



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON**

**Estudio de Resistencia en
Carpetas y Bases Asfálticas**

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
INGENIERO CIVIL

Presenta:
JOAQUIN SERRATO JAIME

SAN JUAN DE ARAGON

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Págs.
Introducción	I
Capítulo I. Estructuración de una Sección — Transversal para Caminos	4
a) Tipos de bases: Natural, Esta- bilizada con Cal y Cemento Por- tland y Bases Negras.....	8
b) Tipos de Carpetas: Riego, Mez- clas en el lugar y Concreto As- fáltico.....	42
c) Diferencias entre Bases Negras y Carpetas Asfálticas.....	58
Capítulo II. Objetivos y Programación de la — Investigación.....	61
Capítulo III. Características de los Materiales Usados.....	65
Capítulo IV. Ejecución de las Pruebas.....	71
Capítulo V. Resultados Obtenidos.....	90
Capítulo VI. Conclusiones.....	102
Bibliografía.	106

INTRODUCCION

A partir del año de 1925, se han construido en México diferentes tipos de caminos. Estructurándose de acuerdo con las necesidades para las que fueron concebidos, basándose principalmente en el peso y velocidad del tránsito.

En la actualidad, se entiende por pavimento al conjunto de capas constituidas por materiales seleccionados (carpeta, base y sub-base), que proporcionan una superficie de rodamiento adecuada, que resista los esfuerzos originados por el tránsito y los transmita adecuadamente distribuidos, a las terracerías.

Para el correcto funcionamiento, deberá tomarse en cuenta que en él intervienen la calidad y espesores de los materiales de pavimento, de las terracerías y del terreno natural, por lo que la estructura debe analizarse en forma integral.

En general los caminos que se han construido en México principalmente por la SCT. que cuenta como antecesores a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, a la Secretaría de Obras Públicas y a la de Comunicaciones y Obras Públicas ya desaparecidas, donde se tiene la mayor experiencia en estos trabajos por el área tan grande de caminos que se han pavimentado y por los estudios que se han llevado a cabo, algunos de los cuales, con colaboración del Instituto de Ingeniería de la UNAM tanto la experiencia como los estudios realizados han tenido como antecedentes los que se han desarrollado en otros países --- principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica.

Los métodos actuales de proyecto de pavimentos flexibles, se basan en los tres aspectos siguientes:

- 1.- Teoría de la distribución de esfuerzos y falla.
- 2.- Pruebas de resistencia.

3.- Correlación de los aspectos anteriores con el comportamiento real de los pavimentos.

De acuerdo a la definición de pavimento, será necesario asegurarse de que los esfuerzos originados por el tránsito, que actúan en las diferentes capas y en las terracerías sean de tal magnitud, que la suma de las deformaciones acumuladas durante la vida útil de la obra, sean menores o cuando menos igual a la deflexión total permitida en la superficie de rodamiento.

En el caso de los caminos nacionales, algunos con la vida útil de servicio cumplida o rebasada; presentan agrietamientos superficiales, es decir, únicamente en la carpeta, para corregir este tipo de fallas será suficiente proporcionar una adecuada sustentación a las carpetas, que podría ser por medio de la construcción de bases asfálticas.

Las bases asfálticas se elaboran con mezclas de un producto asfáltico (emulsión asfáltica, rebajado asfáltico o cemento asfáltico) y material pétreo de granulometría continua de tamaño máximo de 2 pulgadas. Sobre la carpeta agrietada se construye la base asfáltica con espesor de aproximadamente 15 centímetros y sobre ésta se colocará una carpeta asfáltica de unos 7 centímetros de espesor.

Las deformaciones acusadas por los caminos son debido a que la resistencia considerada en el momento de su concepción, ha sido rebasado por el incremento de peso y velocidad del tránsito actual, para corregir las deformaciones es necesario aumentar la capacidad de carga de los pavimentos, lo que se puede lograr mediante el empleo de bases negras.

El uso de bases negras nos permite tener mayores dimensiones en el ancho del camino, lo que no sucedería si construyera-

mos bases naturales, puesto que en las primeras no es necesario alcanzar grandes espesores como en la segundas.

La construcción de bases asfálticas es económica, debido a que los porcentajes de productos asfálticos empleados son relativamente pequeños, además que el triturado y cribado de materiales pétreos de tamaños grandes (de una y media a dos pulgadas) es más económico en comparación con el triturado y cribado de materiales de tamaños menores.

CAPITULO I

ESTRUCTURACION DE UNA SECCION TRANSVERSAL PARA CAMINOS

En México tenemos una gran diversidad de tipos de suelos, - trayendo como resultado que las características mecánicas, de - resistencia, de plasticidad etc. de cada uno de ellos, se alteren de manera diferente, cuando son atacados por los agentes atmosféricos.

Para utilizar estos suelos, en la construcción de bases y - carpetas de caminos, es necesario que cumplan con ciertos requisitos como: granulometría, desgaste de los Angeles, contracción lineal afinidad con asfalto etc.

Los esfuerzos inducidos por el tránsito en un camino, van - disminuyendo con la profundidad; de manera que la resistencia - en las capas subyacentes del camino puede ir disminuyendo, lo - que se logra empleando materiales de menor calidad, y como consecuencia de menor costo.

En las figuras I(1), I(2) y I(3) mostraremos las secciones - comunes de caminos, así, como la estructuración transversal correspondiente, ésta última se hará en forma muy general.

Como anteriormente dijimos que, cuando un suelo se utiliza - para la construcción de caminos, es sometido a esfuerzos provocados por el tránsito, pero a su vez, el esfuerzo se da en diferentes condiciones climatológicas. Debido a estas solicitaciones el camino construido, aún en sus condiciones más críticas - debe de cumplir con las funciones siguientes:

- 1.- Tener estabilidad, es decir que ni la superficie de rodamiento ni tampoco las capas inferiores presenten de---

formaciones importantes.

- 2.- Presentación de una superficie que permita el desplazamiento de los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad.
- 3.- Cuando se tienen pavimentos flexibles, la estructura del camino debe de tener la suficiente flexibilidad para admitir posibles movimientos del terreno sin graves deterioros.
- 4.- La superficie del camino, debe de resistir a los ataques de los agentes atmosféricos, para que no pueda ser destruida ni alterada gravemente, por los cambios de temperatura.

Para cumplir tanto con las funciones anteriores, como con las condiciones de economía, es necesario realizar la construcción del camino en capas según se consideró al inicio de este capítulo.

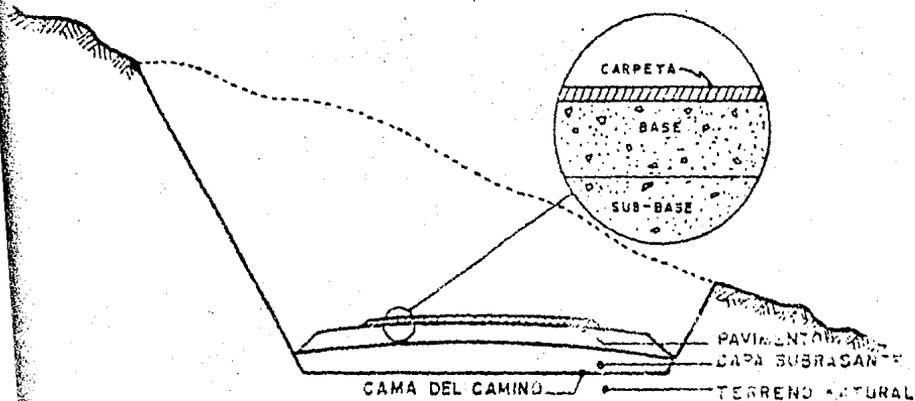


Figura (11). Sección en corte

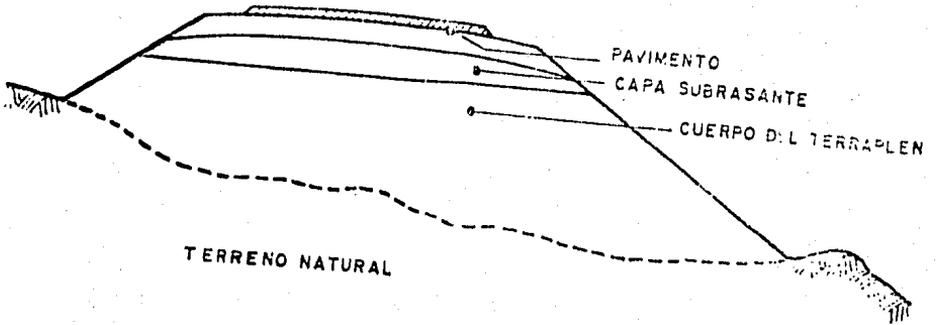


Figura 1(2). Sección en terraplén

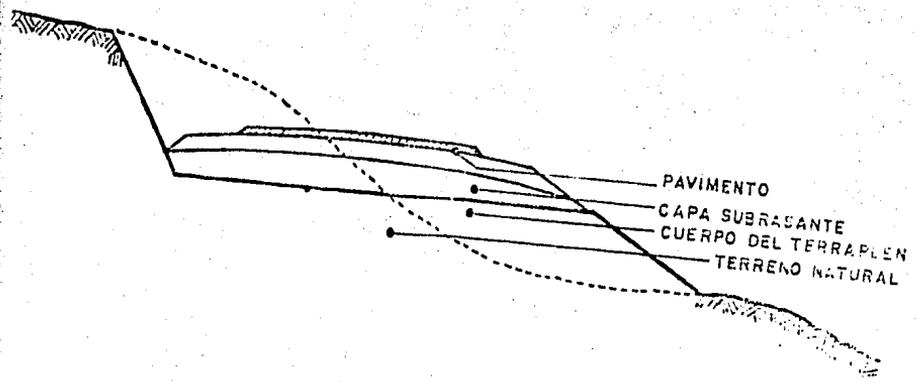


Figura 1(3). Sección en balcón

El terreno natural en general es suficientemente resistente para soportar las cargas impuestas por el tránsito, pero deberán de distribuirse éstas de una manera adecuada especialmente en determinadas condiciones de humedad, ya que normalmente un suelo en estado natural es muy deformable, éste casi nunca cumple con las funciones propias de un camino, por lo cual es necesario reforzarlo con capas más resistentes, que transmitan las cargas ya repartidas, dando lugar a presiones más reducidas y que las capas subyacentes si serán capaces de soportar sin presentar deformaciones importantes.

Para ello existen dos soluciones diferentes, la primera de ellas consiste en la construcción de un pavimento rígido y la segunda será mediante la construcción de un pavimento flexible.

Los pavimentos rígidos son aquellos cuya superficie de rodaje está constituida por una losa de concreto hidráulico, los esfuerzos se transmiten a través de la acción de la losa; la transmisión de esfuerzos hacia las capas inferiores va a ser rápida, no soporta deformaciones de las capas inferiores y cuando se presentan deformaciones de cierta importancia se presenta la falla estructural.

Los pavimentos flexibles son aquellos que tienen una carpeta asfáltica como superficie de rodaje, la transmisión de los esfuerzos hacia las capas inferiores es mediante la adherencia, cohesión y fricción existentes entre los materiales pétreos y el producto asfáltico; estos pavimentos admiten ciertas deformaciones sin que se llegue a la falla estructural, la distribución de los esfuerzos es lenta.

Se puede decir que la estructura de un camino en su forma general, se compone de: terreno natural, de una o varias capas intermedias resistentes y de una capa superficial para, re

sistir el desgaste. Las capas intermedias que dan resistencia a la estructura; comenzando de la superficie del terreno hacia la superficie de rodamiento son: cuerpo de terraplén (no se utiliza en una sección en corte), capa subrasante, sub - base, base y finalmente la carpeta que es la que resiste los efectos abrasivos producidos por el tránsito y los agentes atmosféricos, -- las carpetas pueden ser de riegos, mezclas en el lugar o de concreto asfáltico.

a) Tipos de bases: natural, estabilizada con cal y cemento portland y bases negras.

La base para pavimentos es la capa de material seleccionado que se coloca entre la carpeta y la sub - base, ésta deberá ser rigidizada en pavimentos de concreto asfáltico, con el fin de - que su módulo de elasticidad sea compatible con el módulo de elasticidad de la carpeta. Cuando se construyen pavimentos flexibles la base debe proporcionar una sustentación estable; las -- calidades mencionadas se pueden obtener mediante un mejoramiento mecánico o una estabilización química.

ESTABILIZACION.

Para entrar al estudio del tema es necesario explicar en - que consiste la estabilización de un suelo, para que pueda ser utilizado en la construcción de bases en caminos, estriba esencialmente en dar a éste determinadas cualidades de resistencia y plasticidad que le hagan capaz de conservarse en el tiempo bajo determinadas condiciones de carga. Las características requridas en el suelo se pueden obtener por mejoramiento mecánico o estabilización química.

El mejoramiento mecánico, se realiza por medio de la mezcla de dos materiales naturales, en este tipo de estabilización no se lleva a cabo reacción química entre los componentes de la mezcla.

En la estabilización química sí se produce reacción entre los componentes del suelo y el producto industrial agregado.

FUNCIONES DE LA BASE.

- 1.- **Funciones estructurales:** recibe las cargas generadas por el paso del tránsito, las resiste y posteriormente las transmite a las capas inferiores adecuadamente distribuidas.
- 2.- **Funciones de carácter drenante:** por un lado, impidiendo el ascenso del agua capilar y por otro, permitiendo el paso del agua que se pueda infiltrar desde la carpeta; en este último caso, deberán conectarse al subdrenaje de tal manera que el agua sea expulsada lo más pronto posible del interior de la estructura figura 1(4).

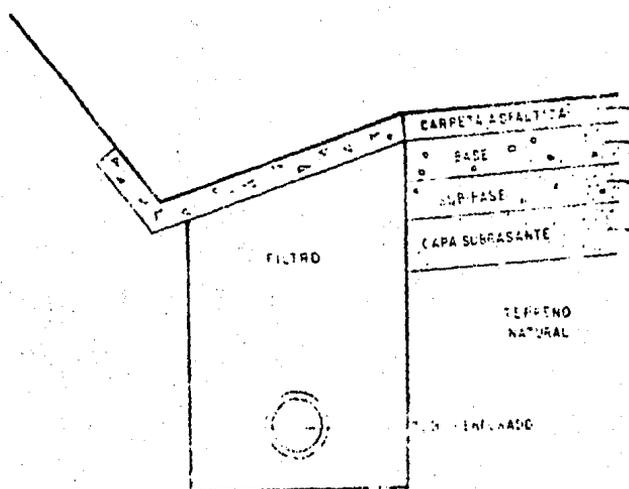


Figura 1(4) Pavimento conectado a subdren.

- 3.- Funciones económicas: al colocar una base con resistencia y plasticidad adecuadas evita construir carpetas de grandes espesores lo que incrementaría considerablemente el costo del pavimento.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS BASES

- 1.- Resistencia (VRS)
- 2.- Plasticidad (contracción lineal)
- 3.- Valor cementante (resistencia a la compresión sin confinar)

BASE NATURAL

Para suelos que pretendan emplearse en la construcción de bases o de sub-bases en caminos y no reúnan las características de valor cementante requerido, es conveniente la adición de cantidades pequeñas de materiales cuya fracción fina presente un índice plástico menor de 16 por ciento, o sea, contracción lineal menor de 6 por ciento. Generalmente se emplean para proporcionar cementación: arenas-limo-arcillosas de origen calizo o de silicatos en proporciones que varían de 10 a 20 por ciento. Es importante el control de la cantidad del material cementante para producir mezclas con valor relativo de soporte y plasticidad dentro de especificaciones.

Al cementar adecuadamente una base para carpetas delgadas, se obtiene:

- 1.- Sustentación adecuada a las carpetas, capaz de resistir a los esfuerzos horizontales.
- 2.- Aumentar la eficiencia de la operación de compactación, pues un material inerte requiere más energía para alcanzar un cierto grado de compactación que el mismo material cementado adecuadamente.

- 3.- Facilidad de mantenimiento en la etapa de construcción.
- 4.- Aumento de la resistencia general de los materiales.

En las figuras I(5), I(6) y I(7) se podrá observar la variación de la resistencia en materiales cementados con finos que pasan las mallas número 200, al aumentar el porcentaje de finos la resistencia también aumenta hasta un máximo para luego disminuir gradualmente, esto mismo ocurre si se utilizan materiales con índices plásticos altos. Como se mencionó anteriormente las mezclas deben de cumplir con los valores tanto de resistencia (VRS) como de plasticidad estipulados en las Normas Generales de Construcción.

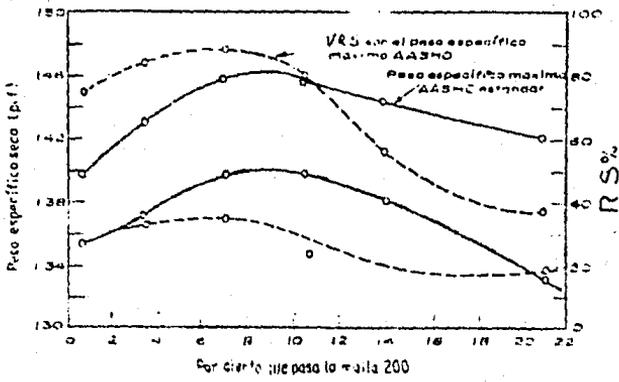


Figura I(5). Variación del peso específico y VRS con la cantidad de finos (piedra triturada).

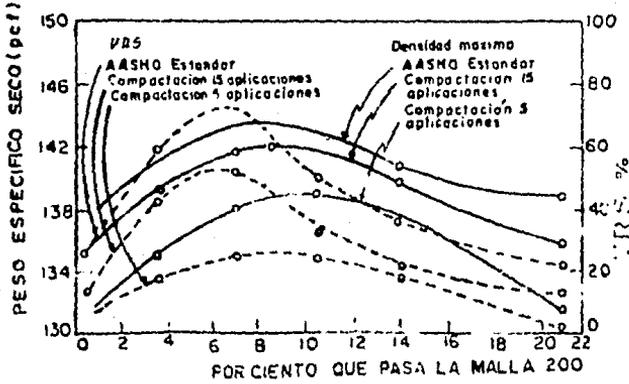


Figura 1 (6). Variación del peso específico y VRS con la cantidad de finos (grava).

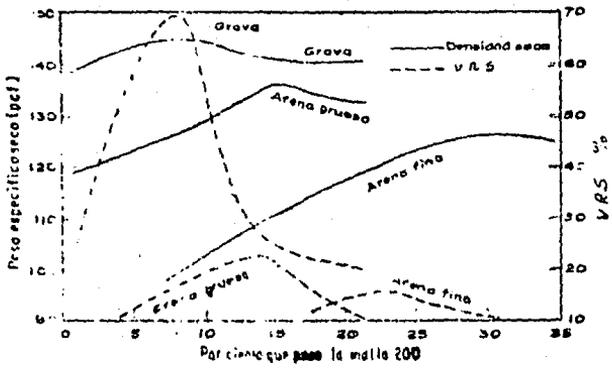


Figura 1 (7).

En la figura I(7) además de observar la variación de la resistencia en función del porcentaje de finos, se observa que también ésta es mayor en un material más grueso que en otro.

La cantidad de materiales finos en las mezclas que se preparan para bases de pavimento pueden ser muy variables, en la práctica cualquier porcentaje inicial que se acepte puede ser modificado con el tiempo; por la ascensión de las partículas pequeñas desde las capas inferiores del pavimento, y por la disgregación y rotura de partículas por la acción abrasiva del tránsito.

BASES ESTABILIZADAS CON CAL

Los componentes fundamentales de la cal son las rocas calizas, calsitas o dolmíticas, la caliza es derivada de las rocas calcáreas; cuyo contenido es de aproximadamente un 90 a 95 por ciento de carbonato de calcio, y las calsitas o dolmíticas; se obtienen de las rocas dolmíticas con un contenido aproximadamente de 35 por ciento de carbonato de magnesio promedio del mineral, y el sobrante de carbonato de calcio.

Cuando se utiliza roca calcita, ésta se somete a un calentamiento aproximadamente de 900 grados centígrados para lograr una descomposición en óxido de calcio y bióxido de carbono en una sola fase de calentamiento. Cuando se emplea roca dolmítica se efectúan dos fases de calentamiento; la primera se realiza a una temperatura aproximadamente de 730 grados centígrados obteniéndose con ello, óxido de magnesio, bióxido de carbono y carbonato de calcio; y la segunda se realiza a una temperatura de 900 grados centígrados aproximadamente, para descomponer el carbonato de calcio, los dos tipos de cal así obtenidos sirven para efectuar la estabilización de suelos, sin embargo, se con-

sidera mejor la cal obtenida a partir de la roca caliza.

El efecto de la cal al realizar la mezcla con el suelo, es la constitución de silicatos de calcio que se forman por la acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementantes.

Las estabilizaciones con cal se hacen en suelos que no reúnen los requisitos de resistencia y plasticidad para sub-bases y bases de pavimentación según especificaciones.

Las arcillas ilitas, caoliníticas y montmoriloníticas, son muy susceptibles a la cal ya que reduce su plasticidad en gran escala, el empleo de pequeñas cantidades de cal que varían generalmente entre el 2 y el 6 por ciento en peso de suelo seco, logra neutralizar la acción físico-química de las arcillas.

El cambio es muy notable en los límites líquido y plástico, y de su porcentaje natural se ha obtenido reducciones bastante importantes en las arcillas ilitas y montmoriloníticas, caso contrario para las arcillas caoliníticas donde el índice plástico tiende a elevarse por el incremento del límite líquido y límite plástico.

En algunos suelos tratados con cal se ha observado que con el tiempo han recuperado parcial o totalmente su plasticidad, por ello se recomienda realizar ensayos hasta un año después de haber realizado la estabilización.

Especificaciones para materiales estabilizados con cal para usarlos en bases de pavimentación.

- a) Límite líquido 30 % máximo.
- b) Contracción lineal 4.5 % máximo.
- c) Valor cementante de 2.5 kg/cm² mínimo para materiales angulosos, y de 3.5 Kg/cm² mínimo para materiales redondeados y lisos.

- d) Valor relativo de soporte 80 por ciento mínimo en carreteras con intensidad de tránsito en ambos sentidos hasta de 1000 vehículos pesados al día, y de 100 por ciento mínimo para intensidad de tránsito en ambos sentidos de más de 1000 vehículos pesados al día.
- e) Los materiales una vez estabilizados deberán compactarse en la carretera o aeronista a 95 por ciento mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.

RESISTENCIA

La resistencia a la compresión simple de las mezclas de suelo y cal tiende a aumentar con incrementos de cal hasta un cierto valor, posteriormente por encima de este valor la resistencia no varía aún cuando haya aumentado en la proporción de cal, excepto en los materiales más arcillosos en los que la resistencia puede seguir aumentando para contenidos mayores de 10 por ciento de cal. En la figura I(8) se muestra la variación de la resistencia a la compresión simple de varios suelos con el contenido de cal.

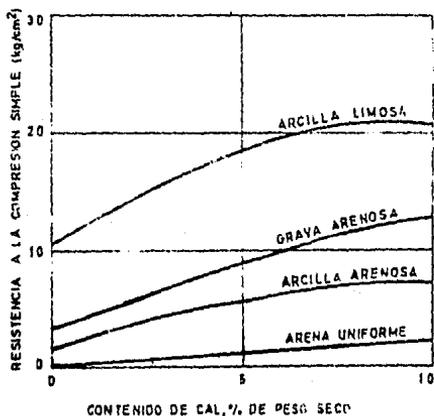


Figura I(8) Efecto del contenido de cal en la resistencia a la compresión simple de varios tipos de suelos estabilizados durante siete días con cal.

En la figura I(9) se muestra como influye en la resistencia a la compresión simple la edad en una mezcla de suelo y cal para diferentes tipos de materiales.

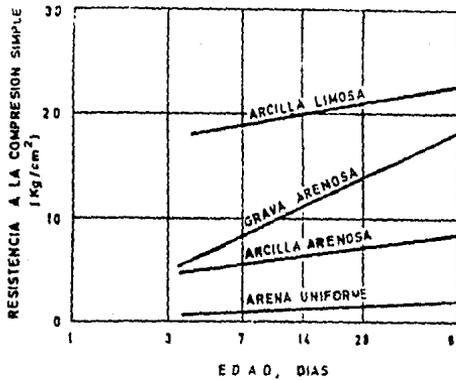


Figura I(9) Efecto de la edad de una mezcla de 5 % de cal, en peso, con diversos tipos de suelos.

PROPORCIONAMIENTO

La cantidad de agua que se emplee esta en función de los procedimientos de compactación, pero si se utiliza cal viva se puede requerir cantidades adicionales de agua en suelos con menos de 50 por ciento del contenido natural de agua.

Un criterio para el proporcionamiento de mezcla de suelo y cal es poner 1 por ciento de cal por cada 10 por ciento de la fracción fina que contenga éste.

Otra manera de hacer el proporcionamiento es realizar en las muestras de suelo y cal las pruebas de valor relativo de soporte, valor cementante y límites de Atterberg.

El porcentaje utilizado de cal varia de 1 por ciento en 1 por ciento hasta el 6 por ciento de peso del suelo seco.

Al finalizar las pruebas se realizarán las gráficas de Valor relativo de soporte-tiempo, Valor cementante-tiempo y Contracción lineal-tiempo, en los tres casos los tiempos se trazarán en una escala logarítmica sobre el eje de las abscisas. Las cantidades escogidas de cal no deberán ser menores del mínimo que se requiera para que el suelo estabilizado reuna las normas de calidad, según especificaciones.

Y por último se podrán considerar como porcentajes aproximados los de la tabla I(A)

TABLA I(A).

TIPOS DE SUELOS	PORCENTAJES DE CAL
Gravas arcillosas bien graduadas	3
Arcilla arenosa.	5
Arcilla limosa.	2 - 4
Arcilla plástica.	3 - 8
Arcilla muy plástica.	3 - 8

Porcentajes recomendados de cal para estabilizar diversos tipos de suelos.

ESTABILIZACION CON CEMENTO

Los componentes del cemento son gran cantidad de calcio obtenido de la caliza magra o creta, con partes de sílice y aluminio extraído de las arcillas, pizarra y escoria. Se adiciona una pequeña cantidad de yeso para control de la hidratación, al reaccionar el agua con el cemento. Los elementos señalados anteriormente, se mezclan y se muelen, la mezcla se calcina a una temperatura de 1450 grados centígrados sobre hornos rotatorios para producir finalmente el Clinker. Este último contenido dá como resultado de la reacción, silicato bicálcico y tricálcico, aluminato tricálcico, tetracálcico y finalmente el ferrito, el comportamiento del producto en seco es estable; en presencia de agua comienza una hidratación en las partículas disueltas, que al estar en reposo, se cristalizan para proseguir con el fraguado en un tiempo determinado y dar lugar al endurecimiento de la mezcla, el fraguado puede retardarse o acelerarse, con algún regulador de fraguado, también se tiene que el clima juega un papel importante en el fraguado, ya que en un clima caluroso el fraguado es rápido exigiendo un incremento grande en la cantidad de agua, y en clima frío baja el desarrollo del fraguado por la lenta hidratación producida al reaccionar con el agua.

Previamente diremos, que se pueden realizar dos tipos de estabilizaciones con cemento; las del tipo flexible y las del tipo rígido, en las primeras la función del cemento, es la de neutralizar la arcilla por acciones físico-químicas, y en la segunda el cemento proporciona al suelo una elevada resistencia que le permite, una vez compactado, trabajar en forma semejante al pavimento de concreto hidráulico. El porcentaje de cemento usado, es función de la finura y plasticidad del suelo, y aproximadamente varía entre el seis y el catorce por ciento del ve-

so del suelo seco. En general, casi todos los suelos pueden ser tratados con cemento portland, mencionaremos a continuación algunos de ellos, así como también los requisitos que deberán de cumplir para su estabilización flexible o rígida respectivamente.

- a) Suelos de arena y grava se pueden tratar con contenidos de cemento, si contienen 55 por ciento o más de material que pasa la malla número 4 y 100 por ciento pasa la malla de 3 pulgadas, con menos de 10 por ciento de finos.
- b) Materiales bien graduados hasta con un 65 por ciento de material retenido en la malla número 4, y con suficientes finos para endurecimiento apropiado con el cemento.
- c) Suelos arenosos y con grava que contengan de 10 a 35 por ciento de limos y arcillas, presentan una mayor necesidad de estabilización y requieren de una menor cantidad de cemento.
- d) Suelos limosos y arcillosos, pueden presentar buenas características como material estabilizado, solo que mientras más arcilla tenga el suelo, será más difícil su vulverización y requiere de una mayor cantidad de cemento.

La práctica que se ha obtenido al estabilizar suelos con cemento ha arrojado una serie de resultados satisfactorios para incrementar la resistencia a la compresión simple. Las pruebas a la compresión simple, se realizan a diferentes edades y diferentes contenidos de cemento, de los resultados de las pruebas se selecciona el porcentaje conveniente de cemento para efectuar la estabilización.

Las mezclas que se hicieron en Gran Bretaña con 3.5 y 4 por ciento de cemento con un suelo con bajo contenido de finos y re

lación de vacíos mínima, se obtuvo una resistencia a la compresión simple aceptable; en otros casos cuando el porcentaje de finos es mayor al 30 por ciento, se ha tenido que agregar hasta un 8 por ciento de cemento para lograr el mismo resultado en la resistencia.

En la figura I(10) se muestra la variación de la resistencia a la compresión simple en un suelo - cemento en función de la edad y del porcentaje de cemento. Los datos son los obtenidos en el estudio emprendido por el Centro de Ensayos de Rouen sobre tramos experimentales con mezclas de gravas con arcilla y pequeñas cantidades de limos.

Las resistencias a la compresión simple, medidas en el laboratorio fueron las siguientes:

EDAD	DOSIFICACION DE CEMENTO		
	2%	4%	6%
1 día	25.0 Kg/cm ²	44.0 Kg/cm ²	56.0 Kg/cm ²
7 días	43.0 Kg/cm ²	82.0 Kg/cm ²	110.0 Kg/cm ²
14 días	49.0 Kg/cm ²	107.0 Kg/cm ²	141.0 Kg/cm ²

Los datos de esta tabla se encuentran graficados en la figura I(10) y corresponden a la variación de la resistencia a la compresión simple en mezclas de gravas con arcillas y limos en función de la edad y del porcentaje de cemento, estas resistencias se obtuvieron en tramos experimentales en el Centro de Ensayos de Rouen.

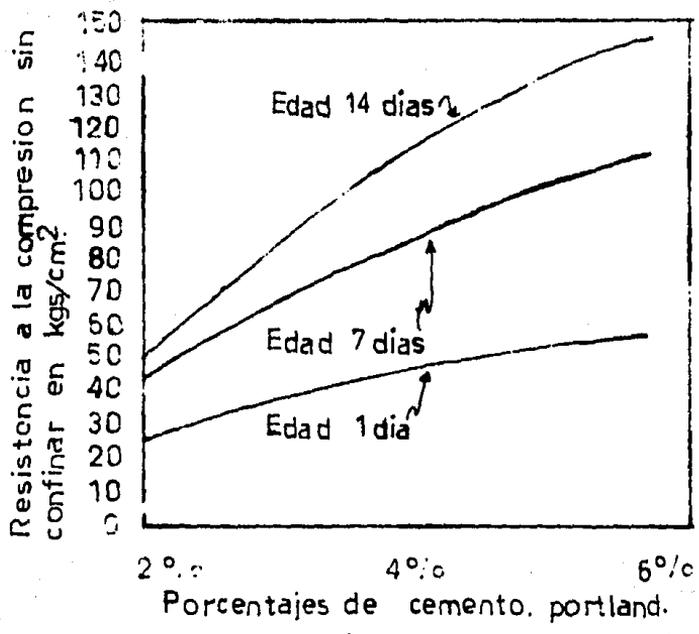


Figura 1(10) Variación de la resistencia a la compresión simple en un suelo-cemento en función de la edad y del porcentaje de cemento.

Especificaciones para estabilizaciones del tipo flexible.

En las estabilizaciones de materiales para bases del tipo flexible, que son aquellas en las que se mezcla el material pétreo con pequeñas cantidades de cemento portland o de cemento portland mezclado con puzolanas, cuyo objeto es disminuir la plasticidad del material por estabilizar.

- a) El material por estabilizar no deberá contener más del 3 % de materia orgánica.
- b) Los materiales estabilizados con cemento portland que se usan en la construcción de bases, deben cumplir con las Normas de materiales para bases naturales.
- c) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en la carretera o aeropista a 95 % de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.

Estabilización del tipo rígido.

Para la estabilización del tipo rígido de suelos con cemento que se pretendan emplear en la construcción de bases para caminos, la SCT. indica que el porcentaje de cemento a emplear sea aquél con el cual se obtenga una resistencia a la compresión simple de 52 Kgs/cm² en especímenes elaborados según los lineamientos de la prueba de Porter, los especímenes antes de ser probados deberán permanecer con todo y molde en una cámara húmeda para efectuar su curado durante un período de siete días.

Para la elaboración de los especímenes se tomará una muestra representativa del material, utilizando las cantidades siguientes de cemento 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5% y 5% que se expresan como porcentaje en peso de suelo seco.

Para el curado de los cilindros cuando no se dispone de una

camara húmeda se pueden envolver en arena húmeda.

Historia del asfalto.

En general, llamamos asfalto a determinadas sustancias de color obscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleos por destilación o extracción y cuyas propiedades físicas y químicas los hacen aptos para multitud de aplicaciones de diverso tipo.

Los arqueólogos han determinado que el asfalto se usó como material aglutinante y como impermeabilizador por las civilizaciones que vivieron a las riberas del río Eufrates alrededor del año 3800 A.C. a partir de este momento tan remoto, las referencias de su empleo se repiten a través de todas las civilizaciones hasta nuestros días.

Origen del asfalto.

Los conocimientos modernos favorecen definitivamente al origen orgánico. Algunos investigadores han atribuido el gran número de compuestos diferentes que se encuentran en el petróleo y en el asfalto a la degradación anaeróbica del material orgánico, tanto animal como vegetal localizado bajo los grandes estratos del subsuelo.

Clasificación del asfalto.

Los asfaltos según el uso que se les da en la pavimentación se pueden dividir en:

a) Cementos asfálticos

- b) Rebajados asfálticos
c) Emulsiones asfálticas

a) Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos, son los asfáltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de los aceites.

Se usan como filler para la pavimentación en bloque, para cerrar grietas, como ligante para concreto asfáltico, y para sellos en caliente.

Los cementos asfálticos deberán satisfacer las características de la tabla I(B).

TABLA I (B).

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g, 54, 25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (tapa abierta de Cleveland), °C mínimo	230	212	202	200
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	80	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ² , 5 h, 163°C: Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1.3	0.8	0.8

Características para cementos asfálticos.

b) Rebajados Asfálticos

Para reducir la viscosidad del asfalto, antes de su aplicación, hay tres maneras de hacerlo.

- Por calentamiento.
- Por disolución de asfalto en un solvente.
- Emulsionando el asfalto en una solución acuosa o dispersión.

En algunas ocasiones es inconveniente el uso del asfalto caliente. En estos casos, se hace una aplicación fría usando un asfalto rebajado o una emulsión. La teoría del uso de estos materiales es sencilla.

Después de aplicar la solución de asfalto al pétreo, o en su riego, el solvente se evapora, la película de asfalto que queda, sirve como aglutinante o como capa de protección contra la erosión.

El solvente se lleva en el asfalto líquido para hacer un producto fluido y facilitar su aplicación y manipulación en la construcción de carreteras. La fluidéz de un asfalto rebajado es función de la cantidad de solvente contenido en el producto.

Mientras mas solvente exista, mas fluido será el material, la rapidez de fraguado dependerá de la volatilización de los solventes.

Desde el punto de vista de su utilización tiene el asfalto líquido un valor fundamental porque se puede tender uniformemente, sin necesidad de calentamiento, para cuando la temperatura ambiente es alta.

Los rebajados asfálticos deben de cumplir con las siguientes características:

- 1a El asfalto deberá tener la naturaleza y consistencia adecuadas.
- 2a La nafta o aceite deberán tener, el punto de ebullición, de encendido y características químicas requeridas.

Los rebajados asfálticos se clasifican en tres grupos:

1ro. De fraguado rápido o FR

2do. De fraguado medio o FM

3ro. De fraguado lento o FL

De acuerdo a la viscosidad, se especifican en cada tipo. Empezando con la solución más fluida se van asignando números crecientes, así por ejemplo tenemos FR-0 hasta FR-5, FM-0 hasta FM-5 y FL-0 hasta FL-5.

En las tablas I(C), I(D) y I(E) se dan las características de los rebajados asfálticos.

TABLA I(C)

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (tapa abierta de Tag), °C mínimo.....			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C, mínimo.....	15	10			
Hasta 225°C, mínimo.....	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo.....	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo.....	90	88	67	83	80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	24	30	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Dureza en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Asfaltos rebajados de fraguado rápido.

TABLA I (D)

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo..	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C, máximo.....	25	20	10	8	0
Hasta 260°C.....	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C.....	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	120-300	126-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Asfaltos rebajados de fraguado medio

TABLA I (E)

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Destilado total a 360°C, por ciento en volumen.....	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx.
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, mínimo.....	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25 °C, segundos.....	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Asfaltos rebajados de fraguado lento

Los rebajados de Fraguado Rápido.

Se usan cuando es necesario que el solvente desaparezca rápidamente, dejando una película de asfalto sobre la superficie sólida. Para la construcción generalmente se hacen con asfaltos de 85 a 120 de penetración.

Los rebajados de Fraguado Medio.

Se preparan comunmente con asfalto ligeramente más blandos y con un solvente menos volátil.

Los rebajados de Fraguado Lento.

Los rebajados de fraguado lento se pueden obtener de la dispersión del asfalto en un aceite de encendido elevado de baja volatilidad.

Es claro que la viscosidad de cada rebajado depende fundamentalmente de la cantidad y clase de solvente usado, pero debe entenderse que las características del asfalto también tienen influencia importante en las propiedades de la dispersión o solución.

c) Emulsiones asfálticas.

Se llama emulsión asfáltica a la suspensión de cemento asfáltico en agua complementada con un emulgente para darle estabilidad al conjunto, el agua recibe el nombre de fase continua y el cemento el de fase dispersa.

En las emulsiones asfálticas, las dos fases en presencia son agua y asfalto. Si se agitan asfalto fundido y agua caliente, se obtiene una emulsión inestable que solo dura lo que la agitación. Tan pronto como cesa ésta, las partículas de asfalto se unen unas a otras, formando una masa continua separada del agua.

gua. Para lograr emulsiones estables es necesario introducir en el sistema un tercer componente, el emulgente, que se concentra en la capa interfacial de ambos componentes, modificando las propiedades del conjunto y haciendo estable la emulsión. Los emulgentes empleados en la fabricación de emulsiones son electrólitos, materiales coloidales y sólidos reducidos a polvo muy fino.

Las emulsiones se clasifican en emulsiones aniónicas y catiónicas, en las primeras las partículas de asfalto están cargadas negativamente, por lo que presentan afinidad por las superficies cargadas positivamente. Los emulgentes empleados normalmente en la fabricación de emulsiones aniónicas de asfalto son oleatos o resinatos de sosa o de potasa u otros jabones de tipo similar, en las emulsiones catiónicas las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que presentan afinidad por los cuerpos cargados negativamente. Los emulgentes empleados generalmente es también un electrólito, se trata a menudo de una sal cuaternaria de amonio o de una sal de amina que resulta de la reacción de un ácido mineral (clorhídrico, nítrico, fórmico, acético, etc.).

Las emulsiones comenzaron a usarse en la construcción de caminos a raíz de que en tiempos de lluvias no era posible el uso de cementos asfálticos o de rebajados asfálticos, y había que encontrar un producto que nos pudiera dar las características de los asfaltos, pero que a su vez, pudiera usarse en condiciones de humedad, así surgen pues las emulsiones asfálticas.

Las emulsiones aniónicas se clasifican en distintos tipos, según su estabilidad, es decir, su resistencia a la rotura, que se determina en general por la cantidad de asfalto que coagula al mezclar la emulsión con una solución de cloruro cálcico. Se

emplean normalmente en la construcción de carreteras tres tipos de rotura lenta, media y rápida. Se designan estos tres tipos por letras RL, RM y RR respectivamente. En la tabla I(F) se dan las características para las emulsiones aniónicas.

TABLA I(F)

CARACTERÍSTICA	G R A D O				
	RUMPIENTO RÁPIDO		RUMPIENTO MEDIO	RUMPIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Viscosidad Saybolt-Furoi a 25°C, segundos.....	20 100	75 400	100 Min.	20 100	20 100
Viscosidad Saybolt-Furoi a 50°C, segundos.....	57	62	62	57	57
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	3	3	3	3	3
Asestamiento: 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....					
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ , por ciento, mínimo.....	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl ₂ , por ciento, máximo.....			30		
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0 10	0 10	0 10	0 10	0 10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....				2 0	2 0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados.....	100 200	100 200	100 200	100 200	40 80
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo.....	40	40	40	40	40

NOTA: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentarse más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados Celsius (20° C) a diez grados Celsius (10° C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados Celsius (20° C) a treinta grados Celsius (30° C).

Características para emulsiones aniónicas

En las emulsiones catiónicas la rapidéz de rotura no es susceptible de controlar, pues la rotura se produce siempre al contacto con los áridos. Esto presenta el inconveniente de que es imposible emplear emulsiones catiónicas de asfalto puro para la elaboración de mezclas, pues al producirse la rotura en los primeros momentos de mezclado, quedando el asfalto en presencia de los restantes elementos de la mezcla, es imposible continuar el proceso, logrando una buena repartición del ligante en toda la masa de la mezcla.

Como, por otra parte, las excelentes propiedades de las emulsiones catiónicas hacían muy deseable su empleo en la elaboración de mezclas, se llegó a la solución, de fabricar emul-

siones catiónicas, no de cemento asfáltico, sino de rebajado. - De este modo, una vez rota la emulsión, el producto resultante es suficientemente fluido para hacer posibles las operaciones de mezclado.

Estas emulsiones pueden fabricarse con rebajados de los tipos normales, pero generalmente se emplean rebajados especiales de viscosidades muy elevadas. Los empleados normalmente sólo contienen un 10 por ciento de disolvente de tipo keroseno o gas-oil, las emulsiones catiónicas al igual que las aniónicas se clasifican en: emulsiones de rompimiento lento (RL), emulsiones de rompimiento medio (RM) y emulsiones de rompimiento rápido (RR). En la tabla I(G) se dan las características para las emulsiones catiónicas.

TABLA I(G)

CARACTERÍSTICAS	C O L O R					
	Emulsión rápida		Emulsión medio		Emulsión lento	
	RL-2K	RR-2K	RM-2K	EM-2K	RL-2K	RR-2K
PRUEBAS AL MATERIAL EMPLEADO						
Viscosidad Saybolt-Forest 25°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Forest 30°C, segundos						
Resistencia a la destilación, por ciento en peso, máximo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo	5	5	5	5	5	5
Retención de la nata Norm. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Culminación del agua por ciento, máximo de tratamiento						
Pruebas de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de rotamiento, máximo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de rotamiento, máximo			60	60		
Módulo de elasticidad Portland, por ciento, máximo					2	2
Segunda prueba de elasticidad	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	0.7	0.7
Humedad						
Resistencia al vapor, por ciento, máximo	3		20	12		
PRUEBAS AL RESULTADO DE LA EMULSIÓN						
Viscosidad 25°C, 100 g. 5 segundos, grados	100-250	10-250	10-250	100-250	10-250	10-250
Viscosidad en el momento de mezclado, por ciento, máximo	97	97	97	97	97	97
Resistencia 25°C, en grammas	40	40	40	40	40	40

Características para emulsiones catiónicas

Normas que deben de cumplir los materiales pétreos, para la construcción de bases asfálticas (bases negras).

De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el Capítulo CIX de la Parte Novena.

- a) La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona I y el superior de la zona 2, preferentemente dentro de la zona I - de la figura I(11).

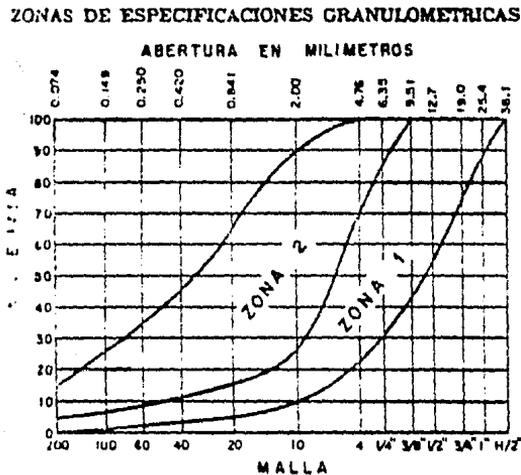


Figura I(11). Zonas de especificaciones granulométricas para bases negras.

- La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan la zona I y la zona 2, - por lo menos en dos terceras partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.
- El tamaño máximo de las partículas de material no deberá ser mayor a una y media pulgada ni de (2/3) del espesor -

compacto de la capa de base o de nivelación.

- b) De contracción lineal, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo CIX de la Parte Novena ...
..... 3 % máximo.
- c) De afinidad con el asfalto, la afinidad del material pétreo con el asfáltico deberá cumplir, en cada caso, con los valores que se fijan en la tabla I(H), determinados con los métodos de prueba descritos en el capítulo CX de la Parte Novena.

TABLA I(H)

PRUEBA	Desprendimiento por fricción % (1)	Cubrimiento con asfalto Método tagle (2)	Desprendimiento de la película % (3)	Pérdida de estabilidad por inmersión en agua % (4)	REQUISITOS DE ACEPTACION
Base de pavimento flexible, no estabilizada o estabilizada con materiales no asfálticos.	25 Máv.	90 Min.	25 Máv.		Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Base de pavimento flexible, estabilizada con materiales asfálticos.	25 Máv.	90 Min.	25 Máv.	25 Máv.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas y bases asfálticas (mezcla en el lugar y plantas estacionarias).	25 Máv.	90 Min.		25 Máv.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.	25 Máv.	90 Min.			Que cumpla con las dos (2) pruebas marcadas.

Afinidad de material pétreo con producto asfáltico.

- d) Desgaste de los Angeles, determinado de acuerdo con los métodos de prueba descritos en el capítulo CX de la Parte Novena 45 % máximo.

La mezcla cuando se elabore con asfaltos rebajados o con emulsiones, proyectadas de acuerdo con el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros sin confinar, descrito en el capítulo CXII de la Parte Novena, deberán cumplir para dicho ob-

jeto, con los requisitos fijados en la tabla I(I).

TABLA I (I)

CARACTERÍSTICAS		PARA CARRI TERRESTRE — TERRAZOS DE LADRILLO Y CEMENTO PORTLAND DE TRÁFICO COMÚN (A)			PARA AEROPISTAS — Pav. de las pistas de aterrizaje		OBSERVACIONES
		Más de 300	De 300 a 1 000	Más de 1 000	Hasta 30 toneladas	Más de 30 toneladas	
Humedad mínima en %/cm ³		2.5	4.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas	3.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas.	Valores Tentativos
Por ciento de vacíos, máximos (%)	Con material de gradación gruesa o fina	7	7		En general no debe usarse este tipo de mezclas		
	Con material de gradación intermedia	4	4		4		

(A) Se recomienda como mínimo probar los cementos en todos sus tipos y los asfaltos.
 (B) Los porcentajes de vacíos de la mezcla y del material primario, respecto al volumen del tipo base, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el Capítulo 5 del Volumen 12.

Especificaciones para mezclas asfálticas elaboradas con emulsiones o rebajados, proyectadas según el método de compresión sin confinar.

Además estas mezclas deberán cumplir también con los requisitos que se describen a continuación:

- Tolerancia del contenido de cemento asfáltico con respecto al porcentaje de proyecto en peso..... $\pm 10\%$.
- Contenido de agua libre permitido con respecto al peso de la mezcla (solo para el caso de asfaltos rebajados),.....1 % máximo.
- La relación de solventes a cemento asfáltico, en peso (valor k), para asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas con solventes, estará comprendida entre cinco y ocho centésimas.

Deberán compactarse al 95 por ciento de su peso volumétrico máximo, salvo que el proyecto fije otro grado de compactación. La compactación será determinada mediante uno de los métodos de prueba citados en el capítulo CXII de la Parte Novena.

ESTABILIZACION CON PRODUCTO ASPALTICO

En general podemos clasificar a los suelos por su comportamiento mecánico en, suelos cohesivos, que son los que resisten la tracción y el esfuerzo cortante, y los suelos no cohesivos;— que son incapaces de resistir los citados esfuerzos.

El producto asfáltico (rebajado asfáltico, cemento asfáltico o emulsión asfáltica), actúa de manera diferente, según se trate de un terreno cohesivo o no cohesivo, a continuación explicaremos cada uno de estos casos.

En los terrenos cohesivos, el ligante asfáltico envuelve — los elementos de menor tamaño rodeados por su agua absorbida, o envuelve los elementos mayores y ocupa los conductos capilares, oponiéndose con su viscosidad, superior a la del agua, a cualquier modificación de la película de agua absorbida y a los movimientos de la humedad en los espacios intersticiales. Además el cemento combina su acción con la acción mecánica de los elementos arcillosos, que deben aprovecharse al máximo con el fin de evitar un consumo demasiado elevado de cemento.

En los terrenos no cohesivos, como los muy arenosos, mediante el asfalto se obtiene una cohesión permanente que se debe — fundamentalmente a la consistencia propia del asfalto y su adherencia a las partículas minerales.

Este tipo de estabilización se obtiene mezclando a la masa—

del terreno un ligante asfáltico adecuado, que puede ser cemento asfáltico, un rebajado o una emulsión de rotura lenta.

Criterios para poder determinar cuando se pueden emplear - productos asfálticos en la estabilización.

Como norma general, y sin entrar en muchos detalles, podemos decir que en los materiales puramente arcillosos la estabilización con ligantes asfálticos puede resultar antieconómica, mientras que siempre suele resultar ventajosa la estabilización con cemento o cal. En cambio en los materiales puramente arenosos, ocurre exactamente lo contrario: la estabilización con cemento resulta antieconómica, mientras que la estabilización con ligantes asfálticos resulta muy conveniente.

Naturalmente en la realidad no sólo nos encontramos con materiales puramente arenosos ni puramente arcillosos, sino con tipos intermedios caracterizados en su posición entre ambos extremos por su índole de plasticidad y por su contenido de finos. Proseguiremos con algunas consideraciones para determinar el tipo de ligante, tomando como base los conceptos anteriores.

- Cuando el índice de plasticidad es mayor que ocho, no es aconsejable una estabilización mediante un producto asfáltico.
- Cuando el índice de plasticidad es menor de seis, se obtendrá un buen resultado al estabilizar con producto asfáltico.
- Cuando el índice de plasticidad es menor de cuatro, se obtendrán excelentes resultados al estabilizar con algún producto asfáltico.
- Cuando el material cribado através de la malla número 200 es menor del 15 por ciento, puede procederse a la estabi-

lización con ligantes asfálticos con absoluta seguridad.

Elección del tipo de ligante.

El tipo de ligante a emplear en la estabilización del suelo depende fundamentalmente de las características de éste. Para suelos muy arenosos, con índice de plasticidad igual o menor que cinco, que prácticamente carecen de plasticidad y a los que el ligante asfáltico empleado debe darles toda la cohesión necesaria, deben emplearse para la estabilidad rebajados de fraguado rápido ó emulsiones asfálticas. De este modo, al producirse rápidamente el fraguado del ligante, se obtiene también rápidamente la cohesión necesaria para proceder a las operaciones de compactación y, en su momento abrir el camino al tránsito.

Aunque hemos indicado que ésto puede conseguirse gracias al fraguado rápido de los materiales, no puede entenderse en modo alguno que la emulsión a emplear debe ser de rotura rápida. La emulsión ha de ser de rotura lenta, ya que al proceder a la mezcla con elementos muy finos, sólo este tipo tarda en romper lo suficiente para el mezclado conveniente de los materiales.

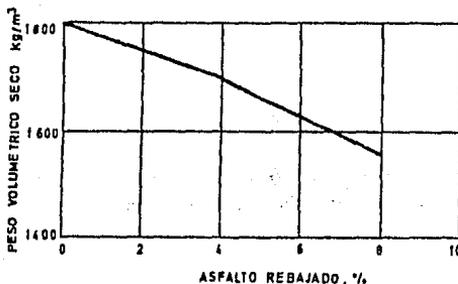
Si el suelo a estabilizar tiene un índice de plasticidad comprendido entre seis y diez, quiere decir que posee por sí sólo cohesión suficiente para permitir en principio las operaciones de extendido y compactación. Por consiguiente, no es en general necesario un fraguado tan rápido del ligante y por ello pueden emplearse rebajados de fraguado medio, que permiten obtener mezclas más homogéneas con este tipo de suelos. También se puede emplear con la mayor parte de los terrenos de esta clase emulsiones asfálticas.

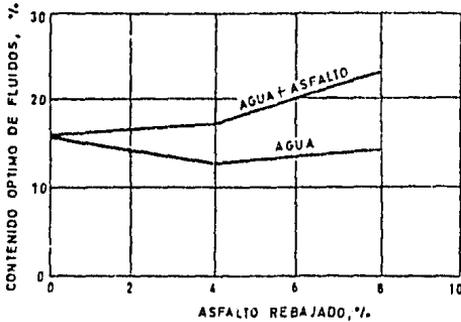
Para terrenos de índices de plasticidad superiores a diez - cuya cohesión es, en general, suficiente durante toda su vida -

para cumplir su misión en un pavimento y en los que el fin de la estabilización se reduce fundamentalmente a una impermeabilización que mantenga el contenido de humedad del suelo en valores próximos al óptimo, pueden emplearse rebajados de fraguado lento, aunque, como antes hemos visto, es preferible recurrir a la estabilización con cemento.

También son factores importantes a tener en cuenta en la determinación del tipo de ligante a emplear, las condiciones atmosféricas previsibles durante la realización de la obra (humedad, temperatura etc.) y el tipo de maquinaria a emplear.

La variación del peso volumétrico seco de las mezclas con el porcentaje de asfalto que se utilice se muestra en las figuras I(12)a y I(12)b, las gráficas se refieren a estabilizaciones con asfalto rebajado. En la figura I(12)a, se nota en términos generales que el asfalto hace disminuir el PVSM que puede obtenerse; sin embargo la disminución puede no ser tan importante, puesto que la estabilización produce un mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo. En la figura I(12)b, se observa que la adición del asfalto y los líquidos que tiene adicionales, disminuyen la necesidad de agua para el proceso de compactación.

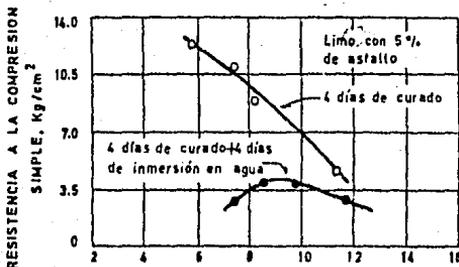




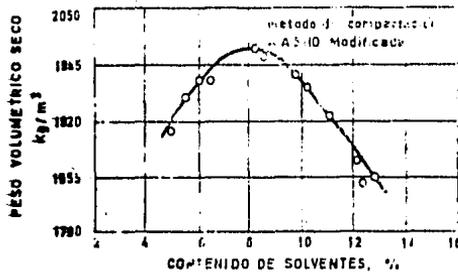
b

Figura I(12) Variación del peso volumétrico seco y del contenido óptimo de agua en especímenes estabilizados con asfaltos rebajados.

Los asfaltos rebajados llevan consigo una proporción de solventes volátiles lo cual tiene importancia en el comportamiento obtenido de la mezcla, cuando pasan de cierta proporción la resistencia y el peso volumétrico disminuyen. Se debe tener en cuenta que en emulsiones o rebajados asfálticos, el agua y los solventes se añaden a la parte líquida, pueden aumentar en forma inconveniente la humedad de la mezcla y dificultar la compactación figura I(I3)a y I(I3)b.



a



b

Figura (13) Efecto en el peso volumétrico seco y en la resistencia a la compresión simple, del contenido de solventes en especímenes estabilizados con asfalto.

Resistencia en suelos finos. El aumento en el contenido de asfalto no influye en la resistencia a la compresión simple, figura I(14), se ve que la resistencia de un limo arcilloso, medida inmediatamente después de curada la mezcla, permanece casi constante, para diferentes contenidos de asfalto.

Resistencia en suelos friccionantes. La resistencia aumenta con el contenido de asfalto y posteriormente comienza a disminuir con un cierto contenido de asfalto. No es conveniente que el contenido de asfalto aumente más allá de un cierto valor, - los solventes adicionados a los asfaltos rebajados o el agua de las emulsiones, hacen crecer demasiado la parte líquida de la mezcla, lo cual vuelve a las mezclas demasiado plásticas y poco resistentes. El período de curado de las mezclas tiene importancia en sus resistencias. Mientras mayor sea el período y mayor

temperatura es mayor la pérdida de solventes, la resistencia se incrementa a medida que se volatilizan los solventes.

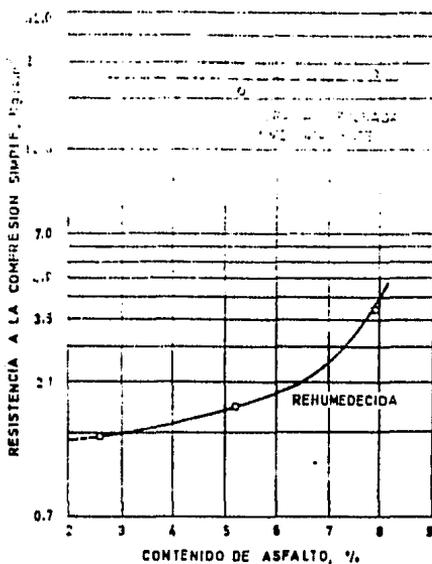


Figura 1 (14) Efecto del contenido de asfalto en la resistencia a la compresión simple de especímenes de limo arcilloso, estabilizados con emulsión.

La estabilidad de las mezclas asfálticas ante el agua es una característica preponderante, que se busca al estabilizar con asfalto a suelos finos cohesivos. Se pone de manifiesto, que cuando el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad de la mezcla ante el agua también aumenta, hasta que los solventes adicionales al asfalto rebajado aumentan en exceso la parte líquida de la mezcla y la vuelven excesivamente plástica y poco

resistente; es notorio que esto representa un límite el cual no conviene rebasar, pues lo que se gana en estabilidad se pierde en resistencia.

b) Tipos de carpetas: por riegos, mezclas en el lugar y concreto asfáltico.

La carpeta asfáltica es la parte superior de la estructura del pavimento flexible, tiene como funciones principales prolongar la vida útil de la carretera, facilitar el rodamiento y distribuir las cargas generadas por los vehículos hacia las capas inferiores.

Características de las mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas, en general, deberán cumplir con los requisitos siguientes:

Valor mínimo de estabilidad, dependiendo del tipo de prueba que se utilice en el diseño y control durante la construcción.

Valor máximo de flujo, determinado con los métodos descritos en el capítulo CXII de Muestreo y Pruebas de Materiales de las Especificaciones de la SCT. de 4 milímetros.

Las carpetas asfálticas construidas por el sistema de riegos, mezclas en el lugar y de concreto asfáltico deberán tener un valor máximo de permeabilidad de 10 por ciento.

CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS.

Se llaman carpetas por riegos o tratamientos superficiales a las carpetas de los caminos realizadas por extendido sucesivo de un ligante y gravilla; normalmente el ligante puede ser un rebajado asfáltico o una emulsión, por este sistema se pueden

construir carpetas de uno a cuatro riegos. Las especificaciones que deben cumplir los materiales se dan más adelante en este mismo capítulo.

Carpetas de un riego, constan de una aplicación de material asfáltico y de una aplicación de material pétreo número tres para producir una superficie para resistir el desgaste, el espesor será el del tamaño del material pétreo usado.

Para este tipo de carpetas, la cantidad de material pétreo recomendado es de 10 litros por metro cuadrado, aunque en la práctica ha dado mejor resultado utilizar 12 litros por metro cuadrado.

Cuando el asfalto empleado para fijar el material pétreo a la base, es el FR-3 (que tiene un mínimo de 73 por ciento de cemento asfáltico) sobre bases impermeabilizadas, con el riego de impregnación y arena fina, debe usarse en la proporción de un litro por metro cuadrado o menos, con tal de que no quede "rayado".

Las carpetas de un riego se destruyen muy rápidamente con la acción del tránsito, siendo el efecto de destrucción mayor cuando transitan vehículos pesados en porcentaje mayor que el de vehículos ligeros.

Para prolongar la vida, es necesario un mantenimiento efectivo dando los sobre riegos oportunamente. Habiendo dos opciones para ello, obtener una superficie impermeable u obtener una superficie rugosa, con las características siguientes.

Si el riego se efectúa con material 3E (3/8" a malla No. 4) éste presentará una superficie más rugosa, pero en temporada de lluvia guarda la humedad en los huecos que quedan entre el material de 3/8" y el No. 4 lo que debilita su adherencia a la base.

Si el riego se realiza con material 3A se tiene la ventaja-

de llenar los huecos con el material intermedio de la malla número 4 a la número 8 proporcionando con ello una superficie más impermeable, pero menos rugosa.

Carpetas de dos riegos, estas carpetas como su nombre lo indica constan de dos riegos de material pétreo con sus correspondientes riegos de material asfáltico, la secuela de construcción se describe a continuación:

- 1.- Barrer la base impregnada
- 2.- Dar el riego de material asfáltico del tipo y cantidad predeterminadas.
- 3.- Se cubre al riego de material asfáltico con una capa de material número dos en la cantidad fijada.
- 4.- Se rastrea y plancha el material pétreo.
- 5.- Se aplica sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico de tipo y cantidad fijados previamente.
- 6.- Se cubre el segundo riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3-B
- 7.- Se rastrea y plancha el material pétreo 3-B
- 8.- Se recolecta y remueve el material pétreo 3-B excedente que no se haya adherido al material asfáltico de segundo riego desperdiciándolo en lugar conveniente.

Para la construcción de carpetas de tres y cuatro riegos se sigue la secuela anterior utilizando los materiales indicados en la tabla I(J).

TABLA I (J)

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREC	No. 0	1	2	3A	3B	3E
TAMAÑO	38.1mm a	25.4mm a	12.7mm a	9.5mm	6.3mm	9.5mm
Tipo de carpeta	25.4mm	12.7mm	6.3mm	a No.8	a No.8	a No.40
4 riegos	X	X	X		X	
3 riegos		X	X		X	
2 riegos			X		X	
1 riego				X		
1 riego						X

Granulometría para carpetas de riegos.

Para las cantidades por aplicar de cada capa, tanto de producto asfáltico como de material pétreo, en términos generales - deben estar comprendidos dentro de los límites que se indican en la tabla I(K).

- 1.- Las cantidades anotadas en la tabla I(K), para los cementos asfálticos corresponden al contenido de éstos en el producto asfáltico que se emplea.
- 2.- Para calcular la cantidad de material asfáltico por emplear, deberá dividirse el valor anotado entre el volumen contenido de cemento asfáltico, en el tipo de material asfáltico seleccionado.

TABLA I(K)

MATERIALES	4 RIEGOS	3 RIEGOS	2 RIEGOS	1 RIEGO
Cemento Asf. Mat. Pétreo	0.6 - 1.1 35 - 40			
Cemento Asf. Mat. Pétreo	1.2 - 1.1 20 - 25	0.6 - 1.1 20 - 25		
Cemento Asf. Mat. Pétreo	1.0 - 1.4 8 - 12	1.0 - 1.4 8 - 12	0.6 - 1.1 8 - 12	
Cemento Asf. Mat. Pétreo	0.7 - 1.0 6 - 8	0.7 - 1.0 6 - 8	0.8 - 1.1 6 - 8	
Cemento Asf. Mat. Pétreo				0.9 - 1.1 10
Cemento Asf. Mat. Pétreo				1.0 - 1.2 8 - 12
Cemento Asf. Mat. Pétreo				1.0 - 1.2 8 - 12
Cemento Asf. Mat. Pétreo				0.9 - 1.1 10

NOTA: El material asfáltico y pétreo debe considerarse en -
litros por metro cuadrado.

Especificaciones para materiales pétreos, según las Normas -
Generales de Construcción.

Granulometría de acuerdo a lo estipulado en la tabla I(L).

TABLA I (L)

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	50.8 mm (2")	38.1 mm (1 1/2")	32.0 mm (1 3/4")	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.7 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	4.75 mm (Núm. 4)	2.38 mm (Núm. 8)	0.425 mm (Núm. 40)
1			100	95 Min.			5 Máx.		0		
2					100	95 Min.			5 Máx.		0
3-A						100	95 Min.			5 Máx.	0
3-B							100	95 Min.		5 Máx.	0
3-E						100	95 Min.		5 Máx.		0

- a) De desgaste los Angeles, para cualquier tipo de material pétreo 30% máximo.
- b) De intemperismo acelerado 12% máximo.
- c) De forma de las partículas para partículas alargadas y/o en forma de laja 35% máximo.
- d) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla I(H), descrita en páginas anteriores.

CARPETAS ASFALTICAS ELABORADAS POR EL SISTEMA DE MEZCLA EN EL LUGAR.

Se llaman mezclas en el lugar porque se hacen in situ, en donde se van a usar, con materiales pétreos frios, utilizando como ligantes emulsiones asfálticas o rebajados asfálticos de fraguado rápido o medio, éstos últimos a una temperatura del orden de 80 grados centígrados.

Para su elaboración, en general las mezclas en frio pueden ponerse en obra con terminadora mecánica, con motoconformadora o a mano. El extendido con motoconformadora presenta, a veces, segregación en los áridos, pero puede aplicarse en la mayor parte de los casos. Las superficies mejores son las que se obtienen con terminadora, viniendo a continuación en orden de cali-

dad descendente las obtenidas con motoconformadora o a mano.

En estos tipos de mezclas hay que tomar las precauciones necesarias para eliminar los solventes de los rebajados o el agua de las emulsiones.

Para la construcción de este tipo de carpetas lo más común es la utilización de una petrolizadora para proporcionar el ligante, una motoconformadora para hacer la mezcla de material pétreo y material ligante y extenderla sobre la superficie del camino al ancho especificado y una compactadora metálica de tresruedas con peso de 10 a 12 toneladas auxiliada con un rodillo neumático de 7 o 13 ruedas.

Normas de materiales pétreos.

- a) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en el capítulo CX de la Parte Novena.

La curva granulométrica del material pétreo, deberá de cumplir con lo que indique el proyecto de cada caso, en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona I y el límite superior de la zona 2 de la figura I(II), mencionada anteriormente. La zona I, corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2, a los materiales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del material pétreo, deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras partes de su longitud sin presentar cambios bruscos-dependiente.

- b) Contracción lineal;
- Zona I 3% máximo.
 - Zona 2 2% máximo.
- c) Desgaste de los Angeles 40% máximo.

- d) Forma de las partículas alarandadas y/o en forma de laja -
 35% maximo
- e) Equivalente de arena 55 minimo

Generalmente la cantidad de cemento asfáltico requerida es de 90 a 115 litros por metro cubico de material pétreo, este porcentaje puede variar en el rango mencionado dependiendo del tipo de material de que se trate (cantos redondeados, producto de trituración, material procedente de mina y otros).

Desde luego, para determinar la granulometria y el contenido óptimo de producto asfáltico, se procede a desarrollar un diseño que generalmente se basa en la prueba de compresión sin confinar.

El procedimiento de construcción recomendado, es transportar el material pétreo al camino y acamellarlo; sacar secciones transversales para poder obtener el volumen requerido de material, calcular la cantidad de asfalto necesario. Esta fase es muy importante porque de ella depende en gran parte la bondad y calidad de la mezcla.

Para la adición de la cantidad necesaria del ligante, se calculará que ésta se deposite en tres o cuatro pasadas completas con la petrolizadora, para cada riego hecho por la petrolizadora se dará un riego de agregado pétreo de tal forma que en las tres o cuatro pasadas de la petrolizadora queden las proporciones completas de agregado y ligante. Inmediatamente al pronorcio namiento de agragados y ligante, se procede a mezclar con la motoconformadora o con revolvedora portátil, auxiliada con motoconformadora.

En estas mezclas hay que tomar las precauciones necesarias para que pueda eliminarse el disolvente necesario de los rebajados o el agua de las emulsiones. Si la granulometria de los áridos es tal que el firme terminado es muy poroso, no es necesario ningún cuidado especial, pero en caso contrario conviene -

remover las mezclas con motoconformadora hasta reducir el contenido de disolvente al 25 por ciento del inicial, una vez que la mezcla alcanza la consistencia requerida, se procede a acamellarlo en una de las alas del camino, se da el riego de liga a razón de 0.3 litros por metro cuadrado.

Dado el riego de liga se extiende en el ancho requerido y se procede a compactarla con la aplanadora de tres ruedas y rodillo neumático; dando primero una cerrada a toda rueda para en seguida proseguir con la compactación a un cuarto de rueda con la aplanadora de tres ruedas y a media con el rodillo neumático hasta que no se aprecien huellas del paso de la aplanadora mecánica.

CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO.

Son las carpetas construidas con material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante, son los de mejor calidad. Las mezclas de concreto asfáltico se elaboran en una planta que calienta el agregado pétreo a 150 ó 160 grados centígrados y el asfalto a una temperatura de 130 a 140 grados centígrados y se dosifican, mezcla y tiende conservando a una temperatura elevada.

El agregado pétreo caliente y seco es separado en la planta en diversos tamaños y se mezcla de acuerdo con un diseño granulométrico específico, incorporándole a continuación el cemento asfáltico en la cantidad fijada por el proyecto.

Las mezclas terminadas se transportan en camiones a la obra y se depositan en la extendidora que efectúa el trabajo en capas uniformes, en el espesor y anchos requeridos. Después de esta etapa, estando la mezcla a una temperatura superior a 90 grados centígrados se compacta hasta obtener la densidad especi

ficada. No debe iniciarse la compactación a temperaturas inferiores a 90 grados centígrados; si se quiere que la compactación sea efectiva.

DISEÑO DE MEZCLAS ASPÁLTICAS EN CALIENTE ELABORADAS EN PLANTA - ESTACIONARIA.

Para que una carpeta asfáltica sea estable, duradera, impermeable y antiderramante, el diseño debe tomar en cuenta los siguientes factores:

Granulometría, dureza, adherencia del asfalto con el material pétreo, forma de la partícula, características del producto asfáltico, contenido de cemento en la mezcla.

GRANULOMETRIA.

La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en terminos generales deberá de quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la figura I(15).

En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla.

Muchas son las granulometrías de materiales pétreos recomendadas para mezclas asfálticas elaboradas por el sistema de mezcla en planta estacionaria; siendo la más usual la siguiente, empleándose cantidades de cemento asfáltico que varían entre un 5.5 y un 6.0 por ciento en peso del material pétreo suelta.

	3/4	pasa	90 - 100%
	1/2	"	70 - 85%
Número	4	"	40 - 52%
"	8	"	30 - 40%
"	30	"	22 - 30%
"	100	"	11 - 10%
"	200	"	4 - 8%

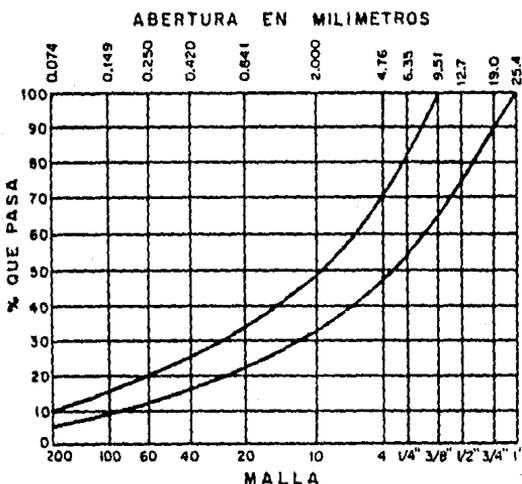


Figura 1(15) Especificaciones granulométricas para carpetas de concreto asfáltico.

Generalmente ya no se emplean en carpetas asfálticas en caliente las granulometrías abiertas. Las dosificaciones que han dado mejores resultados son las de granulometría densa y mediana. Normalmente sin variar las demás características, las mezclas con mayor cantidad de tamaños máximos de agregados pétreos tienen mayor estabilidad. Además es conveniente por razones económicas que la mezcla contenga partículas del tamaño máximo posible, no mayor que dos tercios del espesor de la carpeta.

CONTENIDO DE ASFALTO EN LA MEZCLA.

El contenido óptimo de asfalto para la elaboración de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas y prácticamente que no se llenen los vacíos con asfalto, ya que éstos es conveniente llenarlos con materiales finos. Sin embargo, la mezcla debe contener un porcentaje mínimo de vacíos para evitar exudaciones de asfalto, que pueden provocar el que se formen surcos u ondulaciones.

ciones.

También la mezcla debe tener un determinado valor máximo de porcentaje de vacíos ya que si esto es elevado, puede conducir al endurecimiento del asfalto por la acción de los agentes atmosféricos, tornando la carpeta quebradisa.

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO.

El uso de cemento asfáltico muy duro puede dar lugar a una carpeta quebradiza y como consecuencia una desintegración y exceso de agrietamiento. En México, el cemento asfáltico más comúnmente usado es el número 6, que tiene una penetración comprendida entre 180 y 200 grados. En la tabla I(B) se consignan las especificaciones de calidad de cementos asfálticos.

METODO DE DISEÑO.

Para el diseño de mezclas asfálticas en caliente elaboradas en planta estacionaria es necesario hacer pruebas de estabilidad, utilizando al efecto cualquiera de los métodos que se mencionan a continuación:

- 1.- Método de Marshall
- 2.- Método de Hubbard - Field
- 3.- Método de Hveem
- 4.- Método Triaxial de Smith.

METODO DE MARSHALL.

Por ser éste el método que utiliza la SCT y el más utilizado en México por las constructoras particulares, para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, es sobre el cual hablaremos a continuación.

El método de Marshall esta limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta en caliente y utilizando cemento asfáltico. El método será tratado a continuación.

Se preparan muestras de agregado pétreo y cemento asfáltico la cantidad de cemento asfáltico que debe agregarse a cada muestra, se calculará sobre la base del contenido mínimo de asfalto que se determina según las especificaciones. Estas cantidades de cemento asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico, expresado en relación al peso de material pétreo:

Contenido calculado	-	1%
"	"	neto.
"	"	+ 0.5%
"	"	+ 1.0%
"	"	+ 1.5%
"	"	+ 2.0%

Se suelen preparar tres probetas con cada contenido de asfalto, de modo que si han de ensayarse seis contenidos de asfaltos diferentes, habrá que preparar 18 especímenes, para cada uno de los cuales se tomara unos 1200 gramos de agregado pétreo, lo que arroja un total de 22 kilogramos de material pétreo. Harán falta también, aproximadamente, 4 kilogramos de asfalto.

Para preparar los tres especímenes con una determinada proporción de ligante se calientan fracciones representativas de los agregados a 175 grados centígrados; y el cemento necesario a 120 grados centígrados; se pesan los agregados en las proporciones deseadas, se añade el cemento que se mezcla a continuación con los agregados, obteniéndose así la mezcla, cuya temperatura no debe de ser menor a 110 grados centígrados. Se toman 1200 gramos de la mezcla así preparada en el interior de un molde normalizado cuyo diámetro interior es de 4 pulgadas y altura de 3 pulgadas, aproximadamente, y se compactan con 75 gol-

pes de un martillo de 10 libras con una altura de caída de 18 -
 pulgadas. Se da la vuelta al molde y se aplican otros 75 golpes
 al molde por el otro lado, después de lo cual se sumerge el mol-
 de en agua fría durante 2 minutos como mínimo y se saca el espe-
 cimen del molde, se le pone una señal de identificación y se de-
 ja sobre una superficie lisa y horizontal hasta que se enfrie -
 (12 a 24 horas) a temperatura ambiente.

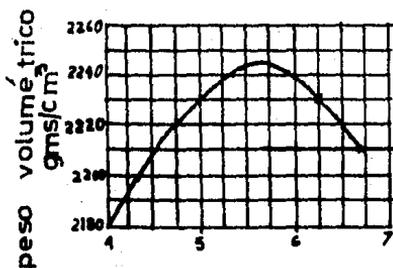
El espécimen compactado debe tener una altura $2 \frac{1}{2} \pm \frac{1}{8}$ -
 pulgadas. Si no es así, debe corregirse la cantidad de mezcla -
 que se pone en el molde.

A continuación se somete cada espécimen a los ensayos si-
 guientes:

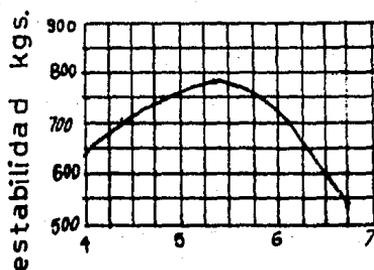
- a) Determinación del peso volumétrico.- Este valor se obtie-
 ne como cociente del peso por el volumen de cada especí-
 men. Normalmente, el volumen se determina por diferencia
 entre el peso del espécimen en el aire y sumergido en --
 agua, Si la superficie del espécimen es porosa, se recu-
 bre la parafina para evitar la absorción de agua, intro-
 duciendo las correcciones necesarias para tener en cuen-
 ta el peso de la parafina.
- b) Con la prueba de Marshall se determinan los valores de -
 estabilidad y flujo en especímenes cilíndricos compacta-
 dos axialmente por un sistema determinado y probado a 50
 grados centígrados. El valor de estabilidad se determina
 midiendo la carga necesaria para producir la falla del -
 espécimen aplicada en sentido normal a su eje. La defor-
 mación vertical producida en el espécimen, por dicha car-
 ga, es el valor del flujo. El valor de estabilidad expre-
 sa la resistencia estructural de la mezcla compactada y-
 esta afectada principalmente por el contenido de asfalto

El valor del flujo representa la deformación observada en el sentido del diámetro del espécimen para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten.

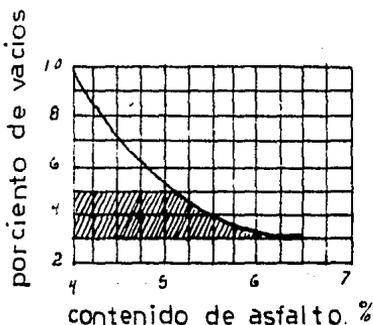
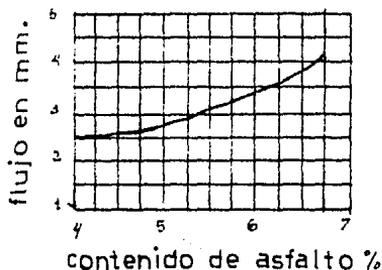
- c) Porcentaje de vacíos.- A continuación se determina para cada espécimen, empleando como datos los pesos específicos de agregado y asfalto y el peso específico aparente del espécimen, el porcentaje de vacíos de los agregados llenos de asfalto. Se toma como valor para cada una de las magnitudes estudiadas el promedio de los valores obtenidos para todos los especímenes con el mismo contenido de asfalto, prescindiendo de valores evidentemente erróneos, y se presentan las curvas siguientes: Peso volumétrico - Contenido de asfalto, Estabilidad - Contenido de asfalto, flujo - Contenido de asfalto y porcentaje de vacíos - Contenido de asfalto.



contenido de asfalto. %



contenido de asfalto. %



En estas curvas puede observarse que la estabilidad crece con el contenido de asfalto hasta alcanzar un máximo para luego disminuir después; que el flujo aumenta con el contenido de asfalto, que el porcentaje de vacíos disminuye al aumentar el contenido de asfalto, mientras que el porcentaje de huecos llenos de asfalto crece y que el peso volumétrico de la mezcla tiene un máximo similar al de la curva de estabilidad.

Con las curvas se determinan los contenidos de asfalto que corresponden a las siguientes propiedades:

Máxima estabilidad.

Máximo peso volumétrico.

Porcentaje de vacíos de 3 % a 5 %.

Flujo de 3 milímetros.

Se toma como contenido óptimo de asfalto la media aritmética de los cuatro valores obtenidos.

La base para carpetas de concreto asfáltico debe ser una --

base rigidizada.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

- 1.- Exploración y elección de bancos.
- 2.- Obtención del contenido óptimo de asfalto.
- 3.- Ataque de bancos.
- 4.- Tratamientos previos.
- 5.- Mezclado.
- 6.- Acarreo al tramo.
 - .- Extendido con la máquina extendedora.
 - .- Compactación.

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL PETREO.

- Contracción lineal 2% máximo.
- Desgaste de los Angeles 40% máximo.
- De forma de las partículas alargadas y/o en forma de laja ..
 35% máximo.
- Afinidad con asfalto según tabla I(R).

c) Diferencias entre bases negras y carpetas asfálticas.

En este inciso mencionaremos las diferencias más sobresalientes entre las bases y carpetas asfálticas. Las diferencias principales son las funciones específicas de cada una de estas capas, las discrepancias existentes entre los valores de sus parámetros contemplados en las especificaciones respectivas y las pruebas que se realizan para obtener el proporcionamiento de asfalto.

Las funciones de las carpetas asfálticas son las de prolongar la vida útil de la carretera, facilitar el rodamiento y distribuir las cargas generadas por los vehículos hacia las capas inferiores, las bases negras además de su función estructural -

tienen otras de carácter drenante y económico.

Las discrepancias más marcadas son las de granulometría y - desgaste de los Angeles; en general la granulometría que es usa da para la construcción de bases negras presenta un tamaño máxi mo de 2 pulgadas, mientras que el tamaño máximo para construc- ción de carpetas asfálticas es de 3/4 pulgadas.

Desgaste de los Angeles las Especificaciones permiten des- gastes mayores en materiales pétreos para bases negras que en - los de carpetas asfálticas, por ejemplo el desgaste permitido - ~~para~~ material pétreo que se emplee en la construcción de carpa- tas de riegos es de 30% máximo, en carpetas de mezclas en el - lugar y de concreto asfáltico es de 40% máximo y para bases ne- gras es de 45% máximo.

Pruebas para obtener el proporcionamiento de asfalto.

1.- Carpetas construidas por el sistema de riegos; el pro- porcionamiento de asfalto y material pétreo se hará se- gún se indica en la tabla I(K) de este capítulo. Estas- proporciones son las recomendadas en la obra " Proyecto y Construcción de Pavimentos Flexibles". Editada por el Instituto Politécnico Nacional, la cantidad adecuada de asfalto también se puede obtener por medio de tramos de prueba en campo.

2.- Carpetas de mezclas en el lugar.

Para este tipo de carpetas el contenido adecuado de as- falto se obtiene empleando el método de compresión sin- confinar.

3.- Carpetas de concreto asfáltico.

Para obtener el óptimo de asfalto se emplea cualquiera- de los métodos mencionados anteriormente.

4.- Bases negras.

En las bases negras el óptimo de asfalto se determina - realizando pruebas de absorción, expansión, estabilidad, valor relativo de soporte y valor cementante según el - tipo de suelo de que se trate. Las primeras tres pruebas se hacen en materiales plásticos que pasan la malla número 4 en especímenes con contenidos de asfalto que van - del 3% al 11% con incrementos de 1% y de aproximadamente 1000 gramos de peso; y las dos últimas pruebas se ejecutan para suelos granulares bien graduados con exceso de plasticidad en especímenes con contenidos de asfalto que van del 3% al 7% con incrementos de 1%.

- 5.- Las bases negras llevarán la cantidad de producto asfáltico necesario para obtener una resistencia aceptable, - pero en general, ésta será menor que la empleada para - carpetas asfálticas.

CAPITULO II

OBJETIVOS Y PROGRAMACION DE LA INVESTIGACION

El objetivo de realizar la investigación es llegar a efectuar una comparación de resistencia, peso volumétrico y contenidos de asfalto adecuados, en mezclas asfálticas utilizadas para construir bases y carpetas asfálticas, empleando para ambos casos el método de compresión sin confinar descrito en la Parte - Primera, tomo IX de las Especificaciones Generales de Construcción de la SCT, y que nosotros trataremos en el capítulo IV de este estudio.

La finalidad del método de compresión sin confinar aplicado en mezclas de materiales pétreos y asfálticos, es la de obtener una curva como la mostrada en la figura II(I).

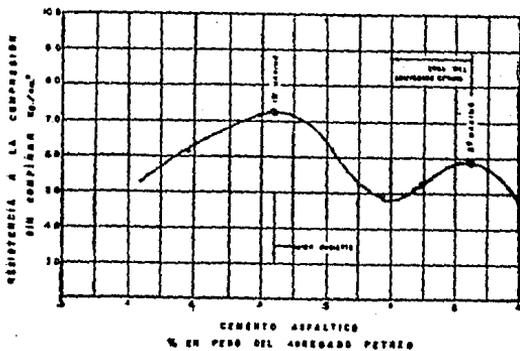


Figura II (I) Curva característica de los materiales ensayados a la compresión sin confinar.

En la que en el eje de las abscisas se grafica el contenido de producto asfáltico en por ciento y en el eje de las ordenadas se grafica la resistencia a la compresión sin confinar en kilogramos sobre centímetro cuadrado, con esta gráfica se determina el contenido óptimo de producto asfáltico y la resistencia requerida.

Para carpetas asfálticas el contenido óptimo de asfalto se localiza en la rama ascendente del segundo máximo y para bases negras en la rama descendente del primer máximo.

Los estudios tanto para carpetas asfálticas como para bases negras; ambos realizados por el método de compresión sin confinar, se efectuarán con tres tipos diferentes de materiales como son:

- a) Materiales basálticos triturados
- b) Materiales de mina
- c) Materiales de cantos redondeados.

Los materiales redondeados se acarrearán de la planta de triturados basálticos, localizada en el Km. 18.5 de la carretera Federal México-Puebla de Los Reyes La Paz Edo. de México; los materiales de mina y de cantos redondeados se transportarán de las minas y depósitos que se localizan en San Vicente Chicoloapan - Edo. de México.

El ligante a emplearse en las pruebas requeridas con material pétreo, será rebajado asfáltico que también se traerá de la planta de triturados basálticos de los Reyes La Paz.

Las pruebas que vamos a realizar para el producto asfáltico y los materiales petreos se indican a continuación:

Pruebas realizadas en el producto asfáltico.

- 1.- Punto de inflamación
- 2.- Viscosidad Saybolt - Furol
- 3.- Peso específico del producto.

- 4.- Destilación
- 5.- Peso específico del solvente
- 6.- Penetración
- 7.- Ductilidad
- 8.- Solubilidad en tetracloruro de carbono
- 9.- Peso específico del residuo

Las pruebas que realizaremos a materiales pétreos son las siguientes:

- 1.- Granulometría
- 2.- Peso volumétrico
- 3.- Determinación de la humedad
- 4.- Absorción
- 5.- Densidad
- 6.- Límites de Atterberg
- 7.- Desgaste de los Angeles
- 8.- Afinidad con asfalto
- 9.- Forma de la partícula

El tiempo estimado para realizar todas las pruebas de calidad descritas anteriormente es de dos semanas, excluyendo la granulometría. La granulometría consideramos va a ser un poco tardada debido a que:

- a) Se necesitan cantidades más o menos grandes de materiales que pasan la malla número 4, siendo éstos los más tardados para tamizar,
- b) Es necesario el disgregado previo al cribado del material de cantos redondeados,
- c) La cantidad total de material es considerable.

Se elaborará un juego de 18 especímenes para cada tipo de material, por lo tanto, para bases negras tendremos 54 especímenes de aproximadamente 4000 gramos de agregado pétreo, y para carpetas otros 54 especímenes de 1500 gramos de agregado pétreo-aproximadamente.

Se realizará una gráfica para cada juego de especímenes, es decir, se dibujaran 6 gráficas que se supone deben tener una forma parecida a la mostrada en la figura II(I) de éste capítulo.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES USADOS

En los cuadros y tablas del capítulo indicaremos las características más importantes de los diferentes tipos de materiales pétreos y del producto asfáltico, que serán utilizados en la elaboración de especímenes con tamaños máximos de agregado pétreo de una y media pulgada y de tres cuartos de pulgada para bases negras y carpetas asfálticas respectivamente, aplicando el método de compresión sin confinar.

Los valores de la tabla III(A) corresponden a la composición granulométrica para los materiales de bases negras, se grafican en la figura III(I); los valores de las demás características se señalan en la tabla III(B).

TABLA III (A)

COMPOSICION GRANULOMETRICA	MAJLA	RETENIDO
	EN 50.0	
	EN 37.5	
	% QUE PASA	
	50.0	
	37.5	100.0
	25.0	78.0
	19.0	70.0
	9.5	52.0
	4.75	41.0
	2.00	29.0
	0.85	21.0
	0.425	17.0
	0.250	12.0
	0.150	10.0
	0.075	7.50

Granulometría para bases asfálticas.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

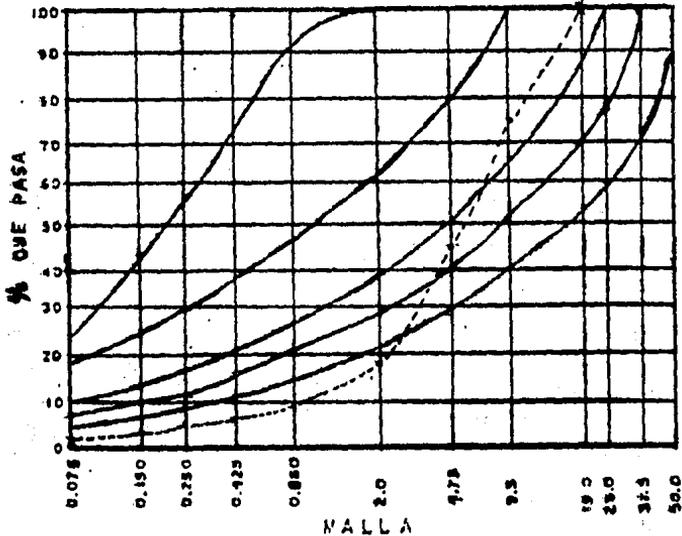


Figura III(I) Curva granulométrica para las bases asfálticas.

TABLA III (B)

CARACTERÍSTICAS	MATERIAL - REDONDEADO	MATERIAL - TRITURADO	MATERIAL DE MINA
Peso volumétrico	1465 kg/m ³	1600 kg/m ³	1435 kg/m ³
Humedad	1.74%	0.2%	1.27%
Absorción	1.41%	0.254%	0.736%
Densidad	2.00	2.42	2.28
Contracción lineal	—	—	—
% de partículas lajeadas	—	10	—
% de partículas alargadas	—	10	—
Afinidad con asfalto	baja	buena	regular

Características de materiales pétreos.

En la tabla III(C) se indica la composición granulométrica - para las carpetas asfálticas, éstos se encuentran graficados en la figura III(2); los valores restantes de las demás características se indican en la tabla III(D).

TABLA III(C)

T. MAXIMO	3/4"
DESPERDICIO %	
RELLA	% QUE PASA
Núm. 25.0	
" 19.0	100.0
" 12.5	87.0
" 9.5	75.5
" 6.3	58.5
" 4.75	45.0
" 2.00	18.0
" 0.850	9.5
" 0.425	7.5
" 0.250	5.5
" 0.150	4.0
" 0.075	2.5

Granulometría para carpetas asfálticas.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

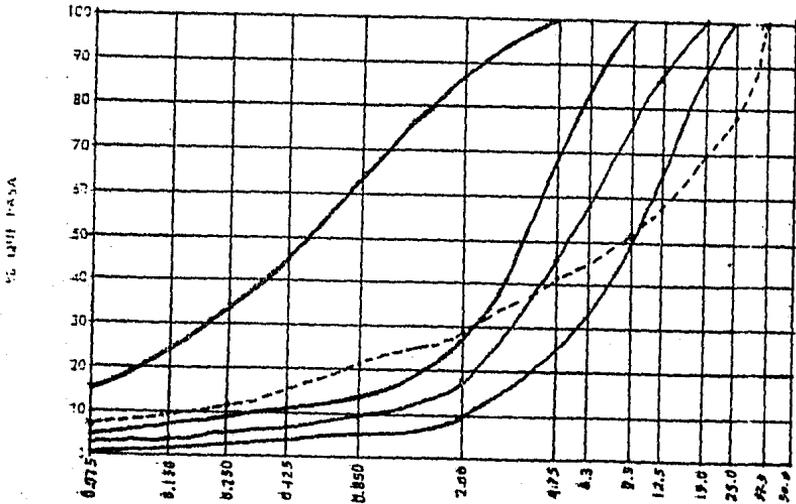


Figura III(2) Curva granulométrica para carpetas asfálticas.

TABLA III (D)

CARACTERISTICAS	MATERIAL REDONDEADO	MATERIAL TRITURADO	MATERIAL DE MINA
Peso volumétrico	1433 kg/m ³	1439 kg/m ³	1319 kg/m ³
Humedad	1.5%	0.2%	1.0%
Absorción	4.08%	2.09%	6.34%
Densidad	2.44	2.64	2.09
Contracción lineal	—	—	—
% partículas lajeadas	—	10%	—
% partículas alargadas	—	10%	—
Afinidad con asfalto	baja	buena	regular

Características de materiales pétreos.

Los resultados de las pruebas de calidad del producto asfáltico se muestran en las tablas III (E) y III (F).

TABLA III (E)

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	VALORES OBTENIDOS EN EL-LABORATORIO	ESPECIFICACIONES
Punto de inflamación (copa abierta de Tag.)	51 °C	27°C mínimo
Viscosidad A 60 °C Saybolt-Furol	903 seg.	250 - 500 segundos.
A 82 °C	246 seg.	
Peso específico del producto 25 °C/25 °C	0.98	
Destilación : Por ciento del total destilada a 360 °C		
A 190 °C	1.48	—
A 225 °C	33.82	25 mínimo
A 260 °C	65.87	55 mínimo
A 315 °C	84.27	83 mínimo
Peso específico del solvente 25 °C/25 °C	0.7686	

Resultados de las pruebas de calidad del producto asfáltico.

TABLA III (F)

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO	VALORES OBTENIDOS EN EL-LABORATORIO	ESPECIFICACIONES
Residuo de la destilación a 360-°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	83.15	73 mínimo
Agua por destilación, por ciento mínimo	0.0	0.2 máximo
Características del residuo de - la destilación		
Penetración a 5°C, 100grs, 5seg.	12	
Penetración a 15°C, 100grs, 5seg.	39	80-120
Penetración a 25°C, 100grs, 5seg.	106	
Penetración a 35°C, 100grs, 5seg.	253	
Destilada a 25°C	76 cm.	100 mínimo
Solubilidad en tetracloruro de - carbono	99.79%	99.5mínimo
Peso específico de residuo 25°C/25°C	1.0294	

Resultados de las pruebas de calidad del producto asfáltico.

El producto ensayado es un rebajado asfáltico de grado tres- (FR-3), según lo señalado en la Parte Octava, Libro Primero de - las Normas Generales de Construcción de la SCT.

CAPITULO IV

EJECUCION DE LAS PRUEBAS

Antes de tratar el método de compresión sin confinar que se aplicará en materiales de mina, de cantos redondeados y triturados basálticos, indicaremos la procedencia de cada uno de estos materiales; el material de mina se tomó de los almacenamientos pertenecientes al laboratorio de pavimentos de la ENEP-Aragón, - éste procede de las minas de San Vicente Chicoloapan en el Estado de México, los materiales de cantos redondeados también se localizan en los depósitos de la misma población figura IV(1) y los materiales producto de triturado fueron traídos de los almacenamientos de Los Reyes La Paz Estado de México, figura IV(2).

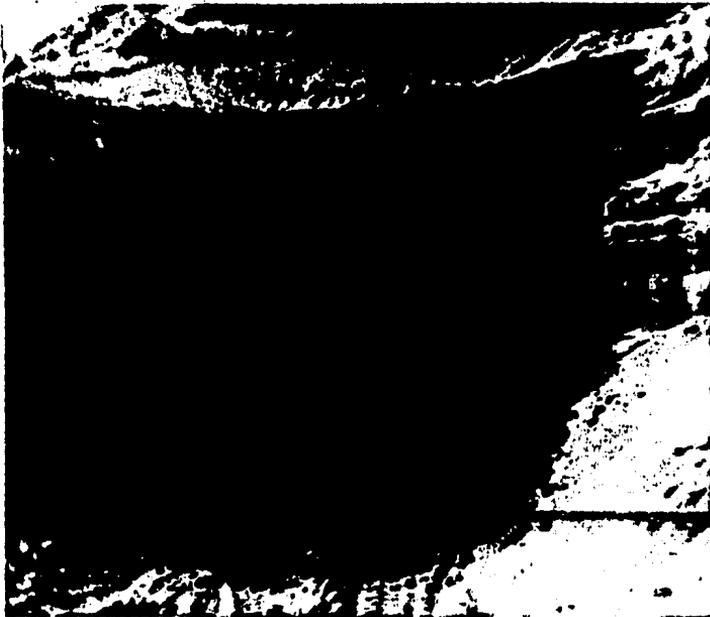


Figura IV(1) Depósito de material redondeado, San Vicente Chicoloapan Estado de México.



Figura IV (2) Almacenamientos de material producto del triturado, para carpetas y bases, localizados en los -
Reyes la Paz Estado de Mexico.



Figura IV(3) Material cribado, granulometría para bases.-

Se transportaron del lugar de procedencia al laboratorio de la ENEP Aragón tres bultos de aproximadamente 80 kilogramos de peso cada uno de material de cantos redondeados y tres de material triturado.

La granulometría para materiales retenidos en la malla número 4 se realizó en forma manual, mientras que la granulometría de los materiales que pasan la malla número 4 se realizó mecánicamente. Los materiales de cantos redondeados, fue necesario secarlos y disgregarlos antes del cribado. En la figura IV(3), se muestran algunos tamaños de materiales cribados, los materiales contenidos en cada una de las charolas fueron cribados en las mallas colocadas sobre las mismas.

Fijada la granulometría de proyecto, se toman 4000 gramos — de la mezcla de agregados pétreos para la elaboración de especímenes para bases y 2000 gramos para la elaboración de especímenes para carpetas. El proporcionamiento de los diferentes tamaños de agregados pétreos para cada uno de los especímenes se hizo de la manera siguiente: se tomó de cada tamaño cribado previamente, la cantidad de muestra que resultó de multiplicar el porcentaje en peso de la fracción por el peso total de la muestra. Los cálculos realizados se muestran en las tablas IV(A) y IV(B) — para carpetas y bases asfálticas respectivamente.

TABLA IV(A)

Malla	% que pasa	% retenido	Cálculo de los pesos de las fracciones para formar la granulometría para carpetas asfálticas.
3/4"	100.0	0.0	0.000 x 2000 = 0.0
1/2"	87.0	13.0	0.130 x 2000 = 260.0
No. 4	45.0	42.0	0.420 x 2000 = 840.0
No. 10	18.0	27.0	0.270 x 2000 = 540.0
No. 40	7.5	10.5	0.105 x 2000 = 210.0
No. 60	5.5	2.0	0.020 x 2000 = 40.0
No. 200	2.5	3.0	0.030 x 2000 = 60.0
Charola		2.5	0.025 x 2000 = 50.0

Cálculo de los pesos de las fracciones para formar la granulometría para carpetas asfálticas.

TABLA IV (B)

Malla	% que pasa	% retenido	Cálculo de los pesos de las fracciones para formar la - granulometría para bases - asfálticas.
1 1/2"	100.0	0.0	$0.000 \times 4000 = 0.0$
1"	78.0	22.0	$0.220 \times 4000 = 880.0$
3/8"	52.0	26.0	$0.260 \times 4000 = 1040.0$
No. 4	41.0	11.0	$0.110 \times 4000 = 440.0$
No. 20	21.0	20.0	$0.200 \times 4000 = 800.0$
No. 50	13.0	8.0	$0.080 \times 4000 = 320.0$
No. 200	7.5	5.5	$0.055 \times 4000 = 220.0$
Charola		7.5	$0.075 \times 4000 = 300.0$

Cálculo de los pesos de las fracciones para formar la - granulometría para bases asfálticas.

Una vez calculado el peso del material de cada una de las -
fracciones se procede a su dosificación figura IV(4).



- Figura IV(4) Dosificación de materiales pétreos.

Dosificamos 54 mezclas de agregado pétreo para bases y 54 -
para carpetas, para elaborar y ensayar los especímenes a la com-
presión sin confinar transportamos las 108 mezclas de agregado al
laboratorio de pavimentos de la SCT. en el centro SCOP.

**DETERMINACION DE LOS CONTENIDOS DE PRODUCTO PARA LA ELABORACION-
DE MEZCLAS PARA BASES Y CARPETAS ASPALTICAS.**

Los contenidos de producto para la elaboración de las mez--

clasas asfálticas, se determinó tomando como parámetros la rugosidad de los agregados pétreos y la cantidad de material que pasa la malla número 200; considerando los parámetros mencionados anteriormente propusimos un porcentaje inicial de producto asfáltico para cada tipo de material, posteriormente calculamos cuatro porcentajes por arriba y un porcentaje por abajo de éste con variaciones de medio en medio por ciento para materiales de carpetas, y con variaciones de uno en uno por ciento para materiales de bases negras. El contenido mínimo de cubrimiento total, apreciamos que se encuentra muy cerca al porcentaje propuesto inicialmente para cada material estudiado.

En el caso de materiales para carpetas propusimos los porcentajes iniciales siguientes: 4.5 por ciento para material triturado, 4.5 por ciento para material de mina y 4.0 por ciento para material de cantos redondeados.

Para bases negras propusimos los porcentajes iniciales siguientes: 4.0 por ciento para material triturado, 5.0 por ciento para material de mina y 4.0 por ciento para material de cantos redondeados.

A continuación indicaremos la secuela de cálculo para control de pérdida de solventes previa a la compactación en la prueba de compresión sin confinar.

Para ejemplificar haremos el cálculo con una mezcla para carpetas asfálticas con un contenido de producto asfáltico de 3.5 por ciento.

Residuo de la destilación por ciento en peso = 83.15

Temperatura de mezclado = 50°C

K = Coeficiente, que multiplicado por Pc, de la cantidad de solventes que deben quedar en la mezcla después del defluxado.

P_s = Cantidad de disolventes en el producto en gramos.

P_c = Cantidad de cemento en el producto en gramos.

$(P_s - X P_c)$ = Disolventes por perder.

P_a = Cantidad de producto en gramos.

P_m = Peso de la muestra con granulometría de proyecto.

Residuo de destilación = 83.15%

$K = 0.06$

$P_m = 1800$ grs.

$P_a = (1800 \text{ grs.}) \times (0.035) = 63 \text{ grs.}$

$P_c = (63 \text{ grs.}) \times (0.8315) = 52.38 \text{ grs.}$

$P_s = (63 \text{ grs.}) - (52.38 \text{ grs.}) = 10.62 \text{ grs.}$

$P_a + P_m = (63 \text{ grs.}) + (1800 \text{ grs.}) = 1863.0 \text{ grs.}$

$P_s - K P_c = (10.62 \text{ grs.}) - 0.06 (52.38 \text{ grs.}) = 7.47 \text{ grs.}$

Peso final de la mezcla = $(P_a + P_m) - (P_s - K P_c) = (1863.0 \text{ grs.}) - (7.47 \text{ grs.}) = 1855.53 \text{ grs.}$

La cantidad de mezcla preparada para cada uno de los contenidos asfálticos, deberá ser suficiente para que ya compactada dentro de los moldes de 10.2 centímetros o de 12.7 centímetros de diámetro, nos de una relación de altura diámetro de 1.25.

EQUIPO UTILIZADO PARA ELABORAR ESPECIMENES PARA ENSAYARLOS A LA COMPRESION SIMPLE.

Un molde metálico de 10.2 centímetros de diámetro interior y 17.7 centímetros de altura previstos de una base metálica removible, y una placa circular para compactar ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro.

Una máquina de compresión con dispositivo para hacer lecturas a cada 10 kilogramos.

Una varilla metálica de 3/4 de pulgada de diámetro por 30. centímetros de longitud, con punta de bala, para el acomodo de

la mezcla asfáltica en el molde.

Una cucharita de albañil.

Charolas de lámina.

Una balanza de 10 kilogramos de capacidad con aproximación -
de un gramo.

Una balanza con aproximación de un centésimo de gramo.

Un horno con temperatura controlable.

Un termómetro con escala de 10 grados centígrados a 150 gra-
dos centígrados.

Una estufa.

Una cavaleta.

Un baño maría.

PROCEDIMIENTO

I.- Calentar en el horno durante dos horas las mezclas de materiales pétreos a una temperatura de 60 grados centígrados Figura IV(5).

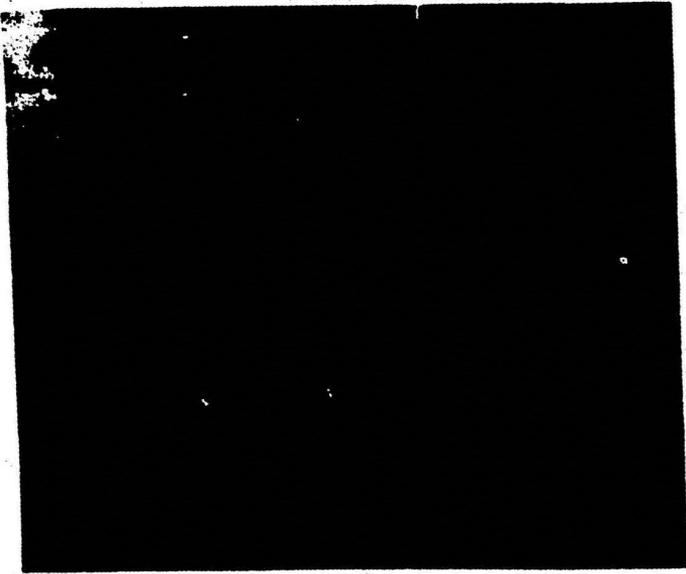


Figura IV(5) Calentamiento de mezclas de agregados pétreos.

2.- Extraer del horno las mezclas de agregados pétreos, checar - los pesos de éstas y adicionar las cantidades de producto asfáltico previamente calculadas figura IV(6).

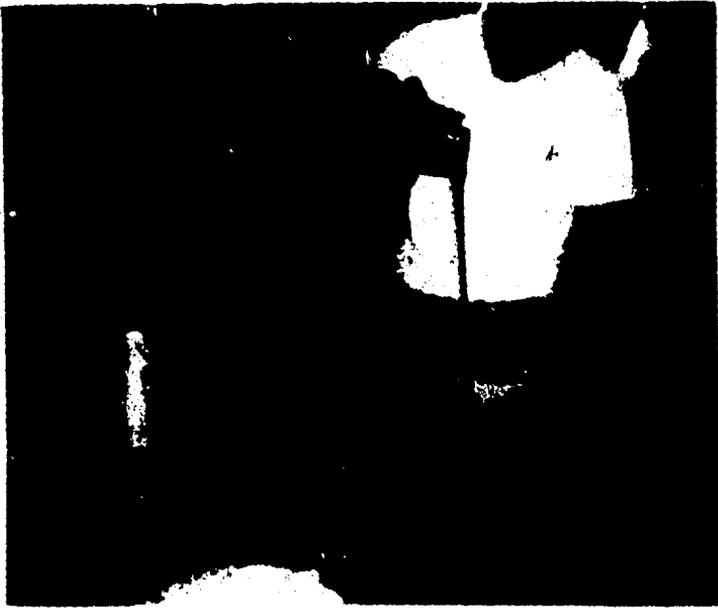


Figura IV(6) Proporcionamiento de producto asfáltico (FR-3).

3.- Realización de las mezclas de agregados pétreos con producto asfáltico figura IV(7), estas mezclas se hacen a una temperatura de 50 grados centígrados, se vacían a los moldes cuando se ha alcanzado en ellas la homogeneidad, consistencia y cantidad de solventes requerida.



Figura IV (7) Realización de mezclas asfálticas.

4.- Vaciar las mezclas en los moldes respectivos figura IV(8).



Figura IV(8) Vaciado de mezclas asfálticas en los moldes metálicos para bases o carpetas.

antes de vaciar las mezclas, colocar un círculo de papel para evitar la adherencia de éstas a la base de los moldes, el vaciado de las mezclas se hace en tres capas de espesores - aproximadamente iguales, cada una de estas capas se acomoda con 25 golpes de la varilla con punta de bala figura IV(9).



Figura IV (9) Acomodo de las mezclas asfálticas dentro de los moldes con la varilla con punta de bala.

Se pone otro círculo de papel sobre la mezcla que ya ha sido acomodada, se colocan las placas de carga y se lleva a la máquina de compactar, con cargas de 8100 kilogramos para los moldes de 10.2 centímetros de diámetro y de 12700 kilogramos para los moldes de 12.7 centímetros de diámetro figura IV(10); la carga se aplica lentamente hasta llegar a la especificada manteniéndose durante dos minutos.

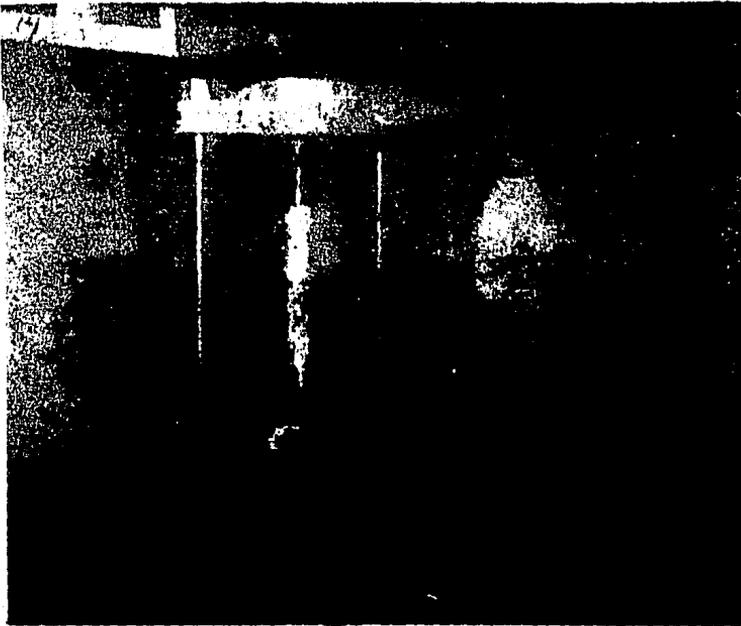


Figura IV(10) Compactación de especímenes.

- 5.- Retirar de la máquina de compactación los moldes que contienen los especímenes, se anota sobre cada molde el tipo de material y el contenido de producto asfáltico con los que éstos fueron elaborados. Posteriormente los especímenes son colocados en un sitio adecuado para que adquieran la temperatura ambiente.
- 6.- Decimbrado de especímenes: en cada una de las orejas de los moldes que contienen a los especímenes, colocamos un molde vacío como se observa en la figura IV(II), finalmente se aplica una carga en la parte superior de los especímenes hasta que éstos salen completamente de los moldes.



Figura IV (11) Decimbrado de especímenes.

7.- Ya decimbrados los especímenes, se impermeabilizan con estiarato de zinc figura IV(12) y se introducen en el baño maria para que adquieran la temperatura de prueba que es de 20 grados centígrados figura IV(13), previa a la introducción de las pastillas en el baño maria se protegen con bolsas de hule.



Figura IV (12) Impermeabilización de especímenes con estiarato de zinc.

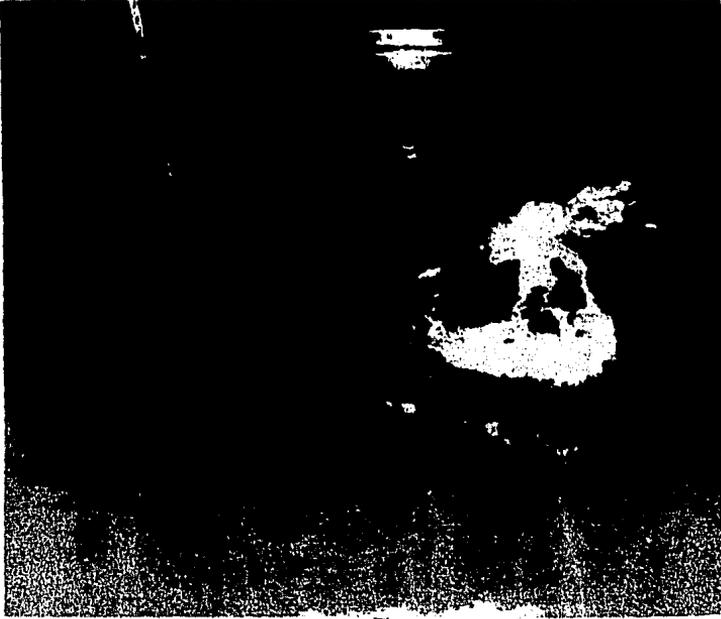


Figura IV (13) Especímenes dentro del baño maria para que adquieran la temperatura de prueba.

8.- Una vez que los especímenes alcanzan la temperatura de prueba, se llevan a la máquina para ensayarlos a la compresión - sin confinar figura IV(14).

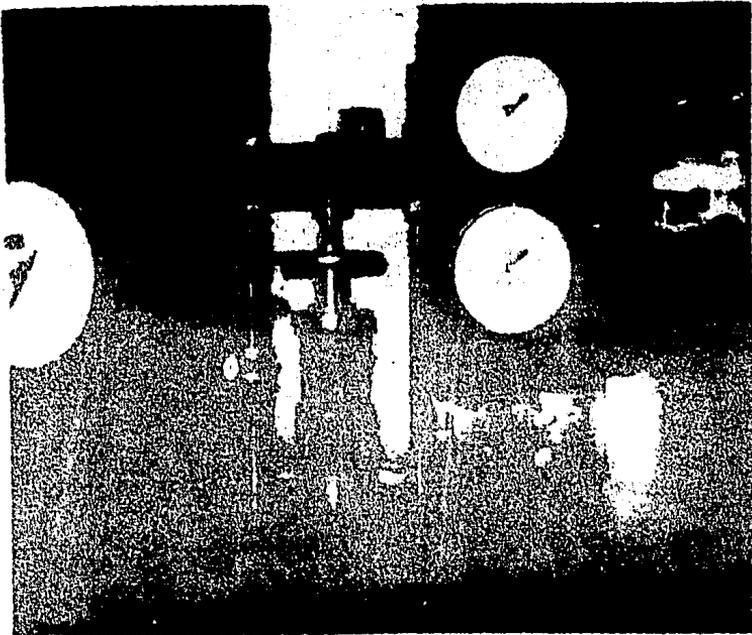


Figura IV(14) Ensaye de especímenes a la compresión sin-
confinar.

CAPITULO V

RESULTADOS OBTENIDOS.

En el presente capítulo tabularemos los resultados obtenidos en los especímenes, para bases negras y carpetas asfálticas que se ensayaron a la compresión sin confinar.

La carga de compactación estática para las bases negras es de 12700 kilogramos y para las carpetas asfálticas es de 8100 kilogramos.

Las dimensiones de los moldes que se emplearon son de 10.2 centímetros de diámetro, altura de 17.7 centímetros y de 12.7 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura para elaboración de especímenes para carpetas y bases asfálticas respectivamente.

RESULTADOS OBTENIDOS EN ESPECÍMENES PARA CARPETAS ASPÁLTICAS.

TABLA V(A)

MATERIAL TRITURADO					
Especimen No.	% Producto	Altura (cms.)	Carga de falla (kgs)	Esfuerzo Resistente kg/cm ²	Esfuerzo Promedio kg/cm ²
1	4.0	11.80	435.45	5.33	
2	4.0	11.29	371.95	4.55	4.94
3	4.5	11.57	439.99	5.38	
4	4.5	11.80	403.70	4.94	5.16
5	5.0	11.77	381.02	4.66	
6	5.0	11.83	385.56	4.72	4.69
7	5.5	11.78	374.22	4.58	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple, material triturado para carpetas.

CONTINUACION DE LA TABLA V(A)					
8	5.5	II.90	326.59	4.00	4.29
9	6.0	II.96	430.92	5.27	4.86
10	6.0	II.72	362.88	4.44	
11	6.5	II.52	412.77	5.05	5.16
12	6.5	II.99	430.92	5.27	

TABLA V (B)

MATERIAL DE MINA					
Especimen No.	% Producto	Altura - (cms)	Carga de falla kg/cm ²	Refuerzo Resistente kg/cm ²	Refuerzo Promedio kg/cm ²
1	4.0	12.40	569.26	6.97	6.30
2	4.0	12.70	460.40	5.63	
3	4.5	13.26	408.24	5.00	6.03
4	4.5	12.93	576.07	7.05	
5	5.0	12.76	585.14	7.16	6.80
6	5.0	12.93	526.17	6.44	
7	5.5	12.35	619.16	7.58	7.57
8	5.5	12.57	616.89	7.55	
9	6.0		521.64	6.38	6.87
10	6.0	12.63	601.02	7.36	
11	6.5	12.64	653.18	7.99	7.77
12	6.5	12.63	616.89	7.55	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple; material de mina para carpetas.

TABLA V (C)

MATERIAL DE CANTOS REDONDEADOS					
Especimen No.	∅ Producto	Altura (cms.)	Carga de falla (kgs.)	Esfuerzo Resistente kg/cm ²	Esfuerzo Promedio kg/cm ²
I	3.5	12.17	301.64	3.69	3.57
2	3.5	12.17	281.23	3.44	
3	4.0	12.15	145.15	1.78	1.78
4	4.0				
5	4.5	12.17	258.55	3.16	2.91
6	4.5	12.90	217.73	2.66	
7	5.0				3.66
8	5.0	12.56	299.37	3.66	
9	5.5	12.70	362.88	4.44	4.05
10	5.5	12.12	299.37	3.66	
11	6.0				5.72
12	6.0	11.82	467.20	5.72	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple, material de cantos redondeados para carpetas.

TABLA V (D)

MATERIAL TRITURADO					
Especimen No.	ϕ Promedio	Altura (cm.)	Carga de falla (kgs.)	Befuerzo- Resistente kg/cm ²	Befuerzo Promedio kg/cm ²
1	3.0	14.11	263.32	2.08	2.06
2	3.0	15.75	258.78	2.04	
3	4.0	15.96	662.84	5.23	4.44
4	4.0	15.77	463.08	3.65	
5	5.0	15.01	517.56	4.08	4.53
6	5.0	15.40	631.06	4.98	
7	6.0	14.93	803.58	6.34	6.32
8	6.0	15.24	799.04	6.30	
9	7.0	15.31	917.08	7.24	6.35
10	7.0	15.11	692.35	5.46	
11	8.0	14.90	835.36	6.59	6.58
12	8.0	14.99	833.09	6.57	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple, material triturado para bases negras.

TABLA V (E)

MATERIAL DE MINA					
Especimen No.	% Producto	Altura (cms)	Carga de Falla (kgs)	Esfuerzo Resistente kg/cm ²	Esfuerzo Promedio kg/cm ²
I	4.0	15.90	649.22	5.12	4.74
2	4.0	15.90	553.88	4.37	
3	5.0	16.20	658.30	5.20	6.21
4	5.0	15.70	914.81	7.22	
5	6.0	16.30	771.08	6.09	6.19
6	6.0	16.20	797.26	6.29	
7	7.0	15.90	681.00	5.37	5.23
8	7.0	15.70	644.68	5.09	
9	8.0	14.60	753.64	5.95	5.93
10	8.0	16.00	749.10	5.91	
II	9.0	16.00	687.81	5.43	5.46
12	9.0	15.90	697.46	5.50	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple, material de mina para bases negras

95
 TABLA V (F)

MATERIAL DE CANTOS REDONDEADOS					
Espécimen No.	% Producto	Altura (cms)	Carga de Falla (kgs)	Esfuerzo Resistente kg/cm ²	Esfuerzo Promedio kg/cm ²
I	3.0	14.60	431.30	3.40	3.49
2	3.0	15.90	454.00	3.58	
3	4.0	16.20	458.54	3.62	3.40
4	4.0	15.70	404.06	3.19	
5	5.0	15.90	276.94	2.19	3.03
6	5.0	15.80	490.32	3.87	
7	6.0	16.20	422.22	3.33	3.26
8	6.0	16.00	404.06	3.19	
9	7.0	16.30	279.21	2.20	2.19
10	7.0	15.80	276.94	2.19	
II	8.0	15.90	374.55	2.95	2.70
12	8.0	15.90	308.72	2.44	

Datos de especímenes ensayados a la compresión simple, material de cantos redondeados para bases negras.

La conversión de la carga a presión se hace dividiendo la carga que se registró en la máquina hasta llevar el espécimen a la falla entre el área de éste.

De la figura V(1) a la figura V(3) se localizan las gráficas de resistencia a la compresión sin confinar contra contenido de producto asfáltico en especímenes para carpetas y bases asfálticas.

MATERIAL TRITURADO

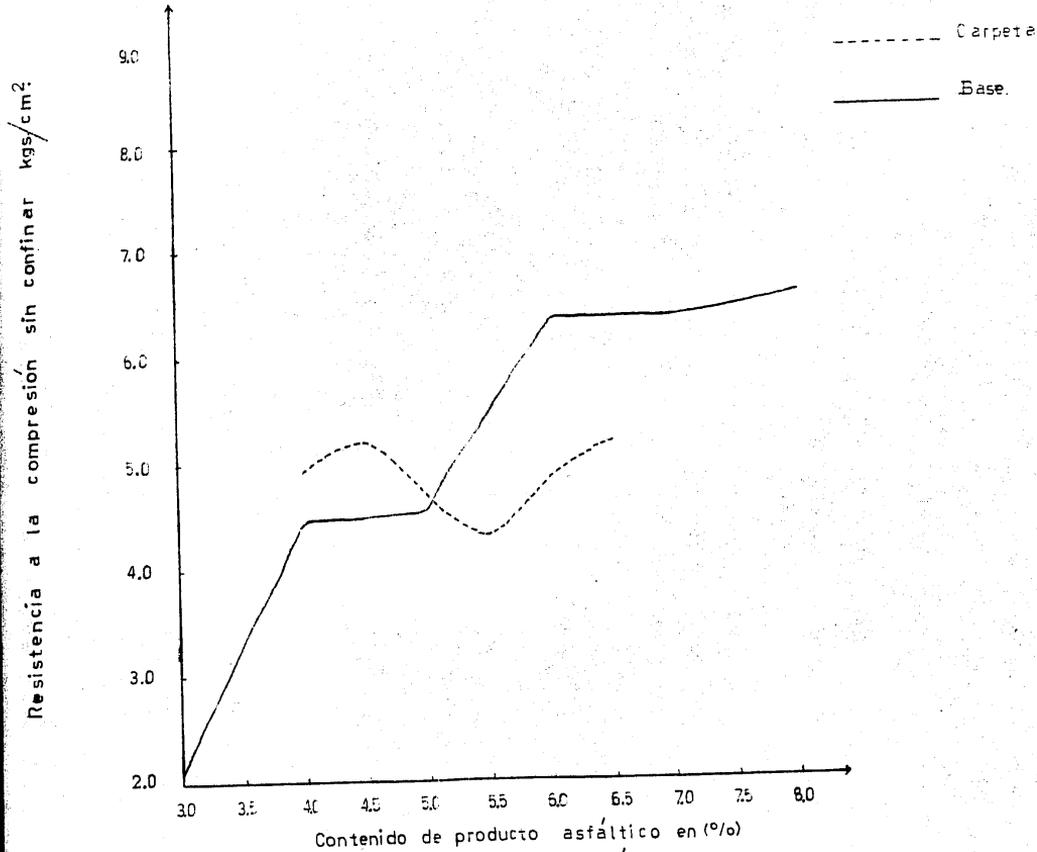


Figura V(1) Variación de la resistencia a la compresión sin confinar, con el contenido de producto asfáltico

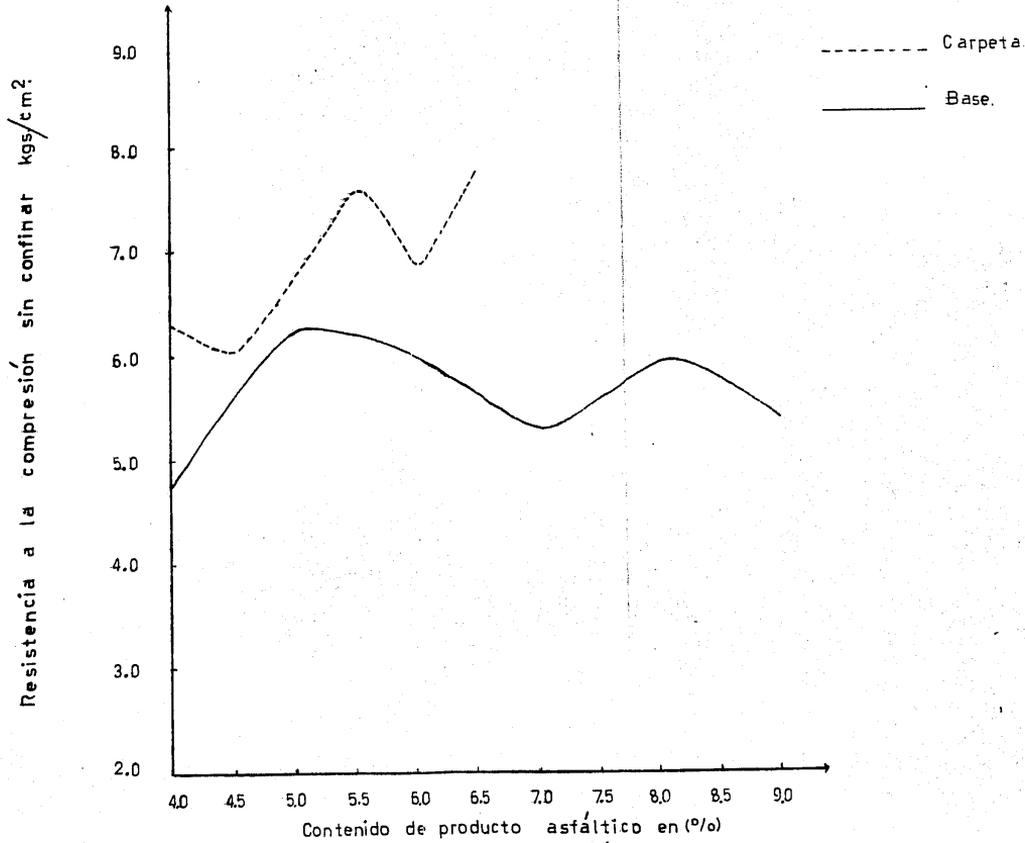


Figura V(2) Variación de la resistencia a la compresión sin confinar, con el contenido de producto asfáltico

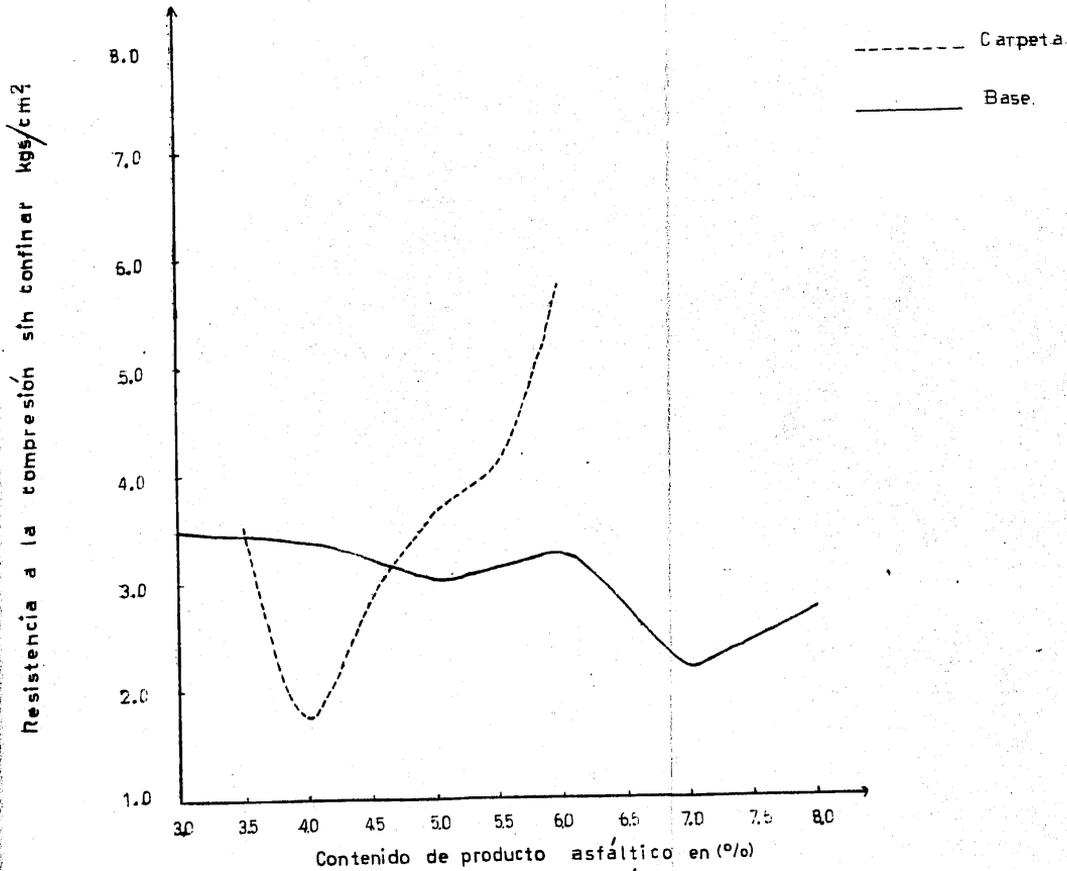


Figura V(3) Variación de la resistencia a la compresión sin confinar, con el contenido de producto asfáltico

ANALISIS DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LOS CONTENIDOS NECESARIOS DE PRODUCTO ASFALTICO PARA LA ELABORACION DE CARPETAS Y BASES.

De los materiales estudiados para construir carpetas y bases asfálticas; los de bases presentaron mayores pesos volumétricos que los de carpetas, de acuerdo a esta diferencia en los pesos volumétricos, supusimos que en general, se debían de obtener resistencias más altas para los materiales de bases, sin embargo, no fue así, al menos cuando éstos se ensayaron a la compresión simple.

Para determinar los porcentajes probables y recomendables de producto asfáltico en los materiales estudiados; para elaborar bases y carpetas, nos apoyamos principalmente: en el cubrimiento observado sobre el material pétreo por el producto asfáltico al realizar las mezclas entre éstos, y en el análisis de las figuras V(1), V(2) y V(3).

El contenido óptimo de producto asfáltico para carpetas, se localiza en la rama ascendente del segundo máximo de la curva de resistencia contra contenidos de producto asfáltico de especímenes ensayados a la compresión simple; y para bases negras el contenido óptimo de producto asfáltico, se localiza en la rama descendente del primer máximo de la curva antes mencionada.

MATERIAL TRITURADO.

En el material para carpetas la rama ascendente se encuentra entre un 5.5 y un 6.5 por ciento de producto asfáltico; el contenido recomendable de producto asfáltico es de 5.8 a 6.3 por ciento y proporciona una resistencia media de 4.9 Kg/cm^2 , que cumple con la resistencia de Especificaciones para carreteras con tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados entre 500 y 1000. Se determinó como contenido probable de producto asfáltico

co para bases entre 4.4 y 6.0 por ciento, como contenido recomendable se da 5.0 a 5.7 por ciento; para los dos contenidos de producto asfáltico, la resistencia alcanzada en la base es aceptable.

En general, los porcentajes recomendables de producto asfáltico son mayores para carpetas que para bases, en el caso del material triturado, la resistencia que se obtuvo con el porcentaje recomendable, es mayor en la base que en la carpeta a pesar de la diferencia en el contenido de producto asfáltico.

MATERIAL DE MINA.

Para carpetas la rama ascendente se localiza entre 6.0 y 6.5 por ciento de producto asfáltico; el contenido recomendable de éste lo tenemos entre 6.2 y 6.5 por ciento, la resistencia media para estos porcentajes es del orden de 7.4 Kg/cm^2 , que como el material triturado también cumple con la resistencia de Especificaciones para carreteras con tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados entre 500 y 1000. Para la elaboración de bases consideramos que el contenido probable de producto asfáltico esta entre 4.7 y 6.0 por ciento, y el contenido recomendable esta entre 5.0 y 5.7 por ciento; con los porcentajes de producto asfáltico señalados se alcanzan resistencias aceptables para bases negras.

Es importante señalar que el porcentaje recomendable de producto asfáltico para la base, es menor que para la carpeta y aun así, la resistencia media presentada por la base es aceptable para el contenido de producto asfáltico indicado anteriormente.

MATERIAL DE CANTOS REDONDEADOS.

La rama ascendente para material de carpetas se localiza entre 5.5 y 6.0 por ciento de producto asfáltico, el porcentaje re

comendable es de 5.5 a 5.8 por ciento con una resistencia media de 4.8 Kg/cm^2 , que cumple con la resistencia indicada por Especificaciones para carreteras con tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados entre 500 y 1000. Para bases determinamos que el contenido probable y el contenido recomendable de producto asfáltico es de 3.5 a 5.0 por ciento y de 4.0 a 4.8 por ciento respectivamente.

La resistencia alcanzada en el material de cantos redondeados para bases, es aceptable aun cuando no es tan alta como la alcanzada en los materiales de mina y de triturado. La comparación de resistencias entre los materiales, se hizo tomando en cuenta el contenido recomendable de producto asfáltico en cada uno de ellos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

- 1.- Las resistencias obtenidas por el método de compresión sin -
confinar en los materiales para carpetas asfálticas, concuerdan
con las resistencias que para este caso se señalan en la Par-
te Octava, Libro Primero de las Especificaciones Generales -
de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Trans-
porte.
- 2.- En la tabla VI(A) se indican las resistencias obtenidas en -
el estudio de materiales para bases, empleando un porcentaje
probable y un porcentaje recomendable de producto asfáltico;
así como las resistencias medias alcanzadas en el ensayo de
materiales para carpetas, con contenidos de producto asfálti-
co, correspondientes a los contenidos medios recomendables -
para bases.

TABLA VI(A)

TIPO DE MATERIAL	BASES				CARPETAS
	% Probable	Resisten- cia media (Kg/cm ²).	% Recomen- dable	Resisten- cia me- dia. (Kg/cm ²)	Resisten- cia media (Kg/cm ²)
Triturado	4.4 - 6.0	4.85	5.0 - 5.7	5.20	4.40
De mina	4.7 - 6.0	6.30	5.0 - 5.7	6.30	7.40
De cantos redondea- dos	3.5 - 5.0	3.35	4.0 - 4.8	3.25	2.85

* Resistencias correspondientes a los porcentajes recomenda-
bles de producto asfáltico para bases negras.

Obsérvese que para contenidos recomendables de producto asfáltico, las resistencias en bases son mayores que en carpetas para materiales triturados y de cantos redondeados, mientras que para el material de mina ocurre lo contrario, es decir, la resistencia es mayor para la carpeta que para la base, pero también se ve que estas resistencias son más altas que las de los materiales de triturado y de cantos redondeados.

3.- En la tabla VI(B) se indican las resistencias medias para carpetas con porcentajes recomendables de producto asfáltico.

TABLA VI (B)

Tipo de material.	Porcentaje - recomendable de producto-asfáltico.	Resistencia media. (kg/cm ²).
Triturado.	5.8 - 6.3	4.90
De mina	6.2 - 6.5	7.40
De cantos - redondeados.	5.5 - 5.8	4.80

Resistencias medias en carpetas con porcentajes recomendables de producto asfáltico.

4.- Considerando los excelentes resultados obtenidos en los estudios para bases negras, pensamos que es importante exhortar a los proyectistas y constructores de caminos al uso de las mismas para lograr mejores condiciones de resistencia y economía fundamentalmente.

Para ver la influencia que las bases negras tienen en las condiciones mencionadas anteriormente, plantearemos lo siguiente:

Supongamos que se tiene un camino con una base natural de 30 centímetros de espesor. ¿Cómo podríamos sustituir esta base, observando que se cumplan las condiciones de resistencia y economía al mismo tiempo?.

Analizando primeramente el problema desde el punto de vista de resistencia plantearemos dos alternativas de solución: la primera consiste en la sustitución de la base natural por una carpeta de 20 centímetros de espesor, y la segunda sería la sustitución de la misma por una carpeta y una base asfáltica de 5 y 15 centímetros de espesor respectivamente. Para efectuar las equivalencias de espesores de un material a otro, se utilizan los factores de equivalencia proporcionados en el texto "Tecnología para el proyecto de Pavimentos Flexibles" del M. en I, IC. Fernando Olivera Bustamante.

Del análisis de las alternativas desde el punto de vista de la economía concluimos que: Es muy conveniente el empleo de bases negras, porque además de que presentan excelentes resistencias, son económicas, ya que los costos de los tratamientos de triturado y cribado de materiales para bases son menores que para materiales de carpetas. Por otra parte al emplear bases negras se utilizan menores cantidades de pro-

ducto asfáltico, lo que redundará en beneficio de la economía.

- 5.- Como la condición real de las carpetas y bases asfálticas, - es una condición de semiconfinamiento o de confinamiento, y no una condición sin confinar; se sugiere como complemento - de este estudio, utilizar algún método de prueba del tipo se miconfinado como el método de Marshall.

BIBLIOGRAFIA

1. Fernando Olivera Bustamante. Tecnología para el Proyecto de Pavimentos Flexibles. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón.
2. Fernando Olivera Bustamante, Jaime Quintero Ramos, Alfonso-Olivera Bustamante. Proyecto y Construcción de Pavimentos Flexibles. IPN. Primera Parte. Abril de 1984.
3. José Valencia Aragón, Ricardo Olivera Bustamante, Domingo-Sánchez Rosado, Proyecto y Construcción de Pavimentos Flexibles. IPN. Segunda Parte. Abril de 1984.
4. Georges Jeuffroy. Proyecto y Construcción de Carreteras Tomo II. Editores Técnico Asociados, S.A. Barcelona 1977.
5. Parte Octava, Libro Primero de las Especificaciones de Construcción de la SCT. Tercera Edición 1973.
6. Normas de Construcción Muestreo y Pruebas de Materiales, - Parte Primera de la SCT. Primera Edición 1981.
7. Tr. Manuel Velázquez Velázquez. Materiales Bituminosos en Construcción de Carreteras. Servicio de Publicaciones Ministerio de Obras Públicas. Madrid 1965.
8. Tesis Profesional del Ing. Oscar Ruíz Urbano 1984. Proceso de Estabilización y Compactación de Suelos. ENEP. Aragón UNAM.
9. Tesis Profesional del Ing. José de Jesús García Maya 1981. Estabilización de Suelos. ENEP. Aragón UNAM.