



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



“MÉTODOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

RUFINO MARIO MARCHAN MORENO

MÉXICO, DF.

2005



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO



DEPENDENCIA: OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

ZACATENCO D.F.

NÚM. DE OFICIO: SAC. EP.- 067- II - 2005

MÉXICO DF; a 24 de Febrero de 2005

ASUNTO: Se comunica tema de tesis

C: Rufino Mario Marchan Moreno
Pasante de la carrera de Ingeniería civil.
P r e s e n t e.

Por este conducto me permito informar a usted que el ING. ISMAEL ESQUIVEL TAVARES, ha sido designado Asesor en la realización de su Tesis Profesional, misma que deberá desarrollar en un término no mayor de un año a partir de la fecha del presente oficio conforme al índice siguiente.

“METODOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS”

INTRODUCCIÓN

- I .- PAVIMENTOS.**
- II.- PRUEBAS PARA CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE DE PAVIMENTOS.**
- III.- MÉTODOS DE DISEÑO.**
- IV.- FALLAS EN PAVIMENTOS.**
- V.- MÉTODOS MÁS USUALES EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.**
- VI.- REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS POR MEDIO DE AGENTES REJUVENECEDORES Y RECICLADO.**
- CONCLUSIONES.**
- BIBLIOGRAFÍA.**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



UNIDAD ZACATENCO

Se hace de su conocimiento que al finalizar su trabajo de Tesis, el asesor deberá firmar de conformidad antes de mandarlo a imprimir esto con el objeto de que salga correcto.

A T E N T A M E N T E
“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”

ING. DEMETRIO GALÍNDEZ LÓPEZ
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO**



México, D.F., a 23 de Febrero de 2006

**AL C. DIRECTOR DE LA ESCUELA SUPERIOR
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, UNIDAD
ZACATENCO.
P R E S E N T E**

Por la presente hacemos constar que el tema de Tesis Profesional presentado por el Pasante de la Carrera de Ingeniero Civil Sr. RUFINO MARIO MARCHAN MORENO con boleta N° 85310124, fue revisada y aprobada, considerándose ampliamente desarrollada, por lo tanto su Dirección puede señalar fecha de examen.

A T E N T A M E T E

ING. ISMAEL ESQUIVEL TAVARES

ING. VÍCTOR VENEGAS VILLEGAS

ING. JUAN CARLOS ESCALERA PADILLA



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO
DEPENDENCIA: OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Of. No. SAC. EP. 056 -I- 2006.

ASUNTO: SE FIJA JURADO DE TESIS

México, D.F., a 24 de enero de 2005.

C. RUFINO MARIO MARCHAN MORENO
PASANTE DE LA CARRERA
DE INGENIERO CIVIL.
P R E S E N T E.

Se informa a usted que después de haber sido revisado y aprobado su trabajo por el director de tesis se le autoriza presentar su Examen Profesional por dicha opción, con el tema "METODOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS", por lo que la Academia de Vías terrestres, ha tenido a bien asignarle el jurado que se indica a continuación.

ING. ISMAEL ESQUIVEL TAVARES
ING. VÍCTOR VENEGAS VILLEGAS
ING. JUAN CARLOS ESCALERA PADILLA

Sin otro particular, le saludo cordialmente.

ATENTAMENTE
"LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"

M en C. DEMETRIO GALÍNDEZ LÓPEZ
SÚBDIRECTOR ACADÉMICO
UNIDAD ZACATENCO

DGL/VMMR/im
249

A MIS PADRES:

JUVENCIO MARCHAN SALGADO

Y

CARMEN MORENO SALGADO

A QUIEN DOY GRACIAS POR DARME LA VIDA

Y POR TODO SU APOYO INCONDICIONAL.

A MI ESPOSA

**ARELI ÁLVAREZ BARRERA
LE DOY LAS GRACIAS POR TODO SU APOYO Y COMPRENSIÓN**

A MIS HIJOS

JAFET MARCHAN ÁLVAREZ

ARELI MARCHAN ÁLVAREZ

LUZ MARIA MARCHAN ÁLVAREZ

RUFINO MARCHAN ÁLVAREZ

**LES DESEO ÉXITO EN SUS ESTUDIOS Y QUE PRONTO
HAGAN REALIDAD SUS SUEÑOS.**

A MI ASESOR DE TESIS

**ING. ISMAEL ESQUIVEL TAVARES
GRACIAS POR SU APOYO PARA REALIZAR ESTE TRABAJO.**

AL ING. J. GUADALUPE CASTILLO GARCÍA

**UN GRAN AMIGO
GRACIAS POR TUS SABIOS CONSEJOS.**

A MIS AMIGOS

AL

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

METODOS DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS

ÍNDICE	PÁG.
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I.- pavimentos	12
1.1 Definiciones	12
1.2 Terracerías	13
1.3 Pavimento flexibles	16
1.4 Pavimentos rígidos	33
CAPITULO II.- Pruebas de control de calidad en la construcción de pavimentos	42
2.1 Preparación de la muestra	42
2.2 Granulometría	43
2.3 Límites de plasticidad y contracción	47
2.4 Pruebas de compactación	50
2.5 Viscosidad Saybolt- Furol	58
2.6 Prueba Marschall	60
2.7 Compresión sin confinar	63
2.8 porter modificada	66
2.9 Grado de compactación	70
2.10 Tensión por flexión	73
2-11 Prueba de placa	74
CAPITULO III.- Métodos de diseño	77
3.1 Métodos de diseño estructural para pavimentos flexibles	77
3.2 Métodos de diseño estructural para pavimentos rígidos	94
CAPITULO IV.- Fallas en pavimentos	101
4.1 Fallas en pavimentos flexibles	101
4.2 Fallas en pavimentos rígidos	108
4.3 Evaluación del comportamiento del pavimento en carreteras	112
4.4 Evaluación de la superficie de rodamiento	113
4.5 Evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos	114
CAPITULO V.- Métodos más usuales en la rehabilitación de pavimentos	118
5.1 Mantenimiento tradicional en pavimentos flexibles (bacheo)	118
5.2 Sellado de grietas y tratamientos superficiales	121
5.3 Construcción de carpetas de refuerzo	125

5.4	Rehabilitación en pavimentos rígidos	130
------------	---	------------

CAPITULO VI.- Rehabilitación de pavimentos asfálticos por medio de agentes Rejuvenecedores y reciclado		133
6.1	Sistema de rebajado	133
6.2	Agentes rejuvenecedores	136
6.3	Sistema de reciclado.	140
6.4	Reciclado en el lugar	141
6.5	Reciclado en planta	142
	Conclusiones	144
	Bibliografía	145

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre tuvo la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, éste se ha preocupado por proveerse de los medios que les proporcionen rapidez y comodidad creando el vehículo que lo transportara y el camino sobre el que circule, para el caso del transporte terrestre.

Por su aportación en las diversas actividades sociales, la ingeniería ocupa un lugar muy importante en el desarrollo económico de los pueblos, debido a lo cual ésta se ha superado con el fin de aplicar la mejor técnica en las diferentes ramas que la forman. Lo que ha permitido el desarrollo económico, político y social de las comunidades.

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

Las carreteras o caminos son una vía de comunicación que se emplean para el transporte y, serán los métodos para la rehabilitación de caminos el tema que nos ocupará.

Para fines de este trabajo se da una serie de definiciones de conceptos de mayor relevancia para un mejor entendimiento.

Se definirá camino, carretera u obra vial al conjunto de instalaciones y construcciones efectuadas para permitir el fácil, comodo y seguro tránsito de vehículos automotores, siendo el pavimento la superestructura del camino.

En este trabajo se dará énfasis a los pavimentos asfálticos o flexibles, ya que la gran mayoría de caminos que conforman la Red Nacional del país son de este tipo y además, el período de diseño de un pavimento flexible es menor que el de un pavimento rígido y por lo tanto requiere mayor conservación y reconstrucción.

De aquí se desprende la gran importancia que juega el buen estado que debe guardar las redes carreteras de todo el 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. De entre todas ellas, y por considerarse como la más sobresaliente se hará 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.

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. También se mencionan todas las formas y métodos de que actualmente disponen los

ingenieros de 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.

De manera clara y sencilla se explica en este trabajo el procedimiento de rehabilitación en pavimentos flexibles y rígidos aplicando las pruebas mínimas necesarias de laboratorio, para conocer la calidad de los materiales que serán utilizados en terracerías, sub-base y base.

Las pruebas nos determinan las características de los materiales y elementos estructurales que se emplean en la construcción de carreteras.

La importancia de realizarlas es para asegurarnos de que cumplan con la calidad establecida en las normas y decidir si se aceptan o rechazan, debiendo cumplir con las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Iniciamos este trabajo dando algunas definiciones que nos servirán de apoyo para comprender algunos conceptos y nos darán una idea más clara del mismo.

CAPITULO I.- PAVIMENTOS

1.1 DEFINICIONES

Terreno Natural o superficie de apoyo.

Es la zona donde se apoya la obra vial, a la que previamente se le ha sometido a un ligero tratamiento.

Compactación.- es el proceso mecánico por medio del cual se reduce el volumen de los materiales en un tiempo relativamente corto, con el fin de que resistan las cargas y tengan una relación esfuerzo-deformación conveniente durante la vida útil de la obra.

Pavimento.- Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.

Pavimento flexible.- Esta formado por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub.-base.

Reciclado de pavimentos asfálticos.- Se define como la reutilización del material proveniente de la remoción de las carpetas asfálticas envejecidas dicho material, con una granulometría apropiada, se transporta a una planta de mezclado en donde se lleva a cabo el reciclado, mediante la adición de diferentes tipos de agregados, aditivos y / o asfaltos.

Pavimento rígido.- son aquellos en los cuales la capa de rodadura esta formada por un elemento estructural (losa) de concreto hidráulico simple, reforzado o presforzado con recubrimiento bituminoso o sin él.

Concreto hidráulico.- Es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar parte de agua y Cemento Portland con arena y grava, en proporciones tales que se produzca la resistencia y la densidad deseada.

Bacheo.- Es el conjunto de trabajos requeridos para reponer una porción de la superficie de rodadura que ha sido destruida y removida por el tránsito.

Renivelación.- es el conjunto de labores requeridas para reponer la porción de la superficie de rodadura que ha sufrido alguna deformación y / o desplazamientos de su nivel original.

Sobre carpetas.- Es la capa o conjunto de capas constituidas por materiales pétreos y producto asfáltico que se coloca sobre un pavimento existente deteriorado por el uso; sus funciones principales son restituir las características adecuadas de servicio que tuvo el camino cuando fue originalmente terminado y aumentar la resistencia estructural del pavimento.

Riego de sello.- Es la aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo para impermeabilizar el pavimento, protegerlo del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

Obras complementarias

Drenaje superficial y sub.-drenaje.- son todas aquellas obras cuya finalidad consiste en que el agua superficial o subterránea que llegue o tienda a llegar a la estructura de la carretera, sea desalojada rápidamente o interceptada de manera adecuada, evitando con ello que se produzcan deterioros en dicha estructura y que se afecte en su buen funcionamiento o duración.

Carpeta.- Es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

1.2 TERRACERIAS

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre.

Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer materiales fuera de ella, denominados zonas de préstamos.

Si se ubican cerca de la obra, se denominan zona de préstamo lateral, de lo contrario son zonas de préstamo de banco.

Las terracerías en terraplén fig. (1.2.1) se dividen en el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante, que se coloca sobre la anterior con un espesor mínimo de 30 cm.

Cuando el tránsito es mayor a 500 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo del terraplén los últimos 50 cm. Con material compactable y esta capa se denomina subyacente fig. 1.2.2.

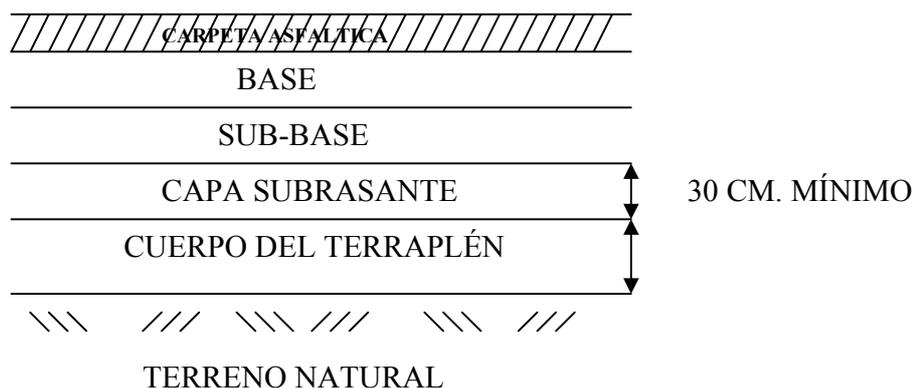


Fig 1.2.1 Sección transversal en terraplén de una obra vial con volumen de tránsito de hasta 5000 vehículos diarios. Las terracerías se componen del cuerpo del terraplén y de la capa subrasante en la parte superior. El pavimento se coloca sobre esta capa.

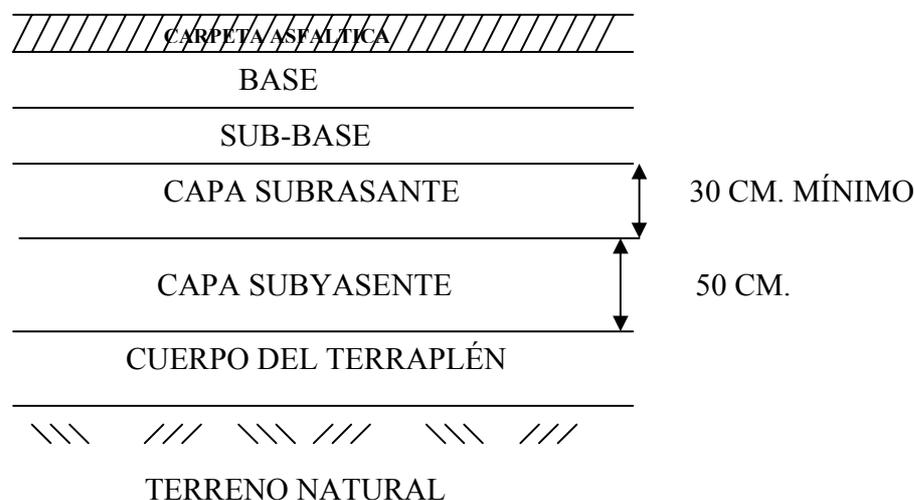


Fig. 1.2.2 Sección transversal en terraplén de una obra vial con volumen de tránsito mayor de 5000 vehículos diarios. Las terracerías se componen del cuerpo del terraplén en la parte inferior; en seguida se encuentra la capa subyacente de 50 cm. de espesor; después se halla la capa subrasante, con un mínimo de 30 cm. de espesor; y sobre esta última se coloca el pavimento.

Cuerpo del terraplén

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre son las siguientes:

- a). Alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas en lo Relativo a la pendiente longitudinal.
- b). Resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los Esfuerzos a través de su espesor para trasportarlos en forma adecuada al terreno Natural, de acuerdo con su resistencia.

Los materiales empleados para construir el cuerpo del terraplén deben tener un VRS mayor a 5 % y sus tamaños máximos pueden ser de hasta 75cm.

Los materiales utilizados en la construcción del cuerpo del terraplén se dividen en:

- a) compactables y no compactables.

Un material es compactable cuando, después de disgregarse, se retiene menos del 20% en la malla de 7.5 cm (3 pulg.) y menos del 5 % en la malla de 15cm. (6 pulg.). Los materiales no compactables carecen de estas características.

Construcción del cuerpo del terraplén.

El acomodo de los materiales puede realizarse de tres maneras:

- 1.- Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad. En general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén es del 90 % y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.

2.- Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, no menor de 15 cm. Un tractor de urugas se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos en zigzag. Para mejorar el acomodo es conveniente proporcionar agua en una cantidad de 100 litros por cada metro cúbico de material.

3.- Si es necesario efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no es fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite colocar el material a volteo hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

Cuando el tránsito que soportará un camino es mayor a 5000 vehículos por día los últimos 50 cm. Superiores del cuerpo del terraplén se construyen con material compactable y se les da este tratamiento hasta alcanzar un grado del 95 % de p.v.s.m.

Si el material de la parte inferior también es compactable, la diferencia sólo es el grado de compactación de cada capa.

Capa subrasante.

Características de la capa subrasante

- a) Espesor de la capa 30 cm. Mínimo
- b) Tamaño máximo 7.5 cm (3 pulg.).
- c) Grado de compactación 95% del pvsm
- d) Valor relativo de soporte 15% mínimo
- e) Expansión máximo 5%

Funciones de la capa subrasante.

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- 1.- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- 2.- Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- 3.- Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- 4.- Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca, absorban el pavimento. En este caso la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base y sub.-base).
- 5.- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- 6.- Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracería a lo largo del camino.
- 7.- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por lo tanto su espesor, que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura. En el proyecto geométrico de la subrasante económica es preciso tomar en cuenta:

- a) Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- b) Que la subrasante tenga la altura suficiente, a fin que el agua capilar no afecte el pavimento.
- c) Que la subrasante provoque los acarrees más económicos posibles.

Construcción de la capa subrasante.

En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado. En general, la capa subrasante consta de dos capas de 15cm de espesor mínimo.

Cundo los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica o químicamente. En otras ocasiones, para construir las terracerías es necesario formar una caja y sustituir el material extraído por otro de características adecuadas; este procedimiento se utiliza a menudo para construir la capa subrasante en cortes. A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante y por lo mismo no debe acarrear material de préstamo de banco, sino utilizar el que ya existe para no tener salientes en la cama de los cortes y que la compactación sea constante. Para esto se escarifican 15 cm del material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobre elevación de proyecto y se compactan a 95% de su PVSM.

Taludes en terraplenes y cortes de caminos.

Para cualquier tipo de vía terrestre, los taludes de terraplén y el corte se debe proyectar de acuerdo con los materiales del terreno natural y los de relleno.

En cortes, los taludes usuales son de 0 para roca firme, de $\frac{1}{4}$: 1 para pizarras, lutitas y calizas (material estratificado y consolidado), y de $\frac{1}{2}$: 1 en tepetates, arcillas o rocas fisuradas.

Los taludes de terraplén se utilizan en general de 1: 5: 1; con arena de playa, son convenientes los valores 3:1 a 5:1. Pues el agua de lluvia los erosiona con fuerza en todos los casos, principalmente con materiales inertes, es necesario provocar el crecimiento de hierba para una mejor protección.

1.3 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Existen dos tipos de pavimentos: los flexibles y los rígidos. En los primeros, una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

Las capas que forman un pavimento flexible son:

Carpeta asfáltica, base y sub.-base, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

Fig. 1.3.1

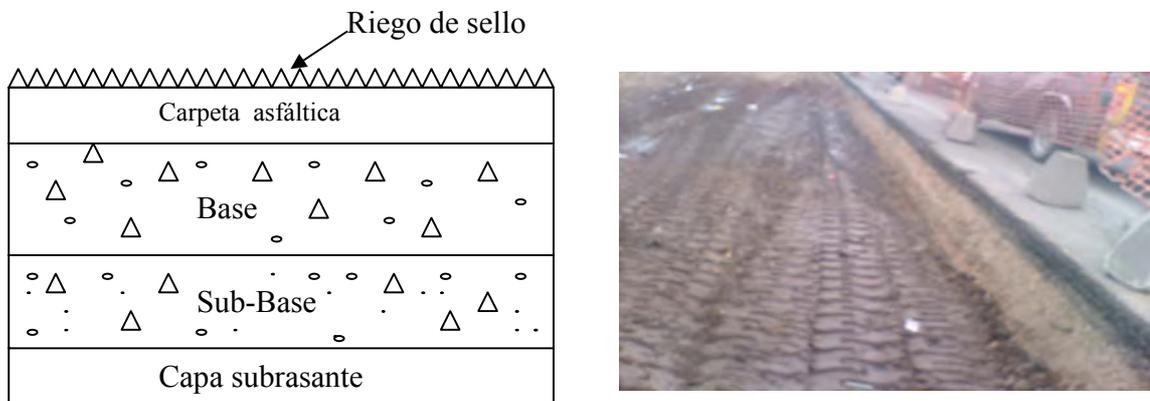


Fig. 1.3.1 Capas que forman en general un pavimento flexible

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas los resistan.

La calidad y los espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales con las capas inferiores; es decir, tanto los esfuerzos debido al tránsito como la calidad de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento, el ingeniero debe estructurar el pavimento; para hacer esto, usará los materiales regionales y con ellos resolverá los diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible.

Estructuración de los pavimentos asfálticos

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:

- 1.- Proporcionar una superficie uniforme que permita un fácil rodamiento.
- 2.- Tener adherencia con las ruedas de los vehículos.
- 3.- Presentar resistencia para soportar las cargas de los vehículos y su contenido capacidad para transmitir las convenientemente a las terracerías
- 4.- Tener resistencia al desgaste.
- 5.- Resistencia al intemperismo
- 6.- Soportar los efectos del agua capilar y de inundación.

Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible.

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

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 o, por varias capas, 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 pétreos 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 descendiente 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.

Características y funciones de las diferentes 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.

Carpeta asfáltica.

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.

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) Macadán (pavimento de piedra machacada aglomerada por un rodillo compresor).



Fig. 1.3.2 fotografía de una base bien compactada y terminada.

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 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 se coloca para observar 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 encuentren a la superficie de rodamiento; ello es principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que le son transmitidos.

El diseño en pavimentos flexibles se 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 el punto de vista.

1.- En cuanto la capacidad de carga que puede 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 sometida, haciendo el análisis para toda la estructura del camino.



Fig. 1.3.3 fotografía de una sub-base en proceso.

Características de los materiales pétreos

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por general requieren cribado y triturado para realizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie por revestir resulta más afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionarán las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

Mezclas asfálticas.

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

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

Condiciones de las carpetas de rodamiento

- a).- Ser suficientes para soportar las cargas producidas por el tránsito.
- 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.
- f).- Suficiente resistencia contra el interperismo, lluvias, sol, viento, 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 lo cual ha sido demostrado por la experiencia.

Las mezclas asfálticas están constituidas por dos tipos de materiales: el material pétreo y el material bituminoso.

Material pétreo. 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 Republica contamos con amplitud de materiales pétreos, lo cual nos facilita su construcción.



Fig. 1.3.4. Planta de trituración para el material pétreo que se utilizará en carpetas de concreto asfáltico.

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.

Contenido óptimo de asfalto.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, del espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo y que así el asfalto no se oxide con rapidez, pero que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

Es conveniente que las partículas tengan la forma más cúbica posible, por lo que no debe utilizarse materiales que contengan una cantidad grande de partículas en forma de lascas o de aguja, pues tienden a romperse con facilidad y así cambia su granulometría.

La dureza se puede conocer por medio de las pruebas de densidad y de desgaste; si el material tiene o no buena adherencia se conoce al efectuar las pruebas de desprendimiento por fricción, de pérdida de estabilidad por inmersión de agua y la prueba inglesa.

Características de los productos asfálticos

Cemento asfáltico

El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos, debe calentarse a 140°C , por lo que es necesaria una planta. Las especificaciones correspondientes se encuentran en la tabla 1 de la figura 1.3.5

Clasificación de los materiales asfálticos

Tabla 1

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, y para la impregnación de sub-bases y bases hidráulicas.

Fig. 1.3.5 especificaciones para cementos asfálticos

Su viscosidad varia con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licuan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la tabla núm. 2, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Tabla 2. Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60° C

Clasificación	Viscosidad a 60° C	Usos más comunes
AC-5	50 + 10 (500+ 100)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC - 10	100 + 20 100 + 200	<ul style="list-style-type: none"> * En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la figura 1.
AC - 20	200 + 40 2000 + 400	<ul style="list-style-type: none"> * En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en • Carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la figura 1.
AC - 30	300 + 60 3000+600	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 4 en la figura 1. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para Utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.



Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- a) De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de éstas últimas.
- b) De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.
- c) De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- d) Para impregnación, que particularmente se utiliza para impregnaciones de sub-bases y / o bases hidráulicas.
- e) Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la tabla 3.

Tabla 3.- Clasificación de las emulsiones asfálticas

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad
EAR -55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR - 60	60		
EAM - 60	60	Rompimiento medio	
EAM - 65	65		
EAL - 55	55	Rompimiento lento	
EAL - 60	60		
EAL - 60	60	Para impregnación	
ECR - 60	60	Rompimiento rápido	
ECR - 65	65		
ECR - 70	70	Rompimiento medio	
ECM - 65	65		
ECL - 65	65	Rompimiento lento	
ECI - 60	60	Para impregnación	
ECS - 60	60	Sobrestabilizada	

Emulsiones asfálticas

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 de menor número de maquinas.

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

Otra de su desventaja es la poca duración de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas.

De acuerdo con el emulsificante usado, se producen emulsiones aniónicas y catiónicas; estas últimas resisten mayores humedades en los pétreos. Ver figura 1.3.6

Emulsiones asfálticas aniónicas

(a)

características	Grados				
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio	Rompimiento lento	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
Pruebas al material asfáltico					
Viscosidad saybolt – Furol a 50° C, segundos-----	20-100	10 mín	20-100	20-100	
Viscosidad Saybolt- Furol a 25°C, segundos---		75-400			
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo-----	57	62	62		57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo demulsibilidad-----	3	3	3	57	3
35 ml de 0.02 NCaL2, por ciento mínimo-----				3	
50 ml de 0.10 NCaL2, por ciento máximo-----	60	50	30		
retenido en la malla N° 30, por ciento máximo-----	0.10	0.10	0.10		0-10
Visibilidad con cemento Pórtland, por ciento máximo-----				0.10	2.0
Pruebas al residuo de la destilación					
Penetración 251C, 100 g, 5 segundos grados---	100-200	100-200	100-200	2.0	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento mínimo-----		97.5	97.5		97.5
Ductilidad, 25° C, cm, mínimo 40	97.5 40	40	40	100-200	
				97.5 40	

Nota: la viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20° C, a 10° C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20° C, a 40° C.

**Emulsiones asfálticas catiónicas
(b)**

características	Grado					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RR-2k	RR-3k	RM-2k	RM-3k	RL-2k	RL-2k
Prueba al material asfáltico						
Viscosidad saybolt- Furol a 25° C, segundos-----					20-100	20-100
Viscosidad saybolt- Furol a 50° C, segundos-----	20-100	100-400	50-500	50-500		
	60		60	65		
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	5	65	5	5	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máx.	0.10	5	0.10	0.10	5	5
Retenido en la malla núm. 20, por ciento, máximo		0.10			0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo)						
Agregado seco, por ciento en cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mín.---			60	60		
Miscibilidad con cemento Pórtland, por ciento, máx.	Positiva	positiva	pos.	pos.		
PH, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12		
Pruebas al residuo de la destilación						
Penetración, 25 IC, 100g, 5 seg. Grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por %, mí.	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25° C, cm, mínimo	40	40	40	40	40	

Fig. 1.3.6 Especificaciones para emulsiones (a) aniónicas y (b) catiónicas

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20° C a 10° C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura a 20° C, a 40° C.

Tipos de carpetas asfálticas

Son tres tipos de carpetas asfálticas más usados en el país.

- 1.- Por riegos
- 2.- Mezclas en el lugar
- 3.- Concretos asfálticos

1.- Carpetas por el sistema de riegos

Las carpetas por riegos consisten en una serie de capas sucesivas de productos asfálticos y pétreos sobre la base impregnada.

El tipo de carpeta construida según especificaciones se denomina de tres riegos y los materiales pétreos que se utilizan tienen granulometría uniforme, es decir su gama de tamaño es corta. Estos materiales se clasifican en los siguientes: el 1 es el más grueso y su gama de tamaños es 25.4 mm (1 pulg.) a 6.35 mm (¼ pulg.); el material 2, de tamaño intermedio, varía de 12.7 mm (½ pulg.) a 2.38 mm (núm. 8); y el material 3, el más fino, tiene una granulometría de 9.51 mm (3/8 pulg.) a 0.42 mm (núm. 40). Las especificaciones completas para la granulometría de estos materiales se ven en la figura 1.3.7

Especificaciones granulométricas para materiales pétreos que se empleen en carpetas asfálticas por el sistema de riegos o para riegos de sello.

Denominación Del material pétreo	Por ciento que pasa la malla										
	50.8 mm (2")	38.1mm (1 ½")	32.0mm ((1 ¼")	25.4 mm (1")	19.0mm (3/4")	12.7mm (1/2")	9.51mm (3/8")	6.35mm (1/4")	4.76mm (núm.4)	2.38mm (núm.8)	0.420mm (núm.40)
1			100	95mín.							
2					100	5máx 95mín.		0 5máx			
3-A						100	95mín.			5máx	0
3-B						100	100	95mín.		5máx.	0
3-E							95mín.		5máx.	0	

Fig. 1.3.7 especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riegos o para riegos de sellos (material 3).

2.- Carpetas asfálticas por el sistema de mezcla en el lugar.

Son mezclas de materiales pétreos y productos asfálticos, elaboradas en el lugar con motoconformadora o planta móvil.

3.- Carpetas de concreto asfáltico.

Son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico, elaboradas en planta estacionaria.

a) Funciones.

Proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada. Cuando se coloca en espesores de cinco (5) centímetros o más, se considera que contribuye, junto con las otras capas del pavimento, a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

Procedimiento:

1) En seguida se describen las secuencias constructivas de cada uno de los tipos de carpetas Utilizando el sistema de riegos.

Para la construcción de carpetas de riego, en términos generales, se puede proceder de acuerdo con las etapas siguientes:

- a) Se barre la base impregnada
- b) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de ligante asfáltico del tipo y en la cantidad fijada por el proyecto.

- c) Se cubre el riego del ligante asfáltico con una capa de material pétreo número 3, 2, ó 1 para carpetas de uno (1), dos (2) y tres (3) riegos, respectivamente.
- d) Se rastrea y se plancha el material pétreo.
- e) Únicamente para carpeta de dos (2) tres (3) riegos. Se aplica un segundo riego de ligante, sobre el primero, y se cubre inmediatamente con material pétreo número 3 y 2 respectivamente.
- f) Se rastrea y se plancha el material pétreo
- g) Únicamente para carpetas de tres (3) riegos. Sobre un segundo riego se hace un tercero ligante asfáltico, cubriéndolo inmediatamente con material pétreo número 3.
- h) Se procede a su rastreo y compactación.
- i) Después de haber construido la carpeta, ya sea de uno, dos o tres riegos, se procederá a barrer y a recolectar el material pétreo que no se haya adherido.

Esta parte del proceso es muy importante para evitar contratiempos a los usuarios, pues cuando no se hace o se realiza mal, se pueden romper los parabrisas con las partículas que expelen hacia tras las llantas de los vehículos.

2.- Utilizando el sistema de carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.

Cuando se trata de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base debidamente construida e impregnada; cuando se quiera construir una sobre-carpeta deberán efectuarse previamente todos los trabajos de conservación normal que se requiere.

La secuencia que deberá seguirse para la aplicación de este sistema es el siguiente:

- a) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se deberá dar un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobre-carpeta.
- b) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla asfáltica. Previamente al tendido, los materiales que constituirán la carpeta o la sobre-carpeta asfáltica se mezclarán a lo largo del camino con la utilización de la motoconformadora.
- c) Inmediatamente después del tendido de la mezcla, el cual también se hace con la motoconformadora. Se procederá a su compactación, en un principio la compactación se hará utilizando un rodillo liso, continuando con un compactador neumático, posteriormente se volverá a usar el rodillo liso con el objeto de borrar las huellas que deje el compactador neumático.

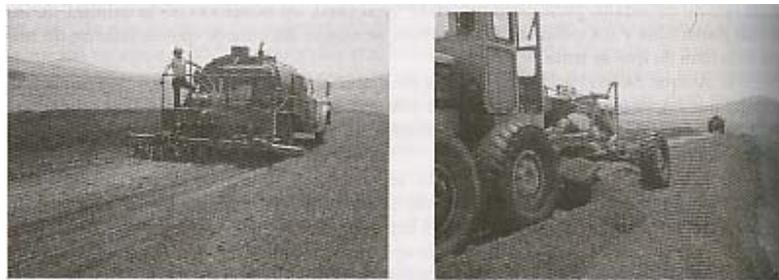


Fig. 1.3.8 Petrolizadora regando asfalto sobre el material pétreo, para una mezcla en el lugar; motoconformadora cubriendo el riego previo de asfalto.

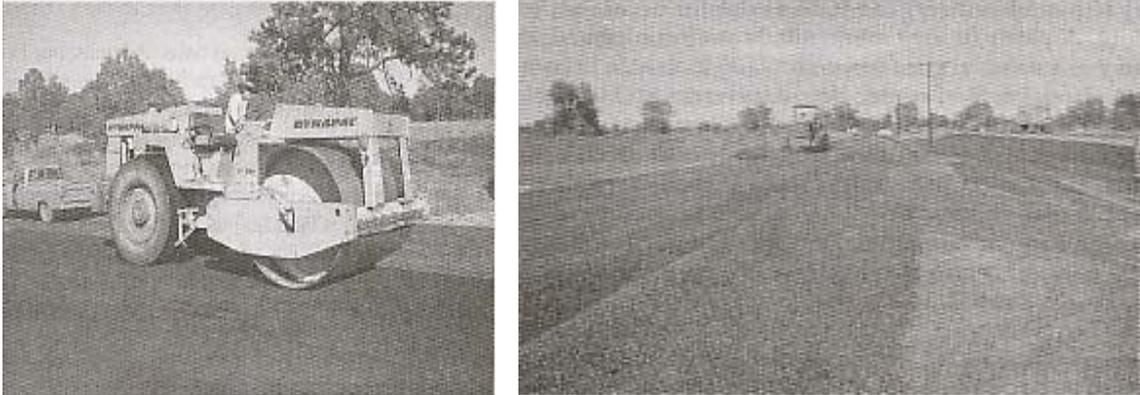


Fig. 1.3.9 Rodillo liso autopropulsado con unidad vibratoria, compactando una mezcla elaborada en el lugar. Y plataforma para realizar mezclas.

3.- Utilizando el sistema de mezcla en planta.

El proceso para efectuar la construcción de la carpeta o de la sobre-carpeta utilizando el sistema en planta es el siguiente:

- a) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se dará un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobre-carpeta.
- b) Esta etapa corresponde a la transportación de la mezcla asfáltica al lugar de tendido. Previamente a la transportación, deberá efectuarse el mezclado de los materiales que conforman la carpeta en una planta estacionaria.



Fig. 1.3.10 Vaciado del concreto asfáltico a las unidades de acarreo. La mezcla sale a una temperatura de 140°C.

- c) Cuando los camiones que efectuarán la transportación de la mezcla asfáltica lleguen al sitio donde se realizará el tendido, estos deberán vaciarla dentro de la caja receptora de una máquina especial para este trabajo denominada esparciador, extendedora o terminadora. Esta máquina es de propulsión propia, con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida.

La mezcla asfáltica deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados (110°C).

- d) Inmediatamente después del tendido de la mezcla, deberá compactarse por medio de un compactador liso; a continuación se compactará con un compactador neumático y por último, nuevamente con el compactador liso.



1.3.11 Los camiones descargan el concreto asfáltico en la caja ubicada en la parte delantera de una máquina extendedora autopropulsada, que forma sobre el camino una franja de carpeta ligeramente compactada.



Fig. 1.3.12. Compactación de una franja de carpeta de concreto asfáltico por medio de neumáticos (a la derecha) y rodillos lisos (a la izquierda)

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 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 tener una buena granulometría del material pétreo, la experiencia ha permitido formar diferentes tabulaciones, cuadros y gráficas que nos muestran los límites entre los cuales se pueden obtener resultados satisfactorios. La grava entre el material de 5/8" a 1/2" o bien entre 5/3" y 1", la arena que esta comprendida entre los 5/8" y la malla del número 200 y además el polvo de relleno que esta comprendido en partículas más pequeñas de la malla número 200, estos materiales tienen función igual 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 por lo cual debe procurarse la mayor densidad posible.

Clasificación de las mezclas.

Según el tamaño de los agregados las mezclas se dividen en: Mortero y Concretos asfálticos.

Morteros.- los morteros están formados por arena cuyo tamaño máximo es de 1/4" por material de relleno que pasa por la malla 200 y por cemento asfáltico.

Los materiales se acostumbran a usar para representaciones 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 por consiguiente la menor posibilidad de penetración de agua a través del pavimento.

Concretos asfálticos.- los concretos son los más usuales aquí en México y están formados por gravas, arenas, materiales de relleno y cemento asfáltico.

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

Por mezclas calientes se entiende aquellas mezclas que se deben tender en el camino precisamente cuando están calientes y no cuando están frías, es muy común confundir y le llaman mezclas calientes 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 las que se usan 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.

Según su procedimiento de construcción.

Indiscutiblemente que la clasificación más importante de mezclas, es la que corresponde al tipo de procedimiento de construcción que se seleccione, esto es importante por que casi siempre este 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.

Se le llama mezclas en el lugar, aquellas que se elaboran precisamente en el lugar en que quedarán en forma definitiva.

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.



Fig. 1.3.13 Fotografía de una planta de concreto asfáltico

1. 4 PAVIMENTOS RÍGIDOS.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub.-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquinas o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub.-base Fig. 1.4.1 que se construye sobre la capa subrasante.

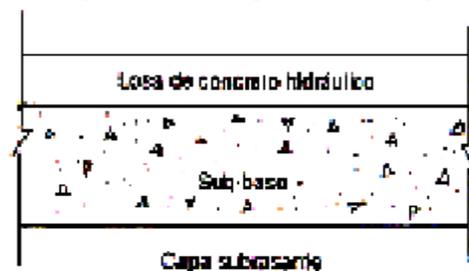


Fig. 1.4.1 Capas que forman un pavimento rígido

Materiales para concreto hidráulico.

La parte superior de los pavimentos rígidos se forma con losas de concreto hidráulico, constituidas sobre la sub.-base y que proporcionan la superficie de rodamiento.

Las propiedades principales que se deben observar en las gravas y las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y granulometría.

En cuanto a la plasticidad, la grava y la arena deben ser materiales inertes; es decir necesitan un índice plástico y una contracción lineal de 0, además de cumplir las normas de desgaste y de intemperismo acelerado, con lo cual se asegura su dureza y durabilidad. A si mismo, es preciso conocer si los agregados tienen álcalis y si éstos perjudican el concreto con el paso del tiempo.

Respecto a la forma de las partículas, conviene que sean lo más rugoso posible, es decir, que tengan un alto valor de fricción por que así se alcanza una buena adherencia con la pasta agua-cemento, lo cual no sucede con las partículas redondeadas, como pueden ser las de los materiales de arroyos o ríos.

Es necesario conocer la granulometría para garantizar la resistencia y densidad del concreto endurecido; sin embargo, no es un elemento determinante para aceptar o rechazar los materiales; así, si un concreto determinado no satisface la densidad o la dureza de un concreto endurecido o los vacíos del concreto fresco, es posible variar las proporciones de los agregados o de la lechada, para obtener los resultados precisos.

También es factible emplear aditivos para concreto, que existen a la venta para diferentes usos: retardar o acelerar la resistencia; y reducir la cantidad de agua sin disminuir la fluidez.

Proporcionamiento de materiales para concreto hidráulico.

Los materiales se mezclan en las cantidades necesarias para obtener principalmente la resistencia deseada, una vez que el concreto ha fraguado, además de alcanzar la mejor densidad posible; por ello es preciso encontrar el proporcionamiento más adecuado, en función de los siguientes elementos:

Resistencia deseada

Densidad óptima.

Manejabilidad del concreto fresco.

En cuanto a la resistencia del concreto ya fraguado, debe haber un material pétreo con una dureza tal que sea mayor que la que se espere; asegurado lo anterior, la relación agua-cemento es primordial para alcanzar las características de resistencia de cualquier concreto.

Cuando se mantiene constante la relación de agua-cemento necesaria, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto puede variar con forme a la manejabilidad requerida en la obra y que se mide por medio de la prueba de revenimiento o asentamiento; debe ser más fluida cuando se tiene un emparrillado de acero muy cerrado o cuando se tratan de fabricar elementos muy delgados. En general para construir losas de pavimento rígido no existen estos condicionamientos, por lo que es usual tener revenimientos de 3 cm a 5 cm; ver Fig. 1. 4. 2 donde se obtiene la cantidad de agua requerida para un revenimiento de 10 cm. Y se debe corregir, al aumentar o restar 3% por cada 2.5 cm (1 pulg.) de más o de menos en el revenimiento deseado. Esta cantidad de agua es parte de la que requieren los materiales pétreos para estar en una condición de saturados y superficialmente secos.

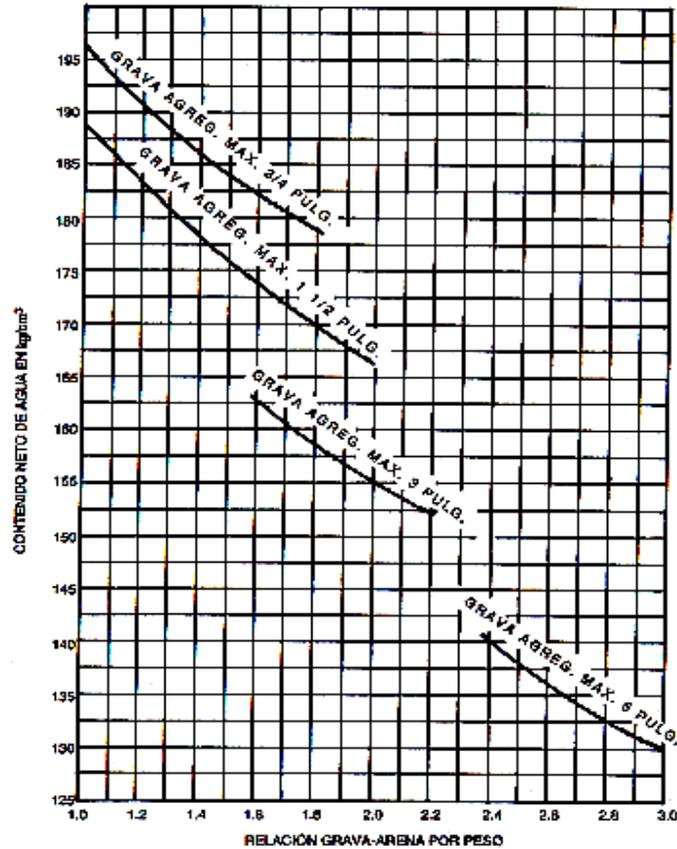


Fig., 1.4.2 Nomograma para calcular el agua necesaria para fabricar un metro cúbico de concreto hidráulico, a partir de la relación grava-arena y el tamaño máximo de agregado.

La densidad obtenida en el concreto depende de gran parte de la granulometría y densidad de los materiales pétreos. Fuller encontró una fórmula en función del tamaño máximo de los agregados, para tener la mayor densificación:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{1/2}$$

Donde:

P = porcentaje en peso que pasa cada tamiz

d = abertura de cada tamiz

D = tamaño máximo del petróleo

Con la granulometría óptima de los agregados para un tamaño máximo, se puede encontrar, a partir de la granulometría de la arena y las gravas (pueden ser dos o más materiales), la mejor proporción para producir la granulometría más adecuada. (Fig. 1, 4.3).

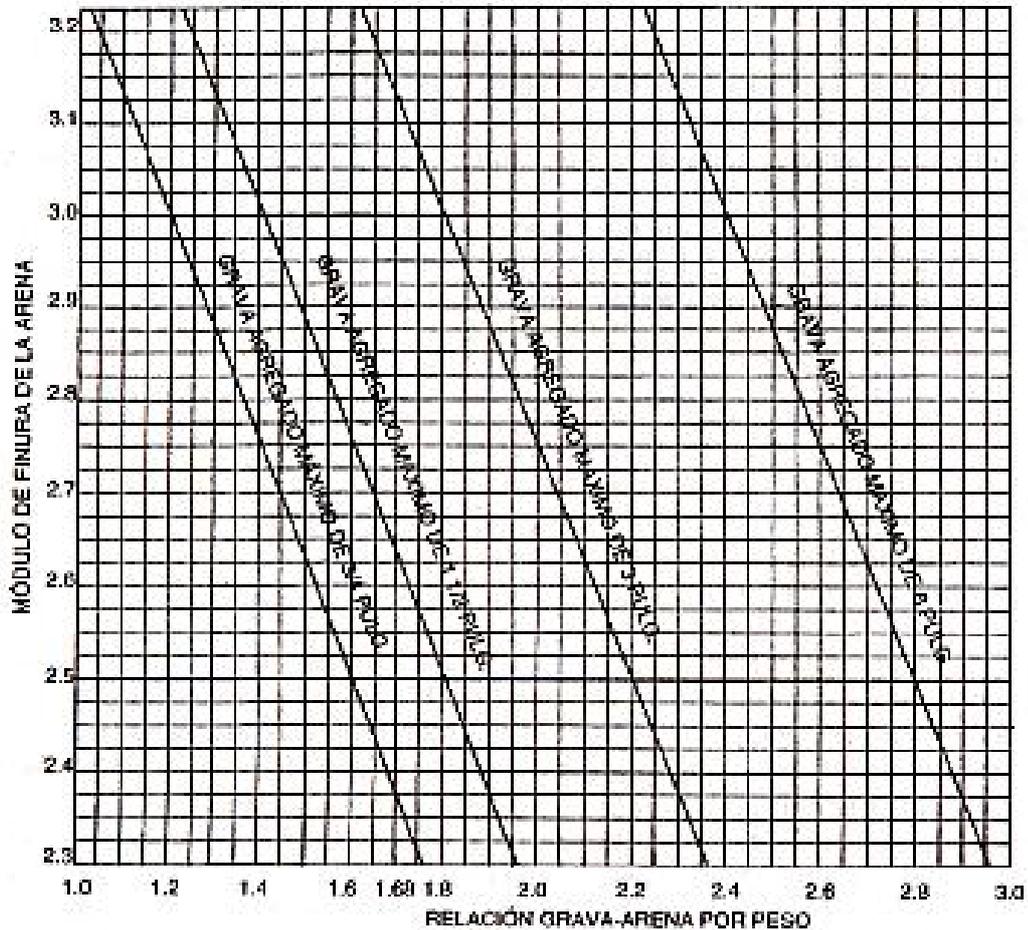


Fig. 1.4.3 Nomograma para reconocer la relación de grava-arena que cumple con las especificaciones granulométricas.

Al cumplir con los requisitos en la granulometría de la arena y de la grava, según el tamaño máximo del agregado, con las curvas de Abrams (Fig. 1. 4. 4) se puede conocer la relación de grava- arena óptima. En caso de que los agregados sean inertes pero que no cumplan las normas de granulometría, se puede obtener la proporción que haga que el peso volumétrico seco sea el mayor, lo cual puede provocar un mayor consumo de cemento Pórtland por unidad de volumen, en el peor de los casos debe verificarse entonces que el porcentaje de vacíos sea el conveniente. Cuando los datos anteriores se conocen, es factible calcular las cantidades necesarias de peso o volumen para obtener un concreto de la resistencia y manejabilidad precisa para un metro cúbico de mezcla o un bulto de cemento, así como para fabricar un cierto número de cilindros de concreto para pruebas del laboratorio. Fig. 1.4.4

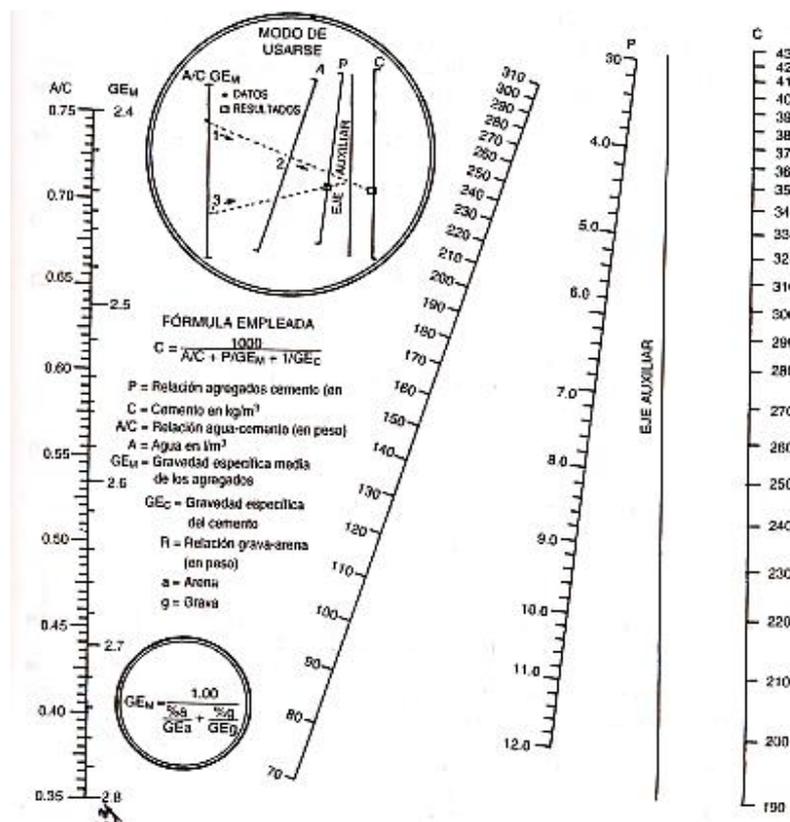


Fig. 1.4.4 Nomogramas para conocer la relación de grava-arena que no cumple con las especificaciones granulométricas.

Conforme a la resistencia a la compresión simple deseada en el concreto a los 28 días, se obtiene la relación de agua cemento (A/C) Fig. 1.4.5 que se puede corregir según la práctica con los cementos de la localidad. Es conveniente aumentar la resistencia en 15% para cumplir con los requisitos de resistencia mínima y variabilidad.

El revenimiento conveniente se elige de acuerdo con el tamaño máximo, el tipo de armado y las características del elemento.

La relación ideal de grava-arena en peso (R) se encuentra por medio de lo mostrado en la figura 1.4.4, en función del módulo de finura de la arena y del tamaño máximo del agregado.

La figura 1.4.2 muestra cómo se encuentra la cantidad de agua necesaria para un metro cúbico de concreto, la cual debe corregirse en más o menos 3% por cada 2.5 cm de revenimiento mayor o menor que 10 cm.

El contenido de cemento por metro cúbico de concreto fresco se encuentra al usar el nomograma de la figura 1.4.5, en función de la relación de agua-cemento (escala 1c) y la

cantidad de agua requerida por metro cúbico (escala 1): en la escala c, está la cantidad de cemento y se marca un punto en el eje auxiliar.

Con el mismo nomograma y utilizando la densidad relativa media de los agregados (escala GEM), en condición de saturados y superficialmente secos y el punto del eje auxiliar, se encuentra la relación de agregados-cemento en peso (p).

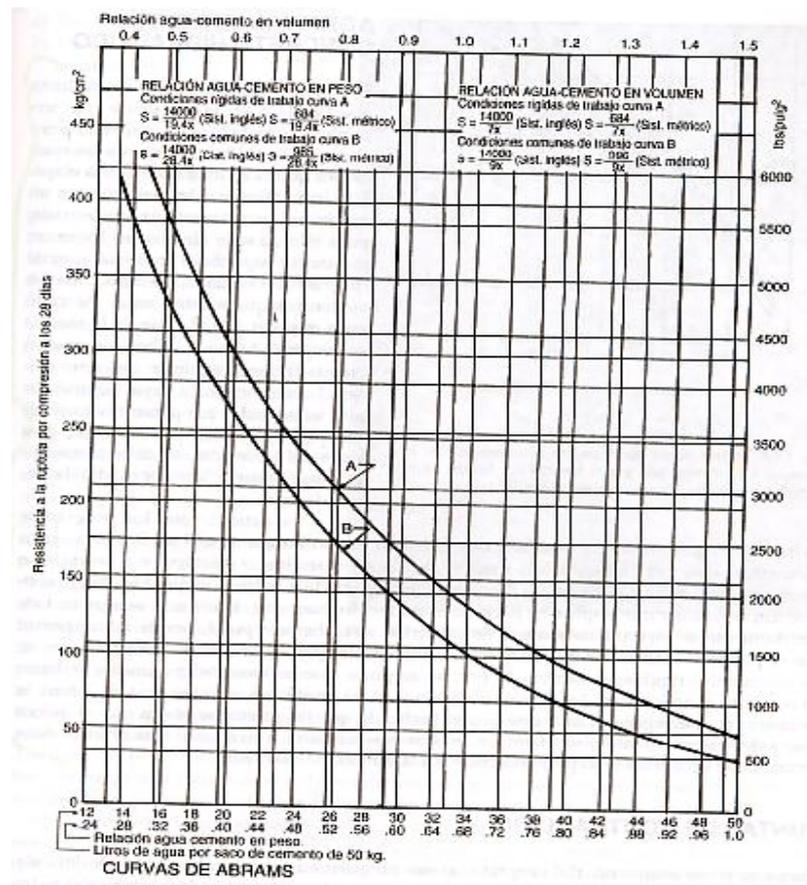


Fig. 1.4.5 curvas de Abrams para encontrar la relación de agua-cemento (a/c) para alcanzar una resistencia determinada.

Los espesores de las losas se calculan por medio de nomogramas que elaboran las asociaciones de productores de cemento portland, tomando en cuenta los esfuerzos siguientes a que están sometidas:

- Esfuerzos debidos al tránsito
 - Esfuerzos debidos a la temperatura
 - Esfuerzos debidos al apoyo
 - Los esfuerzos debidos al tránsito se han estudiado en tres posiciones de las llantas.
- 1ª Se da cuando la huella de una llanta es tangente en forma simultánea a dos orillas; o sea la llanta está en una esquina. De esta manera la losa trabaja en cantiliver y los esfuerzos principales de tensión se presentan en un ángulo de 45° respecto a las orillas y en la parte superior fig. 1.4.6. los esfuerzos por el tránsito se calculan con la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \frac{3P}{d^2} \left[1 - \left(\frac{a}{r} \right)^{1.2} \right]$$

La siguiente posición estudiada se presenta cuando la huella de la llanta es tangente sólo a una orilla de la losa (fig. 1.4.7); en este caso, el esfuerzo principal de tensión es paralelo a la orilla y se da en la parte inferior. La magnitud de este esfuerzo se da con la siguiente fórmula.

$$\sigma_t = \frac{0.572P}{d^2} \left[4 \log_{10} \left(\frac{r}{b} \right) + 0.359 \right]$$

Se han estudiado los esfuerzos de la losa de concreto hidráulico cuando la llanta está en el centro de ella. En esta posición, los esfuerzos máximos de tensión se desarrollan en el lecho inferior de la losa y en forma radial fig. 1.4.8.

$$\sigma_t = \frac{0.316P}{d^2} \left[4 \log_{10} \left(\frac{r}{b} \right) + 1.069 \right]$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + d^2} - 0.675d$$

En estas igualdades:

P = carga transitada a la losa a través de la llanta

a, b = semiejes de la elipse que representan la huella de la llanta

a = eje paralelo a la orilla o junto (pulg.)

d = espesor de la losa (pulg.)

E = módulo de elasticidad del concreto (lb. /Pulg.)

u = relación de Poisson del concreto = 0.15

k = módulo de reacción (lb. / pulg³)

r = radio de rigidez relativa (pulg.)

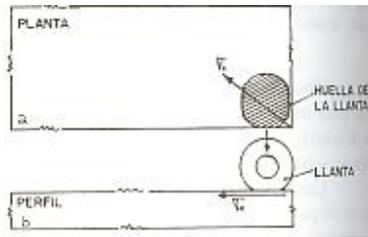


Fig. 1.4.6 esfuerzos de tensión que se presentan en pavimentos rígidos, cuando la huella de una llanta es tangente a dos orillas de una losa; (a) planta, (b) sección (esfuerzos de esquina)

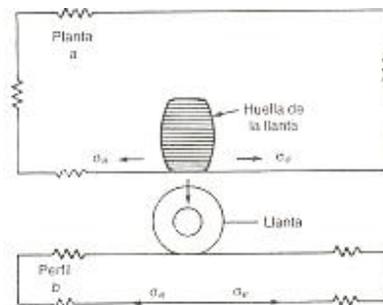


Fig. 1.4.7. Esfuerzos de tensión que se presentan en pavimentos rígidos, cuando la huella de una llanta es tangente a una sola orilla de la losa (esfuerzos de orilla); (a) planta, (b) sección.

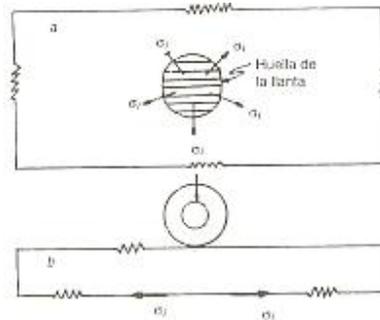


Fig. 1.4.8. Esfuerzos de tensión que se presentan en un pavimento rígido, cuando la huella está en el centro de la losa (esfuerzos interiores); (a) planta, (b) sección.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

A continuación se indican el procedimiento para construir una franja de losa de pavimento rígido, este procedimiento se repetirá cuantas veces sea necesario.

- 1.- Se eligen los bancos de los materiales pétreos (arena y grava), se explora la zona donde se construirá la obra y se localizan los probables bancos, como playones de ríos o arroyos, depósitos de materiales, aglomerados o roca. Se toman muestras y se llevan al laboratorio para realizar las pruebas de clasificación necesarias, y un estudio económico previo, se decide cuáles bancos se abran de utilizar y se recomiendan los tratamientos requeridos.
- 2.- Se elige el tipo y la marca de cemento Portland, a demás de encontrar las proporciones que intervendrán cemento, agua, arena y grava a si como la cantidad y el tipo de aditivo que se usará por unidad de peso o volumen.
- 3.- Se extrae el material de los bancos; si se trata de conglomerados o roca, se usan explosivos. Para cargar cualquier material en los transportes, según los tamaños máximos, se utilizan palas manuales, frontales y mecánicas.
- 4.- Se realizan los tratamientos previos necesarios, como cribado, triturado y lavado.
- 5.- Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, que puede ser al pie de la obra si se utilizan mezcladoras de uno a tres sacos, o a las plantas de mezclado.
- 6.- Se mezclan los materiales; pero antes se hacen las correcciones necesarias, principalmente por la humedad que contienen los pétreos. A si mismo, se calibra la velocidad de bandas o aberturas de las compuertas, para dosificar los materiales de acuerdo con la capacidad de la revolvedora; esto puede utilizarse por volumen, peso o gasto de las bandas al usarse.
- 7.- La sub-base compactada e impregnada se humedece, para que no absorba el agua del concreto fresco; no deben provocarse encharcamientos y una vez mezclado, bien los ingredientes, se vacían en el encofrado o moldes, los cuales se colocan antes y se fijan de tal manera a la sub-base para que no se muevan con la presión del concreto fresco.
- 8.- El concreto vaciado en el encofrado se acomoda o compacta por medio de vibradores de inmersión, para darle la densidad adecuada; en seguida la mezcla se enrasa por medio de un vibrador de superficie, con el que se da el espesor necesario y un primer acabado.
- 9.- Se da a la superficie el acabado necesario para tener el coeficiente de rugosidad que se requiere, lo cual se puede hacer por medio de cepillos, escobas o telas fibrosas.
- 10.- Se elaboran las juntas transversales de contracción para lo cual se forman las muescas por medio de una cortadora de sierra en los lugares señalados.

CAPITULO II.- PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.

2.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra llevada al laboratorio comprende las operaciones siguientes:

- a) Secado
- b) Disgregación
- c) Cuarteo

Debe secarse la muestra para eliminar el agua que contiene, tal que permita su fácil disgregación y manejo, exponiéndola al sol, extendiendo todo el material sobre una superficie limpia y tersa; o bien, en charolas de lámina,, en un horno a temperatura baja, 40 y 60 grados C. En ambos casos, es conveniente revolver periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme hasta bajar su humedad a un grado tal que permita la fácil disgregación y manejo de la muestra. Cuando la muestra llegue al laboratorio con una humedad que permita su disgregación, no será necesario someterla al proceso de secado que anteriormente se indicó.

Debe ponerse especial atención en el secado de la muestra, por que podrían alterarse ciertas características del material.

La disgregación tiene por objeto separar las diferentes partículas que constituyen la muestra cuando ésta contiene grumos. Esta operación es relativamente fácil cuando se refiere a materiales granulares poco cementados, aumentando su dificultad a medida que va siendo mayor la cementación o cuando se trata de rocas alteradas; las partículas del material se separan con el proceso de disgregación, hasta guardar parcial o totalmente reducidas a material fino, la disgregación de la muestra deberá efectuarse sin tratar de romper las duras partículas, llevándose a un grado tal que permita reproducir en lo posible las condiciones de utilización del material en el campo.

El cuarteo tiene por objeto obtener de una muestra, porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requieran.

Equipo.

- _ Charola de lámina galvanizada.
- _ Cucharón.
- _ Pala
- _ Horno
- _ Mazo de madera
- _ Báscula de 120 Kg.
- _ Juego de mallas de: 75.0, 50.0, 25.0, 12.5, 9.5, 4.75 mm.
- _ Brocha
- _ Partidor de muestras
- _ Reglas de dimensiones adecuadas al volumen por cuartear.

Material.

- _ Grava
- _ Arena
- _ Tepetate
- _ Arcilla

Desarrollo

1.- El secado de las muestras podrá ser el sol o el horno, se extiende la muestra en la charola o en una superficie sensiblemente horizontal, limpia y lisa. En ambos casos se revuelve periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme, hasta reducir su humedad a un grado tal, que permita su fácil disgregación.

2.- Una vez secada la muestra por alguno de los dos métodos se determina su peso. La disgregación del material deberá hacerse en la charola de lámina, la cual deberá ser colocada sobre una mesa y el mazo deberá golpear verticalmente sobre el material desde una altura no mayor de 20 cm; primeramente todo el material deberá cribarse a través de la malla No. 4, el material retenido, se cribará por la malla de 3" y la fracción retenida deberá golpearse con el mazo, hasta obtenerse partículas no disgregables. Se cambiarán finalmente todos los productos obtenidos en estas operaciones para constituir la muestra que va a ser mezclada y cuarteada en la siguiente etapa de preparación de la muestra.

4.- De la muestra ya disgregada deberán cortarse las diferentes porciones necesarias para verificar las pruebas. Dichas porciones deberán ser representativas de la muestra original.

5.- Se prosigue a realizar el cuarteo de la siguiente manera:

_ En muestras de 20 Kg. o mayores, la muestra total deberá revolverse con una pala hasta tener un aspecto homogéneo.

_ Se formará un cono truncado, y se procederá a dividirlo en cuadrantes usando una regla de longitud conveniente.

_ Se cambiará el material de dos cuadrantes opuestos y se repetirá el proceso anterior para los dos cuadrantes restantes y obtener una muestra con peso de 10 Kg. Aproximado.

_ La muestra mezclada se cuarteará en el partididor.

Observaciones

La disgregación tiene por objeto la separación de las diferentes partículas de material.

Para materiales no cohesivos, la disgregación es fácil de realizar en materiales granulares cementados, o en el caso de rocas alteradas, es laborioso y complicado.

La disgregación de la muestra dependerá de los datos requeridos del proyecto.

2.2 GRANULOMETRÍA.

Esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas del suelo pasándolo a través de una sucesión de aberturas cuadradas y pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total. La muestra de tamaños obtenidos mediante el empleo de mallas de una idea de la composición granulométrica únicamente en dos dimensiones, por los que las curvas resultantes sólo serán representativas de materiales constituidos por partículas de forma equidimensional. Las

características de un suelo, influyen en la mayor o menor facilidad para lograr una compactación adecuada y tienen importancia en su comportamiento mecánico principalmente en los suelos gruesos.

La granulometría de un agregado denota la distribución de tamaño de partículas y está determinada por el paso del material a través de una serie de mallas con aberturas más pequeñas progresivamente, y pesando el material retenido de cada una de ellas para posteriormente graficarlas.

Las mallas de tamaño más grande, comúnmente empleadas son en pulgadas; las mallas de tamaño más pequeño son designadas por número.

Los materiales se clasifican por su granulometría en:

Fragmentos de roca

Grandes de 2 metros a 75 cm

Medianas de 75 cm a 25 cm

Chicas de 25 cm a 7.5 cm

Suelos

Grava de 7.5 cm a retenido en malla 4

Arena de retenido en malla No. 4 a retenido en la malla No 200

Arcillas y limos de la malla 200 en adelante (todo lo que pase)

Objetivo

Obtener la granulometría de una muestra de material.

Equipo:

Juego de mallas

3" (75.0 mm)

2" (50.0 mm)

1" (25.0 mm)

1/2" (12.5 mm)

3/8" (9.52 mm)

No. 4 (4.75 mm)

No. 10 (2.000 mm)

No. 20 (0.850 mm)

No 40 (0.425 mm)

No 60 (0.250 mm)

No 100 (0.150 mm)

No 200 (0.075 mm)

_ Charola y tapa que embonen con el juego de mallas.

_ Balanza de 1.0 Kg. De capacidad y 0.01 gr. de aproximación

_ Cápsulas de porcelana.

_ Horno

_ Brocha

_ Piseta

_ Báscula de 120 Kg. con aproximación de 10 gr.

_ Varilla de 30 cm de longitud y diámetro de 3/8"

_ Vaso de aluminio

Material.

5 Kg. Muestra de suelo obtenida por cuarteo

Desarrollo

- 1.- La muestra preparada se divide en dos fracciones, una de material menor que la malla No. 4 y la fracción mayor a ésta. Tomando en cuenta un cuarteo previo al separado inicial.
- 2.- De la fracción mayor a la malla No. 4 se pesarán 5 Kg. de material.
- 3.- Se acomodan las mallas en el siguiente orden descendente: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No 4, charola de fondo, se vierte el material sobre la malla superior y se tapa.
- 4.- Se procede al cribado en forma manual del material, a través de las mallas designadas, para efectuar ésta operación se emplearán movimientos verticales y de rotación horizontal combinándolos, durante 5 minutos.
- 5.- Se pasan los materiales retenidos en cada una de las mallas. Así, como lo que pasa por la malla No 4. se registran los pesos obtenidos en gramos.
- 6.- De la fracción que pasa la malla N. 4, se toma por cuarteo una muestra de 200gr.
- 7.- Se coloca ésta muestra en el vaso de aluminio y se agregan 500 ml. De agua, agitándose con una varilla, dejándose reposar durante 24 hrs.
- 8.- Transcurrido este lapso se lava el material a través de la malla No 200. El lavado se hará agitando el contenido del vaso con la varilla durante 15 seg. Moviéndola en forma de ocho y se deja reposar durante 30 seg.
- 9.- Inmediatamente después se decanta la suspensión sobre la malla No 200. Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, deberá aplicarse sobre ésta un chorro de agua a baja presión.
- 10.- Se repite la operación de lavado, las veces que sea necesarias, hasta que el agua decantada salga limpia.
- 11.- A continuación se regresa al vaso de aluminio el material que se haya retenido en la malla No 200 colocándolo dentro del horno para el secado durante 24 hrs. A una temperatura de 100 a 110 grados centígrados.
- 12.- Se saca la muestra del horno, dejándose enfriar hasta tener una temperatura ambiente, se pesa el material y por diferencia de peso se determina la cantidad de material que pasó la malla No 200.
- 13.- Se coloca las mallas en el siguiente orden: Núm. 10, 20, 40, 60, 100, 200, charola de fondo, se vierte el material sobre la malla superior y se tapa.
- 14.- Se efectúa la operación de cribado mencionada en el paso 4.
- 15.- Se pasan los retenidos del material en cada una de las mallas, registrándose los datos obtenidos en el formato correspondiente.
- 16.- Finalmente se realizarán los cálculos y graficará la curva granulométrica respectiva.

2.3 LÍMITES DE PLASTICIDAD Y CONTRACCIÓN.

Los métodos de prueba a que se refiere, tienen por objeto conocer las características de plasticidad de la porción del suelo que pasa la malla No 40.

La plasticidad es la propiedad de algunos suelos que les permiten, bajo ciertas condiciones de humedad, mantener la deformación producida por un esfuerzo que les ha sido aplicado en forma rápida, sin agrietarse, desmoronarse o sufrir cambios volumétricos apreciables.

De acuerdo con su contenido de agua, los suelos pueden presentar algunos de los siguientes cinco estados de consistencia.

- 1.- Estado semilíquido, cuando los suelos tienen el comportamiento de un fluido viscoso.
- 2.- Estado plástico, en el cuál los suelos presentan las propiedades de plasticidad señaladas.
- 3.- Estado semisólido. En el que la apariencia de los suelos es la de un sólido; sin embargo al secarse disminuye de volumen.
- 4.- Estado sólido. En el que el volumen de los suelos no varía cuando se les somete a secado. Las fronteras entre los estados de consistencia, fueron establecidas por Atterberg el nombre general de límite de consistencia.
 - a).- Límite Líquido, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semilíquido y plástico.
 - b).- Límite plástico, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados plástico y semisólido.
 - c).- Límite de contracción, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semisólido y sólido. A la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico se le denomina índice plástico.

La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original; cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción.

Objetivo.

Conocer los rangos de comportamiento plástico y líquido en un suelo, así mismo, la contracción lineal que se presenta por medio de los límites de consistencia y la prueba de contracción lineal.

Equipo

- Balanza de 1 Kg., con aproximación de 0.1 gr.
- Tara metálica
- Regla graduada.
- Molde para la prueba de contracción lineal.
- Copa de casa grande con ranurador.
- Vidrio esmerilado.
- Piseta.
- Horno a temperatura constante de 110 grados centígrados.

Material

- 300 gr. De material que pasa la malla No. 40

Desarrollo

- 1.- La porción obtenida de la práctica 2 destinada a esta prueba, se coloca en agua un día antes para que se sature.
- 2.- Primero se determinará el límite líquido y luego el plástico.
- 3.- Se mezcla el material homogéneamente y se coloca en la copa de casagrande.
- 4.- Se le practica la ranura de dimensiones estándar.
- 5.- Se le da vueltas a la manivela de tal manera que a los 25 golpes chica ranura cierre un centímetro longitudinal.
De no cerrar en los 25 golpes se le adicionará agua, y de lo contrario cundo la ranura llegue a cerrarse antes de los 25 golpes, se repetirá la prueba.
- 6.- Cuando se llegue al límite líquido, se encuentra el contenido de humedad del límite mediante la expresión:

$$W\% = \frac{wh - ws}{Ws} \times 100 \text{ ----- } 1$$

Donde:

- w.- contenido de humedad en porcentaje
- wh.- peso de material húmedo.
- Ws.-peso de material seco

Para encontrar dicho contenido de humedad utilizamos las taras metálicas y secamos el material al horno, habiendo registrado los pesos húmedo y seco.

Determinación del límite plástico.

- 7.- Se toma parte del material con el que se determinó el límite líquido, procediendo a hacer un rollito de 3 mm de diámetro, para lo cual, emplearemos la palma y los dedos de la mano, o bien , una placa de vidrio esmerilado.
- 8.- Se remoldeará hasta que dicho rolado haga que el rollito se agriete apreciablemente, para lo cual estaremos dentro del límite plástico.
- 9.- Para el cálculo del contenido de humedad, se coloca el rollito dentro, durante 24 horas, con su respectiva tara identificada, y empleamos la formula 1.

10.- Calculamos el índice plástico.

$$Ip \% = LI - Lp$$

Donde:

Ip.- Índice plástico en porcentaje.

LI.- Límite líquido en porcentaje.

Lp.- Límite plástico en porcentaje.

11.- Se llenan los registros de prueba

Determinación de la Contracción Lineal

12.- El material utilizado para determinar el límite plástico se colocará en el molde de 2 x 2 x 10 cm., en tres capas. Para lo cual se golpea en su base para evitar la presencia de vacíos en su llenado por capas.

13.- Se deja reposar de 2 a 3 horas y después se mete al horno durante 16 a 24 horas hasta que seque.

14.- Se mide la longitud interior del molde, correspondiente a la longitud inicial del espécimen húmedo.

15.- Se calcula la Contracción Lineal.

$$CL \% = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100$$

Donde:

CL.- Contracción lineal en porcentaje.

Li.- Longitud inicial en cm.

Lf.- Longitud final en cm.

Observaciones y comentarios

Al efectuar la prueba, la ranura, se puede cerrar debido al deslizamiento del suelo sobre la copa y no al flujo, provocada por los golpes, además del desajuste en el aparato de casagrande, desgaste de la base del aparato, pérdida de agua por evaporación en la muestra.

La cantidad de material colocada en la capa puede ser insuficiente.

La copa y el ranurador deberán estar limpios antes de iniciar la prueba.

LIMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL

ESTUDIO POR EFECTUAR _____				ENSAYE No. _____			
LOCALIZACION _____				FECHA DE INICIACION _____			
CALCULO _____				FECHA DE TERMINACION _____			

LIMITE LIQUIDO

PRUEBA No.	CAPSULA No.	No. DE GOLPES	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO g	PESO CAPSULA + SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE LA CAPSULA g	PESO DEL SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %

LIMITE PLASTICO

HUMEDAD NATURAL

W_p = _____ %

LL = _____ %

LP = _____ %

Ip = _____ %

CR = $\frac{LL - W_p}{IP}$ = _____

F_w = _____ %

T_w = $\frac{Ip}{F_w}$ = _____

CLASIF. SUCS. _____

CONTRACCION LINEAL

LI = _____

LF = _____

CL = _____

OBSERVACIONES: _____

2.4 PRUEBA DE COMPACTACIÓN.

Para encontrar el grado de compactación se requiere el patrón de laboratorio con el que se debe comparar el peso volumétrico seco encontrado en el campo. Las pruebas de compactación del laboratorio son principalmente de dos tipos: estática y dinámica. En las primeras, el espécimen se compacta con una presión que se proporciona al material por medio de una placa que cubre la superficie libre del molde y cuyo principal exponente es la prueba de Porter estándar. En las pruebas dinámicas el espécimen se elabora compactando el material por medio de pisones que tienen un área de contacto menor que la sección libre del molde que se usa; el ejemplo típico es la prueba proctor, con las siguientes características:

Diámetro del molde	10.2 cm.
Peso del pison	2.5 Kg. (5lb)
Altura de caída	30.5 cm.
Núm. De capas	3
Núm. De golpes	25

Para la construcción de caminos en México, desde 1950 se cambió el número de golpes por capa, de 25 a 30, y esta prueba se denominó proctor 30 golpes.

Compactación estática porter estándar.

En esta práctica se describe la prueba porter de compactación por carga estática, que sirve para determinar el peso específico Seco Máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas, que se emplean en la construcción en terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor que seis.

El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de 1", agregándoles diferentes cantidades de agua, compactándolos con carga estática. La principal aplicación de este procedimiento es, la elaboración de especímenes de suelo, para determinar el valor relativo de soporte y también se utiliza en la determinación del grado de compactación en los casos en que el proyecto así lo indique.

Objetivo.

Obtener el peso volumétrico Seco Máximo (PVSM), la humedad óptima (Wo), la expansión (E) y el valor relativo de soporte (VRS) mediante la prueba de porter estándar.

Equipo.

- Molde porter
- Prensa de compactación porter
- Pila de saturación
- Horno
- Bascula
- Marco de carga con extensómetro
- Charola
- Varilla punta de bala

Material

- 16 Kg. de material obtenido por cuarteo

Desarrollo

- 1.- Se pesan de 4 Kg. de material
- 2.- Se humedece el material, hasta que se forme un grumo cerrando el puño.
- 3.- Se coloca 4 Kg. de material en el molde porter de 15 cm. De diámetro en tres capas, aproximadamente 1.3 Kg. por capa.
- 4.- Se acomoda el material con una varilla punta de bala dándole 25 golpes por cada capa.
- 5.- Se da una presión de 140.6 Kg./cm^2 (estática) mediante la utilización de la prensa compactación, es decir una carga de 27 toneladas aproximadamente, aplicando la carga lentamente en un lapso de 5 minutos.
Si al momento de aplicar las 27 toneladas se aprecia la salida leve de humedad del molde porter, estaremos asegurando que tenemos el PVSM y la humedad óptima.

6.- Se calcula el PVSM y la humedad óptima.

- La humedad óptima mediante un testigo en una cápsula y con la expresión :

$$W_o \% = \frac{w_h - w_s}{w_s} \times 100$$

Donde:

W_o = Humedad óptima en porcentaje

W_h = Peso del material húmedo

W_s = Peso del material seco

_ El peso volumétrico húmedo con el peso del material húmedo y el volumen compacto en el molde porter.

$$PVH = \frac{PMHC}{V} \text{ (kg/cm}^3 \text{)}$$

Donde:

PVH.- peso volumétrico húmedo

PMHC.- peso del material húmedo compactado

V.- volumen compactado

_ El peso volumétrico seco Máximo será entonces:

$$PVSM = \frac{PVH}{1+W_o} \text{ (kg/cm}^3 \text{)}$$

Donde:

PVSM.- Peso volumétrico seco máximo

PVH.- Peso volumétrico húmedo

1.- Constante

W_o.- Humedad óptima, expresado en decimal

7.- Se introduce el espécimen en un tanque de saturación y se hace una lectura de extensómetro inicial.

Se deja saturar, cuando menos 72 horas o hasta que finalice la expansión y se toma la lectura final en el extensómetro, no requiriendo más de 5 días para la expansión total.

8.- Se calcula la expansión:

$$\% E = \frac{L_i - L_f}{D} (100)$$

Donde:

E .- Expansión en porcentaje

L_i.- Lectura inicial

L_f.- Lectura final

D .- Espesor compactado

- 9.- Se saca el espécimen del agua y se hace la prueba de resistencia o del VRS.
- 10.-En el marco de carga con extensómetro, se somete el espécimen al efecto de la penetración de un cilindro de 19.35 cm de área.
- La deformación sufrida y registrada en el extensómetro se transforma posteriormente a la carga, mediante el uso de la curva de calibración del marco de carga.
- Se registran las cargas para penetraciones de: 1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16, y 12.70 mm; se grafica penetración contra carga y se infiere en valores relativos de soporte del material en estudio en la gráfica suministrada.

Observaciones

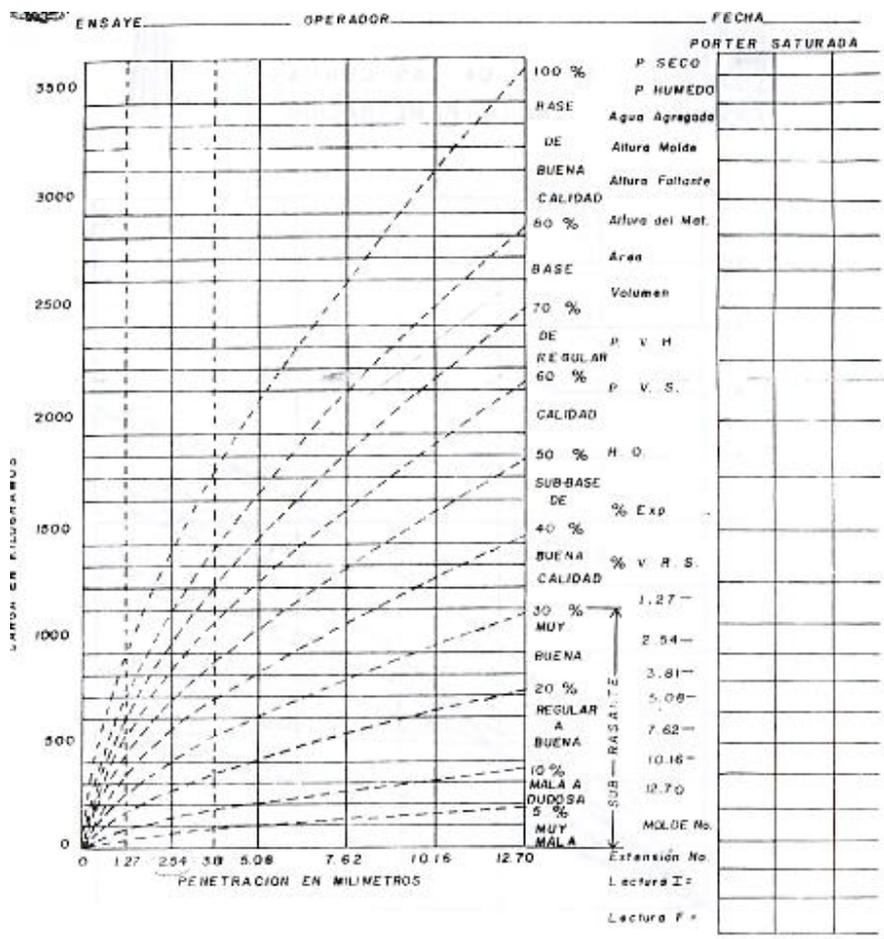
Se debe tomar en cuenta el peso del material, ya que después de la compactación, el material puede quedar adherido a la placa de compactación.

El material empleado tiene diferentes variaciones dependiendo del ambiente climatológico. Los materiales arcillosos tienen mayor expansión.

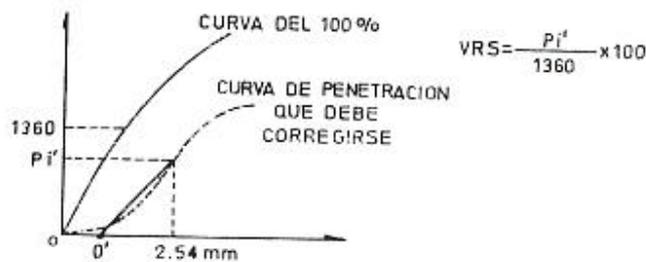
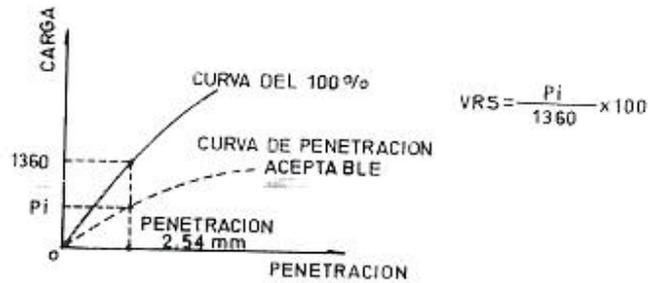
PESO ESPECIFICO SECO MÁXIMO PORTER Y DEL V.R.S. ESTÁNDAR

OSIA _____		FECHA _____	
LOCALIZACION _____		OPERADOR _____	
SONDEO NUM _____	ENSAYE NUM _____	CALCULO _____	
MUESTRA NUM _____	PROF _____		
DESCRIPCION _____			
ENSAYE No.			
EQUIPO			
PESO SECO			
PESO HUMEDO (W _h)			
ACUA ABRIBADA			
ALTURA DEL MOLDE			
ALTURA FALTANTE			
ALTURA DEL MATERIAL			
AREA DEL MOLDE			
VOLUMEN DE MATERIAL (V _m)			
P.E.M.H. ($\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$)			
P.E.S.M. (γ_d máx)			
HUMEDAD OPTIMA			
V. R. S.			
PENETRACION			
1.27 mm.			
2.54 mm.			
3.81 mm.			
5.08 mm.			
7.62 mm.			
10.16 mm.			
12.70 mm.			
EXPANSION			
FECHA			
LECTURA INICIAL			
LECTURA FINAL			
DIFERENCIA			
EXPANSION			

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



CALCULO DEL VRS



Compactación dinámica proctor.

Se entiende por compactación, la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de sus partículas sólidas y su expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

El contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos específicos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso específico seco máximo, son función del tipo de suelo; los suelos gruesos para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos específicos secos máximos y menores humedades óptimas que los suelos finos.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecidos procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación del material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son los siguientes tipos:

- Compactación dinámica AASHTO estándar.
- Proctor SCT, modificada 3 y 5 capas.
- Compactación proctor.

d) Compactación Hveem.

Objetivo.

Determinar el peso volumétrico Seco máximo y la humedad óptima, mediante la prueba de compactación proctor.

Equipo.

- _ Molde proctor de compactación de 10.2 cm de diámetro exterior y 12.3 cm de altura.
- _ Pisón cilíndrico, de 5 cm de diámetro en la base y un peso de 2.75 Kg.
- _ Guía de lamina galvanizada, de 48 cm de longitud con un escalón a 45.7 cm (18") para dar caída libre al martillo.
- _ Base estándar de 325 Kg. de peso.
- _ Charola de lámina galvanizada de 50 x 50 x 10 cm.
- _ Juego de espátula de acero y de enrazador.
- _ Pieza prismática de madera de 20 x 5 x 5 cm; para desmoronar terrones.
- _ Probeta graduada de 500 ml.
- _ Horno de temperatura constante de 110° C.
- _ Báscula.
- _ Balanza de torsión o balanza eléctrica.
- _ Cápsula de porcelana o material refractario.
- _ Cucharón de lámina galvanizada.
- _ Desarmador plano.

Material.

- _ 12.5 Kg. Aproximado de material que pasa la malla No 4 ó tiene un 10% de retenido en ésta malla.
- _ Cinta adhesiva.

Desarrollo.

- 1.- Se desmoronan los terrones de material, utilizando la pieza de madera cuadrada.
- 2.- Se esparce el agua, en cantidad tal, que la humedad resulte un poco menor del 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor.
- 3.- Se revuelve perfectamente el material, tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.
- 4.- Usando el cucharón, se vacía el material en el molde proctor, previamente armado con su extensión, el material suficiente es vaciado para obtener una caja floja de unos 8 cm de espesor.
- 5.- Esta capa se compacta mediante 30 golpes con el pisón, procurando repartirlos en toda la superficie y usando la guía metálica para que la altura de caída sea la misma.
- 6.- Se vuelve a vaciar el material en el molde para tener una segunda capa que, agregada a la primera, de una altura total de unos 11 o 12 cm. Compactándola del mismo modo que la primera.
- 7.- En idéntica forma, se procede con la tercera capa, procurando que una vez compactado el material, la superficie del material esté a 12 cm.

- 8.- Al terminar la compactación de las tres capas, se enrasa la muestra hasta el nivel superior del molde, retirando el material sobrante, con el enrasador. Se recomienda medir un desarmador plano la distancia que existe entre el borde superior del molde y el collarín, marcando con una tela adhesiva; lo anterior es con el objeto de remover todo el material adherido al collarín, pero sin bajar más allá de la altura del molde.
- 9.- Se aflojan las mariposas del collarín y se empieza a girarlo hacia los lados para retirarlo del molde.
- 10.- Se limpia exteriormente el molde y la placa base, pesándose con la muestra compactada en el platillo de la báscula, aproximando la lectura hasta 5 gr.
- 11.- El material se desecha y se repiten los pasos del 4 al 10, utilizando 2.5 Kg. de material virgen, con una humedad superior de 2 al 5 % con respecto al punto anterior. El paso 11 se repetirá aumentando la cantidad de agua, hasta obtener de 4 a 5 puntos en la curva de compactación proctor.
- 12.- Las cápsulas que contienen la muestra de humedad de cada ensayo, se colocan dentro del horno a 110° C durante 18 horas mínimo. Transcurrido el tiempo, se retira del horno y se registra el valor en la columna tara más muestra seca.

Observaciones.

La muestra utilizada para la prueba de compactación debe secarse solamente lo necesario para poder disgregarla.

Durante la compactación, los golpes del pisón deben ser uniformes sobre la superficie del espécimen, manteniéndose la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón se libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.

La humedad del primer espécimen es inferior de la óptima y cada una de las ramas de la curva se definirá con dos puntos como mínimo.

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO Y HUMEDAD ÓPTIMA

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA _____	ENSAYE No. _____
LOCALIZACIÓN _____	FECHA DE INICIO _____
CÁLCULO _____	FECHA DE TÉRMINO _____

TIPO DE PRUEBA _____	PESO PISÓN _____	MOLDE No. _____
No. DE CAPAS _____	ALTURA DE CAIDA _____	VOLUMEN (V) _____
No. DE GOLPES POR CAPA _____		

PRUEBA	NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO								
PESO DEL MOLDE gr								
PESO SUELO HUMEDO gr (Wm)								
PESO ESPECIFICO HUMEDO $Kg/m^3 = \frac{Wm}{V}$								
CAPSULA No.								
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr								
PESO CAPSULA + SUELO SECO gr								
PESO DEL AGUA gr								
PESO CAPSULA gr								
CONTENIDO DE AGUA % (w)								
PESO SUELO SECO gr								
PESO ESPECIFICO SECO $Kg/m^3 = \frac{Wd}{V(1-w)}$								

PESO ESPECIFICO EN Kg/m³

CONTENIDO DE AGUA EN %

W_{opt} : ——— % γ_d : ——— Kg/m³

2.5 VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL.

Para determinar la Viscosidad Saybolt-Furol, de los asfaltos rebajados de fraguado rápido, y fraguado medio, cuyos resultados permite conocer la consistencia de los productos asfálticos a las temperaturas especificadas, para esta prueba pudiéndose realizar a otras temperaturas comprendidas entre 20 y 100 °C, para conocer la susceptibilidad térmica de estos productos asfálticos y fijar el intervalo de temperatura dentro del cual, adquieren las consistencias apropiadas para su uso. La prueba consiste fundamentalmente, en determinar el tiempo que tarda en pasar 60 cm³ del material asfáltico a través de un orificio furol, instalado en un tubo corto en posición vertical, bajo condiciones de carga y temperatura especificada.

Equipo.

- _ Viscosímetro Saybolt con orificio Furol.
- _ Matraz aforado de 60 cm.
- _ Termómetro graduado de 0 a 100 °C.
- _ Cronometro.

Material.

- _ Rebajado de fraguado medio FM-1 (producto asfáltico).
- _ Rebajado de fraguado rápido FR-3 (producto asfáltico).
- _ Petróleo o gasolina blanca.
- _ Estopa

Desarrollo.

- 1.- En el viscosímetro se calienta en baño de aceite a una temperatura de 0.5 °C mayor que la prueba.
- 2.- Se colocan 150 gramos de producto asfáltico aproximadamente, en un vaso de precipitado, se calienta a 1°C más que la temperatura de prueba, teniendo cuidado de agitar el vaso para que la temperatura sea uniforme.
- 3.- Se vacía el contenido en la copa del viscosímetro, hasta que el nivel se derrame, se mantendrá así durante 15 minutos hasta alcanzar la temperatura adecuada.
- 4.- Se comprueba la temperatura con el termómetro, se permite que entre el aire.
- 5.- Se abre el obturador y se cuenta el tiempo en que tarda en llenarse el matraz aforado de 60 cm³ a través de la viscosidad del producto a la temperatura de prueba.
- 6.- Las temperaturas de prueba recomendadas son:
25° C para emulsiones: FR0, FM0, y FL0.
50° C para emulsiones: FR1, FM1, y FL1.
60° C para emulsiones: FR2, FM2, FL2, FR3, FM3, FL3.
82° C para emulsiones: FR4, FM4, y FL4

Observaciones:

Al efectuarse esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

Llevar a cabo la prueba en lugares que no tengan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura.

Evitar la formación de espuma o burbuja de aire, para lo cual, el asfalto debe ocurrir por la pared del cuello del matrás.

Limpiar el equipo de prueba, antes y después de utilizarlo con petróleo.

Verificar periódicamente que las paredes interiores del baño y del tubo del viscosímetro no tengan impurezas.

PRUEBA DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS

ESTUDIO POR EFECTUAR _____	ENSAYE NO. _____
LOCALIZACION _____	FECHA DE INICIACION _____
CALCULO _____	FECHA DE TERMINACION _____

Material	Peso del material (gr)	Tiempo (Seg)	Temperatura (°C)

Observaciones _____

2.6 PRUEBA MARSHALL.

El método marshall está limitado al proyecto de control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en plantas estacionarias, en caliente, utilizando cemento asfáltico.

En esta prueba, se determinarán los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente, con un sistema determinado y probados a 60 grados celcius.

El valor de estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen; aplicada en sentido normal a su eje.

La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga, será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está efectuada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente, el valor de estabilidad, es un índice de la calidad del agregado.

El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la resistencia que ofrecerá la carpeta al deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Objetivo.

De los resultados que se deriven de la prueba se podrá determinar el contenido óptimo de asfalto, que habrá de contener un concreto asfáltico.

Equipo.

- _ 5 Charolas.
- _ Molde para compactación provisto de un collarín y placa base de 10 cm. de diámetro.
- _ Sostén del molde de compactación.
- _ Pisón de compactación equipado con una pesa deslizante de 4.5 Kg. y 46 cm. de caída.
- _ Extensómetro.
- _ Medidor de flujo.
- _ Parrilla eléctrica
- _ Cucharón
- _ Termómetro de inmersión de 200 grados centígrados.
- _ Balanza de 20 Kg. con aproximación de 1 gr.
- _ Espátula.
- _ Baño Maria
- _ Mordazas para la prueba de compresión.
- _ Marco de carga Marshall.

Material

- _ Grava
- _ Cemento asfáltico del No. 8
- _ Papel filtro
- _ Aceite quemado
- _ Parafina
- _ Cubierta
- _ Hilo cáñamo

Desarrollo.

- 1.- Fijar la granulometría de la mezcla asfáltica, determinando el porcentaje en peso de los materiales pétreos, retenidos en las mallas de: 1 ½", ½", ¼", No. 10 y materiales que pasan las mallas de: ¼", No. 40.
- 2.- Se fabricarán tres especímenes para cada uno de los contenidos de mezcla asfáltica, pesará aproximadamente cada pastilla 1200 gr.
- 3.- Los agregados pétreos y el cemento asfáltico se calentarán previamente a la temperatura de 120 a 175 grados centígrados.
- 4.- Se hace una mezcla que contenga un porcentaje de asfalto "A", para que proporcione el mínimo del cubrimiento total.
- 5.- Se hace varias mezclas variando desde "A" + 2% hasta "A" - 0.5%.
- 6.- Para la elaboración de los especímenes la temperatura no deberá ser menor de 100 grados centígrados.

- 7.- El pisón, el molde y la placa base se calentará previamente en un baño de agua hirviendo.
- 8.- Se saca el equipo del baño maría, se engrasa el molde y la placa base, posteriormente se arma el molde colocándole papel filtro en el fondo del molde vertiéndole la mezcla caliente.
- 9.- Se compactará la mezcla con el pisón, aplicándose 75 golpes en cada cara, durante el proceso de compactación la superficie del pisón deberá permanecer paralela al molde.
- 10.- Terminada la compactación se extraerá el espécimen del molde, dejándolo enfriar a la temperatura ambiente durante 24 horas.
- 11.- Una vez terminadas las 18 pastillas se obtiene su peso en aire.
- 12.- Se funde la parafina hasta quedar líquida, y se cubre los especímenes con ella, para obtener su peso en aire y sumergidos en agua.
- 13.- Posteriormente, se quita cuidadosamente la parafina, para ser sometidas a compresión lateral, parcialmente confinadas, sujetándolas con las mordazas y se le da carga en el marco Marshall, hasta la ruptura.
- 14.- Se registran para cada ensaye los siguientes datos:
 - a) la carga de ruptura P en Kg. conocida como estabilidad.
 - b) La deformación delta en mm. Conocida como flujo.
 - c) El peso volumétrico para ese contenido de asfalto en porciento.
 - d) El flujo para ese mismo contenido.
- 15.- Se realizan las siguientes gráficas:
 - _ Peso volumétrico contra % de asfalto
 - _ Relación de vacíos contra % de asfalto
 - _ Esfuerzo contra % de asfalto.
 - _ Flujo contra % de asfalto.
- 16.- Con estas gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contenido óptimo de asfalto} = \frac{C1 + C2 + C3 + C4}{4} = \%$$

donde:

- CO .- Contenido óptimo de asfalto, en porcentaje.
- C1 .- Contenido para el máximo peso volumétrico máximo.
- C2 .- Contenido para la máxima estabilidad.
- C3 .- Contenido para el flujo de 4.5 mm
- C4 .- Contenido para la relación de vacíos de 5.5 %.

Observaciones

- Tomar en cuenta la composición granulométrica y el tipo de agregado.
- Verificar que el cemento asfáltico empleado esté a la temperatura indicada.
- Homogenizar perfectamente el agregado con el cemento asfáltico.
- Eliminar cualquier residuo en el equipo antes y después de la realización de la prueba.

perdiendo resistencia en la carpeta, y se produce deformaciones o desplazamientos perjudiciales al peso de los vehículos. De las pruebas de estabilidad en la compresión sin confinar; de las pruebas triaxiales, incluyendo la que se verifica con el estabilómetro de Hveen, así como de las pruebas de extracción y de Marshall, existen valores mínimos de estabilidad para el empleo de la mezcla asfáltica propuesta, que puede ser autorizado en la construcción de carpetas de rodamiento.

Esta elaboración de mezclas asfálticas para cualquier procedimiento de prueba que vaya a ser seguido, se recomienda tratar de reproducir en el laboratorio las condiciones del campo, empleando el mismo tipo de producto asfáltico, que deberá ser calentado hasta la temperatura recomendada de aplicación, llevando el material pétreo a la temperatura que se tendrá en la planta mezcladora a 40° C, si se va a hacer mezcla en el lugar.

Objetivo.

Determinar el contenido óptimo de asfalto, mediante la prueba de compresión sin confinar.

Equipo.

- _ 1 Molde metálico de 10.2 cm de diámetro interior. Utilizable cuando el tamaño del agregado es menor que 9.5 mm (3/8”).
- _ 1 Molde metálico de 12.7 cm de diámetro interior. Utilizable cuando el tamaño máximo del agregado es de 3/8”.
- _ 1 Máquina de compresión.
- _ 1 Varilla con punta de bala.
- _ 1 Pisón metálico.
- _ 1 Cuchara de albañil
- _ Charolas de lámina
- _ Balanza de 10 Kg. con aproximación de 1 gr.
- _ Un termómetro.
- _ Vasos de precipitado.
- _ Horno.

Material.

- _ Grasa
- _ Rebajado asfáltico (fraguado rápido, FR-3)

Desarrollo.

- 1.- Determinar la granulometría del material pétreo de manera tal, que si el tamaño del agregado es mayor que 9.5 mm (3/8”), se requerirán 4 kilos de material pétreo para cada uno de los seis (6) especímenes de prueba. Si el tamaño máximo del agregado es igual o menor de 9.5 mm, sólo se requerirán 2 Kg. por cada espécimen.
La cantidad de producto asfáltico necesario para cada una de las seis muestras, se calculará sobre la base del contenido mínimo de asfalto. Estas cantidades de producto

asfáltico, deberán corresponder a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentajes del peso del material pétreo:

Contenido calculado -0.5%

Contenido calculado neto

Contenido calculado +0.5%

Contenido calculado + 1.0%

Contenido calculado + 1.5%

Contenido calculado + 2.0 %

A cada muestra de material pétreo se incorporará la cantidad calculada de producto asfáltico más un porcentaje (generalmente 0.5%) que corresponde al material que queda adherido a la charola. Terminadas estas operaciones, habrá que colocarse en cada muestra una tarjeta, en donde se indique el porcentaje de asfalto correspondiente.

2.- La compactación de los especímenes se llevará a cabo por cualquiera de estos dos procedimientos; como carga estática o por medio de impactos. Para determinar que método se utilizará, deberá compactarse por ambos métodos dos muestras, y elegir aquel que de especímenes con mayor peso volumétrico y menor número de partículas fracturadas.

Descripción de los métodos.

a) inmediatamente después de terminada la mezcla, se procederá a su compactación utilizando el molde que le corresponda (de acuerdo con el T.M.A). Se colocará el material en el molde previamente calentado, en tres capas de igual espesor, dando a cada capa, 25 golpes en forma concéntrica para el acomodo del material. En seguida se aplicará con la máquina de compresión, una carga de 3200 Kg. para los especímenes de 10.2 cm y 5000 Kg. para los de 12.7 cm. Una vez alcanzada la presión especificada, se mantendrá ésta, por un período de dos minutos.

Después se dejará enfriar el molde para extraer la muestra y se dejará transcurrir el tiempo necesario para que adquiera la temperatura ambiente. Es importante que todos los especímenes estén a una misma temperatura para lograr resultados concordantes.

b) Los golpes para el acomodo del material, varían de acuerdo al diámetro del molde; al de 10.2 cm corresponden 25 golpes, mientras que al de 12.7 cm aumentan a 40 golpes.

c) Una vez que los especímenes estén fríos y compactados, se probarán a la compresión sin confinar aplicando la carga lentamente, hasta alcanzar la ruptura. Entonces se calculará la resistencia unitaria para la carga máxima restringida en cada uno de los especímenes aprobados y con estos datos, se obtendrá una gráfica, cuyas ordenadas serán las resistencias obtenidas y cuyas abscisas serán los contenidos del asfalto expresados sobre la base del cemento asfáltico y referidos al peso del agregado pétreo. El contenido óptimo se localiza dentro de la rama ascendente de la curva correspondiente al segundo máximo.

Observaciones.

El método de compresión sin confinar, nos dice que el contenido óptimo de asfalto se localiza dentro de la rama ascendente de las curvas correspondientes.

Verificar que el equipo se encuentre limpio antes y después de utilizarlo.

PRUEBA DE COMPRESIÓN SIN CONFINAR PARA OBTENCIÓN DE EL OPTIMO DE ASFALTO

ESTUDIO POR EFECTUAR _____			ENSAYE NO. _____			
LOCALIZACION _____			FECHA DE INICIACION _____			
CALCULO _____			FECHA DE TERMINACION _____			

Probeto	Peso tara (gr)	Peso tara + Material	FR - 3		Peso tara + Mat. (gr)	Disolvente por perder (gr)	Peso final (gr)
			%	(gr)			
			3.5				
			3.5				
			4.0				
			4.0				
			4.5				
			4.5				
			5.0				
			5.0				
			5.5				
			5.5				
			6.0				
			6.0				
			6.5				
			6.5				

2.8 PORTER MODIFICADA A DIFERENTES GRADOS DE COMPACTACIÓN.

La prueba de porter modificada tiene por objeto determinar el Valor Relativo de Soporte, de los suelos empleados o que se pretenden utilizar en las terracerías, principalmente en la capa sub.-rasante, y se lleva a cabo en especímenes con diferentes grados de compactación y en condiciones de humedad estimadas, como las más desfavorables que considere, puedan alcanzar dichos suelos durante la operación de la obra; generalmente se utiliza este valor relativo de soporte, en el proyecto o revisión de espesores de pavimento, teniendo tres variantes, según las cuales los especímenes contengan la humedad óptima con humedad igual o superior a la óptima, o bien con la humedad natural.

En esta prueba se determina su peso específico máximo y su humedad óptima, elaborados a ciertos grados de compactación.

% Grados de compactación

100

101

95 a 75

Humedad óptima

Humedad óptima más 1.5%

Humedad óptima más 3.0%

Objetivo:

Obtener el valor relativo de soporte en especímenes elaborados a diferentes grados de compactación.

Equipo:

- _ Molde porter
- _ Varilla punta de bala.
- _ Tara o cápsula para testigo.
- _ Báscula.
- _ Prensa de compactación porter.
- _ Marco de carga porter
- _ Probeta graduada

Material:

- _ Arcilla-Grava
- _ Tepetate-Grava

Desarrollo:

- 1.- Dependiendo del porcentaje del retenido en la malla No 4, se elegirá el peso Volumétrico seco máximo y la humedad óptima de la prueba que corresponda. Si el retenido en la malla No. 4 es mayor al 10 %, se utilizarán los valores de la Prueba porter Estándar en caso contrario los de la prueba proctor S.C.T.
- 2.- Para la prueba se trabajará con el 95 % del P.V.S.M y con la humedad óptima + 1.5 %.
- 3.- Se determina el peso volumétrico de prueba, el agua por agregar y el peso del material húmedo.
- 4.- Se mezcla el material con el agua por agregar y se llena el molde porter en tres capas con el auxilio de la varilla, proporcionándole 15 percusiones por capa. Conocido previamente el peso del material.
- 5.- Se compacta con la prensa para darle el volumen deseado y por ende, el peso volumétrico de prueba.
- 6.- Posteriormente se somete el espécimen a la prueba de penetración, para la obtención del Valor Relativo de Soporte (VRS).
- 7.- Se toma un testigo de la humedad, para comprobar si efectivamente se utilizó la humedad óptima + 1.5 %.
- 8.- Se llenan los registros de prueba.

Observaciones y recomendaciones.

En el desarrollo de la práctica, las causas más frecuentes de error se deben a que la distribución del agua en el material no sea uniforme, además de la incorrecta aplicación de la carga de compactación.

Cuando se estime la humedad óptima y se considere como humedecimiento de la base del molde, un exceso de agua libre expulsada al aplicar dicha carga.

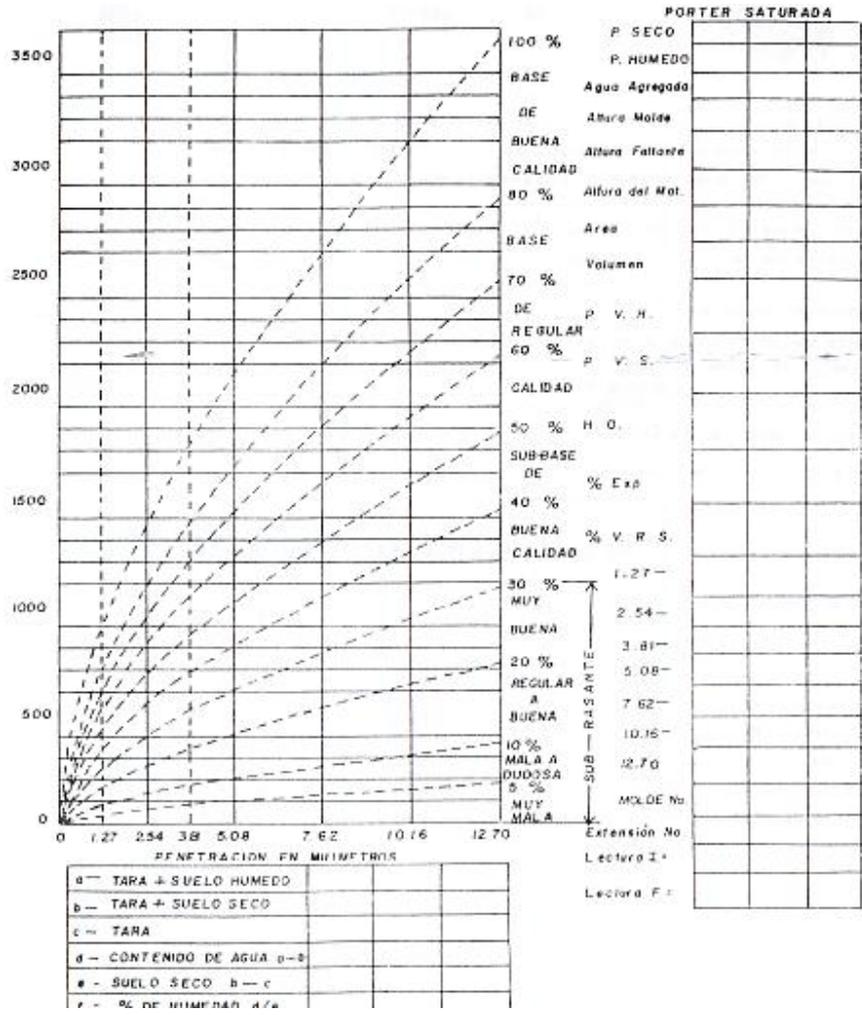
Otros errores frecuentes que también deben considerarse, se deben al no sustituir adecuadamente en la muestra del material retenido en la malla No. 25.0 por igual al excederse el tiempo de escurrimiento del agua en el espécimen saturado; inclusive también cuando la aplicación de la carga de penetración no se efectúe a la velocidad efectuada, y obviamente por que la humedad y el peso del material que se empleen en la prueba, no sean los correctos.

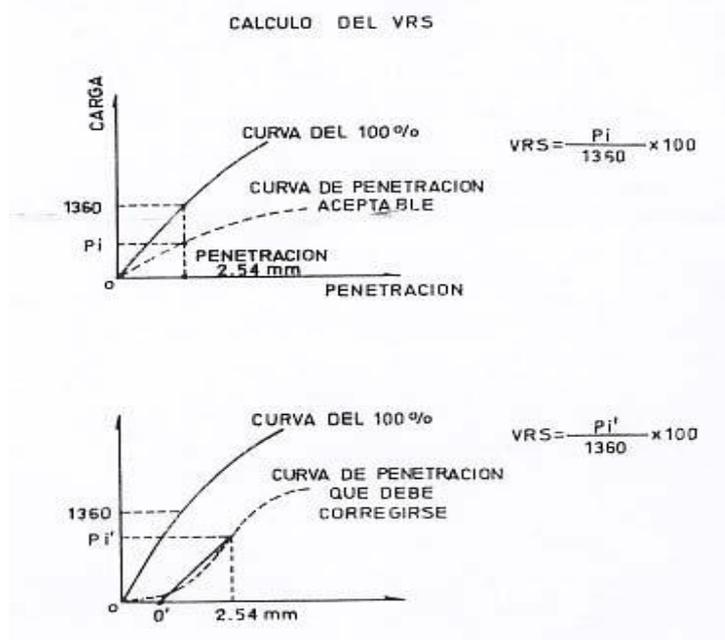
PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

ENSAYE No. _____ FECHA _____ LABORATORISTA _____ EQUIPO No. _____					
PESO (P0) DEL MOLDE COLLARIN Y BASE (gr) _____		VOLUMEN (V) DEL MOLDE (cm ³) _____			
ALTURA () DEL BORDE SUPERIOR DEL COLLARIN A LA PLACA DE CARGA (cm) _____					
PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO (γ-Kg/cm ³) _____		HUMEDAD OPTIMA (W0) _____			
HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (W) _____					
GRADO DE COMPACTACION % _____					
PESO VOLUMETRICO SECO (γ-Kg/cm ³) _____					
HUMEDAD DE PRUEBA (W2) _____					
AQUA POR AGREGAR cm ³ = $\frac{5000(W_2 - W_0)}{100 - W_0}$					
PESO MAT. HUMEDO gr Pw = $\frac{P_0 (100 + W_2)}{100}$					
PESO DEL EQUIPO CON EL MAT HUMEDO gr = P1 + Pw _____					
RESISTENCIA A LA PENETRACION EN Kg.					
1.27 mm (0.05") _____					
2.54 mm (0.10") _____					
3.81 mm (0.15") _____					
5.08 mm (0.20") _____					
7.62 mm (0.30") _____					
10.16 mm (0.40") _____					
12.70 mm (0.50") _____					
VALOR RELATIVO DE SOPORTE CORREGIDO _____					

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

ENSAYE _____ OPERADOR _____ FECHA _____





2.9 GRADO DE COMPACTACIÓN.

La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar, por el método de la trompa y arena, se efectúa en los materiales tanto en estado natural, como en estado compactado y sirve para obtener los grados de compactación y los coeficientes de variación volumétrica.

La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar, por el método del cono y arena, se aplica principalmente en suelos que pasan la malla No. 19.0, tanto en su estado natural, como en estado compactado; sirva para obtener los grados de compactación de los materiales que forman las terracerías y los coeficientes de variación volumétrica.

La medición del volumen del sondeo con arena graduada de peso específico previamente determinado, se hace utilizando un dispositivo constituido esencialmente por dos conos metálicos que se ajustan a un frasco de material transparente.

Objetivo.

Se aplicará el procedimiento de prueba para determinar el grado de compactación de una capa construida.

Equipo.

- _ Vaso de aluminio
- _ Balanza de 1 Kg. , con sensibilidad de 1 gr.
- _ Báscula de 20 Kg., con sensibilidad de 5 gr.
- _ Bolsas de polietileno

- _ Charola
- _ Probeta de 1 lt.
- _ Barreta
- _ Mallas 20 y 30
- _ Flexómetro

Material

- _ Arena de ottawa estándar
- _ Bolsas de polietileno.

Desarrollo.

- 1.- Seleccionar el lugar donde se efectuará la prueba; se limpia y prepara la superficie, de tal forma, que quede nivelada.
- 2.- Se marca en el área de trabajo un cuadrado de 10 x 10 cm.
- 3.- Con ayuda de la barreta, se efectúa la excavación en el sitio de prueba preparado a la profundidad requerida.
- 4.- Se coloca en una bolsa de polietileno el material extraído de dicho sondeo, registrándolo y evitando pérdida de material.
- 5.- Se toma una muestra representativa de 200 grs. Para la prueba de humedad, se se introduce al horno a una temperatura de 100 a 110° C durante 24 hrs.
- 7.- Se llena con arena de Ottawa la probeta y se registra su lectura.
- 8.- Se vierte arena de Ottawa dentro de la excavación con mucha precaución, para evitar pérdidas de material.
- 9.- Una vez llena la excavación, se calcula el volumen de la cala.
- 10.- Para el cálculo del peso volumétrico húmedo se divide el peso del material extraído entre el volumen determinado.
- 11.- El peso volumétrico seco en el lugar se obtendrá al dividir el peso volumétrico húmedo entre 1 + W.
- 12.- Finalmente con los datos anteriores, se calcula el grado de compactación, se encuentra el peso volumétrico seco Máximo de la prueba que le corresponda.

_ Cálculo de humedad:

$$W \% = \frac{w_h - w_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W.- contenido de humedad, en porcentaje

Wh.-peso de la muestra humedad

Ws.-peso de la muestra seca

_ Cálculo del peso volumétrico húmedo:

$$P.V.H. = \frac{P.M.E.}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

P.V.H. peso volumétrico húmedo.
P.M.E. peso del material extraído
V. volumen del material excavado.

_ Cálculo del peso volumétrico seco

$$P.V.S. = \frac{P.V.H.}{1+W} \text{ (Kg. / m}^3\text{)}$$

Donde:

P.V.S. Peso volumétrico seco
P.V.H. Peso volumétrico húmedo
1 constante.
W contenido de humedad, en decimales.

_ Cálculo del grado de compactación:

$$G_c \% = \frac{P.V.S. \times 100}{P.V.S.M.}$$

_ Donde:

Gc.- Grado de compactación, en porcentaje.
P.V.S.- Peso volumétrico seco.
P.V.S.M.- Peso volumétrico seco máximo.

Observaciones y recomendaciones.

Las pruebas de control de la compactación son importantes, por que en función de sus resultados, podemos determinar si la capa construida tiene la resistencia requerida, proporcionada por la compactación o es necesario aplicar mayor energía de compactación, con el fin de incrementar el peso volumétrico y rigidizar más la capa.

Ya que una capa mal compactada, puede ser causa de falla en los pavimentos poco resistentes y muy susceptibles a deformarse bajo las cargas del tránsito o al variar su contenido de agua.

Con estas fórmulas se determina el peso volumétrico seco de campo. Para determinar el grado de compactación es necesario relacionarlo con el peso volumétrico seco máximo de laboratorio, el cual puede ser el porter o el proctor, dependiendo si el material tiene más de un 10% de material retenido en la malla No. 4 o no.

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN

ESTUDIO POR EFECTUAR _____	ENSAYE NO. _____
LOCALIZACION _____	FECHA DE INICIACION _____
CALCULO _____	FECHA DE TERMINACION _____

DATOS	%	kg/m ³
W %		
P. V. H.		
P. V. S.		
G. c.		

Observaciones. _____

2.10 TENSION POR FLEXIÓN

De acuerdo con los materiales pétreos y el cemento Pórtland que se use en una obra determinada, se puede ajustar la correlación; como la **prueba de tensión por flexión** es más elaborada y consume mayor volumen de concreto, es posible realizar el control reduciendo en número de vigas y completar la verificación por medio de cilindros, para probarlos a la compresión.

Para calcular el espesor de las losas, se requiere conocer la resistencia del concreto y la capacidad de soporte de las capas de apoyo.

El parámetro de resistencia que se acostumbra a usar para el concreto hidráulico en pavimento rígidos es el modulo de ruptura (MR), obtenido de la prueba de tensión por flexión. Esta consiste en llevar a la ruptura una viga curada durante 28 días, con una sección transversal de 225cm² (15 cm. por lado) y una longitud de 60 cm.; la carga se proporciona en dos puntos de apoyo en la parte superior de la viga y otros dos en la parte inferior, figura 2.10.1; el modulo de ruptura se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{PL}{Bd^2} \text{ Kg. / cm}^2$$

Donde:

P = carga de ruptura

L = distancia entre apoyos inferiores

b = ancho de la viga

d = peralte de la viga



Fig. 2.10.1 Realización de la prueba de tensión por flexión para encontrar el módulo de ruptura (MR) del concreto hidráulico, en la construcción de pavimentos rígidos.

En la figura 2.10.2 se presenta una correlación entre el módulo de ruptura y la resistencia de la compresión del concreto a los 28 días.

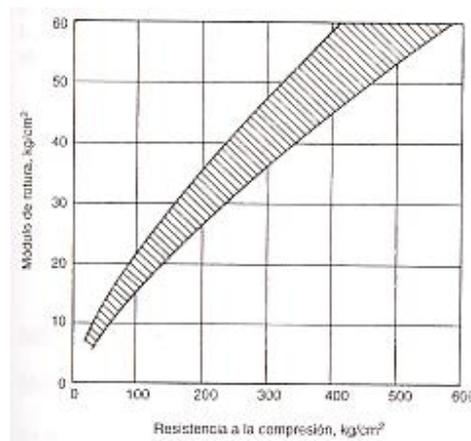


Fig. 2.10.2 Gráfica de la correlación entre el módulo de ruptura (MR) y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico a 28 días (Fc.), para proporcionar los elementos pétreos y la pasta de agua-cemento.

2.11 PRUEBA DE PLACA.

Para encontrar la resistencia de las capas de apoyo, se utiliza la **prueba de placa**, con la que se obtiene el módulo de reacción (k). Para realizar esta prueba, se coloca sobre la capa subrasante una serie de placas como se muestra en la figura 2.11.1. Esta cantidad de placas se requiere para que las inferiores no sufran flexiones y la presión que reciba el terreno sea uniforme.

Sobre la placa superior, se coloca una carga tal que la presión que transmita la placa inferior sea de 0.7 Kg./cm²; en esta placa, se ponen cuando menos tres extensómetros para medir la deflexión producida.

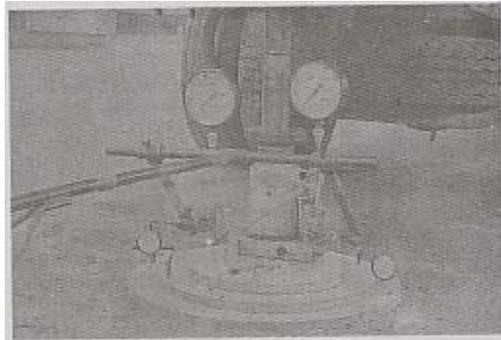


Fig. 2.11.1 Realización de una prueba de placa para encontrar el módulo de reacción (k) en la subrasante de una obra vial, para el proyecto de espesor de la losa de un pavimento rígido.

El módulo de reacción es igual a la relación de la presión proporcionada, entre el promedio de las deflexiones medidas. (&).

k = módulo de reacción

$$\frac{P}{\&} = \frac{0.7 \text{ Kg.}}{\& \text{ cm}^3}$$

El módulo de reacción de la subrasante se corrige de acuerdo con el espesor y la calidad de la sub.-base, mediante las tablas de las figuras 2.11.2 y 2.11.3.

La primer tabla se usa cuando la base se construye con materiales naturales y la segunda, al estabilizar la sub-base influye mucho el valor de “k” aumenta de un modo considerable.

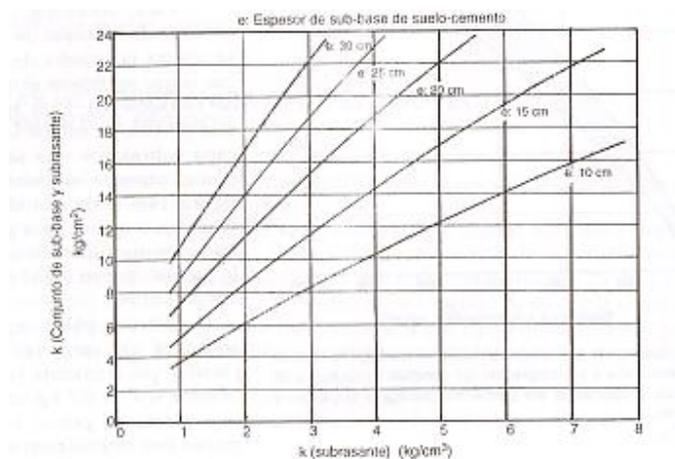


Fig. 2.11.2 Nomograma para encontrar el módulo de reacción corregido, en función del módulo de la subrasante y el espesor de la sub-base de material granular rigidizado

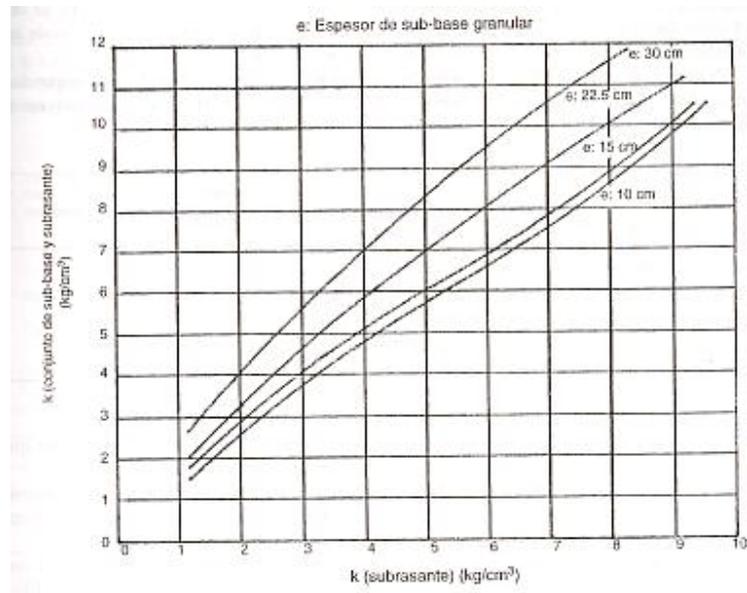


Fig. 2.11.3 Nomograma para encontrar el módulo de reacción corregido para una subrasante, de acuerdo con el espesor de la sub-base natural.

CAPITULO III. METODOS DE DISEÑO.

3.1 MÉTODOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Existe una gran variedad de métodos de diseño que se utilizan para determinar los espesores 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 observaciones de carácter teórico. 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.
- b) Métodos Semiempiricos, que tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas que se supone sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguros, que deben de existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura. Pertenece a este tipo los métodos de MC Leod, Hveem, y del V.R.S.
- c) Métodos basados en pruebas de clasificación de los suelos:
- d) Métodos con base en criterios obtenidos del tramo de prueba AASHO.
 - Shook-Finn
 - Bureau of public works
 - Instituto de ingeniería, UNAM.

Los métodos que se aplican más en México para el cálculo de los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento flexible son: el de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y el del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

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 la característica de resistencia de la subrasante la cual frecuentemente puede ser incrementada mediante compactación o, en algunos casos por estabilización.

Se parte de la hipótesis 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; así 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 caso particular de una estructura de capas múltiples y resistencia relativa uniforme, sujetas a cargas repetidas de

un eje sencillo equivalente, cuyo peso estático es por definición de 8.2 ton. 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 a continuación se presentan se refiere a estructuras cuyo espesor de carpetas 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 terraplen causados por cambios volumétricos, asentamientos o consolidación, el diseño consistirá fundamentalmente en el control de las deformaciones en el terraplen, 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 de donde la excesiva deformabilidad no pueda controlarse, conviene hacer el diseño por etapas planeadas de pavimentos mas 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 interviene en el diseño, es el valor relativo de soporte (VRS), que es un indicador muy aplicado en nuestro medio.

El método de proyecto de pavimentos basado en VRS se utilizó primero en el estado de California (E.U.A), en donde el inventor fue con seguridad el señor porter, quien lo denominó California Bearing Ratio (CBR). Este valor se obtiene como se indicó al describir la prueba de porter estándar, donde la compactación del espécimen es estática y una vez que deja de expandirse por saturación, el espécimen se penetra para calcular el VRS, que es la relación en porcentaje de las resistencias a la penetración de un material en estudio y de un material estándar (caliza triturada):

$$\text{VRS} = \frac{\text{resistencia a la penetración del material en estudio}}{\text{Resistencia a la penetración del material estándar}} \times 100$$

De acuerdo con las observaciones realizadas de las obras que había en California, se diseñó el nomograma de proyecto de pavimentos que se muestra en la figura 3.1.1 donde la curva B corresponde a la original de la década de los años veinte para cargas por rueda de 600 lb. y la curva A, para cargas por rueda de 900 lb. Utilizada en la década de los cuarenta. Más tarde, se emplearon las gráficas que aparecen en la figura 3.1.2 en las que cada curva corresponde a la

carga equivalente del eje del vehículo que más dañará al pavimento; es decir, al principio para el proyecto de los pavimentos del estado de California, se pensó el tránsito a un nivel fijo.

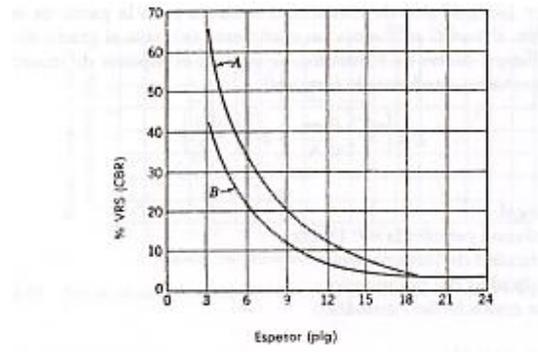


Fig. 3.1.1 Nomograma inicial de California, de acuerdo con el método del VRS.

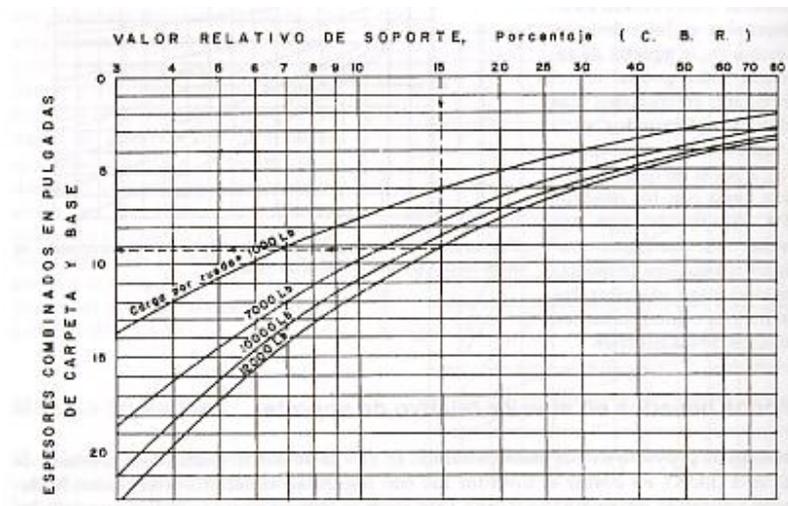


Fig. 3.1.2 Nomograma de proyecto de California, con base en un nivel fijo de tránsito.

En otros estados también han utilizado el VRS de California, como Kentucky, donde se empleó el nomograma de proyecto que se muestra en la figura 3.1.3; cada curva corresponde a un tránsito de ejes equivalentes a 2300 Kg. (5000 lb.).

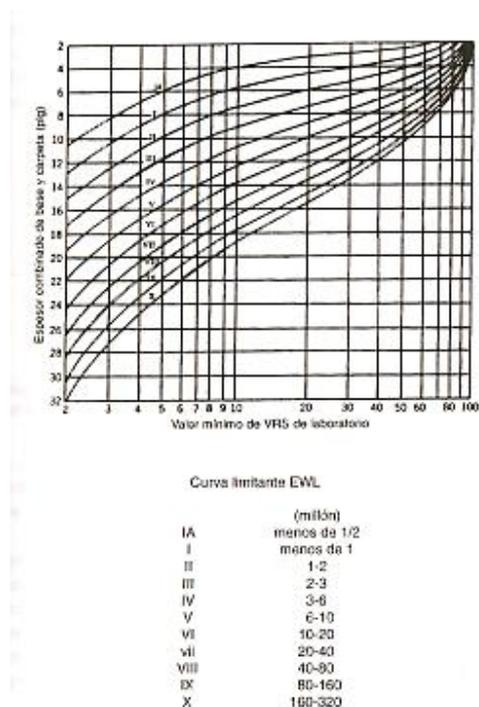


Fig. 3.1.3 Nomograma de proyecto de Kentucky, con base en el VRS y tránsito.

En el estado de Wyoming, también se ha usado del VRS para el proyecto de los pavimentos de sus carreteras por medio del nomograma que se muestra en la figura 3.1.4, en la que hay curvas numeradas del 4 al 15.

El número de la curva que debe utilizarse se alcanza en función del VRS obtenido, la precipitación anual, la posición de las aguas freáticas (NAF), la acción de las heladas, el tránsito y otras condiciones de la zona donde se localiza el camino.

Conforme a cada uno de estos factores, se consigue un valor de la tabla que se muestra en la figura 3.1.4, con la suma de los diferentes valores obtenidos en la parte superior del diagrama, se indica el número de la curva que debe utilizarse para el proyecto, al tomarse en cuenta los factores que influyen en el comportamiento del pavimento; es decir, los factores que afectan de manera desfavorable la resistencia de las terracerías. Sin embargo, las condiciones de humedad requieren una misma calificación si se trata de una terracería arenosa o arcillosa y si tiene alta o baja plasticidad.

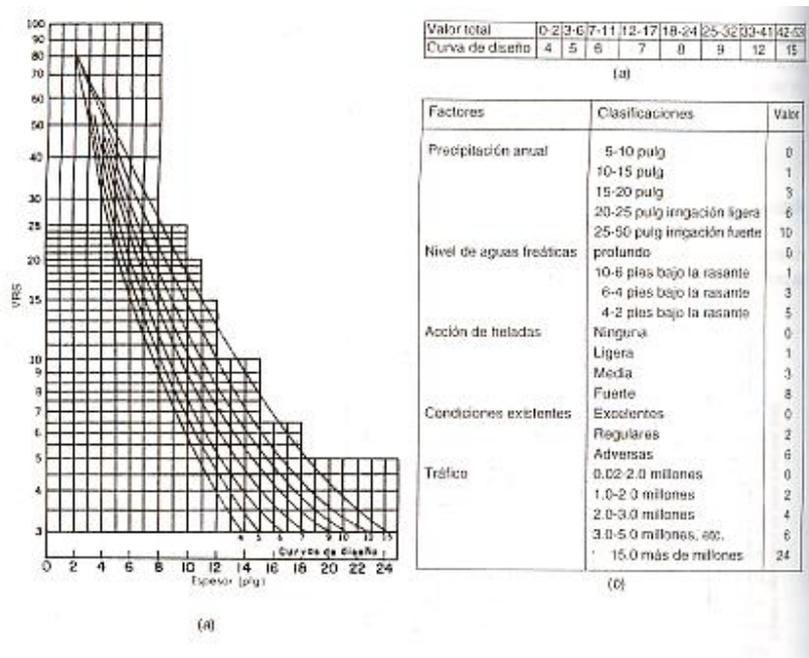


Fig. 3.1.4 (a) Nomograma para calcular espesores, de acuerdo con el método utilizado en Wyoming y con base en el VRS corregido por diferentes condiciones regionales y de tránsito; (b) Obtención del número de la curva de proyecto.

Método de la porter modificada (Padrón)

En México la construcción de caminos se inicio en 1925, para unir así la capital con poblaciones de Puebla, Veracruz, Guadalajara y Laredo; pero estas obras fueron proyectadas y construidas por compañías extranjeras y no fue si no hasta la década de los años cuarenta, cuando los ingenieros nacionales se encargaron de estas tareas y necesitaron utilizar un método para proyectar pavimentos. Por esto se interesaron en establecer o adoptar una prueba de resistencia sencilla pero eficaz y revisaron los estudios realizados por el señor J. O. Porter y la técnica que empezaba a utilizar el Cuerpo de Ingenieros del ejército de E.U.A. Entonces, surgieron las siguientes interrogantes:

1. ¿ Hay diferencias entre compactar los especímenes en forma estática como se hacía en California y compactarlos de manera dinámica como la hacía el Cuerpo de Ingenieros? Si la hay, ¿cuál es la técnica aceptable?
2. ¿ Es suficiente elaborar un solo espécimen con un determinado peso volumétrico y humedad como se hacía en California, o es necesario realizar una gama amplia de combinaciones como en el método del Cuerpo de Ingenieros?
¿ Cuáles son las combinaciones necesarias?
3. ¿ Saturar los especímenes antes de su penetración representa una condición real de campo?

Estas dudas dieron la pauta para realizar en la década de los años cuarenta, aun con equipos y financiamientos limitados, la investigación más seria e importante que sobre el tema se ha efectuado en el país, a fin de contar con una tecnología de proyecto de pavimentos flexibles.

En relación con la primera interrogante, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La compactación dinámica es más tardada y sus resultados son más variables.
- En general, los VRS obtenidos de especímenes compactados de manera dinámica son menores que los correspondientes a especímenes compactados estáticamente. Figura 3.1.5.
- Los especímenes compactados de manera dinámica son menos sensibles al cambio de la calidad de los materiales.

Material granular con finos arenosos

Para un mismo PVSM (100 %-95 % PVSM AE o AM y Wo)

Estático vs. Dinámico

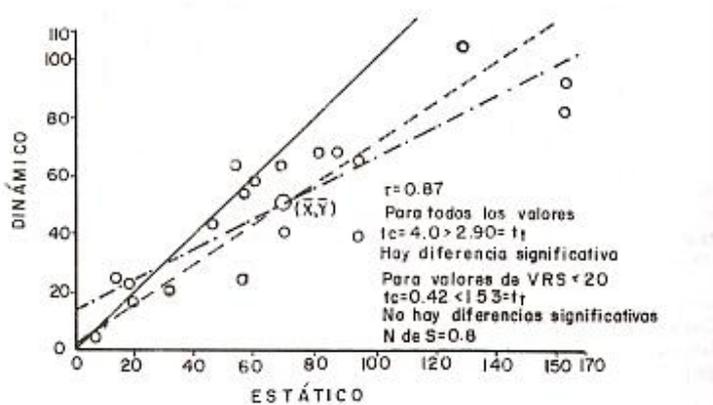


Fig. 3.1.5 Gráfica donde se observa que los valores del VRS obtenidos de especímenes compactados en forma dinámica, son menores que los compactados de manera estática (Estudio SAHOP; 1978).

En la figura 3.1.6 se observan los valores de VRS obtenidos de especímenes compactados de manera dinámica en las abscisas y los derivados de los compactados estáticamente en las ordenadas; cada par de valores se obtuvo en igualdad de pesos volumétricos y humedades.

En primer lugar, se puede ver que los valores de las abscisas son mayores que los correspondientes de las ordenadas, pero la diferencia entre ambos es mayor a medida que la calidad de los materiales es mejor. Así, si para el VRS de las abscisas hay un valor de 60, el valor correspondiente en las ordenadas es de 50; a si mismo, si en las abscisas hay 120, en las ordenadas apenas se tiene 80, lo cual indica que, según los VRS obtenidos en forma dinámica, los materiales son mejores por que el primero de éstos podría considerarse como una sub-base o una base regular; en cambio, los resultados que se

tienen en las abscisas señalan que el primer material se puede utilizar como una buena sub-base, pero el segundo corresponde a un material para una muy buena base. Esto indica que al utilizar compactación dinámica, es posible rechazar materiales que pudieran ser de buena calidad.

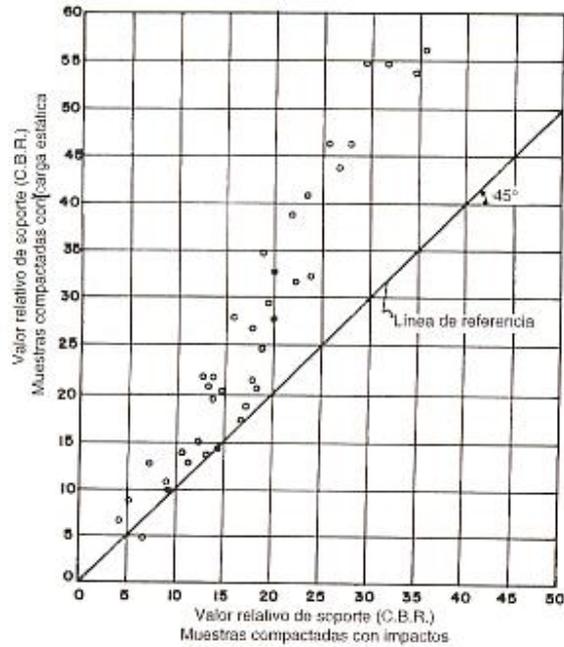


Fig. 3.1.6 Gráfica en la que se observa que los especímenes compactados en forma dinámica son menos sensibles a la calidad de los materiales que los compactados en forma estática. (Investigación Padrón, 1950.)

Los resultados se han comprobado en otras investigaciones realizadas en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, así como en E.U.A, de acuerdo con los datos proporcionados en la figura 3.1.7

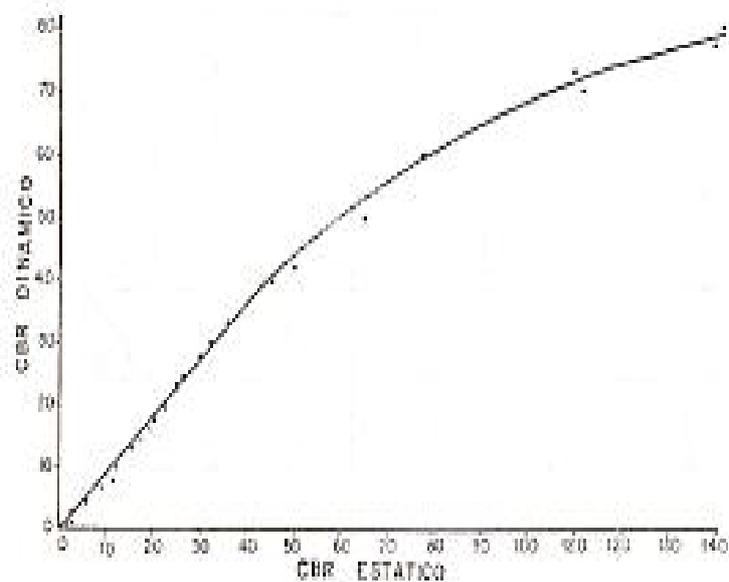


Fig. 3.1.7 Gráfica obtenida de los datos de AASHTO Interin Guide for Desing of Pavement Structures en 1972, donde se muestra que los especimenes compactados de manera estática son más sensibles a los cambios de calidad de los materiales

La prueba de porter modificada (padrón) consiste en obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado de manera estática, para obtener la combinación de peso volumétrico y humedad que el proyectista considere conveniente, con base en las condiciones críticas que se esperan en la obra y donde el espécimen no se satura.

De acuerdo con los resultados de la investigación y reseñados, se dieron las siguientes recomendaciones para elaborar los especimenes:

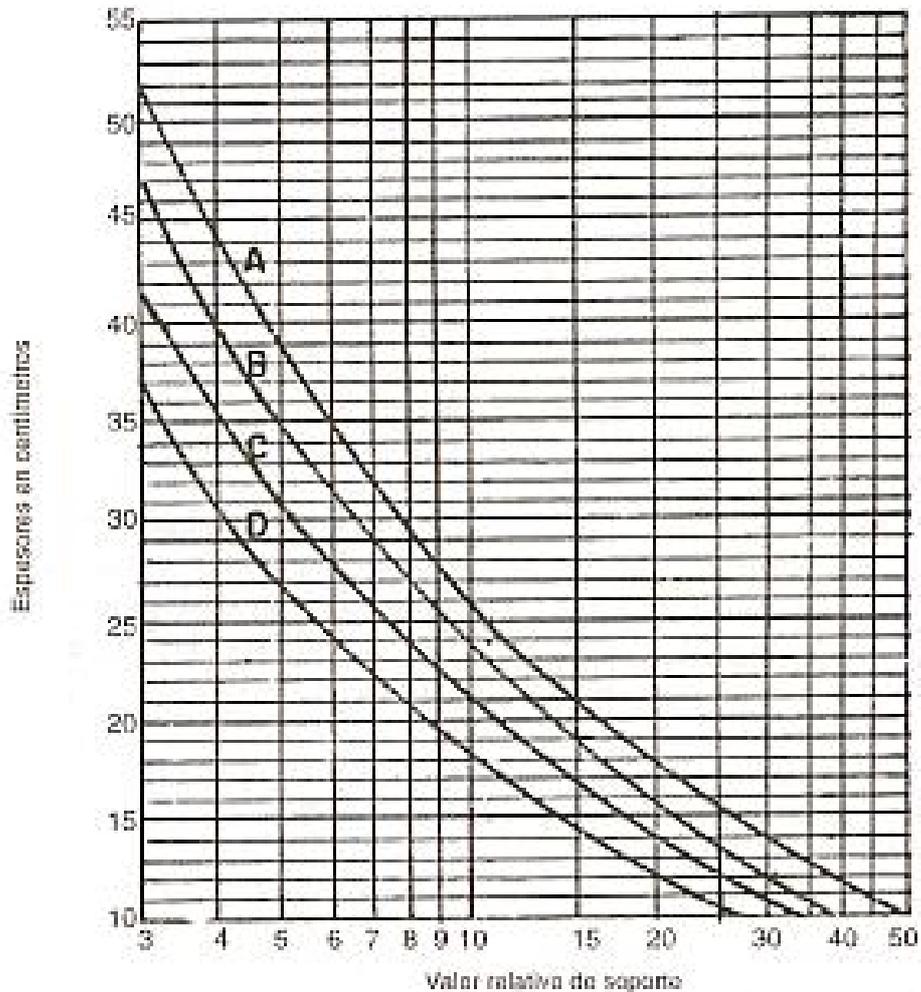
Condiciones de zona	Grado de compactación	Humedad
Zonas con baja precipitación y buen drenaje (NAF) > 5m)	100%	Wo
Zonas con condiciones regulares de drenaje y precipitación (5m > NAF > 1m)	95%	Wo +1.5%
Zonas con alta precipitación y mal drenaje (NAF < 1m)	90%	Wo+3.0%

El grado de compactación (Gc) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba de laboratorio y al tipo de material; así mismo wo es la humedad óptima correspondiente.

Se hace notar que las condiciones de drenaje son de la zona que atraviesa la obra vial, por lo que no corresponden al drenaje artificial, el cual debe estar solucionado a la perfección en todos los casos.

Para calcular espesores basados en esta prueba de porter modificada, de acuerdo con la experiencia obtenida durante la investigación mencionada, se formo un nomograma en el que se tomó el tránsito mezclado en un sentido de circulación y se excluyeron los vehículos con menos de tres toneladas, cada curva correspondía al volumen de tránsito que se indica en la figura 3.1.8, el espesor obtenido en las ordenadas se refería sólo a una base más la sub-base y el espesor de carpeta queda a juicio del proyectista.

Gráfica para calcular el espesor mínimo de sub-base más base en pavimentos flexibles para caminos en función de VRS. De la subrasante.



Intensidad de tránsito de vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 ton métricas, considerando en un solo sentido.	Curva aplicable para proyecto de espesores.	Tipo recomendable de carpeta asfáltica.
Mayor de 1000 vehículos al día	A	Mezcla en planta
De 600 a 1000 vehículos al día	B	Mezcla en el lugar o mezcla en planta.
de 200 a 600 vehículos al día	C	Tratamiento superficial triple o mezcla en el lugar
Menor de 200 vehículos al día	D	Tratamiento superficial simple o doble

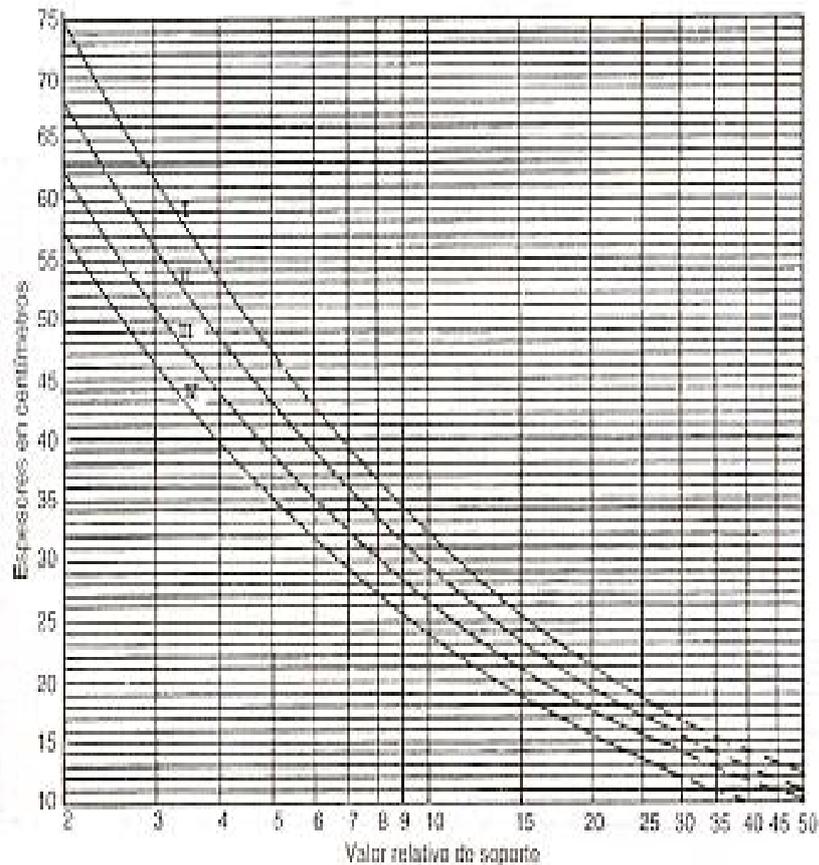
Fig. 3.1.8 Gráficas de proyecto utilizadas al principio para el proyecto de espesores de pavimento, de acuerdo con el método de porter modificado (Padrón)

Este nomograma sólo se utilizó durante dos o tres años, pues proporcionaba espesores reducidos, el volumen y el peso de los vehículos estaban aumentando; así se elaboraron las curvas de la figura 3.1.9 que han estado en uso desde 1957, con características semejantes a las anteriores, pero que proporcionan mayores espesores de pavimentos y corresponden a volúmenes de tránsito mayores.

A últimas fechas, el tránsito en las carreteras nacionales se han seguido incrementando tanto en volumen como en peso, por lo que es necesario contar con gráficas para volúmenes mayores, por otro lado es preciso actualizar en forma técnica estas curvas, al introducir el tránsito equivalente en función de ejes de 8.5 toneladas.

En vista de que ha habido resultados aceptables durante el tiempo que ha estado vigente este método, F. Olivera calculó el tránsito equivalente en ejes de 8.5 ton, mediante los factores AASHO que corresponden a los que propone la UNAM para las curvas I y VI actuales y para las de menos de 200 vehículos diarios del primer nomograma utilizado.

Gráfica para calcular el espesor mínimo de sub-base más base en pavimentos flexible para caminos en función de VRS. De la subrasante



Intensidad de tránsito de vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 ton métricas, considerado en un solo sentido	Curva aplicable para proyectos de espesores	Espesor mínimo de base
Menos de 500 vehículos al día	IV	12 cm.
De 500 a 1000 vehículos al día	III	12 cm.
De 1000 a 2000 vehículos al día	II	15 cm.
Más de 2000 o autopistas	I	15 cm.

Fig.3.1.9 Gráficas de proyecto, modificadas para el proyecto de espesores de pavimento; métodos porter modificado.

En la figura 3.1.10, se muestra el nomograma de proyecto para calcular los espesores de pavimento; de acuerdo con este método de la porter modificada, se requiere contar con el tránsito equivalente durante la vida útil del pavimento y los datos de VRS de proyecto. Con el VRS de la parte superior del cuerpo de terraplén y el dato de tránsito, se encuentran un espesor D1; con el correspondiente a la capa subrasante, se encuentra el espesor D2, la diferencia entre estos dos valores figura 3.1.11 es el espesor de la capa subrasante que es necesario para resistir las cargas; sin embargo, como esta capa puede tener hasta cinco funciones además de las estructurales, su espesor debe ser de 30 cm. como mínimo.

Gráfica para la estructuración de una obra vial con base en VRS obtenido de prueba porter modificada.

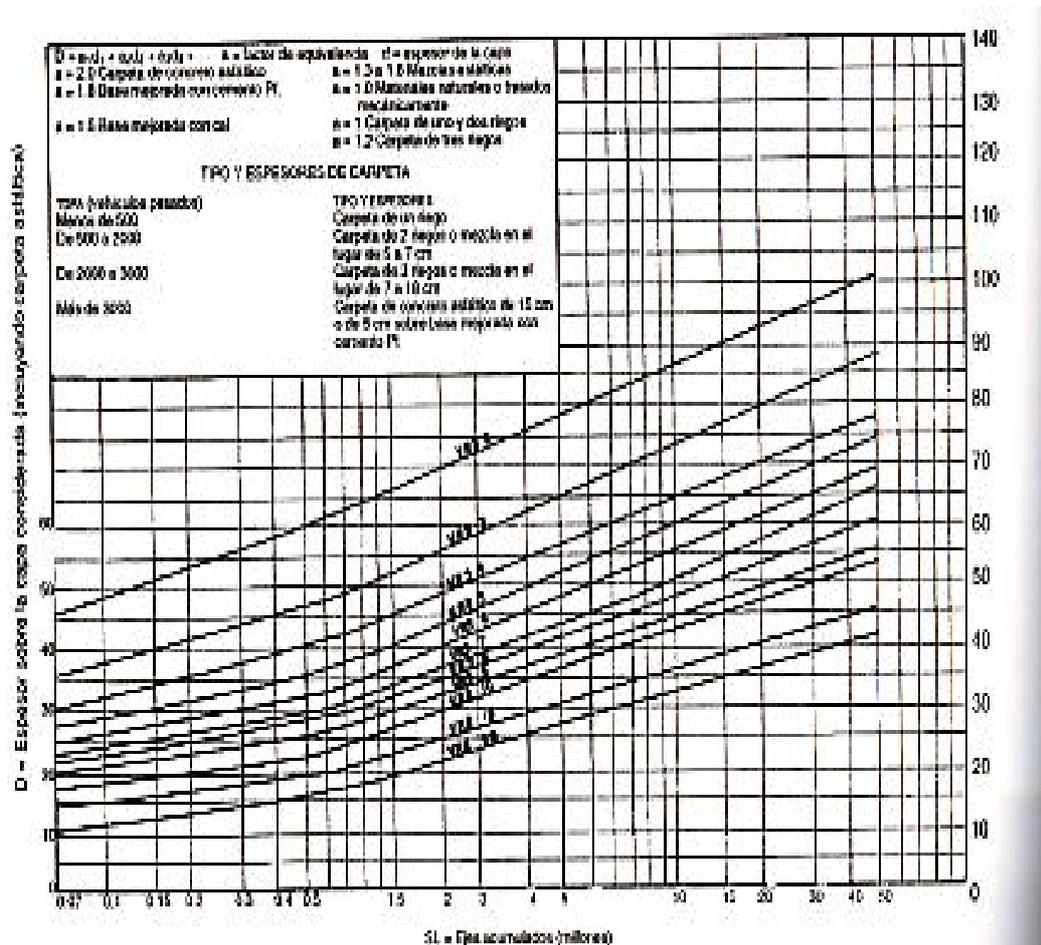


Fig. 3.1.10 Gráfica de proyecto por el método de porter modificada (Padrón), propuestas por el autor, con base en el tránsito equivalente a (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de la obra.

El espesor de las capas de pavimento, o sea el de la carpeta, la base y la sub-base, se calcula a partir del espesor D2 que corresponde a material de grava o natural. Como los materiales estabilizados en forma química o con asfalto tienen mayor resistencia que los naturales, el espesor de la capa en que intervienen se puede reducir; por ello, se recomienda utilizar los factores de equivalencia siguiente:

Tipo de material	Factor de equivalencia
Carpeta de concreto asfáltico	2
Carpeta de mezcla en el lugar de buena calidad	1.6
Carpeta de mezcla en el lugar de regular calidad	1.3
Carpeta estabilizada con cemento Pórtland	1.8
Base estabilizada con cal	1.5
Carpeta de tres riegos	1.3
Carpeta de uno o dos riegos	1.0
Material natural	1.0

Estos valores son tentativos y semejantes a los que utilizan algunas agencias extranjeras. Algunos proyectistas no los emplean y colocan el espesor de pavimento que se deriva de la gráfica de proyecto, sin hacer ninguna reducción. Con ello, se obtiene un mayor factor de seguridad pero también un costo más grande; para comodidad del proyectista, estos valores aparecen en la parte superior izquierda del nomograma de proyecto (fig. 3.1.10.)

Con los valores anteriores, es posible usar la siguiente igualdad:

$$D2 = a1d1 + a2 d2 + a3d3$$

Donde:

D2 = espesor de la grava necesaria en el pavimento, obtenido del la gráfica de Proyecto mediante VRS de proyecto de la capa subrasante.

a1, a2, a3 = factores equivalencia correspondientes a la carpeta, base y subrasante, de acuerdo con la calidad de los materiales que se usen.

d1, d2, d3 = espesores reales de carpeta, base y sub-base.

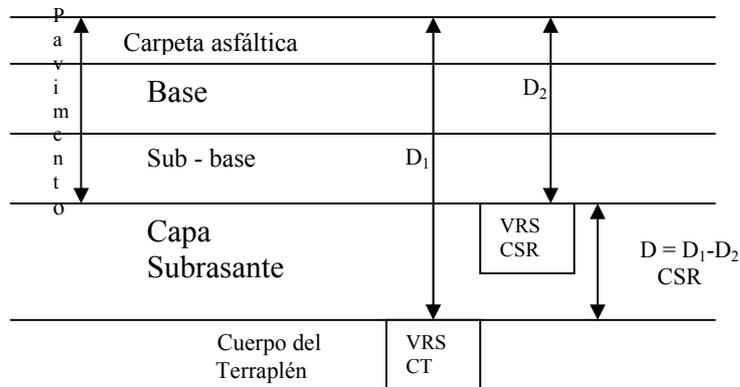


fig. 3.1.11 Figura que muestra con objetividad los espesores D_1 y D_2 para la estructuración de una vía terrestre con pavimento flexible. Método de porter modificado.

Ejemplo.

Supóngase que el tránsito diario promedio anual de un camino de dos carriles es de 1500 vehículos y que la composición del tránsito es la misma, con lo que el tránsito en ejes equivalentes al final de la vida útil es de 21×10^6 millones de ejes; el VRS se proyecta para el cuerpo de terraplén es de 8 % y el de la capa subrasante de 12 %.

Solución.

Por medio del nomograma de proyecto (Fig. 3.1.10) se obtiene el espesor D_1 de capa subrasante y pavimento con 21×10^6 ejes equivalentes y VRS de 8% que es de 54 cm.

Igualmente ahora con VRS de 12 % se obtiene el espesor D_2 de pavimento que es de 48 cm.

El espesor estructural de la capa subrasante es:

$$D_1 - D_2 = 54 - 48 = 6 \text{ cm.}$$

Por especificaciones el espesor será de 30 cm.

Como se tiene un tránsito menor a 5000 vehículos pesados diarios, se colocará carpeta asfáltica de 8 cm. sobre una base natural de 15 cm. de espesor; los coeficientes "a" de estas capas son de 1.5 y 1.0, respectivamente, con lo que tenemos:

$$48 \text{ cm.} = 8 \text{ cm.} \times 1.5 + 15 \text{ cm.} \times 1.0 + \text{SB}$$

$$\text{SB} = 48 - 27 = 21 \text{ cm.}$$

La estructura quedaría:

- Capa subrasante 30 cm.
- Sub-base 21 cm.
- Base natural 15 cm.
- Carpeta en frío 8 cm.

Actualmente, en Inglaterra se utiliza un método de proyecto, semejante al desarrollado en México por el Ing. Padrón en base al VRS obtenido de muestras comparadas en forma estática; en cuanto a la humedad de los especímenes.

Es importante que el contenido de humedad y peso volumétrico seco en el momento de realizar la prueba sean aproximadamente los que se esperen cuando se termine el pavimento.

MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

El Instituto de Ingeniería de la UNAM desarrolló un método teórico para la estructuración de carreteras, en base a las teorías de distribución de esfuerzos en los suelos, con el cual se obtiene una estructura homogénea en todas sus capas. El método del Instituto de Ingeniería propone gráficas para diferentes grados de confianza; la que aquí se presenta es la que corresponde al 90% ver fig. 3.1.12

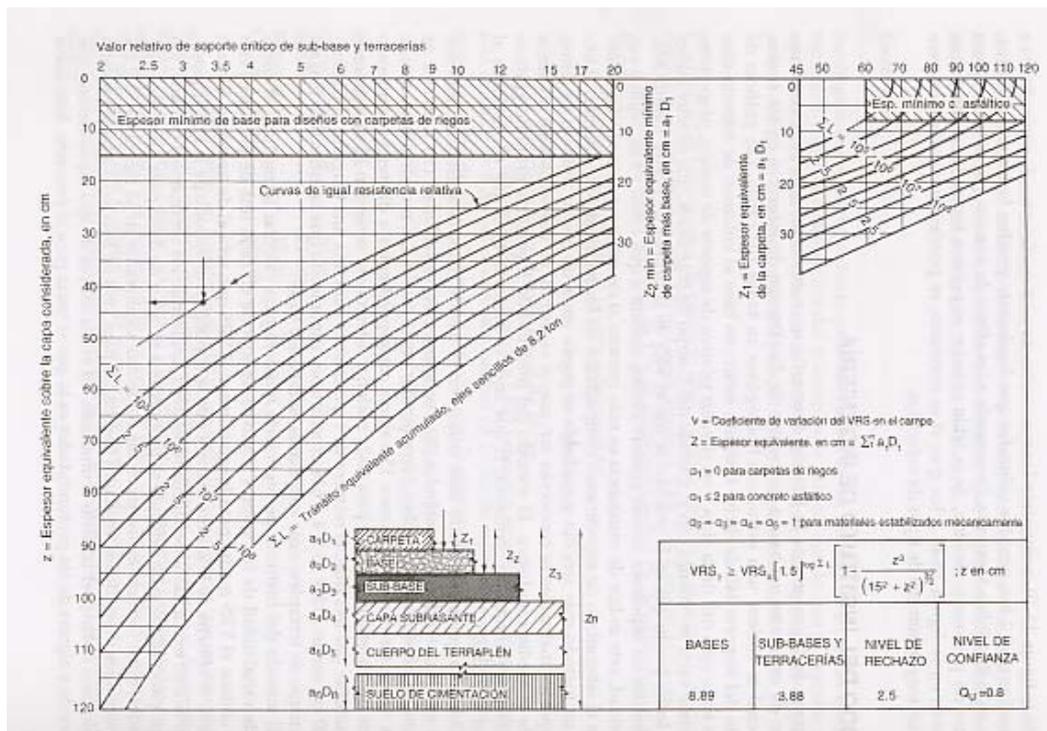


Fig. 3.1.12 Gráfica para proyecto de espesores de pavimento. Método del Instituto de Ingeniería UNAM.

Debido a que este método hace énfasis en el uso de datos estadísticos, como son valores medios, desviaciones estándar (S), coeficientes de variabilidad (V) y niveles de confianza, se presupone que deben corresponder como mínimo, a muestras pequeñas, o sea que deben tener cuando menos 15 valores correspondientes a diferentes sondeos o muestras de materiales y como para cada material diferente se necesitan 12 especímenes que se satura para tres días, el número de especímenes para una longitud aproximada de 20 Km. Serían: $12 \times 15 \times 4 = 624$ especímenes suponiendo que la estructura tenga 4 capas: cuerpo de terraplen, capa subrasante, sub- base y base.

El método del Instituto de Ingeniería requiere para calcular la media y el coeficiente de variabilidad de los valores relativos de soporte en cada una de las capas; con ello, se obtiene el V.R.S medio para luego obtener el V.R.S que será el de proyecto. El dato de tránsito se obtiene de la misma manera que se explicó en el método de la Porter modificada (Padrón) Explicado anteriormente, es decir, utilizando los coeficientes de daño. Sin embargo, para cada tipo de vehículo se proporciona el factor de daño para diferentes profundidades ver figura 3.1.13

La tabla muestra el cálculo para obtener el tránsito acumulado. La suma mayor de ejes equivalentes, que corresponde a alguna de las profundidades es la que se toma para el proyecto. Esta suma mayor de ejes equivalentes, multiplicada por el factor C de crecimiento al futuro, proporciona el tránsito equivalente acumulado en el horizonte de proyecto.

Así mismo, al utilizar las gráficas se encuentra un espesor de material natural necesario sobre la capa en estudio, por lo que en general la metodología será la misma.

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

Tránsito diario promedio anual en los dos sentidos 5840 vehículos

Tránsito en el carril de diseño (TDPA) 60% 3504 vehículos

Periodo de diseño (n) 15 años Tasa anual de crecimiento (r) 7%

Factor de crecimiento al futuro $C = 9.172$

Tipo de vehículo	Compactación		Coeficiente de daño				Ejes equivalentes			
	%	Cantidad	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
			(cargados / vacíos)				(cargados/ vacíos)			
A (A2)	30	1051.2 0	0.004 0.004	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	4.2048 0	0 0	0 0	0 0
P(A`2)	10	350.4 0	0.536 0.536	0.064 0.002	0.023 0.000	0.116 0.000	187.8144 0	22.4256 0	8.0592 0	40.6464 0
B2	4	140.16 0	2.000 2.000	1.890 0.757	2.457 0.502	2.333 0.443	280.32 0	264.9024 0	344.373 0	411.93 0
B3	6	210.24 0	1.999 1.999	1.369 0.321	0.877 0.091	0.852 0.058	420.2698 0	287.8186 0	184.38 0	173.124 0
C2	20	700.8 0	2.442 2.000	2.310 0.123	3.003 0.028	3.586 0.014	171.354 0	1618.848 0	2104.5 0	2513.07 0
C3	8	280.32 0	3.500 3.000	3.290 0.154	2.870 0.039	3.500 0.023	981.12 0	922.2528 0	804.518 0	891.12 0
C4	7	245.28 0	4.773 4.000	3.312 0.271	2.923 0.084	3.497 0.051	1170.721 0	812.3674 0	716.953 0	857.744 0
T3-S2	6	210.243 0	5.577 5.000	5.907 0.160	5.313 0.040	6.435 0.230	1172.508 0	1241.888 0	1117.01 0	1352.83 0
T3-S3	4	140.16 0	6.461 6.000	5.645 0.154	5.112 0.040	6.177 0.023	905.5738 0	791.2032 0	716.498 0	865.768 0
T3-S2-R2	3	105.12 0	6.653 8.853	8.188 0.180	3.23 0.043	1.170 0.024	720.3874 0	860.7226 0	959.01 0	1174.19 0
T3-S2-R4	2	70.08 0	7.173 7.173	8.170 0.165	7.458 0.041	9.12 0.022	502.6838 0	572.5536 0	522.657 0	639.13 0
						Suma	8056.957	7394.982	7477.96	9016
Tránsito equivalente acumulado al final del horizonte de proyecto $9016 \times 9.172 = 82691237$										

Fig. 3.1.13 Factores de ejes equivalentes. Método del Instituto de Ingeniería.

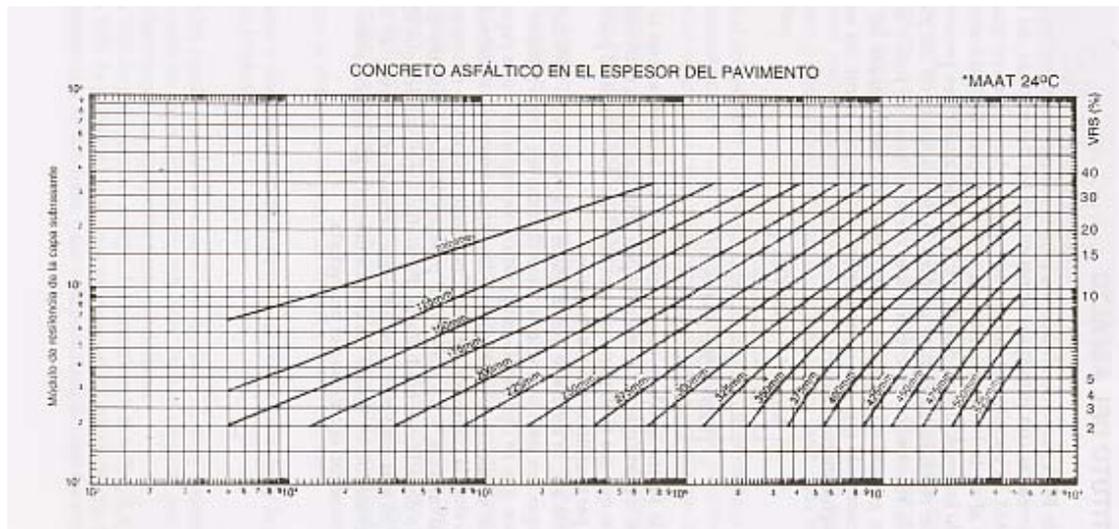


Fig 3.1.14 Total de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton. (EAL) en la vida del pavimento

3.2 MÉTODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico y la sub-base que sirve de apoyo y se construye sobre la capa subrasante.

Antes, la losa se construía sobre las terracerías sin importar la calidad que tuvieran; esto dio lugar a que un gran número de pavimentos fallara al aparecer grietas transversales o longitudinales cerca de las orillas. Al investigar el fenómeno, se encontró que la causa había sido lo que se ha llamado “fenómeno de bombeo”, el cual consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodadura a través de las juntas. A partir de este estudio, se especificó que la losa debía colocarse sobre un material granular que cumpliera cuando menos las normas para sub-base de pavimento; en un principio no se tomaba en cuenta su grosor, pero en la actualidad es común hacerlo, pues se ha visto que el espesor de la losa se puede disminuir, sobre todo si la sub-base se estabiliza con cemento Pórtland.

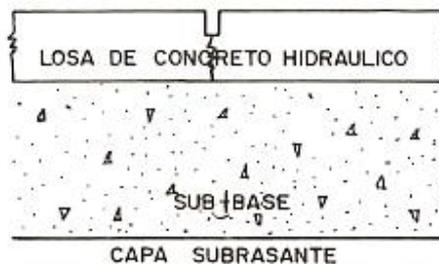


Fig. 3.2.1 Esquema de las capas que forman un pavimento rígido, construido sobre la capa subrasante.

Con respecto al fenómeno de bombeo, se dio a conocer un estudio en el que se concluía, que las fallas en el 80% de las losas de pavimento rígido se debían a la falta de sub-base.

Método de fatiga de la asociación de cemento Pórtland (PCA)

La mayoría de los nomogramas de cálculo de espesores de losa para pavimentos rígidos, se ha elaborado con base a la resistencia de trabajo del concreto hidráulico, pues se indica en ellos la vida útil que se puede esperar al aplicarlos.

En este método se sustenta en la energía potencial de la losa que consume cada uno de los tipos de ejes de los vehículos y en el número total de ejes que se espera transitarán durante la vida útil de la obra.

Para efectuar los cálculos necesarios, se usa una forma figura 3.2.2 donde se anotan primero datos como: nombre del camino y tramo; módulo de reacción (k) a nivel de la subrasante; espesor y tipo de la sub.-base (natural o tratada), en seguida se obtiene el valor de “k” combinada, de acuerdo con los datos de la base y con auxilio de las tablas 2.11.2 y 2.11.3

Para tomar en cuenta el impacto de los vehículos, se usa el factor de seguridad por carga (FSC), que se elige de acuerdo con la obra por construir y al consideran el siguiente criterio:

Tipo de obra	Factor de seguridad (FSC)	Espesor (cm.)
Carreteras de primer orden, autopistas y otras vías con flujo interrumpido de tránsito y gran volumen de vehículos pesados.	1.2	30-40
Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de vehículos pesados.	1.1	25-35
Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de vehículos pesados.	1.0	20-30

Cálculo del espesor de pavimentos de concreto.

Obra _____ Tramo _____
 k. de la subrasante _____ Kg./cm³ (pci), sub.-base _____
 k. combinado: _____ Kg./cm³ (pci), Factor de seguridad por carga (FSC) _____
 Espesor de la losa propuesto _____ Módulo de ruptura propuesto
 (MR) _____ Kg./cm²

Procedimiento

- 1.- Llena la columna 1, 2 y 6, poniendo las cargas en orden decreciente.
- 2.- Analice el espesor de losa propuesto, completando las columnas 3, 4,5 y 7
- 3.- analice otros espesores de losa, variando el MR, espesor y/o tipo de sub.-base.

Ejes sencillos

1	2	3	4	5	6	7
Carga por eje (Kips) ton.	Cargas por ejes X FSC (Kips) Ton.	esfuerzos (pci) Kg./cm ²	relaciones de esfuerzos	repeticiones permisibles No.	repeticiones esperadas No.	resistencia a la fatiga consumida %

Ejes en tándem

Fig. 3.2.2 forma para calcular los espesores de losa de pavimento rígido, de acuerdo con el método de la Asociación de Cemento Pórtland (PCA).

En la columna número uno (1) de la hoja de cálculo, se anotan las cargas de los ejes que usarán las obras correspondientes y se separan los ejes sencillos del tándem.

En la columna número dos (2), se anota el resultado al multiplicar las cargas de los ejes de la columna número uno (1) por el factor de seguridad (FSC), con lo cual se agrega el impacto de los vehículos.

Para iniciar el cálculo, se sugiere un espesor de losa adecuado al tipo de obra, como se señala en la tabla anterior, donde se recomiendan diferentes grosores y se revisan por fatiga, conforme a los siguientes cálculos:

Con los nomogramas mostrados en las figuras 3.2.3 y 2.3.4, se encuentran los esfuerzos que cada eje provoca en la losa, y se anotan en la columna número tres (3). Para utilizar estos nomogramas, uno de los cuales es para ejes sencillos y el otro para ejes tándem, se entra en las abscisas de la familia de curvas inferiores con las cargas de la columna número dos (2); en este nomograma se asciende, llevando una paralela a las líneas inclinadas hasta llegar a la horizontal, correspondiente al módulo de reacción (k) combinado. Desde este punto, se lleva una vertical hasta interceptar la familia de curvas de la parte superior de los nomogramas, la correspondiente al espesor de losa supuesto; con este punto, se lleva una horizontal para encontrar en las ordenadas, el valor del esfuerzo provocado.

Los datos de la columna número 4 se obtienen al dividir los resultados de la columna 3 (esfuerzos) entre el módulo de ruptura del concreto (MR); las cantidades se anotan en decimales redondeados a las centésimas. Con estas cifras, se entra en la figura 3.2.5, que proporciona el número de pasadas que provocaría la falla de la losa para cada eje si nada más se utilizara uno de estos ejes en la obra. La cantidad de repeticiones permisibles se anota en la columna número cinco (5), en el renglón del eje respectivo. Si la cantidad que aparece en la columna número 4 es igual o menor que 0.5, en la columna número cinco (5) se anota la palabra “indeterminado”, para indicar que de ese eje podría pasar cualquier número sin que, en teoría fallara la losa.

De esta manera, en la columna número cinco está el número de pasadas de cada eje que consumiría el 100% de energía potencial de la losa; en la columna número seis (6) se tiene la posible cantidad de ejes que usará la obra en su vida útil del camino, por lo que al dividir los datos de esta columna entre los de la columna número cinco y multiplicar el resultado por 100, se obtiene el porcentaje de energía o fatiga que consumirá cada eje.

Este resultado se coloca en los renglones correspondientes de la columna número 7. la suma de esta columna, incluida la de los ejes sencillos como los de tándem, dan la energía que gastarán todos estos.

Si esta suma es cercana a 100%, el espesor de la losa considerado es correcto; pero si el valor es bastante menor, habrá un pavimento sobre diseñado y entonces deberá realizarse otro cálculo, disminuyendo el valor del módulo de ruptura, el espesor de la losa o la calidad de la sub.-base hasta que la columna número 7 esté entre el 80 y el 100%.

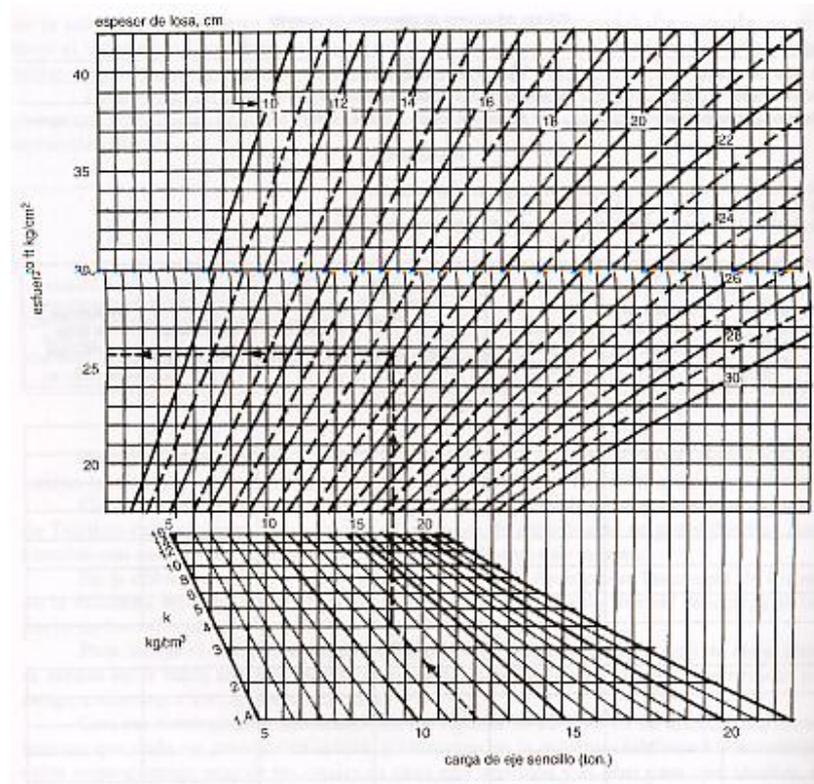


Fig. 3.2.3. Nomograma para encontrar los esfuerzos que los ejes sencillos causan en una losa de concreto hidráulico, en función de la carga aumentada por impacto, el modulo de reacción corregido y el espesor supuesto de los (PCA).

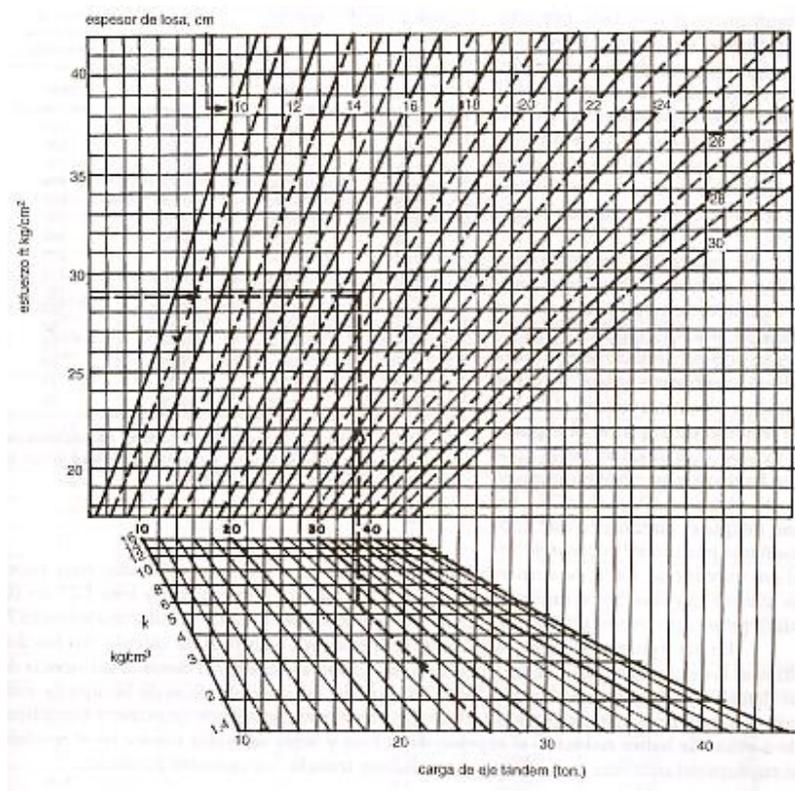


Fig. 3.2.4 Nomograma para encontrar los esfuerzos que los ejes tándem causan en una losa de concreto hidráulico, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregido y el espesor supuesto de la losa (PCA).

Relación de esfuerzos ft/MR	Núm. De repeticiones admisibles	Relación de esfuerzos ft/MR	Núm. De repeticiones admisibles
0.50	Infinitas	0.68	3500
0.51	400000	0.69	2500
0.52	300000	0.70	2000
0.53	240000	0.71	1500
0.54	180000	0.72	1100
0.55	130000	0.73	850
0.56	100000	0.74	850
0.57	75000	0.75	490
0.58	57000	0.76	360
0.59	42000	0.77	270
0.60	32000	0.78	210
0.61	24000	0.79	160
0.62	18000	0.80	120
0.63	14000	0.81	90
0.64	11000	0.82	70
0.65	8000	0.83	50
0.66	6000	0.84	40
0.67	4500	0.85	30

Fig. 3.2.5 Tabla que proporciona el número de pasadas de un eje en particular, que llevaría a que la losa fallara según la relación de esfuerzos (esfuerzos / MR)

CAPITULO IV.

4.1 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

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 pavimento asfáltico 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 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.

Las vías terrestres se proyectan y se construyen para que estén en servicio por un determinado número de años, llamado horizonte de proyecto de la obra. Al concluir este tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan y se reconstruyen con el objeto de aumentarse el servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio; pero más adelante probablemente sean más serios y aceleren la falla de la vía; por esto, una obra requiere mantenimiento o conservación, para que por lo menos cumplan con su vida de proyecto y proporcionar un servicio adecuado.

Cuando una obra vial se pone en servicio, debe presentar las condiciones óptimas para su operación; al transcurrir el tiempo, se deteriora por el uso, dificultándose así cada vez más el tránsito, por lo que es preciso hacer una conservación normal adecuada y rehabilitaciones oportunas, para que la obra no llegue a tener una falla prematura.

Las fallas del pavimento pueden ser, **estructurales y funcionales**, según los parámetros existentes para definirlos.

La falla estructural implica una destrucción de la estructura del pavimento y, en general, se debe a que el tránsito que ha soportado la construcción es mayor al que se calculó para su vida útil; si éste es el caso, la estructura cumplió su cometido. Aunque en otras ocasiones, la falla estructural se presenta en forma prematura; es decir, mucho antes de terminar su periodo útil y, entonces, se debe a espesores reducidos de pavimento, o que los materiales usados eran de mala calidad o a uno de estos factores, combinado con un mal drenaje y una baja compactación.

La falla funcional es aquella que tienen los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores que las tolerables y provoca ciertas incomodidades al tránsito, de acuerdo con el tipo del camino del cual se trate, pues se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones que son aceptables para caminos secundarios; pero inconvenientes para autopistas.

El índice de servicio está ligado a este concepto de falla funcional. Este índice se estima en función del estado físico de la superficie de rodamiento, que el técnico califica con base a la cantidad de baches, deformaciones y grietas que presenta el camino o bien de acuerdo a la opinión de los usuarios.

El índice de servicio se califica en escala de 1 a 5; en caminos de primer orden, se requiere que este valor sea como mínimo de 2.5 a 3.0 para estar en condiciones aceptables, pero en las que ya conviene reacondicionarlos; para caminos secundarios, estas condiciones se tienen con calificación de 2.

El criterio de calificación para obtener el índice de servicio varía de acuerdo con la dependencia encargada de construir o conservar los caminos de un país. En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta al respecto con el manual denominado *Aplicaciones de los conceptos de calificación y comportamiento a la reconstrucción y conservación de carreteras*, con base en el cual se califican los caminos de la red nacional; para pavimentos de caminos nuevos, las fallas deben estar consideradas en las curvas o criterios de proyecto.



Fig. 4.1.1 Esquema que muestra el deterioro en las obras viales a través del tiempo y los efectos de una conservación buena y otra deficiente.

Cuando se registra la historia de un camino y se obtienen año con año los índices de servicios, se traza una curva como la mostrada en la figura 4.1.1, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegará a su falla estructural. Pero se puede hacer diferentes rehabilitaciones, para aumentar su vida útil; claro, después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en que la estructura esté tan dañada que necesite una reconstrucción.

Lo anterior se muestra en la figura 4.1.2, donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en “N” años a su falla estructural; si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil de “N” años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de cuatro o cinco rehabilitaciones, el daño causado a la obra es tal que lo más conveniente es una reconstrucción, pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se ve en la gráfica.

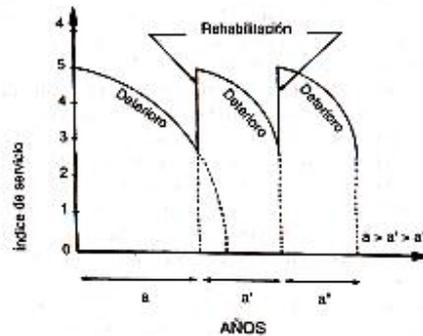


Fig. 4.1.2 Esquema que muestra el efecto de las rehabilitaciones en la vida de una obra vial.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toman en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches, cajetes o calaveras; y la magnitud de las deformaciones. Otro método es la medición, que lleva a cabo principalmente con pruebas para calcular la deformabilidad de la estructura y se puede realizar por medio de la viga Benckelman o del Dynaflect. También se pueden realizar perfilómetros y rugómetros.

Descripción de fallas en pavimentos.

A continuación, se describen diferentes tipos de fallas que se presentan en el pavimento y sus causas probables.

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

Son muy numerosas las diferentes causas que pueden originar estos tipos de fallas, pudiendo deberse a diferencias en el diseño (presencias 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 asfáltica. 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 al diseño, lo que obviamente produce la fatiga de los materiales. Podría 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 tipo de falla.

El agrietamiento también puede ocurrir por deformaciones elásticas en suelos resistentes que constituyen las capas del pavimento o por deformaciones plásticas en las capas

inferiores a la carpeta, o aun fallas por falta de capacidades 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 sobre carpeta en las zonas menos dañadas de un pavimento muy agrietado.

A continuación se describe en forma muy somera los tipos de agrietamientos más comunes en los pavimentos asfálticos y las recomendaciones sugeridas para su reparación.

Agrietamiento tipo cocodrilo.

Este tipo de falla se puede presentar en forma de grieta interconectadas dando la apariencia de una piel de cocodrilo. Dicha falla es causada por deflexiones excesivas de la carpeta, colocada sobre una subrasante, sub.-base inestables. Este tipo de falla obliga a una atención inmediata ya que es 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 tránsito. 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 fue el agua. El siguiente paso consiste en aplicar un riego de impregnación a las paredes verticales; se llena la excavación con mezcla asfáltica y se compacta adecuadamente utilizando rodillos metálicos si el área es grande, o placa vibratoria si el área es pequeña. Figura 4.1.3.



4.1.3 Agrietamiento de la carpeta en forma de piel de cocodrilo.

Distorsiones:

Las distorsiones generalmente se deben a cargas y repeticiones no preventivas en el diseño, contenidos elevados de asfaltos 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 presentar este problema por una nivelación inadecuada, construir en época de lluvia, personal inexperto, 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 daño.

Para la reparación de este tipo de falla es común renivelar y colocar sobre-carpetas, llagándose alguna vez a la remoción de la carpeta inestable y su posterior remoción.

Desprendimiento o desintegración.

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
- _ Carpetas muy delgadas
- _ Tránsito muy pesado, o permitir su circulación durante el sellado
- _ Falta de sellado 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 de construcción de carpetas hasta la simple aplicación de riegos de sellado, con o sin agregados, dependiendo de la magnitud del daño.

Disgregación 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 desintegrados
- _ 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 (Salury Ceal), si la falla se encuentra muy avanzada, y la superficie es muy extensa podrá llegarse a requerir un encarpetao.

Superficie Lisa

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
- _ Desprendimientos de los agregados
- _ Mal drenaje superficial

La reparación que generalmente se recomienda consiste en:

- _ Aplicar arena caliente en pavimentos Llorados
- _ Ranurar la carpeta
- _ Construir una sobre carpeta 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.

Oxidación del asfalto.

Esta falla presenta características de un excesivo intemperismo del asfalto, ya sea por agentes meteorológicos y temperaturas. La oxidación de 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 el problema es la humedad de las capas inferiores del pavimento, es necesario corregir previamente el sub- drenaje.

Otra alternativa para corregir esta falla, es utilizando un producto patentado “Reclamite”, para devolver al asfalto sus propiedades originales.

El procedimiento consiste en regar la superficie oxidada con el producto mencionado.

Desintegración de la carpeta.

Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación, o en carpetas relativamente recientes con escaso contenido de asfalto; Figura 4.1.4

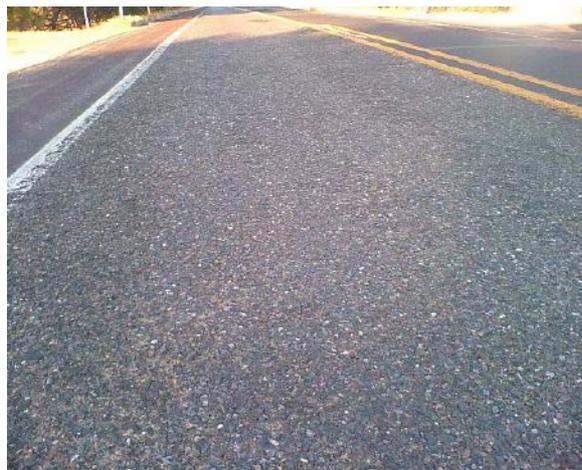


Fig. 4.1.4 Desintegración de una carpeta asfáltica por oxidación

Presencia de calaveras.

Las calaveras son huecos que se forman en la superficie de rodamiento e incluso llegan a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor que de 15 cm. se debe a una calidad insuficiente en la base, o carpetas con contenido de asfalto menor que el óptimo (figura 4.1.5) o por colocar una carpeta sobre otra agrietada y calaverada, que se refleja en la nueva.



Fig. 4.1.5 Calavereo en la superficie de rodamiento, en sobre carpetas, sobre otras agrietadas.

Baches.

Se deben a la desintegración de la carpeta y de la base por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por la presencia de grietas y calaveras que no se trataron en forma adecuada y oportuna. Figura 4.1.6.



Fig. 4.1.6 Baches en la superficie de rodamiento.

4.2 FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Agrietamiento en pavimentos rígidos

El pavimento rígido está compuesto por un producto que tiende a agrietarse desde que termina su mezclado; esto ocurre al principio por la pérdida de agua y las reacciones químicas internas en esta etapa.

Las anomalías pueden reducirse a un mínimo si se curan en forma adecuada; para ello lo más efectivo es hacer un esparcido superficial inmediatamente después del tendido, de algunas de las sustancias que existen en el mercado para impedir que el agua de la mezcla se evapore. Además, debe tomarse en cuenta factores de clima, así como evitar el colado cuando haya vientos con alta velocidad o temperaturas muy altas, principalmente en las costas, después del tercer día, se debe mantener húmeda la superficie por medio de riegos de agua.

Juntas de contracción

Para que el agrietamiento del concreto no sea irregular si no que perpendicular al eje del colado y asegurar el trabajo conjunto de las losas, se construyen juntas de contracción a distancias predeterminadas; de acuerdo con el tipo de juntas de contracción que se utilice, se pueden usar tres tipos de losas.

- a) De concreto simple
- b) De concreto con pasa juntas de sujeción
- c) De concreto armado

Un pavimento rígido es de concreto simple cuando en la masa no hay ninguna cantidad de acero; para asegurar que las grietas no se abran más de 3 mm, se tiene una relación de largo a ancho de las losas menores de 1.25 y es muy usual el valor de 1.15; una práctica común es que las losas no sean mayores, en este caso, de 4.5 m.

Cuando la longitud de las losas es mayor que 4.5 m (ancho de franja de 3.6 m), o sea que la relación de largo a ancho es mayor que 1.25 pero menor que 1.4 (largo menor que 6.5 m), se debe utilizar pasa juntas de sujeción figura 4.2.1, las cuales son varillas corrugadas que se colocan en el sitio de aserrado hacia la mitad del espesor y tienen 40 cm de longitud dentro de cada losa. La separación está en función del espesor del concreto, de la resistencia (k), de las capas inferiores y del diámetro de varilla usada; se obtiene por medio de las gráficas de la figura 4.2.2

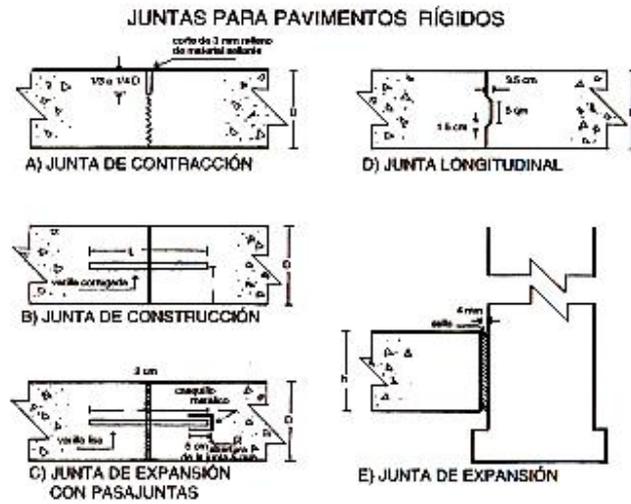


Fig. 4.2.1 Diferentes juntas que se construyen en los pavimentos de concreto hidráulico.

Estas pasa juntas se colocan antes del colado y se fijan, por medio de silletas triangulares parecidas al armado de castillos, en los lugares preseleccionados de acuerdo con la relación de largo- ancho.

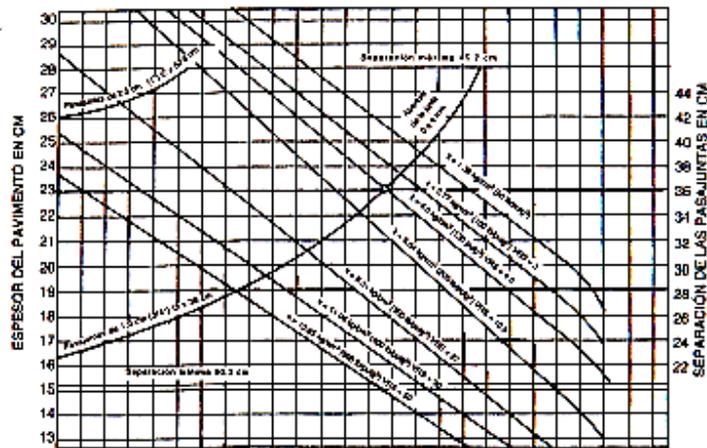


Fig. 4.2.2. Gráficas para calcular la separación de la pasa junta de sujeción, cuando la relación de largo-ancho de las losas es mayor que 1.25, pero menor que 1.4.



Fig. 4.2.3 Fotografía de un concreto simple

Juntas de dilatación.

Estas juntas pueden hacerse a tope o con pasajuntas de transferencia de carga. Las juntas de expansión a tope se colocan en donde un pavimento rígido se encuentra con algún obstáculo. Entre estas juntas, se deja un espacio de 2 a 4 cm, el cual se rellena con un cartón o con fibras asfálticas que se comprimen cuando se presentan los esfuerzos de compresión y se expanden, aunque sea en parte, al cesar los esfuerzos. En las zonas cercanas al lugar donde hay un obstáculo, es factible colocar juntas de expansión con pasajuntas para reducir la abertura de la junta a tope; por ejemplo, en una calle de rodaje se pueden colocar dos juntas de expansión, una a dos losas y otra a tope, sólo que en aquéllas se colocan pasajuntas que aseguren la transmisión de las cargas de una losa a las siguientes; estas juntas se llaman de expansión con pasajuntas de transferencia de cargas. Y colocar varillas lisas que quedan embebidas aproximadamente a 40 cm. en cada una de ellas, hacia el centro del espesor; para asegurar el movimiento libre, se coloca un casquillo metálico engrasado en un extremo de las varillas (figura 4.2.4). la separación de estas varillas se obtiene de la gráfica de la figura 4.2.5.



Fig. 4.2.4 Pasa juntas de transferencia de cargas en el pavimento durante en la rehabilitación.

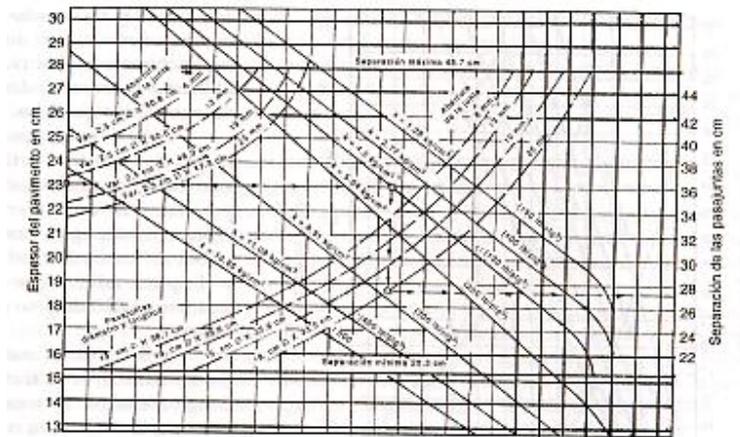


Fig. 4.2.5 Gráficas para calcular la separación de pasajuntas de transferencia de cargas para juntas de dilatación.



Fig. 4.2.6 Fotografía de concreto armado

Actividades de conservación en pavimentos rígidos.

Las actividades principales para mantener pavimentos rígidos son:
 Limpieza de juntas. Debido a que los productos utilizados para sellar las juntas longitudinales y transversales se endurecen y se agrietan con el tiempo, es necesario limpiarlas cuando menos cada 3 años y extraerles tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre: en seguida, la junta se vuelve a sellar con material fresco.

Cuando haya indicios de que se está presentando el fenómeno de bombeo o de plano, debido a una fractura de la losa que quedó sin apoyo al salir el material que la sustentaba, es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido para llenar los huecos. Si la losa está fracturada, es conveniente renivelar la zona antes de la inyección.

Cuando el pavimento rígido presenta un fuerte descarnado de la superficie de rodadura, se puede desintegrar la losa, por lo que es necesario construir en este caso una carpeta asfáltica de 3 a 5 cm de espesor, para evitar que el concreto se siga deteriorando. Este tipo de carpetas asfálticas se puede construir también para mejorar el tránsito.

Por último, si un pavimento rígido se ha comportado de manera adecuada, pero se prevé un tránsito más intenso en los años siguientes o se quiere aumentar la vida útil del camino, es posible construir una sobre losa; para ello es necesario asegurar la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que se corruga primero la superficie de rodadura actual y, antes del colado, se esparce un aditivo especial que suelda las dos losas; estos aditivos se venden comercialmente.

4.3 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO EN CARRETERAS

En muchos países se presenta con frecuencia la necesidad de evaluar el estado de un pavimento construido anteriormente a fin de deducir 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 a los ingenieros y personal encargado de su diseño y conservación, incluyendo en forma especial, a los usuarios; consciente o inconscientemente, 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 señalar entre otros los 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 culminar 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, permitido 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.- Contribuye una buena base para el establecimiento de nuevos conceptos, importantes en el diseño de pavimentos.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento pueden 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 transitabilidad. 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.

4.4 EVALUACIÓN 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 transitabilidad. 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 influye en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

- 1.- La apreciación subjetiva de la transitabilidad 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, 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 omitir 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, analizada y manejada 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 encuentren estrechamente relacionados con la apreciación de su servicio y que el comportamiento del pavimento evaluado en esta forma, se encuentre 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 Perfilómetro 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, expresado en términos de 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 servicio.

4.5 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS

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 del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de fallas en los pavimentos.

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

Pruebas no destructivas.

Es muy desagradable 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 en la superficie del pavimento.

El dispositivo general usado es la viga Benkelman, medidor portátil desarrollado en el tramo de prueba AASHO, que determina deflexiones de milésimas de pulgada.

Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las deflexiones 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 aun 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 proyección 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.

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 SAPO está empleando para estudio de valuación del pavimento.

El Dynaflect es un sistema electromecánico que mide la deflexión dinámica de la superficie 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 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.

Pruebas destructivas

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar donde y por que 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 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 total del tipo de comportamiento funcional, como mecanicista. Los métodos de investigación mediante sistemas destructivos se emplean en casos muy especiales. Algunos de los tópicos actualmente en investigación en este campo son los siguientes:

- a) Desarrollar métodos de evaluación más rápidos y confiables.
- b) Establecer técnicas de control de acabados superficiales durante la construcción.
- c) Mejorar el concepto de índice de servicio
- d) Aumentar el conocimiento acerca de las propiedades mecánicas de los pavimentos 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 terrecería.

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 deflexión, espesor y calidad de los pavimentos, a si como el tránsito que circula por ellos, han sido obtenidos por diversas agencias bajo sus propias condiciones locales y por lo tanto fundamentar la valuación solo en dichas correlaciones 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 característica realmente importante y en esto radica, su mayor limitación.

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

CAPITULO V MÉTODOS MÁS USUALES EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.

Generalidades

Al iniciarse en nuestro país la construcción de carreteras se utilizaron procedimientos constructivos rudimentarios, pero acordes a las necesidades de la época, aún cuando en ciertos aspectos técnicos, como lo es el de la utilización de materiales, no se tenían las bases necesarias para optimizar su empleo. Con forme paso el tiempo los procedimientos y equipos de construcción fueron mejorando, aumentándose a esto la implantación de técnicas de laboratorio, para efectuar un control de calidad en los materiales, lo que permitió se construyesen mejores obras viales.

Las fuertes cargas producidas por los vehículos automotores, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que las técnicas de construcción y reconstrucción de pavimentos hayan sufrido una evolución.

En la técnica de los pavimentos flexibles o asfálticos y a los cuales nos referimos en éste trabajo, existen especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en la construcción de las diferentes capas que constituyen este tipo de pavimento.

Una de las principales inversiones posibles en los caminos es lo referente a la conservación o mantenimiento, ya que si esta es adecuada, no solo garantiza la inversión inicial de la construcción, si no que alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan.

La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que sin ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos.

En lo que se refiere a reconstrucción de caminos, en la actualidad se le presta gran atención a una nueva técnica que se ha denominado con el término de “Reciclado de pavimentos” o “Recirculación de pavimentos”.

La rehabilitación de pavimentos asfálticos se continúa haciendo, hasta la fecha, con los equipos de construcción tales como tractores, motoconformadoras, compactadoras, plantas de mezcla asfáltica, etc. Aunque recientemente se han incluido nuevos equipos que nos permiten el reaprovechamiento de las mezclas asfálticas existentes en el camino, y estas son las despavimentadoras o fresadoras y las plantas de mezcla asfáltica para reciclado.

5. 1 MANTENIMIENTO TRADICIONAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodamiento es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo, y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción total para su arreglo.

Desde hace ya algunos años, tradicionalmente se le ha dado mantenimiento normal a los pavimentos flexibles mediante bacheo, sellado de grietas, riego y renivelación, que bien

pueden utilizarse en forma aislada o combinada. A continuación se describen, en términos generales, cada uno de estos trabajos.

a).- Relleno de grietas. Los procedimientos constructivos a utilizar para efectuar la corrección de grietas están en función del tipo (aislado o abundante), del ancho y de la profundidad de los mismos; estos procedimientos van desde relleno de grietas utilizando un producto asfáltico, mortero asfáltico o bien tratamientos superficiales, hasta la programación de una carpeta nueva o sobre carpeta.

b).-Renivelación. La manera de efectuar la renivelación, depende de la magnitud de la deformación, los trabajos para corregir dicha deformación puede ser el sistema de riegos superficiales o bien usando mezcla asfáltica.

c).- Bacheo. Es reponer una porción de la superficie de rodamiento que ha sido destruida por el tránsito. Estas porciones se dividen por su tamaño en “calaveras” y baches, según sea su dimensión mayor, respectivamente, inferior o superior a quince centímetros (15 cm.) Los métodos para su corrección se basan en la forma de aparición de las “calaveras” y / o baches (aislados o continuos), a lo largo del camino y de las dimensiones de las mismas. El procedimiento para su reparación deberá ser utilizando mezcla asfáltica.



Fig. 5.1.1 Reparación de un bache

b).- Riego de sello. Este procedimiento se puede definir como la capa de material pétreo que se liga a la carpeta por medio de un producto asfáltico.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera al riego de sello como una labor de reconstrucción cuando la superficie tratada exceda de mil (1000) metros lineales continuos.

Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:

- 1.- Cuando se quiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.

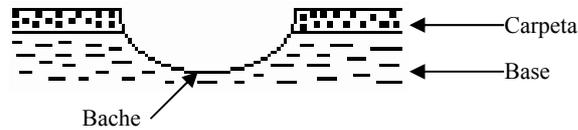
- 2.- Cuando la carpeta existente esté agrietada y / o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
- 3.- Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.
- 4.- Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
- 5.- Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y / o desgaste superficial.
- 6.- Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad nocturna.

Procedimiento.

El procedimiento a seguir cuando se requiera la aplicación de algún riego de sello como solución de reconstrucción de un pavimento flexible es el siguiente.

- a).- En la superficie por sellar deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que se requieran
- b).- La superficie por sellar deberá limpiarse de materia extraña y barrerse perfectamente para eliminar el polvo.
- c).- Sobre la carpeta limpia se procederá a aplicar un riego de producto asfáltico del tipo y la cantidad por metro cuadrado fijados por el proyecto.
- d).- Posteriormente y en el tiempo que indique el proyecto, se cubrirá el riego de producto asfáltico con el material pétreo.
- e).- Inmediatamente después se pasará la rastra para eliminar ondulaciones, bordes o depresiones.
- f).- Se procederá al planchado, el cual se iniciará con el rodillo liso; posteriormente y usándolo en forma alterna con la rastra, se planchará con el compactador de neumáticos el tiempo necesario para asegurar el máximo del material pétreo se haya adherido al material asfáltico.
- g).- Posteriormente, se procederá al barrido y recolección del material excedente que no se adhiera al ligante asfáltico.

Etapas en la reparación de un bache.



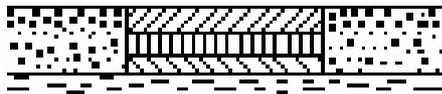
Recortar en líneas rectangulares
Y superficies verticales. Limpiar



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 7 cm. de
espesor.

5.2 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 lo 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 las emulsiones asfálticas de asentamientos 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.
- 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 que lleguen hasta la sub.-base o terracería, es muy importante estudiar la causa de la falla, para poder definir la solución y procedimientos de reparación más adecuados. En términos generales, este procedimiento podrá consistir en abrir caja en el ancho mínimo necesario para trabajar, preferentemente hasta el fondo de las grietas y proceder en forma semejante a la del bacheo.
- f) Cuando existen 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 sobre carpeta.

Tratamiento superficial a base de mortero asfáltico.

El Slurry Seal, es una mezcla homogénea y semí-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.

Los principales materiales del Slurry Seal son los agregados y la emulsión asfáltica. Los agregados y la emulsión deben estar limpios y triturados y deben ser durables y con graduación buena y uniforme. La emulsión es un sistema de tres partes que consisten de cemento asfáltico, agua y emulsionante. Las emulsiones asfálticas generalmente cumplen con lo dispuesto para los tipos de mezcla densa de AASHTO “RL” y esta hecha de cemento asfáltico y pueden ser duras o suaves. Las emulsiones son de rompimiento lento o rápido elaboradas con emulsiones aniónicas, catiónicas o no iónicas. Algunas veces se emplean aditivos líquidos para algunas modificaciones.

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

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

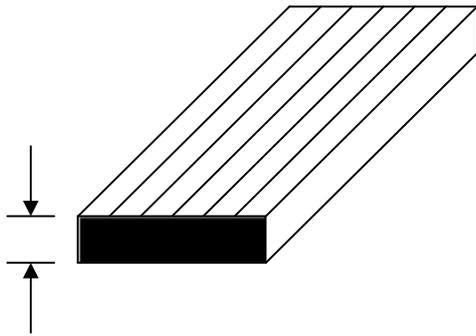
1.- Preventivo. Para evitar los daños superficiales que ocurren en los pavimentos recién tendidos, tales como los efectos de la meteorización (Oxidación, pérdida de aglutinante y debilitamiento de la mezcla estructural) y para proporcionar durabilidad especial y textura que no se tiene en la mezcla de 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 producida por el flujo o por los agregados pulidos.

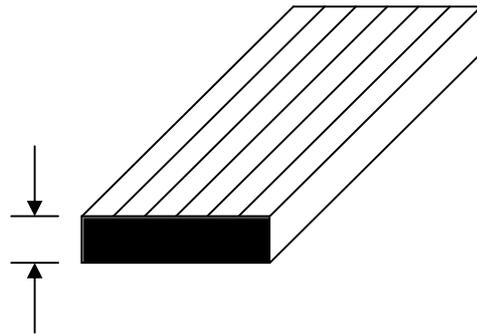
Slurry Seal en las superficies de los pavimentos reciclados cumple con el doble propósito de corrección y prevención.

Las especificaciones generales de la Asociación Internacional de Slurry Seal en su guía A- 105 reconocen tres graduaciones básicas de agregados;

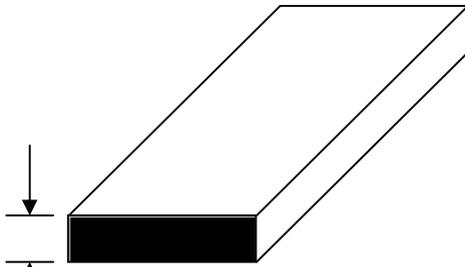
Tipo fino (1)	1/8"
Tipo general (11)	1/4"
Tipo grueso (111)	3/8"



1/8" Espesor del recubrimiento tipo I (fino)
6 a 10 lbs / yarda² de agregados y 0 a 16 %
de cemento estatico residual



1/4" Espesor del recubrimiento tipo II (general)
10 a 15 lbs / yarda² de agregados y 7.5 a 13.5 %
de cemento asfáltico residua



3/8" Espesor del recubrimiento tipo III (grueso)
15 a 25 lbs / yarda² de agregados y 6.5 a 12 %
de cemento asfáltico residual

la graduación del agregado, seleccionada para usarse, depende del objetivo de un tratamiento particular.

Tipo I. se usa para la máxima penetración en las grietas y como una preparación excelente para recubrir con mezcla en caliente o con riego de sello. Comúnmente se usa en las áreas con poca densidad de tránsito o bien de poco uso, tales como las aeropistas para aviones ligeras, áreas de estacionamiento, acontecimientos donde el objetivo principal es el sellado.

Tipo II es el más ampliamente usado para sellar, corregir desprendimientos severos, oxidación y pérdida de aglutinante, también para mejorar la resistencia al derrapamiento,

se emplea para tránsito moderado y pesado dependiendo de la calidad de los agregados disponibles en el diseño.

Tipo III. Se usa para corregir condiciones severas de desprendimientos, como primera capa en la aplicación de las multi-capas, para impartir resistencia al derrapamiento y para evitar desperfectos debidos al agua bajo condiciones de tránsito pesado y para poder extender la vida útil bajo estas condiciones.

Procedimiento de diseño del Slurry Seal

- 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 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 cada capa y prueba de adherencia.
 - d). Sujetar las mezclas de prueba a las pruebas físicas.
- 5.- Aplicar el diseño óptimo al control de las cantidades en el campo.

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 disminuye la adherencia del mortero asfáltico. Así mismo, 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 regada 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 áreas con productos asfálticos es la de reducir el contenido de vacíos de mortero asfáltico. Para este proceso se puede emplear el “método húmedo” utilizando una emulsión asfáltica estable; en este caso es necesario compactar con neumáticos para comprimir la mezcla y ayudar a que se adhiera con la superficie del pavimento. El espesor del mortero asfáltico ya colocado y de aproximadamente 2 mm. y su periodo de secado, en clima calurosa, 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 periodo 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.

5.3 CONSTRUCCIÓN DE SOBRE CARPETAS DE REFUERZO

En muchas ocasiones los deterioros del pavimento pueden abarcar un área bastante grande y resultan antieconómicos los métodos de conservación normal, en estos casos es necesario aplicar los procedimientos de reconstrucción. Los procedimientos más usuales de reconstrucción de pavimentos pueden ser varios y van desde la colocación de tratamientos superficiales, construcción de carpetas nuevas, construcción de sobre carpetas, hasta reconstrucciones integrales.

Procedimientos más usuales.

1.- Riego de sello.- atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera el riego de sello como una labor de reconstrucción cuando la superficie tratada excede de mil (1000) metros lineales continuos.

Los casos en que se recomienda el riego de sello son los siguientes:

- a) Cuando se requiere proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
- b) Cuando la carpeta existente esté agrietada y / o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
- c) Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.
- d) Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
- e) Proteger la carpeta cuando se indica el proceso de desgranamiento y / o desgaste superficial.
- f) Obtener en la superficie de rodamiento un calor adecuado para mayor visibilidad nocturna.

Procedimiento.

El procedimiento a seguir cuando se requiera la aplicación de algún riego de sello como solución de reconstrucción de un pavimento flexible es el siguiente:

- 1) En la superficie por sellar deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que se requieran.
- 2) La superficie por sellar deberá limpiarse de materia extraña y barrerse perfectamente para eliminar el polvo.
- 3) Sobre la carpeta limpia se procederá a aplicar un riego de producto asfáltico del tipo y la cantidad por metro cuadrado fijados por el proyecto.
- 4) Posteriormente y en el tiempo que indique el proyecto, se cubrirá el riego de producto asfáltico con el material pétreo.
- 5) Inmediatamente después se pasará la rastra para eliminar ondulaciones, bordes o depresiones.
- 6) Se procederá al planchado, el cual se iniciará con el rodillo liso; posteriormente y usándolo en forma alterna con la rastra, se planchará con el compactador de

neumáticos el tiempo necesario para asegurar que el máximo del material pétreo se haya adherido al material asfáltico.

- 7) Posteriormente, se procederá al barrido y recolección del material excedente que no se adhiera al ligante asfáltico.

Renivelación

Los trabajos de renivelación pueden considerarse como conservación normal o como reconstrucción, según excedan o no en el volumen de doscientos (200) metros cúbicos de mezcla asfáltica por kilómetro.

Procedimiento. La manera de efectuar las renivelaciones será la que a continuación se indica:

- 1) En caso de deformaciones pequeñas, del orden de uno (1) a tres (3) centímetros, estas podrán corregirse empleando el sistema de riegos de sellos.
- 2) Cuando las deformaciones sean superiores a los tres (3) cm., se usará para su corrección mezcla asfáltica, de acuerdo con los siguientes lineamientos:
 - a) La zona por renivelar deberá limpiarse de materia extraña y efectuarse los trabajos de conservación normal correspondientes.
 - b) Deberá definirse y marcarse el área por renivelar, siguiendo aproximadamente el perímetro que abarque en su totalidad la zona fallada.
 - c) Una vez definida el área por renivelar, se abrirá una caja perimetral de aproximadamente cinco (5) centímetros de ancho y espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como que la mezcla se “corra”.

Cuando la carpeta esté constituida por el sistema de un riego, deberá “picarse” la superficie de rodamiento en la zona por renivelarse, barriendo a continuación el material excedente.
- d) Se dará un riego de liga, con el tipo de producto asfáltico y temperatura que se indique en las especificaciones correspondientes.
- e) Habiendo realizado lo anterior, se procederá a rellenar el área por renivelar con mezcla asfáltica elaborada de acuerdo como lo indique el proyecto. Cuando la profundidad del asentamiento exceda de siete (7) centímetros, deberá rellenarse en dos (2) o más capas; la capa superficial podrá tener hasta seis (6) centímetros de espesor suelto y las interiores un máximo de diez (10) centímetros de espesor suelto.
- f) Las capas deberán compactarse con rodillo o aplanadora. El pison de mano solo deberá usarse en compactación de renivelación poco profundas y cuya superficie no exceda de cuatro (4) metros cuadrados. En ningún caso deberá dejarse la zona renivelada a la acción del tránsito, sin antes proporcionarle la debida compactación.
- g) Posteriormente y en el lapso de tiempo que indique el proyecto, se deberá sellar la zona renivelada.

Construcción de una carpeta nueva o de una sobre carpeta.

Cuando se pretende construir una sobre carpeta deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que requiera la carpeta existente

Las carpetas o las sobre carpetas asfálticas deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- a) No deberán desplazarse ni desintegrarse por la acción del tránsito, durante su vida útil.
- b) Deberán tener resistencia al intemperismo.
- c) Deberán soportar, sin agrietarse, pequeñas deformaciones.

Procedimiento.

Utilizando el sistema de carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.

Cuando se trata de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base debidamente construida e impregnada, cuando se quiere construir una sobre carpeta, deberán efectuarse previamente todos los trabajos de conservación normal que se requieran.

La secuencia que deberá seguirse para la aplicación de este sistema es la siguiente.

- a) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se deberá dar un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobre carpeta.
- b) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla asfáltica. Previamente al tendido, los materiales que constituirán la carpeta o la sobre carpeta asfáltica se mezclarán a lo largo del camino con la utilización de la motoconformadora.
- c) Inmediatamente después del tendido de la mezcla, el cual también se hace con la motoconformadora, se procederá a su compactación. En un principio la compactación se hará utilizando un rodillo liso, continuándola con un compactador neumático, posteriormente se volverá a usar el rodillo liso con el objeto de borrar la huella que deje el compactador neumático.

Utilizando el sistema de mezcla en planta.

El proceso para efectuar la construcción de la carpeta o de la sobre carpeta utilizando el Sistema de mezcla en planta es el siguiente:

- a) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente limpia, se dará un riego de liga en la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobrecarpeta.



- b) Esta etapa corresponde a la transportación de la mezcla asfáltica al lugar de tendido. Previamente a la transportación, deberá efectuarse al mezclado de los materiales que conforman la carpeta en una planta estacionaria.



c) Cuando los camiones que efectuarán el transporte de la mezcla asfáltica lleguen al sitio donde se realizará el tendido, estos deberán vaciarla dentro de la caja receptora de una máquina especial para este trabajo, denominada esparcidor, extendedora o terminadora. Esta máquina es de propulsión propia con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida. La mezcla asfáltica deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados. (110° C).



d) Inmediatamente después del terminado de la mezcla asfáltica, deberá compactarse por medio de un compactador liso; a continuación se empleará un compactador de neumáticos y por último, nuevamente el compactador liso.



Una vez que han sido analizados todos los factores señalados 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, de obras de drenaje y / o sub.-drenaje y de todas aquellas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

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.

Algunos de los métodos para diseño de refuerzo que utilizan la información de las medidas de deflexión son: método de California. Este método ha sido desarrollado con base en la observación del comportamiento de pavimentos reforzados y su premisa fundamental consiste en establecer el límite máximo de deflexión que pueda permitirse a la estructura del pavimento, como una medida de su capacidad estructural; dicho límite es una función del espesor de la capa asfáltica de rodamiento y del número de aplicaciones de una carga por rueda de 2270 Kg. (5000) libras que el pavimento ha de soportar.

5.4 REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Basándose en experiencias sobre el comportamiento de los pavimentos rígidos, se ha demostrado que éstos requieren de un mantenimiento inferior al que se daría a un pavimento flexible para conservarlo en buenas condiciones.

También se puede decir que el tipo y cantidad de mantenimiento necesario para la conservación de un pavimento rígido depende de la calidad de su diseño y de su construcción.

Debido a la gran importancia que tiene el mantenimiento de los pavimentos rígidos dividiremos a las rehabilitaciones en:

Rehabilitaciones superficiales y profundas.

Rehabilitaciones superficiales.- son aquellas que no ameritan romper a la losa en todo su espesor, como:

- a) Resello de las juntas.- Tan pronto como se detecte un agrietamiento o un rompimiento superficial en el cuerpo del sello, éste se debe extraer y reponer por un nuevo material. Al extraerse el sello viejo, se debe tener cuidado de limpiar perfectamente la ranura. El sello nuevo se colocará con las técnicas recomendadas para el material que se esté colocando.
- b) Resanes. Por imperfecciones en la construcción de ranura y para darle una forma regular, se resana manualmente las caras de la ranura antes de colocar el sello o antes de rellenar con un mortero rico en cemento y con una relación agua-cemento no mayor de 0.45. Se debe aplicar sobre una superficie limpia y humedad, que muestre el concreto sano y sólido.
- c) **Calafateo de grietas.** En los pavimentos que se diseñaron sin dispositivo de transmisión de carga, la reparación de las grietas que por alguna causa puedan

aparecer, consistirá en abrir un canal, siguiendo la geometría superficial de la grieta para formar el recipiente donde se alojará el sello. El canal se limpia y se resana según inciso b) y se procede a colocar el material de sello.

d) Parches superficiales. Por algún desprendimiento superficial localizado en una superficie relativamente pequeña, como despostillamientos o descascamientos se procede a repararlos formando unos parches superficiales de las siguientes formas:

— Se corta superficialmente la losa en rectángulos dejando circunscrita la zona dañada, esto no es necesario en los despostillamientos.

— Se demuele hasta la profundidad necesaria (1 a 7 cm.).

— Se limpia, se humedece y se le da un baño de lechada a la superficie descubierta del concreto antes de colocar el concreto nuevo.

— Se coloca el concreto con características apropiadas dentro del parche y se procede a compactarlo manualmente o con una regla vibratoria ligera.

— Se dan los acabados superficiales y laterales necesarios; en el caso de un despostillamiento, es necesario quitar el sello existente en la junta, en ésta etapa se forma la ranura rayándola y posteriormente se coloca el sello.

e) Revestimiento. Debido a un desgaste o a un desprendimiento excesivo y superficial del concreto, queda la superficie del pavimento en malas condiciones de funcionamiento, que es necesario rehabilitarla mediante un revestimiento con un concreto que tenga características de buena calidad.

La superficie por revestir se debe preparar previamente de la siguiente manera:

1) Limpieza de la superficie. Se puede lograr con una escarificación superficial con una máquina especial para eliminar toda la película de concreto intemperizado. Esta escarificación a veces no es necesaria, basta que se lave la superficie con detergente y cepillo de fibra para eliminar todos los elementos que pudieran evitar la adherencia del concreto nuevo; como polvo manchas de grasa ó aceites, pinturas, etc., si no se logra remover la película intemperizada, se le aplica un baño de ácido muriático, cuando deja de ser espuma, se lava completamente con agua a presión, cepillando vigorosamente la superficie tratada para eliminar los residuos de ácido y las partículas de arena desprendida por el tratamiento. En ocasiones la superficie requiere una segunda aplicación de ácido para lograr las características adecuadas para la adherencia. Cuando se usa este sistema, debe recurrirse a una mayor información, dado a los peligros a que se somete la mano de obra. Inmediatamente antes de aplicar el recubrimiento, se deberá limpiar las basuras y polvos que se depositen en la zona tratada.

2) **Material de adherencia.** Antes de colocar el concreto, se aplica una lechada de mortero con un espesor de 1/16" a 1/8" en la superficie tratada, limpia y humedad para asegurar la adherencia del concreto nuevo. Las propiedades por peso de material, son:

Cemento: 1

Arena: 1

Agua: 1/2

La arena es igual a la que se emplea en el concreto, pero utilizando únicamente el material que pasa por la malla N° 8 y completamente limpio. El agua es suficiente (sin incluir agua de absorción de la arena) para dar una consistencia de crema espesa.

El material de adherencia se deberá aplicar, inmediatamente que el concreto, con cepillo y no se deberá permitir que tome un color más claro antes de la colocación del concreto.

- 3) Colocación del concreto. El resto de las operaciones, desde la colocación y distribución del concreto, hasta el curado del mismo. Pero debe tomarse mayor cuidado en la compactación y el curado, porque estas dos operaciones son la clave final para la buena adherencia. Es muy importante la compactación por vibrado con regla vibratoria; el curado se puede lograr con membranas o con agua atomizada hasta que la endurezca la superficie lo suficiente, para recibir material húmedo (tela húmeda) sin dañar el acabado. Esta última es necesaria cuando la temperatura es mayor de 32° C, ó la humedad relativa es baja y la velocidad del viento es alta. Para climas cálidos y con vientos, se recomienda un revenimiento de 7.7 a 10.0 cm. Y para climas fríos con días nublados de 2.5 a 5.0 cm.

Cuando los daños causados por las fallas requieren de una reparación del todo el espesor de la losa, se requiere el levantamiento total de la losa ó del concreto.

Cuando la falla estructural está localizada en alguna parte de la losa, cuando la losa se agrieta fuera de una junta y el diseño del pavimento es con refuerzo para transmitir cargas o cuando se levanta el pavimento para colocar algún servicio, las reparaciones se realizan en forma de parche con una geometría regular. El concreto empleado para rellenar el parche, debe ser de mejor calidad que el concreto original del diseño.

CAPITULO VI. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS POR MEDIO DE AGENTES REJUVENECEDORES.

A medida que transcurre el tiempo se va reduciendo el poder económico de construcción de carreteras debido a procesos inflacionarios, escasez de energéticos, carencia de fondos, lapsos relativamente cortos de duración de las administraciones, efectos en el medio ambiente y características de seguridad, de tal manera que la velocidad de desarrollo de daños en nuestras carreteras es mucho más rápido que la reparación 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 estén en buenas condiciones de funcionalidad estructural y presten el servicio requerido; de no efectuar esto a tiempo se pueden dañar también las capas inferiores, a tal grado que en algunos casos puedan requerirse reconstrucciones mayores.

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

Actualmente están en uso algunos sistemas sofisticados para el arreglo de pavimentos, los cuales proporcionan una sobre carpeta delgada (inferior a 5 cm.) en ciclos de tiempo relativamente cortos sin preocuparse por los efectos eventuales que esto tenga sobre la geometría, dimensiones estructurales, seguridad, drenaje superficial, etc. Solo 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 conservación 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 resuelva 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 sobre carpetas.

6.1 SISTEMA DE REBAJADO

El sistema de rebajados de pavimentos mediante equipos abrasivos y que han sido también planchados 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 hacen 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 resulta económicamente competitivo contra los métodos tradicionales, los cuales han constituido en bacheo, la construcción de sobre carpetas de refuerzo tanto para pavimentos asfálticos como de concreto hidráulico, lo cual redundaba en que se eleve la rasante y frecuentemente en que los daños de la superficie original se reflejen en la nueva sobre carpeta.

Es muy común el caso de que se coloque sobre carpeta 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 la superficie cubrirla 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 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 esta con el acabado que queda después del rebajado.
- c) Se logra una mejor liga con la nueva capa de refuerzo.

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; a demás de prestar 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 desechada o recalentada para su aprovechamiento; lo cual no sucede con el empleo de las rebajadoras en frío que producen el agregado prácticamente triturado, factor que debe ser altamente vigilado, pues claramente se comprende que la granulometría puede cambiar radicalmente, en comparación con la que se tenía in-situ; este último si se desea reciclar a la mezcla removida.

Aplicabilidad.

Existen 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 esto a problemas de contaminación ambiental debido al humo y gases producidos en las plantas recicladoras.

Por otro lado, 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 este método las siguientes:

- a) Se reducen los costos ya que se emplea menos material para sobre encarpetar.
- b) Se obtiene una liga mucho mejor con la sobre carpeta, si es necesario su colocación.
- c) La superficie, uniforme aserrada o estriada, proporciona un magnifico anclaje por lo que se evitan las fallas de corrimiento en la sobre carpeta.
- d) Se incrementa notablemente la vida de la sobre carpeta 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 que en un período razonable pueden reflejarse en la nueva sobre carpeta.

- e) El peso volumétrico de la nueva sobre carpeta es uniforme, al quedar debidamente compactado sobre una superficie también uniforme.

Entre las principales aplicaciones de la maquina rebajadora podría citarse las siguientes:

- 1.- Renivelar la superficie de rodamiento en aquellos casos en que existen imperfecciones de acabado.
- 2.- Proporcionar una buena liga con las sobre carpetas.
- 3.- En pavimentos rígidos o 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. 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 a un minucioso análisis de estos aspectos.

Ejemplos de aplicación.

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

a). En Inglaterra se habla de velocidades de avance de la rebajadora hasta de 1000 metros cuadrados por hora; se han llegado a remover espesores hasta de 90 mm. Y si solamente se trata de proporcionar una textura antiderrapante se han logrado avances hasta de 1800 metros por hora

b).-En Kentucky se presentó un caso de un pavimento liso y canalizaciones en las rodadas, el costo del sólo renivelado fue considerado del orden de 420000 Dólares.

Empleando una rebajadora "Rotomill" y con 1 ½" 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 sobre carpeta 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 fue 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 sobre carpeta de 38 mm. Tenía un costo de \$ 834,000 Dólares. Aplicando la sobre carpeta 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 mm. De material depositándolo en los acotamientos a un costo casi de una tercera parte del ya referido y proporcionando una buena textura.

6.2 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 envejecimientos prematuros, 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 un rígido y quebradizo. Aplicando “Reclamite” se puede conservar 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 fue 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, si no también mantiene su calidad por más tiempo del que era posible anteriormente. Además es el único material conocido que efectivamente 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. 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 de asfalto original y al medio 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 del servicio de un asfalto desde antes que llegue al sitio de su aplicación.

La interpretación de la causa de envejecimiento va 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 que eventualmente el 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 del pavimento. Es por lo 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 de 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 si mismo y por lo tanto, contra atacar la causa del envejecimiento. El producto denominado “Reclamite” es una emulsión especial de aceites de petróleo y resinas, es decir es una emulsión cationica de maltéenos 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 falta 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 adherencia a las superficies tersas o vidriadas 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 estacionamiento tan solo repitiendo si fuese necesario las rayas anteriores las cuales son visibles después de la aplicación de “Reclamite”. En la mayoría de los casos, como pintura reciente, no se hace necesario el repintar; todas estas características son el resultado de consideraciones prácticas incorporadas a “Reclamite” ya que su objetivo primordial es rejuvenecer asfalto, estos otros beneficios hacen su aplicación más práctica.

Funciones.

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

Propiedades:

- Viscosidad Saybol-Furol.....15 a 40 seg.
- Residuos.....60 a 65 % mín.
- Miscibilidad (posibilidad de mezclarse)no coágulos
- Carga.....positiva.
- Asfáltenos.....0.75 máx.

Puede tenerse muy presente que los efectos anteriormente referidos, ocurren por regla general en los 20 a 25 mm. Superiores de una carpeta que es la que más se oxida y envejece.

Procedimientos de construcción.

Son varios los procedimientos empleados para la aplicación de agentes rejuvenecedores y varían desde su simple recorrido en mezclas en caliente recién tendidas, cuyo objeto es restituir componentes perdidos debido al calentamiento hasta su empleo como parte del procedimiento de sobre- encarpetao. El método más comúnmente 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 esta 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 de 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 en casos muy especiales.

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 esta, 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 infrarrojos; 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 en 25 mm de espesor, para esto, 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 mm y depende de la temperatura del asfalto, su dureza, así como de la configuración de las uñas y la presión aplicada sobre ésta.

e). La siguiente operación consiste en restituir, en el pavimento escarificado, la geometría original mediante gusanos distribuidores o algún 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 de acero de 8 a 10 toneladas 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 sobre carpeta directamente sobre la superficie recién escarificada.

g). Se aplica el riego de 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 estas consistir en:

- _ Dejar a la superficie únicamente con el tratamiento del agente rejuvenecedor, compactando el espesor tratado. Esto se hace si estructuralmente no se requiere refuerzo y la superficie de rodamiento obtenida es adecuada.
- _ Aplicar un riego de asfalto rebajado a la superficie, cuando no se requiera refuerzo estructural, si existe insuficiencia de éste en la carpeta original.
- _ Construcción de una sobre carpeta de concreto asfáltico cuando se requiera refuerzo 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 agentes rejuvenecedor.
 - _ Tipo de sobre carpeta y materiales a emplear
 - _ Formas de medición y pago.

Aplicabilidad.

Este producto se aplica fácilmente con cualquier tipo de pipa, equipada con barra esparciadora. La proporción en que se recomienda aplicar el producto Reclamite es de dos partes del producto por una parte de agua fría mezcladas perfectamente.

En pavimentos nuevos se recomienda aplicar el producto ya diluido, a razón de 0.23 a 0.35 litros por metro cuadrado.

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 litros por metro cuadrado. La necesidad de esta aplicación se hace patente cuando se observa la superficie del pavimento árida, oxidada, con desintegración y / o con grietas de contracción. Estos síntomas de envejecimiento pueden aparecer entre los 2 y 10 años después de su construcción.

_ Otro posible empleo del producto es de que puede ser utilizado para sellar grietas con ancho menores de 6 mm con las ventajas de que no necesitan ser limpiadas previamente, que devuelve flexibilidad a la carpeta, que se evitan los estillamientos y no quedan parches ni lunares.

_ 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 autorregulable, debido a que la aplicación de “reclamite” se vuelve muy simple, aplicando únicamente la cantidad que sea absorbida por el pavimento.

6.3 SISTEMA DE RECICLADO.

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 pavimento, el rejuvenecerlos tomará más rejuvenecedor y el trabajarlos requiere procedimientos y equipos especiales.

Reclamite en combinación 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, si no también proporcionarla 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 sobre carpeta en la rasante
 - 3º Costos de agregado adicional, asfalto adicional, remoción, etc.

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 recuperar
- Especificaciones.

Algunos problemas de diseño de las superficies recicladas.

En los pavimentos no hay absoluta uniformidad, particularmente en los pavimentos, reciclados, 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 distinguirse con el proceso de reciclamiento efectuando por ejemplo el rayado longitudinal.
 - 5.- Las técnicas de cortado (marcado, profundidad, velocidad, etc.), pueden causar peligro son desprendimientos o corrimientos.
 - 6.- La rugosidad de la textura puede ocasionar niveles de sonido objetables.
 - 7.- Las operaciones de cortado en las sobre-carpetas 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 en 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.

6.4 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:

- 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° C); 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 metros por minuto.
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 tanden de 8 a 10 toneladas.
- 4.- Se aplica un riego de agente rejuvenecedor “Reclamite” concentrado de 0.6 a 1.2 lts/m² inmediatamente después de la compactación.
- 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 autopropulsados, de la superficie.



Fig. 6.4.1 Planta de reciclado en el lugar

6.5 SISTEMA DE RECICLADO EN PLANTA.

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

*El primer paso consiste en cortar el pavimento en el espesor necesario con una cortadora y disgregadora de carpetas, 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.

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

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 en 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, a tomado un gran interés para reducir los costos de rehabilitación de calles y carreteras. El reciclado (recuperar y rehusar) 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.

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



Fig. 6.5.1 Recuperadora de asfalto y transportada a la planta de reciclado.

CONCLUSIONES.

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

La estructuración de una obra vial, carretera o camino generalmente está integrada por el terreno natural o superficie de apoyo, terracerías, pavimento y obras complementarias de drenaje superficial y sub.-drenaje, teniendo cada una de ellas una función específica.

La superficie de apoyo y / o la terracería constituye la sub.- estructura de una obra vial, en tanto que el pavimento es la súper-estructura de la misma. Los pavimentos pueden ser de dos tipos, esto es , pavimento rígidos o de concreto hidráulico y pavimentos flexibles o asfálticos, teniendo como diferencia básica la estructuración de la superficie de rodamiento; generalmente la superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles es una carpeta asfáltica, y en los pavimentos rígidos es una losa de concreto hidráulico.

El pavimento está constituido por varias capas de material seleccionado, teniendo cada una de ellas su función particular, siendo la principal desde el punto de vista estructural, la de transmitir las cargas de los vehículos automotores en forma adecuada a la terracería o bien a la superficie de apoyo.

Para el correcto funcionamiento de la estructura de un camino, deberá tomarse en cuenta que en el intervienen la calidad y espesores de los materiales que constituyen el pavimento, la terracería y la superficie de apoyo, por lo que la estructura debe analizarse en forma integral.

El drenaje superficial y el sub.-drenaje, es uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los pavimentos, ya que de no estar resuelto adecuadamente, la vida útil se reduce en forma considerable.

La función básica de un pavimento desde el punto de vista operacional es permitir el fácil, cómodo y seguro tránsito de vehículos, por ello uno de los objetivos de los técnicos de pavimentos es evitar la aparición prematura de fallas que no dejen que se cumpla dicha función.

Se puede establecer que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá, posteriormente, la falla funcional. Además una falla funcional que no se atiende en forma correcta y a su debido tiempo, puede conducir a una falla estructural.

La identificación de fallas es un concepto muy importante dentro de la evaluación y reconstrucción de caminos y consiste en definir el tipo y las causas que la han producido.

La selección del procedimiento constructivo de un pavimento flexible debe ser el que se estime como la mejor solución económica y técnica.

La reconstrucción de caminos construidos con pavimentos flexibles puede hacerse por alguno de los siguientes procedimientos constructivos:

— Riego de sello, nivelación; construcción de una carpeta nueva o de una sobre carpeta, reconstrucción a partir de las capas interiores; estabilización de capas de base y / o sub.-base; revitalización o rejuvenecimiento del pavimento asfáltico y reciclado de pavimentos asfálticos.

Los pavimentos rígidos son de uso muy limitado, debido al elevado costo de construcción, que se ve reflejado en un costo de inversión muy alto, pero que se compensa con el bajo costo de mantenimiento y conservación que este tipo de pavimento requiere, en comparación con los pavimentos a base de mezclas asfálticas.

Bibliografía

- 1.- Diseño y construcción de pavimentos
– Centro de educación continua UNAM.
- 2.- Especificaciones generales de construcción
– Secretaría de Obras Públicas
- 3.- Apuntes de pavimentos asfálticos
– Ing. Fernando Loayza.
- 4.- El Deflectógrafo Benkelman
– Secretaría de Obras Públicas
- 5.- Apuntes de sistemas de Reciclado para pavimentos recuperados
– Barber – Greene Company
- 6.- Estructuración de Vías Terrestres
– Fernando Olivera Bustamante