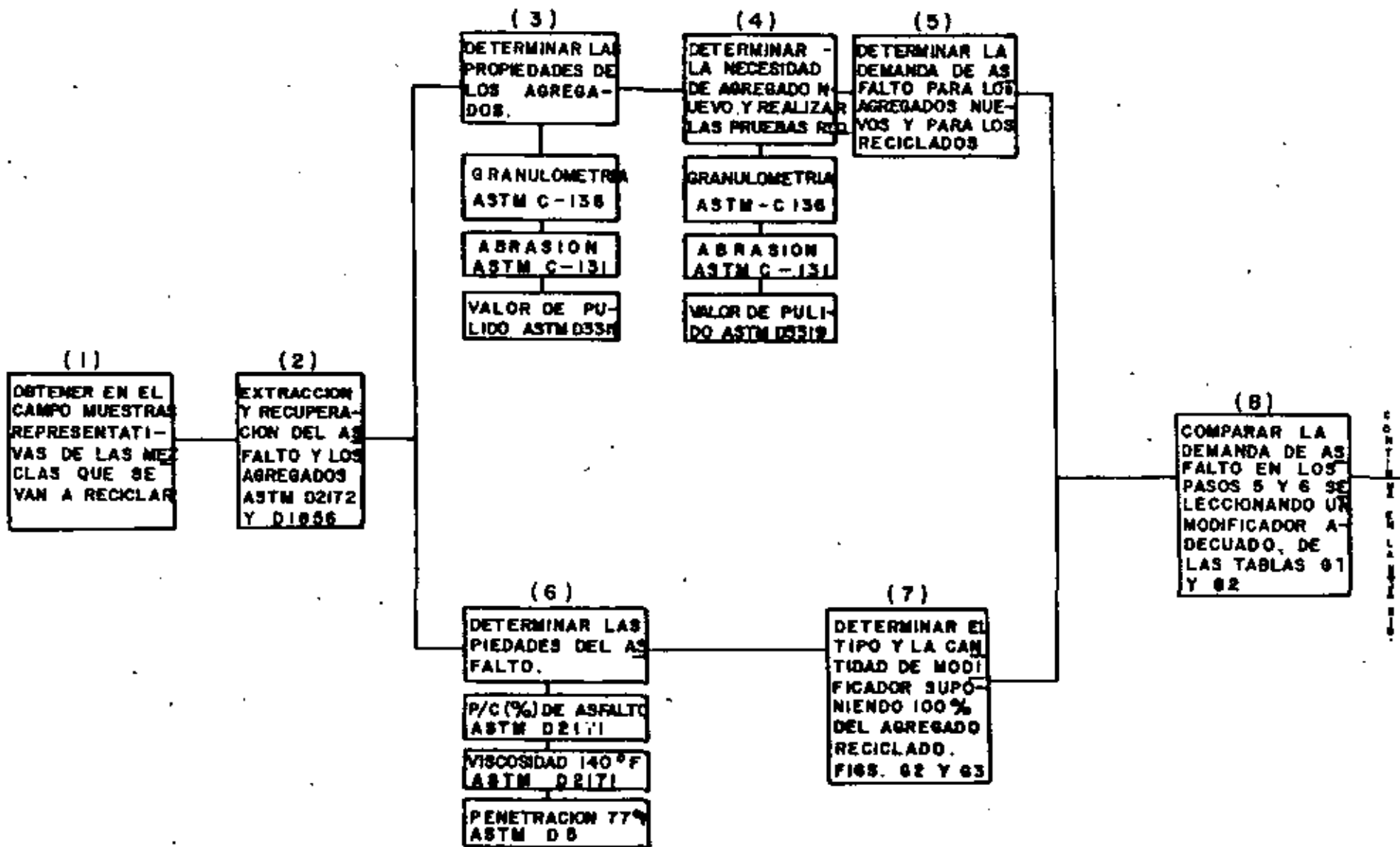
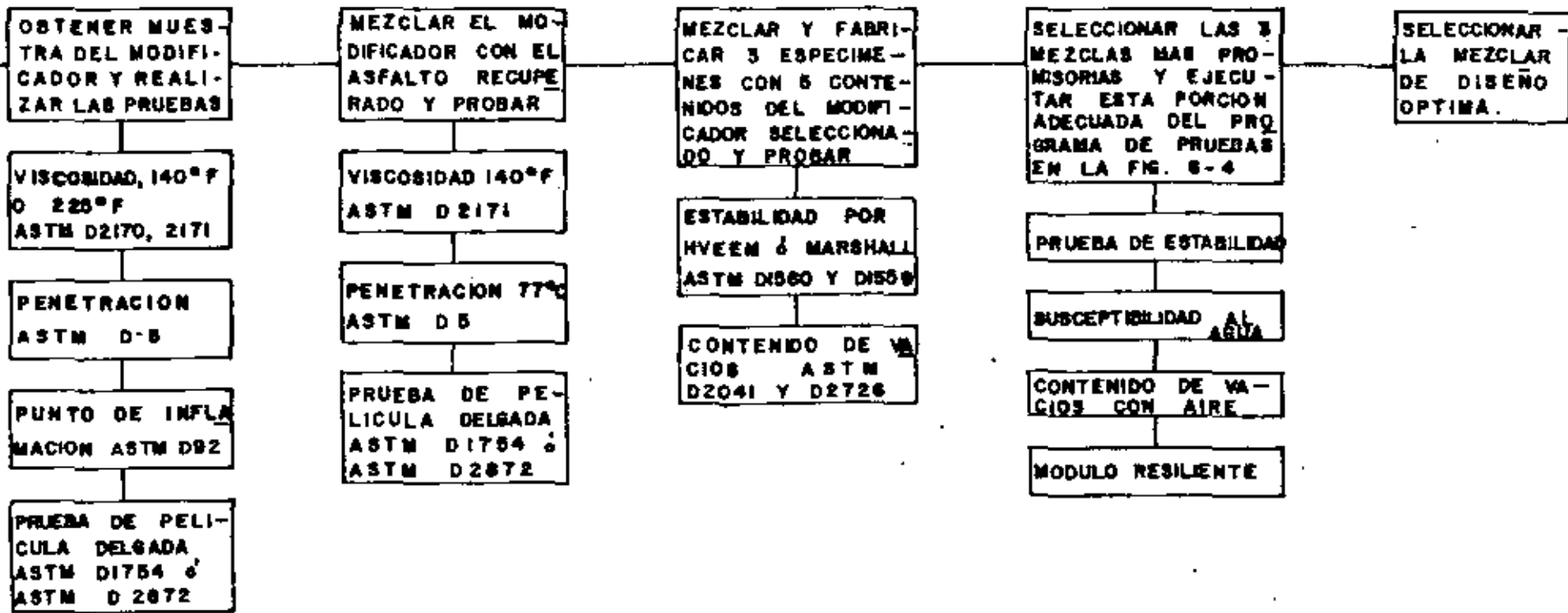
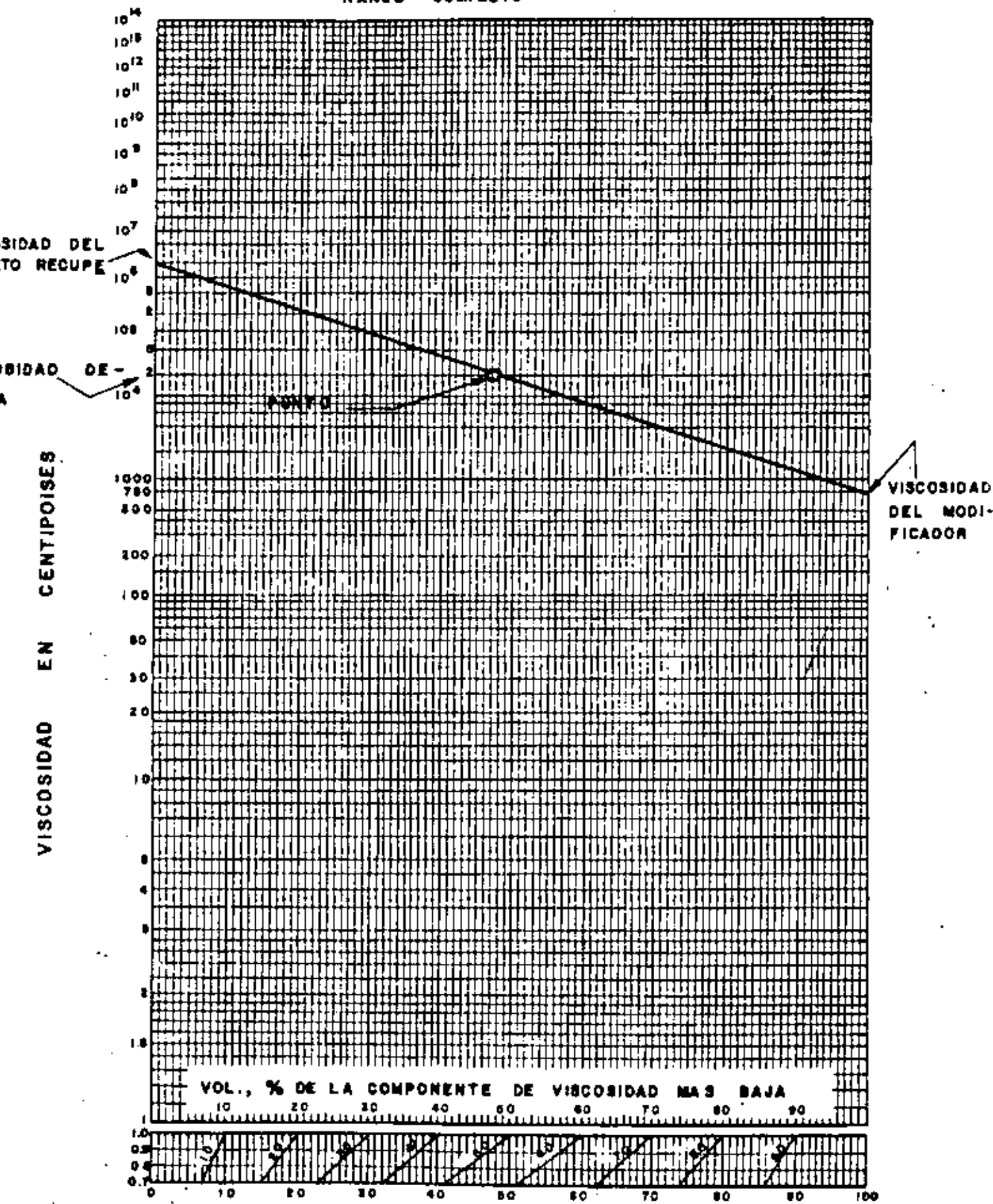


FIG. 81- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LA MEZCLA



CONTINUACION DE LA FIG. 61

CARTA DE VISCOSIDAD DE LA MEZCLA RANGO COMPLETO



W_t % DE LA COMPONENTE DE MAS BAJA VISCOSIDAD

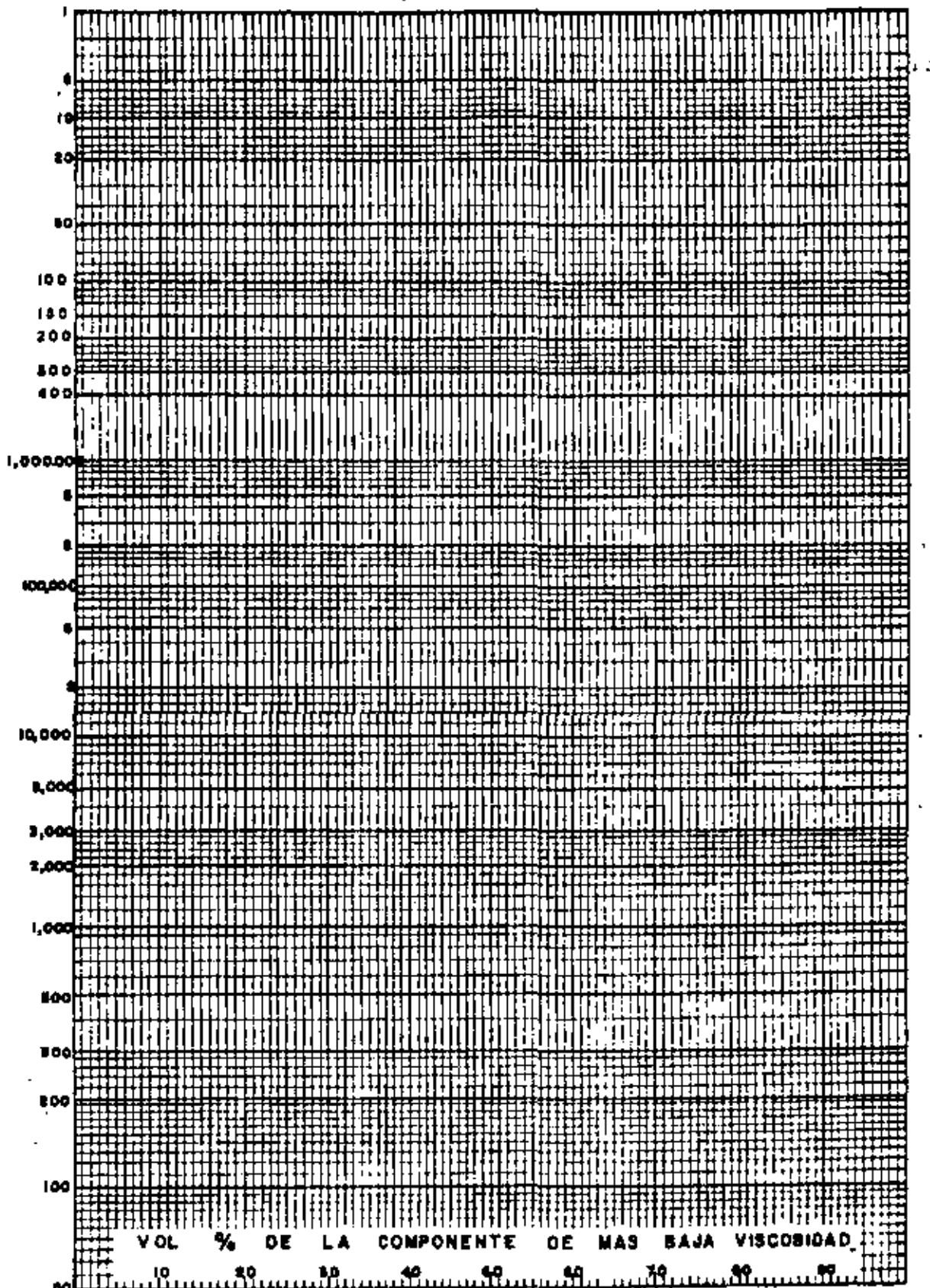
(DESPUES DE LA REF. 88)

FIGURA G-2

PENETRACION

VISCOSIDAD EN CENTIPOISES

RELACION DE DENSIDAD



W_t % DE LA COMPONENTE DE MAS BAJA VISCOSIDAD
(DESPUES DE LA REFERENCIA 68)
FIGURA G-3

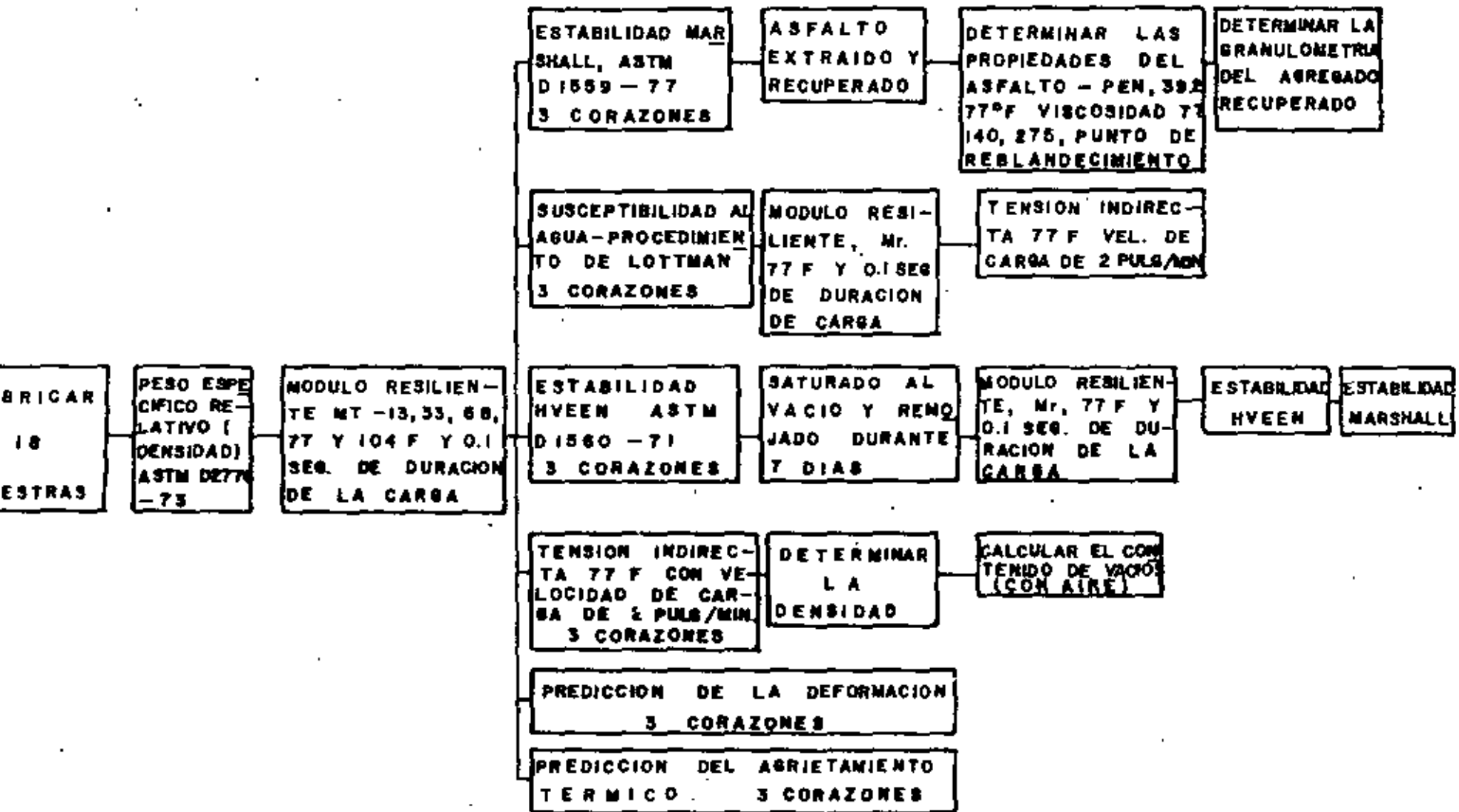


FIG. 04 - SECUENCIA DE PRUEBAS PARA LOS CORAZONES DE CAMPO

TABLA G1 : 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 Envejecimiento						
<u>Residuo</u>						
Pérdida de peso %	3.0	3.0	3.0	3.0	-	-
Viscosidad a 140°F, cs, Max	1,500	12,000	30,000	60,000	125,000	250,000
Ductilidad a 77°F, Min.	-	-	-	-	100	100

- 1 Cubre la Fracción Activa del Aceite
- 2 Requerimientos Alternos
- 3 Reportar Solamente

Después de la referencia G7

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 óptima	Prueba en Malla, ASTM D 244-76 (MOD) ⁽³⁾	0.1 max.
Sensitividad con finos por ciento	Vida adecuada de la mezcla	Mezcla con Cemento ASTM D 244-76	2.0 max.
Carga de la Partícula	Clase de afinidad	ASTM D 244-76	Positivo
Concentración de aceite por ciento	Comprobación del contenido de aceite y para calcular	ASTM D 244-76 (MOD) ⁽⁴⁾	60 min.

- (1) Los aceites usados en las emulsiones deben cumplir las especificaciones listadas en la Tabla 1.
- (2) La estabilidad del bombeo se determina cargando 450 ml. de emulsión en un vaso picudo de un litro y hacer circular la emulsión a través de una bomba engranajes rotativa de (Roper, 29. B22621) que tiene un cuarto de pulgada de entrada y salida. La emulsión para si no hay separación significativa de aceite después de circular diez minutos.
- (3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D 244 excepto que el agua destilada debe usarse en lugar de la solución de oleato de sodio al 2%.
- (4) La prueba de evaporación ASTM D 244 para el por ciento de residuo está modificada en que se calientan 50 gramos de la muestra a 148°C, hasta que cesa la espuma, entonces se enfría inmediatamente y se calculan los resultados.

Después de la referencia G3

TABLA G2 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA LOS MODIFICADORES EMULSIONADOS

Propiedad	Función y Objetivo	Método de Prueba	Especificaciones
Viscosidad a 77°F, SFS	Fácil 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 RECICLAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFALTO-AGREGADO

Compañia	Nombre o Identificación del producto	Historia de su uso	
		Estudio en el Lab.	Estudio de 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.	XITY-125B	x	
	Mobilcol 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.	Sundax 840T	x	
	Sundax 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
	Refined Oil	x	

Continued

Names and Addresses

Arizona Refining Company
P. O. Box 1453
Phoenix, Arizona 85001
602-258-4843

Ashland Petroleum Company
P. O. Box 391
Ashland, Kentucky 41101
606-739-4166

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

Cenex

Montana

Chem-Crete Corporation
2180 Sand Hill Road
Suite 340
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

Saunders 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



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tres maneras para hacer rendir el dinero destinado
al mantenimiento de las calles

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

of
...

... ..

...

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

TRES MANERAS PARA HACER RENDIR EL DINERO DESTINADO AL
MANTENIMIENTO DE LAS CALLES.

Calentamiento-Remezclado, rejuvenecedor del cemento asfáltico y el Slurry Seal, renuevan los pavimentos deteriorados, manteniéndolos bien por mucho tiempo y a un bajo costo de reparación.

By Henry Van Dyke, Jr.,
Director de Obras Públicas,
Mill Valley, Calif.

Aquí se describe como muchas ciudades han encontrado que la competencia incrementada entre varias obras urbanas, dá a los programas de mantenimiento de calles menos importancia.

Nosotros encontramos que la práctica normal de recubrimiento de calles --cos. dos pulgadas de concreto asfáltico, si se usa cada vez, resulta en un programa de mantenimiento negativo debido a la inflación. Por otro lado, la alternativa de usar Slurry Seal en un pavimento agrietado, produce un beneficio limitado en el sellado.

Para hacer rendir nuestro dinero, destinado al mantenimiento, nosotros empleamos un sistema de recubrimiento en tres fases las cuales son: Calentamiento-Remezclado, RECLAMITE y Slurry Seal, para rehabilitar 50,000 metros cuadrados de calles de la ciudad.

Las calles que se consideraron para poner en práctica éste nuevo tratamiento, variaron desde diez a cuarenta años de antigüedad, y a excepción de unas cuantas fallas localizadas, su estructuración era buena. Como el asfalto estaba envejecido, se habían desarrollado grietas por contracción las cuales alcanzaban hasta dos pulgadas de ancho en algunos casos.

El tratamiento de las grietas, usando materiales seleccionados para su --relleno, no había probado ser una solución efectiva de largo alcance. Las lluvias del invierno, seguían provocando áreas de inestabilidad. El polvo arrastrado por el viento y los finos continuaban introduciéndose en --las cavidades y abrían aún más las grietas.

Las calles ya estaban ásperas y su mezcla asfáltica muy deteriorada, la --renivelación del alabeo en algunos lados era de 4.0 cms., lo cual constituyó la primera consideración en cualquier programa de rehabilitación del pavimento.



Fotografía 1.

Se hizo una aplicación primaria de Slurry Seal para alisar la textura superficial del pavimento. Se usó un aditivo de liga para desarrollar una buena adherencia entre el pavimento viejo nivelado y el Slurry Seal.

Fotografía 2.

Compactando con rodillo el pavimento escarificado, antes de aplicar el Slurry Seal, proporciona una carpeta resistente al desprendimiento.



Fotografía 3.

La escarificación y el tratamiento de liga se efectuaron un día antes de que se aplicara el cubierto de sello.



PROCESOS COMBINADOS

Se combinaron los procesos de calentamiento-remezclado, aplicación de rejuvenecedor del pavimento y Slurry Seal, debido a que en conjunto todos habían probado ser excelentes herramientas para el mantenimiento, en sus aplicaciones previas. La ciudad había usado el calentamiento-remezclado durante varios años conjuntamente con el recubrimiento. Estábamos complacidos con la manera de obtener la integración del pavimento existente con el nuevo recubrimiento, constituyendo una reparación duradera y de buena calidad. El Slurry Seal, se había usado en algunas calles de menor importancia, que estaban muy deterioradas, pero que requerían una aplicación de sellado de asfalto para reducir la filtración del agua en su superficie. A pesar de que se hicieron dos aplicaciones, pronto aparecieron pequeñas grietas que se extendieron por toda la superficie.

Nosotros vimos que los pavimentos asfálticos envejecidos habían recobrado una condición más flexible para minimizar el agrietamiento por reflexión. Los recubrimientos sin un tratamiento previo pronto resultaron con agrietamiento por reflexión, debido a la acción térmica.

El proceso de calentamiento y cepillado (rebajado) de los pavimentos asfálticos, evolucionó a medida que los recubrimientos asfálticos se elevaban -- hasta el punto de que su altura se volvía indeseable en la corona ó bien -- sobrepasaba el nivel de las aceras, eliminando las coladeras y las cumetas, provocando problemas de drenaje. El pavimento podría ser, ya sea cepillado para el renivelado ó bien removido para dar paso a una nueva pavimentación. En nuestro caso teníamos que reducir las zonas altas.

Nuestro contratista usaba escarificadores hidráulicos, ó "rastrillos", siguiendo a la cámara de calentamiento para escarificar el pavimento superficial, mientras estaba en estado plástico.

Los rastrilleros con resortes individuales se conformaban a las irregularidades de la superficie y de la corona del camino. Mientras penetraban el pavimento caliente, una acción niveladora reducía las grietas localizadas -- así como los baches. La irregularidad de nuestras calles se corrigió y aún las grietas más anchas se rellenan, mientras los rastrillos cortaban hasta 3/4" de profundidad.

Un beneficio colateral, es que las contaminaciones de aceite, derrame de --

combustible y de pinturas para señales se oxidaron por el calentamiento. La eliminación de éstas fuentes de problemas futuros, resultó en una mejor adhesión para el recubrimiento con el Slurry Seal.

MODIFICACIONES

Deben hacerse algunas modificaciones en las especificaciones cuando se substituye el Slurry Seal, por un recubrimiento final de concreto asfáltico. El calentamiento y remezclado se elimina y, antes de aplicar el riego de sello, se efectúa la compactación. Esto es para asegurar la superficie lisa satisfactoria para recibir el Slurry Seal. Esto se logra mejor por medio de rodillos neumáticos y de acero. Cuando se va a tender un recubrimiento asfáltico arriba del remezclado-calentado, la compactación se realiza después de que el nuevo material asfáltico es tendido.

Después de que la superficie escarificada y remezclada se trató con el agente rejuvenecedor RECLAMITE, se mejoró y suavizó el aglutinante viejo. Aunque se pueden usar diferentes grados de asfáltos rebajados y emulsiones asfálticas para el mismo propósito, nosotros encontramos que la solución RECLAMITE trabajó mejor. Usando en la construcción de sello en forma diluida el producto concentrado se distribuyó sobre la superficie remezclada. El resultado fue una mayor cantidad de cemento asfáltico con mejor ductibilidad y penetración, incrementando su resistencia a la fatiga ó al agrietamiento por contracción.

Las calles incluidas en el proyecto se recubrieron con una aplicación doble de Slurry Seal. Fue necesario una primera aplicación de Slurry Seal, actuando como riego de liga, sellador y nivelador, debido a la textura dejada por el tratamiento previo de calentamiento-remezclado. La segunda capa de Slurry Seal, proporcionó una superficie de rodamiento nivelada y uniforme, con buena resistencia al derrapamiento. El diseño del Slurry Seal se basó en la especificación (sección 37-2 modificada para el uso de la emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido, Chevron Asphalt OSK-h), del Departamento del Transporte, de California. El agregado era un material cien por ciento triturado, con un equivalente de arena arriba de 60. La aplicación doble del Slurry Seal, produjo un rendimiento de 20 a 24 libras por yarda cuadrada. En el futuro, planeamos especificar el Slurry Seal, en base al peso más bien que por área.

La ventaja económica del sistema en serie de tres pasos, sobre los recubrimientos convencionales, se vió cuando el recubrimiento de 50,000 metros cuadrados en quince calles, resultó de \$ 2.75 por metro cuadrado. Los subcontratistas Valley Slurry Seal, para el riego, aplicaron el Slurry Seal con tres Young Model 804 Slurry (máquinas) de seis metros cúbicos de capacidad.

El trabajo procedió rápidamente con la operación de Slurry Seal emparejada con el calentamiento y remezclado con RECLAMITE como tratamiento previo, algunas veces. Para evitar la interferencia mantuvimos el trabajo de tratamiento previo cuando menos un día adelante del Slurry Seal. El tiempo de dilación también fue adecuado para que el RECLAMITE penetrara en el pavimento.

Antes de que fuera aplicado el Slurry Seal, se barrió y recogió el material desprendido por el tránsito. Usando el tendido rápido del Slurry Seal se hizo posible realizar ambas aplicaciones sobre el pavimento en el mismo día, para que las calles fueran cerradas solamente una vez para la operación de sellado.

Aunque el autor preparó el presente artículo basado en su experiencia con el procedimiento, aplicando calentamiento-remezclado, en la ciudad de Martinez, Calif., él planea continuar el uso de dicha técnica en la nueva localidad. En su primera reparación de calles en Mill Baley usará el calentamiento-remezclado con un recubrimiento asfáltico de 2".

C. L. White, Jr.,
Superintendente de pavimentación de calles en
Abilene, Texas. .

Sin un riego de selló aún, los pavimentos de concreto asfáltico nuevos en Abilene, Texas, se empezaron a agrietar y a tener desprendimientos rápidamente. El deterioro superficial en algunos de ellos fué relativamente severo dentro de un año debido a que el cemento asfáltico cerca de la superficie se oxida y se hace quebradizo. Para evitar ésto, nosotros primeramente sellábamos con asfalto y cubríamos con agregado rápidamente y con frecuencia; pero un ligero riego de un nuevo rejuvenecedor del asfalto, que se aplicó por primera vez hace como 6 meses promete retardar el primer mantenimiento de la carpeta en aproximadamente 6 ú 8 años; y cuesta aproximadamente de 1.10 a 1.30 pesos por metro cuadrado incluyendo todo el material, equipo y mano de obra (más otros 0.15 pesos para el arenéo necesario para la resistencia al derrapamiento cuando sea requerido) los riegos de selló (con asfalto y recubrimiento de agregados) sólomente solucionaban en forma parcial los problemas del pavimento y cada uno presentaba las incomodidades del polvo y material desprendido. Recubriendo con una carpeta ligera, usando una pavimentadora se hubieran eliminado tales incomodidades, pero nosotros deseábamos encontrar un método más económico.

En noviembre de 1966, encontramos la respuesta en RECLAMITE, un agente rejuvenecedor del asfalto manufacturado por la Golden Bear Div., de Witco Chemical que químicamente es un asfalto que contiene dos componentes, asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos son los hidrocarburos no solubles o carbón negro. Los maltenos incluyen varios aceites y resinas en el asfalto. El RECLAMITE es una emulsión catiónica de maltenos que penetran en el pavimento y se convierte realmente en una parte del aglutinante asfáltico. Este agente rejuvenecedor restaura en buena parte las características de penetración y ductilidad que el cemento asfáltico en general pierde durante el mezclado y la colocación. Simultáneamente, también sella la superficie.

DILUCION AL 50%

Antes de aplicar el agente rejuvenecedor nosotros diluímos cada litro de concentrado con medio litro de agua. La proporción de aplicación depende en gran parte de la edad de los pavimentos y de su densidad. Probamos nuestros pavimentos en el campo para determinar la cantidad del material que penetraría en una hora. Los pavimentos densos y viejos, generalmente requieren sólo 0.35 litros por metro cuadrado. Los

pavimentos nuevos, por el contrario, requieren aproximadamente 50% más. Nuestra Petrolizadora de asfaltos con capacidad de 6,000 litros, aplica el agente rejuvenecedor sin calentar, en un carril cada vez.

Algunos pavimentos más viejos con una cantidad considerable de agregado pulido -- sin cubrir se vuelven resbaladizos después del tratamiento por lo que nosotros aplicamos un ligero recubrimiento de arena angulosa limpia (aproximadamente 0.8 litros por metro cuadrado).

La arena limpia y angulosa proporciona la máxima resistencia al derrapamiento sin que se afecte la acción del agente rejuvenecedor. Siempre que sea posible se cierra el carril al tránsito por 30 minutos después de aplicar el agente rejuvenecedor. A continuación se adiciona la arena y se abre nuevamente. El tránsito desecha la arena en menos de un día.

P R U E B A S.

Los pavimentos nuevos que pueden permanecer cerrados al tránsito por varias horas después del tratamiento no necesitan el areneo. Las pruebas hechas con automóviles estándar equipados con frenos de potencia indican un alto grado de resistencia al derrapamiento en unas cuantas horas, cuando la mayor parte del agente rejuvenecedor se ha infiltrado. Los ingenieros constructores reportan que las pruebas para determinar la resistencia al derrapamiento que se efectuaron en el Aeropuerto Internacional El Paso, también mostraron alta resistencia al derrapamiento, -- unas cuantas horas después de la aplicación de RECLAMITE. Los procedimientos estandarizados de la fuerza aérea de los Estados Unidos, se aplicaron a través de una inspección de las condiciones de derrapamiento usando un decelerómetro S/N -- 6695-766-3927. Los ingenieros consideran los valores obtenidos con el decelerómetro, de más de 15, como satisfactorio para la seguridad del aterrizaje de la mayoría de los Jets militares. La mayoría de los valores de la prueba tanto en húmedo como en seco de los pavimentos tratados (sin arena) registraron valores de seguridad superiores a 20.

Las peores condiciones para el derrapamiento que podrían esperarse serían en un pavimento relativamente nuevo con un sello fresco y en condiciones húmedas; pero un pavimento de concreto asfáltico de dos meses de edad en uno de nuestros fraccionamientos, tratado con 0.55 litros por metro cuadrado del agente rejuvenecedor, exhibió resistencia normal al derrapamiento durante una lluvia, tres días después -- del tratamiento.

El empleo de este agente rejuvenecedor como sellador, mejora el pavimento en varias formas:

Restaurar las características perdidas, de penetración del asfalto, que ocurren durante la construcción. La tabla proporciona un análisis de las propiedades físicas del cemento asfáltico proveniente de pavimentos de la misma edad tratados y sin tratar.

Sella la superficie más efectivamente y por más tiempo contra la infiltración del agua y del aire minimizando así la intensidad de la oxidación del cemento asfáltico en toda la capa del pavimento.

Se reduce el desprendimiento.

La experiencia de varias fuentes indica que no se requiere mantenimiento de la carpeta en un tiempo de 6 ó 8 años.

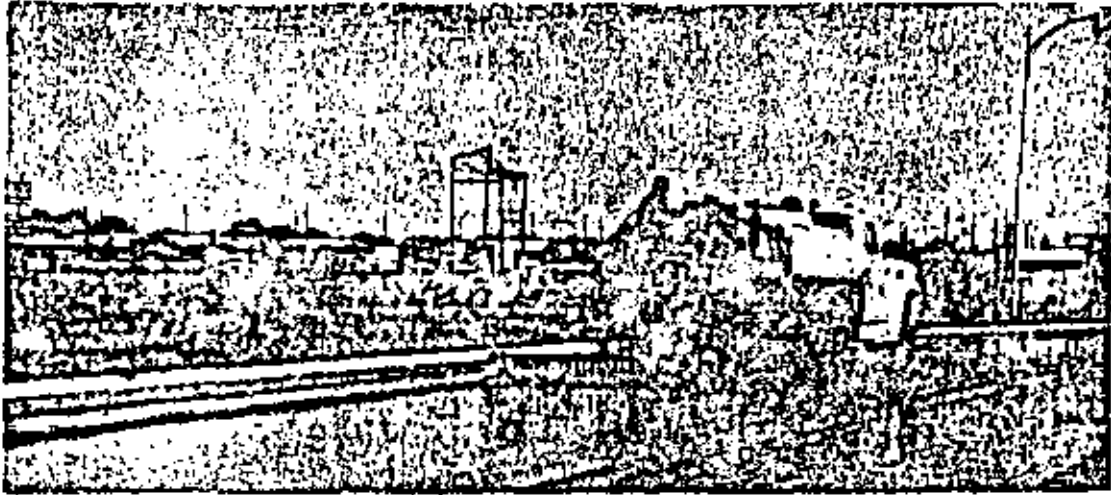
La tabla muestra los resultados de las pruebas en dos corazones sacados de la parte superficial (6 milímetros de profundidad) de una calle construida recientemente. El corazón núm. 1 proviene de un área de concreto asfáltico tratada en la calle -- Brent Wood que tenía 4 semanas de edad cuando fue tratada en noviembre de 1966. El RECLAMITE se aplicó en una cantidad de 0.5 litros por metro cuadrado. El corazón de prueba se tomó el 13 de julio de 1967, 8 meses después del tratamiento. El corazón núm. 2 proviene de una área que se dejó sin tratar a propósito, de aproximadamente 2.40 mts. de distancia del corazón núm. 1, el corazón de la zona tratada recobró la mayoría de sus valores de penetración originales que eran de 76.4. En contraste, el corazón sin tratar dió valores quebradizos de 19.8 .

Corazones tratados Vs. No tratados.

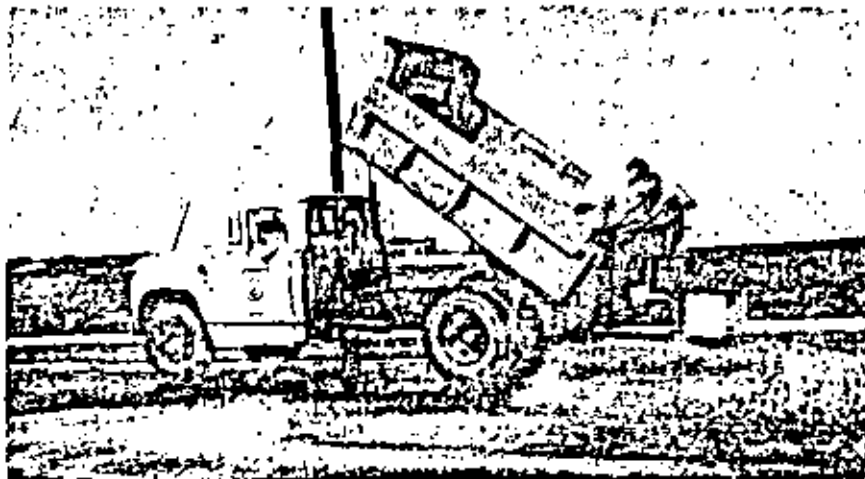
Corazón núm.	Penetración Equivalente	Microviscosidad 0.05 seg-1	Megapoises 0.001 seg-1	Susceptibilidad al corte
1 tratado	76.35	1.35	2.05	Tan 6.4° = 0.11
2 sin tratar	19.8	25.5	198.0	Tan 28.5° = 0.51

El valor de penetración de un cemento asfáltico es una medida de su consistencia a una temperatura dada (ASTM Método de Prueba # 5). Los valores de microviscosidad y megapoises son medidas de la viscosidad para diferentes velocidades de corte. También miden la consistencia.

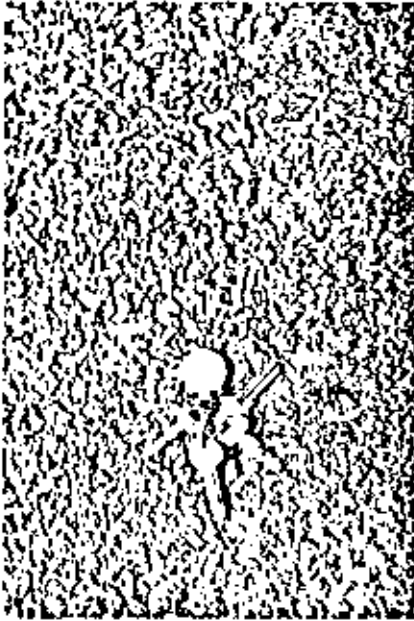
Fotografía 1, La aplicación del agente rejuvenecedor en una cantidad de 0.45 litros por metro cuadrado, está reemplazando los riegos de sello.



Fotografía 2, Si las calles deben abrirse con prontitud al tránsito después de aplicar el líquido, un areneo ligero (0.8 litros por metro cuadrado) con arena limpia y angulosa proporciona resistencia al derrapamiento.



Fotografía 3. Ambos pavimentos tienen un año de edad. El de la izquierda no recibió tratamiento rejuvenecedor y muestra una tendencia al desprendimiento. El que fué tratado mostrado a la derecha exhibe una superficie mucho más cerrada.



//

'MANTENIMIENTO DE AEROPISTAS EN LONG BEACH'

Tomado de el Mundo de Aeropuertos (Airport World)

El uso de RECLAMITE sobre el remezclado en caliente, se aplicó en los recubrimientos de aeropistas con tránsito muy pesado.

Quando fueron diseñadas y construídas, antes de la Segunda Guerra Mundial, las primeras aeropistas en el Aeropuerto Municipal de Long Beach, Calif., no se conocían los requerimientos para el tránsito. Actualmente, sin embargo, en términos de operaciones totales, el aeropuerto ocupa el sexto lugar en tránsito en la Nación.

Como resultado recientemente se hizo necesaria la renovación de tres de las principales aeropistas - dos de carriles paralelos Este-Oeste y una diagonal -, para poder resistir las cargas incrementadas por el tráfico, eliminar desniveles y proporcionar un pavimento adecuado en resistencia, para las pesadas aeronaves de hasta ciento cincuenta y nueve toneladas.

Los ingenieros civiles de la ciudad, se encararon con la tarea de encontrar medios para realizar ésta obra sin interrumpir completamente las actividades de vuelo ó asumir las grandes cargas financieras involucradas en un programa mayor de reconstrucción. La oficina de ingeniería de la ciudad, bajo la dirección de Jess D. Gilkerson, finalmente decidió realizar un programa a base de capas de recubrimiento, incluyendo los procedimientos de calentamiento-remezclado agente rejuvenecedor.

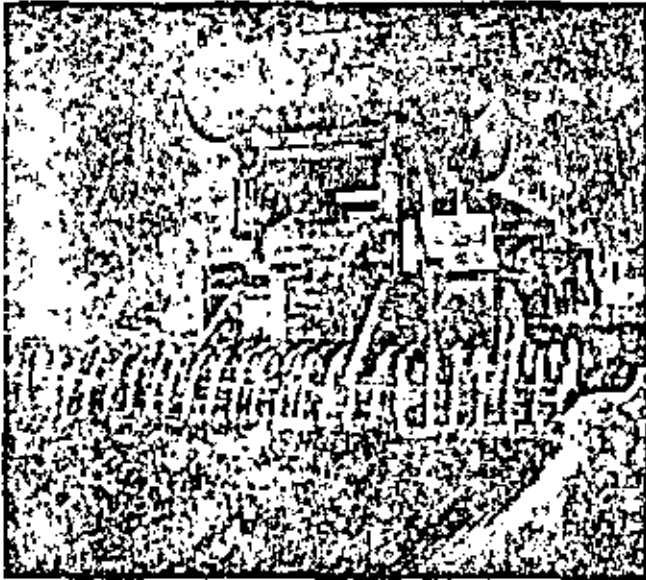
El proyecto calificado por la F.A.A., que participó en el costo, consistió esencialmente en calentar el pavimento existente, escarificarlo a una profundidad de 3/4", regarlo aproximadamente con 0.15 galones por yarda cuadrada de agente rejuvenecedor, y luego recubrirlo con una capa de concreto asfáltico del espesor designado.

En 1941, se construyeron dos aeropistas páraalelas Este-Oeste, la 7L-25R y la 7L-25L. Su construcción consistió en una carpeta de concreto asfáltico-nueve centímetros sobre una base de trece centímetros de granito descompuesto sobre una subrasante compactada de 15.2 centímetros. Los espesores fueron incrementados a 11.5 centímetros, para la carpeta de concreto asfáltico sobre una base de 17.8 centímetros de granito alterado, a lo largo de las orillas.

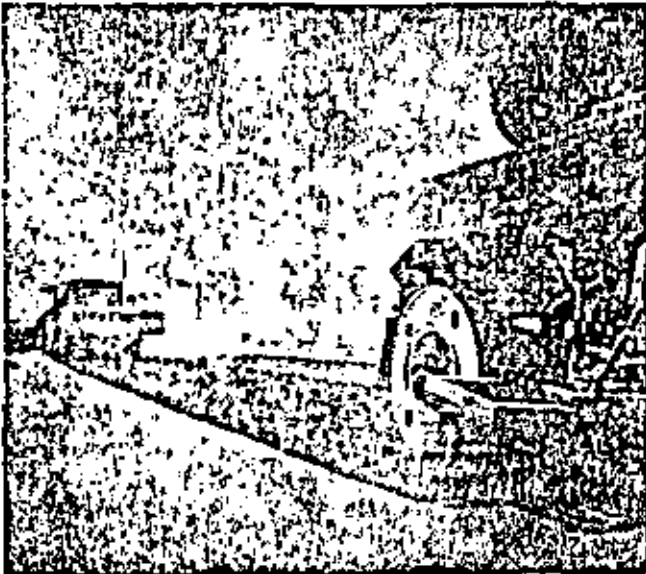
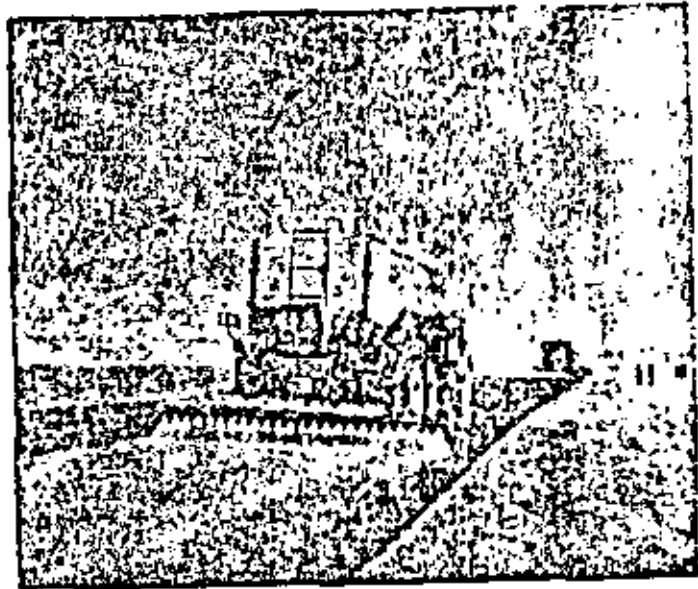
Las reparaciones subsecuentes en varias áreas, incrementaron los espesores de la carpeta y de la base. (La aeropista 7L-25R es un área particularmente crítica, debido a que está sujeta a una actividad de tránsito de acomodo y maniobras, así como aterrizaje y despegue de Aeronaves comunes y de tipo jet).

La aeropista diagonal, 12-30, que fue construída en 1953, y extendida en 1958, consistía de 7.6 centímetros de carpeta de concreto asfáltico, sobre una base de agregados triturados, variando su espesor entre 25 y 33 centímetros.

Fotografías 1, 2 y 3.- Máquinas calentadoras-remezcladoras (partes izquierda superior e inferior) calientan y escarifican los pavimentos viejos en las aeropistas de Long Beach, - las dos máquinas están operando en tandem. El camión distribuidor (parte derecha) aplica la emulsión rejuvenecedora RECLAMITE. El tránsito y las cargas, incrementados sobre éstos pavimentos causaron deterioros y asentamientos diferenciales que requerían nivelaciones y reparaciones. Todas las superficies habían recibido, en una u otra ocasión, - aplicaciones de pinturas de aceite y agua, marcas para maniobras en tiempo de guerra, manchas bituminosas y cubrimientos de Slurry Seal y varios tipos de recubrimientos con alquitranes para proteger las bases.



F O T O G R A F I A S 1, 2 y 3



La presencia de éstos recubrimientos, depósitos de aceite, contaminación de las llantas y las grietas por fatiga, presentaban problemas con respecto a planos de esfuerzo cortante que se pudieran desarrollar y causar una adhesión inadecuada del pavimento viejo y el nuevo recubrimiento.

Se seleccionó el método de calentamiento-remezclado para solucionar todas las dificultades. Dicho método involucra el calentamiento y la escarificación de la superficie para una trabazón integral de los materiales viejos y nuevos.

Muchas dependencias han empleado éste procedimiento para recubrir los pavimentos asfálticos existentes en las calles, estacionamientos, aeropistas, y han ahorrado muchos contratos durante todos éstos años.

Las aeropistas ya recubiertas con éste método, incluyen las del Aeropuerto Internacional de los Angeles, Internacional de San Francisco, Pampas, Texas Hobbs New Mexico. Las bases de la fuerza aérea de Mountain Home y Travis, el Aeropuerto del Paso Texas, la Estación Aéro-Naval en Point Magu y en las bases Navales en China Lake.

La construcción se inició en los primeros de agosto, cuando la Cfa. Sully - Miller de Long Beach, inició la escarificación del pavimento asfáltico con 4 unidades calentadoras-remezcladoras. Las máquinas, bajo subcontrato de la Cía. G.J. Paine de Culver City, trabajaron en pares, una siguiendo a la otra, para asegurar la debida profundidad de 3/4" en la escarificación y lograr el acoplamiento para la operación más rápida de las máquinas pavimentadoras.

Inmediatamente después de ésta operación, se aplicó el agente rejuvenecedor de asfalto RECLAMITE, por medio de un camión distribuidor, sobre el material suelto. El agente de RECLAMITE, proveniente de Witco Chemical's Golden Bear Division, se recomendó para éste procedimiento, debido a su capacidad para restaurar la flexibilidad y ductibilidad del pavimento existente - que había perdido las resinas y aceites del asfalto por envejecimiento.

Las pruebas sobre el pavimento y su comportamiento indicaron que el proceso

de calentamiento-remezclado/rejuvenecimiento, tiene varias ventajas básicas sobre los procedimientos convencionales para recubrir los pavimentos:

Asegura la adhesión, rejuvenece el pavimento viejo escarificado, logra - - cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible; y elimina las - - grietas superficiales en el pavimento existente, retardando así el agrietamiento por reflexión. Este procedimiento evita tendencias de rechazo entre el pavimento viejo y el nuevo. Debido a que el recubrimiento, en los aeropuertos involucraba varias intersecciones de dos ó más aeropistas, algunas capas de recubrimiento fueron necesarias en todos ellos para evitar desniveles indeseables y peligrosos en las intersecciones.

En éste trabajo necesario en dos aeropistas Norte-Sur, 16L-34R y 16R-34L, - las cuales no participaban de ayuda federal, los ingenieros de la ciudad - decidieron, sin embargo, dar a éstas áreas un recubrimiento substancialmente en exceso del que hubiera sido necesario para una mera intersección de transición.

La pista Este-Oeste 7L-25R, recibió un recubrimiento con espesor ligeramente mayor a 7.6 centímetros, según lo determinó la especificación de la - - F.A.A., para lograr un espesor total del pavimento de 34 centímetros. La pista paralela 7R-25L, se recubrió con un espesor asfáltico de 5 a 6 centímetros en el centro, y gradualmente a 2.5 centímetros en la orillas.

Se aplicó un recubrimiento de 9 centímetros cerca del centro de una pista diagonal 12-30, descendiendo gradualmente a menos de 5 centímetros a lo - - largo de carriles de 23 metros del centro y aproximadamente 2.5 centímetros en sus orillas.

Se usaron dos pavimentadoras Barber-Greene y cuatro rodillos de acero para colocar la capa asfáltica. La obra se terminó el pasado otoño, con un total de 68,000 Tons. de concreto asfáltico y casi 420,000 metros cuadrados - de recubrimiento a base de calentamiento-remezclado. El total de las operaciones en la instalación, de acuerdo con el Director del Aeropuerto, se redujeron aproximadamente en 2% durante los períodos de construcción. La mayoría de las pérdidas fueron locales, debido a las prácticas de despegue de las escuelas de aviación que se eliminaron mientras la obra de recubrimiento estaba en ejecución.

El programa de recubrimiento arrasó virtualmente todas las marcas de señalamiento en las pistas y en algunas zonas de acceso. Después de que el asfalto se había curado durante algún tiempo, y durante períodos compatibles con la operación del aeropuerto, los equipos de mantenimiento de la ciudad de Long Beach, completaron las marcas necesarias en las pistas.

El éxito en el programa de construcción del pavimento, se debió a que se contó con la colaboración del personal del aeropuerto, la torre de control de vuelos y del contratista.

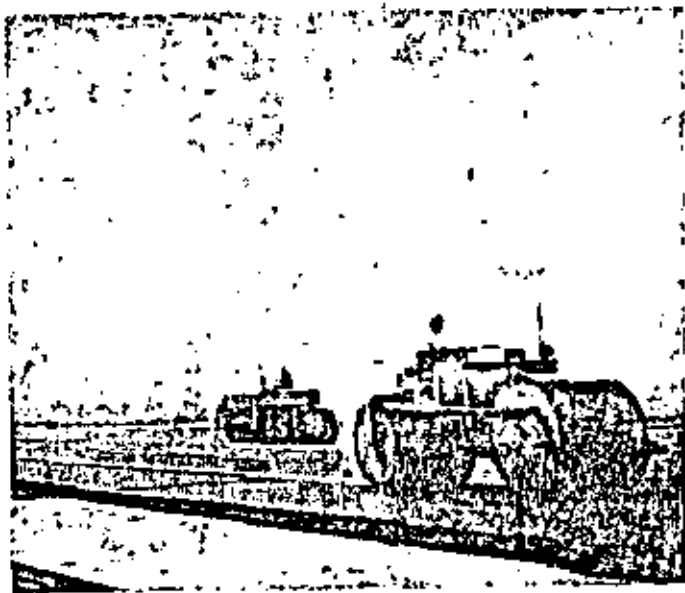
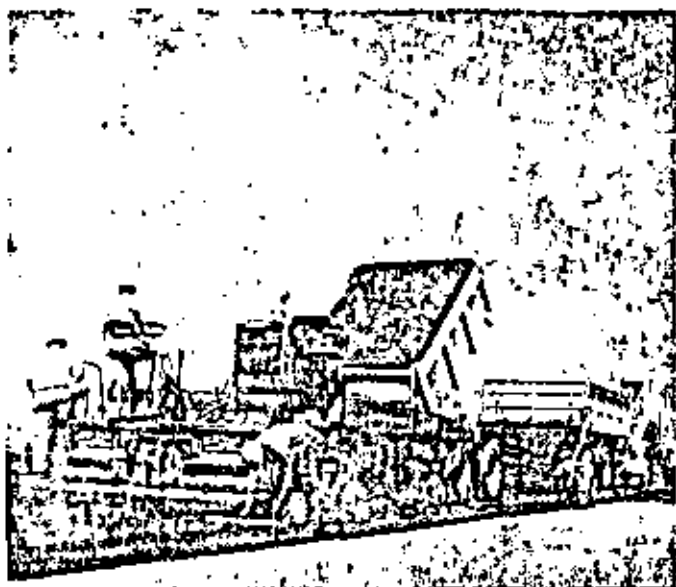
Durante las operaciones de pavimentación, entraban y salían de las áreas de vuelo 40 camiones por hora. Si se hubieran empleado los procedimientos convencionales de recubrimiento, se hubiera necesitado de dos a tres veces más el número de vehículos necesarios para remover y recolocar las secciones de material afectadas ó con fallas, y por lo tanto se hubiera multiplicado la confusión y los peligros.

Tanto los ingenieros del Departamento de la Ciudad, como los de la F.A.A., quedaron complacidos con los resultados de las pruebas durante el procedimiento de Calentamiento-Remezclado y RECLAMITE, como en las pruebas posteriores a la construcción. Como parte de la obra se establecieron áreas de control con recubrimiento sin remezclado, y remezclado con una emulsión para riego de sello, y así poder realizar la comparación y un estudio más amplio.

Fotografía 4.- Nicholas Dalas (a la izquierda), Director del Aeropuerto de Long Beach, y el Ing. de la ciudad Jess D. Gilkerson, inspeccionando los trabajos de recubrimiento en el sexto Aeropuerto en cuanto a tránsito, de la Nación Americana.



Fotografías 5 y 6.- Dos máquinas Barber Greene (a la izquierda), tienden la mezcla asfáltica nueva sobre el pavimento escarificado y tratado con RECLAMITE. Los rodillos de acero (a la derecha), usados para compactar el nuevo pavimento, después de terminada la sección recubierta.



MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS EN ABILENE:

Por: C. L. White, Jr., y James E. Baxendale

Se ha probado que el uso de un agente rejuvenecedor como sellador, es de gran valor para los pavimentos nuevos de concreto asfáltico en Abilene, Texas. Antes de las pruebas experimentales en 1965, el mantenimiento de las calles era necesario dentro de los cinco años siguientes. Ahora pasan seis a ocho años antes de que el pavimento requiera mantenimiento.

El costo de la aplicación del material es de 1.10 pesos por metro cuadrado, (una mejora sobre el uso acostumbrado de los riegos de sello, de asfalto y recubrimiento triturado). No solamente se prolongó la vida al pavimento, adicionada al ahorro posterior en los costos, sino que el agente rejuvenecedor resolvió el problema del desprendimiento de agregado y polvo asociado al método de sellado de costumbre.

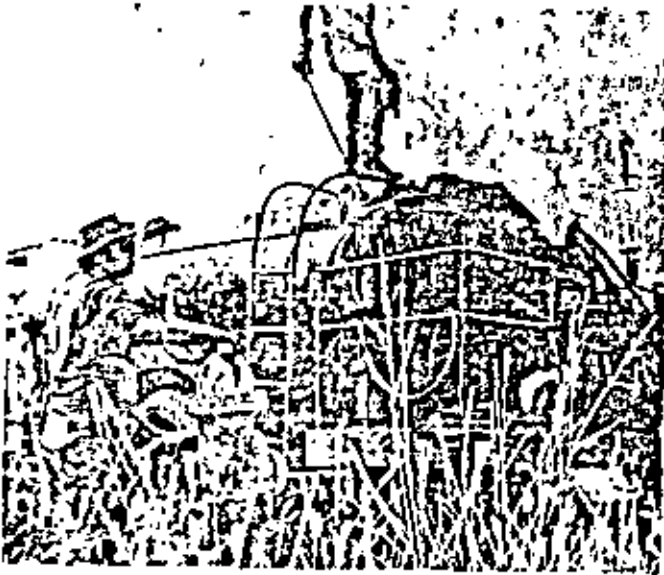
Experimentación. Las carpetas asfálticas nuevas son generalmente de 2.5 cms. de espesor en las calles residenciales y de 5.0 cms. en las de mayor tránsito. En -- 1975, una sección de la calle Brent Wood, en la zona residencial, se pavimentó de la manera normal. La mitad de la calle fué tratada y la otra mitad se dejó sin -- tratar. Se tomaron corazones de prueba y se analizaron después de varios meses y los resultados fueron positivos.

Después de un año y medio, la diferencia entre las dos áreas de pruebas era claramente visible, por lo que la parte sin tratar se regó, entonces con el agente rejuvenecedor. Aún con el retardo, hubo algunas mejoras en el lado sin tratar.

Las pruebas continuaron mientras el agente formaba parte de los nuevos programas de construcción del Departamento.

La tabla muestra los resultados de las pruebas de dos corazones sacados de la parte superior (6 milímetros de profundidad) en un pavimento recién construido. El corazón número 1, provenía de una área de concreto asfáltico tratada, en la calle Brent Wood, que tenía 4 semanas de construída cuando fué tratada en noviembre de 1966.

Se aplicó el agente a razón de 0.55 litros por metro cuadrado. El corazón de prueba se tomó 8 meses después del tratamiento. El corazón núm. 2 fué tomado de una -- parte que se dejó sin tratar a propósito, cerca de 2.40 mts. de distancia del corazón núm. 1. El corazón de la zona tratada recobró la mayoría de su valor de penetración original y fué de 76.4 . En contraste, el corazón sin tratar dió valores -- de apenas 19.8 .

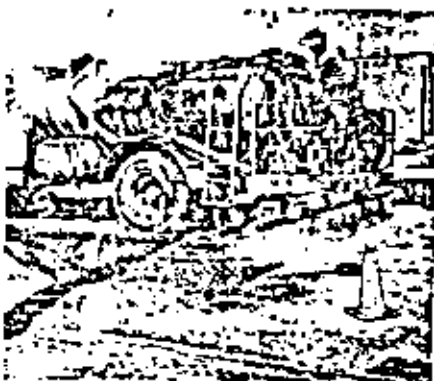


Fotografía 1, Adicionamiento de agua al tanque, - proveniente del - hidratante en frente de la zona de - mantenimiento.

Fotografía 2, Acaba de pasar un camión en la sección central que había sido regada apenas hace diez minutos.

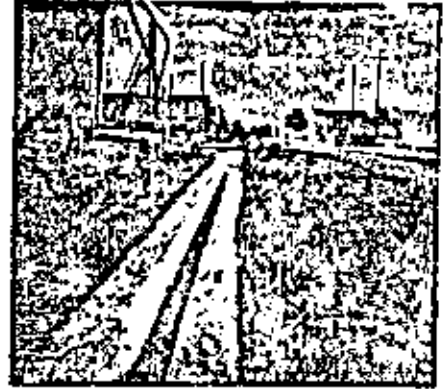


Fotografía 3, Trabajando sobre una carretera principal recién pavimentada, los camiones riegan la superficie en tres pasadas.





Fotografía 4, Jim Baxendale (a la izquierda) y Charles L. White, revisando el avance de la obra.



Fotografía 5, Close Up del pavimento que fué tratado hace menos de 5 minutos.



Fotografía 6, Vista de la línea de cuneta inmediatamente después del regado.



Fotografía 7, La unidad regando arena angular limpia.

Corazones Tratados Vs. No Tratados.

Corazón Núm.	Penetración Equivalente	Microviscosidad 0.05 seg-1	Megapoises 0.001 seg-1	Susceptibilidad al corte
1 tratado	76.35	1.35	2.05	Tan 6.4" = 0.11
2 sin tratar	19.8	25.5	198.0	Tan 28.5" = 0.51

El valor de penetración de un cemento asfáltico es una medida de su consistencia a una temperatura dada (ASTM Método de Prueba # 5) Los valores de microviscosidad y megapoises son medidas de la viscosidad para diferentes velocidades de corte. También miden la consistencia.

Proceso de aplicación. El agente rejuvenecedor se almacena en una de las tres secciones de 15,000 litros de un gran tanque de almacenamiento en la calle que dá al patio del Departamento. Se reparte en carro-tanque en cargas de 20,000 litros desde la Ciudad de Oklahoma, a unos 565 kms. hacia el noreste. Cuando el distribuidor está listo para salir, se bombean 3,785 litros del agente a un camión de 5,700 litros, y se agregan 1,900 litros de agua. El camión tiene una barra regadora de 4.30 mts., para que cubra la mitad de una calle de 9.0 mts. de ancho 8.60 metros de concreto asfáltico de cuneta a cuneta. Cuando siega, la petrolizadora viaja a 240 metros por minuto. La aplicación del agente se hace tan pronto sea posible después de la pavimentación, al siguiente día se es práctico, o dentro de 30 días cuando más, si interviene un período más largo el tránsito afectará la superficie y se obstruye la penetración.- Antes de aplicar el agente rejuvenecedor, cada litro de concentrado se diluye con medio litro de agua. La cantidad de aplicación depende de gran parte de la edad de los pavimentos y de su peso específico (densidad).

En el campo se prueban los pavimentos para determinar la cantidad de material que penetrará en una hora. Los pavimentos viejos y densos, generalmente requiere solamente 0.36 litros por metro cuadrado. Los nuevos pavimentos, por el contrario requieren aproximadamente 0.55 litros por metro cuadrado el agente rejuvenecedor - sin calentar se aplica en un carril cada vez.

Algunos pavimentos más viejos con una cantidad considerable de agregado pulido sin recubrir, requieren una aplicación de arena (aproximadamente 0.8 litros por metro cuadrado) para evitar una posibilidad transitoria, de que se reduzca la tracción durante la absorción.

La arena limpia y angulosa proporciona la máxima resistencia al derrapamiento sin

desplazar el agente rejuvenecedor. El agente puede entonces penetrar en el pavimento en la forma usual. Siempre que sea posible, el carril tratado se cierra -- durante 30 minutos después de aplicar el agente rejuvenecedor. A continuación se agrega la arena y se permite el paso del tránsito nuevamente. Dicho tránsito generalmente remueve la arena dentro del día siguiente en que fué absorbido el agente rejuvenecedor.

Los pavimentos nuevos que pueden cerrarse al tránsito por varias horas después - del tratamiento, hasta que se establece la resistencia normal al derrapamiento, - generalmente no necesitan areneo.

Un pavimento de concreto asfáltico de 2 meses de edad en una de las subdivisiones tratadas con 0.54 litros por metro cuadrado del agente rejuvenecedor, exhibió resistencia normal al derrapamiento durante una tormenta tres días después del tratamiento.

Beneficios: Los beneficios siguientes son evidentes en el uso continuo del agente rejuvenecedor como una nueva construcción de sello:

Restaurar el valor de penetración perdido (por endurecimiento del asfalto) - que ocurre durante la construcción.

Sella la superficie para minimizar la oxidación del aglutinante asfáltico.

Reduce el desprendimiento.

Ha demostrado que reduce el mantenimiento de la carpeta a tal grado que no se necesita durante 6 ó 8 años.

El Sr. White, es Superintendente de pavimentación de calles en Abilene Texas. El Sr. Banxendale es Ingeniero de productos especiales de la Golden Bear Div., Witco Chemical Corp.

Earl Martín, (jefe) y

Edward R. Lampp, P. E., (Director del desarrollo de la comunidad, en Rocky River, Ohio.

Reimpreso de: The American City

Mayo de 1975.

No destruya los pavimentos nuevos para ajustar los drenajes viejos; use el proceso de rejuvenecer el pavimento y lograr que las calles viejas duren hasta que se haga el trabajo bajo la superficie.

Sin un proceso efectivo para rejuvenecer los pavimentos de las calles de Rocky River (población 23,000) se podrían haber gastado \$ 11'500,000.00 pesos para recubrir las calles deterioradas sólo para destrozarlas nuevamente para hacer reparaciones críticas del drenaje. Un programa sistemático para arreglar las calles, usando un aditivo aglutinante emulsificado, costó a la ciudad sólo 830,000 pesos pero quizá lo más importante es que nos permitió posponer nuestro programa de recubrimiento lo suficiente para terminar las obras de drenaje.

Aunque completamente recubiertas hace 8 ó 10 años, algunas de nuestras calles estaban empezando a mostrar signos de falla en la base y agrietamiento por reflexión. La mayoría de los daños (grietas por contracción, piel de cocodrilo y otros signos de envejecimiento) estaban en el pavimento asfáltico en sí. Hacía dos años que la ciudad había probado la aplicación de RECLAMITE en 8,500 metros cuadrados de nuestras calles con diferentes tipos de carpetas que tenían varios grados de deterioro. Antes de que realizáramos esta etapa, pedimos información a diferentes ciudades, estados y dependencias del gobierno para encontrar cual había sido su experiencia para rejuvenecer los pavimentos. La gran cantidad de información que obtuvimos fué virtualmente unánime en la apreciación de sus conceptos. Basados en lo que descubrimos, nosotros realizamos nuestras propias pruebas para:

Determinar la cantidad óptima de aplicación para las calles de Rocky River.

Evaluar la capacidad del pavimento tratado, para resistir el tránsito.

Establecer procedimientos de trabajo adecuados y seguros:

Encontrar y corregir los problemas de coordinación pública.

Aprendimos mucho acerca de lo que se debe hacer y lo que no.

Las pruebas de absorción se realizaron usando un metro cuadrado. Estos cuadros de prueba se marcaron y protegieron para conservar una referencia después de que se había hecho la aplicación de emulsión. Las pruebas mostraron que nuestras calles podrían absorber 0.23 litros por metro cuadrado de emulsión diluida 2:1 con agua

(2 partes de RECLAMITE por una parte de agua). Transcurrieron aproximadamente 15 min. para que esa cantidad de emulsión fuera absorbida por el pavimento viejo. Debido a que las aplicaciones de 0.18 a 1.13 litros por metro cuadrado eran las reportadas por las diferentes fuentes de información que lo habían usado, pudimos disminuir el costo del programa de mantenimiento como resultado de esta serie de pruebas. Como ya lo mencionamos, la aplicación de 0.23 litros por metro cuadrado demostró ser la correcta para la condición de nuestras calles.

Las pruebas de penetración se realizaron después de un período de aproximadamente 8 meses. Estas pruebas proporcionan un índice de la dureza del cemento asfáltico de los pavimentos así como de flexibilidad para resistir el tránsito sin agrietarse.

La penetración del asfalto de la parte superficial (una y media pulgadas de profundidad) en las dos calles probadas fue de 25 a 35% mayor que en las secciones no tratadas inmediatamente adyacente a los cuadros de prueba. Las pruebas adicionales realizadas por los Laboratorios de Prueba "Solar", este año, mostraron que los valores de penetración en las calles tratadas se mantenía substancialmente -- mayor que en las calles sin tratar, aún después de 2 años de estar expuestas al intemperismo y al uso.

Estas secciones de prueba detuvieron el desprendimiento debido a tratamiento con RECLAMITE. Nosotros esperamos que la vida útil de las calles principales de Rocky River se prolonguen de 3 a 5 años y aún en las calles que presentaban el agrietamiento peor (piel de cocodrilo), creemos que la reconstrucción puede aplazarse de 1 a 3 años.

PERDIDA DE TRACCION:

Tuvimos algunos problemas de los cuales otros usuarios nos habían avisado, principalmente caminos resbalosos y huellas del asfalto en las carreteras y en las áreas sin tratar.

La tracción puede ser inadecuada inmediatamente después de la aplicación de RECLAMITE, lo cual fué mostrado por nuestras pruebas. Con objeto de evitar el derrapamiento; el contratista, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes regó arena en las calles. Después del areneo, encontramos que la tracción era suficiente para evitar el derrapamiento en los límites de velocidad establecidos.

En las calles con límites de velocidad arriba de 50 km. por hora, se necesitó un tiempo adicional para permitir que profundizara la penetración de los agentes líquidos de la emulsión. El areneo se realizó antes de permitir el paso del tránsito, por supuesto,

La arena se regó uniformemente sobre la superficie tratada inmediatamente después de la aplicación. La arena que no se incrustó en la superficie, después de dos días ya había sido eliminada.

Las huellas se produjeron durante aproximadamente 48 horas, después del tratamiento. Dichas huellas desaparecieron después de un período de varias semanas debido al tránsito y al clima; provenían del agente aplicado que no penetró o se adhirió a las zonas de concreto. Las huellas en otras áreas recubiertas con pavimento asfáltico no resultaron problemáticas.

Descubrimos un beneficio adicional de la emulsión. Resulta un buen sellador de grietas. Nosotros habíamos tratado de sellar las grietas con alquitrán, pero encontramos que éste es desalojado por el tránsito dejando las grietas totalmente abiertas. La emulsión selladora cierra perfectamente las grietas, y así las conserva. La emulsión concentrada se aplicó en las grietas y se cubrieron con arena. Las grietas más pequeñas se sellaron completamente por el efecto de amasado de la superficie, debido al tránsito.

Las grietas más grandes (hasta de aproximadamente 3.8 cms. de ancho) se sellaron y no hubo desprendimiento de material o ensanchamiento aún después de un año de exposición al uso y al intemperismo.

Este tipo de sellado de grietas es ahora una parte de nuestro programa de mantenimiento. Si una calle va a ser sellada, el contratista debe primeramente sellar todas las grietas usando la emulsión concentrada y la arena, recomendadas por las pruebas. A continuación ya se puede hacer el recubrimiento de sellado de pavimento. Este procedimiento ha probado ser muy efectivo y pospone la necesidad de trabajos y recubrimientos extensivos.

AYUDA PUBLICA:

Los residentes esperan eficacia, especialmente en los trabajos de las calles. Después de una cuidadosa evaluación de la información de las pruebas originales, y con la opinión pública que conocía los resultados, la ciudad programó algunas 40 calles (aproximadamente 220,000 metros cuadrados) para ser tratadas con emulsión. Aunque solamente se terminaron 22.5 km. de calles el año pasado antes de que el clima desfavorable obligara a hacer un alto en el programa, aproximadamente se emplearon 30,300 litros del agente rejuvenecedor.

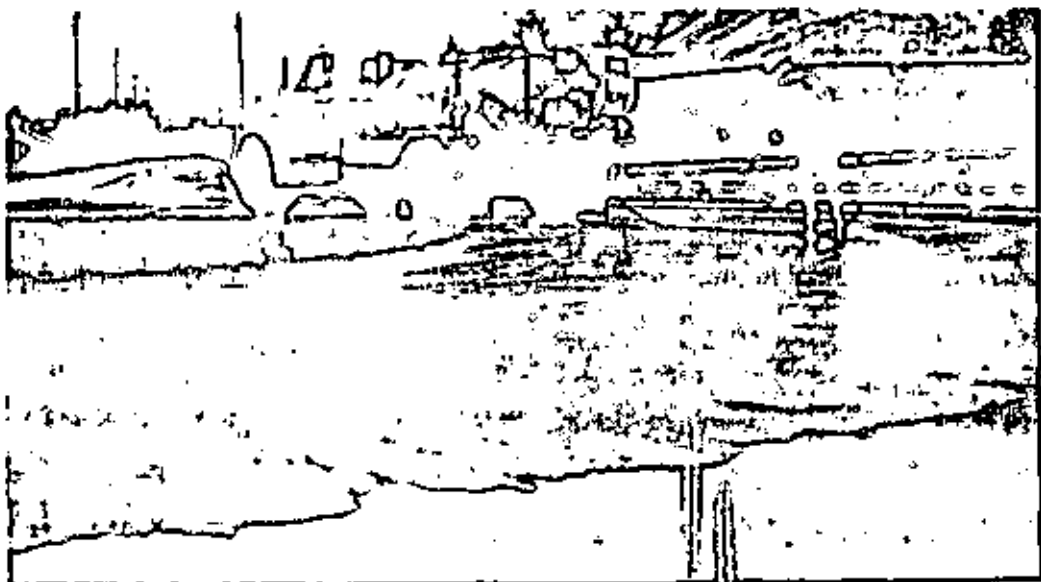
Pero terminamos el trabajo que habíamos dispuesto, aplazando las reparaciones principales de las calles hasta después de que se terminaron las obras de drenaje. En el proceso, también encontramos una herramienta muy valiosa para el mantenimiento, y lo inesperado fué que no se ahorraron fondos para la reconstrucción de calles,-

lo cual ayudará a cubrir cualquier incremento en el costo de nuestro programa de recubrimiento. Ya que el financiamiento de cualquier proyecto municipal es siempre un problema muy latoso, esta ventaja secundaria de favorecer la economía no debe pasar desapercibida.

Fotografía 1, Después de 20 min. la superficie tratada fue preparada para adquirir buena tracción por medio del areneo y polvo de roca en una proporción de aproximadamente 1 litro por metro cuadrado.



Fotografía 2, Es necesaria la aplicación con la espreea de mano de la petrolizadora cuando se tienen zonas que no cubren la barra de riego de la misma.



LA CIUDAD DE WESTMINSTER EVALUA SU PLAN DE MANTENIMIENTO DE 8 AÑOS.

Por: James Stillwell, Director de servicios de campo de la Ciudad de Westminster, California.

Los resultados del uso de un agente rejuvenecedor para mejorar las calles y reducir los costos de pavimentación fueron estudiados por esta ciudad californiana -- del condado de Orange con población de 54,800 habitantes. La comparación de los reportes actuales con los primeros, de fechas anteriores, muestra los beneficios que pueden esperar los funcionarios e ingenieros de Obras Públicas, del uso de un agente rejuvenecedor aplicado y seleccionado debidamente.

La Ciudad de Westminster ha usado un agente rejuvenecedor especial en su programa de mantenimiento de calles durante 7 años. Los resultados han sido muy satisfactorios. La evaluación inicial de las calles tratadas, después de 3 meses mostraba considerable mejoramiento en textura y acabado superficial. Ahora, se tiene un reporte más completo sobre el uso del agente rejuvenecedor RECLAMITE, después de 7 años.

El agente, una emulsión en agua fría de resinas seleccionadas del petróleo, es -- manufacturado por la Golden Bear Div. de Witco Chemical Corp., de Bakersfield, -- Calif. Se diseña como agente que sella por penetración y mejora el aglutinante asfáltico en el pavimento. Debido a que reemplaza las partes más volátiles del asfalto que se pierden al calentarlo en planta o a través del envejecimiento, le -- produce vida adicional al cemento asfáltico. Como el sello profundiza, resiste el uso de la carpeta, el intemperismo y la erosión, lo cual no sucede con otros compuestos que se usan como tratamientos superficiales. Una superficie tratada con -- el agente especial, adquiere más densidad y un sellado más cerrado, por lo que -- elimina grandemente los efectos de la erosión en las partículas superficiales.

De acuerdo al reporte original: las áreas seleccionadas para este mantenimiento, -- con aplicación del agente, fueron aquellas que tenían 10 años de uso aproximadamente y, que si no se hubieran reparado, en el futuro inmediato habrían desarrollado extensivamente las fallas. El mantenimiento que se consideró inicialmente -- era un recubrimiento de una pulgada de espesor de concreto asfáltico. El costo de dicho recubrimiento hizo que se aplazara el trabajo, siendo el resultado que el -- pavimento se hiciera cada vez más quebradizo.

La otra solución era proporcionar una aplicación a bajo costo de un agente que -- incrementara la flexibilidad y ductilidad del material original envejecido, extendiendo por este medio la vida útil del pavimento existente. Posteriormente se determinó que previamente a cualquier aplicación, las orillas del pavimento que se habían asentado por debajo de los bordes de las cunetas deberían de levantarse para proporcionar una superficie adecuada para que corriera el agua.

División del área de trabajo:

El área de trabajo se dividió en segmentos de 250,000 a 30,000 metros cuadrados, lo cual permitió iniciar el trabajo a las 8:30 hrs. A.M. con todas las calles -- abiertas al tránsito hasta las 14:00 hrs. P.M. Se entregaron personalmente a los residentes cartas de información y restricciones de estacionamiento. Se recomendó el areneo después del tratamiento para proporcionar la tracción adecuada. Inicialmente, la distribución de la arena se hizo manualmente con palas. Como este método resultó insatisfactorio, se usó un pequeño distribuidor de fertilizantes jalado por un Pick-up, dando buenos resultados. Las calles se barricaron durante el tratamiento especial y el areneo subsecuente, para poder controlar el tránsito durante las horas de trabajo.

La operación de sellado se hizo sin problemas, y se recomienda como un procedimiento a seguir por otros. Es necesario hacer un plan global detallado y notificar a los residentes del área antes de iniciar los trabajos de la obra; las calles deben ser reparadas y limpiadas antes del tratamiento; el agente rejuvenecedor debe aplicarse con cuidado, en la cantidad recomendada y uniformemente; se debe colocar suficientes barricadas; la arena adecuada debe estar disponible y usarse como se prescribe; además las cuadrillas de trabajo deben estar bien informadas de sus responsabilidades.

Información inicial, 1967

Se elaboró un reporte inicial en diciembre de 1967 aproximadamente 3 meses después de la aplicación

Resultados:

No se tiene disponible el resultado de una evaluación final en esta etapa por lo que se infiere que los efectos completos de la aplicación se investigaron hasta el período comprendido entre julio y agosto de 1968. Los resultados fueron los siguientes:

- a) La carpeta se hace más densa y cerrada
- b) Los parches en la carretera no muestran signos de desprendimiento.
- c) Toda la arena aplicada después del tratamiento se incorporó a la estructura -- del pavimento o se eliminó por otros medios. No se requirió barrido ni limpieza especial.
- d) Hubo incremento en el flujo del agua por las cunetas de concreto hidráulico.

Conclusiones Iniciales;

- a) El agente adicionado cumplió con los requerimientos del programa.
- b) La aplicación es de bajo costo, y resulta en las mínimas incomodidades para los residentes, el control es simple, y no requiere atención especial después de terminada.

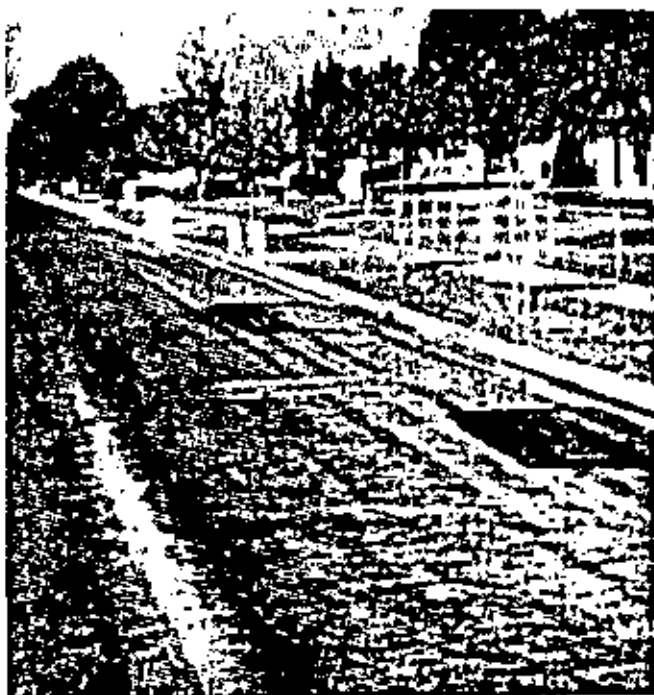
Información Actual: 1974.

Conclusiones después de 7 años de expuesto:

- a) El pavimento está aún sellado y con apariencia densa. No hay desprendimiento de material, y las grietas finas se conservan selladas.
- b) Los parches casi se confunden con el pavimento, y no hay desprendimiento en sus bordes.
- c) Hay un mínimo de introducción de aire y agua, y que el escurrimiento del agua es completo.

El costo de sellado de este pavimento en septiembre de 1967 fué de \$ 0.70 pesos por metro cuadrado en el lugar incluyendo material, mano de obra y equipo. El costo actual es aproximadamente de 1.40 pesos por metro cuadrado.

El agente rejuvenecedor especial no puede usarse en todas las calles. Pues no será absorbido cuando hay exceso de asfalto en la superficie, o donde hay un previo sellado fino o zonas brillosas y vidriadas por el tránsito. Como en todos los procedimientos de mantenimiento, debe usarse el buen criterio. Debidamente aplicado en el tipo correcto de pavimento, este agente rejuvenecedor ha probado ser una herramienta de mantenimiento efectiva y económica para la Ciudad de Westminster.



Fotografía 1, La calle Iroquois que está siendo tratada con el agente rejuvenecedor en 1967, con el propósito de mantener este pavimento un máximo de 3 años, y entonces programarla para un recubrimiento con concreto asfáltico.

fotografía 2, La misma calle Iroquois en 1975, aún en servicio sin el recubrimiento planeado. El tratamiento con el agente rejuvenecedor mantuvo este pavimento en condiciones de servicio más tiempo de lo que espera ban los funcionarios de la Ciudad de Westminster, y el pavimento es tá aún en buenas condiciones sin necesidad de un nuevo plan de trabajo.



EL ESTADO DE COLORADO EXTIENDE SU TEMPORADA DE SELLADO SUPERFICIAL

Reimpreso de Public Works

Octubre de 1977.

Los pavimentos asfálticos tendidos durante los períodos óptimos para la pavimentación, bajo condiciones favorables de temperatura y tránsito, comúnmente tienen -- una buena acción de sellado. Cuando cualquiera de estos factores no están presente, los pavimentos pueden mostrar desgarramientos superficiales después de unas -- cuantas tormentas de invierno. La división de carreteras del Estado de Colorado -- ha desarrollado una técnica que detiene este desprendimiento de material superficial y sella la carpeta contra la introducción de agua y aire, tan pronto como se descubre la necesidad de una atención especial, sin considerar el período del año.

En los primeros días del invierno pasado, se realizaron dos proyectos de sellado. Uno fué en Colorado 50 al Sur de Yuma; el otro fué en el camino federal U.S. 138 al Oeste de Julesburg. La primera obra fué ejecutada un 18 de diciembre; la segunda el 21 de diciembre. En ambos días la temperatura ambiente era de aproximadamente 2°C y los pavimentos estaban secos. El sellador, agente rejuvenecedor RECLAMITE se aplicó a 50°C en la proporción de 0.17 litros por metro cuadrado. El trabajo se llevó a cabo al costo unitario, incluyendo mano de obra y equipo, de aproximadamente 0.81 pesos por metro cuadrado.

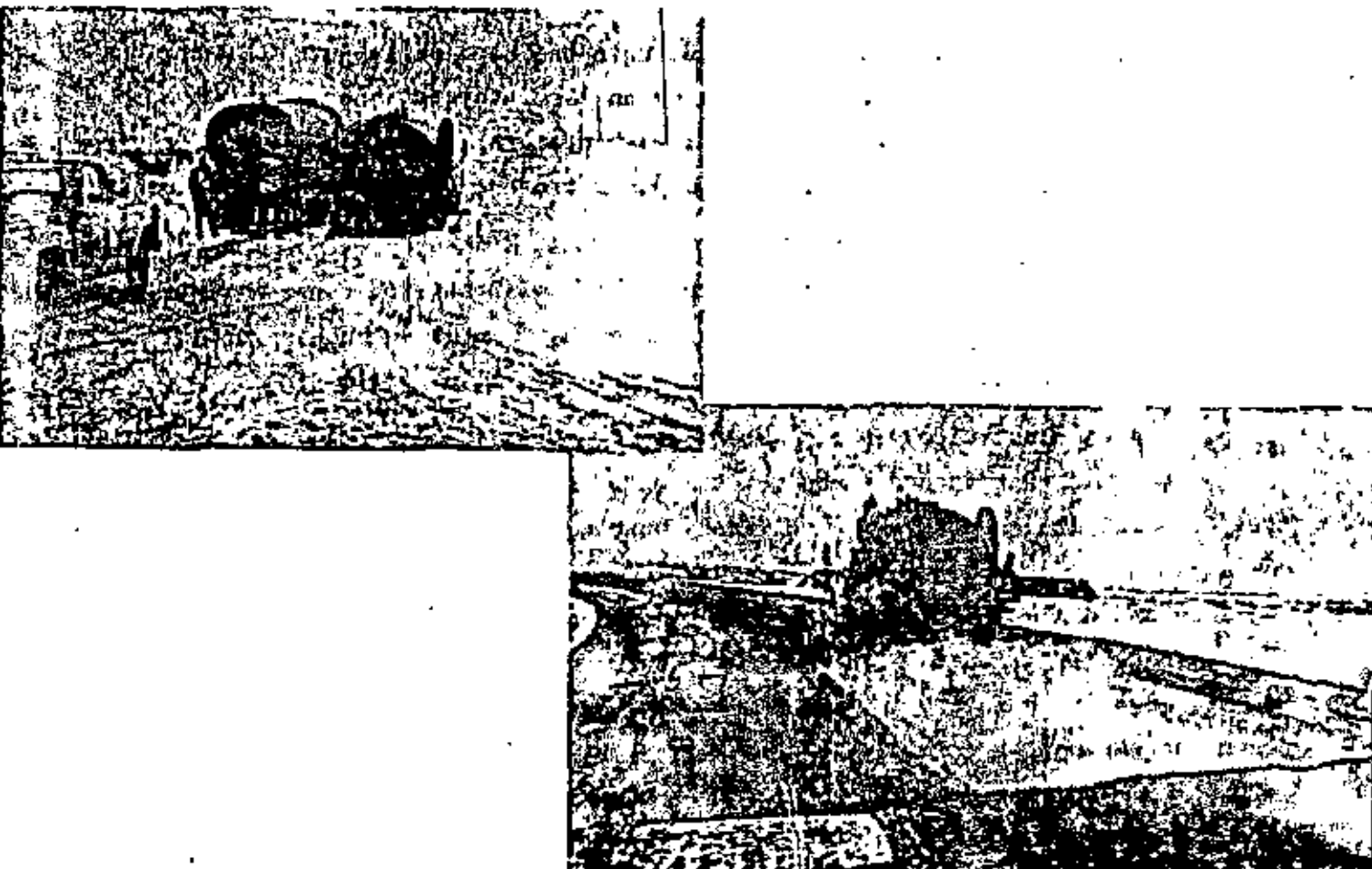
La carpeta tratada se cerró al tránsito durante una hora en la Ruta 59 y por una hora y media en la U. S. 138. Se regó arena en las intersecciones sobre un paso -- a desnivel en la carretera federal aproximadamente una hora después del tratamiento en una proporción cercana a 0.5 litros por metro cuadrado justamente antes de abrir al tránsito el pavimento tratado.

Milo Ballinger, Superintendente del Departamento del Distrito, considera que este mantenimiento preventivo ayuda a mantener a los pavimentos en buenas condiciones superficiales durante algunos años en la mayoría de las obras.

Los pavimentos construídos en la parte este del distrito de Greeley, en los llanos en su mayoría están diseñados con mezclas de arena. Los que están en la parte central del distrito se construyen con grava de río. En las montañas de la sección -- oeste, se utiliza como agregado piedra triturada. El cemento asfáltico que normalmente se usa con estos diferentes agregados, tiene un valor de penetración de 120-150. El RECLAMITE trabaja bién en todas las secciones del distrito. El hecho de -- que se tenga disponible un sellador de agua fría, significa que se puede tener menos preocupación por terminar las operaciones de pavimentación a tiempo para que -- se produzca el sellado natural durante el otoño. Los trabajadores encargados de regar el RECLAMITE, encuentran que es fácil y práctico su manejo, lo mismo que su --

aplicación, tanto en climas cálidos como fríos. A los funcionarios también les agrada que sólo sea necesario proteger el trabajo, del tránsito, durante una o dos horas, lo cual se traduce en un mínimo de problemas de control de tránsito. El uso de RECLAMITE durante clima inclemente requiere precauciones especiales para evitar una pérdida substancial de la tracción superficial. Los ingredientes activos del producto se mezclan con un vehículo acuoso, el cual debe evaporarse --- mientras el RECLAMITE es absorbido por el asfalto de la carretera. Por consiguiente, de acuerdo con la Golden Bear Div., Witco Chemical Co., fabricantes de RECLAMITE, dicho agente no debe ser usado durante las heladas o en días húmedos; y su aplicación en climas fríos debe determinarse partiendo de experimentos cuidadosos que definan la cantidad que puede aplicarse en forma segura y efectiva. Tales experimentos deben realizarse en un período que incluyan tanto las condiciones del invierno como las del verano y en un concreto asfáltico que posea las mismas características de la mezcla del pavimento en cuestión.

Fotografía 1 y 2, En la parte de la carretera cubierta con nieve, se está llenando el distribuidor desde un tanque transportador. El sellador superficial caliente se está aplicando (fotografía 2) por medio de una barra regadora, provocando que se levante vapor del pavimento.



38 CAMINOS RURALES Y URBANOS

(Una publicación Excortada para Ingenieros y Funcionarios de Obras Publicas)

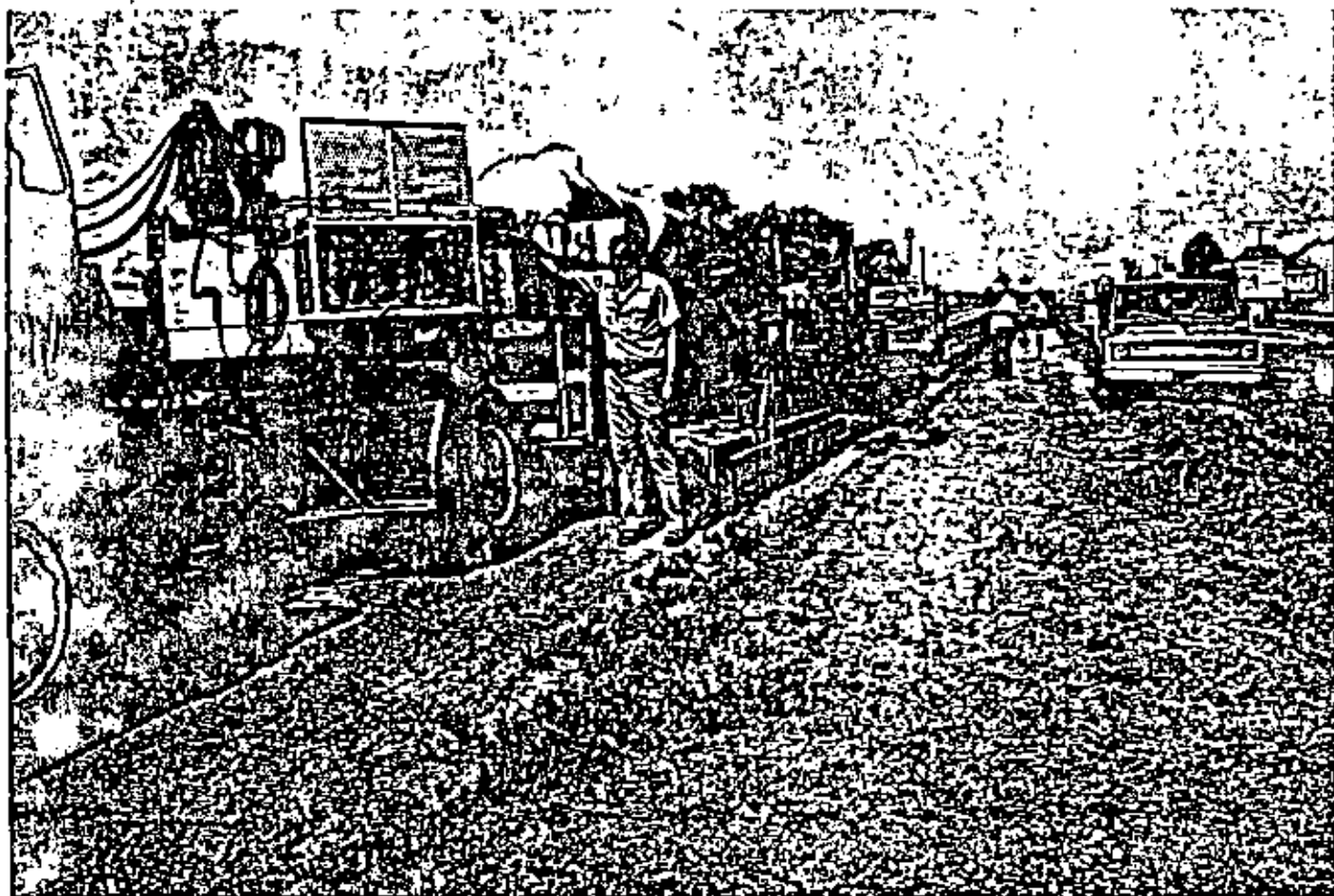
Enero - 1976



LAS BRIGADAS DE TRABAJO DISTRIALES REDUCEN LOS COSTOS INTERNOS DE REVESTIMIENTO.

- + Detectores de presión de defectos en las cubiertas de los puentes para servicio de mantenimiento más rápido.
- + Equipos de la ciudad con aspiradoras barren calles y limpian depresiones y hoyancos.
- + Las pruebas estatales muestran que los señalamientos son efectivos para evitar el congestionamiento en carriles.

Fotografía 1, La contratación de calentadores-escarificadores a partir de 1972 - resultó un nuevo elemento en el programa de repavimentación efectuado con fuerzas del estado por el Distrito de Roswell del Departamento de Carreteras del Estado de Nuevo Mexico. El Distrito opera su propio equipo de trituradora, planta mezcladora y pavimentadora. Las niveladoras del Distrito desechan el exceso de material asfáltico antes de que los rodillos de acero apliquen la compactación inicial.



Los equipos distritales de trabajo reducen los costos internos en repavimentación. Usando cuadrillas de trabajo para operar las trituradoras móviles, plantas de mezclado en caliente, pavimentadoras y rodillos, el Distrito de Roswell del Departamento de Carreteras de Nuevo Mexico está reduciendo sus costos y tiempo de tendido en aproximadamente 160 kms. de recubrimiento anual.

El esfuerzo está también ayudando al Distrito en la adaptación de las mejoras que se necesitan en las carreteras debido a los volúmenes de tránsito creciente en sus 5,300 kms. de carreteras asfálticas.

La técnica se basa en el uso de una "Cuadrilla Viajera de Recubrimiento", de 48 hombres (30 hombres pavimentando y 18 hombres triturando). Cada hombre está bien informado en las tareas de sus compañeros de trabajo así como de su propia especialidad.

Cada hombre tiene muy buena experiencia en sus deberes y está permanentemente -- comisionado a la unidad viajera.

A cargo de la unidad, se encuentra el Superintendente de mantenimiento Cliff Downey, quien es responsable de coordinar cada etapa de la construcción y de los programas. El inclusive, tiene un Laboratorista con un pequeño Laboratorio de -- Prueba, quien también desempeña funciones administrativas.

Downey nos ha informado que desde 1972 ellos adicionaron la "Escarificación en -- Caliente" a sus métodos de recubrimiento y, debido a la naturaleza especial de -- su plan de calentamiento-desbastado, se justifica su aplicación.

Downey informa que el objetivo de estos proyectos es para corregir el desnivel, -- mejorar las características antiderrapantes, y evitar el agrietamiento por re-- flexión. La carpeta está hecha con mezcla de granulometría abierta que permite -- que el agua estancada circule hacia adentro y hacia afuera.

Una muestra de este proyecto nos deja ver como todas estas cuadrillas y equipo -- se disponen para la pavimentación de una sección de 15 kms. de un camino dividi-- do en 4 carriles entre Clovis y Texico, N. M. Esta obra se programó para termi-- narse en 15 días sin desviaciones de tránsito ni congestionamientos.

Escarificación en Caliente: Se tenía una carretera asfáltica que empezaba a mos-- trar grietas por reflexión. El tránsito incrementado y el calor del sol también-- habían afectado a través de los años la superficie del pavimento.

La compañía de equipos asfálticos de Nuevo Mexico, diseñadores y operadores de -- una línea de aplanadoras-calentadoras con quemadores de propano ejecutaron el -- trabajo de calentamiento y escarificación del camino hasta una profundidad de -- 2.25 cms.

La aplanadora trabajando en un carril cada vez promedió aproximadamente 3.3 kms. -- por día. Continuó trabajando varios días mientras las cuadrillas de pavimentación -- y trituración estaban ensamblando sus equipos. Una niveladora motorizada estatal -- fué asignada para trabajar detrás de la escarificadora para desechar el exceso -- de material asfáltico. Después de cada 15 mts. escarificados, una petrolizadora-- rápida y uniformemente aplicaba el rejuvenecedor asfáltico RECLAMITE a razón de -- 0.55 litros por metro cuadrado. El RECLAMITE se infiltró en el material escarifi-- cado en aproximadamente 3 ó 5 minutos (este material se aplicó sobre el camino -- escarificado después de que había sido compactado por una pasada de rodillo de -- acero).

Trituración y Mezclado: Todas las plantas trituradoras se colocan en los bancos, propiedad del Estado, o rentados a los propietarios. En casi todos los casos, la piedra que empezó a triturarse es "Caliche" (compuesto esencialmente de caliza -- suave y cantidades variables de arcillas).

Downey informa que las caras fracturadas del caliche proporcionan resistencia antiderrapante a la superficie y también permiten diseñar la mezcla de granulometría abierta que permita al agua escurrir. La densa base y RECLAMITE evitan que el agua se infiltre profundamente.

La trituradora puede producir de 300 a 750 metros cúbicos de material al día, dependiendo de la naturaleza del banco y de la cantidad de desperdicio. La unidad -- también produce material extra que se coloca a un lado para que las patrullas locales del Distrito lo usen para arenar o proporcionar parches antiderrapantes.

El estado tiene una planta mezcladora Barber Greene que es una unidad móvil que se remolca a varios lugares. La cual proporciona un volumen continuo triturado -- 100% a 1.7 cms. de tamaño máximo con cemento asfáltico con penetración de 85-100 (9% de la mezcla total), para que las pavimentadoras coloquen nuevos espesores.

Pavimentación: El estado emplea una pavimentadora asfáltica Pioneer para colocar el recubrimiento de 1.7 a 2.0 cms. de espesor. La unidad inicia su recorrido en el carril que ha sido escarificado en caliente. Ya que la pavimentadora trabaja -- más rápido que la escarificadora, la pavimentadora pronto acorta la distancia entre las dos unidades.

Downey dice que la operación de pavimentación sola está ayudando a reducir el costo de la misma entre 30 y 50%. Además la planta de mezcla para sello en la obra -- de Clovisatexico, reduce de 30 a 50% el valor de \$ 200,000.00 que costaría la mezcla en caliente.

Lo anterior se debe a que la mezcla en caliente requeriría más material para un espesor de 4.0 a 5. cms. sobre un nivel de 1.6 cms. de la capa base. También en este procedimiento no se necesita una tercera pasada del rodillo de acero como se ría para el caso de la mezcla en caliente la cual necesita una tercera pasada del rodillo para alisar.

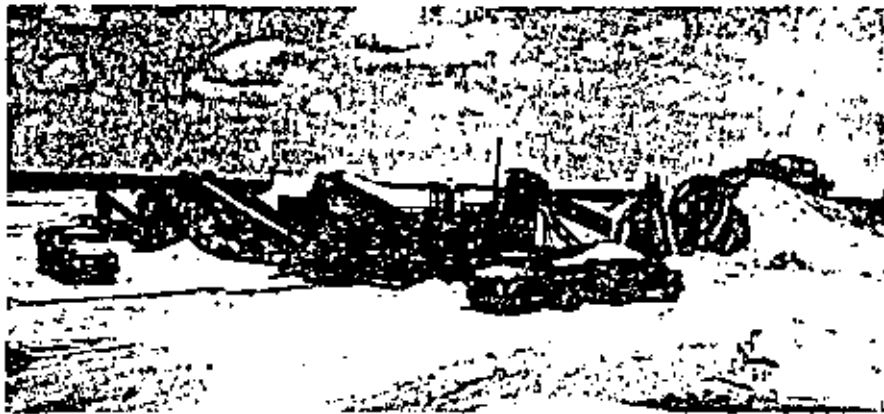
Comunmente se emplea un rodillo neumático Huber para lograr la densidad de compactación. El estado requiere un 95% de compactación en la pasada final.



Fotografía 2, Trabajando en un carril ya escarificado y regado con agente rejuvenecedor, los pavimentadores del Distrito tienen espesores de 1.7 a 2.0 cms.



Fotografía 3, Las plantas mezcladoras móviles se remolcan de una obra a otra y pueden proporcionar entre 350 a 500 metros cúbicos por día.



Fotografía 4, Para trabajar fuera de los bancos propios o rentados las grandes trituradoras del Distrito pueden desmantelarse en un día, y remolcarse al nuevo sitio para armarlas en dos días.

REHABILITACION:

LA PRIMERA VENTAJA EN LA CONSTRUCCION DE CAMINOS DEBE FAVORECER EL PRESUPUESTO.

Tan sólo con un presupuesto recortado de 10,000.000.00 de dólares, la división de carreteras de Dakota del Sur, es capaz de mantener el mejor avance de mantenimiento preventivo, dando mucha importancia al uso de RECLAMITE, que es un agente rejuvenecedor del asfalto, manufacturado por la Golden Bear División de la Witco Chemical Corp.

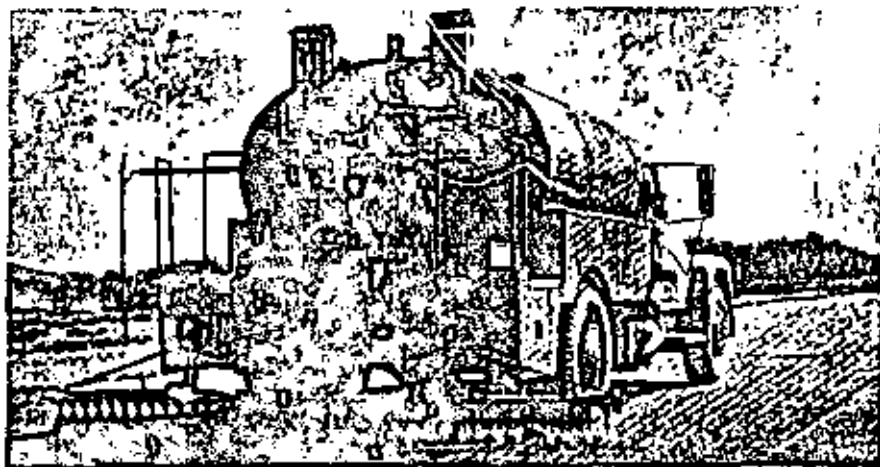
"La distribución de nuestro presupuesto para mantenimiento, obedece a una relación de partidas, donde una cierta cantidad de trabajo se destina para cada obra de mantenimiento según su función y basándose en las necesidades reales que se han establecido a través de nuestro inventario de mantenimiento y sistema de inspección"; lo anterior fue expresado por Juell-Johnson, Gerente Analista del DOT, de Dakota del Sur. Debido a que las rentas públicas que se habían proyectado, no soportarían el presupuesto de 27 millones propuesto para 1975, se hicieron reducciones drásticas en los fondos destinados para mantenimiento en algo más de 17 millones.

Esto resultó en la rescisión de varios contratos de mantenimiento y en la disminución de las actividades, en ese renglón, hasta un mínimo de limpieza y segado en las propiedades correspondientes al derecho de vía. Se tuvieron que establecer otras prioridades para que pudiera ejecutarse la mayoría del trabajo necesario.

El presupuesto de 27 millones era lo que se requería para poner las carreteras en buena forma en el plazo de un año. Esto era imposible debido a que las rentas públicas proyectadas no estaban disponibles; y aún si el dinero hubiera estado disponible, el Departamento no tenía el suficiente equipo ni la mano de obra especializada para ejecutar el trabajo. También el siguiente año se podría haber requerido una disminución en equipo y en mano de obra. Actualmente, sin embargo, el presupuesto de mantenimiento ha sido incrementado algo cada año alcanzando en 1977 los 20 millones.

Con el presupuesto reducido, el Departamento optó por probar el comportamiento del agente rejuvenecedor para reparar las carreteras. Afortunadamente seis años de experiencia en el uso de dicho agente y un programa de pruebas de laboratorio y técnicas de inspección, ha resultado en ahorro de fondos destinados para esa actividad.

Fotografía 1, La petrolizadora aplica reclamite en 3 km. en carretera federal 44 de Dakota del Sur a 0.22 litros por metro cuadrado.



Se han usado 950,000 litros de agente rejuvenecedor desde 1969, en Dakota del Sur tratando aproximadamente 485 kms. de carreteras de dos carriles y aproximadamente 7.30 mts. de ancho. En los pavimentos muy densos, el Departamento aplica el procedimiento usando un tanque distribuidor que riega una cantidad de 0.23 a 0.32 litros por metro cuadrado. El trabajo de mantenimiento se realiza de mayo a noviembre, continuando el llenado de grietas hasta los primeros días de enero en algunos años, en el invierno las cuadrillas de trabajo se dedican a remover la nieve y el hielo y a controlar la erosión. El intervalo de temperaturas desde -34 a 44°C, hacen que el agrietamiento de la superficie continúa siendo un problema.

El gobierno del estado ha encontrado que el mantenimiento de los caminos, tratándolos con el agente rejuvenecedor, tiene un costo mínimo, comparado con el de las áreas sin tratar.

(Distribuido por Cortesía de la Witco Chemical Golden Bear División).

REJUVENECER LOS PAVIMENTOS ECONOMIZA EL DINERO DE LOS IMPUESTOS

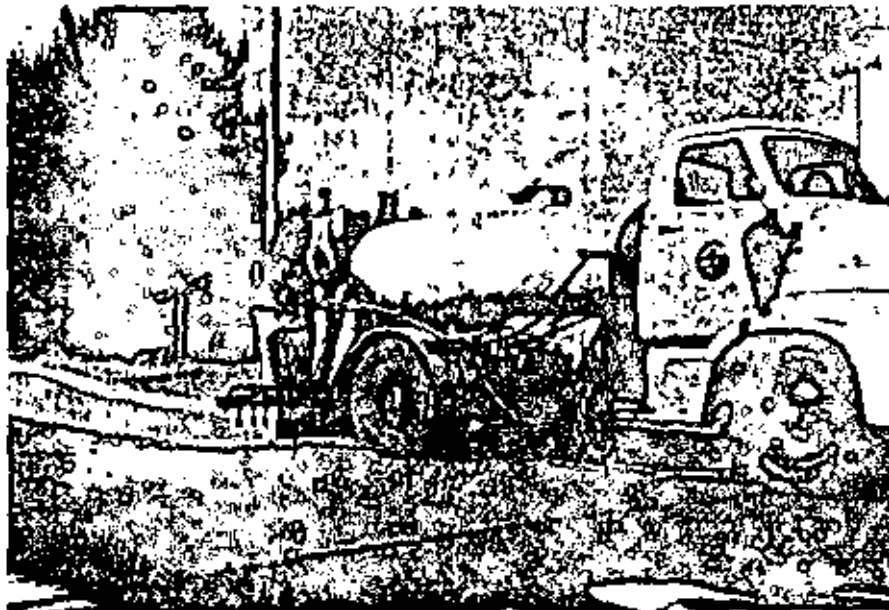
Jack Ronsko.- Director de Obras Públicas y

Glen Baltzer.- Supervisor de Pavimentos de Lodi, California.

Reimpreso de la Revista Obras Públicas
de Julio de 1976, Ridgewood, N. J.



Fotografía 1, El agente rejuvenecedor RECLAMITE es aplicado en una calle residencial que fué pavimentada el año anterior. Este mantenimiento preventivo oportuno paga dividendos a la ciudad.



Fotografía 2, El acondicionador del pavimento se aplica con un distribuidor en la proporción de 0.45 litros por metro cuadrado. El tratamiento evita el desprendimiento, grietas y otros signos de deterioro.

El valor de un sello rejuvenecedor como mantenimiento preventivo en pavimentos nuevos o casi nuevos ha sido probado en la ciudad de Lodi, Calif., en un programa que empezó en 1969. En aquél tiempo estábamos buscando medios de preservar los pavimentos de concreto asfáltico. El objetivo era evitar las reparaciones costosas y fuera de tiempo.

En un estudio a base de pruebas, se decidió usar el agente rejuvenecedor RECLAMITE de la Witco Chemical's Golden Bear División, Bakersfield, California. Ahora en --- 1976, más de 80 de los 170 Kms. de las calles de Lodi han sido selladas con dicho material.

El agente que es una emulsión de agua fría y productos petroquímicos seleccionados restaura la ductilidad y la plasticidad del asfalto envejecido. Como construcción de sello, efectivamente detiene la pérdida de estas propiedades, en la nueva pavimentación. Incrementa el peso específico de la mezcla asfáltica y ayuda a retener los finos, minimizando por consiguiente el desprendimiento superficial. Sella las grietas finas en los pavimentos casi nuevos. Debido a que los pavimentos son tratados tempranamente generalmente no presentan el problema de las grietas grandes.

La aplicación requiere el mínimo de fuerza de trabajo (un chofer, un ayudante y dos controladores de tránsito) en áreas de tránsito escaso algunas veces se usa el rodillo neumático, como en las líneas de estacionamiento de las calles céntricas. La acción de amasado de la compactación junto con los efectos rejuvenecedores mejora la densidad de la superficie, proporcionando por consiguiente una condición similar a un sellado.

El agente rejuvenecedor generalmente se aplica en una cantidad que varía de 0.32 a 0.45 litros por metro cuadrado. La dilución de dos partes de agente con una parte de agua permite que los costos sean de 1.50 a 1.70 pesos por metro cuadrado. Dicho costo incluye incidentes importantes, tales como la notificación a los residentes afectados por el trabajo con 24 horas de anticipación, controles de tránsito y barricadas. Cuando se programa una calle para ser tratada, se notifica a los residentes de dicha área. Los comisionados visitan cada casa y negocio para este propósito. Cuando no encuentran a los caseros, dejan tarjetas para que los residentes puedan llamar por teléfono para cualquier información. Con este sistema de notificación ha habido muy pocas quejas después del tratamiento.

En algunas áreas, las variaciones en la densidad del pavimento o los residuos dejados en un sellado anterior pueden provocar manchas debidas a la penetración incompleta de RECLAMITE. En estos casos se tiende una capa ligera de arena para proteger contra el derrapamiento en las zonas aceitosas.

El agente rejuvenecedor se almacena en un tanque de 20,000 litros localizado en la unidad de servicios municipales. Lo anterior limita la compra del material a dos camiones tanque (aproximadamente 40,000 litros) por vez. En la mayoría de los fraccionamientos, los encargados realizan todas las obras públicas necesarias, tales como tendido de drenajes, alcantarillas, tuberías y alambrado, banquetas, cunetas y pavimentos de calles, y después proceden con la construcción de edificios.

El Departamento de Lodi lo hace en forma diferente. Todas las obras listadas anteriormente se terminan en la forma normal, excepto para la sección de pavimentación de calles, que se contruye hasta una primera etapa. Los suelos en el área son muy estables, con muy buen valor de soporte. Debido a ésto, se usan los suelos del lugar para la capa de base. La nivelación y la compactación obedecen a las especificaciones, y además se recibe la penetración del rebajado asfáltico de fraguado lento (FM-1) en dos aplicaciones para completar una cantidad total de 2.0 litros por metro cuadrado.

Después de dos o tres años, cuando la mayoría de las obras privadas se han terminado, cualquier daño en las calles se repara y la sección se completa con la colocación de un espesor de 5 cms. de concreto asfáltico. Debe hacerse notar que el pavimento temporal (capa base), la cual ha sido nivelada para ajustarse a las cunetas, ahora se renivela en las orillas para permitir la colocación de la sección de 5.0 cms. de concreto asfáltico.

Posponiendo la construcción del pavimento definitivo hasta que el nuevo fraccionamiento se desarrolle, la Ciudad de Lodi evita los daños en los pavimentos nuevos provocados por las aberturas en la calle para instalar los servicios necesarios no considerados oportunamente, daños debidos a los camiones pesados (de construcción) y la escarificación de los equipos usados en el embellecimiento de las zonas residenciales. Mientras los usuarios se cambian a los nuevos fraccionamientos de la Ciudad, encontrarán las calles nuevas y atractivas libres de baches y que se conservarán así por mucho tiempo.

En dicha ciudad los pavimentos nuevos se tratan con RECLAMITE en la estación posterior a su tendido. Las calles que se construyeron y trataron hace 5 ó 6 años están aún en buen estado, sin desprendimientos, grietas ú otros signos de deterioro. Las calles de mayor tránsito se tratan dentro de los dos meses siguientes a la pavimentación antes de que la superficie sea dañada.

La ciudad de Lodi se localiza cerca del delta de los Ríos Sacramento y San Joaquín y tiene algunos desniveles para desviar las inundaciones ocasionales de la primavera. En algunas zonas los propietarios estaban interesados en terminar con las tolvaneras en las áreas cercanas a sus propiedades.

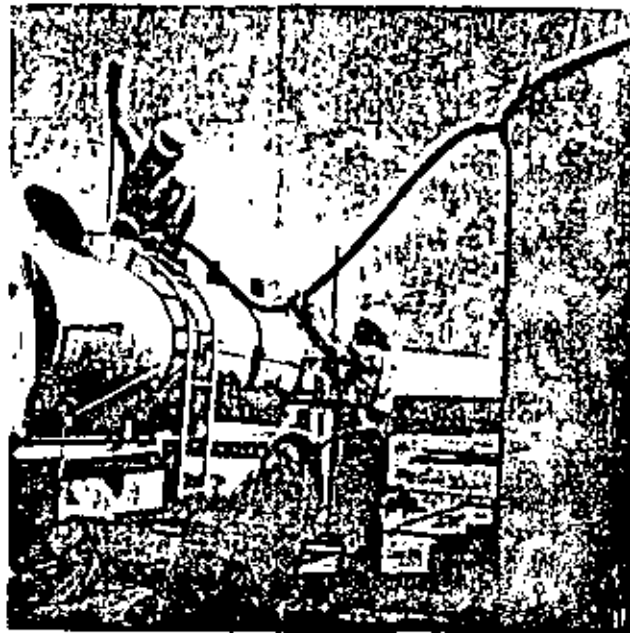
El departamento de pavimentos decidió tratar dichas áreas con el retardante de polvos Coherex, otro de los productos de la Golden Bear División. Un camión regador de agua dió una pasada para detener el polvo y remojar la superficie. A continuación se agregó con un distribuidor la dilución de Coherex (una parte por seis de agua), en una cantidad de 2.25 litros por metro cuadrado de solución en dos aplicaciones. Después de dos años de la aplicación, la superficie se conserva aún dura y sin problemas de polvo. Las áreas adyacentes con las mismas condiciones de suelo, que no fueron tratadas, tienen varias pulgadas de suelo arenoso muy suelto.

Los ciudadanos de Lodi con justa razón aprecian el comportamiento de estos dos productos químicos.

Fotografía 3, Los inspectores oficiales revisan la superficie de polvo suelto para comprobar el comportamiento del Coherex (Paliativo contra el polvo) que fue aplicado hace dos años. Comparan la superficie dura y bien protegida mostrada en la parte superior izquierda -- con la superficie no tratada que se encuentra polvorienta y con suelo suelto, a la derecha.



Fotografía 4. Al bombear otro carga de material al tanque de almacenamiento de 20,000 litros, las cuadrillas comprueban cuidadosamente el nivel para evitar derrames.



El reciclamiento de los pavimentos asfálticos gana impulso.

Temporalmente, a los constructores de carreteras del mundo occidental les pareció que se habían convertido en una especie en peligro de desaparacer.

Los fondos para la construcción repentinamente se redujeron y los planes para nuevos caminos se pospusieron. Pero aún las mejores carreteras pronto requieren reparación y se hace evidente que hay un buen futuro para los hombres que mejor saben reconstruirlas.

La noticia más estimulante en la industria caminera actualmente es la de que se han superado los mayores obstáculos que se oponían para la ejecución del reciclamiento de los pavimentos asfálticos viejos, en forma económica y con procedimientos prácticos aceptables. Lo anterior en este caso se refiere a los fabricantes de equipos de construcción, ingenieros de caminos, y expertos en asfalto. El más grande problema que se presentaba era el de reducir los niveles de la emisión contaminante en las obras con mezcla en caliente, hasta el punto donde tales niveles no excedieran los lineamientos para mantener el aire puro, sugeridos por la Agencia Americana para la Protección del Ambiente. El asfalto viejo no puede triturarse y pasarse a través de una planta de mezcla en caliente, en una manera normal como se hace con el asfalto nuevo; las temperaturas son demasiado altas en los secadores de la planta por lo que las partículas finas tienden a la ignición y

a humear.

El hecho de que se hayan encontrado varias formas para resolver el problema de la polución y así poder volver a usar el asfalto en el mismo lugar del camino del cual se ha removido, presenta prospectos alentadores para los constructores de caminos que buscan obras considerables y más trabajo para su equipo. Se dice que el asfalto reciclado están bueno como el original y que puede tenderse y compactarse usando equipo que ya se tiene a la mano.

En los Estados Unidos más del 90% de todos los caminos con carpeta -- son de concreto asfáltico, y la Administración Federal de Carreteras -- tiene estudios que revelan que todo el sistema de carreteras de la nación se está deteriorando 50% más rápido de lo que se repara o reemplaza y -- que más de un millón de km necesitan urgentemente reparación o renovación. Por lo que algunos constructores están mirando a tales caminos como "minas de asfalto" y pavimentos de "oro negro".

RECICLAMIENTO EN MEZCLA CALIENTE

Uno de los primeros fabricantes que encontró una solución fue la Cfa. Manufacturera de Iowa. Desarrolló un sistema para las plantas Cedarapids, de tambor mezclador de asfalto, que permite la producción de un pavimento de calidad, proveniente de una mezcla de pavimento asfáltico recuperado y un agregado virgen. Este nuevo proceso cumple con los reglamentos de la Agencia para la Protección del Ambiente con respecto a la regulación de emisiones cuya especificación de capacidad estándar es de 1.4 granos/m³.

De acuerdo con los funcionarios de la Cfa., se han realizado pruebas extensivas en el Condado de Kossuth de Iowa, donde fueron colocadas 38,500 toneladas de asfalto reciclado para construir un pavimento de profundidad completa en un trecho de 3 km de un camino secundario, y como recubrimiento de 20 km del pavimento existente (el año pasado fue el 3er. año consecutivo en que el Condado intentaba el reciclamiento y el único en que el sistema logró ser aceptado por los funcionarios encargados de la protección del ambiente y también por los funcionarios del Contratista y del Departamento de Carreteras). El asfalto recuperado se trituró en una unidad de Cedarapids de quijadas trituradoras primarias y a continuación se redujo y se tamizó en una unidad secundaria.

El secreto del sistema de reciclamiento del asfalto en la unidad Cedarapids, es el concepto de "tambor dentro de un tambor". Un tambor pequeño se inserta en el extremo de entrada de una planta común portatil Cedarapids de tambor mezclador de asfalto. Mientras que el material nuevo se introduce en -

el tambor mas pequeño donde se seca, el material recuperado se transporta hasta el extremo de alimentación del tambor exterior. Cayendo el material recuperado en el tambor exterior se calienta y seca, pero sin exponerlo al intenso calor del quemador de secado. Esto elimina que se causen problemas de polución.

Los dos materiales se alimentan en los tambores en relaciones de aproximadamente 75% de recuperado y 25% del nuevo. A continuación se mezclan completamente mientras descienden en el tambor principal. La mezcla se trata con una cantidad mínima de asfalto líquido. La chimenea de la planta emite vapores benignos. Los experimentos anteriores habían resultado en una densa nube de humo causada por el calentamiento del material recuperado.

Las plantas Cedarapids de tambor mezclador, vienen con el equipo de reciclamiento como parte original, o bien éste puede adicionarse a la planta Cedarapids en el campo.

Se dice que estos sistemas son capaces de producir de 135 a más de 360 ton/hra dependiendo de la humedad y de las proporciones de material. Los funcionarios de caminos estiman que con los niveles presentes de la producción de asfalto, el reciclamiento puede reducir los costos del pavimento hasta en \$12,500.00 dólares/km.

Otra de las firmas pioneras en el campo de reciclamiento del asfalto es la Boeing Aerospace Company. Su modelo 400 de planta con tambor mezclador está equipada con un nuevo sistema de control de combustión de marca "Pyrocone".

El Pyrocone es un cilindro de una alta aleación de metal, instalado en el extremo del quemador del tambor mezclador, entre la entrada del tambor y el quemador. Su trabajo es controlar la intensidad de la cantidad de calor que entra al tambor mezclador. En el reciclamiento, esto permite el procesamiento directo del asfalto viejo triturado sin necesidad de quipo de manejo extra o sistema para el control de la producción.

El sistema Pyrocone actúa como cubierta contra la radicación, entre la flama del quemador y el agregado que se introduce en el tambor. En el reciclamiento controla la cantidad de los gases de combustión y el aire secundario en tal forma que reduce la temperatura del chorro de gas que entra al tambor, ésto es para prevenir el quemado de las partículas de asfalto y del agregado recubierto, eliminando las causas principales del humo en el proceso de reciclamiento.

El sistema Pyrocone se puede instalar fácilmente en los tambores mezcladores Boeing existentes y también es ofrecido opcionalmente en las plantas nuevas.

En una obra reciente en Texas, que involucraba aproximadamente 5 km de pavimento asfáltico viejo-uno de los mas grandes de 8 o más proyectos de reciclamiento asfáltico realizados en los Estados Unidos en los dos años

pasados - el ahorro en el costo ascendió a 25% y el contratista fue capaz - de controlar la calidad del humo dentro del 20% permitido por la Agencia pa - ra Protección del Ambiente.

El contratista en esta obra procesó 60,000 ton de asfalto a una velocidad - promedio de 240 ton/hr. La proporción de la mezcla se predeterminó en 70 partes del material asfáltico viejo a 30 de mezcla virgen.

La Boeing registró que procesó en sus tambores mezcladores más de 170,000 ton de la mezcla caliente reciclada, ó 65% de la producción total estimada la estación anterior en todas las obras de reciclamiento de los Estados Uní - dos.

CIRCULO NUM. 245 DEL KARDEX PARA SERVICIO DEL LECTOR.

La corporación CMI acaba de anunciar la disponibilidad de un nuevo Roto - Cyclor como opción en su línea de unidades de tambor mezclador para plan - tas asfálticas.

Esta opción da a las plantas CMI alta producción en su capacidad de reci - clamamiento sin afectar los niveles de producción para la operación estándar, sin restringir la característica de portátil a la planta y sin incrementar las - emisiones gaseosas.

El Roto-Cyclor que es opcional proporciona un medio de producir una nueva mezcla de pavimento recuperado mezclado y un nuevo material. Esto se ha - ce posible a través de un multialimentador especial que proporciona entra - das separadas al tambor, al material nuevo y al recuperado. El material -

nuevo se introduce por la boca del tambor mezclador estándar. El material recuperado se introduce hacia abajo de la corriente, justo atrás de la flama del secador.

El Roto-Cicler se puede accionar, para una producción de mezcla hasta de 70/30 del material recuperado y del nuevo, a 100% de la producción estándar de todo el material nuevo en una operación continua.

La opción está disponible en todas las nuevas plantas con unidad de tambor mezclador CMI, que alcanza capacidades de producción desde 100 a 750 ton/hr y el sistema puede retroajustarse para la mayoría de las plantas CMI con tambor mezclador.

CIRCULO NUM. 246 DEL KARDEX PARA SERVICIO DEL LECTOR.

La Barber-Greene Co. está trabajando en su versión de un recuperador del asfalto, que está programado para producirse a fines del presente año.

Los fabricantes de tambores mezcladores no fueron los únicos que buscaban un sistema limpio para el reciclamiento del asfalto, y hubo una cantidad de contratistas de caminos e ingenieros de Obras Públicas que se empeñaron para encontrar su propia solución al problema de la polución. Un grupo en Minnessota efectuó solamente el tratamiento de la grava vieja triturada a través del secador, calentando el material a temperaturas mas altas que las normales. La mezcla vieja de la carpeta se adicionó entonces al agregado calentado en el molino, eliminando por consiguiente cualquier contacto entre la flama y el pavimento viejo. El calentamiento extra hizo que la grava recuperada suavizara la mezcla del pavimento para que requiriera solamente 3% de asfalto nuevo para producir la mezcla final.

Se reportó este proyecto en las páginas de su "Paving Forum". La Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos notó que la sola modificación, para la bachada estándar en la planta, usada aquí, era la adición de una banda transportadora para llevar el material del pavimento viejo triturado, desde el almacenamiento, a la entrada, donde era descargada en la sección para pesar.

"La base de grava triturada recuperada", dice el artículo de la Paving Forum, fue alimentada a través de la boca alimentadora normal fría, y en el secador se calentó hasta aproximadamente 232°C... El material recuperado de la base entonces se introdujo al silo de pesado donde se combinó con el material recuperado de la carpeta y se introdujo al molino. La relación del material de base recuperado, al material de la carpeta recuperado fue aproximadamente 50/50. El material se mezcló y secó aproximadamente durante 20 minutos, se adicionó cemento asfáltico nuevo (aproximadamente 3%), y se continuó mezclando durante otros 30 minutos. La bachada de nueva mezcla se descargó entonces en un camión para entregarse en el sitio de la obra.

El pavimento viejo tenía una carpeta de 125 mm de mezcla en caliente, sobre 250 mm de grava triturada. Se reinstaló, usando equipo convencional hasta una profundidad completa de 210 mm de mezcla reciclada, y el año pasado se adicionó una sobrecapa de 18 mm para hacer el pavimento de una profundidad total de 250 mm de mezcla en caliente.

Entre los beneficios logrados estuvo el hecho de que solamente se necesitó

un 3% de asfalto nuevo en lugar del "normal" en la mezcla nueva que es de 5 a 8%. Económicamente, el nuevo proceso da al usuario la "satisfacción completa" con la nueva mezcla convencional.

Los beneficios económicos del reciclado son obvios pero difíciles de definir, debido a que las condiciones varían de un lugar a otro. Si existen materiales en la parte superficial que puedan emplearse, la diferencia sería menor de aquella en que fuera necesario traerlos desde 10 ó 20 km de distancia.

El costo del cemento asfáltico es otro factor. Ahora se vende a \$77 (dólares) la ton líquida en algunas zonas y se predice que el precio se elevará hasta \$120 o más para 1980.

Un estudio con datos promedio nacionales, indica que el costo del asfalto reciclado es de \$11.04/ton puesto en el lugar, mientras que el costo de un asfalto virgen es de \$14.68/ton en el lugar (hay un ahorro de aproximadamente 25%). Estas cantidades son en dólares.

Actualmente, parecería que el asfalto reciclado está pasando la etapa experimental, aunque todavía hay mucho por aprender. Por ejemplo, un técnico reciclador observó que la mezcla asfáltica triturada almacenada por largos períodos de tiempo a temperaturas altas tiene que retrituirarse por segunda vez antes de que pueda usarse nuevamente.

Hasta ahora hemos hablado principalmente de reciclamiento en "mezcla caliente", donde la mayor parte de la estructura del pavimento existente, incluyendo en algunos casos, la base sin tratar, se remueve, se tamiza, y se

mezcla en caliente con cemento asfáltico adicionado en la planta central. El proceso puede también incluir la adición de agregado nuevo y/o un agente suavizante. El producto final es una mezcla asfáltica en caliente para liga, base o carpeta.

RECICLADO EN MEZCLA FRÍA

El reciclado en mezcla fría es uno de los varios métodos donde la estructura completa del pavimento existente incluyendo en algunos casos, la base subyacente de material sin tratar se procesa en el lugar o bien se traslada a la Planta Central.

Los materiales se mezclan en frío y pueden reusarse como agregado para base, o mezcla asfáltica, pudiéndose agregar otros materiales durante el mezclado para proporcionar una base de resistencia más alta. Este proceso requiere que se use una carpeta asfáltica.

CASOS EXPERIMENTADOS:

El Departamento de Carreteras de Texas recientemente probó el avance del reciclado en frío en una sección de la carretera rural US 227, de 13.2 m de ancho con 2 carriles de 3.9 m y hombros de 2.7 m la cual soporta tránsito constante de autos y camiones y, requería con urgencia mantenimiento correctivo.

El camino original consistía de una carpeta de 50 mm de mezcla en caliente sobre una base flexible de 300 mm de espesor de caliza-triturada. Diez años después se tendió una capa adicional de 50 mm de mezcla en caliente, sobre el pavimento. Desde entonces han sido aplicadas 3 capas de penetración de asfalto y agregado sobre la carpeta.

reusarse = usarse nuevamente.

El primer paso aquí, fue el de despedazar el pavimento viejo hasta su base en pedazos con tamaños de 350 mm o menos. A continuación se pasó un equipo triturador con 25 martillos de 22.5 kg para reducir el material hasta tamaños menores de 50 mm.

En el siguiente paso, se aplicó sobre el material viejo el agente rejuvenecedor Reclamite diluido, a razón de 1% en peso del pavimento reciclado. La dilución del agente varió de acuerdo con la condición del material triturado.

Dicho agente (manufacturado por la Golden Bear Division Of Witco Chemical Corporation de Bakersfield, California) es una emulsión en agua fría de resinas del petróleo y destilados seleccionados del mismo. Este agente es ampliamente usado para extender la vida útil de los pavimentos asfálticos, y asimismo en el mantenimiento correctivo con el método de calentamiento - escarificación. Un camión distribuidor y algunas veces una pipa de agua, se usaron para la aplicación.

Dentro de un periodo de 24 horas el material tratado y suavizado fue esparcido por medio de un camión adaptado, y además una emulsión catiónica en la porción de 1.83% en peso del material que se estaba reciclando. A continuación, se mezcló el material reciclado hasta una profundidad de 150 mm y se tendió hasta el nivel final, compactándose con un rodillo metálico y neumático.

El tránsito controlado y moviéndose lentamente se dirigió sobre el camino tratado, durante un corto período de tiempo, para proporcionar compactación adicional por amasado. Finalmente, se tendió una capa de penetración de 12 mm, de mezcla de agregado-asfalto.

Los ingenieros de caminos que intervinieron, dicen que las operaciones de reciclado (caliente o frío) necesitan aproximadamente 1.5% de asfalto nuevo mientras que los recubrimientos necesitan de 5 a 8% de material nuevo. El reciclado en frío ahorra cuando menos 40% del costo de un recubrimiento de 100 mm sobre el pavimento dañado y adiciona años a la vida del camino, libres de mantenimiento.

Círculo 216 en el Kardex de Servicios para el Lector.

Anticipándose a lo que pudiera resultar, la Administración Federal de Carreteras se ha lanzado con las siguientes conclusiones: 50 millones de toneladas de reciclado ahorrarían 2,600 millones de litros de asfalto líquido, 30 millones de toneladas de agregado y 17 millones de toneladas de arena. Lo cual equivale a un valor de venta en el mercado, de aproximadamente \$300 millones de dólares, sin incluir los costos de producción y transportación.

El reciclamiento de las carpetas se muestra promisorio.

Se puede hacer mucho con la parte superficial de 75 a 100 mm de espesor del pavimento para ampliar sus buenas condiciones de servicio e incrementar su longevidad.

Los baches y surcos se pueden eliminar; las áreas dañadas se parchan; los pavimentos dañados se pueden recubrir con agregado uniforme o estriar para restaurar la resistencia al derrapamiento; las carpetas viejas removidas, y colocar nuevos recubrimientos. La limpieza y escarificación pueden hacer el recubrimiento con concreto hidráulico, económico, etc.

El método restaurativo más fácil es colocar otro recubrimiento porque parece bueno y porque probablemente las mediciones de algunos caminos resultan de 150 a 250 mm más altas de lo que fueron hace 20 o 30 años.

Probablemente no todos los niveles superficiales aceptan esta simple colocación que los sobrepasa y crea sus propios problemas. -- Esta sería la etapa ideal para analizar la situación contestando a las siguientes preguntas:

- ¿ Puede el puente sostener el peso adicional de otro recubrimiento?
- ¿ Un nuevo recubrimiento reducirá seriamente el claro para los camiones bajo un viaducto o a través de un túnel?
- ¿ Se tendrán que elevar los bordes para asegurar el drenaje adecuado del flujo del agua y la protección de los peatones?
- ¿ Qué pasará con los pozos de visita y las coladeras del drenaje?
 - ¿ Quedarán más abajo que la superficie del camino causando problemas a los automovilistas?
- ¿ Tolerará el presupuesto de rehabilitación el costo de los materiales del nuevo recubrimiento a los precios inflacionarios actuales?
- La decisión final puede ser aún en favor de un recubrimiento, --
 - ¿ pero por qué no usar el material del pavimento que ya está en el lugar?
- Levantándolo, reciclándolo y recolocándolo se ahorra, el dinero de los impuestos de 3 a 5 dólares por ton.

Un fabricante de equipo sugiere almacenar todo el material que se remueva y venderlo. El indicó que cuesta aproximadamente 60 centavos/m² texturizar un camino, mientras que un recubrimiento se llevaría aproximadamente \$2.40/m².

Se puede romper un pavimento viejo con una topadora "dozer" o con una retroexcavadora, pero esto puede ser complicado, lento y posiblemente causaría daños sobre la parte subyacente, afectando el procedimiento completo de construcción.

Hay máquinas que se construyen especialmente para restaurar las carpetas de los caminos donde el pavimento existente es desbastado, triturado, o calentado en el lugar. Esencialmente, estas máquinas son de dos tipos: para trabajar en frío, o bien, en caliente. Las que trabajan en caliente se conocen desde hace tiempo y se diseñan para calentar el pavimento aplicando una flama directa sobre de él, o bien exponiéndolo a calentamiento con rayos infrarojos, de esta manera lo suavizan para removerlo mas facilmente. Es posible tomar esta mezcla asfáltica desbastada y ponerla en cualquier otro lugar, mientras está aun caliente y obtener una carpeta de buenas condiciones o para el tránsito.

Las desbastadoras en frío son relativamente nuevas y se recomiendan como unidades de alta producción cuya aplicación simplemente desprende el pavimento mecánicamente sin intentar calentarlo o suavizarlo. El mayor costo con estas desbastadoras en frío-como podría esperarse- se origina al reemplazar las herramientas de corte.

En una prueba de comparación, la temperatura efectiva de reblandecimiento

(76°C) no se logró más allá de una profundidad de 9.5 mm por medio de una desbastadora en caliente, ni más allá de 12.7 mm por medio de una desbastadora caliente, que trituró en frío más allá de esa profundidad.

Uno de los más activos promotores del reciclamiento de pavimentos es la CMI Corporation, de Oklahoma, City, E.U.A., la cual parece tener más ideas sobre esta nueva tecnología que podría llamarse "perfilamiento del pavimento" Bill Swisher residente de la CMI les dirá que la capacidad de producción alta de sus métodos para remover el pavimento y controlar automáticamente el perfilamiento, ha creado varias opciones nuevas de mantenimiento para todos los tipos de pavimentos -opciones que substancialmente reducen, y en algunos casos inclusive eliminan los nuevos requerimientos para los materiales de los contratos de recubrimiento-.

"Algunas de estas opciones" indica Swisher, "incluyen: perfilamiento para el buen uso de un pavimento estructuralmente sano sin ningún recubrimiento; perfilamiento previo al recubrimiento para restaurar el pavimento afectado; perfilamiento para textura con resistencia especial al derrapamiento; perfilamiento para suavizar la superficie previamente a la aplicación de un recubrimiento delgado; y perfilamiento para un pavimento de espesor completo que se remueve y se somete a reciclamiento".

Los futuros compradores de desbastadoras frías y calientes son asesorados sobre las operaciones reales, análisis de comportamiento, y su comprobación por medio de relaciones, requerimientos de combustibles, y costos por reemplazamiento de las piezas cortadoras. También estudian la versatilidad y manejabilidad.

RECICLAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO

La idea de incorporar el concreto hidráulico viejo en un nuevo camino proviene desde los días de la reconstrucción que siguió a la 2a. guerra mundial.

Quizá uno de los intentos mejor documentados para reciclar el concreto de cemento Portland en una profundidad completa fue hecho en 1976. En aquel tiempo, el Departamento del Transporte del Estado de Iowa de los Estados Unidos, había contratado los trabajos para demoler un camino viejo de concreto que estaba recubierto de una capa asfáltica de 75 mm.

El proyecto estuvo caracterizado por dos conceptos diferentes:

- En el primero, el recubrimiento asfáltico fue despegado del concreto y el concreto del Cemento Portland se trituró para proporcionar agregado para un pavimento reciclado de profundidad completa de 225 mm.

En este caso, aproximadamente 15,000 ton de agregado para producir aproximadamente 5,500 ton de concreto triturado desde 0 a 35 mm.

- El segundo designado para un pavimento con espesor de 275 mm consistente de 175 mm de concreto reciclado y mezcla asfáltica en la capa inferior y 100 mm de concreto hidráulico reciclado para la superficie. La arena del concreto se usó para mejorar la trabajabilidad de la sección del camino de profundidad completa y la mezcla para el recubrimiento con la composición del diseño.

Una retroexcavadora desquebrajó el pavimento asfáltico viejo y el material se transportó hasta una trituradora primaria de quijadas de 105 cm donde se trituró entre 100 a 150 mm, entonces en una trituradora secundaria se redujo el con

creto y el asfalto a menos de 35 mm. Otras 800 ton de mezcla del concreto hidráulico y el asfalto se preparó posteriormente para esta sección compuesta.

Los que observaron la colocación del concreto reciclado dicen que parecía que se trabajaba con concreto convencional.

Animados por los resultados, el Departamento del Transporte de Iowa reciclaron dos pavimentos adicionales en el año siguiente, removiendo y triturando aproximadamente 25 km de pavimento en el proceso.

La mezcla para estos últimos pavimentos contenía aproximadamente 50% de agregado grueso triturado proveniente del pavimento reciclado (pasando la malla de 10 mm) y 20% de arena.

Otros Estados y Ciudades han seguido los lineamientos de Iowa y ahora existe una media docena de plantas en los Estados Unidos especializadas en las operaciones de reciclamiento del concreto.

El concreto está siendo reciclado en Francia, Inglaterra y Alemania y este recurso debe ser considerado siempre que los agregados buenos resulten costosos o no estén disponibles dentro de unos 20 km de distancia. Esto no quiere decir que el reciclamiento del cemento Portland no tiene problemas; existen algunas dificultades para remover las barras de refuerzo y mantener el material libre de contaminantes.

La Asociación Americana de Pavimentos de Concreto dice esto sin embargo:

"El concreto reciclado puede usarse como agregado para base o sub-base de pavimento, o estas bases pueden ser tratadas con cemento, con las técnicas

para el suelo cemento. También puede usarse en bases de concreto (apoyo del concreto) usando mezcladoras de concreto y pavimentadoras. El concreto reciclado puede posteriormente usarse como agregado en un nuevo pavimento de concreto si las pruebas del nuevo concreto hechas con el agregado del concreto triturado indican que la resistencia y la durabilidad son aceptables".

MATERIALES DE RAPIDO FRAGUADO PARA RESANAR (PARCHAR) LAS CARPETAS DE CONCRETO

HIDRAULICO

<u>GRUPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>COMENTARIOS GENERALES</u>	<u>VENTAJAS</u>	<u>LIMITACIONES</u>
Cemento Portland	III	El mas ampliamente usado que - la mayoría de los otros materia- les de parchado.	Bajo costo, disponible, fá- cil de usar, razonablemen- te durable.	La contracción es grande do- de el contenido de agua es al- el clima frío retarda el logro - resistencia.
Otros materiales químicos con fra- guado	Aluminato Monocál- cico	Ampliamente usado en Europa.	Es resistente al sulfato - y debe de considerarse - donde la corrosión del - acero es un factor.	Una agencia reporta contracc- excesiva con tales cementos
	Magnesia Fosfato	Se ha comportado bien en prue- bas limitadas. Debe considerar- se para algunos tipos de par- ches como los de resinas epoxi- cas	Resulta en alta resisten- cia el parche con baja - permeabilidad.	Debe mezclarse en pequeñas - tidades; se sabe poco de su d- rabilidad.
Materiales de fra- guado térmico	Resinas - epoxicas	Ampliamente usado durante mu- chos años. Tiene un amplio ran- go de tiempo de fraguado y de - temperaturas; algunos se adhie- ren en superficies mojadas o hú- medas.	Tiene mucho éxito para - reparar superficies des - costradas, desprendimien- tos de profundidad par - cial y esquinas quebra - das.	Requiere cuidado al comprars - dificultad para proporcionar e - cificaciones adecuadas y par - asegurarse que las cumplen.
	Resinas - de políme- ros	Son aún relativamente nuevas.	Endurecen con muy peque- ñas cantidades de catali- zador.	Control preciso del proporcio- namiento que es má s difícil en polímeros.
Materiales termo- plásticos	Sulfuro	El sulfuro fundido ha sido usado ampliamente para instalar pemos de sujeción y postes de acero.	Se debe experimentar pa- ra usar el sulfuro en los parches.	

Materiales asfálticos	Cemento - asfáltico, emulsiones y rebajados	Ampliamente usados y ofrecen ventajas de costo.	Bajo costo, fácil colocación, necesitan poco tiempo de curado.	No siempre se usa la mezcla de bida. Muchos de estos parches tienen poca vida y en las cubiertas de puente, algunos pueden acelerar el deterioro del concreto cercano.
	Guss-asfalto	Ampliamente usado en Europa para las membranas en las cubiertas de puente bajo las carpetas de otros materiales.	Parece ser altamente impermeable y resistente al agua.	Se vierte muy caliente, a 200°C.
Impacto de cal -	Cementos para resanar (parchar)	Algunas marcas han producido buenos resultados. El uso de buenas marcas se justifica para los parches pequeños en áreas de mucho tránsito.	Gana resistencia rápidamente y puede usarse aún a temperaturas de congelamiento.	No se ha encontrado durable en todos los casos en clima húmedo o frío.

Referencias sobre la carta: Esta carta está basada en un resumen de la cooperativa nacional para el programa de investigación de carreteras, síntesis Núm. 45 titulada "Materiales de rápido fraguado para resanar (parchar) el concreto". La síntesis intenta reportar varias prácticas, que hacen recomendaciones específicas donde no se tienen guías detalladas en los manuales.

La síntesis 45 es de interés especial y muy útil para los ingenieros encargados del mantenimiento, materiales, y de todos los que busquen información sobre las marcas de materiales Americanos para resanar pavimentos de concretos y cubiertas de puentes.

Como una base razonable para comparación se sugiere el Tipo III de cemento. Para hacer una mezcla rica (de 390 a 560 kg de cemento/m³ de concreto) conteniendo 2% de cloruro de calcio, aire incluido, y una cantidad mínima de agua para mezclado, lo cual producirá resistencia estructural y contra la abrasión, suficiente para abrir al tránsito en cuatro o cinco horas cuando la temperatura no sea inferior a 10°C.

Independientemente de que sea el material para resanar, es muy importante la preparación del área que se va a parchar. El reporte de la NCHRP indica que las herramientas para impacto tienden a dejar una capa dañada en el concreto lo cual puede causar que el parche falle. Los investigadores sugieren como el mejor medio para preparación el chorro de agua.

El reporte de la NCHRP es muy crítico con respecto a los productos "nuevos" y deplora la escasa información disponible sobre el comportamiento de un producto, mientras que al mismo tiempo reconoce la falta de procedimientos para la evaluación.

uniforme y para las especificaciones. Por ejemplo:

Aunque la mayoría de los materiales más nuevos ofrecidos para su venta no parecen ofrecer ventajas acordes con su precio alto, comparadas con las ventajas del concreto de cemento Portland en sus diferentes formas y con mezclas escogidas cuidadosamente para situaciones específicas algunos de los materiales nuevos de rápido fraguado son perfectamente adecuados y su uso puede justificarse considerando un tipo particular o problema de reparación. Algunos no proporcionan un parche permanente sino solamente provisional, y aun así la mayoría de estos son muy costosos y difíciles de usar".

Por supuesto, cuando se va a tapar un hoyo, hay poca elección. Pero el reporte indica que en un caso extremo un hoyo en el pavimento, con profundidad de 150 mm y lleno de agua, se tapó con pedazos de llanta vieja de camión y por varios días este "parche" sirvió para evitar ejes quebrados y otros tipos de daños.

El folleto de la Síntesis 45 está disponible en el Consejo de Investigación sobre el Transporte, de la Academia Nacional de Ciencias, Av. Constitución No. 2101 N.W., Washington D.C. 20418, E.U.A. al precio de: \$2.40 dlis.

LISTA DE FOTOGRAFIAS



- FOTO 1 - WIRTGEN - Es una superdesbastadora para trabajar en caliente, que ha sido mejorada para doblar su velocidad de operación en aproximadamente $100 \text{ m}^2/\text{hr}$. y desbasta hasta una profundidad promedio de 50 mm. — Esto se logró por medio de un banco extra de calentadores. Normalmente, hay una hilera frontal de quemadores LPG de alta presión para vaporizar cualquier agua sobre el pavimento y a la derecha en la parte de atrás tiene un banco de calentadores de gas e infrarojos para suavizar dicho pavimento. Un tanque de 6,000 lt. proporciona el combustible para los quemadores y calentadores. La unidad tiene una amplitud de corte de 3,800 mm. y una profundidad máxima de corte de 110 mm. (Círculo Núm. 247 del servicio de kardex para el lector).

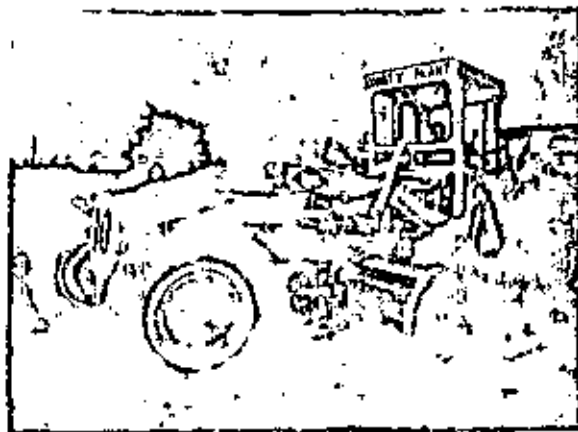


FOTO 2 - La B.J.D. - Es una desbastadora mediana que tiene un tambor de 645 mm. x 800 mm. con 127 picos. Es una desbastadora en frío que ofrece precisión en el control de la profundidad y sus ruedas de hule la capacitan para viajar de un lado a otro fácilmente a distancias de 10 a 15 km. La B.J.D. también tiene una versión pequeña de esta máquina a la cual llama la Minidesbastadora; tiene un tambor de 435 mm. x 310 mm. y 39 picos (Círculo Núm. 248 del servicio de kardex para el lector).

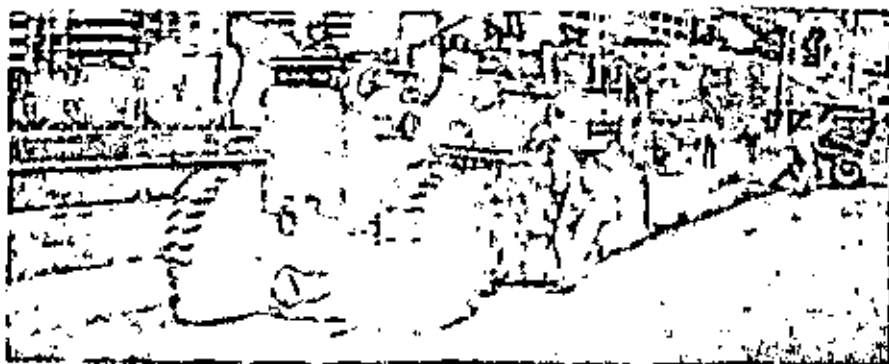


FOTO 3 - SAKAI - La cortadora de caminos ER-160 tiene una máxima profundidad de corte de 80 mm. y su tambor cortador puede adaptarse 400 mm. ya sea a la izquierda o a la derecha para dar una amplitud efectiva de corte de 1,860 mm. Tiene una velocidad de trabajo de hasta 6 m/min. y entre las características especiales de esta unidad japonesa incluye una cortina de agua (para evitar el polvo) más tres tableros de control para permitir la operación mientras se desplaza en la superficie o se desplaza sobre cualquier lado de la máquina. Su máquina diesel es de 206 Hp. (Círculo Núm. 250 del servicio del kardex para el lector).

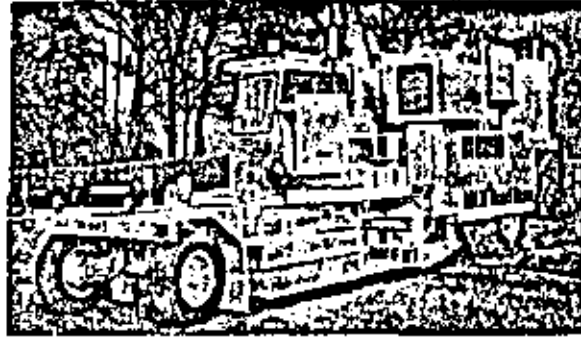


FOTO 4 - MILLARS - Esta desbastadora de pavimentos se introdujo originalmente en 1972 como desbastadora en caliente. Ofrece una alternativa para las flamas y el humo al trabajar en caliente y para el ruido y estremecimiento cuando es para trabajar en frío, de acuerdo con su literatura. La MK III se dice que es doblemente productiva, gracias a un incremento en el tamaño y la potencia de las unidades hidráulicas y en el doble número de dientes en cada una de las cabezas cortadoras operadas individualmente. (Círculo Núm. 249 del servicio del kardex para el lector).



FOTO 5 - CMI Roto-MILL - Esta desbastadora superficial tiene características de solidez y está lista para usarse inmediatamente. Mejora la resistencia al derrapamiento y en climas húmedos drena el agua para reducir los riegos. (Círculo Núm. 251 del servicio del kardex para el lector).

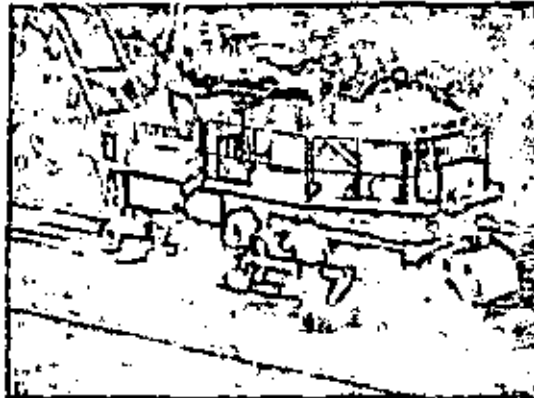


FOTO 6 - OMI Corporation - Esta escarifica un asfalto caliente y/o pavimento de concreto hidráulico (utilizando taladros del tipo carburo tungsteno), recoge los desperdicios y los descarga automáticamente en un camión o fuera del camino. La mayor de sus cuatro desbastadoras del pavimento en frío tiene una máquina de 750 hp y una amplitud de corte de 3,800 mm. Las profundidades de corte son desde 0 a 100 mm. y estas desbastadoras dejan la superficie transitable inmediatamente.- (Círculo Núm. 251 del servicio de kardex para el lector).

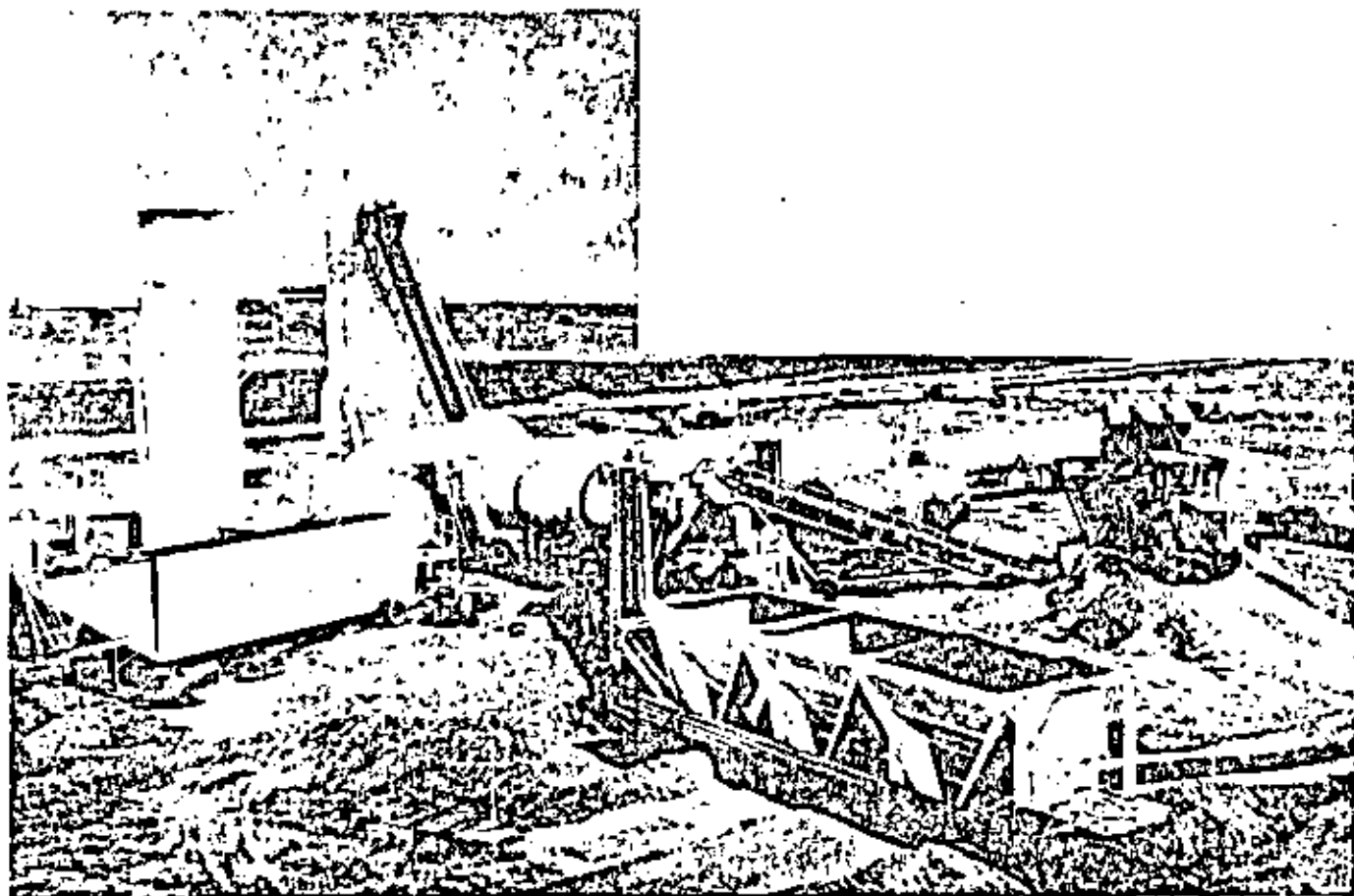


FOTO 7 - La CEDARAPIDS - "tambor dentro de un tambor" mantiene al material virgen separado del material recuperado el cual se seca completamente y se calienta, pero no se expone al calentamiento intenso. Los aditamentos para el reciclamiento pueden ajustarse a las plantas Cedarapids - actuales en el campo.

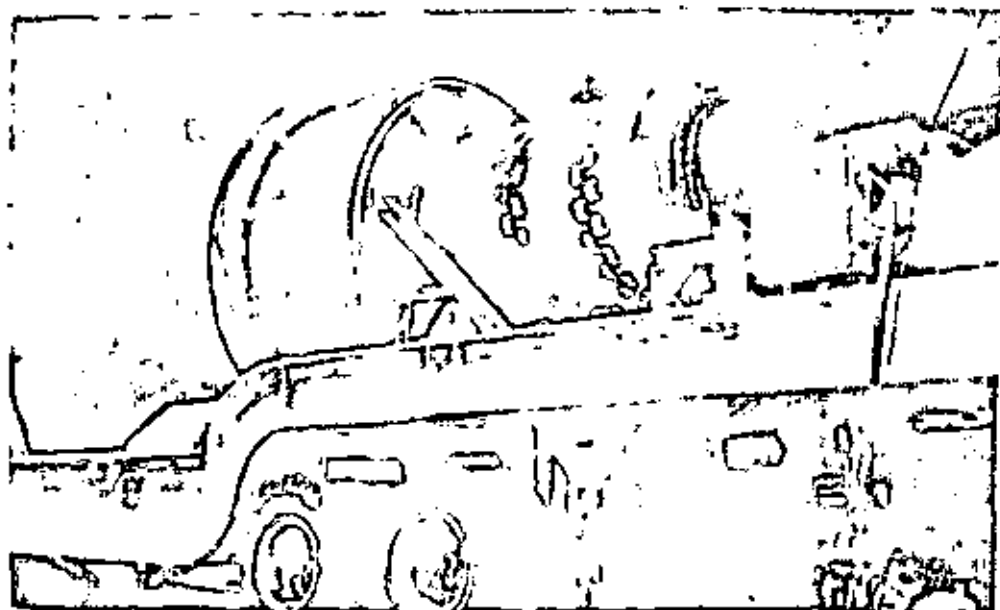


FOTO 8 - Sistemas de combustión Pyrocone BOEING, es un cilindro instalado entre el quemador y la entrada al tambor. Las ranuras para enfriamiento permiten la entrada de mayor aire para reducir la temperatura de la corriente de gas y así evitar el quemado de las partículas finas.



FOTO 9 - La CMI Foto-Cycler tiene un arreglo de alimentación múltiple para introducir los materiales viejos y los nuevos en diferentes puntos con relación al quemador. Tienen una producción normal en promedio alrededor de 140 t/hr. El sistema puede retroajustarse a la mayoría de las plantas con tambor mezclador CMI existentes.



FOTO 10 - EL RECICLAMIENTO EN MEZCLA FRIA requiere que el pavimento existente se procese a una profundidad de 150 mm. después de que ha sido suavizado por un agente rejuvenecedor y tratado con una emulsión catiónica.

PARA REJUVENECER LOS PAVIMENTOS OXIDADOS DE LAS CALLES:

Calentamiento-escarificación, remezclado y recubrimiento.

Por Lewis W. Garber, J. - Ing. de Proyectos en Vernon, Cal.

En muchas ocasiones las calles requieren tratamientos más sustanciales que un riego de sello, pero los recubrimientos ordinarios, aún los de poco espesor, no siempre se ajustan sin provocar desniveles y distorsiones geométricas en las calles. Este era el dilema que nosotros encaramos en Vernon, Cal. Después de un estudio -- prolongado descubrimos cómo lograr el incremento de resistencia necesario sin interferir con las líneas de drenaje y los accesos a las vías rápidas:

Calentar y desbatar la superficie adyacente a las cunetas de concreto.

Calentar, escarificar y rejuvenecer la superficie en una pulgada de profundidad del concreto asfáltico viejo.

Recubrir con una capa de 2.2 cms. de espesor de nueva mezcla caliente.

Esta secuencia revitaliza al glutinante oxidado nocivamente para que pueda una vez más adquirir flexibilidad y evitar el agrietamiento, también se obtiene la calidad de adhesión necesaria para asegurar el recubrimiento.

El uso de los 58 kms. de calles aquí en Vernon, es más intenso que en la mayoría de las ciudades. Nuestra población que trabaja es de 60,000 personas, pero sólomente 211 de ellas tienen sus casas dentro de los límites de la ciudad. El tránsito es pesado y frecuente en las horas de servicio de nuestras 1,100 plantas industriales las cuales incluyen Alcoa, Bethlehem Steel, Pioneer Flintkote and Byron Jackson.

A pesar de un mantenimiento razonable los valores de penetración del cemento asfáltico en muchos de nuestros viejos pavimentos ha llegado en las pruebas actuales hasta cerca de 10., la calidad de rodamiento en estas calles era mala y requerían un bacheo frecuente así como el relleno de las grietas. Las bases eran adecuadas. Los problemas emanados del envejecimiento de la superficie y un marcado incrementado en las cargas y el tránsito, especialmente de los camiones con ejes múltiples.

El agrietamiento se extendió y se transmitió a través de los riegos de sello delgados. Cuando el agua penetró éstas grietas en algunos lugares reblandeció la base y provocó hoyancos.

Diseño basándose en un manual.

Para determinar los requerimientos estructurales de nuestras calles, se consultó el manual MS-1 del Instituto del Asfalto, en el cual se muestra como determinar los espesores adicionales de pavimento necesarios debido a la evaluación de las cargas de

tránsito, revisión de la resistencia de la base y estimación de la calidad de la superficie de la carpeta. Nuestro período de diseño es de 10 años, correspondiente al término de este proyecto de mantenimiento. Después de analizar los recubrimientos existentes, asignamos factores de reducción de espesor (10 a 25%) para convertir estas secciones en un espesor equivalente de concreto asfáltico nuevo. Esto determinó la profundidad de la capa necesaria. Calculando que estos valores para calles individuales, encontramos que variaban entre 1.5 a 3.0 cms., así que los promediamos a 2.25 cms.

Nuestro primer contrato abarcó 130,000 m² de pavimento en 15 calles. La Vernon Paving, Co., subcontrató las unidades de calentamiento remezclado de la G. J. Payne Co., primero se realizó el calentamiento y el alisamiento adyacente a los 20,000 metros lineales de cunetas. La unidad de calentamiento montada en un camión, calentó los pavimentos seguida por una niveladora muy de cerca, cortando una sección recta triangular para disponerla al recubrimiento.

Estos cortes midieron 2.25 cms. en las líneas de cuneta y se suavizaron gradualmente en las orillas que distaban 2.40 mts. Se hicieron cortes similares en los cabezales adyacentes a los cruces de ferrocarril y cruces de intersecciones de cunetas. Este trabajo se realizó en los meses húmedos y frescos de los fines del otoño.

Este método de calentamiento y remezclado desarrollado por la G. J. Payne Co., de Culver City, hace 13 años, está incrementando su popularidad como un medio efectivo para reforzar los pavimentos viejos. El plan continuó y aquí exponemos cómo se trabajó. La máquina calentadora-remezcladora realmente es una cámara grande de combustión y una escarificadora montada sobre el mismo chasis. La cámara está cubierta por paneles por todos lados, exceptuando la parte inferior, con objeto de dirigir todo el calor sobre el pavimento. El avance es de 4.50 a 10.50 mts. por min., dependiendo de la dureza, contenido de asfalto y temperatura ambiental del pavimento. El calor penetra a una profundidad de aproximadamente 2.6 cms., y las temperaturas de pavimentación alcanzan de 107 a 120°C. La escarificadora entonces mezcla el material completamente. Debido a que el trabajo se realizó durante el invierno, el contratista empleó dos de estas máquinas trabajando una detrás de otra, para concentrar el calentamiento sobre el pavimento.

Un elemento importante del proceso de remezclado es la adición del derivado asfáltico, RECLAMITE, sobre la superficie escarificada. El cual proporciona al aglutinante envejecido los componentes perdidos o degradados por la edad y el intemperismo. Además, restaura la plasticidad a la mezcla asfáltica calentada y escarificada y también actúa como riego de liga para el recubrimiento. El RECLAMITE es un producto de la Golden Bear Oil Co., es una emulsión catiónica rosa, comúnmente usada como disolvente en un tratamiento de penetración. En este proceso no es deseable la dilución.

Debido a que los distribuidores se desplazan más rápidamente que los calentadores, el conductor deja que los separen casi una manzana antes de iniciar la aplicación de RECLAMITE. Directamente atrás una pavimentadora Barber Genne, S.A. - 41, tiende un recubrimiento de 2.25 cms. que es compactada por los rodillos de acero. Todo -- ésto, se realiza antes de que la superficie escarificada se enfríe apreciablemente. Y debido a que el recubrimiento se tendió directamente sobre el material escarificado y rejuvenecido se compactan en conjunto, produciendo una trabazón muy resistente. El agente rejuvenecedor del asfalto se aplicó a razón de 0.45 a 0.67 litros por metro cuadrado, basándose en las pruebas de laboratorio que se realizaron en corazones de muestra.

Para determinar las velocidades de aplicación en el campo se había aprobado el --- aglutinante con diferentes cantidades de aditivo, en el laboratorio. El método es muy simple. Primero, los laboratoristas separan mecánicamente los materiales de la superficie para simular la operación de remezclado por escarificación. A continuación obtienen el cemento asfáltico por el método de recuperación de Abson, y le de terminan su valor de penetración. La adición de Reclamite, al cemento asfáltico, - en diferentes cantidades, incrementa los valores de penetración hasta una condición más deseable. Lo anterior proporciona un índice de la cantidad que se debe adicio- nar. Otro índice es la granulometría aparente y la relación de vacíos en muestras -- inalteradas (para determinar el espacio disponible para el aditivo). Ya había una - experiencia previa en un proyecto de remezclado en la Av. Vernon. Los resultados de laboratorio en la obra de la Av. mencionada anteriormente indicaron una aplicación óptima de 0.7 lts. por m².

Cuando sacamos corazones y revisamos la capa remezclada, después de transcurrido - un mes, sin embargo, encontramos que los valores de penetración del cemento asfál- tico fueron dobles a lo predicho. Basándose en esta experiencia redujimos las can- tidades proporcionalmente en el nuevo contrato.

Penetración. - Después de la construcción se hicieron revisiones para determinar la penetración de la mezcla. Los resultados aparecen en la carta anexa. Se indican los valores antes de construir (control-sin tratar), en el laboratorio (control-trata- do) y después de la construcción. Estos corazones también exhibieron valores de pe- netración incrementados, pero algo menores a los determinados para la Av. Vernon.

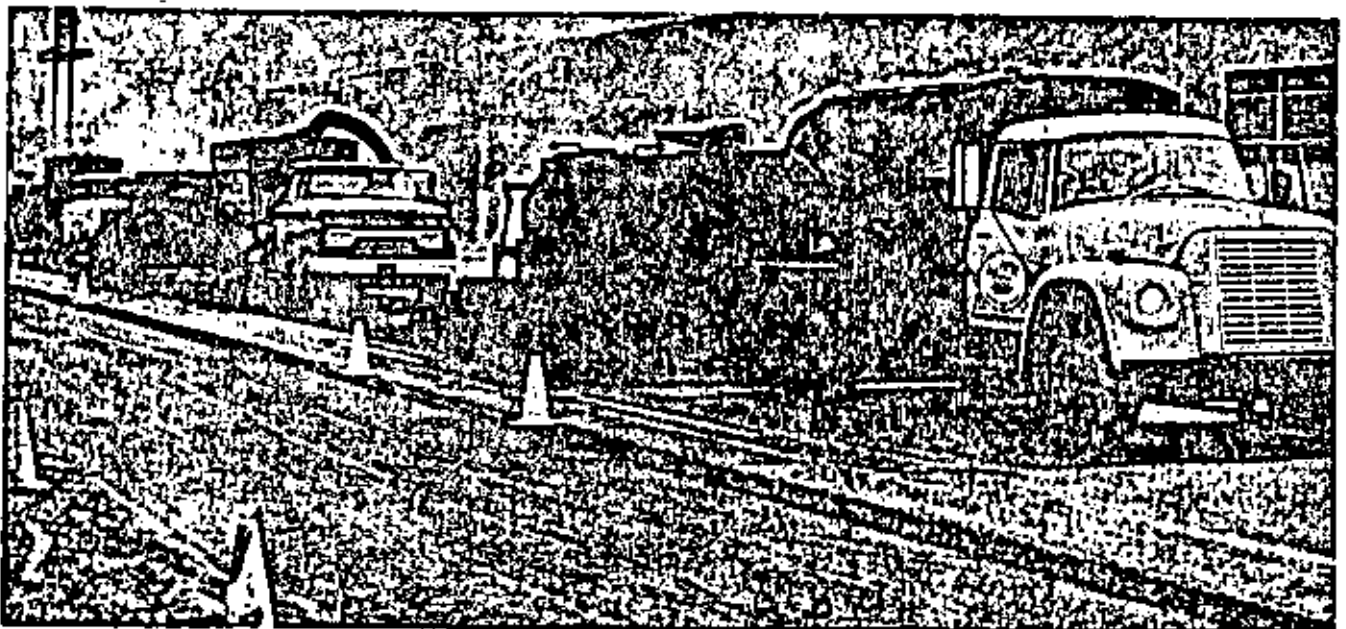
Se muestra que las cantidades de RECLAMITE indicadas por las pruebas de laboratorio deben reducirse drásticamente cuando el cemento asfáltico exhiba una tendencia a in- crementar grandemente los valores de penetración después de la adición de RECLAMITE. Esto es particularmente evidente si la mezcla tiene pocos vacíos. Se muestra que -- un exceso de RECLAMITE bajo estas condiciones podría causar inestabilidad en la ca- pa remezclada, y podría llorarse el aditivo a través de ella. El llorado podría tam- bién resultar de la aplicación de mucho material en un pavimento con pocos vacíos

o uno con un amplio porcentaje de contenido de asfalto.

Aún en los días fríos el contratista colocó hasta 800 toneladas de recubrimiento. Mientras trabajábamos en una línea el tránsito usaba las otras. Las vías rápidas, sin embargo, tenían que ser barricadas mientras pasaba el equipo de pavimentación, pero nosotros coordinamos éstas clausuras con cada industria. Lo cual ocasionó -- arriba de 250 contactos con el personal clave de las industrias. Nosotros les notificamos a los gerentes lo que esperábamos y les ofrecimos nuestra cooperación, esto resultó en una completa libertad en la obra, permitiendo a los inspectores e ingenieros que se concretaran libremente en sus tareas asignadas. En general el trabajo en cada calle se terminó antes de moverse a las siguientes. La temperatura ambiental durante esta construcción promedió solamente 20°C, y las juntas se enfriaban rápidamente cuando los rodillos tardaban más de 90 metros atrás de la petroli-zadora.

Esto se realizaba juntamente con el tránsito, pero una más rápida compactación podría haber salvado esta situación. La pavimentación a altas velocidades en climas fríos requiere un control estricto para obtener los mejores resultados.

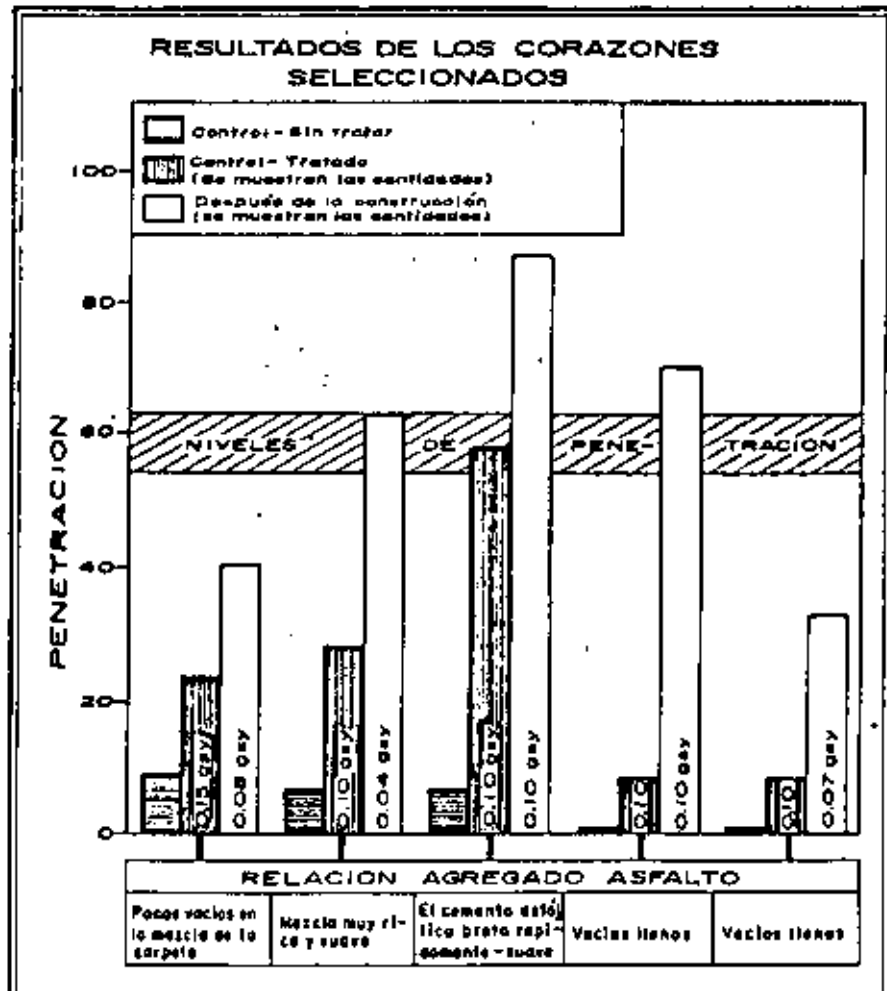
Fotografía 1, Temprano en la mañana, el equipo de pavimentación se prepara para rejuvenecer y recubrir el carril central en esta calle.

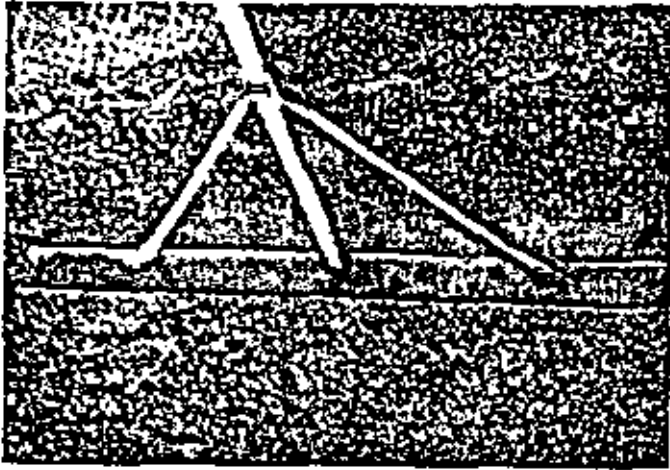




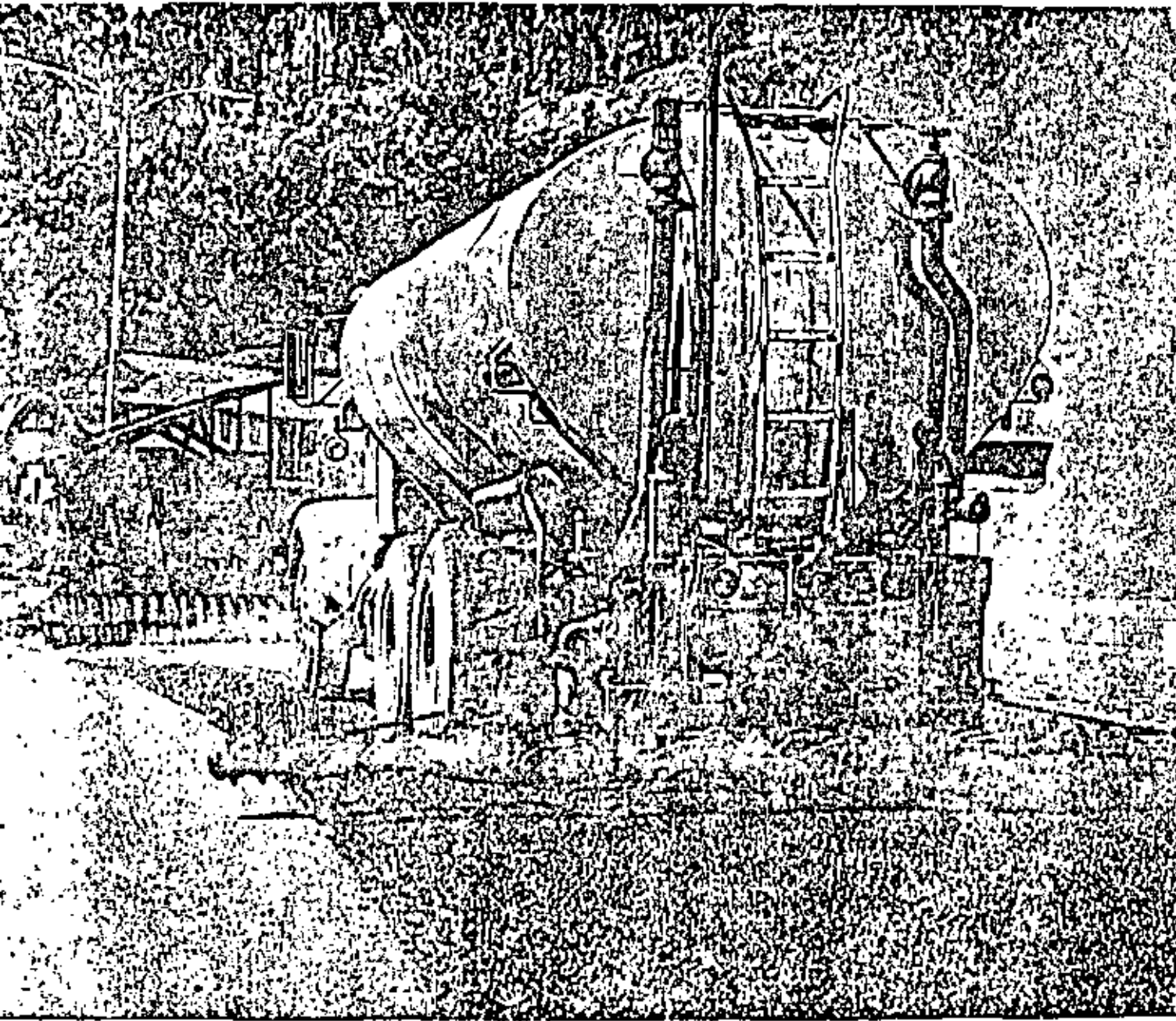
Fotografía 2.
Este corazón exhibe la íntima trabazón entre el recubrimiento con espesor de 3/4" y la capa original remezclada abajo.

Figura 1, En cada caso los valores de penetración del cemento asfáltico exceden las predicciones de laboratorio por un amplio margen.



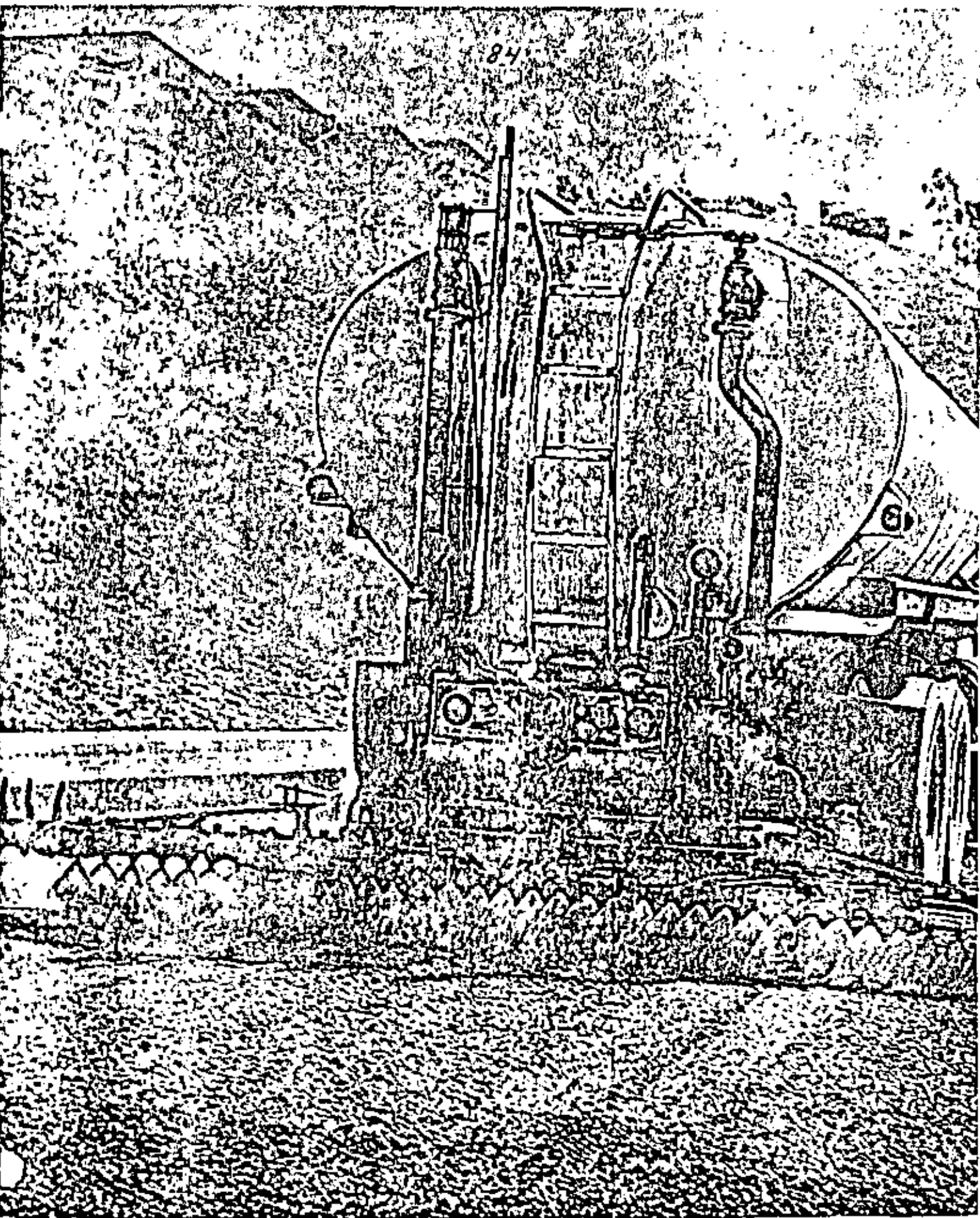


Fotografía 3, El calentamiento, la es-
carificación y a conti-
nuación la aplicación de
un rejuvenecedor asfálti-
co a la vieja superficie
oxidada, hacen que se --
adhiera fuertemente al -
recubrimiento de mezcla
en caliente.



RECLAMITE "AGENTE REJUVENECEDOR"

- LARGA VIDA DEL PAVIMENTO, CON ESCARIFICACION EN CALIENTE DE LA SUPERFICIE EN PAVIMENTOS ASFALTICOS ENVEJECIDOS.



Fotografía 1 - RECLAMITE: Comportamiento de largo alcance para rejuvenecer los pavimentos asfálticos envejecidos, aplicando el procedimiento de escarificación en caliente.

RECLAMITE. Aplicándolo en el procedimiento de escarificación en caliente dá nueva vida a los pavimentos asfálticos envejecidos.

- * Rápido y simple procedimiento/recubrimiento de pavimentos asfálticos envejecidos.
- * Transformación positiva de superficies viejas y nuevas en carpetas estables y flexibles.
- * Retarda y minimiza las grietas normales por reflexión.
- * Extiende la vida útil de los pavimentos tanto como jamás se había logrado.
- * Reduce los costos y requerimientos de mantenimiento al mínimo.

Ahora usted puede revitalizar los pavimentos asfálticos envejecidos y mantenerlos como el "primer día de nuevos" por años. Las propiedades excepcionales para rejuvenecer de RECLAMITE combinadas con un procedimiento adecuado de calentamiento y escarificación convierten los recubrimientos asfálticos envejecidos en flexibles y buenos nuevamente. La económica preparación de los pavimentos asfálticos viejos, seguida por un tratamiento con RECLAMITE de material escarificado y un nuevo recubrimiento asfáltico fresco transforma los caminos peligrosos y fuera de uso en cómodamente transitables durante años.

RECLAMITE efectivamente restaura el pavimento asfáltico dañado y quebradizo en un flexible, al aplicarlo en un procedimiento de escarificación en caliente. La escarificadora con calentador mostrada en la foto de la cubierta, calienta y desprende la capa superficial del pavimento envejecido para preparar la aplicación del rejuvenecedor. El RECLAMITE aplicado al pavimento escarificado, como se muestra en la parte izquierda, penetra rápidamente para restaurar la plasticidad perdida por el envejecimiento. Ahora al aplicar un recubrimiento de mezcla asfáltica nueva resultará el conjunto en una carpeta flexible y duradera.

¿QUE ES RECLAMITE?

RECLAMITE, es una emulsión especial de resinas y aceites del petróleo (químicamente una emulsión catiónica de maltenos), que acondiciona y sella los pavimentos asfálticos contra los efectos del intemperismo, uso y envejecimiento. Los pavimentos tratados con RECLAMITE parecen nuevos y permanecen nuevos durante años. RECLAMITE proporciona los ingredientes químicos necesarios para reconstituir los pavimentos asfálticos envejecidos y restaurar su flexibilidad y ductilidad. En combinación con los procedimientos de escarificación en caliente, sus funciones específicas son:

- 1) Para restaurar la plasticidad de los pavimentos asfálticos envejecidos, después de que éstos han perdido densidad y han sido suavizados por el calor, y escarificados por medios mecánicos, y en esta forma prepararlos para recibir el tratamiento con RECLAMITE.
- 2) Para reabastecer los componentes perdidos durante el envejecimiento, y en esta forma restaurar la flexibilidad de cuando menos 2.5 cms. de pavimento viejo.
- 3) Para mejorar la adhesión entre asfalto agregado y la cohesión de la mezcla, facilitando así la recompactación del material suelto.

RECLAMITE, es una emulsión muy estable la cual puede almacenarse por largos períodos de tiempo antes de usarla sin que se afecte. Es una emulsión de agua fría. No se requiere calentamiento, y con un mínimo de agitación está lista para una aplicación eficiente.

Las aplicaciones de RECLAMITE cuestan poco, se efectúan fácilmente y ahorran dinero y trabajo reduciendo considerablemente los requerimientos de mantenimiento. La aplicación puede hacerse con equipo convencional (camión distribuidor o regado a mano) por lo que su manejo es práctico.

No hay necesidad de maquinaria cara. Las marcas de señalamiento y las líneas separadas no se afectan apreciablemente debido a la emulsión por lo que se elimina la restauración costosa.

El equipo entrenado en los diferentes pasos del procedimiento de escarificación en caliente, hacen que la aplicación del RECLAMITE en este procedimiento resulte en -- recubrimientos rápidos y económicos.

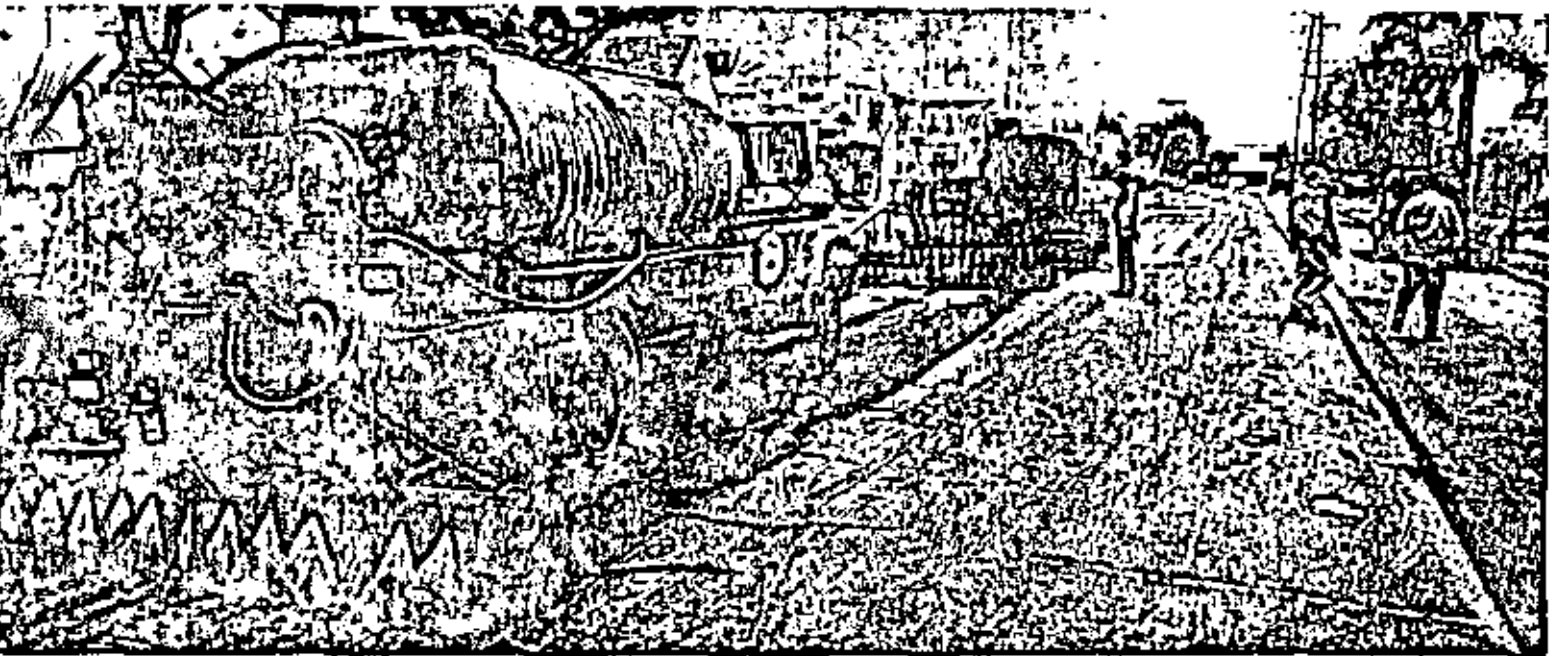
USO DE RECLAMITE EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS

<u>C A T E G O R I A</u>	<u>F U N C I O N E S</u>	<u>T I E M P O</u>
Calentamiento -Escarificación-	1) Para rejuvenecer el asfalto en el material desprendido y en el proceso calentamiento-escarificación. 2) Para facilitar la adhesión con el recubrimiento. 3) Para mejorar la durabilidad.	Inmediatamente después de la escarificación - en caliente.

CATEGORIA	FUNCIONES	TIEMPO
Construcción de sellado.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Para sellar profundamente. 2) Para restaurar las propiedades originales. 3) Para mejorar la durabilidad. 	Tan pronto sea práctico, después de terminada la pavimentación
Mantenimiento preventivo.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Para rejuvenecer el asfalto envejecido 2) Para detener picaduras y desprendimientos. 3) Para evitar la tendencia a la contracción. 4) Para evitar la propagación de las grietas. 5) Para disminuir la permeabilidad. 6) Mejorar la durabilidad. 	A los primeros signos - del envejecimiento del asfalto (resequedad, picaduras, desprendimiento, contracción, agrietamiento, etc.).
Reacondicionar mezclas en el camino.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Facilitar la escarificación y mezclado. 2) Restituir la plasticidad al asfalto. 3) Mejorar su durabilidad. 	Quando se nota el intemperismo y las costras.
Calentamiento desbastado del concreto asfáltico.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Resellar y "curar" las superficies, después del desbastado (cepillado) 2) Restaurar las propiedades perdidas del asfalto, debido al sobrecalentamiento. 3) Mejorar la durabilidad. 	Poco después de usar el desbastador-calentador.
Imprimación.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Rejuvenecer la superficie vieja antes del recubrimiento. 2) Propiciar la adhesión entre la superficie nueva y la vieja. 	Aplicar RECLAMITE cuando menos dos semanas antes del riego de liga y del recubrimiento.

NOTA DE PRECAUCION: Jamás deberá usarse RECLAMITE en pavimentos asfálticos, viejos o nuevos que tengan en la superficie el asfalto suelto o cuando la nueva mezcla contenga exceso de asfalto o menos del 5% de vacíos. Si alguna cantidad de RECLAMITE permanece en la superficie, el área debe ser arenada (un kilo por metro cuadrado) antes de abrir al tráfico.

Fotografía 2 - Tren de equipo en varias etapas de escarificación en caliente con RECLAMITE, el tratamiento de superficie permite trabajos completos más económicos.



MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR EL METODO DE CALENTAMIENTO- ESCARIFICACION Y APLICACION DE RECLAMITE

El procedimiento de calentamiento-escarificación y aplicación de RECLAMITE para el recubrimiento de pavimentos asfálticos han ganado una amplia popularidad en todos los tipos de obras de pavimentación, incluyendo calles, estacionamientos y similares. Basándose en las propiedades excepcionales de rejuvenecimiento de la emulsión RECLAMITE, el proceso ofrece tres ventajas sobre los recubrimientos convencionales.

- 1) Asegura la trabazón entre las capas asfálticas vieja y nueva.
- 2) Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible.
- 3) El agrietamiento superficial en el pavimento existente queda eliminado y, por consiguiente, retarda el agrietamiento por reflexión.

El método de calentamiento-escarificación, para rejuvenecer el asfalto, se puede realizar en cuatro partes. El primer paso es el calentamiento y desprendimiento de la parte superficial (de 1.7 a 2.2 cms. de espesor) del pavimento, usando una unidad convencional de calentamiento superficial con dispositivos para la escarificación y desprendimiento en la parte de atrás.

El segundo paso, consiste en regar de 0.45 a 0.90 Litros por metro cuadrado de RECLAMITE concentrado, inmediatamente después de la operación de desprendimiento, para rejuvenecer el material viejo.

Un recubrimiento asfáltico nuevo se coloca sobre el pavimento rejuvenecido en el tercer paso. La colocación del recubrimiento se efectúa de una manera convencional, inmediatamente después del tratamiento con RECLAMITE. Una extendedora mecánica para colocar un espesor de dos a cuatro cms. de concreto asfáltico ó bien de mayor espesor, dependiendo de los requerimientos estructurales del pavimento terminado. La operación de recubrimiento debe llevarse a cabo tan pronto como la aplicación de RECLAMITE sea práctica.

El cuarto paso del procedimiento, es la compactación. Se usan rodillos convencionales de acero y neumáticos para compactar simultáneamente el material asfáltico remezclado y el nuevo para formar una sola capa. Un tratamiento nuevo del recubrimiento con aproximadamente 0.08 galones por yarda cuadrada de RECLAMITE diluido en una relación de partes del concentrado

por una de agua, prolongará aún más la vida útil del pavimento.

Otro procedimiento aceptado de calentamiento-escarificación y aplicación de RECLAMITE para los recubrimientos es el siguiente: El primer paso es calentamiento y desprendimiento. El segundo paso, es pasar inmediatamente detrás de la escarificadora con el equipo de compactación de acero y neumático. Al terminar cada día de trabajo, se riega el RECLAMITE sobre el área compactada. La relación de la aplicación puede variar de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado de RECLAMITE, y es recomendable que se diluya antes de la aplicación. La proporción de la solución, es de dos partes de RECLAMITE por una de agua. El nuevo pavimento asfáltico, puede tenderse cuando toda el área ha sido escarificada, compactada y tratada con RECLAMITE. El camino puede abrirse al tránsito antes del recubrimiento sin problemas. En aeropistas, sin embargo, deben mantenerse cerradas al tránsito hasta que se efectúe el recubrimiento. Nótese que éste segundo procedimiento tiene todas las ventajas técnicas e ingenieriles del primer procedimiento.

Fotografía 3.- El pavimento asfáltico envejecido, muestra desprendimiento severo y agrietamiento antes del recubrimiento a base de calentamiento-escarificación, y tratamiento con RECLAMITE. Note que el nuevo recubrimiento asfáltico (parte superior izquierda) ya colocado sobre el pavimento tratado.



Fotografía 4 .- La unidad calentadora-escarificadora, emplea un elemento calefactor montado en la unidad para calentar el pavimento asfáltico viejo, antes de que los rastrillos montados en resortes escarifiquen completamente todo el material calentado.



Fotografía 5 - Se está regando una emulsión de RECLAMITE sin diluir sobre el pavimento asfáltico escarificado y sin compactar. El RECLAMITE penetra rápidamente para revitalizar y replastificar la -- mezcla asfáltica vieja. A continuación se coloca el recubrimiento con la nueva mezcla asfáltica, y se compacta.

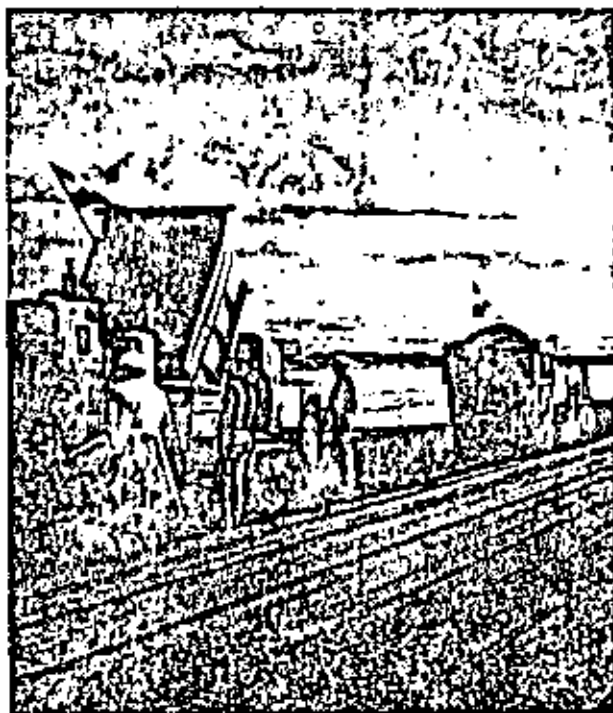


Fotografía 6.- Recubrimiento recién compactado, de mezcla asfáltica fresca. La carpeta original escarificada y tratada con RECLAMITE, adquirirá cuando menos el equivalente de 1" pavimento flexible, a la nueva capa de pavimento asfáltico.



RECLAMITE EN LAS OBRAS

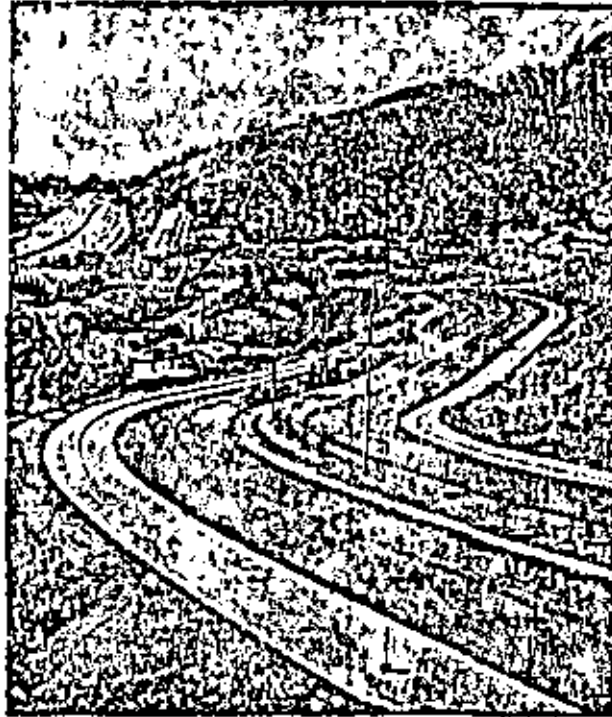
Fotografía 7.- Aeropuerto Internacional de El Paso, Texas.



El Aeropuerto Internacional El Paso, fue el primer Aeropuerto Municipal en Texas que usó RECLAMITE. El primer proyecto establecía el recubrimiento de 110,000 metros cuadrados de aeropistas con el procedimiento calentamiento-escarificación/RECLAMITE, y el sellado de varios miles de yardas cuadradas de pistas para maniobras, calles y estacionamientos para detener la oxidación superficial, y las condiciones del agrietamiento debido al intemperismo. La operación inicial fue tan satisfactoria, que los ingenieros-consultores recomendaron RECLAMITE para el siguiente paso en el programa de mejoramiento de largo alcance. Esto involucraba el reforzamiento de la sección central de la aeropista Este-Oeste, para mejorar la resistencia necesaria para las cargas por eje, incrementadas de las nuevas aeronaves. Los resultados de la compactación, confirmaron la opinión de los ingenieros, y que el procedimiento de reconstrucción era fácil y práctico.

Fotografía 8.- Oakland, California.- Desde 1965, la división de mantenimiento urbano de la Cd. de Oakland, California, incorporó RECLAMITE en sus procedimientos de recubrimiento con calentamiento-escarificación. Aproximadamente se emplearon 190,000 litros de RECLAMITE en las obras recientes de recubrimiento de unos 40 Kms. lineales de calles en la ciudad. La Avenida Keller, una de las calles incluidas en el proyecto, originalmente había sido construída como camino a una nueva unidad habitacional. Posteriormente la calle se extendió para proporcionar acceso a una segunda unidad, y recientemente se convirtió en una calle que conduce a un viaducto. Debido a que había sido durante muchos años, una calle sin terminar, el pavimento asfáltico de granulometría abierta se había deteriorado tanto por la falta de uso como por el intemperismo normal y el envejecimiento. El tratamiento inicial con RECLAMITE en 1962, había detenido el deterioro por mucho tiempo, pero cuando la calle se abrió a los grandes volúmenes de tránsito, se requirió el recubrimiento necesario para soportar las cargas adicionales. Un procedimiento convencional de calentamiento y escarificación de la superficie existente, fue seguido por un tratamiento con RECLAMITE de 0.68 litros por metro cuadrado. A continuación se tendió el recubrimiento y se compactó, para luego abrir la calle al tránsito.

Fotografía 8 -



Fotografía 9.- Aeropuerto Internacional de San Francisco, California.- La decisión de cerrar dos aeropistas principales para repavimentar, en el aeropuerto que ocupa el cuarto lugar de tránsito en los Estados Unidos, presentaba problemas complejos, pero los ingenieros de dicho aeropuerto no tenían otra alternativa. Un reconocimiento rápido de las superficies -- del aeropuerto, 3,235 metros de longitud y 61 metros de ancho de la aeropista 28-L y de la aeropista 1-R de intersección, mostró que la rutina de mantenimiento correctivo con RECLAMITE, era imposible. Además los asentamientos diferenciales de los terrenos, sobre los cuales se habían construido las aeropistas, habían desarrollado deformaciones peligrosas y zonas con desniveles que debían eliminarse. La decisión fue de que se recubrieran la intersección y una porción de la 28-L.

Las dos aeropistas se cerraron al tránsito aéreo durante un período de 72 horas para la operación de recubrimiento. La unidad de calentamiento-escarificación desbastado, pri-

mero removió una capa superficial de 3 cms. de espesor en el pavimento de Concreto Asfáltico, en la intersección y a lo largo de una porción de 185 metros de la pista 28-L adyacente. Después se regó con RECLAMITE a razón de 0.9 litros por metro cuadrado, para proporcionar una buena adhesión entre el material existente y el nuevo recubrimiento. A continuación se tendió un nuevo recubrimiento asfáltico, manteniendo la pendiente de 1 1/2% de la corona a los lados. Se aplicó por segunda vez el RECLAMITE, como un nuevo sellado sobre el recubrimiento. La operación de repavimentación se terminó dentro del programa estipulado. Los ingenieros del aeropuerto, estimaron que el nuevo recubrimiento, permanecerá en condiciones de servicio durante 10 años.

Fotografía 9 -



Fotografía 10 - Cuando se usa RECLAMITE en construcción nueva de pavimentos.
Sella la Superficie.



- 97 -

REQUERIMIENTOS TIPOICOS ESPECIALES PARA LOS RECUBRIMIENTOS
CON EL PROCEDIMIENTO CALENTAMIENTO-ESCARIFICACION Y APLI-
CACION DEL AGENTE REJUVENECIDOR

Generalidades.- El propósito de ésta exposición es describir el alcance del trabajo que debe realizarse, así como del establecimiento que ciertos requerimientos para el equipo y la secuencia de actividades. El trabajo consistirá esencialmente en rejuvenecer las superficies asfálticas existentes por el procedimiento calentamiento-escarificación y la aplicación de un agente rejuvenecedor (RECLAMITE) y reforzarlo con una capa de concreto asfáltico.

Limpieza.- Antes de iniciar las operaciones de calentamiento-escarificación deberá limpiarse el pavimento de todo el material desprendido que se presente en cantidades que interfieran con el trabajo. El suelo y/o agregado adherido al pavimento, debe desprenderse y removerse. Una barredora mecánica -- puede sustituirse por un barrido manual, cuando sea necesario, hasta que la superficie quede libre de materiales indeseables. Los agujeros en el pavimento existente, deberán parcharse según lo determine el ingeniero antes de empezar la operación de calentamiento-escarificación.

Calentamiento-Escarificación.- El equipo para realizar éste trabajo, debe ser autoimpulsado y capaz de cubrir un mínimo de 2,500 metros cuadrados por hora, mientras calienta las superficies existentes, al grado de que puedan remezclarse hasta una profundidad no menor de 1.3 cms. La superficie escarificada debe quedar uniformemente extendida y los agregados no deben ser pulverizados, ni lajeados ó quebrados. La mínima temperatura, medida dentro de los tres minutos del tratamiento, no deberá ser inferior a 107° C. La mínima amplitud de la superficie escarificada, debe ser la necesaria para acomodar la anchura de recubrimiento del Agente Rejuvenecedor del concreto asfáltico; inmediatamente después de la operación de calentamiento-escarificación, debe hacerse una aplicación de aproximadamente 0.45 galón por yarda -- cuadrada ó lo que designe el ingeniero, de rejuvenecedor asfáltico diluido (RECLAMITE) sobre la nueva área escarificada. Las dimensiones de los orificios de la barra regadora, deben graduarse para que en conjunto liberen la -- aplicación en la proporción aplicada.

Recubrimiento con concreto asfáltico.- La capa de concreto asfáltico para el recubrimiento, deberá tenderse inmediatamente después de la aplicación -- del agente rejuvenecedor del asfalto.

Método de Medición.- El calentamiento-escarificación, debe pagarse por metro cuadrado de área de la superficie.

Bases de pago.- Las cantidades aceptadas para éste objeto, deben pagarse de acuerdo al precio especificado en el contrato por yarda cuadrada para el calentamiento-escarificación, tal precio debe compensar completamente el -- aprovisionamiento de todo el trabajo; herramientas, equipo y todo lo que se necesite incidentalmente, para completar dicho trabajo; se pagará por separado lo correspondiente al "Agente Rejuvenecedor del Asfalto", "Recubrimien to de Concreto Asfáltico y la "Pavimentación".

ESPECIFICACIONES PARA EL AGENTE REJUVENECEDOR DE ASFALTO

El agente rejuvenecedor de asfalto, deberá estar compuesto por una base de resinas y aceites del petróleo, uniformemente emulsificada con agua y de -- acuerdo a los siguientes requerimientos físicos y químicos:

DESIGNACION DE LA ESPECIFICACION	METODO DE PRUEBA	REQUERIMIENTOS
Viscosidad, S.F., a 23° C. en segundos	ASTM D244-60	16-40
Residuo, por ciento mínimo (1)	ASTM D244-60 (Mod)	60-65
Miscibilidad (2)	ASTM D244-60 (Mod)	Sin coagulación
Retenido en malla 200 por ciento máx. (3)	ASTM D244-60 (Mod)	0.10
Carga de la partícula	ASTM D244-60	Positiva
Pruebas sobre el residuo de ASTM D244-60 (Mod):		
Viscosidad cs, 60° C.	ASTM D445	100-200
Asfaltenos por ciento máx.	ASTM D2006-65-T	0.75
Relación de distribución de maltenos	ASTM-D2006-65-T	0.3-0.5

$$\frac{PC + A_1}{S + A_2} \quad (4)$$

- 1) La prueba de evaporación ASTM D244, para el por ciento de residuo, se hace calentando una muestra de 50 gramos a 300° F., hasta que cesa de espumar; a continuación se enfría (inmediatamente) y se calculan los resultados.
- 2) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D244-60, excepto que una solución normal del cloruro de calcio al 2%, debe usarse en lugar del agua destilada.
- 3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D244, excepto que se deberá usar agua destilada en lugar de la solución de Oleato de Sodio al 2%.
- 4) En la prueba ASTM D2006-65-T, para la relación de distribución de malte-

PC	Compuestos Polares	A ₁	Primeros aciduoafines
A ₂	Segundos aciduoafines	S	Saturados

Los materiales deberán tener un record de servicio satisfactorio como agentes rejuvenecedores de asfalto; dicho servicio satisfactorio, estará basado en la capacidad de los materiales para incrementar la ductibilidad y penetración de los aglutinantes asfálticos de las carpetas.

COMPARACION ENTRE CAMINOS TRATADOS CON RECLAMITE Y LOS NO TRATADOS



Fotografía 1, Localización: Carretera Federal 395, al Norte de Carson City, Nev. Dependecia: Departamento de Carreteras de Nevada.

Se usó RECLAMITE en un tratamiento superficial sobre una mezcla de granulometría - abierta elaborada en planta, con material para sello, en 1965. Esta foto que fué - tomada en 1969 muestra la diferencia en textura entre el pavimento tratado con RECLAMITE, (parte superior derecha) comparado con el no tratado, (parte inferior izquierda). Note el gran desprendimiento y la pérdida de material en la parte no tratada, mientras que la sección tratada no presenta superficies dañadas.

DATOS DEL ASFALTO DE LOS CORAZONES

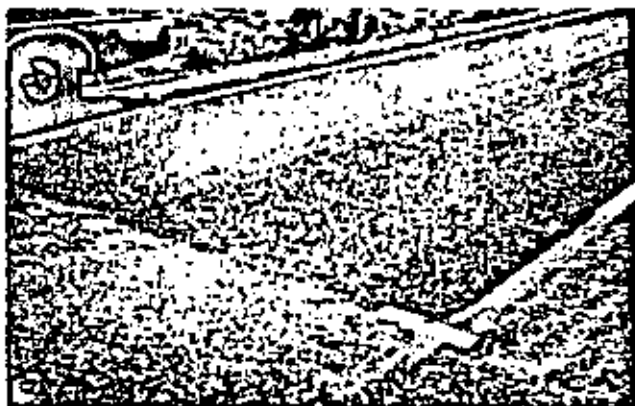
Valores de penetración del asfalto extraído

Tratado con RECLAMITE

Noviembre 1965		Diciembre 1968
Superficial	1.5 cms. 82	40
Segunda	3.0 cms. 46	35
Tercera	4.5 cms. 45	33

No Tratado

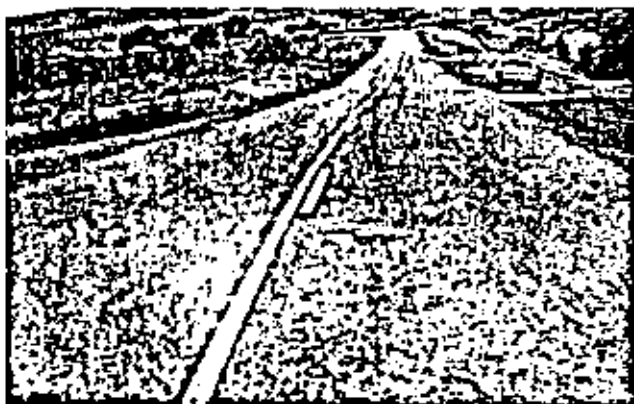
Noviembre 1965		Diciembre 1968
Superficial	1.5 cms. 24	17
Segunda	3.0 cms. 45	22
Tercera	4.5 cms. 48	26



Fotografía 2, Localización: Ruta Estatal 44, al Noroeste de Susanville, Calif.

Dependencia: Departamento de Transportes de Calif. (Nota: Esta es una mezcla asfáltica en tambor secador).

Se usó RECLAMITE en una construcción de sello en una porción de este pavimento -- construido en octubre de 1973. Esta foto que fué tomada en julio de 1974 muestra la diferencia en textura entre la sección tratada con RECLAMITE, (parte inferior-izquierda), comparada con la parte superior derecha que no está tratada. Note que en el área tratada no hay evidencia de material suelto, mientras que en la sección no tratada existe desprendimiento y está muy porosa.



Fotografía 3, Localización: Carretera Estatal cerca de Bibo, Nvo. Mexico.

Dependencia: Departamento de Carreteras de Nvo. Mexico.

El carril izquierdo de esta carretera fué tratado con RECLAMITE en 1963. Esta foto tomada en 1966, muestra el carril derecho no tratado, agrietado y con desprendimientos y al compararlo con el carril izquierdo tratado con RECLAMITE vemos que éste no presenta signos de daños visibles.

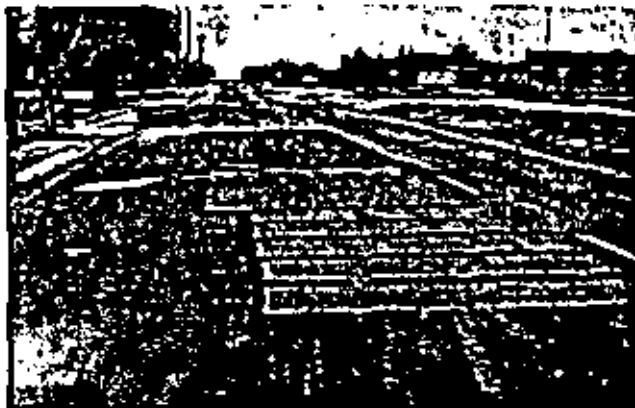
DATOS DEL ASFALTO DE TRES CORAZONES

(No mostrados en foto)

Valores de penetración del asfalto extraído

Corazón núm. 1		Corazón núm. 2	
Superficial 1.5 cms. (sin tratar)	17.0	Superficial 1.5 cms. (sin tratar)	23.0
Superficial 1.5 cms. (tratada)	52.0	Superficial 1.5 cms. (tratada)	48.0

Corazón núm. 3	
Superficial 1.5 cms. (sin tratar)	22.0
Superficial 1.5 cms. (tratada)	40.0



Fotografía 4, Localización: Calle Day,
Condado de
Kern, Calif.

Se usó RECLAMITE en un tratamiento superficial en las porciones de este pavimento, en 1970. Esta foto tomada después de una lluvia en 1974 muestra una sección de las áreas de prueba y del pavimento tratado. Note las porciones secas del pavimento que habían sido tratadas con RECLAMITE.

DATOS DEL ASFALTO DE LOS CORAZONES

Valores de penetración del asfalto extraído

Tratado con RECLAMITE

Noviembre 1970	Enero 1974
Superficial 1.0 cms.	30
Segunda 2.0 cms.	31
Tercera 3.0 cms.	17

No Tratado

Noviembre 1970		Enero 1974
Superficial	1.0 cms. 16	0
Segunda	1.0 cms. 24	11
Tercera	1.0 cms. 25	12



Fotografía 5, Localización: Ruta Estatal 223, cerca de Bakersfield - California.

Dependencia: Departamento - de Transportes de California.

En la parte superior se muestra la sección tratada con RECLAMITE en 1961. Esta -- foto, tomada en 1965, muestra en su parte inferior que el camino ha sufrido des-- prendimiento severo, mientras que la sección tratada con RECLAMITE permanece ina-- fectada.



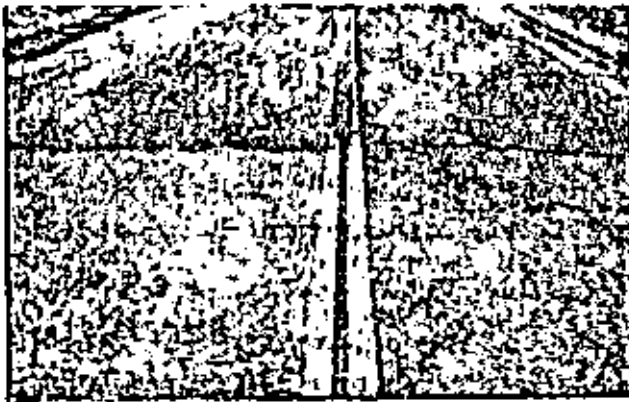
Fotografía 6, Localización: Carretera Co-- manche, Conda-- do de Kern, - California.

En 1961 se trataron con RECLAMITE el carril derecho y la porción inferior del ca-- rril izquierdo. Seis años después las secciones tratadas no mostraron efectos per-- judiciales, mientras que la parte no tratada (superior izquierda) mostraba despren-- dimiento severo y pérdida de material.



Fotografía 7, Localización: Carretera -
del Condado
de Kern, --
área urbana
cerca de Ba
kersfield, -
California.

Esta sección fué tratada con RECLAMITE en 1964. Note las secciones más oscuras -
de pavimento sin tratar en esta foto tomada en 1967, que muestran desprendimiento,
comparadas con las secciones más claras inafectadas del mismo pavimento tratado -
con RECLAMITE.



Fotografía 8, Localización: Carretera -
del Condado
de Madera, -
cerca de Ma
dera, Calif.

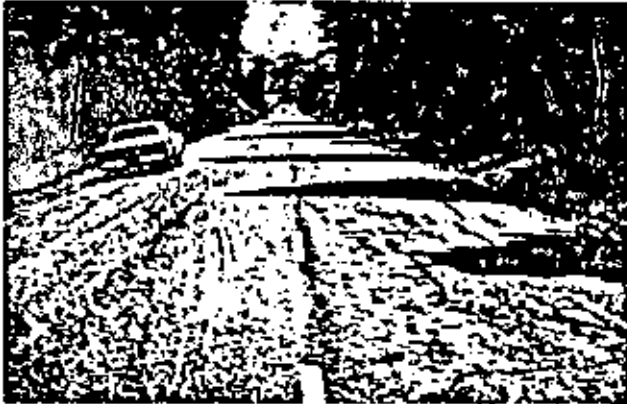
La porción más baja de este camino fué tratada con RECLAMITE en 1962. Esta foto -
tomada en 1964 muestra la línea blanca doble casi borrada sobre la sección del ca
mino sin tratar debido al severo desprendimiento.



Fotografía 9, Localización: Hilton Ave-
nue, cerca-
de Phoenix--
Arizona.

Dependencia: Departamento
de Carreteras
de Arizona.

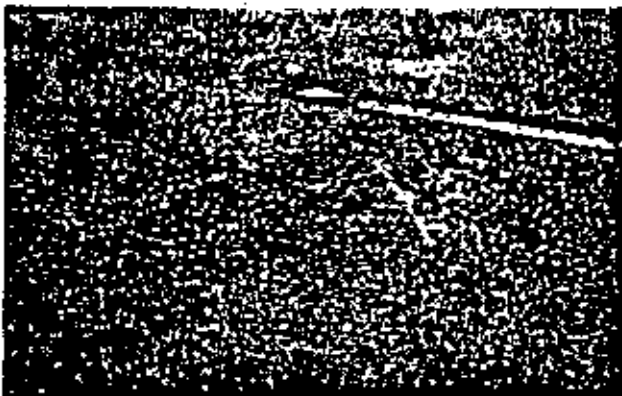
La parte superior de este camino fué tratada con RECLAMITE en 1961. En la foto - tomada en 1967, seis años después, la sección sin tratar del camino muestra un - desprendimiento severo, pérdida de material y agrietamiento que termina justo -- donde se inicia la sección tratada con RECLAMITE.



Fotografía 10, Localización: Ruta Estatal
20, cerca de
Nevada, City
California.

Dependencia: Departamento -
de Transportes
de California.

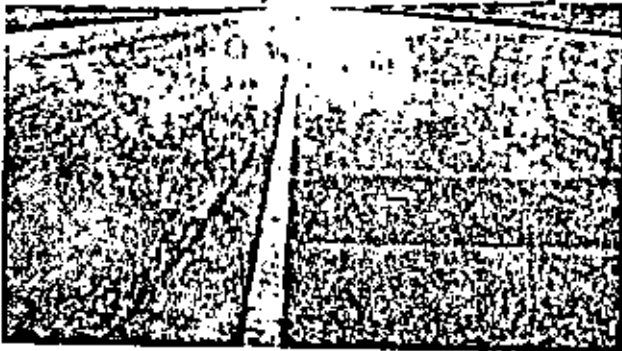
Se aplicó RECLAMITE en el carril izquierdo en 1962 y el carril derecho no se tra-
tó. En esta foto tomada en 1967 el carril derecho sin tratar muestra daños severos
y ha requerido, bacheo y mantenimiento, mientras que el lado izquierdo tratado con
RECLAMITE no muestra daños y no ha requerido mantenimiento.



Fotografía 11, Localización: Ruta Estatal-
178, cerca de
Bakersfield,-
California.

Dependencia: Departamento -
de Transportes
de California.

En 1968, esta autopista fué tratada con RECLAMITE en una construcción de sello. -
Esta foto tomada en 1974, muestra una pequeña sección sin tratar, la cual presenta
una grieta grande mientras que la porción tratada con RECLAMITE tiene una grieta -
pequeña. Note la textura superficial de la parte no tratada con daños superficiales
severos y pérdida de finos mientras que la parte tratada con RECLAMITE no presenta
tales fallas.



Fotografía 12, Localización: Aeropista, -
Aeropuerto
Internacio-
nal El Paso,
El Paso, Tex.

En 1965 esta Aeropista fue tratada con RECLAMITE en una construcción de sello. - Esta foto tomada en 1973 muestra una pequeña sección sin tratar en la parte cen-
tral derecha. Note el desprendimiento y los daños en la superficie en esta se-
cción sin tratar comparada con el resto del pavimento que ha sido tratado.

Nota de Precaución: Las instrucciones detalladas para este tratamiento están dis-
ponibles y deben ser consultadas para asegurar la debida aplicación y la conser-
vación de las características de tracción de los pavimentos asfálticos. No debe-
rá usarse RECLAMITE en cualquier pavimento asfáltico donde existan o vayan a --
existir después del tratamiento contaminaciones de combustible, aceite, grasa o
asfalto, o cuando la mezcla contenga un exceso de asfalto. Bajo ciertas condicio-
nes las superficies frescas, tratadas con RECLAMITE, pueden requerir arena, an-
tes de que el área se abra al tránsito. Una o dos libras de arena por metro cua-
drado, son generalmente suficientes para una buena tracción; sin embargo, las --
condiciones reales de la superficie indicarán la cantidad exacta de arena que --
debe aplicarse.

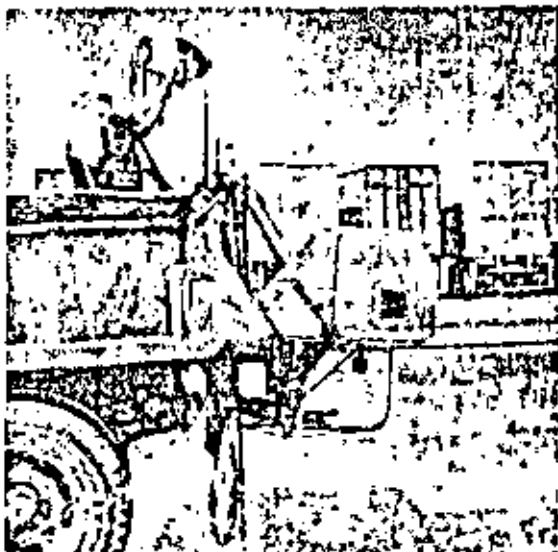
Nota de Garantía: Ninguna garantía, expresa o implicada, incluyendo garantía de
patente, o garantía de mercados o de uso conveniente, serán aceptadas por Witco-
Chemical Corporation con respecto a los productos descritos o a la información -
que aquí se expone. Nada de lo contenido en estos artículos constituye una auto-
rización o recomendación para poner en práctica cualquier invención cubierta por
una patente sin la licencia de su respectivo propietario.

PONIENDO NUEVA VIDA A LOS PAVIMENTOS VIEJOS:

William Caussa, P. E.,
Golden Bear Division,
Witco Chemical Corporation

Reimpreso en Febrero de 1973 de la
Revista OBRAS PUBLICAS de Ridgewood, N.J.

Fotografias 1, 2, y 3 : Prueba del Anillo de Grasa (parte superior izquierda), con la cual se determina la disponibilidad de un pavimento para el tratamiento y la proporción apropiada de la aplicación.- La foto de arriba muestra el RECLAMITE aplicado, aún fresco brillando en el sol. El tratamiento es seguido por un areneo para reducir el derrapamiento.



Los ingenieros de caminos están usando cada vez más los tratamientos con la emulsión rejuvenecedora, en sus obras de mantenimiento de los pavimentos, así como en los programas de construcción. Estos agentes se emplean para extender la vida útil de los pavimentos asfálticos:

- + Restauración o mejoramiento de la flexibilidad y ductilidad del asfalto intemperizado en el pavimento viejo. La acción rejuvenecedora ocurre solamente en la parte superior hasta una profundidad de 0.7 a 1.4 cms. de la carpeta, por lo cual extiende la vida útil del pavimento sin causar ningún efecto nocivo -- en la estabilidad de la carpeta.
- + En la construcción nueva, para restaurar la calidad original del asfalto que se ha perdido parcialmente debido al envejecimiento artificial ocurrido durante la operación de calentamiento en planta.
- + Reducción o eliminación del desprendimiento que puede desarrollarse en una mezcla que tiene un bajo contenido de asfalto, resultado de la absorción del agregado o de otras causas.
- + Reduce la intrusión de aire y agua, proporcionando un "sello profundo" y duradero que no puede deteriorarse por el tránsito o el intemperismo.
- + Ayuda a reducir la permeabilidad donde las densidades deseadas no pueden alcanzarse, debido a las bajas temperaturas ambientales o al enfriamiento de las mezclas durante el acarreo a largas distancias de la planta de calentamiento.

Los tratamientos rejuvenecedores también son usados ampliamente para extender la vida de los pavimentos viejos, mejorar las propiedades del asfalto en el proceso de calentamiento-escarificación y las operaciones de calentamiento en la repavimentación, así como para ayudar a rellenar y sellar las pequeñas grietas del pavimento (0.6 cms. de ancho o menos). Como tales tratamientos se están usando mucho, es muy importante entender cuando pueden ser más efectivos y cuando deben ser aplicados, particularmente en aplicaciones en la construcción nueva.

La experiencia obtenida con el agente rejuvenecedor, RECLAMITE (T.M. Golden Bear -- Division, Witco Chemical Corp.), lo hace un producto ampliamente usado para tales propósitos, y puede ayudar a guiar a los ingenieros que están involucrados en las decisiones de los programas de tratamientos rejuvenecedores. El agente, que es una emulsión a base de agua y productos petroquímicos seleccionados, se proporciona en forma concentrada en frío y diluida en el sitio de la obra con cualquier tipo de agua disponible (aún agua de mar), en una dilución a base de dos partes de concentrado por una parte de agua. Puede ser aplicado por medio del camión convencional o por equipo distribuidor sin calentamiento.

Pruebas para determinar el uso apropiado:

Un método simple para determinar las condiciones de absorberencia del pavimento, - su disponibilidad para el tratamiento con rejuvenecedor y la aplicación correcta, es por medio de la prueba del anillo de grasa. Esta consiste en formar un anillo con diámetro de 15.0 cms. sobre el pavimento de pruebas, con un tubo de grasa para formar un recipiente sellado para la aplicación gradual y decreciente, de la cantidad de emulsión. Los estuches de prueba están provistos de un frasco o tubo marcador para duplicar varias proporciones de aplicación.

La cantidad del agente rejuvenecedor disminuye en forma gradual, basándose en un análisis preliminar de las condiciones del asfalto, y se mide en la obra vaciando el agente en el anillo y extendiéndolo rápido y uniformemente sobre el área circular con un cepillo pequeño. Se registra entonces el tiempo requerido para que el agente penetre en la superficie. Los datos que deben registrarse en esta prueba incluyen: Descripción de la superficie de prueba; localización del anillo de prueba; tiempo de penetración de cada cantidad usada; y la proporción de aplicación, la cual debe ser la mayor cantidad que penetre la superficie en un lapso de 15 a 20 min., la prueba deberá realizarse en las partes más transitadas marcadas por las rodaduras, que es donde el pavimento es más denso comunmente (mayor dificultad para penetrar) para asegurar los resultados más confiables; y debido a que las condiciones varían en la superficie, la prueba deberá repetirse en diferentes áreas.

Si el área superficial aparece con un residuo grueso, del material aplicado, después de un intervalo de 15 min. indica que se usó mucho agente rejuvenecedor para la prueba o bien que el pavimento no requiere tratamiento.

Cuando se considera la aplicación del agente en pavimentos asfálticos nuevos, la proporción recomendada varía de 0.22 a un máximo de 0.44 litros por metro cuadrado (gsy) y comunmente estarán en el intervalo de 0.22 a 0.35 litros por metro cuadrado. Jamás deberá excederse de 0.52 litros por metro cuadrado la dilución de 2 a 1. Si la cantidad de 0.22 litros por metro cuadrado del agente no penetra completamente en un pavimento nuevo, entonces no debe ser usado.

Condiciones del pavimento:

Las características del pavimento nuevo indicarán al ingeniero no solamente la cantidad de material que debe aplicarse, sino también si es que el tratamiento debe realizarse completamente. Un estudio cuidadoso de las condiciones del pavimento debe hacerse antes de decidir si debe emplearse un tratamiento de este tipo.

Los pavimentos asfálticos deben tener un contenido de vacíos (de aire) de cuando menos 5% para que la aplicación resulte práctica y benéfica. Los pavimentos con exceso o alto contenido de asfalto tienen pocos vacíos y por consiguiente - están sujetos a inestabilidad, marcas de rodamientos y llorado, ya sea que se traten o no con rejuvenecedor; por lo que el tratamiento de tales pavimentos es contraindicado.

Más aún, si la calidad de los agregados es tal que rápidamente van a degradarse o a pulirse, la extralongevidad que un tratamiento le pudiera proporcionar, se nulifica.

Los pavimentos viejos requieren un examen cuidadoso antes de darles el tratamiento preventivo con el agente. El tratamiento preventivo con el agente. El tratamiento será efectivo sólomente si el agente rejuvenecedor puede penetrar debidamente. El pavimento no debe exhibir asfalto libre en su superficie, y su absorvencia deberá determinarse con la prueba del anillo de grasa. Las cantidades recomendadas para la aplicación del rejuvenecedor oscilan entre 2.26 y 1.36 litros por metro cuadrado, dependiendo de las características de absorbencia.

Los ingenieros deben ver si existen ciertas condiciones que hagan a los pavimentos viejos inadecuados para tales tratamientos. Entre éstas están los pavimentos recientemente sellados con compuestos a base de asfalto, emulsión asfáltica o asfalto rebajado; las superficies inestables (indicadas por surcos de rodaduras, desplazamiento o grietas); las superficies más dañadas por el tránsito o por acumulaciones espesas de materiales extraños que pudieran evitar la absorción del agente. A menos que exista completa absorción, el agente no tiene valor.

Aplicación:

Un agente rejuvenecedor se riega mejor con el distribuidor convencional de asfalto. El equipo debe de estar limpio, sin remanentes de asfalto o disolventes en el tanque, y bien tapados para que no se originen fugas en las conexiones. Es aconsejable probar con una pequeña cantidad del material a través de la barra distribuidora, fuera del camino, para asegurarse de que la barra está limpia y bien ajustada. Los orificios de la regadora deben ser pequeños, aproximadamente de 3.2 milímetros de diámetro.

Los agentes rejuvenecedores pueden generalmente regarse bajo un amplio intervalo de temperatura desde la baja de 0°C hasta la más alta que pueda existir. Debe ser aplicado en el pavimento seco en un tiempo en que se estime que la lluvia no es inminente. La experiencia ha mostrado que la penetración ocurre más rápidamente - si el trabajo se ejecuta durante clima caluroso.

El efecto de la emulsión en la tracción del camino depende de las condiciones y de la textura superficial del pavimento antes del tratamiento. Después del tratamiento puede existir un peligro temporal en ciertos casos. Este se debe a la penetración incompleta de la emulsión como consecuencia del exceso o de la aplicación no uniforme, o bien de las variaciones de la permeabilidad del pavimento; acumulaciones de aceite y grasa, por contaminaciones o por ser remanentes de recubrimientos asfálticos previos del tipo de sellado sobre el pavimento; y al agredado que ha sido pulido por el tránsito hasta lograr una superficie lisa.

Si se notan condiciones de resbalamiento después del tratamiento, la aplicación de 0.5 a 1.0 litros por metro cuadrado de arena seca o polvo de roca, generalmente proporcionarán la tracción necesaria para reducir el derrapamiento a un mínimo. En cualquier caso cuando exista duda acerca de las condiciones de seguridad para el tránsito, después de un tratamiento del pavimento, se debe efectuar un areneo de acuerdo a las condiciones locales. Durante más de 10 años de experiencia en el rejuvenecimiento de los pavimentos se ha determinado que éstos requieren de areneo si se quiere abrir al tránsito el camino después de pocas horas. Sin embargo se ha notado que el areneo generalmente no es necesario en los lotes para estacionamiento y en otras áreas que puedan mantenerse cerradas al uso durante varios días.

Durante cualquier tipo de trabajo en las carreteras, incluyendo tratamientos con emulsión, disposición de barricadas, se deben usar barricadas adecuadas, señalamientos preventivos y sistemas de control de tránsito (tales como luces, carros pilotos y hombres con banderas). Donde se hace necesario el tratamiento con arena, dicho trabajo no deberá considerarse terminado a menos que el areneo sea adecuado hasta que el agente ha sido completamente absorbido.

Además de sus usos primeros para tratar el pavimento nuevo y como mantenimiento preventivo para los pavimentos viejos, la emulsión puede usarse en operaciones de calentamiento-escarificación, calentamiento repavimentación y relleno de grietas. En el primer caso, el material se aplica en la carpeta vieja, después de la escarificación, sin diluir y en una cantidad que varía de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado. Es práctica común tender inmediatamente el pavimento escarificado y tratado. Algunas veces esta etapa de recubrimiento es retardada y se hace necesario abrir, la sección escarificada y compactada, al tránsito. Si así fuera esto podría hacerse sólo si ya ha ocurrido la penetración completa y se tiene en la superficie el coeficiente de fricción necesario para la seguridad.

El llenado de las grietas con el agente es comúnmente una operación libre de peligros. Sin embargo, siempre debe aplicarse arena para ayudar en el llenado de las grietas y en la absorción de cualquier material derramado en exceso o en otras partes del pavimento.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIENTOS

BASES Y SUB-BASES ESTABILIZADAS

Ing. Carlos Fernández Loiza

Septiembre, 1980



TECNOLOGIA TRADICIONAL

- PESO VOLUMETRICO
- ESTABILIDAD
 - DEFORMACION
 - RESISTENCIA

¿ PERMEABILIDAD ?

- UNA BASE SATURADA SE DAÑA MILES DE VECES MAS RAPIDO QUE UNA QUE NO CONTENGA AGUA LIBRE.
- EL AGUA PUEDE TARDAR MESES EN DRENARSE.

DISEÑO :

- SUFICIENTE ESPESOR (ESTRUCTURAL)

FALLA :

- PRESENCIA DEL AGUA.

- > CONTENIDO DE AGUA
- < CAPACIDAD DE CARGA
- > DETERIORO

BASE SATURADA + CARGAS PESADAS =
 = EROSION + EXECCION + PERDIDA DE
 PELICULAS ASFALTICAS.

ADEMAS:

- DESINTEGRACION DE BASES DE SUELO CEMENTO.
- MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE LOS AGREGADOS DE LA BASE.
- LOS AGREGADOS PUEDEN QUEDAR SOMER-
 GIDOS, PESAN MENOS Y SE REDUCE LA
 PRESION CONFINANTE (MENOS RESIS-
 TENCIA)
- EL AGUA EN MEZCLAS ASFALTICAS
 CONTRIBUYE A SU AGRIETAMIENTO
 Y OXIDACION, PERDIDA DE FLEXIBILI-
 DAD Y A SU DETERIORO.

- POR BOMBEO LE ARILLA PUEDE PENETRAR EN LAS GRIETAS EN CARPETAS ASFÁLTICAS IMPIDIENDO SU AUTOSSELLADO.
- EL AGUA PRODUCE QUE SE SEPAREN LAS CAPAS SUCESIVAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS.
- PRESIÓN DE PORO EXCESIVA.
- LAS BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO PUEDEN PERDER TOTALMENTE SU COHESIÓN. (EFECTO COMBINADO CON EL TRÁNSITO)

= DAÑOS PRODUCIDOS POR EL AGUA A GRANDES VELOCIDADES =

$$N = f(\sqrt{\text{diámetro}})$$

PAVIMENTO ANTIGUO → MAYOR DIÁMETRO
 → MAYOR VELOCIDAD → MAYOR DAÑO

LAS PRUEBAS:

ROAD TEST MD (1950)

WASHO (1954)

ASHO (1958-1960)

DEMOSTRAN MAYORES DAÑOS EN EPOCAS LLUVIOSAS.

CONCLUSIONES (1973 U.S.A.)

- 1.- EL AGUA ENTRA EN TODAS LAS SUPERFICIES DE RODAMIENTO, NO HAY IMPERMEABILIDAD SOBRE TODO EN PAVIMENTOS VIEJOS.
- 2.- DAÑOS MUY SUPERIORES CON LA PRESENCIA DEL AGUA.
- 3.- EL AGUA ENTRA EN LOS PAVIMENTOS MUCHO MAS RAPIDO DE LO QUE SALE (VARIOS MESES)
- 4.- COMO CONSECUENCIA, EN LOS PAVIMENTOS ACTUALES EL AGUA PERMANECE MUCHO TIEMPO ALMACENADO EN LOS PAVIMENTOS CAUSANDO SU DETERIORO

INFLUENCIA DEL CLIMA.

- 1.- HUECOS POR: (ACUMULAN AGUA)
 - CONTRACCIONES POR SECAO
 - ALABEOS EN LOSAS.
- 2.- CLIMAS CALIENTES: GRAN EVAPORACION

SOLUCIONES POSIBLES:

- LOS PAVIMENTOS BIEN DRENADOS HAN RESULTADO MAS ECONOMICOS QUE LOS NORMALES.
- EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS CONSIDERAR:
 - VELOCIDAD Y GASTO DE ENTRADA DEL AGUA.
 - VELOCIDAD Y GASTO DE SALIDA DEL AGUA.
- RECOMENDABLE USAR BASES TIPO MACADAM CON COLECTORES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES.
- SE PUEDE SUSTITUIR 1 CM. DE BASE DRENANTE POR 1 CM. DE BASE TRADICIONAL.
- EL UNICO COSTO ADICIONAL ES EL DE LOS COLECTORES.
- RECOMENDABLE EMPLEAR EN LAS BASES Y SUBBASES AGRREGADOS DE 1" A 1/4" (MIN. 1/4", MAX. 1 1/2")
- USAR GRAVAS DUREZ TRITURADAS (SI SE USAN GRAVAS REDONDEADAS EMPLEAR ADITIVOS)

PRUEBA	FACTOR DE SEVERIDAD
WASHO (1955)	70 000 : 1
WASHO (1962)	10 : 1 a 40 : 1
ILLINOIS (1970)	200 : 1

SOLUCIONES LOGICAS:

- 1.- EVITAR ENTRADA DEL AGUA.
- 2.- ACELERAR LA SALIDA DEL AGUA.

— EN UNA GRIETA DE 1
1,50 MTS DE LONGITUD
EN UN MINUTO

- PENETRAMO DE 4 A 5 LTS. DE AGUA.
- HASTA 1,5 CM / hr.

ANCHURA DE LA GRIETA (CMS.)	PENDIENTE EN EL PAVIMENTO (%)	PORCENTAJE DE AGUA QUE PENETRA (LLUVIA)
0,08	1,25	70
0,12	2,50	89
0,32	3,75	95

SE HA ENCONTRADO QUE EN CONCRETOS ASFALTICOS PENETRAN HASTA:

127 CMS / HR.

LAS PERMEABILIDADES HAN VARIADO DESDE

\approx 0 CMS/DIA A MILES DE CMS/DIA.

- ARTESIANISMO EN LOS 5CMS. SUPERIOR.
- INDISPENSIBLE IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE.

¿ BORDES ? , ¿ GRIETAS ?

- VULNERABILIDAD A LA ENTRADA DEL AGUA.
 - SUPERFICIES POROSAS, GRIETAS, JUNTAS.
 - ENTRADAS LATERALES POR CHARCOS, NAF, ETC.
 - SUCCION CAPILAR
 - REDES DE FLUJO
 - CONDENSACION, DESEQUILIBRIO EN TEMPERATURA Y PRESION ATMOSFERICAS (AGUA DE HIDROGENESIS)

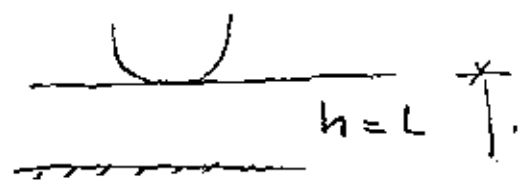
- EL AGUA PENETRA POR LOS ACOTAMIENTOS FORMANDO "ESTANQUES" QUE SE DRENAN MUY LENTAMENTE.
- LOS DRENES DEBEN SER TOTALMENTE PERMEABLES (FILTROS CUIDADOS)

MATERIAL	k (cm/s/día)	VELOCIDAD DE INFILTRACION QUE PUEDE SER REMOVIDA (cm/hr)
ARENAS Y GRAVAS BIEN GRADUADAS	30	0.0015
ARENA DE TRITURACION CON FINOS	60	0.0030
ARENA PARA CONCRETO	600	0.030

(FIGURA 3.11)

-DRENAJE VERTICAL DE 1600 A 2000 VECES MAS RAPIDO QUE EL HORIZONTAL-

$$Q = k \cdot i \cdot A = k \cdot \frac{h}{L} \cdot \Delta = k \cdot A$$



(9)

$$t_{100} = \frac{Q_p}{q_s} \quad (\text{CUERPO DE INGENIEROS})$$

t_{100} = 100% DE DRENAJE DE LA CANTIDAD DE AGUA Q_p , HACIA LA SUBRASANTE, A UNA VELOCIDAD DE q_s

$$k = 1 \times 10^{-6} \text{ cms / seg}$$

$$i = 0.2$$

Q_p = POROSIDAD COMBINADA ENTRE LA CARPETA Y LA BASE = $3.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$

$$t_{100} = \frac{3.3}{1 \times 10^{-6} \times 0.2} = \frac{3.3}{0.2 \times 10^{-6}} = 16.5 \times 10^6$$

$$t_{100} = 16\,500\,000 \text{ segs} \hat{=} 190 \text{ días}$$

$$t_{50\%} = 30 \text{ días}$$

INGRESO DE AGUA :

- INFILTRACION SUPERFICIAL
- CAPILARIDAD
- HOMBROS, NAF, FLUJOS, ETC.
- HIDROKINESIS,

POSIBLES VELOCIDADES DE DRENAJE
POR LOS ACOTAMIENTOS, EN FORMA
HORIZONTAL

k (pies/día)	VELOCIDAD DE DRENAJE (pies ³ /día)
1	0.10
10	1.20
100	12.0
1000	120.0

POSIBLE DRENAJE VERTICAL

k (pies/día)	VELOCIDAD DE DRENAJE (pies ³ /día)
0.003	0.02
0.03	0.18
0.30	1.80
3.00	18.0
30.00	180.0

· CAPACIDAD DE DRENAJE. ($h = 12''$, $i = 0.01$)

k (pies/día)	k (cm/día)	CAPACIDAD (pies ³ /día/pie)
0.01	3.5×10^{-6}	0.0001
10.0	3.5×10^{-3}	0.10
10 000	3.5	100
20 000	7.0 (Recomen.)	200
30 000	10.5	300
100 000	35	1000

= SI EL PAVIMENTO SUFRE :

- CARGAS PESADAS REPETIDAS
- ACCESO DE AGUA.

HAY QUE DRENARLO =

USANDO BASES Y SUBBASES ABIERTAS.

REQUISITOS DE LAS CAPAS DRENANTES.

- a) BASE CON GRANULOMETRIA MUY ABIERTA
- b) SUBBASE DISEÑADA COMO FILTRO, DE PREFERENCIA MEMBRANAS IMPERMEABLES.
- c) DRENEES LONGITUDINALES COLECTORES.
- d) DRENEES TRANSVERSALES.
- e) SALIDAS DE LOS DRENEES.
- f) POSTES O BANDERAS DE UBICACION DE LAS SALIDAS.

$$k \geq 1 \text{ cm/sec (Macadam)}$$

3/4" a no. 4

3/4" a 1/2"

1/2" a 1"

1" a no. 4

etc...

— POR RANGO:

$$D_{85} < 4 D_{15}$$

— POR LIMPIEZA:

$$D_2 \geq 0.1''$$

— VERIFICAR LA CAPA COMPACTADA.

PROYECTO:

- CUIDAR GEOMETRÍA Y PENDIENTES PARA OPTIMIZAR DRENAJE.
- REALIZAR PROYECTO DETALLADO DEL SUBDRENAJE, ESPECIFICACIONES.
- PROGRAMAR EL MANTENIMIENTO DEL SUBDRENAJE (TUBERIAS, SILLAS, ETC...)

FILTROS:

$$\frac{D_{15} (\text{FILTRO})}{5} \leq D_{85} (\text{SUELO}) ; \text{INTROSIÓN}$$

$$\frac{D_{50} (\text{FILTRO})}{25} \leq D_{50} (\text{SUELO}) ; \text{UNIFORMIDAD (NO TRASLAPES)}$$

PARA EVITAR TAPONAMIENTO DE LAS TUBERIAS:

RANURA:

$$\frac{D_{BS}}{\text{ANCHO RANURA}} > 1.2$$

CIRCULO:

$$\frac{D_{BS}}{\text{DIAMETRO ABERTURA}} > 1.0$$

PERMEABILIDADES (EN PIES/DIA.)

AGREGADO	SIN TRATAR	CON 2% ASFALTO
1 1/2" a 1"	140 000	120 000
3/4" a 3/8"	38 000	35 000
No. 4 a No. 8	8 000	6 000



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PAVIMENTOS ADOQUINADOS

Ing. Carlos Fernández Loaiza

Septiembre, 1980

— INTRODUCCION —

3

ADOQUINOS:

UNIDAD DE CONCRETO DE FORMA PRISMÁTICA CUYO DISEÑO PERMITE ENTRELAZAMIENTOS QUE FACILITAN LA TRANSMISIBILIDAD DE CARGA EN PISOS Y PAVIMENTOS.

— TAN VIEJO COMO LA HUMANIDAD (PIEDRA TALLADA O NATURAL)

— CEMINOS DURANTE EL FLORECI- MIENTO DEL IMPERIO ROMANO.

— EMPEDRADOS:

- MUY BONITOS
- MUY INCOMODOS
- MUY COSTOSOS

— ADOQUINES DE ARCILLA

- POCO DURABLES
- QUEBRADIZOS

- EN INGLATERRA :

- ADOQUINES DE MADERA (SISTEMA DE TRAVINS), HASTA 1950.
- ADOQUINES DE HULE.

- A PRINCIPIOS DE ESTE SIGLO SE IMPONE EL ASFALTO :

- MENOR COSTO
- MAYOR REGULARIDAD
- MAYORES VELOCIDADES.

- A FINALES DE LA 2ª GUERRA M.

- DESAPARECE EL USO DE LAS LOSETAS DE ROCA TALLADA
- FRANCIA, BELGICA Y HOLANDA DEJAN DE USARLAS.

- EN USA. SE UTILIZO A LA LOSETA DE ROCA TALLADA HASTA 1920

- 1960 RENACIMIENTO DE LOS ADOQUINES

- COSAS DEL AUGE DE LOS ADOQUINES.

- MAQUINAS DE ALTA PRODUCCION
- BAJO COSTO, PRECIOS COMPETITIVOS
- PRECISION EN LAS DIMENSIONES.
- ALTO CONTROL DE CALIDAD
- FORMAS QUE DISTRIBUYEN MEJOR LA CARGA.
- GRAN CANTIDAD DE FORMAS.
- BUENA TRABAJON VERTICAL Y HORIZONTAL.
- ELEMENTOS PREFABRICADOS
- ALTA RESISTENCIA (HASTA 700 K/cm^2)
- MAQUINAS DE MUY ALTA EFICIENCIA

- EL ADOQUIN :

- NO SE ROMPE CON EL USO NORMAL
- NO GIRA
- NO SE DISLOCA (FORMA ADECUADA)
- RESISTE EMPUJES
- DISTRIBUYE CARGAS
- RESISTE HELADAS

- INGLATERRA:

- USOS (TRANSITO PESADO)

- PARQUES DE MAQUINARIA
- TERMINALES DE CARGA.
- TERMINALES DE AUTOBUSES
- PUERTOS
- PATIOS DE MANIOBRAS.
- ALMACENES
- TALLERES.

- ADOQUIN DE ALTA CALIDAD

- MAS DE 4.5 MILLONES DE M² AL AÑO

31% USO INDUSTRIAL Y GASOLINERIAS.

20% ESTACIONAMIENTOS

14% CAMINOS SECUNDARIOS Y CALLES.

21.5% TRANSITO MUY PESADO

- SE APRECIA MUCHO LA DECORACION Y ESTETICA.

- ALEMANIA

- ADOQUIN DE LA MAS ALTA CALIDAD.
- EN 1974 SE PRODUJERON 6.5 MILLONES DE TONELADAS DE ADOQUIN.
- ACTUALMENTE SE TIENDEN MAS DE 30 MILLONES DE M².
(UNA CARRETERA DE 4000 KMS.)

CARRETERAS	——	37%
AREAS INDUSTRI.	——	29%
CAMINOS PRIVADOS	-	12%
BANQUETAS	-----	12%
PARQUES DE RECREO, ESCUELAS, GASOLINERAS	——	7%
OTROS		3%

- SE PREFIERE LA DUREZA Y DURABILIDAD.

6'

- PAISES NORDICOS

: SOLUCION MUY ADECUADA.

• SE INICIA EN 1964 EN DINAMARCA, ACTUALMENTE SE USAN TANTO COMO EN ALEMANIA.

40% ZONAS INDUSTRIALES.

- PAISES BAJOS:

• EN 1972 TENDIERON 13,5 MILLONES DE M².

- USA:

• EN 1965 SE COMIENZA A USAR PROFUSAMENTE.

• LA MONTFORT MIRON COMBINE PRODUCE 10 MILLONES DE ADOQUINES AL AÑO (BESSER VIBRAPH.C.)

- PROBLEMAS RESUELTOS:

- TRABAZON
- FORMAS DIFERENTE A LA RECTANGULAR
- BUENAS MEZCLAS DE CONCRETO

- INTERPAVE

(INTERLOCKING PAVING ASSOCIATION)

- DISEÑOS PATENTADOS

- APLICABILIDAD

- CARACTERISTICAS :

- MANUABLES.
- ATRACTIVOS, ESTETICOS
- GRAN COLORIDO, COMBINACION DE COLORES.
- PERSONALIZAN Y DAN CALOR HUMANO.
- INFINIDAD DE FORMAS Y DIMENSIONES.
- DENSOS, COMPACTOS Y DUROS.
- FUERTE TRABAZON.
- BELLA APARIENCIA.
- TEXTURA DE LINA; AL DESGASTARSE QUEDA NUEVAMENTE ABRASIVA.
- VERSATILIDAD.
- MUY ALTA RESISTENCIA A LA ABRASION Y COMPRESION SIMPLE
- EN MEXICO :

COLORES :

- GRIS, CAFE, ROJO (DIF. TONOS)
- DIFERENTES TEXTURAS,
- DIFERENTES FORMAS,
- DIFERENTES DIMENSIONES.

VENTAJAS:

- SE ALTERNAN PATRONES Y COLORES.
- MARCADO DE ZONAS ESPECIALES.
- CONSTRUCCION MUY SENCILLA, BARATA.
- CIRCULACION INMEDIATA.
- FACILIDAD DE REMOCION
SOLO SE ROMPEN 3 o 4.
- REPARACION SENCILLA DE HUNDIMIENTOS
- FACILIDAD EN LA REPARACION DE DUCTOS Y SU REVISION.
- REPARACIONES INVISIBLES.
- FACIL DE RECOMODARLOS MEDIANTE VIBRADO.
- FACIL MANTENIMIENTO, BARATO.
- RESISTEN TRANSITO PESADOS. 10 CMS PARA TRANSITO PESADO, 15 CMS. SOPORTAN HASTA UN TANQUE.
- TOLERAN DRUGAS METALICAS, CADENAS.
- GIROS CERRADOS Y RUEDAS RIGIDAS.
- SOPORTAN LIQUIDOS CORROSIVOS

- NO HAY DERRAPAMIENTO
- NO HAY PROBLEMA CON LOS COMBUSTIBLES DERRAMADOS.
- COMPORTAMIENTO ELASTICO
- SE ADAPTA A LAS DEFORMACIONES SIN ROMPERSE.
- COSTO COMPETITIVO
- ALTA DURABILIDAD
- NO LOS AFECTAN CAMBIOS CLIMATICOS.:
- BUEN SELLO, IMPERMEABILIDAD
- AUTOLIMPIABLES.

— MUY IMPORTANTE :

- SELECCIONAR INTEGRIDAD CON EL PAISAJE (ARQUITECTURA)
- NO ALINEAR JUNTAS EN EL SENTIDO DEL TRANSITO.
- BUEN CONFINAMIENTO EN LAS DRILLAS
- JUNTAS EN TODAS DIRECCIONES.
- SELLADO DE JUNTAS.

- USOS :

• VELOCIDADES DE 40 A 60 K.P.H.

• USO DOMESTICO :

PASILLOS

PATIOS

GARAJES

ALBERCAS

JARDINES

ACCESOS

ANDADORES

• CIUDADES :

CALLES

BANQUETAS

ESTACIONAMIENTOS

PLAZAS

PARQUES DE RECREO

SEÑALAMIENTO

AVENIDAS CON TRAFICO PESADO

Y BAJAS VELOCIDADES.

CRUCES DE CALLES

GIROLINEAS

ZONAS DE FRENAJE (DERRA-
ME DE COMBUSTIBLES)

- INDUSTRIA.

PARQUES DE MAQUINARIA

TERMINALES DE CARGA Y PASAJEROS.

MANIPULACION DE CONTENEDORES.

MUELLES DE PUERTOS

VEHICULOS: CON RUEDAS DE ORUGA O ACERO.

FUNDIDORAS

ZONAS DE MANIPULACION DE SUSTANCIAS QUIMICAS.

- DESVENTAJA EN LAS GRANDES CARRETERAS:

- ALTAS VELOCIDADES.

- INCOMODIDAD

VIBRACIONES

RUIDOS

- COSTO (GENERALMENTE SE REQUERIRIA EL USO DE BASES ESTABILIZADAS)

= DISEÑO :

- MUCHA EXPERIENCIA PRACTICA MUNDIAL
- MINIMO DESARROLLO TEORICO
- AGENCIAS PIONERAS :

- CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION
(INGLATERRA)

- INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND
(ARGENTINA)

- INTERPREVE
(INGLATERRA)

- NATIONAL CONCRETE MASONRY
ASSOCIATION (U.S.A.)

- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
(NUEVA ZELANDIA)

ALEMANIA, FRANCIA, CANADA

- ADOQUIN ADECUADO PARA :

MEJORES DE 60 K.P.H.

- CAPAS DE QUE CONSTITUYE :

- TERRENO DE APOYO
- SUBRASANTE
- SUBBASE
- BASE
- CAPA DE ARENA
- ADQUIN

- ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS :

- CONFINAMIENTO EN LAS DRILLAS
- RELLENO DE JUNTAS

- METODOS :

- TRANSITO PESADO (METODOS EMPIRICO-TEORICOS)
- TRANSITO LIGERO (METODOS EMPIRICOS)
- ESTABLECIMIENTO DE EQUIVALENCIAS

- CASOS ESPECIALES:

EMPLEAR VIGA BENKELMAN

SOBRE LA SUBRASANTE

SOBRE LA SUBBASE

SOBRE LA BASE

SOBRE EL ADQUIN

- FUNCIONAMIENTO:

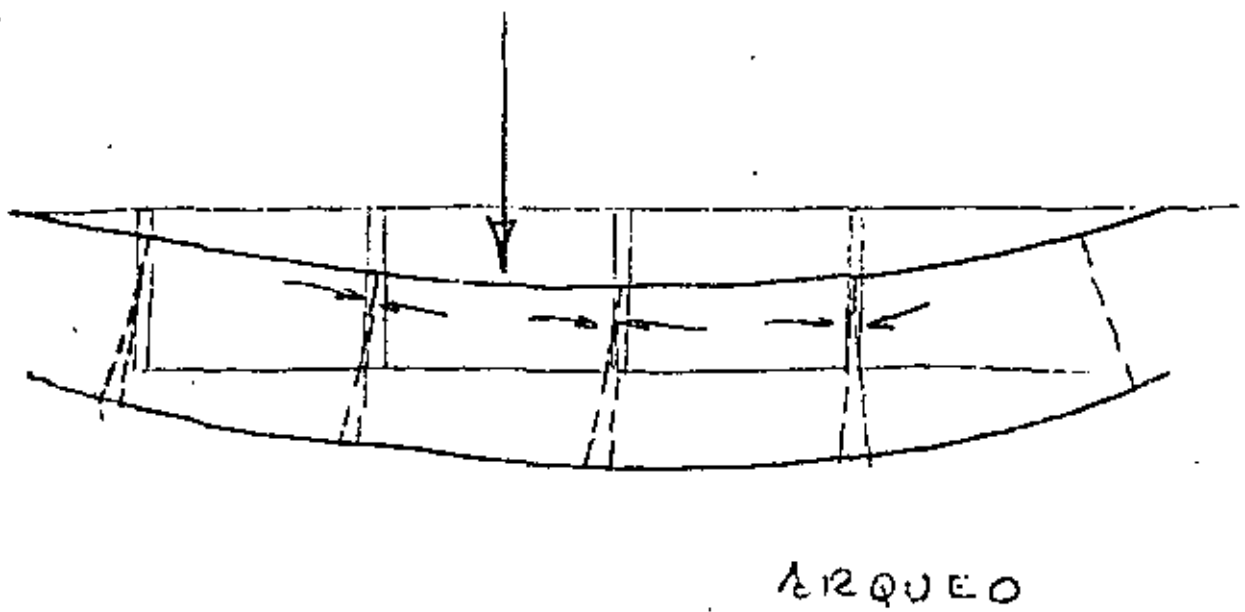
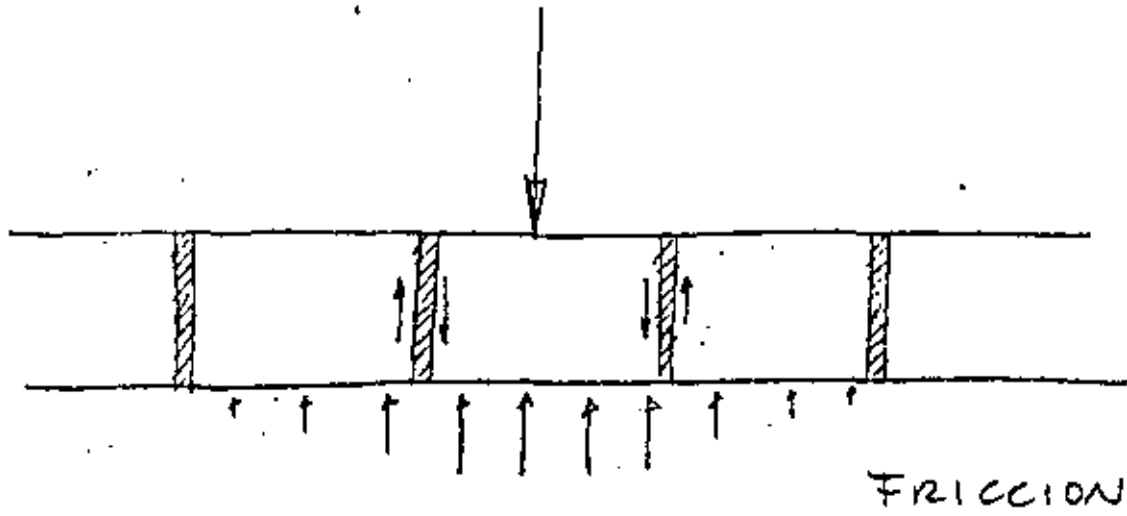
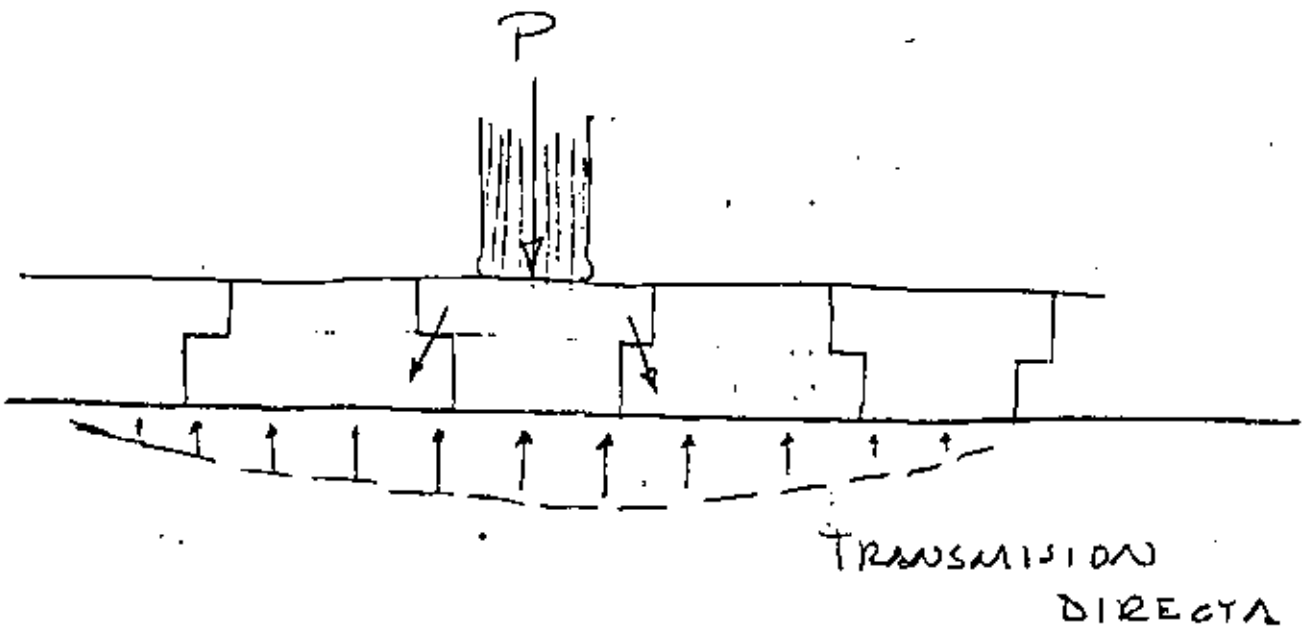
¿ PAVIMENTO FLEXIBLE ?

¿ PAVIMENTO RIGIDO ?

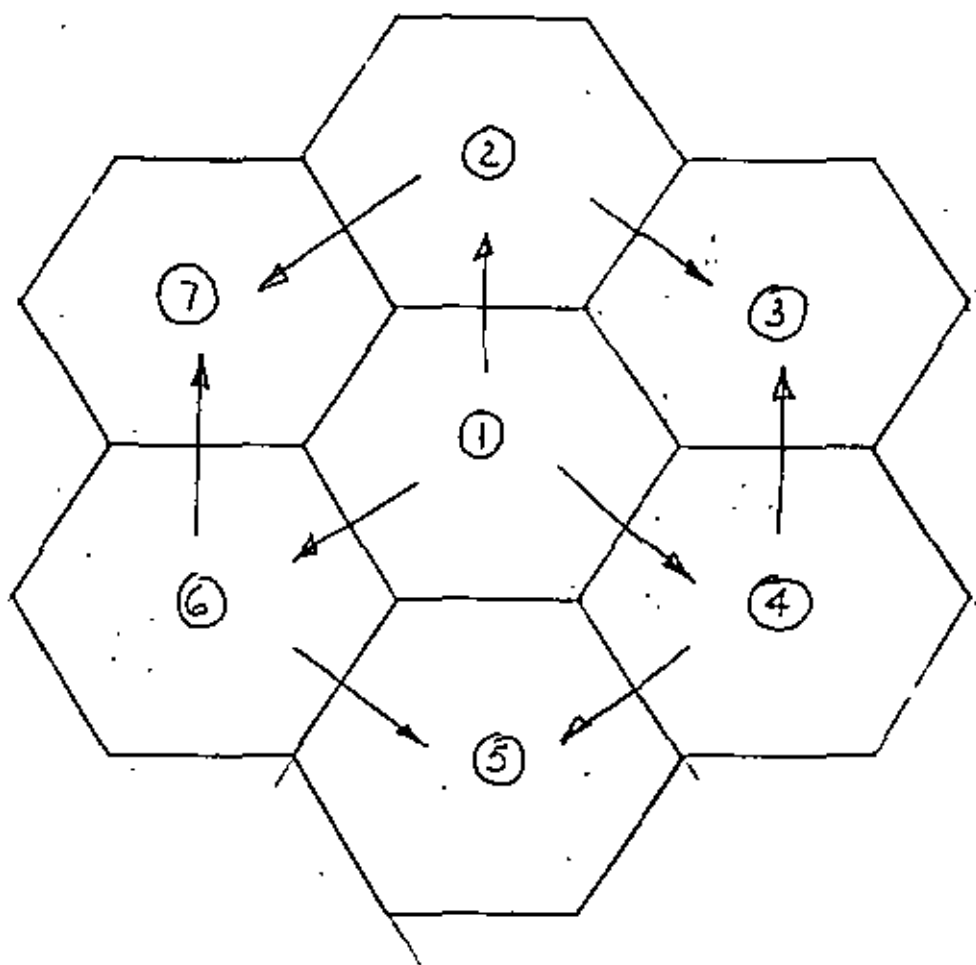
¿ PAVIMENTO ARTICULADO ?

¿ ¿ EQUIVALENCIAS ??

ELEMENTOS RIGIDOS CON TRANSMISION
DIRECTA O POR FRICCION A TRAVES
DE LA ARENA.

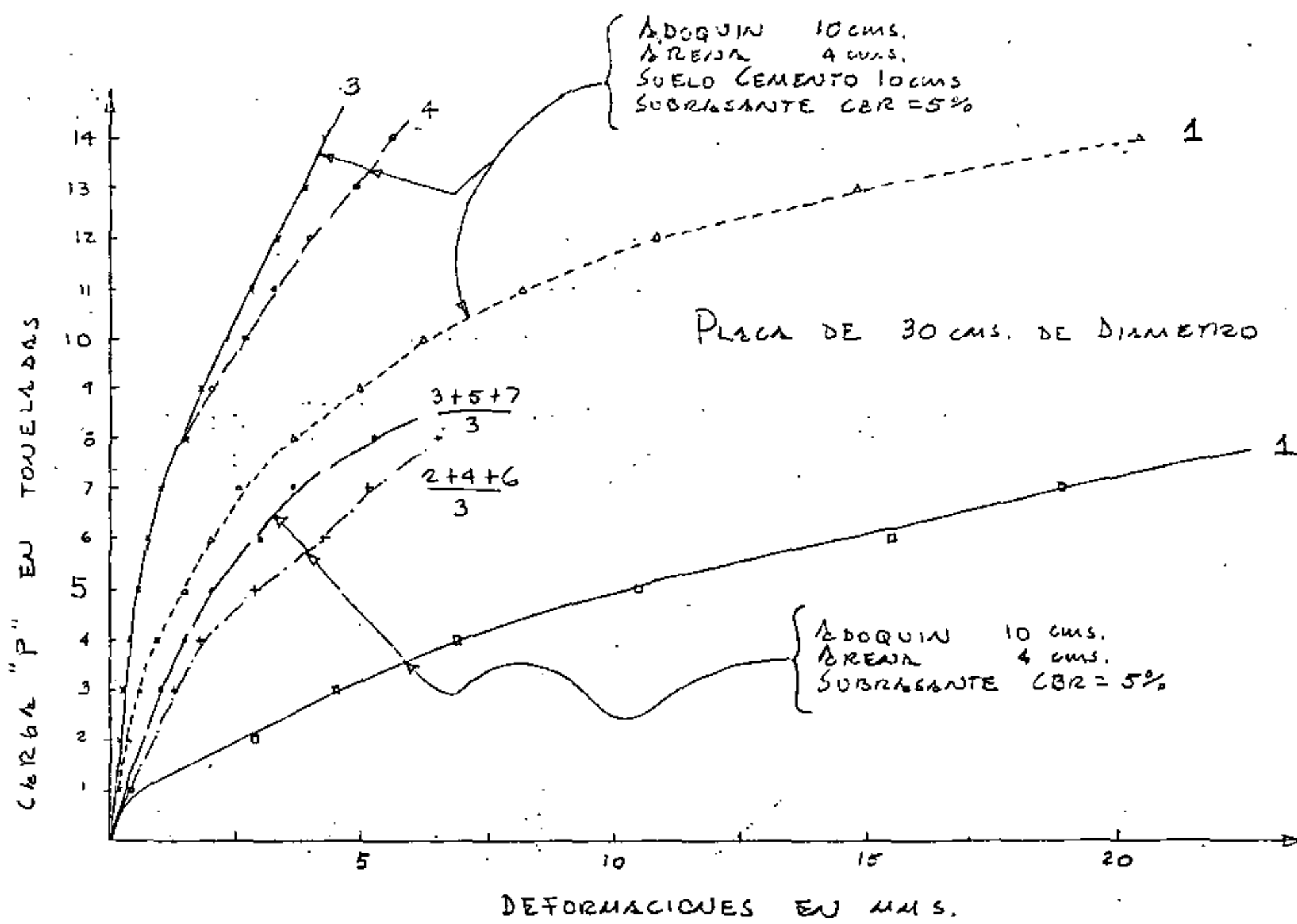


BLOQUES. CON MACHIMBRE



NUMERACION DE LOS BLOQUES.

(García Balado, Argentina)



— DESGASTE :

• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA.

APLICACION	PERDIDA MAXIMA DE ESPESOR POR DES- GASTE
ANDADORES —	1.5 mm
TRANSITO LIGERO —	1.3 mm.
TRANSITO MEDIO —	1.1 mm
TRANSITO PESADO —	1.0 mm
TRANSITO MUY PESADO —	1.0 mm.

— AGREGADOS :

• EL AGREGADO FINO (MENOR DE 5mm.)
NO DEBE TENER MAS DEL 25%
SOLUBLE EN ACIDO, (INGLATERRA
Y NCMA)

• TAMAÑO MAXIMO 20mm. (INGLATERRA
Y NCMA)

• PROYECTO DE NORMA MEXICANA
TAMAÑO MAXIMO 20mm.

AGUA, PIGMENTOS, ADITIVOS, CEMENTO,

TRANSITO PESADO :

METODO CCA.

DEFINICION : + DE 1500 000 E.E. 18000 LBS.

SUBRASANTE (ROAD NOTE 29)

TIPO	I.P. (%)	C.B.R. (%)	
		N.F. > 600mm.	< 600mm.
ARCILLA	70	2.0	1.0
	60	2.0	1.5
	50	2.5	2.0
	40	3.0	2.0
ARCILLA LIMOSA	30	5.0	3.0
ARCILLA ARENOSA	20	6.0	4.0
ARENOSA	10	7.0	5.0
LIJO	—	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

TRANSITO EQUIVALENTE.

- EJES DE 18000 LBS. (ASHTO)
- USO DE LA GRAFICA DE LA FIGURA 3 PUBL. CCA.
- CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

$$\Sigma L_n = P(n, r, TEDI)$$

n = periodo de diseño en años

r = tasa de interés

$$TEDI = P(C.E., T.P.D.A.)$$

C.E. = Coeficientes de Equivalencia

T.P.D.A. = Tránsito Promedio Diario Anual.

¿ EJES DOBLES, TRIPLES ?

SUBBASE

- FIGURA 6 ROAD NOTE 29.

- PROBLEMA DE HELADAS

45 cm. SOBRE EL NAF.

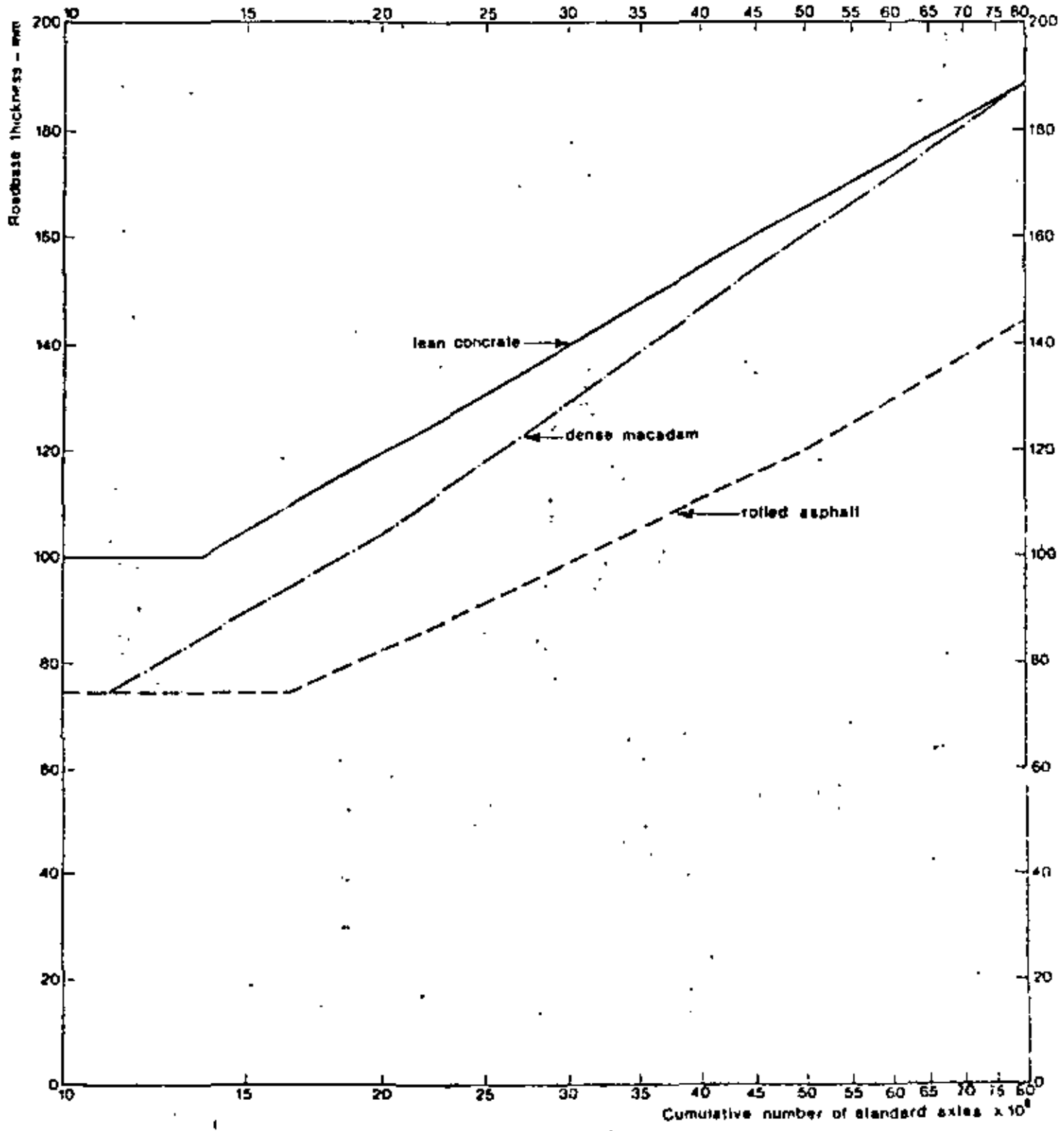


Figure 4: Roadbase thicknesses required beneath blocks for pavements carrying up to 80 million standard axle loads.

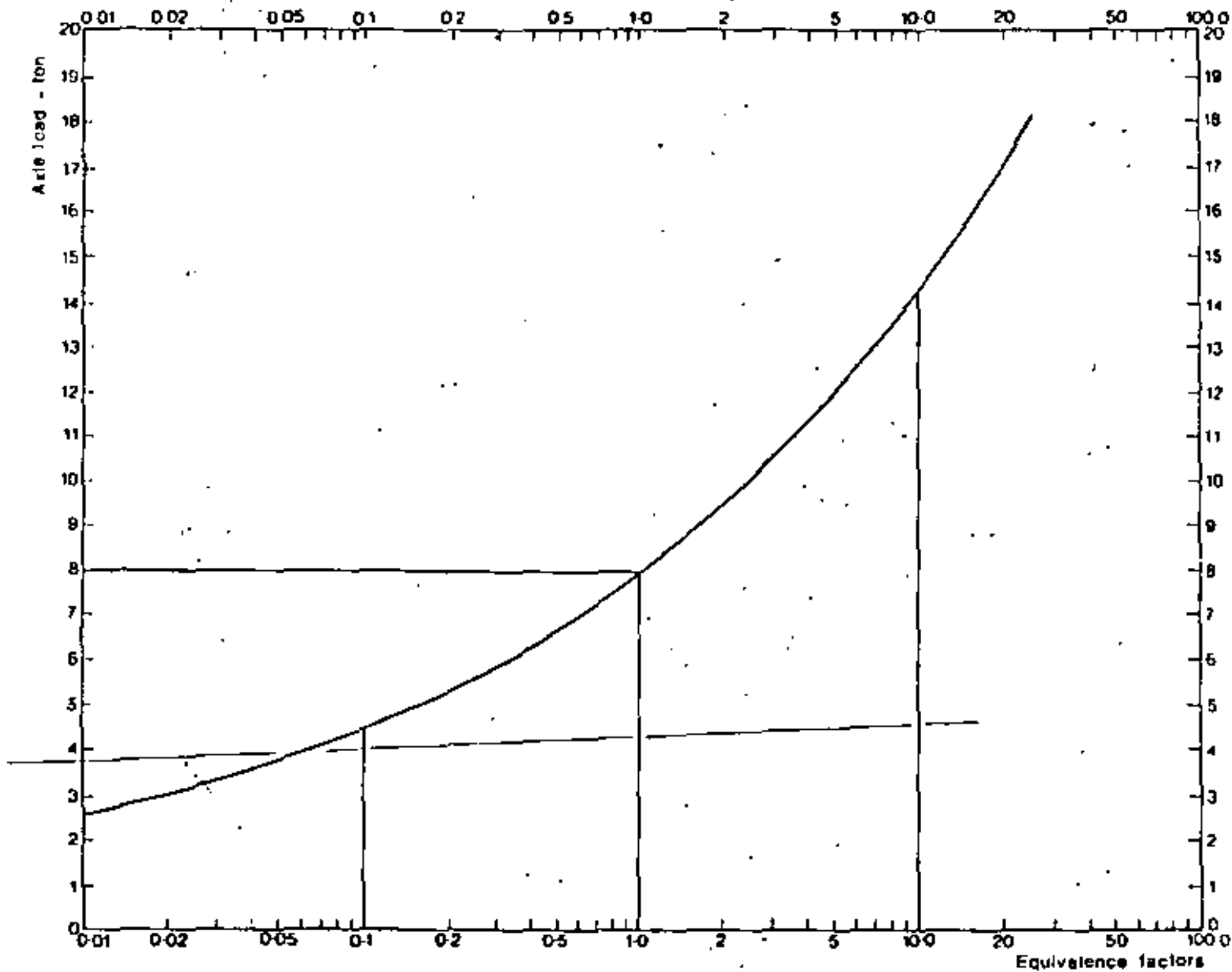
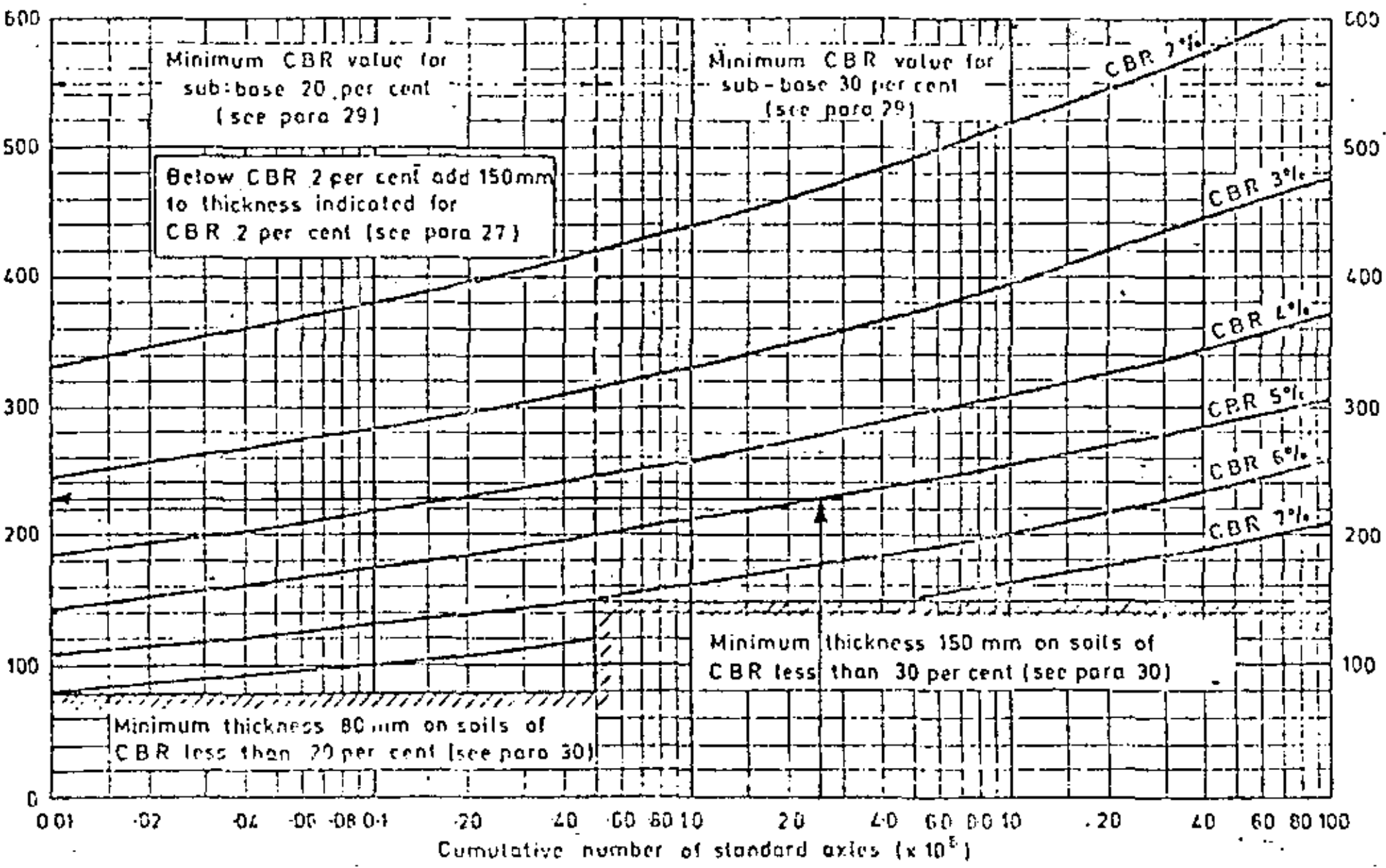


Figure 3: The relative damaging influence of different axle loads.



BASE :

KWATON :

5 CM. ARENA COMPACTA + ADOQUIN (8cm)

EQUIVALEN A 16 CM. CONCRETO ASF.

ROAD NOTE 29 :

EQUIVALENCIAS PARA 1500 000 E.E.

160 MM (CONCRETO ASFALTICO)

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

70 MM. (CONCR. ASF.) + 155 MM. (SUELO CEM.)

PARA TRANSITO \leq 1500 000 E.E. USAR

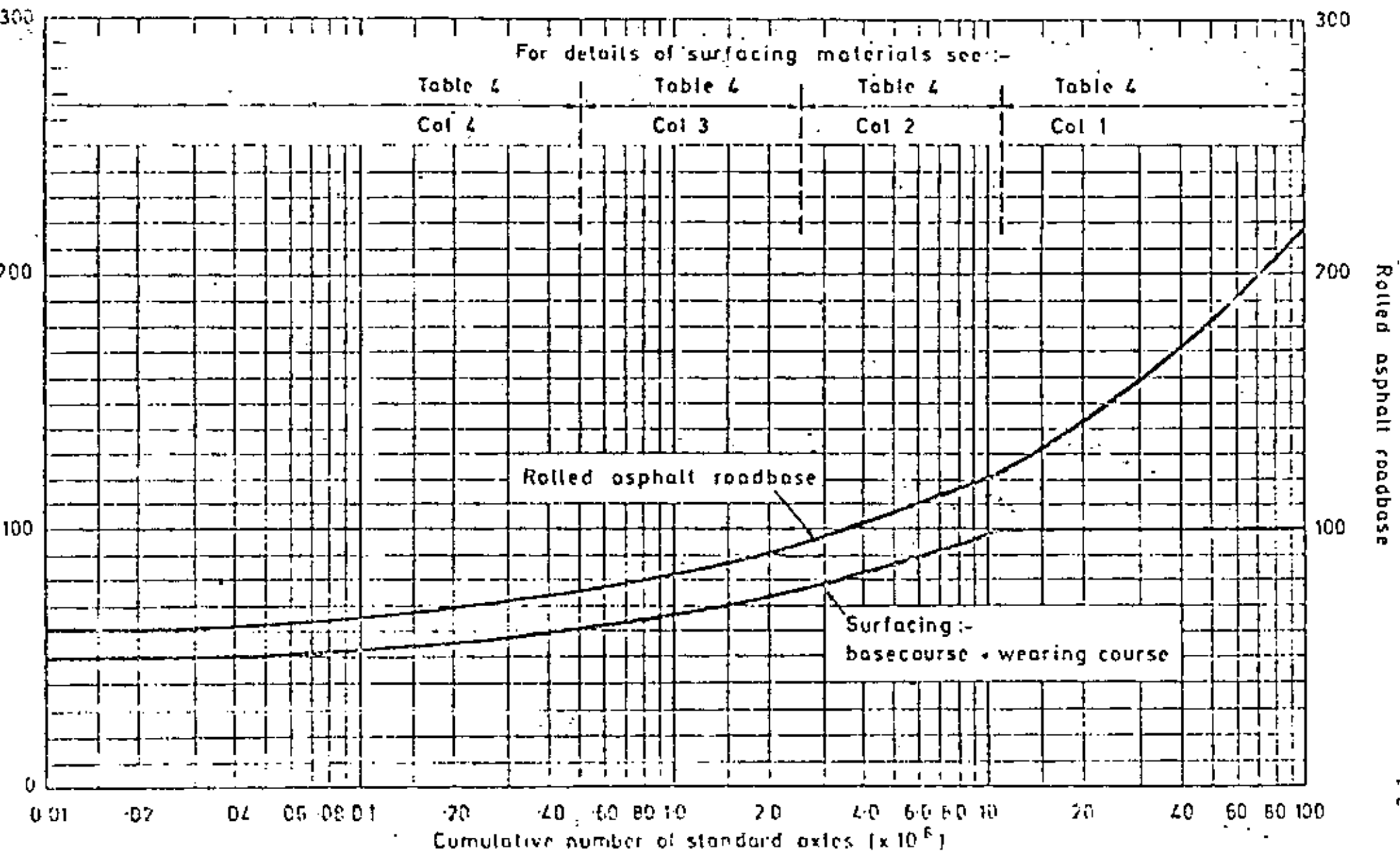
CONCRETO PORICE

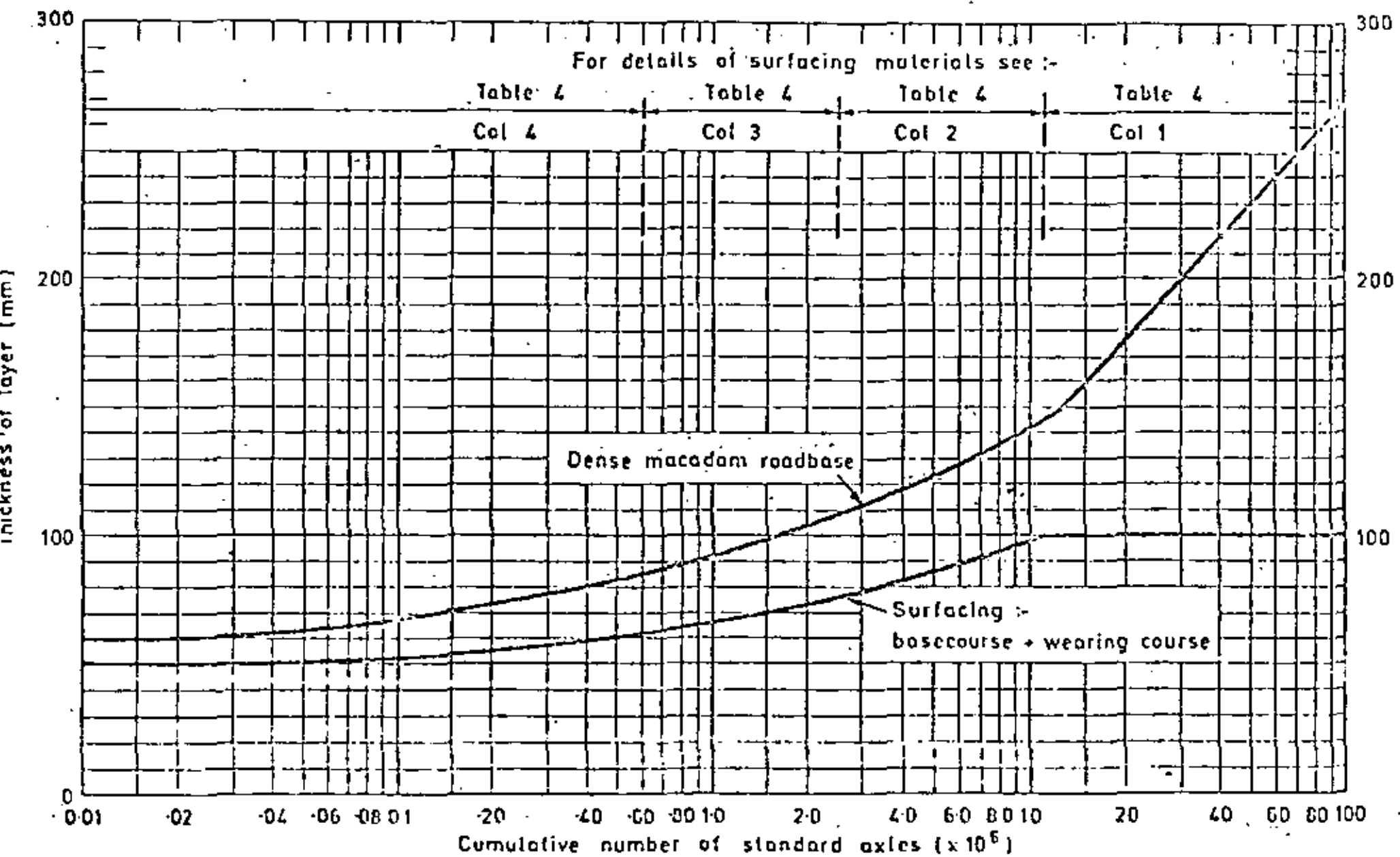
CONCRETO ASFALTICO

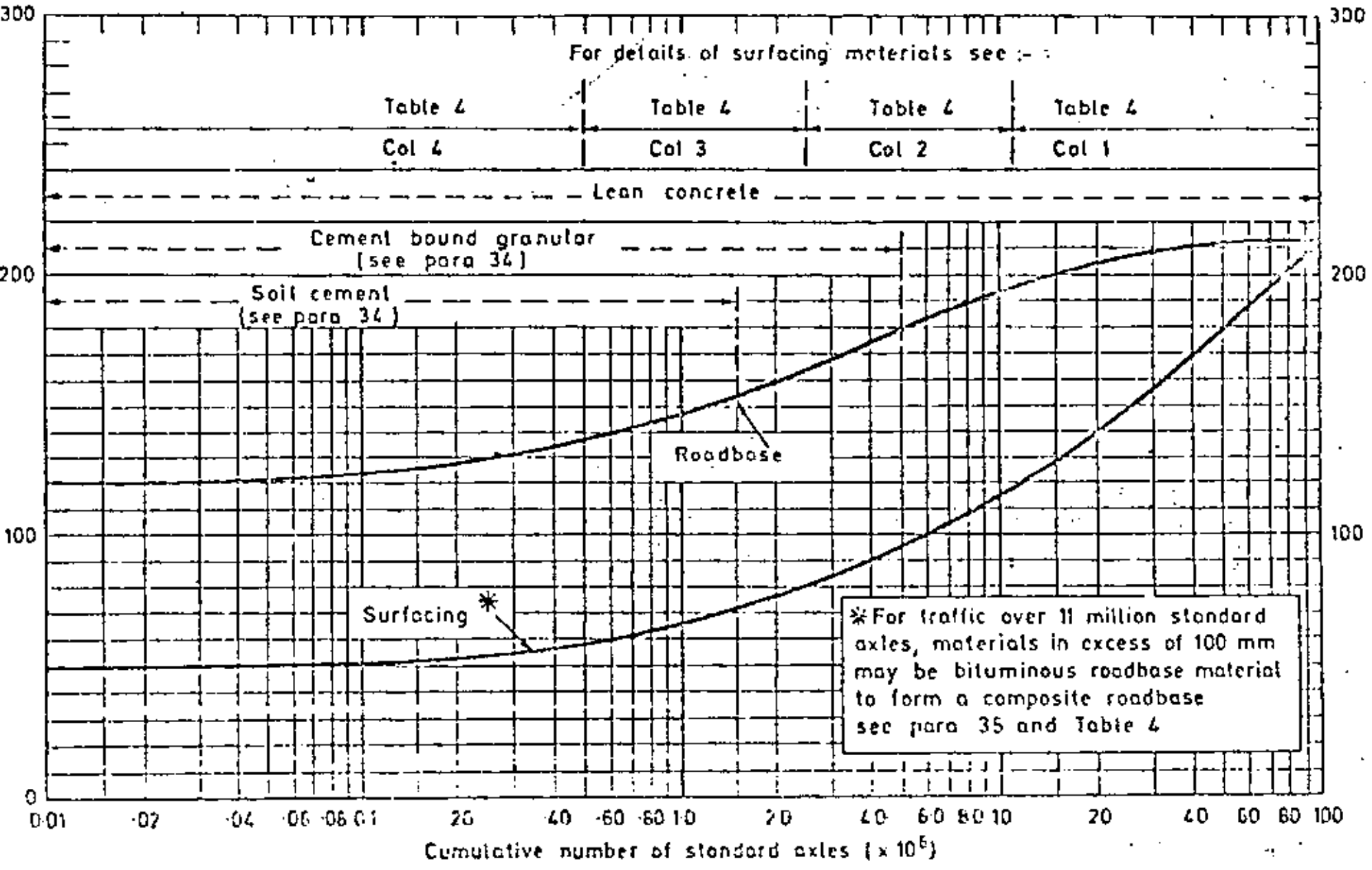
GRAVA CEMENTO

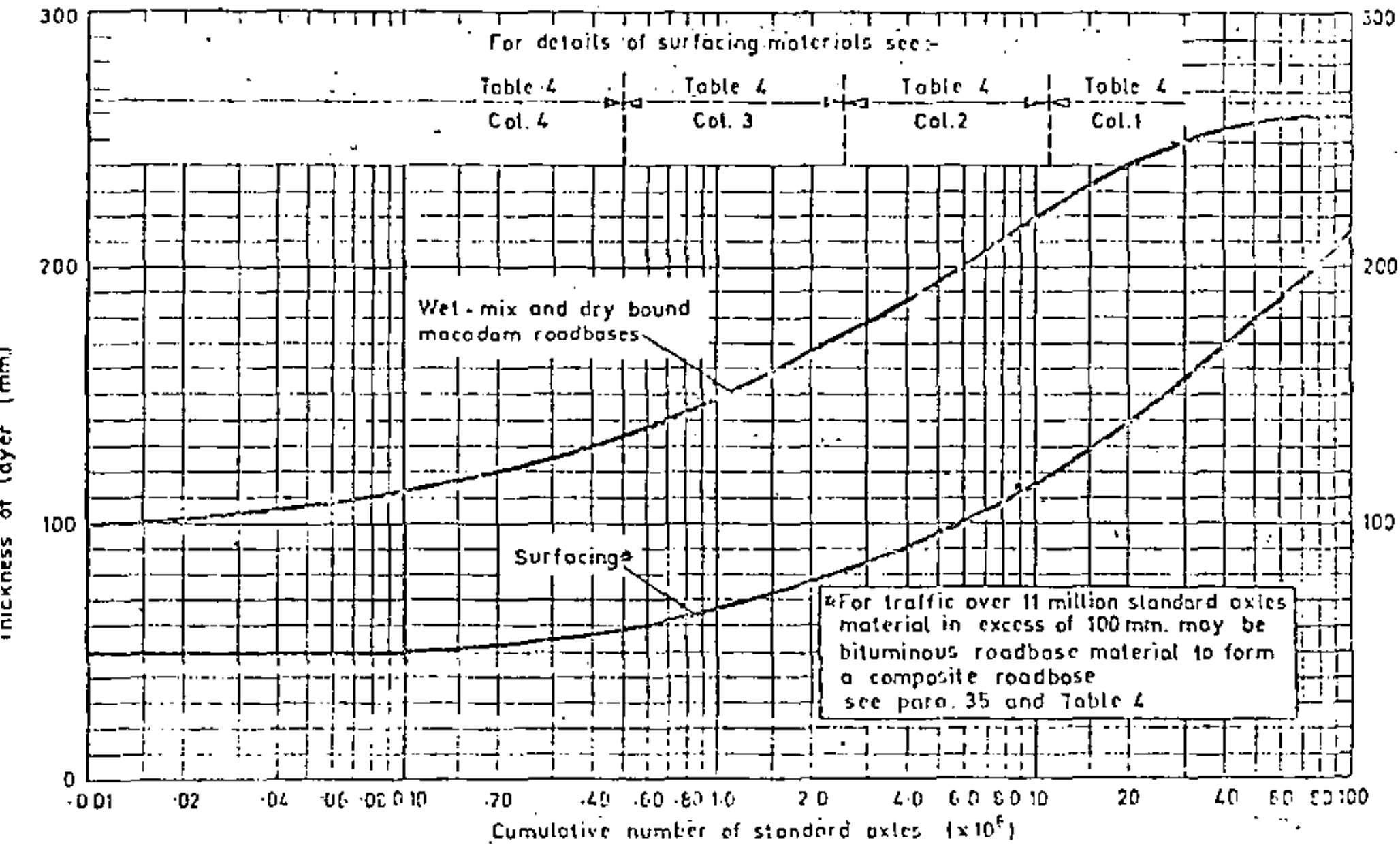
MACEDAM ASFALTICO

USAR FIGURA 4 C.C.A.









- ESPESOR MINIMO DE BASE ESTABILIZADA CCA.

CON CEMENTO ——— 10 cms.

CON ASFALTO ——— 7,5 cms

¿ RELACION AGUA-CEMENTO ?

¿ CONTENIDO DE ADITIVO ?

¿ HOMOGENEIDAD ?

¿ COMPACTACION ?

- ADOSQUIN :

ESPESOR MINIMO ——— 8 cms.

DESEABLE ——— 10 cms.

- DRENAJE

• SELLADO AUTOMATICO DE LAS JUNTAS.

• PENDIENTE MINIMA 2,5%

• PENDIENTE EN CANALES COLECTORES PREFABRICADOS 0,5% MINIMA

• ADOSQUINES 3MM ARRIBA COLECTORES.

EJEMPLO DE DISEÑO :

DATOS :

SUBRASANTE y TERRENO NATURAL	CBR = 5%
SUBBASE	CBR = 15%
BASE	CBR = 80%

TRANSITO :

VEHICULO	NUM. PROM. DIARIO POR CARRETERA.
----------	-------------------------------------

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

CÁLCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE.

VEHICULO	NUM. DIARIO	EJE DEL. PESO (Kgs)	EJE DEL. F.E.	EJE INT. PESO (Kgs)	EJE INT. F.E.	EJE TRAS. PESO (Kgs)	EJE TRAS. F.E.	NUM. DE (+) EJES EQ.
AUTOMOVIL.	800	1000	0.00			1000	0.00	0.00
AUTOBUS.	100	4200	0.068			8300	1.20	(6.8+120)
CAMION C3	300	2600	0.010			2x2000 ^(*)	1.22	(3.0+364)
CAMION T2-S2	50	4000	0.060	8500	1.30	2x6050 ^(*)	0.72	(3.0+65.0+34.0)
CAMION T3-S2	20	3900	0.058	2x6500 ^(*)	0.90	2x6500 ^(*)	0.90	(1.16+18.0+18.0)
TOTAL								636.96 E.E.

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

(+) EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONS (185HTO)

TASA DE CRECIMIENTO ANUAL = 7%

PERIODO DE DISEÑO = 10 AÑOS

TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

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

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

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

$$\sum L_n = 232490 (11.96) = 2.78 \times 10^6 \text{ EJES EQS.}$$

DE LA FIGURA 6 DEL ROAD NOTE 29

CON $\sum L_n = 2.78 \text{ E.E.}$ Y $\text{CBR} = 5\%$

SE OBTIENE ;

ESPESOR DE SUPERSE = 228 mm.

DE LA FIGURA 4 DEL C.C.A.

$$\Sigma L_n = 2.78 \times 10^6 \text{ EJES EQUIVALENTES}$$

SE OBTIENE

ESPESOR DE BASE :

75 mm. DE CONCRETO ASFALTICO

ó 75 mm. DE MACADAM DENSO.

ó 100 mm. DE CONCRETO PORCE.

EL DISEÑO SERA :

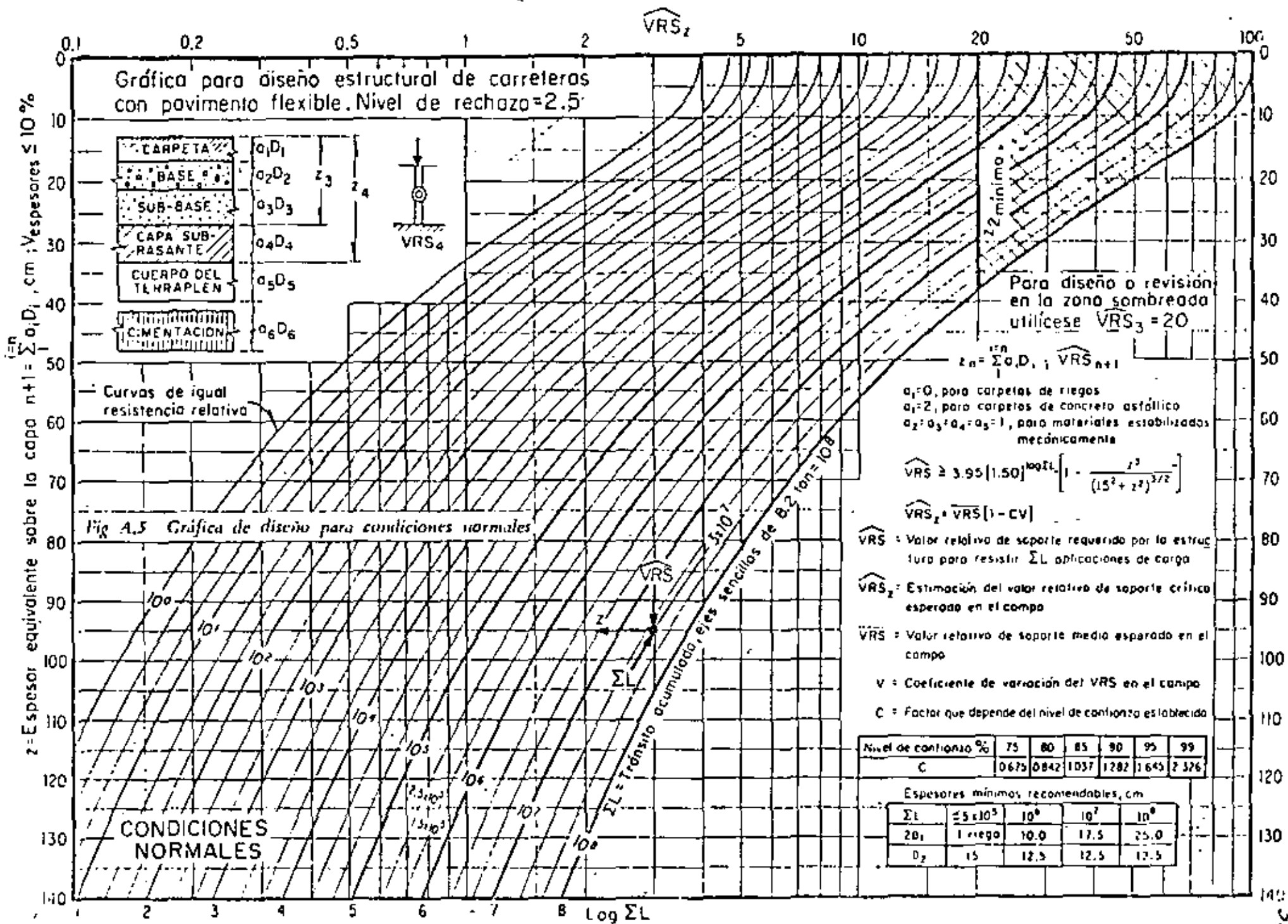
SUBBASE 23 cm.

BASE DE CONCRETO PORCE 10 cm.

CAPA DE ARENA 5 cm.

ADQUIN 8 cm.

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



ESPEORES DEL ADOQUIN Y SU CAPA DE APOYO (CM.)

TRANSITO	CONCRETE MASONRY ASSOCIATION.		CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION						PORTLAND CEMENT ASSOCIATION: NUEVA ZELANDIA			ESPAOR ADOQUIN + 5CM. DE ARENA
	BUEA DRENJE	MAL DRENJE	PERIODO DE DISEO	ARCILLA FRANCA	LIMO	ARCILLA LIMOSA	ARCILLA ARENO.	GRAVAS Y ARENAS	ARCILLA LIMOSA CBR=3%	GRAVAS Y ARENAS CBR=10	CBR=30% PAVIM. ANTIG.	
LIGERO	0 a 7.5cm ⁽¹⁾	10 a 20cm ⁽¹⁾	40a.	40.0 ⁽⁴⁾ (55)	40 ⁽⁴⁾ (55)	19 ⁽⁴⁾ (30)	14 ⁽⁴⁾ (23)	8 ⁽⁴⁾ (8)	10 a 32 ⁽⁷⁾	0 a 5 ⁽²⁾	— ⁽⁷⁾	6 a 8
MEDIO	10 a 15cm ⁽²⁾	25cm ⁽²⁾	40a.	45 ⁽⁵⁾ (60)	45 ⁽⁵⁾ (60)	22 ⁽⁶⁾ (34)	17 ⁽⁵⁾ (26)	15 ⁽⁶⁾ (15)	42 ⁽⁸⁾	11 ⁽⁸⁾	— ⁽⁸⁾	8
PESADO	20 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾	20a.	44 ⁽⁶⁾ (59)	44 ⁽⁶⁾ (59)	21 ⁽⁶⁾ (34)	16 ⁽⁶⁾ (26)	15 ⁽⁶⁾ (15)	52 ⁽⁹⁾	17 ⁽⁹⁾	— ⁽⁹⁾	10
MUY PESADO									67 ⁽¹⁰⁾	24 ⁽¹⁰⁾	15 ⁽¹⁰⁾	12

CLAVE

1. Patios, Calle privada, Albercas, Ambadores, Bicicletas, Residencial.
2. Banquetas, Estacionamientos, Pasillos p^ublicos, Paradas de autobus, Caminos secundarios.
3. Calle, Intersecciones, Gasolineras, Terminales, Rampas de Carga, Industriales.
4. Residencial
5. Rutas de autobuses y hasta 25 camiones pesados.
6. Rutas de autobuses y hasta 50 camiones pesados.
7. Banquetas a calles.
8. Avenidas
9. Centro de Ciudades
10. Avenidas y Arterias Principales

CONSTRUCCION

39

- SUBBASE :

- MISMAS ESPECIFICACIONES QUE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- TOLERANCIAS :

± 10 mm. SI HAY BASE (3m.)

± 20 mm. SI NO HAY BASE (3m)

TAMAÑO MAX. 1.5"

- BASE :

- MISMAS ESPECIFICACIONES QUE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- TOLERANCIAS:

± 20 mm. (REGLA DE 3m.)

NO CONTENER FINOS Y MENOS SI ESTOS SON PLASTICOS.

TAMAÑO MAXIMO 1.5"

EN PAVIMENTOS SE PUEDE

PRESCINDIR DE LA BASE.

- CAPA DE ARENA.

- LIMPIA
- ANGULOSA
- MENOS DEL 3% DE FINOS.
- MENOS DEL 10% RETENIDO EN LA MALLA DE 5MMs.

- CONSTRUCCION

• CONSTRUCCION DE LAS GUARNICIONES
 LA SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE SE CONSTRUYEN EN LA FORMA TRADICIONAL.

• SE COLOCAN DE 6 A 7 CM. DE ARENA BIEN NIVELADA Y COMPACTA, PARA QUE AL QUEDAR COMPACTADA SEA DE 5CM.

• NO SE DEBERÁ PISAR SOBRE LA ARENA HUMEDA.

• COLOCAR EL ADOQUIN

- APOYARSE EN ADOQUIN PREVIAMENTE COLOCADO

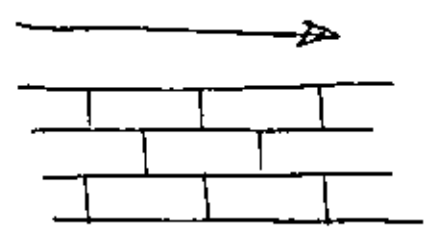
- EN LAS DRILLAS O LIMITES COLOCAR ADOQUINES RECORTADOS O MORTERO 4:1, O MAS.

- COMPACTAR CON 3 PASADAS DE LA PLACA VIBRATORIA.
- ADICIONAR ARENA Y SELLAR CON ESCOBAS.
- APLICAR OTRAS 2 PASADAS DE LA PLACA VIBRATORIA.

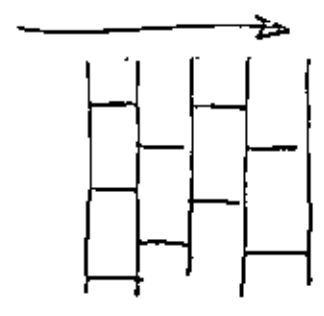
IMPORTANTE :

- LOS VEHICULOS NO SE DEBEN ACERCAR A MENOS DE 1.0M. DEL BORDE DE AVANCE U ORILLAS NO CONFINADAS.
- PENDIENTE MINIMA POR DRENAJE DE 2.5%.
- AL POCO TIEMPO SE SELLAN LAS JUNTAS.
- PROCURAR QUE EL ASF. QUEDE A UNA PROFUNDIDAD SUPERIOR A 40CM.
- EL ADQUIN ADMITE HASTA 10% DE AGUA DE LLOVIA CON PENDIENTES DE 2.5%.
- EL ADQUINADO ANTIGUO ES PRACTICAMENTE IMPERMEABLE.

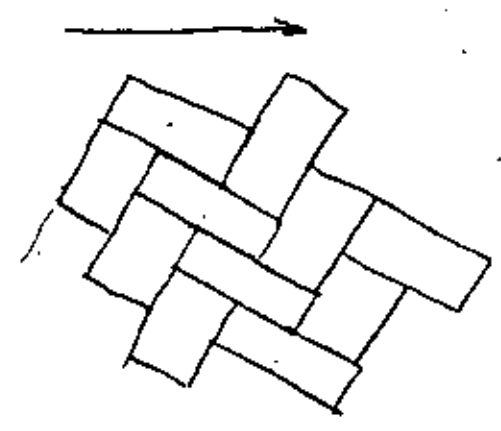
- NO SE DEBEN TENER IRREGULARIDADES SUPERIORES A 1 CM. MEDIDAS CON REGLA DE 3m.
- NO DEBEN EXISTIR DESNIVELES SUPERIORES A 2mm. ENTRE ADQUINES ADYACENTES.



NO



?



SI

COSTOS:

- ADQUIN 120 A 240 PESOS/M²
(RESISTENCIA, COLOR)
- MANO DE OBRA 50 A 60 PESOS/M²
(COLOCACION, SELLO, COMPACTACION)

FABRICACION DE LOS

43

ADOQUINES.

- 1.- SE SEPARA A LOS AGREGADOS SEGUN LOS DIFERENTES TAMAÑOS.
 - 2.- SE DOSIFICA A LA MEZCLA DE AGREGADOS.
 - 3.- SE ADICIONA CEMENTO, COLORANTES Y AGUA.
 - 4.- SE VIERTE LA MEZCLA EN LOS MOLDES
 - 5.- SE APLICA VIBROCOMPACTACION
 - 6.- SE SOMETE A CURADO A LOS ADOQUINES, BIEN PROTEJIDOS (SOL, VIENTO, LLUVIA)
- VIGILAR :
- GRANULOMETRIA
 - LIMPIEZA
 - RESISTENCIA AL INTemperismo
 - RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
 - EN LOS AGREGADOS.
 - EN LOS ADOQUINES.
 - CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.

PUNTOS IMPORTANTES:

• AGREGADOS

- QUE NO CONTENGAN CARBONATOS DE CALCIO.

- TAMAÑO MÁXIMO:

• INTERPAVE — 2 cms.

• BURKHEISER — 0.63 cms.

- TIPO:

• Duros, angulosos (de trituración), resistentes al intemperismo.

• Normales o ligeros.

• CEMENTO:

- NORMAL

- PROPORCIÓN 1:7 a 1:8 (generalmente)

• MEZCLA:

- LO MÁS HUMEDA POSIBLE CUIDANDO LA RELACION AGUA-CEMENTO.

- NUNCA ELABORAR EL CONCRETO A TEMPERATURAS DEL ORDEN DE 0°C, TANTO EN LA MEZCLA, COMO EN LOS AGREGADOS O EN LOS MOLDES.

CURADO :

- 48 HORAS EN CUARTO HUMEDO Y LUEGO UN CURADO ADICIONAL DE 10 DIAS. (VAPOR, AUTOCLAVE)

METAS :

- PRODUCIR ADOQUIN DE MUY ALTA CALIDAD.
- ESTANDARIZAR METODOS DE CONTROL DE CALIDAD.
- AUMENTAR LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCION DE ADOQUIN
- COMPROMISO.

TEXTURA - PESO VOL. - RESISTENCIA.

EQUIPO :

- MAQUINA MOVIL TIPO "EGG LAYER" PUEDE PRODUCIR HASTA 110 000 M² AL AÑO. REQUIERE GRAN ESPACIO.
- LAS MAQUINAS FIJAS PRODUCEN DEL ORDEN DE 50 000 ADOQUINES AL AÑO
- BUSCAR VERSATILIDAD.
- ESTUDIO DEL MERCADO.

ESPECIFICACIONES.

- RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

• ALEMANIA

- 500 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ (MINIMA)
- CUBOS CORTADOS DE LOS ADQUINES
- TODO EL ADQUIN SI:
 - LONGITUD < 2 VECES EL ANCHO.
 - ALTURA < 90% EL ANCHO.

• INGLATERRA

- 500 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ (MINIMA)

• AUSTRALIA

$$q = \frac{\sum q_i}{10} - 1.64 \sigma$$

- 353 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ (MINIMA)

• NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION.

- 560 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ (NUNCA MENOR DE 500 $\frac{\text{Kg} \cdot \text{f}}{\text{cm}^2}$)

• INTERPREVE

- 510 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$

• CONCRETE AND CEMENT ASSOCIATION.

- 500 $\text{Kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ (SE CORRIJE POR

ALTURA Y CHAFLAN). $\frac{10 \text{ ADQ.}}{20000 \text{ ADQ.}}$

• ANTE PROYECTO DE NORMA MEXICANA

	COMP. SIMPLE	M.R.
ANDADORES	300 k/cm^2	40
TRANSITO LIGERO	350 k/cm^2	50
TRANSITO MEDIO	450 k/cm^2	60
TRANSITO PESADO	550 k/cm^2	70
TRANSITO MUY PESADO	650 k/cm^2	85

ABSORCION.

• NATIONAL CONCRETE MASONRY	5% (MAX)
• INTERPAVE	7% (MAX)
• PROPOSICION A ASTM	5% (MAX)
• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA.	
ANDADORES	8% (MAX)
TRANSITO LIGERO	8%
TRANSITO PESADO	3%
TRANSITO MUY PESADO	3%

— DIMENSIONES

43

• AUSTRALIA

$$1.5 < \frac{\text{LONGITUD}}{\text{ANCHO}} < 2.5 \text{ (MANIPULACION)}$$

± 3 mm. EN LAS DIMENSIONES PLANTA.

± 4 mm. EN ESPESORES.

• NATIONAL CONCRETE MASONRY

± 1.6 mm. EN EL ANCHO Y LONGITUD

± 3.2 mm. EN EL ESPESOR

• CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION.

$$1.5 < \frac{\text{LONGITUD}}{\text{ANCHO}} < 2.5$$

80 mm. < ANCHO < 115 mm.

± 2 mm. EN LA LONGITUD Y ANCHO

± 3 mm. EN EL ESPESOR.

LOS BLOQUES RECTANGULARES

DEBEN SER DE 100 mm x 200 mm.

SUPERFICIE DE CONTACTO

MAYOR DEL 70% DE LA

PROYECCION EN PLANTA.

• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA

CARAS PERPENDICULARES A LOS
LADOS.

80mm < ANCHO < 115mm.

AREA DE DESGASTE < 70% AREA PLANA

DIFERENCIA MAXIMA ENTRE ADQUI-
RES TOMADAS AL AZAR.

3mm. LARGO Y ANCHO.

5mm. ESPESOR.

+ 2mm. ANCHO Y LONGITUD,
RESPECTO AL PROYECTO

+ 3mm. ALTURA, RESPECTO A
LA DE PROYECTO.

• JUNTAS :

2 a 4 mm. CON CHAFLAN.

• VISUAL :

SIN DEFECTOS COMO ROTURAS, GRIETAS,
SALIENTES, HOQUEDADES, ETC...



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Criterio de diseño y especificaciones para el sellado con "slurry
seal" de las carpetas recicladas

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



CRITERIO DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES PARA EL SELLADO CON "SLURRY SEAL"
DE LAS CARPETAS RECICLADAS.

Por:

C. Robert Benedict, Gerente de la Investigación
de la Asociación Internacional del Slurry Seal,
Washington, D.C.

Presentado en el Instituto Técnico y el Seminario sobre Reciclamiento de Pavimentos, patrocinado por Novedades en Ingeniería, de la Compañía de Publicaciones, Mc Graw — Hill, y preparado por el Departamento de Ingeniería y Ciencia Aplicada de la Universidad de Wisconsin - Nueva York, Octubre 25 - 26, 1978.

" I N T R O D U C C I O N "

Siempre es un placer tomar parte en el descubrimiento de una nueva e importante Tecnología para el reciclamiento de los pavimentos. Cuando Allen Wortley y Artur Fox, — me invitaron a discutir sobre el tema del diseño de Slurry Seal en este seminario, — yo indiqué que se sabía muy poco sobre el tema específico y que me habían colocado — en las posiciones de Colón que cuando partió en su misión de descubrimiento, no sabía a donde iba, cuando llegó no sabía donde estaba y cuando regresó no sabía donde había estado.

Esta presentación, por lo tanto, será una aventura en el descubrimiento de los problemas de las superficies de los pavimentos reciclados y de los métodos de diseño que — pueden usarse para resolver estos problemas con el uso de tratamientos superficiales con Slurry Seal.

Mi discusión se dividirá en los temas siguientes:

- 1) Problemas de diseño de superficies recicladas.
- 2) Fundamentos de Ingeniería para abordar los problemas de diseño.
- 3) Definición de "Slurry Seal", el proceso y los usos.
- 4) Técnicas de diseño.
- 5) Problemas de investigación y su aplicación en las técnicas de diseño.
- 6) Especificaciones generales y especificaciones para el comportamiento.
- 7) Participación de la audiencia si el tiempo lo permite.

I ALGUNOS PROBLEMAS DE DISEÑO DE LAS SUPERFICIES RECICLADAS.

La máxima ingenieril "La uniformidad proporciona la mejor oportunidad para el éxito" resulta verdadera en todas las estructuras, incluyendo los pavimentos.

Hablando prácticamente, sin embargo, no hay absoluta uniformidad en los pavimentos, particularmente en los pavimentos reciclados. Ahí radica el problema central para el diseño de una capa superficial en los pavimentos reciclados.

La siguiente lista parcial de las variantes que afectan una carpeta ilustra -- estos problemas:

1. La granulometría del agregado de la carpeta puede variar desde zonas gruesas a zonas finas.
2. El contenido de asfalto varía en relación con el área superficial de los -- agregados reciclados.
3. Las características de compactación de las mezclas o superficies recicladas pueden variar resultando diferentes condiciones estructurales.
4. Las superficies pueden desfigurarse con el proceso de reciclamiento afectan do por ejemplo, el rayado longitudinal.
5. Las técnicas de cortado (marcado, profundidad, velocidad, etc.), pueden cau sar peligros ópticos, desprendimientos o corrimientos.
6. La rugosidad de la textura puede ocasionar niveles de sonido objetables.
7. Las operaciones de cortado en las sobrecapas de poco espesor, las dejan a -- éstas tan delgadas que quedan sujetas a desprendimientos y laminación.
8. Los vacíos superficiales se abren exponiendo por lo tanto, la estructura a los elementos.
9. En algunas situaciones el resurcamiento puede acelerarse, la retención del- agua incrementarse y estorbarse las maniobras de remoción de nieve y hielo.
10. En las operaciones de nivelación, particularmente en el desbastado de frío - o en caliente, pueden ocurrir severas variaciones en la macrotextura y por - lo tanto en la resistencia al derrapamiento.

El problema de diseño ahora aparece claro.

Diseñar una superficie económica para una carpeta reciclada de textura variable.

II ALGUNAS PREMISAS USADAS EN LA INGENIERIA PARA ABORDAR PROBLEMAS DE DISEÑO.

1. Los recursos de la tierra son finitos. El despilfarró ya no está de moda.
2. El objetivo del diseño de pavimentos debe combinar las cualidades de calidad, durabilidad, economía y seguridad. La estructura debe ser adecuada para la vida útil de diseño. La superficie debe permanecer segura durante la vida de diseño de la estructura.
3. La práctica de la ingeniería requiere un equilibrio pragmático entre los requerimientos específicos de la ingeniería y las realidades políticas y económicas de la época y del lugar.
4. Estas realidades requieren que el ingeniero ahora y siempre obtenga lo más de lo menos. Esto significa "pensar fino".
"Por pensar fino", queremos decir diseñar y construir una carpeta que ayude poco o nada al valor estructural del pavimento... generalmente una pulgada o menos y, en el caso del Slurry Seal, un tratamiento superficial generalmente de tres octavos de pulgada o menos, o simplemente "Una mezcla asfáltica con agregados finos".

III DEFINICION DE SLURRY SEAL, EL PROCESO Y LOS USOS.

Hemos llegado a entender al material llamado "Slurry Seal" como una mezcla homogénea y semi-fluida de emulsión asfáltica, agua, filler mineral, y agregados finos bien graduados, la cual se aplica a la superficie del pavimento por medio de una caja distribuidora adaptada con correderas y dispositivos adecuados (enjugadores).

Figura N^om. 1 - El proceso continuo del Slurry Seal proporciona con precisión los materiales, mezcla y distribuye.

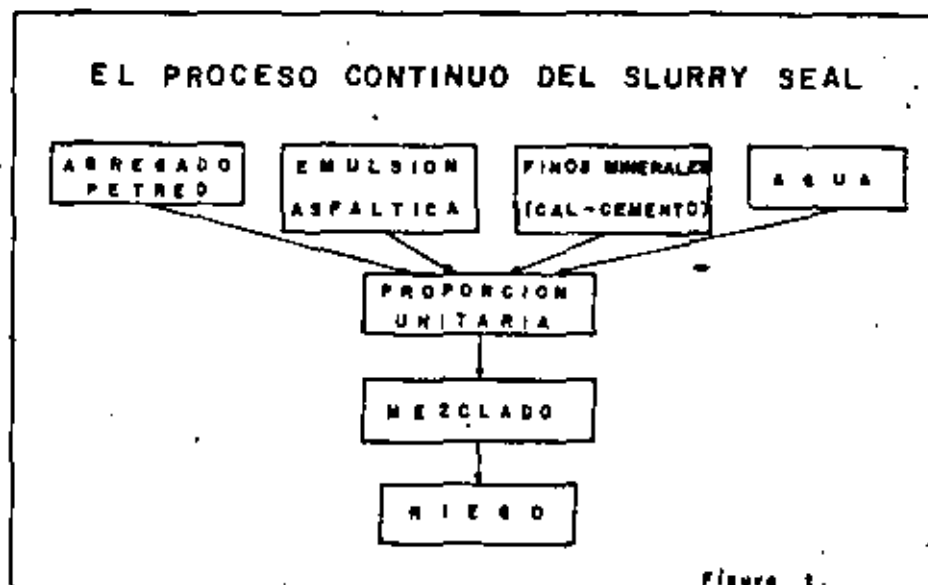


Figura N^om. 2.

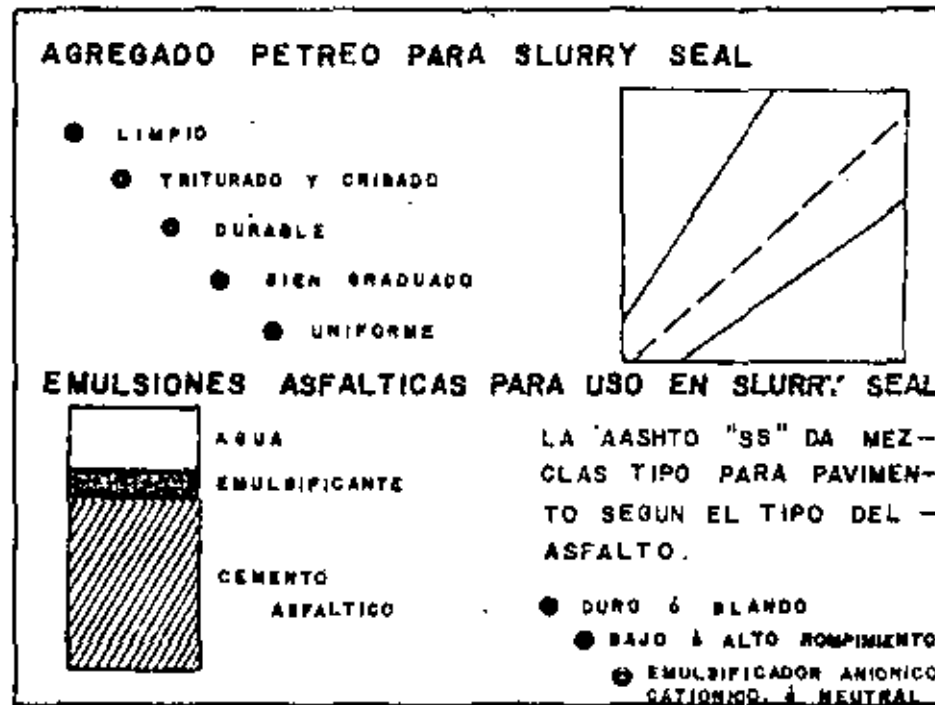


Figura N^om. 2 - Los principales materiales del Slurry Seal son los agregados y la emulsión asfáltica. Los agregados deben estar limpios y triturados y deben ser durables y con graduación buena y uniforme. La emulsión es un sistema de tres partes que consiste de cemento asfáltico, agua y emulsionante. Las emulsiones asfálticas generalmente cumplen con lo dispuesto para los tipos de mezcla densa de AASHTO "RL" y están hechas de cemento asfáltico y pueden ser duras o suaves. Las emulsiones son de rompimiento lento o rápido elaboradas con emulsionantes aniónicos, catiónicos o no iónicos. Algunas veces se emplean aditivos líquidos para alguna modificación.

"Los fillers" tales como el cemento portland o cal hidratada se usan comúnmente en pequeñas cantidades para estabilizar mezclas incompatibles o como modificadores químicos del sistema. El agua de mezclado debe ser potable y libre de sales perjudiciales.

Los principales usos de los tratamientos superficiales con Slurry Seal son:

1. Preventivo . . . para evitar los daños superficiales que ocurren en los pavimentos recién tendidos, tales como los efectos de la meteorización (oxidación, pérdida de aceites, pérdida de aglutinante y debilitamiento de la mezcla estructural) y para proporcionar durabilidad especial y textura que no se tiene en la mezcla de la capa de abajo.

2. Correctivo . . . para corregir los desperfectos superficiales que ya han ocurrido en los pavimentos más viejos tales como agrietamiento superficial, desprendimiento, pérdida de aglutinante, permeabilidad incrementada al aire y al agua y condiciones malas contra el derrapamiento producidas por el flujo o por los agregados pulidos.

El Slurry Seal en las superficies de los pavimentos reciclados cumple con el doble propósito de corrección y prevención.

Figura Núm. 3

LAS TRES GRADUACIONES BASICAS DEL SLURRY SEAL

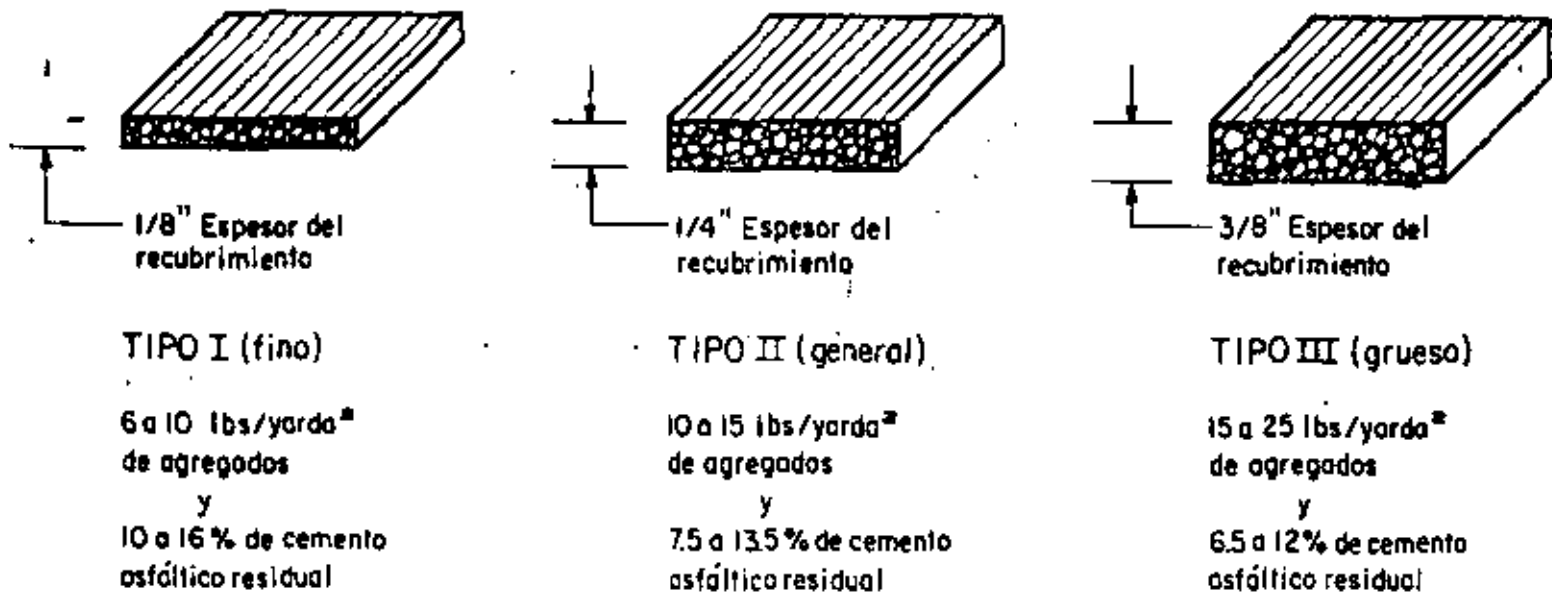


Figura Núm. 3 - Las especificaciones generales de la Asociación Internacional del Slurry Seal en su guía A-105 reconoce tres graduaciones básicas de agregado:

Tipo Fino (I) 1/8" Tipo General (II) 1/4" Tipo Grosso (III) 3/8"

La graduación del agregado, seleccionada para usarse, depende del objetivo de un tratamiento particular:

Tipo I - Se usa para la máxima penetración en las grietas y como una preparación excelente para recubrir con mezcla en caliente o con riego de sello. Comúnmente se usa en las áreas con poca densidad de tránsito o bien de poco uso, tales como las aeropistas para aviones ligeros, áreas de estacionamiento o acotamiento donde el objetivo principal es el sellado.

Tipo II - Es el más ampliamente usado para sellar, corregir desprendimientos severos, oxidación y pérdida de aglutinante, también para mejorar la resistencia al derrapamiento. Se emplea para tránsito moderado y pesado dependiendo de la calidad de los agregados disponibles y del diseño.

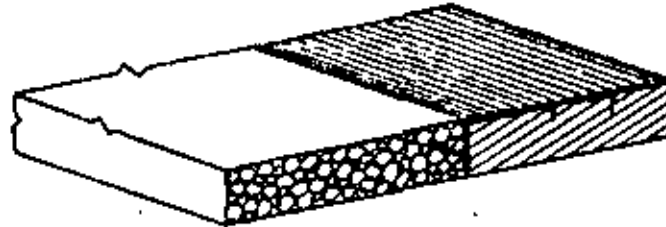
Tipo III - Se usa para corregir condiciones severas de desprendimiento, como primera capa en la aplicación de las multi-capas, para impartir resistencia al derrapamiento y para evitar desperfectos debidos al agua bajo condiciones de tránsito pesado y para poder extender la vida útil bajo estas condiciones.

El Slurry Seal es el sistema de tratamientos superficiales de pavimentos más versátil. Debido a que el Slurry Seal es un tratamiento superficial relativamente de poco espesor, los requerimientos de energía son bajos y resulta económicamente factible usar materiales especiales importados o aun exóticos para proporcionar las características superficiales deseadas.

El Slurry Seal se distingue de otros sistemas de tratamiento superficial por su particularidad de habilitar para depositar un recubrimiento asfáltico de poco espesor en las superficies de los pavimentos de acuerdo con las demandas de una textura superficial variable. Esta particularidad es valiosa en el sellado de las carpetas recicladas.

Figura Núm. 4

VERSATILIDAD DEL SLURRY SEAL



EL SLURRY SEAL EN UN SOLO PASO :

- 1 - Deposita un sello asfáltico acorde con las necesidades de la superficie
- 2 - Llena las grietas en la superficie de contacto
- 3 - Coloca una cuña modesta
- 4 - Coloca un buen sello contra la meteorización
- 5 - Llena los vacíos superficiales
- 6 - Proporciona coloración para delinear la textura
- 7 - Logra buena resistencia al derrapamiento

Figura Núm. 4 - Un ejemplo, es esta sección recta de un acotamiento de camino inter-estatal donde el slurry llenará las grietas de la cara de contacto, depositando una cuña modesta, llenará los vacíos dejados por el desprendimiento superficial y las grietas transversales, proporcionará resistencia al derrapamiento, sellará bien contra la meteorización y proporcionará color para delinear, y todo en un solo paso.

Figura Núm. 5

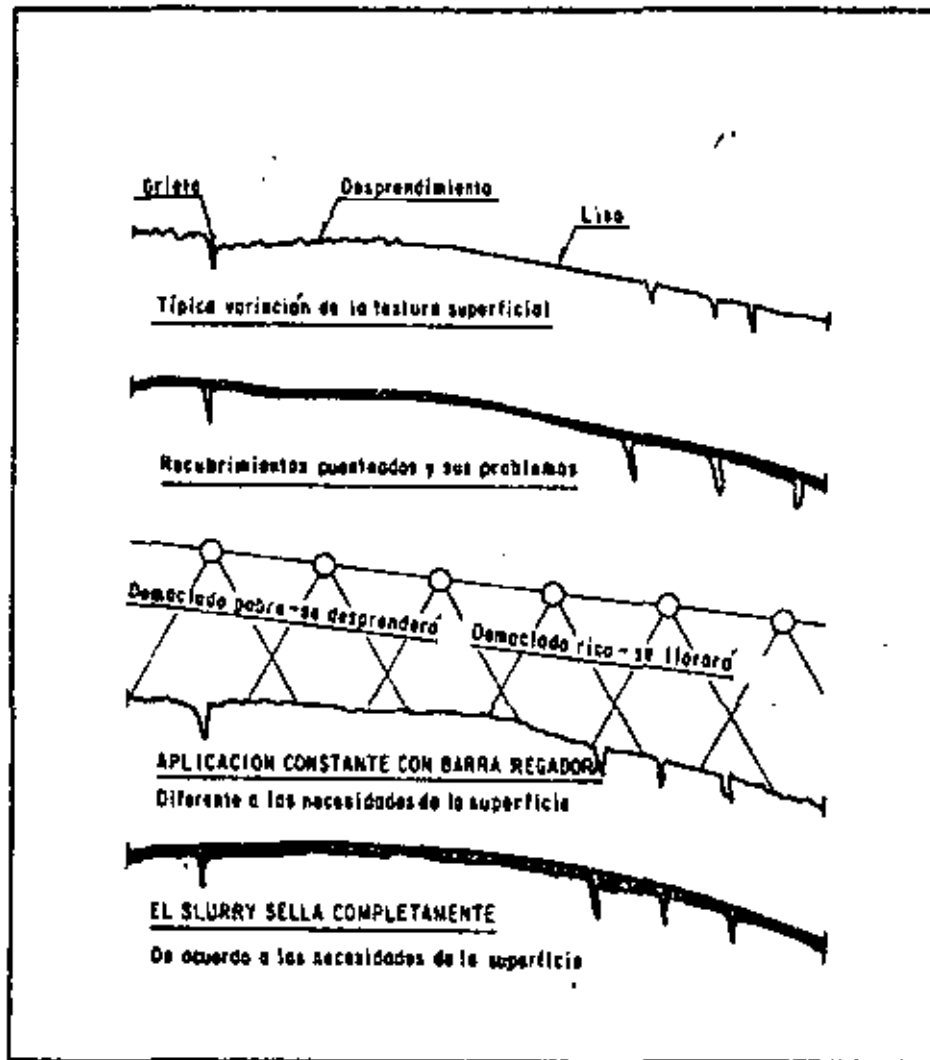


Figura Núm. 5 - Se considera otro ejemplo de la sección recta de un pavimento donde las rodadas están compactadas por el tránsito hasta el punto de fluir. Las áreas sin tránsito están oxidadas y hay zonas de desprendimiento excesivo, las mezclas de agregados gruesos no muy fluidas harán puente en las áreas con desprendimiento o con grietas; los riegos de sello serán o demasiados pobres. Muchas veces estos tratamientos corrigen el problema original. El slurry realizará todas las funciones de llenado de las juntas afectadas y de las áreas oxidadas, cubriendo además el área entera según lo requieran las condiciones superficiales . . . en un sólo paso.

Las propiedades de un slurry seal varían con las propiedades de los materiales incorporados en la mezcla y con el diseño y construcción de las combinaciones seleccionadas. Comúnmente se considera que el slurry seal tiene muy baja permeabilidad (un excelente sello), poca resistencia a la tensión, alta resistencia a la compresión, resistencia alta al derrapamiento, buena textura y resistencia alta al resbalamiento -- por los efectos del agua, buena estabilidad excelente adherencia y apariencia.

Estas propiedades pueden variarse por la selección de materiales como agregados especiales para impartir durabilidad y resistencia al derrapamiento según las necesidades, también se combinan elastómeros para impartir flexibilidad y resistencia al agrietamiento térmico.

IV TÉCNICAS DE DISEÑO

El desarrollo de los procedimientos de diseño del slurry seal es parecido al desarrollo de otros materiales de pavimentación; es decir, con pruebas de tanteo se va relacionando el comportamiento en el campo con la experiencia del laboratorio. En la investigación para entender el incremento de la vida útil de los pavimentos, se está bajo cambios anuales de dirección y de filosofía. Por ejemplo, los argumentos del contenido de vacíos adecuado o de la penetración del -- asfalto que puede usarse en una situación dada, permanecen sin resolver después de veinticinco años de mi experiencia profesional. Cada año la industria de los pavimentos reinventa conocimientos antiguos y algunas veces repite errores del pasado. Los profesionales de esta industria reconocen que no se conoce todo al respecto y esperan cambios completos en las corrientes y nociones acerca del diseño conforme vayan apareciendo las novedades. Yo confío principalmente en los procedimientos de diseño listados en la Guía de Especificaciones Generales ISSA A-105, el Manual de Carpetas Asfálticas de la Cía. Slurry Seal, las instrucciones del Reporte S-75-1, Experimentos sobre Vías Fluviales del Ejército de los EE.UU. y las publicaciones de ASTM y de los Boletines Técnicos del ISSA sobre diseño en 1978 y los Reportes Técnicos del Comité ISSA R & D. Para su referencia hemos incluido aquí el Boletín Técnico ISSA Núm. 111 revisado en enero de 1978.

GUÍA DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL

Los procedimientos de diseño que se describen en el Boletín Técnico Núm. 111 incluyen:

1. Descripción del Pavimento, Condición, Datos de Tránsito, Clima
2. Objetivos - Vida esperada, Requerimientos de Textura
3. Selección de Materiales
 - a. Agregados
 - b. Emulsión Asfáltica
 - c. Filler
4. Diseño en el Laboratorio
 - a. Determinación Teórica del Cemento Asfáltico
 - b. Determinación de los requerimientos de Agua y Filler (Consistencia)
 - c. Ejecutar las pruebas de Compatibilidad en Capa y la de Adherencia
 - d. Someter las Mezclas de Prueba a las Pruebas Físicas
5. Adaptar el Diseño Óptimo para el Control de las Cantidades en el Campo

V PROBLEMAS DE INVESTIGACION Y SU APLICACION A LAS TECNICAS DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL.

1. Determinación del Tránsito, Tránsito Pesado y la Prueba de Carga por Rueda
 - a. El camino de prueba A-B
 - b. Las pruebas 35 y 65 de Ohio SR 42

2. (Figura N^om. 7)

Figura N^om. 7 - Selección de los agregados para determinar la Durabilidad por medio de la prueba correspondiente.

3. Determinación para proporcionar el esparcimiento o regado y las mediciones de macrotextura por medio de la caja de arena.

4. (Figura Núm. 8)

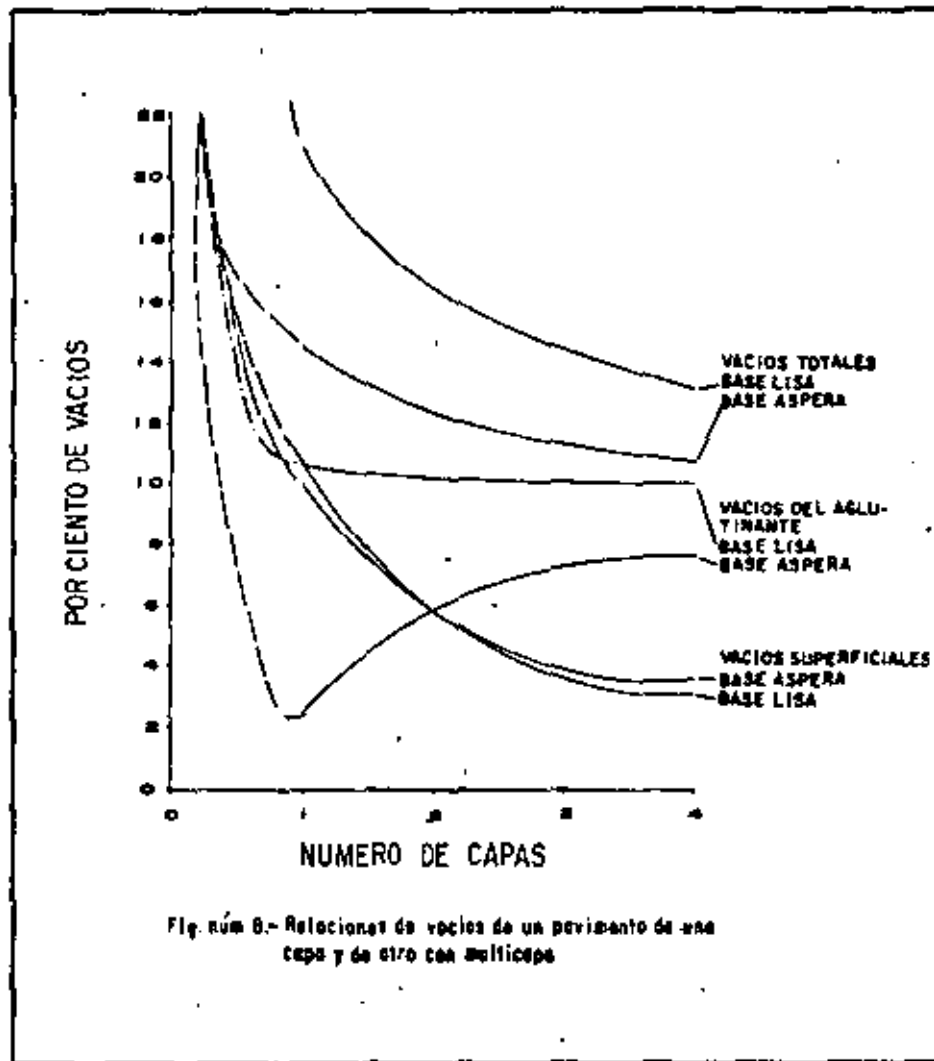


Figura Núm. 8 - Problemas presentados por los espesores en los sistemas de capa única, en los de multicapa.

5. Especificaciones para sistemas de slurry seal de fraguado rápido y pruebas para determinar el comportamiento de las mezclas, más bien que las propiedades de los materiales.

VI ESPECIFICACIONES GENERALES Y PARA EL COMPORTAMIENTO.

La Asociación Internacional del Slurry Seal, a través de sus comités de especificaciones e investigación, anualmente actualiza sus especificaciones generales — (A-105) para el Slurry Seal. Esta especificación (A-105) es reconocida en todo el mundo y constituye la base de todas las especificaciones para el slurry seal.

La especificación A-105 ha resistido la prueba de quince años de experiencia y - recomendamos su uso como punto de partida para desarrollar las especificaciones para el control de calidad regional o local, ya sean estas del tipo de resultado final o del tipo de compensación económica.

La especificación A-105 incluye las siguientes secciones:

1. Alcance
2. Especificaciones aplicables al material
3. Descripción
4. Materiales y Requerimientos de Diseño
5. Descripción del equipo
6. Preparación de la superficie.
7. Proporción de la composición y la aplicación
8. Limitaciones de temperatura
9. Control del tránsito
10. Aplicación
11. Mediciones y pago

El término "Especificaciones de Ejecución" significa (Especificación detallada) la - cual trata de describir con precisión los materiales, métodos de diseño y técnicas de construcción para lograr el objetivo establecido.

Típicamente, "Las Especificaciones de Ejecución" son, comúnmente, excesivamente amplias a tal grado que no son entendibles para los inspectores y contratistas que deben usarlas. El costo del cumplimiento absoluto puede ser prohibitivo. (Estoy tratando de ser lo más amable posible).

Mi manera personal para las especificaciones de esta clase es, con objeto de simplifi-
car:

1. Establecer el objetivo de una construcción particular que se va a realizar.
2. Establecer la vida útil esperada.
3. Permitir al contratista su completo criterio
4. Hacer los pagos cuando se haya logrado el objetivo.

Los Estados de Virginia, Kansas y Ohio han desarrollado sus especificaciones, a tra-
vés de los años, en respuesta a sus problemas. Cada uno tiene sus particularidades, -
pero generalmente, ellos piden al contratista seleccionar materiales de alta calidad
hacer su propio diseño y establecer sus propios procedimientos de control. La inspe-
cción consiste en medir los materiales usados por unidad. El pago se hace en base a la
ejecución de la construcción relacionada con el diseño del contratista. Las penalida-
des se deducen del pago en el caso de que el comportamiento esté por abajo del estándar.

Comirmente, el Comité de Investigación de la ISSA esta trabajando con el Comité Técnico de la Asociación de Fabricantes de Emulsión Asfáltica (AEMA) para desarrollar unas Especificaciones Generales para el Comportamiento del Slurry Seal, que se van a presentar en la junta anual de AEMA en San Francisco, Calif. en abril de 1979, una especificación similar sobre el comportamiento ha presentado la ASTM D 4.04 de su Comité — sobre Materiales Asfálticos.

Actualmente, no hay especificaciones sobre comportamiento del Slurry Seal en su parte industrial. A continuación se presenta una lista de agencias que tienen especificaciones para el slurry seal de interés especial, que pueden ayudar en el desarrollo de especificaciones para cumplir los requerimientos locales.

ISSA	Asociación Internacional del Slurry Seal - Washington
AEMA	Asociación de Fabricantes de Emulsión Asfáltica - Washington
NAVFAC	Comando de Ingeniería Naval - Alejandría
FAA	Administración Federal de Aviación - Washington
USACE	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. - Vicksburg
vaDOT	Departamento del Transporte de Virginia - Richmond
ODOT	Departamento del Transporte de Ohio - Columbus
KanDOT	Departamento del Transporte de Kansas - Topeka
CalTrans	Departamento de Transportes de California - Sacramento
APWA	Asociación Americana de Obras Públicas - Chicago

En el desarrollo de sus propias especificaciones, yo le aconsejo tomar en cuenta la ayuda de sus contratistas locales. Gracias.

REFERENCIAS

"Manual de Recubrimientos con Slurry Seal", Completamente Revisado Province, R.J. — Cía. Slurry Seal, Apartado Postal 7677, Waco, Texas 1973-116 p.

Kari, W. J. "Recubrimientos asfálticos con Slurry Seal" Libroto AAPT; Volumen 33, 502-537-1964.
Coyne, L.D.

Harper, W. J. "Efectos de los fillers minerales en las mezclas de Slurry —
Jiménez, R.A. Seal" Reporte del Consejo de Investigación de Carreteras-Núm.
Galloway, Bob M. 104, 36-59 p.1965.

Godwin, L. N. "Reporte para instrucción S-75-1, para tratamientos superficia
les con Slurry Seal", Laboratorio para Suelos y Pavimentos de
los Ingenieros de las Vías Fluviales del Ejército de los EE.UU.
Sección Experimental, Vicksburg, Miss. junio 1975-62 p.

- Instituto del Asfalto CL-22 "Slurry Seal"
Construcción 1978.
- Publicaciones ISSA "Especificaciones Generales A-105 para Slurry Seal - 1978, --
Asociación Internacional del Slurry Seal, 1101 Connecticut --
Ave. N. W., Washington, D.C. 20036
Boletines Técnicos de Diseño - 1978, 45 p.
- Young, R.T. entre "Pruebas de Durabilidad y de Insolubilidad en ácido" Quinta -
otros. Convención Anual de ISSA y Primer Congreso Mundial sobre Slurry
Seal, Madrid, España, febrero 1977.
- Whitney, G. F. "Reciclamiento de Pavimentos Asfálticos usando el Método de --
Slurry Seal de Mezclado en Caliente, ISSA Congreso de Madrid,
febrero de 1977. Ver también Obras Públicas, julio 1977.
- Benedict, C.R. "Planta Viajera de Emulsiones Asfálticas para tendido con Má-
quina" - Aplicaciones y usos. Primera Junta Anual AEMA, enero
1974. "Una introducción a los usos ponenciales de una probado
ra de carga por eje" (LWT) para determinar el tránsito de di-
seño para el Slurry Seal 13ava. Convención Anual ISSA 1975. --
23 p.
"Una introducción a los elementos y usos de sistemas/de slurry
seal", Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea de los EE.
UU., WPAFB, Ohio, abril 5 de 1976; 2da. Edición marzo 14 1977,
3ra. Edición enero 23 de 1978.
"Pruebas de laboratorio y el diseño y control del Slurry Seal"
"Introducción a un estudio para la predicción y mantenimiento
de las proporciones de tendido del Slurry Seal".
"Un reporte interino sobre el proyecto del camino de prueba --
A-B y la prueba de carga por eje", 15ava. Convención Anual ISSA
y Primer Congreso Mundial sobre el Slurry Seal Madrid España --
febrero 1977.
"Diseño y Control de Mezclas de Slurry Seal, 4ta. Convención --
Anual de la Asociación de Fabricantes de Emulsión Asfáltica, --
Phoenix, Marzo 1 de 1977.
"Sistemas del Slurry Seal de rompimiento rápido y de curado len-
to-estado del arte", ISSA R & D (Artículo de su Simposio de fe-
brero 13 de 1978.
"Vaciós y macrotextura de sistemas de capas Mono-, Menos-Mono y
multicapas de agregado fino con granulometría descontinua, Slu-
rry -como mezcla asfáltica" - ISSA R & D (reporte de su Comité,
Washington, D.C. Mayo 3 de 1978.

Figura Núm. 9

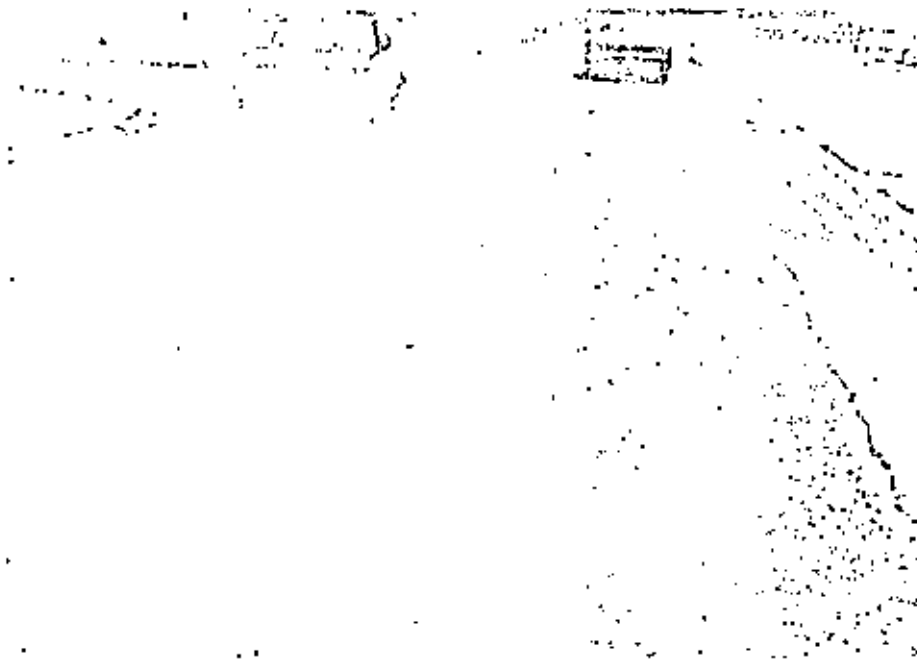


Figura Núm. 9 - Mezcla en caliente rejuvenecida con el procedimiento de escarificación en caliente.

NOTA: Grado adecuado, contracción longitudinal y extrema variación en la textura superficial.

Figura Núm.10



Figura Núm. 10 - Mezcla en caliente molida en frío después de doce meses.

NOTA: La macrotextura superficial varía desde 80 cms. a 300 cm, en las rodadas.

Figura Núm. 6 - Procedimientos de diseño del Slurry Seal - ISSA Boletín Técnico --
Núm. 111.

- 1.- Descripción del pavimento, condiciones, tados de tránsito, clima.
- 2.- Objetivos - vida esperada - requerimientos de textura.
- 3.- Selección de materiales.
 - a. Selección de agregados
 - b. Selección de la emulsión asfáltica:
 - c. Selección del filler
- 4.- Diseño en el laboratorio
 - a. Determinación teórica del cemento asfáltico
 - b. Determinación del agua y del filler (consistencia)
 - c. Prueba de compactabilidad en copa y prueba de adherencia
 - d. Someter las mezclas de prueba a las pruebas físicas.
- 5.- Aplicar el diseño óptimo al control de las cantidades en el campo.

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL - Boletín ISSA 111

- 1.- Descripción del pavimento condiciones, datos de tránsito, clima;
- 2.- Objetivos - Vida Esperada, Requerimientos de Textura
- 3.- Selección de Materiales:
 - a. Selección de Agregados
 - b. Selección de la Emulsión Asfáltica
 - c. Selección del Filler
- 4.- Diseño en el Laboratorio
 - a. Determinación Teórica de los Requerimientos de Cemento Asfáltico
 - b. Determinación de los Requerimientos de Agua y Filler (Consistencia)
 - c. Prueba de Compactibilidad en Copa y Prueba de Adherencia.
 - d. Sujetar las Mezclas de Prueba a las Pruebas Físicas
- 5.- Aplicar el Diseño Óptimo al Control de las Cantidades en el Campo.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



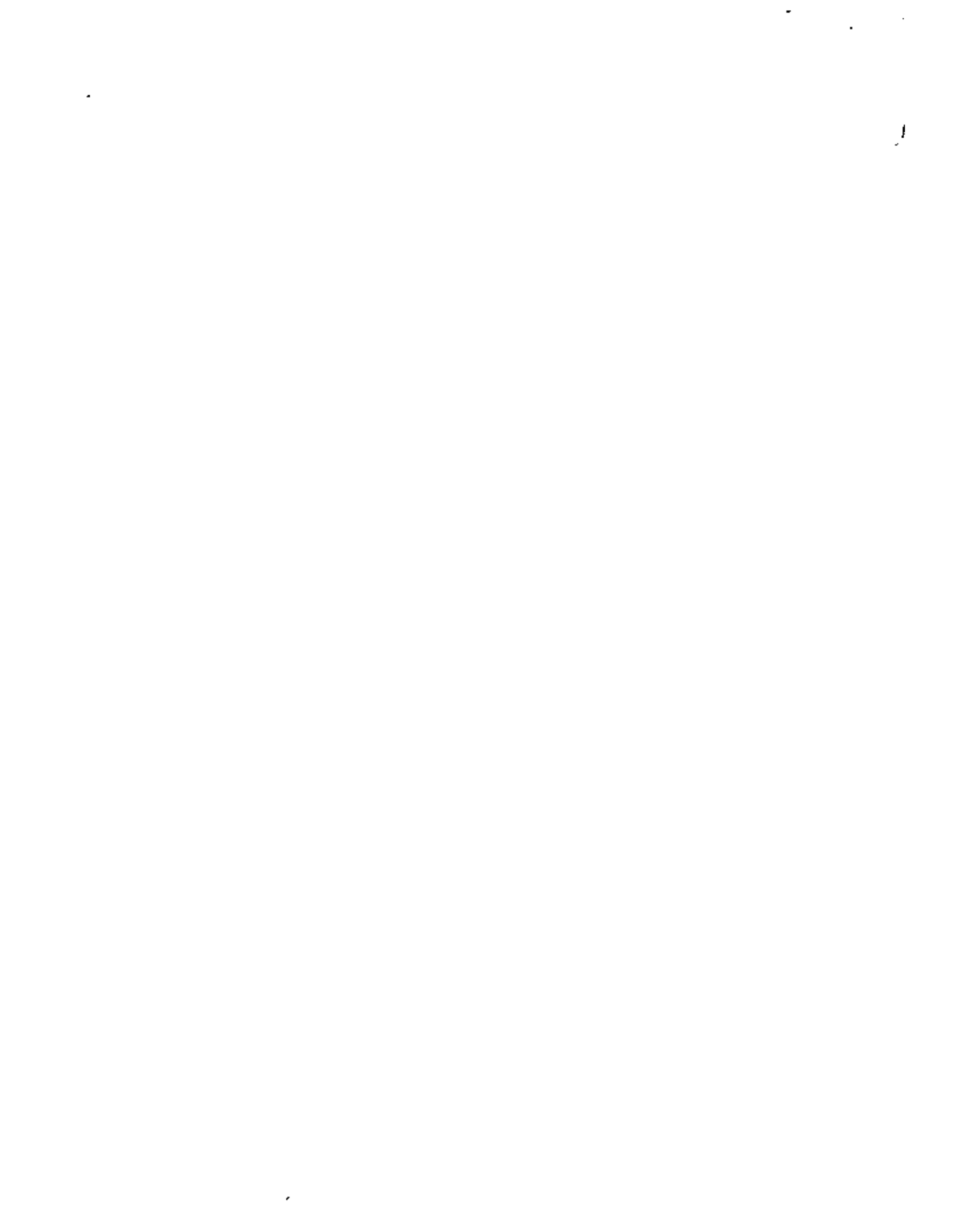
SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Proyecto para demostración de reciclamiento de los pavimentos
de concreto hidráulico

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980



Proyecto Núm. 47, para Demostración de
Reciclamiento de los Pavimentos de Concreto
Hidráulico.

Gary L. Henderson.

Reciclamiento de Pavimentos
Octubre 25 - 26, 1978.

I Objeto del Proyecto.

El de animar a las dependencias encargadas de la construcción de las carreteras a reconstruir y evaluar las obras de concreto hidráulico reciclado.

II Definición.

Concreto Fresado de cualquier fuente satisfactoria (principalmente - pavimentos de concreto hidráulico que requieran reconstrucción) y volver a usarlo como agregado en nuevas carpetas de concreto hidráulico y en los acotamientos del mismo material.

III Investigación Inicial.

- A.- Determinar lo adecuado de los agregados reciclados.
- B.- Estudio Económico del reciclamiento.
- C.- Resultados.

- 1.- Comportamiento adecuado como sustituto de los agregados naturales.
- 2.- La distancia de acarreo es el factor económico principal.

IV Investigación Común.

- A.- Construcción y Evaluación.
- B.- Desarrollo de los Diseños de Mezcla Óptima.
- C.- Remoción de las partes empotradas.

V Razones para el Reciclamiento.

- A.- Conservación de la Energía y de los Recursos Naturales.
- B.- Uso del Material adecuado disponible.
- C.- Costos reducidos de construcción.
- D.- Disposición de los desperdicios sólidos.

VI Proyecto Iowa, U. S. 75.

- A.- Tres mezclas de diseño.
- B.- Resultado satisfactorio de las pruebas.
- C.- Ahorro en los costos.

VII Impacto de Largo Alcance.

- A.- Fuente alternativa probada de agregados de calidad.
- B.- Solución a los problemas de disposición de los desperdicios sólidos.

VIII Ayuda Financiera.

- A.- Reconstrucción - \$ 60.00/M² para 25,000 M²

IX Beneficios del Reciclamiento.

- A.- Conservar los recursos naturales.
- B.- Reducir costos.
- C.- Conservar energía.

PLAN DE EVALUACION

Este plan está dirigido a servir como guía para evaluar los pavimentos de concreto hidráulico reciclados construidos como obras experimentales de categoría tres. Estas obras involucrarán concreto triturado (de cualquier fuente satisfactoria) y volver a usar el producto triturado en nuevos pavimentos de concreto hidráulico.

La siguiente información se debe obtener para cada obra o proyecto:

INVESTIGACION PRELIMINAR.

1.- Establecimiento de una Fuente de Concreto Reciclado.

Antes de decidir sobre una obra de pavimentación de concreto hidráulico reciclado, debe realizarse una investigación preliminar.

Se deben obtener muestras representativas de todas las fuentes bajo consideración para probar el concreto que se va a reciclar. Cada muestra debe probarse para asegurar que se pueden obtener agregados aceptables triturando el concreto y que se puede producir una mezcla satisfactoria para la pavimentación. Basados en los resultados de la investigación, se debe establecer la fuente del concreto que va a reciclarse. Si no pueden obtenerse resultados de prueba aceptables de cualquiera de las fuentes de concreto disponibles, no se debe considerar un proyecto de pavimentación de concreto hidráulico reciclado.

2.- Fuente de los Agregados Reciclados.

Si la fuente de los agregados reciclados es un pavimento existente, especificar el año en que el pavimento fue originalmente construido, la sección típica del pavimento, la cantidad de acero de refuerzo presente, el tipo de agregado en el concreto, la resistencia a la compresión del concreto, y los tipos de desperfectos del pavimento.

Si la fuente de los agregados reciclados no es la de un pavimento existente especificar la fuente, la cantidad aproximada de acero de refuerzo presente, el tipo de agregado en el concreto, y cualquier otra información apropiada que esté disponible.

FASE DE DISEÑO.

Después de establecer una fuente satisfactoria del concreto que va a ser reciclado, se puede empezar con la fase de diseño del proyecto. Se debe obtener una muestra representativa de la fuente de concreto establecida durante la investigación preliminar. Esta muestra debe utilizarse para realizar las pruebas durante la fase de diseño. Si es posible, la muestra de concreto debe procesarse a través de una operación normal de trituración.

1.- Pruebas sobre el Concreto Triturado.

Reporte de los resultados de granulometría, absorción, peso específico de sólidos, abrasión, congelamiento, deshielo y cualquiera otra de las pruebas apropiadas (tal como la prueba de los agregados en álcali, si es aplicable) de los agregados de concreto triturado.

2.- Mezclas de Prueba.

Describir los procedimientos del laboratorio usados para lograr una mezcla aceptable de agregados reciclados. Especificar las proporciones de los diferentes componentes en las mezclas de prueba (incluyendo el porcentaje de arena natural que se está usando), los resultados de las pruebas apropiadas, y los criterios usados para establecer la mejor mezcla.

3.- Parámetros de Diseño de Pavimentos Reciclados.

Describir los procedimientos empleados para diseñar la nueva sección del pavimento con el concreto reciclado. En la descripción, incluir el diseño de espesores de la sección, el porcentaje y disposición de las varillas de acero de refuerzo, el tipo y espaciamiento de las juntas, y cualquier otra información apropiada.

FASE DE CONSTRUCCION.

1.- Remoción del Pavimento.

Si la fuente de donde proviene el concreto que va a ser reciclado es un pavimento existente, describir el método de remoción (incluyendo cualquier acero y/o recubrimientos asfálticos), los tipos de equipo empleados, el porcentaje aproximado (en volumen) del pavimento que se recupera, y cualquier problema encontrado durante la operación.

2.- Operación de Triturado.

Describir el tipo y tamaño de las trituradoras, cualquier modificación requerida del equipo, así como cualquier problema encontrado durante la operación. Se deben probar muestras del producto triturado para asegurar la consistencia con el material usado en la fase del diseño. Si hay una diferencia substancial, puede ser necesario modificar el diseño de la mezcla.

3.- Operación de Pavimentación.

Describir el equipo usado, las modificaciones del equipo requeridas, la velocidad aproximada de producción, cualquier modificación a la mezcla de diseño, técnicas de terminación y curado, y las variaciones notadas con respecto a las condiciones normales.

4.- Pruebas para las Mezclas de Concreto Reciclado.

Reportar los resultados de revenimiento, contenido de aire, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y las otras pruebas apropiadas que se realicen en las muestras tomadas durante la fase de construcción.

INFORMACION COMPLEMENTARIA.

1.- Comparación de Costos.

Comparar el costo presente de la sección del pavimento construida con agregados reciclados contra el costo estimado de la construcción de la misma sección del pavimento con agregados convencionales (basados en los precios unitarios típicos de esa zona).

2.- Conservación de Recursos.

Reportar la cantidad de los agregados convencionales conservada por la aplicación del proyecto de reciclamiento, las cantidades de concreto y asfáltico (de un recubrimiento), y el acero de refuerzo que fueron salvadas en este proyecto. Además, indicar los usos de estos materiales salvados, empleados en algo diferente al nuevo pavimento.

3.- Conservación de la Energía.

Reportar todos los ahorros de energía logrados por el uso de los agregados del concreto hidráulico (con cemento portland) en el nuevo pavimento. Esto incluiría todas las partes salvadas tales como: sobrecapas asfálticas, acero, etc. Esto debe completarse comparando la energía consumida durante la obra de reciclamiento, con la energía que se hubiera consumido si se hubieran utilizado los agregados convencionales. Al comparar los dos tipos de proyectos, algunas operaciones de consumo de energía pueden considerarse iguales y, por lo tanto, anularse una con respecto a otra. El ahorro de energía total de la obra de reciclamiento debe reportarse en galones de gasolina equivalentes.

La hoja que se anexa (A) ilustra una comparación típica de las operaciones de energía consumida en una obra de reconstrucción usando agregados convencionales contra una obra de reconstrucción empleando agregados del concreto triturado.

R E P O R T E .

Debe remitirse un reporte provisional (cubriendo todos los detalles mencionados anteriormente), para revisión a la Jefatura Regional dentro de los seis meses posteriores a la terminación de la construcción.

Deben remitirse anualmente, por escrito, evaluaciones del comportamiento, consistentes en observaciones visuales y en los resultados de las pruebas apropiadas.

También debe remitirse un reporte final de la revisión tres años después de terminada la construcción.

Operaciones de Consumo de Energía (A)

Obra de Reconstrucción con Concreto Hidráulico usando Agregados Convencionales.

Obra de Reconstrucción con Concreto Hidráulico de Agregados de Concreto Triturado.

1. Remoción del pavimento existente (incluyendo cualquier recubrimiento de concreto asfáltico).
2. Desperdicio o salvamento de cualquier concreto asfáltico.
3. Acarreo de los pedazos de concreto hidráulico al lugar dispuesto y mantenimiento de la operación de disposición.
4. Adición de material nuevo de base, reacondicionamiento de la base existente, nivelación, y/o recompactación (si es necesario).
5. Producción de los agregados convencionales (puede incluir extracción y/o triturado).
6. Acarreo de los agregados convencionales al lugar de mezclado del concreto.
7. Proporcionamiento y mezclado del concreto.
8. Acarreo del concreto a la obra.
9. Operación de pavimentación.

1. Remoción del pavimento existente (incluyendo cualquier recubrimiento de concreto asfáltico).
2. Desperdicio o salvamento de cualquier concreto asfáltico.
3. Acarreo de los pedazos de concreto hidráulico al sitio de trituración.
4. Adición de material nuevo de base, reacondicionamiento de la base existente, nivelación, y/o recompactación (si es necesario).
5. Producción de los agregados de concreto triturado (incluye remoción de acero y trituración).
6. Acarreo del concreto triturado al sitio de mezclado de concreto.
7. Proporcionamiento y mezclado del concreto.
8. Acarreo del concreto a la obra.
9. Operación de pavimentación.

N O T A S : Los incisos 1, 2, 4, 7, 8 y 9 pueden cancelarse uno con otro.

Suponer: 70,000 BTU/ton. para producir roca triturada.

40,000 BTU/ton. para producir grava triturada.

15,000 BTU/ton. para producir agregado natural (sin triturar)

Gasolina = 125, BTU/Gal.

Diesel = 139,000 BTU/gal.

DEMOSTRACION DEL PROYECTO NUM. 47

RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

Muchas regiones de Estados Unidos padecen la falta de bancos disponibles de agregados de alta calidad para usarse en el concreto hidráulico (con cemento portland) para pavimento.

En estas regiones, comunmente es necesario remover grandes cantidades de sobrecarga para exponer las fuentes de agregados aceptables, o transportar los agregados desde lugares distantes. Ambos métodos de obtener agregados durables promueven los altos precios y producen grandes consumos de energía.

Una fuente de agregados durables que comunmente se contempla es la de los pavimentos existentes de concreto hidráulico que deben ser reconstruidos.

La trituración de este concreto para volverlo a usar como agregado en pavimentos nuevos de concreto hidráulico, no solamente conservaría los materiales naturales sino que reduciría los costos de construcción y conservaría la energía para obras en regiones con pocos agregados. Siempre que se deba reconstruir un pavimento de concreto hidráulico en un área donde el precio de los agregados durables es alto, una de las alternativas que debe considerarse es el reciclamiento.

El objetivo de la demostración de este proyecto es para animar a las agencias encargadas de las carreteras, a construir y evaluar las obras de reciclamiento del concreto hidráulico. La demostración del Proyecto Núm. 47 proporciona lo siguiente:

Una visita por un jefe de obras para discutir la condición de los pavimentos de concreto hidráulico reciclado.

Asistencia técnica y financiera para la construcción y/o evaluación - de las obras experimentales de reciclamiento del concreto hidráulico.

Departamento de Transportes de los Estados Unidos/Administración Federal - de Carreteras zona 15, División de Proyectos para demostración, 1000 North Glebe Road, Arlington, Virginia 22201.

Fotografía Núm. 1 REMOCIÓN - Después de completar la operación de quebrado del pavimento (ver fotografía), se remueve el concreto hidráulico y se transporta al sitio de trituración.

Fotografía Núm. 2 TRITURACION - El concreto hidráulico se tritura a un tamaño especificado y se apila.

Fotografía Núm. 3 PAVIMENTACION - Los agregados triturados del concreto hidráulico se incorporan a la mezcla de pavimentación la cual se coloca con - equipo convencional).

Fotografía Núm. 4 PRODUCTO TERMINADO - El pavimento reciclado parece similar a los pavimentos construidos usando agregados convencionales y el buen comportamiento es comparable.

Cualquier agencia que desee información adicional o la presentación de esta demostración debe dirigirse a la FHWA Oficina de la División en ese Estado.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Experiencia de campo-productos diseñados para prolongar la vida
útil de los pavimentos asfálticos

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

EXPERIENCIA DE CAMPO-PRODUCTOS DISEÑADOS PARA
PROLONGAR LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS ASFAL
TICOS.

Por

A. E. Ryan, Ingeniero Especialista en Ensaye de Materiales
Oakland, California.

Existe otro factor que yo creo tiene participación en el envejecimiento del asfalto, el cual es el sistema de fabricación. En los primeros días de la producción de los asfaltos derivados del petróleo, el crudo era destilado directamente y se producían los cementos asfálticos de la penetración requerida. Por este método el cemento asfáltico digamos de -- 100 de penetración existía en su forma original. De acuerdo con mis últimas informaciones, con la complejidad de los productos que ahora se derivan del petróleo crudo, el proceso de destilación se lleva hasta uno o dos grados básicos y los otros grados se hacen mezclando cuando se carga el producto, en algunos casos por el uso de rebajados. En mi opinión este procedimiento puede causar una diferencia en el comportamiento del cemento asfáltico cuando se pasa por la planta en caliente y posteriormente en el pavimento. Si estoy equivocado en esta consideración, yo agradezco cualquier comentario que se me haga al concluir mi plática.

Todos nosotros estamos familiarizados con los sellos convencionales tales como riego final (tipo niebla) tratamientos superficiales ligeros, etc. La Ciudad de Oakland ha usado estos procedimientos con diferentes grados de éxito en el pasado. Su función principal ha sido la de evitar la incorporación del agua en las grietas de las superficies intemperizadas. Los riegos finales se aplicaron en algunos pavimentos que no iban a abrirse al tránsito inmediatamente o cuando las condiciones de mal clima prevalecían. En los casos donde el cemento asfáltico había endurecido excesivamente o se había hecho deficiente en cantidad por su separación de las partículas de agregados, estos sellos proporcionaron solamente un alivio limitado. El slurry seal aunque tiene éxito en los pavimentos sanos, no corrige las fallas profundas del cemento asfáltico dentro de la sección del pavimento.

21,

Esto condujo a la actividad de producir aditivos especiales, diseñados para mejores aplicaciones en los pavimentos con desperfectos, que las de los sellos convencionales. Sin embargo, los sellos convencionales se usan como selladores de grietas, etc., donde no hay envejecimiento del cemento asfáltico.

Algunos años atrás, el Doctor F. S. Rostler, junto con la Golden Bear Oil Co. hizo un estudio extensivo de los componentes químicos de los cementos asfálticos. Como resultado de esta investigación el Doctor Rostler estableció que las subfracciones del cemento asfáltico estaban relacionadas con la durabilidad y las propiedades cementantes, y que estas eran los componentes que se perdían en el proceso de envejecimiento. Investigaciones posteriores encontraron que era posible tratar un cemento asfáltico envejecido aplicando componentes asfálticos seleccionados para retornarlos a su estado original. El tiempo evita detallar el desarrollo del uso de materiales para este propósito, los cuales están ahora en el mercado bajo el nombre de Reclamite. Se ha preparado un manual disponible en la Golden Bear Oil Co. de Bakersfiel que describe este desarrollo. El Reclamite está compuesto por resinas del petróleo como base uniformemente emulsificada con agua.

A continuación se da un reporte de las calles en la Ciudad de Oakland que fueron tratadas con Reclamite y Gilsonite. En el caso del Reclamite la cantidad de litros por metro cuadrado se determinó aplicando el método de prueba de Calif. 345-A según lo recomendó el productor.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ESPECIALES DURANTE 1961

La calle Fontaine se trató con 0.90 litros por metro cuadrado de Reclamite para reducir las condiciones de desprendimiento. El pavimento se construyó con una mezcla modificada de granulometría abierta y se le adicionó Reclamite para reducir el desprendimiento.

La Avenida Keller, que durante años fue una arteria de cuatro carriles, la cual terminaba en un espacio corto al Este del Bulevar de La Montaña.

Un mejoramiento con una subdivisión extendió la Avenida Keller más allá del Este, en 1961. La oxidación era evidente en la sección más vieja, causada por el uso limitado de tránsito, y el tratamiento con Reclamite en una proporción de 0.5 litros por metro cuadrado ha resultado benéfico para la superficie del pavimento.

La avenida 65, del Bulevar Mac Arthur hasta la avenida Outlook los finos superficiales estaban siendo erosionados y el tratamiento con Reclamite en la proporción de 0.36 litros por metro cuadrado retardó en forma efectiva esta acción. Las calles tratadas en 1961 estuvieron sujetas a poco tránsito ya que eran calles cortas residenciales o conexiones en dichas zonas. La oxidación era notable y el tratamiento con Reclamite en la proporción 0.38 litros por metro cuadrado ha sido efectivo para rejuvenecer el pavimento en estas localidades.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL ESPECIAL DURANTE JUNIO DE 1965

1. Reclamite

Aplicado por la Golden Bear Oil Co. en Junio 24, 1965, en las siguientes localidades:

- A. Camino Joaquín Miller, Avenida Robinson hasta el Bulevar Skyline, -- 4,650 metros cuadrados. Se aplicaron 0.98 litros por metro cuadrado sobre los carriles internos solamente.
- B. Bulevar Skyline, Camino Joaquín Miller hasta la Avenida Crestmont, - 2,050 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.98 litros por metro cuadrado sobre los carriles más internos solamente.
- C. Carretera Redwood, desde un punto 250 metros adelante del Bulevar de la Montaña hasta el Bulevar Skyline, 5,640 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.51 litros por metro cuadrado en el carril interno hacia el Este.
- D. Calle Fontaine, carretera Golf Links hasta la Avenida Crest, 2,210 -- metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.70 litros por metro cuadrado sobre el carril interno hacia el oeste y 0.93 litros por me-

tro cuadrado sobre el carril interno hacia el Este.

2. Gilsonite

Aplicado por Bay Slurry Seal Co. en Junio 30 de 1965, en las siguientes localidades:

- A. Carretera Joaquín Miller, Avenida Robinson hasta Bulevar Skyline, -- 3,720 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.47 litros por metro cuadrado sobre los carriles externos solamente.
- B. Bulevar Skyline, carretera Joaquín Miller hasta la Avenida Crestmont, 1,675 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.47 litros por metro cuadrado sobre los carriles externos solamente.
- C. Avenida Beaumont, calle E-38 hasta la avenida Excelsior, 2,090 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.56 litros por metro cuadrado en toda la extensión del pavimento.

Las cuatro calles tratadas son arterias de cuatro carriles y son de reciente construcción. Las áreas tratadas se arreglaron para permitir la observación no solamente de los efectos de los tratamientos relacionandolos a las áreas adyacentes sin tratar, sino como puede verse desde las localizaciones "A" y "B", bajo cada tratamiento, las cuales están en los carriles adyacentes.

Las áreas seleccionadas para las aplicaciones de Reclamite y Gilsonite eran pavimentos con poco o casi nada de daño estructural, mientras que su superficie indicaba, visualmente, una deficiencia de asfalto. El color del pavimento era indicativo de los agregados usados en la mezcla. Había pérdida excesiva de finos en la superficie del pavimento en las áreas donde las mezclas asfálticas densas habían sido colocadas. Fue por estas razones que se consideró un "mantenimiento preventivo".

La inspección visual después de 6 meses no indicaba ningún resultado benéfico pero seis meses no se consideran un período adecuado para comparar este método.

En las áreas donde se mostraba un exceso de Reclamite sobre la superficie, se aplicó un riego ligero de arena.

El costo de los tratamientos con Reclamite, basándose en la aplicación de 0.93 litros por metro cuadrado, promedió 4.63 (pesos por metro cuadrado).

El costo del sellado con Gilsonite basándose en la proporción de 0.47 litros - por metro cuadrado promedió 5.98 (pesos por metro cuadrado).

En el pasado habíamos evaluado los diferentes métodos para el tratamiento de pavimentos asfálticos basándonos en inspección visual solamente, u ocasionalmente por una determinación del porcentaje de cemento asfáltico retenido en el pavimento. En el otoño pasado la ciudad decidió que sería conveniente gastar algunos fondos para determinar las propiedades físicas del cemento asfáltico en algunos de nuestros pavimentos. Ya que no tenemos el equipo adecuado para recobrar estos cementos asfálticos convenimos en recurrir a los investigadores en el desarrollo de materiales, formando una división en Woodward, Clyde, con accionistas y asociados de Oakland, Calif., para conducir esta investigación.

Ya que no habíamos anticipado este trabajo al principio de nuestro presente año fiscal, los fondos disponibles eran limitados. Por consiguiente el número limitado de pruebas que teníamos que reportar no podía considerarse más que un principio de lo que esperamos será una investigación constante. Las primeras pruebas se hicieron sobre corazones tomados de la carretera Joaquín Miller en su sección de pruebas cerca de la intersección entre el Bulevar Skyline y la Avenida Crestmont. El propósito de estas pruebas fue para intentar determinar la efectividad de los tratamientos con Reclamite y Gilsonite comparándolos con las secciones sin tratar. Los resultados se tabulan a continuación:

Viscosidad a 25°C, megapoises

Descripción del corazón	Profundidad cms.	Velocidad de corte		Penetración calculada del asfalto.
		<u>0.05 seg-1</u>	<u>0.001 seg-1</u>	
Sin tratar	0 - 1.5	178	235	8
	1.5- 3.0	78	128	12
	3.0- 4.5	79.5	151	12
Tratado con Gilsonite	0 - 1.5	265	2200	7
	1.5- 3.0	105	105	10
	3.0- 4.5	163	136	8
Tratado con Reclamite	0 - 1.5	2.95	2.95	53
	1.5- 3.0	18.7	20.3	23
	3.0- 4.5	29.8	29.9	18

El siguiente criterio general puede ser útil en la interpretación de los resultados de las pruebas.

1. La mayoría de las investigaciones que han intentado relacionar la dureza del asfalto con el comportamiento del concreto asfáltico han indicado -- que las carpetas o recubrimientos son susceptibles de agrietamiento cuando tienen valores de penetración de 20 o menos. El medio ambiente (temperatura, lluvia, etc.), el tránsito y el espesor de la capa, por supuesto influyen en el nivel crítico preciso para un caso específico.
2. La División de Carreteras de California, en un intento reciente para especificar el asfalto de pavimentación, surgió una viscosidad máxima de 20 megapoises a 0.05 seg-1 y 60 megapoises a 0.001 seg-1 para asfaltos con grado de pavimentación después de someterlos a la prueba acelerada de envejecimiento en el laboratorio.

Sobre la base de estos resultados de prueba, parecería que los asfaltos sin tratar han envejecido hasta ser asfaltos extremadamente duros, ciertamente susceptibles a las pérdidas por abrasión y a posibles agrietamientos.

3. El tratamiento con Gilsonite ha causado algunos incrementos en la viscosidad del aglutinante, en la media pulgada superior pero muy poco efecto abajo de esta profundidad. Debe hacerse notar aquí que la viscosidad es un indicador más sensible de la consistencia de estos asfaltos endurecidos, que su penetración.
4. El tratamiento con Reclamite ha incrementado significativamente el valor de penetración del aglutinante asfáltico hasta una profundidad de cuando menos 4.5 cms. como lo muestran los resultados de la prueba de viscosidad. Se vió que además de las medidas de viscosidad sería recomendable realizar pruebas de permeabilidad al agua para determinar la efectividad de estos tratamientos para reducir el coeficiente de permeabilidad. Estas pruebas se hicieron con el equipo y los métodos desarrollados por la Investigación de Materiales y se desarrollaron con los siguientes resultados.

- 7 -

Corazones sin tratar	10 x 10 ⁻³ cm ³ /seg.
Corazón con Reclamite	6 x 10 ⁻³ cm ³ /seg.
Corazón con Gilsonite	3 x 10 ⁻³ cm ³ /seg.

Nuevamente me agradaría indicar que estas son una serie de pruebas realizadas solamente con un juego de corazones tomados de una obra. Es posible que después de años adicionales de tránsito los coeficientes de permeabilidad podrían cambiar.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Escarificación en caliente
y
Rejuvenecimiento del pavimento

Ing. Rafael Limón Limón

Septiembre, 1980

El concepto del rejuvenecimiento de los pavimentos ha sido un tema de interés nacional en los últimos años, pero realmente es tan viejo como la necesidad del hombre para mover mercancías de una ciudad a otra sobre rutas establecidas.

Nuestras necesidades en el suroeste se han venido resolviendo (durante los 50 años pasados) ya que substancialmente ese es el tiempo que llevamos construyendo lo que ahora es nuestro sistema de carreteras. El Sistema Interestatal, en una gran parte, resolvió nuestras necesidades inmediatas de rejuvenecimiento de las carpetas, creando nueva construcción o alineamiento nuevos que conectan las principales ciudades y centros de población a través de toda la nación.

Ahora tenemos al frente una red de carreteras que se espera permanezca constante durante un período indefinido de tiempo, y debido a varias presiones sociales y económicas, nosotros no contemplamos la posibilidad de continuar reemplazando, las existentes, con nuevas carreteras paralelas.

Nuestro procedimiento favorito, durante varios años, para corregir desperfectos en las carpetas, era el de aplicar un recubrimiento de sello donde lo permitían las condiciones y el volumen del tránsito, o poner una sobrecarpeta hasta donde los fondos disponibles lo permitieran.

Actualmente están en uso algunos sistemas sofisticados para el arreglo de pavimentos, los cuales proporcionan una sobrecarpeta delgada (inferior a 5 gms.) en ciclos de tiempo relativamente cortos sin preocuparse por los efectos eventuales que esto tenga sobre la geometría, dimensiones estructurales, seguridad, drenaje superficial, etc.

Sólo en una condición se requiere espesor adicional de la estructura y esto es donde hay deficiencia estructural.

En Arizona estábamos interesados, durante los años sesentas en como corregir el agrietamiento superficial y otros desperfectos que estaban más allá de nuestro alcance de mantenimiento. Nuestro principal problema era obviamente el alto costo de las sobrecarpetas con espesor suficiente para evitar el agrietamiento por reflexión durante un período razonable de tiempo, reconociendo que en la mayoría de los casos no había fallas estructurales grandes o de importancia.

En 1970, nuestra Sección de Investigación de Materiales empezó a recolectar información relacionada con la tecnología para el control del agrietamiento por reflexión, con el propósito de planificar una serie de secciones de prueba para determinar la efectividad de varios métodos. Durante la investigación de su literatura encontraron el procedimiento de escarificar o desbastar el pavimento en caliente. Extendimos nuestros conocimientos de la mecánica de este procedimiento basándonos en la información proporcionada por varias dependencias con

experiencia, y con la ayuda de los contratistas y fabricantes de equipo.

Nosotros sabíamos que muchas de nuestras carpetas agrietadas estaban directamente asociadas con las carpetas quebradizas "secas" debido al intemperismo o al envejecimiento del asfalto. Durante varios años, nuestra Sección de Investigación de Materiales había trabajado con los problemas del envejecimiento, y se dió cuenta que el proceso de envejecimiento podía detenerse y aún recuperarse mezclando ciertos aceites "rejuvenecedores" con el asfalto. Considerando este conocimiento, planeamos nuestros proyectos iniciales con 2.0 cms. de escarificación una modesta aplicación de agente rejuvenecedor a la superficie escarificada suelta, y después de compactar, aplicar una carpeta de granulometría abierta con espesor de 1.6 cms. para proporcionar las propiedades antiderrapantes deseadas.

El procedimiento como lo habíamos planeado era tan atractivo que antes de que pudieramos hacer práctica la sección de prueba para el estudio que mencionamos previamente ya teníamos 4 contratos para secciones que necesitaban con urgencia mantenimiento superficial.

De estos proyectos iniciales contruídos en el último semestre de 1971, aprendimos que escarificar hasta cuando menos una profundidad de 2.0 cms. no siempre era posible con la especificación existente, que el agente rejuvenecedor se aplica mejor después de compactar la superficie escarificada, y que un riego asfáltico es deseable con frecuencia y que se necesita para mantener el tratamiento superficial, hasta que la carpeta pueda ser colocada, y para suplementar las deficiencias asfálticas.

Nuestro Laboratorio de Materiales a través de un programa extensivo de pruebas determinó que se podía predecir razonablemente la cantidad de rejuvenecedor necesaria para una situación dada y, cuánto asfalto, si fuera necesario, sería conveniente aplicar como riego para remplazar las deficiencias importantes de aglutinante.

Estos logros se introdujeron en los trabajos futuros y a finales de 1971 y principios de 1972, ya intentabamos predecir la cantidad del agente rejuvenecedor necesaria ya además incorporar un recubrimiento en los trabajos futuros.

Como sucede con todo proceso nuevo, se nos presentó oposición de parte de nuestro personal de construcción y muy variadas evaluaciones de la calidad de este proceso. También sobreestimamos la aplicación, como "curalotodo", de lo que parecía ser un recurso excelente, y tratamos de corregir fallas estructurales con este proceso. Como resultado de este fracaso volvimos a nuestras viejas prácticas de recubrimiento, pero con un nuevo giro. Escarificamos en caliente y aplicamos el rejuvenecedor en la superficie existente antes de colocar una sobrecarpeta con es

pesor de 4 a 6 cms.

Para enero de 1976, ya habíamos completado 39 obras separadas aplicando la escarificación en caliente y el rejuvenecedor y cubriendo luego con una capa friccio-
nante de granulometría abierta, es decir, con una sobrecarpeta o riego de sello. La Jefatura del Depto. de Carreteras de Arizona, en esta etapa formó un comité de ingenieros para revisar todo el trabajo terminado y evaluar estas 39 obras para determinar la utilidad y el valor del procedimiento de escarificación en caliente y aplicación de un agente rejuvenecedor. La edad de las obras terminadas, en el tiempo del estudio, variaba desde 55 meses a 1 mes.

Los treinta y nueve (39) proyectos se dividieron entre aquellos que incluían alguna sección estructural adicional y aquellos que recibieron solamente un recubrimiento de concreto asfáltico para capa friccio-
nante. Posteriormente se dividieron por edades.

Edad Meses	Sobrecarpeta Solamente	Sobrecarpeta y RCF	RCF Solamente	Mantenimiento		
				Falla Ningu- no'. Subra- sante.	Reparar Llorado	Sellado Grietas
49 a 55	1			1		
49 a 55			5	5		
37 a 48		1		1		
37 a 48			1	1		
35 a 36			10	6	1	2
25 a 36		1			1	
13 a 24			7	6	1	
13 a 24		3		2		1
13 a 24	3			2		1
6 a 1			2	2		
7 a 6	2			2		
8 a 5		3		3		
TOTALES:	6	8	25	31	2	4

De los 39 proyectos estudiados, 31 no han requerido mantenimiento, con excepción de algunas reparaciones aisladas en zonas con poco desprendimiento, fallas aisladas de la subrasante, quitar abultamientos causados por corrimientos, o reparaciones menores.

Ocho proyectos que requerían mantenimiento substancial fallaron debido a que la estructura del pavimento era inadecuada en dos casos; otros dos tenían un llorado intenso y los restantes cuatro presentaron agrietamiento reflectivo muy rápidamente.

Los dos pavimentos que necesitaban mantenimiento relacionado con el pavimento -- jamás deberían haberse tratado con el proceso de escarificación en caliente.

Los dos pavimentos que requerían reparaciones importantes en las áreas con llorado estaban así debido a la humedad atrapada bajo el recubrimiento del concreto - asfáltico de la capa friccionante en un caso y, por el mantenimiento de parchado exagerado anterior a la escarificación en caliente, en el otro.

Los cuatro pavimentos restantes que han sido calafateados (llenado de las grietas) son interesantes. Uno es un recubrimiento con espesor de 4 cms. con un sello denso de 1.5 cms. que reflejaba grandes grietas transversales por contracción, espaciadas más o menos a 1 metro. Otro fue cambiado durante la construcción a tal grado que no se podía determinar exactamente donde se había escarificado en caliente o si se había usado agente rejuvenecedor.

Los dos pavimentos restantes recibieron solamente un recubrimiento de concreto - asfáltico para capa friccionante sobre la escarificación en caliente. Uno fue moderadamente escarificado solamente (menos de 1.5 c.s.) y el agente rejuvenecedor se redujo considerablemente durante la construcción hasta menos de 0.6 litros por M².

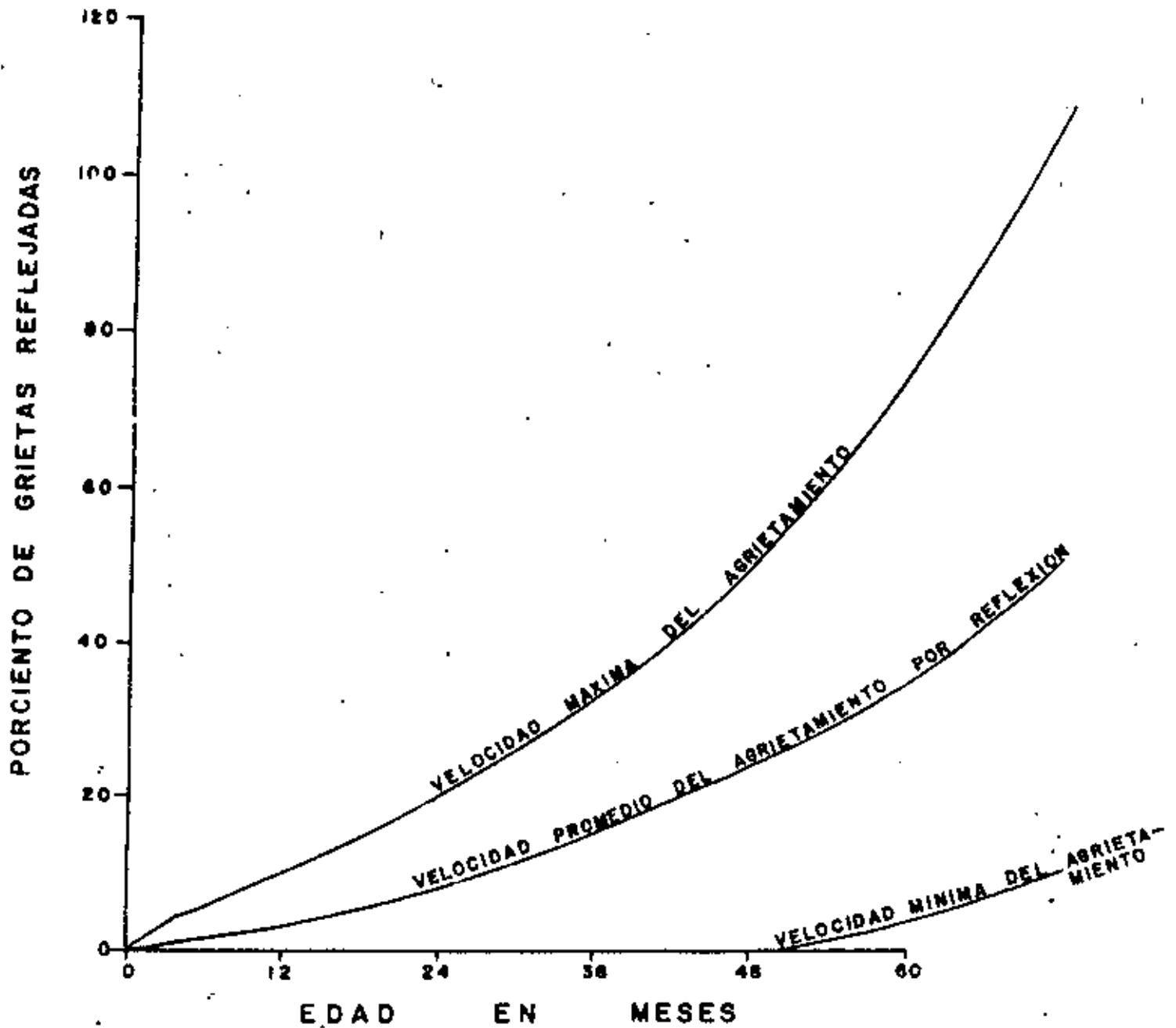
El agrietamiento que se ha presentado es del tipo provocado por la contracción. - El último pavimento tenía grietas muy grandes del tipo de contracción sobre centros de 3 a 5 mts. que se habían reflejado poco después de la construcción y desprendido en las orillas hasta tener una amplitud de 2.5 cms. o más. Debido a su tamaño fue relativamente fácil limpiarlas y llenarlas con una mezcla enriquecida de emulsión RL-1 y agente rejuvenecedor. No ha ocurrido agrietamiento adicional, y la superficie esta en excelente condición en lo que respecta a la geometría y condiciones de rodamiento aún cuando la superficie original estaba muy aspera debido al agrietamiento masivo por contracción. Estas cuatro obras muestran claramente que las grietas por contracción activa se reflejan muy rápidamente.

No tuvimos la capacidad para cuantificar prácticamente el agrietamiento antes de la escarificación en caliente y por lo tanto definir un valor de agrietamiento - reflectivo para todos los pavimentos. Sin embargo, hay casos donde las secciones comparativas existen o donde se tiene la posibilidad de reconstruirlas basandose en fotografias anteriores a la construcción o bien, entrevistando al personal de construcción sobre la apariencia original de la superficie.

<u>Edad del pavimento en meses</u>	<u>Agrietamiento reflectivo</u>
55	33% a 100%
54	11% a 33%
52	13% a 20%
49	0% a 11%
38	0% a 1%
26	0% a 2%
21	9% a 14%
16	4%
15	0% a 1%
5	0% a 1%

Ver Figura No. 1

FIGURA 1 - REPRESENTACION GRAFICA DE LOS VALORES PROMEDIO CON QUE SE ESPERA OCURRA EL AGRIETAMIENTO REFLECTIVO.



De esta información llegamos a un valor promedio de agrietamiento reflectivo que muestra aproximadamente que 10% de las grietas reaparecen en dos años y que después de 5 años menos del 40% de las grietas se han reflejado.

Muchos factores contribuyen al agrietamiento superficial y los únicos tipos que pueden controlarse aplicando la escarificación en caliente corresponden a grietas que no han sido provocadas por fallas en la cimentación. Esto no es tan simple como puede creerse debido a que cuando se forman grietas en una capa del pavimento la condición inicial de la cimentación empieza a cambiar con respecto al comportamiento estructural. El agrietamiento inicial afecta a la humedad de equilibrio permitiendo un flujo de agua relativamente libre o vapor de agua entre las capas.

En las regiones desérticas puede ocurrir un secado neto mientras que en las áreas de alta precipitación y/o heladas puede experimentarse un efecto de humedecimiento total. Conforme las condiciones de soporte cambian debido a las primeras grietas, a continuación las cargas tienden a propagar las grietas rápidamente. El procedimiento de escarificación en caliente además de erradicar las grietas superficiales, también sella la superficie, con lo cual cambia las condiciones de cimentación con respecto a la humedad. Un pavimento falló debido al efecto del sellado atrapando agua abajo y dentro de las capas del pavimento hasta el grado de causar la desintegración total del pavimento subyacente.

La conclusión de todo esto es simplemente, que un pavimento con buen drenaje y estructura adecuada puede beneficiarse con el mantenimiento superficial, mientras que los pavimentos mal drenados y estructuralmente inadecuados responden en forma impredecible con el mantenimiento superficial. De los 39 pavimentos estudiados solamente dos han requerido reparación estructural y se estima que más del 95% de los proyectos terminados se beneficiaron significativamente con este proceso.

Dos pavimentos con llorado o corrimiento superficial hasta el grado de requerir mantenimiento correctivo no muestran grietas excepto en una pequeña área de asentamiento activo del terraplén. Se concluye entonces que los pavimentos adecuadamente estructurados, con llorado no están propensos al agrietamiento.

Dos de los cuatro pavimentos que recibieron sellado de grietas señalan el camino para lograr un buen recurso para reparar las grietas grandes por contracción. — Donde el agrietamiento por contracción es la principal imperfección, la escarificación en caliente tiende a nivelar la superficie mientras que erradica las grietas. Las grietas por contracción se reflejan rápidamente pero pueden repararse llenado las aberturas o vacíos con aglutinante de baja viscosidad, y aplicando después un areneo superficial. La amplitud de la grieta es lo suficientemente grande que cuando se llena con un aglutinante elástico, puede expandirse y con-

traerse junto con la carpeta sin fallar.

El procedimiento de escarificación en caliente tiene un efecto positivo sobre las grietas, y además, logra erradicar las discontinuidades de la carpeta y la liga con el recubrimiento formando una carpeta continua. La limitación inherente del procedimiento es la profundidad de la escarificación, la cual depende de la cantidad de calor aplicada a la carpeta, de la susceptibilidad al calentamiento del asfalto de dicha carpeta, de la configuración de los dientes de la escarificadora, y de la magnitud de la carga que se aplica sobre dichos dientes.

Si la profundidad de la escarificación es adecuada, el parámetro siguiente es la efectividad del agente rejuvenecedor del asfalto.

Donde el asfalto residual en la carpeta es adecuado en cantidad, el agente rejuvenecedor debe aplicarse en cantidad suficiente para restaurar en el asfalto la viscosidad deseada. Una aplicación en demasía del agente rejuvenecedor puede conducir al llorado de la carpeta debido a que reaccionará con cualquier asfalto que esté disponible, y llenará los vacíos. Las carpetas que presentan serias deficiencias de asfalto deben ser tratadas con asfalto adicional como riego de liga o por otros medios, debido a que los agentes rejuvenecedores no son aglutinantes. La total erradicación de las grietas en los pavimentos asfálticos por medio de esta técnica es obviamente imposible; sin embargo, debe reconocerse que muchas de las carpetas asfálticas en nuestro estudio, de hecho eran relativamente nuevas, y estaban agrietadas. Debemos aceptar el hecho de que todos los pavimentos se agrietan con el tiempo, y que nuestros éxitos con respecto a las funciones de una carretera no desmerece necesariamente simplemente porque las grietas estén presentes.

Varios pavimentos fueron construidos con sólo parte de la carretera escarificada (probablemente la del peor agrietamiento) y notamos que aunque están presentes algunas grietas por reflexión las secciones escarificadas muestran mucho menos agrietamiento que las secciones sin escarificar.

Otra consideración importante es la velocidad con que se reflejan las grietas — después del mantenimiento preventivo. De nuestro estudio tenemos la seguridad de decir que las grietas por contracción muy activa y las grietas relacionadas con deficiencias en la base se reflejan muy rápidamente. Las grietas por fatiga y las pequeñas grietas inactivas se reflejan mucho más lentamente.

CONCLUSIONES

El procedimiento de escarificación en caliente y a continuación aplicación de agente rejuvenecedor sobre una carpeta asfáltica es de bajo costo (\$ 15,00 pesos

por metro cuadrado de material y mano de obra precio promedio en 1977) como recurso de mantenimiento preventivo para controlar el agrietamiento reflectivo. - Es útil en los pavimentos adecuadamente estructurados, pavimentos surcados, pavimentos que han sido parchados indiscriminadamente, regados o sellados porque al mezclar la carpeta se desarrollan efectos de nivelación. Se debe tener experiencia y criterio en la construcción para obtener el máximo beneficio de las ramificaciones. Donde está indicado claramente el mejoramiento estructural, los beneficios de la escarificación en caliente son difíciles de lograr.

A partir de nuestro estudio se pudieron introducir algunos cambios en nuestras especificaciones, que han sido benéficos.

Para lograr la profundidad deseada de escarificación, ahora requerimos una pulgada mínima de material suelto detrás de la escarificadora y hemos limitado la temperatura máxima, inmediatamente después de la escarificadora, a 140°C lo cual evita que el asfalto existente se queme.

Para cumplir estas especificaciones, los contratistas usan dos unidades; la primera calienta el pavimento y la segunda lo calienta y escarifica.

Estamos muy complacidos con nuestros éxitos pasados y tenemos un entusiasmo incrementado por el servicio excelente que estamos experimentando. De hecho, con nuestra experiencia, estimamos que un período de 5 años de extensión de la vida útil del pavimento, es conservador con respecto al incremento que se obtiene con este proceso.

APENDICE NUM. 1

Costo en Pesos por Metro Cuadrado - Precio Promedio en 1977.

5.0 cms. de Concreto Asfáltico incluyendo 5% de Asfalto y 0.3 litros por M2. de liga	45.00
1.6 cms. de C.F.A., incluyendo 6.5% de Asfalto y 0.4 lts/m ² de Asfalto.	17.80
Riego de Sello RM-11 y RL-2 de Emulsión Catiónica.	11.50
2.0 cms. de Escarificación en caliente incluyendo 0.9 lts/m ² de Agente Rejuvenecedor y 0.5 lts/m ² de riego final.	16.40
Membrana de Asfalto Ahulado 2.5 lts/m ² de Asfalto Ahulado incluyendo el material de cubierta para secado y 0.3 lts/m ² de riego de liga.	32.40

C.F.A. - Carpeta Friccionante de Concreto Asfáltico con Granulometría Abierta.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

AGENTES QUÍMICOS QUE AFECTEN AL
CONCRETO Y SUS TRATAMIENTOS DE
PROTECCION

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

SEPTIEMBRE, 1980



TABLE A3—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Acetic acid, < 10 percent	Disintegrates slowly	Btmn, S-R, Ep, Mg/Zn, SiF, AS	Bk, Tl, Btmn, Ph, PE	Fu, Ph, S, Ep, Si
*Acetic acid, 10 percent	Disintegrates slowly	Btmn, S-R	Bk, Tl, Ph, Fu	Fu, Ph, S
*Acetic acid, 30 percent	Disintegrates slowly	Btmn, S-R	Bk, Tl, Ph, Fu	Fu, Ph, S
*Glacial	Disintegrates slowly	Btmn	Bk, Tl, Ph, Fu	Fu, Si, Ph
Acetone	Liquid loss by penetration. May contain acetic acid as impurity (which see)		Bk, Tl, Bu-R	Fu, Si, Ep
Acid waters (pH of 6.5 or less*)	Disintegrates slowly. In porous or cracked concrete, attacks steel	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Neo, U, Vn	Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE, Si, S
*Alcohol	See ethyl alcohol, methyl alcohol			
Alizarin	Not harmful			
*Almond oil	Disintegrates slowly	Ep, Neo	Neo, Lead, Tl	Fu, Ph, PE
*Alum	See potassium aluminum sulfate			
Aluminum chloride	Disintegrates rapidly. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Hy, Ep, CT-Ep, Neo, PE, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Aluminum sulfate	Disintegrates. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, Ph, PE, SBD-R, AS, Mg/Zn, SiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Ammonia, liquid	Harmful only if it contains harmful ammonium salts (see below)	Btmn, Cl-R, Ep, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep, Asph
Ammonia vapors	May disintegrate moist concrete slowly or attack steel in porous or cracked moist concrete	Btmn, PE, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep, Asph, PE
Ammonium bisulfate	Disintegrates. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, PE, S-R, SBD-R, V, Vn		

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Ammonium carbonate	Not harmful		Btmn, Vn, Neo, Bk, Tl	Fu, Ep, Ph, Asph
*Ammonium chloride	Disintegrates slowly. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Cl-R, Ep, Neo, Ph, PE, SBD-R, Vn, AS, Mg/Zn, SiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ammonium cyanide	Disintegrates slowly	Btmn	Btmn, Vn, Neo, Bk, Tl	Fu, Ep, Asph
Ammonium fluoride	Disintegrates slowly	Btmn, Neo, Vn	Btmn, Vn, Neo, Lead	Fu, Ep, Ph, Asph, S
Ammonium hydroxide	Not harmful		Btmn, Vn, Neo, Bk	Fu, Ep, Asph
Ammonium nitrate	Disintegrates. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Ep, Neo, PE, SBD-R, Vn, AS	Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ammonium oxalate	Not harmful		Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S, PE
*Ammonium sulfate	Disintegrates. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, PE, S-R, SBD-R, U, Vn, AS	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S, PE
Ammonium sulfide	Disintegrates	Btmn, Ep, Hy	Bk, Tl, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ep, Ph, Asph
Ammonium sulfite	Disintegrates	Btmn	Bk, Tl, Vn, Bu-R	Fu, Ph, Ep, S, PE
Ammonium superphosphate	Disintegrates. In porous or cracked concrete, attacks steel	Btmn	Btmn, Vn, Neo, Bk, Tl	Fu, Ep, Ph
Ammonium thiosulfate	Disintegrates	Btmn, Ep, Neo	Btmn, Vn, Neo, Bk, Tl	Fu, Ph, Ep
Animal wastes	See slaughter house wastes			
Anthracene	Not harmful			Fu, Ph
Arsenious acid	Not harmful		Bk, Tl, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ph, S

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Ashes	Harmful if wet, when sulfides and sulfates leach out (see sodium sulfate)	AS, Ep, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Ashes, hot	Cause thermal expansion		Bk	CA, FC Refractory-Si-clay
Automobile and diesel exhaust gases*	May disintegrate moist concrete by action of carbonic, nitric, or sulfuric acid	Ep, Mg/Zn SiF, SBD-R, Vn	Bk, Tl	Fu, Ep, Ph
*Baking soda	See sodium bicarbonate			
Barium hydroxide	Not harmful	AS, Hy, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep
Bark	See tanning bark			
*Beef fat	Solid fat disintegrates slowly, melted fat more rapidly	AS, Btmn, Ep, Neo, PE, Vn, Mg/Zn SiF	Bk, Tl, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ep
*Beer	May contain, as fermentation products, acetic, carbonic, lactic, or tannic acids (which see)	Ep, PE, Vn	Bk, Tl, Vn, Bu-R, Ep	Ep, Fu
Benzol (benzene)	Liquid loss by penetration	AS, Ep, PE, Mg/ZnSiF, SiC	Bk, Tl, Ph, PE, Fu	Fu, Ph, Si
Bleaching solution	See specific chemical, such as hypochlorous acid, sodium hypochlorite, sulfuric acid, etc.			
Boric acid	See boric acid			
*Borax	Not harmful	Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn	Fu, Ph, Ep
*Boric acid	Negligible effect	AS, Cl-R, Ep, Neo, PE	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Brine	See sodium chloride or other salt			

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Bromine	Gaseous bromine disintegrates. Liquid bromine disintegrates if it contains hydrobromic acid and moisture	Neo, Vn	Bk, Tl	Si, PE
*Buttermilk	Disintegrates slowly	AS, Ep, Hy, U	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Ep, PE, Fu
Butyl stearate	Disintegrates slowly		Bk, Tl, Btmn, Vn	Fu, Ep, Ph
Calcium bisulfite	Disintegrates rapidly	Ep, Hy, Neo, PE, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ph, Ep, S, PE, PbO
Calcium chloride	In porous or cracked concrete, attacks steel. Steel corrosion may cause concrete to spall	AS, Btmn, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, SiC, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Calcium hydroxide	Not harmful	AS, Hy, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep
Calcium nitrate	Not harmful	AS, Hy, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep, S, Ph
*Calcium sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Carbazole	Not harmful	AS, Ep, PE, Mg/ZnSiF, SiC	Bk, Tl, Fu	Fu, Si
Carbolic acid	See phenol			
*Carbon dioxide	Gas may cause permanent shrinkage (see also carbonic acid)	Cl-R, Ep, Neo, U, Vn, Mg/ZnSiF ¹	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Carbon disulfide	May disintegrate slowly		Bk, Tl, Ph, Fu	Fu, Ph, Si
*Carbon tetrachloride	Liquid loss by penetration of concrete		Bk, Tl, Ph, Fu	Fu, Ph
Carbonic acid	Disintegrates slowly	AS, Ep, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF ¹	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Castor oil	Disintegrates, especially in presence of air	AS, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Ep, PE, Bu-R	Fu, Ph, PE
Chile saltpeter	See sodium nitrate			
China wood oil	Liquid disintegrates slowly. Dried or drying films harmless	AS, Ep, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl	Fu
Chlorine gas	Slowly disintegrates moist concrete	As, Btmn, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, PE	Si, PE
Chrome plating solutions*	Disintegrates slowly	Btmn, Vn	Bk, Tl, Vn	Si, PE
Chromic acid, 5 percent	Attacks steel in porous or cracked concrete	AS, Hy, Vn	Bk, Tl, Vn, Btmn, PE, Lead	PE, S, Si
Chromic acid, 10 percent	Attacks steel in porous or cracked concrete	AS, Hy, Vn	Bk, Tl, Vn, Btmn, Lead	PE, S, Si
Chromic acid, 30 percent	Attacks steel in porous or cracked concrete		Bk, Tl, Lead, Vn	Si
Chromic acid, 60 percent	Attacks steel in porous or cracked concrete		Bk, Tl, Lead	Si
Chrysen	Not harmful	AS, Ep, PE, Mg/ZnSiF, SiC		
*Cider	Disintegrates slowly (see acetic acid)	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, Vn	Bk, Tl, Vn, Neo, Bu-R	Ep, Fu, PE
Cinders	Harmful if wet, when sulfides and sulfates leach out (see, for example, sodium sulfate)	AS, Btmn, Ep, Neo	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Cinders, hot	Cause thermal expansion	AS	Bk	CA, FC Refractory-AS-Clay
Coal	Sulfides leaching from damp coal may oxidize to sulfurous or sulfuric acid, or ferrous sulfate (which see)	AS, Ep, Neo	Bk, Tl, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep, S

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Coal tar oils	See anthracene, benzol, carbazole, chrysen, creosote, cresol, cumol, paraffin, phenanthrene, phenol, toluol, xylol	AS, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Fu, Ep	Fu, Ph, Si
Cobalt sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Ep, Hy, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, PE
*Cocoa bean oil	Disintegrates, especially in presence of air	Ep, PE, U, Vn	Bk, Tl, Vn, PE, Ep	Fu, Ph, Ep, PE
*Cocoa butter	Disintegrates, especially in presence of air	Ep, Ph, PE, U, Vn	Bk, Tl, Vn, PE, Ep	Fu, Ph, Ep, PE
*Coconut oil	Disintegrates especially in presence of air	AS, Ep, PE, U, Vn	Bk, Tl, Va, PE, Ep	Fu, Ph, Ep, PE
*Cod liver oil	Disintegrates slowly	Ep, Hy, PE, U	Bk, Tl, Ph, PE, Ep	Fu, Ph, Ep, PE
Coke	Sulfides leaching from damp coke may oxidize to sulfurous or sulfuric acid (which see)	Cl-R, Ep, Hy, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Si
Copper chloride	Disintegrates slowly	Cl-R, Ep, Neo, BE, SBD-R, Vn, AS'	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S
Copper plating solutions*	Not harmful		Bk, Tl, Btmn, Vn	Fu, Ph, Ep
Copper sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Ep, CT-Ep, Neo, PE, SBD-R, U, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep
Copper sulfide	Harmful if it contains copper sulfate (which see)	Ep, Neo	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S, PE
*Corn syrup	Disintegrates slowly	Ep, Vn, AS'	Bk, Tl, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep
Corrosive sublimate	See mercuric chloride			
*Cottonseed oil	Disintegrates, especially in presence of air	Ep, PE, S-R, Vn, AS, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, PE, Ep	Fu, Ph, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Creosote	Phenol present disintegrates slowly	AS, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Fu	Fu, Ph, Si
Cresol	Phenol present disintegrates slowly	AS, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Fu	Fu, Ph, Si
Cumol	Liquid loss by penetration	AS, Mg/ZnSiF	Tl	
Deicing salts	Scaling of non-air-entrained or insufficiently aged concrete*	50 percent solution boiled linseed oil in kerosene, soybean oil, modified castor oil, cottonseed oil		Ep, CT-Ep
Diesel gases	See automobile and diesel exhaust gases			
Dinitrophenol	Disintegrates slowly			
Distiller's slop	Lactic acid causes slow disintegration	Btmn, Ep, Neo, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Epsom salt	See magnesium sulfate			
*Ethyl alcohol	Liquid loss by penetration	AS, Btmn, Cl-R, CT-Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R	Bk, Tl, Btmn, Neo, Bu-R	Fu, S, Ep, PE
*Ethyl ether	Liquid loss by penetration	Cl-R	Bk, Tl, Ep, Fu	Fu, Ph, Ep
Ethylene glycol	Disintegrates slowly	Ep, Neo, Hy, PE, S-R, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S
Feces	See manure			
Fermenting fruits, grains, vegetables, or extracts	Industrial fermentation processes produce lactic acid. Disintegrates slowly (see lactic acid)			
Ferric chloride	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ferric nitrate	Not harmful	AS, Cl-R, Ep, Hy, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Ferric sulfate	Disintegrates concrete of inadequate quality	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ferric sulfide	Harmful if it contains ferric sulfate (which see)	Ep, Hy, PE	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ferrous chloride	Disintegrates slowly	AS, Btmn, Ep, Hy, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Ferrous sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Ep, Hy, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Fertilizer	See ammonium sulfate, ammonium superphosphate, manure, potassium nitrate, sodium nitrate		Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Fish liquor	Disintegrates*	Ep, Vn	Bk, Tl, AB, Neo, Bu-R	Fu, Ph, PE
*Fish oil	Disintegrates slowly	AS, Ep, Hy, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, AB, Neo, Bu-R	Fu, Ph, PE
Flue gases	Hot gases (400-1100 F) cause thermal stresses. Cooled, condensed sulfuric, hydrochloric acids disintegrate slowly	Btmn*	Bk	Si, FC
Foot oil	Disintegrates slowly	AS, Ep, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, PE	Fu, Ph, PE
*Formaldehyde, 37 percent	Formic acid, formed in solution, disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	Bk, Tl, Vn, Bu-R, Neo, Lead	Fu, Ph, S, Ep
Formalin	See formaldehyde			
*Formic acid, 10 percent	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, SBD-R	Bk, Tl, Neo, Bu-R, Ep	Fu, Ph, Ep
*Formic acid, 30 percent	Disintegrates slowly	AS, Hy	Bk, Tl, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Si
*Formic acid, 90 percent	Disintegrates slowly	AS, Hy	Bk, Tl, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Si

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Lead refining solutions*	Disintegrates slowly	AS, Btmm, Cl-R, Ep, Mg/ZnSiF'	Cbk, N-R, Vn	Fu, Ph, S, Ep, PE
Leuna saltpeter	See ammonium nitrate and ammonium sulfate			
Lignite oils	If fatty oils are present, disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, PE	Fu, Ph, PE, Ep
*Linseed oil	Liquid disintegrates slowly. Dried or drying films are harmless	AS, Ep, Neo, PE, S-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, PE	Fu, Ph, Ep, PE
Locomotive gases*	May disintegrate moist concrete by action of carbonic, nitric or sulfuric acids (see also automobile and diesel exhaust gases)	Btmm, Ep, Mg/ZnSiF, SBD-R, Vn	Bk, Tl	Fu, Ph
Lubricating oil	Fatty oils, if present, disintegrate slowly	Btmm, Ep, PE, S-R, Vn	Bk, Tl, Vn, PE	Fu, Ph, Ep, PE
Lye	See sodium hydroxide			
Machine oil	Fatty oils, if present, disintegrate slowly	AS, Btmm, Ep, PE, S-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, PE	Fu, Ph, Ep, PE
*Magnesium chloride	Disintegrates slowly. In porous or cracked concrete, attacks steel	AS, Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, Ph, PE, SBD-R, Vn, SiC, Mg/ZnSiF'	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Magnesium nitrate	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Magnesium sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	Btmm, Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF'	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Manganese sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	Ep, PE, Vn, Mg/ZnSiF, SiC'	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Manure	Disintegrates slowly	AS, Ep, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Margarine	Solid margarine disintegrates slowly, melted margarine more rapidly	Ep, PE, Vn	Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE
Mash, fermenting	Acetic and lactic acids, and sugar disintegrate slowly	Btmm, Ep, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ep
Mercuric chloride	Disintegrates slowly	Btmm, Ep, Hy, Neo, PE, Mg/ZnSiF'	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Mercurous chloride	Disintegrates slowly	Ep, Hy, Neo, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Methyl alcohol	Liquid loss by penetration	AS, Btmm, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, U, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, S, PE, Ep
Methyl ethyl ketone	Liquid loss by penetration		Bk, Tl, Neo, Bu-R, Ph, Fu	Fu, Ph
Methyl isoamyl ketone	Liquid loss by penetration		Bk, Tl, Neo, Bu-R, Fu	Fu, Ph
Methyl isobutyl ketone	Liquid loss by penetration		Bk, Tl, Neo, Bu-R, Fu	Fu, Ph
*Milk	Not harmful. However, see sour milk	Ep, PE	Bk, Tl, Btmm, Vn	Fu, Ep, PE
Mine water, waste	Sulfides, sulfates, or acids present disintegrate concrete and attack steel in porous or cracked concrete	AS, Btmm, Ep, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, CA
*Mineral oil	Fatty oils, if present, disintegrate slowly	Btmm, Cl-R, Ep, Hy, PE, S-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Neo, Vn, Ep	Fu, Ph, Ep, PE
Mineral spirits	Liquid loss by penetration	AS, Cl-R, Ep, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Ph, Vn, Fu	Fu, Ph, Ep, PE
*Molasses	At temperatures ≈ 120 F, disintegrates slowly	AS, Ep, Hy, Neo, Ph, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Muriatic acid	See hydrochloric acid			

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Mustard oil	Disintegrates, especially in presence of air	AS, Ep, PE, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn	Fu, Ph, Ep
Nickel plating solutions*	Nickel ammonium sulfate disintegrates slowly	Btmn, Cl-R, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, AS'	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Nickel sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S
Niter	See potassium nitrate			
Nitric acid, 2 percent	Disintegrates rapidly	AS, Cl-R, Ep, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, PE	S, PE, Si
Nitric acid, 5 percent	Disintegrates rapidly	AS, Cl-R, Ep, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, PE	S, PE, Si
Nitric acid, 10 percent	Disintegrates rapidly	AS, Ep, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn	S, Si
Nitric acid, 20 percent	Disintegrates rapidly	AS, Vn	Bk, Tl, Vn, Btmn	S, Si
Nitric acid, 30 percent	Disintegrates rapidly	AS, Vn	Bk, Tl, Vn	S, Si
Nitric acid, 40 percent	Disintegrates rapidly	AS	Bk, Tl, Vn	Si
*Oleic acid, 100 percent	Not harmful	AS, Ep, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Fu	Fu, Ph, Ep, PE
Oleum	See sulfuric acid, 110 percent			
*Olive oil	Disintegrates slowly	AS, Ep, PE, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Ph, PE, Ep, Vn	Fu, Ph, Ep
Ores	Sulfides leaching from damp ores may oxidize to sulfuric acid or ferrous sulfate (which see)	AS, Ep	Bk, Tl, Btmn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep, Si
Oxalic acid	Not harmful. Protects tanks against acetic acid, carbon dioxide, salt water. Poisonous. Do not use with food or drinking water	Cl-R, Ep, Neo, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Paraffin	Shallow penetration not harmful, but should not be used on highly porous surfaces like concrete masonry*	AS, Ep, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep, PE
*Peanut oil	Disintegrates slowly	AS, Ep, PE, U, Vn	Bk, Tl, PE, Ep, Vn	Fu, Ph, Ep, PE
Perchloric acid, 10 percent	Disintegrates	Ep, Vn	Bk, Tl, Vn, PE	Si
Perchloroethylene	Liquid loss by penetration	Ep	Bk, Tl, Bu-R	Fu, Ph
Petroleum oils < 35°Bé	Liquid loss by penetration. Fatty oils, if present, disintegrate slowly	Btmn, Ep, PE, S-R, Vn	Bk, Tl, Neo, Bu-R, Vn	Fu, Ph, PE
Petroleum oils > 35°Bé	Liquid loss by penetration. Fatty oils, if present, disintegrate slowly	Btmn, Ep, PE, S-R, Vn	Bk, Tl, Neo, Bu-R, Vn	Fu, Ph, PE
Phenanthrene	Liquid loss by penetration	AS, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Bu-R	Fu
Phenol, 5 percent	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, SBD, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Bu-R, Fu	Fu, Ph, Si
Phenol, 15-25 percent	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Bu-R, Fu	Fu, Ph, Si
*Phosphoric acid, 10 percent	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
*Phosphoric acid, 25 percent	Disintegrates slowly	AS, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, CBk, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S
*Pickling brine	Attacks steel in porous or cracked concrete	Ep, Hy, Neo, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Pitch	Not harmful		Bk, Tl, Vn, Neo	Fu, Ph, Si
*Poppy seed oil	Disintegrates slowly	AS, Ep, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Neo	Fu, Ph

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Potassium aluminum sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF ₆ , PbSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
*Potassium carbonate	Harmless unless potassium sulfate present (which see)	AS, Ep, Hy, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep
*Potassium chloride	Magnesium chloride, if present, attacks steel in porous or cracked concrete	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, U, Vn, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Potassium cyanide	Disintegrates slowly	Ep, Hy, Neo	Bk, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Potassium dichromate	Disintegrates	AS, Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, U, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, PE	PE, S, Fu, Ph
Potassium hydroxide, 15 percent	Not harmful*	Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn	GBk, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Potassium hydroxide, 25 percent	Disintegrates concrete	Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn	GBk, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Potassium hydroxide, 95 percent	Disintegrates concrete	Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn	GBk, Vn, Neo	Ep
*Potassium nitrate	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S
Potassium permanganate	Harmless unless potassium sulfate present (which see)	Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, PE, Ep
Potassium persulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Potassium sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Potassium sulfide	Harmless unless potassium sulfate present (which see)	Btmn, Ep, Hy	Bk, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Pyrites	See ferric sulfide, copper sulfide			
*Rapeseed oil	Disintegrates, especially in presence of air	AS, Btmn, Ep, PE, Vn, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Rock salt	See sodium chloride			
Rosin	Not harmful		Bk, Tl, Neo, Bu-R, Ep	Fu, Ph, Ep
Rosin oil	Not harmful		Bk, Tl, Neo, Bu-R, Ep	Fu, Ph, Ep
Sal ammoniac	See ammonium chloride			
Sal soda	See sodium carbonate			
Salt for de-icing roads	See text. Also calcium chloride, magnesium chloride, sodium chloride			
Saltpeter	See potassium nitrate			
*Sauerkraut	Flavor impaired by concrete. Lactic acid may disintegrate slowly	Ep, Neo, PE, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE
Sea water	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance. Attacks steel in porous or cracked concrete	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, SiC, S-R, U, Vn, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE
Sewage	Usually not harmful (see hydrogen sulfide)		Bk, Tl, Btmn, Ep, Vn	Fu, Ph, Ep, S, PE
Silage	Acetic, butyric, lactic acids (and sometimes fermenting agents of hydrochloric or sulfuric acids) disintegrate slowly	Btmn, Ep, PC, Mg/ZnSiF ₆	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Slaughter house wastes*	Organic acids disintegrate		Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep, Ph
Sludge	See sewage, hydrogen sulfide		Bk, Tl, Btmn, Ep, Vn	Fu, Ph, Ep, S, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Soda water	See carbonic acid			
*Sodium bicarbonate	Not harmful		Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Sodium bisulfate	Disintegrates	Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S
Sodium bisulfite	Disintegrates	Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S
Sodium bromide	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, SiC, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Sodium carbonate	Not harmful, except to calcium aluminate cement	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Btmn, Vn, Neo, Ep	Ep, Fu
*Sodium chloride	Magnesium chloride, if present, attacks steel in porous or cracked concrete. Steel corrosion may cause concrete to spall	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, SiC, U, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Sodium cyanide	Disintegrates slowly	Ep, Hy, Neo	Bk, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Sodium dichromate*	Dilute solutions disintegrate slowly	AS, Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, U, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, PE, Btmn	PE, S, Fu, Ph
Sodium hydroxide, 1 percent	Not harmful	Cl-R, Ep, Hy, CT-Ep, Neo, SBD-R, S-R, Vn	Bk, Btmn, Vn, Neo, Ep	Ep, Fu
Sodium hydroxide, 10 percent	Not harmful	Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	GBk, Btmn, Vn, Neo, Ep	Ep, Fu
*Sodium hydroxide, 20 percent	Disintegrates concrete	Cl-R, Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	GBk, Btmn, Vn, Neo, Ep	Ep, Fu

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
*Sodium hydroxide, 25 percent	Disintegrates concrete	Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	GBk, Btmn, Vn, Neo, Ep	Ep, Fu
*Sodium hydroxide, 40 percent	Disintegrates concrete	Ep, CT-Ep, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	GBk, Vn, Neo	Ep, Fu
Sodium hypochlorite	Disintegrates slowly	Btmn, Hy, Vn	Bk, Tl, Vn, PE, Btmn	PE, PC
*Sodium nitrate	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Bu-R	Fu, Ph, S, Ep, PE
Sodium nitrite	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Btmn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Sodium phosphate (monobasic)	Disintegrates slowly	Cl-R, Ep, Hy, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn	Ep, Fu
Sodium sulfate	Disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Sodium sulfide	Disintegrates slowly	Ep, Hy, Neo	Bk, Vn, Neo, Btmn	Ep, Fu
*Sodium sulfite	Sodium sulfate, if present, disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
Sodium thiosulfate	Slowly disintegrates concrete of inadequate sulfate resistance	AS, Btmn, Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Ep, Fu
*Sour milk	Lactic acid disintegrates slowly	Ep, U	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ep, PE
*Soybean oil	Liquid disintegrates slowly. Dried or drying films harmless	AS, Ep, Hy, Neo, S-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Neo, Vn, Bu-R	Fu, Ph, Ep

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Strontium chloride	Not harmful	Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Sugar	Disintegrates slowly	AS, Btmm, Ep, Hy, Neo, Vn, Mg/ZnSiF	Tl, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep, PE
Sulfite liquor	Disintegrates	Cl-R, Neo, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Lead, Neo, Btmm, Vn	Fu, Ph, Ep, PE, PbO
Sulfite solution	See calcium bisulfite			
*Sulfur dioxide	With moisture forms sulfurous acid (which see)	AS, Btmm, Cl-R, Ep, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo, Lead	Fu, Ph, S, Ep, PbO, PE
*Sulfuric acid, 10 percent	Disintegrates rapidly	Cl-R, Ep, Hy, Neo, SBD-R, Vn	Bk, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
*Sulfuric acid, 30 percent	Disintegrates rapidly	Cl-R, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	Bk, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, Si
*Sulfuric acid, 50 percent	Disintegrates rapidly	Cl-R, Hy, Neo, SBD-R, S-R, Vn	Bk, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Si, S
*Sulfuric acid, 60 percent	Disintegrates rapidly	Cl-R, Hy, Vn	Bk, GBk, Btmm, Vn, Lead	S, Si, Ph
*Sulfuric acid, 70 percent	Disintegrates rapidly	Hy, Vn	Bk, GBk, Vn, Lead	Si
*Sulfuric acid, 80 percent	Disintegrates rapidly	Hy	Bk, GBk, Lead	Si
*Sulfuric acid, 93 percent	Disintegrates		Bk, GBk, Lead	Si
*Sulfuric acid, concentrated	Disintegrates		Bk, Lead	Si
Sulfuric acid, 110 percent (Oleum)	Disintegrates		Bk, Lead	Si
Sulfurous acid	Disintegrates rapidly	Cl-R, Ep, Hy, Neo, U, Vn	Bk, Btmm, Vn, Neo, Lead	Fu, Ph, S, PbO, PE

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

Material	Effect	Coatings and surface treatments	Thicker barriers	Mortars
Tallow and tallow oil	Disintegrates slowly	Ep, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Neo, Bu-R	Fu, Ph, Ep, PE
Tannic acid	Disintegrates slowly	Cl-R, Ep, Hy, Neo, U, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Neo, Btmm	Fu, Ph, Ep, Si
Tanning bark	May disintegrate slowly if damp (see tanning liquor)	Btmm, Cl-R, Ep, U, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
Tanning liquor	Disintegrates, if acid	SBD-R, U, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep
*Tartaric acid solution	Not harmful (see wine, Column 3)		Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S, PE
Tobacco	Organic acids, if present, disintegrate slowly	Btmm, Ep, Neo, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, PE
Toluol (toluene)	Liquid loss by penetration	AS, PE, U, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Fu, Ep	Fu, Ep, Ph
*Trichloroethylene	Liquid loss by penetration		Bk, Tl, Fu, Ep, Ph	Fu, Ph, Ep
*Trisodium phosphate	Not harmful	Ep, Neo, Vn	Bk, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ep
Tung oil	Liquid disintegrates slowly. Dried or drying films are harmless	Ep, Hy, Neo, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Neo, Vn, Bu-R	Fu, Ph, Ep
Turpentine	Mild attack. Liquid loss by penetration	Cl-R, S-R	Bk, Tl, Fu, Ep	Fu, Ph
*Urea	Not harmful	Ep, Neo, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ep
Urine	Attacks steel in porous or cracked concrete	Ep, Hy, Neo	Bk, Tl, Neo, Vn, Ep	Fu, Ph, Ep
Vegetables	See fermenting fruits, grains, vegetables, extracts		Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Vinegar	Disintegrates slowly (see acetic acid)	Ep, Vn	Bk, Tl, Btmm, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep
Walnut oil	Disintegrates slowly	Ep, PE, Vn, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Ep	Fu, Ep

TABLE A3 (cont.)—EFFECT OF CHEMICAL AGENT AND COMMONLY USED PROTECTIVE TREATMENTS

*Whale oil	Disintegrates slowly	Cl-R, Ep, Neo, PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Vn, Ep	Fu, Ph, Ep
*Whey	Disintegrates slowly (see, lactic acid)	Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, Ep, S, PE
*Wine	Not harmful. Necessary to prevent flavor contamination	Tartaric acid, Ep, Vn	Bk, Tl, Vn, Ep	Ep
Wood pulp	Not harmful		Bk, Tl, Vn, Ep	Fu, Ep, S, Ph, PE
Xylol (xylene)	Liquid loss by penetration	PE, Mg/ZnSiF	Bk, Tl, Fu, Ep	Fu, Ep, Ph
*Zinc chloride	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, S-R, Vn, Mg/ZnSiF ¹	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Zinc nitrate	Not harmful	AS, Ep, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE
Zinc refining solutions ^a	Hydrochloric or sulfuric acids, if present, disintegrate concrete	Btmn	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S
Zinc slag	Zinc sulfate (which see) sometimes formed by oxidation		Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S
Zinc sulfate	Disintegrates slowly	AS, Cl-R, Ep, CT-Eo, Hy, Neo, PE, SBD-R, Vn, Mg/ZnSiF ¹	Bk, Tl, Btmn, Vn, Neo	Fu, Ph, S, Ep, PE

This report was submitted to letter ballot of the committee which consists of 14 members; 12 members returned their ballots, of whom all voted affirmatively. Received by the Institute July 13, 1966. File No. 63-59 is a part of copyrighted JOURNAL of the American Concrete Institute, Proceedings V. 63, No. 12, Dec. 1966.

CONTENTS

Introduction	1	Construction	16
Uniform Subgrade of Adequate Bearing Capacity	1	Workmanship	
Subgrades: <i>Soil Properties, Density, Plasticity Index, Problem Soils, Site Preparation, Expansive Soils, Hard Spots and Soft Spots, Backfilling, Modulus of Subgrade Reaction</i>		Subgrades: <i>Expansive Soils, Hard Spots and Soft Spots, Backfilling</i>	
Subbases		Subbase or Cushion	
Quality of the Concrete	4	Vapor Barrier	
Strength		Insulation under Slabs	
Minimum Cement Content		Concreting Procedures: <i>Edge Forms, Reinforcing Steel, Placing and Spreading, Striking Off and Consolidating, Leveling, Edging, Floating, Jointing, Troweling</i>	
Maximum-Size Coarse Aggregate		Curing	
Slump		Acceptable Tolerances	
Entrained Air		Special Finishes for Concrete Floor Slabs	22
Tensile Strength of Concrete: <i>Modulus of Rupture</i>		Sprinkled (Shake) Finishes	
Adequacy of Structural Capacity	5	High-Strength-Concrete Toppings: <i>Monolithic Toppings, Separate Bonded Toppings, Separate Unbonded Toppings</i>	
Location and Frequency of Imposed Loads		Vacuum Dewatering of Floor Slabs	
Flexural Stresses and Safety Factors: <i>Fatigue and Safety Factor, Shrinkage Stress, Impact, Flexural Stress</i>		Surface Grinding	
Preliminary Design		Sealing Concrete Floors: <i>Sodium Silicate (Water Glass), Silicofluoride, Linseed Oil</i>	
Design Procedure: <i>Vehicle Loads, Thickness Design Example—Single-Wheel Axle Loads, High-Rack-Storage Leg Loads, Uniform Loads</i>		Floor Coatings	
Thickness Design Summary		Seamless Floor Surfacing	
Type and Spacing of Joints	12	Repairs and Overlays	24
Kinds of Joints: <i>Isolation Joints, Control Joints, Construction Joints</i>		Evaluation of the Damage	
Filling Joints		Preparation of Old Concrete for Concrete Overlay: <i>Cleaning Concrete Floors</i>	
Joint Layout: <i>Spacing of Joints</i>		Concrete Overlays: <i>Bonded Patching (1/2 to 2 in. thick), Thin Bonded Overlay, Unbonded Toppings</i>	
Reinforcement for Floors on Ground	15	Repair of Cracks and Joints in Concrete Floors: <i>Filling Cracks (Sealing), Refilling Joints (Resealing), Patching Spalls</i>	
Unjointed Floors	16	Metric Conversions	inside back cover

The author of this text, Ralph E. Spears, is manager of the Concrete Information Section, Building Construction Department, Portland Cement Association.

This publication is based on the facts, tests, and authorities stated herein. It is intended for the use of professional personnel competent to evaluate the significance and limitations of the reported findings and who will accept responsibility for the application of the material it contains. Obviously, the Portland Cement Association disclaims any and all responsibility for application of the stated principles or for the accuracy of any of the sources other than work performed or information developed by the Association.

Caution: Avoid prolonged contact between unhardened (wet) cement or concrete mixtures and skin surfaces. To prevent such contact, it is advisable to wear protective clothing. Skin areas that have been exposed to wet cement or concrete, either directly or through saturated clothing, should be thoroughly washed with water.

Concrete Floors on Ground

by Ralph E. Spears

77

INTRODUCTION

A concrete floor in a factory or warehouse is expected to give good service for many years without deteriorating under heavy loads, heavy traffic, abrasive wear, and chemical attack. Large-area concrete floors for commercial and industrial buildings must be designed and constructed with the greatest possible economy to give trouble-free service year after year. The building of a good concrete floor requires close communication between owner, architect, engineer, and contractor—with a mutual understanding of the level of quality needed for its intended use.

Many erroneous notions have developed over the years as to how the rules of good concrete practice affect the serviceability of floors on ground. The result has been more complaints about poor performance of floors than any other part of the building structure. Advice is rarely sought before design or construction begins, indicating that floors receive little attention at any stage in the building process. Before beginning construction, careful attention must be given to a number of factors that will influence performance:

1. Uniform subgrade of adequate bearing capacity
2. Quality of the concrete
3. Adequacy of structural capacity
4. Type and spacing of joints
5. Workmanship
6. Special surface finishes
7. Future maintenance and repair

All of these factors are covered in detail in this text. The technology and details apply equally to the small-area floor in a residence, light industry, or warehouse, as

well as to the large area covering many acres typified by the heavy industrial plant and its storage facilities. Major emphasis is given to attaining the best possible balance between service requirements and the costs of construction and future maintenance.

UNIFORM SUBGRADE OF ADEQUATE BEARING CAPACITY

To ensure that the concrete floor will continue to carry its design loading successfully, it is vital to design and construct the subgrade as carefully as the floor itself. A sub-base, while not mandatory, can provide added benefits in construction and performance.

Subgrades

The subgrade is the natural ground, graded and compacted, on which the floor is built. There is little opportunity short of soil stabilization to improve the subgrade except by compaction and drainage. (Site drainage is not discussed in this publication.) Because of the rigidity of concrete floor slabs, concentrated loads from forklift wheels or high-rack legs are spread over large areas and pressures on the subgrade are very low. Thus, concrete floors do not necessarily require strong support from the subgrade. It is, however, important that subgrade support be reasonably uniform without abrupt horizontal changes from hard to soft, and that the upper portion of the subgrade be of uniform material and density.

Table 1. ASTM Soil Classification System

Major divisions			Group symbols	Typical names	Presumptive bearing capacity,** tons per square foot	Modulus of subgrade reaction, k, pounds per square inch per inch
Coarse-grained soils more than 50% retained on No. 200 sieve*	Gravels 50% or more of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean gravels	GW	Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	5	300 or more
			GP	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines	5	300 or more
		Gravels with fines	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	2.5	200 to 300 or more
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	2	200 to 300
	Sands more than 50% of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean sands	SW	Well-graded sands and gravelly sands, little or no fines	3.75	200 to 300
			SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines	3	200 to 300
		Sands with fines	SM	Silty sands, sand-silt mixtures	2	200 to 300
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	2	200 to 300
Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve*	Sils and clays liquid limit 50% or less	ML	Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands	1	100 to 200	
		CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	1	100 to 200	
		OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity		100 to 200	
	Sils and clays liquid limit greater than 50%	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts	1	100 to 200	
		CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	1	50 to 100	
		OH	Organic clays of medium to high plasticity		50 to 100	
Highly organic soils	PT	Peat, muck, and other highly organic soils				

*Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve
 **National Building Code, 1976 Edition, American Insurance Association

Soil Properties

Proper classification of the subgrade soil must be made to identify potential problem soils.* One soil classification system in common use is the Classification of Soils for Engineering Purposes, American Society for Testing and Materials D2487. Table 1, based on the ASTM system, shows the major divisions of soils with descriptive names and letter symbols indicating principal characteristics. When soil is a combination of two types, it is described by combining both names. Thus, *clayey sand* is predominantly sand but contains an appreciable amount of clay. Reverse the name to *sandy clay* and the soil is predominantly clay but contains an appreciable amount of sand.

Density

The strength of the soil—its load-carrying capacity and resistance to movement or consolidation—is important to the performance of floors on ground, particularly when the floor must support extremely heavy loads. Soil strength is greatly affected by the degree of compaction of the soil and its moisture content.

Compaction is a method for purposely densifying or increasing the unit weight of a soil mass by rolling, tamping, or vibrating. It is the lowest-cost way to improve the

structural properties of the soil. Density of a soil is measured in terms of its mass per unit volume.

Tests performed according to Moisture-Density Relationships of Soils, ASTM D698, will determine the maximum density and corresponding optimum-moisture content of the soil.

Plasticity Index

When a soil can be rolled into thin threads, it is called plastic. Most fine-grained soils contain clay minerals and therefore are plastic. The degree of plasticity is expressed as the plasticity index (PI). The PI is the numerical difference between the liquid limit and plastic limit. Liquid limit, LL, is the amount of moisture present when the soil changes from a plastic to liquid state. Plastic limit, PL, is the amount of moisture present when a soil changes from semisolid to plastic.

$$PI = LL - PL$$

A soil with a high PI, greater than 20, may cause future problems by expanding under changes of moisture content in the subgrade due, for example, to a rising water table.

*See *PCA Soil Primer*, Portland Cement Association publication E8007S, 1973.

Problem Soils

Soils are considered problem soils when they are highly expansive, highly compressible, and do not provide reasonably uniform support. Concrete floor-on-ground design is based on the assumption of uniform subgrade support. The key word is "uniform." Where problem soils create nonuniform conditions, correction is most economically and effectively achieved through subgrade preparation methods.

Topsoil with a low organic content need not always be stripped from the site. Soil investigation work at the site may indicate only minimal effects of topsoil on slab performance and thus save costly removal and backfilling.

Site Preparation

To construct a reasonably uniform subgrade, special care must be taken to ensure that there are no variations of support within the floor area and that the following major causes of nonuniform support are controlled:

- Expansive soils
- Hard spots and soft spots
- Backfilling

Expansive Soils

Most soils sufficiently expansive to cause floor distortion are classified by the ASTM Soil Classification System (Table 1) as clays of high plasticity, CH; silts of high plasticity, MH; and organic clays, OH. Simple tests provide indexes that serve as useful guides to identify approximate volume-change potential of soils. Following are some commonly used soils tests:

- Plasticity Index, ASTM D424
- Volume Change of Soils, ASTM D1883
- Shrinkage Factors of Soils, ASTM D427
- Soil Compaction Tests, ASTM D698
- Liquid Limit of Soils, ASTM D423

The following table shows approximate expansion-plasticity relationships:

Degree of expansion	Percentage of swell	Approximate plasticity indexes, PI
Nonexpansive	2 or less	0 to 10
Moderately expansive	2 to 4	10 to 20
Highly expansive	more than 4	more than 20

Abnormal shrinkage and swelling of high-volume-change soils in a subgrade will create nonuniform support. As a result, the concrete floor may become distorted and warped. Compaction of highly expansive soils when the soils are too dry can contribute to detrimental expansion and softening of the subgrade. When expansive soil subgrades are too wet prior to casting a floor slab, subsequent drying and shrinkage of the soil may leave portions of the slab unsupported.

Selective grading, crosshauling, and blending of subgrade soils make it possible to obtain uniform conditions in the upper part of the subgrade. Compaction of expansive soils to 95% optimum density at 1% to 3% above standard optimum moisture (Soil Compaction Tests, ASTM D698) will minimize possible loss of support due to future changes in moisture content and give the subgrade the uniform stability needed for good performance.

For exceptionally heavy loadings or poor soil conditions, a soils investigation should be made by a competent soils engineer.

Hard Spots and Soft Spots

If the subgrade is not of uniform hardness throughout, the slab when loaded will tend to ride on hard spots and bridge over soft spots. Special care must be taken to prevent these occurrences by excavating and backfilling the localized hard or soft spots. Uniform support, however, cannot be obtained merely by dumping granular material on the soft spot. Moisture and density conditions of the replacement soil should be as similar as possible to the adjacent soils. At the edges of the area where soil types or conditions change abruptly, the replacement soil should be mixed with the surrounding soil by crosshauling and blending to form a transition zone.

Backfilling

Any fill material added to improve the subgrade or raise the existing ground level should be a stable material that can be thoroughly compacted. Rubble from building or pavement demolitions should first be passed through a crusher because the random sizes and large pieces of rubble can cause compaction difficulties.

Underfloor pipeline and utility trenches should be backfilled with soils like those surrounding the trench and compacted in moderate layers to duplicate moisture and density conditions in the adjacent soils. Every attempt should be made to restore as much as possible the original uniformity of the subgrade.

Poorly compacted subgrade fill may cause subsequent settlement problems, and premature failure of the slab.

Modulus of Subgrade Reaction

The objective of the design for thickness of concrete floors (and pavements) is to control tensile stresses within the slab. The stresses are influenced by the amount of support provided by the subgrade.

Thickness design subgrade support for concrete floors on ground is measured by Westergaard's modulus of subgrade reaction, k , as determined by load tests on the subgrade at the jobsite. The modulus of subgrade reaction, k , is the ratio of load in psi to deflection in inches of the subgrade under a 30-in.-diameter bearing plate.

$$k = \frac{\text{load (psi)}}{\text{deflection (at 0.05 in.)}}$$

The probable range of values of k on soils is shown in Table 1 and in the box following.

k Value		
Soil type	psi/in.	MPa/m
silts and clays	50-100	13-27
sandy soils	200	54
sand-gravels	300	81

A reliable correlation does not exist between subgrade modulus and the bearing capacity of the soil used in foundation engineering because two different concepts are

involved in the design objectives. The k value used in floor design reflects the response of the subgrade under temporary (elastic) conditions and small deflections—0.05 in. or less. The soil's bearing capacity values from field tests, used to predict and limit differential settlement between footings or parts of a foundation, reflect total permanent (inelastic) subgrade deformations that may be 10, 20, or more times greater than the small deflections of k values.

The k value does not reflect the effect of compressible soil layers at a depth of more than the 3 to 5 ft below subgrade surface; nevertheless, it is the correct factor to use in design for wheel loads and other concentrated loads because soil pressures under a slab of adequate thickness will not be large enough to cause settlement deep in the subgrade. For exceptionally heavy floor loads distributed over large areas, however, the allowable bearing capacity of the foundation soil should be determined since the resulting soil pressures can cause the soil to compress (differential settlement) deep below the surface, leading to cracking and misalignment of slabs.

Subbases

A subbase—a thin layer of granular material placed on top of the prepared subgrade—is not mandatory for floors on ground. However, when a uniform subgrade is not produced by grading and compaction operations, a granular subbase will provide a cushion for more uniform support by equalizing minor surface defects. The granular subbase can also provide a capillary break and a stable working platform for the construction equipment.

It is seldom necessary or economical to build up the supporting capacity of the subgrade with a thick subbase. Tests made by the Portland Cement Association show that increasing subbase thickness results in only minor increases in subgrade support. Minor increases in subgrade support allow no appreciable reduction in the thickness of a concrete slab for given loading conditions.

Since uniform support rather than strong support is the most important function of the subgrade and subbase for a concrete floor, it follows that floor strength is achieved—most economically—by building strength into the concrete slab itself—with optimum use of low-cost materials under the slab.

Where a subbase is used, 4-in. thickness is suggested. With a thicker subbase there is increasing risk of poor floor performance due to subbase densification under vibration and repetitive loads. To prevent densification, subbase material should be compacted to high density: a minimum of 98% maximum density at optimum moisture determined by Soil Compaction Tests, ASTM D698.

Granular material for use as subbase can be sand, sand-gravel, crushed stone, or combinations of these materials. A satisfactory dense-graded material will meet these requirements:

Maximum size:	Not more than 1/3 the thickness of the subbase
Passing No. 200 sieve:	15% maximum
Plasticity index:	6 maximum
Liquid limit:	25 maximum

Substantial benefits in floor performance and slab thickness reduction can be derived from the use of a

cement-treated subbase (CTSB) under a concrete floor slab subject to extremely heavy loading conditions. The high support value of CTSB will

- Reduce permeability
- Eliminate subbase consolidation
- Permit use of thinner concrete slabs

Additional information on preparing the grade is described in *Subgrades and Subbases for Concrete Pavements*.*

QUALITY OF THE CONCRETE

The wear resistance of a floor slab is directly related to its concrete strength, and research has shown that resistance to wear improves with a reduction in water content and an increase in cement content. It is the rich quality of the mortar that is important; the hardness and toughness of the coarse aggregates becomes significant only after the surface matrix has worn away. In order to get the right quality concrete, the order to the ready mixed concrete supplier must be clear and contain all the basic information stated in the job specifications.

In flatwork, the placeability of the concrete and the finishability of the surface are equally if not more important than strength, because they have a large effect on the quality of the top 1/8 in. or 1/16 in. at the wearing surface. The order for ready mixed concrete should contain the following information: strength, minimum cement content, maximum size of coarse aggregate, slump, and a small amount of purposefully entrained air.

Strength

A minimum strength of 4000 psi at 28 days is advisable for any type of industrial and commercial floor. Specifications for many floors are for a lower strength, which is adequate for supporting the loads on the floor but is inadequate for satisfactory wear resistance. It is also advisable to require 1800 psi strength at 3 days to build in early protection for the slab from subsequent construction traffic. Satisfying this 3-day requirement will produce 28-day strengths well above the recommended minimum shown in Fig. 1.

Minimum Cement Content

Floor work in particular needs sufficient cement mortar matrix for proper finishability. This need is satisfied by a minimum cement content.

Using modern concrete technology, high-strength concrete can be obtained with less cement than ever before. This means greater economy where strength alone is the decisive criteria. Wear resistance, however, depends upon the surface hardness of the concrete as well as its internal strength. Specifying a minimum cement content will ensure finishability for maximum wear resistance at the surface as well as adequate internal strength. The amount of cement to be used should not be less than shown in Table 2.

*Portland Cement Association publication IS029P, 1971.

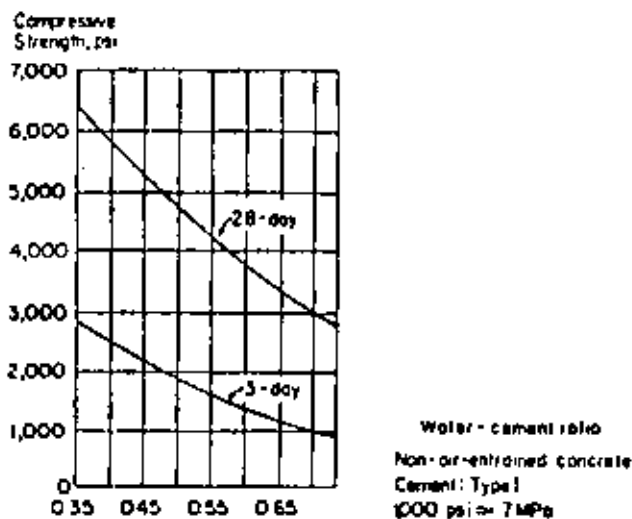


Fig. 1. Recommended minimum strengths for industrial and commercial floors on ground.

Maximum-Size Coarse Aggregate

Freedom from random cracking is a desired characteristic in all concrete floors. The degree to which random shrinkage cracking can be reduced is improved by using concrete with a minimum shrinkage potential that contains the correct gradation of aggregates, the maximum size of coarse aggregate, and the maximum amount of aggregate consistent with the methods for placing and finishing concrete. A large aggregate size permits a lower water content in the concrete and is more effective in reducing the shrinkage of the cement paste.

The maximum aggregate sizes in Table 2 are used if they are economically available and if they satisfy the requirement that maximum size does not exceed three-fourths of the clear space between reinforcing bars or one-third the depth of the floor slab.

Slump

Excessive slump and consequent bleeding and segregation are a primary cause of poor performance in concrete floors. If the finished floor is to be uniform in appearance, wear resistant, and level, it is important that all batches placed in the floor have very nearly the same slump.

Placing low-slump (2 to 4 in.) concretes is routine with the use of mechanical equipment such as a power screed or vibratory strikeoff that rides on the side forms. When this kind of equipment is used on floor work, less water is

added at the jobsite and the wear resistance of the surface is improved.

The use of low-slump concrete will go a long way towards

- Speeding up placement and consolidation
- Reducing finishing time
- Reducing cracking
- Eliminating surface defects

Entrained Air

A small amount of purposefully entrained air is useful in almost all concrete for floors for reducing bleeding and increasing plasticity. A total air content of 2% to 3% is suggested. Concrete that will be exposed to cycles of freezing and thawing and the application of deicer chemicals needs a total air content of 5% to 7% to ensure resistance to scaling.

Tensile Strength of Concrete

Modulus of Rupture

When a load is applied to a floor on grade, it causes bending that produces both compressive and flexural stresses in the concrete slab. Flexural stress is more critical because at the point of loading flexural stress will approach the ultimate tensile strength of the concrete (modulus of rupture), while compressive stress remains small in proportion to the ultimate compressive strength of the concrete. Consequently, *the flexural stress and the flexural strength of the concrete are used in floor-slab design to determine thickness.*

Flexural strength is determined by modulus of rupture (MR) tests ASTM C78, Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-Point Loading. If the size of the job does not warrant the extra cost for flexural strength tests, compressive strength test results can be used to approximate probable flexural strength. An approximate relationship between flexural and compressive strength is shown in Table 3.

ADEQUACY OF STRUCTURAL CAPACITY

Many variables directly or indirectly influence the determination of correct thickness for concrete floors on grade. To include all of them in a design method would be an unduly complex procedure and could lead to overconfidence in the design as a guarantee of good floor performance. All too frequently bad workmanship is the cause of poor floor performance rather than inadequate design or specifications. Since it is the top surface that is

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

continually and critically appraised by the user, added attention to the construction of the top surface of the slab and to proper jointing may contribute more to user satisfaction than undue attention to the thickness of the slab itself.

Previous design information covered only a limited range of load magnitudes and wheel spacings of industrial trucks operating on industrial and warehouse floors. Design guides for plain concrete slabs were needed, because a plain slab—one without distributed steel or structural reinforcement—often has advantages of economy and ease of construction.

To prepare a design guide, Portland Cement Association turned to the field of highway pavement engineering, where extensive data was already assembled from many years of laboratory and field research and testing.

Acknowledging the obvious similarities and differences between a road pavement and a floor slab, pavement theory was reduced to easily used thickness design charts for floors on grade. The design method is presented in *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade** and is applicable as well to slabs for outdoor storage and material-handling areas. As in pavement design, the factors involved in determining the required floor slab thickness are

1. Strength of subgrade and subbase
2. Strength of concrete
3. Location and frequency of imposed loads

The following procedures for thickness design are derived from *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade*.

Location and Frequency of Imposed Loads

Slab cracking due to excessive loads can occur in response to flexural overstress, too much deflection, settlement due to consolidation of subsoil, and for very concentrated loads, excessive concrete bearing or shear stresses.

The strategy in designing the concrete floor slab is to keep all responses within safe limits. The controlling design consideration will differ for different sizes of load contact area. For example, for lift trucks with wheel contact areas in the range of 20 to 100 sq in., bearing stress will control thickness design.

For uniform loads distributed over large areas such as storage bays, flexural stress under the load is not as critical as the negative bending moments in the unloaded aisleway that may cause cracks in the slab. Very heavy uniform loads may also cause vertical displacement at joints because of compression and consolidation in the subgrade soil.

For the heavily loaded legs or posts supporting high-rack storage, if the base plates are too small slab distress can occur due to excessive bearing or punching shear. To prevent a bearing or shear failure, base plates should be of adequate size; then flexural strength will control the design.

Flexural Stresses and Safety Factors

In the design procedure based on flexure, the allowable working stresses are determined by dividing the concrete flexural strength by an appropriate safety factor.

Fatigue and Safety Factor

Concrete is affected more by repetitive loads than by a single load of the same magnitude. The effect is called fatigue. A flexural fatigue failure occurs when the concrete cracks under continued repetitions of loads that cause flexural stress-strength ratios of less than one. Tests of concrete slabs indicate that as the number of load repetitions increases a higher safety factor must be used to prevent failure. Fatigue effects are accommodated in the design procedure by a safety factor, as follows:

1. Select a conservative safety factor of 1.7 to 2.0 for moderate-to-heavy traffic. A safety factor of 2.0 permits unlimited repetitions of design load.
2. Select a safety factor of 1.4 to 1.7 for light traffic.

The safety factors suggested are based on experience gained from pavement performance and take into consideration the number of load repetitions, shrinkage stresses, and impact.

Shrinkage Stress

Shrinkage stresses are not considered to be significant. For example, a shrinkage stress of 23 psi is computed for an 8-in. slab jointed at 20 ft using the subgrade friction factor of 1.5. Pavement research has shown, however, that the actual stress developed will be much less—only one-third or one-half of that predicted.

Impact

Some procedures for pavement design increase the wheel loads by a factor to accommodate the effect of wheel impact. A load-impact factor is not included in this floor design procedure (except in the safety factor) because this procedure is based on pavement research that shows slab stresses are less for moving loads than for static loads.

Flexural Stress

The flexural stresses indicated on the design charts are computed at the interior of a slab. When the slab edges at all joints have adequate load transfer (by means of dowels, keyways, or aggregate interlock), it is assumed that the panel area acts as a portion of a continuous large-area slab.

At free edges that lack adequate load transfer, concentrated loads will produce stresses that are somewhat greater than those for the interior. Because of this, if lift trucks will pass over an isolation joint (at a doorway for instance) the slab should be thickened by 50% to keep the load stresses at these edges within safe limits.

The assumption of interior load placement, combined with the choice of an appropriate safety factor and adequate concrete strength, gives a reasonable basis for floor design.

Preliminary Design

For preliminary design purposes, or when detailed design data are not available, Fig. 2 can be used to select slab thickness based on the rated capacity of the heaviest lift trucks that will operate on the floor. The chart was prepared for typical lift trucks from manufacturers' data shown in Table 4. It cannot be used for trucks with capacity and wheel-spacing data that differ substantially from the data in Table 4.

*Portland Cement Association publication IS195D, 1976.

The combination of a low k value with a low working stress in Fig. 2 results in a more conservative slab thickness than usual. More reliable and more economical designs can be obtained by the complete design method

given in *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade*. Use of this publication is illustrated in the following design-procedure examples.

Table 4. Lift Truck Characteristics (Composites Averaged from Manufacturers' Data)

Rated capacity,* lb	Load on drive axle,** kips	Range of wheel spacings, in. (C to C)		
		Single wheels, †	Dual wheels	
			set	‡
2,000	8.4	26 to 30	—	—
4,000	10.4	31 to 35	—	—
6,000	14.6	32 to 38	—	—
10,000	22.2	37 to 43	10 to 12††	41 to 53††
15,000	32.5	37 to 45	10 to 12	47 to 60
20,000	42.0	40 to 50	12 to 14	54 to 65
30,000	63.3	—	14	57
45,000	100.6	—	18	73
60,000	132.0	—	21	70

Other data:

Load Contact Pressure

- solid or cushion tires—180 to 250 psi
- pneumatic tires—80 to 100 psi (inflation pressure)

Load Contact Area (per tire)

- solid or cushion tires—3 or 4 times tire width
- pneumatic tires—wheel load divided by contact pressure

Approximately 90% of total weight (truck + load) on drive axle at rated capacity

Maximum axle load for many lift trucks is slightly greater than twice the rated capacity.

*Load center 24 in. from fork face, mast vertical

**Varies by about 10% depending on manufacturer

†See insert drawings on Figs. 2 and 4

††Values shown are for pneumatic tires. Limited data for 10,000-lb-capacity trucks with solid or cushion tires show shorter spacings, for example, 8 by 29 in.

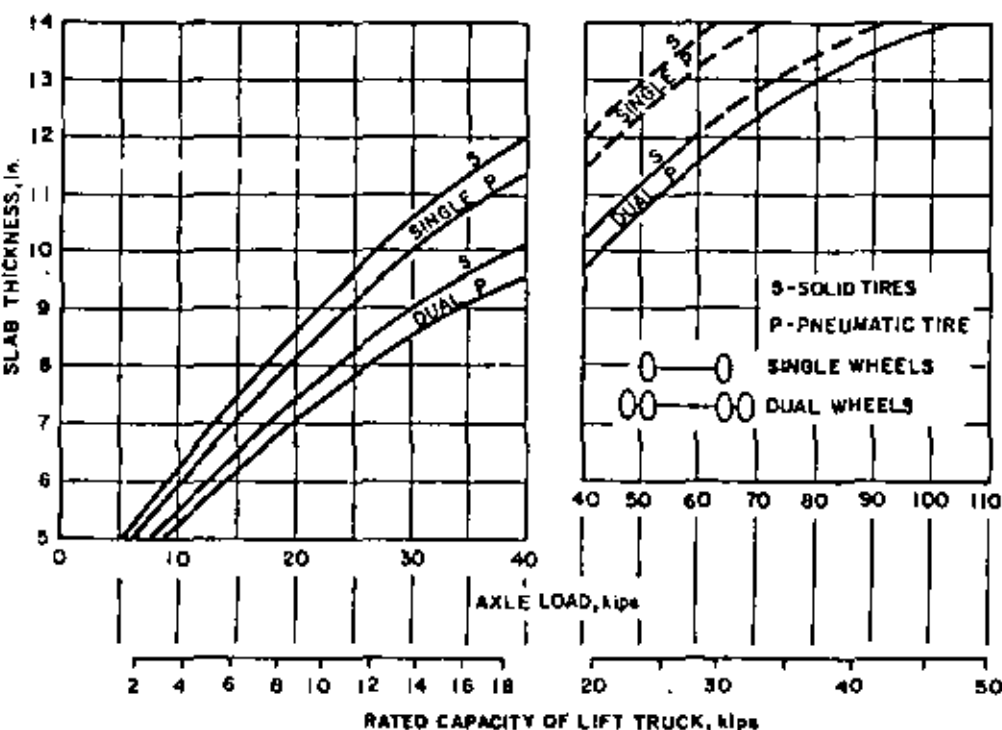


Fig. 2. Estimated slab thicknesses for lift trucks (based on average truck data shown in Table 4 and conservative de-

sign assumptions of $k = 50$ pci; concrete working stress = 250 psi).

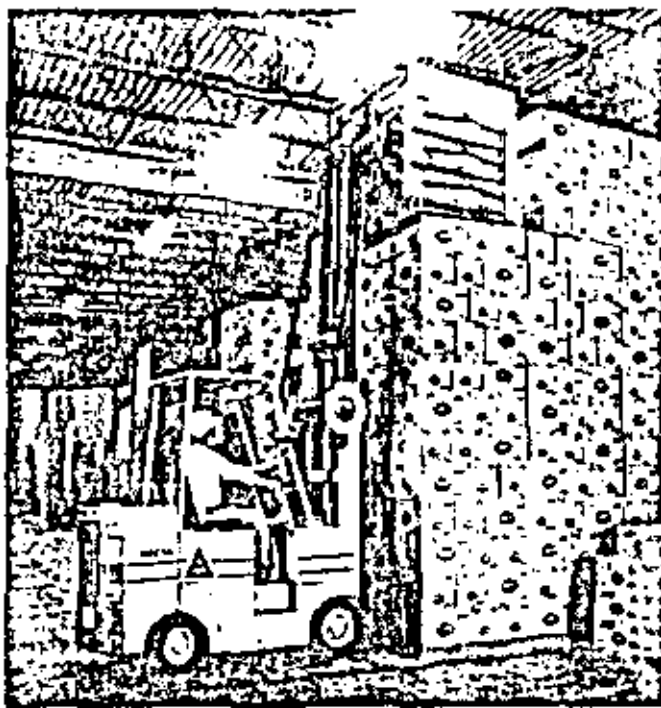


Fig. 3. Traffic and load data are needed for design of industrial concrete floors on ground.

Design Procedure

Vehicle Loads

Design for industrial lift-truck loads requires knowledge of several specifics:

- Maximum axle loads
- Number of load repetitions
- Wheel contact area
- Spacing between wheels on heaviest axles
- Subgrade strength
- Flexural strength of concrete

Traffic and load data for past and future operating conditions for lift trucks can be gathered from plant maintenance departments, planning and operations departments, and truck manufacturers' data. With this information, the safety factor can be selected and used to determine an allowable working stress with which to enter the design charts.

The safety factor (flexural strength divided by working stress) reflects the expected frequency of loadings of the heaviest vehicles. Safety factors in the range of 1.7 to 2.0 are suggested for industrial and commercial floors. The high number should be used where the heavy load traffic is frequent and channelized. Where traffic is light and not channelized, low safety factors of 1.4 to 1.7 can be used.

The design chart for industrial trucks with single-wheel axles, Fig. 4, was taken from *Slab Thickness Design for*

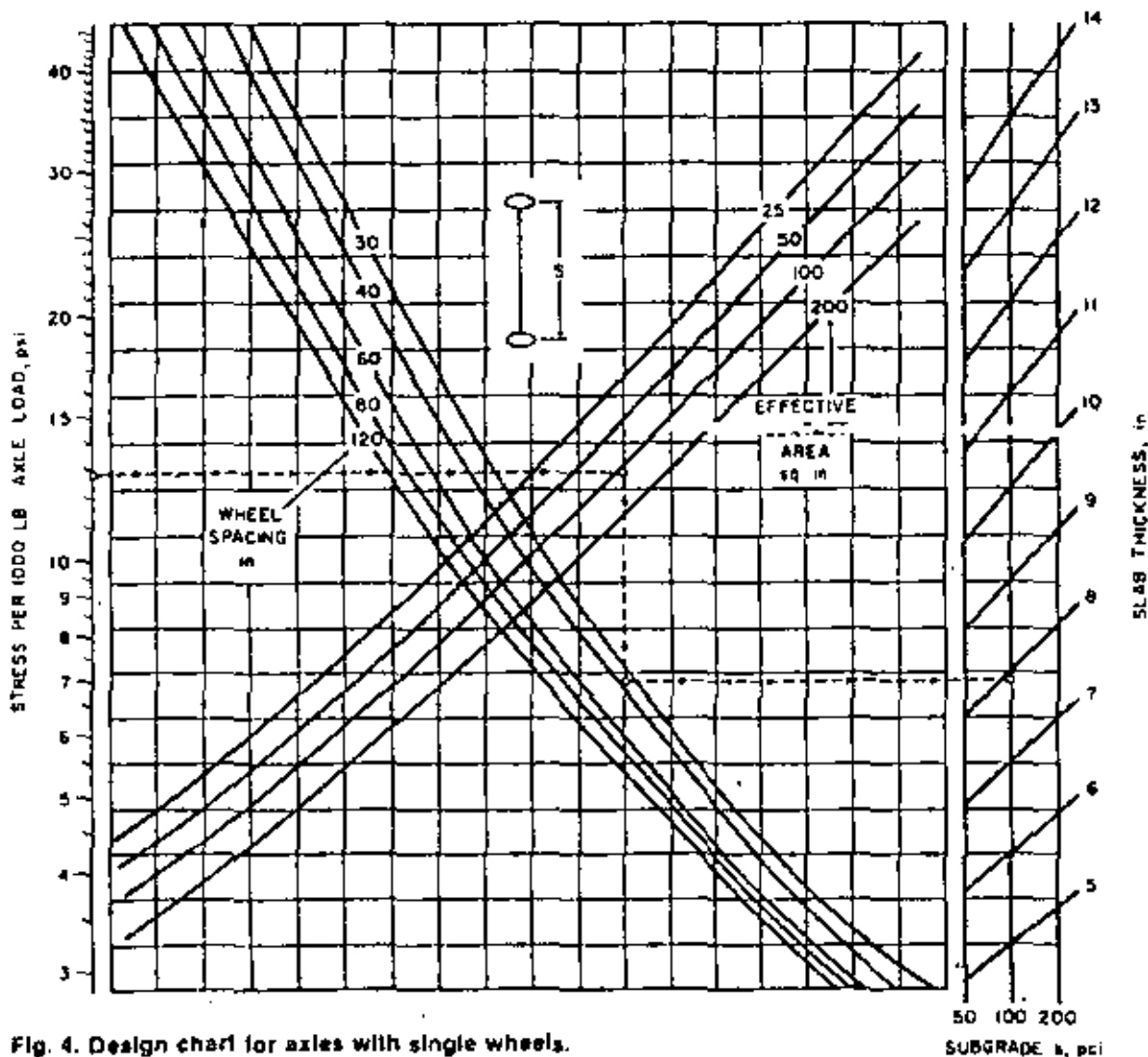


Fig. 4. Design chart for axles with single wheels.

Industrial Concrete Floors on Grade. The chart is entered with a calculated number for allowable working stress per 1000 lb of axle load. This number is obtained by dividing the modulus of rupture of the concrete by the safety factor and then dividing the result by the axle load in kips. The calculation makes it possible for one chart to cover a wide range of load magnitudes.

For axles equipped with dual wheels, *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade* includes a chart for converting a dual-wheel axle load to an equivalent single-wheel axle load. Then Fig. 4 can be used to determine the required thickness of the slab.

The effective contact area used in the charts is the corrected area of tire in contact with the slab. If tire data are not available, the contact area can be estimated for pneumatic tires by dividing wheel load by inflation pressure. For solid or cushion tires, it can be approximated by multiplying tire width by three or four. Tire data can also be obtained from the tire manufacturers.

Thickness Design Example—Single-wheel axle loads

Data for Lift Truck

Axle load	25 kips (axle with single wheels)
Wheel spacing	37 in.
Number of wheels	2
Tire inflation pressure	110 psi
Tire contact area	$= \frac{\text{wheel load}}{\text{inflation pressure}}$
	$= \frac{25,000/2}{110} = 114 \text{ sq in. (large enough, correction not required)}$

Subgrade and Concrete Data

Subgrade modulus, k	100 pci
Concrete flexural strength, MR	640 psi

Design Steps

1. Safety factor, SF :

For frequent operations of forklift trucks in channelized aisle traffic, select a safety factor permitting unlimited stress repetitions—2.0.

2. Concrete working stress, $W'S$:

$$W'S = \frac{MR}{SF} = \frac{640}{2.0} = 320 \text{ psi}$$

3. Slab stress per 1000 lb of axle load:

$$\frac{W'S}{\text{axle load, kips}} = \frac{320}{25} = 12.8 \text{ psi/1000 lb}$$

4. Enter Fig. 4 at left with stress of 12.8 psi; move right to contact area of 114 sq in.; down to wheel spacing of 37 in.; then right to read a slab thickness of 7.9 in. on the line for subgrade k of 100 pci. Use 8-in.-thick slab.

High-Rack-Storage Leg Loads

Advancements in mechanized, computerized material-handling equipment generated the high-rack configuration now used for product storage in warehouses. In these buildings, permanent racks of fixed dimensions may rise to heights up to 60 ft. When loads on the legs (or posts) exceed the wheel loads of vehicles operating in the warehouse, leg loads will control the thickness design.

For leg loads, the design objective is to keep flexural stresses in the slab within safe limits. When flexural requirements are satisfied by adequate slab thickness, pressures on the soil will not be excessive; and when a correct-size base plate is used, concrete bearing and punching shear stresses will remain within acceptable limits.

The design factors for high-rack-leg loads are similar to those used for vehicle loads except that a higher safety factor is selected. The specific design factors are

- Maximum expected load on leg (post)
- Effective (corrected) load contact area
- Spacing between legs (posts)
- Subgrade strength
- Flexural strength of the concrete

Fig. 6, taken from *Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade*, is used to determine the slab thickness requirements for rack configurations and loads. The x - and y -leg spacings used in Fig. 6 are the smallest dimension in the rack configuration (except the spacing between legs on opposite sides of a joint).

The procedure is similar to that for wheel loads. In the grid to left of chart, locate the point corresponding to stress per 1000-lb-leg (post) load and effective contact area. Move right to the y -post spacing (length or long axis dimension of the racks); then move up (or down) to the x -spacing and right to read the slab thickness.

For loads on high racks, use high safety factors because of the height of the racks. High-rack loads require conservative safety considerations because the racks sometimes support the roof structure and because the effects of differences in movement at the base of the rack are magnified at the top. In addition, if the rack layout and the slab joint layout are not coordinated, it is possible that some rack legs could be located near a joint. Unless the slab edges are intentionally thickened, this would result in higher floor slab stresses than those shown in Fig. 6, which are based on loads at the slab interior. Safety factors should be chosen to account for the possibility of rack loads applied close to slab edges or corners.

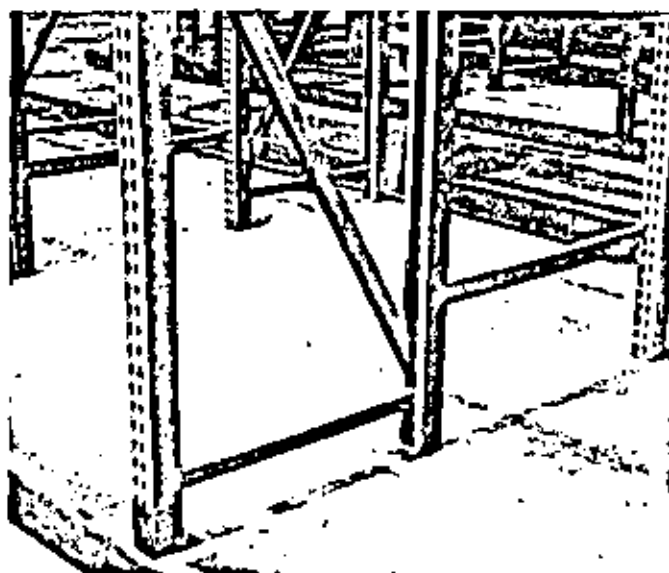


Fig. 5. Loaded legs supporting high-rack storage must have base plates of adequate size to prevent bearing or shear failure in the slab.

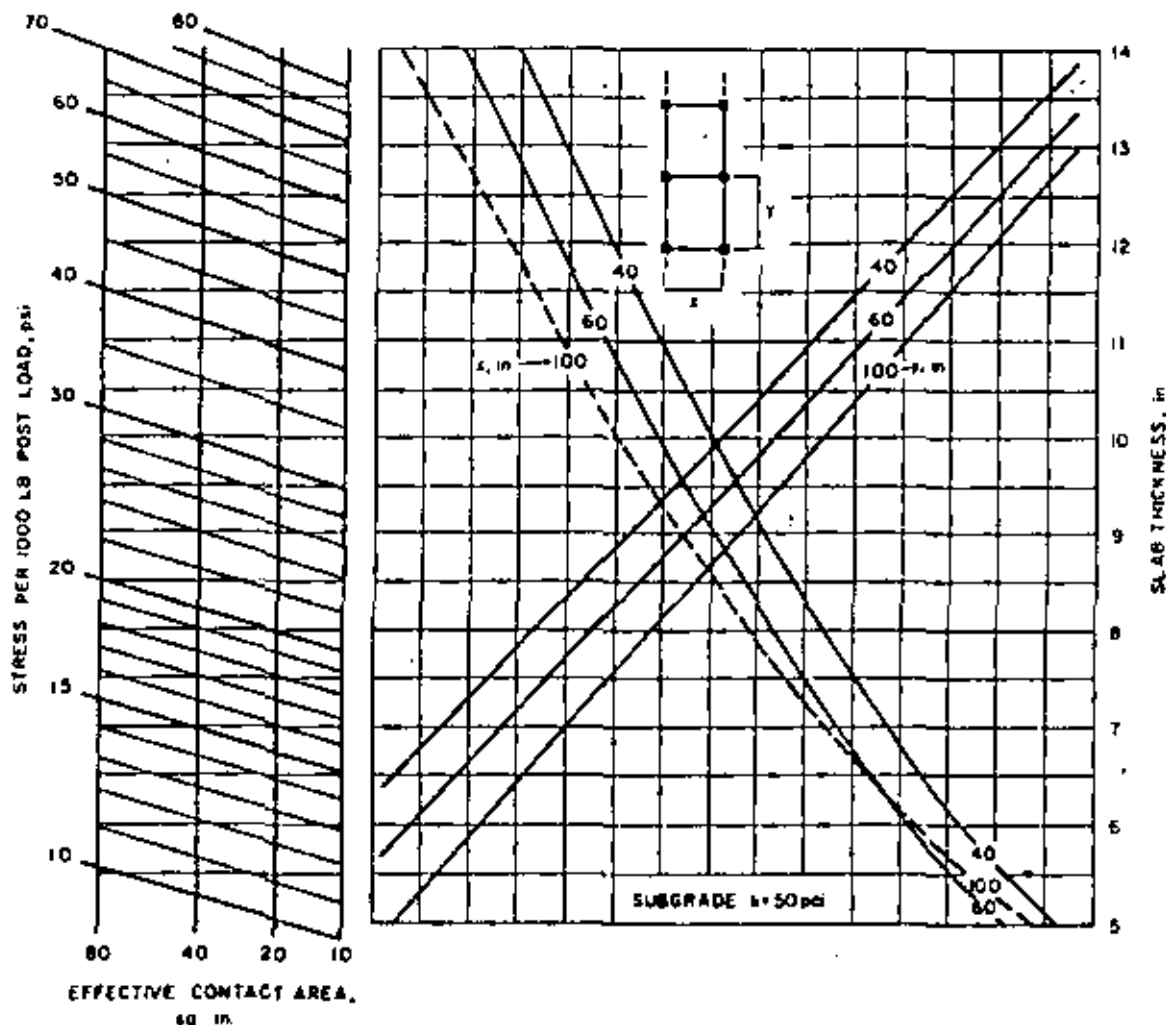


Fig. 6. Design chart for post loads, subgrade $k = 50$ pci.

Since there is not a wealth of available data on performance experience with rack loads on slabs, safety factors cannot be suggested with as much confidence as for vehicle loads.

Safety factors in the range of 3.9 to 4.8 will satisfy building code requirements when the leg is regarded as a supporting column and the slab is regarded as an unreinforced, spread footing.

A safety factor in the range of 3.0 to 4.0 can be used with Fig. 6 to establish a tentative slab thickness based on flexure. Shear stress and concrete bearing stress should also be computed to determine if these values are within safe limits.

For exceptionally heavy rack loads on plain concrete slabs the thickness required may be so great that alternate design methods should be considered, such as:

Integral or separate footings under the leg lines

Structural reinforced slabs

Use of cement-treated subbase under the concrete slab

The economic and construction practicality of these alternative designs should be considered along with the effects of thickness on stresses and deflections of the floor.

Uniform Loads

Uniform loads are defined as loads distributed over a large area. For most warehouse and industrial floors, concentrated loads are the controlling design factor since

distributed loads do not usually produce flexural stresses of the same magnitude. However, after an adequate slab thickness has been selected to support the heaviest vehicles and racks, the effects of uniform loads should also be examined.

Design for uniform (distributed) loads has two objectives: (1) to prevent cracks in the aiseways or unloaded areas due to excessive negative moment; and (2) to avoid objectionable settlements due to consolidation of the foundation soils.

Cracking in an unjointed aisle can be controlled by adequate slab thickness. Slab settlement, however, cannot be eliminated by making the slab thicker—this is a foundation soils improvement problem. Normally, the magnitude of distributed loads placed on floors with properly prepared and compacted subgrades is not sufficient to cause excessive settlement; but for very heavy distributed loads on compressible subgrades, the possibility should be examined by a structural foundation engineer.

Allowable Uniform Loads to Prevent Cracking in Aisleway

In an unjointed aisleway between uniform load areas the maximum negative bending moment may be up to twice as great as the moment beneath the loaded area. As a result, the thickness design should limit the resulting stresses so that a crack will not occur in the aisleway.

**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	5.8	710	715	785	950	1,225	1,420
	400	5.8	815	820	895	1,085	1,400	1,620
6	300	6.4	670	675	695	790	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	865	860
	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	815	1,065	955	915	925	865
	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	880	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 6. Allowable Distributed Loads,
Unjointed Aisle (Nonuniform
Loading, Variable Layout)**

Slab thickness, in.	Subgrade k , pci	Allowable load, psf**			
		Concrete flexural strength, psi			
		550	600	650	700
5	50	535	585	635	685
	100	760	830	900	965
	200	1,075	1,175	1,270	1,370
6	50	585	640	695	750
	100	830	905	980	1,055
	200	1,175	1,280	1,390	1,495
8	50	680	740	800	885
	100	960	1,045	1,135	1,220
	200	1,355	1,480	1,603	1,725
10	50	760	830	895	985
	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

Allowable loads based on this consideration can be found in Tables 5 and 6 for fixed and variable storage layouts. Note that the k value of the subgrade, rather than the k value on top of the subbase (if there is one), is used in these tables.

Storage Layout

The magnitudes of flexural stresses and deflections due to distributed loads vary with slab thickness and subgrade strength. They also vary with aisle width, dimensions of the loaded area, and the existence of joints or cracks in the aisleway. In Table 5 for fixed layout, the critical aisle width and its allowable distributed load are identified and the loads for other aisle widths are given. Table 5 is used when the storage layout is preplanned.

The allowable loads shown in Table 6 for variable layout represent the most critical conditions and are suggested for practical design use where the aisle and storage layout is unknown at planning time. There are no restrictions on where the load is placed or on the uniformity of loading for the allowable loads in Table 6. When there are joints in the aisleways or if cracks should occur, the limit of load will depend on the tolerable settlement of the slab.

For wheel and rack loads, increased slab thickness effectively reduces the unit pressure transmitted to the subgrade soil. Under uniform distributed loads, however, soil pressure is not reduced by slab thickness, but is equal to the uniform load on the slab plus the slab weight plus the weight of any fill material. Therefore, when the loads



Fig. 7. Preplanned storage area with uniform loads.



Fig. 8. Variable storage area with no restrictions on where load is placed or on uniformity of loading.

are exceptionally heavy, as in Fig. 9, the amount of settlement should be estimated by methods used in foundation engineering for spread footings or raft foundations.

Thickness Design Summary

The foregoing is a simple and concise approach to the thickness design of floor slabs supported directly on the ground. It is derived from the wealth of information available in highway and airport concrete pavement design practice. Normal design situations can be conservatively resolved by this method. Unusual conditions can be analyzed by more advanced techniques including the use of computer programs, influence charts, and structural engineering. But in most situations the method presented here can serve as a guideline that will be proved through practice and the measured observation of results in actual floors.

TYPE AND SPACING OF JOINTS

Good jointing practice is one way of ensuring crack-free floors. Most cracks in concrete are the result of three actions: volumetric change due principally to drying shrinkage, direct stress due to applied loads, and flexural stress due to bending. Cracks can be the net result of all three. Cracks will appear at any time and any place where the stress within the concrete to pull it apart exceeds the strength of the concrete to hold itself together.

The magnitude of drying shrinkage in concrete is affected by the unit water content of the mix. More coarse aggregate and less water mean less shrinkage (thus, less cracking) in the concrete. Type of cement and cement content have very little effect on drying shrinkage. The rate of drying is influenced by thickness of the slab, the humidity and temperature of the surrounding air, and the duration of exposure. Drying shrinkage is an unavoidable, inherent property of concrete, so the possibility of cracking exists. Control measures are taken to induce the concrete to crack in predictable, straight lines by proper jointing.

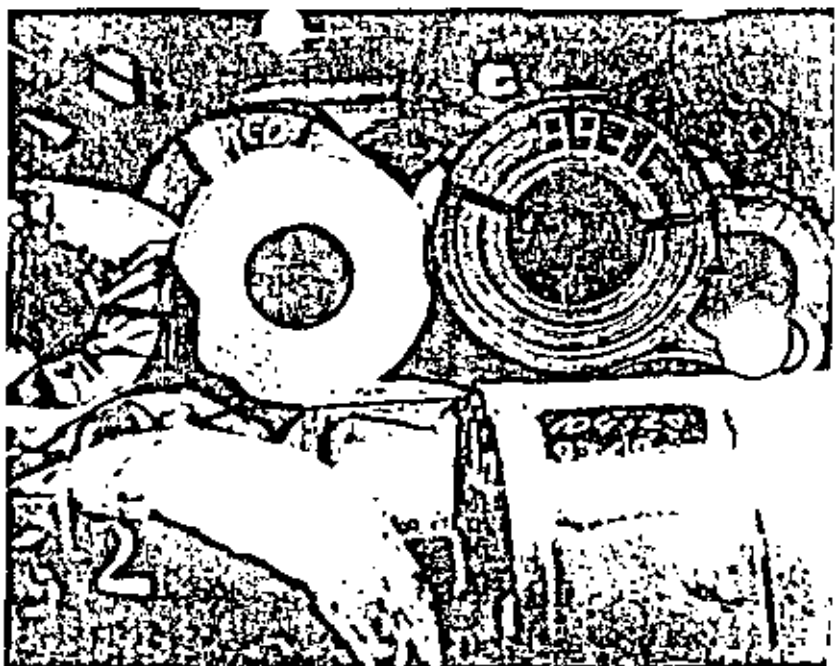


Fig. 9. Exceptionally heavy loads require special consideration in slab design.

Kinds of Joints

Building use dictates the kind of joint design and spacing for a concrete floor on ground. Whether or not joints are permitted, the designer is always confronted with the need to eliminate random cracking. Crack control is the most important aspect of floor performance to be included in the floor design. Where they are permitted, three kinds of joints are used:

1. Isolation joints (also called expansion joints)—to allow movement between the floor and other fixed parts of the building, such as columns, walls, and machinery bases
2. Control joints—to induce cracking at preselected locations
3. Construction joints—to provide stopping places during construction

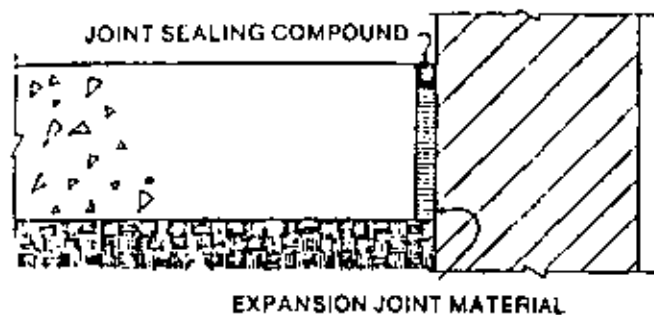


Fig. 10. Isolation joints are used between the floor slab and fixed parts of building such as columns and machinery bases.

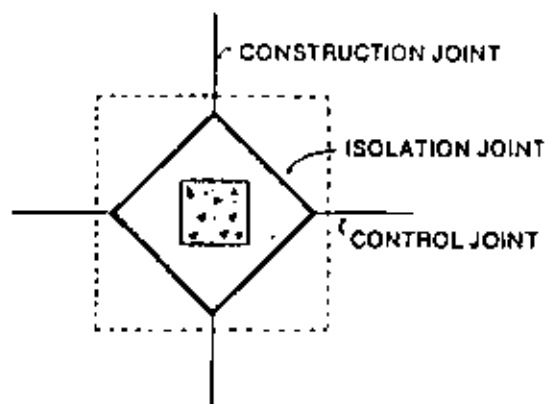


Fig. 11. Isolation joints around columns are circular or diamond shaped.

Isolation Joints

Isolation joints permit horizontal and vertical movement between the abutting faces of the floor slab and fixed parts of the building because there is no keyway, bond, or mechanical connection across them (Fig. 10).

Columns are isolated either with a circular or diamond-shaped joint around their bases. The diamond shape is normally skewed to align its points with control and construction joints, as shown in Fig. 11.

Control Joints

The straight-line cracks induced by control joints act as stress-relief joints and eliminate the cause of uncontrolled random cracking. Control joints permit horizontal movement of the slab. They can be a saw cut; a groove formed with a hand finishing tool; a premolded strip; or in thick slabs, a crack inducer anchored to the subgrade.

The object is to form a plane of weakness in the slab so that the crack will occur along that line and nowhere else, as shown in Fig. 12. Load transfer across a control joint is provided by the interlocking of the jagged face formed at the crack. In long joint spacings or heavily loaded slabs, dowel bars (coated to prevent bond with the concrete) are used as load transfer devices. Dowel sizes and spacings are shown in Table 7.

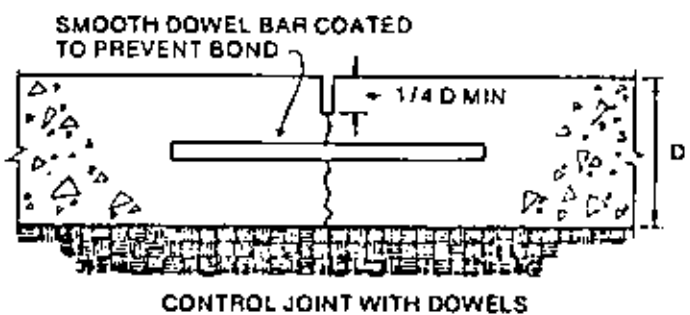
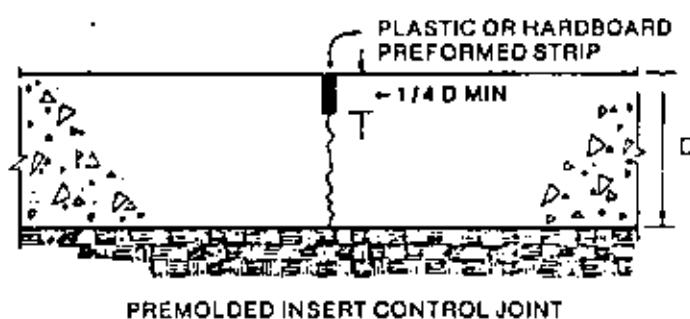
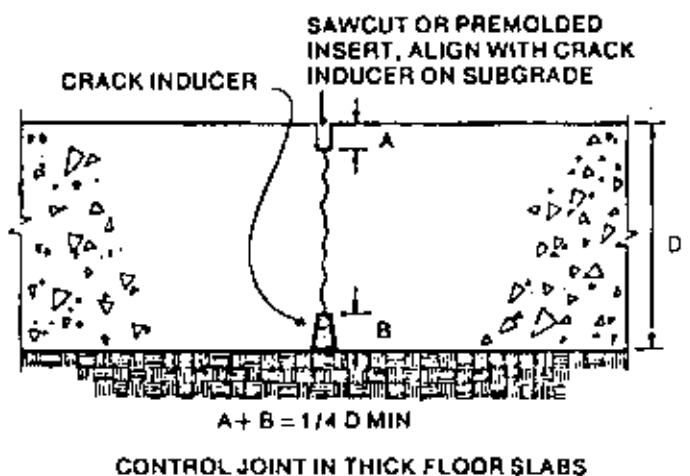
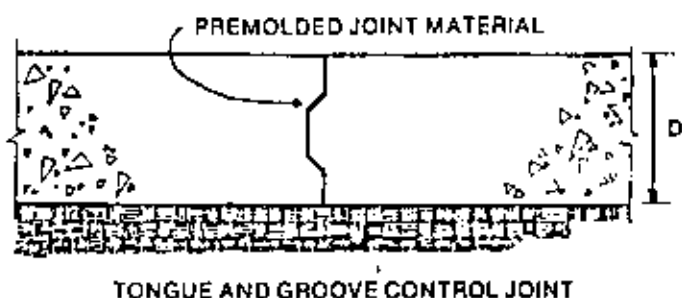
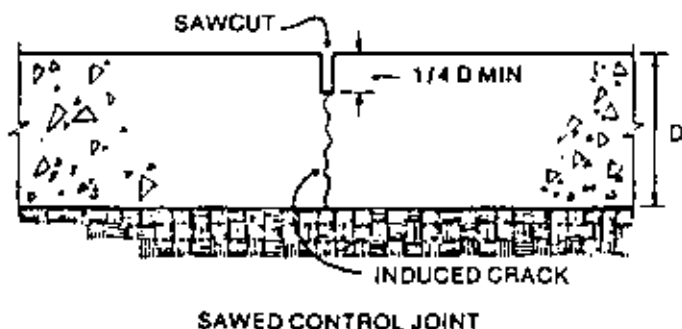


Fig. 12. Varieties of control joints.

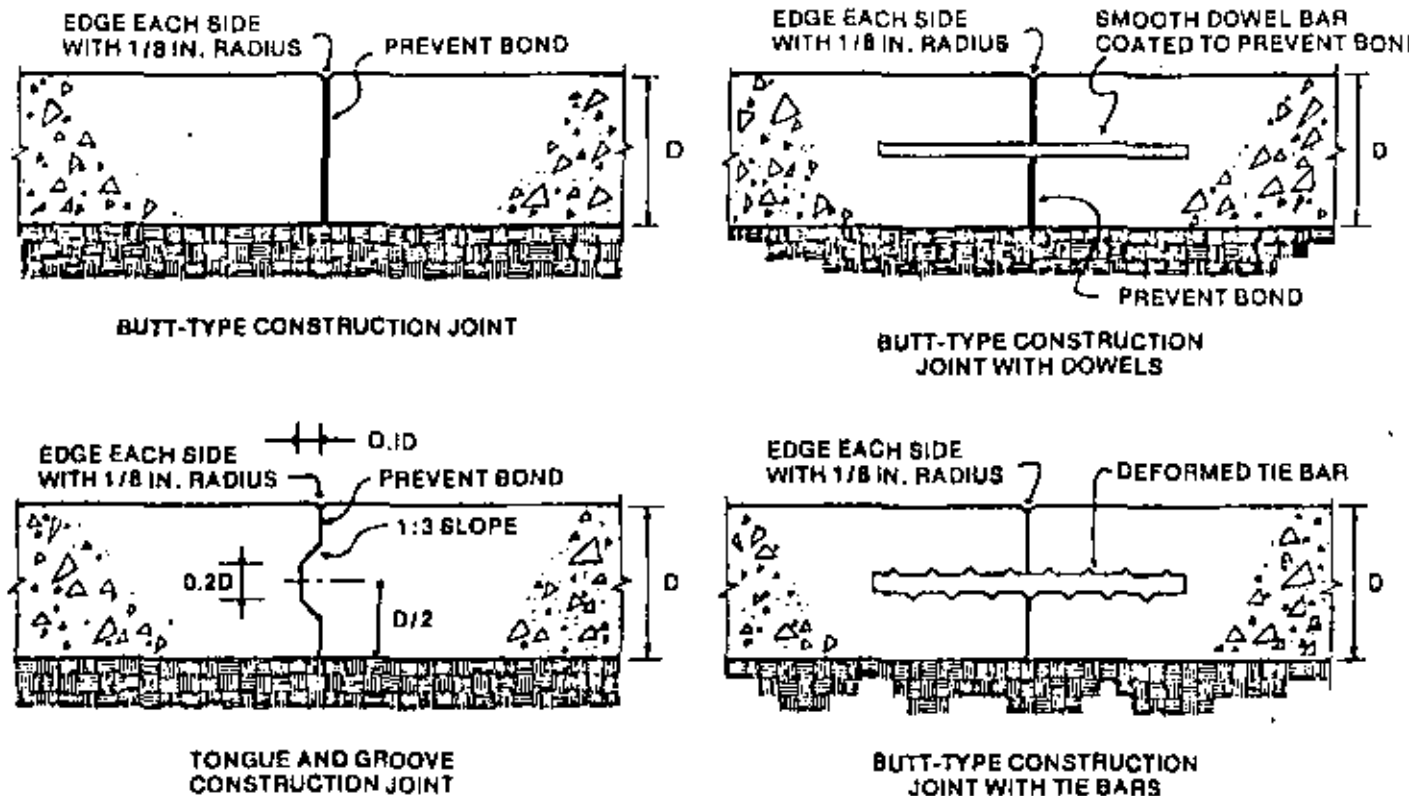


Fig. 13. Varieties of construction joints.

Table 7. Dowel Size and Spacing

Slab depth, in.	Diameter, in.	Total length, in.	Spacing, in. c to c
5	3/8	12	12
6	3/8	14	12
7	3/8	14	12
8	1/2	14	12
9	1/2	16	12
10	1/2	16	12

Tiebar Size and Spacing

5	#4	30	30
6	#4	30	30
7	#4	30	30
8	#4	30	30
9	#5	30	30
10	#5	30	30

Table 8. Suggested Spacing of Control Joints

Slab thickness, in.	Less than 3-in. aggregate: spacing, ft	Larger than 3-in. aggregate: spacing, ft	Stump less than 4 in.: spacing, ft
5	10*	13	15
6	12	15	18
7	14	18	21
8	16	20	24
9	18	23	27
10	20	25	30

*Given spacings also apply to the distance from control joints to parallel isolation joints or to parallel construction joints. Refer to text for other factors that may call for different spacing.

Construction Joints

Construction joints form the edges of each day's work or are inserted where construction operations are suspended for 30 minutes or more. A true construction joint (also called a cold joint) permits neither horizontal or vertical movement. Because true construction joints are difficult to make, they are usually made to function as and usually align with the control joints or isolation joints.

A butt-type joint is satisfactory for thin floors, as shown in Fig. 13. For thicker, more heavily loaded floors, a tongue and groove joint is used or dowels are added to the butt joint. When work is interrupted for 30 minutes or more and the joint is inserted, a butt joint with tiebars should be used (Fig. 13). Tiebars will prevent an opening

of the joint at this location that could cause a crack to develop in the adjacent panel. Tiebar sizes and spacings are shown in Table 7.

Filling Joints

The movement at control joints in a floor is generally very small. For many industrial and commercial uses, these joints can be left unfilled; but where there are wet conditions, hygienic and dust-control requirements, or considerable traffic by small, hard-wheeled vehicles such as fork lifts, joint filling is necessary.

In many places, a resilient material is satisfactory, but to provide support to the edges and prevent spalling at the joints, a good quality rigid or semirigid filler with a Shore "A" hardness number of approximately 80 should be used.

Extruded lead strips embedded in the control joints give support to the edges and thereby reduce spalling.

Lead strips, where permitted, are highly successful for heavy-duty concrete floors where trucking is severe, especially of the steel-wheel type.

Isolation and expansion joints are intended to accommodate movement, thus a flexible, mastic-type sealant should be used.

Joint Layout

A joint layout is illustrated in Fig. 14. Isolation joints are provided around the perimeter of the floor where it abuts on walls and around any fixed element that curbs movement of the slab in a horizontal plane. This includes columns, machinery bases, etc., that pierce the floor slab. With the slab isolated from other building parts, the remaining task is to locate and correctly space control joints to eliminate random cracking. Construction joint locations can be determined by the floor contractor with the restriction that they coincide with the control-joint pattern.

Spacing of Joints

The maximum spacing between joints depends primarily on

Slab thickness

Shrinkage potential of the concrete

Curing environment

Absence, or presence, of distributed reinforcement

Slabs made of high-slump concrete improperly cured in a dry environment, with or without reinforcement, will shrink excessively and crack extensively. Slabs made of low-slump concrete properly cured in a moist environment, with or without reinforcement, will have minimum shrinkage and few cracks. Jobsite practices are somewhere between these extremes.

The most economical floor construction is a plain (no-reinforcement) concrete slab with short joint spacing sup-

ported by a uniform subgrade. A rule of thumb for plain slabs is that joint spacing (in feet) should not exceed 2 slab thicknesses (in inches) for concrete made with less than ¾-in.-top-size coarse aggregate; 2½ slab thicknesses for concrete containing greater than ¾-in.-size coarse aggregate, or 3 slab thicknesses for low-slump concrete. Suggested joint spacings are given in Table 8.

REINFORCEMENT FOR FLOORS ON GROUND

IS REINFORCEMENT NECESSARY?

NO

• WITH UNIFORM SUPPORT AND SHORT JOINT SPACING

YES

• WHEN LONG JOINT SPACING REQUIRED

• WHEN JOINTS UNACCEPTABLE IN FLOOR USE

When a long joint spacing is selected to minimize the number of joints (shrinkage cracks may occur within the panel), or when joints are unacceptable in floor use, then distributed-steel reinforcement is placed in the slab.

The primary purpose of the reinforcement is to hold tightly closed any cracks that form between the joints. It does not prevent cracking, nor does it add to the load-carrying capacity of the floor. Since the critical flexural stresses occur in the top and bottom of concrete floors, the steel would have to be placed in two layers to resist the stresses and prevent cracking. It is more economical to obtain increased flexural strength in concrete floors on ground by increasing the thickness of the floor.

Since the function of distributed steel in a floor on ground is to hold cracks tightly closed, the reinforcement can be designed by a subgrade-drag method used in pavement design. This method provides sufficient steel area to resist the tensile stresses developed as a result of subgrade restraint to slab movement. It is represented by the following formula, which gives reasonable results for floor slabs:

$$A_s = \frac{FLw}{2f_s}$$

in which

A_s = effective cross-sectional area of steel, in square inches per foot of width of section

L = distance between free ends, in feet. (A free end is any joint free to move in a horizontal plane.)

w = weight of slab, in pounds per square foot (Based on concrete weighing 150 lb per cubic foot.)

F = coefficient of subgrade friction (This may vary from 1.0 to 2.5; 1.5 is recommended for concrete floors on ground.)

f_s = allowable unit tensile stress in the reinforcement, in psi

The values shown in Fig. 15 were calculated using this subgrade-drag method.

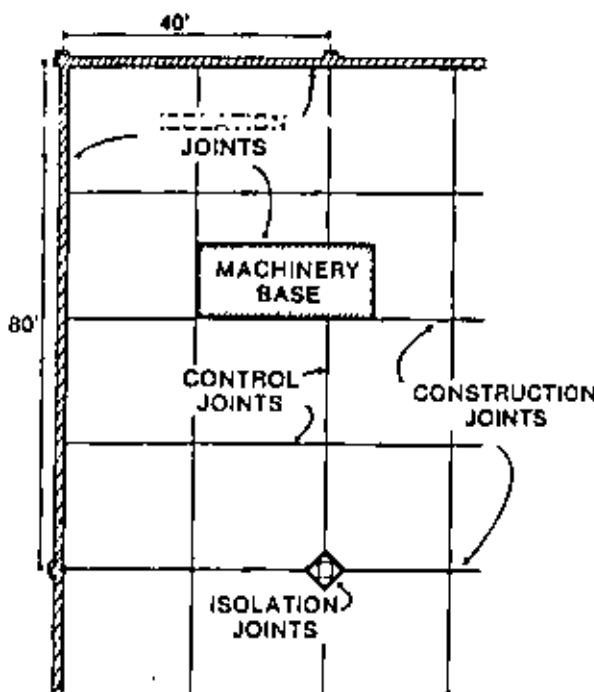


Fig. 14. Typical joint layout for concrete floor on ground with no reinforcement.

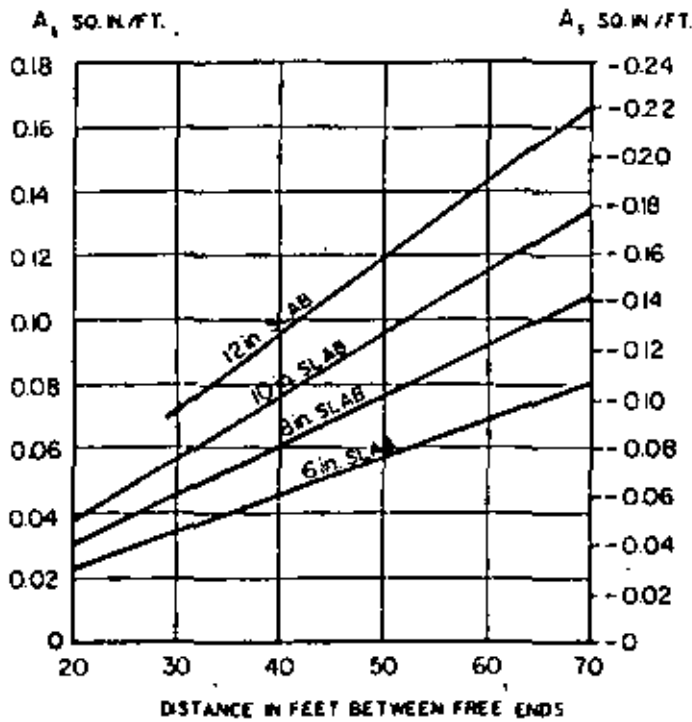


Fig. 15. Selection chart for distributed steel.

UNJOINTED FLOORS

An unjointed floor can be constructed when joints are unacceptable in floor use. Three methods are suggested:

1. A prestressed floor can be built with prestressing steel strands pulled taut to put a small compressive stress in the concrete. This will counteract the development of tensile stresses and provide a crack-free

surface. Large areas, 10,000 sq ft and larger, can be constructed in this manner without any control joints.

2. Concrete made with expansive cement can be used to offset the amount of drying shrinkage to be anticipated after curing. Control joints are not needed when construction joints are used at intervals of 40 to 120 ft. Large areas, to 10,000 sq ft, can be cast in this manner.
3. Large areas can be cast without control joints when distributed steel about one-half of 1% times the cross-sectional area is placed in the slab to resist shrinkage. Areas as large as a tennis court can be built without control joints.

CONSTRUCTION

Workmanship

All parties—owner, designer, contractor—must agree prior to bidding on the level of quality or class of workmanship that will be necessary for the floor job they want. A good concrete floor on ground is the result of sensible planning, careful design and detailing, complete specifications, proper inspection, good workmanship, and the good intentions of each person sharing responsibility for the end result.

Subgrades

Good construction begins with a well-prepared subgrade. Many floor problems can be traced to poor subgrade preparation. A poorly compacted and prepared subgrade ranks high as a cause of settlement cracking and failure to carry the applied loads.

The subgrade should be uniform, firm, and free from all sod, grass, humus, and other rich organic matter as these materials will not compact to give good support to

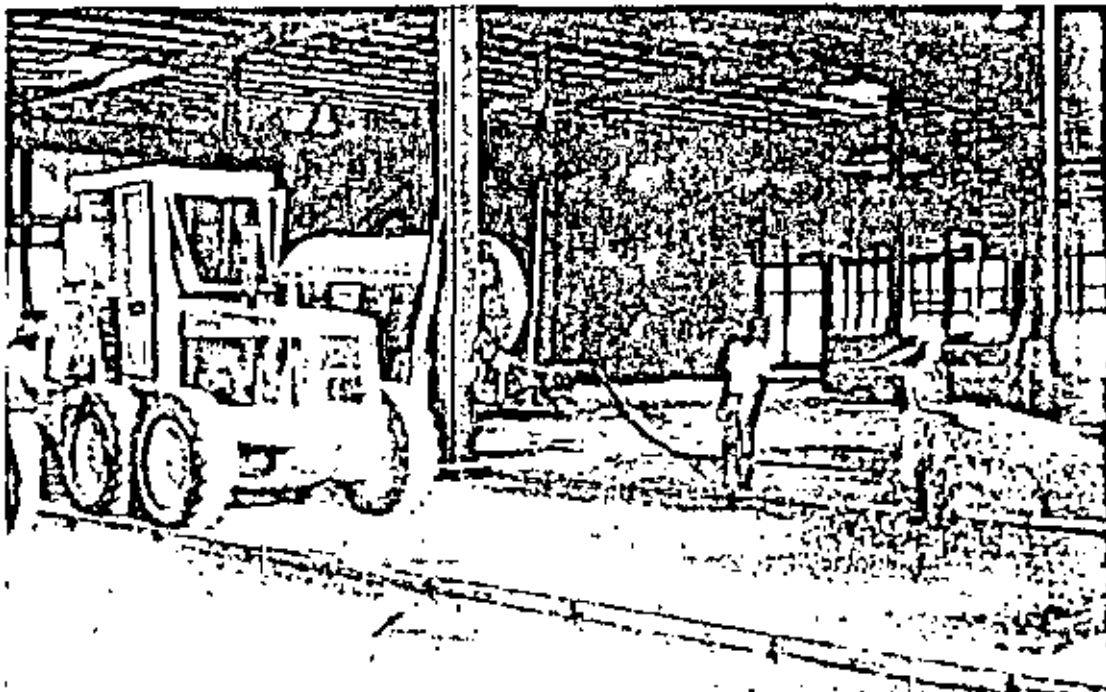


Fig. 16. Subgrade must be moist when concrete is placed.

the floor. Floors require that the support be reasonably uniform with no abrupt changes from hard to soft spots within the area. To construct a reasonably uniform subgrade, special care must be taken to ensure that there is control of the three major causes of nonuniform support: (1) expansive soils, (2) hard spots and soft spots, and (3) backfilling.

The subgrade must be brought to within required tolerances at the specified grade and level. The use of laser alignment to control grading operations will make the surface as level as possible, or a scratch templet can be used to show high and low spots. Occasionally a choker fill should be added to bind the surface before final compaction with a vibratory roller, heavy-plate vibrator, or a tandem roller. A reasonably accurate level will ensure that the correct thickness of concrete is placed. If the surface is too uneven, concrete will be wasted and the potential for random cracking will be increased. The subgrade should be moist when concrete placement begins.

Expansive Soils

Excessive differential shrinkage and swelling of expansive soils causes heaving in the subgrade and creates non-uniform support. As a result, the floor slab may become distorted and cracked. Compaction of highly expansive soil when it is too dry can lead to detrimental expansion and softening of the subgrade as it takes on moisture with time. If an expansive-soil subgrade is too wet when the slab is cast, subsequent drying and shrinkage of the soil can cause settlement and leave the slab edges unsupported and likely to crack under applied loads.

Selective grading, crosshauling, and mixing of subgrade soils make it possible to obtain uniform conditions in the upper part of the subgrade. Compaction at 1% to 3% above standard optimum moisture* will minimize subgrade weakening due to changes in moisture content and the subgrade will have relatively uniform stability. The use of a densely graded blanketing layer (subbase or cushion) on the subgrade will minimize changes in the moisture content of the subgrade and provide a stable working platform for floor construction.

Hard Spots and Soft Spots

To prevent the slab from riding on hard spots and bridging over soft pockets, special care must be taken to dig out hard and soft spots and backfill them with soils similar to those in the surrounding area. The moisture content and density of the replacement soil should also be as similar as possible to the adjacent soils. At the edges of the area, the replacement soil should be intermixed with in-place soil to form a gradual transition zone.

Backfilling

Backfilling at footings, foundations, and utility trenches should consist of soils like those surrounding the trench and should be compacted or consolidated in moderate layers. Every attempt should be made to restore as much as possible the original uniformity of the subgrade. In addition, the compacted backfill must create enough lateral pressure to support the excavation sidewalls.

Subbase or Cushion

It is possible to build a satisfactory floor on ground without a subbase, but a subbase is frequently used as a leveling course for fine grading and a cushion that will equalize minor surface irregularities and contribute to uniform support.

Where a subbase is used, the floor contractor should place a thin layer—generally 2 to 3 in. The subbase should be given final fine-grading and compaction to maximum density immediately before placing concrete. Unless the subbase is well compacted, it is advisable to leave the subgrade uncovered and undisturbed. Subgrades and subbases can be compacted with small portable vibrators and rollers. Hand tampers can be used in confined places.

A subbase under a floor slab also serves as a capillary break between the slab and a subgrade that is water soaked most of the time.

Vapor Barrier

Many of the moisture problems associated with floors on ground can be minimized or eliminated by proper preliminary grading, correct selection of fill or subbase materials, and installation of a vapor barrier.

A vaporproof barrier should be placed under all concrete floors on ground that are likely to receive an impermeable floor finish or used for any purpose where the passage of water vapor through the floor is undesirable.

Good quality, well-consolidated concrete at least 4 in. thick is watertight to the passage of water from the ground unless the water is under considerable pressure; but concrete several times that thickness is not impermeable to the slow passage of water vapor.

Water vapor normally passes through the concrete and evaporates at the top surface if it is not sealed. Floor coverings such as linoleum, felt- or fabric-backed compositions, cork tile, carpet, wood, and synthetic surfacing effectively seal the moisture within the slab where it eventually may cause problems with the covering. When furniture, boxes, pallets, and other objects are placed on a floor lacking a vapor barrier, moisture can condense beneath them, causing dampness and mildew.

vapor-barrier materials with a permeance of less than 0.30 perms are suitable for floor-on-ground construction. Acceptable materials are available in preformed sheets or mastics that will resist deterioration and punctures from subsequent construction operations.

Vapor-barrier material placed directly under the slab also functions as a slipsheet to reduce subgrade drag friction, permitting freer slab movement and reducing cracking in the slab. It will prevent the loss of mixing water down into the subgrade and, therefore, requires a compensating adjustment in the mix design. A 2-in. layer of sand cushion placed over the vapor barrier will make mix adjustment less critical.

Insulation under Slabs

Placing insulation under slabs on ground to conserve energy cannot be justified. Tests by the National Bureau of Standards** proved the temperature of the slab aver-

*ASTM Designation D698.

**BMS Report 103, 1945.

Placing and Spreading

Rutted or marred subgrade surfaces must be regraded and recompact before placing concrete. There are several ways to place the fresh concrete where it is needed, including directly from the truck's chute; by buggy on wooden ramps; by crane with bucket; by conveyor belt; or by pump.* Concrete is placed as closely as possible to its final position, to slightly above the top of the edge forms or screeds, and then spread with shovels, special concrete rakes, or come-alongs. Air is trapped in concrete during mixing and placing. This air must be removed by consolidation.

Striking Off and Consolidating

Concrete is brought to its initial level and surface by the first operations of strikeoff, consolidation, and darbying or bullfloating. Striking off is best done with equipment working off the side forms, such as a beam or plate-type surface vibrator (Figs. 17 and 18). Where surface tolerance is important, strikeoff lane width should be limited to 20 to 24 ft. The limited width makes it possible to bullfloat and use a crossrod or straightedge more accurately. The concrete along the side forms is compacted with a spud vibrator.

Surface vibration is effective for slabs of up to 6-in. thickness. When floors contain reinforcement and conduit, or when they are thicker, internal poker vibrators must also be used, or the slab should be placed in layers while the concrete remains plastic. When a thick slab has been compacted by internal vibrators, final compaction of the surface should be done with a beam-type surface vibrator. The initial strikeoff and consolidation of the concrete will have a greater effect on surface tolerances and levels than subsequent operations of floating and finishing. The secret of proper strikeoff and compaction is to maintain an adequate surcharge of concrete at the screed face; a 6-in.-thick slab needs a surcharge of about 1 in.

Strikeoff and consolidation must be completed before any excess water bleeds to the surface. If power-driven equipment is used properly to strike off low-slump concrete, the surface will be ready for edging and finishing with power trowels with very little handwork necessary (Fig. 19).

Leveling

Darbying to bring the surface to the specified level (Fig. 20) should immediately follow screeding and must be completed before any bleed water is present on the surface. *Any finishing operation performed while there is excess moisture or bleed water on the surface can be the cause of surface defects.* This is the basic rule of concrete finishing and it cannot be overemphasized. One of the purposes of the darby is to eliminate ridges and fill in the voids left by screeding and consolidating. In addition, it should fill in all surface voids and slightly embed the coarse aggregate. This prepares the surface for subsequent edging, jointing, floating, and troweling.

Bullfloating is done for the same reason as darbying, that is, to correct small irregularities and smooth out ridges left by the vibrating-beam strikeoff (Fig. 21). Be-

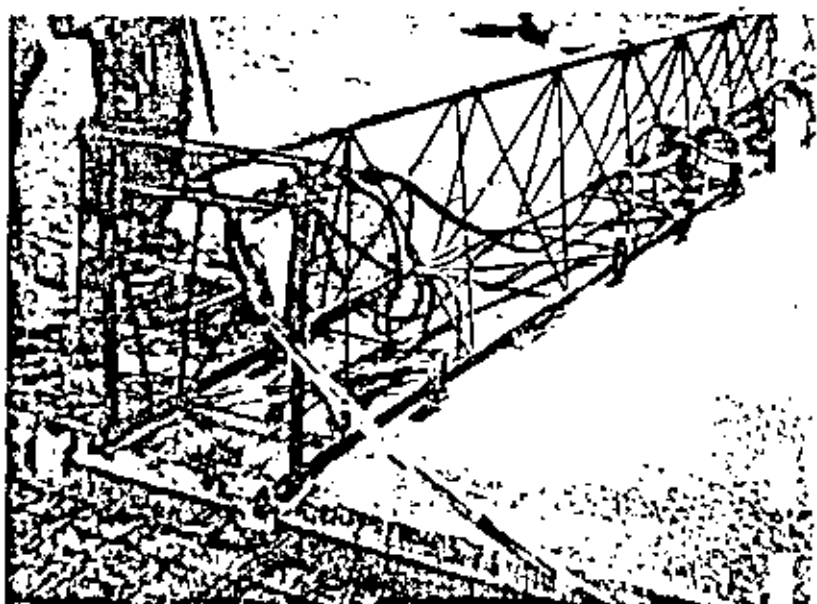
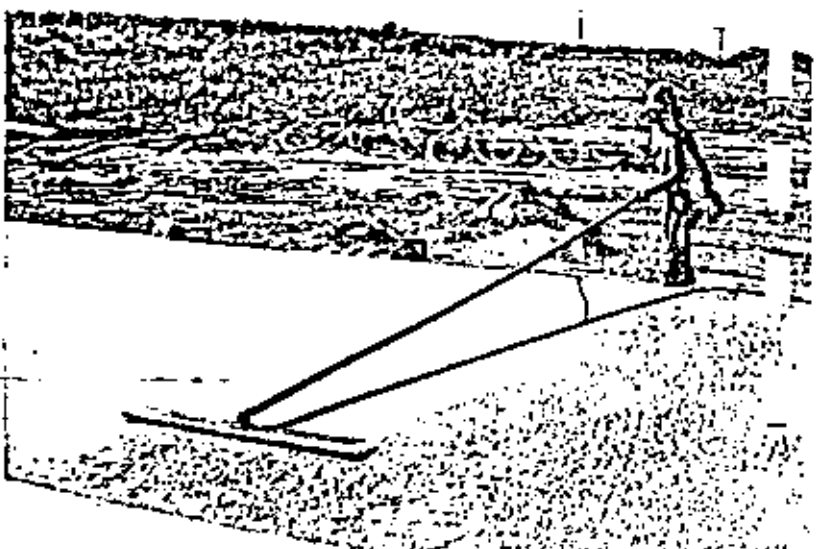


Fig. 19. After strikeoff with vibratory equipment, the surface may be ready for finishing without darbying or bullfloating.



Fig. 20. Darbying brings the surface to the specified level.

Fig. 21. Bullfloating corrects small irregularities and smooths out ridges.



*See *Concrete Construction Practices*, Portland Cement Association publication 15019T, 1974

ages only 5°F to 6°F (2.8°C to 3.4°C) below room temperature to within 24 in. of an outside wall. In cold climates, therefore, insulation is needed only at perimeter edges of the slab. This practice is recommended by Model Code for Energy Conservation* and other major codes and standards.

Concreting Procedures

Floors cast under the protective cover of a tight roof and with the building sidewalls in place will be better constructed than work done out of doors. Outside work can be adversely affected by the weather (sun, heat, cold, wind, and rain) and have a greater risk of future problems such as cracking, crazing, and surface dusting.

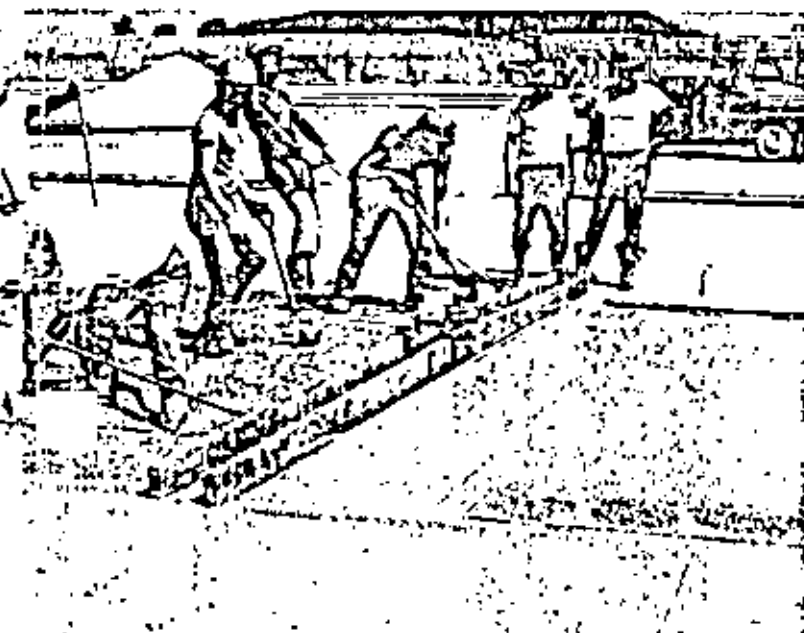
The semimanual methods recommended here for placing, consolidating, and finishing concrete floors require the use of mechanical equipment for striking off, compacting, and finishing.

Edge Forms

The final accuracy of finished level of the floor slab depends on careful setting of the edge forms and temporary intermediate screeds with the use of a leveling device. Edge forms and screeds must be supported firmly by wood or steel stakes driven solidly into the ground to prevent any movement during mechanical strikeoff and vibratory consolidation. Loose forms cause an uneven floor. Temporary screeds that are not positively positioned can be displaced, causing an uneven floor. All forms should be straight, free from warping, and of sufficient strength to resist concrete pressure without bulging. Edge forms should be full depth and continuously supported on the compacted subgrade; for this reason steel road-type forms are preferred. Vibratory compaction equipment slides easily on a steel surface. A form release agent must be applied to the forms before concreting for easier form removal.

When a continuous vapor barrier is required under the floor slab, special care is needed to place the plastic sheet correctly under the edge forms before the pins are driven.

Fig. 17. Strikeoff can be done with a double-beam vibratory screed.



Reinforcing Steel

Reinforcing bars or welded-wire fabric are used in the floor slab to hold cracks tightly together and avoid spalling, which would interfere with the movement of small wheeled forklifts across the floor. In order for reinforcing bars or fabric to bond properly with the concrete, they should be free of mud, oil, or other coatings since these would adversely affect the bonding capacity. The reinforcement should be placed at or above the center of the slab—2 in. below the surface is suggested—and if it is to function properly, some failproof way must be used to hold it in that position. Reinforcement can be supported on chairs, slab bolsters, wet screeds, or small concrete bricks and blocks. In the case of mesh or welded-wire fabric, support accessories must be more closely spaced than they are for reinforcing bars. The practice of laying the mesh on the subbase or subgrade before concrete is placed and hooking it into position after concrete has been placed is not recommended because this gives no assurance that the mesh will stay in the concrete in straight lengths or a true plane at the correct distance below the surface. Mesh can be positioned by hooking it just ahead of the flowing concrete so that concrete is placed both under and over the mesh at the same time.

The mesh can be placed by the sandwich method in two-course work. This involves first placing a layer of concrete struck off 2 in. below the finished grade. The flat-sheet mesh is laid on this layer and then the top 2-in. layer is placed. Work must be completed quickly so that the top layer is placed while the bottom is still plastic.

Flat-sheet fabric can be depressed into the slab by what is termed walking in. The concrete is placed full depth and struck off. The flat sheet is then placed on the surface and the finishing crew carefully walks on it, forcing it into the concrete.

Wherever dowel bars or tiebars are placed in joints, they must be accurately aligned and spaced and held parallel to the surface during concreting.

*U.S. Department of Energy, December 1977.

Fig. 18. A roller screed can be used to strike off and level the concrete.

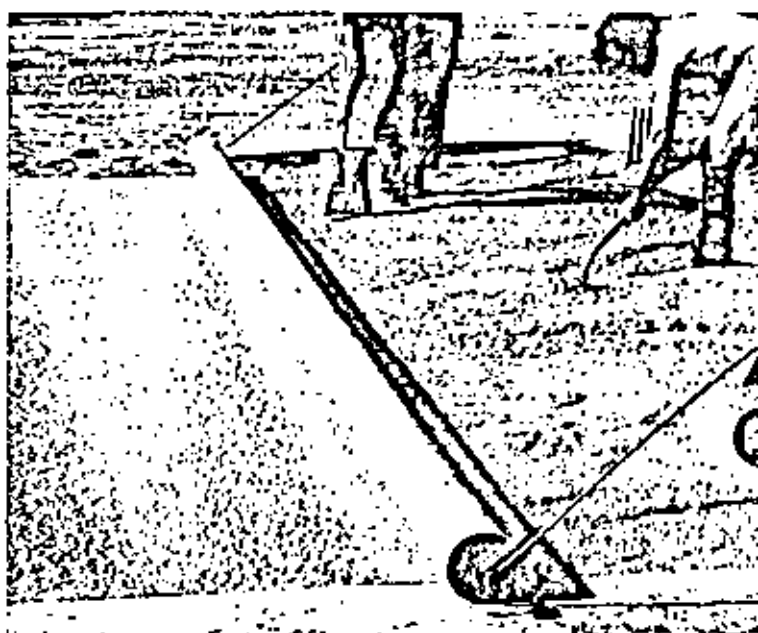




Fig. 22. A scraping straightedge removes minor surface irregularities and excess laitance.

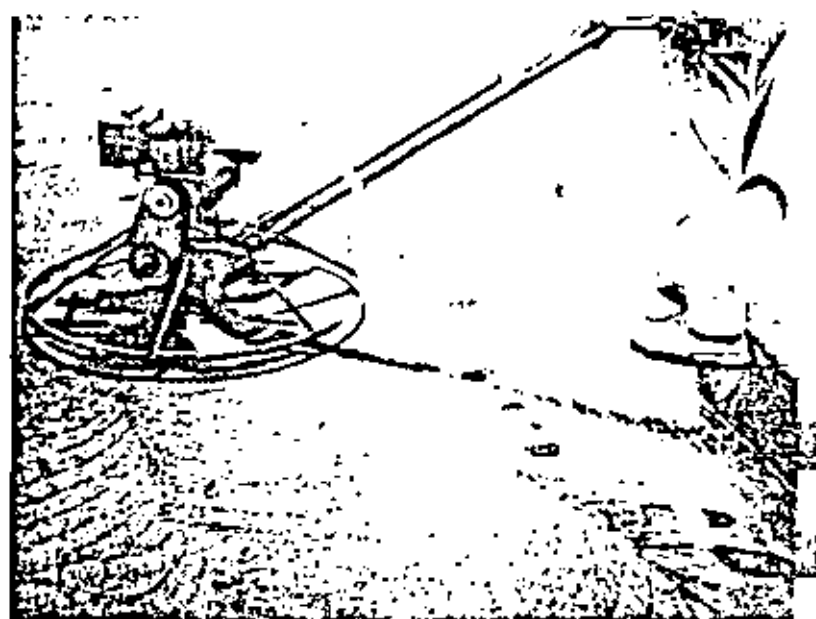


Fig. 23. Floating is begun when the water sheen has disappeared and the weight of a man leaves only a slight indentation on the concrete surface.

cause of its long handle, the bullfloat is easy to use on a large area, but the length of the handle detracts from the leverage, so that close tolerances are difficult to achieve. The bullfloat may slightly depress the surface near a screed or edge form and a darby must then be used to relevel the surface.

Where close tolerances are required, the scraping straightedge can be used to advantage. Minor surface irregularities and excess laitance are removed by scraping with 10-ft straightedges (Fig. 22). They should be used to float the surface with a smooth, continuous action; a jerky, cutting action is used only for removing high spots. Each pass should overlap one-half the length of the previous pass. Surface smoothness should be checked as late as possible to avoid subsequent settling, but while the concrete is still plastic enough to permit surface corrections. Testing is done by lifting and lowering a checking straightedge in successive positions.

A slight stiffening of the concrete is necessary before proceeding to finishing operations. Depending on job conditions, it is usually necessary to wait a period of time for this to take place. No operation should follow until the concrete will sustain foot pressure with only about $\frac{1}{4}$ -in. indentation.

Edging

Edging is required along all isolation and construction joints. The purpose of edging is to densify the concrete at the edge of the slab, making it more durable and less vulnerable to spalling and chipping. Edging should be done when all bleed water has left or been removed from the surface. An alternative to using an edging tool at construction joints is to lightly grind the edges with a stone after the forms are stripped and before the adjacent slab is placed.

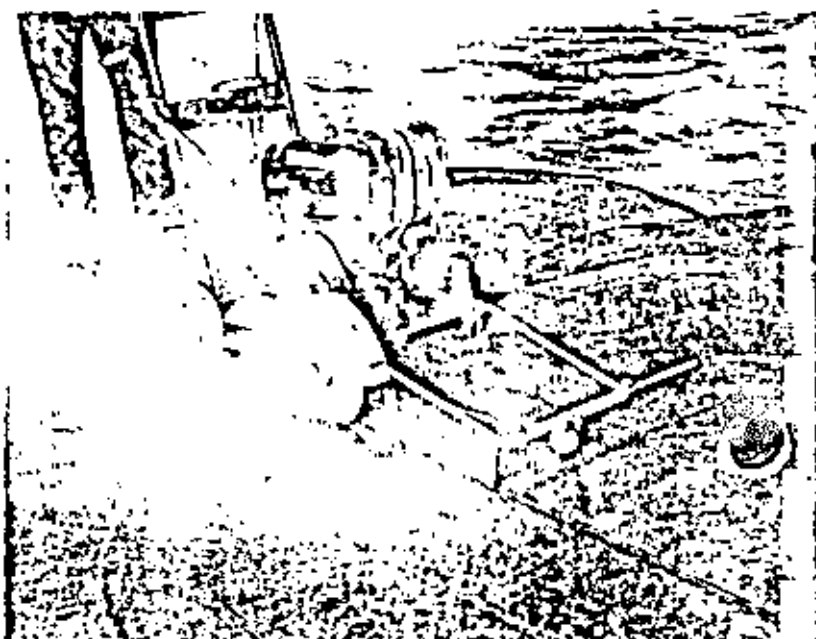
Floating

Floating has four purposes: (1) to depress large aggregates to just slightly beneath the surface; (2) to remove slight imperfections and even out humps and voids to produce a level or plane surface; (3) to compact the mor-

tar at the surface in preparation for later finishing operations; and (4) to keep the surface open so excess moisture can escape.

Floating the stiffened concrete is done by power machine. Either a rotating circular steel disc or large individual float blades are used almost flat on the surface. Changes in concrete temperature, air temperature, relative humidity, and wind make it difficult to set a definite time to begin floating. In cold weather, it might be 3 hours; in hot weather, the concrete may stiffen very rapidly. However, when the water sheen has disappeared, when the concrete will support the weight of a man (a footprint leaving a very slight indentation on the surface), and when mortar is not thrown by the rotating blades, the concrete is ready to be floated. Floating should start along walls and around columns and then move systematically across the surface, leaving a matte finish.

Fig. 24. Control joints can be made by a power saw. These joints induce straight-line cracking at predetermined locations.



Marks left by the edger should be removed by floating. During the interval between power-floating and the first power-troweling, a steel hand trowel should be used along the edges to give an improved surface and keep the concrete level with the side forms.

Jointing

While the edging is being done, or immediately after, the joints should be made. Jointing is a most important finishing step since proper jointing can eliminate unsightly random cracks.

Control joints are made with a hand groover, a preformed insert, or a power saw. The joint extends into the slab one-fourth of the slab thickness. A cut this deep weakens the slab and induces a crack to form beneath the joint where it is not visible.

When a hand groover is used, its thin bit must be deep enough to cut the slab one-fourth of the depth. As an alternative, a preformed insert can be pressed into the fresh concrete until the top is flush with the surface; finishing operations can then continue.

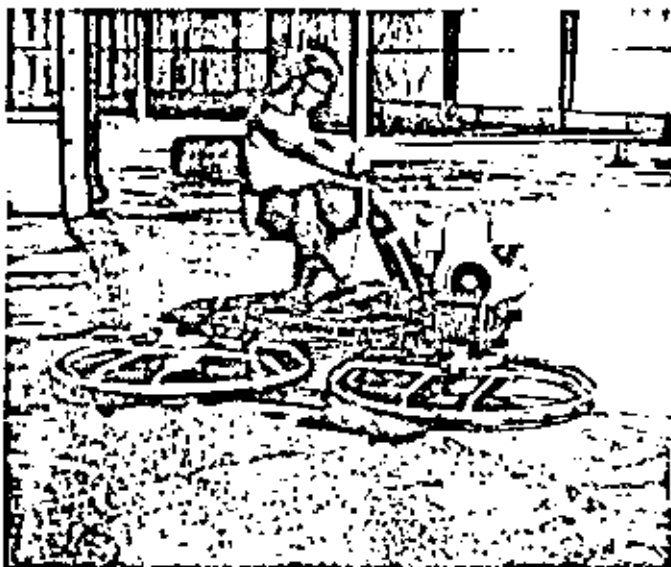
On large flat surfaces it may be convenient to cut joints with a power saw fitted with an abrasive or diamond blade (Fig. 24). Saw cuts must be one-fourth the slab thickness. Sawing usually begins as soon as the surface is firm enough so that it will not be torn or damaged by the blade, usually within 4 to 12 hours after the concrete hardens.

Troweling

A power trowel is the same as or similar to a power float except that it is fitted with smaller, individual steel trowel blades that are tilted slightly to exert more pressure on the surface. Generally, greater tilt will produce a smoother, more dense, burnished slab surface.

Power troweling should start when the excess moisture brought to the surface by initial power floating has evaporated and the concrete is not sticky (Fig. 25). The waiting time between floating and troweling depends upon the absence or presence of an admixture in the concrete

Fig. 25. Power troweling is begun when excess moisture brought to the surface by floating has evaporated and the concrete is not sticky. Two or more passes frequently are required.



and the ambient atmosphere at the surface.

Power troweling should be done in a systematic pattern. Two or more passes frequently are required to increase the compaction of fines at the surface and give greater resistance to wear. Time must be allowed between each troweling for the concrete to stiffen and the water sheen to disappear. The tilt of the trowel blades should be increased with each pass to exert additional pressure as the concrete hardens. Each successive troweling should be made in a direction rotated 90 degrees from the previous pass.

Curing

Curing the concrete has a large influence on the strength, wear resistance, final quality, and performance of the wearing surface. When done correctly, curing reduces the risk of cracks, crazing, curling, and dusting.

The purpose of curing is to maintain the favorable conditions under which concrete hardens and continues to gain its full strength and wear-resistance properties by keeping it moist and warm. A concrete floor slab has a large surface area exposed to drying in relation to the volume of concrete to be cured. This means that water will evaporate very quickly from an unprotected surface causing early drying and leaving a weak, cracked, crazed, dusting floor. Prompt and adequate curing, therefore, is mandatory. The slab should be continuously moist-cured for 7 days.

Three alternate methods for curing are suggested:

(1) Wet-cure by fully covering the surface with wet burlap as soon as it can be placed without marking the surface (Fig. 26). Keep the burlap continuously wet and in place as long as possible.

(2) Wet-cure by fully covering the surface with plastic sheeting or waterproof paper as soon as it can be placed without marking the surface (Fig. 27) and keep the sheets in place as long as possible.

(3) Seal the surface by spraying a liquid-membrane-curing compound on the finished surface. The curing compound should be of a type that leaves no permanent discoloration on the surface and does not interfere with

Fig. 26. One method of wet-curing is to completely cover the surface with wet burlap, keeping it continuously wet during curing period.

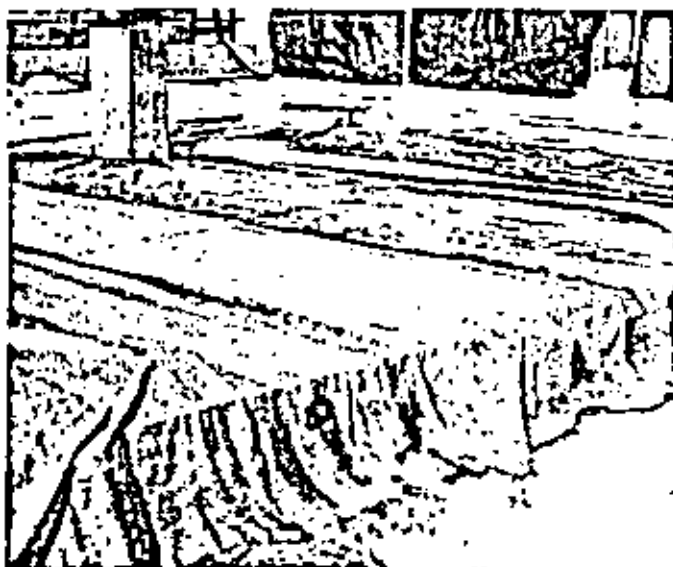




Fig. 31. Joints can be refilled with flexible sealant.

Patching Spalls

Spalling occurs when fragments of concrete are dislodged from the slab at the joint edges, usually from the repeated impact of hard wheels moving across the joint.

The procedures for bonded patching should be used to repair spalls. The spalled concrete should be removed to at least a 2-in.-minimum depth, and the area blown clean. A coating of bonding grout should then be applied and the patching mortar compacted into place, finished, and wet-cured. The joint can be reformed by placing in the joint groove a thin strip of wood, metal, or plastic that has been coated or covered with a bond-breaking material. The patching mix should then be compacted from one or both sides against the form.

Individual spalls that occur on both sides of a joint can also be repaired by patching the entire cavity and reforming the joint with a saw cut as soon as possible after the patch is placed. The joint in the patch must be equal in width to the old opening and it must be to the full depth of the patch to avoid subsequent spalling.

There is a lesson to be learned from the patching and repair of concrete floors: At the time a new building is constructed, it is *essential* that the concrete work be properly designed and executed and that the quality of the concrete work be correct for the intended use. If the lesson is ignored, then great annoyance and expense can arise from the resultant repairs.

TR4013.33

S6

Spears, Ralph E.

Concrete floors on
ground.