



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



ESCUELA NACIONAL
DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

***"Rehabilitación de los
Pavimentos Asfálticos
Mediante Sistemas de
Reciclado"***

**TESIS
PROFESIONAL**



Jorge San Vicente Sánchez

1985



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

INTRODUCCION Y OBJETIVO

CAPITULO I. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

I.1.- ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

I.1.1.- ESTRUCTURACION Y METODOS DE DISEÑO.

I.1.2.- ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS.

I.1.3.- TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES Y SU REPARACION.

I.2.- EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTO EN CARRETERAS Y CRITERIOS PARA SU REHABILITACION.

I.2.1.- EVALUACION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

I.2.2.- EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS.

I.2.3.- REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

CAPITULO II. METODOS MAS USUALES EN LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.

II.1.- GENERALIDADES.

II.2.- BACHEO.

II.3.- SELLADO DE GRIETA Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

II.4.- CONSTRUCCION DE SOBRECARPETAS DE REFUERZO.

CAPITULO III. REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS POR MEDIO DE AGENTES REJUVENECEDORES Y RECICLADO.

III.1.- GENERALIDADES.

III.2.- SISTEMA DE REBAJADO.

III.3.- AGENTES REJUVENECEDORES.

III.4.- SISTEMAS DE RECICLADO.

III.4.1.- RECICLADO EN EL LUGAR.

III.4.2.- RECICLADO EN PLANTA.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES.

INTRODUCCION

El problema de la Ingeniería Civil en la ejecución de obras de pavimentación que garanticen la posibilidad de tránsito de vehículos de transporte es, en realidad, tan antiguo como el hombre mismo, y ha estado presente en todas las eras y todas las civilizaciones del mundo entero.

La aparición del automóvil, dió auge a los pavimentos, mismo que hasta la fecha continúa en crecimiento, y más recientemente, el advenimiento de la aviación a la escala en que hoy se conoce. Es por ello que las fuertes cargas actuales, altas velocidades de tránsito, grande número de repeticiones, etc., han hecho que las técnicas de construcción de pavimentos hayan sufrido una evolución muy rápida. A este respecto ha de hacerse notar que la inversión nacional en obras de pavimentación constituye para cualquier país, un renglón fundamental que justifica cualquier inversión.

De aquí se desprende la gran importancia que juega el buen estado que deben guardar las redes carreteras de todo país y principalmente la superficie de rodamiento, que después de todo es la que presta el servicio y está más en contacto con el usuario. Es por ello, que a la par con las nuevas técnicas de diseño se han desarrollado también, nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos, entre los que juegan un papel muy importante las que tienen como objetivo principal, la rehabilitación de la carpeta asfáltica o de losas de concreto, según sea el tipo de pavimento.

De entre todos ellos, y por considerarse como la más sobresaliente, se hizo en este trabajo, una recopilación de información acerca de la rehabilitación de pavimentos asfálticos mediante el sistema de RECICLADO y el uso de AGENTES REJUVENECEDORES. Durante el desarrollo del mismo, se pretende darle una mayor difusión a estos sistemas debido a las grandes ventajas de aplicabilidad que ofrecen a nuestras vías de comunicación.

En el Capítulo I, se hace un resumen acerca de las diferentes capas y materiales -- que componen un pavimento, así como, las fallas más comunes que encontramos en -- ellos; además, se dan las formas de evaluación tanto de la superficie de rodamiento -- como de la capacidad estructural.

En el Capítulo II, se mencionan todas las formas y métodos de que actualmente dispo

nen los ingenieros en vías terrestres, para realizar la rehabilitación de los pavimentos asfálticos; esto se hace con la finalidad de poder tener un punto comparativo ante los nuevos sistemas mencionados y así poder hacer una mejor elección entre unos y otros, en el momento de tomar una decisión.

El objetivo principal de este trabajo, es desarrollado en el Capítulo III, en donde se presenta toda la información recopilada acerca de los Agentes Rejuvenecedores y del Reciclado, los cuales se presentan en las diferentes formas en que actualmente se han desarrollado, así como, los diferentes campos de aplicación.

Y finalmente, en el Capítulo IV, se resumen las conclusiones derivadas de todo el estudio.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

I.1.- ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Se entenderá por pavimento, la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito de los vehículos, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como, transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. Como función estructural, es la de -- distribuir las cargas de los vehículos de manera que los esfuerzos que lleguen a la subrasante, no excedan la capacidad de soporte de la misma.

Por subrasante se entiende la superficie de una terracería terminada, siendo ésta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

El objetivo de la construcción de un pavimento es, proporcionar una superficie para permitir la operación de un tipo especificado de vehículo, para la cual pueden mencionarse, tres importantes requisitos funcionales:

- a). El vehículo debe operarse dentro de un rango de velocidad definido.
- b). La rugosidad de la superficie del pavimento no debe generar una vibración en el vehículo arriba de cierto nivel de tolerancia.
- c). Debe asegurarse una operación segura de los vehículos. Además de éstos requisitos funcionales, el costo total y la vida de servicio son también factores gobernantes.

Para el correcto y eficiente funcionamiento de un pavimento, cualquiera que sea su tipo, solamente se conseguirá si sus materiales constitutivos satisfacen en conjunto las siguientes condiciones:

- 1a. Proporcionar una superficie uniforme que permita un fácil rodamiento.
- 2a. Tener adherencia con las ruedas de los vehículos.
- 3a. Presentar resistencia para soportar las cargas de los vehículos y su contenido y capacidad para transmitir las convenientemente a las terracerías.
- 4a. Tener resistencia al desgaste.
- 5a. Resistir el intemperismo y,

6a. Soportar los efectos del agua capilar y de inundación.

Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible, considerado como un conjunto: (Ref. 1).

- a). La resistencia estructural.
- b). La deformabilidad.
- c). La durabilidad.
- d). El costo.
- e). Los requerimientos de conservación y
- f). La comodidad.

I.1.1.- ESTRUCTURACION Y METODOS DE DISEÑO.

1). ESTRUCTURACION.

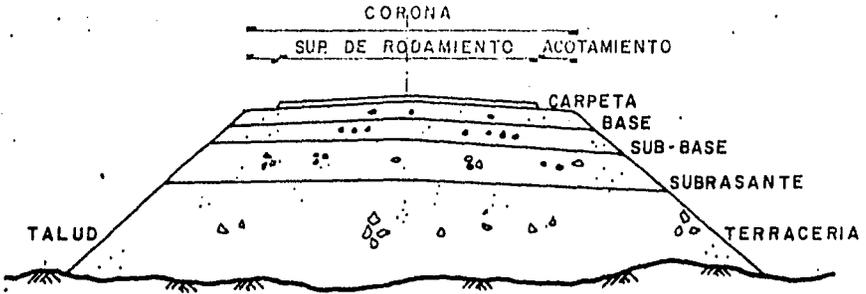
La estructura o disposición de los elementos que constituyen un pavimento, así como, las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o, más comunmente, por varias y, a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos; su superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreo compactados.

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregados pétreos y un aglutinante asfáltico, apoyado generalmente sobre dos capas no rígidas bien diferenciadas; una base, de material granular y una sub-base, formada preferentemente, también por un suelo granular. La calidad de las capas es descendente hacia abajo.

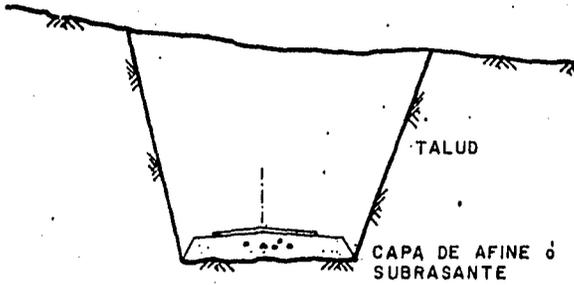
Bajo la sub-base se dispone de otra capa denominada subrasante, todavía con menores requisitos de calidad mínima que la sub-base.

Bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería, tratado mecánicamente en la actualidad casi sin excepción, por lo menos en lo referente a compactación.

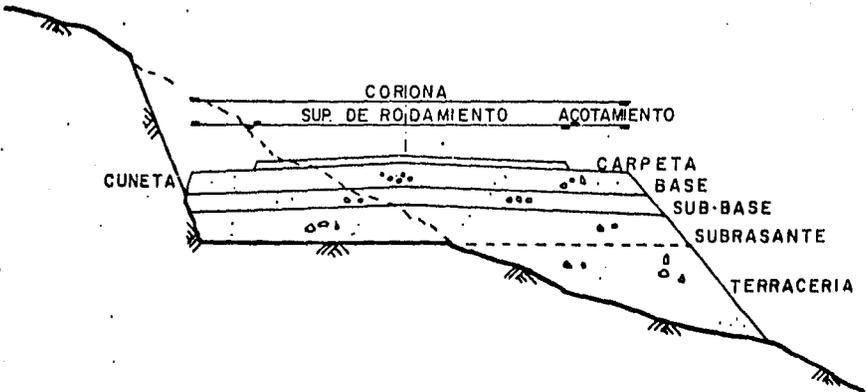
ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA SECCION ESTRUCTURAL DE UN CAMINO.



SECCION EN TERRAPLEN



SECCION EN CORTE.



SECCION EN BALCON

FIG.I.I.

En la figura I.I.- Se muestran los elementos que constituyen la sección estructural de un pavimento.

2). FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas:

- a). Ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar una buena fricción con la llanta de los vehículos y, con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.
- b). Debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

2.1.). CARPETA.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Cuando esta hecha de concreto asfáltico, colabora a la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante.

2.2.). BASE.

La base es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar. Desde el punto de vista económico, la base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa.

Las bases pueden construirse de diferentes materiales como:

- a). Piedra triturada o grava de depósito de aluvión (base hidráulica).
- b). Materiales estabilizados con cemento, asfalto o cal.
- c). Macadan. (Pavimento de piedra machacada aglomerada por un rodillo compresor).

2.3.) SUB-BASE.

Una de las funciones principales de la sub-base es de carácter económico, ya que se usa para disminuir el espesor del material de base (material más costoso). Su función desde el punto de vista estructural es similar a la base.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base generalmente granular más o menos grueso y la propia subrasante, generalmente formada por materiales finos. La sub-base, más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo: cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías.

De lo anterior, se desprende que, en general, un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuando más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es, principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

El diseño en pavimentos flexibles, emplea el principio de que una carga de cualquier magnitud, puede disiparse con la profundidad a través de capas sucesivas de material, o sea que, la intensidad de carga disminuye en proporción geométrica al ser transmitida hacia abajo de la superficie, ya que se va repartiendo en un área mayor.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista.

1. En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
2. En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituyen el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

En resumen, la resistencia de estos pavimentos, es el resultado de la acción conjunta del sistema de capas, de manera que, en este caso, el espesor del pavimento es -- afectado grandemente por la resistencia de la subrasante.

Al diseñar un pavimento flexible se debe ir analizando capa por capa, buscando que - la resistencia de cada una sea compatible con el nivel de esfuerzos a que estará so- metida, haciendo el análisis para toda la estructura del camino.

Los factores que, independientemente del método y calidad de diseño de un pavimento, afectan en forma predominante a éste, pueden considerarse comprendidos en los si---- guientes tres grupos: (Ref. 2).

- a). Las características de los materiales que constituyen la terracerfa y la capa -- subrasante.
- b). El clima.
- c). El tránsito.

3). METODOS DE DISEÑO.

Existe una gran variedad de métodos de diseño que se utilizan para determinar los es pesores de las diferentes capas de un pavimento flexible. Dichos métodos distan de- ser satisfactorios, de hecho puede decirse que no existe uno al que no pueda hacerse serias objeciones de carácter teórico.

Las referencias 2 y 3, contienen la mayor parte de los métodos de diseño actualmente en uso.

En general, los métodos de diseño son de tres tipos:

- a). Métodos con base teórica. El representante típico del grupo es el desarrollado- para sus aeropistas por organismo de la Armada de los E.U.A. (U.S. Navy).
- b). Métodos semiempíricos, que tienen como base una prueba de laboratorio o un con- junto de pruebas que se supone sirven como índice para representar el comporta- miento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de co- rrelaciones más o menos razonables y seguras, que deben de existir entre el com- portamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura. Pertenece a éste tipo los métodos de McLeod, Hveem, y del V.R.S.

c). Métodos Empíricos, apoyados únicamente en la observación y en la experiencia. La Agencia Federal de Aviación (F.A.A.) de los E.U.A. ha desarrollado un método de este tipo.

La mayor parte de los métodos de diseño de espesores son del tipo semiempírico.

Es natural esperar que los métodos de diseño que se basan en una prueba de laboratorio y en su correlación con el comportamiento estructural presenten las limitaciones y defectos que son de imaginarse.

Idealmente el pavimento se construye con un espesor tal que los esfuerzos en cualquier capa no causarán surcos, desplazamientos y otros movimientos diferenciales que produzcan una carpeta irregular. El espesor del pavimento se determina en parte por la carga total aplicada en la superficie y en partes por las características de resistencia de la subrasante la cual frecuentemente puede ser incrementada mediante compactación o, en algunos casos por estabilización.

Para mayor información acerca de los métodos de diseño, pueden consultarse las Referencias 2 y 3; no serán mencionadas en este lugar, ya que no se pretende hacer una recopilación de dichos métodos, pero se hará mención del método de diseño que actualmente tiene en uso la Secretaría de Obras Públicas (Ref. 4), propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El método se basa en una generalización teórica de los datos experimentales obtenidos en la pista circular del Instituto de Ingeniería y en los tramos experimentales de Izúcar de Matamoros, Pue. Y Salinas, S.L.P.; con esta información se han verificado los datos observados a través del comportamiento de caminos típicos en la Red Nacional.

Se parte de la hipótesis de que la carretera más económica es aquella que resiste a cada nivel lo necesario, ni más ni menos, es decir presenta una "Resistencia Relativa" uniforme en todas sus capas y llega a la falla funcional cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente, especificadas para la vida de proyecto del pavimento; si la "Resistencia Relativa" no es uniforme en las diferentes capas de la estructura, se supone que la capa de "Resistencia Relativa Crítica", determina la vida de servicio de la carretera.

Para este método se emplea la teoría de distribución de esfuerzos verticales de Boussinesq, deducida para una carga estática, circular, flexible, apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico, homogéneo e isótropo, para su aplicación en el caso particular de una estructura de capas múltiples y resistencia relativa uniforme, sujeta a cargas repetidas de un eje sencillo equivalente, cuyo peso estático es por definición de 8.2 toneladas y que tiene un coeficiente de impacto constante.

La falla por fatiga de una capa en la superficie de la carretera se analiza bajo la hipótesis de que existe una relación lineal entre el logaritmo de la resistencia y el logaritmo del número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

El diseño del pavimento utilizando las gráficas que se presentan en el informe No. - 325, (Ref. 4), se refiere a estructuras cuyo espesor de carpeta no excede de 7.5 cm de espesor real.

En el caso en que se utilicen capas estabilizadas se emplearán los siguientes coeficientes de equivalencia con relación a base hidráulica, según el caso:

Bases estabilizadas con asfalto líquido: 1.0 a 1.2

Bases estabilizadas con cemento Portland: 1.5 a 1.8

El concreto asfáltico tiene un coeficiente de equivalencia de 2 y para las carpetas elaboradas con mezcla en el lugar se tomará una equivalencia de 1.0 a 1.5, según la calidad de la mezcla.

Por otra parte, en los casos en que se presente deformación en el terraplén causada por cambios volumétricos, asentamientos o consolidación, el diseño consistirá fundamentalmente en el control de las deformaciones en el terraplén, aplicando las técnicas tradicionales de la mecánica de suelos, como son el empleo de secciones compensadas y secciones diseñadas de acuerdo a la presión de expansión del terreno de cimentación, seguido de recomendaciones sobre el espesor de pavimento deseable, a fin de transmitir los esfuerzos a las terracerías y suelo de cimentación en condiciones adecuadas de acuerdo con el criterio de resistencia relativa uniforme; en los casos donde la excesiva deformabilidad no puede controlarse, conviene hacer el diseño por etapas planeadas de pavimentos más ligeros que los que resultarían para vidas de proyecto prolongadas, ya que en esos casos la falla del pavimento será producida por la deformación de las capas de cimentación y no por el tránsito.

Es importante hacer notar que el parámetro de resistencia que intervienen en el diseño, es el valor relativo de soporte (VRS), que es un indicador muy aplicado en nuestro medio.

3.1). GRAFICAS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES DE EMPLEO.

A continuación se describen las gráficas del informe No. 325, que se utilizan para este objeto.

Figura I.2.- Se emplea para estimar coeficiente de daño por tránsito, con relación al eje sencillo equivalente de 8.2 toneladas, presión de inflado de 5.8 kg/cm^2 y radio del área cargada de 15 cm.

Esta gráfica se aplicará para obtener el coeficiente de daño en aquellos casos en que los vehículos que transitarán por determinada sección de carretera, presentan características diferentes a las que se describen en la figura I.3.

En rigor, en el método de diseño propuesto debería calcularse el tránsito equivalente en las diferentes capas que constituyen la sección estructural de la carretera, utilizando para ello los coeficientes de daño determinados a las diferentes profundidades. Sin embargo, la experimentación llevada a cabo señala que una profundidad zigual a 15 cm, es el valor más adecuado para diseño, teniéndose en este caso condiciones conservadoras al tomar en cuenta los valores de resistencia (VRS) mínimo que exigen las especificaciones generales de construcción de la Secretaría a los materiales de pavimentación, que por otra parte siempre deberán respetarse.

Figura I.3.- Coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos de la Red Nacional.

Esta tabla se aplica una vez que se tiene estimado el volumen de tránsito actual y su clasificación por tipo de vehículos, procediéndose a obtener el tránsito acumulado en la vida de diseño, utilizando esta gráfica y la que se indica en seguida.

Figura I.4.- Para estimar el tránsito equivalente acumulado.

Como se indicó anteriormente, esta gráfica se aplica para obtener el número de ejes acumulados en el período de diseño, haciendo intervenir la tasa de crecimiento anual del tránsito y el período de diseño.

Figura I.5.- Para el manejo de los datos de diseño mencionados anteriormente.

Figura I.6.- Para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, para nivel de rechazo de 2.5 en la escala de 0-5 de índice de servicio actual y condiciones normales.

Esta gráfica de condiciones normales se aplicará en las carreteras de mayor importancia y en aquellas en que se estima que su nivel de rechazo se alcance al tenerse un índice de servicio actual de 2.5; esta gráfica se presenta en forma simplificada en la Fig. 1.7 para usarse rutinariamente.

3.1.1.). EXPLICACION PARA LA UTILIZACION DE LA FIGURA I.2.

Para obtener los coeficientes de daño de un vehículo cualquiera deben seguirse los siguientes pasos:

1. Trazar la curva de distribución de esfuerzos de Boussinesq (curva de influencia), suponiéndose una presión de contacto igual a la presión de inflado del vehículo que se analiza. El radio del área cargada puede obtenerse aplicando las fórmulas que se muestran en la figura.
2. Los valores del coeficiente de daño a diferentes profundidades se obtienen en las intersecciones de la curva de influencia trazada como se indicó en el punto uno, con las curvas del diagrama a la profundidad z (escala de la derecha) que se considere.

Las curvas del diagrama correspondiente a los diferentes factores de influencia han sido trazadas considerando las diversas presiones de inflado y corresponden a las distribuciones de esfuerzos de Boussinesq, suponiendo un peso estándar por eje sencillo de 8.2 toneladas. Con todo lo anterior puede calcularse el valor del radio (a), y establecer a diferentes profundidades z la relación z/a , que es el valor de las ordenadas de las curvas. Los valores de los factores de influencia correspondientes han sido obtenidos experimentalmente por el Instituto de Ingeniería, y resultan muy similares a los determinados en la investigación de la AASHTO.

Figura I.8.- Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible para nivel de rechazo entre 2.0 y 2.5 en la escala 0-5 de índice de servicio actual.

Esta gráfica se usará para el diseño de caminos secundarios en condiciones favora---

bles, en donde el nivel de rechazo del pavimento se alcanzará cuando se tenga un índice de servicio actual comprendido entre 2.0 y 2.5. Esta figura es la misma, en rigor que la fig. I.6; simplemente acepta un factor de seguridad menor.

Esta gráfica se presenta también en forma simplificada como la fig. I.9.

3.1.2.). DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE, PARA FINES DE DISEÑO.

Una vez determinados los valores relativos de soporte en los materiales que constituyen las distintas capas que integran la sección estructural, se procede a calcular el valor relativo de soporte crítico que se utiliza en las figuras I.6 a I.9 tratando estadísticamente los valores obtenidos en cada caso y adoptando el nivel de confianza recomendado según la importancia de la carretera; este valor de soporte crítico será igual a:

$$\widehat{VRS}_z = \overline{VRS} (1 - CV).$$

En donde:

\widehat{VRS}_z : Estimación del valor relativo de soporte crítico esperado en el campo en la capa colocada a la profundidad z.

\overline{VRS} : Valor promedio de las determinaciones de VRS, a la misma profundidad z.

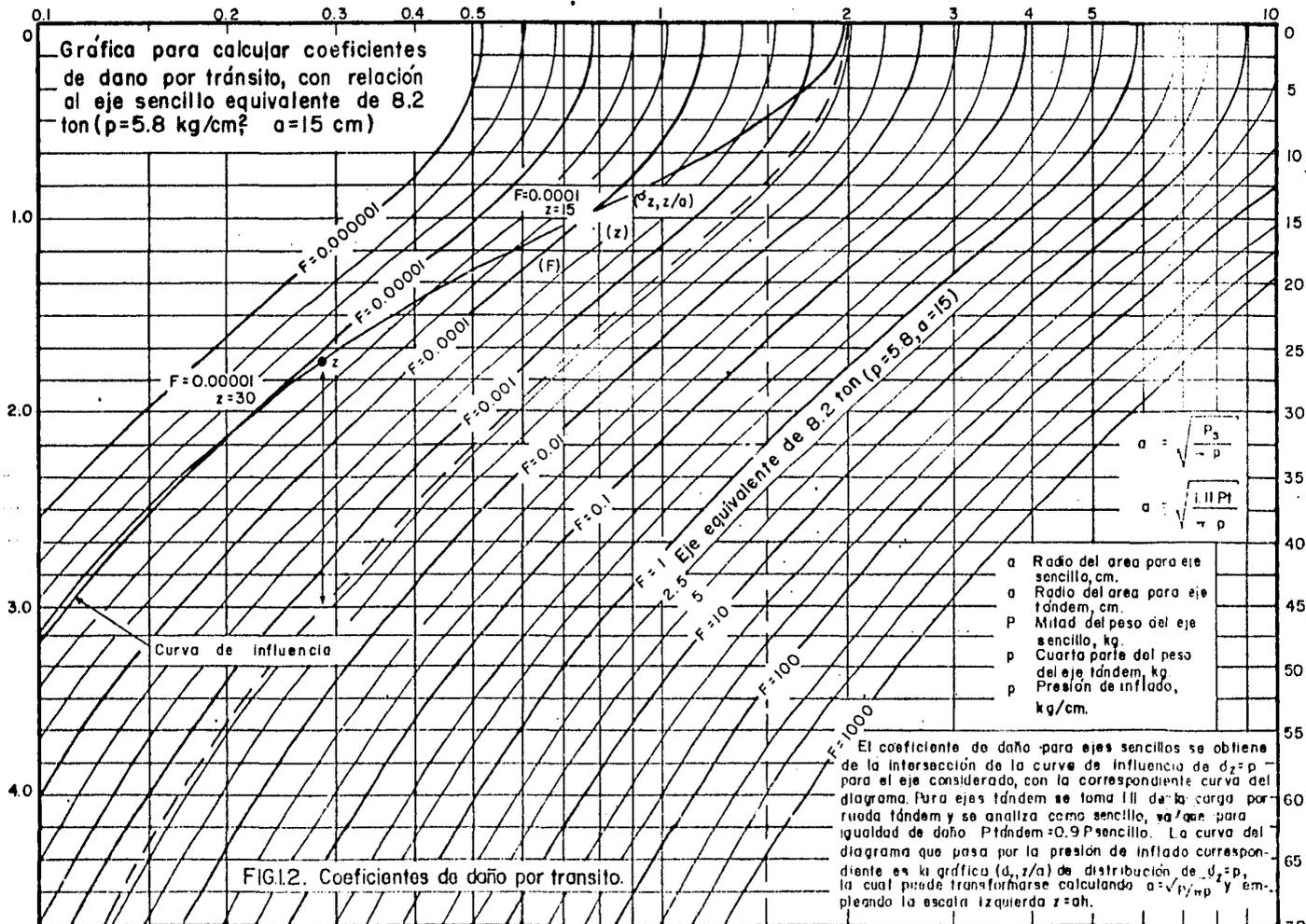
C: Factor que depende del nivel de confianza establecido.

Si se adopta el 90% de nivel de confianza, C es igual a 1.282.

V: Coeficiente de variación.

Respecto al coeficiente de variación, se considera conveniente que su valor esté de acuerdo al nivel de la calidad de los procedimientos de construcción, así como el propio control de calidad de la obra. De acuerdo con la idea anterior se recomiendan los siguientes valores para el coeficiente de variación.

Calidad de los procedimientos de construcción	Valor del coeficiente de variación.
--	--



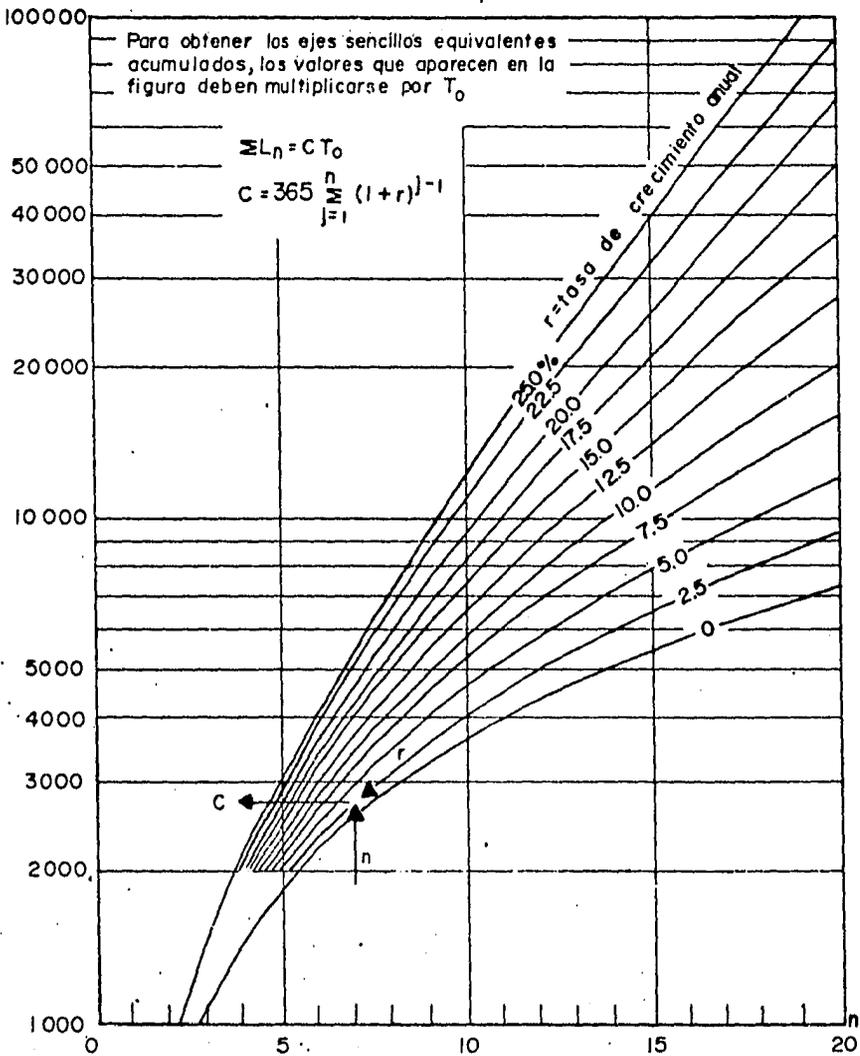
σ_z = Esfuerzo vertical, Kg/cm^2 p = Presión de inflado, Kg/cm^2

z = Espesor, cm; $a = 15 \text{ cm}$.

$h = z/a$

Eje	CARACTERÍSTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO				COEFICIENTES DE DAÑO							
	Peso, ton	P _i ²	Kg/m ²	CARGADO, F				VACÍO, F'							
	Cargado	Vacío		z=0	z=15	z=22.5	z=30	z=0	z=15	z=22.5	z=30				
Ap				1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.000		
	3														
	∞	2.0	1.6	-	0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000	0.000			
Ac	Carga = 2.5 ton.			1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
	2	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000			
	3														
	∞	4.9	2.4	-	0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000	0.000			
B	25 Pasajeros			1	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
	2	8.3	7.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500			
	3														
	∞	12.8	10.0		2.0	1.150	1.100	1.100	2.0	0.640	0.515	0.507			
C2	Carga = 5.1 ton.			1	2.3	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
	2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.440	0.440	0.440	0.44	0.025	0.008	0.003			
	3														
	∞	9.3	4.2	-	0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008	0.003			
C3	Carga = 9.7 ton.			1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
	2	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006			
	3														
	∞	16.6	6.9	-	0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011	0.006			
T2-S1	Carga = 9.7 ton.			1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
	2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020			
	3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800	1.0	0.040	0.015	0.007			
	∞	18.8	9.1	-	3.0	1.740	1.715	1.707	3.0	0.140	0.061	0.029			
T2-S2	Carga = 13.3 ton.			1	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	8.5	4.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030			
	3	12.1	3.8	5.8	2.0	0.450	0.400	0.400	2.0	0.010	0.002	0.001			
	∞	24.6	11.3	-	4.0	1.570	1.480	1.480	4.0	0.210	0.092	0.061			
T3-S2	Carga = 16.0 ton.			1	3.9	3.5	5.8	1.0	0.100	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007			
	3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.030	0.010	0.005			
	∞	29.9	13.9	-	5.0	1.300	1.050	1.025	5.0	0.150	0.055	0.032			

FIG. 1.3 COEFICIENTES DE DAÑO POR TRANSITO PARA VEHICULOS TÍPICOS.



$\sum L_n$ tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton.

C coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r .

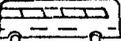
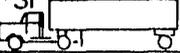
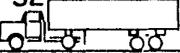
T_0 tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \sum N_i F_i + \sum N_j F_j$$

N_i, N_j promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio.

F_i, F_j coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 ton.

FIG. 1.4. Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N_i, N_i'	Coeficientes de daño por tránsito, F_i, F_i'		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, $N_i F_i, N_i' F_i'$	
						z=0 cm	z=15 cm	z=0 cm	z=15 cm.
A _p 				C=		0.005	0		
				V=		0.005	0		
A _c 				C=		0.34	0.042		
				V=		0.34	0.001		
B 				C=		2.0	1.150		
				V=		2.0	0.640		
C2 				C=		0.88	0.465		
				V=		0.88	0.027		
C3 				C=		0.88	0.675		
				V=		0.88	0.044		
T2-S1 				C=		3.0	1.740		
				V=		3.0	0.140		
T2-S2 				C=		4.0	1.570		
				V=		4.0	0.210		
T3-S2 				C=		5.0	1.300		
				V=		5.0	0.150		
Total									

NUMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES.	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %
2	50
4	40 - 50
6 o más	30 - 40

$T_0, T_0' =$ Tránsito equivalente inicial
 Años de servicio, $n =$ _____ Tasa de crecimiento anual, $r =$ _____ %
 Coeficiente de acumulación del tránsito, $C =$ _____
 Tránsito acumulado, $\leq L_n = C T_0 =$ _____ $\leq L_n' = C T_0' =$ _____

FIG.1.5. Tabla para el cálculo del tránsito equivalente acumulado.

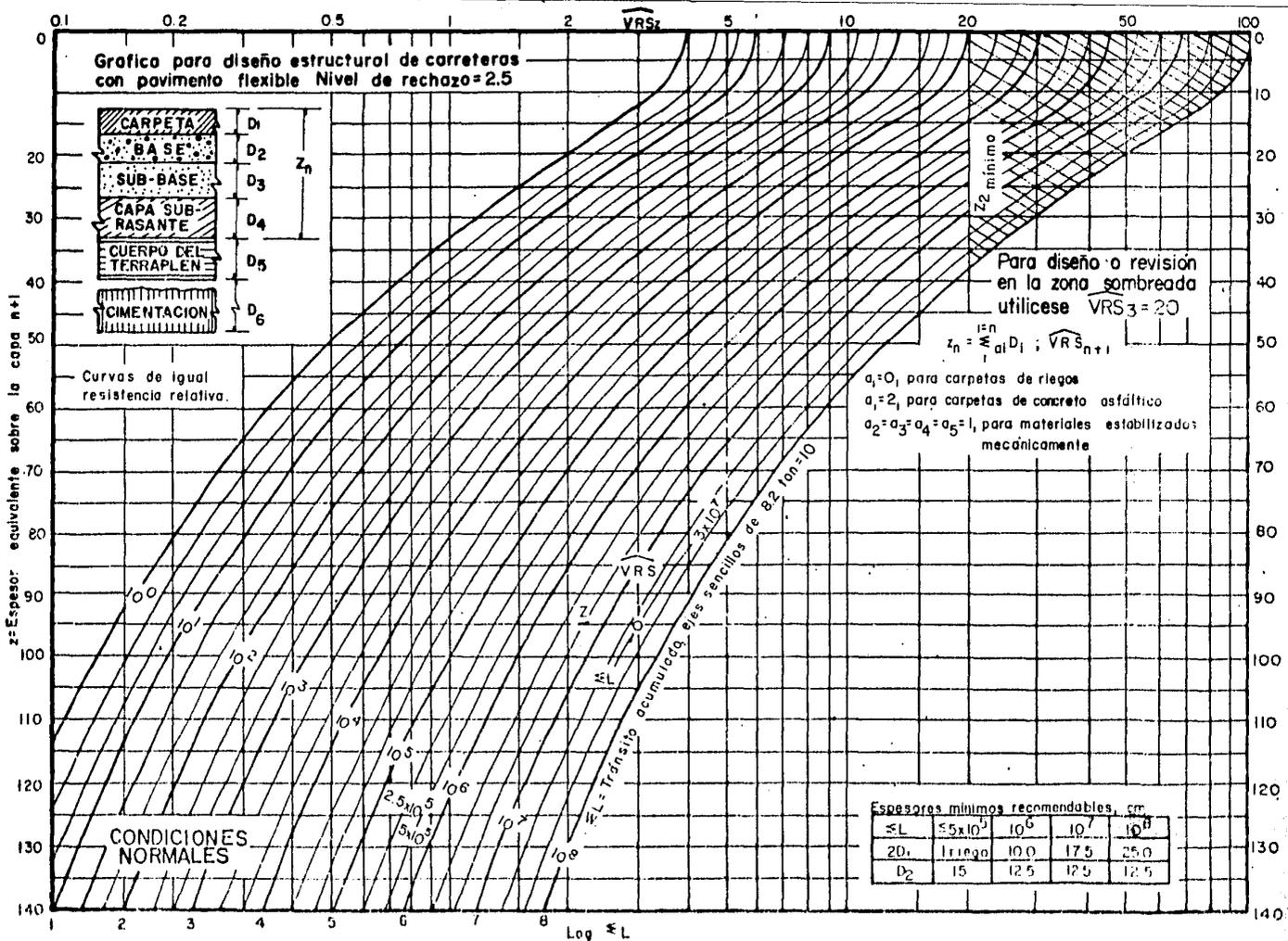


FIG.1.G. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.

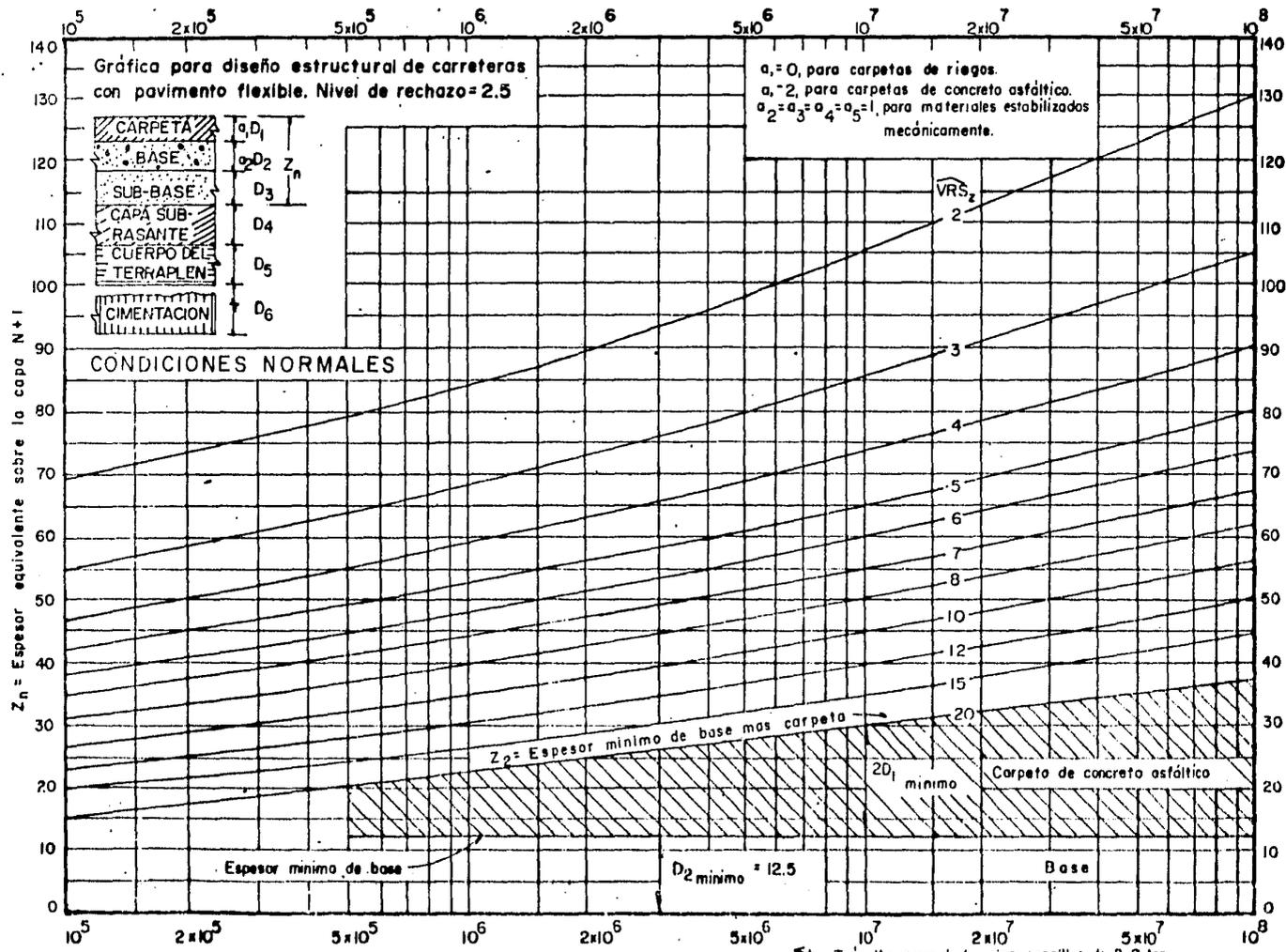


FIG. 1.7 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

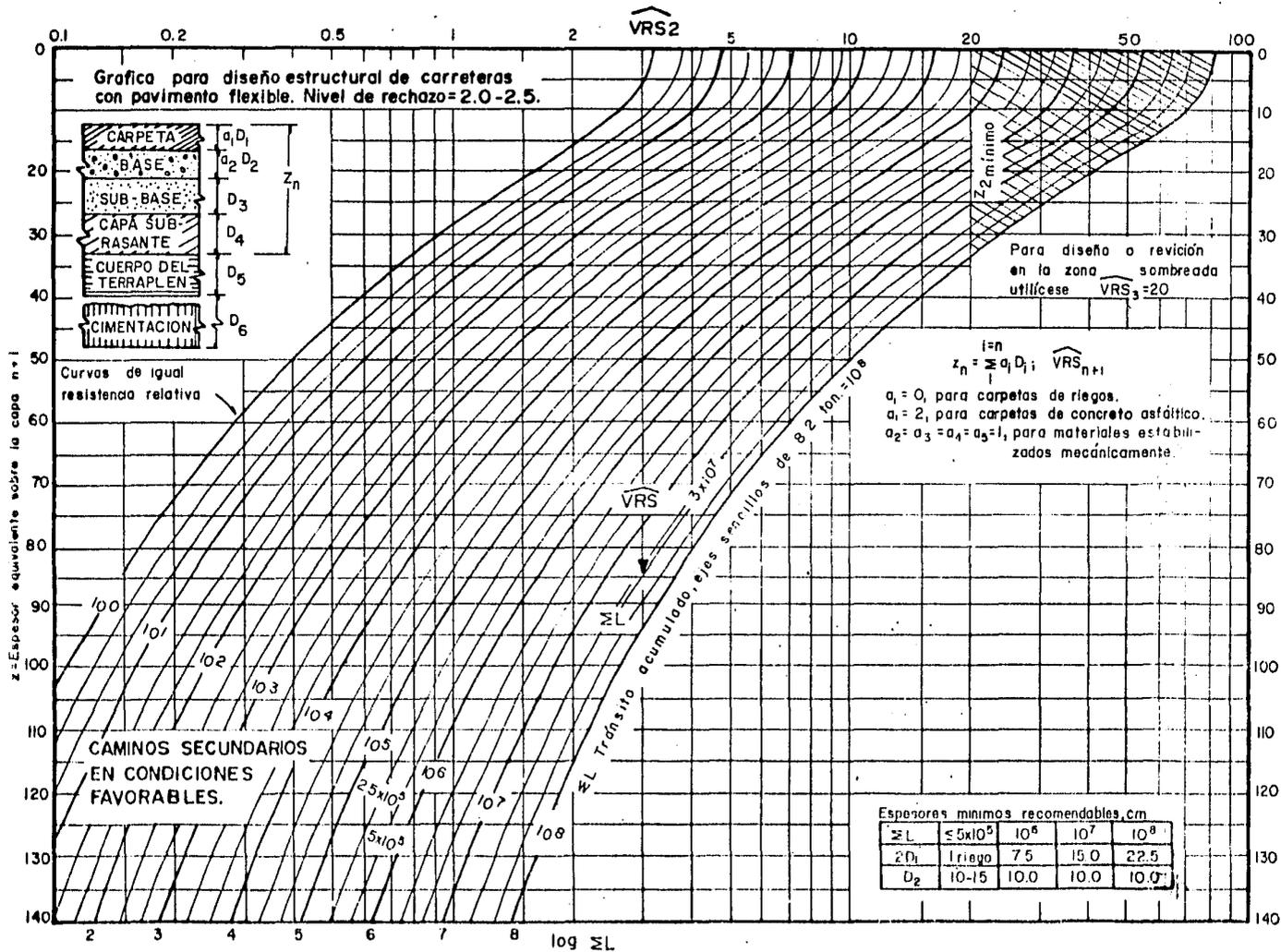


FIG. 1.8.

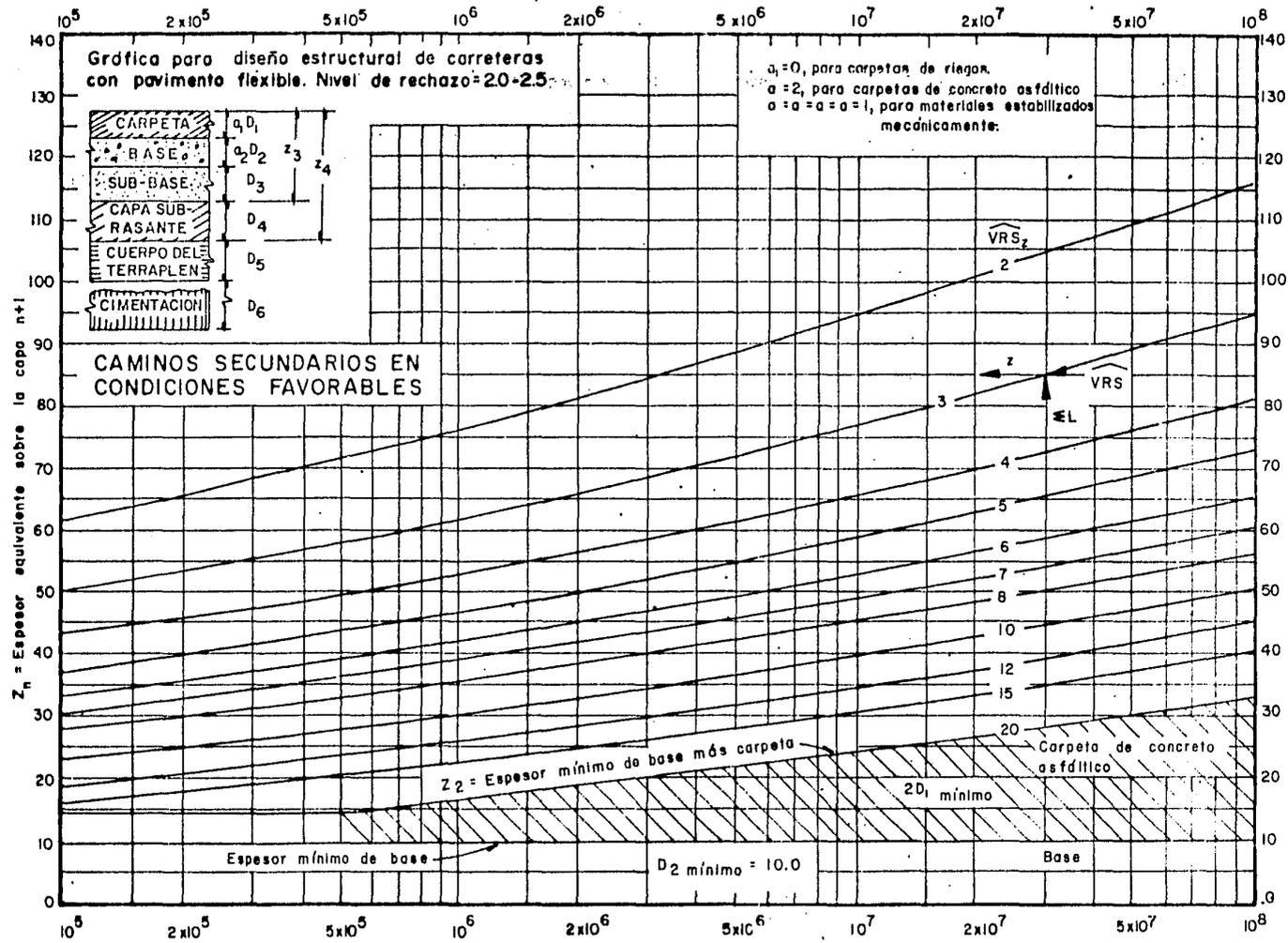


FIG:1.9.

Muy buena.	0.3
Buena.	0.4
Regular.	0.5

3.1.3.). OBTENCION DEL VALOR \hat{VRS} PARA DISEÑO.

La aplicación del método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, que se propone para ser adoptado por la Secretaría de Obras Públicas, exige la obtención de un valor del indicador VRS, que pueda manejarse en las gráficas de diseño. Obviamente, el resultado que se tenga con el método dependerá en mucho de lo que logre mejorarse la obtención del \hat{VRS} de diseño.

Como metodología para la obtención del \hat{VRS} de diseño, se proponen las siguientes dos alternativas.

1. Reconstrucción, modernización o valuación de pavimentos construidos.

En este caso se considera, con base en experiencia nacional y literatura, que el VRS obtenido en pruebas de campo, manejadas estadísticamente, puede ser el valor más confiable como \hat{VRS} de diseño.

2. Proyecto de caminos nuevos.

En este caso el \hat{VRS} de diseño ha de ser obtenido en el laboratorio. Al hacer -- tal, han de tenerse en cuanto los siguientes hechos:

a). Se sabe que las pruebas de compactación de amasado y, en menor escala, las pruebas de compactación por impactos tipo Proctor reproducen razonablemente en los laboratorios las estructuras de los suelos obtenidos en campo. Por lo contrario, las pruebas de compactación de tipo estático no son representativas desde este importante punto de vista, formando suelos compactados de estructura diferente a la del material compactado en el campo.

b). Se sabe que el valor del indicador VRS es sumamente sensible ante el contenido de agua del suelo, de manera que un valor obtenido en el laboratorio puede cambiar sustancialmente en el campo cuando cambie el contenido de agua -- del suelo. Se considera, por lo tanto, que un valor de laboratorio obtenido con un contenido de agua fijo, no es indicativo del que la carretera vaya a exhibir a lo largo de su vida útil, por lo que los proyectos de pavimenta---

ción deben contemplar esta circunstancia manejando a criterio de proyectista un intervalo de valores de VRS, correspondientes a los intervalos de contenido de agua que pueda tener la carretera a lo largo de su vida. Se considera que si se maneja el valor de VRS en el intervalo entre los contenidos de agua correspondientes al óptimo y al óptimo más 3%, se estará dando consideración al conjunto de circunstancias más desfavorables en la vida del camino. Para fines de los estudios de expansión que se mencionan más adelante será necesario someter a los especímenes a un previo proceso de saturación.

- c). Ha de tenerse conciencia clara de que la prueba de VRS tiene un bajo índice de reproductibilidad aún para los mismos suelos y las mismas circunstancias. Esto obliga a un tratamiento estadístico de la información obtenida en el laboratorio.
- d). Habida cuenta del número relativamente pequeño de proyectos de pavimentación que la Secretaría de Obras Públicas realiza en un año y de la enorme cantidad de dinero que esos proyectos defienden, no se considera criterio adecuado ahorrar esfuerzos o trabajo al ejecutar los estudios correspondientes. -- Además, se piensa que el método propuesto ahora podrá conducir a ahorros en trabajo al ser aplicado estadísticamente y dentro de criterios de zonificación.

Con las ideas anteriores se propone la siguiente metodología para establecer en el laboratorio el \widehat{VRS} de diseño en los nuevos proyectos.

La prueba de compactación a utilizar en el laboratorio para producir los especímenes de los suelos en que se determinará el VRS debe ser de tipo dinámico (AASHTO), en tres variantes, con 10, 30 y 65 golpes por capa. Todas las pruebas se harán con molde de 6".

Es conveniente hacer notar que previamente deberá haberse realizado al material la prueba de compactación que se utilizará como patrón para determinar el Peso Volumétrico Seco Máximo y la Humedad Óptima de compactación. Esta prueba de compactación podrá ser realizada entre la AASHTO estándar y la modificada, según sea el caso particular de que se trate.

La prueba AASHTO modificada podrá hacerse utilizando tres capas de material o 5 capas de material, según se decida cual sea el nivel de compactación conveniente para-

la obra, de acuerdo con los materiales a usar en ella y su importancia. En terminos generales, será recomendable utilizar pruebas con tres capas en materiales de tierra y capa subrasante. En carreteras importantes, las capas de sub-base y base podrán proyectarse con referencia a pruebas de cinco capas.

Una de las series de pruebas (con 10, 30 y 65 golpes por capa) se hará dando a los suelos el contenido de agua óptimo y la otra serie de pruebas análogas, con un contenido de agua en el suelo correspondiente al óptimo más 3%.

A cada uno de los seis especímenes así fabricados se les hará la prueba de penetración VRS, con el mismo contenido de agua con que fueron fabricados; también se les determinará el peso volumétrico. Con todos los datos anteriores podrá fabricarse una gráfica tal como la que se muestra en la figura I.10.

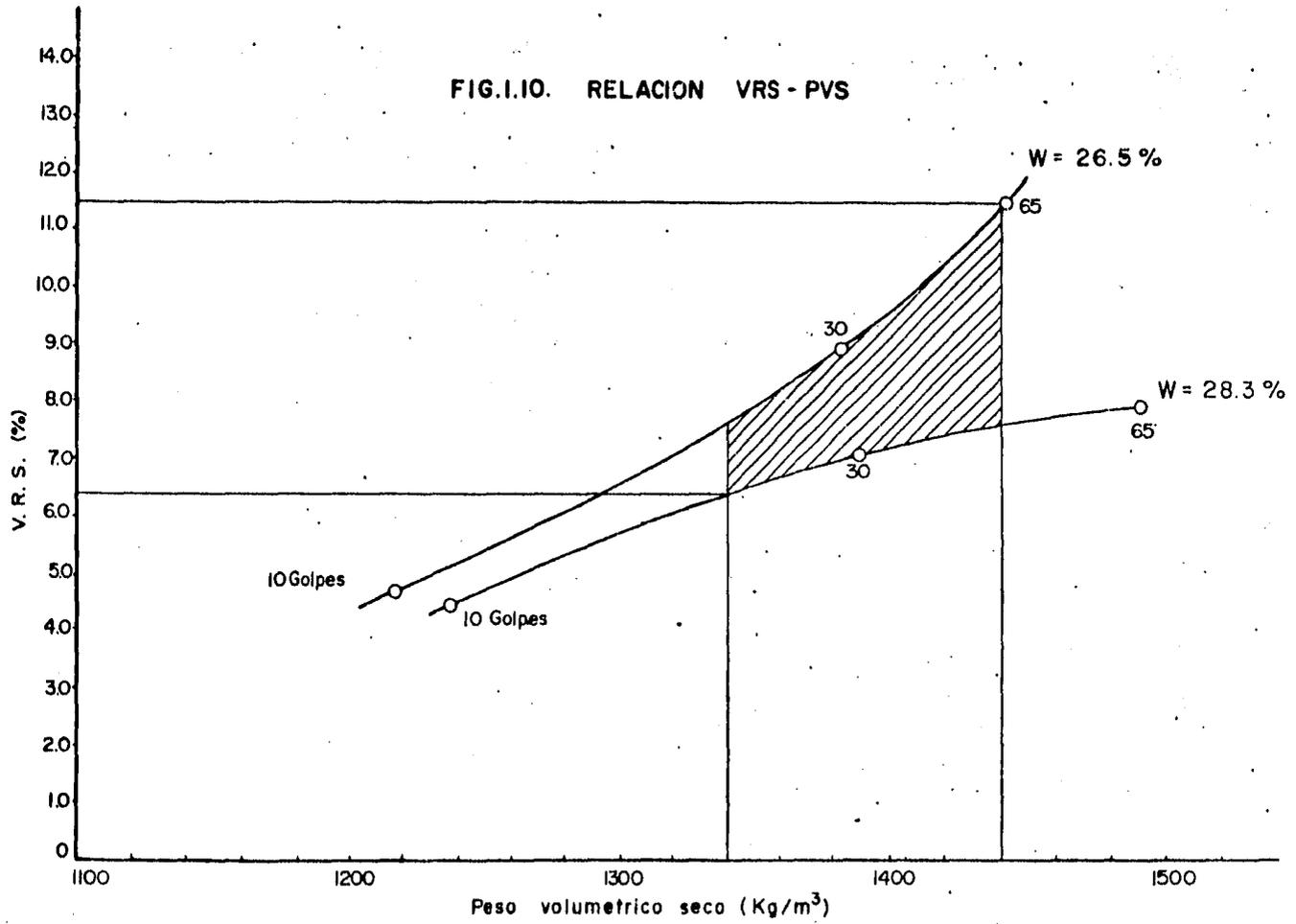
En esa figura se supone que los contenidos de agua antes mencionados son 26.5% y 28.3%, respectivamente. El paso siguiente del proyectista ha de ser establecer en que intervalo podrá variar el peso volumétrico del material compactado en el campo (Ver nota al final de este capítulo). En la figura se acepta que el peso volumétrico seco podrá variar entre 1340 y 1440 kg/m³. Con todos estos datos se define la zona rayada de la figura, que representa la zona de trabajo tanto en el peso volumétrico, como en contenido de agua y en VRS. En este caso hipotético el VRS del suelo podrá considerarse con una fluctuación posible de 6 a 11.5%. Dentro de este intervalo tendrá que escoger un valor de VRS el proyectista, tomando en cuenta los materiales que intervienen, la topografía del camino, las precauciones de drenaje y subdrenaje que está adoptando y demás consideraciones de influencia. Así podrá llegarse al valor \overline{VRS} , que será el obtenido como se dijo anteriormente.

NOTA: Obsérvese que el procedimiento propuesto queda así automáticamente adaptado para un manejo racional del control de la compactación. Hoy, este valor se controla con base en un índice fijo, lo que no es racional, dada la aleatoriedad del proceso de compactación. Sin duda será conveniente controlar la compactación en el futuro también dentro de un intervalo definido estadísticamente, por ejemplo haciendo uso de Gráficas de Control.

3.2.). OBTENCION DE LAS RELACIONES VRS-EXPANSION-HUMEDAD DE COMPACTACION PARA FINES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES SOBRE SUELOS EXPANSIBLES.

A continuación se presenta una metodología para tomar en cuenta la expansión de los

FIG. I.10. RELACION VRS - PVS



suelos cuando se utiliza como parámetro de diseño el valor relativo de soporte manejado en la forma propuesta en este instructivo.

Se hará referencia a la figura No. I.11. En dicha figura se han trazado las gráficas, peso volumétrico-expansión (en porcentaje), así como las que relacionana el peso volumétrico y el VRS para las dos series de pruebas (10, 30 y 65 golpes) correspondientes a las humedades de compactación de 26.5% y 28.3%. Por este procedimiento puede determinarse el valor relativo de soporte tomando en cuenta las características de expansión de los materiales; así por ejemplo, si se fija un valor máximo admisible para la expansión, este valor máximo acotará el valor de VRS para fines de diseño. Considérese por ejemplo que el valor máximo admisible para la expansión es de 2% y que se trabajará con la humedad 28.3%. Entrando a la gráfica peso volumétrico-expansión para la humedad de 28.3%, se obtiene que el peso volumétrico seco máximo no podrá ser mayor de 1380 Kg/m³ y para ese valor de peso volumétrico en la curva peso volumétrico VRS se tiene que el valor máximo de VRS para fines de diseño sería de 7%.

3.3.): DIRECTRICES DE INVESTIGACIONES FUTURAS.

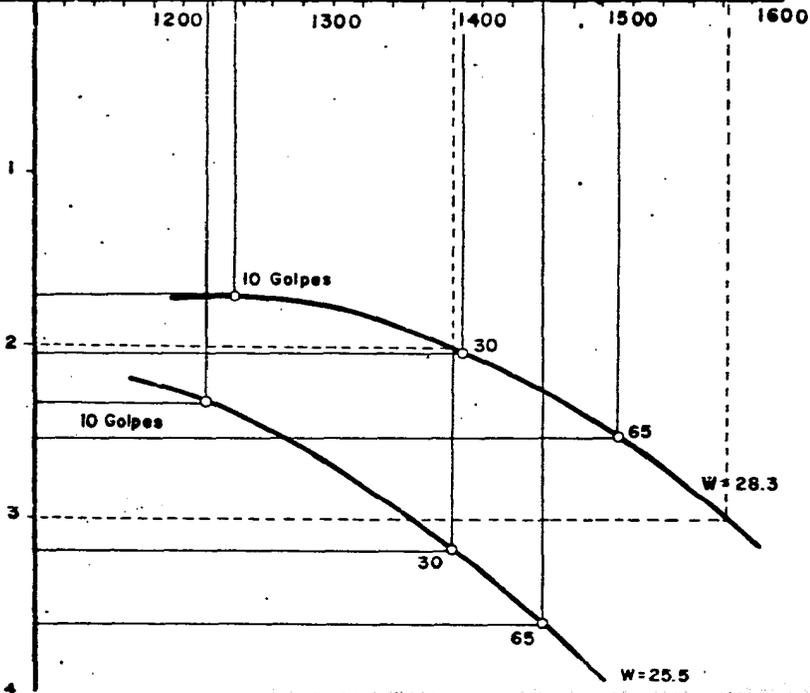
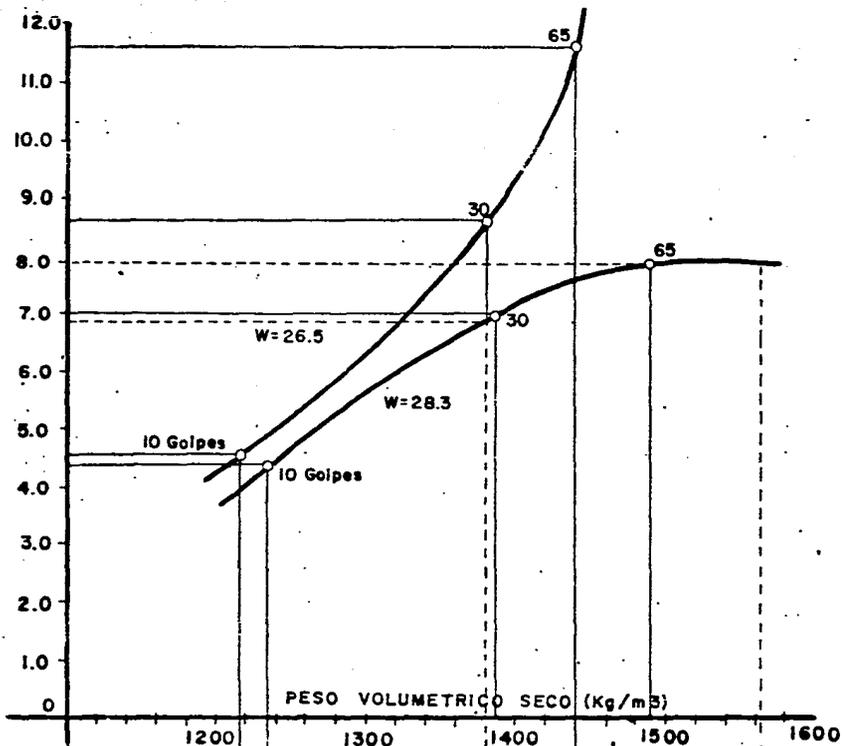
Se considera que el método para la determinación del VRS propuesto en este instructivo debe ser tomado como tentativo y deberá ser sometido, en caso de adoptarse, a un proceso de revisión constante, evaluando el comportamiento de las estructuras con el método que se haya diseñado.

Por otra parte se recomienda iniciar los siguientes estudios,

1. Valuación de si el método propuesto conduce a pavimentos razonables llevando registros de comportamiento a mediano y largo plazo.
2. Tratar de correlacionar los valores de VRS de campo y los obtenidos en pruebas de laboratorio y ver la correspondencia de los dos métodos propuestos en este instructivo.
3. Tratar de regionalizar valores de VRS, con vistas a llegar a experiencia local y a proyectos tipo regionales.

3.4.) OBSERVACIONES RESPECTO DEL ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE.

En el método de diseño propuesto en este instructivo, pudiera en algún caso, dadas -



las características de los materiales, resultar un espesor de capa subrasante de una magnitud que se pudieran presentar dificultades de orden constructivo, en este caso se recomienda respetar un espesor mínimo de 20 cm.

I.1.2. ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS.

1). ASFALTOS.

El asfalto es un material cementante de color café oscuro, de consistencia sólida ó semi-sólida el cual se licua gradualmente al ser calentado, y en el que los constituyentes predominantes son los bitúmenes, los cuales se presentan en forma sólida en la naturaleza, o son obtenidos al refinar el petróleo, o bién combinaciones de los bitúmenes mencionados con derivados del petróleo. El asfalto en realidad se obtiene como un residuo de la destilación, debido a que no se evapora ni hierve durante el mencionado proceso de destilación.

El asfalto se le conoce también como material bituminoso dado que contiene bitúmen que es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS_2). El asfalto contiene además de las moléculas de hidrocarburo: algunos átomos, tales como los de oxígeno, nitrógeno y azufre. Es pegajoso, lo cual hace que se adhiera a las partículas de agregado, es además impermeable y resistente a la mayoría de ácidos, álcalis y sales. Se dice que el asfalto es termo plástico porque se suaviza al ser calentado y endurece al enfriarse. Las características enunciadas son las que hacen del asfalto un material tan útil en la pavimentación. En la naturaleza se encuentra el asfalto en estado natural, el cual, aunque también puede tener todas las características del asfalto obtenido de la refinación del petróleo crudo, presente la desventaja de que no es uniforme y contiene cantidades variables de materia extraña.

Los asfaltos estan constituidos por tres ingredientes principales: aceites, resinas y asfaltenos. Estos tres constituyentes se disuelven uno en otro. Los asfaltenos son solubles en las resinas y ambas se disuelven en los aceites. De estos constituyentes del asfalto, los asfaltenos son los que proporcionan la dureza y las resinas, las propiedades cementantes. Los aceites proporcionan al asfalto la plasticidad y lo hacen trabajable. La proporción en que entra cada uno de los ingredientes fijan la resistencia del asfalto. Cuando predominan los asfaltenos y la proporción de resinas es baja, se tiene un asfalto duro, o asfalto sólido (Gilsonita). Si en el as-

falto predomina los asfaltenos y las resinas, y el contenido de aceite es bajo, se tiene los cementos asfálticos. Mientras menor sea la proporción de aceite, será mayor la dureza del asfalto, y viceversa.

1.1.). OBTENCION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS.

El asfalto que se utiliza en la construcción de pavimentos tiene dos orígenes: el que proviene de depósitos naturales, llamado asfalto natural o asfalto nativo, y el que se obtiene de la destilación del petróleo de base asfáltica.

a). Los asfaltos naturales podemos considerarlos sub-divididos en dos grupos, dependiendo de su contenido de bitúmen:

- Las Rocas Asfálticas, que contienen menos de 20% de Bitúmen.
- Los Asfaltos Naturales, propiamente dichos con contenidos mayores de 20%, y que alcanzan valores hasta de 90% como en el caso de los depósitos de Bermúdez, en la República de Venezuela.
- Las Rocas Asfálticas son impregnaciones bituminosas de materiales calizos ó silicosos, cuyo contenido de bitúmen varía desde un 3% en los depósitos del Edo. de Oklahoma, hasta un 15-17% en el caso de las arenas del Edo. de California. Estos materiales se explotan en sus depósitos naturales, se someten a tratamientos de trituración, calentamientos, etc., para obtener mezclas asfálticas de características adecuadas para su uso en pavimentación. En nuestro país no existen depósitos de este tipo dignos de consideración, habiéndose construido algunas carpetas con roca asfáltica de Uvalde, Texas en la zona de Reynosa y Matamoros, en el Edo. de Tamaulipas.

Los asfaltos naturales, cuyo contenido de bitúmen varía desde el 50% en el caso de los depósitos de trinidad, hasta el 90% en los de Bermúdez ya mencionados, no se emplean directamente en los trabajos de pavimentación. Previamente deben ser procesados mezclándolos con asfaltos más suaves para alcanzar la consistencia requerida de un cemento asfáltico y con solventes obtenidos del petróleo en proporciones que varían desde el 20% para los asfaltos naturales de Bermúdez -- hasta un 50% para el de los depósitos de Cuba.

b). Los asfaltos empleados en los trabajos de pavimentación en nuestro país proceden principalmente, casi en forma exclusiva, de la refinación del petróleo crudo.

- El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, sólidos, líquidos y gaseosos, en-

solución mutua. Para que se acumule en las rocas que forman la corteza terrestre necesitan llenarse cuatro condiciones:

- a). Que exista la "Roca Madre" que contenga la cantidad necesaria de materia orgánica que va a dar origen a la formación del petróleo. Se considera -- que esta materia orgánica debe estar constituida por restos vegetales de plantas con alto contenido de hidrógeno, tales como las esporas, de las -- cuales se forman los hidrocarburos. Las principales rocas productoras de petróleo son la lutitas marinas.
- b). Que exista una roca que sirva de almacenamiento al petróleo, que generalmente es una arenisca de gran porosidad (15% en promedio, variando entre 5 y 40%).
- c). La presencia de una estructura geológica favorable, tal como la de un anticlinal, que es la que fija el sitio donde va a concentrarse el petróleo en la roca que le sirve de almacenamiento.
- d). Que exista un estrato impermeable inmediatamente arriba de aquel que sirve de almacenamiento, que impida que se escapen los hidrocarburos. Este estrato generalmente lo forman capas de arcilla o de lutitas una arcilla con solidada.

En la refinería, el petróleo crudo es sometido a un proceso de destilación que se representa esquemáticamente en la fig. 1.12, obteniéndose los siguientes productos: Destilados Ligeros (Gasolinas), Destilados Medios (Kerosinas), Destilados Pesados (Aceite Diesel) y un material residual que constituye los asfaltos residuales de fraguado lento. Este mismo material residual, sometido a un nuevo proceso de destilación es el que se hace una inyección de vapor, da como productos los Aceites Lubricantes y los Cementos Asfálticos de diferentes grados de penetración. A partir del cemento asfáltico de 80-120 grados de penetración se elaboran los asfaltos rebajados, utilizando destilados ligeros para los de fraguado rápido, y destilados medios para los de fraguado medio. Del cemento asfáltico, mediante el empleo de un agente emulsor, se obtienen las emulsiones asfálticas.

En forma esquemática en la fig. 1.13, se indica la composición de los diferentes tipos de productos asfálticos que se utilizan más comunmente en la construcción de carpetas flexibles.

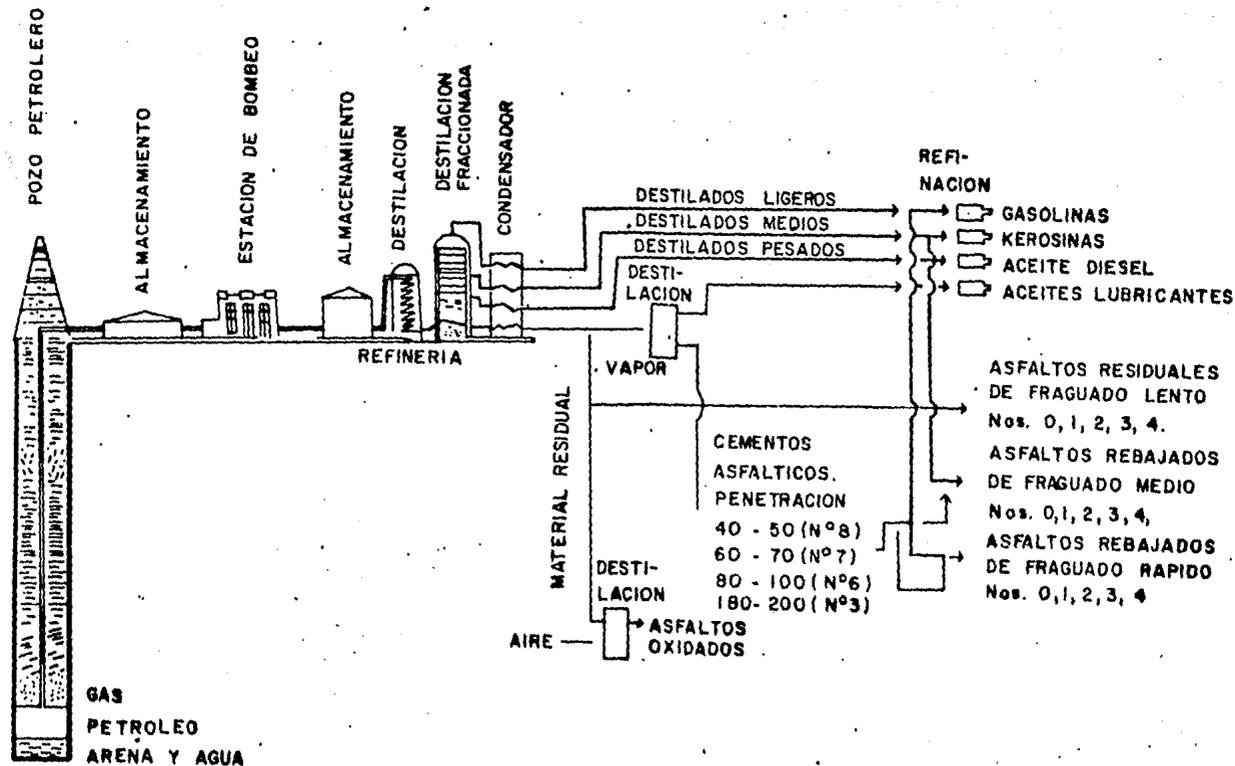


FIG 1.12 - Esquema del tratamiento del petróleo para obtener los diversos productos asfálticos.

ACEITES NO VOLATILES.	ACEITES POCO VOLATILES Y-ACEITES NO -VOLATILES.	KEROSINA	GASOLINA	AGUA
ASFALTO D U R O	CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO
CEMENTO ASFALTICO	ASFALTO RESI DUAL DE FRA- GUADO LENTO.	ASFALTO RE BAJADO DE- FRAGUADO - MEDIO.	ASFALTO RE BAJADO DE- FRAGUADO - RAPIDO.	EMULSION ASFALTICA AGENTE EMUL SIFICANTE.

FIG. I.13

1.2.) UTILIZACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS.

Los asfaltos rebajados son los productos asfálticos más comunmente empleados actual- mente en nuestro País en trabajos de pavimentación. Los rebajados de fraguado medio, se utilizan en riegos de impregnación de la base, en estabilizaciones asfálticas o - en carpetas de mezcla en el lugar. los rebajados de fraguado rápido se empleen en - la construcción de carpetas por el sistema de riegos, en los riegos asfálticos que - se dan a las bases ya impregnadas para lograr una liga con la carpeta asfáltica y en las carpetas de mezcla, ya sea elaborada en el lugar o en planta estacionaria.

Los asfaltos rebajados de fraguado lento son poco empleados en nuestro País, por lo- general, y se les ha utilizado en estabilización de suelos finos y en la construc- ción de carpetas de mezcla en el lugar, así como en riegos de impregnación de bases- de textura muy cerrada.

Los rebajados se designan por las literales FR, FM y F1, ya sea que se trate de reba- jados de fraguado rápido medio o lento seguidos de un número que indica la propor- ción de residuo asfáltico en el producto, según se indica en la tabla siguiente. La viscosidad del producto es mayor a medida que aumenta la proporción de residuo asfál- tico, y debe conservarse dentro de los mismos límites para todos los productos del - mismo número, ya sean fraguado rápido, medio o lento. La determinación de la visco-

idad se hace a diferentes temperaturas, de acuerdo con el grado del producto según aparece indicado en la tabla, pero si se efectuará la prueba a la temperatura de -- 60°C, se tendrían aproximadamente los siguientes datos:

Para FR-0, FM-0 y FL-0, 15-30 seg. a 60°C
 FR-1, FM-1 y FL-1, 40-80 seg. a 60°C
 FR-2, FM-2 y FL-2, 100-200 seg. a 60°C
 FR-3, FM-3 y FL-3, 250-500 seg. a 60°C
 FR-4, FM-4 y FL-4, 600-1200 seg. a 60°C

VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL EN SEGUNDOS.	FR-0, FM-0 FL-0	FR-1, FM-1 FL-1	FR-2, FM-2 FL-2	FR-3, FM-3 FL-3	FR-4, FM-4 FL-4
A 25°C	75-150				
A 50°C		75-150			
A 60°C			100-200	250-500	
A 82°C					125-250

RESIDUO DE LA DESTILACION A 360°C% EN-VOLUMEN	FR-0, FM-0	FR-1, FM-1	FR-2, FM-2	FR-3, FM-3	FR-4, FM-4
	50% mín.	60% mín.	67% mín.	73% mín.	78% mín.
DESTILADO TOTAL A -360°C% EN VOLUMEN.	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
	15-40	10-30	5-25	2-15	10-Máx.

Los cementos asfálticos se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas en planta estacionaria, siendo necesario efectuar un calentamiento de ambos materiales, pétreo

y asfáltico, para lograr una distribución uniforme de la película del material aglutinante debido a su alta viscosidad.

El cemento asfáltico más comunmente empleado en nuestro País es el número 6, que tiene una penetración de 80 a 100 grados, determinando con la prueba estandar que posteriormente se describirá. También puede emplearse el cemento asfáltico No. 3 que es más blando que el anterior, y que tiene una penetración comprendida entre 180 y 200-grados.

No se utilizan en trabajos de pavimentación cementos asfálticos de mayor dureza que la correspondiente al No. 6.

1.3.). NORMAS DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS.

En las tablas que se consignan a continuación aparecen los requisitos que deben exigirse a los diferentes productos asfálticos para asegurar que su calidad sea satisfactoria. Estas normas adoptadas por la Secretaría de Obras Públicas, aparecen publicadas en la cláusula 93-4 de la Parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción, y corresponde a las normas de calidad adoptadas por el Instituto de Asfaltos de la Unión Americana.

a). Especificaciones de calidad de los cementos asfálticos.

CONCEPTO	Inciso de la prueba (x)	Grado del cemento asfáltico			
		No. 3	No. 6	No. 7	No. 8
Punto de ignición (copa abierta de Cleveland) °C	111-3	220 min.	230 min.	240 min.	260 min.
Penetración, grados	111-6	180-200	80-100	60-70	40-50
Puntos de fusión, °C	111-12	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, cm	111-9	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.
Solubilidad en CCL ₄ %	111-10	95.5 min.	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.
Pérdida por calentamiento %.....	111-19	1.0 máx.	1.0 máx.	1.0 máx.	1.0 máx.

(x) Se refiere al libro primero de la parte novena de las Especificaciones Generales de Construcción.

b). Especificaciones de calidad de los asfaltos rebajados de fraguado rápido.

CONCEPTO	Prueba en Inciso	GRADO DEL PRODUCTO				
		FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL						
Punto de ignición (copa abierta de Cleveland °C)	111-3	-	-	35 mín.	35 mín.	35 mín.
Viscosidad Saybolt-Furol. A 25 °C A 50 °C A 60 °C A 82 °C	111-4	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
Destilación por ciento del destilado a 360 °C						
Hasta 190 °C más de Hasta 225 °C más de Hasta 260 °C más de Hasta 315 °C más de	111-5	15 55 75 90	10 50 70 88	40 65 87	25 55 83	8 40 80
Residuo de la destilación por ciento del volumen por diferencia - mínimo.....		50	60	67	73	78
Pruebas en el Residuo de la destilación.						
Penetración, grados..	111-6	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad, en cm. mín.	111-9	100	100	100	100	100
Solubilidad en CCL ₄	111-10	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

c). Especificaciones de calidad de los asfaltos rebajados de fraguado medio.

CONCEPTO	Prueba en Inciso	GRADO DEL PRODUCTO				
		FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL.						
Punto de Ignición mínimo (copa abierta de Cleve land).	111-3	38 °C	38 °C	66 °C	66 °C	66 °C
Viscosidad Saybolt-Furol. A 25 °C, seg..... A 50 °C, seg..... A 60 °C, seg..... A 82 °C, seg.....	111-4	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
Destilación por ciento del total destilado a 60 °C.						
Hasta 225 °C..... Hasta 260 °C..... Hasta 315 °C..... Residuo de la destilación a 360 °C, por ciento del volumen por diferencia, (mínimo).....	111-5	25 máx. 40-70 75-93 50	20 máx. 26-65 70-90 60	10 máx. 15-55 60-87 67	5 máx. 5-40 55-85 73	0 30 máx. 40-80 78
PRUEBAS EN EL RESIDUO - DE LA DESTILACION.						
Penetración (grados)	111-6	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en cm. (mínimo).....	111-9	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento mínimo.....	111-10	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

d). Especificaciones de calidad de los asfaltos rebajados de fraguado lento.

CONCEPTO	Prueba en Inciso	GRADO DEL PRODUCTO				
		FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL						
Punto de ignición mínimo (capa abierta Cleve land).....	111-3	66 °C	66 °C	80 °C	93 °C	107 °C
Viscosidad Saybolt-Furol. A 25 °C, seg..... A 50 °C, seg..... A 60 °C, seg..... A 82 °C, seg.....	111-4	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
Destilación: destilado total a 360 °C, por -- ciento en volumen.....	111-5	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx.
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION.						
Ignición a 50 °C, seg.	111-8	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Contenido de asfalto - de 100° de penetración (aproximada).	111-7	40 mín.	50 mín.	60 mín.	70 mín.	75 mín.
Ductilidad en centímetros(Mín.).	111-9	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetra-- cloruro de carbono, -- por ciento mínimo.	111-10	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

e). Especificaciones de calidad de las emulsiones asfálticas.

C O N C E P T O	Prueba en Inciso	TIPO DE LA EMULSION	
		FRAGUADO RAPIDO	FRAGUADO LENTO
PRUEBAS EN LA EMULSION.			
Viscosidad.....	111-4	100 máximo	100 máximo
Residuo por destilación.	111-5	57 - 58%	56 - 60%
Asentamiento en 5 días..	111-4	3% máximo	3% máximo
Demulsibilidad: Con 35 cc. N/50 Ca Cl ₂ .. Con 50 cc. N/10 Ca Cl ₂ ..	111-15.	30% mínimo	1.0% mínimo
Retenido en la malla 20.	111-16	0.1% máximo	0.1% máximo
Miscibilidad con cemento	111-17		2.0% máximo
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE DESTILACION.			
Penetración del residuo.	111-16	100 - 200	100 - 200
Cenizas.....		0.5% máximo	0.5% máximo

2). MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Las mezclas asfálticas, son materiales pétreos y bituminosos debidamente mezclados, - que al compactarse y fraguar forman una parte de los pavimentos.

La capa de rodamiento o carpeta asfáltica es la capa formada por una mezcla bituminosa o de concreto de cemento gris, que se coloca encima de la base.

2.1). CONDICIONES DE LAS CARPETAS DE RODAMIENTO.

- a). Ser suficientes para soportar las cargas producidas por el tráfico.
- b). Tener cualidades para proteger contra el agua.
- c). Que no exista pérdida del material con el tráfico de los vehículos.
- d). Con textura superficial adecuada.
- e). Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la Sub-base y,
- f). Suficiente resistencia contra el intemperismo, lluvias, sol, vientos, heladas, calor, frío, etc.

Las mezclas asfálticas satisfacen ampliamente estas cualidades llevando enormes ventajas sobre los pavimentos de macadam y más aún sobre los pavimentos de concreto de cemento, lo cual ha sido demostrado por la experiencia.

A las mezclas asfálticas se les atribuye como defecto el que requieran para su ejecución equipo caro y complicado y organización de trabajo perfecta, para poder obtener - éxito económico.

2.2). MATERIALES QUE FORMAN LA MEZCLA.

Las mezclas asfálticas están constituidas por dos tipos de materiales: El Material Pétreo y el Material Bituminoso o Asfalto.

- a). MATERIAL PETREO.- Se obtiene de la trituración de piedra de banco, de grava de río o de piedra de pepena, o bien por medio de cribado de río o grava de mina. En la República contamos con amplitud de materiales pétreos, lo cual nos facilita su construcción.
- b). MATERIAL BITUMINOSO.- México cuenta con yacimientos de petróleo propios, lo cual -

nos provee de asfalto de buena calidad a costos bastantes bajos con relación a los que resultan en otros países. Petróleos Mexicanos tienen a disposición del mercado los siguientes productos:

b.1). ASFALTOS O CEMENTOS ASFALTICOS.- Este tipo de asfaltos a la temperatura ambiente se presenta en estado sólido, por lo que para poderlos mezclar y manejar es indispensable calentarlo con equipos especiales diseñados para ello, existiendo amplia variedad de marcas.

Petróleos Mexicanos produce cementos asfálticos cuya penetración varía de 10 a 200, dependiendo su penetración del pequeño porcentaje de aceites no volátiles con que se encuentran mezclados, mientras menor es su penetración es mayor la pureza del asfalto.

El asfalto puro suele tener de 0 a 1 de penetración y en estos casos además de calentador de asfaltos se necesita de una máquina rompedora para poderlos introducir en los tanques de calentamiento.

b.2). ASFALTOS REBAJADOS O FLUXADOS.- Estos son una mezcla de cementos asfálticos con otros productos los cuales hacen cambiar sus cualidades como sigue:

b.2.1). FRAGUADO RAPIDO.- El cemento asfáltico está mezclado con gasolina y varía del No. 1 al 4, el mayor número significa mayor porcentaje de cemento asfáltico y también mayor temperatura para el mezclado y manejo de las mezclas. Cuando se maneja este asfalto hay que tener toda clase de precauciones que tienden a evitar los incendios, ya que la gasolina produce vapores altamente inflamables y una chispa insignificante puede provocar un incendio.

b.2.2). FRAGUADO MEDIANO.- En esta mezcla se sustituye la gasolina por Kerosina y su numeración varía de 0 al 5, significando que a mayor número mayor por ciento de asfalto y mayor temperatura necesaria para su manejo.

b.2.3). FRAGUADO LENTO.- En lugar de gasolina o Kerosina contiene aceites de volatilidad lenta.

En terminos generales los asfaltos rebajados están formados por cementos asfálticos (Asfaltos y Aceites No Volátiles) y Flux. El -- Flux puede ser gasolina, Kerosina, o aceites poco volátiles que es necesario desaparezcan de la mezcla antes de ser tendida. El flux sirve de lubricante al material Pétreo e impide la labor aglutinante del asfalto, produciendo una mezcla que se deforma al paso del- tráfico (se dice que se arriñona).

2.3). EMULSIONES ASFALTICAS.

Se componen por mezclas de cemento asfáltico, agua y un agente emulsificador, lo --- cual permite el manejo de estos aceites a las temperaturas naturales sin necesidad - de calentarse, y las fabrican de fraguado rápido, medio y lento.

Su ventaja principal es la correspondiente a su baja temperatura de mezcla y de manejo y menor número de máquina.

Una de sus desventajas es su elevado costo tomando en consideración que se pagan fletes por el alto contenido de agua y es solamente un porcentaje el aprovechable como-cemento asfáltico.

Otras de sus desventajas es la poca duración de las mezclas elaboradas con emulsio-nes asfálticas.

2.4). PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS.

Las mezclas asfálticas quedan constituidas por los dos tipos de materiales descritos con anterioridad. Su teoría es muy semejante a la de los concretos de cemento gris, el cual está formado por grava, arena, cemento y agua. La función de la grava es de resistir los esfuerzos a que está sometida la estructura, la arena sirve para llenar los huecos que quedan en la grava y el cemento en combinación con el agua sirve de - aglutinante para ligar la grava con la arena y así también para llenar los huecos -- que existen entre la arena.

Para obtener una buena granulometría del material Pétreo, la experiencia ha permiti-do formular diferentes tabulaciones, cuadros y gráficas que nos muestran los límites entrestos cuales se pueden obtener resultados satisfactorios. La grava entre el ma-terial de 5/8" a 1/2" o bien entre 5/8" y 1, la arena que está comprendida entre los

5/8" y la malla del número 200 y además el polvo de relleno que está comprendido en partículas más pequeñas de la malla número 200, estos materiales tienen condiciones iguales que en los otros concretos, los materiales grandes resisten los esfuerzos y los pequeños deben llenar los huecos de los materiales más grandes, por lo cual su granulometría es una condición muy importante para la obtención de una buena mezcla para lo cual debe procurarse la mayor densidad posible.

2.5). CLASIFICACION DE LAS MEZCLAS.

a). SEGUN EL TAMAÑO DE LOS AGREGADOS.

Las mezclas asfálticas se dividen en mortero y en concretos asfálticos:

a.1). Los morteros están formados por arena cuyo tamaño máximo es de 1/4", por material de relleno que pase por la malla número 200 y por cemento asfáltico. Los morteros se acostumbran a usar para reparaciones de pavimentos viejos o bien para obtener un pavimento de muy alta calidad, cuando se usan dos o tres capas de mezcla asfáltica en cuyo caso la última capa se forma con este tipo de mortero para obtener la mayor densidad posible y consiguiente la menor posibilidad de penetración de agua a través del pavimento.

a.2). Los concretos son los más usuales aquí en México y están formados por gravas, arenas, material de relleno y cemento asfáltico.

b). SEGUN SU TEXTURA.

Las mezclas se dividen en mezclas cerradas y mezclas abiertas:

b.1). Las mezclas cerradas.- Son aquellas que tienen una alta densidad y por consiguiente un mínimo de vacíos. Esto se obtiene mediante buenas fórmulas de granulometría y principalmente en que los materiales de relleno estén suficientemente dosificados, estos materiales de relleno deben ser del tipo mineral totalmente, pues no debe admitirse materiales arcillosos o coloidales con contracciones lineales fuertes o plasticidades elevadas, lo cual en lugar de ser beneficioso para lograr una mezcla densa, empeora las condiciones, haciendo que las mezclas estén expuestas a fracturas por dilataciones y cambios de volumen que sufren este tipo de materiales-

inadecuados.

b.2). Las mezclas abiertas.- Son aquellas que no estan comprendidas en el grupo anterior y que por lo consiguiente tienen cierta tolerancia en sus vacios y por lo tanto no son absolutamente impermeables. Este tipo de mezcla ha dado éxito en muchos trabajos, pero no deja de estar expuesto a que a través de ella se filtre el agua de las lluvias con lo cual se oxidan los asfaltos y se provoca la destrucción de las mezclas, la forma en que esto se defiende es mediante un riego de sello que no permita el paso del agua, lo cual se acostumbra un riego de asfalto de fraguado rápido, con su correspondiente riego de arena 5/8" al mínimo 200.

c). SEGUN SU TENDIDO.

Las mezclas se dividen en mezclas calientes (concreto asfáltico) y mezclas en frío:

c.1). Por mezclas calientes se entiende aquellas mezclas que se deben tender en el camino precisamente cuando estan calientes y no cuando estan frías, es muy común confundir y le llaman mezclas calientes a aquellas que necesitan elevar la temperatura de los agregados y del asfalto para formar la mezcla, aunque el tendido pueda hacerse en frío, esto es erróneo. Con lo anterior se quiere decir que solamente pueden denominarse mezclas calientes aquellas en que las que se usan asfalto rebajado o bien cementos asfálticos puros y que es indispensable que su tendido se haga inmediatamente después de elaborada la mezcla, pues de lo contrario se endurecería y no sería posible manejarla posteriormente.

d). SEGUN SU PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.

Indiscutiblemente que la clasificación más importante de mezclas, es la que corresponde al tipo de procedimiento de construcción que se seleccione, esto es importante porque casi siempre éste queda fijado en nuestro medio por el tipo de máquinas que se encuentran en el momento del trabajo y por los factores que intervienen en la elección del procedimiento, en la experiencia de los técnicos que dirigen la obra y en ocasiones las condiciones de cada lugar.

Desde este punto de vista las mezclas se han clasificado en mezclas en el lugar y mezclas en planta.

- d.1). Se llaman mezclas en el lugar, aquellas que se elaboran precisamente en el lugar en que quedarán en forma definitiva.
- d.2). Las mezclas en planta son aquellas que como su nombre lo indica se elaboran en una planta fija y la mezcla es transportada en camiones para depositarse y tenderse posteriormente en los lugares en que se ha proyectado alojarlas.

I.1.3 TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES Y SU REPARACION

Es necesario un análisis concienzudo para seleccionar el método y los materiales -- adecuados para la reparación de los pavimentos asfálticos. Ambos factores deben -- ser considerados de acuerdo con las condiciones locales, aunque en principio los -- trabajos de mantenimiento de pavimentos asfálticos siguen una misma secuela. El -- primer paso para proceder a la reparación es determinar la causa de la falla, para -- poder atacar el problema desde la raíz, ya que de nada serviría por ejemplo, sólo -- poner una carpeta, si la causa de la falla es una base pobre o tiene problemas de -- drenaje, ya que la falla pronto volvería a aparecer.

Los defectos en los pavimentos asfálticos pueden ser el resultado de fallas estructurales por consolidación o corte desarrollado en la subrasante, sub-base, base o -- en la carpeta; o bien por un drenaje defectuoso que torna críticas las condiciones -- de trabajo del pavimento.

La simple inspección visual de un pavimento deteriorado no siempre es suficiente para determinar la causa de su falla, por lo que en muchas ocasiones al hacer sondeos y efectuar las pruebas de los materiales, de las capas del pavimento o de la sub-ra -- sante, se obtiene valiosa información que puede ser utilizada en el análisis.

Es recomendable también la utilización de la viga Benkelman para localizar las -- áreas de pavimento débiles, es decir, las que muestran una excesiva deflexión duran -- te la prueba. Las áreas con deflexión excesiva pueden ser estimadas comparándolas con la deflexión promedio de las áreas con buen comportamiento.

Los agujeros, depresiones o grietas, pueden ser el resultado de una inadecuada com-

pactación bajo el tráfico. Una ausencia completa de grieta en /y alrededor de las - depresiones es una evidencia de que las depresiones son el resultado de la compactación; en dichos casos la estructura básica no ha sido perjudicada, de hecho ha sido mejorada y la única reparación necesaria es un reencarpetado de renivelación. Cuando existen depresiones y grietas en las líneas de tráfico, estas pueden ser causadas por una deformación cortante (movimientos plásticos) en la base o la subrasante. --- Cuando los pavimentos presentan grietas formando espacios estrechos en una típica falla de piel de cocodrilo, es muy probable que la falla se debe a deformaciones cortantes en la capa de base (la más cercana a la superficie). Si estas grietas están más espaciadas, es muy probable que la falla se debe a deformaciones cortantes en la subrasante. Cuando se presentan deformaciones cortantes, el material fallado debe ser removido y reemplazado, aunque ocasionalmente, cuando las áreas son muy grandes, se podrá aumentar el espesor para prevenir sobre-esfuerzos.

Las grietas longitudinales o transversales, regularmente espaciadas y más o menos -- alineadas son usualmente el resultado de contracciones. En estos casos generalmente se requieren sondeos exploratorios para determinar la naturaleza y la magnitud de la reparación requerida.

En términos generales, a continuación se mencionan las fallas más comunes en los pavimentos flexibles, su causa probable y el mantenimiento o reparación que es recomendable a cada paso.

- a). Agrietamiento.
- b). Distorsión.
- c). Desintegración o desprendimiento.
- d). Superficie lisa.

Son muy numerosas las diferentes causas que pueden originar estos tipos de falla, pudiendo deberse a deficiencias en el diseño (presencia de condiciones no previstas en el diseño como drenaje, tránsito, clima, etc.) defectos en la construcción, control de calidad inadecuado, o mala calidad de los materiales.

- a). AGRIETAMIENTO.

El agrietamiento puede deberse a defectos en la composición de la carpeta asfálti

ca como podría ser el endurecimiento del asfalto, temperaturas bajas y baja ductilidad del residuo. También se puede deber a que las cargas aplicadas por --- tránsito y sus repeticiones sean superiores a las contempladas en el diseño, lo que obviamente produce la fatiga de los materiales. Pudiera ser que el mismo - diseño no sea adecuado para manipular la información existente y los pavimentos diseñados en tal forma quedarán desde su nacimiento condenados a sufrir este ti po de falla.

El agrietamiento también puede ocurrir por deformaciones elásticas en sue los resistentes que constituyen las capas del pavimento o por deformaciones plásticas en las capas inferiores a la carpeta, o aun fallas por falta de capacidad de -- carga en alguna o algunas de las capas que constituyen el pavimento.

La forma de reparar este tipo de fallas ha sido perfectamente estandarizada y - varía desde el simple sellado de las fisuras hasta el bacheo en caja en zonas -- muy dañadas y la posterior construcción de una sobrecarpeta en las zonas menos- dañadas de un pavimento muy agrietado.

A continuación se describen en forma muy somera, los tipos de agrietamientos más comunes en los pavimentos asfálticos y las recomendaciones sugeridas para su re paración.

a.1). AGRIETAMIENTOS TIPO PIEL DE COCODRILLO.

Este tipo de falla se puede presentar en forma de grietas interconectadas dando la apariencia de una piel de cocodrilo. El espaciamiento de las -- grietas es de 5 a 25 cm. Dicha falla es causada por reflexiones excesivas de la carpeta, colocada sobre una subrasante, sub-base y/o base inestables o resilientes. Este tipo de falla obliga a una atención inmediata ya que es una falla progresiva que termina con la disgregación de la carpeta.

En general los trabajos correctivos para esta falla podrán consistir en - reparaciones permanentes o en reparaciones temporales de emergencia.

- Las reparaciones Permanentes consistirán en remover la carpeta y lo que sea necesario de la base, sub-base, y subrasante de tal manera de obtener un soporte firme. Se efectúan los cortes rectangulares o cuadrados de --

tal manera que dos de sus lados sean perpendiculares a la dirección del tráfico. Las paredes de la excavación deberán ser verticales. La amplitud de la excavación deberá incluir toda el área agrietada y al menos --- unos 30 cm del pavimento en buenas condiciones. Debe instalarse sub-drenaje si la causa de la falla fué el agua. El siguiente paso consiste en aplicar un riego de impregnación a las paredes verticales; se rellena la excavación con mezcla asfáltica y se compacta adecuadamente utilizando rodillo metálico si el área es grande, o placa vibratoria si el área es pequeña. La compactación se debe efectuar en capas si la profundidad de la excavación es mayor de 15 cm (ver Fig. I-14) se debe asegurar que la superficie del parche coincide con la superficie del pavimento adyacente.

- Las reparaciones temporales de emergencia podrán consistir en la aplicación de un mortero asfáltico (Slurry Seal) que se utiliza cuando en el -- área afectada no existen hundimientos.

a.2). AGRIETAMIENTOS TIPO MAPA.

Este tipo de fallas se presenta en gran escala en forma de grietas interconectadas que forman polígonos que varían en tamaño desde unos 30 cm hasta más de un metro. La causa de falla es similar a la del agrietamiento tipo piel de cocodrilo, pero la capa problema está mucho más profunda, -- probablemente en la subrasante.

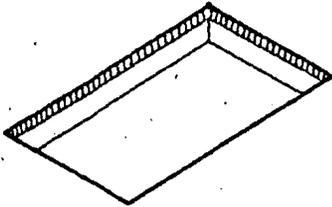
Los trabajos correctivos serán similares a los indicados con anterioridad para los agrietamientos tipo piel de cocodrilo.

q.3). AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL.

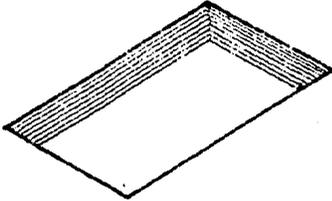
Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura -- (en el orden de 0.5 cm) en toda el área que corresponde a la circulación de las cargas más pesadas. Las causas de estas fallas son debidas a movimientos de las capas del pavimento que tienen lugar predominantemente en -- dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base o, con cierta frecuencia; en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación -- del contenido de agua sobre todo en la subrasante.

FIG. I.14

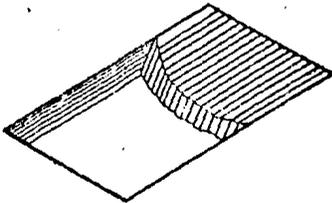
REPARACION DE AGRIETAMIENTOS TIPO PIEL DE COCODRILLO



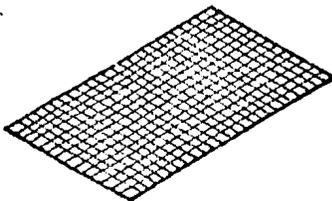
- 1.- Remueva la carpeta y la base, hasta la profundidad necesaria para obtener soporte firme. Haga cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales.



- 2.- Aplique un riego de impregnación a los paredes.



- 3.- Rellene con mezcla asfáltica.



- 4.- Compacte adecuadamente con rodillo o con placa vibratoria.

Los trabajos correctivos consistirán en corregir el drenaje, si está defectuoso; limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellar las grietas.

a.4). AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL.

Este tipo de grietas pueden ser debidas a asentamientos aislados de la subrasante, base o sub-base como es el caso de los pavimentos que son -- cruzados por tuberías o ductos. También pueden ser debidas a movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación; en este último caso quedan incluidas entre otras, las grietas por secado de suelo arcillosos, las grietas originadas por movimientos telúricos y las grietas ocasionadas por fallas geológicas activas. Los trabajos correctivos consistirán en limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas. Cuando además existan asentamientos, la superficie afectada se pica, se limpia, se le aplica un riego de liga, se coloca la mezcla asfáltica y se compacta con rodillo o placa vibratoria.

El aspecto del agrietamiento en carpetas asfálticas ha sido profundamente estudiado proponiéndose lo siguiente para evitarlo.

- Cuidar el contenido de finos en los materiales.
- Utilizar asfaltos blandos, poco susceptibles al envejecimiento y a cambios de temperatura.
- Conténidos adecuados de asfalto.
- Capas subyacentes estables con altos valores de soporte y resistencia al desgaste.
- Diseñar en forma especial para climas severos.
- Diseñar para probables incrementos en el tránsito.
- Realizar la construcción en épocas adecuadas y con personal experimentado.
- Cuidar el fraguado en asfaltos rebajados, la aplicación de calor en cementos asfálticos y el rompimiento en las emulsiones.
- Un buen centro de calidad representativo y efectivo.

Se han hecho numerosos esfuerzos para evitar el reflejo de las grietas en las sobrecarpetas, tales como el empleo de acero de refuerzo que no ha dado muy buenos resultados, llegándose casi siempre a la recomendación de carpetas asfálticas de gran espesor, solución que se antoja muy cara sobre todo si no se requiere refuerzo estructural.

b). DISTORSIONES.

Las distorsiones generalmente se deben a cargas y repeticiones no previstas en el diseño, contenidos elevados de asfalto y/o solventes, mala calidad de las capas que subyacen a la carpeta debido a problemas de compactación, exceso de finos, plasticidad de los suelos etc., también se puede deber este problema a defectos de construcción como podría ser una nivelación inadecuada, construcción en épocas lluviosas, personal inexperto, limpieza inadecuada entre las capas sucesivas y deficiencia en el control. El tránsito también puede ocasionar este daño debido a fugas de combustible o por el frenado y arranque. Los asfaltos suaves, agregados redondeados y el diseño inadecuado de la mezcla también pueden colaborar a este tipo de daños.

Para la reparación de este tipo de fallas es común renivelar y colocar sobrecarpetas, llegándose algunas veces a la remoción de la carpeta inestable y su posterior reposición. Estas practicas sin embargo pueden resultar inadecuadas si la falla es del tipo estructural y no se toman providencias para eliminar el origen de la falla (tránsito, drenaje recompactación y consolidación).

A continuación se describe en forma somera uno de los tipos de fallas de este tipo más común en los pavimentos asfálticos y las recomendaciones sugeridas para su reparación.

b.1). HUNDIMIENTOS O DEPRESIONES.

Esta falla se presenta en áreas bajas, de dimensiones limitadas y pueden o no estar acompañadas de grietas. En épocas de lluvia se acumula el agua en estas depresiones formando charcos. Por otra parte, el agua así acumulada acelera el proceso de deterioro del pavimento.

Los hundimientos o depresiones pueden ser provocados por la operación de cargas superiores a las correspondientes de diseño del pavimento, también

pueden ser debidos a una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento o bién a asentamiento del terreno de cimentación.

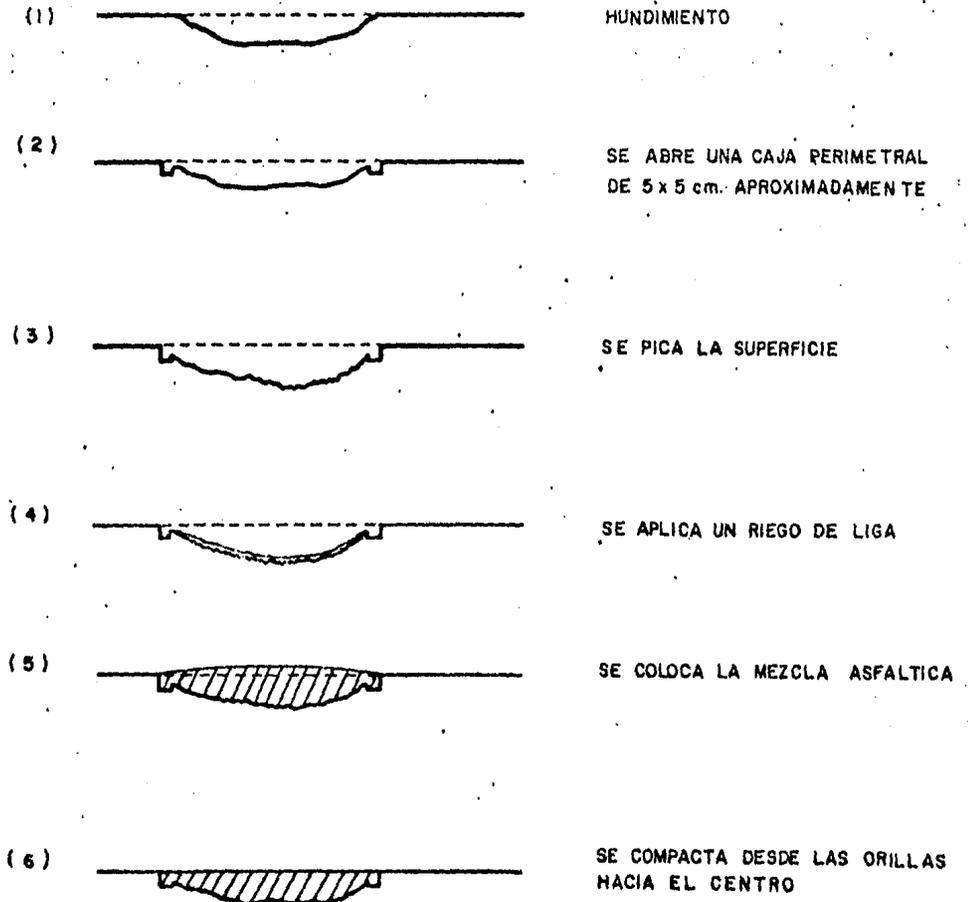
Los trabajos correctivos consistirán en lo siguiente:

- Cuando existen hundimientos debidos a la compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, se define el área por renivelar, se abre una caja perimetral de aproximadamente 5 cm de ancho y 5 cm de espesor con objeto de evitar espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como para evitar que la mezcla se corra; se pica la superficie por renivelar y se limpia, se aplica un riego de liga de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Generales de Construcción, se coloca la mezcla asfáltica y se compacta desde las orillas hacia el centro (vease fig. I-15). Se recomienda dar un tratamiento superficial por medio de un mortero asfáltico (Slurry Seal) para proporcionar mayor impermeabilidad al pavimento.
- Cuando existen asentamientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, éstas deben ser reparadas previamente, lo que requerirá la completa remoción del pavimento.
- Cuando existen hundimientos acompañados de grietas, es necesario efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla. En general las renivelaciones no son aplicables a estos casos.

Se ha recomendado tomar las siguientes providencias para evitar este tipo de daños.

- Usar agregados limpios y triturados en las capas superiores.
- Emplear asfaltos duros en la carpeta.
- Capas subyacentes estables y de buena calidad.
- Tomar en cuenta en el diseño, las altas temperaturas que puede alcanzar la carpeta, así como el probable incremento en el tránsito o bién la circulación eventual de cargas muy pesadas.
- Construir en épocas adecuadas, empleando personal eficiente y experimentado, que cuide mucho de la compactación, nivelación, contenidos de agua, etc.

FIG. I.15 RENIVELACION DE HUNDIMIENTOS



- Buen control de construcción.

c). DESPRENDIMIENTOS O DESINTEGRACIONES.

Este tipo de falla también común, aunque no tan molesto para el usuario como el caso de las deformaciones, se debe también a un gran número de causas entre las que se podrían citar.

- Construcción y control inapropiados.
- Contenidos deficientes de asfalto.
- Humedad excesiva de las capas subyacentes.
- Carpeta muy delgada.
- Tránsito muy pesado o permitir su circulación durante el sellado en periodos-inadecuados.
- Falta de sello o su aplicación tardía.
- Asfaltos muy duros.
- Agregados inapropiados.
- Presencia de agua en la mezcla.
- Factores climáticos.
- Mal diseño de la mezcla.

Las reparaciones de este tipo de daño pueden variar desde el bacheo y construcción de carpetas hasta la simple aplicación de riegos de sello, con o sin agregados, dependiendo de la magnitud del daño.

A continuación se analizan algunas fallas de este tipo, presentadas con frecuencia en los pavimentos asfálticos y las recomendaciones sugeridas para su reparación como son:

c.1). EROSION DEL PAVIMENTO.

La erosión se manifiesta por el desprendimiento del material pétreo más superficial. Es determinante, para el desarrollo de esta falla, las condiciones de adherencia existente entre el material pétreo y el asfalto.

La elaboración defectuosa del concreto asfáltico durante la construcción del pavimento, la utilización de agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, y efectos circunstanciales, como derrame de combustible y lubricantes, son las principales causas de una pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

Cuando la erosión se encuentra en etapa inicial, los trabajos correctivos podrán consistir en un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal). Como mantenimiento preventivo puede aplicarse sobre la superficie del concreto asfáltico algún producto que forme una película protectora contra la acción de los combustibles y lubricantes. Generalmente estos productos son de patente y son elaborados a base de breas de hulla o de alquitrán a base de resinas sintéticas.

Cuando la erosión se presenta en una etapa muy avanzada, el tratamiento correctivo será similar al de un bache (Ver Cap. II. inciso II.2).

c.2). DISGREGACION O DESMORONAMIENTO.

Esta es una falla de desintegración progresiva, consistente en la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta. Las causas que pueden originar esta falla son: insuficiente compactación durante la construcción, colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío, utilización de agregados sucios o desintegrables, falta de asfalto en la mezcla y/o sobre calentamiento de la mezcla asfáltica.

Cuando la falla se encuentra en sus inicios, podrá efectuarse un mantenimiento preventivo consistente en un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal). Si la falla se encuentra muy avanzada, y la superficie es muy extensa podrá llegarse a requerir un reencarpetado.

c.3). AGUJEROS.

Los agujeros son fallas de desintegración altamente localizadas que presentan la configuración de una cazoleta de dimensión variable. La causa de la falla es la poca resistencia de la carpeta en la zona, resultante de una falta de asfalto en la mezcla, de una falta de espesor de la capa superficial de la carpeta, de un exceso o de una carencia de finos en la mezcla y/o de un drenaje deficiente.

Una reparación temporal consistirá en limpiar el agujero y rellenarlo -- con mezcla asfáltica compactando debidamente. Sin embargo para efectuar, la reparación permanente de un agujero, será necesario efectuar cortes -- de tal manera de formar un rectángulo con sus paredes sensiblemente verticales, impregnar las paredes, y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica compactando debidamente.

El parche terminado deberá tener al mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

d). SUPERFICIES LISAS.

La superficie resbalosa es uno de los problemas más serios en pavimentos en -- lo que concierne a la pérdida de vidas e inmuebles en carreteras, debido a -- accidentes. Este daño puede deberse en la carpeta a:

- Pulimiento de los agregados.
- Llorado de asfalto.
- Desprendimiento de los agregados.
- Mal drenaje superficial.

Resulta un tanto obvia la manera de evitar este tipo de fallas, pues la solución está simplemente en: Realizar un diseño correcto, cuidar el proceso de -- construcción y emplear agregados duros y afines al asfalto.

La reparación que generalmente se recomienda consiste en:

- Aplicar arena caliente en pavimentos "Llorados".
- Ranurar la carpeta.
- Construir una sobrecarpeta empleando agregados duros y con suficiente asfalto para que no se presente su oxidación, ni se desprenda el agregado, pero en tal cantidad que no sea susceptible de sufrir el efecto conocido como -- llorado.

Como ejemplo de este tipo de falla tenemos el sangrado o afloramiento de as--

falto y la oxidación de asfalto.

d.1). SANGRADO O AFLORAMIENTO DE ASFALTO.

El sangrado o afloramiento de asfalto, que generalmente ocurre durante épocas de calor, consiste en la aparición del asfalto sobre la superficie del pavimento, formando una película extremadamente lisa, la cual bajo condiciones de lluvia presenta problemas al reducirse el coeficiente de fricción.

Las causas de esta falla pueden ser: un exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, una inadecuada construcción del sello, un riego de liga o de impregnación excesivos, o bien solventes que acarrear el asfalto a la superficie. También el paso de las cargas del tráfico pesado pueden ocasionar compresiones en un pavimento con exceso de asfalto, forzándolo a que aflore a la superficie.

El procedimiento para corregir este tipo de fallas será el de remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y efectuar tratamiento superficial. Dicho tratamiento debe aplicarse con mortero asfáltico (Slurry-Seal) (ver Cap. II inciso II.3).

d.2). OXIDACION DEL ASFALTO.

Esta falla presenta características de un excesivo intemperismo del asfalto, ya sea por agentes meteorológicos y temperaturas. La oxidación del asfalto ocasiona una falta de adherencia del producto asfáltico. Normalmente esta falla se puede corregir mediante un tratamiento superficial del área afectada a fin de proteger la estructura del concreto-asfáltico en la zona interesada. Si la humedad proviene de las capas inferiores del pavimento, es necesario corregir previamente el sub-drenaje.

Otra alternativa para corregir esta falla, es utilizando un producto patentado llamado "Reclamite", para devolver al asfalto sus propiedades originales. El procedimiento consiste en regar la superficie oxidada con el producto mencionado.

Cabe finalmente indicar que en esta breve introducción solamente se mencionan algunas ideas en forma muy somera sobre cada tipo de falla y que cada tipo de daño necesita ser concienzudamente analizado para poder -- aplicar las correcciones adecuadas.

R E S U M E N

TIPOS DE FALLAS, MAS COMUNES Y SU REPARACIÓN

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Erosión del Pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> - El paso de los rúedas de los vehículos a gran velocidad; y/o - Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por: <ul style="list-style-type: none"> - elaboración defectuosa del concreto asfáltico; - agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto. - efectos circunstanciales (p. ej. derrame de combustibles y lubricantes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello. - Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache. - Cuando se presenten derrames de combustibles, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo).
Disgregación o desmoronamiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente compactación durante la construcción. - Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío. - Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto. - Falta de asfalto en la mezcla; y/o - Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. - Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar.
Baches	<ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: <ul style="list-style-type: none"> - Falta de asfalto en la mezcla - Falta de espesor de carpeta - Exceso o carencia de finos en la mezcla, y/o drenaje deficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación temporal: Limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. - Reparación permanente; Efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar.
Sangrado o Afloramiento de Asfalto..	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. - Construcción inadecuada del sello - Riego de liga o de impregnación excesivos. - Solventes que acarrear el asfalto a la superficie; El paso de cargas del tráfico pesado acelera el sangrado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (Mortero asfáltico).
Oxidación del Asfalto	<ul style="list-style-type: none"> - Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico. - O aplicar un producto rejuvenecedor (Reclmito).
Corrimientos de la Carpeta.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a: <ul style="list-style-type: none"> - impurezas situadas entre las capas (pólvos, aceite, agua). - Falta de riego de liga durante la construcción del pavimento - Exceso del contenido de arena en la mezcla. - Inadecuada compactación durante la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm. de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales. - Limpiar con cepillo y aire a presión - Aplicar riego de liga ligero. - Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidado para evitar segregación. - Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico.

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Corrimientos Circulares.	<ul style="list-style-type: none"> - Giros de los vehiculos muy cerrados - Poca capacidad del pavimento, para resistir esfuerzos de tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sellar la grieta si no es muy profunda. - Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento.
Corrugaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas del tráfico y - Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: <ul style="list-style-type: none"> - exceso de asfalto en la mezcla. - exceso de agregados finos. - agregados pétreos demasiado redondeados o lisos - cemento asfáltico demasiado blando. - humedad excesiva - contaminación por derrame de aceites. - falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados). 	<ul style="list-style-type: none"> - Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico. - Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado. - Si hay subdrenaje defectuoso, este debe ser corregido previamente.
Hundimientos o Depresiones	<ul style="list-style-type: none"> - Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. - Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. - Asentamientos del terreno de cimentación. - Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una renivelación. - Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. - Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.
Canalizaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidación o movimiento lateral de uno o varias de las capas del subyacentes provocada (a) por el tráfico - Carpetas nuevas mal compactadas - Baja estabilidad del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Renivelar las depresiones y - Colocar una sobrecarpeta.
Grietas longitudinales.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de soporte lateral o - Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> - Drenaje defectuoso - Acción de las heladas. - Contracción por secado del suelo de cimentación - Vegetación cercana a la orilla del pavimento, Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir el drenaje si esta defectuoso. - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria
Grietas Transversales	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase (pej cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos). - Movimientos mas generales y mas amplios del suelo de cimentación (pej grietas por secado de suelos arcillosos, grietas por movimientos térmicos, grietas por fallas geológicas activas). 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión, sellar. - Si existen asentamientos, picar la superficie afectada, limpiar, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. - Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de material, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactar adecuadamente. - Si la falla se debe a movimientos generales del suelo, se pueden reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero.

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Grietas de Contracción	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. - Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. - La falta de tráfico apresura la falla. - Diferentes colores de la superficie del pavimento (p.e) marcas de pintura que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. - Si existe pintura, raspar previamente.
Grietas de Reflexión	<ul style="list-style-type: none"> - Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta. - Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones. - El paso del tráfico. - Movimientos de tierra. - Pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcillas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rellenar las grietas.
Agrietamientos tipo piel de cocodrilo. Agrietamientos tipo mapa.	<ul style="list-style-type: none"> - Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, sub-base y/o base inestables o resilientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales. - Instalar sub-drenaje si la causa de la falla fue el agua. - Aplicar un riego de impregnación a las paredes. - Rellenar con mezcla asfáltica. - Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene mas de 15 cm. de profundidad). - Reparación temporal de emergencia: aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos, rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica.

I.2.- EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS Y CRITERIOS PARA SU REHABILITACION.

En muchos países se presenta con frecuencia la necesidad de evaluar el estado de un pavimento construido anteriormente a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación.

Con anterioridad a la ejecución del tramo de Prueba AASHO, se presentaba poca atención de un pavimento; simplemente el pavimento era bueno o requería una reparación.

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento, es un aspecto que en la actualidad interesa sobre manera a los ingenieros y personal encargado de su diseño y conservación, incluyendo en forma especial, a los usuarios; conciente o inconcientemente, el usuario califica las condiciones en que se encuentra un pavimento cada vez que conduce un automóvil.

Son varias las razones que motivan al estudiar y conocer las condiciones en que se encuentra un pavimento, pudiendo señalarse entre otras, las siguientes:

1. Al ingeniero que ha realizado el proyecto de un pavimento, le ayuda a determinar el grado de éxito alcanzado por su proyecto, al cumplir con los criterios de diseño y, en su caso, le ayuda a comprender las causas de su fracaso.
2. Sirve para efectuar la planeación de un programa óptimo de mantenimiento y establecer la necesidad de realizar trabajos de conservación más importantes, reconstrucción, y de reubicación del camino.
3. Permite realizar un pronóstico de la vida útil del pavimento.
4. Ayuda a determinar la capacidad del pavimento para soportar un volumen de tránsito, permitiendo así mismo, efectuar la actualización del pavimento, acorde con las futuras necesidades de tránsito.
5. Sirve para determinar el refuerzo que un pavimento deteriorado requiere para funcionar adecuadamente.
6. Constituye una buena base para el establecimiento de nuevos conceptos, importantes en el diseño de pavimentos.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento puede clasificarse en dos grupos:

1. Estudios del comportamiento funcional, desde el punto de vista de su operación y servicio.
2. Evaluación mecanicista, desde el punto de vista de su capacidad estructural.

Los primeros proporcionan un juicio para valorar el grado en que un pavimento es adecuado para su transibilidad. Los segundos permiten efectuar la evaluación estructural del pavimento, proporcionando la información suficiente para poder diseñar el refuerzo que en su caso llegará a requerir.

I.2.1.- EVALUACION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Se lleva a cabo mediante un estudio de evaluación de las condiciones superficiales que guarda un pavimento, estableciendo una apreciación de su capacidad para prestar servicio desde el punto de vista de su transibilidad. La evaluación de esta cualidad es un problema complejo en el que intervienen otros sistemas interrelacionados entre sí: el usuario, el vehículo y la rugosidad del pavimento, entendiéndose por este último, como las irregularidades en la superficie de un pavimento que influyen en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

1. La apreciación subjetiva de la transibilidad del pavimento, efectuada mientras se conduce un vehículo a una velocidad normal.
2. La medición de la rugosidad del pavimento.
3. Valoración de los deterioros superficiales, mostrando la ubicación y extensión de los aspectos observados.

Los ingenieros de la prueba AASHO, desarrollaron un método para la apreciación del estado superficial del pavimento, basado en el concepto de Servicio Actual, de acuerdo con el cual, para un tramo específico de pavimento, el Servicio Actual es la capacidad que tiene, según la opinión del usuario, para proporcionar un tránsito suave y cómodo en condiciones normales de operación.

El método requiere que un grupo de cinco personas, como mínimo, efectúe un recorrido por el pavimento, previamente dividido en secciones. Basándose exclusivamente en las condiciones superficiales del pavimento y en el hecho de que éste deberá -- prestar servicio a un volumen de tránsito mezclado bajo cualquier condición de --- tiempo, las personas que integran el grupo, deberán emitir una calificación del pavimento, variable entre cero para muy malo y cinco para muy bueno.

Las bases en que se apoya este método son las siguientes:

1. Las carreteras se construyen para conveniencia y comodidad del usuario.
2. La opinión del usuario en torno a la forma en que le da servicio una carretera, es enteramente subjetiva.
3. Las características que pueden medirse en una carretera, analizadas y manejadas convenientemente, pueden relacionarse con la opinión subjetiva del usuario.
4. El servicio dado por una carretera puede expresarse por el promedio de la evaluación efectuado por los usuarios de la misma.
5. El comportamiento de un pavimento puede establecerse a partir de las observaciones periódicas del servicio desde el momento de su construcción hasta el momento que se desee.

De los resultados de la prueba AASHO se obtuvo que la rugosidad de un pavimento o su perfil, se encuentran estrechamente relacionados con la apreciación de su servicio y que el comportamiento del pavimento evaluado en esta forma, se encuentra correlacionado con ciertos factores de diseño.

Para la medición de la rugosidad o bien, de las deformaciones de la superficie del pavimento se han diseñado dispositivos que permiten la evaluación superficial en forma rápida y mecánica. Los valores obtenidos en esta forma han sido correlacionados con las calificaciones obtenidas en la forma antes descrita, obteniéndose un valor numérico llamado Índice de Servicio Actual.

Entre estos dispositivos se pueden señalar los Rugómetros desarrollados por la Oficina de Carreteras Públicas, y Departamento de Carreteras de California, el Perfilómetro CHLDE, desarrollado en la prueba AASHO y el Perfilógrafo del Departamento-

de Carreteras de California. El primero determina un índice de rugosidad, en pulgadas por milla, con el segundo se obtiene una medida del perfil del pavimento, expresada en términos del cambio del ángulo de dos líneas de referencia y el último proporciona un índice de perfil, expresado en pulgadas por milla.

El perfilógrafo transversal es otro dispositivo que permite obtener información sobre las deformaciones del pavimento en una sección transversal.

Se llevan a cabo investigaciones del verdadero perfil del pavimento, en correlación con estudios de la sensibilidad del usuario para obtener ecuaciones de índice de -- servicios.

1.2.2.- EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS.

1. EVALUACION MECANICISTA.

1.1. EXAMEN DE LAS CONDICIONES QUE EXHIBE UN PAVIMENTO.

Este aspecto es tan antiguo como la utilización misma de los caminos y constituyen en sí la primera forma de investigación que permitió la acumulación de la experiencia, a través de la observación del comportamiento del pavimento bajo diferentes situaciones. El examen y análisis de las condiciones que exhibe un pavimento proporciona la información necesaria para valorar el papel que desempeña cada elemento que lo constituye, en el comportamiento integral del pavimento, constituyendo una de las herramientas básicas en el conocimiento de la ingeniería de los pavimentos.

Los pavimentos fracasan a menudo debido a una combinación de varias razones, en ocasiones, difíciles de determinar, siendo por lo tanto necesario que las inspecciones del estado del pavimento se realicen por personal experimentado, para conocer la causa o causas del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de falla en los pavimentos.

Las inspecciones se realizan con mayor detalle que el requerido para la calificación de un tramo, e incluyen un registro de la ubicación, magnitud y tipo de los deterioros observados, así como tipo y condiciones de los trabajos de mantenimiento.

Para el efecto, existen varias formas usadas para reportar la información recabada en el campo, incluyendo en la actualidad el empleo de tarjetas perforadas, en las que pueden anotarse los datos de construcción.

1.2. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Es muy deseable efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes de un pavimento, sin alterarlos, o destruirlos. De esta manera, las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas interiores.

Generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento a la aplicación de una fuerza o energía externa, y puesto que no se altera la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Se clasifican las pruebas de este tipo en tres categorías principales.

- a). Mediciones de respuesta bajo cargas estáticas o móviles, aplicadas a baja velocidad.
- b). Mediciones de respuesta a la aplicación de cargas repetidas.
- c). Mediciones de respuestas de una masa a una fuente de energía nuclear.

La respuesta a la aplicación de una carga sencilla es obtenida midiendo la deflexión producida en la superficie del pavimento.

El dispositivo generalmente usado es la Viga Benkelman, medidor portátil desarrollado en el tramo de Prueba AASHO, que determina deflexiones de milésimas de pulgadas.

La Viga Benkelman se muestra esquemáticamente en la fig. I-16-un brazo D fijo se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos (un punto A y dos puntos B).

Un brazo móvil D_1 está acoplado al brazo fijo por una articulación rotatoria en el punto que se señala. Cuando las llantas de un camión cargado se colocan de manera que el punto C del brazo móvil quede centrado entre ellas (note se que no es esa la posición que se muestra en el esquema), dicho punto baja-

rá una cierta cantidad por la deformación provocada en el pavimento por el peso de las llantas.

Por tal causa el brazo D_1 girará en torno a la articulación con respecto al -- brazo 'D', previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la Viga son tales que la posición del brazo D no es afectada por la deformación causada por las llantas) y de esta manera el extensómetro que se señala hará una lectura. Si se retiran ahora las llantas cargadas, el punto C se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismos anterior el extensómetro hará otra lectura.

Con las dos lecturas del extensómetro es posible saber cuanto se movió el punto E en la operación y, con la geometría de la Viga, se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica de C al quitar las llantas, tal como se ilustra en el croquis operativo que aparece en la misma fig. I.16. Notese que en realidad se ha medido la recuperación de C al mover la carga y no la deformación al colocar ésta.

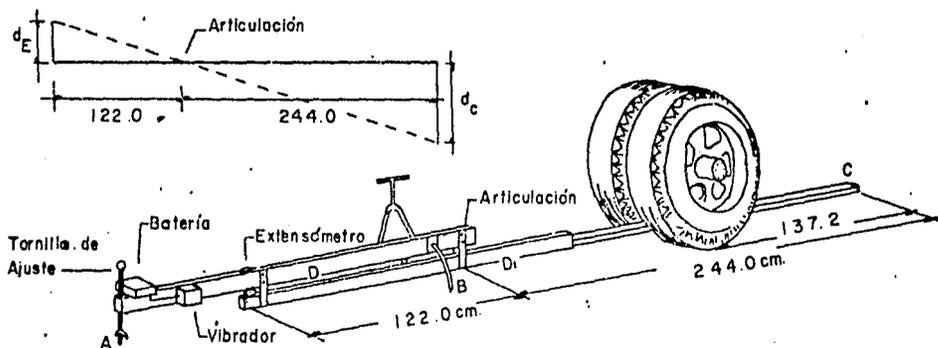


FIG.I.16. Esquema del deflectómetro Benkelman.

Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las de flexiones de la superficie de un pavimento flexible exceden de un cierto valor,

ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro.

La comparación de las deflexiones medidas con un valor de deflexión crítica proporciona un medio de programar el mantenimiento de los pavimentos flexibles. Por otra parte los estudios realizados en el tramo de prueba AASHO indicaron que en el caso de pavimentos flexibles existe una relación entre las deflexiones producidas y su comportamiento, por lo que este método puede utilizarse como un medio de evaluar el comportamiento de un pavimento. Puede señalarse que la Viga Benkelman es un instrumento sencillo de operar, pero existen variables como la temperatura del pavimento y el radio de curvatura de la deflexión producida, que requieren ser tomadas muy en cuenta en la interpretación de los resultados.

Instalando dispositivos especiales dentro de la estructura del pavimento ha sido posible medir las deflexiones producidas al paso de cargas repetidas en movimiento. Los citados dispositivos deben instalarse permanentemente en el pavimento, no estando aún aclarada la influencia, en los resultados obtenidos de un dispositivo que es diferente al medio que lo rodea.

En el tramo de prueba AASHO se realizaron mediciones de vibraciones producidas a pavimentos flexibles, al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternante y midiendo posteriormente las deflexiones y la velocidad de propagación de las ondas. Las primeras proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la segunda puede proporcionar idea de la rigidez de las varias capas que lo integran. El cuerpo de Ingenieros de E.U.A., ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo un pavimento, siguiendo el método desarrollado por la compañía Soell de Holanda. A partir del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

En Texas se realizó un estudio utilizando un sistema de cargas dinámicas y midiendo las deflexiones en la superficie mediante geofonos aplicados a la misma. Estas deflexiones fueron comparadas con las correspondientes a la Viga Benkelman, obteniéndose como resultado, la indicación de que puede establecerse una correlación entre ambos métodos. El equipo empleado es de tipo móvil y

el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas es bastante corto, lo que constituyen factores favorables para su aplicación. Este equipo conocido comercialmente como Dynaflect, que la SAHOP está empleando para estudio de evaluación de pavimento.

El Dynaflect es un sistema electromecánico que mide la deflexión dinámica de la superficie del pavimento cuando se le aplica una carga oscilatoria (senoidal). El aparato medidor, cuyas complicaciones de detalle exceden el dominio de esta obra, viaja en un remolque arrastrado por un vehículo en el que se disponen los controles de la medición. El medidor trabaja a base de un generador de fuerzas dinámicas ejercidas sobre el pavimento (impactos), cuyos efectos se recogen en un sistema de sismógrafos alineados (geófonos). Una ventaja importante del aparato es no requerir ningún punto de referencia fijo en la superficie en que se realizan las mediciones y otra es la operación automática, libre de errores de operación y susceptibles de ser realizada a una velocidad relativamente alta .

La fig. I.17, muestra un conjunto de curvas de deflexiones proporcionado por el Dynaflect. Cada curva se refiere a las lecturas de los cinco geófonos que tiene el aparato al aplicar la carga de impacto en un punto; los geófonos dan lecturas más bajas según van estando más alejados del impacto. Generalmente se utiliza la lectura del primer geófono como valor del cálculo, pero al dibujar las lecturas de los cinco se obtienen más gráficas cuya inclinación, quiebres y cambios de pendiente pueden dar a un intérprete experimentado una imagen cualitativa muy clara del estado en que se encuentra el pavimento, en el espesor de influencia del proceso dinámico; desde este punto de vista el Dynaflect realiza una especie de estudio geofísico del espesor influido.

En la época actual se han empleado pruebas nucleares para medir la densidad y humedad en los materiales de pavimentación y se ha extendido su uso a la determinación del contenido de asfalto y densidad de mezcla. En Wisconsin se han iniciado experimentos para adaptar el uso de estos dispositivos a la evaluación de los pavimentos, midiendo por ejemplo las variaciones de la densidad en el transcurso del tiempo.

Los métodos descritos proporcionan buena información sobre la capacidad estructural de los pavimentos y del suelo de cimentación, sin embargo ninguno de ---

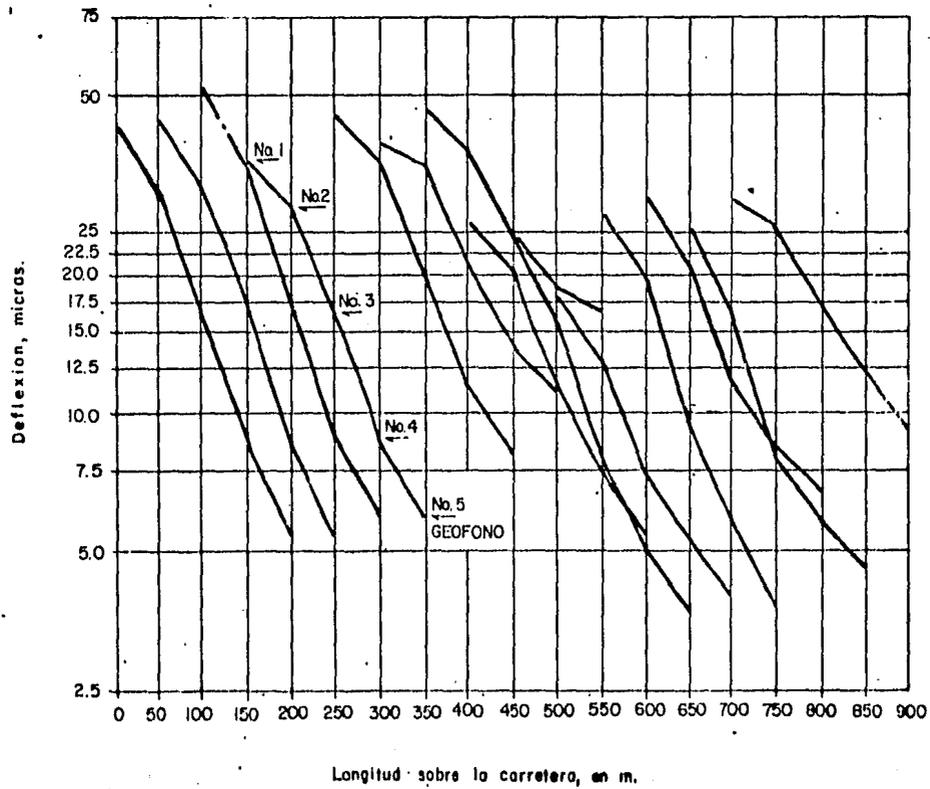


FIG. I-17 CURVAS DE DEFLEXION MEDIDAS CON DYNAFLECT

ellos puede considerarse que proporciona una evaluación precisa de la resistencia de las capas inferiores. Existe actualmente la tendencia a emplear métodos electrónicos y nucleares, que permitan obtener mayor precisión en la determinación de la capacidad estructural de los elementos que constituyen al pavimento.

1.3. PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar dónde y porque ocurrió una falla. En tales situaciones se requiere excavar una cala o una trinchera en el pavimento, destruyendo su estructura.

Las técnicas empleadas dependen del tipo de información requerida, llegando a ser necesaria la obtención de muestras inalteradas de las diferentes capas.

La observación de las paredes del corte pueden aclarar el mecanismo de falla y las pruebas ejecutadas en las muestras obtenidas proporcionarán información sobre la capacidad estructural del pavimento.

Adicionalmente se requiere evaluar todas las variables que afectan el comportamiento del pavimento, antes de establecer una conclusión.

Actualmente se llevan a cabo estudios de evaluación tanto del tipo de comportamiento funcional, como mecanicista. Los métodos de investigación mediante sistemas destructivos se emplean en casos muy especiales.

INVESTIGACION.- Algunos de los tópicos actualmente en investigación en este campo son los siguientes:

1. Desarrollar métodos de evaluación más rápidos y confiables.
2. Establecer técnicas de control de acabados superficiales durante la construcción.
3. Mejorar el concepto de índice de servicio.
4. Aumentar el conocimiento acerca de las propiedades mecánicas de los pavimentos.

mentos y de sus componentes por métodos destructivos.

Cabe mencionar que los métodos antes descritos, aunque en gran parte han sido desarrollados por técnicas extranjeras, constituyen en la actualidad métodos cada vez más familiares a los ingenieros de nuestro País, observándose una -- franca tendencia a utilizarlos cada vez más en el estudio de nuestras carreteras y aeropistas.

Desde luego que la valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que --- constituyen cada una de sus capas, incluyendo la subrasante y, en algún caso, el que forme la terracería. La valuación final de la capacidad estructural - deberá tener en consideración los resultados obtenidos con el uso de los dos - criterios, deflexión y resistencia, lo cual es, particularmente importante si se toma en cuenta que las correlaciones existentes entre las medidas de defle - xión, espesores y calidad de los pavimentos, así como el tránsito que circula por ellos, han sido obtenidas por diversas agencias bajo sus propias condicio - nes locales y por lo tanto fundamentar la valuación sólo en dichas correlacio - nes podría resultar poco fiel a las condiciones particulares del problema que se estuviese tratando. El método de las deflexiones maneja el valor total de ellas en cada punto, pero no su distribución en profundidad, que es la caracte - rística realmente importante y en esto radica, quizá su mayor limitación.

Por lo que se refiere al equipo a utilizar para la medición de las deflexio - nes, la selección ha de estar basada en su disponibilidad, costo y necesida - des de avance; el costo de una Viga Kenkelman es considerablemente menor que - el de un deflectógrafo dinámico tipo Dynaflect, pero la rapidez y eficiencia - en la determinación de las lecturas de deflexión que puede lograrse con este - último equipo es mucho mayor que cuando se utiliza una Viga Benkelman.

Otra alternativa para valuar la capacidad estructural de un pavimento, que ha sido sugerido por varias instituciones, entre ellas el Departamento del Trans - porte del Canadá, consiste en la ejecución de pruebas de carga por medio de - placas para obtener deflexiones en el pavimento bajo la acción de cargas está - ticas y repetidas (ref. 1 ver anexo IX. a).

1.2.3. REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riegos de "rejuvenecimiento" o construcción de sobre---carpetas, hasta reconstrucciones integrales; también han de considerarse los problemas emanantes de las ampliaciones de sección.

Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el empleo de sobre carpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos de que hoy se dispone.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación, es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento dado; desde luego es algo mucho más complicado que la simple aparición de grietas superficiales. En lo anterior, insatisfactorio no implica, desde luego, la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito, pero en el que se gaste más de lo conveniente en conservación. Las siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación.

a). NIVEL DE SERVICIO.

Este concepto variará con el tipo de la vía terrestre.

b). CONDICION ESTRUCTURAL.

Este concepto se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo.

c). CONDICIONES DE LA SUPERFICIE.

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.), no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo está por una razón única y sencilla, si bien es cierto que una falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento. Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse fácilmente con métodos que no producen ninguna mejoría real en las condiciones estructurales.

d). SEGURIDAD.

El concepto se valúa generalmente con base en estadísticas de accidentes.

e). COSTO.

Se refiere no solo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

El índice de servicio se estima frecuentemente con base en la opinión de un grupo de usuarios, quienes recorren el camino en condiciones normales y lo califican de algún modo. Se ha intentado también llegar a una calificación por medio de fórmulas de regresión estadísticas de medidas obtenidas por procedimientos mecánicos en la superficie del pavimento.

Adicionalmente al concepto de nivel de servicio es importante considerar las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos, deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro cuya presencia, como se mencionó anteriormente, no siempre debe atribuirse a insuficiencia estructural. Es muy importante que en todo programa para la ejecución de un estudio con fines de rehabilitar un pavimento se incluya un levantamiento (tan detallado como sea posible) de los deterioros que presente la superficie de rodamiento y su posible relación con las condiciones de drenaje y subdrenaje, topografía de la zona y cualquier otra -- que se considere con alguna influencia en el comportamiento general exhibido por el levantamiento.

La tabla I.1. muestra un formato guía utilizado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, para efectuar el levantamiento de deterioros de pavimentos flexibles y puede ser un gran auxiliar para el técnico encargado de la inspección visual de los pavimentos, con miras a la conservación de los mismos.

INSTRUCTIVO SIMPLIFICADO PARA DETERMINAR LOS DETERIOROS EN SUPERFICIES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

GRIETAS.

1. FISURACION.- Grietas capilares generalmente dispersas, sin orientación definidas, pueden deberse a una superficie pavimentada muy vieja, es decir a las con

tracciones de un asfalto endurecido y óxidado.

2. LONGITUDINAL.- Son paralelas al eje del camino, conviene anotar si aparecen - al centro, en los tercios medios o en las orillas. Generalmente se deben a fallas del terreno de cimentación de terraplenes o a juntas de construcción mal-acabadas.
3. TRANSVERSAL.- Son grietas perpendiculares al eje del camino, generalmente debidas a contracciones por cambios bruscos de temperaturas. Son muy frecuentes en zonas sujetas a heladas.
4. POLIEDRICA.- (7.5 cm aprox.)- También se les llama de alambre de gallinero.- Sus módulos alcanzan hasta 7.5 cm de separación. Generalmente acusan contenidos de agua elevados en las capas inferiores; se deben a debilidades en la subrasante o en la base y pueden degenerar en bache. Como otra causa pueden de--terminarse a espesores muy delgados de la carpeta respecto al tránsito.
5. POLIEDRICA.- (15 cm aprox.)- Se les denomina popularmente como piel de coco-drilo y sus módulos alcanzan hasta 15 cm de separación, generalmente son orto-gonales, lo mismo que las anteriores y también acusan contenidos de agua eleva-dos en las capas inferiores y se deben generalmente a subrasantes elásticas o rebote elástico.
6. EN FORMA DE MAPA.- (mayor de 30 cm).- Son grietas ortogonales con separación-hasta de 30 cm debidas a la contracción del asfalto por oxidación o por tempe-ratura.
7. REFLEXION.- Son aquellas que habiendo existido en capas inferiores llegan a - reflejar en capas de nueva construcción aunque estas últimas sean de buena ca-lidad.
8. MENOR QUE 0.3175 cm (1/8").- Indica abertura de la grieta cualquiera que sea- su forma menor que 1/4" idem.
9. MAYOR QUE 1/4" idem.

- DESPRENDIMIENTOS.

1. DEFORMACION TRANSVERSAL MARCADA.- Se refiere a aquellas deformaciones que ha sufrido el pavimento por el paso de los vehículos provocando canalización a lo largo del camino por donde pasan las llantas.
2. DEFORMACION LONGITUDINAL.- Se refiere a la deformación que se produce como si la carpeta "se arrugara" y que generalmente produce vibraciones fuertes en los vehículos. Puede deberse principalmente a exceso de asfalto en la carpeta o bien a escasas de espesor en ésta.
3. DISTORSION.- Es la deformación que se produce en forma aleatoria y aislada a manera de chipotes. Puede deberse a exceso de asfalto o a defecto de construcción.
4. ASENTAMIENTO DE SUBRASANTE.- Es la deformación local que generalmente produce fallas en los pavimentos de manera que se puede deber a condiciones muy definidas. Del caso puede aparecer por ejemplo en donde hay claros de alcantarilla mal compactadas.

- BACHEO.

1. BACHEO SUPERFICIAL.- Se refiere a desprendimientos de carpeta únicamente, generalmente se les llaman "acioveras" y pueden estar localizados o generalizados. En este caso conviene hacer una estimación de los porcentajes con respecto al área total del pavimento en la sección analizada.
2. BACHEO PROFUNDO.- Interesan las capas de base o sub-base y en ocasiones -- pueden estar acusadas por surcos, por desprendimientos generalizados o por cualquiera de los defectos anteriormente mencionados ya en estado sumamente avanzado.
3. RECONSTRUCCION LOCALIZADA.- Se refiere a los baches ya tratados o bien a aquellos trabajos que se han tenido que realizar para abrir una alcantarilla, reconstruir tramos muy críticos, etc.

Los deterioros anteriores se deben calificar de 0 a 4, dependiendo de su grado de avance, según se indican en la tabla.

- CONDICIONES DE SUPERFICIE.

Se califica de 1 a 10 según que vaya de muy pobre a muy bien.

1. RUGOSIDAD SUPERFICIAL.- Indica si el pavimento está liso o tiene una rugosidad adecuada.
2. DRENAJE SUPERFICIAL.- Se refiere a que la lluvia sea bien drenada debido al bombeo. Su deficiencia se acusa por encharcamiento en la superficie.
3. SUBDRENAJE.- Se refiere a si el camino cuenta con él o no y si las capas inferiores se saturan por falta de éste.
4. CONDICIONES GENERALES.- Se refiere a su estado de conservación en cunetas, contracunetas, etc.

En el renglón de CALIFICACION GENERAL adjudiquemosla al camino de una manera subjetiva, comparativamente con otros caminos que el calificador conozca (autopista recién construida tendría calificación de 10 camino revestido tendría calificación de 0).

En el renglón de TRABAJOS REQUERIDOS se referirá a si esos tramos necesitan atención inmediata.

Una vez que han sido analizados o valuados todos los conceptos anteriores (nivel de servicios, condiciones superficiales del pavimento y capacidad estructural), -- que pueden ser considerados como las "constantes" del problema, debe pasarse a la siguiente etapa quizá la más importante de tomar una decisión acerca del tipo de rehabilitación más adecuado; es ahora cuando entran en juego todos aquellos conceptos a los que se podría asignar el papel de "variables" y entre los cuales se encuentra el incremento esperado de volumen e intensidad de las cargas de tránsito que circulará por el pavimento, el costo de los trabajos de rehabilitación y su relación con la disponibilidad de fondos para su ejecución, la vida útil que debe -- considerarse a la rehabilitación y el costo de su mantenimiento; otro factor importante, sobre todo en caminos cuyo tránsito representa movilización de bienes de -- consumo necesario o que genera desarrollo económico, es el que se relaciona con la posibilidad de interrupción o retraso de dicho movimiento, que puede originarse -- con motivo de las obras de rehabilitación proyectadas y su repercusión en los costos de transportes para los usuarios.

A la luz de todas estas consideraciones, algunas de ellas simplemente cualitativas y otras tan cuantitativas como se desee, pero que sin una dosis de bien calibrada - experiencia perderían su significación, el Ingeniero Proyectista o grupo encargado del estudio, estará en condiciones de definir los trabajos tendientes a la rehabili tación del camino, los cuales podrán comprender desde la simple aplicación de rie-- gos protectores, pasando por la construcción de sobrecarpetas de refuerzo, hasta la reconstrucción integral de los pavimentos.

CAPITULO II

METODOS MAS USUALES EN LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

II.1.- GENERALIDADES.

La detección oportuna de una falla y su rápida reparación cuando apenas se inicia, es sin duda la labor más importante del personal de mantenimiento. Las grietas y otras fallas de la superficie, que en sus primeras etapas pueden pasar inadvertidas, pueden evolucionar en defectos de mucha consideración si no se reparan oportunamente. Es por tanto de suma importancia que se efectúen inspecciones periódicas del pavimento, por personal calificado, para que el presupuesto destinado al mantenimiento tenga un rendimiento óptimo. La inspección no debe hacerse sobre un vehículo en movimiento, pues de esta manera no se pueden detectar las fallas en sus --inicios; lo mejor es caminar sobre el pavimento para poder efectuar una inspección detallada.

Para proceder a los trabajos correctivos se deberán seguir igualmente las normas y procedimientos de conservación y reconstrucción de carreteras. (ref. 6).

Las reparaciones deberán efectuarse en los periodos de tiempo en que el tráfico en la carretera sea nulo, cuando el pavimento a reparar sea el de un sólo carril, o - en los periodos de tráfico mínimo. En muchos casos será pues necesario efectuar - los trabajos correctivos durante la noche y habrá que proveer de un buen equipo de iluminación para su mejor realización.

Al efectuar la inspección de las fallas de un pavimento, es de suma importancia de terminar la causa de cada falla, para establecer, con base en dicho conocimiento, - el procedimiento correctivo más adecuado. La reparación de las fallas deberá hacerse lo antes posible, una vez que se han detectado, sobre todo si presentan un - peligro para la seguridad de los vehículos.

Puede darse el caso de que las condiciones del clima obliguen a efectuar reparaciones temporales para prevenir mayores daños, hasta que se pueda hacer una reparación más permanente. Por ejemplo, el relleno de grietas es más exitoso efectuarlo durante el tiempo frío y seco; las reparaciones de agujeros en el pavimento tienen mayor adherencia cuando el pavimento está tibio y seco; los tratamientos superficiales requieren clima templado y seco para obtener los mejores resultados. Por - tanto, la selección oportuna y adecuada del tiempo para efectuar las reparaciones - influirá en forma importante en los resultados. Cuando se presenten fallas duran-

te el período de fríos o de lluvias, deberán ser reparadas sobre una base temporal y oportuna, para evitar que la falla progrese, hasta que las condiciones del clima permitan una reparación adecuada. Cabe hacer notar que las emulsiones asfálticas pueden ser utilizadas con ventaja cuando hay humedad, sin embargo no deben ser utilizadas cuando existan temperaturas muy bajas (abajo de 5°C).

Las nivelaciones y los parches se deberán hacer preferiblemente cuando el clima sea templado (arriba de 10°C) y seco, ya que cuando una mezcla asfáltica (caliente o templada) se coloca sobre un pavimento frío, puede hacer que la mezcla se enfríe, dificultando su compactación. El efecto de un enfriamiento se incrementa si la mezcla se coloca en capas delgadas. Por otro lado, el asfalto y las mezclas asfálticas no ligan bien sobre superficies húmedas. Las mezclas que contienen asfaltos rebajados son lentas en curar cuando la humedad ambiente es elevada, debido a que el vapor de agua que contiene el aire no facilita la evaporación del solvente. Las bajas temperaturas retardan también la evaporación del solvente.

Los riegos de sello y otros tratamientos superficiales, pueden ser afectados por la humedad durante las primeras horas después de su colocación. La lluvia y/o el tráfico durante este período crítico pueden hacer que se presenten desprendimientos del agregado.

Cuando a un pavimento que se le han estado efectuando reparaciones pequeñas, estas se vuelven tan numerosas que resulta antieconómico su mantenimiento, o bien, se han vuelto peligrosas para su operación, es necesario hacer un reafinamiento de la superficie. Dicho reafinamiento puede calificarse como un tratamiento preservativo, un tratamiento correctivo o un mejoramiento.

- a. Los tratamientos preservativos quedan prácticamente dentro de la categoría de la conservación preventiva y se requiere efectuarlos periódicamente para sellar o revivir las superficies agrietadas o desgastadas por el tiempo y consiste normalmente en riegos de sello o tratamientos superficiales con mortero asfáltico (Slurry Seal).
- b. Los tratamientos correctivos, o conservación correctiva, son requeridos cuando existen superficies ásperas e irregulares y pueden consistir en la aplicación de una o más sobre-carpetas. Antes de proceder a la colocación de una capa so

bre un pavimento existente, es necesario corregir los defectos existentes en su superficie, pues de lo contrario se reflejarán en la nueva superficie; asimismo se requieren previamente el subdrenaje, si está defectuoso y corregir los defectos de las capas inferiores, porque de lo contrario afectarían rápidamente a la sobre-carpeta. Para obtener resultados satisfactorios se requiere reparar todos los baches y las áreas con severo desmoronamiento, sellar los parches para evitar la filtración del producto asfáltico, sellar todas las grietas con ancho mayor de 3 mm remover el exceso de producto asfáltico, manchas o grasas y limpiar la superficie dejandola libre de basura y material suelto.

- c. Los mejoramientos se justifican generalmente cuando la superficie existente es inadecuada o cuando se prevee que pronto se volverá inadecuada. Las superficies muy resacas, cuarteadas o desintegradas, pueden ser salvadas escarificando totalmente la superficie, disgregando el material con escarificadores de disco, agregando producto asfáltico, mezclando y compactando. Un procedimiento alterno es el llamado de "reciclado" cuyo procedimiento se indica en el subcapítulo III.4. La aplicación de una capa sellante y de protección, mejorará la durabilidad del pavimento.

Tanto los tratamientos preservativos como los correctivos y los mejoramientos, tradicionalmente se han estado realizando en nuestro País desde hace más de 50 años, llevandose a cabo en los pavimentos mediante bacheo, sellado de grietas, riegos y tratamientos de diferentes tipos y en muchos casos construcción de sobre-carpetas.

II.2.- BACHEO.

Una vez que han sido analizados ó valuados todos los factores (como nivel de servicio, condiciones superficiales del pavimento y capacidad estructural), y que se ha determinado que la reparación de baches es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere que dicha reparación asegure al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

El procedimiento para la reparación de un bache es el siguiente.

Primero se remueve el material de la carpeta y de la base en la zona problema hasta la profundidad necesaria para lograr un apoyo firme.

El corte debe extenderse lateralmente para abarcar por lo menos 30 cm del pavimento en buenas condiciones (ver fig. II.1). Esto quiere decir que también parte del material de la subrasante pueda requerir que sea removido. Los cortes deben ser cuadrados ó rectangulares con las paredes rectas y verticales, lo prácticamente posible. Dos de las paredes deben formar ángulos rectos con respecto a la dirección del tráfico. Los cortes se pueden facilitar y hacer con más precisión si se utiliza una máquina cortadora a base de discos diamantados u otro equipo similar. Si el agua ha sido la causa de la falla, será necesario instalar drenaje o corregir el existente.

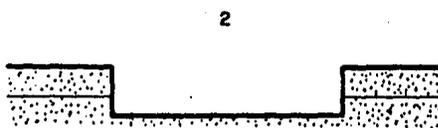
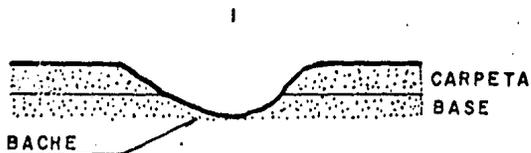
El siguiente paso consiste en aplicar un riego de impregnación a las paredes verticales; luego se rellena la excavación con mezcla asfáltica, de preferencia elaborada en planta, en caliente. En el caso de baches profundos, y cuando se considere económico el procedimiento, se podrán construir las capas inferiores con materiales de base o sub-base, según sea el caso. La superficie de la base deberá ser impregnada antes de colocar la mezcla asfáltica para formar la carpeta.

Durante la operación de calentamiento de los materiales asfálticos, es muy importante controlar la temperatura y proporcionar al producto un agitado continuo.

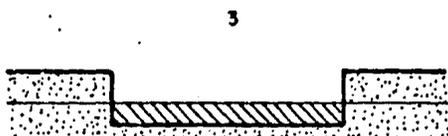
Para efectuar una distribución adecuada del producto asfáltico, se puede utilizar un rociador manual conservando su boca o salida a una distancia constante de la superficie a tratar, y debe darsele un movimiento uniforme. Debe evitarse la distribución del producto asfáltico por medio de botes ó cubetas, excepto para el relleno de grietas. En el caso de que no se pueda evitar el vaciado con botes, la aplicación así efectuada debe ser uniformizada por medio de cepillos. El manejo de las mezclas asfálticas, para parchados manuales, debe efectuarse por medio de palas evitando el derramarlos o dejarlos caer directamente desde el transporte al lugar por parchar. La mezcla asfáltica ya colocada debe ser nivelada con la mínima cantidad de rastrillo ya que su exceso ocasiona que los materiales pequeños bajen dejando el material grueso arriba. (El rastrillo fuerte es necesario y deseable solamente en parches biselados en donde el material grueso es empujado hacia el centro con la parte trasera del rastrillo).

El tendido y la compactación del concreto asfáltico deberá efectuarse en capas de 7 a 15 cm de espesor dependiendo del equipo de compactación de que se disponga. La

ETAPAS EN LA REPARACION DE UN BACHE



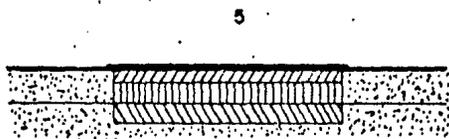
Recortar en líneas rectangulares
y superficies verticales. Limpiar.



Reemplazar el material de base
y compactar adecuadamente.



Impregnar con producto asfáltico
rebajado, el fondo y las paredes
de la excavación. Dejar secar
hasta que el asfalto se vuelva
pegajoso.



Rellenar con mezcla asfáltica
(premezclada) y compactar en
capas no mayores de 7cm. de
espesor.

FIG. II.1.

compactación debe llevarse al mismo grado que la del pavimento que la rodea. La superficie terminada del parche debe quedar al mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

II.3. SELLADO DE GRIETAS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

1. SELLADO DE GRIETAS.

Para obtener una conservación efectiva de los pavimentos, es muy importante que la sub-base y la base se mantengan lo más seco que sea posible. Las grietas dejan pasar a dichas capas reduciéndose su capacidad de carga. Por tanto uno de los objetivos primordiales del mantenimiento de los pavimentos es mantener su superficie adecuadamente impermeable, en que las grietas deben mantenerse selladas todo el tiempo.

A. MATERIALES DE RELLENO.

Se recomiendan para usos generales de sellado de grietas, los asfaltos rebajados de viscosidad media tales como el FR-3 y el FM-3 o emulsiones asfálticas de asentamiento rápido. A menudo se utilizan asfaltos muy pesados (alta viscosidad) aunque estos materiales no penetren a la grieta y sólo dan un sellado superficial.

B. Para el relleno de grietas menores de 3 mm. de ancho, se utilizan productos asfálticos cuya fluidez a la temperatura de aplicación especificada garantice la penetración. Los asfaltos rebajados de fraguado rápido tales como el FR-1 son satisfactorios para estas operaciones.

C. Para el relleno de grietas con anchos mayores de 3 mm, se utiliza una mezcla de producto asfáltico y arena fina cuya fluidez garantice una adecuada penetración, o bien, el relleno se puede efectuar por medio de capas alternas de arena y producto asfáltico; la última capa debe ser de producto asfáltico.

D. Las grietas no deben ser empleadas para obtener una mejor penetración del material de relleno.

E. Cuando existen grietas profundas aisladas que lleguen hasta la sub-base o tierra cercías, es muy importante estudiar la causa de la falla, para poder definir la solución y procedimientos de reparación más adecuados. En terminos generales, este procedimiento podrá consistir en abrir caja en el ancho mínimo necesario para trabajar,-

preferentemente hasta el fondo de las grietas y proceder en forma semejante a la -- del bacheo. (sub-capítulo II.2).

F. Cuando existan grietas abundantes pero muy ligeras, cuya profundidad afecta sólo a la carpeta, y no haya deformaciones permanentes, si su ancho es inferior a 3 - mm, se puede reparar por medio de un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico; si su ancho es superior a 3 mm, su reparación podrá consistir en el "reciclado" y/o en la colocación de una sobrecarpeta.

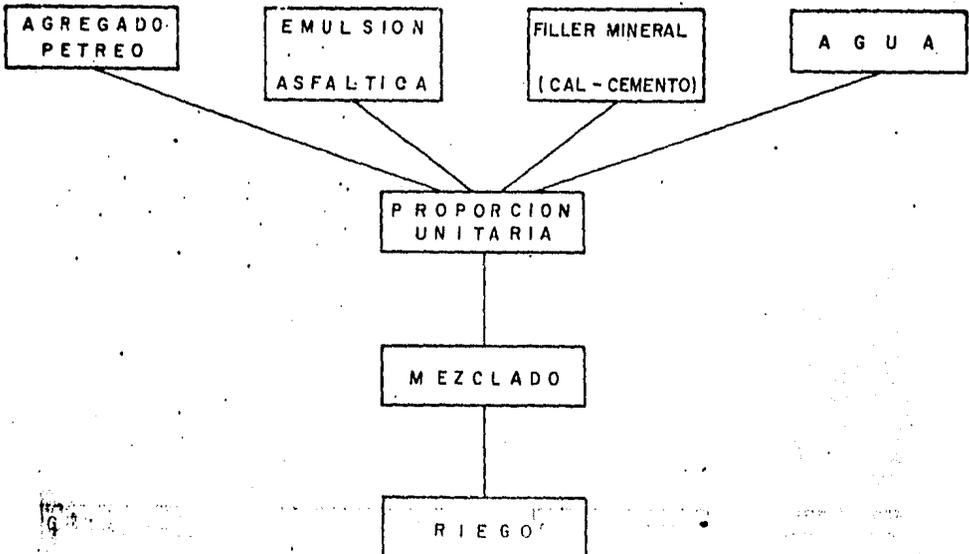
1. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES A BASE DE MORTERO ASFALTICO. (SLURRY SEAL).

El Slurry Seal, es una mezcla homogénea y semi-fluida de emulsión asfáltica, agua, filler mineral, y agregados finos bien graduados, la cual se aplica a la superficie del pavimento por medio de una caja distribuidora adaptada con correderas y dispositivos adecuados (en jugadores).

En la Figura II.2, se puede observar que el proceso de elaboración del Slurry Seal, consta de: proporción unitaria, mezclado y riego.

FIG. II.2

EL PROCESO CONTINUO DEL SLURRY SEAL

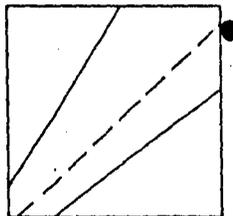


Los principales materiales del Slurry Seal son los agregados y la emulsión asfáltica (Fig. II.3). Los agregados deben estar limpios y triturados y deben ser durables y con graduación buena y uniforme. La emulsión es un sistema de tres partes - que consiste de cemento asfáltico, agua y emulsionante. Las emulsiones asfálticas generalmente cumplen con lo dispuesto para los tipos de mezcla densa de AASHTO "RL" y estan hechas de cemento asfáltico y pueden ser duras o suaves. Las emulsiones -- son de rompimiento lento o rápido elaboradas con emulsionantes aniónicos, catiónicos o no iónicos. Algunas veces se emplean aditivos líquidos para alguna modificación.

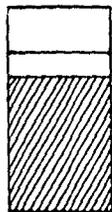
Los "fillers" tales como el cemento Portland o cal hidratada se usan comunmente en pequeñas cantidades para estabilizar mezclas incompatibles o como modificadores químicos del sistema. El agua de mezclado debe ser potable y libre de sales perjudiciales.

AGREGADO PETREO PARA SLURRY SEAL

- LIMPIO
- TRITURADO Y CRIBADO
- DURABLE
- BIEN GRADUADO
- UNIFORME



EMULSIONES ASFALTICAS PARA USO EN SLURRY SEAL



AGUA
EMULSIFICANTE
CEMENTO
ASFALTICO

LA AASHTO "SS" DA MEZCLAS TIPO PARA PAVIMENTO SEGUN EL TIPO DEL ASFALTO.

- DURO o BLANDO
- BAJO o ALTO ROMPIMIENTO
- EMULSIFICADOR ANIONICO
CATIONICO o NEUTRAL.

FIG. II.3

Los principales usos de los tratamientos superficiales con Slurry Seal son:

1. PREVENTIVO. Para evitar los daños superficiales que ocurren en los pavimentos recién tendidos, tales como los efectos de la meteorización (oxidación, pérdida de aglutinante y debilitamiento de la mezcla estructural) y para proporcionar durabilidad especial y textura que no se tiene en la mezcla de la capa de abajo.

2. CORRECTIVO. Para corregir los desperfectos superficiales que ya han ocurrido en los pavimentos más viejos tales como agrietamiento superficial, desprendimiento, pérdida de aglutinante, permeabilidad incrementada al aire y al agua y condiciones malas contra derrapamiento producidas por el flujo o por los agregados pulidos.

El Slurry Seal en las superficies de los pavimentos reciclados cumplen con el doble propósito de corrección y prevención.

Las especificaciones generales de la Asociación Internacional de Slurry Seal en su guía A-105 reconoce tres graduaciones básicas de agregado: (Fig. II-4).

- Tipo Fino (I) 1/8".
- Tipo General (II) 1/4".
- Tipo Grueso (III) 3/8".

LAS TRES GRADUACIONES BÁSICAS DEL SLURRY SEAL

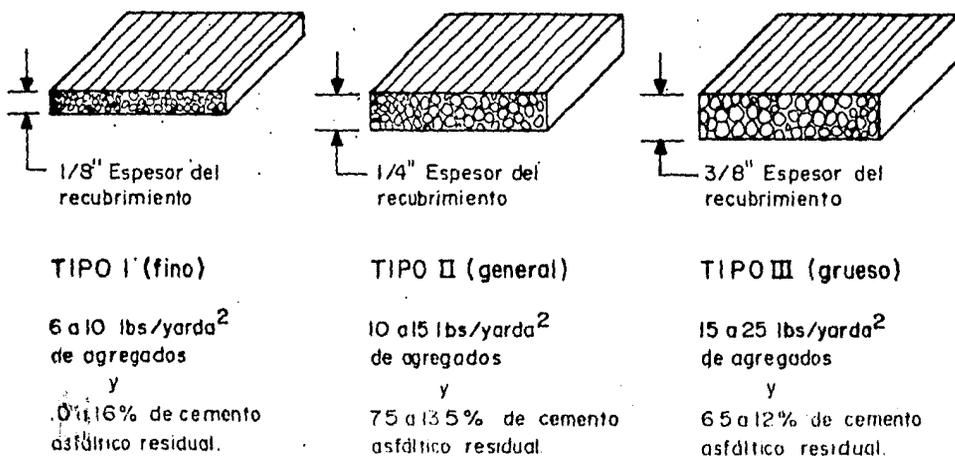


FIG. II. 4

La graduación del agregado, seleccionada para usarse, depende del objetivo de un -- tratamiento particular:

TIPO I. Se usa para la máxima penetración en las grietas y como una preparación ex celente para recubrir con mezcla en caliente o con riego de sello. Comunmente se - usa en las áreas con poca densidad de tránsito o bien de poco uso, tales como las - aeropistas para aviones ligeros, áreas de estacionamientos, acotamientos donde el - objetivo principal es el sellado.

TIPO II. Es el más ampliamente usado para sellar, corregir desprendimientos seve-- ros, oxidación y pérdidas de aglutinante, también para mejorar la resistencia al de rrapamiento. Se emplea para tránsito moderado y pesado dependiendo de la calidad - de los agregados disponibles y del diseño.

TIPO III. Se usa para corregir condiciones severas de desprendimientos, como prime ra capa en la aplicación de las multi-capas, para impartir resistencia al derrapa-- miento y para evitar desperfectos debidos al agua bajo condiciones de tránsito pesa do y para poder extender la vida útil bajo estas condiciones.

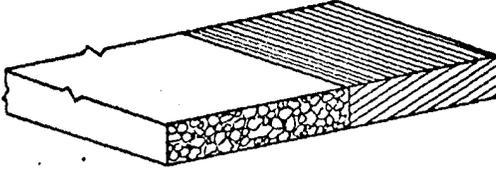
El Slurry Seal es el sistema de tratamientos superficiales de pavimentos más versá-- til. Debido a que el Slurry Seal es un tratamiento superficial relativamente de po co espesor, los requerimientos de energía son bajos y resulta económicamente facti-- ble usar materiales especiales importados o un exótico, para proporcionar las carac terísticas superficiales deseadas.

El Slurry Seal se distingue de otros sistemas de tratamiento superficial por su par ticularidad de habilitar para depositar un recubrimiento asfáltico de una textu-- ra superficial variable. Esta particularidad es valiosa en el sellado de las carrete ras recicladas.

En la Figura II.5. Se presenta como un ejemplo una sección recta de un acotamiento de camino donde el Slurry Seal llenará las grietas de la cara de contacto, deposi-- tando una cuña modesta, llenará los vacíos dejados por el desprendimiento superfi-- cial y las grietas transversales, proporcionará resistencia al derrapamiento, sella rá bien contra la meteorización y proporcionará color para delinear, y todo en un - sólo paso.

FIG. II.5

VERSATILIDAD DEL SLURRY SEAL



EL SLURRY SEAL EN UN SOLO PASO

- 1 - Deposita un sello asfáltico acorde con las necesidades de la superficie.
- 2 - Llena las grietas en la superficie de contacto.
- 3 - Coloca una cuña modesta.
- 4 - Coloca un buen sello contra la meteorización.
- 5 - Llena los vacíos superficiales.
- 6 - Proporciona coloración para delinear la textura.
- 7 - Lograr buena resistencia al derrocamiento.

En la Figura II.6 se considera otro ejemplo de la sección recta de un pavimento -- donde las rodadas están compactadas por el tránsito hasta el punto de fluir. Las áreas sin tránsito están oxidadas y hay zonas de desprendimiento excesivo. Las mezclas de agregados gruesos no muy fluidas harán puente en las áreas con desprendimiento o con grietas; los riegos de sello serán demasiados pobres. Muchas veces estos tratamientos corrigen el problema original. El Slurry Seal realizará todas las funciones de relleno de las juntas afectadas y de las áreas oxidadas, cubriendo además el área entera según lo requieran las condiciones superficiales... en un sólo paso.

Las propiedades de un Slurry Seal varían con las propiedades de los materiales in-

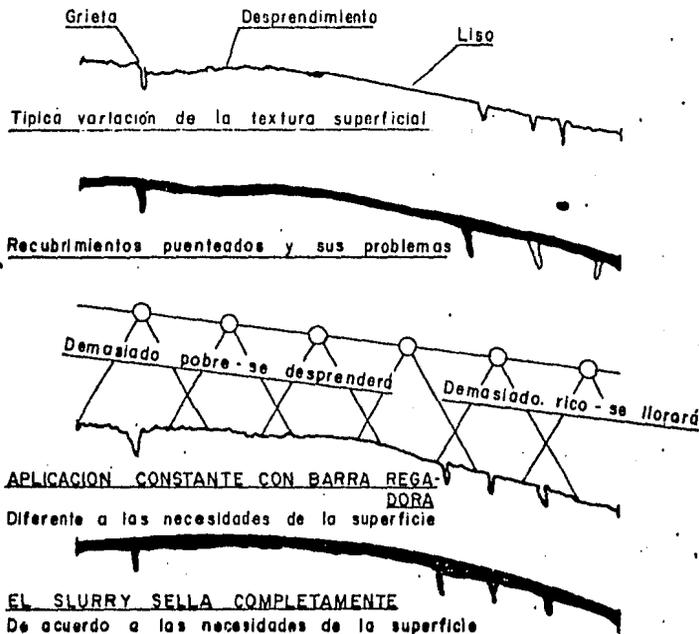


FIG. II.6

corporados en la mezcla y con el diseño y construcción de las combinaciones seleccionadas. Comúnmente se considera que el Slurry Seal tiene muy baja permeabilidad (un excelente sello), poca resistencia a la tensión, alta resistencia a la compresión, resistencia alta al derrapamiento, buena textura y resistencia alta al resbalamiento por los efectos del agua, buena estabilidad, excelente adherencia y apariencia.

Estas propiedades pueden variarse por la selección de materiales como agregados especiales para impartir durabilidad y resistencia al derrapamiento según las necesidades, también se combinan elastómeros para impartir flexibilidad y resistencia al agrietamiento térmico.

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL
(BOLETIN ISSA 111)

1. Descripción del pavimento.- condiciones, datos de tránsito, clima.

2. Objetivos.- Vida Esperada, Requerimientos de textura.
3. Selección de materiales:
 - a). Selección de Agregados.
 - b). Selección de la Emulsión Asfáltica.
 - c). Selección del Filler.
4. Diseño en el laboratorio.
 - a). Determinación teórica de los Requerimientos de Cemento Asfáltico.
 - b). Determinación de los Requerimientos de Agua y Filler (consistencia).
 - c). Prueba de Compactibilidad en Copa y Prueba de Adherencia.
 - d). Sujetar las mezclas de Prueba a las Pruebas Físicas.
5. Aplicar el diseño Optimo al Control de las Cantidades en el Campo.

El mortero asfáltico (Slurry Seal) puede ser aplicado con relativa facilidad, rapidez y bajo costo. Tiene la cualidad de que la mezcla penetra en los agujeros y --- grietas adhiriéndose adecuadamente al pavimento. Antes de proceder a la aplicación del mortero es necesario eliminar las marcas de pintura existentes en la superficie del pavimento ya que disminuyen la adherencia del mortero asfáltico. Asimismo, se deben rellenar con mezcla asfáltica los agujeros existentes. En seguida se aplica un riego de liga a base de una emulsión asfáltica catiónica. El siguiente paso es la aplicación del mortero asfáltico en forma líquida por medio de un camión mezclador de tambor que lo extiende; la profundidad del mortero es regulada por una hoja o cuchillo de hule. Para prevenir la formación de burbujas de aire atrapado en agujeros pequeños y grietas, se recomienda rociar con agua el pavimento antes de aplicar el mortero asfáltico, lo cual ayuda a que éste fluya dentro de dichos espacios. La mezcla de mortero asfáltico esta compuesta por "Filler" de cemento, arena y producto asfáltico. El propósito del "Filler", que representa aproximadamente el 1% - de la mezcla, es el de proporcionar una mezcla densa. La finalidad de revestir las arenas con productos asfálticos es la de reducir el contenido de vacíos de mortero-asfáltico. Para este proceso se puede emplear el "método humedo" utilizando una -- emulsión asfáltica estable; en este caso es necesario compactar con neumáticos para compactar la mezcla y ayudar a que se adhiera con la superficie del pavimento. El-

espesor del mortero asfáltico ya colocado es de aproximadamente 2 mm y su período de secado, en clima caluroso, varía de 20 minutos a 6 horas, dependiendo de la temperatura ambiente; si se aplica en climas fríos, con temperaturas arriba de la de congelación del agua, el período de secado puede ser del orden de dos días.

Un mortero asfáltico bien aplicado, es impermeable y proporciona una superficie con características de fricción similares a las del pavimento original; sin embargo, no puede prevenir que aparezcan grietas debidas a la falla del pavimento sobre el que se apoya.

De ser necesario se puede colocar una segunda capa de mortero asfáltico, siempre y cuando el espesor total no exceda de 4 mm. Para la aplicación de la segunda capa mencionada, no es necesario el riego de liga.

II.4. CONSTRUCCION DE SOBRECARPETAS DE REFUERZO.

Una vez que han sido analizados todos los factores señalados en párrafos anteriores y que se ha determinado que el refuerzo del pavimento es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere cuantificar la magnitud de dicho refuerzo, establecer las normas y especificaciones a que deberá sujetarse su construcción y señalar la necesidad, si existe, de obras de drenaje y/o subdrenaje y de todas aquellas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

A. PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE REFUERZO DE PAVIMENTOS, A PARTIR DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXION.

Es práctica común diseñar el refuerzo para las condiciones estructurales más críticas que se hayan encontrado en el camino; sin embargo, no puede decirse que este criterio sea el más adecuado, sobre todo si se toma en cuenta la disponibilidad de fondos para efectuar las obras de rehabilitación; por otra parte, una variación frecuente en los espesores de refuerzo utilizados en pequeños tramos, considerando sus diferentes condiciones de capacidad estructural, puede conducir a procedimientos constructivos poco prácticos, que podrían repercutir desfavorablemente en los costos. Un balance razonado de las ideas señaladas puede conducir al establecimiento de un proyecto que satisfaciendo las necesidades de refuerzo, impliquen el máximo posible de economía y condiciones prácticas de construcción.

Los procedimientos de diseño de refuerzos que se menciona a continuación son aplicables cuando el pavimento por reforzar es de tipo flexible, aún cuando incluyan en su estructuración capas estabilizadas con materiales tales como asfalto, cemento, cal, etc.

A.1. Método de California.

A.2. Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Los métodos antes presentados (Ref. 1) utilizan las deflexiones medidas en las superficies del pavimento.

CAPITULO III

REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS POR MEDIO DE AGENTES REJUVENECEDORES
Y RECICLADOS.

CAPITULO III. REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS POR MEDIO DE AGENTES REJUVENE- CEDORES Y RECICLADOS.

III.1. GENERALIDADES.

A medida que transcurre el tiempo se va reduciendo el poder económico de construc-
ción de carreteras debido a procesos inflacionarios, escasez de energéticos, caren-
cia de fondos, lapsos relativamente cortos de duración de las Administraciones, efec-
tos en el medio ambiente y características de seguridad, de tal manera que la veloci-
dad de desarrollo de daños en nuestras carreteras es mucho más rápido que la repara-
ción de las mismas.

En la labor de conservación de carreteras, el factor más importante y trascendental -
es el mantenimiento oportuno de la carpeta para que este en buenas condiciones de --
funcionalidad y estructurales y preste el servicio requerido; de no efectuar ésto a-
tiempo se puedan dañar también las capas inferiores, a tal grado que en algunos ca-
sos pueden requerirse reconstrucciones totales, no sirviendo prácticamente de nada -
los poliativos que comunmente se aplican, cuyo efecto rápidamente desaparece.

Nuestro procedimiento favorito, durante varios años, para corregir desperfectos en -
las carpetas, era el de aplicar un recubrimiento de sello donde lo permitían las con-
diciones y el volumen de tránsito, o poner una sobrecarpeta hasta donde los fondos -
disponibles lo permitieran.

Actualmente estan en uso algunos sistemas sofisticados para el arreglo de pavimentos,
los cuales proporcionan una sobrecarpeta delgada (inferior a 5 cms.) en ciclos de --
tiempo relativamente cortos sin preocuparse por los efectos eventuales que esto ten-
ga sobre la geometría, dimensiones estructurales, seguridad, drenaje superficial, --
etc.

Sólo en una condición se requiere espesor adicional de la estructura y esto es donde
hay deficiencia estructural.

Tomando en cuenta lo anterior y, como la mayor parte de los fondos para la conserva-
ción de las carreteras se aplica a la reparación de la superficie del pavimento se -
han hecho considerables esfuerzos en el desarrollo de técnicas que económicamente y -
en forma práctica resuelve el problema.

El perfilado mediante rebajado, el sistema de rejuvenecimiento y aún el sistema de reciclado, constituyen métodos de reparación de pavimentos que se presumen se impondrán en un futuro cercano, pues en la actualidad ya son numerosos los casos en que los gálibos de los puentes resultan inadecuados por las frecuentes sobrecarpetas.

III.2. SISTEMAS DE REBAJADO DE PAVIMENTOS.

El sistema de rebajados de pavimentos mediante equipos abrasivos y que ha sido también llamado "Planchado en Frío" es un método que permite reperfilear la superficie de los pavimentos. Rápidamente se logra una buena superficie de rodamiento minimizando las interrupciones u obstáculos al tránsito. En este método se emplean unos cilindros de acero giratorios parecidos a los rodillos pata de cabra, se hace girar al cilindro montado en un sistema de transporte móvil y se produce un efecto fuertemente abrasivo sobre la superficie atacada. El costo principal de este método lo constituye el desgaste de las uñas o dientes abrasivos, pero el rápido avance que se logra con este método resulte económicamente competitivo contra los métodos tradicionales, los cuales han consistido en bacheo, la construcción de sobre carpetas de refuerzo tanto para pavimentos asfálticos como de concreto hidráulico, lo cual redundo en que se eleve la rasante y frecuentemente en que los daños de la superficie original se reflejen en la nueva sobrecarpeta (Fig. III.1.).

Es muy común el caso de que se coloquen sobrecarpetas debido a que la superficie actual de rodamiento o es funcionalmente inadecuada (superficie lisa, deformada, etc.) o bien, presenta características que hagan temer que en un futuro próximo se dañe seriamente el pavimento, sin que se requiera refuerzo estructural.

En tales casos, resulta frecuentemente ventajoso remover la parte dañada, reciclarla y volverla a tender, o bien, ligar la superficie descubierta con una nueva carpeta, o inclusive dejar la superficie tal y como quedó después de aplicar la abrasión.

El empleo de los equipos para el rebajado presenta pues las siguientes ventajas generales sobre los métodos tradicionales de reparación de pavimentos.

- a). Se eleva menos la rasante, factor muy importante sobre todo cuando no existen fallas de tipo estructural.
- b). La textura que queda después de pasar el equipo es muy antiderrapante, por lo --

que en algunos casos puede dejarse descubierta a ésta con el acabado que queda - después del rebajado.

c). Se logra una mejor liga con la nueva capa de refuerzo.

METODO DE CONSTRUCCION.

Podría definirse brevemente que el procedimiento de construcción con éste equipo -- consiste simplemente, según se mencionó, en el recorte, en frío de un cierto espesor de la capa superficial de un pavimento, mediante rotación de un cilindro armado de - dientes de carburo de tungsteno.

A diferencia de la máquina que efectúa el rebajado general, existe una más pequeña y de alta maniobrabilidad para el trabajo de detalle, como podría ser la remoción pre- via de zonas locales muy inestables, remover grietas alabeadas, efectuar el recorte- cerca de los pozos de visita o de otro tipo de estructuras.

En el pasado, se acostumbraba también efectuar la remoción de partes del espesor de una carpeta mediante el "planchado en caliente", pero se ha abandonado este método- por tener la desventaja de que se envejece más el asfalto; además de presentar un -- avance muy lento, poca penetración, alto consumo de energéticos y serios problemas - para el control de la profundidad de penetración. En este caso se tiene todavía una desventaja más y es que la mezcla removida tiene que ser deshechada o recalentada pa- ra su aprovechamiento; lo cual no sucede con el empleo de las rebajadoras en frío -- que producen el agregado prácticamente triturado, factor éste que debe ser altamente vigilado, pues claramente se comprende que la granulometría puede cambiar radicalmen- te, en comparación con la que se tenía in-situ; esto último si se desea reciclar a - la mezcla removida.

APLICABILIDAD.

Existían dos motivos por lo que no se había logrado imponer el sistema de reciclado, uno era su alto costo y el otro la baja producción aunado ésto a problemas de conta- minación ambiental debido al humo y gases producidos en las plantas recicladoras. -- Por otro lado como ya se dijo, el sistema de calentado de la carpeta su remoción no- resultaba funcional por su baja penetración. Sin embargo, con el advenimiento del - rebajado de las carpetas en "frío" se obtiene alta efectividad en la remoción de la-

carpeta cuando se trata de reciclarla, con la ventaja adicional de que el material - obtenido ya está prácticamente triturado y los costos resultan competitivos con otros sistemas.

Podrían citarse las ventajas obtenidas con éste método las siguientes:

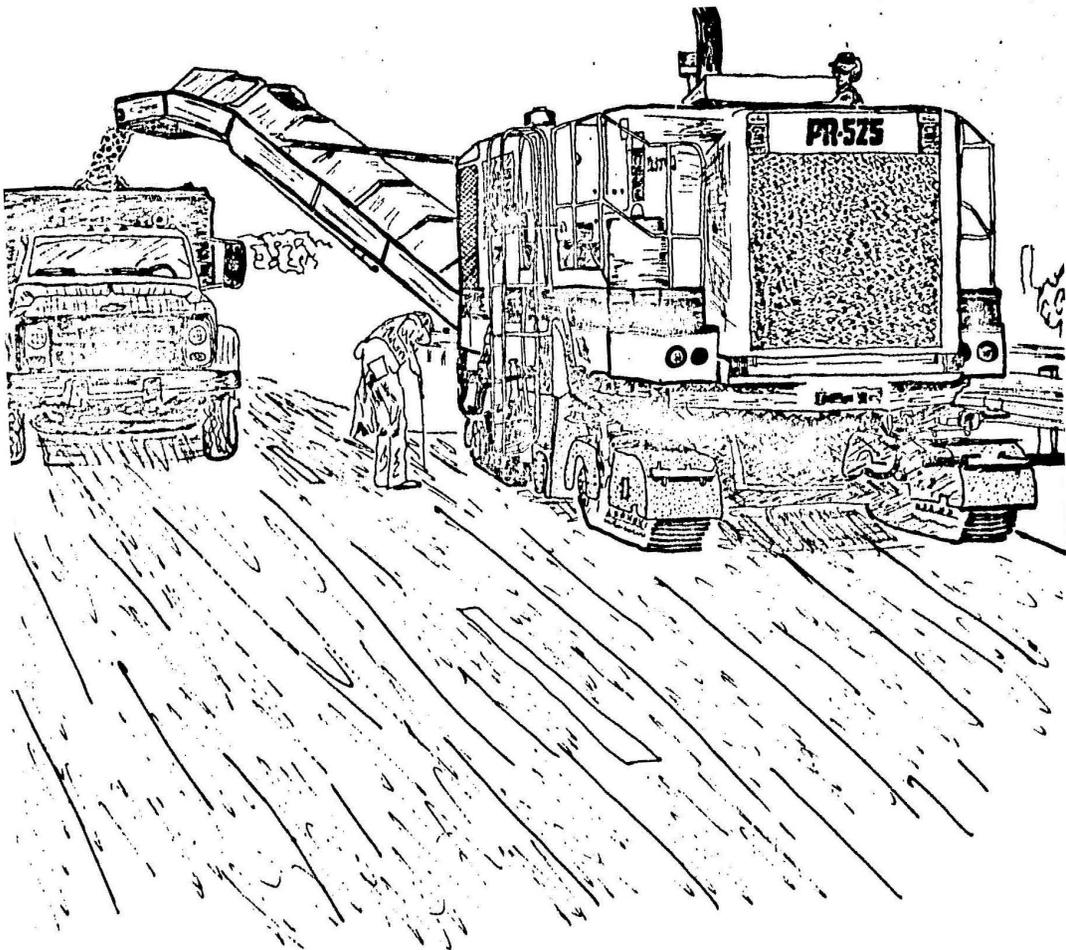
- a). Se reducen los costos ya que se emplea menos material para sobreencarpetar.
- b). Se obtiene una liga mucho mejor con la sobrecarpeta, si es necesaria su colocación.
- c). La superficie, uniformemente aserrada o estriada, que se obtiene, proporciona un magnifico anclaje por lo que se evitan las fallas de corrimientos en la sobrecarpeta.
- d). Se incrementa notablemente la vida de la sobrecarpeta colocada sobre el pavimento rebajado, debido a que el espesor de mezcla asfáltica adicional es uniforme, es decir que no se coloca sobre una superficie deformada o agrietada, defectos - éstos que en un periodo razonable pueden reflejarse en la nueva sobrecarpeta.
- e). El peso volumétrico de la nueva sobrecarpeta es uniforme, al quedar debidamente compactado sobre una superficie también uniforme.

Entre las principales aplicaciones de la máquina rebajadora podrían citarse las siguientes:

1. Renivelar la superficie de rodamiento en aquellos casos en que existan imperfecciones de acabado.
2. Proporcionar una buena liga con las sobrecarpetas.
3. En pavimentos rígidos ó flexibles cuya superficie de rodamiento se haya alisado, la máquina rebajadora produce una muy buena textura resistente al derrapamiento.
4. Para remover superficies inestables, dañadas, o con malas características de rodamiento.
5. Para reciclar a las carpetas.

Las dos primeras aplicaciones son en realidad las más usuales.

FIG. III REBAJADO DE PAVIMENTOS



Debe tenerse muy presente que cualquiera que sea el procedimiento empleado en el rebajado de una superficie de rodamiento, la granulometría resulta afectada así como el contenido de asfalto con respecto al estado original de la mezcla, lo que obliga, en los sistemas de reciclado, a realizar previamente un minucioso análisis de estos aspectos.

EJEMPLOS DE APLICACION.

Son muy numerosos los ejemplos que podrían citarse en lo que respecta al procedimiento objeto de esta cláusula y en vías de ilustración se mencionarán los siguientes:

- a). En Inglaterra se habla de velocidades de avance de la rebajadora hasta de 1000 m²/hora; se han llegado a remover espesores hasta de 90 mms. y si solamente se trata de proporcionar una textura antiderrapante se han logrado avances hasta de 1800 m²/hora.
- b). En Kentucky se presentó un caso de pavimento liso y canalizaciones en las rodadas, el costo del sólo renivelado fué considerado del orden de \$ 420,000 Dolares. Empleando una rebajadora "Rotomill" y con 1 1/2" de rebajado se logró una buena superficie de rodamiento y a un costo menor del 50% del anteriormente mencionado.
- c). En Texas se tenía un pavimento rígido muy liso, se colocó una sobrecarpeta de -- 3 cm la cual se alisó en tres años y además empezó a desprenderse. Empleando -- una rebajadora la removieron toda y dejaron una muy buena textura en la superficie del pavimento. El avance fué de diez a doce metros por minuto.
- d). En North Dakota se presentó un pavimento muy liso y con canalizaciones en las rodadas. La colocación de una sobrecarpeta de 38 mm tenía un costo de \$ 834,000 - Dolares. Aplicando la sobrecarpeta se iba a presentar adicionalmente el problema de un fuerte escalonamiento hasta de 12.5 cm en los acotamientos.

Una máquina rebajadora "Rotomill" removió 38 mms de material depositándolo en -- los acotamientos a un costo casi de una tercera parte del ya referido y proporcionando una buena textura.

Como anotación importante cabe mencionar que en los casos referidos no se tenían pro

blemas estructurales.

III.3. AGENTES REJUVENECEDORES.

El asfalto como material de pavimentación es usado extensivamente en carreteras, aeropuertos, caminos, calles, entradas de vehículos, banquetas y estacionamientos, --- principalmente por su sobresaliente servicio, su duración y economía; su único defecto es, que algunas veces los pavimentos desarrollan señales de envejecimiento prematuro, éste envejecimiento es un proceso químico que cambia la composición original y las propiedades del asfalto gradualmente, convirtiéndolo de un material elástico y flexible a uno rígido y quebradizo. Aplicando "Reclamite" se puede conservar el asfalto flexible y elástico por períodos más extensos y puede ser considerado verdaderamente flexible durante toda su vida de servicio. "Reclamite" es económico y práctico para superar los efectos de envejecimiento.

Desde 1960, cuando el producto fué introducido, muchos millones de metros cuadrados de pavimento asfáltico han sido tratados bajo la jurisdicción de agencias federales, estatales, municipales y privadas. Los resultados han sido extraordinarios. "Reclamite" no solo alarga la vida de los pavimentos existentes, sino también mantiene su calidad por más tiempo del que era posible anteriormente. Además es el único material conocido que efectiva y eficientemente restaura el asfalto a su condición original. Es un método que día a día se va imponiendo en razón de lo práctico que resulta su aplicación así como su relativo bajo costo.

"Reclamite", es el resultado de proyectos de investigación extensiva conducidos por laboratorios de "Golden Bear", para utilizar las propiedades termoplásticas inherentes del asfalto. Un pavimento asfáltico puede ser reconstruido con facilidad y economía mejorándolo con "Reclamite", lo que resulta en asombrosos dividendos en funcionamiento y costo durante toda la vida del pavimento.

El envejecimiento es un proceso gradual en las mezclas asfálticas para pavimentación, con un grado y velocidad de cambio, dependiendo en gran extensión a la composición química del asfalto original y al medio ambiente del sitio de aplicación. En el caso de mezclas de planta en caliente, el envejecimiento empieza desde antes de la --- construcción del pavimento, ya que durante la operación de mezclado, el asfalto se expone en delgadas partículas a altas temperaturas, el resultado es una pérdida de una significativa porción de la vida potencial de servicio de un asfalto desde antes-

que llegue al sitio de su aplicación.

La interpretación de las causas de envejecimiento van desde la suposición de que el endurecimiento y la fragilidad son un fenómeno de evaporación hasta explicaciones - basadas en la relación de la composición química del asfalto y al desenvolvimiento a largo plazo del asfalto en el camino.

La realidad es de que eventualmente al asfalto alcanza un estado quebradizo caracterizado por picaduras y desmoronamientos en la superficie, o en encogimiento y grietas quebradizas, o astillado, o una combinación, con deterioro eventual de pavimento. Es por tanto una ventaja para el usuario de asfalto tener a su disposición los medios para retardar y hacer reversible el proceso de envejecimiento.

La aplicación ligera de emulsión asfáltica, el sello de arena, el Slurry Seal, son los procedimientos usuales sugeridos para eliminar los síntomas del envejecimiento, pero ninguna de esas medidas afecta el proceso de envejecimiento en sí mismo. Son procedimientos de reparación diseñados para cubrir y no para corregir, con los resultados de que la causa básica del problema todavía permanece.

"Reclamite" en contraste con los materiales anteriores, está especialmente diseñado para rejuvenecer el asfalto en sí mismo y por lo tanto, contraatacar la causa del envejecimiento.

El rejuvenecimiento de pavimentos asfálticos mediante algunos agentes químicos es un método que día a día se va imponiendo en razón de lo práctico que resulta su aplicación así como su relativo bajo costo.

El producto denominado "Reclamite" es una emulsión especial de aceites de petróleo y resinas; es decir es una emulsión catiónica de maltenos color rosa, que devuelve las cualidades originales al asfalto, rejuveneciéndolo y proporcionando al concreto asfáltico, flexibilidad, ductilidad y una apariencia de nuevo. Este producto penetra en las mezclas asfálticas viejas transformándose en parte del ligante, revitalizándolas.

FUNCIONES DE "RECLAMITE"

Todas las propiedades de "Reclamite" están incorporadas al producto para eficiencia funcional óptima; propiedades tales como un color distintivo, transparencia, o fal-

ta de afinidad para las superficies tersas, tienen diseño muy especial. El color -- distintivo de "Reclamite" es un valioso indicador y ayuda para observar el grado de penetración; la transparencia y falta de adhesión a las superficies tersas o vi--- driadas ayuda a que la película de "Reclamite", si se deposita en marcas de tránsito no borra la pintura, ésta última propiedad facilita el arreglo de áreas de estaciona miento tan solo repintando si fuese necesario las rayas anteriores las cuales son vi sibles después de la aplicación de "Reclamite".

En la mayoría de los casos, como pintura reciente, no se hace necesario el repintar; todas éstas características son el resultado de consideraciones prácticas incorpora das a "Reclamite" ya que su objetivo primordial es rejuvenecer asfalto, éstos otros- beneficios hacen su aplicación más práctica.

Puede decirse que sus funciones son:

- Devolver su plasticidad al asfalto envejecido y endurecido.
- Restaurar los componentes perdidos de asfalto, y.
- Mejorar la cohesión de la mezcla y la adherencia del asfalto con el agregado.

Entre las propiedades que se le han determinado al producto referido pueden citarse- las siguientes:

- Viscosidad Saybolt-Furo1.....15 a 40 seg.
- Residuo.....60 a 65% mín.
- Miscibilidad (posibilidad de mezclarse).....No coágulos.
- Carga..... Positiva.
- Asfaltenos..... 0.75 max.

Puede tenerse muy presente que los efectos anteriormente referidos, ocurren por re- gla general en los 20 a 25 mm superiores de una carpeta que es "la parte de la carpe ta que más se óxida y envejece".

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

Son varios los procedimientos empleados para la aplicación de agentes rejuvenecedo- res y varían desde su simple rociado en mezclas en caliente recién tendidas, cuyo ob

jeto es restituir componentes perdidos debido al calentamiento, hasta su empleo como parte del procedimiento de sobre-encarpetado. El método más comunmente empleado es el que se describe a continuación:

- a). En primer lugar se debe determinar la dosificación que se debe emplear en la carpeta, la cual generalmente está comprendida, entre 0.45 a 0.90 litros por metro-cuadrado de una solución preparada con una parte de reclamite en 2 de agua. Para determinar la dosificación correcta, se ha acudido a relacionar éste con el porcentaje de vacíos llenos de aire o la permeabilidad que tenga la mezcla asfáltica. En otras ocasiones se ha acudido a efectuar en el laboratorio, pruebas de penetración en el residuo obtenido de especímenes con agente rejuvenecedor y -- sin él, empleando desde luego diferentes porcentajes de ésta y seleccionando como contenido más adecuado aquel que provoque en el residuo la penetración deseada, siempre y cuando la permeabilidad de la carpeta permita su aplicación. El procedimiento que ha resultado más práctico y en consecuencia el más usual, consiste en utilizar aquella dosificación que penetre totalmente en 15 a 20 minutos en la carpeta y en la zona de las rodadas, que es donde el pavimento se encuentra más denso. Generalmente la solución a aplicar se forma diluyendo una parte de agente rejuvenecedor en 2 de agua, pero se sabe de casos en donde la relación citada ha sido 1:10 hasta 1:4 cm casos muy especiales. Los fabricantes de estos productos aseguran que se puede emplear hasta agua de mar para obtener la solución de trabajo.
- b). Una vez definida la dosificación del agente, se debe proceder a la limpieza del pavimento a reparar, el cual deberá haber sido bacheado previamente.
- c). En seguida se procede al calentamiento de la superficie del pavimento. Para --- ello se aplica sobre ésta, una especie de horno, una de cuyas paredes es la carpeta. El calor se aplica mediante quemadores de gas, aunque se sabe de la aplicación de rayos infrarojos; se vigila que las llamas no sean aplicadas directamente a la mezcla asfáltica; la temperatura que debe alcanzar la mezcla asfáltica debe estar comprendida entre 110°C y 125°C en 25 mm de espesor, para ésto, generalmente el avance del equipo de calentamiento es del orden de 1.5 a 15 metros por minuto, dependiendo esta velocidad, obviamente, de la dureza y contenido de asfalto en la mezcla, así como de la temperatura ambiente. A veces pudiera resultar más efectivo el empleo de dos calentadores para alcanzar la temperatura -

deseada sobre todo en climas fríos.

- d). La siguiente etapa en el método clásico, consiste en el escarificado de la superficie calentada mediante líneas de pernos montadas en el mismo equipo de calentamiento con el objeto de aprovechar su peso. Estos pernos o uñas se encuentran - en forma traslapada para lograr un escarificado más efectivo y su montaje permite que, al encontrar dichos dispositivos un objeto duro, se produzca una especie de muelleo o resorteo que permita que se salve el obstáculo. Todo el sistema de escarificado está controlado por gatos hidráulicos. La profundidad de escarificado efectiva es del orden de 12 a 19 mms y depende de la temperatura del asfalto, su dureza, así como de la configuración de las uñas y la presión aplicada sobre éstas.
- e). La siguiente operación consista en restituir, en el pavimento escarificado, la geometría original mediante gusanos distribuidores o algún otro equipo que realice esta operación con eficiencia y de ser posible a bajo costo.
- f). A continuación se aplica una ligera compactación con un rodillo tandem de acero - de 8 a 10 toneladas y a toda rueda con el objeto de permitir el tránsito sobre - la superficie recientemente escarificada. Esta operación puede juzgarse como no necesaria si el programa de la obra considera más conveniente la aplicación de - una sobrecarpeta directamente sobre la superficie recién escarificada.
- g). Se aplica el riego del agente rejuvenecedor en la proporción adecuada empleando - para ello una petrolizadora tradicional. Durante el período de absorción y si - la superficie ha sido compactada, es recomendable rociar arena muy dura y angulosa, la cual proporciona una fricción aceptable y no interfiere con el proceso de absorción; sin embargo, no debe permitirse el tránsito antes de que transcurran - 30 minutos a partir de la aplicación del agente. Con toda seguridad, al otro -- día la arena ha sido removida o asimilada por la carpeta lo cual no es nocivo.
- h). La etapa final puede presentar variaciones, pudiendo éstas consistir en:
- Dejar a la superficie únicamente con el tratamiento del agente rejuvenecedor, - compactando el espesor tratado.

Esto se hace si estructuralmente no se requiera refuerzo y la superficie de ro-

damiento obtenida es adecuada.

- Aplicar un riego de asfalto rebajado a la superficie, cuando no se requiera re- fuerza estructural, si existe insuficiencia de éste en la carpeta original.
- Construcción de una sobrecarpeta de concreto asfáltico cuando se requiera re- fuerza estructural.

Finalmente, conviene decir que para evitar fracasos en este procedimiento es necesario que se fijen y respeten especificaciones en cuanto a:

- La preparación del pavimento a reparar como lo es la limpieza, señalización de obras de toma, bocas de tormentas, bacheo preliminar, etc.
- La temperatura mínima y forma de medirla.
- La profundidad que se deberá alcanzar en el escarificado y forma de medirla.
- El tipo y dosificación de agente rejuvenecedor.
- Tipo de sobrecarpeta y materiales a emplear.
- Formas de medición y pago.

APLICABILIDAD.

Este producto se aplica fácilmente con cualquier tipo de pipa, equipada con barra esparcidora. La proporción en que se recomienda aplicar el producto "Reclamite" es de dos partes del producto por una parte de agua fría mezcladas perfectamente. El fabricante del producto indica que incluso se puede utilizar agua de mar en la mezcla. Se recomienda no sobrepasar los siguientes proporcionamientos límites: Mínimo 1 a 1 y máximo 4 a 1 de producto y agua, respectivamente. La proporción a utilizar en un caso particular, dependerá de la pendiente del pavimento y de su grado de absorción. En pavimentos nuevos se recomienda aplicar el producto ya diluido, a razón de 0.23 a 0.35 lts/m²; si el pavimento no llega a absorber totalmente el límite mínimo de 0.23 lts/m², no es necesaria su aplicación.

El producto es de baja viscosidad, por lo que se puede emplear a cualquier temperatura superior a los 0°C, sin embargo, la temperatura ideal de aplicación es la de un -

clima templado y con pavimento seco. En pavimentos viejos se recomienda aplicar el producto, ya diluido, a razón de 0.45 a 0.95 lts/m². La necesidad de esta aplicación se hace patente cuando se observa la superficie del pavimento árido, oxidada, con desintegraciones y/o con grietas de contracción. Estos síntomas de envejecimiento pueden aparecer entre los 2 y los 10 años después de su construcción.

- Otro posible empleo del producto "reclamite" es de que puede ser utilizado para sellar grietas con anchos menores de 6 mm, con las ventajas de que no necesitan ser limpiadas previamente, que devuelve flexibilidad a la carpeta; que se evitan los astillamientos y no quedan parches ni lunares.
- En mantenimiento preventivo, "reclamite" se aplica a un pavimento asfáltico, tan pronto como empiece a mostrar señales de envejecimiento o fragilidad. Los síntomas son: aridez, oxidación, desgranamiento, o grietas por contracción, generalmente éstas condiciones se desarrollan en un período de dos a diez años después de su construcción, dependiendo de factores tales como diseño de la mezcla, durabilidad del asfalto, permeabilidad del pavimento, tráfico y condiciones climatológicas; el uso de "reclamite" en éstos casos replastecerá al asfalto antes de la deterioración del pavimento. El requisito principal para un tratamiento eficiente es que el pavimento tenga suficiente permeabilidad para permitir al agente rejuvenecedor el penetrar al pavimento; ya que los pavimentos asfálticos envejecen de la superficie hacia abajo y la permeabilidad usualmente aumenta con el tiempo, un tratamiento de absorción es recomendable, siendo esta actividad autoregurable, debido a que la aplicación de "reclamite" se vuelve muy simple; ya que el tratamiento con las cantidades requeridas consiste esencialmente en aplicar únicamente la cantidad que sea absorbida por el pavimento.

Excepciones a éste principio autoregulado, son los pavimentos asfálticos que han recibido tratamientos superficiales que inhiben la absorción y pavimentos que han desarrollado un "vidriado", ya sea por alta densidad de tráfico, o por goteado de grasa, en dichos casos, escarificación raspado o quemado para remover el sello en la superficie, se requiere para permitir penetración.

- En construcción nueva, el objetivo de "reclamite" es el de asegurar la plasticidad y mejorar las características de duración de la mezcla recién aplicada, además de dar sello para reducir permeabilidad; "reclamite" aplicado después de que-

TABLA III.1

USO DEL RECLAMITE EN PAVIMENTOS ASFALTICOS.

METODO	FUNCION	TIEMPO DE APLICACION
Calentado y escarificado	1.- Rejuvenecer el asfalto 2.- Mejor liga con la sobrecarpeta 3.- Aumentar la durabilidad.	Inmediatamente después del <u>escarificado</u> .
Riegos de Sello	1.- Sello profundo 2.- Restituir propiedades al asfalto 3.- Aumentar la durabilidad.	Tan pronto como sea práctico.
Mantenimiento Preventivo	1.- Rejuvenecer asfalto envejecido 2.- Evitar desprendimientos 3.- Reducir el agrietamiento por <u>con</u> tracción. 4.- Evitar el descascaramiento en grietas. 5.- Disminuir la permeabilidad 6.- Aumentar la durabilidad	Cuando aparezcan los primeros síntomas de envejecimiento.
Revitalización de Mezclas	1.- Facilitar el escarificado y mezclado 2.- Plastificar al asfalto 3.- Mejorar la durabilidad	Cuando se empiece a notar que la mezcla este intemperizada.
Planchado mediante el <u>calentado</u> de la carpeta.	1.- Sellar la superficie 2.- Restaurar las propiedades perdidas durante el calentamiento. 3.- Mejorar la durabilidad.	Después del calentamiento.
Impregnación	1.- Rejuvenecer al asfalto original 2.- Mejorar la liga entre el pavimento original y la sobrecarpeta.	Dos semanas antes del Riego de liga.

la mezcla ha sido "tendida y compactada", sirve para dos propósitos: penetra en la superficie y se combina con el asfalto para restaurar la durabilidad perdida en la operación de mezclado en la planta y hace que el asfalto se expanda y tape los poros, sellando así el pavimento.

Durante la construcción de un pavimento, empleando capas de mezcla, una rociada ligera de "Reclamite" entre estas, nos sirve como una excelente liga, al funcionar con el asfalto en ambos lados, nos da una junta positiva entre las capas de asfalto.

- En mantenimiento correctivo, el uso de "Reclamite" en combinación con otros materiales o su aplicación combinada con otros procedimientos, al reparar un pavimento desgranado o muy agrietado, pero no dañado severamente, usualmente es suficiente el raspar o soltar la superficie y rociar y compactar el material suelto. En algunos casos es deseable el agregar una mezcla de arena y asfalto a la superficie suelta para dar un balance apropiado de agregado y asfalto. Si el pavimento existente requiere una capa de sello, o una capa delgada de concreto asfáltico, "Reclamite" se aplica para rejuvenecer al asfalto y dar una mejor liga con la capa. "Reclamite" no debe considerarse nunca y ser usado como material para liga en la aplicación de una nueva capa sobre un pavimento viejo.
- En Reconstrucción, "Reclamite" puede ser usado como una capa de impregnación para replastecer las superficies pavimentadas con asfalto antes de recubrir las o como ayuda para desmenuzar y retrabajar un pavimento asfáltico viejo o intemperizado, al ablandar la superficie y replastecer el asfalto en la mezcla; cuando se usa suficiente "Reclamite" al retrabajar un pavimento viejo, la mezcla se vuelve a usar como material de superficie, como una mezcla nueva.

En la tabla III.1.- Se sintetiza la aplicación de este sistema pudiéndose citar entre las ventajas inherentes al método, las siguientes:

- Asegurar una mejor liga entre una carpeta antigua y la sobrecarpeta.
- Se rejuvenecen de 12 a 19 mm de carpeta antigua. Esto ha hecho que el fabricante proclame que se gana aproximadamente 1" de espesor adicional.
- Se eliminan las fisuras y aún las grietas considerables o, cuando menos se incrementa notablemente el período de su reflejo en la nueva sobre carpeta,

- Se evitan o reducen los desprendimientos por bajo contenido de asfalto, ya sea -- porque el agregado es muy absorbente o porque originalmente se empleó una dosificación baja de asfalto.
- Se logran pesos volumétricos más altos cuando las bajas temperaturas en la mezcla lo impiden.

No obstante lo anterior, la prudencia aconseja que también se tomen en cuenta las limitaciones que estos procedimientos tienen, ya que, porque no decirlo, este sistema no es una panacea que resuelva todos los problemas de mantenimiento de pavimentos pues existen limitaciones las cuales las más importantes son las siguientes:

- No se debe aplicar este sistema si la superficie a tratar contiene solventes, combustibles, grasas o aceites.
- Estos métodos no se deben aplicar en carpetas con exceso de asfalto o inestabilidad.
- Si la textura de la carpeta es muy cerrada, el agente rejuvenecedor no penetrará. Se ha fijado que no se empleen estos procedimientos si en 15 minutos no penetran 220 c.c. Tampoco se deben usar si la mezcla tiene menos de 5% de vacíos llenos de aire.
- Si existe una falla estructural, la sola aplicación del agente y una delgada sobrecarpeta puede no resolver el problema, tal es el caso de fallas por drenaje, fatiga, tránsito muy pesado, etc., en cuyo caso la solución es muy distinta.
- En el caso de que se tengan en el pavimento original problemas de agregados friables, bajo valor de desgaste Los Angeles, partículas no equidimensionales, etc., la aplicación del agente no tiene nada que hacer.
- No se debe tampoco utilizar en el caso de que existan riegos de sello recientes.
- La carpeta antigua debe tener por lo menos un espesor superior a los 7.5 cm o 5.0 cm, si se trata de un concreto asfáltico sobre concreto hidráulico.

Ahora bien, pueden existir condiciones que hagan que se modifiquen los métodos --

tradicionales de construcción entre los que pueden citarse los siguientes:

- En donde haya poco tránsito y solamente se presenten fisuras en la carpeta, puede aplicarse el agente rejuvenecedor después de 2 semanas pero antes de 2 meses y, - aplicar un rodillo neumático.
- En pavimentos con fisuras de contracción se recomienda calentar, aplicar el agente, compactar y colocar arena.
- En pavimentos nuevos elaborados con mezclas asfálticas densas en caliente, se puede aplicar el agente con el objeto de restituir los componentes perdidos o alterados durante el calentamiento.
- En pavimentos seriamente dañados, podría aplicarse el agente revitalizador, escarificarse con arados, de discos, remover el material, adicionar agregado, asfalto y más agentes según se juzgue conveniente para lograr una buena mezcla que posteriormente se tiende y compacta.
- En sellado de grandes grietas se ha llegado a aplicar el agente rejuvenecedor sin diluir en la grieta y un poco de arena en la superficie.

La literatura existente reporta que no es raro que aplicando los procedimientos anteriores se duplique la vida de una carpeta o pavimento.

Debe tenerse presente que algunas veces existen riegos de sello antiguo sobre una carpeta lógicamente más antigua o aún de la misma edad que el sello, cosa muy común en nuestro medio. En este caso, al aplicar el calor puede formarse un colchón de disipación de temperatura entre ambas capas, lo que puede hacer necesario pasar hasta dos veces más con el equipo para lograr una buena escarificación.

Es muy importante no tratar de escarificar más allá de lo que el gradiente de temperatura lo permita para no destrozar las capas inferiores, en cuyo caso podría requerirse una reparación difícil y costosa. Asimismo, es conveniente, no aplicar estos sistemas en tiempo frío o con mucho viento.

Finalmente, es recomendable no confiar totalmente en pruebas de laboratorio, sino que se deben complementar con observaciones de campo y es conveniente que las operaciones se realicen en tiempo caluroso y seco.

III.4. SISTEMAS DE RECICLADO.

Uno de los problemas más difíciles de mantenimiento de pavimentos es la rehabilitación de los muy viejos. Estos que van en edad de quince a cuarenta años, son muy duros y quebradizos, con valores de penetración para el asfalto generalmente menos de diez o menos de cinco, algunos más. Típicos de dichos pavimentos son calles en ciudades con mucho tráfico y viejos aeropuertos. El encogimiento y desmoronamiento en las grietas (algunas de 1/2 a 3/4 de pulgadas de ancho) ocasiona un recorrido de mala calidad, además de verse mal. La acumulación y el astillado de sus orillas -- conduce a deterioro progresivo del pavimento, el agua penetrará. Es imperativo que la rehabilitación de tales pavimentos se inicie mientras sean sólidos estructuralmente.

El sistema antiguo para rehabilitar tales pavimentos era la aplicación de un sello, o una capa de concreto asfáltico o el reemplazar el total del pavimento; el costo del reemplazo total es usualmente mayor que el valor recibido. Los Sellos y sobrecarpetas no son satisfactorios porque rápidamente reflejan las grietas que están -- abajo y vuelve la apariencia de mala calidad; además, las sobrecarpetas no son deseables por requisitos de drenaje y pendiente.

Debido a la cada vez más crítica escasez de materiales para carpetas, así como de energéticos, el reciclado de los pavimentos asfálticos ha resultado ser un método muy útil en la actualidad, ya sea realizado este en plantas móviles o fijas. El reciclado, ofrece un nuevo enfoque a la rehabilitación de éste tipo de pavimentos, obviamente, el rejuvenecerlos tomará más rejuvenecedor y el trabajarlos requiere procedimientos y equipos especiales. En este capítulo se tratarán los trabajos conjuntos que realizan los calentadores con los agentes rejuvenecedores.

RECLAMITE EN COMBINACION CON EL SISTEMA DE RECICLADO.

El reclamite nos da los ingredientes químicos necesarios para reconfortar el asfalto envejecido y componentes adicionales para aumentar el contenido total de asfalto en la mezcla. En combinación con los calentadores su función específica es:

1. Restaurar plasticidad al asfalto envejecido después de que el concreto asfáltico denso y duro ha sido temporalmente reblandecido por calor, desmenuzado por medios mecánicos y por lo tanto receptible al tratamiento con "reclamite".

2. Aumentar la cantidad total de liga requerida para cementar el agregado al no rellenar únicamente los componentes perdidos durante el envejecimiento, sino también proporcionar la cantidad adicional de material requerido para la revitalización del asfalto.
3. Mejorar la adhesión de asfalto y agregados y la cohesión de la mezcla, facilitando el recompactar el material suelto.
4. Dar adherencia necesaria para iniciar la liga del pavimento recompactado con cualquier capa que se coloque sobre aquella.

Entre los factores que se deben tomar en cuenta para estudiar la aplicabilidad del reciclado de carpetas pueden enumerarse los siguientes:

- 1o. Estado del pavimento actual.
- 2o. Efectos de la sobrecarpeta en la rasante.
- 3o. Costos de agregado adicional, asfalto adicional, remoción, etc.

Cabe mencionar que el empleo de la mezcla en el reciclado, sin adición de agentes, agregados y/o asfalto, ha dado malos resultados.

Entre los datos necesarios para el diseño de una mezcla reciclada se necesita contar con la siguiente información:

- Espesor de la carpeta actual.
- Espesor necesario de la nueva carpeta.
- Costo total del material recuperado.
- Costo del material adicional.
- Granulometría del material original, producido por el rebajado y modificado por el transporte y elaboración de la mezcla.
- Contenido y dureza del asfalto a reciclar.
- Especificaciones.

ALGUNOS PROBLEMAS DE DISEÑO DE LAS SUPERFICIES RECICLADAS.

En los pavimentos no hay absoluta uniformidad, particularmente en los pavimentos recicciados, que es donde ahí radica el problema central para el diseño de una capa superficial.

La siguiente lista parcial de las variantes que afectan una carpeta ilustra estos - problemas.

1. La granulometría del agregado de la carpeta puede variar desde zonas gruesas a zonas finas.
2. El contenido de asfalto varía en relación con el área superficial de los agregados reciclados.
3. Las características de compactación de las mezclas o superficies recicladas pueden variar resultando diferentes condiciones estructurales.
4. Las superficies pueden desfigurarse con el proceso de reciclamiento afectando - por ejemplo el rayado longitudinal.
5. Las técnicas de cortado (marcado, profundidad, velocidad, etc.), pueden causar- peligrosos desprendimientos o corrimientos.
6. La rugosidad de la textura puede ocasionar niveles de sonido objetables.
7. Las operaciones de cortado en las sobrecarpetas de poco espesor, las dejan a estas tan delgadas que quedan sujetas a desprendimientos y laminación.
8. Los vacíos superficiales se abren exponiendo por lo tanto, la estructura a los- elementos.
9. En algunas situaciones el resurcamiento puede acelerarse, la retención del agua incrementarse y estorbarse las maniobras de remoción de nieve y hielo.
10. En las operaciones de nivelación, particularmente en el desbastado de frío o en caliente, pueden ocurrir severas variaciones en la macrotextura y por lo tanto- en el derrapamiento.

El problema de diseño ahora aparece claro. Diseñar una superficie económica para - una carpeta reciclada de textura variable.

III.4.1. SISTEMA DE RECICLADO EN EL LUGAR.

Este proceso de reciclado en el lugar para pavimentos flexibles es un procedimiento que se ha estandarizado y que consiste en el calentamiento-escarificación-retenido, que prácticamente duplica la vida útil del pavimento. Dicho procedimiento consiste en lo siguiente (ver fig. III.2.).

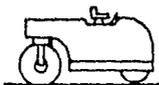
1. Se barre la superficie a tratar y se calienta la parte superior de la carpeta mediante sopletes acoplados a una plataforma móvil. Los sopletes se regulan a una temperatura variable (de 100 a 130° centígrados); dependiendo de la profundidad a la que se requiera efectuar la escarificación, de las condiciones de envejecimiento del asfalto y de sus propiedades termoplásticas. Por consiguiente el avance de la plataforma móvil varía de 1.5 a 15 m/min. Debe evitarse calcinar el asfalto, lo que se advierte al producirse espesas nubes de humo.
2. Se procede inmediatamente a la escarificación de la superficie a una profundidad de 2 a 4 cm., mediante varillas y/o tornillos montados al chasis de la plataforma móvil y evitando fracturar los agregados.
3. Se distribuye el material escarificado y se compacta con rodillo tipo tandem de 8 a 10 toneladas. Esta fase intermedia puede suprimirse como se indica en la figura III.1.b, pero sin la ventaja de permitir la circulación del tránsito inmediatamente.
4. Se aplica un riego de agente rejuvenecedor (reclamite concentrado de 0.6 a 1.2 - lts./m²), inmediatamente después de la compactación (ver fig. III.1.a.). Si fué llevado al paso 3, se puede permitir la circulación del tránsito inmediatamente después de la penetración del ajuste rejuvenecedor.
5. Se coloca una capa de pavimento sobre el agente rejuvenecedor sin liga, que puede ser de carpeta delgada de graduación abierta o cerrada (2 a 3 cm) o una sobre carpeta con el espesor, la textura y tamaños de agregados apropiados, cuando por requerimientos estructurales del pavimento tratado sea necesario.
6. Finalmente se procede a la compactación normal, con compactadores neumáticos autpropulsados, de la superficie.

PROCEDIMIENTO DE RECICLADO

A).- PROCEDIMIENTO NORMAL



CALENTAMIENTO-ESCARIFICACION



COMPACTACION INTERMEDIA



CAMION ESPARCIDOR DEL "RECLAMITE"



REENCARPETADO



COMPACTACION FINAL

SENTIDO DEL AVANCE

B).- PROCEDIMIENTO ALTERNO



CALENTAMIENTO - ESCARIFICACION



CAMION ESPARCIDOR DEL "RECLAMITE"



REENCARPETADO



COMPACTACION

FIG. III. 2

Es de gran importancia recalcar que este método no es aplicable cuando la falla del pavimento se deba a las capas subyacentes a la carpeta.

III.4.2. SISTEMA DE RECICLADO EN PLANTA.

Este método se ha desarrollado últimamente con ventajas sobre todo en zonas donde se tenía la costumbre de construir sobrecarpetas sobre las carpetas, elevando el nivel del pavimento con los consiguientes problemas y consistente en las siguientes tres operaciones fundamentales:

El primer paso consiste en cortar el pavimento en el espesor necesario con una cortadora y disgregadora de carpeta, la cual carga la mezcla en camiones para trasladarla a la planta en donde se lleva a cabo el reciclado.

El segundo paso consiste en reciclar la mezcla en planta estacionaria, adicionándole previo estudio de laboratorio el agente rejuvenecedor (reclamite) y el asfalto que se requiera para volver a enviar la mezcla al campo (ver fig. III.2.).

El tercer paso consiste en tender con una carreteadora la mezcla rehabilitada y compactarla.

Este procedimiento tiene la ventaja que se puede reparar unicamente el carril o carriles dañados y se puede modificar la rasante a voluntad.

Un escarificado con sistemas tradicionales tiene la desventaja de que se puede dañar a la base, lo cual a toda luz es un inconveniente, además de los problemas que se causan al tránsito al realizar este tipo de trabajo, que de por si es costoso. Una buena solución para la remoción de la carpeta es el empleo de las máquinas rebajadoras de las que ya se habló (ver inciso III.2.).

En las plantas de reciclado se ha observado que a mayor producción se tiene mayor contaminación, sin embargo, a la fecha, ya se han desarrollado plantas y técnicas en las que se cuida mucho el aspecto del calentamiento del asfalto de la mezcla antigua, de tal manera que las llamas no lo toquen y por otra parte, se han instalado dispositivos que eliminan en gran parte el problema de la contaminación.

PLANTA DE RECICLADO

El recuperar y reprocesar los materiales de los pavimentos asfálticos, a tomado un-

gran interés para reducir los costos de rehabilitación de calles y carreteras. El reciclado (recuperar y reusar) de valioso material de pavimentos asfálticos, a dado como resultado, ahorros de arriba del 25% en el costo de producción de mezclas asfálticas para rehabilitación de pavimentos. El método más común de procesamiento para restaurar las propiedades en los materiales asfálticos, es el calentamiento y mezclado de esos materiales en una planta central de mezclado en caliente.

En 1974, aparecieron en el mercado, una gran variedad de procesos en caliente y maquinaria. Algunos de los primeros trabajos, involucraron la modificación de un tambor mezclador a una unidad de calentamiento indirecto y mezclado. La combustión de gases era pasado a través de conductos o chimeneas localizadas dentro del tambor giratorio, debido al aislamiento necesario para el asfalto que cubría al material durante todo el proceso. La aceptación del reciclado fue muy lenta, sin embargo, las ineficiencias inherentes en el calentamiento indirecto causaron baja productividad y alto consumo de combustible, haciendo el proceso antieconómico en contraposición con el ahorro que se tenía en material.

Por lo anterior, se limitaron los primeros trabajos y virtualmente la totalidad de ellos a sido realizado con plantas mezcladoras convencionales modificadas para cubrir los requerimientos de calentamiento a que obliga la presencia del asfalto en el material recuperado.

EQUIPO DE RECICLADO

En la búsqueda de lograr una mayor economía dentro del reciclado, se logró el concepto de "doble sección" de un tambor térmico, que facilita y resuelve grandemente los problemas mediante la división, dentro del tambor, en una zona de "Radiación" y otra de "Convección", haciendo posible el calentar agregado virgen para revolverlo con material de pavimentos bituminosos recuperados, y así producir mezclas a bajo costo.(Fig. III.3.).

La primera sección de el tambor, zona de Radiación, es similar en diseño a un secador convencional de agregado. El diseño de las aspas, colocadas a todo lo largo del tambor, maximiza la transferencia de calor y absorción de la energía de radiación, proveniente de la flama del quemador. Es así que, el agregado virgen es rápidamente calentado, perdiendo su humedad cuando el material fluye de la zona de radiación y penetra en la zona de convección del tambor. Existe un escudo de ra-

**TAMBOR RECICLADOR DE MEZCLAS
(DOBLE ZONA)**

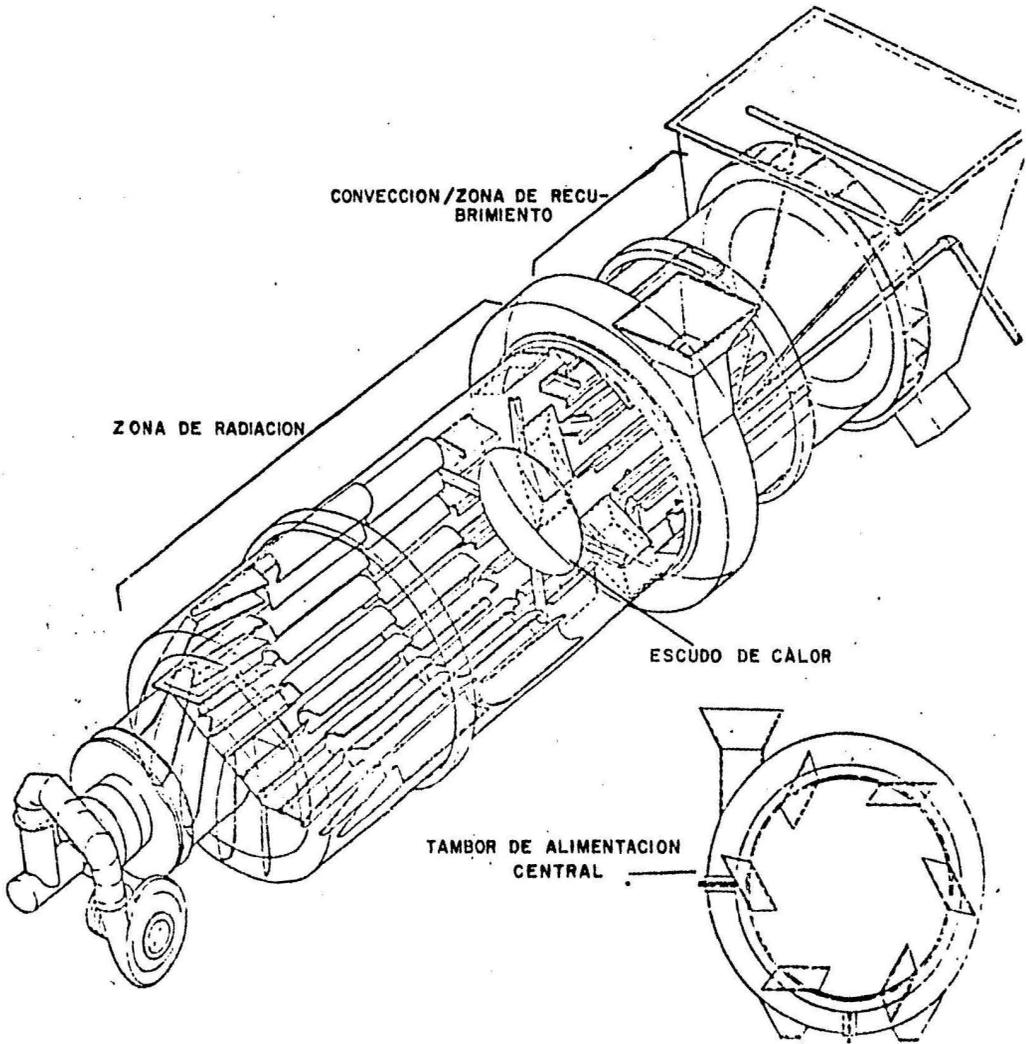


FIG. III. 3.

diación, que protege a la zona de convección de la intensa transferencia desde la zona de radiación. En la zona de convección el material recuperado es calentado por convección mientras es agitado en un ambiente de calor. En este punto, el asfalto es adicionado el agregado, mezclado y calentado hasta llevarlo a la temperatura de seada de descarga. Las áspas en la zona de convección son de un diseño tal, que permite un mejor manejo de la mezcla en el tambor mezclador.

Circunda al tambor térmico, un conducto por el cual se alimenta al mismo de material recuperado, quedando la entrada, justamente detrás del escudo de radiación. El conducto alimentador, es actualmente una serie de pequeños conductos que están conectados al interior del tambor y giran juntamente con él. Su diseño y espaciamiento uniformizan la alimentación del material al tambor, sin necesidad de motores, controles o manejo adicional.

Los conductos, los cuales están también diseñados para controlar un ambiente de aire frío, cuando ello es necesario, a fin de incrementar la reducción de combustión de gas, permanecen en su lugar, cuando el tambor térmico está produciendo mezcla convencional.

El equipo de reciclado incluye un quemador secundario de aire controlado, el cual opera con un mínimo de exceso de aire del común usado por el quemador. Mediante el exceso de aire, el quemador produce eficiencia de calor en la zona de radiación y reduce la potencia necesaria para llevar a cabo la expulsión en polvo.

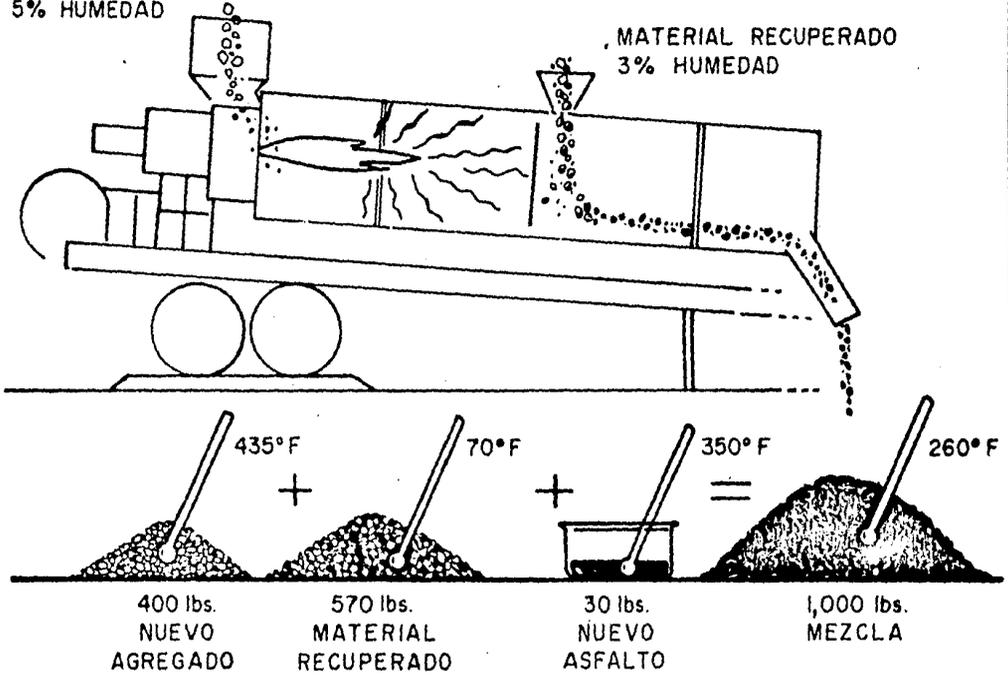
VENTAJAS DEL TAMBOR DE ALIMENTACION CENTRAL

- a). El material recuperado entra directamente a la zona de convección, sin necesidad de pasar por la de radiación (Fig. III.4.).
- b). No se necesitan motores, manejos y controles adicionales para la alimentación.
- c). Es admitida la entrada de aire frío a la zona de convección con menor combustible de gas.
- d). Es posible hacer mezclas convencionales sin pérdidas de capacidad de producción.
- e). No se necesita realizar ningún tipo de cambio en los equipos para hacer mezclas convencionales.

CALENTAMIENTO DE LOS MATERIALES RECUPERADOS

AGREGADO VIRGEN
5% HUMEDAD

MATERIAL RECUPERADO
3% HUMEDAD



La forma más conveniente para
RECICLAR material asfáltico -
recuperado, es mezclándolo con
agregado nuevo.

FIG. III.4

Adicional al tambor térmico, se tiene una tolva para material recuperado, de gran tamaño y de alta capacidad de alimentación; una banda transportadora con controles especiales y una torre con un conducto cargador y controles, como equipo complementario para reciclar material recuperado en una planta de hornadas (Fig. III.5.).

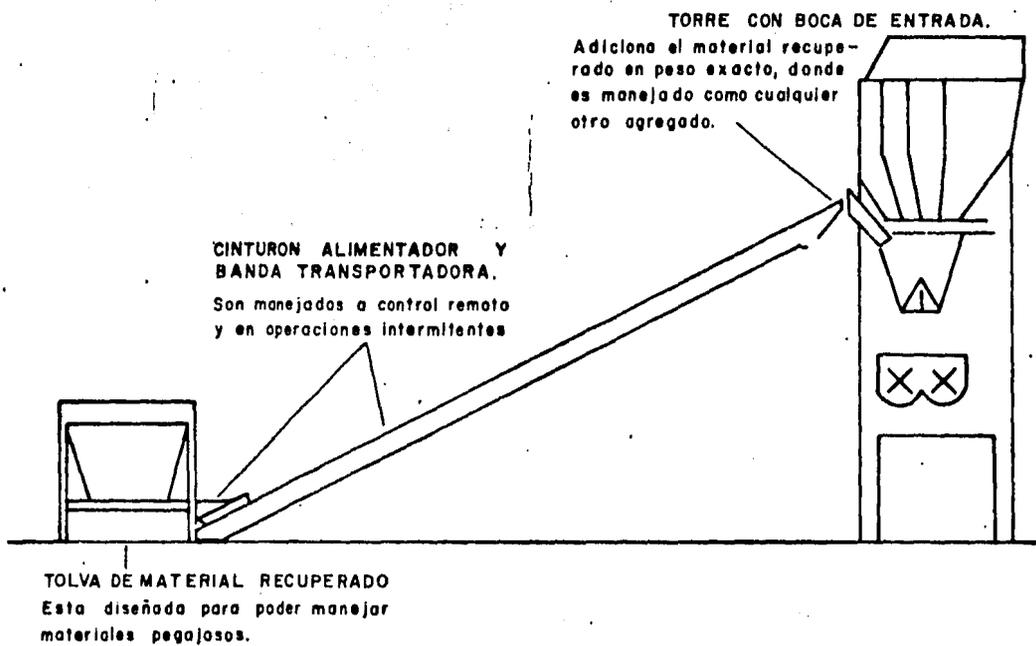
La tolva y la banda transportadora son de muy alta capacidad, con el fin de asegurar que el material recuperado será adicionado de acuerdo al peso esperado, sin necesidad de incrementar el ciclo de elaboración de la mezcla. Se usan controles especiales, para operaciones intermitentes y bajo diferentes condiciones de carga, -- sin embargo la operación de ambos, tolva y banda transportadora, es controlada por el sistema de pesada automática, el cual adiciona el material recuperado, en el peso especificado, como cualquier otro agregado.

La tolva para material recuperado, tiene como características, el poseer paredes inclinadas y esquinas redondeadas con el fin de minimisar la formación de costras de material pegajoso, y a la vez promover un flujo continuo para la alimentación hacia la banda; además, un ensachamiento en su parte superior, asegura una fácil carga de la misma, y reduce los derramamientos del material.

Así pues, podemos decir que el ciclo o la forma de reciclar material bituminoso recuperado, en un tambor mezclador, es mezclando material recuperado con un porcentaje de agregado nuevo. El agregado virgen puede ser calentado a altas temperaturas, en la zona de radiación, debido a que no existe producto asfáltico presente. La temperatura a la cual el material virgen es super calentado, depende de los siguientes factores:

- a). Porcentaje de material recuperado, por ser adicionado.
- b). Temperatura del almacén de material recuperado.
- c). Contenido de humedad del material recuperado, y
- d). Temperatura deseada de la mezcla final.

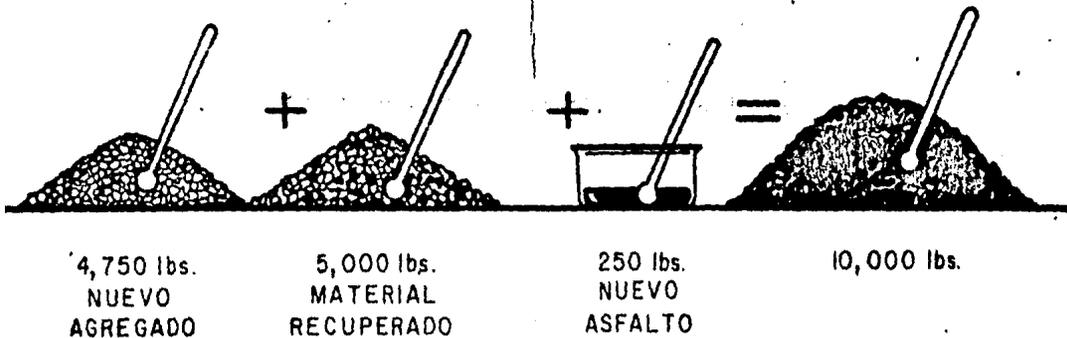
Ya una vez caliente el material virgen, será adicionado el material de recuperación, cerca del centro del tambor y justamente detras del escudo de radiación, alimentando conjuntamente el porcentaje de asfalto nuevo. Ambas condiciones, desde el calentamiento del agregado hasta la convección del calor incrementa la temperatura de la --



EQUIPO COMPLEMENTARIO DE RECICLADO

FIG. III. 5.

mezcla hasta la temperatura de descarga deseada, esto es a través del mezclado y recubrimiento de el con el asfalto. Así pués, el producto final que se obtiene, es una mezcla asfáltica reciclada. (Fig. III.6.).



Una pesada de 10,000 lbs de asfalto a 260°F conteniendo 5% de asfalto nuevo, y más del 50% de material recuperado, a una temperatura de 70° F y con un contenido de humedad del 1%, puede ser mezclado como se muestra en esta figura.

FIG. III.6.

CAPITULO V
CONCLUSIONES

Sabemos que el país actualmente posee un gran dinamismo en su desarrollo, lo cual exige que la realización de proyectos de obras viales cumplan ampliamente con la función para la cual son diseñadas, tomando gran importancia para ello, el mantenimiento y la rehabilitación que se les dá. Es por eso, que en un esfuerzo de dar a conocer un nuevo proceso, en el que se nos ofrece la oportunidad de utilizar un material, que en la naturaleza es clasificado como "no renovable", y que hasta la fecha simplemente se desechaba, se realizó el presente trabajo, buscando a su vez -- darle una mayor difusión, por considerar que tiene grandes ventajas en su utilización.

Así pues, y ya una vez hecha la exposición del trabajo, podemos concluir que:

- a). El objetivo de la construcción de un pavimento, es proporcionar una superficie de rodamiento, que permita el tránsito vehicular dentro de tolerancias de velocidad, rugosidad de superficie y operación; para lo cual es indispensable tener un buen programa de mantenimiento del mismo.
- b). Actualmente existe una gran variedad de métodos de diseño, que se utilizan para determinar los espesores de las diferentes capas de un pavimento; sin embargo, dichos métodos distan de ser satisfactorios, y obligan a un mantenimiento continuo.
- c). Existe una gran cantidad de pavimentos actualmente, que por falta de un buen control de calidad o un mal diseño de mezcla en la elaboración de la carpeta asfáltica, presentan fallas de índice de servicio, pero no estructurales; las cuales unicamente requieren de rehabilitación en la carpeta, para poder seguir trabajando en óptimas condiciones.
- d). En nuestro país, el uso de la sobrecarpeta se usa indiscriminadamente como --- práctica común para todo tipo de rehabilitación, sin realizar previamente un análisis del alto costo económico que ello representa, sumando esto a la poca o nula solución que obtenemos a nuestro problema.
- e). Tanto los Agentes Rejuvenecedores como el Reciclado de mezclas asfálticas nos abren las puertas a nuevas técnicas, que si bien no son las mejores, si nos -- ofrecen una alternativa más óptima a nuestro problema de rehabilitación, de modo de obtener resultados más confiables en tiempos reducidos y con costos más-

bajos.

f). En la actualidad, la experiencia que poseemos de estos sistemas se puede considerar como escasa, sin embargo el incremento de kilometros de carreteras, tratadas ya sea con agentes rejuvenecedores o reciclado, va en aumento cada día, y creemos que, lo que ahora vemos como una nueva técnica, muy pronto lo veremos como uso común dentro del área de rehabilitación de pavimentos asfálticos.

REFERENCIAS

1. La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas. Alfonso Rico y Emilio del Castillo.
Editorial LIMUSA, S.A.
2. Mecánica de Suelos. Tomo II. Juárez Badillo E. y Rico A.
Editorial LIMUSA, S.A. - 1973
3. Principles of Pavement Design. Yoder E. H.
John Wiley and Sons, Inc. - 1967
4. Instructivo para Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras.
Santiago Corro, Roberto Magallanes, Guillermo Prado.
Instituto de Ingeniería UNAM - 1981.

BIBLIOGRAFIA

1. Diseño y Construcción de Pavimentos
Centro de Educación Continua UNAM - 1979
2. Especificaciones Generales de Construcción
Secretaría de Obras Públicas - 1971
3. Apuntes de Pavimentos Asfálticos
Ing. Fernando Loayza - 1955
4. Manual del Asfalto
The Asphalt Institute - 1967
5. El Deflectógrafo Benkelman-colas
Secretaría de Obras Públicas - 1967
6. VII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos - 1974
7. Mantenimiento de Pavimentos - Trad, Ing. Rafael A. Limón Limón,
Reciclados y Pavimentos, S. A.

8. Manual de Instrucciones del Reclamite
Witco Chemical
9. Folletos Ilustrativos
CMI Corporación
10. Rebajado de Pavimentos
CMI Corporación - 1979
11. Apuntes de Sistemas de Reciclado para Pavimentos Recuperados
Barber - Greene Company - 1979.