

3 87015

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"EMPLEO DEL HULE-ASFALTO EN PAVIMENTOS"

TESIS PROFESIONAL
 QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
 INGENIERO CIVIL
 P R E S E N T A
 José de Jesús de la Cruz Gutiérrez
 GUADALAJARA, JAL. 1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

PAGINA.

I) INTRODUCCION.

1.1) GENERALIDADES.	1
1.2) CARACTERISTICAS DEL HULE RECICLADO	5
1.3) PROCESO DE RECICLADO DEL HULE.	11
1.4) PRINCIPALES APLICACIONES DEL HULE- ASFALTO EN PAVIMENTOS.	19
1.5) HISTORIA DE LAS APLICACIONES DEL - HULE-ASFALTO.	22
ANEXO I'	31

II) APLICACIONES DEL HULE ASFALTO EN PAVI-
MENTOS.

2.1) SISTEMAS DE MEMBRANAS DE HULE-AS- FALTO.	
2.1.1) El problema del agrietamien <u>to</u> en pavimentos.	33
2.1.2) Algunos métodos empleados- en el control de las grietas de reflexión.	38
2.1.3) Empleo de las membranas de hule-asfalto en la rehabi- litación de pavimentos.	40
2.1.4) Tipos de membranas de hule- asfalto.	41
2.1.5) Membranas intercapa parcia <u>les</u> .	45
2.1.6) El uso del concreto asfál- tico de granulometría ---	

abierta modificado con hule en la reducci3n del ruido	48
2.1.7) Criterio para elegir entre una membrana disipadora de esfuerzos (SAM) y una membrana intercapa disipadora de esfuerzos (SAMI)	50
2.1.8) Ventajas obtenidas del empleo de membranas de hule-asfalto.	52
2.1.9) Limitaciones de las membranas de hule-asfalto.	55
2.1.10) Estudio de membranas de hule-asfalto empleando modelos matemáticos.	57
2.2) CONSTRUCCION DE LAS MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.	62
2.2.1) Tratamientos superficiales	
2.2.2) Concreto asfáltico modificado con hule.	80
2.2.3) Control de calidad.	85
2.3) EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.	87
2.4) INDICACIONES IMPORTANTES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE HULE-ASFALTO.	90
2.5) PREPARACION DE LA SUPERFICIE QUE HA DE RECIBIR UN TRATAMIENTO DE HULE-ASFALTO (SAM O SAMI)	94
2.6) PROCEDIMIENTO DE SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS USANDO AL HULE-ASFALTO	

TO COMO MATERIAL SELLADOR.	101
ANEXO II'.	112

III) COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE HULE-ASFALTO.

3.1) EL MECANISMO DE REACCION ENTRE EL ASFALTO Y EL HULE.	117
3.2) PROPIEDADES REOLOGICAS DE LAS-MEZCLAS DE HULE-ASFALTO.	121
3.3) FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RE-CUPERACION ELASTICA DE LAS MEZ-CLAS DE HULE-ASFALTO.	125
3.4) EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTI-CULA DE HULE Y EL TRATAMIENTO-TERMICO EN LA TENACIDAD DEL AS-FALTO.	131
3.5) METODOS DE PRUEBA PARA MEZCLAS DE HULE-ASFALTO.	133
3.5.1) Propiedades que han de-ser evaluadas en los in-gredientes.	133
3.5.2) Propiedades que han de-ser evaluadas en la mez-cla de hule-asfalto.	133
3.5.3) Principales métodos de-prueba para los materia-les de hule-asfalto (en uso)	133
3.5.4) Métodos de prueba de hu-le-asfalto propuestos - para futura investiga--ción.	146

IV) ESPECIFICACIONES.

4.1) Prólogo.	159
4.2) Membrana disipadora de esfuerzos (SAM).	160
4.3) Membrana intercapa disipadora de esfuerzos (SAMI)	172
4.4) Concreto asfáltico modificado -- con hule.	182
4.5) Capa antiderrapante de concreto-asfáltico de granulometría abierta con ligante de hule-asfalto.	190
4.5) Sellado de grietas y juntas.	203

V) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 212BIBLIOGRAFIA. 214

I) INTRODUCCION.

1.1) GENERALIDADES.

¿QUE ES EL HULE ASFALTO?

El término genérico de hule-asfalto ha sido aplicado en años recientes a una variedad de productos que contienen asfalto y hule (de un 15 a 33% en peso del total de la mezcla)-y frecuentemente un diluyente o revitalizador (de 2 a 4% en peso del total de la mezcla). El hule empleado proviene de la molienda de llantas neumáticas de desecho.

El producto de hule-asfalto es obtenido mezclando el hule y el asfalto en caliente a una temperatura lo suficientemente grande para provocar la dilatación de las partículas de hule.

El término hule-asfalto también se aplica a mezclas de concreto asfáltico modificado con hule en que el producto es elaborado por adición de hule molido con agregados minerales al asfalto en un proceso de mezclado en planta.

Otras definiciones conocidas del hule-asfalto son:

A) Es una mezcla de cemento asfáltico, hule de llanta reciclada y ciertos aditivos. El componente de hule es --- cuando menos el 15% en peso del total de la mezcla y es reaccionado en el asfalto caliente lo suficiente para -- causar la dilatación de las partículas de hule.

B) De acuerdo al proceso de Mc Donald (pionero del hule-asfalto):

Es un producto formado por 75% de cemento asfáltico mezclado en caliente con 25% de hule de llanta molida para establecer una reacción y diluido con keroseno para faci

litar su aplicación.

C) De acuerdo al proceso de la Refinería de Arizona ---- (1975):

Es un producto formado por cemento asfáltico caliente - mezclado con 18 a 22% de hule molido y diluido con un re vitalizador para facilitar su aplicación.

Es importante indicar que desde la reacción entre el hule y el asfalto las propiedades físicas y químicas del nuevo-producto se ven afectadas tanto por las propiedades del hule-como del asfalto.

En la práctica la proporción entre los componentes de la mezcla de hule-asfalto es variable dependiendo de las especificaciones de cada fabricante y de las propiedades deseadas - para cada aplicación en específico.

¿EN QUE PAISES SE UTILIZA EL HULE-ASFALTO?

Principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica --- (donde tuvo su origen y desarrollo), Canadá, Alemania Occidental, Bélgica, Francia, Suiza, Suecia, Sudáfrica y Australia y Nueva Zelanda.

¿EN QUE SE EMPLEA EL HULE-ASFALTO?

En calles y caminos.
puentes
superficies recreacionales y deportivas
pistas de aterrizaje
techos
geomembranas

¿QUE VENTAJAS SE OBTIENEN DE AGREGAR HULE A LOS ASFALTOS CON-

VENCIONALES?

Se mejora la flexibilidad
 la susceptibilidad térmica
 la resiliencia
 la adhesión
 la resistencia al flujo y ruptura y se obtiene un material más impermeable y anticorrosivo.

Lo anterior se traduce en un material de mayor durabilidad (hasta el doble de vida de los asfaltos convencionales), cuyo uso disminuye grandemente la necesidad del mantenimiento, sobre todo en calles y caminos en que es tan frecuente.

¿PORQUE UTILIZAR HULE RECICLADO PARA PRODUCIR HULE ASFALTO?

En primer término el empleo de hule reciclado resulta -- más económico que el utilizar hules nuevos.

Además el emplear el hule reciclado en la elaboración de hule-asfalto resulta una buena alternativa para acabar con el problema ecológico que representan las llantas de desecho. Como es sabido las llantas de desecho no son biodegradables y no pueden ser quemadas sin causar la contaminación del aire; ni enterradas pues tienden a emerger a la superficie.

En el caso de los Estados Unidos se estima que anualmente se desechan 200 millones de neumáticos y que menos del --- 10% de éstas es reciclado (desvulcanizando la mayoría de llantas) para emplearlo en la elaboración de productos convencionales de hule como llantas y mangueras.

¿ES MAS COSTOSO EL HULE-ASFALTO QUE EL ASFALTO CONVENCIONAL?

El costo mismo del hule junto con el costo extra de mez-

clarlo con el asfalto caliente o agregarlo a la planta de mezclado del concreto, invariablemente incrementa el costo del hule-asfalto cuando se compara con el asfalto.

Sin embargo, aun cuando el costo inicial del hule-asfalto es mayor que el asfalto tradicional (estimado en un 50% más, aunque puede haber pequeñas variaciones dependiendo de cada aplicación en especial), éste resulta más que amortizable al proporcionar el hule-asfalto una vida útil mayor y reducir el mantenimiento.

1.2) CARACTERITICAS DEL HULE RECICLADO.

HULE DE LLANTA RECICLADO.

El hule que sea empleado para la producción de hule asfalto provendrá del procesamiento de las llantas de automóviles, camiones y autobuses. Las llantas, no neumáticas, de equipo de movimiento de tierras, de aviones y otras llantas no automotivas y fuentes de hule que no sean llantas serán excluidas.

La razón de elegir el hule de desecho de un grupo definido de llantas es debido principalmente a que estas fuentes de suministro han sido ampliamente estudiadas y se tiene garantía de que se inclusión en la elaboración del hule-asfalto producirá los resultados deseados (ya predecibles), en cambio del grupo excluido no se tiene aun información que garantice el comportamiento deseado en el producto resultante.

De acuerdo al tamaño de las llantas recicladas éstas -- pueden clasificarse como:

Llantas de automóvil: son llantas con un diámetro exterior de 26 pulgadas (66 cm) usadas por automóviles, --- pick ups y camiones ligeros.

Llantas de camión: son llantas con un diámetro exterior mayor de 60 pulgadas (66 cm) y menor de 60 pulgadas --- (152 cm) usadas por camiones pesados y autobuses.

La razón primordial de hacer la distinción entre las -- llantas de automovil y las llantas de camión es que las llantas del primer tipo (menor de 26") son fabricadas predominantemente con hule sintético y la composición química del hule derivado de ellas será diferente del reciclado de las llan--

tas de camión, en que una proporción importante de hule natural es incluida en su composición.

Hule natural: Es extraído de la savia del árbol del hule --- (Castilloa elastica) árbol descubierto en Sudamérica. Sin embargo existen otras especies de donde se extrae el hule como la Herea brasiliensis y la Ficus elastica, desarrollados en países tropicales.

Hule sintético: es producido artificialmente a partir de sub productos del petróleo.

Aunque hay muchos tipos y grados de hule sintético el tipo más usado en la fabricación de llantas es un copolímero de estireno y butadieno (SBR).

De acuerdo a la fracción de llanta que es aprovechada durante el proceso de reciclado el hule puede ser:

Hule de llanta entera: cuando incluye el piso y paredes laterales de la llanta en proporciones que aproximan los pesos respectivos en una llanta promedio. Estas proporciones son aproximadamente 1/5 de piso y 4/5 de pared lateral en peso total de la pieza.

Hule de piso: cuando consta primordialmente de hule de piso o huella con menos del 5% de hule de pared lateral.

El hule de llanta entera, a pesar de tener una constitución más heterogénea que el de piso, proporciona un hule reciclado más compatible.

PROCESAMIENTO DEL HULE.

La operación de reciclado del hule consiste básicamente

en triturar o moler en varios ciclos las llantas neumáticas limpiando el hule en diversas etapas hasta llegar a un hule granulado exento de partículas extrañas. El hule resultante puede dejarse granulado, si se va a emplear para producir hule-asfalto; o bien laminarse o extruirse, para ser destinado a otros usos.

Dependiendo del futuro comportamiento que se desee en el hule reciclado, éste puede ser o no ser sometido a tratamientos especiales durante la operación de reciclado. De ahí que haya hules vulcanizados y hules desvulcanizados (despolimerizados); y hules molidos a temperatura ambiental y hules molidos criogénicamente.

HULE VULCANIZADO:

Es el hule que no ha sido sujeto a un tratamiento de calor, presión o acción de agentes de reblandecimiento después de la molienda para alterar las propiedades del material reciclado.

El hule vulcanizado puede ser cualquier tipo y producto de hule reciclado que es simplemente reducido en tamaño por molienda al pasar la criba deseada. Excepto por el tamaño, éste conserva las propiedades físicas y químicas originales del material de desecho del cual fue derivado.

Cuando se fabrican llantas neumáticas, el hule que las ha de constituir, ya sea natural o sintético, es sometido a un proceso de vulcanización que consiste en combinar el hule con azufre a temperaturas superiores a los 115°C a fin de obtener las propiedades deseables en una llanta (reducción de susceptibilidad térmica, elasticidad, tenacidad, resistencia a los rayos solares, etcetera).

HULE DESVULCANIZADO:

Es el hule que ha sido sometido a tratamiento de desvulcanización o regeneración de los componentes de hule a su estado plástico original por medio de calor, presión y/o adición de agentes de reblandecimiento. De este modo las propiedades químicas del material de desecho son alteradas, obteniéndose un hule más suave y flexible y de mayor solubilidad en el asfalto caliente.

El hule desvulcanizado es también conocido como hule recuperado.

HULE MOLIDO A TEMPERATURA AMBIENTE:

El hule es reducido en tamaño por trituración. La superficie resultante de las partículas de hule es muy áspera debido a la característica no cristalina del componente de hule (superficie de aspecto esponjoso).

HULE MOLIDO CRIOGENICAMENTE:

El hule es molido o procesado por debajo de la temperatura de ruptura del hule. Esto producirá partículas de hule limpias uniformes.

Al emplear hule molido criogénicamente en la producción de hule-asfalto la velocidad de reacción del hule con el asfalto se reducirá (comparado con la velocidad de reacción en una mezcla que incluye hule molido a temperatura ambiente).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE HULE.

HULE NATURAL:

Ventajas: - Gran elasticidad.

- Mayor solubilidad en el asfalto (que el hule sintético).

Desventajas: Su susceptibilidad a la temperatura

- Envejece rápido.

HULE SINTETICO:

- Ventajas; - Gran resistencia a los solventes orgánicos.
- Menor oxidación que el hule natural.
 - Menor permeabilidad a los gases que el hule natural.
 - Gran resiliencia.

Desventajas: - Baja solubilidad en asfalto

- Baja elasticidad.

HULE DESVULCANIZADO*.

Ventajas sobre el hule vulcanizado:

- Mayor dispersión en el asfalto lo que implica una mayor solubilidad en el asfalto (pues las partículas -- son predilatadas).
- Reduce el empleo de solventes (como revitalizadores)
- Gran adhesión
- Más blando (flexible).

Desventajas: - Baja tenacidad

- Baja resiliencia.

* Al hacer referencia al hule desvulcanizado como tipo de hule es únicamente para distinguir entre un hule reciclado que no ha cambiado sus propiedades químicas y un hule que

si ha sufrido variación en sus propiedades químicas al ser - recuperado (desvulcanizado).

Debido a las limitaciones de cada tipo de hule por su - naturaleza y procedimiento de reciclado empleado, principalmente en la práctica se hace necesario utilizar diferentes - proporciones de cada clase de hule para lograr una mezcla de hule-asfalto con las características deseadas.

La descripción efectuada en esta parte del componente - hule que ha de integrar la mezcla de hule-asfalto puede quedar sintetizada en tres características, determinantes en el comportamiento del producto de hule-asfalto.

- 1) Composición química.
- 2) Tamaño de la partícula.
- 3) Morfología (estructura de la partícula)

1.3) PROCESO DE RECICLADO DEL HULE.

Método de Reciclado Continuo (ver fig. I-1)

El proceso que a continuación se describe corresponde a uno de los más empleados en los Estados Unidos para obtener hule granulado de alta calidad.

Procedimiento:

a) Las llantas de hule recolectadas por ganchos transportadores son alimentadas a un triturador de rodillos corrugados (1). El material en esta primera etapa de triturado es cribado (2) y el retenido es alimentado nuevamente al triturador hasta lograr que pase las cribas.

b) El hule triturado es pasado por un separador magnético (3)- a fin de empezar a retirar material magnético-y nuevamente cribado (4). En esta etapa se pretende separar la tela del hule; la tela es extraída mediante un aspirador y pasada a través de un separador magnético (5) en que los residuos metálicos que aún quedan en la tela son retirados. De inmediato la tela es pasada a través de una trituradora de martillos (6) y a un agitador (7), en que el hule que aún queda adherido a la tela es separado y enviado a las tablas de separación de aire (9); en tanto las fibras de la tela recolectada son enviadas a un embalador de textiles.

c) El hule cribado (4) es enviado a tablas de separación de aire (8), aquí el textil que aun se mantenga es retirado y enviado al separador magnético (5). Después de este punto el hule estará libre de fibras textiles.

d) El hule-libre de fibras- es pasado a través de un se

parador magnético (10) y luego a través de un molidor fino - (11)- de rodillos muy cerrados- y conducido a un harnero --- (12). El hule habrá de ser reciclado hasta 20 veces por el molidor fino hasta alcanzar la granulometría fina requerida. Una vez que el hule molido ha salido del harenero es conducido a un separador magnético (13).

e) El hule granulado pasa a través de un separador de material extraño (14), en que partículas no magnéticas, vidrio y otros agentes extraños son retirados. Después de este punto la fracción de hule que no vaya a ser desvulcanizada es separada para ser empacada.

f) Las partículas de hule que serán desvulcanizadas son alimentadas en flujo continuo a un mezclador (16) en que el hule es mezclado con agentes químicos recuperantes (17). Los agentes químicos son agregados mediante bombas de proporción y alimentadores mecánicos a fin de tener precisión en la dosificación. A la salida del mezclador el hule es pasado a -- través de un separador magnético.

g) El hule granulado o molido es alimentado a un recuperador, dispositivo sofisticado que permitirá recuperar el hule completamente; ésto es, se obtendrá un hule de iguales características al que tendría el hule original antes de vulcanizarse.

En el recuperador el hule es básicamente sometido a un tratamiento térmico. La temperatura se mantiene constante mediante el aceite transferidor de calor que se encuentra en la camisa del recuperador.

El proceso de recuperación del hule dura aproximadamente 24 minutos (hace algunos años desvulcanizar el hule requiere

ría hasta 24 horas).

Un recuperador normal (de 6") tiene una producción aproximada de 300 libras por hora de hule desvulcanizado. Sin embargo, en la práctica es posible integrar al sistema de reciclado del hule varios recuperadores a fin de incrementar la producción.

El producto finalmente recuperado de hule puede laminarse (20) o extruirse (21) cuando el hule sea destinado a ---- otros usos, que no sea la producción de hule-asfalto; y simplemente empacarse en sacos, para su aprovechamiento en la elaboración de hule-asfalto.

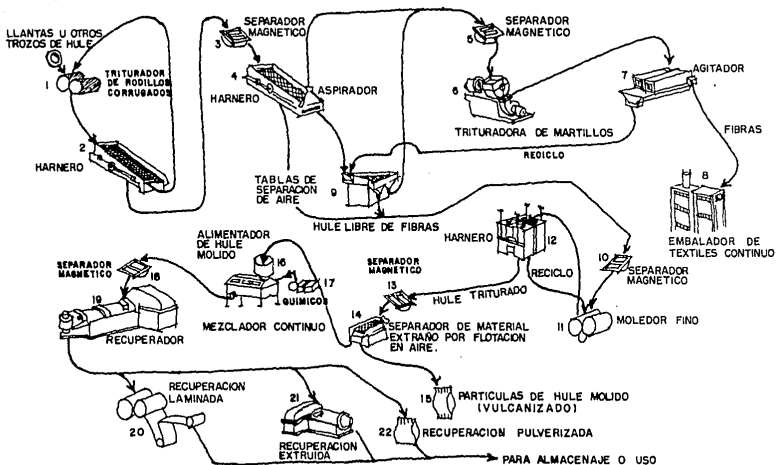


FIG. 1-1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE RECICLADO CONTINUO DEL HULE (REF. No. 37)

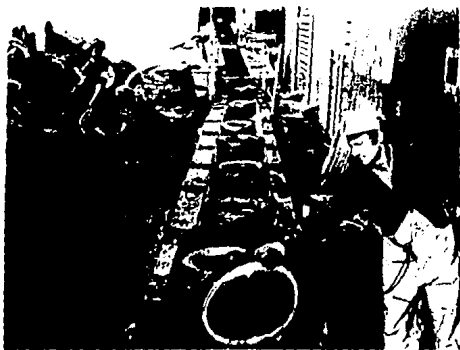


FIG I-2 las llantas de automotores son conducidas al triturador primario.
(ref. # 87)



Fig I-3
Triturador primario
(de rodillos corrugados)
(ref. # 87)

Fig I-4

Harnero en plena operación de cribado de los trozos de hule producidos en la trituración primaria.
(ref. # 87)

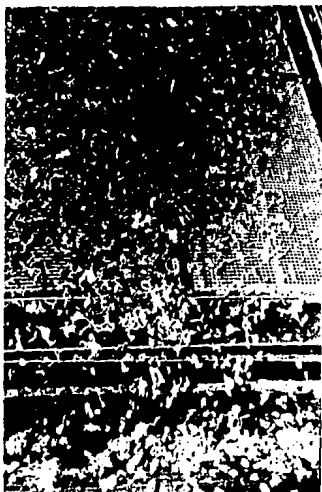


Fig I-5

Moledor fino.
Se encarga de reducir al tamaño último las partículas de hule. (ref. # 87)

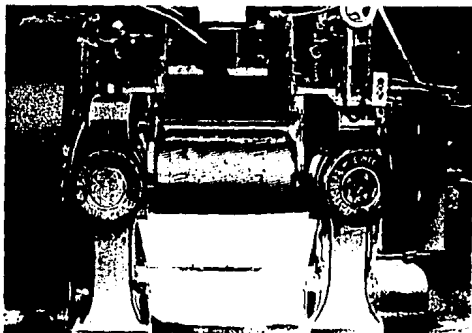
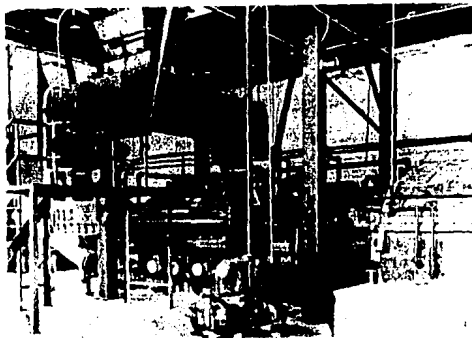


Fig I-6
Mezclador continuo.
Aquí el hule molido
es mezclado con com
puestos químicos an
tes de ingresar al-
recuperador.
(ref. # 87)



Fig I-7
Recuperador. En esta
máquina el hule es -
desvulcanizado.
(ref. # 87)



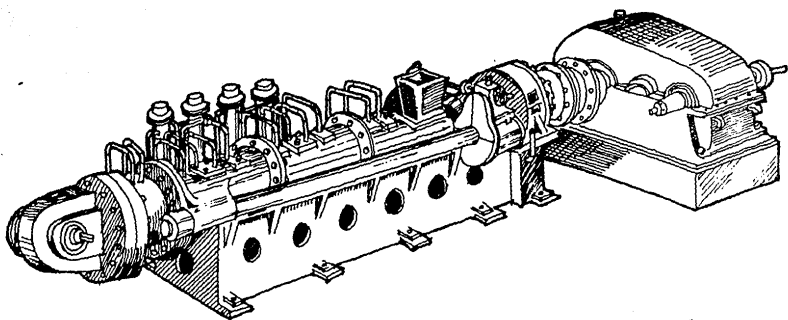


FIGURA 1-8 **RECUPERADOR DE HULE**

(REF. 07)

1.4) PRINCIPALES APLICACIONES DEL HULE-ASFALTO EN PAVIMENTOS.

Las principales aplicaciones del hule-asfalto en pavimentos son:

A) Como Membrana Disipadora de Esfuerzos (SAM).

SAM (Stress Absorbing Membrane) constituye simplemente un tratamiento superficial formado por la aplicación -- por riego de una cantidad de diseño de hule-asfalto se guida de la distribución y compactación de una capa de material pétreo. El riego de sello resultante es utili zado como superficie de rodamiento.

B) Como Membrana Intercapa Disipadora de Esfuerzos ---- (SAMI).

SAMI (stress Absorbing Membrane Interlayer) resulta de la aplicación por riego de una cantidad de diseño de li gante de hule-asfalto sobre una superficie de pavimento existente (ya sea concreto hidráulico o asfáltico) se-- guida por la distribución y compactación de una capa de material pétreo. El riego de sello resultante es utili zado como una intercapa entre el pavimento existente y una sobrecapa de concreto hidráulico o asfáltico.

El término "Disipadora de Esfuerzos" se refiere a la ca pacidad del hule-asfalto de controlar uniformemente los esfuerzos inducidos al pavimento por cargas y variaciones térmicas.

C) Como Ligante en el Concreto Asfáltico.

El cemento asfáltico convencional empleado como ligante

en la producción de concreto asfáltico es reemplazado - por el hule-asfalto.

D) Como sellador de Grietas y juntas.

E) En suelos expansivos Impermeables.

Esta aplicación del hule-asfalto concierne principalmente al control de suelos arcillosos sobre los cuales esté desplantada la subrasante de un camino.

Luego de que el suelo expansivo es llevado a su humedad óptima es encapsulado por una membrana de hule-asfalto-impermeable que debido a sus características permite -- que el suelo se mantenga estable.

Las ventajas y características de las aplicaciones del hule-asfalto en pavimentos serán detalladas en el próximo ca pítulo.

OTRAS APLICACIONES VINCULADAS CON EL MEDIO INGENIERIL.

F) En Cubierta de Puentes.

El hule-asfalto impermeabiliza las cubiertas de los --- puentes para proteger tanto al concreto del deterioro, - como al acero de la corrosión.

G) *En Techos.

Debido a la resistencia al agrietamiento y al envejecimiento que posee el hule-asfalto ofrece una buena alternativa para el impermeabilizado de techos.

H) Como Geomembrana.

Puesto que el hule-asfalto forma una membrana no porosa, impermeable, sin costura y de gran resistencia química este material representa una buena opción como recubrimiento en lagunas de tanques de desecho y estanques de evaporación, principalmente.

1.5) HISTORIA DE LAS PRIMERAS APLICACIONES DEL HULE-ASFALTO.

La información que a continuación se proporciona constituye un resumen de las primeras experiencias de los ingenieros norteamericanos en la aplicación del hule-asfalto. Gran parte de estos esfuerzos fueron desarrollados en Arizona.

Para finales de los años 20's los pavimentos flexibles fueron muy populares en los Estados Unidos debido a su bajo costo. Sin embargo, pronto aparecieron fallas de fatiga por deflexiones elásticas en los pavimentos y hubo necesidad de destinar muchos de los estudios de caminos a la medición de deflexiones y a incrementar la flexibilidad de los pavimentos agregándoles pequeñas cantidades de costosos aditivos, tales como el hule natural desvulcanizado o látexes a las mezclas asfálticas. Debido al rápido incremento en la viscosidad de la mezcla conforme el porcentaje de hule era incrementado, se tenía que limitar la cantidad de hule en el asfalto lo cual daba un beneficio muy limitado. Además, los polímeros vírgenes eran susceptibles a la oxidación y los beneficios prácticos se perdían con el tiempo. La inestabilidad ante el calor del hule empleado (natural) también creó problemas con su uso. El sobrecalentamiento convertía al hule en un aceite, el cual únicamente servía para suavizar el asfalto; ésto limitó severamente la producción de hule-asfalto en calderas encamisadas o como un látex en emulsiones asfálticas.

Los resultados eran relativamente útiles y no se justificaba el costo adicional de agregar estos aditivos al asfalto. El problema requería de una solución proverbial, pues el incremento gradual del tráfico exigía una solución más urgente.

No fue sino hasta los 30's cuando el Ingeniero Charles H. Mc Donald, considerado hoy en día el padre de los sistemas

de hule-asfalto concebió la idea.

El Ing. Mc Donald se trasladaba de proyecto en proyecto-carretero llevando consigo una casa trailer, cuyo techo era - de fieltro asfáltico y tenía el problema que cuanto tiempo -- era movido este artefacto se producían grietas en el techo que difícilmente eran eliminadas con la aplicación del asfalto, - pues con el movimiento subsecuente reaparecían. Entonces el - Ingeniero probó con un costoso sellador de juntas elástico -- (cuyas características no son indicadas en las referencias -- consultadas) y lo aplicó como riego de sello sobre el techo de la casa-trailer, usando cenizas volcánicas de peso ligero-como agregado para material de sello. Este tratamiento puso - fin al problema de las goteras y al de los movimientos torsio nantes transmitidos al techo de la rugosidad de la superficie de rodado. Este material elástico absorbía los esfuerzos sin-producir ruptura.

Así pues, este principio de una capa delgada de sello -- elástico, era la respuesta al problema de las grietas piel de cocodrilo, causadas por fatiga en los pavimentos asfálticos.- No obstante, los materiales comerciales disponibles resulta-- ban demasiado caros para una solución práctica. El costo te-- nía que ser abatido y ésto requería investigación y prueba, - situación que era difícil para un ingeniero viajero, por lo - que no fue sino hasta principios de los 60's que el Ing. Mc - Donald, ya retirado de ingeniero viajero se le brindó la opor tunidad de trabajar en la División de Materiales del Departam- ento de Ingeniería de la Ciudad de Phoenix, Az.

Se puede afirmar que la investigación organizada del hule-asfalto, junto con instalaciones de campo, inició en 1964. Diferentes productos de hule fueron tratados; hules crudos -- desvulcanizados, hules vulcanizados, hules parcialmente poli-

merizados, hules solubles, latexes de hule y hules de llanta-integramente molidos (incluyendo la tela), tanto naturales como sintéticos.

A pesar de que en los primeros pasos de esta etapa de investigación se encontraron problemas muy similares en el hule asfalto producido con hule sintético que con el hule-asfalto-elaborado con hule natural; el hule sintético demostraba tener una mayor resistencia al calor y al intemperismo que los hules naturales. Sin embargo, el hule sintético carecía de la elasticidad y solubilidad en asfalto que tenía el hule natural.

A medida que el uso del hule se acrecentó las llantas de desecho fueron tomadas como una fuerte alternativa económica-para la producción de hule-asfalto.

Desde los primeros experimentos se demostró que las llantas podían ser molidas y mezcladas en caliente con el asfalto para producir un material de propiedades superiores al asfalto convencional.

Las primeras observaciones indicaban que las partículas de hule propiciaban al disolverse en el hule, la extracción de aceites quedando la superficie de las partículas como gel. Con el tiempo la dilatación de las partículas de hule era tal que las partículas de hule se unían entre sí con la matriz de asfalto para formar una lámina (membrana) de hule-asfalto que sería más resistente a los esfuerzos que producen agrietamiento en los pavimentos, que el asfalto mismo. No obstante, la extracción de aceites por las partículas de hule vulcanizado-afectó adversamente las propiedades de adhesión del asfalto, reduciendo su capacidad para adherirse a la superficie del pavimento existente o retener los partículas de agregados. La -

pérdida de adhesión que ocurría inicialmente en la etapa de servicio del pavimento, pudo ser contrarrestada utilizando asfaltos muy blandos, ricos en aceites; pero la mezcla resultante quedaba algo suave y sensible.

Además, fue encontrado que grandes cantidades de hule (más del 20%) eran requeridas para producir el efecto deseado.

En 1967 el Ingeniero en Materiales H. Brown, del Departamento de Carreteras de Arizona comprobó con ayuda de un experimento monitoreado, bajo condiciones severas, que la reducción de las grietas de reflexión están relación directa con el porcentaje de hule contenido en la mezcla asfáltica.

Posteriormente Mc Donald ideó un parche en frío prefabricado: "Band-aid" (venda adhesiva) que sería empleada en mantenimiento. Estas primeras "band-aids" eran fabricadas mezclando agregado con hule-asfalto caliente y esparciendo la mezcla sobre papel periódico. Fue rápidamente evidente que los sistemas más ligeros y económicos podían ser efectuados esparciendo primero el hule-asfalto y luego aplicando una leve capa de agregados experimentales. Antes de aplicar estos tratamientos se llevaba a cabo un riego de liga de asfalto emulsificado o diluido con solvente sobre el pavimento existente la "band-aid" se aplicaba algunas veces con el papel periódico hacia arriba y otras veces con el papel en la parte inferior; de cualquier modo se obtenían resultados igualmente buenos. Las "band-aids" se producían en tamaños adecuados al lugar por reparar o en rollos pequeños.

Las "band-aids" constaban de una fracción de hule de lianta molido (retenido entre las mallas 16 y 25) y cemento-asfáltico de la cuenca de Los Angeles. El contenido de hule-

era un 25% en peso del total de ligante de hule-asfalto. El hule y el cemento asfáltico eran reaccionados a aproximadamente 375°F por 20 minutos.

El paso más grande en esta etapa de investigación (iniciada en 1964) fue la sustitución de la aplicación manual -- del hule asfalto por la aplicación masiva con máquina. En experimentos manuales era sabido que la combinación óptima de hule y asfalto para prevenir las grietas de reflexión era -- aproximadamente de un tercio de hule y dos tercios de asfalto, en peso. Sin embargo, esta combinación después del calentamiento resultaba demasiado viscosa para ser aplicada por -- los distribuidores de asfalto tradicionales. Por consiguiente, la distribución del hule-asfalto fue ensayada con una máquina espaciadora de mortero (slurry seal). La primer aplicación con este equipo fue en 1968 en el aeropuerto internacional de Sky Harbor en Phoenix, Az. Otros proyectos grandes -- fueron efectuados empleando la máquina esparciadora de mortero, pero finalmente fue abandonado el uso de esta máquina -- pues no se lograba distribuir homogéneamente el hule-asfalto a todo lo ancho del tramo abarcado por este artefacto.

Posteriormente fueron construidos varios proyectos utilizando mezclas de hule-asfalto en proporciones de 75% asfalto y 25% de hule, en peso; tendientes a desarrollar un -- proceso de rociado del hule-asfalto. Uno de estos proyectos, construido en 1968, cubrió aproximadamente 2 1/2 millas de -- longitud de carreteras fronterizas y rampas de acceso a la -- super carretera de Black Canyon, en Arizona.

Otros proyectos importantes efectuados fueron: en el Aeropuerto Internacional de Sky Harbor, Az., la carretera No.-80 U.S.A. (cerca de Phoenix) y algunas calles importantes de la ciudad de Phoenix.

De 1968 a 1971, el desarrollo de los proyectos de hule-asfalto fueron orientados hacia el perfeccionamiento de los procesos de aplicación del hule-asfalto. Para ello el Departamento de Transporte de Arizona ubicó varias secciones experimentales en el Estado de Arizona, una de ellas fue la carretera Interestatal No. 40 (construido en 1971). En esta etapa uno de los principales problemas que se tuvieron fue la viscosidad demasiado alta del hule-asfalto; esta situación limitaba el uso de los distribuidores convencionales; pero finalmente fue solucionado empleando un diluyente del tipo del keroseno. Sin embargo, se tenía el problema de la blandura del hule-asfalto antes de curarse. La inclusión de fracciones de hule vulcanizado en la mezcla de hule-asfalto ayudaría a disminuir la necesidad de emplear diluyentes y a reducir un poco el porcentaje total de hule en la mezcla de hule-asfalto, posteriormente.

El efecto de extracción de aceites que era observado en el hule vulcanizado fue posteriormente explicado. Este fenómeno se presentaba en asfaltos que tenían un contenido bajo de aceites aromáticos, situación que producía la baja solubilidad del hule en el asfalto y por tanto baja adhesión.

Finalmente las limitaciones presentadas por los diferentes tipos de hule (hule desvulcanizado y hule natural y sintético vulcanizados) serían superadas al incluir fracciones apropiadas de cada tipo de hule en la producción de mezclas de hule-asfalto.

Tres proyectos importantes que desarrolló el Departamento de Transporte de Arizona (de 1971 a 1973) con membranas de hule-asfalto fueron las siguientes:

Proyecto Minnetonka, 1971: En una sección de 13 millas-

de la carretera Interestatal No. 40 se incluyeron 26 secciones experimentales diferentes, tendientes a experimentar con materiales diversos, como parte de un programa de prevención de grietas de reflexión. Tres de estas secciones fueron aplicaciones de hule-asfalto, una como un riego de sello simple (SAM) y las otras dos como intercapas (SAMI). Las sobrecapas fueron de concreto asfáltico de 4" de espesor.

Las membranas de hule-asfalto (según evaluación de 1975) demostraron trabajar efectivamente; sobre todo las SAMI's que previnieron grietas de reflexión de todo tipo.

Proyecto Aguila (Unidad 1), 1972: Un tramo de 6 millas de la carretera U.S. 60, localizada a 90 millas al Este de -- Phoenix fue tratada con un riego de hule-asfalto (SAM).

El camino se encontraba fuertemente agrietado. Predominaban las grietas de contracción y de fatiga. El tráfico era pesado; y el clima era extremo (temperaturas hasta 114°F), como corresponde a una zona desértica.

El comportamiento de la membrana fue muy bueno, pues hasta 1980 no se habían reflejado grietas de fatiga en el pavimento; sin embargo, las grietas térmicas si se reflejaron a través de la membrana.

Proyecto Flagstaff, 1973: Este trabajo se aplicó en un tramo de 10 ± millas de la carretera U.S. 89 al norte de Arizona; en una zona montañosa de 7200 pies de altitud y de clima muy frío en el invierno (la temperatura desciende hasta --40°F).

La carretera, de superficie muy rugosa, mostraba grietas piel de cocodrilo muy severas y desintegración en algunas par

tes, debida a la susceptibilidad de la base al efecto de deshielo.

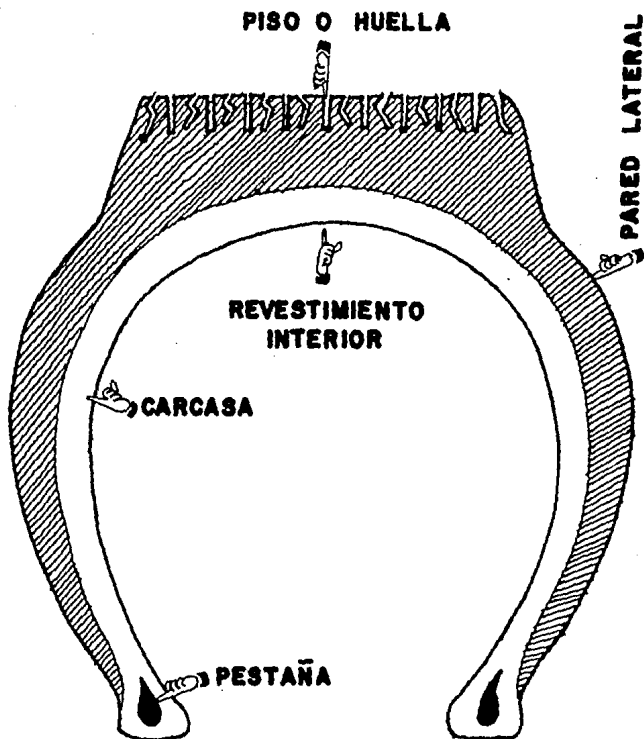
La razón de aplicación del hule-asfalto fue inferior a la óptima y cenizas volcánicas fueron empleadas como agregados.

La membrana funcionó a través del tiempo también como - en los dos proyectos antes mencionados.

A los proyectos anteriores se sumarían otros tantos que aportaron información importante sobre las membranas de hule asfalto.

Para 1974 la División de Proyectos de Demostración de - la Administración Federal de Caminos (FHWA) comenzó a in---cluir en los materiales asfálticos de sus proyectos hule reciclado. El propósito primario de este esfuerzo fue al fomentar el uso de los productos de hule-asfalto en operaciones - de construcción y mantenimiento de los caminos. Aunque también se perseguía apoyar el mercado del hule reciclado, pues eso ayudaría a aliviar el problema que representaba el eliminar los millones de llantas desechadas año tras año en los - Estados Unidos.

Desde 1976 a la fecha la Administración Federal de Caminos (FHWA) en coordinación con los Departamentos del Transporte de los diferentes estados de la Unión Americana y las agencias vinculadas con la producción de hule-asfalto ha llevado a cabo diversos proyectos de prueba, principalmente derehabilitación, en casi todas las entidades de los Estados - Unidos.



**DIFERENTES ELEMENTOS DE
UNA LLANTA**

(REF. 37)

EFFECTO DEL METODO DE PROCESAMIENTO DEL HULE



RASPADOS



MOLIDO AMBIENTALMENTE



MOLIDO CRIOGENICAMENTE

ANEXO I'

PRODUCTOS DE HULE RECICLADO PARA HULE-ASFALTO.

TABLA I'-1

COMPOSICION QUIMICA TIPICA (ref. # 37)

PORCIENTO	<u>LLANTAS ENTERAS</u>		<u>PISO PISO DE CAMION</u>		<u>LLANTA ENTERA</u>	
	<u>AUTO</u>	<u>CAMION</u>	<u>AUTO</u>	<u>MEZCLADO CURADO</u>	<u>DESUVULCANIZA- DA.</u>	
ACETONA EXTRAIBLE	19	12.5	21	16	18.5	20
CENIZA	5	5	5	4	4	20
NEGRO DE CARBON	31	28.5	32	30	32	20
<u>TOTAL DE HIDROCAR</u>						
BURO DE HULE	46	54	42	50	45.5	40
HULE SINTETICO	26	21	37	23	40.5	22
HULE NATURAL	20	33	5	27	5.0	18

TABLA I'-2

GRANULOMETRIA TIPICA.

PORCIENTO QUE PASA

TAMAÑO MALLA

No. 8 (2.36 mm)	100	—	—	—	—	100
10 (2.00 mm)	95-100	—	—	100	—	—
16 (1.18 mm)	—	100	100	95-100	100	—
20 (0.850 mm)	—	—	—	50-80	85-100	35-70
30 (0.60 mm)	0-10	60-90	95-100	25-55	40-80	30-55
50 (0.30 mm)	0-5	0-20	30-60	—	—	—
80 (0.180 mm)	—	0-5	15-35	—	—	—
100 (0.149 mm)	—	—	—	—	—	4-20
200 (0.075 mm)	—	—	0-10	—	—	—
Longitud (max) pulg	0.250	0.125	0.125	0.250	0.250	0.250

**II) APLICACIONES
DEL HULE-ASFALTO
EN PAVIMENTOS.**

2.1) SISTEMAS DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

2.1.1) EL PROBLEMA DE AGRIETAMIENTO EN PAVIMENTOS.

El mantenimiento de los pavimentos existentes es uno de los problemas más importantes que encaran los ingenieros de hoy.

El agrietamiento del pavimento y su subsecuente reflexión a través de la sobrecapa está directamente asociado con la deterioración del mismo y los problemas de mantenimiento.

La acción combinada de tráfico, sol, lluvia, heladas y humedad del suelo crean múltiples problemas. Problemas vinculados de manera directa con esfuerzos y subsecuentes deformaciones en la estructura del pavimento:

Los problemas generados por estas deformaciones en el pavimento son divididos en tres categorías:

- 1) Agrietamiento superficial del pavimento como resultado de esfuerzos de flexión repetidos.
- 2) Agrietamiento superficial del pavimento por esfuerzos de tensión directa (principalmente por cambios de temperatura/grietas térmicas).
- 3) Movimiento diferencial vertical entre las secciones de pavimento (agrietadas) independientes adyacentes.

Existe un problema especial que es el de la subrasante de arcillas expansivas y que se trata separadamente de los tipos de fallas "ordinarias"

El agrietamiento por fatiga, comprendido en el problema

l), resulta ser el más común y costoso. Dicho agrietamiento - está asociado a las deflexiones producidas (aprox. de 0.010") en la superficie de un pavimento flexible por la acción de -- las cargas repetitivas de los vehículos.

En la etapa inicial del agrietamiento por fatiga se manifiestan múltiples grietas de líneas delgadas en un patrón comúnmente llamado grietas piel de cocodrilo o "tela de gallinero". En escenas posteriores las grietas comienzan a hacerse más amplias y profundas permitiendo la entrada de partículas extrañas que reducen la adhesión entre las secciones del pavimento. Eventualmente trozos de pavimento se desprenden de la superficie, sobre todo en climas húmedos.

El problema de fatiga indudablemente es ocasionado por - falta de flexibilidad o elasticidad en el componente del pavimento flexible requerido para responder sin agrietamiento a - la naturaleza resiliente de la subestructura bajo la carga. - Esta resiliencia en la subestructura es debida, en algunos tipos de suelos, al aire atrapado en los poros del suelo y mantenido por la presión capilar de la humedad entre los granos de suelo. El efecto es más notable en suelos finos originándose un efecto neumático o "colchon de aire bajo la carga".

Existen dos medios constructivos para evitar daños en el pavimento donde hay subestructuras elásticas o resilientes. - Uno es incrementando la rigidez de la subestructura por estabilización de la base usando cemento, cal, materiales asfálticos u otros estabilizadores comerciales. El otro medio es diseñar una capa superficial de pavimento que pueda resistir -- más flexión y el agrietamiento por fatiga. Algunas veces esto se logra con el uso de asfaltos de grados más blandos o mezclas de concreto asfáltico de granulometría abierta con alto contenido de asfalto. Sin embargo, en los pavimentos flexi---

bles convencionales no se ha tenido mucho éxito, pues, particularmente en los climas fríos la flexibilidad del concreto - asfáltico es altamente reducida.

La reducción de la flexibilidad del pavimento a bajas -- temperaturas es consecuencia de las características de susceptibilidad a la temperatura de los asfaltos. Los asfaltos a altas temperaturas fluyen fácilmente pero a bajas temperaturas tienden a volverse quebradizos.

El problema 2), referente a los esfuerzos de tensión directa, ocurre tanto en pavimentos rígidos como flexibles. En los pavimentos rígidos se manifiesta inmediatamente después de la construcción del pavimento. En pavimentos flexibles se manifiesta después de cierto periodo de servicio, puede ocurrir en periodos tan cortos como tres meses y excepcionalmente durante la vida normal de diseño del pavimento.

La solución a este problema 2) es proporcionar, en el caso de los pavimentos rígidos, planos debilitados, de tal modo que las grietas ocurran en intervalos diseñados, en línea recta, eliminando el desconche potencial y dejando espacio suficiente para selladores que evitarán la entrada de humedad y partículas incomprensibles en las juntas.

En el caso de pavimentos flexibles la falla de tensión directa es de naturaleza diferente a la de los rígidos y puede ser asociada a una de las siguientes condiciones:

1) Las propiedades viscoelásticas del concreto asfáltico son tales que a bajas temperaturas su límite elástico es excedido.

2) La oxidación y otras acciones químicas disminuyen el-

límite elástico del concreto asfáltico y el pavimento se ----
agrieta como resultado de cambios de temperatura repetitivos.

3) Los cambios de volumen del material de subrasante y -
sub-base como resultado de la fluctuación de humedad y tempe-
ratura que originan esfuerzos bajo el concreto asfáltico que
exceden su resistencia a la tensión.

Diversas soluciones han sido experimentadas para elimi--
nar el agrietamiento por tensión en pavimentos flexibles con-
vencionales, pero lamentablemente no han sido infalibles.

El problema 3), movimiento diferencial vertical en las -
secciones del pavimento, ocurre después de que el pavimento -
ha sido agrietado, ya sea por falla a la flexión o a la ten--
sión. Este tipo de falla constituye el factor que causa de ma
nera directa la pobreza de la calidad de rodado del pavimen--
to.

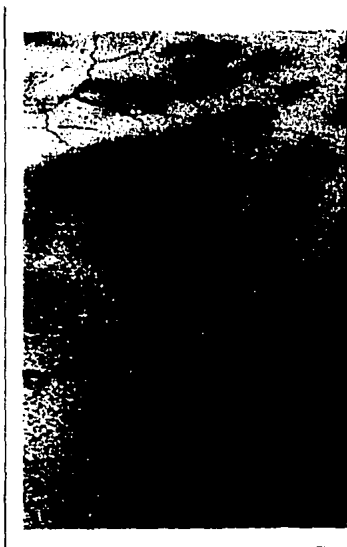


FOTO. II-1 Ejemplo de agrietamiento
por fatiga (ref. # 52)

2.1.2) ALGUNOS METODOS EMPLEADOS EN EL CONTROL DE LAS GRIETAS DE REFLEXION.

Durante mucho tiempo se experimentaron en los Estados -- Unidos algunos métodos para controlar el agrietamiento en los pavimentos, que en su mayoría resultaron poco exitosos; algunos de esos métodos consistieron en:

+ Uso de sobrecapas de concreto asfáltico. Esto incluía sobrecapas reforzadas con textiles y tela de alambre y - que recibían una capa de arena como rompedora de unión.

+Capas "alivia-grietas" de 3" de espesor de agregado de granulometría escasa (alto vacío).

+ Tratamientos superficiales con agregados de tamaño nominal de 2".

+ En pavimentos severamente dañados: romper la antigua - carpeta para construir una nueva capa de base y por ende una nueva carpeta asfáltica.

En el período en que surgieron los primeros proyectos experimentales de membranas de hule-asfalto (en la década pasada) en el Estado de Arizona E.U.A. fueron probadas varias alternativas para el control de las grietas de reflexión. (ver-historia de las primeras aplicaciones de hule-asfalto, cap.I). Dichas alternativas fueron:

+ Riego de sello de hule-asfalto (SAM)

+ Sobrecapa de concreto asfáltico con intercapa de hule-asfalto (SAMI)

+ Capa de asbesto + 3% de asfalto.

+ Escarificación en caliente (reciclado superficial).

+ Asfaltos de penetración de 200 a 300.

En superficies agrietadas en más del 10% la SAMI y la -
escarificación en caliente demostraron ser los tratamientos-
más apropiados.

Hasta la etapa de evaluación de las alternativas ante-
riores el uso de sobrecapas delgadas + tratamientos especia-
les había demostrado ser una buena alternativa para el con-
trol del agrietamiento de reflexión. Sin embargo, el alto --
costo de dichos "tratamientos especiales" impedía que el uso
de dicha opción fuera viable. Al encontrar que las membranas-
de hule-asfalto funcionaban satisfactoriamente en el control
del agrietamiento de reflexión la posibilidad de aplicar un-
medio de rehabilitación eficaz más económico había surgido.

Antes de proceder a la descripción de los sistemas de -
hule-asfalto es importante indicar que en el tiempo en que -
se llevaron a cabo los primeros proyectos de aplicación de -
hule-asfalto en pavimentos en el Estado de Texas, E.U.A. se-
había desarrollado una membrana muy semejante a la SAMI: la-
Intercapa de Realivio de Esfuerzos (Stress Relieving Interfa-
ce / SRI) , que consistía en un mortero fabricado con volúme-
nes iguales de hule molido, arena y emulsión asfáltica pero-
que a fin de cuentas mostró no ser tan eficaz como la SAMI.

2.1.3) EMPLEO DE LAS MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO EN LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS.

Con el propósito de modificar la susceptibilidad a la temperatura de los asfaltos y dar algo de elasticidad a un material que es esencialmente plástico se agrega hule al asfalto. Pues como es sabido la susceptibilidad térmica y plasticidad en los asfaltos contribuye al agrietamiento por fatiga y tensión directa (térmico).

Una reacción, que es dependiente del tiempo y la temperatura toma lugar bajo la adición de hule al asfalto caliente. La naturaleza exacta de esta reacción no ha sido determinada, pero se cree que únicamente una porción limitada de hule va disuelta en el asfalto. La mezcla resultante, hule-asfalto, es de consistencia similar a la de un mortero muy espeso con partículas perceptibles de hule en toda la masa.

La calidad elástica del hule-asfalto es probablemente debida a la acción mecánica de las partículas de hule indisueltas, como un "agregado" completamente elástico dentro del asfalto que es modificado por el hule disuelto. Las partículas de hule indisueltas sirven también como unidades de interferencia elástica para la propagación del agrietamiento.

Las membranas de hule-asfalto tendrán como objetivo principal redistribuir de manera uniforme los esfuerzos inducidos sobre el pavimento (ya sea por cargas o temperatura). Cuando la membrana funciona como intercapa (bajo una capa de concreto asfáltico) ésta sirve a la sobrecarga como soporte-elastomérico y es un aislante significativo entre la capa subyacente (por lo general capa superficial de pavimento dañado) y la sobrecapa.

2.1.4) TIPOS DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

Existen varios medios por los cuales los materiales de hule-asfalto son usadas para reducir y controlar el agrietamiento por reflexión. Todos ellos fundamentados en la capacidad del hule-asfalto de resistir altas tensiones bajo cargas sin quebrarse y bajo el rango de temperaturas a que normalmente está sometido el pavimento en condiciones de servicio.

Los tipos más usuales de membranas de hule-asfalto en pavimentos a continuación se mencionan:

MEMBRANA DISIPADORA DE ESFUERZOS (SAM):

Tratamiento superficial que constituye el medio más directo y sencillo de hule-asfalto para reducir el agrietamiento por reflexión en un pavimento agrietado, aunque también puede prevenir el agrietamiento si se emplea en la construcción de un pavimento nuevo.

Esta membrana, elaborada in situ, suple eficazmente a los riegos de sello convencionales (rebajados y emulsiones asfálticas).

El espesor de la membrana de hule-asfalto de 9 a 19 mm (0.35 a 0.75 pulg)-resulta ser mayor que el obtenido en los tratamientos superficiales convencionales situación que permite que la membrana de hule-asfalto -obtenida en un solo riego- admita más de una capa de agregados (p.e. estructura de agregados en multicapa).

MEMBRANA INTERCAPA DISIPADORA DE ESFUERZOS (SAMI).

Cuando se pretende rehabilitar pavimentos asfálticos o -

de concreto hidráulico agrietados mediante el empleo de una sobrecapa de concreto asfáltico, el hule-asfalto puede ser -- usado eficazmente para reducir el agrietamiento de reflexión-- aplicándolo como una membrana sobre el pavimento existente o-- simplemente como capa de renivelación antes la aplicación de-- la sobrecapa. El sistema resultante es llamado membrana intercapa disipadora de esfuerzos (SAMI) con espesor de 9 a 13 mm-- (0.35 a 0.50").

El procedimiento de aplicación de la SAMI es similar al-- empleado en la aplicación del SAM. No obstante, en el diseño-- del sistema SAMI es importante tomar en cuenta que esta mem-- brana tendrá que atenuar la tensión en el sentido horizontal-- y será capaz de transferir cargas verticales de modo que no -- ocurran deflexiones excesivas en la sobrecapa.

MEMBRANA DISIPADORA DE ESFUERZOS PRODUCIDA EN PLANTA.

Otra opción para la construcción de una membrana disipa-- dora de esfuerzos (SAM) es proporcionar y mezclar el material de hule-asfalto y los agregados en una planta de asfalto con-- vencional y aplicar la mezcla obtenida con una máquina espar-- cidora de concreto convencional. Las ventajas de este procedi-- miento se refleja en una mayor precisión en el proporciona-- miento de los materiales, una carpeta más uniforme e integra-- y en la factibilidad de aplicar la SAM para los espesores es-- pecificados.

A la fecha la razón de la mezcla de hule-asfalto y agre-- gados empleada ha sido 10:90 en peso, aproximadamente. En cam-- bio para el SAM producido en el lugar la razón de hule-asfal-- to a agregados es generalmente de 12:88, en peso.

En el caso de las membranas de hule-asfalto de granulome

tría abierta producidas en planta se ha encontrado que son mucho más efectivas que las carpetas producidas con asfalto convencional. Aunque las mezclas de granulometría abierta tradicionales por sí mismas han demostrado tendencias a suprimir - el agrietamiento en comparación con las mezclas de granulometría densa, es esperado que debido a las propiedades únicas - del hule-asfalto y su mayor proporción en relación al agregado, la SAM producida en el lugar servirá mejor en la reduc---ción de las grietas de reflexión. Sin embargo, el uso de la - SAM mezclada en planta es limitado cuando se requieren producir grandes cantidades de mezcla de hule-asfalto y agregados.

SAM CON CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL.

Esta membrana consiste en un recubrimiento de concreto - asfáltico de granulometría abierta producido en planta aplicado sobre el pavimento existente (agrietado) seguida de la --- aplicación del material de hule-asfalto. La capa de concreto-asfáltico (intermedia entre el pavimento existente y SAM) elimina las irregularidades en el pavimento original y elimina - la necesidad de una operación de sellado de grietas costosa.

Una vez que ha sido aplicada la capa de concreto asfáltico de granulometría abierta la construcción de la SAM podrá - llevarse a cabo sin requerir una preparación de la superficie como se describe más adelante.

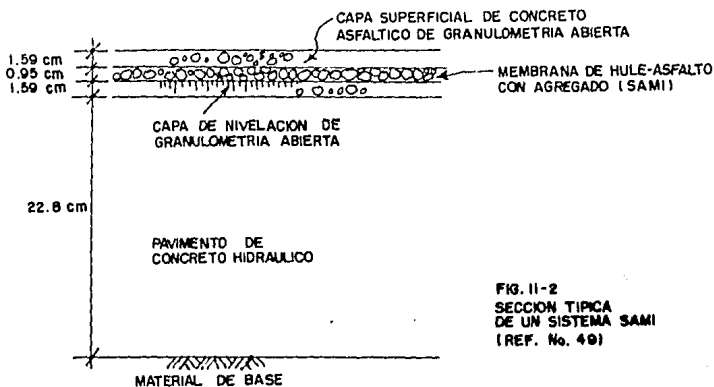


FIG. II-2
SECCION TIPICA
DE UN SISTEMA SAMI
(REF. No. 40)

2.1.5) MEMBRANAS INTERCAPA PARCIALES.

(Experiencia de Nueva Zelanda).

En algunos casos de pavimentos de concreto hidráulico -- las grietas que requieren tratamiento de membranas de hule-asfalto están ampliamente espaciadas. Esto es típico en el --- agrietamiento por contracción, en el longitudinal y en el de-reflexión en sobrecapas de pavimentos rígidos. En tales situaciones, el costo de una membrana completamente continua puede parecer injustificado, y el uso de membranas intercapa parciales o vendas de grietas (como comunmente se conocen) representa una buena opción para lograr ahorros significativos sobre-los costos de rehabilitación.

El ancho de la venda, que normalmente varía de 200 a --- 600 mm, será proporcional a la amplitud de la grieta.

La razón de aplicación de hule-asfalto es de 2 a 3 L/m²; y el espesor de la sobrecapa es de aproximadamente 20 mm.

Es conveniente apuntar que juntas o grietas mayores de - 15 mm de ancho no pueden ser rellenadas con el mismo material de la membrana usada como intercapa y se hace necesaria la inserción de un sellador espeso a un atiesador de placa.

Es recomendable la aplicación de una capa de agregados - sobre la membrana intercapa.

DISEÑO DE LA VENDA: El efecto de la venda fue estudiado analiticamente para desarrollar guías racionales de diseño. Se demostró que el desplazamiento neto en las discontinuidades es-distribuido de manera uniforme sobre el ancho de la venda. Para propósitos de diseño el ancho de venda (W) en la sobrecapa puede ser calculada del movimiento máximo de la grieta es-

timado (X) y de la deformación crítica (e) como sigue:

$$W = \frac{X}{e}$$

Niveles típicos de deformaciones de seguridad son, por ejemplo, de 400×10^{-6} en mezclas de granulometría abierta y 6000×10^{-6} en concreto hidráulico. Lo cual incluye el factor de seguridad recomendable: 2.

En situaciones donde los movimientos son debidos principalmente a contracción y expansión térmica (lo cual se aplica al agrietamiento de mapa en asfaltos envejecidos, para materiales tratados con cemento portland y a losas de concreto hidráulico), el ancho de diseño de la venda es dado por la siguiente ecuación de acuerdo a estimaciones teóricas para una sobrecapa de 40 mm de espesor:

$$W = K.L.$$

donde:

$$K = 0.10 \text{ a } 0.15 \text{ (dependiendo del material de sobrecapa o espesor)}$$

W = ancho de la venda total centrado en la discontinuidad.

El rango de aplicabilidad de esta relación tentativa todavía no ha sido establecido. Pruebas de Burnham, N.Z. sugieren que K sea de cuando menos 0.20 o que el espesor de la sobrecapa sea mayor de 20 mm.

Potencialmente las membranas intercapa parciales bajo -- circunstancias apropiadas podrán traer consigo ahorros arriba

del 85% en el costo de la membrana de mantenimiento para un pavimento en que se presenta el agrietamiento de reflexión.

Un número mayor de estudios y pruebas sobre el uso de membranas parciales es aún requerido para lograr su completa aceptabilidad.

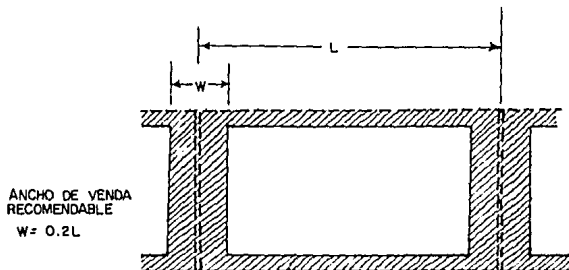


FIG. II-3
CONFIGURACION DE
DISEÑO RECOMENDADA
PARA MEMBRANAS
PARCIALES DISIPAD-
RAS DE ESFUERZOS
EN PAVIMENTOS AGRI-
TADOS. (REF. No. 63)

2.1.6) EL USO DEL CONCRETO ASFÁLTICO DE GRANULOMETRÍA ABIERTA MODIFICADO CON HULE EN LA REDUCCIÓN DEL RUIDO.

(Experiencia europea)

En Europa Occidental los últimos años se han construido pavimentos de concreto asfáltico de granulometría abierta modificados con hule que, además de permitir un adecuado drenaje, han demostrado absorber el ruido.

Parámetros de absorción del ruido.

Al diseñar un pavimento que ha de absorber el ruido (en un rango aproximado de frecuencias de 500 a 2000 Hz) los parámetros que hay que tomar en consideración para tal fin son los siguientes:

- 1) Porosidad.- contenido de vacíos disponibles.
- 2) Resistencia al flujo específico.- Resistencia que el material ofrece al bombear aire a través de él.
- 3) Factor de configuración.- Indica en que medio los vacíos disponibles son formados y conectados. El factor de configuración para materiales absorbentes de ruido con configuración filamentososa es ± 1 y en el caso de materiales de configuración granular es mucho mayor que 1.
- 4) Espesor de la capa.

La composición de la mezcla del concreto es importante en la reducción del ruido. Variando el contenido de ligante (hule-asfalto) y la granulometría del agregado se afecta la porosidad y la resistencia al flujo específico. La forma del-

agregado afecta el factor de configuración.

Resultados de pruebas de laboratorio (efectuadas en Holanda) mostraron que para un control óptimo del ruido la carpeta debe tener un contenido de vacíos disponibles de aproximadamente 20 a 24% (en la práctica recomiendan más del 25%), un factor de configuración entre 7 y 10 y un espesor de 40 mm.

Para lograr un contenido de vacíos disponibles del 20 al 24% la siguiente composición es propuesta:

Agregado triturado grueso	8-11 mm	87%
Arena de trituración		11%
Filler		2%

2.1.7) CRITERIO PARA ELEGIR ENTRE UNA MEMBRANA DISIPADORA DE- ESFUERZOS (SAM) Y UNA MEMBRANA INTERCAPA DISIPADORA DE ESFUERZOS (SAMI).

Cuando hay suficiente resistencia de la estructura del -
pavimento y la calidad de rodado es alta (índice de servicia-
bilidad presente mayor de 3) un tratamiento superficial puede
ser preferido (SAM). Normalmente tanto los riegos de sello -
simples como dobles dan poca mejoría estructural al camino; -
sin embargo, protegen al camino de la lluvia y sus futuras --
consecuencias.

Cuando el camino está notablemente agrietado y hay am---
plios movimientos relativos entre bloques las grietas se pro-
pagarán rápidamente a través de la carpeta. Para evitar este-
problema es conveniente emplear una SAM, que aunque muy pare-
cida a los riegos de sello convencionales sus propiedades son
superiores.

Cuando el agrietamiento es muy avanzado y el índice de -
serviciabilidad presente es menor de 3 debe emplearse una ---
SAMI pues la SAM resultaría inefectiva.

La SAMI absorbe el movimiento de las grietas y su sobre-
capa mejora la calidad de rodado de la superficie. Con el sig
tema intercapa / sobrecapa se mejora resistencia estructural-
del pavimento al distribuirse las cargas en una mejor manera-
que lo haría un sistema convencional.

Estudios han demostrado que la carga dinámica sobre los-
pavimentos se incrementa cuando el índice de serviciabilidad-
presente está comprendido entre 2.5 y 3.0.

La SAMI suple la ineficacia de la SAM para evitar el ---

efecto distorsionante en los pavimentos y trabajando con su sobrecapa resulta un sistema más efectivo que la propia SAM - en la reducción de grietas de reflexión.

Es importante indicar que construir una sobrecapa (y su respectiva intercapa) resulta menos costoso que reconstruir el pavimento en su totalidad.

La opción entre emplear una membrana disipadora de esfuerzos (SAM) y una membrana intercapa disipadora de esfuerzos (SAMI) es dictada por el tipo y severidad de las grietas existentes.

Si la SAM tiene la capacidad de prevenir y controlar la reflexión de grietas de fatiga la SAMI prevenirá y controlará la reflexión de todo tipo de grietas.

Además la SAMI estará diseñada para controlar las deformaciones en el pavimento cosa para la cual la SAM no funciona.

ALGUNOS DETALLES ACERCA DE LA SOBRECAPA EN EL SISTEMA SAMI.

Al diseñar la sobrecapa -de concreto asfáltico- que ha de llevar el sistema SAMI hay que tomar en cuenta que será -- una capa delgada de asfalto blando (baja η) y bajo módulo de elasticidad de modo que sirva de sobrecapa media aliviadora - de esfuerzos (que es el caso de la SAMI).

El espesor aproximado de la sobrecapa es de 4" (102 mm).

En sobrecapas de granulometría densa es conveniente aplicar una capa de acabado de granulometría abierta para mejorar la calidad de la superficie de rodado.

2.1.8) VENTAJAS OBTENIDAS DEL EMPLEO DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

Las ventajas que proporciona el empleo de membranas de hule-asfalto (SAM o SAMI) pueden resumirse así:

- 1) Se impermeabiliza la superficie del pavimento a tal grado que se mantiene estable la estructura, sobre toda la subrasante, en que los cambios de humedad serán mínimos, lo que reduce la tendencia a la formación de fallas locales.
- 2) Se obtiene una superficie antirresbalante.
- 3) Se incrementa la resistencia del pavimento a los esfuerzos inducidos por los agentes ambientales, principalmente los producidos por las cargas de los vehículos.
- 4) Se mejora la visibilidad.
- 5) Se renuevan y conservan las características y calidad del cemento y/o concreto asfáltico del pavimento que normalmente se pierden por oxidación, exposición a agentes ambientales y uso.
- 6) Se obtiene una mayor resistencia a la desintegración.
- 7) Se evitan las grietas de reflexión en pavimentos nuevos (tanto rígidos como flexibles) y se detienen las grietas de reflexión en pavimentos con grietas de un ancho menor de 0.25" (0.64 cm).
- 8) Se detiene el desconche en los bordes de los baches.
- 9) Se obtiene una superficie realmente flexible.

10) Se reduce la susceptibilidad a la temperatura del material ligante.

11) En lugares donde es común la presencia de hielo propicia el rompimiento de la capa de hielo sobre el pavimento. Además la membrana de hule-asfalto resiste eficazmente al desgaste producido por el paso de vehículos de llantas encadenadas y al efecto del deshielo sobre el pavimento.

12) Se controla el movimiento diferencial de los pavimentos existentes construidos sobre arcillas expansivas.

13) Se proporciona un medio de rehabilitar efectivamente el pavimento agrietado o dañado sin incrementar la altura del perfil del pavimento notablemente, lo que permite que la guarnición del drenaje pueda ser mantenida sin interferencia.

14) Se reduce grandemente el envejecimiento del pavimento debido al negro de carbón y antioxidantes contenidos en el hule reciclado.

15) Las mezclas de hule-asfalto conservan mayor tiempo su temperatura de aplicación que el asfalto convencional.

16) Se elimina la necesidad de mantenimiento por lo menos ocho años.

17) Se aumenta la vida del pavimento cuando menos dos veces.

18) Se retarda la reconstrucción del pavimento.

Además en concretos asfálticos modificados por hule (SAM en planta de granulometría abierta):

19) Permite un buen drenaje del agua evitando el hidroplanaje.

20) Se logra la reducción del ruido producido por los vehículos automotores.

2.1.9) LIMITACIONES DE LAS MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

Las membranas de hule-asfalto no constituyen por si solas el remedio infalible a los problemas de pavimento dañado.

Para lograr la reparación íntegra del pavimento es necesario diseñar un sistema de rehabilitación total (Ver: Preparación de Superficies que han de Recibir Tratamientos de Hule-asfalto).

En el caso de grietas mayores de 0.25" ya corresponderá un procedimiento de sellado adecuado (teniendo la alternativa de usar el hule-asfalto como sellador).



Foto. II-4 Contraste entre una carpeta de hule-asfalto (parte superior) y una carpeta convencional (parte inferior). Nótese el agrietamiento en la superficie convencional. (ref. # 52).

2.1.10) ESTUDIO DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO EMPLEANDO MODELOS MATEMÁTICOS.

A la fecha varios estudios sobre membranas de hule-asfalto usando modelos matemáticos han sido efectuados en Estados Unidos y Sudáfrica.

A continuación se resumen los resultados de uno de estos trabajos llevado a cabo en 1979 por Coetzee y Monismith en la Universidad de California en Berkeley. Este trabajo estuvo orientado al estudio de reflexión de grietas bajo la carga de vehículos y esfuerzos de flexión en pavimentos agrietados y relacionado con las propiedades de una membrana intercapa de hule-asfalto (SAMI).

Usando un modelo de elementos finitos fue simulado el tráfico sobre una sobrecapa moviendo una carga de 30.5 cm de largo con una intensidad de 0.69 MPa de un extremo del modelo a otro (fig. II-5). Las líneas de influencia de los esfuerzos cortantes en la parte superior de la grieta en cada capa de concreto asfáltico de granulometría abierta debido a la carga de movimiento son mostradas en la fig. II-6.

Fue encontrado en este modelo matemático que el espesor de la sobrecapa tenía muy poco efecto sobre los esfuerzos. Esto mostrado por una gráfica de esfuerzos máximos en la parte superior de la grieta vs el espesor de la sobrecapa en la fig. II-7.

Fue también encontrado que la intercapa (SAMI) no redujo los esfuerzos globales (térmicos) y que el espesor de la sobrecapa tenía pequeño efecto sobre tales esfuerzos.

Sin embargo, los esfuerzos de tensión horizontal cerca-

nos a la grieta son reducidos significativamente con la presencia de una intercapa de bajo módulo de rigidez (ver fig -- 11-8), especialmente para una sobrecapa delgada. Por ejemplo, la concentración de esfuerzos arriba de la grieta en la capa superficial es reducida, con la subsecuente reducción de las grietas de reflexión.

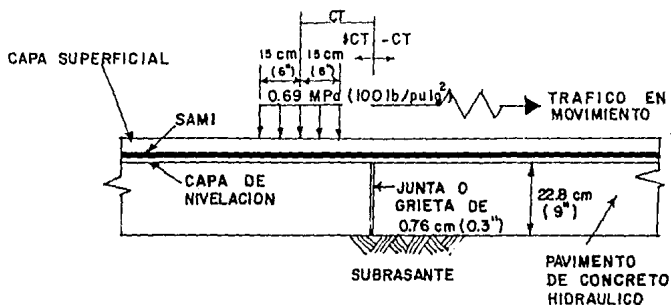
Los resultados indicaron que:

I) Una intercapa blanda reduce los esfuerzos en la grieta por un factor de 5 a 8 resultando en un retardamiento del agrietamiento inicial.

II) La reducción de los esfuerzos es mejorada disminuyendo la rigidez de la intercapa; y

III) El espesor óptimo de la intercapa es de 2.5 a 3.00-mm.

La conclusión de este estudio es que "los esfuerzos térmicos y los esfuerzos cortantes son los esfuerzos más críticos para el agrietamiento de reflexión". El estudio también concluyó que la presencia de una SAMI reducía estos esfuerzos considerablemente y, consecuentemente minimizó la posibilidad del agrietamiento de reflexión.



CASO DE CARGA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	H'	G'	F'	E'	D'	C'	B'	A'
CT (cm)	40	35	30	25	20	15	10	15	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
CT (pulg)	16	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16

FIGURA II-5 MODELO IDEALIZADO DE PAVIMENTO RIGIDO CON CARGA DE TRAFICO EN MOVIMIENTO (REF.49)

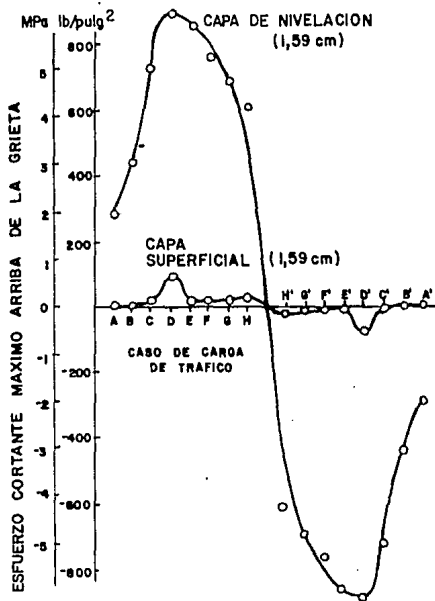


FIGURA II-6 LINEAS DE INFLUENCIA DEL ESFUERZO CORTANTE ARRIBA DE LA GRIETA DEBIDO A LA CARGA EN MOVIMIENTO

(REF. 49)

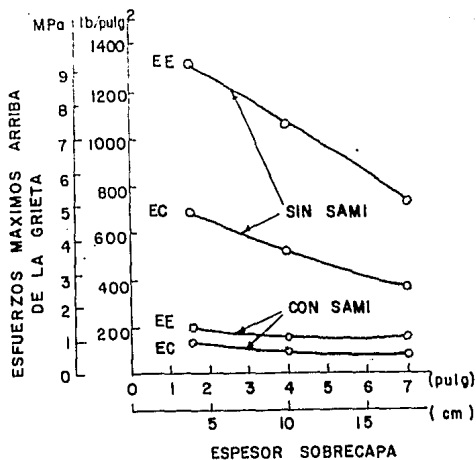


FIG. II-7
EFECTOS DE LA SAMI
EN LOS ESFUERZOS
DE CORTE (EC) Y EN
LOS ESFUERZOS EFEC-
TIVOS (EE)

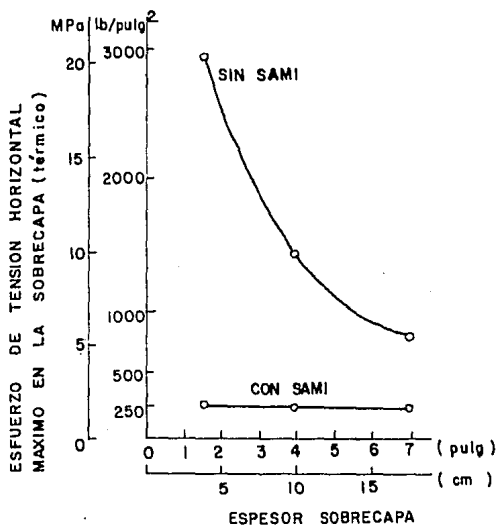


FIG. II-8
EFECTOS DE LA SAMI
EN LOS ESFUERZOS
DE TENSION HORIZONTAL
(térmicos)

(REF. 49)

2.2) CONSTRUCCION DE LAS MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

2.2.1) TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

El procedimiento de construcción de las membranas de hule-asfalto es muy semejante al de los riegos de sello convencionales. Las diferencias primordiales radican en la cantidad de ligante y agregados aplicada y en los aditamentos que el camión distribuidor de hule-asfalto ha de tener para controlar de manera más precisa el mezclado y aplicación del ligante de hule-asfalto.

A continuación se indican los pasos que han de llevarse a cabo para la construcción de membranas de hule-asfalto:

- a) Preparación de la superficie que ha de recibir el tratamiento de hule-asfalto.
 - b) Mezclado.
 - c) Aplicación del hule-asfalto.
 - d) Aplicación del material de sello.
 - e) Compactación del material de sello.
 - f) Aplicación del material de poreado (en SAM)
 - g) Remoción del material suelto (de sello y poreado)
- a) Preparación de la superficie que ha de recibir el trata---
miento de hule-asfalto.

Esta fase es descrita en la parte 3 de este capítulo.

b) Mezclado.

A fin de lograr una mezcla satisfactoria de hule y asfallto y su precisa aplicación posterior el camión distribuidor -convencional es dotado de dispositivos de control automático-

y de monitoreo continuo y un mecanismo de mezclado eficaz.

El mezclado del hule y el asfalto puede llevarse a cabo - por recirculación, agitación o una combinación de ambos.

El tanque del camión distribuidor ha de ser equipado con una flecha de acero con paletas impulsada por una unidad de potencia, una bomba de circulación o algún otro medio que permita mezclar el hule y el asfalto evitando el asentamiento de las partículas de hule y que las partículas lleguen a concentrarse al grado de obstruir las espreas.

Con agitación mecánica de los ingredientes de lo que será la mezcla hule-asfalto se mejoran las características de transferencia de calor, minimizando cualquier degradación térmica - causada por el sobrecalentamiento.

El hule molido que generalmente es empacado en sacos de - 50 lb (22.6 kg) es introducido en el tanque del distribuidor - mediante una banda transportadora.

El mezclado del hule y el asfalto será hasta un tiempo y temperatura tal que la consistencia de la mezcla sea la de un material semifluido.

La temperatura y tiempo que ha de requerirse para que la reacción entre hule y asfalto se lleve a cabo dependerá primordialmente de la morfología y composición química de las partículas de hule y del tipo de asfalto empleado. Sin embargo, por experiencias recientes se puede afirmar que la temperatura de reacción oscila entre 175 y 230°C (180°C en muchos casos) y -- que el tiempo necesario para que se lleve a cabo la digestión del hule en el asfalto (o sea la incorporación del hule al asfalto para formar un compuesto nuevo) varía entre 0.5 y ----

4.0 hrs.

La viscosidad al final de la reacción también varía --- (8000 a 10000 Pa.s aproximadamente).

Es importante que exista en la mezcla de hule y asfalto-balance entre elasticidad y plasticidad para obtener las propiedades deseadas sobre todo la adecuada adhesión de los agregados al ligante.

Una vez que la consistencia apropiada se ha alcanzado se aplicará inmediatamente el hule-asfalto; en caso de que no -- fuera posible así el material será mantenido a una temperatura aproximada de 330°F (en caso de haber alcanzado la consistencia adecuada).

El hule-asfalto puede dejarse en reposo y recalentarse - posteriormente teniendo siempre cuidado de no sobrecalentar - la mezcla, pues esta acción afecta las propiedades del hule--asfalto.

Hay que tomar en cuenta que la morfología del hule, tipo de asfalto, tiempo y temperatura de reacción, son variables importantes de mezclado de hule y asfalto que influirán en el - éxito de las aplicaciones del ligante.

Importancia del Agente Reductor de Viscosidad.

Como fue comprobado a través de las primeras experien---cias en el uso del hule-asfalto la viscosidad de esta mate---rial representaba un obstáculo para su adecuada distribución- de ahí que haya surgido la necesidad de incorporar al hule-ag falto un diluyente del tipo del keroseno o un hidrocarburo aromático de gran peso molecular para disminuir temporalmente la

viscosidad del hule asfalto.

El agente reductor de viscosidad -que generalmente representa un 2 a 6%, en peso del total de la mezcla- mejora las -características de riego del ligante, permitiendo además el -incremento de la adhesión a la superficie tratada y a los ---agregados. Pues de otra manera sería difícil obtener los re---sultados deseados. Hay experiencias que muestran que mezclas-hule-asfalto sin agente reductor de viscosidad forman una película que impide la adecuada adhesión de los agregados.

En algunas pruebas el agente reductor de viscosidad ha -sido agregado al asfalto antes de su mezclado con el hule sin reportarse efectos contrarios a los deseados en la aplicación del hule-asfalto.

Los criterios para elegir un agente reductor de viscosidad son: su punto de encendido y el contenido de hidrocarburos aromáticos en el asfalto.

Un punto de encendido inicial alto es requerido para evitar el encendido del asfalto cuando el agente reductor de visgcosidad es agregado. Sin embargo, un punto de bajo es requerido cuando se desea un curado rápido de la mezcla rebajada. En la práctica se recomienda un punto de encendido máximo ini---cial de 340°F.

El uso de un hidrocarburo aromático de gran peso molecular como agente reductor de viscosidad está supeditado a la -compatibilidad que exista entre el hule y el asfalto. Cuando el asfalto es deficiente en hidrocarburos aromáticos una ---fracción de hidrocarburo altamente aromático será adicionado-a la mezcla. El contenido de hidrocarburo aromático no debe -ser muy alto para evitar una posible despolimerización.

C) Aplicación del hule-asfalto.

Es importante aplicar el riego de hule-asfalto inmediatamente después de haber llevado la mezcla a la temperatura ---- apropiada para su aplicación (aproximadamente 180°C/356°F) --- pues la mezcla tenderá a recuperar su viscosidad normal en un corto tiempo. Además existe una tendencia del hule indisuelto a asentarse en el fondo del tanque lo cual puede provocar un riego desuniforme si no se hace de inmediato (a menos, claro, que se tomen las precauciones indicadas en la sección b): Mezclado).

Cuando se emplea keroseno como agente reductor la viscosidad el hule-asfalto recupera su viscosidad aproximadamente en media hora.

Condiciones ambientales:

Un factor importantísimo en toda aplicación de hule-asfalto son las condiciones ambientales. Son variable de éxito o -- fracaso en la aplicación del ligante.

La cantidad de viento y temperatura de la superficie que ha de ser tratada, entre otras cosas, deben ser tomadas en --- cuenta.

La temperatura de la superficie que recibirá el riego de hule asfalto no deberá ser menor de 50°F (10°C).

En caso de que haya polvo se evitará la aplicación del -- hule-asfalto hasta que las condiciones varíen, pues de otra manera se verá disminuida la adhesión del ligante. Aunque el uso de agregados precubierto parece ayudar a la adhesión del material de sello (operación posterior) al ligante la adhesión del

hule-asfalto a la superficie del pavimento existente sí puede verse afectada negativamente.

Los trabajos de aplicación que se lleven a cabo en climas fríos deben ser considerados de manera diferente a los trabajos efectuados en climas calientes.

Un material de hule-asfalto aplicado bajo sombra enfriará más rápido que uno expuesto al sol, lo que implica que la aplicación del agregado tenga que ser más inmediata en un tratamiento bajo sombra que en uno bajo sol.

La superficie que ha de ser tratada con el riego de hule-asfalto deberá estar bien seca.

En resumen, no deberá aplicarse el hule-asfalto mientras las condiciones ambientales no sean las favorables.

Cantidad de ligante que ha de aplicarse:

La razón de aplicación de hule-asfalto normalmente se fija en campo en base a un galón caliente (sin correcciones de temperatura). Esta razón dependerá de la cantidad de ligante que absorba el antiguo pavimento o superficie que va a ser tratada y el agregado también; así como de la profundidad de empotramiento deseada en el material pétreo. Por lo que resulta conveniente efectuar riegos de estimación con una cantidad de ligante un poco más alta que la razón especificada para fijar la razón de aplicación exacta.

En la práctica se ha encontrado que para tratamientos superficiales del tipo SAM la razón de aplicación fluctúa de 2.25 a 3.00 l/m² (0.50 a 0.65 gal/yd²) y para el tipo SAMI de 2.7 a 3.6 l/m² (0.6 a 0.8 gal/yd²)

Nota.- En las especificaciones centrales de este trabajo se indica la misma cantidad de riego tanto para el tratamiento SAM como para el SAMI.

Fijar la cantidad de ligante adecuada para cada trabajo en específico es importante. Pues si ésta es pobre traerá problemas posteriores con la retención del agregado y no se tendrá control en el agrietamiento del pavimento (razones de aplicación menores de 2 l/m^2 han demostrado no impedir el agrietamiento en proyectos sudafricanos). Por otro lado si la cantidad de ligante es abundante problemas como el llorado y la apertura lenta del tramo tratado al tráfico pueden tenerse (curado lento).

Normalmente, cuando no existe control de calidad en el componente hule y en el proceso de mezclado, las razones de aplicación son pobres, pues ya sea porque el tamaño de las partículas indisueltas es grande o porque se permitió que partículas de hule indisueltas (sin tamaño problemático) se asentaran y concentraran; las espreas de la barra de riego se tapan y no sale la cantidad de ligante requerida. Impurezas contenidas en el hule molido, como trozos de alambre, también contribuyen al problema.

En el caso de los riegos de hule-asfalto las espreas de aplicación son ordinariamente del No. 5 y la longitud de la barra de distribución es limitada por lo general a 10 ft (aunque las especificaciones centrales de este trabajo permiten un rango mayor).

Las espreas que han de distribuir el hule-asfalto están diseñadas para esparcir el ligante de un rango de 0.03 a 1.00 gal/yd².

La uniformidad del riego estará en función del tamaño de-

las espreas, de la presión aplicada y de la viscosidad del material.

En la figura No. II-9 se ilustra un diagrama de flujo -- del sistema empleado en Canadá para la distribución del ligante de hule-asfalto y que ha demostrado gran efectividad.

Una buena aplicación de hule-asfalto dejará un textura lisa y será de consistencia uniforme y al enfriar será una superficie durable y adhesiva de baja rigidez y alta deformabilidad.

d) Aplicación del material de sello.

1) Características del material de sello:

1) Función principal: transferir de manera directa las cargas verticales inducidas por las llantas de los vehículos a la membrana de hule-asfalto.

2) Tipo de material de sello: será roca triturada (primordialmente grava). No arenisca (aunque en algunos proyectos se ha empleado arena).

En el caso de la SAMI se está experimentando el uso de textiles como capa de transferencia de cargas verticales en lugar de agregados.

3) Tamaño del agregado: es seleccionado en consideración al clima, densidad de tráfico y razón de aplicación del ligante de hule-asfalto.

El tamaño nominal del agregado empleado para tratamientos de hule-asfalto in situ es 3/8" (9.5 mm). Aunque tamaños de 13.2 mm y 19 mm en tratamientos SAM; y 13.2 mm en tratamientos SAMI han proporcionado también buenos re

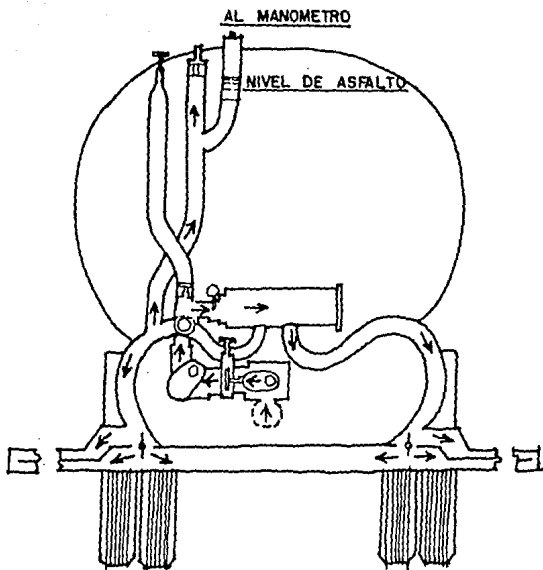


FIGURA II-9 DIAGRAMA DE FLUJO
DISTRIBUCION DE ASFALTO
EN OPERACION DE RIEGO
(REF. 66)

sultados.

El emplear agregado de tamaño menor de 3/8" ofrece la -- oportunidad a que reaparezcan grietas en el pavimento rehabilitado.

El material de sellado en la SAMI difiere en granulome--tría a la SAM por no llevar la mayoría de las ocasiones--material de poreado.

4) Calidad del material de sello: es medida por el índice de hojaldrado, que es aproximadamente de 20% (en lugar del normal que es de 25%).

Es importante que el agregado que esté destinado para emplearse en el tratamiento de hule-asfalto sea sometido a prueba dos semanas antes de su uso.

El agregado que sea empleado como material de sello estará bien seco, pues un agregado mojado o húmedo difícilmente se adherirá al hule-asfalto caliente.

II) Razón de aplicación del agregado.

La cantidad de agregado que ha de esparcirse sobre la -- membrana de hule-asfalto será la mínima requerida para evitar que el ligante sea levantado por las ruedas del compactador.-- Pues si la razón de agregado aplicada es alta las partículas--de agregado que queden en la parte superior actuarán como un--"puente" evitando que las partículas de la parte inferior reciban la presión completa del compactador. Además la cantidad excesiva de agregado evitará que la humedad del ligante escape y propiciará que el hule-asfalto enfríe más rápido y disminuirá la velocidad a la cual el aglutinamiento toma lugar.

La cantidad de agregado empleada para tratamientos de hule-asfalto normalmente está comprendida entre 17 y 19 Kg/m².

En caso de que una SAMI vaya a ser expuesta al paso de tráfico la razón de aplicación de agregado normal tendrá que ser aumentada para mantener íntegra la membrana.

La cantidad de agregados requerida para la construcción de membranas de hule-asfalto es proporcionalmente mayor a la requerida para riegos de asfalto convencionales. Para una capa simple uniforme de agregado puede necesitarse el 10% o más de la cantidad convencional pues debido a las características del hule-asfalto una cantidad convencional de agregado no permitiría que el agregado fuera empujado por el compactador a la dimensión más uniforme requerida (completo aplastamiento).

III) Operación del esparcido del agregado:

La aplicación del agregado debe ser inmediatamente después de la aplicación del hule-asfalto a fin de conservar las cualidades elastoméricas en el ligante que permitan que el agregado se adhiera a la membrana de hule-asfalto. En otras palabras, cualquier tardanza en la aplicación del agregado debe tratarse de evitarse pues la viscosidad del hule-asfalto aumenta gradualmente (conforme se enfría la membrana) y las posibilidades de retención del agregado serán mínimas.

Si el agregado es empotrado cuando la membrana de hule-asfalto esté todavía caliente ésta se mantendrá fuertemente en su lugar y resistirá el desplazamiento bajo los efectos abrasivos del tráfico.

Contenido de agregado de sobretamaño o material extraño impide el esparcido uniforme del material de sello.

Los esparcidores de agregado son autopropulsables y se desplazan a tal velocidad que el agregado no rueda.

f) Compactación.

El uso de rodillos neumáticos autopropulsables para la fase de compactación en tratamientos de hule-asfalto ha demostrado proporcionar los resultados deseados.

Es importante que tras el esparcidor de agregado a una distancia de 100 a 150 ft- avancen varios compactadores neumáticos, los suficientes en número para cubrir todo el ancho de la superficie que ha sido tratada. Normalmente tres rodillos-neumáticos son suficientes.

Experiencias en proyectos norteamericanos indican que -- compactadores con una presión de llantas de 100 lbf/pulg² y -- una carga por rueda de 4000 lbf ofrecen buenos resultados.

La compactación inicial es muy importante en la retención del agregado sobre todo en tratamientos del tipo SAMI.

Cuando el agregado es susceptible a la humedad un agente mejorador de afinidad ayuda mucho al empotramiento inicial.

Generalmente 4 pasadas son necesarias para lograr una buena compactación. No obstante, el número de pasadas requeridas será determinando para cada caso en particular.

Un empotramiento del 50% (mitad de profundidad de la membrana) del agregado sobre la capa de hule-asfalto es importante.

Después de dos horas aproximadamente de la compactación final la membrana de hule-asfalto que será destinada a SAMI -- recibirá un riego de liga que garantice una buena adhesión sobrecapa. Siempre y cuando este próxima la construcción de la-

sobrecapa, pues hay muchas membranas del tipo SAMI que un tiempo funcionan simplemente como SAM y por tanto, las consideración serán diferentes.

f) Aplicación del material de poreado (para SAM)

Será utilizada arena como material de poreado a fin de -- evitar que el agregado sea levantado y expulsado por el paso -- de los vehículos.

La aplicación del material de poreado será inmediatamente después de la fase de compactación y será en una cantidad que especifique el ingeniero en campo. Una razón de aplicación de 1.0 lb/yd² es recomendable aunque también se pueden hacer varias pasadas de material de poreado en cantidades inferiores -- hasta ajustar la cantidad requerida.

Si una membrana destinada a SAMI ha de recibir el paso de vehículos el material de poreado es requerido en este tratamiento también.

Una vez que se verifique que el agregado ha quedado bienfijo a la membrana de hule-asfalto se permitirá el paso a tráfico controlado (velocidad restringida, 40 km/h, p.e)

g) Remoción del material suelto.

La remoción a barrido del material de sello y de poreado-suelto se efectuará al día siguiente del tratamiento de hule--asfalto y a no más de 24 horas de la aplicación del material -- de sello.

El empleo de una barredora motriz en combinación con chorro de aire o bien de una barredora rotatoria es deseable en --

este tipo de trabajo.

El problema de la retención del agregado en la membrana de hule-asfalto.

Según observaciones realizadas en Canadá (y que corresponden a muchos de los problemas acontecidos en otros países) los principales factores que orientan a la pérdida de agregado en los tratamientos de hule-asfalto son:

- 1) Insuficiente amasado del tráfico de clima caliente.
- 2) Compactación insuficiente en la línea central del camino.
- 3) Insuficiente cantidad de ligante (hule-asfalto) aplicado.
- 4) Agregado hidrofílico.
- 5) Razón de aplicación de agregado demasiado alta.

Otros factores que también contribuyen a la pérdida de agregado son: detención del esparcidor de agregado hasta permitir que la membrana de hule-asfalto se enfríe; pasar los compactadores cuando la membrana todavía está caliente, lo que da oportunidad a que el ligante se adhiera a los rodillos; y el paso de tráfico sobre la membrana recién tratada.

En Canadá fue también observado que en el invierno de las aplicaciones de hule-asfalto siempre había una tendencia a la pérdida de material pétreo a 30 cm a cada lado de la línea central del camino a pesar de que las pasadas de rueda en esta parte son mínimas. Este fenómeno no era continuo en todos los trabajos en que existían deficiencias constructivas.

Soluciones al problema de retención del agregado:

Después de que ha transcurrido el tiempo suficiente para que la carga del tráfico dé el empotramiento final al agregado es conveniente efectuar una inspección al pavimento tratado con hule-asfalto para verificar la condición del agregado y comprobar si éste se encuentra empotrado al 50%, como es requerido. En caso de que el material pétreo no esté adecuadamente empotrado o retenido un riego de asfalto emulsificado-50/50 es recomendable aplicar a una razón de 0.1 a 0.2 gal/ - yd² (0.45 a 0.91 l/m²).

La combinación de una membrana de hule-asfalto con un riego asfáltico tradicional, como en el caso anterior es conocida como MINI-SAMI.

En zonas en que la presencia de polvo es frecuente la retención del agregado puede ser insatisfactoria. Para combatir este problema el agregado puede ser precubierto con asfalto - de grado de penetración de 0.3 a 0.5% a 300°F. Sin embargo, - el uso de agregado precubierto no es completamente necesario en los tratamientos de hule-asfalto.

A la pérdida de agregado en la línea central del camino - dos soluciones han sido encontradas (en el caso particular de proyectos canadienses):

a) Hacer adaptaciones a la barra de distribución del ligante. Piezas de extensión en la barra que permitan o faciliten la aplicación de toda la presión de riego en los extremos.

b) Pasar rodillo vibratorio a la línea central antes de compactar la superficie restante o recurrir a las soluciones anteriormente dadas.

Si el control de calidad en el proceso de construcción -

de las membranas de hule-asfalto es adecuado problemas como el concerniente a la pérdida de agregado podrán ser evitados.

OBSERVACION IMPORTANTE.

Los tratamientos superficiales de hule-asfalto no están - limitados por el concepto de una sola capa asociado a la construcción de riegos de sello convencionales. Pruebas de campo - han demostrado que se pueden construir exitosamente riegos de - sello multicapa (varias capas de agregado) con una sola aplica ción de hule-asfalto.

(ver anexo II', fig II-24)



Foto. II-10 Operación de adición del hule molido
al asfalto caliente.
(ref. # 52)



Foto. II-11. Aplicación del riego de hule-asfalto.
(ref. # 52).

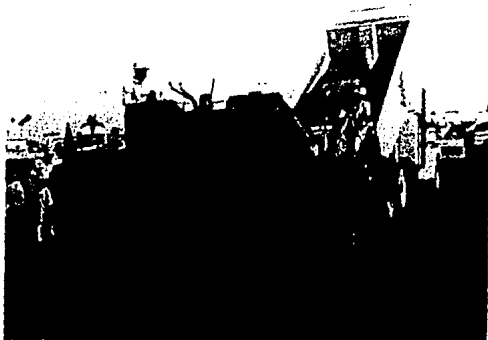


Foto. II-12. Esparcido del material de sello sobre
la membrana de hule-asfalto.
(ref. # 52)

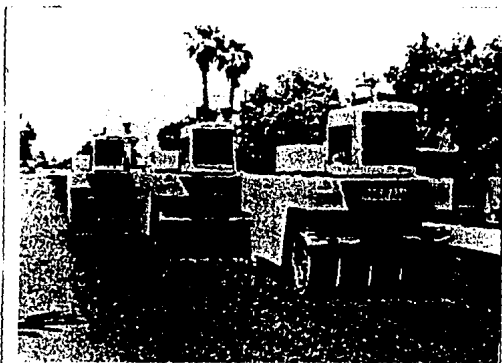


Foto II-13. Operación de compactación.
(ref. # 63)

2.2.2) CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON HULE.

El procedimiento constructivo para un concreto asfáltico modificado con hule normalmente consta de las siguientes operaciones básicas:

- a) Procesamiento del agregado.
- b) Procesamiento del ligante.
- c) Mezclado (por bachas, continuo o tambor mezclador-secador)
- d) Acarreo (en camión)
- e) Aplicación (esparcidores mecánicos)
- f) Compactación.

a) Procesamiento del agregado.

Comprende principalmente las operaciones de triturado, cribado, apilado y pesado.

El procesamiento del agregado no se ve afectado por la utilización del hule-asfalto como ligante.

b) Procesamiento del ligante.

Puesto que la adición del hule al asfalto normalmente debe ser hecha en el lugar de la planta de mezclado (del ligante y los agregados) las providencias que deben ser tomadas son las siguientes:

- 1) Espacio para situar un tanque de mezclado de hule y asfalto grande a una distancia razonable de la tubería de la planta de mezclado (de ligante y agregados).
- 2) Una conexión de la bomba de la planta (de concreto)-

tal que la planta pueda extraer material del tanque de mezcla de hule y asfalto.

3) Una línea de retorno de la bomba a la parte superior del tanque de mezclado de hule y el asfalto.

También deberá ser considerado tiempo suficiente para -- permitir cuando menos 45 minutos de mezclado o tiempo de "cocina" después de que el hule ha sido introducido en el tanque de mezclado de hule y asfalto.

Un ligante de hule-asfalto de flujo uniforme libre de -- partículas o grumos suficientemente grandes para obstruir cualquier equipo de la planta es alcanzado mezclando continuamente los ingredientes a una temperatura de 375 a 425°F.

Una vez que el hule-asfalto está listo, éste es procesado a la cámara de mezclado (de ligante y agregados) de la misma manera como un asfalto convencional es conducido de su tanque de almacenaje. Sin embargo, deberá asegurarse que la temperatura del ligante de hule-asfalto no descienda de 350°F -- mientras se alimenta a la planta (de concreto).

En el caso que se requiera almacenar el hule-asfalto después del mezclado (de hule y asfalto) el tanque de almacenamiento estará provisto de aditamentos que permitan recircular el hule-asfalto para conservarlo mezclado uniformemente. Para el almacenamiento es importante mantener la temperatura mínima de 350°F.

c) Mezclado.

Las temperaturas de mezclado requeridas para obtener una buena mezcla y un esparcido uniforme del agregado con el li--

gante de hule-asfalto es de 325 a 375°F para mezclas de concreto asfáltico de granulometría densa y de 280 a 325°F para mezclas de granulometría abierta.

La temperatura que el agregado tenga al entrar a la cámara de mezclado será de 25 a 50°F mayor que en un proceso de producción de concreto convencional.

d) Acarreo.

El concreto asfáltico elaborado con hule-asfalto parece mantener su temperatura más tiempo que el concreto asfáltico-convencional. Consecuentemente, acarreos de dos horas han sido experimentados sin problemas posteriores en el esparcido y compactación del material.

También ha sido observado que los ligantes de hule-asfalto en mezclas de granulometría abierta no escurren del agregado a la base del camión durante su acarreo, a pesar de que -- los contenidos de ligante y temperaturas de mezclado son considerablemente más altas en los concretos de granulometría -- abierta modificados por hule que en los concretos de granulometría abierta convencionales. Esto es atribuido a la más alta rigidez y viscosidad del ligante de hule-asfalto a su temperatura de acarreo (275°F).

Las bases de los camiones que acarreen concreto asfáltico modificado con hule no deberán ser engrasadas o tratadas con diesel, pues ello provocaría una reacción con el ligante de hule-asfalto que agrava la adhesión de la mezcla. En su lugar una ligera aplicación de solución jabonosa o emulsión de silicón deberá ser usada.

e) Aplicación.

El proceso de aplicación del concreto asfáltico modificado con hule es el mismo que el empleado para concretos asfálticos convencionales. Unicamente que el control de la temperatura del esparcido tiene que ser más riguroso para conservar la viscosidad del ligante lo suficientemente baja para evitar que la mezcla se pegue al agitador y posteriormente alcanzar la compactación deseada.

La temperatura de tendido para mezclas de concreto asfáltico de granulometría cerrada (modificado con hule) es de --- 285 a 325°F y de 260 a 300°F para mezclas de granulometría -- abierta.

f) Compactación.

Se seguirán los patrones desarrollados para la compactación del concreto asfáltico tradicional tomando en cuenta que para obtener buenos resultados la temperatura de la mezcla será de 265 a 300°F en concretos de granulometría densa y de -- 250 a 285°F en concretos de granulometría abierta.

En el caso de los concretos asfálticos modificados con hule, el uso de rodillos neumáticos debe ser excluido, por lo pegajoso del hule-asfalto caliente, pues ello causaría el levantamiento del material. Los rodillos vibratorios no serán usados para compactar mezclas de granulometría abierta ni en la compactación inicial de mezclas de granulometría densa. -- Sin embargo, los rodillos vibratorios pueden ser usados en la compactación final de las mezclas si no se muestran signos de desintegración en el material.

Debido a la naturaleza pegajosa del concreto asfáltico -

modificado con hule mientras está caliente es necesario aplicar material de pøreado si el concreto, todavía caliente, ha de soportar el paso de tráfico. Una razón de esparcido de 1 a 2 lb/yd² de arena de mortero resulta apropiada en este caso.

2.2.3) CONTROL DE CALIDAD.

El control de calidad en los tratamientos superficiales de hule-asfalto debe ser mucho más riguroso que en los tratamientos asfálticos convencionales. El control debe llevarse - desde la producción (separada) de los componentes de la mezcla hule-asfalto hasta la terminación de los trabajos en campo.

Los aspectos más importantes en que el control de calidad es requerido son:

- a) Calidad y granulometría del hule reciclado.
- b) Calidad del asfalto.
- c) Almacenaje del hule.
- d) Modificación del asfalto por el agente reductor de -- viscosidad.
- e) Mezclado de hule y asfalto.
 - Cantidad de hule incorporada al asfalto.
 - Tiempo de digestión y temperaturas.
- f) Aplicación del hule-asfalto.
 - Cantidad de ligante aplicada.
 - Condiciones ambientales; temperatura del aire y el pavimento.
- g) Seguimiento de las técnicas de esparcido de agregado y compactación.

Observaciones:

Hay que tomar en cuenta también que para un mismo proyecto de hule-asfalto pueden ser diferentes los proveedores de - los ingredientes del ligante. De ahí la importancia de llevar un control estricto de la calidad de los materiales a fin que todos los ingredientes proporcionados cumplan con los requeri

mientos deseados para la mezcla de hule-asfalto diseñada.

La calidad del hule-asfalto es función de la calidad del hule, del asfalto y del agente reductor de viscosidad.

Es importante checar que el hule y el asfalto reaccionen a la temperatura óptima y al tiempo óptimo en la etapa de mezclado.

En los tratamientos de hule-asfalto no se admiten errores del grado de los que acontecen en los tratamientos convencionales.

2.3) EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE MEMBRANAS DE HULE-ASFALTO.

En diversos lugares del mundo, primordialmente en los Estados Unidos se han estado construyendo tramos de prueba para diferentes mezclas de hule-asfalto, en que, bajo la influencia de diversas variables es evaluado el funcionamiento de -- las membranas de hule-asfalto siempre comparándolo con el funcionamiento de secciones de control adyacentes (construidas - con materiales convencionales). Los resultados indudablemente varían en cada proyecto debido principalmente a la diferente composición de las mezclas de hule-asfalto empleadas en cada proyecto, las condiciones climatológicas y de tráfico imperantes y los métodos constructivos empleados. Lo anterior impide que los resultados sean absolutamente concluyentes; sin embargo, las ventajas de las membranas de hule-asfalto que en este capítulo se mencionan son producto de experiencias exitosas - obtenidas en la mayoría de los proyectos.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos en - 1982 de proyectos de hule-asfalto, tanto SAM como SAMI, em--- prendidos en el Estado de Texas.

Se evaluó la incidencia de las fallas de llorado, de --- grietas de contracción, de grietas piel de cocodrilo y desintegración, en niveles bajo, mediano y alto.

Las variables que intervinieron fueron el tráfico (promedio diario y de vida acumulada) y condiciones climatológicas, principalmente.

Las secciones de control fueron construidas por trata--- mientos superficiales convencionales.

LLORADO.

La falla por llorado ocurrió con mayor frecuencia en superficies de hule-asfalto que en las convencionales en una razón del 99% de proyectos de hule-asfalto a 74% de proyectos convencionales.

La incidencia de llorado bajo, mediano y altamente severo fue aproximadamente igual en el hule-asfalto, en tanto en el material convencional ocurrió con mayor frecuencia el llorado bajo.

GRIETAS DE CONTRACCION.

Las grietas de contracción aparecieron tanto en superficies de hule-asfalto como convencionales en la misma proporción aproximadamente, ocurriendo en el 50% de los proyectos.

Es importante indicar que la información misma reveló -- que las grietas de contracción fueron producidas más por el efecto de las deflexiones que por la contracción misma del material y que la contracción podía ser controlada, mientras -- que las deflexiones excesivas no.

GRIETAS PIEL DE COCODRILO.

Las grietas piel de cocodrilo aparecieron en las carpetas convencionales aproximadamente con el doble de frecuencia que en las carpetas de hule-asfalto. Esta falla ocurrió en -- 20% de los proyectos convencionales y 9% en los proyectos de hule-asfalto.

DESINTEGRACION.

La desintegración apareció en 44% de las superficies con

vencionales estudiadas y en 17% de las superficies de hule-asfalto.

SIN FALLA.

La fracción de proyectos en que no aparecieron ninguno - de los cuatro tipos de fallas estudiadas fue de 7% en carpetas de hule-asfalto y 3% en carpetas convencionales.

Lo anterior indica que las membranas de hule-asfalto trabajaron mejor que los tratamientos superficiales convencionales ante las grietas de contracción, grietas piel de cocodrilo, pero en cambio, ante el llorado la situación fue contraria.

Las razones de aplicación relativamene más altas de los ligantes de hule-asfalto respecto a los ligantes convencionales conduce a una incidencia mayor del llorado debido a que - la profundidad de empotramiento del agregado resulta también mayor. No obstante la profundidad de empotramiento mayor proporciona un potencial más bajo de falla por desintegración en las membranas de hule asfalto comparadas con los tratamientos superficiales convencionales.

2.4) INDICACIONES IMPORTANTES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS DE HULE-ASFALTO.

En su estudio "Field Performance of Rubber Modified --- Asphalt Paving Materials", editado en 1985, los investigadores norteamericanos Shuler, Pavlovich y Epps hacen recomendaciones importantes acerca de los tratamientos de hule-asfalto basados en experiencias de campo. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

1) En muchos tratamientos de hule-asfalto (SAM o SAMI) - especificar una razón fija de ligante de hule-asfalto y una razón variable de agregado es frecuente. Esto ha traído como resultado, en algunos casos, la pérdida de grandes cantidades de agregado (retención inadecuada) y llorado en el pavimento. Por lo que la práctica de seleccionar la cantidad de ligantes antes de la cantidad de agregado debe ser abandonada.

2) El diseño de los riegos de hule-asfalto siguiendo un procedimiento de diseño que proporcione el empotramiento de una capa de agregado por aplicación es recomendable. La cantidad de agregado requerida para lograr este empotramiento puede ser determinada por diseño (ver fig. II-14). Después de -- que la cantidad de agregado es determinada, la cantidad de -- diseño de ligante de hule-asfalto puede ser calculada (basada en los vacíos y profundidad de empotramiento deseada).

3) En el diseño de intercapas (SAMI) se debe considerar que el empotramiento inicial para el agregado será mayor que en los tratamientos del tipo SAM. La profundidad de empotramiento inicial para la intercapa dependerá del tiempo que la intercapa sirva como carpeta. Se debe tener cuidado en que la intercapa producida sea resistente al corte.

El empotramiento del agregado en la SAMI requiere ser al

to, además, para evitar "enganchamiento" entre los agregados de esta intercapa y los de concreto asfáltico de la sobrecapa. Pues se piensa que si el "enganchamiento" ocurre entre los agregados de la intercapa y el concreto asfáltico de la sobrecapa, el agrietamiento de reflexión puede ser acelerado.

4) El tiempo de curado adecuado deberá ser proporcionado después de la construcción de la intercapa. Ciertos diluentes pueden causar reblandecimiento de la sobrecapa si la sobrecapa es aplicada inmediatamente después de la construcción de la intercapa. Intervalos generales de tiempo entre la construcción de la intercapa (SAMI) y la sobrecapa no pueden ser especificados, pues son muchas variables las que influyen en la volatilización del diluyente contenido en la membrana de hu le-asfalto.

5) Los sistemas de intercapa son sobrecapa de concreto asfáltica de granulometría densa no son recomendables para el control del agrietamiento de reflexión en pavimentos con grietas o juntas transversales que se presenten en intervalos regulares, de aproximadamente 15 ft.

Investigación:

6) Experimentos de campo futuros deberán ser estadísticamente diseñados tal que los resultados puedan ser analíticamente medidos. Pues de otra manera los experimentos pueden quedar limitados a análisis subjetivos.

7) Adopción de un método de evaluación de la condición del pavimento. Esto deberá incluir, como mínimo, un levantamiento que documente acerca de la posición de las grietas existentes. Los mapas de las grietas deberán ser lo suficientemente detallados para que en los levantamientos posteriores

se verifiquen los levantamientos previos. Usando un sistema - de este tipo se permite la determinación de la velocidad de - agrietamiento tanto como información sobre la "curación" de - las grietas.

Equipo de fotoregistro automatizado ha sido desarrollado (en los Estados Unidos) para registrar con precisión la condición del pavimento. Este tipo de sistema tiene también la - ventaja de permitir la medición de grietas en gabinete a la - conveniencia del personal de evaluación.

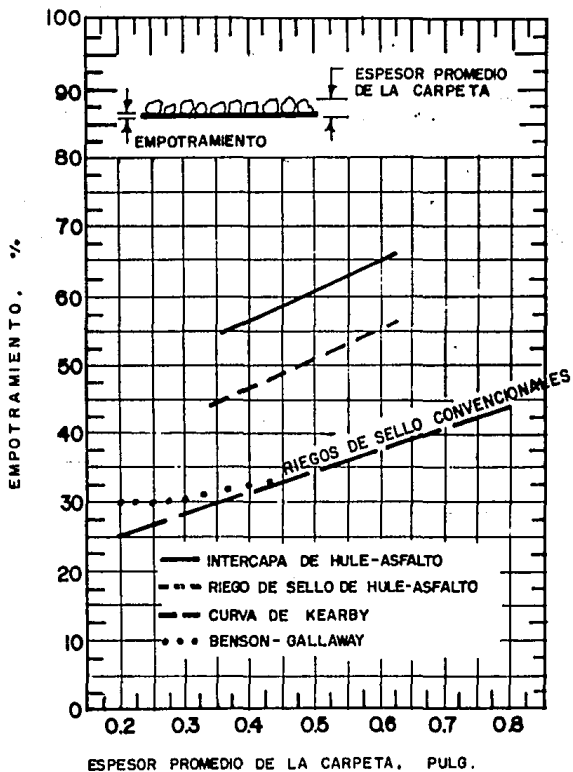


FIG. II-14 PORCENTAJE DE EMPOTRAMIENTO DETERMINADO POR EL ESPESOR DE LA CARPETA. (REP. No. 78)

2.5) PREPARACION DE LA SUPERFICIE QUE HA DE RECIBIR UN TRATAMIENTO DE HULE-ASFALTO (SAM o SAMI).

Extraído del artículo "Pavement Preparation for Asphalt Rubber Treatments", John E. Huffman; National Seminar on --- Asphalt-Rubber, 1981.

Importancia:

La preparación apropiada del pavimento que ha de recibir un tratamiento de hule-asfalto es esencial para el funcionamiento exitoso de dicho tratamiento.

Los tratamientos de hule-asfalto, como otros procedimientos de rehabilitación tienen ciertas limitaciones, por lo que algunos defectos en el pavimento existente deben ser corregidos para lograr los resultados deseados.

INSPECCION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

Una inspección detallada de la condición del pavimento existente es necesaria para determinar los tipos y magnitud de los daños en el mismo.

PROCEDIMIENTOS DE PREPARACION DEL PAVIMENTO.

BARRIDO.

La preparación mínima requerida es un perfecto barrido del pavimento en que ha de aplicarse el hule-asfalto.

RIEGO DE LIGA ASFALTICO.

Se empleará el riego de liga asfáltico en pavimentos de-

concreto hidráulico o en pavimentos asfálticos de superficie muy pulida o lisa; para asegurar una buena adhesión a la membrana de hule-asfalto. Cuando la superficie del pavimento es de asfalto nuevo y limpio (capa de renivelación, p.e.) o cuando el pavimento asfáltico muestre un llorado severo no se deberá aplicar el riego de liga.

El material asfáltico para el riego de liga será principalmente aquel que sea más compatible con el material de hule asfalto que reciba el pavimento. Normalmente se emplea asfalto emulsificado del tipo de rompimiento lento, diluido con agua (en proporción de 1:1). El asfalto emulsificado debe ser roto (cambiar de color café a negro) antes de aplicar el tratamiento de hule-asfalto.

SELLADO DE GRIETAS.

Las grietas cuya amplitud sea mayor de 1/4" (6.4 mm) deben ser selladas, pues de no ser así el material del tratamiento de hule-asfalto (SAM o SAMI) penetrará en éstas produciendo discontinuidades en la membrana de hule-asfalto o bien una membrana más delgada de lo deseado. Tanto la continuidad como el espesor de la membrana son importantes en el sistema, sobre todo este segundo, que es fundamental en el funcionamiento de una intercapa.

Las grietas longitudinales, transversales y otros tipos de grietas relativamente rectas pueden ser selladas con selladores de hule-asfalto, (previa ampliación y limpieza de las grietas) material que ha demostrado funcionar de manera adecuada como sellador de grietas y juntas. El uso de ciertos cementos asfálticos y asfaltos emulsificados para el sellado de grietas amplias no es recomendable pues estos materiales son a menudo levantados por el tráfico antes de la aplicación del

tratamiento de hule-asfalto y sangran a través del tratamiento una vez colocado.

Hay proyectos de pavimentos flexibles donde el tipo y amplitud de las grietas hacen que el sellado manual de las mismas sea impracticable. En estas circunstancias es recomendable un sellado masivo de grietas y éste incluye un pretratamiento del pavimento con una aplicación de slurry seal o rejuvenecimiento por escarificado en caliente de 3/4 a 1 pulgada (19.1 a 25.4 mm) de profundidad. El slurry seal normalmente empleado es del tipo de granulometría fina (tipo I de la Internacional Slurry Seal Association) y ha de ser aplicado varias semanas antes de aplicar el tratamiento de hule-asfalto, a fin de permitir su curado adecuado. El pretratamiento de escarificado en caliente destruye las grietas y proporciona una capa superficial más blanda que la anterior. Cuando se use un agente de reciclado emulsificado para rejuvenecer el asfalto viejo y oxidado, se debe tener mucho cuidado con la cantidad de agente que se aplique pues una sobreaplicación provocaría sangrado en el pavimento con problemas de estabilidad en la mezcla. Un escarificado adecuado y una buena pulverización de la mezcla asfáltica son esenciales para alcanzar los mejores resultados del tratamiento del hule-asfalto. Si la superficie del pavimento es únicamente "rayada" y estriada longitudinalmente, la efectividad del tratamiento de hule-asfalto puede reducirse enormemente.

REPARACION DE JUNTAS.

Cualquiera que sea el tipo de pavimento de concreto hidráulico, las juntas deben ser apropiadamente preparadas para lograr un buen funcionamiento del tratamiento de hule-asfalto.

La restauración mínima requerida de las juntas es el re-

rellado, el cual normalmente consiste en la remoción del sellador dañado, limpiar completamente la junta y llenar la junta con un nuevo sellador. Al igual que las grietas amplias, las juntas deben ser selladas apropiadamente para que los tratamientos de hule-asfalto que sean aplicados sobre la superficie de concreto no penetren en la junta y no se reduzca severamente la efectividad de la membrana de hule-asfalto.

Hay tipos de daños en las juntas de tal severidad que requieren repararse más allá de los métodos convencionales de resellado. Entre estos tipos de daños se encuentran el bombeo, flambeo, oscilación y desconche. Los métodos principalmente requeridos para reparar este tipo de daños son el subsellado por inyección a presión, remoción local y sustitución (bacheo).

Uno de los factores que más contribuyen a la oscilación y bombeo en las losas de concreto es el excesivo movimiento vertical bajo la acción de cargas y ésto debe ser corregido anticipadamente a la aplicación del tratamiento de hule-asfalto y a la colocación de la sobrecapa (Si es SAMI el tratamiento). Una solución a este problema es el subsellado por inyección a presión empleando un lechadeado de cemento portland o un material asfáltico de alto punto de reblandecimiento. No obstante, existen varios problemas básicos asociados al procedimiento apropiado de subsellado:

- 1) Determinación de las losas que han de ser subselladas.
- 2) Características de flujo del material de lechadeado.
- 3) Distribución apropiada del material de lechadeado.
- 4) Determinación de cuando ha de detenerse el procedimiento de subsellado de la losa.
- 5) Determinación de la efectividad del subsellado.

Cuando la nivelación es deseada, las lechadas de cemento portland parecen funcionar mejor si la operación primordial - de subsellado es rellenar el vacío existente bajo las losas.

Cuando existen áreas de desconche pequeñas, adyacentes a las juntas, éstas pueden ser rellenas con materiales especiales como fosfato de magnesio y lechadas de algún mortero epóxico. Para fallas más severas una remoción parcial de la losa y sustitución es recomendable. Algunas ventajas de la remoción y la sustitución son:

- 1) Una base blanda puede ser removida y un buen apoyo -- restaurado.
- 2) Pueden ser agregadas pasajuntas.
- 3) La superficie es corregida de tal forma que son atenuadas las cargas de impacto sobre la junta dañada.
- 4) La losa puede ser de mayor espesor que la sección sugtituida y de este modo más estable, y
- 5) Las juntas resultantes están en buenas condiciones y son más fáciles de sellar.

Al sustituir la losa, la losa es generalmente cortada -- transversalmente con una sierra a cada lado de la junta dañada y el concreto viejo situado entre los cortes es roto con un martinete u otro equipo apropiado y los escombros retirados para aplicar luego el parche de concreto mezclado in situ. En años recientes, sin embargo, los procedimientos de reparación de losas incluyen el uso de secciones de losas prefabricadas. El uso de unidades prefabricadas requiere la aplicación de una cama de lechada de cemento sobre el lugar en que-

se van a situar y el uso de un adhesivo epóxico para unir las a las losas adyacentes del pavimento existente.

Los procedimientos de sellado de grietas y juntas con sellador de hule-asfalto son descritos en la parte 4 de este capítulo.

BACHEO.

Los pavimentos flexibles seleccionados para un tratamiento de hule-asfalto pueden tener algunas áreas aisladas de fallas estructurales, indicadas principalmente por baches y grietas piel de cocodrilo que deben ser reparadas. La reparación normalmente consiste en un bacheo profundo en que la capa superficial y la base son removidas a una profundidad tal que se logre un apoyo firme. Si el agua subterránea es un factor que contribuye a la falla, un drenaje adecuado debe ser instalado. El bacheo con concreto asfáltico o con asfalto completo (espesor-completo) es recomendable para lograr un tipo de reparación realmente permanente.

CORRECCION DEL PERFIL DEL PAVIMENTO.

Los perfiles transversales y longitudinales del pavimento no son modificados apreciablemente por las membranas de hule-asfalto. Sin embargo, si la rugosidad del pavimento es de tal magnitud que resulta inaceptable, será necesario colocar una capa de nivelación o algún otro método para corregir el perfil.

La mayoría de las capas de nivelación han consistido en concretos asfálticos del tipo de granulometría densa. No obstante, en años recientes, particularmente en pavimentos de concreto hidráulico con tráfico pesado se han estado emplean-

do capas de renivelación de concreto asfáltico de granulometría abierta con un contenido de asfalto ligeramente inferior al porcentaje normal. Estas mezclas pobres de granulometría - abierta son un excelente material de nivelación en que la cantidad de consolidación debida a la compactación es inferior - que aquellas de un espesor comparable como las mezclas de granulometría densa, por ejemplo; su perfil superficial establecido por el escantillón de la máquina pavimentadora no es muy cambiado durante la operación de compactación. Además, las -- mezclas de granulometría abierta en su mayor parte constan de partículas de agregado grueso lo que minimiza enormemente la posibilidad de punzonamiento -por acción del tráfico- del --- agregado de sello, de la membrana de hule-asfalto sobre la capa de nivelación subyacente y el desarrollo de llorado o sangrado.

Otra técnica para corrección del perfil del pavimento de aplicación en años recientes y que se ha vuelto importante es el perfilado utilizando una máquina de molido en frío. Este - proceso permite que el tratamiento de hule-asfalto sea aplicado directamente sobre la superficie perfilada, siempre y cuando produzca una textura con un patrón de "waffle" o "espina - de pescado", pues hay casos en que la textura obtenida tiene pequeños zurcos o ranuras profundas que son resultado de la - excesiva velocidad de avance de la máquina de molido en frío - y que de ser aplicado el tratamiento de hule-asfalto directamente sobre esta textura defectuosa se podría restar efectividad a la membrana de hule-asfalto.

2.6) PROCEDIMIENTO DE SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS.

USANDO AL HULE-ASFALTO COMO MATERIAL SELLADOR.

Según el manual "Sealing and Resealing Cracks, The Crafcoco Way", Crafcoco, Inc. 1982.

IMPORTANCIA DEL SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS EN PAVIMENTOS.

El objetivo primordial de sellar grietas y juntas en pavimentos es el evitar que la humedad llegue a la subrasante y evitar que materiales no compresibles ingresen a la grieta o la junta.

En el caso de los pavimentos flexibles el no sellar adecuadamente las grietas puede ocasionar el agrietamiento por fatiga (piel de cocodrilo), cuando la subrasante falla por ingreso de humedad, y el desconche y posterior formación de baches por la entrada de materiales no compresibles a la grieta.

El no sellar adecuadamente las juntas en los pavimentos rígidos también tiene efectos igualmente nocivos que en los pavimentos flexibles, el ingreso de materiales no compresibles a la junta causa el desconche (y formación posterior de baches) y la subrasante falla con el efecto de la humedad.

VENTAJAS DE EMPLEAR UN SELLADOR DE HULE-ASFALTO.

- 1) Menor fluidez (mayor viscosidad) que los materiales de sellado convencionales, lo cual permite que el sellador quede retenido en grietas más amplias.
- 2) Mayor adhesión al material sellado que los selladores

tradicionales.

3) Mayor durabilidad que los selladores convencionales -

TIPOS DE GRIETAS.

Antes de describir el proceso de sellado de grietas y -- juntas resulta conveniente clasificar las grietas, pues de -- acuerdo a su magnitud y características se eligirá el procedi miento que resulte más conveniente para su sellado. Estas pue den ser:

TIPO A: Cuando son en forma de cuña y se cierran en el fondo. Su amplitud normalmente varía de una línea delgada a 1" de an cho.

TIPO B: Tienen esencialmente sus lados paralelos y normalmen te se extienden a la subrasante. Su amplitud varía de 1/4" a 2" de ancho.

TIPO C: Tienen una superficie inclinada a sus costados. Son - grietas normalmente transversales y algunas veces exhiben --- agrietamiento secundario. El tamaño de estas grietas es fre- cuentemente engañoso, desde la parte superior de la grieta -- tiende a ampliarse de manera gradual hacia abajo. Su amplitud normalmente varía de un ancho de 1/2" a 2".

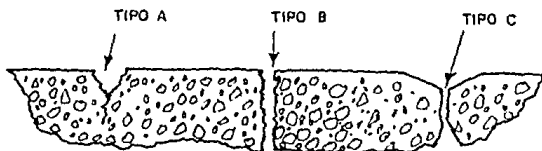


FIG. 11-15. TIPOS BASICOS DE GRIETAS

REPARACION DE GRIETAS TIPO A.

Preparación de la grieta.

Las grietas con un ancho menor de $3/8$ " deben ser perfiladas a fin de proporcionar un lugar para el depósito del sellador en la grieta y permitir su movimiento a lo largo de la grieta.

No es recomendable aplicar hule-asfalto a la superficie del pavimento en que haya grietas cerradas pues es probable que sea removido por el tráfico.

El perfilado apropiado de las grietas involucra el corte a una profundidad de $3/4$ " a 1" y un ancho de $1/2$ ".

Las paredes de la grieta deben limpiarse de todo material extraño para una adhesión adecuada del sellador. Con mucha frecuencia la única limpieza requerida es sopletear la grieta con un soplador portátil o compresor de aire. En caso de que no se alcancen los resultados deseados con este método es recomendable limpiar con cepillos de alambre o emplear sandblasting (chorro de arena) seguido del sopleteado.

Sellado.

Las grietas deberán ser rellenas del fondo a la parte superior. Las grietas deberán ser rellenas a tope con la superficie (ver fig. II-16)

PERFIL DE 1/2" DE ANCHO x 3/4" - 1"
DE PROF. RELLENADA A TOPE
CON SELLADOR

RELLENADO A TOPE
CON SELLADOR

GRIETA TIPO A
MENOR DE 3/8"

GRIETA TIPO A
MAYOR DE 3/8"



FIG. II-16

REPARACION DE GRIETAS TIPO B.

Preparación de la grieta.

Las grietas menores de 3/8" deberán ser perfiladas a --- 1/2" de ancho por 3/4" a 1" de profundidad. En grietas de ancho mayor de 3/8" normalmente no se requiere perfilado. La -- limpieza de la grieta será por sopleteado con un soplador por tátil o un compresor de aire. Las grietas más anchas de 3/8" -- deberán ser limpiadas hasta la profundidad total de la grieta.

Cuando haya materiales no comprensibles incrustados que -- no sean de fácil remoción será necesario escoplear o ranurar.

Las grietas menores de 3/8" se limpiarán únicamente hasta la profundidad perfilada.

Sellado.

Asegúrese que las grietas estén libres de polvo, suciedad, humedad o materiales extraños antes de sellarlas. Estas-

grietas deben ser selladas de abajo hacia arriba de modo que no queden vacíos en el material sellador.

Existen agujas extralargas para alcanzar el fondo de las grietas más profundas. En profundidades de 3" o más, el material sellador se establecerá a cierto límite y puede requerir ser rematado.

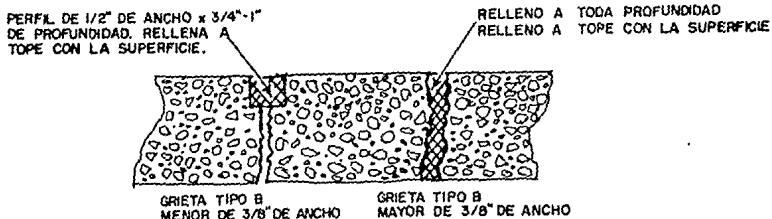


FIG. II-17

REPARACION DE GRIETAS TIPO C.

Preparación de la grieta.

Las grietas menores de 1/2" deben ser perfiladas a una profundidad de 3/4" a 1". Las grietas mayores de 1/2" de ancho generalmente no requieren perfilarse. La limpieza de las grietas por sopleteado se logra usando un soplador portátil o compresor de aire. Para remover partículas incomprensibles incrustadas se puede requerir escopleado o raspado cuando no --

son fácilmente removibles por el aire.

Sellado.

Hay que asegurarse que las grietas estén libres de polvo suciedad, humedad o materiales extraños antes de que sean selladas. Seleccione el chiflón de sellado adecuada para sellar la grieta del fondo hacia arriba.

Es recomendable que el área inclinada a los costados de la grieta sea rellena al nivel del pavimento. Esto es fácilmente logrado usando una barredora recta de goma.

Finalmente material de sello (pétreo) es esparcido en la parte superior del sellador cuando todavía está caliente a -- fin de protegerlo.

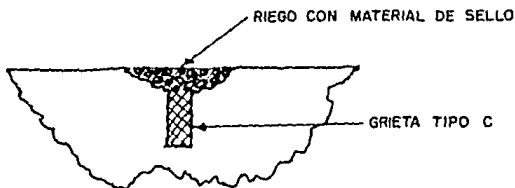


FIG. II-16

REPARACION DE PAVIMENTO DESCONCHADOS Y CON BACHES.

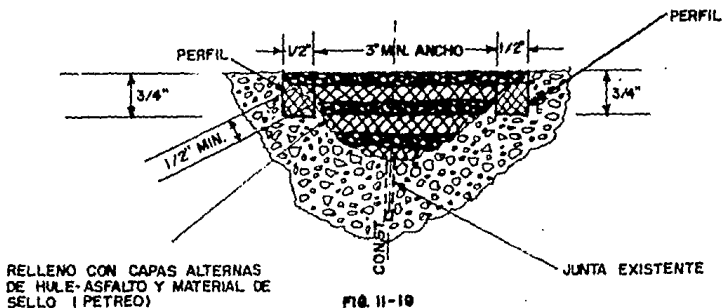
Preparación del pavimento.

El área dañada deberá ser completamente limpiada para re mover materiales extraños. En ciertos casos es recomendable -

perfilear alrededor del área dañada a una profundidad de $3/4"$. Este deberá ser hecho donde la inclinación del área desconchada sea muy gradual.

Aplicación del material sellador.

Se aplicarán capas alternas de hule-asfalto y material de sello (pétreo) rellenando a ras con la superficie. Cada capa individual deberá ser aproximadamente de $1/4"$ a $1/2"$ de espesor.



RESELLADO EN JUNTAS DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO.

Criterios para seleccionar el sellador más apropiado, a fin de obtener los resultados más económicos y duraderos posibles:

A) Pavimento de concreto hidráulico que será sobrecubierto con concreto asfáltico o un riego de sello.

1) Limpie las juntas con un raspador de juntas, sopletee y selle con hule-asfalto.

B) Pavimento de concreto hidráulico en carreteras y ----

áreas donde no haya derrame de combustible. .

1) Remueva el antiguo sellador con un raspador de juntas.

2) Si las paredes laterales de la junta son verticales limpie con un soplador de cepillo de alambre, con sandblasting o con chorro de agua a fin de garantizar una cara vertical limpia y selle con hule-asfalto.

C) Pavimentos de concreto hidráulico en áreas de derrame de combustible y otros usos cuando un sellador de alquitrán de hulla es empleado.

a) Remueva el antiguo sellador con un ranurador, de juntas.

b) Con una sierra profile la junta para dar una nueva cara de junta limpia (todo el sellador existente deberá ser removido).

c) Se le dará un sandblasting o chorro de agua o la junta para asegurar la adhesión apropiada del sellador.

d) Una varilla de soporte será luego aplicada en la junta (ver. fig. II-20 a y II-20 b). La junta se sellará del fondo hacia arriba dejándola 1/8" abajo de la superficie.

A) CORTE DE SIERRA SIMPLE

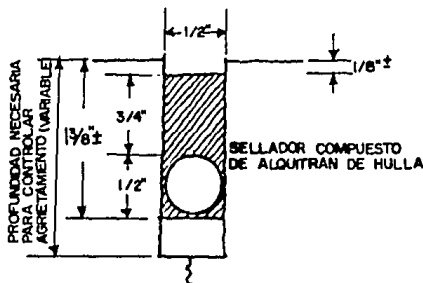
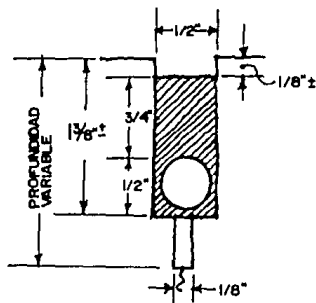
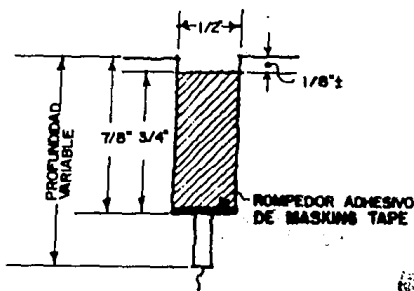


FIG. 11-20
TAMAÑO DE JUNTA RECOMENDABLE

B) CORTE DE SIERRA DOBLE CON CUERDA



C) CORTE DE SIERRA DOBLE CON CINTA ADHESIVA



REPARACION DE JUNTAS DE BORDE ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO Y PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Preparación de Juntas de Borde.

Las juntas de ancho menor de 1/2" serán ranuradas para - abrir la grieta a un ancho mínimo de 1/2" a 1" y 1/2 veces la

profundidad. Las grietas mayores de 1/2" no requerirán ampliarse pero probablemente si requerirán ranurarse para remover el material incompresible alojado en la junta.

Las juntas que sean reselladas deberán ser ranuradas para remover todo el material sellador existente. Retire todo material extraño usando un soplador portatil o compresor de aire.

Sellado de las juntas de borde.

Las juntas de borde serán selladas del fondo hacia la parte superior. La selección del chiflón de sellado apropiado es importante. Las juntas deberán ser rellenas a ras con la superficie. Las juntas mayores de 2" de ancho requerirán una consideración especial. Estas juntas deberán ser rellenas con capas alternas de hule-asfalto y material de sello (pétreo). Cada capa deberá ser aproximadamente de 1/2" de espesor.

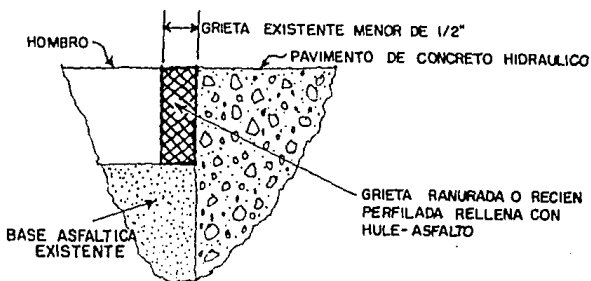


Fig. 11-21 JUNTA CON UN ANCHO MENOR DE 1/2"

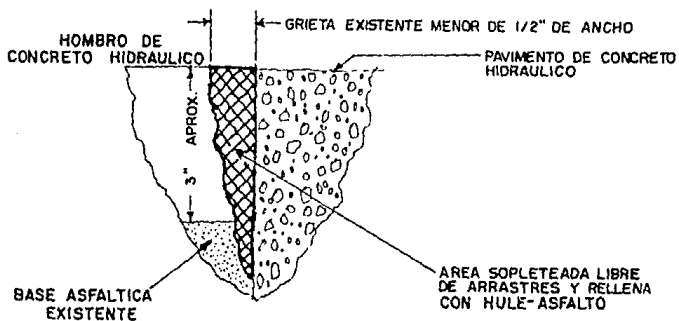


Fig. 11-22 JUNTA DE 1/2" - 2" DE ANCHO

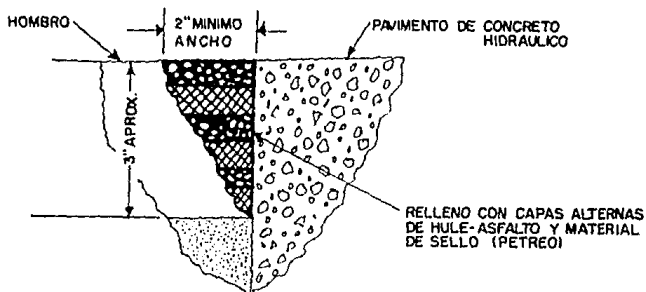
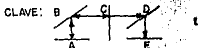


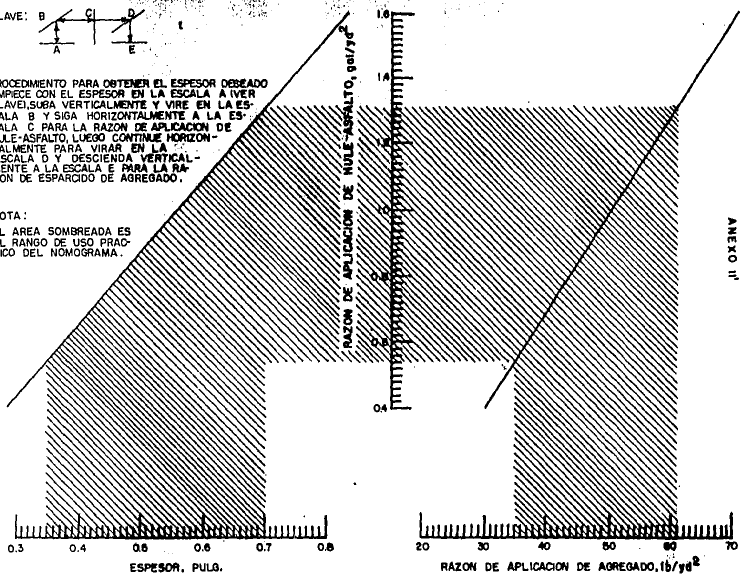
Fig. 11-23 JUNTA DE ANCHO MINIMO DE 2"



PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL ESPESOR DESEADO
 EMPECE CON EL ESPESOR EN LA ESCALA A Y VER
 CLAVE, SUBA VERTICALMENTE Y VIRE EN LA ES-
 CALA B Y SIGA HORIZONTALMENTE A LA ES-
 CALA C PARA LA RAZON DE APLICACION DE
 HULE-ASFALTO, LUEGO CONTINUE HORIZON-
 TALMENTE PARA VIRAR EN LA ESCALA D Y DESCENDA VERTI-
 CALMENTE A LA ESCALA E PARA LA RAZON
 DE ESPARCIDO DE AGREGADO.

NOTA:

EL AREA SOMBRREADA ES
 EL RANGO DE USO PRACTI-
 CO DEL NOMOGRAMA.



ANEXO II'

FIG. II-24 NOMOGRAMA PARA DISEÑO DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE DE HULE-ASFALTO CON ESTRUCTURA DE AGREGADO MULTICAPA. (REF. No. 88)

TABLA 11-1. PRECIOS REPRESENTATIVOS DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS.
(ref. 74)

ALTERNATIVA DE REHABILITACION	Costos in situ dls/yd ²	
	Rango	Representativo
Concreto asfáltico de ligante de cemento asfáltico.	1.40-1.95*	1.65*
Concreto asfáltico de ligante de azufre, quimcreto o modificado con polímeros.	1.80-2.50*	2.20*
Concreto asfáltico de ligante de hule-asfalto.	2.50-3.50*	3.00*
Base de agregados	0.30-0.45*	0.37*
Reciclado del pavimento en -- frío o en caliente.	1.10-1.60*	1.40*
Riego de sello de ligante de cemento asfáltico	0.60-1.10	0.85
Riego de sello de ligante de hule-asfalto	1.50-2.25	1.85
Escarificado en caliente	0.50-1.50	0.90
Textil (convencional) incluyendo riego de liga.	0.65-1.50	1.00
Sellado de grietas en pavimento de concreto hidráulico.	0.25-0.75	0.50
Reparación de juntas en pavimento de concreto hidráulico.	3.00-4.50	3.75
Reparación de baches	0.25-0.45**	0.35**
Excavación y reparación.	0.50-1.00***	0.75***

* Dólares por yarda cuadrada por pulgada de espesor.

** Uno por ciento de área reparada de cuatro pulgadas de espesor. Los precios son por yarda cuadrada de superficie mantenida.

*** Cinco por ciento de área reparada de seis pulgadas de espesor. Los precios son por yarda cuadrada de superficie mantenida.

TABLA 11-2

PRECIOS REPRESENTATIVOS PARA RIESGOS DE SELLO EN 1984*
(EN DOLARES) (REF. 74)

Componente	Ligante de Cemento Asfáltico		Ligante de Hule-asfalto	
	\$/yd ²	%	\$/yd ²	%
A) Materiales				
1) Cemento asfáltico				
\$ 165/ton en refinería	0.263	30.8	0.260	14.0
Transportación -200 mi				
llas @ \$0.065/ton	0.024	2.8	0.022	1.2
<u>Subtotal</u>	0.287	33.6	0.282	
2) Hule				
\$0.160/ton en planta			0.180	9.7
Transportación -1000 -				
millas @ \$0.065/ton			0.037	2.0
<u>Subtotal</u>			0.217	11.7
3) Aditivo.				
\$0.160/lb en refinería			0.036	2.0
Transportación -600 mi				
llas @ \$0.065/ton.			0.004	0.2
<u>Subtotal</u>			0.040	2.2
4) Agregado, distribución				
de agregado.	0.350	40.9	0.350	18.9
Control de tráfico				
Total materiales	0.637	74.5	0.889	48.1
B) Mezclado y reacción			0.221	11.8
C) Distribución del ligante	0.090	10.5	0.180	9.7
D) Viaje al sitio de trabajo			0.100	5.4
E) Utilidades, impuestos, se				
guro, contingencias, etc				
tera.	0.128	15.0	0.462	25.0
<u>TOTAL</u>	0.855	100.0	1.852	100.0

*Riego de sello de cemento asfáltico de 0.45 gal/yd² (3.75 -- 1b/yd²) con agregado de tamaño máximo 5/8".
Riego de sello de hule-asfalto de 0.60 gal/yd² (4.5 lb/yd²)- con un agregado máximo 5/8".
El ligante de hule-asfalto contiene 70% de cemento asfáltico, 25% de hule y 5% de aditivo.

TABLA 11-3.

PRECIOS REPRESENTATIVOS PARA INTERCAPAS* EN 1984.
(EN DOLARES) (REF. 74)

Componente	Textil		Riego de sello de hule-asfalto.	
	\$/yd2	%	\$/yd2	%
A) Material				
1) Cementos asfálticos				
\$165 ton en refinería	0.134	11.2	0.260	14.0
Transportación -200 millas \$0.065/ton	0.013	1.1	0.020	1.2
Subtotal	0.147	12.3	0.282	
2) Hule				
\$0.160/lb en planta			0.180	9.7
Transportación -800 millas \$0.065/ton			0.037	2.0
Subtotal			0.217	11.7
3) Aditivo				
\$0.160/lb en refinería			0.036	2.0
Transportación -600 millas \$0.065/ton			0.004	0.2
Subtotal			0.040	2.2
4) Agregado, distribución de agregado, Control tráfico			0.350	18.9
5) Textil	0.450	54.2		
Total Materiales	0.797	66.5	0.889	48.1
B) Mezclado y reacción			0.221	11.8
C) Distribución del ligante-y/o distribución del textil.	0.223	18.5	0.180	9.7
D) Viaje al sitio de trabajo			0.100	5.4
E) Utilidades, impuestos, seguros, contingencias, etc	0.180	15.0	0.462	25.0
TOTAL	1.000	100.0	1.852	100.0

*Textil con 0.23 gal/yd2 (1.92 lb/yd2) de riego asfáltico convencional. Riego de sello de hule asfalto de 0.60 gal/yd2 -- (4.5 lb/yd2).

El hule-asfalto contiene 70% de cemento asfáltico, 25% de hule y 5% de aditivo de petróleo.

TABLA 11-4 PRECIOS REPRESENTATIVOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO HECHAS CON LIGANTES DE CEMENTO ASFALTICO Y HULE-ASFALTO. (ref. 74)

	Ligante de Cemento Asfáltico		Ligante de Hule-asfalto	
	\$/ton	%	\$/ton	%
Ligante*	8.75	26.7	33.00	55.8
Agregado	8.85	26.9	8.85	15.0
Costos de Energía	1.20	3.9	1.28	2.2
Mezclado	3.51	10.7	3.51	5.9
Acarreo, tendido y compactación.	5.92	18.0	5.92	10.0
Conceptos varios	0.66	2.0	0.66	1.1
Elevación de precios.	3.88	11.8	5.93	10.0
Total	\$ 32.50		\$ 59.15	

* 5% de cemento asfáltico a \$ 175/ton en planta o 6% de hule asfalto a \$ 550/ton en planta.

III) COMPORTAMIENTO
DE LAS MEZCLAS
DE HULE-ASFALTO.

3.1) EL MECANISMO DE REACCION ENTRE EL ASFALTO Y EL HULE.

Una reacción química, completamente lejos de ser entendida, toma lugar cuando las partículas de hule son introducidas al cemento asfáltico y el mezclado es llevado a cabo.

La respuesta física de las partículas de hule cuando son introducidas al asfalto caliente es un aumento en su volumen o más veces su tamaño original. Por ejemplo, un hule granulado (que pasa la malla 25 y es retenido en la 40) cuando es mezclado con el asfalto a una temperatura de 375°F se dilata el doble de su volumen (ver. fig. III-1). Este incremento en volumen causa un enorme aumento en la viscosidad del sistema de hule-asfalto comparada con la viscosidad del asfalto original o con la viscosidad del sistema de hule-asfalto antes de la dilatación del hule.

El asfalto y el hule reaccionarán lentamente a temperaturas bajas. De ahí que temperaturas relativamente altas (180°C, p.e.) sean necesarias para proporcionar una rápida producción de hule-asfalto. La reacción entre hule y asfalto es dependiente del tiempo y una alta temperatura. Ver. fig III-2. Es creído que el hule y el asfalto participan en un intercambio de componentes cuando son mezclados a altas temperaturas. El hule de llanta de automóvil contiene cantidades significativas de aceites (hidrocarburos). La cantidad de estos aceites es dependiente de la formulación del hule y la magnitud de la intemperización de la llanta antes del reciclado.

El asfalto contiene también componentes similares al hule de llanta. Es, por tanto, hipotetizado que a temperaturas elevadas y/o períodos de tiempo grandes, dichos componentes pueden reaccionar y ser intercambiados del hule al asfalto y viceversa (ver. fig. III-4). Estudios de laboratorio han de-

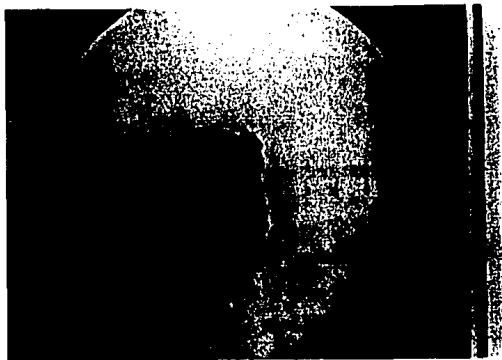
mostrado que un material de hule-asfalto originalmente heterogéneo con una gran viscosidad será, con el calor y el tiempo-degenerado a un material más homogéneo con viscosidad substancialmente inferior a la original. Si el asfalto tiene una fracción importante de hidrocarburos aromáticos las partículas de hule se volverán más suaves y elásticos.

Se afirma que el aceite presente en el hule controla el grado y velocidad de reacción entre las partículas de hule y el asfalto caliente.

El hule natural posee una reactividad con el asfalto caliente mayor que el hule sintético. De ahí que muchas formulaciones incluyan cantidades importantes de hule natural (un 30% mínimo, del peso total del hule).

El área superficial de las partículas de hule afecta grandemente los grados de reacción química con el asfalto (ver morfología).

Las partículas de hule grandes permanecen funcionalmente sin reaccionar flotando en el asfalto con un pequeño porcentaje del gel en la superficie. Las partículas de hule pequeñas, en cambio, forman una gran cantidad de gel de manera que el compuesto es una matriz de gel, asfalto y hule resiliente, resistente a la separación. Fig III-5.



a) Partícula de hule antes de entrar en contacto con el asfalto caliente



b) Partícula de hule dilatada después de haber entrado en contacto con el asfalto caliente.

Fig 111-J Efecto de dilatación en la partícula de hule.
(ref. " 45)

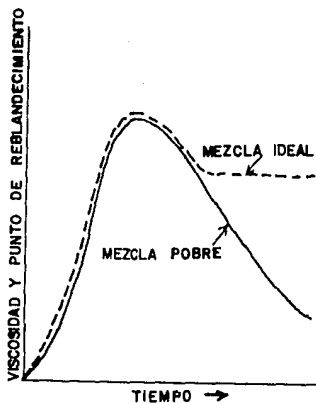


FIGURA III-2
CURVA DE REACCION ASFALTO/HULE

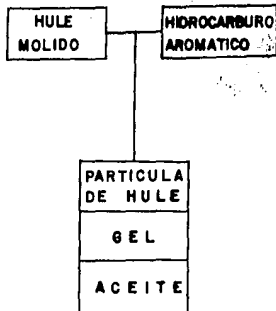


FIGURA III-3
REACCION DEL HULE Y EL ACEITE

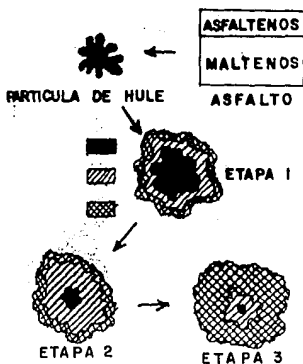


FIGURA III-4
ETAPAS DE REACCION DEL
ASFALTO Y EL HULE

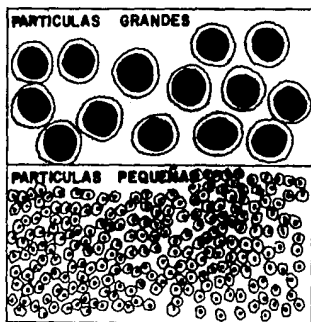


FIGURA III-5
EFECTO DEL TAMAÑO DE LAS
PARTICULAS EN LA DISPERSION
DEL HULE

3.2) PROPIEDADES REOLOGICAS DE LAS MEZCLAS DE HULE-ASFALTO.

la reología de las mezclas de hule-asfalto es muy compleja y difiere de la del asfalto.

El hule-asfalto es un material fuertemente viscoelástico cuya reología no puede ser completamente descrita por la viscosidad aparente (razón de esfuerzo de corte a velocidad de corte).

Normalmente estamos acostumbrados a usar únicamente un número para caracterizar la respuesta de un material a los esfuerzos. Si es elástico, usamos el módulo de elasticidad; y si es un fluido, su viscosidad.

El caso del hule-asfalto es diferente. Un número no es suficiente para describir el comportamiento de esfuerzo-deformación.

Puesto que las propiedades (viscoelásticas) del hule-asfalto caliente difieren grandemente de las propiedades del asfalto los procedimientos de prueba para el asfalto normal son de pequeño valor para evaluar el comportamiento de las mezclas de hule-asfalto.

Una manifestación de la naturaleza compleja del hule-asfalto es cuando, mezclado en caliente, tiende a subir el agitador, moviéndose en dirección contraria a la gravedad y a las fuerzas centrífugas. Este fenómeno, llamado efecto de Weissenberg, es el desarrollo de fuerzas normales (perpendiculares) en polímeros que sufren esfuerzos de corte.

VISCOSIDAD/DILATACION DE LAS PARTICULAS DE HULE.

El efecto de las partículas de hule dilatadas en la vis-

cosidad del hule-asfalto caliente es uno de los factores importantes en la evaluación de las propiedades reológicas del hule-asfalto.

La dilatación de las partículas de hule es una función de la temperatura, el tamaño de la partícula, tipo de hule usado y compatibilidad del asfalto con el hule.

La temperatura tiene dos efectos en la dilatación. El primero es la velocidad de dilatación; conforme la temperatura aumenta la velocidad de dilatación aumenta grandemente. El segundo efecto es sobre la magnitud de la dilatación; conforme la temperatura aumenta la magnitud de la dilatación disminuye.

Siempre que sucede la dilatación última mayor del hule a la mayor temperatura puede deberse a que las partículas de hule se estén desvulcanizando (o cambiando su estado de vulcanización).

La velocidad de dilatación del hule está relacionada con la habilidad del hule de difundirse en el asfalto.

La viscosidad de la mezcla de hule-asfalto es muy grande (comparada con el asfalto normal) después que las partículas de hule se han dilatado.

Es importante indicar que si bien el hule-asfalto tiene una mayor viscosidad a altas temperaturas que el asfalto convencional a bajas temperaturas sucede todo lo contrario: el hule-asfalto tiene una menor viscosidad que el asfalto normal.

Cuando las partículas de hule se dilatan a tal magnitud-

que se interfieren unas con otras el riego de hule asfalto -- se gela y por ende, el ligante no puede ser bombeado y aplicado fácilmente.

La tendencia a gelarse de la mezcla hule-asfalto y el -- tiempo que se requiere para que la gelación ocurra depende de la temperatura de mezclado, el volumen de fase del hule dilatado, la viscosidad de fase del asfalto y la granulometría de las partículas de hule.

Ha sido observado que el uso de keroseno contribuye a la reducción del volumen de la fase de partículas de hule. Puesto que contribuye a que se dispersen los asfaltenos, y que la gelación se convierta en problema para la aplicación del hule - asfalto.

El manejo de las mezclas de hule-asfalto puede tener un efecto en la viscosidad. Materiales exactamente de igual formulación con o sin agitación producen mezclas con viscosidades que difieren grandemente. Es creído que la acción cortante del mezclador del asfalto y el hule pega a las partículas de hule reblandecidas, reduciendo la interacción entre partícula y partícula. Esto tiende a bajar la viscosidad de la mezcla.

Determinar la viscosidad de las mezclas de hule-asfalto caliente, con o sin la adición de agentes reductor de viscosidad, empleando aparatos convencionales es difícil, pues las partículas de hule dilatadas son demasiado grandes para pasar a través de un viscosímetro capilar de vacío estándar.

Recuperación a la deformación de la mezcla de hule-asfalto.

Pruebas de laboratorio tendientes a medir la respuesta -

viscoelástica de las mezclas de hule-asfalto han revelado --- que:

Las mezclas de hule-asfalto tienen un carácter viscoelástico grande cuando las partículas de hule han alcanzado, o es tán próximas a alcanzar, su dilatación última y adicionan sus propiedades elásticas al asfalto. En cambio, tienen un carácter viscoelástico bajo cuando las partículas no han reaccionado completamente con los aceites y/o maltenos contenidos en - el asfalto. En este último caso, el hule, actúa únicamente co mo filler.

Una prueba de recuperación a la deformación en el hule - asfalto también puede indicar el estado de "curado" del ligante.

3.3) FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RECUPERACION ELASTICA DE LAS DIGESTIONES DE HULE-ASFALTO.

En 1981 John W. Oliver de la ARRB (Australian Road Research Board) efectuó un trabajo orientado a estudiar el comportamiento de las digestiones de hule-asfalto.

Nota.- El término "digestiones de hule-asfalto" se refiere a la condición de la mezcla hule-asfalto en el tanque del camión distribuidor momentos antes de ser rociada.

Los resultados revelados por dicho estudio indicaron --- que:

La morfología, o sea la estructura de la partícula de hule antes de la reacción con el asfalto, es el factor más importante que afecta la recuperación elástica de las digestiones de hule-asfalto. El tiempo y temperatura de digestión (o del tratamiento térmico), la concentración del hule y la composición química del hule son factores que (en menor grado -- que la morfología) afectan la recuperación elástica de las digestiones de hule-asfalto.

El comportamiento de digestión del hule sintético en el asfalto es diferente al comportamiento del hule natural. Las digestiones de hule natural tienden a ser superiores a aquellas que contienen hule sintético, pero las condiciones de digestión (tiempo y temperatura) son menos críticas para el segundo. (el hule sintético es más estable térmicamente).

Las mezclas de hule-asfalto efectuadas con hule natural normalmente tienen valores de recuperación elástica más altos que las mezclas elaboradas con hule sintético.

La elasticidad del producto final de hule-asfalto es de-

pendiente de la morfología y concentración de hule.

El tiempo de digestión al cual ocurre la recuperación -- elástica máxima en mezclas con hule natural depende del tamaño de la partícula y morfología.

Si el tiempo y temperatura de digestión en mezclas con hule natural son incrementados más allá del punto en que el valor máximo de recuperación elástica ha sido alcanzado, el valor de recuperación elástica puede disminuir abruptamente.

La recuperación a la deformación elástica de las digestiones de hule-asfalto está linealmente relacionada con la -- concentración de hule. fig. III-6.

La recuperación elástica de digestiones de raspaduras -- (partículas de forma elongada debido al proceso mecánico de - trituración) de hule recauchado de llanta en asfalto tiende a aumentar conforme el tamaño de las partículas disminuya. fig. III-7.

MORFOLOGIA DEL HULE.

La morfología (estructura de las partículas de hule antes de ser digeridas en el asfalto) puede ser de dos tipos: - una en donde la superficie es porosa con nudillos como "esponjas" y otra donde la superficie es uniforme (o lisa). Aunque es posible encontrar partículas de morfología intermedia en - que se presentan superficies lisas con algunos nudillos porosos ligados.

El primer tipo de morfología (esponjosa) se presenta por lo general en el hule que ha sido molido a temperatura ambiente y el segundo tipo (caras lisas) en un hule molido criogénicamente.

camente (a bajas temperaturas).

En las fig. III-8 se muestran fotografías tomadas a través de un microscopio electrónico que ilustra la morfología de las partículas de hule y los valores de recuperación elástica obtenidos en cada muestra.

La estructura "porosa" de la partícula de hule obtenida de la molienda a temperatura ambiente es debida principalmente al proceso de ruptura mecánica o trituración. En contraste con el hule molido criogénicamente en que la ruptura se logra primeramente sometiendo el hule de llanta a nitrógeno líquido y secundariamente al triturador de martillos (estando el hule aún frío).

La morfología de las partículas de hule puede ser caracterizada o evaluada mediante una prueba sencilla de densidad de masa. El procedimiento de esta prueba es como sigue:

7.5 g de partículas de hule cribados (material que pasa malla de 600 μ m y retenido en la malla de 300 μ m) son calentadas en 70 ml de agua para remover el aire atrapado hasta que hierva el agua por 30 minutos, agitando ocasionalmente. Posteriormente el material es vertido a un vaso de 100 ml (graduado) y el volumen de agua es incrementado hasta los 100 ml. Se agregan 10 ml de solución diluida de detergente (agente humectante) y se agita brevemente. Después se dejan asentar las partículas de hule por 15 minutos y el volumen de partículas asentadas será evaluado después de este intervalo con aproximación de 0.5 ml (usando la escala del vaso), excluyendo cualquier partícula que se encuentre aún flotando.

La densidad de masa de las partículas de hule será determinada por la siguiente fórmula:

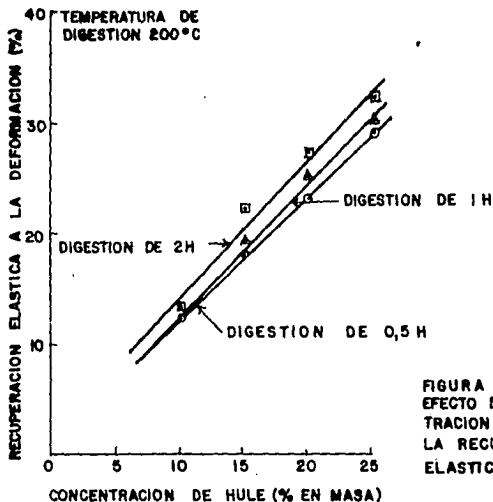


FIGURA III-6
EFECTO DE LA CONCENTRACION DE HULE EN LA RECUPERACION ELASTICA

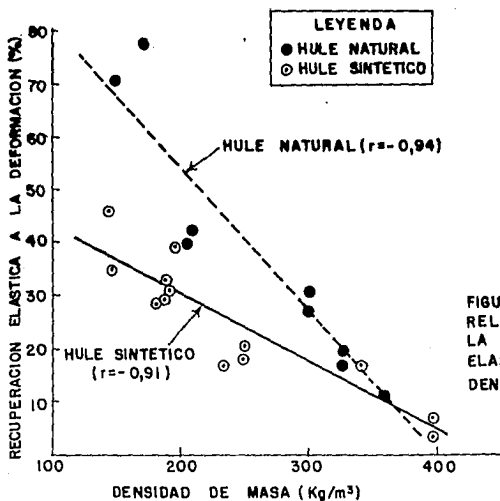
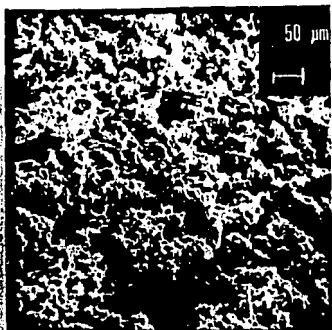


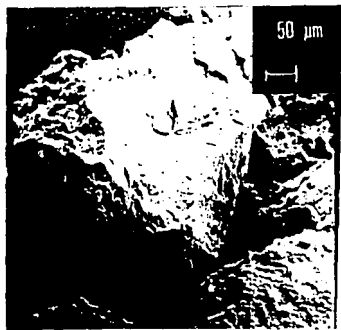
FIGURA III-7
RELACION ENTRE LA RECUPERACION ELASTICA Y LA DENSIDAD DE MASA

(REF. 51)



A) HULE DE LLANTA -
DE AUTO MOLIDO -
SUPERFICIE PORO-
SA "CON NUDOS"
RECUPERACION ---
ELASTICA 35%.

FIG. III-8
B) RASPADURAS DE HU
LE RECAUCHADO --
(CARAS LISAS Y -
NUDILLOS)
MORFOLOGIA MIXTA
RECUPERACION
ELASTICA 21%
(REF. # 50)



C) HULE MOLIDO CRIO
GENICAMENTE. CA-
RAS LISAS (PARTI
CULAS ANGULARES)
RECUPERACION ---
ELASTICA. 6%.

$$\text{Densidad de Masa} = \frac{7.5}{V} \times 1000 \text{ (en Kg/m}^3\text{)}$$

donde V = volumen en reposo de las partículas de hule, - en ml.

El valor de densidad de masa será redondeado al entero - más próximo.

Las partículas de hule porosas tienen una densidad de ma sa baja, en tanto que las partículas de hule angulares (de ca ras lisas) tienen una densidad de masa alta.

Las partículas de hule con baja densidad de masa produ-- cen digestiones con valores de recuperación elástica altos.

3.4) EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA DE HULE Y EL TRATAMIENTO TERMICO EN LA TENACIDAD DEL ASFALTO.

En un estudio efectuado en 1978 en la Universidad de Toronto acerca del efecto del hule molido y el tratamiento térmico en la tenacidad del asfalto los resultados indicaron --- que:

Las partículas grandes de hule (de aproximadamente 0.5 - mm) fueron más efectivas en dar tenacidad al asfalto que las partículas pequeñas de hule (0.15 mm).

El hule molido criogénicamente dá la misma tenacidad al asfalto que el hule molido a temperatura ambiental.

Un tratamiento calorífico de 24 hrs a 200°C redujo la te nacidad de la mezcla de hule-asfalto, en cambio a 180°C el -- efecto es mínimo.

Las partículas de hule cambian su apariencia en grado -- considerable después del tratamiento térmico. Si el tratamien to térmico es severo, son parcialmente carbonizadas.

La mayoría de los tratamientos térmicos causan pérdidas -- en peso y pueden ocasionar algo de desvulcanización si son -- severos. Algunas de las moléculas de hule, de este modo liberadas, probablemente vayan en solución en el asfalto, aunque el microscopio indica que algo de redeposición de hule puede -- llevarse a cabo desde que la carbonización de las partículas -- ocurre. El hule molido criogénicamente sufre mayor pérdida de peso que el hule molido a temperatura ambiental cuando son -- tratadas con el asfalto a 225°C (comprobación efectuada al pe sar el hule después de extraerlo de la mezcla).

La reacción química entre hule y asfalto no es necesaria para que el hule tenga efecto completo en la tenacidad del cemento asfáltico.

Los tratamientos térmicos de larga duración (24 hrs, p.e.) pueden causar degradación en la mezcla de hule-asfalto -- por lo que tratamientos de menor duración (a 180°C aproximadamente) son recomendables.

3.5) METODOS DE PRUEBA PARA MEZCLAS DE HULE-ASFALTO.

3.5.1) Propiedades que han de ser evaluadas en los ingredientes.

Antes de efectuar las pruebas de laboratorio apropiadas para las mezclas de hule-asfalto es importante evaluar las -- propiedades del asfalto base y al hule molido que han de emplearse para la producción del material de hule-asfalto. Estas propiedades son, principalmente:

- | | |
|-----------------------|---------------------------------|
| Para el asfalto base: | + Penetración. |
| | + Punto de reblandecimiento; y |
| Para el hule molido : | + Composición química |
| | + Granulometría. |
| | + Morfología (densidad de masa) |

3.5.2) Propiedades que han de ser evaluadas en la mezcla de - hule asfalto.

Las propiedades más importantes que han de evaluarse en las pruebas de los materiales de hule-asfalto son:

- + Susceptibilidad a la temperatura de la viscosidad --- (o viscosidad vs temperatura)
- + Flexibilidad a bajas temperaturas.
- + Recuperación elástica y plástica
- + Resistencia a la fatiga.
- + Envejecimiento (degradación térmica)
- + Adhesión al agregado.

3.5.3) Principales métodos de prueba para los materiales de - hule-asfalto (en uso).

- a) Viscosidad absoluta de capilaridad al vacío a 60°C.

Es una modificación del método estándar de prueba ASTM - D2171-66.

Modificaciones:

a) Uso de un viscosímetro de capilaridad de calibre más -- grande para las partículas de hule dilatadas.

b) Reducción del vacío aplicado de los 30 cm de Hg estándar a 10 cm de Hg para producir tiempos de flujo más lentos y evitar la separación del asfalto y el hule durante el flujo capilar.

Resumen del método:

El tiempo es medido para un volumen fijo de hule-asfalto que ha de ser ascendido a través de un tubo capilar por medio de vacío bajo condiciones de vacío y temperatura estrechamente controladas. La viscosidad absoluta es calculada multiplicando el tiempo de flujo por un factor constante dependiente del vacío aplicado.

b) Reómetro de Schweyer.

El reómetro de Schweyer es descrito como un reómetro de deformación constante que produce un reograma de viscosidad aparente (η_a) contra velocidad de corte ($\dot{\gamma}$).

Procedimiento:

Una muestra de hule-asfalto es forzada a través de un tubo capilar de precisión por medio de una carga constante. La carga es aplicada por un émbolo insertado en el tubo. El movimiento descendente del émbolo es monitoreado a través de un -

sensor o por medio de un transductor de desplazamiento lineal variable.

Un registrador de cinta móvil registra el movimiento del émbolo como una función de desplazamiento en el tiempo. El movimiento del émbolo corregido es igualado al flujo del espécimen del tubo.

La presión en el émbolo de carga es registrada por manómetros en el frente del reómetro. La presión es abastecida -- por nitrógeno presurizado y puede ser variada dependiendo de las condiciones de prueba y las características del material.

La fuerza aplicada al espécimen es calculada multiplicando la presión registrada en el manómetro (P) por una constante de máquina (M).

El esfuerzo de corte ($\dot{\tau}$) es calculado multiplicando la fuerza aplicada por una constante de tubo ($K\dot{\tau}$).

La velocidad (V) es obtenida extendiendo la pendiente de la porción lineal de la gráfica desplazamiento vs tiempo (registrada).

La velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) es calculada multiplicando la velocidad (v) por una constante de tubo de velocidad de corte ($K\dot{\gamma}$).

La viscosidad aparente es dada por:

$$\eta_a = \frac{\text{Esfuerzo de corte}}{\text{Velocidad de corte}} = \frac{\dot{\tau}}{\dot{\gamma}} \quad (\text{en Pa.s, pascuales-seg})$$

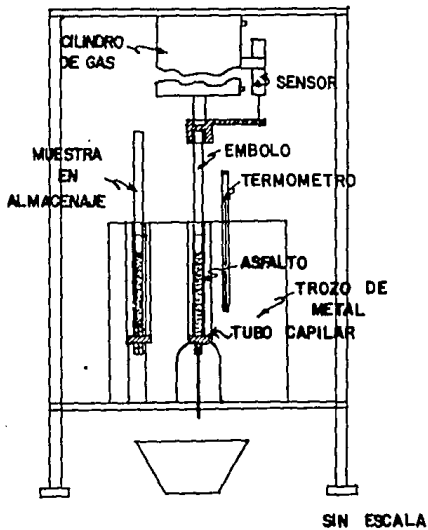


FIGURA III-9 **REOMETRO DE SCHWEYER**
(REF. 70)

Después de que la carga es removida el espécimen vuelve al equilibrio y una carga diferente es aplicada. Una nueva -- viscosidad aparente es calculada para nuevos valores de corte y velocidad de corte.

Los datos registrados después de varios ensayos son graficados para construir el reograma.

C) Viscosidad durante mezclado a 191°C por medio del mezclador de horquilla de torsión.

El mezclador de horquilla de torsión es un instrumento - de tipo rotacional que consta de un motor de mezclado de velocidad constante con hélice, un recipiente para contención del hule-asfalto, controles de velocidad y temperatura de mezclado, una marmita de calentamiento y un registrador de información.

La transferencia de calor durante el proceso de mezclado es lograda por manto eléctrico que cerca a la marmita de calentamiento (o de reacción).

Durante el mezclado a 191°C el arrastre viscoso entre la hélice de mezclado y el hule-asfalto caliente es monitoreado.

La velocidad de mezclado es de 500 RPM aproximadamente.

Las lecturas registradas durante el mezclado in milivoltios son transformadas a medidas de viscosidad (poises).

C') Viscosidad durante el mezclado a 191°C por medio del viscosímetro rotacional de Haake.

El viscosímetro de Haake es un simple dispositivo que mide la viscosidad por el mismo principio que el mezclador de horquilla de torsión, excepto que los cambios en la torsión son monitoreados por deflexión de un resorte calibrado más que por un aumento en la corriente eléctrica como ocurre en la horquilla de torsión.

El viscosímetro de Haake consta de un motor de velocidad constante al cual una copa cilíndrica de viscosidad es agregada. Esta copa es sumergida en el fluido en que las medidas de viscosidad son deseadas y el motor es arrancado. Las fuerzas de rozamiento que se desarrollan en la copa, conforme ésta rota en el fluido, son transmitidas al resorte calibrado dentro del viscosímetro. La viscosidad es medida directamente en poises.

d) Microviscosímetro de placa deslizante.

Además del viscosímetro mismo, el aparato de prueba consta de placas de vidrio de 20 mm x 30 mm x 10 mm, espaciadores y una tina de control de temperatura.

Procedimiento:

Un espécimen de hule-asfalto de 20 x 25 mm y 2.5 mm de espesor es colocado entre las placas de vidrio. Una carga cortante de 500 g es aplicada a las placas por 30 minutos y las deflexiones son monitoreadas. Al final del ciclo de flujo de 30 minutos, la carga cortante de 500 g es removida permitiendo al espécimen rebotar bajo una condición de esfuerzos no cortantes. El rebote o recuperación resultante es monitoreado

por 30 minutos.

Este ciclo es repetido dos veces. Al final del segundo ciclo de recuperación la muestra es dejada para recuperación por 20 horas y la deflexión es medida posteriormente.

Los parámetros siguientes son obtenidos de la prueba: -- viscosidad aparente, flujo y recuperación del 1o. y 2o. ciclo de 30 min, porcentaje de recuperación al 1o. ciclo y al 2o. ciclo de 20 hrs, recuperación del 2o. ciclo de 20 hrs menos 30 min, constantes reológicas de flujo del 1o. ciclo y constantes reológicas de recuperación del 1o. ciclo.

e) Prueba de fractura a baja temperatura.

Alcance:

La fractura a baja temperatura es definida como aquella temperatura, estimada estadísticamente, a la cual 50% de los especímenes fallarían exhibiendo agrietamiento en una prueba especificada.

El método de prueba de fractura a baja temperatura comprende dos procedimientos para determinar la temperatura a la cual las mezclas de hule-asfalto fallarán bajo condiciones de deflexión especificadas.

a) Método A: es una prueba de deflexión a una temperatura específica, involucrando una inclinación de $13^{\circ}30'$ del espécimen sobre un mandril de 30.48 cm. La temperatura inicial deberá ser lo suficientemente grande para que los especímenes no se agrieten de inmediato.

b) Método B: este método está diseñado para producir ---

fractura a un rango de temperatura mayor que el método A. Es una prueba de deflexión invertida, a una temperatura específica involucrando una tangente de inclinación de $9^{\circ}28'$ al material de 3.2 mm de diámetro.

f) Prueba de recuperación elástica.

El aparato empleado es una versión de microviscosímetro de placa deslizante.

Procedimiento:

Una película (de hule-asfalto) de 500 de espesor es sometida a carga de corte. La velocidad de corte es calculada - de la gráfica registrada y de la velocidad de registro. La recuperación elástica es medida en la gráfica como la distancia de retorno viajada por una placa con respecto a la otra y expresada como un porcentaje del espesor de la película.

La repetibilidad de la prueba es pobre.

g) Fuerza-ductibilidad.

Esta prueba, fuerza-ductibilidad, es una versión modificada de la prueba de ductibilidad estándar ASTM D113-76.

Este método de prueba permite medir las características de carga-deformación de los ligantes de hule-asfalto.

Modificaciones al método estándar:

a) Las dimensiones del espécimen. El espécimen de hule-asfalto modificado tiene una sección transversal constante de 1 x 1 cm en un tramo de 3 cm (en su parte central). (ver. ---

fig. No. III-II) lo cual permite la medición de las propiedades ingenieriles de esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad.

b) Adición de varios transductores de fuerza al tren de ductibilidad (asumiendo que se probarán varios especímenes al mismo tiempo) lo cual permite la observación simultánea (monitoreo) de los especímenes y la reducción consiguiente del tiempo de prueba.

Procedimiento:

Los especímenes de hule-asfalto formados en el molde de ductilidad modificado son estirados a velocidad constante --- una tina de temperatura constante. La carga y elongación del espécimen son monitoreados.

Una velocidad de deformación constante medida en la --- sección transversal (constante) de la briqueta de hule-asfalto es deseable para que el esfuerzo y la deformación en el espécimen puedan ser evaluados. Un aparato de prueba de velocidad constante no necesariamente proporciona una velocidad de deformación constante en un espécimen de hule-asfalto. La forma (modificada) del espécimen es, por consiguiente importante.

Los especímenes son mantenidos a la temperatura de prueba circulando agua a través de la tina de ductilidad. Mientras la prueba se está llevando a cabo.

Es recomendable que la velocidad de prueba sea de 1cm/ - min. No obstante, en gran número de pruebas se ha encontrado que la velocidad de deformación es 0.74 ± 0.01 cm/min.

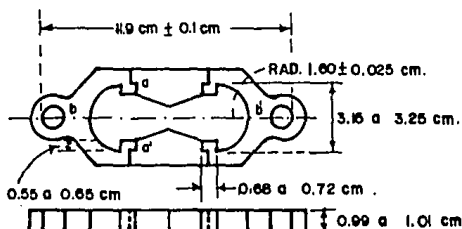


FIG. III-10 MOLDE DE PRUEBA DE DUCTILIDAD ASTM D115

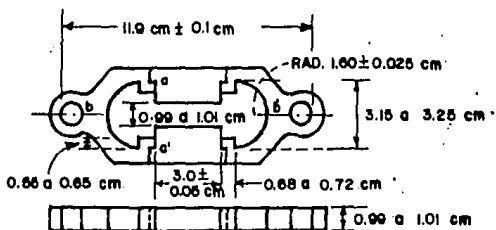


FIG. III-11 MOLDE DE LA PRUEBA FUERZA-DUCTILIDAD

(REF. No. 73)

Los datos obtenidos de la máquina de fuerza-ductilidad son inicialmente en términos de una relación de fuerza-tiempo. Sin embargo, la velocidad de deformación constante permite la conversión de la información fuerza-tiempo a términos de fuerza-deformación. La información de fuerza es convertida a datos de esfuerzo por medio del área de sección transversal inicial de 1 cm². El esfuerzo verdadero es obtenido calculando el cambio en la sección transversal conforme el espécimen aumenta en longitud.

Una vez obtenida la gráfica de esfuerzo-deformación. El trabajo es tomado como el área total bajo la curva de carga-deformación. Pese a que la deformación cambia durante la prueba, la deformación se vuelve aproximadamente lineal después de que una carga de asentamiento es aplicada y permanece aproximadamente lineal hasta la falla. El módulo de elasticidad es determinado evaluando las pendientes de la curva esfuerzo-deformación. Dos pendientes son evaluadas. La pendiente inicial de la curva esfuerzo/deformación en la región lineal bajo la carga primaria será referida como el "módulo de asfalto". Una segunda pendiente, por carga secundaria, será referida al "módulo del hule-asfalto".

La prueba de fuerza-ductilidad es capaz de detectar diferencias entre diferentes tipo de materiales, métodos de fabricación y condiciones de almacenamiento cuando trabajo y deformación son usados como medida.

h) Prueba de ductilidad-tenacidad.

Un ductilímetro modificado (desarrollado por la NITRR Su dáfrica) es usado para medir y registrar las fuerzas desarrolladas en el espécimen de hule-asfalto durante su estirado.

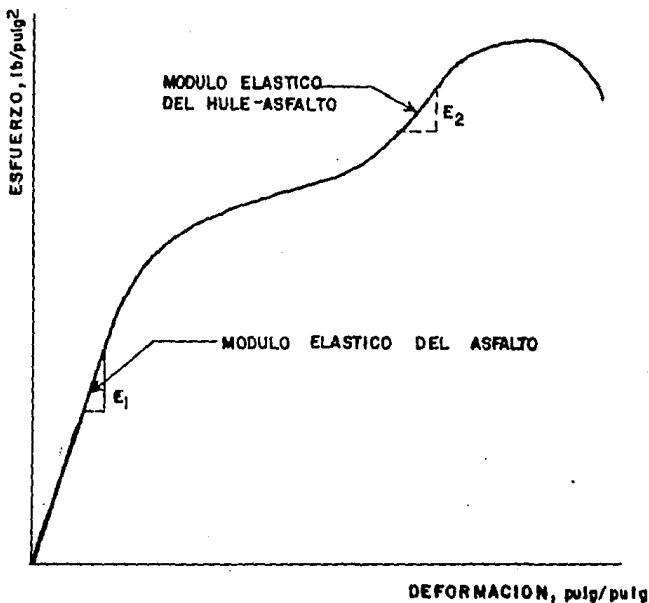


FIGURA III-12 **CURVA REPRESENTATIVA DE
ESFUERZO/DEFORMACION DEL
HULE-ASFALTO**
(REF. 73)

La modificación en el ductilímetro consiste en la adición de un mecanismo de engranaje que permita que sean obtenidas diferentes velocidades de deformación. Además, un anillo de prueba simple y un sistema de registro de fuerzas es agregado.

La preparación de los especímenes se efectúa de acuerdo a la manera usada en la prueba de ductilidad estándar.

Los especímenes son estirados a una velocidad constante de 50 mm/min en una tina de temperatura constante apropiada - para que la carga de fractura requerida se encuentre entre 8- y 12 Nw. Los resultados son expresados como una razón del trabajo realizado al estirar el espécimen una distancia dada de la punta de la carga.

3.5.4) Métodos de prueba de hule-asfalto propuestos para futura investigación.

Los procedimientos de prueba que a continuación se mencionan están en proceso de experimentación a fin de lograr en un futuro próximo su estandarización como métodos de evaluación de las propiedades del hule-asfalto.

a) Susceptibilidad a la temperatura de la viscosidad.

1) Prueba de flujo.

Esta prueba es llevada a cabo de acuerdo con ASTM D3408-75 T No.6 "selladores de juntas, vertidos en caliente para pavimentos de cemento y concreto portland".

Resumen del método.

Un excedente de la mezcla de hule-asfalto es vertido en un molde apropiadamente amalgamado, de 40 mm de ancho por --- 60 mm de largo y 3.2 mm de profundidad, colocado en un panel. Después de enfriarla por media hora, la muestra es desprendida y el molde removido. El panel es colocado en un horno mantenido a 70°C de modo que el eje longitudinal del espécimen esté a un ángulo de 75° con la horizontal y el eje transversal esté horizontal. El cambio en longitud (en mm) es medido después de 72 hrs y reportado como el flujo.

2) Prueba modificada de flujo de Davidson.

Esta prueba está diseñada para medir la resistencia al flujo a 60°C de una muestra de hule-asfalto a fin de indicar cualquier tendencia hacia la separación de asfalto y hule.

Rectángulos de hule-asfalto son moldeados sobre una bandeja de estaño. Después de desprender los especímenes, éstos son colocados a un ángulo de 35° en un horno mantenido a --- 60°C. El cambio en longitud (en mm) después de 4 horas es medido y reportado como el flujo.

3) Punto de reblandecimiento de esfera doble.

Este procedimiento de prueba es una versión modificada de la prueba de ASTM D2398-76 "Punto de reblandecimiento del asfalto en etilenglicol (esfera y anillo)".

El aparato usado por el procedimiento estándar de la --- ASTM es modificado tal que dos esferas de cojinete de acero inoxidable de 3/8" de diámetro y masa de 3.5 g son unidas entre sí por el material de prueba (hule-asfalto) contenido en un anillo metálico. Una de las esferas es fijada al soporte del anillo del montaje estándar. La otra esfera es suspendida de la primer esfera por el material de prueba (ver. fig. III-13).

El montaje es calentado a velocidad especificada (tal como se indica en las normas estándar). Conforme la temperatura se eleva en el aparato, el peso de la esfera inferior comienza a estirar el espécimen de hule-asfalto. El punto de reblandecimiento es registrado como la temperatura entre las esferas cuando la esfera suspendida alcanza la placa de fondo de montaje (ver fig. III-13).

b) Flexibilidad a bajas temperaturas.

4) Punto de ruptura Fraass (temperatura de ruptura ---- fraass).

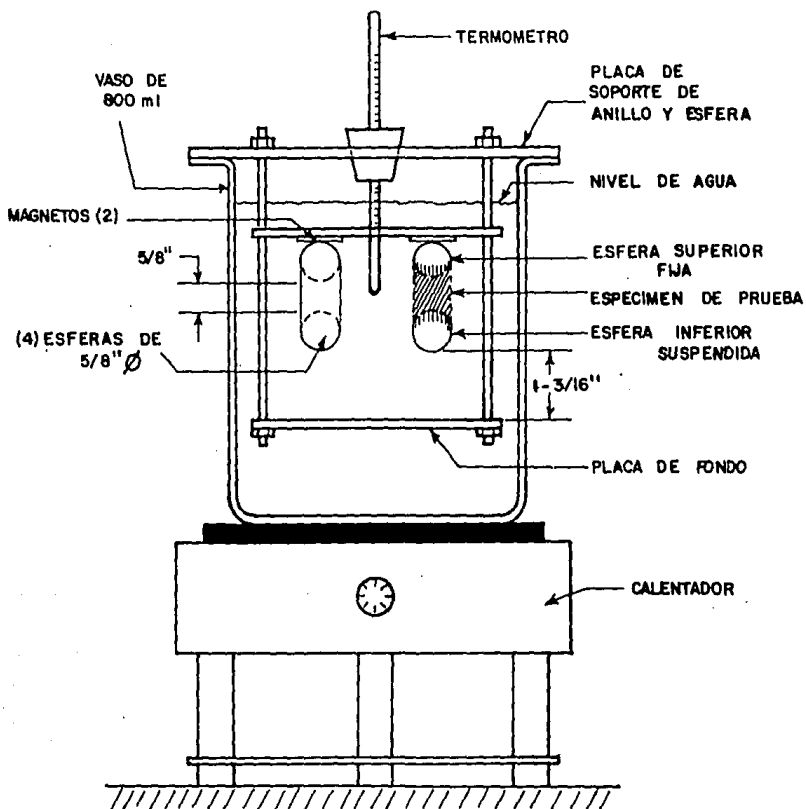


FIGURA 111-13 **APARATO PARA LA PRUEBA DE PUNTO REBLANDECIMIENTO DE ESFERA DOBLE**
(REF. 73)

El punto de ruptura Fraass es la temperatura a la cual -- un ligante empieza a quebrarse. La prueba es llevada a cabo -- de acuerdo a IP 80/53 (especificaciones de caminos en Reino -- Unido)..

"Punto de ruptura del método Fraass de asfaltos"

Procedimiento:

Una esfera de hule-asfalto, con una masa de 0.40 g es colocada sobre una placa y calentada para formar una película -- lisa del material sobre la placa. Después de enfriar la placa (cubierta con la muestra) es puesta en el aparato de flexión-- y flexada bajo condiciones especificadas a una velocidad constante de enfriamiento hasta que las grietas aparezcan. La temperatura a la cual una o más grietas aparecen en el espécimen es registrada como punto de ruptura. Debido a la naturaleza -- de las mezclas de hule-asfalto y la presencia de partículas -- de hule es imposible producir películas uniformes.

5) Prueba de ruptura al impacto.

Método investigado por la NITRR (Sudáfrica) para valorar las características de ruptura de los ligantes.

El aparato está diseñado para someter al ligante de hule asfalto a fuerzas y tiempos de carga del mismo orden que aquellos a que está sometida una carretera por el paso de los vehículos.

Resumen del método:

El aparato de impacto consiste en un émbolo guiado cuya masa puede ser variada entre 250 y 755 g. El émbolo pesado --

puede ser caído en la muestra de ligante desde una altura entre 100 y 600 mm. La muestra es colocada en una copa cilíndrica de 20 mm de profundidad y 50 mm de diámetro; estando la superficie del ligante a nivel con el borde de la copa. Un resorte unido a los controles del émbolo controla la velocidad de carga a impacto. Un émbolo con una superficie de impacto hemisférica de radio de 5 mm resulta ser la más apropiada para la prueba.

Posteriormente la fuerza de impacto a la temperatura de ruptura es registrada en KN.

c) Recuperación elástica y plástica.

2.4.5) Prueba de compresión/recuperación de Mc Donald.

Este método de prueba (Método # 3 de Mc Donald) está orientado a usarse como prueba de control de calidad de las mezclas de hule-asfalto tanto en campo como en laboratorio. También puede ser usada para obtener formulaciones que den el balance óptimo deseado entre elasticidad y plasticidad en las mezclas de hule-asfalto. La prueba está diseñada para simplificar el problema de control de calidad del hule-asfalto que es complicado por el hecho de que éste ligante tiene tanto propiedades elásticas como plásticas. El balance entre las propiedades de rebote elástico y asentamiento plástico es importante para el funcionamiento del hule-asfalto en carreteras.

Esta prueba está diseñada para medir:

a) La recuperación elástica del hule-asfalto cuando es momentáneamente comprimido por la aplicación de una fuerza y luego dejado recuperar removiendo la fuerza; y

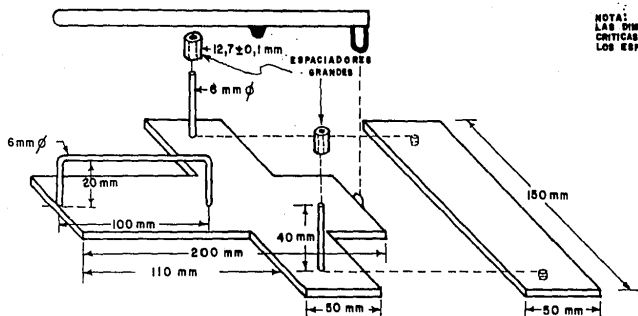
b) El flujo plástico dejando el espécimen sin tocar por un periodo de tiempo para medir cambios en las dimensiones.

Resumen del método:

Varios moldes cilíndricos de papel tratado con silicón, de 2.54 cm de alto por 1.90 cm de diámetro son preparados y pegados verticalmente sobre una tabla lisa. Las mezclas de hule-asfalto son preparadas (de acuerdo a especificaciones), calentadas y vertidas en los moldes. Las muestras de hule-asfalto son enfriadas con hielo seco y los moldes removidos. Los moldes de hule-asfalto permanecen luego apoyados en la tabla. Cuando las muestras han alcanzado la temperatura ambiente (entre 16 y 27°C) un cuadrado de papel ligeramente más largo que el diámetro del espécimen es encerrado por el yugo. La plancha de compresión es colocada en la parte superior del espécimen y rápidamente el cilindro de hule-asfalto es comprimido a la mitad de su altura hasta que se encuentre sólidamente con el yugo en la plantilla del espaciador. La compresión es inmediatamente retirada permitiendo al espécimen recuperarse. Después de 5 minutos la altura del espécimen es medida. Mediciones futuras serán tomadas en intervalos de 1 hr, 4 hrs, 24 -- hrs y 96 hrs. La altura a 96 hrs es registrada como un % de la altura inicial y es reportada como la altura después de -- flujo.

La prueba puede ser corrida a un rango razonable de temperaturas ambientales.

La diferencia entre el efecto de preparación mecánica en campo a la preparación manual de la composición de la mezcla de control puede afectar los resultados lo suficiente para requerir que un factor de corrección sea aplicado a los resultados de la prueba del producto de campo antes de hacer una com



NOTA:
 LAS DIMENSIONES NO SON
 CRITICAS EXCEPTO PARA
 LOS ESPACIADORES DE 12,7 mm

ESCALA 1:2

PLACAS DE ALUMINIO
 DE ± 5 mm DE ESPESOR
 (2 SON REQUERIDAS)

FIGURA III-14

APARATO PARA EL METODO DE PRUEBA DE COMPRESION/
 RECUPERACION DE MCDONALD (REF.5)

paración de los resultados de los dos productos. El factor sería establecido por correlación con una preparación de campo cuidadosamente monitoreada.

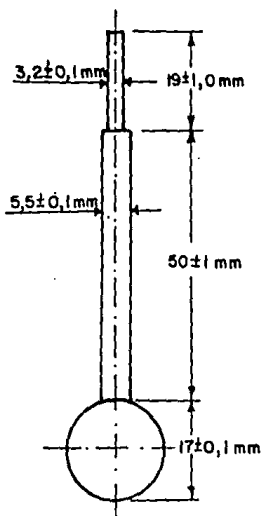
6) Prueba de penetración de esfera y resiliencia.

Esta prueba es llevada a cabo de acuerdo con ASTM D3408-75T No 8 "Selladores de juntas, vertidos en caliente del tipo elastómero para pavimentos de concreto hidráulico".

Resumen del método.

Dos especímenes son preparados como lo especificado para la prueba de penetración estándar y puesta por 72 horas bajo condiciones estándar. El espécimen que ha de ser envejecido es más tarde sometido a un horno a 70°C por 24 hrs. Los especímenes no envejecidos y el envejecido en horno (dejado por una hora en una tina de agua mantenida a 25°C) son probados con un penetrómetro estándar en el cual la herramienta de penetración de aguja ha sido sustituida por una esfera. La esfera del penetrómetro es puesta en contacto con la superficie del espécimen y la carátula indicadora colocada en cero. La herramienta de penetración de esfera es dejada penetrar en el espécimen por 5 segundos y la lectura registrada es la penetración de la esfera, p , en cm. Sin devolver el indicador de la carátula a cero, la herramienta de penetración de la esfera es empujada una penetración adicional $100(P + 100)$. El clutch es reembragado por 5 segundos más, y durante este tiempo el indicador es regresado a cero. El clutch es liberado permitiendo al espécimen recuperarse por 20 seg y la lectura final, F , es registrada. Las determinaciones son hechas en tres puntos.

La recuperación (medida de resiliencia) es calculada co-



MASA DE LA ESFERA
DE PENETRACION,
 $27,5 \pm 0,1$ g

MASA TOTAL DE LA
ESFERA Y FLECHA
DEL PENETROMETRO,
 $75,0 \pm 0,1$ g

NOTA:
UNICAMENTE LAS SI-
GUIENTES DIMENSIO-
NES SON CRITICAS:

DIAMETRO DE LA ESFERA:
 $17 \pm 0,1$ mm

MASA DE LA HERRAMIENTA:
 $27,5$ g

FIGURA III-15 HERRAMIENTA DE PENETRACION
DE ESFERA

(REF. 5)

La recuperación (medida de resiliencia) es calculada como sigue:

$$\text{Recuperación, \%} = P + 100 - F$$

El promedio de las tres determinaciones es registrada como la resiliencia.

7) Viscosímetro de cilindro.

El viscosímetro de cilindro (modificación del consistómetro de Haake) es un aparato desarrollado por la NITRR de Sudáfrica para estudiar los cambios en viscosidad de ligantes in-temperizados natural o artificialmente a grandes niveles de viscosidad y a bajas temperaturas. El método está basado en la deformación de un cilindro de ligante bajo una carga conocida y a temperatura controlada.

Resumen del método.

Un cilindro de hule-asfalto de dimensiones: 15 mm de alto y 13 mm de diámetro y es comprimido aproximadamente al 60% de su altura original bajo una constante de carga. La disminución en la altura del cilindro es medida por medio de un micrómetro. La deformación es graficada contra el tiempo y la viscosidad es determinada de la pendiente de la curva a la cual la altura del cilindro es reducida aproximadamente a 70% de su altura original.

d) Prueba de degradación al calor (envejecimiento)

8) Prueba extendida de película delgada.

Esta prueba es una ligera versión modificada de la ASTM -

D1754-76 "Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos (prueba de película delgada). "La única modificación del método estándar es el tiempo extendido de calentamiento. El efecto del calentamiento y oxidación en el ligante es determinado por esta prueba.

Procedimiento:

Una cantidad de hule-asfalto igual a 50 ml es vertida en un recipiente especificado, enfriada y pesada. El recipiente es rotado en un horno mantenido a 163°C. La duración de la prueba estándar es de 5 horas pero esta prueba puede ser extendida a 8, 16, 24 o 32 horas.

La cantidad de endurecimiento (reducción en penetración, expresada como un porcentaje del valor original) y la pérdida por calentamiento son posteriormente determinadas.

9) Prueba de película delgada de rodamiento extendida.

Esta prueba es una versión ligeramente modificada del -- ASTM D2872-74 "Efecto del calor y el aire en una película delgada en movimiento de asfalto (prueba de película delgada rodando). "La única diferencia del método estándar está en la duración de la prueba. Los efectos de este tratamiento son de terminados de las medidas de las propiedades del ligante antes y después de la prueba.

Resumen del método:

35 g de la muestra son vertidos en un recipiente de vidrio especificado, colocados en un horno especial a 163°C y girados con aire por medio de un chorro ubicado horizontalmente en la entrada del recipiente. La duración de la prueba es-

tándar es 85 min pero en la prueba extendida la duración del calentamiento es 480 min.

10) Prueba de oxidación a presión.

Esta prueba es una modificación del procedimiento desarrollado por el laboratorio de Investigación de carreteras -- del Reino Unido en el cual películas de ligante son envejecidas bajo condiciones predeterminadas de presión, oxígeno, --- tiempo y temperatura.

Procedimiento:

Películas delgadas de ligante de espesores variables --- (20) a 1 mm) son preparadas en placas de vidrio, colocadas en una bomba, presurizadas a la presión de oxígeno seleccionada (1.4 a un máximo de 2.1 MPa) y colocadas en una tina de agua a 65°C por 96 hrs.

Después de terminar la prueba, las películas de ligante son desprendidas de las placas y sujetas a pruebas posteriores (p.e. viscosidad). Una desventaja de este método es que produce únicamente pequeñas cantidades de material de prueba.

e) Adhesión al agregado.

11) Prueba de Riedel & Weber.

Esta prueba describe la determinación de la adhesión del ligante al agregado pétreo por medio de una prueba de inmersión química.

Resumen del método:

100g de la fracción de agregado de -6.7 a + 4.75 mm es -

secada en un horno a 105-110°C. Aproximadamente 100 g de ligante son calentados a la misma temperatura y la cantidad correcta adicionada al agregado seco. El agregado y el ligante son mezclados y dejados enfriar.

Soluciones de carbonato de calcio (Na_2CO_3) en agua destilada son hechas en un rango de 0.0039 M a 1 M .

Aproximadamente 10 g de mezcla de ligante/ agregado son calentados por una hora en agua destilada. La muestra es luego colocada en un papel filtro, dejada secar y examinada. Si la película de ligante se ha desprendido del agregado un valor de desprendimiento de cero es dado al agregado. El procedimiento es repetido con la solución más débil de Na_2CO_3 y continuada con concentraciones crecientes hasta que el desprendimiento tenga lugar. Cada concentración tiene un valor de desprendimiento correspondiente y el valor de desprendimiento de un agregado es el número R & W de la concentración más baja a la cual el desprendimiento ocurre.

IV) ESPECIFICACIONES.

4.1) PROLOGO.

Las especificaciones para membrana disipadora de esfuerzos (SAM), membrana intercapa disipadora de esfuerzos (SAM1), concreto asfáltico modificado con hule y capa antiderrapante de concreto asfáltico de granulometría abierta con ligante de hule-asfalto, que a continuación se incluyen, corresponden al grupo de productores de hule-asfalto de los Estados Unidos -- (ARPG). En tanto, las especificaciones para sellado de grietas y juntas pertenecen a Crafcó Inc., compañía norteamericana especializada en la producción y aplicación de selladores de hule-asfalto y que pertenece al grupo de productores de hule-asfalto de los Estados Unidos.

4.2) MEMBRANA DISIPADORA DE ESFUERZOS (SAM).

MATERIAL DE HULE-ASFALTO:

Descripción:

El trabajo constará del suministro, proporcionamiento y mezclado de todos los ingredientes necesarios para producir un material de hule-asfalto.

Materiales:

Los materiales de hule-asfalto serán precalificados para su uso basándose en su funcionamiento conocido y aceptable.

El material de hule-asfalto seleccionado por el contratista y suministrado por el fabricante será de la misma composición y calidad que los productos de hule-asfalto precalificados. La composición y calidad de un material de hule-asfalto precalificado está basada en ingredientes específicos que son proporcionados y mezclados bajo un estricto control del fabricante.

Certificación:

El fabricante dará al contratista un certificado que --- identifique apropiadamente la bacha y/o número de lote, material, cantidad de la bacha, fecha y tiempo de fabricación, -- nombre y dirección del fabricante y una declaración de que el material es de la misma composición que el material precalificado para su uso. El contratista hará llegar al ingeniero una copia del certificado del fabricante indicado arriba. El hule asfalto que sea elaborado por un proceso continuo será certificado por lote. Un lote será la producción de un día.

Precalificación de un material de hule-asfalto nuevo:

La precalificación de un material de hule-asfalto nuevo podrá ser pedida por el fabricante en cualquier tiempo.

La precalificación de un nuevo material de hule-asfalto estará basada cuando menos en tres aplicaciones de campo que hayan sido sometidas al tráfico por lo menos dos años.

Modificación del hule-asfalto precalificado.

El fabricante electo deberá en cualquier tiempo, para modificar substancialmente los ingredientes, proporciones o procesamiento de un material de hule-asfalto precalificado notificar por escrito a la agencia usuaria las modificaciones, -- describiendo detalladamente el efecto anticipado sobre el rendimiento conocido del material de hule-asfalto precalificado.

Detalles constructivos.

Existen ciertas limitaciones en la vida de almacenaje, - manejo y aplicación del material de hule-asfalto -que ha sido completamente procesado- que son críticas para el funcionamiento satisfactorio del material en una aplicación específica. Por lo que el fabricante proporcionará al ingeniero una - descripción detallada por escrito de sus recomendaciones específicas para toda limitación en el manejo, almacenaje y aplicación del material de hule-asfalto.

El ingeniero será el responsable de asegurar que el hule-asfalto que es incorporado en el trabajo cumpla con las recomendaciones del fabricante. No serán admitidos cambios sustanciales en el manejo, almacenaje o aplicación del material a - menos que el fabricante lo autorice por escrito.

RIEGO DE SELLO (Usando material de hule-asfalto):Descripción:

El trabajo consistirá en el suministro de todos los materiales y aplicación de un riego de sello utilizando material de hule-asfalto para la superficie asfáltica existente.

Materiales:Riego de liga asfáltica; (si el ingeniero lo requiere)

El asfalto para el riego de liga será cualquiera de éstos: cemento asfáltico, asfalto líquido o asfalto emulsificado.

El material de riego de liga asfáltico seleccionado por el ingeniero será uno que sea compatible con el material de hule-asfalto del fabricante.

Material de hule-asfalto:

El material de hule-asfalto seguirá los requisitos especificados en la primera parte de estas especificaciones.

Materia de sello:

Cuando no haya una agencia que sea fuente de suministro para el material de sello, el contratista proporcionará una fuente.

El agregado para material de sello será el especificado por el fabricante de hule-asfalto. No serán usadas ni areniscas ni materiales sintéticos en la producción de material de-

sello. El material de sello retenido en la malla No. 8 contendrá, en peso, no más del 30% de caliza cuando el material de sello sea para la superficie final de la capa de rodado. El requisito del contenido máximo de caliza será eliminado cuando el material de sello va a ser cubierto por una capa de pavimento subsecuente en un periodo no mayor de 12 meses.

La resistencia a la abrasión no excederá de 9% a 100 revoluciones ni tampoco de 40% a 500 revoluciones.

La gravedad específica del material de sello no excederá de 2.9.

Agregado para material de poreado: (si el ingeniero lo requiere)

Cuando no haya una agencia que sea fuente de suministro del material de poreado, el contratista proporcionará una --- fuente.

El agregado para material de poreado será conforme a los requisitos estándar.

Detalles constructivos:

Los pasos requeridos para construir el riego de sello -- usando un material de hule-asfalto será conforme a las secuencias siguientes:

Preparación de la superficie.

Aplicación del riego de liga asfáltico.*

Aplicación del material del hule-asfalto.

Aplicación del material de sello.

Compactación del material de sello.

Aplicación del material de poreado.*

Remoción del material de sello y de poreado suelto.

* Si es requerido por el ingeniero.

Preparación de la superficie para el riego de sello:

Las superficies serán limpiadas antes de la aplicación del material de riego de sello.

Aplicación del riego de liga asfáltico:

El riego de liga asfáltico arriba especificado será aplicado de acuerdo a los requisitos de las especificaciones estándar de cada agencia usuaria en particular a una razón de 0.05 gal/yd² para cementos asfálticos o asfalto líquido, y 0.07 gal/yd² para asfalto emulsificado; sin embargo, la razón exacta de aplicación será determinada por el contratista basado en su juicio de la condición de la superficie y la clase de materiales de hule-asfalto que él haya seleccionado para su uso.

Aplicación del material de hule-asfalto:

El material de hule-asfalto será aplicado a una razón aproximada de 0.55 gal/yd²; no obstante, la razón exacta de aplicación será determinada por el ingeniero apegándose a los requisitos de los detalles constructivos.

El material de hule-asfalto será únicamente aplicado cuando la temperatura del aire ambiental sea cuando menos 65°F; sin embargo, aunque la temperatura del aire ambiental sea la requerida, el ingeniero, en cualquier momento puede ordenar que el trabajo cese o que el día de trabajo sea reduci-

do si las condiciones climatológicas, existentes o esperadas, pudieran tener un efecto adverso sobre el material de hule-asfalto. La superficie sobre la cual el material de hule-asfalto será aplicado deberá estar seca.

Distribuidores del tipo de gravedad no serán permitidos, los camiones distribuidores serán del tipo a presión con tanques aislados; capaces de aplicar el riego de material de hule-asfalto de manera uniforme e ininterrumpida a razones controladas de 0.03 a 1.00 gal/yd². El camión distribuidor será equipado con un sistema de calentamiento y un termómetro de precisión montado al tanque, para determinar la temperatura del material de hule-asfalto.

El distribuidor tendrá también equipo que permita dar -- una rápida y exacta determinación y control de la cantidad de hule-asfalto que está siendo aplicada; un bitómetro que registre la velocidad de avance en pies por minuto y la distancia total recorrida en pies; una bomba para circular el hule-asfalto en la barra de espreas y en el tanque; un manómetro, un tacómetro de bomba y otros instrumentos aprobados para controlar la razón de aplicación del hule-asfalto; y medios aprobados para determinar con precisión la cantidad de hule-asfalto en el tanque.

Antes de usar cualquier camión distribuidor en el proyecto, o periódicamente durante el curso del proyecto, el ingeniero puede requerir que la razón de riego sea checada. La razón de riego no variará en más del 10% ni tampoco de 0.05 gal/yd² de la razón de aplicación especificada.

El ingeniero puede ordenar en cualquier momento el retiro de cualquier camión distribuidor que no satisfaga los requisitos aquí especificados o que no produzca una aplicación-

adecuada del material de hule-asfalto como aquí se indica.

Para obtener una distribución uniforme de material de hule-asfalto, la distribución será iniciada o terminada en la unión de dos aplicaciones. El distribuidor será rápidamente detenido antes de que se efectúe cualquier disminución en el flujo del material de hule-asfalto, ya sea por el llenado del tanque, cambio de velocidad en el distribuidor o cualquier otra razón.

Las juntas longitudinales coincidirán hasta donde sea posible con las líneas pintadas, existentes o futuras, entre los carriles de tráfico.

Las juntas longitudinales serán completamente limpiadas antes de la aplicación del material de hule-asfalto en la franja adyacente. Las juntas longitudinales serán traslapadas aproximadamente cuatro pulgadas.

El material de hule-asfalto será protegido del riego sobre pavimentos adyacentes y será evitado en aquella porción del camino en que haya tráfico, en estructuras, guarniciones, guardarríeles, árboles y arbustos y cualquier otro objeto fuera del área asignada para riego de hule-asfalto.

El material de hule-asfalto que no sea empleado no será dispuesto en la franja de derecho de vía a menos que sea permitido por el ingeniero.

Aplicación del material de sello:

El material de sello será aplicado a una razón aproximada de 35 lb/yd²; no obstante, el ingeniero determinará la razón exacta que será aplicada.

El material de sello será esparcido por medio de un esparcidor de material de sello autopropulsable, equipado con dispositivos mecánicos que distribuirán el material de sello a una razón uniforme sobre el ancho total de la superficie -- tratada con hule-asfalto en una aplicación. El esparcidor de material de sello será equipado con un dispositivo que deposite las partículas gruesas sobre el material de hule-asfalto -- antes que las partículas más finas.

El esparcidor de material de sello no será operado a velocidades que causen que el agregado rebote o ruede luego de caer sobre la superficie de hule-asfalto.

Todas las juntas transversales serán hechas con papel de edificación aplicado en el extremo de la aplicación anterior, y la siguiente aplicación empezará en el papel de edifica----ción. Una vez que el proceso de aplicación ha avanzado más -- adelante del papel, el papel será dispuesto donde el ingeniero indique.

El apilado del material de sello antes de aplicarlo será permitido; sin embargo, si el material llegara a contaminarse durante el almacenaje o las operaciones de recarga será motivo para rechazar el material de sello.

Al tiempo de aplicación del material de sello en el camino, éste estará bien seco.

La aplicación del material de sello empezará inmediata--mente después de la aplicación del material de hule-asfalto y será mantenida a una distancia aproximada de 100 pies del digtribuidor de hule-asfalto.

Después de que el material de sello ha sido aplicado al-

hule-asfalto, y antes de compactar, cualquier depresión, tope o distribución frágosa será cuidadosamente removida con el -- fin de asegurar la eliminación permanente de irregularidades en toda la superficie del pavimento.

Acabado del material de sello:

Inmediatamente después del material de sello sobre la su perficie tratada con hule-asfalto, la superficie completa se- rá compactada con rodillos neumáticos de acuerdo con estas es pecificaciones.

Rodillos neumáticos:

Los rodillos neumáticos serán autopropulsables de rueda- del tipo oscilante consistente de cuando menos siete ruedas.- Las ruedas serán llantas neumáticas de huella lisa rodadas en dos ejes. El rodillo estará facultado para ser lastrado al pe so requerido.

Los rodillos serán equipados con dispositivos para aumen tar o disminuir la presión del aire en las llantas mientras - el compactador esté en operación, y las llantas frontales y - las llantas traseras estarán dispuestas de tal manera que ha- ya un ligero traslape entre las huellas de las llantas. Cada- llanta será equipada con un dispositivo de raspado o limpieza adecuado para evitar la acumulación de material en las llan- tas.

Los rodillos serán de fácil operación y serán capaces de dar vuelta, detenerse o moverse en reversa sin forcejear, ni- desplazar los materiales de la superficie que ha sido compac- tada.

El contratista proporcionará al ingeniero una copia de -

las especificaciones del fabricante del rodillo o tablas que muestren las áreas de contacto y presiones de contacto promedio para todo el rango de ruedas cargadas para cada compactador suministrado. El contratista también dará al ingeniero -- una copia de la tabla de calibración o de la carta de la caja de lastrado, la cual indicará el volumen de la caja de lastrado en pies cúbicos, a cada seis pulgadas de incremento en la profundidad de lastrado y el peso lleno o de tara del rodillo.

Compactación:

El contratista suministrará suficientes rodillos para cubrir el ancho total de la superficie tratada en una pasada. La presión de contacto promedio de cada rodillo será al menos de 60 lb/pulg².

La primer pasada será hecha inmediatamente atrás del esparcidor de material de sello. Si por alguna razón la operación de esparcido fuera detenida, el esparcidor será movido hacia adelante lo suficiente para que el material de sello recién esparcido pueda ser compactado inmediatamente. La compactación proseguirá hasta que un mínimo de cuatro pasadas completas se haya efectuado. La compactación final será hecha -- dos horas después de la aplicación del material de sello.

Aplicación del material de poreado:

El material de poreado será aplicado a una razón de --- 1.0 lb/yd² aproximadamente; sin embargo, la razón exacta de aplicación será establecida por el ingeniero. El material de poreado estará bien seco al momento de su aplicación.

La primera aplicación del material de poreado empezará -

inmediatamente después de la primera pasada de los rodillos.- Aplicaciones adicionales de material de poreado pueden ser requeridas luego de abrir el paso al tráfico; no obstante, el ingeniero determinará cualquier necesidad posterior y establecerá la razón de material de poreado que ha de ser aplicada.

El material de poreado que sea aplicado después de abrir paso al tráfico será removido con una barredora o como lo indique el ingeniero.

Control de tráfico:

El control de tráfico será conforme a los requisitos de las especificaciones estándar de la agencia usuaria y como se especifique aquí. Tráfico de todos tipos será mantenido fuera de la superficie tratada durante toda la secuencia de aplicaciones y hasta que el riego de sello haya fraguado apropiadamente; por si acaso, el periodo libre de tráfico será cuando menos tres horas después de que la primera aplicación del material de poreado sea terminada; no obstante, donde sea esencial que el tráfico de equipo de construcción use la superficie tratada con el riego de sello o donde sea necesario que el público viajante cruce el nuevo riego de sello, todo esfuerzo será hecho para limitar la velocidad del viaje a una máxima de 15 MPH.

Remoción del material de sello suelto:

El material de sello suelto será removido de la superficie tratada por barrido a no menos de 3 horas o no más de 36 horas después de la aplicación; sin embargo, el ingeniero determinará que condiciones no son conducentes para obtener los mejores resultados durante este periodo; él puede fijar otro periodo.

El barrido será llevado a cabo por medio de barredoras - motrices de tal forma que el material de sello no sea desprendido del material de hule-asfalto.

Si por alguna razón hay desplazamiento del material de - sello empotrado, el barrido será detenido hasta que se logre una retención satisfactoria del material de sello.

4.3) MEMBRANA INTERCAPA DISIPADORA DE ESFUERZOS (SAMI)

MATERIAL DE HULE-ASFALTO:

Descripción:

El trabajo constará del suministro, proporcionamiento y mezclado de todos los ingredientes necesarios para producir un material de hule-asfalto.

Materiales:

Los materiales de hule-asfalto serán precalificados para su uso basándose en su funcionamiento conocido y aceptable.

El material de hule-asfalto seleccionado por el contratista y suministrado por el fabricante será de la misma composición y calidad que los productos de hule-asfalto precalificados. La composición y calidad de un material de hule-asfalto precalificado está basada en ingredientes específicos que son proporcionados y mezclados bajo un estricto control del fabricante.

Certificación:

El fabricante dará al contratista un certificado que --- identifique apropiadamente la bacha y/o número de lote, material, cantidad de la bacha, fecha y tiempo de fabricación, -- nombre y dirección del fabricante y una declaración de que el material es de la misma composición que el material precalificado para su uso. El contratista hará llegar al ingeniero una copia del certificado del fabricante indicado arriba. El hule asfalto que sea elaborado por un proceso continuo será certificado por lote. Un lote será la producción de un día.

Precalificación de un material de hule-asfalto nuevo:

La precalificación de un material de hule asfalto nuevo-
podrá ser pedida por el fabricante en cualquier tiempo.

La precalificación de un nuevo material de hule-asfalto-
estará basada cuando menos en tres aplicaciones de campo que-
hayan sido sometidas al tráfico por lo menos dos años.

Modificación de hule-asfalto precalificado.

El fabricante electo deberá, en cualquier tiempo, para -
modificar substancialmente los ingredientes, proporciones o -
procesamiento de un material de hule-asfalto precalificado no
tificar por escrito a la agencia usuaria las modificaciones,-
describiendo detalladamente el efecto anticipado sobre el ren
dimiento conocido del material de hule-asfalto precalificado.

Detalles constructivos.

Existen ciertas limitaciones en la vida de almacenaje, -
manejo y aplicación del material de hule-asfalto que ha sido-
completamente procesado -que son críticas para el funciona---
miento satisfactorio del material en una aplicación especifi-
ca. Por lo que el fabricante proporcionará al ingeniero una -
descripción detallada por escrito de sus recomendaciones espe-
cíficas para toda limitación en el manejo, almacenaje y apli-
cación del material de hule-asfalto.

El ingeniero será el responsable de asegurar que el hule
asfalto que es incorporado en el trabajo cumpla con las reco-
mendaciones del fabricante. No serán admitidos cambios sustan-
ciales en el manejo, almacenaje o aplicación del material a -
menos que el fabricante lo autorice por escrito.

MEMBRANA DE HULE-ASFALTO.Descripción:

La membrana de hule-asfalto consistirá del suministro de un material de hule-asfalto y su aplicación en los lugares -- mostrados en los planos del proyecto, antes de la aplicación de la sobrecapa, y de acuerdo a los siguientes requisitos:

Materiales:Riego de liga asfáltico (si es requerido):

El asfalto para el riego de liga será cemento asfáltico, asfalto líquido o asfalto emulsificado.

El material para riego de liga asfáltico seleccionado -- por el ingeniero será uno que sea compatible con el material de hule-asfalto del fabricante.

Material de hule-asfalto:

El material de hule-asfalto satisficará los requisitos -- indicados en la primer parte de estas especificaciones.

Material de sello:

Si no hay una agencia que sea fuente de suministro de -- agregado mineral, el contratista proporcionará una fuente.

El agregado para material de sello será especificado por el fabricante de hule-asfalto.

El agregado para material de sello retenido en la malla-

No. 8 contendrá, en peso, cuando mucho 30% de caliza. Ni arenisca ni materiales sintéticos serán usados en la producción de material de sello.

Detalles constructivos:

La membrana de hule-asfalto será construida en la secuencia siguiente:

- Preparación de la superficie.
- Aplicación del riego de liga asfáltico.*
- Aplicación del material de hule-asfalto.
- Aplicación y compactación del material de sello.
- Remoción del material de sello suelto.

* si el ingeniero lo requiere.

Preparación de la superficie para la membrana de hule-asfalto:

Las superficies serán limpiadas antes de la aplicación del material de hule-asfalto.

Aplicación del riego de liga asfáltico:

El riego de liga asfáltico antes especificado será aplicado de acuerdo con los requisitos de las especificaciones estándar de cada agencia usuaria en particular, en una razón aproximada de 0.06 gal/yd² para cemento asfáltico y 0.08 gal/yd² para asfalto emulsificado. Sin embargo, la razón exacta de aplicación será determinada por el ingeniero basado en su juicio de la condición de la superficie y la clase de material de hule-asfalto que el contratista ha seleccionado para su uso.

Aplicación del material de hule-asfalto:

El material de hule-asfalto antes especificado será aplicado en una razón aproximada de 0.55 gal/yd²; no obstante, la razón exacta de la aplicación será especificada por el ingeniero en conformidad con los requisitos de los detalles constructivos.

El material de hule-asfalto será aplicado únicamente cuando la temperatura del aire ambiental sea cuando menos de 65°F; sin embargo, aun teniendo la temperatura apropiada, el ingeniero puede requerir, en cualquier tiempo, que el trabajo cese o que el día de trabajo sea reducido si las condiciones climatológicas, ya sea existentes o esperadas, pudieran tener un efecto adverso sobre el material de hule-asfalto. La superficie sobre la cual el material de hule-asfalto será aplicado deberá estar seca.

Distribuidores del tipo de gravedad no serán permitidos. Los camiones distribuidores serán del tipo a presión con tanques aislados, capaces de aplicar un material de hule-asfalto de manera uniforme e ininterrumpida en razones controladas de 0.03 a 1.00 gal/yd². El camión distribuidor será equipado con un sistema de calentamiento para calentar el material de hule-asfalto y mantenerle a la temperatura requerida y un termómetro de precisión montado al tanque, para determinar la temperatura del material de hule-asfalto.

Los distribuidores serán equipados con barras de riego ajustables del tipo de circulación completa capaces de regar varios anchos desde seis pulgadas hasta doce pies por lo menos. Las extensiones también serán del tipo de circulación completa. La barra de riego será ajustable para permitir acomodarla a diferentes alturas.

Las espreas de la barra de riego proporcionarán un riego uniforme ininterrumpido del material de hule-asfalto a la superficie que está siendo tratada, y serán operadas por válvulas de control de acción positiva que abran o cierren rápidamente en una operación.

El camión distribuidor será equipado con mangueras manuales y accesorios para las espreas que permitan cubrir áreas inaccesibles para el distribuidor.

El distribuidor será también equipado con dispositivos para proporcionar una rápida y precisa determinación y control de la cantidad de hule-asfalto que está siendo aplicada, un bitómetro que registre la velocidad del recorrido, en pies por minuto y la distancia total en pies; una bomba para circular el material de hule-asfalto en la barra de riego y el tanque, y que rocíe el material a través de la barra de riego o rociador manual; un manómetro, un tacómetro de bomba u otros instrumentos aprobados para controlar la razón de aplicación del material de hule-asfalto; y un medidor o algún otro medio aprobado para determinar exactamente la cantidad de material de hule-asfalto en el tanque.

Antes de usar cualquier camión distribuidor en un proyecto, o periódicamente durante el curso de un proyecto, el ingeniero puede requerir que la razón de riego sea checada. La razón de riego no variará más del 10% ni 0.05 gal/yd² de la razón especificada.

El ingeniero puede retirar de su uso cualquier camión distribuidor que no cumpla con los requisitos o que no produzca una aplicación satisfactoria del material de hule asfalto como aquí se especifica.

Las juntas longitudinales serán completamente limpiadas an

tes de la aplicación del material de hule-asfalto en la franja adyacente. Las juntas longitudinales serán traslapadas --- aproximadamente cuatro pulgadas.

El material de hule-asfalto será protegido del riego sobre pavimentos adyacentes y se evitará en aquella porción de camino que esté siendo transitado, en estructuras, guarniciones, guardarrieles, árboles y arbustos, propiedades adyacentes o cualquier otro objeto que esté fuera del área asignada para el riego.

El material de hule-asfalto que no se use no será dis--- puesto dentro de la franja de derecho de vía a menos que sea permitido por el ingeniero.

Aplicación del material de sello:

El material de sello será aplicado a una razón aproximada de 35 lb/yd²; no obstante, el ingeniero determinará la razón exacta que ha de ser aplicada.

El material de sello será esparcido por medio de un esparcidor de material de sello autopropulsable equipado con un dispositivo mecánico que permitirá esparcir el material de se llo en una razón uniforme sobre el ancho total de la superficie tratada con hule-asfalto en una aplicación.

El esparcidor de material de sello no será operado a velocidades que causen que el agregado sea botado o rodado fuera de la superficie después de llegar a la superficie de hule asfalto.

Todas las juntas transversales serán fabricadas por colo cación de papel de edificación sobre el final de la aplica---

ción anterior y la aplicación siguiente iniciará sobre el papel de edificación. Una vez que el proceso de aplicación haya avanzado mas allá del papel, éste será dispuesto donde lo indique el ingeniero.

El apilado del material de sello antes de su aplicación será permitido; sin embargo, si el material llegara a contaminarse durante el almacenaje o las operaciones de recarga será motivo para rechazar el material de sello.

El material de sello estará bien seco durante su aplicación.

La aplicación del material de sello iniciará inmediatamente después de la aplicación del material de hule-asfalto y serán mantenida a una distancia aproximada de 100 pies.

Después de que el material de sello ha sido aplicado al material de hule-asfalto, y antes de la compactación; cualquier depresión, tope o distribución fragosa será cuidadosamente removida para evitar de manera permanente la aparición de irregularidades en la superficie terminada.

Compactación del material de sello:

Inmediatamente después del esparcido del material de sello sobre la superficie tratada con hule-asfalto, la superficie completa será compactada con rodillos neumáticos de acuerdo a estas especificaciones.

Los rodillos neumáticos serán autopropulsables del tipo de rueda oscilante que consten de cuando menos siete llantas neumáticas de huella lisa rodadas en dos ejes, y serán capaces de ser lastrados al peso requerido.

Los rodillos serán equipados con medios para aumentar o disminuir la presión del aire en las llantas mientras el rodillo esté en operación, y las llantas frontales y las llantas traseras serán dispuestas de tal modo que haya un ligero traslape de las huellas de las llantas. Cada llanta será equipada con un dispositivo de raspado o limpiado para evitar la acumulación de material en las llantas.

El rodillo será de operación fácil y capaz de dar vuelta, detenerse o desplazarse en reversa sin forzarse o desplazar los materiales que estén siendo compactados.

El contratista dará al ingeniero una copia de las especificaciones del fabricante del rodillo o tablas que muestren las áreas de contacto y presiones de contacto promedio para todo el rango de cargas de rueda para cada rodillo suministrado. El contratista proporcionará también al ingeniero una copia de la carta de calibración de la caja de lastrado, que indicará el volumen de la caja de lastrado en pies cúbicos, cada seis pulgadas de incremento en la profundidad de lastrado y el peso lleno o de tara del rodillo.

El contratista suministrará suficientes rodillos para cubrir el ancho completo de la superficie tratada de una pasada. La presión de contacto promedio de cada rodillo será cuando menos de 60 lb/pulg². La primera pasada será hecha inmediatamente atrás del esparcidor de material de sello y si por alguna razón la operación de esparcido es detenida, el esparcidor será movido hacia adelante lo suficiente para que el material de sello recién esparcido sea inmediatamente compactado. La compactación proseguirá hasta que un mínimo de cuatro pasadas hayan sido efectuadas. La compactación final será hecha dos horas después de la aplicación del material de sello.

Remoción de material de sello suelto:

El material de sello suelto será generalmente removido - de la superficie tratada por barrido a no menos de tres horas ni más de 36 horas después de su aplicación; sin embargo, si el ingeniero determina que las condiciones no son conducentes para obtener los mejores resultados por barrido durante este periodo él puede determinar otro periodo.

El barrido será llevado a cabo por medio de barredoras - motrices y de tal forma que el material de sello no sea des-- prendido del material de hule-asfalto.

Si, por alguna razón, hay desplazamiento del material de sello empotrado, el barrido será suspendido hasta que se logre una retención satisfactoria del material de sello.

4.4) CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON HULE.

DESCRIPCION.

1.01 Generalidades.

Este trabajo constará del suministro y aplicación de concreto asfáltico modificado con hule el cual es una mezcla de hule granulado, cemento asfáltico y agregado mineral.

2.01 Fórmula de la mezcla de trabajo.

Después de que una cantidad representativa de agregados ha sido producida y a no menos de 20 días de calendario de -- que la producción de la mezcla asfáltica empiece, el contratista presentará al ingeniero su fórmula de mezcla de trabajo propuesta. Serán tomadas muestras representativas del material pétreo apilado y la fórmula de mezcla de trabajo final será establecida por el ingeniero, basado en los procedimientos de diseño de laboratorio. La mezcla tendrá un porcentaje de vacíos de aire dentro del rango de $2\% \pm 1/2\%$ para tráfico ligero a mediano (menos de 10,000 vehículos promedio por día) y $2 \frac{1}{2}\% \pm 1/2\%$ para tráfico pesado (10,000 o más vehículos promedio por día).

La fórmula de mezcla de trabajo incluirá valores sencillos definitivos para:

- 1) El porcentaje de agregado que pasa cada malla especificada, basada en el peso seco del agregado.
- 2) El porcentaje de material asfáltico que ha de ser adicionado, basado en el peso total de la mezcla.
- 3) El porcentaje de hule granulado será 3%, basado en el peso de la mezcla total.

Además del muestreo de agregado provisto arriba, el contratista proveerá al ingeniero 5 gal del cemento asfáltico -- propuesto y 10 lb de hule granulado satisfaciendo los requisitos de esta sección.

Cuando la fuente de provisión del material sea cambiada o la fórmula de la mezcla de trabajo se encuentre insatisfactoria, una nueva mezcla de trabajo será establecida de la misma manera descrita arriba. Toda mezcla suministrada para el proyecto seguirá la fórmula de trabajo aprobada dentro de los siguientes rangos de tolerancia:

Tamaño de la malla	Tolerancia Porcentaje que pasa.
5/8", 3/8" o 1/4"	± 6
No. 4	± 6
No. 10 o No. 30	± 4
No. 200	± 2
Porcentaje de asfalto	± 0.4
Porcentaje de hule	$\pm 0.15^*$

* No determinable por prueba de extracción.

2.02 Hule granulado.

El hule granulado será molido únicamente de llantas enteras de camión de carga o pasajeros (llantas de equipo pesado no serán usadas). Serán partículas de hule individuales de -- forma cúbica o de "perfil de rosca", que independientemente de su diámetro, no serán mayores de 5/16" en longitud. El hule granulado se apegará a la siguiente granulometría:

Tamaño de la malla % que pasa, en peso.

1/4"	100
No. 4	76-100
No. 10	28-36
No. 20	16-24

La empresa que suministre el hule proporcionará por escrito un certificado de sumisión a las especificaciones anteriores. Además, cada envío será muestreado (cuando menos una muestra por cada 20 toneladas) y se efectuará un análisis granulométrico por vía seca para asegurar que los granos de hule satisfacerán los requisitos de graduación. El muestreo y prueba será completado y el hule granulado aprobado para su uso antes de que cualquier envío sea incorporado a la mezcla de hule-asfalto.

2.03 Agregados.

Los agregados cumplirán los requisitos físicos y químicos para aquellos agregados usados en capas superficiales de pavimento asfáltico convencional.

Este agregado satisfacerá la siguiente granulometría:

Tamaño de la malla	<u>Mezcla A</u>	<u>Mezcla B</u>	<u>Mezcla C</u>
	% que pasa, en peso.		
3/4			100
5/8		100	—
3/8	100	60-80	50-62
1/4	60-80	30-50	30-45
No. 10	23-38	19-32	19-32
No. 30	15-27	13-25	12-23
No. 200	8-12	8-12	7-11

2.04 Filler mineral.

El porcentaje requerido de material menor de la malla -- 200 necesario para lograr el mínimo de vacíos de aire especificado en la sección 2.01 será establecido por el ingeniero -- bajo el procedimiento de diseño de mezclas. El filler mineral es normalmente requerido para satisfacer este requisito y el contratista presentará una muestra representativa del material propuesto para filler al ingeniero para su aprobación y uso al establecer la fórmula de mezcla de trabajo.

2.05 Asfalto.

El grado de asfalto será establecido por el ingeniero.

El contenido de asfalto requerido será dentro del siguiente rango:

<u>Mezcla A</u>	<u>Mezcla B</u>	<u>Mezcla C</u>
(% por peso total de mezcla)		
8.0-9.5	7.5-9.0	7.5-9.0

El contenido de asfalto definitivo dentro del rango especificado será determinado por el diseño de la mezcla.

CONSTRUCCION.3.01 Plantas de mezclado asfáltico.

Las plantas de mezclado satisficcrán los requisitos estándar más los siguientes requisitos:

- a) Requisitos para plantas de bacha:

La cantidad de hule granulado será determinada pesando - en básculas de carátula separadas de la tolva de pesado - de la planta, o por un método que alimente uniformemente el mezclador con $\pm 0.15\%$ de la cantidad requerida indicada en la sección 2.01.

Sacos de hule granulado pueden ser usados para el proporcionamiento provisto; el tamaño de bacha es ajustable al uso de sacos enteros de hule. Sacos parciales no serán permitidos.

b) Requisitos para plantas de mezclado de tambor.

El hule granulado introducido en el mezclador será el extraído de los receptáculos de almacenamiento por un alimentador mecánico continuo el cual alimentará uniformemente el mezclador dentro de $\pm 0.15\%$ de la cantidad indicada en la sección 2.01.

Los medios necesarios para lograr un mezclado positivo - entre el flujo de hule granulado y los agregados serán provistos.

El método usado para introducir el hule granulado en la mezcla proporcionará una distribución uniforme de los granos de hule en la mezcla y evitará la pérdida de fracciones de hule finas.

3.02 Mezclado.

Antes de mezclar los materiales el contratista presentará al ingeniero, para su aprobación, el método que él pretende usar para introducir el hule granulado en la mezcla.

Los procedimientos de mezcla estándar se aplicarán, con las siguientes excepciones:

Los agregados y hule granulado serán mezclados completamente por 15 segundos mínimo, antes de introducirlos al asfalto. El asfalto, agregado y hule granulado serán mezclados de tal forma que se alcance una distribución uniforme de todos los materiales y la cubierta del agregado y el hule granulado por el asfalto.

La mezcla terminada satisficará la fórmula de mezcla de trabajo con las tolerancias de granulometría aceptables especificadas en la sección 2.01. Si la granulometría del agregado está dentro de los límites de tolerancia pero fuera de los límites de especificación mostrados en la sección 2.03, en -- dos muestras de mezcla consecutivas, un ajuste en el agregado y/o la planta debe ser hecho para llevar la granulometría a -- los límites especificados.

La temperatura de mezclado será como sigue:

Cemento asfáltico	<u> *°F </u>	a	<u> *°F </u>
Agregado	325°F	a	375°F

La temperatura de la mezcla al descargarla será entre -- 325°F y 360°F.

* La temperatura depende del grado del asfalto seleccionado.

3.03 Acarreo, esparcido y acabado.

Los requisitos estándar para el equipo de acarreo deberán ser cumplidos. Cuando el ingeniero lo juzgue necesario, -- la mezcla será cubierta con una lona para evitar el fraguado -- rápido de la mezcla.

La mezcla será aplicada a temperaturas no menores de ---

300°F.

Un riego de liga será aplicado, ya sea con asfaltos emul sificados o cementos asfáltico, a una razón de 0.06 a 0.08 -- gal/yd² de asfalto residual.

La mezcla será tendida sobre una superficie previamente- aprobada y esparcida y enrasada con pavimentadoras asfálticas autopropulsables conforme a las especificaciones estándar. La mezcla no será aplicada sobre superficies mojadas o cuando el promedio de la temperatura ambiental sea menor de 45°F, o --- cuando las condiciones climatológicas eviten el manejo apro- piado o acabado de la mezcla.

Cuando la aplicación manual sea requerida la operación - deberá hacerse inmediatamente porque la mezcla se vuelve tie- sa y difícil de extender a más bajas temperaturas.

3.04 Compactación.

Los compactadores de asfaltos y procedimientos de compac- tación serán de acuerdo a los requisitos estándar y complemen- tados con los siguientes requisitos:

La compactación inicial deberá empezar inmediatamente -- atrás de la máquina pavimentadora. No obstante, algo de tar- danza puede ser requerida para evitar que los rodillos levanten el material. Los rodillos neumaticos no serán admitidos.- Los tambores de los compactadores se mantendrán bien llenos -- de agua y un agente humectante podrá ser necesario para dismi- nuir la ocurrencia del levantamiento del material.

La compactación final de la carpeta continuará hasta que el movimiento elástico bajo el compactador no sea observado -

más tiempo.

El procedimiento de compactación adecuado será establecido en una franja de prueba para determinar el equipo y número de pasadas necesarias para obtener el porcentaje de compactación requerido.

El porcentaje de compactación requerido será como sigue:

Tráfico ligero a mediano	96 a 99% (1% a 4% de vacíos de aire)
Tráfico pesado	95 a 98% (2% a 5% de vacíos de aire).

4.5) CAPA ANTIDERRAPANTE DE CONCRETO ASFALTICO DE GRANULOMETRIA ABIERTA CON LIGANTE DE HULE-ASFALTO.

MATERIAL DE HULE-ASFALTO.

Descripción:

El trabajo constará del suministro, proporcionamiento y mezclado de todos los ingredientes necesarios para producir un material de hule-asfalto.

Materiales:

Los materiales de hule-asfalto serán precalificados para su uso basándose en su rendimiento conocido y aceptable.

El material de hule-asfalto seleccionado por el contratista y suministrado por el fabricante será de la misma composición y calidad que los productos de hule-asfalto precalificados. La composición y calidad de un material de hule-asfalto precalificado está basada en ingredientes específicos que son proporcionados y mezclados bajo un estricto control del fabricante.

Certificación:

El fabricante dará al contratista un certificado que --- identifique apropiadamente la bacha y/o número de lote, material, cantidad de la bacha, fecha y tiempo de fabricación, -- nombre y dirección del fabricante y una declaración de que el material es de la misma composición que el material precalificado para su uso. El contratista hará llegar al ingeniero una copia del certificado del fabricante indicado arriba. El hule asfalto que sea elaborado por un proceso continuo será certi-

ficado por lote. Un lote será la producción de un día.

Precalificación de un material de hule-asfalto nuevo:

La precalificación de un material de hule-asfalto nuevo podrá ser pedida por el fabricante en cualquier tiempo. La -- precalificación de un nuevo material de hule-asfalto estará -- basada cuando menos en tres aplicaciones de campo que hayan -- sido sometidas al tráfico por lo menos dos años.

Modificación del hule-asfalto precalificado.

El fabricante electo deberá, en cualquier tiempo, para -- modificar substancialmente los ingredientes, proporciones o -- procesamiento de un material de hule-asfalto precalificado no -- tificar por escrito a la agencia usuaria las modificaciones, -- describiendo detalladamente el efecto anticipado sobre el ren -- dimiento conocido del material de hule-asfalto precalificado.

Detalles constructivos:

Existen ciertas limitaciones en la vida de almacenaje, -- manejo y aplicación del material de hule-asfalto que ha sido -- completamente procesado que son críticas para el funcionamien -- to satisfactorio del material en una aplicación específica. -- Por lo que el fabricante proporcionará al ingeniero una des-- cripción detallada por escrito de sus recomendaciones especí-- ficas para toda limitación en el manejo, almacenaje y aplica-- ción del material de hule-asfalto.

El ingeniero será el responsable de asegurar que el hule -- asfalto que es incorporado en el trabajo cumpla con las reco-- mendaciones del fabricante. No serán admitidos cambios sustan-- ciales en el manejo, almacenaje o aplicación del material a --

menos que el fabricante lo autorice por escrito.

RIEGO DE LIGA:

El trabajo bajo este concepto consta de la provisión del material asfáltico y su aplicación como riego de liga.

Materiales:

El asfalto emulsificado (diluido 1:1) satisfecerá los requisitos de las especificaciones estándar de la agencia usuaria.

El asfalto emulsificado (diluido 1:1) será aplicado únicamente cuando la temperatura de la superficie sea cuando menos de 85°F y tendrá su rompimiento antes que el concreto asfáltico sea aplicado sobre éste. Si el asfalto emulsificado es abastecido en la noche, será recalentado y reagitado antes de usarse al día siguiente.

Capa antiderrapante de concreto asfáltico de granulometría -- abierta:

El riego de liga asfáltico que será aplicado antes de la capa antiderrapante de concreto asfáltico será aplicado en -- una razón de 0.12 a 0.15 gal/yd².

La razón exacta que será aplicada la fijará el ingeniero.

MATERIAL DE POREADO:

El trabajo bajo este concepto constará del suministro y esparcido del material de poreado.

Después de que la capa antiderrapante de concreto asfáltico de granulometría abierta ha sido aplicada y compactada, y antes de abrir paso al tráfico, o cuando juzgue necesario - el ingeniero, el material de poreado será aplicado.

El material de poreado será tendido a una razón de 1.0 - 1b/yd² por aplicación.

Cualquier excedente de material de poreado será removido por barrido y dispuesto donde el ingeniero lo indique. Una es- coba rotatoria puede ser usada para barrer el material de po- reado.

REEMPLAZAMIENTO DE LOS REQUISITOS DE ESPECIFICACIONES ESTAN--
DAR DE LA AGENCIA USUARIA.

Descripción:

Este concepto constará del suministro de todos los mate- riales, mezclado en planta, acarreo y aplicación de una mez-- cal de agregados y material asfáltico para formar una capa an- tiderrapante de concreto asfáltico de granulometría abierta - (con ligante de hule-asfalto) de acuerdo con los detalles mo- trados en los planos del proyecto y las especificaciones de - la agencia usuaria.

Todo el concreto asfáltico será producido de acuerdo a - los requisitos aquí enunciados incluyendo la producción en ma- xaladora, ya sea con o sin el uso de cribadora de planta o -- por mezclado en tambor-secador.

Agregados:

Cuando no haya una agencia que sea fuente de suministroo-

del agregado mineral, el contratista proporcionará una fuente apeándose a los requisitos estándar para agregados.

El agregado mineral constará de grava triturada y arena, roca triturada, cenizas volcánicas u otro material apropiado. El material retenido en la malla No. 8 no contendrá, en peso, más del 30% de caliza. Estará libre de cantidades perjudiciales de substancias extrañas.

El material tendrá un índice de plasticidad no mayor de 2 cuando la cantidad que pase la malla No. 40 sea el 6% o más. El requisito de índice de plasticidad será eliminado cuando la cantidad de material que pase la malla No. 40 sea menos del 6%. El equivalente de arena será un mínimo de 55.

Cuando menos el 70% del material retenido en la malla No. 8 tendrá una cara angular y rugosa producida por la trituración.

La abrasión será un máximo de 9% a 100 revoluciones y un máximo de 40% a 500 revoluciones; sin embargo, el agregado mineral que no satisfaga estos requisitos puede ser aprobado para su uso si el concreto asfáltico producido de tal agregado-mineral es aceptable y está funcionando satisfactoriamente.

Las pruebas de aceptación para el índice de plasticidad, caras trituradas y el equivalente de arena serán hechas en el agregado mineral proveniente de las pilas a la granulometría especificada.

Antes de mezclar con material asfáltico, el porcentaje de agregado mineral que pasa cada malla requerida será como sigue:

<u>Tamaño de la malla</u>	<u>Por ciento que pasa.</u>
3/8"	100
No. 4	30-60
No. 8	6-10
No. 200	0-4.0

El agregado mineral será muestreado aleatoriamente antes de agregar el material asfáltico y su aceptación estará basada en la granulometría determinada de la muestra. Un dispositivo de muestreo aprobado será proporcionado.

Si las pruebas indican que el material que está siendo producido no satisface la granulometría especificada, el ingeniero ordenará que las operaciones cesen hasta que se hagan las correcciones pertinentes.

Material asfáltico:

El material asfáltico será conforme a los requisitos del material de hule-asfalto aquí especificado.

En la producción de concreto asfáltico el porcentaje de material asfáltico no variará en una cantidad mayor de $0.3\pm$ de la cantidad determinada por el ingeniero.

Aceptabilidad del agregado mineral y porcentaje de material asfáltico requerido:

El contratista presentará muestras de su fuente de agregado mineral propuesta al ingeniero y al proveedor del hule-asfalto tres semanas antes de su uso. De las muestras el ingeniero y el proveedor de hule-asfalto determinarán la aceptabilidad del agregado mineral. Si el agregado mineral es acepta-

ble, pruebas adicionales serán efectuadas para determinar el porcentaje exacto del material asfáltico que va a ser usado.

Detalles constructivos:

Apilado:

Para facilitar el muestreo y prueba del agregado mineral, cuando la cantidad total de concreto asfáltico requerida puede ser producida en dos tandas sucesivas de ocho horas o menos, agregado mineral suficiente será apilado en el sitio del equipo mezclador para completar la cantidad requerida.

Cuando la cantidad total de concreto asfáltico requerido debe ser producida en más de dos tandas sucesivas de ocho horas, agregando mineral suficiente será apilado en el sitio del equipo mezclador por lo menos dos tandas sucesivas de ocho horas de producción de concreto asfáltico; no obstante, este requisito será modificado durante los últimos días de producción, o bajo condiciones especiales con la aprobación del ingeniero.

El agregado mineral será separado en una o más pilas. Un divisor aprobado de tamaño suficiente será puesto entre las pilas para evitar el entremezclado del material. Independientemente del número de pilas, el material compuesto satisficará la siguiente granulometría:

<u>Tamaño de la malla</u>	<u>Porcentaje que pasa.</u>
3/8"	100
No. 4	30-60
No. 8	6-10
No. 200	0-4.0 *

* Si los materiales son mezclados en una maxaladora, el porcentaje que pasa la malla No. 200 puede ser un máximo de 6.0.

Secado y calentamiento:

Un pirómetro de registro o algún otro instrumento termométrico de registro aprobado, sensible a la velocidad de cambio de temperatura en no menos de 10°F/min será instalado en la canaleta de salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del concreto asfáltico y facilitar la lectura de la temperatura registrada.

El contenido de humedad del concreto asfáltico -inmediatamente atrás de la máquina pavimentadora- no excederá del 1%. El contenido de humedad será determinado de acuerdo a los requisitos de las especificaciones estándar de la agencia usuaria. El secado y calentamiento será llevado a cabo de tal forma que se evite que el agregado mineral quede cubierto de gasolina o carbón.

Mezclado:

La producción de la planta será regida por la razón requerida para obtener una mezcla completa y uniforme de los materiales.

Un sistema de señales positivo será provisto para indicar el nivel bajo del agregado mineral en los depósitos. No será permitido que la planta opere si este sistema de señales no está en buenas condiciones.

Si el concreto asfáltico es descargado del mezclador al interior de la tolva, la tolva será construída de modo que los derrames de concreto asfálticos sean mínimos.

Acarreo, aplicación y acabado.

Generalidades:

El concreto asfáltico no será aplicado en la sección de los pies de ancho donde el guardarriel haya de ser instalado.

La superficie sobre la cual el concreto asfáltico será aplicado debe ser limpiada de materiales perjudiciales.

Temperatura:

El concreto asfáltico generalmente será aplicado sólo -- cuando la temperatura del aire ambiental sea cuando menos --- 65°F; sin embargo, aunque la temperatura ambiental sea la --- apropiada, el ingeniero puede pedir, en cualquier tiempo, que el trabajo cese o que el día de trabajo sea reducido si las - condiciones climatológicas, ya sean existentes o esperadas, - puedan tener un efecto adverso sobre el concreto asfáltico.

Entrega a la unidad extendedora:

El concreto asfáltico será entregado a la unidad extende dora a un flujo libre de masa uniforme; además la longitud de la operación de acarreo y el método de vaciado del material - en la máquina pavimentadora serán tales que evitarán el derra me o migración del material asfáltico y la formación de cos- tras o topes.

En caso de que alguna de las condiciones anteriores no - pueda ser evitada en el material entregado a la unidad exten- dedora por cualquiera de los métodos siguientes, el ingeniero cesará el trabajo hasta que las condiciones sean conducentes - a la entrega del material en forma adecuada:

- 1) Cubrir las unidades de acarreo con lonas.
- 2) Depositar el material directamente en la pavimentadora.
- 3) Mover el equipo de mezclado lo más cercano al punto de entrega.

Otras medidas propuestas por el contratista que entregue el material aceptable serán consideradas por el ingeniero.

Carga del material a la máquina pavimentadora:

Si el concreto asfáltico es vaciado directamente de los vehículos de acarreo (camiones) a la máquina pavimentadora se tendrá cuidado en evitar vibraciones en la máquina o movimientos que la saquen de su alineamiento. Los camiones serán cuidadosamente sujetos a la máquina pavimentadora durante el vaciado.

Si el concreto asfáltico es vaciado sobre la superficie que está siendo pavimentada y subsecuente cargada a la máquina pavimentadora, éste no será vaciado a una distancia mayor de 150 ft del frente de la máquina pavimentadora. El equipo de carga será autosoportable y no ejercerá ninguna carga vertical sobre la pavimentadora.

Substancialmente todo el concreto asfáltico será recogido y cargado en la máquina pavimentadora.

Aplicación y acabado por medio de máquina pavimentadora autopropulsable.

Todas las capas de concreto asfáltico serán aplicadas y acabadas por medio de máquinas pavimentadoras autopropulsables, excepto en aquellas condiciones o situaciones que el in

geniero juzgue impracticable el uso de máquinas autopropulsables.

Las máquinas pavimentadoras autopropulsables esparcirán la mezcla sin derrames o goteaduras dentro de las tolerancias especificadas en los planes del proyecto. Las pavimentadoras serán equipadas con tolvas que aplicarán el concreto asfáltico uniformemente en el frente de los escantillones ajustables.

Los escantillones incluirán un dispositivo de corte operado por acción de apisonamiento o vibrado que permitirá producir una superficie terminada de textura uniforme para el ancho total que está siendo pavimentado, sin rasgar, empujar o escoplear el concreto asfáltico. Los escantillones serán ajustables a la altura y corona requeridas y serán equipadas con un dispositivo de calentamiento controlado para usarse cuando sea necesario.

Para lograr, hasta donde sea posible, una operación continua, la velocidad de la máquina pavimentadora será coordinada con la producción de la planta.

Sistema de control accionado automáticamente.

Exceptuando ciertas condiciones o lugares en que el ingeniero juzgue impracticable el uso de controles automáticos, el concreto asfáltico será aplicado y acabado por medio de máquinas pavimentadoras autopropulsables equipadas con un sistema de control accionado automáticamente.

El sistema de control controlará la elevación del escantillón en cada extremo, controlando la elevación de un extremo de manera directa y el otro de manera indirecta.

El sistema de control será capaz de trabajar con los siguientes dispositivos que serán proporcionados con la máquina:

Dispositivos tipo ski de cuando menos 30 pies de longitud, soportados completamente en toda su longitud.

Ski corto.

Zapata machihembradora de juntas.

El funcionamiento inapropiado del sistema de control puede causar la suspensión de las operaciones del concreto asfáltico.

Juntas:

Las juntas longitudinales serán aplicadas en la línea de centro entre los dos carriles adyacentes.

Todas las juntas transversales serán con mínimo de esviaje.

Compactación:

Requisitos generales:

La compactación será efectuada empleando compactadores autopropulsables y será inmediatamente atrás de la máquina --tendedora.

Los compactadores pueden ser de rodillos lisos (tipo tandem), rodillos lisos vibratorios o la combinación de ambos. - Los rodillos lisos vibratorios serán operados en una condi---

ción estática. El número de compactadores que será suministrado será el adecuado para llevar a cabo la compactación requerida mientras el material esté en una condición trabajable.

La posición del asiento o asientos o la ubicación de los espejos será de tal forma que permitan tener al operador una vista completa todo el tiempo de la orilla opuesta a la que - el concreto asfáltico está siendo compactado.

Los compactadores de rodillo liso y rodillo liso vibratorio serán operados con la rueda motriz en la posición hacia - adelante.

Los compactadores de rodillos lisos pesarán cuando menos ocho toneladas y serán tasados de acuerdo a la clasificación del fabricante en toneladas.

Todos los rodillos serán limpiados cuando sea necesario con un producto aprobado por la agencia usuaria para evitar - el levantamiento del concreto asfáltico.

4.6) SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS.

Materiales:

El asfalto que será usado tendrá una penetración máxima de 150.

El hule molido (100% vulcanizado) cumplirá la siguiente granulometría:

Malla	% que pasa.
No.8	100
No.10	98-100
No.40	0-10

La gravedad específica del hule molido será 1.15 ± 0.02 y estará libre de tela, cuerdas y otros materiales contaminantes, excepto cuando se incluya arriba del 4% de carbonato de calcio para evitar que las partículas se peguen entre sí.

Las proporciones de los dos materiales, en peso, serán de $75\% \pm 2\%$ de asfalto y $25\% \pm 2\%$ de hule.

SELLADOR TIPO PLUS.

Requisitos generales:

El sellador de juntas estará compuesto de una mezcla de materiales que formarán un componente elástico y adhesivo capaz de sellar juntas con efectividad en concreto hidráulico y evitar la infiltración de humedad y materiales extraños durante todos los ciclos repetitivos de expansión y contracción -- provocados por los cambios de temperatura, y que no será movido de la junta o levantado por las llantas de los vehículos a

la temperatura de verano. El material será capaz de adquirir una consistencia de vertido uniforme, apropiada para rellenar por completo las juntas sin inclusión de grandes burbujas de aire o discontinuidades que pueden resultar perjudiciales para el material.

Requisitos físicos.

El punto de vertido será al menos 20°F (11°C) más bajo -- que la temperatura de calentamiento seguro, la cual es la máxima temperatura a la que puede ser calentado el material -- sin exceder el flujo permitido.

La penetración a 77°F (25°C) no excederá de 90.

El flujo a 140°F (60°C) no excederá de 5 mm.

La adhesión del sellador será probada a 0°F (-17.8°C) para cinco ciclos completos. El desarrollo de una grieta, separación u otra abertura -en cualquier tiempo del desarrollo de la prueba- que en cualquier punto sea superior a 1/4" (6.4 mm) de profundidad, ya sea en el sellador o entre el bloque de mortero y el sellador, constituirá la falla del espécimen de prueba. La profundidad de la grieta, separación o abertura será medida perpendicularmente al costado del sellador que -- muestre el defecto. Al menos dos especímenes de prueba de un grupo de tres cumplirán este requisito de adhesión.

El requisito de compatibilidad del asfalto (ASTM 3405) -- será cumplido en estas especificaciones.

Al menos el 70% de hule será hule granulado 100% vulcanizado.

SELLADOR TIPO 201.

El sellador tipo 201 es aplicado en caliente y debe ser calentado en un fundidor/aplicador sobrecubierto (tipo caldera doble). El fundidor/aplicador debe tener un agitador y ser capaz de recircular el sellador. Aplicadores con dispositivos limitadores de temperatura son recomendables.

La temperatura de aplicación del tipo 201 es de 370°F a 390°F. El aceite transferidor de calor deberá ser *commensurado* con la temperatura del sellador; no se excederá la temperatura de calentamiento seguro del aceite transferidor.

El sellador tipo 201 puede ser recalentado, aunque ocurrirá algo de degradación en él. El sellador no deberá ser conservado a la temperatura de aplicación por más de 8 a 10 horas.

El aseo de las líneas del equipo y el tanque puede ser llevado a cabo usando diesel o algún solvente similar. Todas las flamas deben ser apagadas antes de efectuar el aseo.

SELLADOR TIPO 301.

Este material a diferencia de los anteriores es empacado en forma líquida y tiene que ser calentado en un fundidor/aplicador que sea calentado indirectamente (tina de aceite). El fundidor/aplicador debe tener la capacidad de agitar y recircular el sellador. La tina de aceite deberá tener un dispositivo automático limitador de temperatura. La temperatura de la tina de aceite no deberá exceder 375°F cuando se esté aplicando el sellador.

La temperatura de aplicación es de 250 a 300 °F, siendo-

la óptima 260°F.

El aseo del fundidor/aplicador es efectuado usando aceite limpiador. Todas las flamas deben ser apagadas antes de -- llevar a cabo la limpieza. El aceite limpiador circulará aproximadamente de 10 a 15 min para asegurar un aseo adecuado. Todo el aceite limpiador será descargado antes de llevar a cabo la recarga del fundidor.

El material una vez introducido en el fundidor a un rango de temperatura de 140°F a 160°F pasará a través de un estado de gelación, después de la cual se funde en un líquido delgado a aproximadamente 280°F.

Es conveniente que el material fundido que no vaya a ser utilizado sea evacuado de los contenedores. Para una operación continua eficiente es necesario llevar el material a la temperatura de aplicación; y conforme el día transcurre, lenta y continuamente se agregará nuevo material de modo que la gel formada pueda ser fácilmente dispersa por el mezclador. -- Con las precauciones prácticas arriba mencionadas el material es fácilmente aplicable y las juntas resultantes son de calidad superior.

OBSERVACIONES:

Las cubetas del material sellador deben mantenerse a temperaturas abajo de 100°F y lejos de la exposición del sol.

Durante el calentado la temperatura de la tina de aceite se mantendrá abajo de los 375°F. Arriba de esta temperatura -- el material puede achicharrarse.

La persona que aplique el sellador deberá usar crema pro

tectora en toda la piel expuesta y evitará el contacto directo con el producto o los vapores del mismo.

EQUIPO.

MAQUINA DE SELLADO DE JUNTAS CON CAPACIDAD DE 200 GALONES.

Generalidades:

El equipo para mezclar y aplicar selladores será montado en un camión. La estructura que soporte el equipo será fabricada aparte con canal de 5". Esta estructura será aproximadamente de 6' x 10' y tendrá un eje sencillo con muelles, ruedas, frenos y llantas y soportará un peso bruto de 5200 lbs.

El camión deberá ser equipado con guardagangos, luces de emergencia y cadenas de seguridad o algún otro dispositivo de atadura.

Capacidad y sistema de calentamiento.

El tanque de mezclado/retención tendrá un mínimo de 200-galones. Será calentado indirectamente por una cámara de aceite soldada a la mitad inferior del tanque. La cámara de aceite tendrá tubos conductores de propano de 4" de diámetro, corridos a través de ésta para calentar el aceite. Dos tanques de 100 lb de propano con medidores serán montados en el camión para el abastecimiento de combustible al calentador. Dos medidores de temperatura del tipo de carátula serán montados en el tanque para monitorear la temperatura del sellador y el aceite de calentamiento. El sistema de calentamiento será capaz de fundir 100 gal por hora.

Agitación.

El tanque será completamente aislado con un mínimo de 2" de fibra de vidrio. La operación de mezclado será llevada a cabo con un agitador situado en la parte inferior del tanque. La dirección de rotación y velocidad del agitador será controlado por una válvula hidráulica. Tamaño mínimo del agitador = 10".

Tanque.

El tanque tendrá una tapa sólida de bisagras, de 16" x 24" para evitar la pérdida de calor.

Bomba:

Una bomba será montada en la unidad. La bomba será del tipo de engrane para asfalto caliente con una salida de 2 pulgadas. El bombeo en la unidad será arreglada de tal forma que la bomba pueda llenar el tanque con la carga inicial del material, dar presión a las espreas aplicadoras y recircular el material en el tanque.

Manguera de aplicación.

Una manguera de aplicación de 20' de largo equipada con llaves de cierre y barra aplicadora será provista. Un dispositivo regulador de presión será proporcionado para regular la presión en las espreas de aplicación. Este dispositivo será montado de tal forma que se desviará al tanque de retención - si las espreas de aplicación son cerradas.

Motor y manejo:

La fuerza para mover la bomba y el agitador será propor-

Agitación.

El tanque será completamente aislado con un mínimo de 2" de fibra de vidrio. La operación de mezclado será llevada a cabo con un agitador situado en la parte inferior del tanque. La dirección de rotación y velocidad del agitador será controlado por una válvula hidráulica. Tamaño mínimo del agitador - 10".

Tanque.

El tanque tendrá una tapa sólida de bisagras, de 16" x 24" para evitar la pérdida de calor.

Bomba:

Una bomba será montada en la unidad. La bomba será del tipo de engrane para asfalto caliente con una salida de 2 pulgadas. El bombeo en la unidad será arreglada de tal forma que la bomba pueda llenar el tanque con la carga inicial del material, dar presión a las espreas aplicadoras y recircular el material en el tanque.

Manguera de aplicación.

Una manguera de aplicación de 20' de largo equipada con llaves de cierre y barra aplicadora será provista. Un dispositivo regulador de presión será proporcionado para regular la presión en las espreas de aplicación. Este dispositivo será montado de tal forma que se desviarán al tanque de retención - si las espreas de aplicación son cerradas.

Motor y manejo:

La fuerza para mover la bomba y el agitador será propor-

cionada por un motor (de arranque eléctrico) de 20 Hp. El motor será enfriado con aire y movido con gasolina. La potencia será transmitida a través de bombas hidráulicas y motores de manera tal que la bomba y el agitador puedan ser operados con junta o separadamente.

Un tanque de 30 galones será puesto para abastecer solvente. Este tanque será acoplado al sistema de tubería de tal modo que pueda ser agregado solvente a la mezcla o ser usado para limpiar el sistema de tubería. La unidad será capaz de cargarse de otro tanque.

MAQUINA LIMPIADORA DE GRIETAS Y JUNTAS.

Generalidades.

La máquina tendrá un carro abierto con un par de ruedas laterales opuestas y una gualdera montada en el carro. Un motor encima de la gualdera accionará la rueda cortadora montada en la gualdera. La gualdera será acoplada al carro de tal modo que se pueda lograr la elevación o descenso de la rueda cortadora en un arco que pase a través del eje de ambas ruedas.

Cortadores:

La máquina empleará el uso de 8 o más cortadores de acero endurecido montado alrededor de la rueda cortadora.

Motor.

Un motor de gasolina con un mínimo de 2 Hp de frenaje será usado para mover la rueda cortadora.

Freno:

El motor tendrá un mecanismo de frenaje capaz de reducir o detener el movimiento de la máquina.

LIMPIADOR/JUNTEADOR.
(MODELO 110)

Descripción:

Aparato para remover sellador (viejo) de las juntas en las losas de pavimento antes de la reaplicación del sellante. El mecanismo está adaptado para desmontar el limpiador de la parte de atrás del vehículo de remolque. El aparato incluye una estructura móvil acoplada a un eje horizontal. Consta de un carro con herramienta de corte montada en un portaherramienta ubicado en el borde del remolque, de tal modo soportada en la estructura que la herramienta de corte (cortador) puede ser accionada por el operador del vehículo y ubicada en la junta que ha de ser limpiada. El portaherramienta está diseñado para alojar una variedad de trozos de carburo de diferentes formas y tamaños que pueden ser usados en diferentes formas y tamaños de juntas.

SOPLADOR/ESCOBA.

Motor:

14 Hp. 4 ciclos, enfriado por aire.

Escoba de alambre:

Diámetro de 10".

Control de profundidad.

Impulsor eléctrico para controlar la profundidad de la boquilla de la aguja.

Profundidad de limpiado:

2 1/2" máximo.

Autoarrancador:

Arranque eléctrico con batería de 12 voltios y alternador.

Dimensiones:

Ancho 31"

Altura 40"

Largo 32"

Peso 190 lb (aproximadamente).

V) CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES.

El hule-asfalto debido a sus características especiales constituye una magnífica alternativa para la construcción y rehabilitación de pavimentos en nuestro país.

El empleo de hule de llanta de desecho en la producción de hule-asfalto representa una buena solución al problema ambiental de eliminar los neumáticos inservibles, pues como es del conocimiento general, este material no es fácilmente eliminable.

El hule-asfalto ha demostrado funcionar excelentemente ya sea como membrana superficial, intercapa o ligante en el concreto asfáltico- en los proyectos de prueba que hasta la fecha han sido desarrollados. Bajo condiciones de prueba rigurosas, tráfico pesado, frío y calor intensos, lluvia, nieve, etcetera; los sistemas de hule-asfalto han funcionado mejor que los sistemas asfálticos convencionales.

Si bien el costo inicial en proyectos de construcción y rehabilitación con membranas de hule-asfalto es superior al costo inicial de aplicar un método convencional, cualquiera que fuese, resulta que los proyectos de hule-asfalto son más que amortizables al proporcionar una durabilidad mucho mayor que los pavimentos asfálticos tradicionales (cuando menos el doble de vida del pavimento de asfalto convencional) y al no requerir mantenimiento por largo tiempo.

El hecho de que un pavimento de hule-asfalto no requiera mantenimiento por mucho tiempo trae, por consecuencia, ahorros significativos en el proyecto de pavimentación.

Puesto que el hule-asfalto tiene un comportamiento y propiedades diferentes a los asfaltos convencionales se hace necesaria la modificación tanto de equipo de producción del ma-

terial asfáltico como del de construcción del tratamiento asfáltico. Necesarias son, también, modificaciones a los métodos de prueba de laboratorio para los asfaltos convencionales.

Las empresas e instituciones que en la actualidad trabajan en proyectos de investigación, producción y aplicación -- del hule-asfalto en diversas partes del mundo han desarrollado sus propias especificaciones en base a resultados particulares obtenidos en mezclas de hule-asfalto de proporcionamiento y funcionamiento conocido. Sin embargo, investigación de campo y laboratorio es requerida para lograr estandarizar especificaciones sobre hule-asfalto.

El control de calidad en los proyectos de hule-asfalto -- es muy importante, pues de ello depende en gran parte el éxito en el funcionamiento del tratamiento de hule-asfalto que se haya aplicado. El control de calidad en los tratamientos de hule-asfalto ha de ser mucho más estricto que en los tratamientos convencionales y será llevado desde la producción de los componentes de la mezcla de hule-asfalto hasta la terminación del proceso constructivo del tratamiento de hule-asfalto.

La tecnología desarrollada a la fecha sobre hule-asfalto puede ser aprovechada en México y adecuada a nuestras necesidades particulares.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA.
(REFERENCIAS)

- 1) Asphalt Rubber Products; "Asphalt Rubber Producers Group"
- 2) Asphalt Rubber Producers Group. "Construction Specifications" 1983.
- 3) Bergh A.O. "The Use of Rubberised Bitumen" Symposium of Bitumen-Rubber presented by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry. South Africa. August 1984.
- 4) Bertelson T., "Asphalt-Rubber Used as a Crack Sealer". paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber. San Antonio, Texas. October 1981.
- 5) Bitumen-Rubber Technical Sub-committee of Test Methods. "Interim Test Procedures for Bitumen-Rubber Binders" National Institute for Transport and Road Research, CSIR, South Africa. May 1984.
- 6) Blasienz J.A. and Geick A.A. "Evaluation of Rubber-Asphalt Mixture Used as a Stress Relieving Inner Layer" Texas State Dept. of Highways and Public Transportation. Report FHWA/Tx-79/43 + 529-1F. December 1979.
- 7) Brown, Douglas J. "Involvement of the FHWA's Demonstration Projects Division in the Development of Asphalt-Rubber Paving Materials", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber, San Antonio, Texas, October 1981.
- 8) Chavet J. (Belgium). "Evaluation of the Belgian Experiments with Porous Asphalts". 3rd Eurobitume Symposium The

Hague, Sept 1985.

- 9) Cleary T.M. and Clark W.H. III "Oil tires contribute to -
Thruway Maintenance "Public Works Magazine, July 1973.
- 10) Coetzee N.F. "Some Recent Developments in the Use of Ru-
bber for Road and Airport Pavement Maintenance", The Ci-
vil Engineer in South Africa. January 1981.
- 11) Dachtler J.D., "Protea Asphalt's Experience in Bitumen --
Rubber". Symposium of Bitumen-Rubber presented by the Na-
tional Institute for the Transport and Road Research and-
by the Road Industry. South Africa. August 1984.
- 12) Epps, J.A. and Gallaway Bob M., "Cost and Energy Associa-
ted with Asphalt-Rubber Binders, "paper presented at Na-
tional Seminar on Asphalt-Rubber, San Antonio, Texas, Oc-
tober 1981.
- 13) Esso Belgium. "Rubberized Asphalt R.A.: Un Nouveau Liant -
Aux Avantages Multiples"
- 14) Esso Belgium. "Rubberised Asphalt; New Cure for Ailing --
Roads".
- 15) Ford W.O., Lansdon H.G. "Development and Construction of-
Asphalt-Rubber Stress Absorbing Membrane", paper presen-
ted at 55 th Annual Conference Western Association of Sta-
te Highway and Transportation Officials, Seattle, Washing-
ton. June 1976.
- 16) Foster C.R. "Rubberised Asphalt Pavements"
National Asphalt Pavement Association, 1975.
- 17) "Fourteenth-month Evaluation of Rubberised Asphalt Seal -

- on IH-10 in Hudspeth County Texas".
Texas State Dept. of Highways and Public Transportation.-
September 1977.
- 18) Giles, Keith E., and Clark, William H. III. "Asphalt-Rubber Interlayers on Rigid Pavements in New York State", - paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber, -- San Antonio, Texas, October 1981.
 - 19) Green E.L., Tolonen W.J. "The Chemical and Physical Properties of Asphalt-Rubber Mixtures". Final Report Part I. Basic Material Behavior. Report ADOT-RS-14(162). July 1977.
 - 20) Hankins, K.D.; Nixon, J.F. "Experimental Seal Coat Construction, Including Overflex". Texas State Dept. of Highways and Public Transportation, December 1976.
 - 21) Hankins, K.D. and Nixon J.F.; "Experimental Seal Coat --- Construction, Including Overflex-Two Year Analysis". Texas State Dept. of Highways and Public transportation. Report No. FHWA/TX 78-5262F. November 1978.
 - 22) Hankins K.D. Follow up Report on Demonstration Project -- 1-10-76-526. "Evaluation of Overflex Pavement Test Sections" (53. mo). Texas State Department of Highways and - Public Transportation, Report No. FHWA/TX-81/33 + 187-7 - June 1981.
 - 23) Hattings M.M., "Test Procedures for Bitumen-Rubber Mixtures". National Institute for transport and Road Research, CSIR, South Africa. Technical Report RC/9/83. December -- 1983.
 - 24) Hazlett G. "Evaluation of Asphalt Latex Rubber Blends". -

Texas State Dept. of Highways and Public transportation.
June, 1983.

- 25) Heerkens J.C.P. "Open-Graded Rubberised Asphalt for Noisy-Highways" (The Netherlands). 3 rd Eurobitume Symposium, - The Hague, September 1985.
- 26) Hubbard B. and Hankins D. "An Evaluation of Hot Rubber -- Asphalt Seal Coat "Texas State Dept. of Highways and Public transportation. Report No. FHWA/TX-85/21+549-1F. --- December 1985.
- 27) Huff B.J. and Vallerga B.A., "Characteristics and Performance of Asphalt-Rubber Material Containing a Blend of -- Reclaim and Crumb Rubber", TRB Record 821, 1981
- 28) Huffman, J.E. "Pavement Preparation for Asphalt-Rubber -- Treatments", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber; San Antonio, Texas. October 1981.
- 29) "Initial Report on Rubberised Asphalt Seal on IH-10 in -- Hudspeth County, Texas." Texas State Dept. of Highways -- and Public Transportation, September 1976.
- 30) "Interim Specification. Bitumen-rubber for Spray application". Southern African Bitumen and Tar Association. Technical Bulletin. March 1984.
- 31) Jensen R.W. and Shine R.E. "Asphalt-Rubber Development and Application" APWA Reporter. January 1981
- 32) Jimenez R.A. "Testing Methods for Asphalt-Rubber" Final - Report-Phase I. No. FHWA-Az-RS-77-164. Arizona Transportation and Traffic Institute. October 1979.

- 33) Jimenez R.A., Morris G.R. and Da Deppo D.A. "Test for a - Strain-Attenuating Asphaltic Material". Arizona Transportation and Traffic Institute. November 1978.
- 34) Jimenez R.A. "Testing of Asphalt-Rubber and Aggregate --- Mixtures", Final Report. No. FHWA/AZ - 79/111. Arizona -- Transportation and Traffic Institute. October 1979.
- 35) Jimenez R.A. "Laboratory Measurements of Asphalt-Rubber - Concrete Mixtures" TRB Record 843.
- 36) Kekwick S.V. "Evaluation of Proposed Rehabilitation Mea-- sures for the Warden-Villiers Section of National Route - N3". Symposium of Bitumen-Ruber presented by the National Institute for the Transport and Road Research and the --- Road Industry. South Africa. August 1984.
- 37) La Grone, B.D. "Rubber Used in Asphalt-Rubber Applica---- tions", paper presented at National Seminar on Asphalt -- Rubber, San Antonio, Texas. October 1981.
- 38) Lansdon H.G. "Construction Techniques of Placement of --- Asphalt-Rubber Membranes", paper presented at Thirteenth- Paving Conference, University of New Mexico. January 1976.
- 39) Lansdon H.G., "Construction Guidelines and Quality Con--- trol", paper presented at National Seminar on Asphalt --- Rubber. San Antonio, Texas. October 1981.
- 40) Lawrence J.L., Titus C.W., "Discarded Tires in Highway -- Construction. "Final Report. Texas State Dept. of High--- ways and Public Transportation. September 1981.
- 41) Magers, R.H., "Hot Rubber-Asphalt Used as Stress Absor---

- bing Membrane Interlayer (SAMI)", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber. San Antonio, Texas. October 1981.
- 42) Maree J.H., Francis V.C. and Van Der Walt N.J. "The Uses of Bitumen-Rubber Binders in Interim Rehabilitation Measures Aimed at Prolonging the Life of Distressed Pavement Structures". Symposium of Bitumen-Rubber presented by the National Institute for the Transport and Road Research -- and by the Road Industry. South Africa. August 1984.
- 43) Mc Donald C.H., "Recollections of Early Asphalt Rubber -- History", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber. San Antonio, Texas. October 1981.
- 44) Mc Donald C.H., "Quality Control Test for Asphalt Rubber by Compression/Recovery (Mc Donald Method #3) December 1983.
- 45) Morris, G.R. and Mc Donald, C.H., "Asphalt-Rubber Stress-Absorbing Membranes: Field Performance and State of the Art". TRB Record 595. 1976.
- 46) Morris G.R., Nan Jim Chen and Di Vito J.A. "Application of Asphalt Rubber on New Highway Pavement Construction". TRB Record 888.
- 47) Morris G.R., "Control of Expansive Highway Subgrades with Asphalt-Rubber Membranes: Arizona's Experience", paper -- presented at National Seminar on Asphalt-Rubber. San Antonio Texas. October 1981.
- 48) Myburgh P.A., "Specifications for Bitumen-Rubber/Recent Development in the RSA. "Symposium of Bitumen-Rubber pre-

- resented by the National Institute for the Transport and - Road Research and by the Road Industry, South Africa. -- August 1984.
- 49) Nielsen D.L. and Renshaw R.H. "Bitumen-Rubber, the U.S.A. Experience and Its Introduction to Southern Africa" 4th- Conference on Asphalt Pavements in Southern Africa. Cape- Town. March 1984.
- 50) Oliver, J.W.H., "Research on Asphalt-Rubber at the Aus- tralian Road Research Board", paper presented at Natio- nal Seminar on Asphalt-Rubber, San Antonio, Texas. October 1981.
- 51) Oliver. J.W.H., "Optimising the Improvements Obtained by the Digestion of Comminuted Scraps Rubbers in Paving --- Asphalts" Australian Road Research Board Internal Report AIR 286-6. 1982.
- 52) Olsen R.E., "Rubber-Asphalt Binder for Seal Coat Cons- - - truction". Implementation Package 73-1. February 1973. - FHWA Office of Development.
- 53) Paterson W.D.O. and Mipenz. "Applications of Rubber-Bitu men Membrane Surfacing in Pavement Maintenance". 4th Con- ference on Asphalt Pavements in Southern Africa. Cape -- Town. March 1984.
- 54) Piggott M.R., Redelmeier R., Silgado B. and Woodhans -- R.T., "The Toughening of Asphalt by Rubber" University - of Toronto. January 1978.
- 55) Renshaw R.H., "Bitumen-Rubber: Its Introduction and Deve- lopment in South Africa. "Symposium of Bitumen-Rubber --

presented by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry South Africa. ---- August 1984.

- 56) Roadmix Standard Specification for Flexi Spray Bitumen/ - Rubber. South Africa.
- 57) Rubberized Asphalt; Walo Betschinger S.A. Lausanne, Sui--sse.
- 58) Rust F.C., "Load-Associated Crack Movement in Road Pave--ments". Symposium of Bitumen-Rubber presented by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry. South Africa. August 1984.
- 59) Sainton A. (France), "Applications of Flexochape Asphalt - Rubber Binders to Porous and Very Thin Maintenance Open--Graded Mixes". 3rd Eurobitume Symposium. The Hague. Sep--tember 1985.
- 60) Schnitter O., Francis V.C., "Asphaltic Rehabilitation of-a Distressed Rigid Pavement". 4th Conference on Asphalt - Pavements in Southern Africa. Cape Town. March 1984.
- 61) Schnitter O., Strauss P.J. and Du Toit C.P. "Properties - and Site Control of Bitumen Rubber Asphalt in South Africa". 4th Conference on Asphalt Pavements in Southern ---- Africa. Cape Town. March 1984.
- 62) Schnormeier R.H. "Eleven-year Pavement Condition History-of Asphalt Rubber Seals in Phoenix, Arizona. Undated.
- 63) Schnormeier R.H. "Time Proves Asphalt-Rubber Seals Cost--

- Effective", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber. San Antonio, Texas. October 1981.
- 64) Schnormeier R.H. "Fifteen-Year Pavement Condition History of Asphalt-Rubber Membranes in Phoenix, Arizona." 1985
 - 65) Scott J.L.M. "Use of Rubber Asphalt Binder with Graded Aggregate for Seal Coats". Saskatchewan Highways and Transportation. January 1979.
 - 66) Scott J.L.M. "Five Years With Rubber Asphalt Seals", Saskatchewan Highways and transportation. Undated.
 - 67) "Sealing and Resealing Cracks the Crafcoc Way". Crafcoc Inc. 1982.
 - 68) Servas V.P. and Freeme C.R. "New Materials and Techniques in Road Construction and Rehabilitation the Need for Accelerated Testing. "Symposium on Accelerated Testing. Annual Transportation Convention, Pretoria, South Africa - 1985.
 - 69) Shim-Ton J., Kennedy K.A., Piggott M.R. and Woodhams R.T. "Low Temperature Dynamic Properties of Bitumen-Rubber Mixtures. "University of Toronto. September 1979.
 - 70) Shuler T.S. and Hamberg D.J. "A Rational Investigation of Asphalt-Rubber Properties". New Mexico Engineering Research Institute. August 1981.
 - 71) Shuler T.S. "Specification Requirements for Asphalt-Rubber". TRB Record 843.
 - 72) Shuler T.S., Gallaway B.M. and Epps J.A. "Evaluation of

- Asphalt-Rubber Membrane Field Performance". Texas Transportation Institute report No. FHWA/TX-82/51 + 287-2. May 1982.
- 73) Shuler T.S., Adams C.K. and Lamborn M.J. "Asphalt-Rubber-Binder Laboratory Performance". Texas Transportation Institute. Report FHWA/TX-85/+347-1 March 1985.
- 74) Shuler T.S., Pavlovich R.D., Epps J.A. and Adams C.K. -- "Investigation of Materials and Structural Properties of Asphalt-Rubber Paving Mixtures". Draft of Final Report to FHWA on Contract DTFH-61-82-C-00074. Texas Transportation Institute. March 1985.
- 75) Shuler T.S., Pavlovich R.D. and Epps J.A. "Field Performance of Rubber Modified Asphalt Paving Materials". A --- Draft of a paper intended for publication by Transportation Research Board. 1985.
- 76) Specification for Ground Tire Rubber Saskatchewan High---ways and transportation. Canada.
- 77) Specification for Bitumen Rubber. Protea Asphalt, South -- Africa.
- 78) Stephens J.E., Mokrzewski S.A. "The Effect of Reclaimed - Rubber on Bituminous Paving Mixtures". The University of Connecticut, March 1974.
- 79) Stephens J.E. "Recycled Rubber in Roads". Final Report -- The University of Connecticut, April 1981.
- 80) Stephens J.E. "Connecticut Tests of Rubber Modified Bitu--minous Concrete Paving Mixtures. Fourth Year". The Univer

sity of Connecticut, May 1982.

- 81) Strauss P.J. "Field Testing and Control of Bitumen-Rubber". Symposium of Bitumen-Rubber presented by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry. South Africa. August 1984.
- 82) Texas State Department of Highways and Public Transportation Specifications for Hot Asphalt-Rubber.
- 83) Typical Material Specifications for Asphalt-Rubber, Arizona Refining Company's Arm-R-Shield and Arm R-Shield-CF - (Crack Filling).
- 84) Typical Construction Specifications for Asphalt-Rubber. - Arizona Refining Company's Surface Treatment and Stress-Absorbing Membrane Interlayer.
- 85) U.S. Rubber Reclaiming Company Inc. "Discarded Tires: -- Converting and Ecological Liability into a National Resource."
- 86) U.S. Rubber Reclaiming Company Inc. "Technical Description of Major Applications of Rubber Recovered from --- Scrap Tires for Use in Roads".
- 87) U.S. Rubber Reclaiming Company Inc. "The Continuous Method of Manufacturing Reclaimator Rubber".
- 88) Vallerga B.A. and Bagley J.R. "Design of Asphalt Rubber-Single Surface Treatments with Multilayered Aggregate -- Structure, ASTM, STP 724. 1980
- 89) Vallerga B.A., Morris G.R., Huffman J.E. and Huff B.J. -

"Applicability of Asphalt-Rubber Membranes in Reducing -- Reflection Cracking", AAPT, Vol. 49, 1980.

- 90) Vallerga B.A. "Use of Asphalt-Rubber Binders in AC Paving Mixes: Design and Construction", WASHTO 1981.
- 91) Vallerga B.A. "Design and Specification Changes for Pa---ving Mixes with Asphalt-Rubber Binders", paper presented at National Seminar on Asphalt-Rubber, San Antonio, Texas October 1981.
- 92) Van Assen E.J., Hattingsh and Maccarron C. "Monitoring of- Bitumen-Rubber Applications". Symposium of Bitumen-Rubber presented by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry. South Africa. --- August 1984.
- 93) Watson M.J. and Davidson L.K. "Roadmix's Experience in -- Bitumen-Rubber". Symposium of Bitumen-Rubber by the National Institute for the Transport and Road Research and by the Road Industry South Africa. August 1984.
- 94) Way G.B. "Prevention of Reflective Cracking in Arizona" - 1980 AAPT Annual Meeting. Louisville, Kentucky.
- 95) Weiss, Lawrence L. "Asphalt-Rubber Chip Seals in South Da kota", paper presented at National Seminar on Asphalt --- Rubber, San Antonio, Texas. October 1981.