



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PAVIMENTOS FLEXIBLES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CLEMENTE IGNACIO AGUILAR HERRERIAS

DIRECTOR DE TESIS:
ING. GILBERTO HERNANDEZ G.

MEXICO, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE.

Capítulo I. INTRODUCCION.		Págs.
I.1	Introducción.	1
I.2	Estructuras de Pavimento del Camino.	5
I.2.1	Estructuras no tratadas para caminos.	5
I.2.2	Superficies estabilizadas para caminos.	6
I.3	Tipo de la Estructura de Pavimento.	13
I.4	Condiciones de la Cimentación.	14
I.5	Indice de la Capacidad de Servicio.	15
I.6	Tráfico de Diseño.	15
I.7	Factores Económicos.	20
I.8	Duración del Pavimento.	20
I.9	Importancia de los Pavimentos.	20
I.10	El Desarrollo de la Tecnología de Pavimentos.	22
Capítulo II. CARACTERISTICAS DE SUS ELEMENTOS.		
II.1	Asfaltos. Introducción.	26
II.2	Terminología del Asfalto y sus aplicaciones.	27
II.2.A	Materiales Asfálticos.	27
II.2.B	Pavimentos Asfálticos y Tratamientos Superficiales.	31
II.3	Pruebas de Laboratorio.	36

II.3.A	Materiales Asfálticos.	36
II.3.B	Aridos.	47
II.3.C	Mezclas Asfálticas para Pavimentación.	53
II.4	Resumen de las Especificaciones Principales.	63
II.4.A	Especificaciones para los Asfaltos.	63
II.4.B	Especificaciones para los Aridos.	63
II.4.C	Clasificación de las Mezclas Asfálticas para Pavimentación.	67
II.4.D	Proyectos de Mezclas Asfálticas.	68
II.4.E	Control de las Temperaturas de Aplicación del Asfalto.	69
II.5	Referencias.	73

Capítulo III. ELABORACION.

III.1	Empleo, Fabricación e Inspección de Mezclas Asfálticas obtenidas en Instalación Mezcladora.	74
III.2	Instalaciones Mezcladoras Discontinuas.	90
III.3	Instalaciones Mezcladoras Continuas.	95
III.4	Ensayos sobre los materiales usados en los Pavimentos Flexibles.	98
III.5	Inspección de la Instalación Mezcladora.	101

**Capítulo IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
Y CONSERVACION.**

IV.1	Introducción.	104
IV.2	Procedimiento Constructivo.	108
IV.2.1	Características de la Subrasante, Espesores y requisitos de la Subbase y Base de Pavimento.	110
IV.2.2	Riego de Impregnación.	114
IV.2.3	Materiales, Equipo, Procedimiento y Control de Construcción.	119
IV.3	Conservación de Pavimentos.	126
IV.3.1	La Reconstrucción de Carpetas y la Construcción de Sobrecarpetas.	139
IV.4	Maquinaria para la Aplicación del Asfalto.	145
Capítulo V.	CONCLUSIONES.	148
Capítulo VI.	BIBLIOGRAFIA.	160

Capítulo I. INTRODUCCION. PAVIMENTOS FLEXIBLES.

I.1 Introducción.

No es fácil explicar la aparición y florecimiento de las grandes civilizaciones en el mundo sin la existencia del medio de transporte. Evolución, civilización y población las propicia y las activa el camino. Por muchos años fue la carretera la catalizadora de las grandes transformaciones políticas, sociales, económicas y culturales de la humanidad. Con el advenimiento del motor de combustión interna vino el proceso de retroalimentación, con la evolución del propio camino que había dado vida a toda una cultura y al refinamiento de civilizaciones bastante avanzadas. Cobró importancia el tiempo de recorrido y la comodidad, en el medio de transporte y hubo que adaptar la infraestructura del medio de locomoción para satisfacer estas exigencias.

Los pavimentos de carreteras son producto de estos requisitos, que la economía y la civilización fueron imponiendo. Abreviar el tiempo de viaje y eliminar el polvo, significa establecer mayores velocidades y dar al usuario del camino seguridad y comodidad. Con esa nueva estructura en la carretera, además de las ventajas señaladas que se obtenían, los vehículos se desplazaban de una población a otra en cualquier época del año sin que interfiriera y se hiciera penoso el viaje en la época de lluvias o en invierno.

En nuestro siglo, el petróleo da impulso al transporte moderno a la vez que resuelve el problema de altas velocidades con pavimentos tersos y libres de polvo. El otro escollo, la transitibilidad en toda época con vehículos cada vez más pesados, sin que el pavimento se deformara o se destruyera rápidamente es algo que hace apenas unas décadas se logró superar. De un sistema empírico que duró mas de cincuenta años en estudio y en experimentación, se ha llegado a métodos altamente sofisticados y de gran éxito.

Por lo complejo del problema fue necesario crear nuevas técnicas (mecánica de suelos, química de los asfaltos, etc) para dar cima a la construcción de las capas que constituyen lo que se conoce como pavimento en la infraestructura del transporte.

Ya con el siglo pasado John Mac Adam, había expuesto la necesidad de acomodar la capa de material soportante compactandola. De esto a la construcción de las bases y carpetas bituminosas no fue sino un pequeño paso.

En efecto, antes que la industria petrolera desarrollara las técnicas del "craking" y construyera las torres catalíticas, ya el residuo asfáltico de la destilación fraccionada del petróleo constituía un serio problema como desecho. Se sospechaba su uso potencial en pavimentos, pero no fue sino hasta la primera década de este siglo que se realizaron experiencias importantes en su elaboración y uso.

En 1905 se hacen las primeras pruebas en caminos empleando petroleos crudos y alquitranes. La práctica desarrollada entonces, consistía en hacer un rastreo de la terracería, dándole un bombeo exagerado a la corona para un drenaje rápido. Para esto, se usaban rastras construidas en tubería de perforación cortada con soplete longitudinalmente en forma de media caña, las que unidas con cadenas de eslabón y lastradas, eran jaladas en los camiones rudimentarios de la época, o con tiros de mulas. En nuestro país, el "crudo" se regaba sobre la terracería así conformada en forma rudimentaria. Es inútil decir que, si bien en la temporada de secas funcionaban bien estos "pavimentos", impidiendo que se levantara polvo y dándole estabilidad a las terracerías, en la época de lluvias, estas perdían resistencia por la humedad y las "brechas" se tornaban intransitables.

Aun fuera de la temporada de lluvias, el calor derretía el cemento asfáltico, haciendo la superficie ondulada y resbalosa. De cualquier modo se le sacaba provecho a este tratamiento primitivo y, sobre todo, se adquiría experiencia en el manejo de asfaltos. La conservación se reducía a rellenar los hoyancos que se formaban en la temporada de lluvias con mezclas de arena y "chapopote". Estas superficies de rodamiento se conservaban en buen estado un lapso corto y su costo de conservación era alto.

A pesar de todo, el uso de los productos salidos de las torres de destilación sin ningún tratamiento, dió lugar, posteriormente, a la elaboración de uno de los primeros asfaltos líquidos: los asfaltos de fraguado lento, que cubrían su misión de "matapolvo" en caminos secundarios y

brechas.

Los riegos de asfaltos lentos proporcionaban al usuario una superficie más cómoda para viajar, particularmente en época de secas. Los vehículos de carga y aún los de pasaje encontraban serios impedimentos para transitar durante las lluvias. Esto fué incrementándose a medida que el transporte pesado fué incrementándose en volumen y peso. Para 1904 ya había en circulación en la red carretera de los Estados Unidos 55,290 coches y para 1910 esta cifra alcanzaba los 468,500 vehículos.

Las capas de revestimiento que se empezaron a construir en esa década consistían en gravas de río, conglomerados en caliche de bancos, etc. que se protegían con riegos de asfalto (road oils) llamados aceites para carreteras, y cuya función primordial era evitar el polvo. Sus espesores eran generalmente de 15 cm (sueltos) en una primera etapa, y se dejaban "consolidar" uno o dos "veranos". Comúnmente la primera capa se reforzaba con una segunda del mismo espesor, la que después de compactarse se le aplicaba un riego "mata-polvo" con aceite residual. Se debe tener presente que en 1869 se usó por primera vez en Nueva York una aplanadora para compactar capas de base, apoyándose en la teoría de Mc Adam de que en construcción de carreteras, una capa bien drenada y bien compactada debería soportar las cargas que se aplicaran al pavimento; el revestimiento de piedra, según él, debía servir únicamente como superficie de desgaste. Aun estaba por investigarse la importancia de las características físicas de los materiales del pavimento.

En México aún no se iniciaba la construcción de nuestra red de caminos cuando en el vecino país ya se fundaba en 1920, el primer Instituto de Investigación de Pavimentos, el Highway Research Board. Con el acervo de conocimientos obtenidos durante las primeras dos décadas del estudio de caminos, la ingeniería se encaminaba hacia el diseño racional de este tipo de estructuras. Puede decirse que, el primer paso importante se dió con la investigación y conocimiento de los materiales empleados en pavimentos. Si bien, ya el Sueco Atberg, en 1911, había propuesto métodos para determinar el contenido de humedad entre los límites en que los suelos exhiben sus propiedades plásticas, en el campo de la ingeniería de suelos aplicada a caminos; estas ideas se

empezaron a generalizar terminando esa misma década. Todo este gran desarrollo de la ciencia de la ingeniería de suelos que surgió después de la primera Guerra Mundial culminó con la publicación, en 1925, de la Mecánica de Suelos del Dr. Karl Terzaghi. Desde entonces el conocimiento y empleo de suelos y materiales de pavimentos, en el campo de las carreteras, tomó un sendero firme.

El uso indiscriminado de materiales para terracerías y bases fue sustituido por procedimientos de selección en base en los adelantos que la mecánica de suelos había establecido diez años antes. Coincide esto con el principio de la construcción de nuestra red de caminos, en 1925. Lamentablemente, las presiones que había para comunicar cuando antes nuestro país, por una parte, y la lentitud con que llegaban a nuestro país las nuevas técnicas, así como el tiempo que tarda su implementación, demoró considerablemente su aplicación. Tal vez sea 1940 el año en que entra en México la era de la investigación de pavimentos. En este campo se le da particular importancia a los dos elementos fundamentales de los pavimentos flexibles: los ligantes y el pétreo.

La longitud de carreteras en esa fecha era de 8000 Km transitables en toda época, pero solo 5000 Km estaban pavimentados. Sin embargo, fué hasta la siguiente década que se hizo general el control de la calidad de los pavimentos.

En lo que concierne a los materiales de bases y carpetas, para 1940 si no se había instalado una red importante de laboratorios de campo, si se tenía establecido un sistema rutinario de pruebas y se había creado conciencia entre los ingenieros de caminos de la importancia de estas medidas.

Por lo que toca al material bituminoso, el panorama era excelente. La planta de Ciudad Madero, en Tamaulipas, producía cementos asfálticos fluxados y emulsiones de alta calidad y la planta de emulsiones de Vallejo surtía asfaltos líquidos aniónicos bajo normas estrictas.

Los primeros asfaltos usados en Estados Unidos y en México provenían de los Lagos de asfalto natural de Trinidad y de Bermudez, Venezuela. Nuestro país comenzó a exportar y a usar asfaltos extraídos de los "crudos" de Ebano. Entre 1905 y 1910 se hicieron pruebas de este producto dando magnífico

resultado, por lo que se pavimentaron algunas calles de la Ciudad de México, Tampico, Veracruz, Guadalajara, Puebla, Monterrey y Chihuahua. La calidad extraordinaria de los asfaltos de Ebano y las que se obtuvieron después de los petróleos de Pánuco, que eran de la misma calidad, hizo que la demanda de ellos aumentara en Estados Unidos y de hecho, fueron éstos los primeros asfaltos del extranjero que se usaron en la Unión Americana, sobre todo, en la Costa Este. La exportación de estos productos bituminosos llegó en 1914 a 313,787 toneladas. El abastecimiento de diversos tipos de asfaltos en nuestro país se logró en 1914, cuando el Aguila instaló la primera refinería en Ciudad Madero, Tamps.; en la margen izquierda del río Pánuco, muy cerca de Tampico.

El panorama histórico de los materiales y procedimientos empleados en los primeros pavimentos, expuesto anteriormente, se ha considerado útil para comprender mejor y aquilatar, a pesar de sus deficiencias, el servicio que han prestado los primeros pavimentos de la red de carreteras de México.

1.2 Estructuras de Pavimento del Camino.

La calidad, naturaleza, espesor y composición por seleccionarse para una estructura de camino dependen del volumen y tipo de tráfico, del costo y disponibilidad de los materiales, de las condiciones climáticas y de cimentación, y de que el pavimento se vaya a construir en etapas por un período de varios años. La composición del camino puede variar desde una superficie estabilizada de tierra obtenida por remodelado y compactación del suelo nativo hasta un concreto asfáltico de alta calidad o pavimento de concreto con cemento Portland con varias capas de revestimiento de base y subbase. En lo que sigue, se listan los tipos comunes de pavimentos para vías de camino usados y se analizan las consideraciones básicas para su diseño y construcción.

1.2.1 Superficies no Tratadas para Caminos:

En muchos casos, los caminos secundarios con bajos volúmenes de tráfico pueden proveer servicio satisfactorio con un revestimiento superficial de mezclas de suelo sin tratamiento que consta de materiales disponibles en la localidad, como cenizas volcánicas, escorias de altos hornos, piedra caliza, horsteno o conchas.

Las características mayores de una buena superficie sin tratamiento de roca o de grava incluyen:

1. La capacidad de soportar la abrasión por cargas de tráfico sobrepuestas. Esto puede lograrse con una cantidad adecuada de agregado grueso bien clasificado (retenido en Malla No. 10), que se combinará con arena para formar una superficie hermética, resistente al agua y para proveer una trabazón de agregado para resistir a las fuerzas de corte.
2. La capacidad de soportar las cargas de tráfico sin deformación excesiva. Esto puede lograrse mediante el suficiente material aglomerante, como arcilla, para cementar el agregado grueso, arena y limo en una condición seca o de poca humedad, y no demasiada arcilla que pueda dislocar la superficie a causa de la expansión causada por una alta humedad.
3. Una superficie que se drena adecuadamente sin permitir la infiltración excesiva de la lluvia dentro de la subrasante.
4. Una superficie que permite cierta percolación ascendente de agua subsuperficial para reemplazar la humedad perdida por la evaporación, con la cual se mantiene un contenido deseable de humedad.

Un desequilibrio de contenido de agua de la capa superficial puede causar la formación de baches cuando el camino esta mojado o una condición de polvo cuando hay escasez de agua.

Las superficies no tratadas de los caminos pueden ser aceptables para mejor calidad futura. Pueden proveer excelentes subrasantes para pavimentos de clase superior, cuando los volúmenes de tráfico y la economía justifica tal mejoría. El costo inicial es relativamente bajo de estas superficies de rodamiento, sin embargo, en cierto grado es contrarrestado por el costo considerable de conservación. Normalmente se requiere el trabajo de mantenimiento, por lo menos, dos veces al año.

1.2.2 Superficies Estabilizadas para Caminos:

El término camino estabilizado generalmente denota cualquier superficie de rodamiento compuesta de una mezcla controlada de suelos nativos y de aditivos, como asfalto, cemento Portland, cloruro de calcio y, aun en ciertas ocasiones, arena y arcilla. Estas mezclas también pueden servir como una excelente base para ciertos tipos de pavimento.

* Caminos de arena y arcilla: Una superficie de arena y arcilla consta de una mezcla compuesta de arena fina y gruesa (y preferentemente algo de grava fina) con arcilla y limo. El espesor del camino generalmente es de como 8 pulg o más. Los factores de la buena construcción de este tipo de superficie de rodamiento son similares a las descritas antes para superficies no tratadas de caminos.

* Estabilización con cloruro de calcio: El cloruro de calcio es un compuesto químico capaz de absorber humedad del aire y de retenerla sin convertirse en líquido. Esta característica lo hace un excelente paliativo para el polvo así como un agente estabilizador.

Cuando se usa cloruro de calcio como agente estabilizador en un revestimiento existente de superficie, el procedimiento común es escarificar la superficie del camino y mezclar aproximadamente 1/2 lb/yd² de cloruro de calcio por pulgada de profundidad. Para que este proceso tenga éxito, debe haber humedad adecuada. Para mejorar la estabilización durante el tiempo seco, se deben agregar cantidades de agua.

* Estabilización con cemento Portland: Las superficies de rodamiento no tratadas pueden estabilizarse con cemento Portland, si el contenido de arcillas en el suelo es favorable para este tipo de tratamiento. Los suelos que contienen menos de un 35% de arcilla son normalmente adaptables a este método de estabilización. La cantidad de cemento requerida varía con la clasificación del suelo y, en general, va desde 6 hasta 12% por volumen. La superficie de rodamiento para ser tratada debe escarificarse por una profundidad como de 6 pulg y se debe aplicar el cemento uniformemente al material suelto, y llevarse hasta el óptimo contenido de humedad y aplanado ligeramente con rodillo.

Un pavimento de tierra y cemento de calidad superior

puede construirse mediante la mezcla de suelos, cemento y agua en una planta mezcladora central o móvil. Luego la mezcla se coloca y se aplan.

* **Estabilización con Materiales Bituminosos:** Pueden utilizarse varios tratamientos superficiales con asfalto para estabilizar las superficies no tratadas de caminos.

Para utilizarlo como paliativo para el polvo, el material asfáltico líquido puede aplicarse a una proporción de 0.1 a 0.5 gal/yarda². El uso de materiales bituminosos como un paliativo para el polvo se conoce con frecuencia como un preliminar para una mejora progresiva de caminos de tipo bajo.

Como un tratamiento de superficies, la estabilización con materiales bituminosos consta de un aplicación de asfalto seguida por una aplicación de agregado. Este proceso puede repetirse varias veces.

Los resultados se conocen comunmente como tratamientos de superficie doble, triple, etc.

Los tratamientos de superficie son sensibles a ciertas condiciones, entre las cuales estan:

1. Las condiciones de tiempo atmosférico libres de lluvias y las temperaturas arriba de 40 grados F son altamente deseables.
2. La superficie que se va a tratar debe estar seca y bien compactada.
3. La cantidad y viscosidad del asfalto debe estar en relacion apropiada con la temperatura, tamaño y cantidad del agregado por usarse.
4. Este tipo de tratamiento de superficies no se deberá utilizar en donde sera construido bajo fuerte tráfico de alta velocidad, porque este tipo de uso tiende a desalojar el agregado suelto. Una vez que el tratamiento de la superficie se ha aplanado cabalmente y se ha escobillado de agregado suelto, proveerá un buen servicio.

En la tabla 16-16 se presentan algunos tratamientos de superficies típicas recomendados por The Asphalt Institute.

Tabla 16-16. Cantidades de asfalto y agregado para tratamientos sencillos de superficie y capas de sello.

Linea No.	Tamaño nominal del agregado, pulg.	Tamaño de agregado, yd 2.	Lb de asfalto por yd 2.	Gal de asfalto por yd 2.	Tiem atm cal (80 grados F o mas alto)		Tiem atm frio.	
					Agreg Duro	Agreg Absor	Agreg Duro	Agreg Absor
1	3/4	6	40-50	0.40-0.50	RC 3000, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 3000, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 800, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 800, RS2, CRS-1 CRS-2
	hasta 3/8							
2	1/2	7	25-30	0.30-0.45	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2
	hasta No. 4							
3	3/8	8	20-25	0.20-0.35	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2	RC 250, RC 800, RS1, RS2, CRS-1 CRS-2
	hasta No. 6							
4	No. 4	9	15-20	0.15-0.25	RC 250, RC 800,	RC 250, RC 800,	RC 250, RC 800,	RC 250, RC 800,
	hasta							

No. 16

RS1,	RS1,	RS1,	RS1,
RS2,	RS2,	RS2,	RS2,
CRS-1	CRS-1	CRS-1	CRS-1
CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2

* **Macadam Hidráulico:** Este es uno de los más antiguos tipos de pavimento. Su uso moderno es principalmente como un revestimiento base bajo un pavimento bituminoso. En tales casos, el rasgo de hidráulico puede omitirse, para formar un macadam de ligazón seca.

Un pavimento hidráulico se construye comunmente en dos capas, la interior como de 4 pulg de grueso y la otra como de 2 pulg. Según una especificación típica, la piedra de la capa del fondo debe pasar un anillo de 3 pulg y debe ser retenida por un anillo de 2 pulg. Para la capa de arriba, las cifras serían 2 pulg y 1 pulg. La piedra debe pasar ciertas normas de dureza. Una buena piedra para macadam es angular y uniforme en cada sentido, ya que la estabilidad del pavimento depende mucho de la trabazón de las piezas. (Standard Specifications for Crushed Stone and Crushed Slag for Water Bound Surface Course, American Association of State Highway and Transportation Officials M77).

Antes de colocar alguna piedra, la subrasante se debe moldear bien y drenar adecuadamente. La capa del fondo se debe aplanar bien antes de colocar la capa de arriba. Después que se ha aplanado cabalmente la capa de arriba, se debe extender sobre el cascajo de piedra, o polvo de piedra. Esto generalmente se hace con palas de mano en barridos sucesivos. Este aglomerante se escobilla dentro de los vacíos, y cuando éstos se llenan parcialmente, se comienza el riego. Continúan las aplicaciones alternadas de aglomerante, agua y de aplanado, hasta que aparece una onda de "mortero" adelante del rodillo. Con trabajadores experimentados, puede resultar un pavimento excelente, que esparcirá el agua y soportará el tráfico en zonas rurales.

La práctica moderna ha eliminado en gran parte este tipo de construcción base, a causa de los adelantos en equipo de planta y los excelentes resultados que pueden obtenerse con el concreto de asfalto o con las bases tratadas con cemento

Portland.

La construcción con macadam hidráulico lleva tiempo y es costosa.

* **Macadam de Penetración:** El macadam de penetración tiene una composición similar al macadam hidráulico, con la excepción de que, en vez de cascajos o polvo de piedra, se usa asfalto o alquitran para el llenado inicial de los huecos. Entonces las piedras se "traban" o "calzan" con una piedra de tamaño pequeño, y se hace una segunda aplicación de material bituminoso.

El revestimiento de macadam de penetración es comúnmente de dos a tres pulgadas de grueso. Se coloca sobre una capa base como de 4 pulg de grueso, similar al revestimiento inferior del pavimento del pavimento de macadam hidráulico, en que los huecos se han llenado con cascajos. Después de que se ha aplanado el revestimiento de base, el relleno de exceso se debe de quitar mediante escobillado consistente. Antes de aplanar otra capa, esta se debe hacer lo suficientemente gruesa para producir el espesor especificado cuando se ha compactado. La profundidad compactada será de aproximadamente 0.7 de la profundidad suelta, pero se debe verificar la contracción para la obra individual.

El revestimiento de penetración se debe aplanar cabalmente con rodillo aplanador de, por lo menos, 10 ton antes de la primera aplicación del material bituminoso. En el este, la primera aplicación es comúnmente de 1.75 a 2.25 gal/yd 2,3 pulg de grueso. (En California, se usa menos cantidad, a causa de la naturaleza del asfalto local). La temperatura del petróleo debe estar entre los límites especificados (comúnmente de 300 a 350 grados F para el asfalto). No se debe hacer ninguna aplicación si la temperatura del aire ha estado abajo de 40 grados F durante las 24 horas precedentes. Mientras que el asfalto esta todavía caliente, se debe extender a mano una piedra de tamaño pequeño (cuna o calza). La piedra de exceso se debe escobillar bien y la superficie se debe aplanar para asegurar el buen acufamiento.

Luego se debe hacer una segunda aplicación del material bituminoso, de 0.5 a 0.75 gal/yd 2. A esto debe seguir una cubierta con cascajos de piedra limpios o de gravilla y del

aplanado final.

El macadam de penetración todavía se usa en forma considerable en caminos secundarios de zonas rurales. Una forma modificada que utiliza menos asfalto (1.6 a 2.5 gal/yd² de acuerdo con el espesor) se usa en algunos caminos primarios como un revestimiento intermedio entre los revestimientos para desgaste de base de piedra y de concreto bituminoso.

* **Macadam de Penetración Invertida** : Con el método de penetración invertida, se invierte el proceso de penetración normal; o sea, primero se extiende el aglomerante de asfalto sobre la superficie preparada y luego se cubre con el agregado. El método de penetración invertida puede usarse para controlar el polvo; como una capa primaria o capa ligante sobre la que se construirá una superficie de desgaste nueva; como un tratamiento de superficie y capa de coraza para proveer protección temporal para superficies no tratadas, y como una base de sello para nivelar, reforzar o mejorar de algun otro modo los pavimentos existentes.

* **Tratamientos de Superficie Bituminosos** : Los tratamientos de superficie con asfalto pueden utilizarse para cumplir las funciones siguientes:

1. Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico para los caminos de categoría ligera y mediana.
2. Sellar una superficie de rodamiento existente.
3. Ayudar a un revestimiento sobrepuesto a adherirse al revestimiento previo.
4. Proveer una superficie resistente de deslizamiento.
5. Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo.
6. Proveer una cubierta temporal para una nueva base granular que no va a recibir su cubierta final por un amplio período.
7. Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia.

8. Servir como paliativo para el polvo.
9. Guiar al tráfico y mejorar la visibilidad en la noche; por ejemplo, a través de agregados con contraste en colores.

Los tipos de tratamientos para superficies con asfalto incluyen los siguientes: tratamiento de superficie sencillo, tratamiento de superficie múltiple, capa de sello, capa primaria, capa ligante, asentamiento de polvo, petrolización, tratamiento de superficies para mezclar en el lugar y tratamientos de superficie para mezclarse en planta.

En la tabla 16 - 16 se muestran algunas cantidades típicas de aplicación de asfalto y agregado para tratamientos de superficies.

* Pavimentos de Alta Calidad : Estos se usan para soportar fuertes cargas de tráfico en caminos de alto volumen de tráfico. Los dos tipos básicos de pavimentos usados son el concreto bituminoso (flexible, el avocado a nuestro estudio) y el concreto de cemento Portland (rígido). Los mejores criterios para selección y diseño de pavimentos estan planteados en el análisis siguiente. Las consideraciones y metodos de Diseño se basan sobre todo en Interimg Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1972 (AASHTO).

1.3 Tipo de la estructura de pavimento:

En la selección del tipo de pavimento para usarse, la selección entre pavimento rígido o flexible depende de las condiciones de cimentación, de la disponibilidad local del material, de los costos relativos, del tráfico proyectado, del mantenimiento de tráfico durante la construcción y de los métodos de construcción de la localidad, de la frecuencia de la necesidad de dar servicio a las instalaciones necesarias dentro de la zona pavimentada, del color del pavimento, y de si se esta considerando la construcción por etapas. En los proyectos para ensanchamientos y recubrimientos, el tipo de pavimento existente es un factor importante.

Las limitaciones en los fondos para caminos, la escasez de materiales y los deseos para rendimiento adecuado del

pavimento intensifican la necesidad de optimizar el diseño del pavimento. Se han elaborado varios métodos para determinar estrategias en diseño óptimo de pavimento. Una estrategia de diseño óptimo se define como " el diseño que da un rendimiento satisfactorio para el usuario a un mínimo costo total ".

Mediante computadoras de alta velocidad, posibles diseños que pueden satisfacer los requerimientos de una situación particular de pavimentos pueden investigarse rápido y económicamente. En general, varias combinaciones de materiales y de espesores de las capas pueden tomarse en consideración del mantenimiento o recubrimientos (que incluyen la construcción por etapas), lo cual permite elegir entre muchas estrategias para diseños. El TRB Record No.485 (Registro No.485 de Transportation Research Board) presenta varias estrategias de análisis para pavimentos que han tenido éxito.

1.4 Condiciones de la Cimentación:

Una estructura de pavimento es un sistema de capas diseñado para distribuir las cargas concentradas del tráfico sobre la subrasante. La preparación de la subrasante comúnmente incluye, por lo menos, la nivelación y compactación de los suelos de subrasante. La preparación de subrasante también puede incluir otros medios para proporcionar el soporte óptimo de la estructura de pavimento.

El rendimiento de una estructura de pavimento esta relacionada directamente con las propiedades físicas y la condición de los suelos del lecho del camino. Los procedimientos para diseño estan basados en la suposición de que la mayor parte de los suelos pueden representarse adecuadamente, para propósitos del diseño del pavimento, mediante un valor S de soporte del suelo, para pavimentos flexibles, o un módulo de reacción subrasante K, para pavimentos rígidos. Sin embargo, ciertos suelos, como los excesivamente expansivos, resilientes, susceptibles a la congelación o altamente orgánicos, requieren que se sigan los pasos adicionales para proporcionar el adecuado rendimiento del pavimento. Otros factores relacionados con los suelos de lecho del camino son el soporte no uniforme que resulta por las amplias variaciones en el tipo o condición del suelo; la adicional den-

sificación de suelos con el tráfico, cuando no se han compactado adecuadamente durante la construcción, y dificultades de construcción, particularmente las asociadas con la compactación de arenas no cohesibles y de arcillas húmedas y altamente plásticas.

1.5 Índice de la Capacidad de Servicio:

La capacidad de servicio de un pavimento se define como la capacidad para servir con el tráfico de automóviles y camiones, a altas velocidades y con alto volumen. Un procedimiento ideado para evaluación periódica de capacidad de servicio de los pavimentos, conocido como la Evaluación de Capacidad de Servicio Actual (Present Serviceability Rating PSR), utiliza la media de las evaluaciones individuales de un selecto grupo de expertos con larga experiencia en todos los aspectos de Ingeniería de Caminos y en diseño de pavimentos, así como en su construcción y rendimiento. Para la PSR se usa una escala con valor de 5 como el índice de capacidad de servicio y de 0 como el mas bajo.

La selección de un índice P_t terminal de capacidad de servicio se basa en el índice mas bajo que se tolerará antes que sea necesaria la repavimentación o la reconstrucción. Se sugiere un índice de 2.5 como guía para diseñar caminos principales y de 2.0 para caminos con menores volúmenes de tráfico. Para caminos relativamente menores, si por consideraciones económicas se debe minimizar el gasto inicial de capital, esto puede lograrse reduciendo el periodo de análisis de tráfico y no designando para P_t menos de 2.0.

1.6 Tráfico de Diseño:

El procedimiento usado en Interim Guide for Design of Pavement Structures de la AASHTO es convertir las cargas axiales variables en una distribución de las cargas de diseño y expresar el volumen de tráfico como el numero de repeticiones del eje de carga de diseño. La carga para diseño usada es una carga sobre un eje sencillo de 1800 lb. Así, el tráfico se expresa como cargas equivalentes sobre un eje sencillo de 18000 lb.

Las cargas mixtas de tráfico pueden convertirse en cargas equivalentes de eje sencillo de 18000 lb con la ayuda

de la tabla 16-17.

Tabla 16-17. Factores de equivalencia de tráfico, pavimento flexible.

a. Ejes Sencillos, Pt= 2.0						
Carga axial, miles de lb	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
12	0.16	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17
14	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33
16	0.59	0.60	0.61	0.61	0.60	0.60
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.60
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.38	10.03	9.24	8.65	8.73	9.17
32	14.00	13.51	12.37	11.46	11.48	12.17
34	18.55	17.87	16.30	14.97	14.87	15.63
36	24.20	23.30	21.16	19.28	19.02	19.33
38	31.14	29.95	27.12	24.55	24.03	25.10
40	39.57	38.02	34.34	30.92	30.04	31.25

b. Ejes Tandem, Pt= 2.0						
Carga Axial, miles de lb	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01

14	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
16	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
18	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
20	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10
22	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16	0.16
24	0.23	0.24	0.26	0.25	0.24	0.23
26	0.32	0.34	0.36	0.35	0.34	0.33
28	0.45	0.46	0.49	0.48	0.47	0.46
30	0.61	0.62	0.65	0.64	0.63	0.62
32	0.81	0.82	0.84	0.84	0.83	0.82
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83

c. Ejes Sencillos, Pt= 2.5

Carga axial, miles de lb	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002
6	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
8	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
10	0.08	0.10	0.12	0.10	0.09	0.08
12	0.17	0.20	0.23	0.21	0.19	0.18
14	0.33	0.36	0.40	0.39	0.36	0.34
16	0.59	0.61	0.65	0.65	0.62	0.61
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	2.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.31	9.55	7.94	6.83	6.97	7.79
32	13.90	12.82	10.52	8.85	8.88	9.95
34	18.41	16.94	13.74	11.34	11.18	12.51

36	24.02	22.04	17.73	14.38	13.93	15.50
38	30.90	28.30	22.61	18.06	17.20	18.98
40	39.26	35.89	28.51	22.50	21.08	23.04

d. Ejes Tandem, Pt= 2.5

Carga axial, miles de lb	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
14	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
16	0.04	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
18	0.07	0.10	0.11	0.09	0.08	0.07
20	0.11	0.14	0.16	0.14	0.12	0.11
22	0.16	0.20	0.23	0.21	0.18	0.17
24	0.23	0.27	0.31	0.29	0.26	0.24
26	0.33	0.37	0.42	0.40	0.36	0.34
28	0.45	0.49	0.55	0.53	0.50	0.47
30	0.61	0.65	0.70	0.70	0.66	0.63
32	0.81	0.84	0.89	0.89	0.86	0.83
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49

La predicción de tráfico para propósitos de diseño debe basarse en la información del tráfico en el pasado, modificada mediante factores para crecimiento u otros cambios esperados. La mayor parte de los Estados acumulan información de tráfico en el pasado en forma de datos de medidor de cargas en el formato de las tablas para medidor de cargas de la Federal Highway Administration W4. Estas son las tabulaciones del numero de ejes observado dentro de una serie de grupos de cargas, con cada grupo de carga comunmente con un

incremento de 200 lb. Las tabulaciones estan en forma conveniente para conversion, ya que el numero de ejes en cada grupo de cargas puede multiplicarse por un factor apropiado a las aplicaciones para la carga equivalente sobre eje sencillo de 18000 lb para el grupo de cargas, y una suma de estos para todos los grupos de cargas es la aplicacion de la carga equivalente sobre eje sencillo de 18000 lb, que representa al trafico total para el periodo de estudio. Observese que las ecuaciones usadas en la AASHTO Interim Guide se basan en la aplicacion del numero maximo de cargas durante un periodo de dos años de ensayos de caminos. La extrapolacion mas allá de estas aplicaciones de carga total debe usarse con cuidado, ya que las aplicaciones adicionales no se han confirmado por ensayos en el camino.

Las predicciones de trafico se hacen para algun periodo conveniente. El periodo de analisis de trafico usado con frecuencia es de 20 años, que tambien es un periodo comun en predicciones de trafico para capacidad de diseno. Sin embargo, puede utilizarse cualquier periodo con este método de diseno, porque el trafico se expresa como aplicaciones diarias totales de la carga equivalente sobre un eje sencillo de 18000 lb. Independientemente del periodo utilizado para el analisis de trafico, las aplicaciones totales de la carga equivalente sobre un eje sencillo de 18000 lb son las repeticiones totales de carga que el pavimento puede soportar desde la abertura del camino al trafico hasta el tiempo en que la capacidad de servicio del camino se reduce hasta el valor terminal seleccionado; esto es, $P_t = 2.5$ o 2.0 .

Las cargas equivalentes sobre un eje derivadas representan las totales para todos los carriles para ambas direcciones del trafico. Este trafico se debe distribuir por sentidos y por carriles para los propósitos de diseno. La distribucion direccional comunmente se efectua asignando 50% del trafico en cada sentido, a menos que las condiciones especiales justifiquen otra distribucion. Para distribucion en carriles, el 100% del trafico en cada sentido se asigna generalmente para cada carril para propósitos de diseno estructural. Algunos Estados han elaborado factores de distribucion para instalaciones con mas de un carril en un sentido determinado. Estos factores varian desde 80 hasta 100% del trafico en un sentido para el diseno de cada via de trafico, cuando hay un total de cuatro carriles en ambos

sentidos, y desde 60 hasta 80% del tráfico en uno de los sentidos para uno o mas de los carriles exteriores, con los valores menores para los carriles interiores, cuando hay seis o mas carriles en ambos sentidos.

1.7 Factores Económicos:

Una sección estructural adecuada puede lograrse con varias combinaciones de materiales. Al seleccionar el diseño apropiado, tanto en costo inicial como en costos de mantenimiento futuros, la economía debe ser la consideración primaria.

1.8 Duración del Pavimento:

La duración útil de un pavimento puede definirse como el periodo durante el cual se espera que la estructura de pavimento continúe en función sin una pérdida apreciable de su valor de soporte, y mantenga una condición superficial aceptable.

La duración del pavimento (no se confunda con el periodo de diseño del pavimento) puede ampliarse mediante varias medidas para su conservación, así como mediante la construcción planeada en etapas. La construcción en etapas consiste en aplicar capas sucesivas de pavimento de acuerdo con un diseño, tomando en cuenta la distribución de cargas de tráfico durante un tiempo programado. Este método tiene muchas ventajas, como el rendimiento mejorado del pavimento, el análisis mas exacto del tráfico a través de evaluaciones sucesivas y, a menudo, una utilización mas eficaz de los fondos.

1.9 Importancia los Pavimentos:

Un pavimento se puede definir de varias maneras, dependiendo de la función o aspecto que se trate de describir. Así en el contexto de un servicio, en un sistema moderno de carreteras, un pavimento tiene como función dar servicio al tránsito en forma segura, cómoda y eficiente a un costo mínimo o razonablemente bajo. También se puede describir un pavimento en relación con la teoría mecánica que describe su comportamiento. Por ejemplo, las diferencias de comportamiento de las losas de un pavimento rígido y uno asfáltico

o flexible. El segundo soporta las cargas mediante deformación al esfuerzo cortante. Pero, la que nos interesa más para efectos de este estudio, es la que define este como una estructura compuesta de diversas capas bituminosas o combinación de éstas con otras de materiales fraguados con agua, que tienen como misión distribuir los esfuerzos que transmiten las cargas rodantes.

Es obvio, que de acuerdo con la definición que antecede la construcción y conservación de los componentes de la estructura de un pavimento deben ser óptimas, y que los niveles de servicio deben vigilarse estrechamente para que su calidad nunca baje de un nivel tal que deje de ser seguro, cómodo y eficiente. Para esto, es menester realizar permanentemente trabajos de mejoramiento, porque de lo contrario se presentan serias repercusiones en áreas que atañen a la propia red carretera y al transporte mismo.

El aspecto positivo de efectuar rutinariamente trabajos de conservación y mejoramiento en los pavimentos, trasciende a la conservación de la inversión tan importante efectuada en la construcción de la red. Esto significa ahorro en costos de capital y de conservación.

Un pavimento bien conservado también tiene efectos importantes en los costos de operación de los usuarios, sobre todo del transporte de carga. La disminución de los gastos de operación por razón del estado de la superficie de rodamiento puede influir en las tarifas de fletes y en los costos de algunos artículos de importancia vital.

Por otra parte, un pavimento cuya conservación se abandone corre el riesgo de que la inversión se pierda o bien, de que el costo de rehabilitación futura se incremente a grado tal que puede significar el doble o el triple de lo que se hubiera hecho en circunstancias más favorables.

El uso de pavimentos es casi general en los diversos medios de transporte. A excepción del marítimo o el del ducto, todos los demás sistemas de transporte lo emplean. Aún el ferrocarril utiliza una estructura muy similar a los pavimentos de carreteras. Hay quien opina que un pavimento bien diseñado podría fácilmente servir para soportar una vía férrea.

tiempo, se van perfeccionando metodos y precisando criterios en su diseño y construcción. Todo este cumulo de datos registrados en pruebas que fueron de éxitos, pero también de fracasos, constituye el sendero que se ha seguido, imitando los pasos que da la naturaleza. También se ha hecho referencia al auxilio que en estas técnicas brindo la ingeniería de suelos y que a la vez le sirvió de estímulo para su propia evolución. Pero el verdadero avance en la técnica de pavimentos, hablando en un contexto humano, lo proporciona la creación de la Junta de Investigaciones de Carreteras en los Estados Unidos, a partir de noviembre 11 de 1920.

La Junta de Investigaciones es una agencia de la División de Ingeniería Industrial del Consejo Nacional de Investigación, y Trabajo bajo los auspicios de la Academia Nacional de Ciencias y del Consejo citado. La Junta es una organización de tecnólogos en carreteras de los Estados Unidos, y su función es alentar la investigación y servir como enlace en actividades de investigación e información sobre tecnología y administración de carreteras.

Fué esta junta (cuyos fines no son de lucro) la que impulsó la investigación llevada a cabo a fines de la década de los cincuenta llamada Prueba de Carretera de la AASHO, en Ottawa, Illinois, y cuyos resultados se publicaron en 1962. Posteriormente este experimento se llevo a cabo, abarcando secciones de las carreteras de todos los Estados de la Unión Americana para tomar en cuenta las condiciones y materiales locales de cada entidad, que, naturalmente difería de los de la prueba de Ottawa.

De esta prueba y la de Satélite, realizada a escala nacional en los Estados Unidos, surgieron los métodos modernos para la planeación, investigación de campo para evaluaciones, diseño, construcción y conservación de pavimentos actualmente en uso.

El otro paso trascendente que se ha dado en la técnica de los pavimentos en los últimos años, es la creación de Sistemas de Manejo de Pavimentos (Pavement Management Systems) o Sistemas de Control de Pavimentos. Su propósito es visualizar el desempeño de un pavimento en un contexto mas amplio que el del simple proyecto elaborado, ya que el éxito de este depende en gran medida de las labores subsecuentes de

construcción, conservación y rehabilitación que se efectúen. La idea de un diseño de pavimento para un lapso de 20 años ya se ha visto que es ilusoria. Una estructura proyectada para durar este lapso apenas si alcanza los 10 a 12 años, sin un mantenimiento o rehabilitación adecuados. Para poder alargarles la vida a 25 años, ha sido necesario reencarpetarlos una o mas veces. Por esta razón, se ha visto la necesidad de "manejar" la tecnología de construcción de pavimentos uniendo las actividades de planeación, diseño, construcción y conservación bajo una base mas comprensible. Esto fundamenta lo que se decía anteriormente, que el criterio de dimensionar un pavimento, se ha cambiado por una estrategia de optimizar un diseño que comprenda no solamente la mejor construcción inicial y seccion estructural, sino tambien la mejor combinación de materiales, políticas de construcción, políticas de mantenimiento y de refuerzo de carpetas.

Pero hay que regresar en el tiempo e investigar la evolución de las técnicas de pavimentos en México. En nuestro país la tecnificación fuerte de esta materia la dió la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, creando primeramente la Dirección General de Proyectos y Laboratorios en 1953; y publicando posteriormente las Especificaciones Generales de Construcción, en 1957. Aunque la puesta en marcha de esta nueva dependencia y la implantación de las normas, tomó algun tiempo, se puede dar por hecho que a fines de esa década se empezó a llevar un control mas riguroso de calidad y una supervisión mas efectiva de la obra realizada a contrato.

Todavía en esa década y en la de los sesentas se siguieron empleando técnicas que la prueba de Ottawa aun no modificaba en el diseño de pavimentos, sin embargo, en las carreteras federales mas importantes ya se empezaban a emplear procedimientos y técnicas modernas que fueron determinantes en prolongar la vida de los pavimentos. En esa misma época se comenzaron a preparar las técnicas de laboratorio y en el siguiente decenio se instituyen los cursos de actualización de vías Terrestres con colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de México. Precisamente el Instituto de Ingenieria de la propia Universidad, a solicitud de la Secretaría, en 1964 inicia las investigaciones en tramos experimentales que tuvieron un impacto importante en el avance tecnológico de los pavimentos en nuestro país.

Efectivamente las pruebas e investigaciones efectuadas en los tramos de Izúcar de Matamoros y San Luis Potosí, sirvieron para revisar las gráficas de diseño que se venían empleando en nuestro país y que resultaban ya inadecuadas, proponiendo otras nuevas.

Siendo México un importante productor de hidrocarburos, con base asfáltica, toda la red carretera, gran parte de las aeropistas y las calles de nuestras ciudades están construidas con pavimentos flexibles de tipo bituminoso. A ellos solo se hará referencia en este estudio.

La tecnología existente en pavimentos asfálticos se ha desarrollado en base a los resultados derivados de la experiencia, y como ya se comentaba, su comportamiento está íntimamente ligado a su construcción y conservación.

CAPITULO II. CARACTERISTICAS DE SUS ELEMENTOS.

II.1 ASFALTO.

Introducción: El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto. Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otros está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. Las rocas porosas saturadas de asfalto que se encuentran en algunos yacimientos naturales se conocen con el nombre de rocas asfálticas.

Propiedades: El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de los áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Resumen Histórico: Prehistoria. Se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de asfalto en el pozo La Brea, en Los Angeles California.

3200 a 540 a. J.C. Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y en el valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.

300 a. J.C. El asfalto se emplea extensamente en Egipto en los embalsamientos.

1802 d. J.C. En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.

1838 d. J.C. En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.

1870 d. J.C. (aproximadamente). Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey, por el profesor E.J. DeSmet, químico belga.

1876 d. J.C. Construcción del primer pavimento tipo "sheet asphalt" en Washington D.C., con asfalto de lago importado.

1902 d. J.C. En los Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 20,000 ton de asfalto por año.

A partir de 1924. El asfalto de petróleo producido anualmente en los Estados Unidos ha crecido constantemente desde 3 millones de toneladas en 1924 a unos 9 millones de toneladas en 1946. A partir de esta fecha, se ha mas que duplicado, llegando a unos 19 millones de toneladas en 1956.

Asfalto obtenido del Petróleo: Casi todo el asfalto producido y empleado en los Estados Unidos se obtiene de la destilación del petróleo. Este asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que va desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida, conocida como betún asfáltico, es el material básico.

Los productos asfálticos líquidos se preparan generalmente diluyendo o mezclando los betunes asfálticos con destilados de petróleo o emulsificándolos con agua.

II.2 TERMINOLOGIA DEL ASPALTO Y SUS APLICACIONES.

II.2.A Materiales Asfálticos.

Asfalto: Es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo. El asfalto entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos del petróleo.

Definición de los asfaltos dada por la ASTM: "ASFALTOS. Materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de estos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones." (ASTM Standard D8).

- **Asfalto de Petróleo:** Asfalto obtenido de la destilación del crudo de petróleo.

- **Asfalto en Polvo:** Asfalto sólido o duro machacado o molido hasta un fino estado de subdivisión.

- **Asfalto Fillerizado:** Asfalto que contiene materias minerales finamente molidas que pasan por el tamiz numero 200.

- **Asfalto Líquido:** Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se saiga del campo en que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es de 300. Son asfaltos líquidos los siguientes productos:

a) **Asfalto fluidificado:** Betún asfáltico que ha sido fluidificado mezclándolo con disolventes de petróleo, como, por ejemplo, los asfalto líquidos de tipos RC y MC (véanse b) y c) a continuación). Al exponer estos productos a los agentes atmosféricos los disolventes se evaporan, dejando solamente el betún asfáltico en condiciones de cumplir su cometido.

b) **Asfalto de curado rápido (RC):** Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo nafta o gasolina, muy volátil (véase la tabla IV-2).

c) **Asfalto de curado medio (MC):** Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo queroseno de volatilidad media (ver tabla IV-3).

d) **Asfalto de curado lento (SC):** Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles (ver tabla IV-4).

Tabla IV-1—ESPECIFICACIONES PARA BETUNES ASFALTICOS

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	TIPOS				
			Industriales y especiales	Pavimentación			
				60-70	85-100	120-150	200-300
Penetración 25° C, 100 gr. 5 seg.	T-49	D-5	40-60	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad a 138° C. Saybolt-Furol, SSF Cinemática, centistokes.	—	E-102	120+	100+	85+	70+	50+
	—	D-448	240+	200+	170+	140+	100+
Punto de inflamación (vaso abierto Cleveland), °C	T-48	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada. Penetración después del ensayo, 25° C, 100 gr. 5 seg., % de la original	T-179	—	—	—	—	—	—
	T-49	D-5	82+	60+	45+	42+	37+
Ductilidad: A 25° C, cms. A 15,6° C, cms.	T-51	D-113	100+	100+	100+	60+	—
	—	—	—	—	—	—	60+
Solubilidad en C Cl ₄ , %	T-44*	D-4*	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+
Condiciones generales.			El asfalto se preparará por destilación del petróleo. Será uniforme en su naturaleza y no formará espuma al calentarlo a 177° C.				

- * Salvo que se emplee tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.° 1 del método AASHO T-44, o el n.° 1 del Método ASTM D-4.

Tabla IV-2—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO RAPIDO (RC)

Características	Método de ensayo AASHTO	Método de ensayo ASTM	GRADOS					
			RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5
Punto de inflamación, vaso abierto, °C	T-79	D-1310	—	—	26.7	26.7	26.7	26.7
Viscosidad Furol a 25° C. seg.			75-150		—	—	—	—
» » a 50° C. seg.			—	75-150	—	—	—	—
» » a 60° C. seg.	T-72	D-88	—	—	100-200	250-500	—	—
» » a 82,2° C. seg.			—	—	—	—	125-250	300-600
Destilación:								
Destilado (porcentaje del total destilado a °C):								
A 190° C.			15 —	10 —	—	—	—	—
A 225° C.			55 —	50 —	40 —	25 —	8 —	—
A 260° C.	T-78	D-402	75 —	70 —	65 —	55 —	40 +	25 +
A 316° C.			90 +	88 +	87 —	83 +	80 +	70 +
Residuo de destilación a 360° C. porcentaje en volumen por diferencia.			50 —	60 —	67 +	73 +	78 +	82 +
Ensayos sobre el residuo de destilación:								
Penetración, 25° C. 100 gr., 5 seg.	T-49	D-5	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad, 25° C. cms.	T-51	D-113	100 —	100 —	100 +	100 +	100 +	100 —
Solubilidad en C Cl ₄ , %	T-44*	D-4*	99,5 +	99,3 +	99,5 +	99,5 +	99,5 +	99,5 +
Condiciones generales.			El material no contendrá agua.					

- * Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.º 1 del Método AASHTO T-44, o el n.º 1 del Método ASTM D-4.

Tabla IV-3—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO MEDIO (MC)

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	GRADOS					
			MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Punto de inflamación, vaso abierto, °C.	T-79	D-1310	37,8	37,8	65,6	65,6	65,6	65,6
Viscosidad Furol a 25° C, seg.	T-72	D-88	75-150	—	—	—	—	—
» » a 50° C, seg.			—	75-150	—	—	—	—
» » a 60° C, seg.			—	—	100-200	250-500	—	—
» » a 82,2° C, seg.			—	—	—	—	—	125-250
Destilación: Destilado (porcentaje del total destilado a 360° C):	T-78	D-402	25—	20—	10—	5—	0	0
A 225° C.			40-70	25-65	15-55	5-40	30—	20—
A 260° C.			75-93	70-90	60-87	55-85	40-80	20-75
A 318° C.			50+	60+	67+	73+	78+	82+
Residuo de la destilación a 360° C, porcentaje en volumen por diferencia.								
Ensayos sobre el residuo de destilación:								
Penetración, 25° C, 100 gr., 5 seg.	T-49	D-5	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad, 25° C, cms.*	T-51	D-113	100-	100-	100-	100-	100+	100-
Solubilidad en C Cl. %	T-44**	D-4**	99,5+	99,5+	99,5+	99,5-	99,5+	99,5-
Condiciones generales.			El material no contendrá agua.					

* Si la penetración del residuo es superior a 200 y su ductilidad a 25° C es inferior a 100, el material será aceptable si su ductilidad a 15,6° C es 100-.

** Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.° 1 del Método AASHO T-4el n.° 4, o 1 del Método ASTM D-4.

e) Road-oil: Fracción pesada del petróleo, usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC) (ver tabla IV-4).

f) Asfalto emulsificado: Emulsión de betún asfáltico en agua que contiene pequeñas cantidades de agentes emulsificantes; es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto y agua), en el que el agua forma la fase continua de la emulsión y la fase discontinua esta constituida por pequeños glóbulos de asfalto (ver tabla IV-5). Los asfaltos emulsificados pueden ser de tipo aniónico o catiónico, según el tipo de agente emulsificante empleado.

g) Emulsion asfáltica inversa: Emulsion asfáltica en la que la fase continua es asfalto, usualmente de tipo líquido, y la fase discontinua esta constituida por diminutos glóbulos de agua en proporción relativamente pequeña. Este tipo de emulsion puede ser también aniónica o catiónica.

- Asfalto Natural (Nativo): Asfalto que se da en la Naturaleza y que se ha producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas. Los yacimientos más importantes de asfaltos nativos se encuentran en los lagos de Trinidad y Bermudez. El asfalto procedente de estos puntos se llama frecuentemente asfalto de lago.

- Asfalto Oxidado o Soplado: Asfalto a través de cuya masa, a elevada temperatura, se ha hecho pasar aire para darle las características necesarias para ciertos usos especiales, como fabricación de materiales para techados, revestimientos de tubos, inyección bajo pavimentos de hormigón hidráulico, membranas envolventes y aplicaciones hidráulicas.

- Asfalto Sólido o Duro: Asfalto cuya penetración a temperatura ambiente es menor que 10.

- Betún: Mezcla de hidrocarburos de origen natural o pirogénico, o de ambos tipos, frecuentemente acompañados por sus derivados no metálicos, que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

Tabla IV-4—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO LENTO (SC)

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	GRADOS					
			SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5
Punto de inflamación, vaso abierto, °C.	T-48	D-92	65,6+	65,6+	79,4+	93,3+	107,2+	121,1+
Viscosidad Furol a 25° C, seg.			75-150	—	—	—	—	—
» » a 50° C, seg.			—	75-150	—	—	—	—
» » a 60° C, seg.	T-72	D-88	—	—	100-200	250-500	—	—
» » a 82,2° C, seg.			—	—	—	—	125-250	300-600
Agua %	T-55	D-95	0,5—	0,5—	0,0	0,0	0,0	0,0
Destilación:								
Total destilado a 360° C.	T-78	D-402	15-40	10-30	5-25	2-15	10—	5—
Ensayo del flotador sobre el residuo de destilación a 50° C, seg.	T-50	D-139	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150	75-200
Residuo asfáltico de penetración 100, %		D-243	40+	50+	60+	70+	75+	80+
Ductilidad del residuo asfáltico de penetración 100, a 25° C, cms.	T-51	D-113	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Solubilidad en C Cl ₄ %	T-44*	D-4*	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+

* Salvo que se emplee tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.º 1 del Método AASHO T-44, o el n.º 1 del Método ASTM D-4. Si el material no cumple las condiciones de solubilidad será aceptable si la solubilidad en sulfuro de carbono es 99 % +, y la proporción de betún (material soluble en sulfuro de carbono) soluble en tetracloruro de carbono es 99 65 %

- **Betón Asfáltico:** Asfalto refinado para satisfacer las especificaciones establecidas para los materiales empleados en pavimentación. (ver tabla IV-1). Las penetraciones normales de los betunes asfálticos estan comprendidas entre 40 y 300.
- **Fluxante o Aceite Fluxante:** Fracción de petróleo relativamente poco volátil que puede emplearse para ablandar el asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimiento de cubiertas.
- **Gilsonita:** Tipo de asfalto natural duro y quebradizo que se presenta en grietas de rocas o filones de los que se extrae.
- **Material Asfáltico para Relleno de Juntas:** Producto asfáltico empleado para llenar grietas y juntas en pavimentos y otras estructuras.
- **Material Asfáltico Prefabricado para Relleno de Juntas:** Tiras prefabricadas de asfalto mezclado con sustancias minerales muy finas, materiales fibrosos, corcho, aserrín, etc., de dimensiones adecuadas para la construcción de juntas.
- **Paneles Prefabricados de Asfalto:** Compuestos generalmente de una parte central de asfalto, minerales y fibras, cubierta por ambos lados con una capa de fieltro impregnado de asfalto y revestido en el exterior con asfalto aplicado en caliente. Los paneles se fabrican por aplicación de presión y calor, en anchuras de 90 cm a 1,20 m, con un espesor que varía de 9 a 25 mm en la longitud que se desee.
- **Pintura Asfáltica:** Producto asfáltico líquido que a veces contiene pequeñas cantidades de otros materiales, como negro de humo, polvo de aluminio y pigmentos minerales.
- **Producto Asfáltico de Imprimación:** Asfalto líquido de baja viscosidad que penetra en una superficie no bituminosa cuando se aplica sobre ella.
- **Roca Asfáltica:** Roca porosa como, por ejemplo, arenisca o caliza, que se ha impregnado con asfalto natural a lo largo de su vida geológica.

Tabla IV-5—ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	GRADOS			
			Ruptura rápida		Ruptura media	Ruptura lenta
			RS-1	RS-2	MS-2	SS-1
ENSAYOS SOBRE LA EMULSION						
Viscosidad Furol a 25° C, seg.			20-100	—	100+	20-100
" " a 50° C, seg.			—	75-400	—	—
Residuo de la destilación, %			57-62	62-68	62-68	57-62
Sedimentación, 8 días, %			3—	3—	3—	3—
Demulabilidad:	T-50	D-244				
35 ml. de Cl. Ca, 0.02 N, %			60+	50+	—	—
50 ml. de Cl. Ca, 0.02 N, %			—	—	30—	—
Tamizado (retenido en el tamiz n.° 20) %			0,10—	0,10—	0,10—	0,10—
Mezcla con cemento %			—	—	—	2,0—
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO						
Penetración, 25° C, 100 gr., 5 seg.	T-49	D-5	100-200	100-200	100-200	100-200*
Solubilidad en C. Cl., %	T-44**	D-4*	97,5+	97,5+	97,5+	97,5+
Ductilidad, 25° C, cms.	T-51	D-113	40+	40+	40+	40+

* Para algunos usos especiales, tales como emulsión asfáltica diluida para capas de sellado, puede preferirse un residuo de penetración inferior. En tales casos la penetración del residuo a 25° C debe ser 40-90 y el grado se designará como SS-1h.

** Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.° 1 del Método AASHO. T-44, o el n.° 1 del Método ASTM D-4.

- **Tablones Asfálticos:** Mezclas premoldeadas de asfalto, fibras y filler mineral, reforzadas a veces con malla de acero o fibra de vidrio. Se fabrican usualmente en longitudes de 90 cm a 2,40 m y anchuras de 15 a 30 cm. Los tablones asfálticos pueden contener también arena silíceas que hace que conserven durante toda su vida una textura superficial de papel de lija.

11.2.B Pavimentos Asfálticos y Tratamientos Superficiales.

- **Arena-Asfalto:** Mezcla de arena y betún asfáltico o asfalto líquido preparada con o sin especial fiscalización de la granulometría de los áridos y con o sin filler mineral. Puede prepararse por mezcla "in situ" o en instalación mezcladora. La arena-asfalto se emplea en construcción de capas de base y de superficie.

- **Aridos de Granulometría Abierta:** Aridos que no contienen filler mineral o contienen muy poco, en los que los huecos de los áridos compactados son relativamente grandes.

- **Aridos de Granulometría Cerrada:** Aridos uniformemente graduados desde el tamaño máximo hasta el polvo mineral, del que contienen cantidad suficiente para reducir los huecos de los áridos compactados a dimensiones muy pequeñas que se aproximan al tamaño de los huecos del polvo.

- **Aridos Finos:** Los que pasan el tamiz número 8.

- **Aridos Graduados:** Aridos con granulometría continua, desde los tamaños gruesos a los finos.

- **Aridos Gruesos:** Los retenidos en el tamiz número 8.

- **Aridos para Macadam:** Aridos gruesos, usualmente piedra, escorias o grava machacada, de tamaño uniforme.

- **Base Asfáltica:** Capa de cimentación compuesta de áridos aglomerados con material asfáltico.

- **Capa Asfáltica de Nivelación:** Capa de espesor variable empleada para eliminar las irregularidades de una superficie existente antes de cubrirla con un nuevo tratamiento o capa.

- **Capa Asfáltica de Superficie:** Capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también, a veces, capa asfáltica de desgaste.

- **Capa Asfáltica Intermedia:** Capa intermedia entre una capa de base y una capa asfáltica superficial. La capa de enlace es normalmente un hormigón asfáltico con áridos gruesos que contiene una proporción pequeña o nula de áridos que pasen por el tamiz número 200.

- **Capa de Adherencia Asfáltica:** Aplicación de material asfáltico a una superficie existente para asegurar una perfecta unión entre la antigua superficie y las nuevas capas aplicadas.

- **Capa de Base:** Capa de material situada inmediatamente bajo la capa intermedia. Puede componerse de piedra machacada, escoria machacada, grava, machacada o no, y arena, o combinaciones de estos materiales. (ver también: Capa de base asfáltica).

- **Estructura del Pavimento:** Conjunto de capas de materiales seleccionados situadas sobre la explanación.

- **Estructura del Pavimento Asfáltico** (llamada también a veces estructura del pavimento flexible): Capas de mezcla de asfalto y áridos, juntamente con cualquier capa no rígida comprendida entre las capas asfálticas y la cimentación o terreno natural. La palabra flexible, empleada a veces en relación con los pavimentos asfálticos, se refiere a la posibilidad de estas estructuras de adaptarse a los asentos de la cimentación.

- **Estructuras de Pavimento de tipo Compuesto:** Son las obtenidas cuando el pavimento asfáltico se aplica sobre un antiguo pavimento de hormigón hidráulico, sobre una base de hormigón hidráulico o sobre otra capa de base tipo rígido.

- **Filler Mineral:** Producto mineral finamente dividido al menos el 65% pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedra, sílice, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales

naturales muy finas.

- **Hormigón Asfáltico:** Mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada, de betón asfáltico y áridos de alta calidad bien graduados, que se compactan perfectamente hasta formar una masa densa y uniforme.

- **Hormigón Asfáltico para Tráfico Pesado:** Hormigón asfáltico de la mejor calidad, del que son representativas las mezclas tipo IV especificadas por el Instituto de Asfalto.

- **Imprimación Asfáltica:** Aplicación a una superficie absorbente de un material asfáltico líquido de baja viscosidad como preparación para cualquier tratamiento o construcción posteriores. El objeto de la imprimación es saturar la superficie existente llenando sus huecos, revestir y unir entre sí el polvo y las partículas minerales sueltas y endurecer la superficie, favoreciendo la adherencia entre ella y el tratamiento o construcción posteriores.

- **Lechada Asfáltica:** Mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta de tipo SS-1 o SS-1-h, áridos finos y filler mineral, con el agua necesaria para obtener una consistencia de lechada.

- **Macadam Asfáltico:** Material empleado en la construcción de pavimentos en el que se emplean áridos gruesos de granulometría abierta que se producen usualmente machacando y tamizando piedra, escorias o grava. Estos áridos se llaman áridos para macadam. El asfalto puede incorporarse al macadam por penetración o por mezclado.

- **Mástico Asfáltico:** Mezcla de asfalto y material mineral en tales proporciones que pueda extenderse en caliente o frío compactándola con llana hasta obtener una superficie lisa.

- **Mezclas Aplicadas en Caliente:** Mezclas en instalación mezcladora que deben extenderse y compactarse mientras aún están calientes. Los pavimentos asfálticos de mejor calidad se construyen empleando este tipo de mezclas.

- **Mezclas Aplicadas en Frío:** Mezclas en instalación mezcladora que pueden extenderse y compactarse a temperatura ambiente.

- Mezclas en Instalación Mezcladora: Mezclas en una instalación mezcladora mecánica central (o ambulante) de áridos y betún asfáltico o asfalto líquido que se aplica después sobre el camino. La dosificación de las diversas fracciones de los áridos y del aglomerante asfáltico se fiscaliza cuidadosamente, y usualmente los áridos se secan y calientan antes del mezclado.

- Mezcla "In Situ": Capa asfáltica producida mezclando los áridos y un asfalto líquido por medio de instalaciones mezcladoras ambulantes, motoniveladoras, gradas de discos, rastras o maquinaria especial para mezclar "in situ".

- Pavimentos Asfálticos: Pavimentos compuestos de una capa de superficie de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, con un espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como bases asfálticas, piedra machacada, escoria o grava; o sobre hormigón hidráulico o pavimentos de ladrillo o bloques. (ver fig. II-1).

- Pavimentos de Bloques Asfálticos: Pavimentos en los que la capa de superficie esta constituida por bloques asfálticos. Estos bloques se colocan regularmente en capas, como en los pavimentos de ladrillos.

- Pavimentos de roca Asfáltica: Pavimentos contruidos de roca asfáltica preparada y tratada con asfalto fluxante si es necesario para su aplicación.

- Polvo Mineral: porción de los áridos finos que pasa por el tamiz numero 200.

- Recargo Asfáltico: Capa o capas asfálticas aplicadas sobre un pavimento existente, con un espesor total no inferior a 25 mm. El recargo asfáltico incluye generalmente una capa de nivelación, para corregir la sección transversal del pavimento antiguo, seguida de una o varias capas de espesor uniforme hasta obtener el espesor total necesario. Cuando el recargo se aplica sobre pavimentos de tipo rígido el espesor no debe ser inferior a 75 mm para reducir al mínimo la transmisión de grietas y juntas a través de las capas asfálticas. Las condiciones en que se encuentra el pavimento antiguo y el tráfico que haya de soportar, determinan en cada caso el

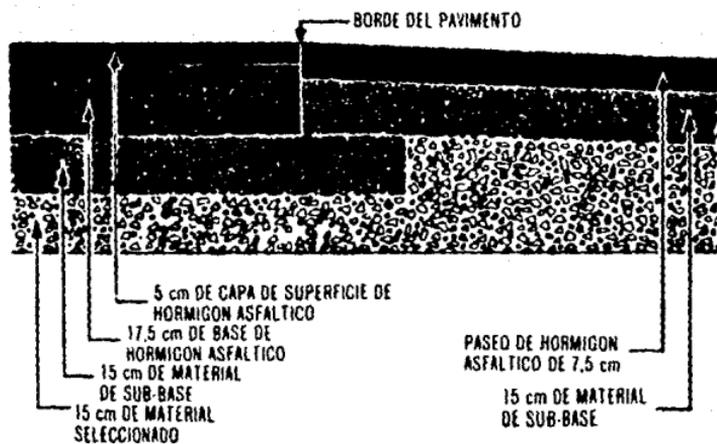


Figura II-1. Sección típica.

espesor necesario.

- Riego en Negro: Tratamiento asfáltico superficial muy ligero que no se cubre de áridos.

- ~~Sallado~~ Asfáltico: Tratamiento asfáltico superficial de pequeño espesor aplicado a un pavimento existente.

- "Sheet Asphalt": Mezcla en caliente de betún asfáltico, arena limpia bien graduada de partículas angulosas y filler mineral. Normalmente solo se emplea en capas de superficie, extendidas usualmente sobre una capa de enlace o de nivelación.

- "Sheet Asphalt" con Piedra: "Sheet asphalt" que contiene hasta el 25% de áridos gruesos.

- Subbase: Capa de la estructura del pavimento asfáltico situada inmediatamente bajo la capa de base. Si el terreno de base es de calidad adecuada puede servir como subbase.

- Terreno de Base: Capa superior de material colocado en los terraplenes, o no movido de las trincheras, en la normal preparación de la explanación. Se emplea como cimentación para la estructura del pavimento asfáltico. Sin embargo, si el terreno de base es de alto poder portante y esta adecuadamente compactado, puede sustituir a las capas de terreno mejorado, subbase o incluso de base de la estructura del pavimento asfáltico según su calidad. El terreno de base se indica también a veces con la expresión "terreno de cimentación".

- Terreno Mejorado: Cualquier capa o capas de material seleccionado o mejorado situadas entre el terreno de base y la subbase. El terreno mejorado puede componerse de dos o más capas de materiales de diferente calidad.

- Tratamientos Asfálticos Superficiales: Son aplicaciones a cualquier tipo de superficie de materiales asfálticos, con o sin cubrición de áridos minerales, que producen un incremento en el espesor inferior a 25 mm.

- Tratamientos Superficiales Múltiples: Consisten normalmente en dos o tres aplicaciones sucesivas de material asfáltico y

áridos. (Los tratamientos denominados de penetración inversa son esencialmente tratamientos superficiales múltiples).

11.3 PRUEBAS DE LABORATORIO.

11.3.A Materiales Asfálticos.

Generalidades: El asfalto se presenta en una amplia variedad de tipos y grados normalizados. En los siguientes párrafos se describen brevemente los ensayos de laboratorio necesarios para determinar si los asfaltos cumplen con estas especificaciones, y se hace referencia a los métodos de ensayo normalizados. Para mayor comodidad, los ensayos aplicables a cada tipo de asfalto se han agrupado y aparecen en el orden en que se citan en las tablas de características (IV-1, 2, 3, 4, 5) descritas anteriormente.

- Betún Asfáltico.

Penetración: El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 grados C, que la aguja esta cargada con 100 gr y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima del milímetro. Es evidente que cuanto mas blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto de Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49 y en el ASTM D5.

Viscosidad: La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad cinemática.

En el ensayo de Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad específica de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100 gr C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material.

Cuando mas viscosos son los materiales mas tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. Los valores obtenidos se expresan como segundos Saybolt-Furol (SSF). Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E102.

La viscosidad cinemática del betún se mide normalmente con viscosímetros de tubo capilar de cristal como el descrito en el apéndice F del método D445, ASTM. Como consecuencia de la comodidad del ensayo y de la mayor exactitud de los resultados, hay una reciente tendencia a medir la viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados. Para este ensayo son necesarios, como consecuencia de la amplia gama de viscosidades de los asfaltos, varios viscosímetros calibrados que difieren entre sí en el tamaño del tubo capilar. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluyan un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura de liquido, rigidamente controladas. Mediante el tiempo medido, en segundos, y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centistokes.

El procedimiento de ensayo, los aparatos necesarios y el procedimiento de calibración para el viscosímetro se describen en el método ASTM D445. En los apéndices D, H y G del

mismo se describen procedimientos de ensayo empleando tres tipos diferentes de viscosímetros de tubo capilar.

Los factores de conversión para transformar las viscosidades cinemáticas en segundos Saybolt-Furol dentro de determinados márgenes de temperaturas están contenidos en la publicación ASTM "Viscosity Tables for Kinematic Viscosity Conversions and Viscosity Index Calculations".

Puntos de Inflamación: El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a la que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo en vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos AASHTO T48 y ASTM D92. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

A veces se emplea para los betunes asfálticos el punto de inflamación Pensky-Martens. Se emplea con los mismos fines que el ensayo en vaso abierto Cleveland que acabamos de describir. Sin embargo, el material necesario y el procedimiento de ensayo difieren esencialmente en que se preve la continua agitación de la muestra durante el período de ensayo. El material y procedimiento de aplicación de este ensayo se describen en el método AASHTO T33 y ASTM D93.

Ensayo en Estufa en Película Delgada: El ensayo en estufa en película delgada se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en un betún asfáltico durante las operaciones de mezclado en la instalación mezcladora.

Esta tendencia al endurecimiento se mide por ensayos de penetración realizados antes y después del tratamiento en

estufa. Se expresa la penetración del betún asfáltico despues del tratamiento en la estufa como porcentaje de la penetración antes del tratamiento. Las especificaciones prescriben valores minimos para el porcentaje de penetración retenido (ver tabla IV-1), que varían para los diferentes tipos de betún asfáltico. El Instituto de Asfalto considera que el cambio en peso del betún asfáltico durante el ensayo no tiene gran trascendencia, y por ello no lo incluye en sus especificaciones.

Este ensayo se realiza colocando una muestra de 50 gr de betún asfáltico en un recipiente cilindrico de 13,97 cm (5,5") de diámetro interior y 9,525 mm (3/8") de profundidad, con fondo plano. Así se obtiene una probeta de asfalto de un espesor aproximado de 3 mm. El recipiente de la probeta se coloca en un soporte giratorio en un horno bien ventilado y se mantiene a una temperatura de 163 g C durante 5 h. Después se vierte el betún asfáltico en un recipiente normal de los empleados en el ensayo de penetración. El procedimiento a seguir en la realización del ensayo en horno de película delgada se explica con detalle en el método AASHO T19.

El ensayo en horno en película delgada ha sustituido al ensayo de pérdida por calentamiento (método AASHO T47 y ASTM D1754) en las especificaciones de muchos Organismos, entre los que se incluye el Instituto de Asfalto.

Ductilidad: La ductilidad es un característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente mas susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras que en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y el relleno de grietas, la propiedad mas esencial es un baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

La ductilidad del betún asfáltico se mide en un ensayo de extensión. El ensayo consiste en moldear en condiciones y

con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete a la temperatura normalizada de ensayo y se somete a alargamiento con una velocidad específica hasta que el hilo que une los dos extremos rompe. La longitud (en cm) a la que el hilo del material se rompe define la ductilidad. Las condiciones normalizadas para este ensayo se determinan detalladamente en los métodos AASHO T51 y ASTM D113.

Solubilidad: El ensayo de solubilidad determina el contenido en betún del betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono esta constituida por los elementos aglomerantes activos.

La mayor parte de los betunes asfálticos se disuelven en igual proporción en sulfuro de carbono y en tetracloruro de carbono. Como el tetracloruro de carbono no es inflamable, es el disolvente preferido en la mayor parte de los casos.

La determinación de la solubilidad es sencillamente un proceso de disolución del betún asfáltico en un disolvente separando la materia insoluble. El material y procedimiento necesarios para la realización del ensayo se describen detalladamente en los métodos AASHO T44 y ASTM D4.

Peso Especifico: Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expansionan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y la del agua. Así, por ejemplo, P.E. a 15/15 g C indica que la determinación se ha hecho con ambos materiales a una temperatura de 15 g C. El peso específico

del betún asfáltico se determina normalmente por el método del pignómetro, descrito en los métodos AASHO T43 y ASTM D70.

Punto de Reblandecimiento: Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales mas duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la mezcla se sitúa una bola de acero y dimensiones de peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento de asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T53 y ASTM D36.

- Asfalto Líquido de Curado Rápido y Medio.

Punto de inflamación: El punto de inflamación de los asfaltos fluidificados se mide mediante el ensayo de punto de inflamación en vaso abierto. La finalidad del ensayo es la misma indicada para los betunes asfálticos. El aparato se modifica para hacer posible el calentamiento indirecto del asfalto fluidificado. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T79 y ASTM D1310.

Viscosidad: La consistencia o resistencia a fluir de los asfaltos fluidificados o asfaltos líquidos de curado lento se mide normalmente en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol, en forma esencialmente idéntica a la descrita para los betunes asfálticos. Como las temperaturas de ensayo empleadas en los asfaltos líquidos son generalmente mas bajas que en los betunes asfálticos, se emplea normalmente agua como fluido de calentamiento para el baño termostático. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se descri-

ben con detalle en los métodos AASHO T201 y ASTM D2170.

Lo mismo que en el caso de los betunes asfálticos, existe cierta tendencia a medir la viscosidad en unidades fundamentales (centistokes) con los viscosímetros de flujo en tubo capilar de cristal que se describieron para los betunes asfálticos.

En la figura III-7 se indica la amplia gama de viscosidades de los asfaltos fluidificados y de los asfaltos líquidos de curado lento (SC), que se discuten mas adelante, a la misma temperatura (60 g C). Como consecuencia de la amplitud de este campo de variación, las especificaciones del Instituto de ASfalto exigen que las determinaciones de la viscosidad de los diferentes grados se realicen a diferentes temperaturas (ver las tablas IV-2, 3 y 4), como se indica a continuación:

- RC0, MC0, SC0: Viscosidad Furol a 25 g C.
- RC1, MC1, SC1: Viscosidad Furol a 50 g C.
- RC2, 3, MC2, 3, SC2, 3: Viscosidad Furol a 60 g C.
- RC4, 5, MC4, 5, SC4, 5: Viscosidad Furol a 82 g C.

Figura III-7. Viscosidad Saybolt-Furol aproximada a 60 g C.

15 a 30	RC-0	MC-0	SC-0
40 a 80	RC-1	MC-1	SC-1
100 a 200	RC-2	MC-2	SC-2
250 a 500	RC-3	MC-3	SC-3
600 a 1200	RC-4	MC-4	SC-4
1500 a 3000	RC-5	MC-5	SC-5

Destilación: El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de betún asfáltico y disolventes presentes en el asfalto fluidificado. Se emplea también para medir las cantidades de disolvente que destilan

a diversas temperaturas, que indican las características de evaporación del disolvente. Estas, a su vez, indican la velocidad a que el material curará después de su aplicación. El asfalto recuperado en el ensayo puede emplearse para realizar los ensayos descritos al hablar de betunes asfálticos.

El ensayo se realiza colocando una cantidad específica de asfalto fluidificado en un matraz de destilación conectado a un condensador. El asfalto fluidificado se calienta gradualmente hasta una temperatura especificada y se anota la cantidad de disolvente destilada a diversas temperaturas. Cuando se alcanza la temperatura de 360 g C se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en volumen de la muestra original. Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo de destilación sobre los asfaltos fluidificados se detallan en los métodos AASHO T78 y ASTM D402.

Ensayos Sobre el Residuo de Destilación: Normalmente se determinan la penetración, ductilidad y solubilidad del asfalto residuo del ensayo de destilación (ver estos ensayos anteriormente).

Peso Específico: Aunque no se especifica normalmente, es deseable conocer el peso específico de los asfaltos fluidificados empleados. Este conocimiento puede servir para hacer las correcciones de volumen cuando se miden volúmenes a temperaturas elevadas. El peso específico de los asfaltos fluidificados se determina normalmente por el método del pignómetro descrito en los métodos AASHO T43 y ASTM D70.

- Asfalto Líquido de Curado Lento (SC).

Punto de Inflamación: Los aparatos, procedimiento y finalidad de este ensayo son los indicados para los betunes asfálticos.

Viscosidad: Los aparatos, procedimiento y finalidad de este ensayo son los descritos para los asfaltos fluidificados.

Contenido de Humedad: Se coloca en una retorta de metal un volumen medido de asfalto que se mezcla perfectamente con

un disolvente de tipo nafta. La retorta esta provista de un condensador de reflujo que descarga en un colector graduado. Se aplica calor a la retorta y el agua contenida en la muestra se recoge en el colector. El volumen de agua se mide y expresa en porcentaje en volumen de la mezcla original. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T55 y ASTM D95.

Destilación: Los aparatos, procedimiento y la finalidad de este ensayo son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados, salvo que solamente se mide el disolvente destilado a 360 g c y no a diversas temperaturas, como para los asfaltos fluidificados. La razón de esta diferencia es que el disolvente contenido en los asfaltos líquidos tipo SC es de evaporación lenta y no se pretende que estos productos curen como los asfaltos fluidificados.

Flotador: El ensayo de flotador se hace sobre el residuo de destilación de los asfaltos líquidos tipo SC. Este ensayo es un ensayo de viscosidad modificado, y se emplea porque el residuo es usualmente demasiado blando para el ensayo de penetración o de volumen demasiado pequeño para la determinación de la viscosidad Saybolt-Furöl. Su finalidad, por consiguiente, se reduce a dar una indicación de la consistencia de los productos con estas limitaciones.

En el ensayo se solidifica un tapón del residuo asfáltico en el orificio del fondo del flotador por enfriamiento a 5 g C. Después se coloca el flotador en agua a 50 g c y se determina el tiempo necesario para que el agua pase a través del tapón. En las especificaciones se fijan los valores que deben obtenerse en los distintos grados de asfalto líquido de tipo SC. El ensayo se describe en los métodos AASHO T50 y ASTM D139.

Asfalto Residual de Penetración 100: Este ensayo se hace sobre productos de tipo SC. Como la velocidad de curado de un material de tipo SC es muy lenta, puede alcanzar durante su vida una penetración de 100 o no alcanzarla. El principal valor del ensayo es que da un residuo sobre el que pueden realizarse los ensayos normalizados para betunes asfálticos.

Se calienta una muestra de asfalto líquido SC a una temperatura de 250-260 g C, manteniéndola a esa temperatura

hasta que pierde suficientes aceites para alcanzar una penetración de 100. Después se determina el porcentaje en peso de betún asfáltico restante. Las especificaciones prescriben proporciones mínimas de este residuo para cada grupo de asfalto líquido SC. El procedimiento de ensayo se describe en los métodos AASHO T56 y ASTM D243.

Ductilidad: Normalmente se determina en los asfaltos líquidos de curado lento la ductilidad del asfalto residual de penetración 100.

Solubilidad: Los aparatos, procedimiento y finalidad del ensayo de solubilidad para asfaltos líquidos de tipo SC son los mismos descritos para los betunes asfálticos.

Peso Específico: Los procedimientos y finalidad de la determinación del peso específico para los asfaltos líquidos de curado lento son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados.

- Emulsión Asfáltica.

Viscosidad: Los aparatos, procedimiento y finalidad del ensayo de viscosidad de los asfaltos emulsificados o emulsiones asfálticas son esencialmente los mismos descritos para los asfaltos fluidificados. Los aparatos y procedimiento se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

Residuo de Destilación: En las emulsiones asfálticas se emplea el ensayo de destilación para determinar las proporciones de asfalto y obtener asfalto puro para su ensayo. El procedimiento de ensayo es esencialmente el mismo descrito para los asfaltos fluidificados, salvo que se emplea una retorta de hierro y quemadores anulares en lugar de matraz de vidrio y mechero Bunsen. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

Sedimentación: El ensayo de sedimentación determina la tendencia a sedimentar de los glóbulos de asfalto durante el almacenaje de una emulsión asfáltica. Se deja en reposo, durante cinco días, una muestra de emulsión asfáltica en un cilindro graduado, después de lo cual se determina la diferencia en contenido de asfalto entre el fondo y la

superficie de la muestra. El procedimiento y material necesario se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

Demulsibilidad: El ensayo de demulsibilidad da una indicación de la velocidad relativa que los glóbulos coloidales de asfalto de las emulsiones de rotura rápida y media se unirán entre sí (o la emulsión romperá) cuando la emulsión se extienda en película delgada sobre el terreno o sobre los áridos. El cloruro cálcico coagula o floccula los diminutos glóbulos de asfalto presentes en estas emulsiones. En el ensayo se mezcla con emulsión asfáltica una solución de cloruro cálcico en agua, tamizando a continuación la mezcla para determinar la cantidad de asfalto separada de la emulsión.

En el ensayo de las emulsiones de rotura rápida (RS) se emplea una solución muy débil de cloruro cálcico; las especificaciones determinan la concentración de la solución y la cantidad mínima de asfalto que debe quedar en el tamiz. En este tipo de emulsiones es necesario un alto grado de demulsibilidad, ya que se espera de ellas que rompan casi inmediatamente al contacto con los áridos a los que se aplican.

El ensayo de las emulsiones de rotura media (MS) exige el empleo de una solución de cloruro cálcico mas fuerte que la empleada en el ensayo de los tipos de rotura rápida. En las aplicaciones en las que se especifica el tipo MS no se desea la rápida coalescencia del asfalto, y las especificaciones determinan normalmente, para estos productos, un límite máximo de la demulsibilidad, así como la concentración de la solución. El material y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

Ensayo de Tamizado: El ensayo de tamizado complementa al de sedimentación y tiene un propósito en cierto modo similar. Se emplea para determinar cuantitativamente el porcentaje de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes. Estos glóbulos no dan revestimientos delgados y uniformes de asfalto sobre las partículas de áridos y pueden ser, o no ser, identificados por el ensayo de sedimentación, que solamente tiene valor en este aspecto cuando hay suficiente diferencia entre el peso específico del asfalto y el del agua

para permitir que se produzca la sedimentación.

En el ensayo de tamizado se hace pasar una muestra representativa de la emulsion asfáltica a través de un tamiz número 20. El tamiz y el asfalto retenido se lavan a continuación con una solución diluida de oleato sólido y, finalmente, con agua destilada. Después del lavado, el tamiz y el asfalto se secan en estufa y se determina la cantidad de asfalto retenido. El procedimiento y aparatos necesarios para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

Mezclado con Cemento: El ensayo de mezclado con cemento desempeña en las emulsiones asfálticas de rotura lenta (SS) un papel análogo al del ensayo de demulsibilidad en los tipos de rotura rápida o media. Los tipos SS se destinan al empleo con materiales finos y áridos con polvo, y normalmente no son afectados por las soluciones de cloruro cálcico empleadas en el ensayo de demulsibilidad.

En el ensayo de mezclado con cemento se mezcla una muestra de emulsion asfáltica con cemento Portland de gran finura de molido, y la mezcla se hace pasar con la ayuda del agua, a través de un tamiz número 14. Las especificaciones limitan usualmente la cantidad de material que puede admitirse quede retenida en el tamiz. Los materiales y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T29 y ASTM D244.

Ensayos Sobre el Residuo: Usualmente se realizan sobre el residuo de destilación los ensayos de penetración, solubilidad y ductilidad correspondientes a los betunes asfálticos.

Peso Específico: La finalidad y procedimientos para realizar el ensayo de peso específico en los asfaltos emulsificados son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados.

11.3.B Áridos.

Generalidades: Los áridos se emplean, combinados con asfaltos de diversos tipos, para preparar mezclas de utilidades muy diversas. Como los áridos constituyen normalmente

el 90% en peso o fluencia sobre las del producto terminado. Los áridos mas empleados son piedra y escoria partidas, grava machacada o natural, arena y filler mineral. En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de los áridos es tan importante como el de las del asfalto. En los siguientes párrafos se describen brevemente los ensayos normalmente realizados sobre los áridos, y se hace referencia a los procedimientos normalizados para la realización de estos ensayos.

Para obtener muestras representativas de los áridos deben emplearse procedimientos adecuados de toma de muestras. La toma de muestras se describe con toda extensión en el Asphalt Plant Manual, Asphalt Institute Manual Series numero 3. Los métodos AASHTO T2 y ASTM D75 especifican procedimientos normalizados para la toma de muestras de áridos.

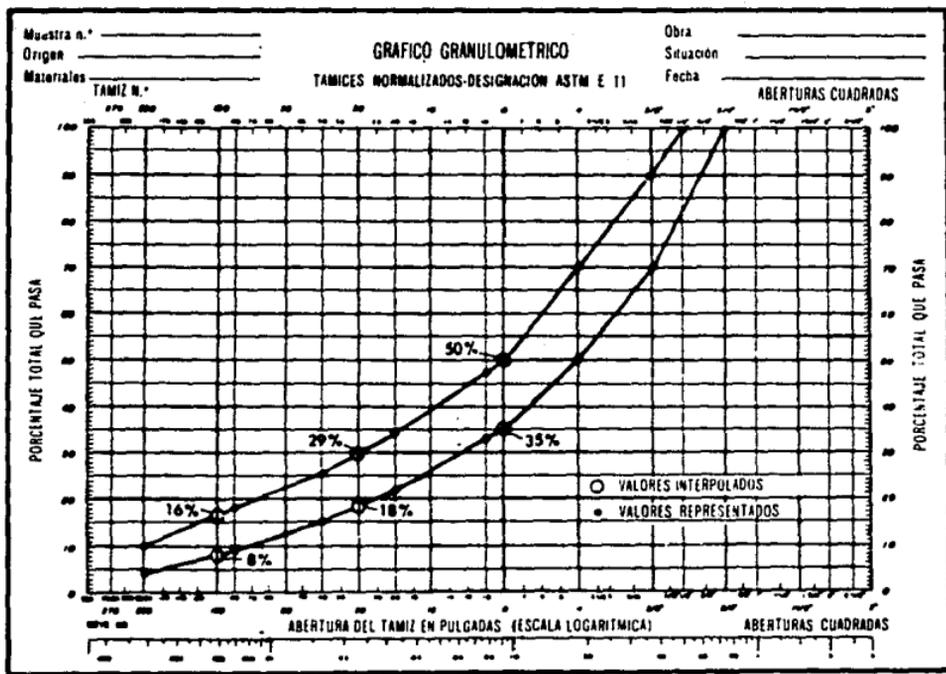
Tamizado: Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en unos áridos: tamizado por vía seca y tamizado por vía húmeda.

a) Tamizado por vía seca: Se agita una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices son aberturas cuadradas. Los tamices estan unidos de forma que el de mayor abertura esta en la parte superior y los de aberturas sucesivamente mas pequeñas estan situados debajo. Bajo el ultimo tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico figura III-11. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, en peso, que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son un cómodo instrumento que da rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

Los tamices usados normalmente en las mezclas asfálticas para pavimentación son las de abertura cuadrada de 2 1/2, 2, 1 1/2, 1 3/4, 1/2 y 3/8 de pulgada y los de 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 mallas por pulgada lineal. Para los elementos finos se emplean a veces tamices de 4, 10, 40, 80 y 200 mallas por

Figura III-1. Curvas granulométricas de los áridos.



pulgada lineal.

Las especificaciones AASHO M92 y ASTM E11 fijan las características normalizadas de estos tamices. Los métodos de ensayo AASHO T27 y ASTM C136 indican procedimientos normalizados para realizar el análisis granulométrico por vía seca de los áridos gruesos y finos. Los procedimientos para la realización del análisis granulométrico del filler mineral se dan en los métodos AASHO T37 y ASTM D546.

b) Análisis granulométrico por vía húmeda: Este método de ensayo da un procedimiento para determinar por vía húmeda la distribución de tamaños de los áridos gruesos y finos. Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que puede pegarse a las partículas mas gruesas. En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son evidentemente erróneos.

Para detalles de este ensayo véase la obra Plant Inspector's Manual M.S. 3 del Asphalt Institute.

Equivalente de Arena: Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz numero 4.

Se coloca una muestra de material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro calcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un período de sedimentación de 20 min se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla. A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la

relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen en el método AASHO T176.

Abrasión (Desgaste): El ensayo de abrasión de Los Angeles se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o a la abrasión. (El porcentaje de desgaste medido por el ensayo Los Angeles no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico). La máquina de desgaste Los Angeles tiene un tambor el cual se carga con una cantidad fija de áridos cuya granulometría es la que más se aproxima a la que se pretende usar de 7 granulometrías normalizadas, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHO T96 y ASTM C131.

Ensayo de Resistencia a los Sulfatos: El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El ensayo se realiza con áridos que no han dado buen resultado durante su empleo. Mide la resistencia de los áridos a la disgregación por soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

El ensayo se hace sumergiendo recipientes con fracciones de tamaños clasificados de muestras de áridos en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio. Los recipientes están contruidos de tal forma que permiten la libre entrada y salida de la solución en la masa de la muestra sin pérdida de áridos. Después de la inmersión se secan las muestras en estufa. Tras un número determinado de ciclos de inmersión y secado se determina por tamizado el porcentaje de pérdida de

peso. Basándose en la granulometría de la muestra original se determinan los porcentajes de pérdida de peso para cada fracción granulométrica. El total de estos valores es el porcentaje de pérdida resultado del ensayo. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHTO T104 y ASTM C88.

Peso Especifico: Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

1. Para permitir el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
2. Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Hay tres tipos ampliamente usados de peso específico de los áridos:

1. Peso específico aparente.
2. Peso específico aparente con áridos saturados.
3. Peso específico efectivo.

La designación AASHTO M132 define el peso específico aparente como sigue: "Relación del peso en aire de un volumen dado de la porción impermeable de un material permeable (esto es, la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables) a una temperatura determinada, al peso en aire del mismo volumen de agua destilada a temperatura determinada."

Define el peso específico aparente con áridos saturados como sigue: "Relación del peso en aire de un volumen dado de un material permeable (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material) a una temperatura dada, al peso en aire de igual volumen de agua destilada a temperatura dada."

Como se ve por estas definiciones, la diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos permeables al agua de los áridos. Como el volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los

huecos impermeables, mientras que el volumen para el peso específico aparente excluye estos huecos, es evidente que el volumen correspondiente al peso específico aparente es más pequeño que el empleado para el peso específico aparente con áridos saturados, si los áridos tienen huecos permeables. Si no existen tales huecos, ambos volúmenes son iguales.

Como el peso específico es una relación peso-volumen, se deduce que el peso específico aparente es mayor que el peso específico aparente con áridos saturados en áridos que contienen huecos permeables, y que ambos valores son iguales para áridos que no contienen huecos de este tipo. De esta forma, en áridos que contienen huecos permeables, la elección de uno u otro tipo de peso específico puede tener un efecto apreciable sobre la proporción de huecos calculada en una mezcla asfáltica compactada.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetra en los huecos permeables al agua. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetrará en los huecos menos que el agua. Por ello se empezó a usarse el término "peso específico efectivo" para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla. Como puede verse, el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados. Se han ideado varios procedimientos para medir el peso específico de los áridos.

En los métodos AASHO T85 y ASTM C127 se fijan los aparatos y procedimientos para determinar los pesos específicos aparente y aparente con áridos saturados de los áridos gruesos. Para los áridos finos ver los métodos AASHO T84 y ASTM C128. En la publicación ASTM STP191, titulada "Specific gravity of bituminous coatel aggregate", se dan varios métodos para medir el peso específico efectivo de los áridos para mezclas asfálticas.

Peso Unitario: El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido. Los volúmenes empleados son normalmente 0,1-0,5-1,00 pies cúbicos (2,83-14,16-28,31 l), según el tamaño de los áridos ensayados. Para medir el peso unitario

con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos empleados en el ensayo. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T19 y ASTM C29.

Normalmente se emplea en material compactado el peso unitario como indicación de la calidad de la escoria machacada. Las escorias más pesadas tienden a ser menos porosas y más resistentes que las que tienen pesos unitarios inferiores. Basándose en la experiencia se ha fijado un peso unitario compactado mínimo de 70 lb/pie cúbico (1137 Kg/m³) para escoria de dimensiones inferiores a 2" para mezclas de pavimentación, y de 65 lb/pie cúbico (1041 Kg/m³) para tamaños superiores. La escoria ensayada debe tener la misma granulometría que se piensa emplear.

Humedad: La determinación de la humedad en los áridos se hace normalmente pasando una muestra de material, secándola hasta peso constante en estufa mantenida a 110 g C, aproximadamente, y determinando después el peso de la muestra seca. La diferencia entre los pesos inicial y final se define como la pérdida de humedad durante el secado. La pérdida de peso expresada en porcentaje del peso final o en seco es el contenido de humedad de los áridos.

II.3.C Mezclas Asfálticas para Pavimentación.

Generalidades: No solo es importante ensayar el asfalto y los áridos separadamente, sino que deben realizarse ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para estas mezclas. En los párrafos siguientes se describen brevemente los ensayos normalmente empleados para las mezclas asfálticas para pavimentación y se hace referencia a los procedimientos normalizados de realización de estos ensayos.

Método Marshall: El ensayo Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que

contienen betún asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las principales características del ensayo son el análisis densidad-huecos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se preparan probetas de 2 1/2" (6,35 cm) de espesor y 4" (10 cm) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto. Se determinan la densidad y huecos de la probeta compactada, que a continuación se calienta a 60 g C para la realización de los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales y se carga imponiéndole una deformación de 5 cm/min. La carga máxima registrada durante el ensayo, en libras, se designa como estabilidad Marshall de la probeta. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que esta ha alcanzado su valor máximo es la fluencia de la probeta, que suele expresarse en centésimas de pulgada. Se prepara una serie de probetas con contenido de asfalto variables por encima y por debajo del óptimo estimado, ensayandolas por el procedimiento que acabamos de describir. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas. Los materiales y procedimiento para la realización de estos ensayos se describen con detalle en la obra "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. numero 2", publicada por el Instituto de Asfalto. En esta publicación se incluyen también criterios (ver tabla IV-9) para proyecto de mezclas para pavimentación. La maquinaria y procedimientos necesarios para la realización del ensayo Marshall se describen también en el método ASTM D1559.

Método de Hveem: El método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende los tres ensayos principales siguientes:

1. Ensayo del estabilímetro.
2. Ensayo del cohesímetro.
3. Ensayo del equivalente centrífugo en queroseno (CKE).

Estos ensayos se emplean para proyectar mezclas en el

Tabla IV-9

LIMITES SUGERIDOS PARA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS¹

Método de proyecto ²	Tráfico pesado y muy pesado		Tráfico medio		Tráfico ligero	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
MARSHALL						
Número de golpes de compactación en cada extremo de la probeta.	75	—	50	—	35	—
Estabilidad, libras	750	—	500	—	500	—
Fluencia ³ , expresada en 0.01 pulgadas	8	18	8	18	8	20
Huecos en la mezcla total, %						
Capas de superficie o alveolación	3	5	3	5	3	5
Sheet asphalt con arena o piedra	3	8	3	8	3	8
Capas intermedia o de base	3	8	3	8	3	8
Huecos de los áridos raífonos de astilla, %						
Capas de superficie o alveolación	75	82	75	85	75	85
Sheet asphalt con arena o piedra	65	72	65	75	65	75
Capas intermedia o de base	65	72	65	75	65	75
HUBBARD-FIEL						
Método original						
Estabilidad, libras.	2000	—	1200	2000	1200	2000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
Método modificado						
Estabilidad, libras.	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
HVEEM						
Valor del autolámina	35	—	35	—	30	—
Valor del colasímetro	50	—	50	—	50	—
Entapamiento, pulgadas	—	.03	—	.03	—	.03
Huecos de mezcla total, %	4	—	4	—	4	—
METODO TRIARIAL DE SMITH						
Cohesión unitaria, C. libras por pulgada cuadrada	Véase la figura 45 de la página 141.					
Ángulo de rozamiento interno, ϕ , grados	[<i>Mix Design Methods for Hot-Mix Asphalt Paving, M. S. No. 2</i>]					
Huecos en la mezcla total, %	10	5	10	5	10	10

¹ Criterios aplicables solamente cuando el ensayo se hace de acuerdo con los métodos descritos en la publicación del Instituto del Asfalto, «Mix design methods for hot mix asphalt paving, M. S. n.º 2».

² Véase 3.41, 3.42, 3.43 y 4.44 la descripción de los métodos de proyecto, con referencia a detalles de procedimiento y equipo.

³ Se supone que en las paradas de autobuses, cruces y zonas similares se especifica el empleo de valores de la fluencia próximos al mínimo.

⁴ Aunque no forma parte del método de proyecto normal, se hace lo posible por lograr un contenido mínimo de huecos en la mezcla total del 4 %.

laboratorio. El CKE se emplea también como ensayo de obra.

Los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las probetas de 2 1/2" (6,35 cm) de altura y 4" (10 cm) de diámetro se compactan por procedimientos normalizados en un compactador por amasado.

Se determina la densidad y huecos de la probeta compactada, que se calienta después a 60 g C y se somete a ensayo en el estabilómetro de Hveem. Este ensayo es un tipo de ensayo triaxial en que se aplican cargas verticales y se miden las presiones laterales desarrolladas para determinados valores de la carga vertical.

La probeta esta encerrada en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite la presión lateral desarrollada durante el ensayo. Los valores obtenidos durante el ensayo son de carácter relativo. Se ha establecido la escala sobre la base de que, si la probeta fuera un líquido, la presión lateral sería igual a la presión vertical, en cuyo caso se considera que la estabilidad relativa es nula. En el otro extremo de la escala se considera un sólido incompresible, que no transmite presión lateral, y al que se le atribuye una estabilidad relativa de 90. Los ensayos sobre las mezclas asfálticas para pavimentación dan valores comprendidos en el intervalo 0-90. La estabilidad relativa de la probeta se calcula por una fórmula establecida.

Usualmente, después de realizado el ensayo del estabilómetro, se somete la probeta al ensayo del cohesiómetro, que es un ensayo de flexión en el que la probeta se rompe por tracción.

En este ensayo también se calienta la probeta a 60 g C, manteniéndola a esta temperatura durante el periodo de ensayo en una cámara termostática. La probeta se sujeta al aparato y la carga se aplica a velocidad constante al extremo de un brazo de la palanca. Cuando el brazo de la palanca ha descendido media pulgada (12 mm), se detiene automáticamente la caída de la granalla empleada para aplicar la carga y se determina su peso. El valor del cohesiómetro se determina por una fórmula establecida.

ensayo. Se aplican las cargas con una velocidad de deformación de 2,4" (61 mm) por minuto. La probeta de 2" de diámetro se hace pasar a través de un orificio mas estrecho, de 1,75" (aproximadamente 45 mm) de diámetro. La máxima carga producida, en libras, es la estabilidad Hubbard-Field.

Se preparan dos o tres probetas con cada uno de varios contenidos de asfalto, usualmente con variaciones de 1/2% por encima y por debajo de un óptimo estimado. Los valores medios obtenidos para cada contenido de asfalto se representan en gráficos y se emplean para fijar el contenido óptimo. Estos datos se emplean también para determinar si la mezcla cumple determinados criterios establecidos para el contenido óptimo de asfalto (ver tabla IV-9).

Como el procedimiento que hemos descrito solamente es aplicable a mezclas asfálticas de tipo arena-asfalto o "sheet asphalt", se ideó un procedimiento modificado aplicable a mezclas asfálticas con áridos gruesos. En el procedimiento modificado se prepara por un método especificado una probeta de 6" (15 cm) de diámetro y una altura de 2 3/4 a 3" (70 a 76 mm). Se obliga a la probeta a pasar a través de un orificio de 5,75" (14,6 cm). Por lo demas, el procedimiento es esencialmente idéntico al descrito para probetas de 5 cm de diámetro. El procedimiento modificado no se emplea mucho por haberse observado que las variaciones en la orientación de las partículas de los áridos gruesos cerca del orificio del molde dan lugar frecuentemente a valores erráticos de estabilidad.

Los aparatos y procedimientos empleados tanto en el método Hubbard-Field original como en el modificado, se describen con detalle en "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. numero 2", publicado por el Instituto de Asfalto. También se describen los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos en los métodos AASHO T169 y ASTM D1138.

Método Triaxial: El ensayo de compresión triaxial que describimos a continuación se emplea fundamentalmente para investigación sobre mezclas asfálticas, y rara vez para proyecto o ensayos de rutina. Se considera generalmente que la probeta empleada en el ensayo triaxial debe tener una altura al menos doble que su diámetro. Normalmente se emplean

probetas compactadas de unas 8" (20 cm) de altura por 4" (10 cm) de diámetro. Usualmente se determinan las características de densidad y huecos de la probeta compactada.

El método de ensayo triaxial del Instituto de Asfalto, fué desarrollado por Vaughn Smith. En este ensayo la probeta está envuelta en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite las presiones laterales desarrolladas durante la aplicación de una carga vertical a la probeta. Las cargas verticales se aplican por incrementos sucesivos, midiéndose la presión lateral que aparece como consecuencia. El ensayo se realiza a temperatura ambiente.

Se representa en un gráfico la relación entre las presiones verticales y las laterales y se calculan por una fórmula establecida la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de la probeta. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en "Mx Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. numero 2", publicado por el Instituto de Asfalto.

El ensayo de compresión triaxial del Instituto de Asfalto que hemos descrito es del tipo conocido como "en sistema cerrado", en el que no se produce verdadera rotura de la probeta.

Otro tipo de ensayo de compresión triaxial emplea aparatos similares, pero se llama de sistema abierto. En el se mide la carga vertical necesaria para que la probeta rompa mientras se mantiene constante la presión lateral.

Densidad: La densidad o peso unitario de una mezcla asfáltica para pavimentación se determina con las siguientes finalidades:

A) En probetas compactadas en laboratorio para:

1. Obtener un punto de partida para calcular el porcentaje de huecos y huecos rellenos de asfalto en las mezclas compactadas, parte integrante de algunos procedimientos de proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación.
2. Dar una indicación del contenido de asfalto óptimo en algunos procedimientos de proyecto de mezclas.

3. Fijar una base para controlar la compactación durante la construcción del pavimento asfáltico.

B) En probetas obtenidas de pavimentos construidos, para comprobar la densidad del pavimento y la eficacia de las operaciones de apisonado.

El procedimiento usual para determinar la densidad es pesar la probeta, determinar su volumen y calcular la relación peso-volumen en unidades convenientes (p. ej., kilogramo por metro cúbico). El volumen de la probeta se mide frecuentemente determinando el volumen desplazado. La probeta se pesa primeramente al aire y después sumergida en agua, y la diferencia en peso da el volumen de la probeta. Cuando se mide el peso unitario en kilogramo por metro cúbico la densidad de la probeta se calcula según la fórmula siguiente:

$$d = \frac{V_a}{V_a - V_w}$$

donde d = densidad en kilogramo por litro.

V_a = peso de la probeta al aire, en gramos.

V_w = peso de la probeta sumergida en agua, en gramos.

Este procedimiento es satisfactorio si la probeta es relativamente impermeable al agua. Cuando las probetas son permeables al agua deben revestirse de parafina antes de la inmersión. El cálculo de la densidad debe tener entonces en cuenta el peso y volumen del revestimiento de parafina.

En algunos casos el volumen de la probeta se determina por medición directa, pero en general, con este método es difícil obtener exactitud suficiente.

Puede encontrarse una discusión detallada de la relación peso-volumen y de los métodos para determinar la densidad de probetas compactadas en el apéndice II de "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. numero 2", publicado por el Instituto de Asfalto. También puede encontrarse la descripción detallada de estos ensayos en los métodos AASHTO T166 y ASTM D:186.

Huecos: Como antes se indicó, la determinación de los huecos contenidos en la probeta compactada forma parte del método de proyecto. Los huecos de estas probetas pueden calcularse conociendo la densidad de las probetas compactadas, el peso específico de los áridos y el del asfalto.

Para calcular el contenido de huecos de una probeta compactada debe fijarse primeramente la densidad máxima teórica de la mezcla. Este valor es la densidad teórica que se lograría si la probeta pudiera compactarse hasta formar una masa sin huecos. La densidad máxima teórica se determina por la siguiente fórmula, en la que D es la densidad máxima teórica, V y W1 los porcentajes de áridos y asfalto, respectivamente, y G y G1 sus respectivos pesos específicos.

$$D = \frac{100}{\frac{V}{G} + \frac{W1}{G1}}$$

Una vez determinada la densidad real, d, de la mezcla compactada, el porcentaje de huecos, V, se determina por la fórmula siguiente:

$$V = \frac{100 (D-d)}{D}$$

Los procedimientos a emplear en la realización de estos cálculos se indican con detalle en el apéndice II de "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. número 2" del Instituto de Asfalto.

La principal dificultad para llegar a una determinación exacta de los huecos de una probeta resulta de las características de porosidad de algunos áridos, que a su vez tienen influencia sobre el peso específico de los áridos empleados en los cálculos, como discutimos al hablar del peso específico.

Extracción: Llamamos extracción al procedimiento empleado para separar el asfalto de los áridos en una mezcla

asfáltica para pavimentación. La finalidad de la extracción es determinar el contenido de asfalto de la mezcla y obtener áridos sin asfalto que puedan emplearse para el análisis granulométrico y cualquier otro ensayo sobre ellos que se desee realizar. Cuando se desea ensayar un asfalto extraído se hace un ensayo de "recuperación".

El método de extracción mas empleado para determinar el contenido de asfalto y obtener áridos limpios es el centrifugo. En el se calienta la mezcla asfáltica, después de desmenuzada, en el recipiente de una centrifugadora. Después se añade un disolvente que disuelve asfalto. Los disolventes normalmente empleados son tricloroetileno, benceno o tetracloruro de carbono. El asfalto disuelto se separa de los áridos en un tipo especial de centrifugadora. Durante el proceso de centrifugado debe añadirse disolvente varias veces hasta conseguir la total extracción del asfalto.

La diferencia entre el peso original de la mezcla asfáltica y el peso de los áridos secos despues de la extracción se emplea como base para determinar las proporciones relativas de asfaltos y áridos. Deben hacerse correcciones para tener en cuenta la pequeña cantidad de áridos muy finos que puede pasar a través del anillo filtrante del recipiente de la centrifuga durante el proceso de extracción, lo que se logra detriminando el contenido de cenizas de una parte de la solución de asfalto en disolvente. También deben hacerse correcciones para el agua, si existia en la mezcla asfáltica. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo de extracción se detallan en los métodos AASHTO T164 y ASTM D2172.

Hay varios métodos de extracción por reflujo empleados para la determinación del contenido de asfalto y la obtención de áridos limpios para ensayo posterior. Normalmente se emplea un recipiente cilindrico en el que se coloca una bandeja de disolvente inmediatamente sobre un elemento de calentamiento situado en el fondo del recipiente. La mezcla asfáltica se cuelga sobre el disolvente en un cesto de malla de alambre. El disolvente se evapora y condensa en un serpentín, cayendo sobre la mezcla. El asfalto se disuelve y cae en la bandeja de disolvente, donde este último vuelve a evaporarse dejando el asfalto en ella. El principio es similar al del método de extracción descrito bajo el título

"Recuperación del asfalto".

Recuperación del Asfalto: Cuando se desea realizar ensayos sobre el asfalto extraído de las mezclas de pavimentación, debe hacerse la recuperación del asfalto sin cambiar sus propiedades. Normalmente se emplea un método de extracción por reflujo.

El extractor consiste, generalmente, en un recipiente cilíndrico cerrado. Suspendido cerca del fondo hay otro recipiente perforado en el que se coloca la mezcla. Directamente sobre este recipiente se coloca un condensador. Se introduce en el extractor un disolvente-tricloroetileno o benceno que se vaporiza por aplicación del calor. El vapor condensa y cae sobre la mezcla disolviendo el asfalto y llevándolo en disolución al fondo del extractor. Este procedimiento continua hasta que el disolvente gotea limpio. A continuación se recupera el asfalto por destilación. El procedimiento incluye la introducción de un caudal conocido de dióxido de carbono gaseoso en el contenido del frasco de destilación para extraer las últimas trazas de disolvente. El material y procedimiento se describen con detalle en los métodos AASHTO T170 y ASTM D2172.

Destilación de la Humedad y Sustancias Volátiles: A veces es conveniente saber la cantidad de humedad y/o sustancias volátiles en una mezcla asfáltica para pavimentación, especialmente cuando se emplean asfaltos líquidos. Estas determinaciones se hacen usualmente empleando algún procedimiento de destilación, como el indicado en el método ASTM D255. Algunos organismos emplean los procedimientos detallados en el método AASHTO T110 y ASTM D1461.

Entumescimiento: En las mezclas asfálticas que contienen finos de calidad dudosa se determina a veces el entumescimiento como dato para juzgar los posibles efectos perjudiciales del agua sobre el pavimento. Este ensayo se usa con cierta frecuencia en las mezclas densas en las que se emplean asfaltos líquidos. Se compacta una muestra de mezcla en un cilindro metálico, normalmente de 4" (10 cm) de diámetro, y se deja enfriar a temperatura ambiente. A continuación se colocan probeta y molde en una bandeja con agua y se monta sobre la probeta un medidor. Se anotan la lectura inicial del medidor y sus indicaciones después periodos determinados de

tiempo, usualmente 24 h, o hasta que no se produce mas entumecimiento. Los aparatos y procedimiento para realizar el ensayo, tal como lo hace el Departamento de Carreteras de California, se describen en el capítulo V de la obra "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M.S. numero 2", publicada por el Instituto de Asfalto. También se describen en el método AASHTO T101.

Generalmente se considera que un entumecimiento vertical de 1/16" (1,58 mm) indica una mezcla de calidad mediocre, mientras que algunas mezclas absolutamente inadmisibles pueden sufrir entumecimientos hasta de 3/4 de pulgada (19 mm) en las condiciones de ensayo.

II.4 RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES PRINCIPALES.

Generalidades: Este capítulo contiene un resumen de las especificaciones principales del Instituto de Asfalto para asfaltos y áridos para construcción de pavimentos. Comprende, además, las principales recomendaciones del Instituto para este tipo de trabajo. Concretamente se incluyen las siguientes:

- A) Especificaciones para materiales asfálticos.
- B) Especificaciones para los áridos.
- C) Recomendaciones para la clasificación y gradación de las mezclas asfálticas para pavimentación.
- D) Recomendaciones para el proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación.
- E) Recomendaciones para el control de las temperaturas de aplicación de los asfaltos.

II.4.A Especificaciones para los asfaltos.

En las tablas IV-1 a IV-5 se incluyen las especificaciones para los betunes asfálticos y asfaltos líquidos.

II.4.B Especificaciones para los áridos.

- Áridos Gruesos: Llamamos áridos gruesos a los retenidos en el tamiz numero 8. Consistirán en piedra o escoria machacada, grava machacada o combinaciones de estos materiales, o en materiales que se presentan naturalmente en estado fracturado

(como granito disgregado) o en áridos naturales muy angulosos con textura superficial áspera o rugosa.

La escoria machacada debe haberse obtenido por enfriamiento al aire de escoria de alto horno razonablemente uniforme en densidad y calidad. Según la designación AASHTO T19 (designación ASTM C29) cada tamaño comercial empleado tendrá un proceso de compactación no inferior a 1,93 kg/l (1,80 kg/l para tamaños superiores a 2" (5 cm).

Los áridos gruesos no estarán cubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán trozos de arcilla ni otros agregados de material fino. El porcentaje de desgaste en áridos gruesos empleados en capas de base, intermedias o de nivelación, no será mayor que 50 cuando se ensaye según el método AASHTO T96 (ASTM C131). El porcentaje de desgaste de los áridos gruesos empleados en las capas de desgaste no será mayor del 40% cuando se ensayen por el método AASHTO T96 (ASTM C131). En pavimentos para tráfico pesado, los áridos gruesos que no consistan en escorias o áridos naturales de superficie rugosa o áspera contendrán al menos un 60% en peso de elementos con dos o más superficies o caras producidas por fractura. Se ensayara la resistencia a los sulfatos de los áridos gruesos por el método AASHTO T104 (ASTM C88), a menos que hayan demostrado su comportamiento satisfactorio en empleos anteriores. No se utilizarán, en capas de superficie, áridos de los que se sepa tienen tendencia a pulimentarse.

Cuando la granulometría de los áridos gruesos es tal que el material tiende a la segregación durante el acopio o manipulación, deberá suministrarse el material en dos o más tamaños separados. Los áridos gruesos de cada tamaño nesario para producir la granulometría especificada, deberán almacenarse en pilas de acopio individuales situadas junto a la instalación mezcladora, que estarán separadas por muros o cualquier otro elemento equivalente que el ingeniero encargado considere satisfactorio. Cuando sea necesario mezclar dos o más áridos gruesos el mezclado debere hacerse a través de tolvas separadas y los alimentadores en frío, y no en el acopio.

- Áridos Finos: Son los que pasan por el tamiz numero 8. Constarán de arena natural y/o material obtenido del macha-

queo de piedra, escoria o grava.

Las partículas serán limpias, resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales, y no contendrán grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino. Se ensayará su resistencia a los sulfatos según el método AASHO T104 (ASTM C88) a menos que ya se sepa que su comportamiento es satisfactorio. Cuando se realice el ensayo de resistencia a los sulfatos el número de ciclos será..., la solución empleada tendrá una concentración..., la pérdida máxima será del...% . (El ingeniero debe rellenar los huecos con el número de ciclos, y la solución y el porcentaje de pérdida que se desea se empleen. En el ensayo AASHO T104 (ASTM C88), el Instituto del Asfalto recomienda los siguientes valores: número de ciclos, 5; solución, sulfato de sodio; máxima pérdida, 15%).

Cuando sea necesario mezclar áridos finos de uno o varios orígenes para producir la granulometría deseada, se acopiarán los áridos de cada tamaño u origen junto a la planta mezcladora en montones independientes, separados por surcos u otro elementos equivalentes aceptados por el ingeniero encargado. Se hará el mezclado a través de tolvas separadas y los alimentadores en frío, y no en el accipio.

- Filler Mineral: El filler mineral se compondrá de partículas muy finas de caliza, cal apagada, cemento portland u otras sustancias mineral aprobada no plástica. Estará perfectamente seco y no contendrá grumos. Ensayado por el método AASHO T37 (ASTM D546) su granulometría cumplirá las siguientes condiciones:

Num. del tamiz	Porcentaje en peso seco que pasa
30	100
100	90
200	65

La parte del filler mineral que pase por el tamiz número 200 se considerara como polvo mineral. Mas del 50% de la

parte del filler mineral que pasa por vía húmeda a través del tamiz número 200 pasará por ese tamiz por tamizado en seco.

- Polvo Mineral: Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz número 200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral. No contendrá sustancia orgánica ni partículas de arcilla. El polvo mineral, ensayado según los métodos AASHTO T89, T90 y T91, resultará no plástico.

- Áridos Locales Excepcionales: Hay cierto número de tipos locales de áridos que frecuentemente no pasan los ensayos normalizados, pero que, a causa de ciertas propiedades especiales, dan lugar a excelentes mezclas asfálticas. En las regiones donde escasean los áridos que cumplan las especificaciones es posible frecuentemente emplear materiales inferiores si la experiencia ha demostrado que son satisfactorios, o cuando la investigación y el ensayo autoriza su uso.

- Equivalente de Arena de los Áridos Combinados: Cuando los áridos se combinan en las propiedades necesarias para obtener la granulometría exigida deben ensayarse por el método para determinación del equivalente de arena a que nos hemos referido anteriormente. Ensayado en esta forma, el equivalente de arena deberá ser el siguiente:

Aridos combinados para hormigón asfáltico en capas intermedias y de superficie	50 +
Aridos combinados para mezclas en instalación mezcladora para capas asfálticas intermedias o de superficie	45 +
Aridos para capa de base y de superficie mezclada "in situ"	35 +
Aridos combinados para sellados con lechada asfáltica	40 +
Aridos para capas de base, asfálticas o no	30 +
Sub-bases no asfálticas	25 +

II.4.C Clasificación de las Mezclas Asfálticas para Pavimentación.

Descripción: Pueden producirse mezclas asfálticas para pavimentación con una amplia gama de combinaciones de áridos, cada una de las cuales tiene sus características peculiares y es adecuada para empleos específicos. Aparte del contenido de asfalto, las principales características de una mezcla se determinan fundamentalmente por las proporciones de:

- Áridos gruesos (retenidos en el tamiz número 8).
- Áridos finos (que pasan por el tamiz número 8).
- Polvo mineral (que pasa por el tamiz número 200).

La composición de los áridos puede variar desde una mezcla de textura gruesa, en la que predominan los áridos gruesos, a una mezcla de textura fina, en la que predominan los áridos finos.

Para encerrar estas variables en expresiones generales el Instituto de Asfalto clasifica las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación basándose en las proporciones de áridos gruesos y finos y polvo mineral. Los límites generales para cada tipo de mezcla (I a VIII) se indican en forma de gráfico (ver figura IV-2) con la designación de la mezcla y el máximo tamaño de los áridos normalmente empleados.

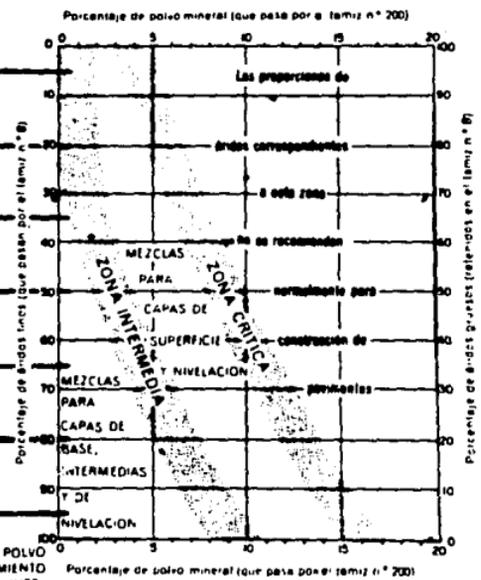
El gráfico tiene en cuenta, para determinar el tipo de mezcla, primordialmente, las proporciones de áridos finos y gruesos. Importancia análoga tiene la proporción de polvo mineral, cuyos límites normales se representan por franjas sombreadas. Este tipo de representación indica límites flexibles y no un valor numérico fijo.

El gráfico de la clasificación (ver fig IV-2) indica el campo de variación del contenido de polvo mineral para cada tipo de mezcla, incluyendo capas de superficie, de nivelación, intermedias y de base. Dada una combinación cualquiera de áridos gruesos y finos (esto es, un tipo de mezcla) las mezclas para capas de superficie contendrán normalmente más polvo mineral que las de base o intermedias.

Figura IV-2. Clasificación de las mezclas asfálticas para pavimentación.

DESIGNACION DE LA MEZCLA		MÁXIMO TAMAÑO DE LOS ARIDOS NORMALMENTE EMPLEADOS	
Tipo	DESCRIPCION	MEZCLAS PARA CAPAS DE BASE Y NIVELACION	MEZCLAS PARA CAPAS DE SUPERFICIE Y NIVELACION
I	MACADAM		2"
II	GRANULOMETRIA ABERTA	3" - 3"	3" - 1 1/2"
III	GRANULOMETRIA ABIERTA	3" - 3"	3" - 1 1/2"
IV	GRANULOMETRIA DENSA	3" - 1"	1" - 1 1/2"
V	GRANULOMETRIA FIRME	3" - 3"	3"
VI	MEZCLAS FINAS CON PIEDRA	1" - 3"	3"
VII	MEZCLAS FINAS CON ARENA	3"	3"
VIII	MEZCLAS MUY FINAS	No 4	

COMBINACIONES DE ARIDOS



1 ZONA CRITICA NO DEBE EMPLEARSE EL CONTENIDO DE POLVO CORRESPONDIENTE A ESTA REGION SIN UN CONOCIMIENTO COMPLETO DE ESTE TIPO DE MEZCLAS Y/O ADECUADA JUSTIFICACION POR ENSAYOS DE PROYECTO DE LABORATORIO
 2 ZONA INTERMEDIA LOS CONTENIDOS DE POLVO MINERAL CORRESPONDIENTES A ESTA REGION SE EMPLEAN A VECES EN MEZCLAS PARA CAPAS DE SUPERFICIE Y NIVELACION ASI COMO TAMEN PARA CAPAS DE BASE E INTERMEDIAS

y las de base contendrán normalmente una proporción mínima de polvo mineral. Por consiguiente, dado un tipo particular de mezcla, las mezclas para capas intermedias y de base caerán normalmente a la izquierda del gráfico y las mezclas para capa de superficie a la derecha de las anteriores. Las mezclas para capas de nivelación pueden caer en cualquier zona del gráfico. Desde luego, hay que hacer resaltar que todas estas reglas admiten excepciones.

Este método de clasificación se desarrolló para codificar la terminología y designaciones para mezclas asfálticas en caliente normalmente empleadas en distintas partes de los Estados Unidos. Los términos y límites incluidos concuerdan en general con la práctica general, pero pueden no hacerlo con la de una región determinada. Aparte de las ventajas de normalizar la terminología, el empleo de este método de clasificación de mezclas para pavimentación permite una subdivisión lógica de cada tipo de una serie de subtipos de empleos específicos, como capas de superficie, mezclas para sellado, capas intermedias, de nivelación o de base. La descripción, usos principales y aplicaciones en pavimentación de la serie completa de tipos de mezclas se desarrollan con detalle en el capítulo II, "Procedures for Developing Specifications", de "Specifications and Construction Methods for Hot Mix Asphalt Pavin for Streets and Highways", S.S. 1, publicado por el Instituto de Asfalto.

II.4.D Proyectos de Mezclas Asfálticas.

Tabla IV-8. Campo de empleo de los métodos de proyecto de laboratorio.

Tipo y Descripción de las mezclas para pavimentación.	Hubbard -Field original	Hubbard -Field modificado	Marshall	Hveem	Triaxial de Smith
I Macádas...	X	X	X	X	X
II Tipo Abierto..	X	X	X	D	D

III Granulometría gruesa	X	D	D	A	A
IV Granulometría densa	X	A	A	A	A
V Granulometría fina ..	X	A	A	A	A
VI Sheet asphalt con piedra	A	A*	A	A	A
VII Sheet asphalt con arena (sand asphalt) ...	A	A*	A	A	A
VIII Sheet asphalt fino	A	A*	A	A	A

A- adecuado, D- dudoso, X- no utilizable.

* Este método es aceptable para estas mezclas. Sin embargo, el molde de 2" de diámetro empleado en el ensayo original Hubbard-Field resulta preferible.

11.4.E Control de las Temperaturas de Aplicación del Asfalto.

Generalidades: El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad disminuye al crecer su temperatura. La relación entre la temperatura y la viscosidad, sin embargo, puede o no ser la misma para diferentes orígenes o tipos y grados de material asfáltico.

Temperaturas de Aplicación: Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos, pero como consecuencia de las variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es suficiente para hacer uso adecuado de los materiales. Por ello, el Instituto de Asfalto recomienda que se tenga en

asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado.

La viscosidad mas conveniente para la aplicación depende de varios factores, como:

1. Tipo de aplicación (mezcla o riego).
2. Características y granulometría de los áridos.
3. Condiciones atmosféricas (importantes en la aplicación por riego).

Como consecuencia de estos factores variables, la viscosidad adecuada para una aplicación específica debe fijarse, por ensayo, dentro de márgenes especificados mas adelante.

La temperatura mas adecuada para mezclado en instalación mezcladora es aquella a la que la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 s Saybolt Furol. Las temperaturas mas elevadas de este campo de variación son normalmente mas adecuadas para mezclas con áridos gruesos, y las mas bajas para mezclas con áridos finos. No hay que olvidar que la temperatura de los áridos regula en medida importante la temperatura de la mezcla.

La viscosidad mas adecuada para el riego esta comprendida normalmente entre 25 y 100 SSF. Se emplean las viscosidades mas elevadas de este margen para sellado y penetración de superficies abiertas, y las mas bajas para sellado y penetración de superficies cerradas.

A falta de datos adecuados sobre la relación viscosidad-temperatura puede emplearse la tabla IV-10, que da una orientación para la determinación de las temperaturas de aplicación.

Tabla IV-10.

Tipo y grado de asfalto	Temperatura de emplec recomendada	
	Para mezcla	Para riego

Betunes asfálticos:

40-50	150-180 g C	2*
60-70	135-165 g C	140-175 g C
85-100	135-165 g C	140-175 g C
120-150	135-165 g C	140-175 g C
200-300	95-135 g C	125-160 g C

Asfaltos líquidos de tipo RC:

RC-0	10-50 g C	18-58 g C
RC-1	25-52 g C	45-83 g C
RC-2	25-52 g C	60-99 g C
RC-3	50-80 g C	77-115 g C
RC-4	65-95 g C	83-125 g C
RC-5	80-110 g C	100-140 g C

Asfaltos líquidos de tipo MC:

MC-0	10-50 g C	21-60 g C
MC-1	25-52 g C	43-85 g C
MC-2	38-93 g C	60-102 g C
MC-3	65-95 g C	80-121 g C
MC-4	80-110 g C	88-129 g C
MC-5	94-121 g C	104-144 g C

Asfaltos líquidos de tipo SC:

SC-0	10-50 g C	21-60 g C
SC-1	25-93 g C	43-85 g C
SC-2	65-93 g C	60-102 g C
SC-3	80-121 g C	80-121 g C
SC-4	80-121 g C	88-129 g C
SC-5	94-135 g C	104-144 g C

Emulsiones asfálticas:

RS-1	4*	24-54 g C
RS-2	4*	43-71 g C
MS-2	38-71 g C	38-71 g C
SS-1	24-54 g C	24-54 g C
SS-1h	24-54 g C	24-54 g C

2* Rara vez se emplea en riego.

4* No se emplea en mezclas.

Especificaciones: El contratista o el suministrador del

asfalto dará al ingeniero datos sobre la relación temperatura-viscosidad de cada uno de los asfaltos a emplear en la obra. Estos datos cubrirán el margen de temperaturas y viscosidades dentro del que pueda ser empleado el asfalto. Tomando como base estos datos, el ingeniero especificará la temperatura de empleo de cada material.

Para mezclas la temperatura especificada será tal que la viscosidad del asfalto este comprendida dentro del margen de 75 a 150 SSF.

Para riegos la temperatura especificada será tal que la viscosidad del asfalto esté comprendida dentro del margen de 25 a 100 SSF.

ATENCIÓN.

La tabla de temperaturas de empleo recomendadas indica las temperaturas necesarias para conseguir una viscosidad del asfalto adecuada para las aplicaciones por riego y por mezcla en los tipos indicados. Hay que tener en cuenta sin embargo que las temperaturas indicadas son generalmente superiores a los puntos de inflamación mínimos de los asfaltos fluidificados, según las especificaciones del Instituto de Asfalto y otros organismos.

De hecho, algunos de estos asfaltos fluidificados son muy inflamables incluso a temperaturas por debajo de las que se dan en la tabla, por lo que es indispensable tomar las medidas de precaución adecuadas siempre que se manejen estos materiales. Entre estas medidas de precaución figuran las siguientes:

1. No debe permitirse la presencia de llamas abiertas o chispas en la proximidad de estos materiales. El calor necesario debe aplicarse en forma controlada en calderas, mezcladores, distribuidores u otra maquinaria de aplicación proyectada y aprobada para este fin.
2. No deben utilizarse llamas abiertas para examinar bidones, cisternas u otros recipientes en los que se hayan almacenado estos recipientes.

3. Todos los vehiculos que transporten materiales de este tipo deben tener bocas de ventilación adecuadas.
 4. Solo debe vigilar el manejo de estos materiales personal experimentado.
-

11.5 Referencias.

Referencias: Las siguientes publicaciones del Instituto de Asfalto contienen mas información sobre las normas y recomendaciones para emplear asfaltos, áridos y mezclas:

1. "Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types, Specification Series num. 1" (SS-1).
2. "Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types, Manual Series num. 2" (MS-2).

Capítulo III. ELABORACION.

III.1 Empleo, Fabricación e Inspección de Mezclas Asfálticas Obtenidas en Instalación Mezcladora.

Calidad y Economía de las Mezclas Asfálticas en Caliente en Instalación Mezcladora: Como consecuencia de la superior calidad de las mezclas asfálticas fabricadas en instalaciones mezcladoras con los controles adecuados, y de las economías inherentes al sistema, su empleo se ha extendido notablemente y debe considerarse como primera posibilidad para cualquier capa en la estructura del pavimento asfáltico por las siguientes razones:

1. Los áridos pueden dosificarse, secarse, calentarse y mezclarse exactamente de forma que todas las partículas queden completamente envueltas con una capa uniforme de asfalto.
2. Normalmente existen instalaciones de gran rendimiento para la preparación de aglomerados asfálticos a distancias no excesivas de cualquier obra en estudio, o puede transportarse una instalación asfáltica hasta una gravera o cantera próxima, a costo razonable y en pocas horas.
3. El mezclado es relativamente independiente de las condiciones atmosféricas, porque los áridos pueden secarse inmediatamente después de una lluvia ocasional, permitiendo reanudar el proceso de construcción.
4. Las mezclas asfálticas así obtenidas pueden extenderse con terminadoras mecánicas (o con motoniveladoras de base larga en capa intermedia) a un costo de colocación mínimo y con la seguridad de que se obtendrá una superficie lisa.
5. Puede controlarse exactamente la cantidad de asfalto, calentándolo para obtener la viscosidad adecuada para un mezclado perfecto.

Fabricación de Mezclas Asfálticas en Instalación Mezcladora:

Instalaciones Mezcladoras Modernas: Las instalaciones mezcladoras modernas para la obtención de aglomerados asfálticos en caliente, han llegado a tal punto de perfección

mecánica, que cuando se instalan y regulan adecuadamente la producción de mezcla uniforme de acuerdo con especificación es casi automática. Mediante el empleo de controles eléctricos e hidráulicos y dispositivos automáticos un solo hombre puede iniciar el proceso y vigilar la instalación mientras esta realiza los diversos ciclos de dosificación automática, mezclado en seco, pesado y adición del asfalto, mezclado y descarga de la mezcla de camiones. Si la cantidad de áridos de un tamaño determinado existente en las tolvas de almacenaje es insuficiente para una amasada, la operación de mezclado se detiene automáticamente hasta que la tolva de la balanza recibe las cantidades exactamente necesarias de piedra de cada tamaño, momento en el que continúa automáticamente el ciclo de mezclado. Con estos controles automáticos es posible dosificar exactamente todos los tamaños de áridos simultáneamente e incluso superponer algunos ciclo, por ejemplo, pesando la segunda amasada mientras la primera esta sufriendo el proceso de mezclado y descarga desde el mezclador. El automatismo asegura el proceso adecuado y evita que comience una operación antes de que se haya terminado la anterior. Este tipo de funcionamiento automático reduce las posibilidades de un error humano.

Uniformidad y Equilibrio: Para producir hormigón asfáltico de la mejor calidad con el mejor rendimiento posible, es esencial que exista uniformidad y equilibrio en el conjunto del funcionamiento de la instalación. Análoga importancia tiene la uniformidad del material, tanto en cantidad como en calidad. La uniformidad con que funcionan los diversos elementos de la instalación contribuye también a la calidad del producto final.

Para mantener un funcionamiento continuo y uniforme es necesario que exista el debido equilibrio entre las diversas fases de producción. Esto exige que los diversos elementos que componen la instalación estén adecuadamente proporcionados los unos respecto a los otros, lo mismo que los materiales que se manejan. El adecuado equilibrio de estos elementos contribuye a la uniformidad del funcionamiento de la planta y de su producción.

Almacenaje de Asfalto: Debe almacenarse asfalto en cantidad suficiente para mantener la planta en funcionamiento, incluso contando con posibles retrasos en las entregas de

material. Deben tomarse las medidas necesarias para que sea posible la circulación del asfalto a través del sistema de almacenamiento y alimentación. Este sistema debe incluir los elementos precisos para calentar el asfalto a la temperatura adecuada, que se comprobara con termómetros, preferiblemente del tipo incriptor, situados tanto en los tanques de almacenaje como en un punto tan proximo como sea posible a la boca de descarga en la cuba del mezclador. Las conducciones del asfalto, la bomba, el recipiente de pesada y el mezclador deben estar encamisados para hacer posible el calentamiento con vapor, aceite caliente o electricidad.

Temperatura del Asfalto Durante el Mezclado: Para que se produzca una envuelta satisfactoria de los áridos, la viscosidad del asfalto debe ser la adecuada. El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad decrece con temperaturas crecientes. La relación entre temperatura y viscosidad puede no ser la misma para asfaltos de diferentes orígenes o de diferentes tipos y grados.

Preparación de Otros Materiales: El asfalto fluidificado debe calentarse cuidadosamente hasta temperaturas comprendidas dentro de los límites indicados en el gráfico temperatura-viscosidad, para el tipo y grado empleado por medio de serpentines cerrados situados en los tanques, dispuestos en forma que aseguren un calentamiento uniforme de todo el contenido y a través de los cuales circule vapor o aceite caliente. El contratista debe prever todos los elementos necesarios para determinar la temperatura del asfalto fluidificado durante el calentamiento y antes de la aplicación.

Separación de los Montones de Acopio: Los montones de acopio deben separarse para evitar la mezcla de los materiales. Esto puede conseguirse disponiendo los montones o tolvas netamente separados o empleando los necesarios elementos de separación. Estos elementos de separación deben cubrir toda la altura de los montones y ser suficientemente resistentes para soportar las presiones que puedan aparecer durante el trabajo de la instalación.

Preparación y Manejo de los Montones de Acopio: Los montones de acopio deben prepararse por capas mejor que en forma de cono. El espesor de cada capa de material no debe

ser superior a 1,50 m. Los camiones deben descargar unos junto a otros cubriendo la totalidad de la superficie del acopio.

Cuando se amontona el material con una grúa de carga debe situarse al lado de las adyacentes, cubriendo toda la superficie del acopio de forma que el espesor de la capa resulte uniforme. Cuando los áridos se dejan caer desde cierta altura deben emplearse deflectores que eviten la segregación que se produce al caer los áridos gruesos en el lado mas alejado, mientras que los finos se reúnen en el punto de caída.

Cuando se emplean como acopio vagones, barcazas o camiones, debe tenerse cuidado en la forma de cargar y descargar para evitar la segregación. En algunos casos puede ser necesario volver a combinar por mezclado los materiales segregados.

Durante la preparación y manejo de los acopios debe tenerse cuidado de evitar la degradación de los áridos por la maquinaria empleada.

Alimentación de Áridos Fríos: La alimentación de áridos fríos es uno de los puntos críticos en la producción de una instalación asfáltica. Es significativo que, aunque la mayor parte de los problemas se presentan en algún otro punto de la instalación, sus causas se encuentran generalmente en la alimentación en frío.

Alimentador de Áridos Fríos: El alimentador de áridos fríos es el elemento mas importante de la instalación. Puede cargarse mediante uno de los tres métodos siguientes o una combinación de ellos:

1. Tolvas descubiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, alimentados usualmente mediante una grúa con almeja.
2. Túnel situado bajo montones de acopio separados por muros de separación. Los materiales se amontonan sobre el túnel mediante cintas transportadoras, camiones o grúas.
3. Grandes tolvas. Se alimentan usualmente mediante camiones, descargadores de vagones o volquetes que descargan directa-

mente sobre las tolvas.

Carga de las Unidades de Alimentación en Frío: Durante la carga de las tolvas de alimentación en frío deben tomarse las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y degradación de los áridos. Estos peligros pueden evitarse tomando las precauciones indicadas al hablar de la forma correcta de acopiar los áridos. Todas las tolvas deben de contener material suficiente para asegurar un suministro continuo y uniforme. Excepto en tolvas muy grandes, no debe permitirse que ninguna de ellas llegue a contener menos de la mitad de su capacidad total, ni debe llenarse hasta que rebosen.

Quando el material de alimentación en frío se acopia sobre un túnel con cinta transportadora debe tenerse cuidado en la forma de manejar el material sobre los alimentadores. De ser posible de evitarse el uso de bulldozers. Cuando se permite el empleo de este tipo de maquinaria sobre los montones de acopio, existe gran peligro de segregación y degradación. La vibración del tractor puede dar lugar a que las partículas finas desciendan hacia el fondo, acumulándose en una capa inferior.

Si el nivel del acopio sobre el túnel se mantiene mediante una dragalina o grúa con almeja, el operador debe tener cuidado de no coger material del mismo punto del acopio general en dos capas sucesivas. Cuando se emplea una cargadora frontal debe advertirse al operador que no tome material del acopio al nivel del suelo. La cuchara debe mantenerse durante el llenado al menos a 15 cm sobre el terreno.

Quando para cargar las tolvas se emplean camiones, estos deben depositar sus cargas directamente sobre el alimentador. Cuando se llena el acopio mediante cintas transportadoras elevadas debe controlarse el flujo del material mediante deflectores o chimeneas perforadas.

Tipos de Alimentadores: Las unidades de almacenaje de áridos deben tener compuertas que puedan regularse y fijarse exactamente, situadas bajo las tolvas o montones de acopio, de tal forma que aseguren un flujo uniforme de los áridos sobre los alimentadores. Existen varios tipos de alimentadores,

entre los que figuran el de cinta transportadora continua, el de vaiven, el vibratorio y por gravedad. Generalmente se considera que los mejores tipos de alimentadores para áridos finos son el de cinta transportadora y el vibratorio.

Funcionamiento de los Alimentadores: Si la producción de la instalación ha de ser uniforme, la alimentación debe medirse con exactitud. Es imposible exagerar la importancia de que se suministren al secador las cantidades exactamente necesarias de cada tamaño de áridos al ritmo conveniente.

El cumplimiento de las condiciones siguientes asegurará del mejor modo posible un flujo uniforme de áridos de los tamaños adecuados:

1. Los acopios deben contener áridos del tamaño adecuado.
2. Debe evitarse la segregación.
3. Debe evitarse la mezcla de materiales de los diversos montones de acopio.
4. Las compuertas del alimentador deben estar exactamente calibradas, reguladas y fijadas.
5. Las compuertas deben mantenerse libres de obstrucciones. Accidentalmente, una piedra, un trozo de madera o raíz pueden obstruir la compuerta. El uso de un tamiz de gran abertura situado sobre las tolvas de alimentación en frío reducirá este peligro.
6. No debe permitirse que la influencia del efecto bóveda sea apreciable en los áridos finos. Puede evitarse este efecto empleando sobre los alimentadores bocas rectangulares en lugar de cuadradas y/o mediante el empleo de vibradores en el exterior de las tolvas de áridos finos. Los vibradores deben montarse cerca de la boca de alimentación y de tal forma que se detenga automáticamente al detenerse el alimentador.

Una alimentación en frío adecuada es esencial porque:

1. Una súbita introducción de arena fría puede dar lugar a un considerable cambio de temperatura en los áridos que salen del secador.

2. Un incremento repentino de la alimentación en frío puede sobrecargar los tamices dando lugar al arrastre de áridos finos a las tolvas de áridos gruesos.

3. Una alimentación irregular puede dar lugar a que algunas tolvas rebosen mientras que otras se queden vacías. Además:

a) La presencia de capas de granulometría variable en las tolvas de material caliente, especialmente en las de materiales finos, pueden dar lugar a amasadas ricas y pobres alternativamente.

b) El sistema de recogida de polvo puede resultar sobrecargado.

c) El rendimiento del secador puede disminuir.

Calibración y Fijación de Alimentadores: Cuando las especificaciones lo exijan o lo pida el contratista, el inspector debe proceder a la calibración de las compuertas de los alimentadores de áridos fríos.

La mayor parte de los fabricantes dan calibraciones aproximadas a las aberturas de las compuertas de su maquinaria, que pueden emplearse como dato en la regulación inicial de la abertura de las compuertas. El único medio exacto de fijar las compuertas es preparar para cada uno gráficos de calibración, empleando los áridos que van a utilizarse en la mezcla.

La abertura de la compuerta (en cm o cm²) se representa en el gráfico en abscisas, tomando en ordenadas los kilos de material por vuelta del mecanismo alimentador (o por minuto). Para más detalles véase el folleto "Asphalt Plant Manual", Asphalt Institute Manual Series número 3.

Al calcular el rendimiento de una compuerta para un abertura dada, el inspector debe deducir el peso de la humedad superficial de los áridos pesados. Esta corrección es muy importante en la calibración de las compuertas para áridos finos.

Las compuertas de alimentación de áridos gruesos no

deben regularse con aberturas menores que 1,5 a 2 veces el tamaño de los áridos mayores. Por ejemplo, si a través de una compuerta deben pasar áridos con un tamaño máximo de 25 mm, la abertura de la compuerta no deb ser en ningún caso inferior a 37 o 50 mm. A veces puede ser necesario limitar la anchura de la abertura para conseguir la altura necesaria.

La granulometría de cada uno de los áridos suministrados por el alimentador se determina empleando el método AASHO T27 y el análisis granulométrico por vía húmeda de los áridos gruesos y finos. El porcentaje a emplear de cada tipo de árido se calcula por tanteos.

Las proporciones necesarias, tomando como base estos porcentajes, determinan las aberturas de las compuertas. Estas aberturas pueden comprobarse por el mismo método empleado al calibrar las compuertas inicialmente.

La abertura elegida debe considerarse provisional porque los áridos finos pueden variar en granulometría y contenido de humedad con las condiciones atmosféricas y otras circunstancias que pueden afectar su peso y fluencia.

Deben vigilarse las compuertas cuidadosamente, regulándolas, para mantener las tolvas de material en caliente debidamente llenas.

Secador: El secador es un cilindro giratorio, usualmente con un diámetro de 90 cm a 3 m y una longitud de 6 a 12 m, en el que se secan y calientan los áridos mediante un quemador de combustible líquido o gaseoso. El cilindro esta provisto de paletas o canales longitudinales que levantan los áridos y los dejan caer formando cortina a través de la llama y los gases calientes del quemador. La pendiente del cilindro, su velocidad de giro, su diámetro y la disposición y número de paletas influyen en el tiempo necesario para el paso de los áridos a través del secador.

Al quitar la humedad de los áridos, el secador realiza las siguientes funciones:

1. El calor del secador evapora la humedad; y
2. El vapor es arrastrado por el tiro.

Los quemadores empleados en los secadores pertenecen a dos tipos básicos. Uno emplea vapor para la atomización del fuel-oil; el otro emplea el aire a baja presión. También existen quemadores de gas a baja y alta presión.

Funcionamiento del Secador: La mayor parte de los secadores están proyectados para condiciones medias de humedad de los áridos. Los áridos muy húmedos reducen la capacidad del secador y exigen medidas correctoras, como aumentar la cantidad de calor quemando más combustible mientras se mantiene constante el flujo de áridos o reducir el flujo de estos. Existe un límite para el aumento posible del suministro de calor, más allá del cual debe reducirse el caudal de áridos.

Los áridos muy absorbentes pueden exigir períodos de secado más largos, que pueden lograrse reduciendo la inclinación del tambor del secador o disponiendo de otra forma las paletas contenidas en su interior. Incidentalmente, el aumento del tiempo de secado suprime más humedad que el de la aportación de calor.

En regiones muy húmedas, o cuando los áridos estén excepcionalmente húmedos o son muy absorbentes, pueden emplearse dos secadores unidos en serie mediante una cinta transportadora abierta larga.

Si el aire del soplador, el tiro y la cantidad de fuel-oil no están adecuadamente proporcionados, puede producirse una combustión incompleta del fuel-oil que deja sobre las partículas de los áridos un revestimiento aceitoso perjudicial para la mezcla terminada. Si la chimenea despidе humo negro es que el combustible no se quema por completo. Si se emplea una purificación por vía húmeda en el separador de polvo de los humos, puede ser conveniente eliminarla mientras se observa el humo.

La falta del necesario equilibrio entre el aire del soplador y el tiro, puede producir en el interior del tambor del secador tal presión que de lugar al bufado en el extremo del secador correspondiente al quemador. El bufado indica que el tiro no es suficiente para eliminar la presión producida por el soplador del quemador.

Los quemadores que consumen gas natural o gas líquido de petróleo rara vez dan lugar a problemas de combustión. Sin embargo, también en ellos es posible el desequilibrio entre la presión de gas, el aire de combustión y el tiro.

Medida de la Temperatura de los Áridos: A la salida del secador debe instalarse un aparato medidor de la temperatura de los áridos fácilmente visible para el operador del quemador. Este aparato es uno de los accesorios más importantes de la instalación y debe ser un instrumento exacto y de funcionamiento seguro. El exceso de calentamiento de los áridos puede perjudicar al asfalto durante el mezclado. Si el calentamiento es insuficiente resulta difícil envolver los áridos y extender la mezcla.

El elemento sensible del indicador de temperatura debe tener un revestimiento protector suficientemente sólido para protegerlo del desgaste producido por los áridos, pero no tan grueso que de lugar a una indicación errónea de la temperatura. La acumulación de polvo sobre el puede dar también lugar a una excesiva inercia en la medida de temperaturas.

Los instrumentos para medición de temperaturas deben comprobarse frecuentemente. Una forma sencilla de hacerlo es colocar el elemento sensible, juntamente con un termómetro exacto, en un baño de aceite o asfalto, que se calienta, haciendo lecturas comparativas en ambos aparatos. Estas lecturas deben hacerse a temperaturas inferiores, iguales y superiores a las previsibles durante el funcionamiento de la instalación.

Colector de Polvo: El ventilador o ventiladores del colector de polvo producen el tiro que hace pasar la llama y gases calientes a través del secador. La corriente de aire del tiro arrastra también las partículas de polvo del secador y otras partes de la instalación. Este polvo penetra en el colector por su parte periférica superior en forma de torbellino. Las partículas más pesadas son separadas por la fuerza centrífuga, se reúnen sobre las paredes del colector y caen al fondo. El polvo más fino puede mantenerse en suspensión y ser arrastrado por el aire a través de la chimenea.

Cuando las especificaciones o las ordenanzas municipales lo exijan puede añadirse al sistema colector de polvo,

elementos de purificación por vía húmeda. El empleo de sistemas de este tipo aumentará las necesidades de aire de los ventiladores en un 10 a 15% a causa de la pérdida de presión en la torre.

Polvo Recogido: Si el material recogido en el colector de polvo cumple las especificaciones, parte de él o su totalidad puede hacerse volver a la instalación para incluirlo en la mezcla. La cantidad empleada dependerá de la granulometría combinada de la mezcla terminada. Si el polvo recogido es insatisfactorio, o las especificaciones de la mezcla lo prohíben, se extrae del fondo del colector y se tira.

Tamices para Áridos Calientes: Los áridos procedentes del secador se entregan a los tamices de material en caliente montados sobre las tolvas de la instalación. La función de estos tamices es separar adecuadamente los áridos en tamaños especificados. Para realizar adecuadamente esta función la superficie de los tamices debe ser suficientemente grande para admitir la alimentación máxima previsible. Como guía para comprobación de la capacidad de los tamices de tipo vibratorio podemos decir que, en funcionamiento continuo, cada metro cuadrado de área de tamizado puede dar paso normalmente a 10 ton de material por hora.

Rendimiento de los Tamices: El estado de conservación y limpieza de los tamices regula su rendimiento de forma apreciable. Si el área de tamizado eficaz se reduce por obstrucción de las aberturas, o se vierte sobre ellos más material del conveniente, el resultado usual es el arrastre de unos tamaños por otros.

El excesivo desgaste del alambre de los tamices da lugar a aberturas ensanchadas y a que las tolvas correspondientes contengan material del tamaño excesivo.

En algunos casos puede mejorarse el rendimiento del tamizado empleando tamices formados por alambre de pequeño diámetro o aberturas de formas diferentes. La distribución uniforme de los áridos sobre toda la anchura del tamiz, y el empleo de vibradores (especialmente en el tamiz para arena) para disminuir la obstrucción de los orificios, también aumentan el rendimiento.

Arrastre: El arrastre consiste en la aparición de material fino en una tolva que debería contener áridos del tamaño inmediatamente superior. Cuando esto sucede, frecuentemente resulta perjudicada la uniformidad de la granulometría de los áridos. El arrastre aumenta la cantidad de áridos finos de la mezcla total, y como estos áridos tienen una superficie específica mucho mayor que los gruesos, conviene reducir este fenómeno al mínimo.

El arrastre excesivo, o sus fluctuaciones, se harán evidentes al inspector en el análisis granulométrico realizado con el contenido de cada una de las tolvas de áridos en caliente.

Es recomendable la inspección visual diaria del estado de limpieza de los tamices, preferiblemente antes del comienzo del trabajo del día. Cuando su estado lo exija, los tamices deben limpiarse.

Tolvas de Material en Caliente: Estas tolvas contienen los áridos calientes y clasificados en las diversas fracciones granulométricas exigidas. Sus separaciones deben ser herméticas, sin orificios de altura suficiente para impedir la mezcla de los áridos de distintos tipos.

Cada tolva debe de estar provista de un aliviadero para evitar que los áridos puedan caer en las otras tolvas o que se llenen tanto que el tamiz vibratorio se apoye en los áridos. Este último fenómeno puede producir arrastres de gran importancia. Los aliviaderos deben comprobarse frecuentemente para asegurarse de que funcionan correctamente y evitan la contaminación por mezclado de tolvas adyacentes.

A veces el material, especialmente las fracciones granulométricas mas finas, tiende a quedar adherido en los ángulos de la tolva. Frecuentemente, estas acumulaciones de material se desprenden de repente en cantidades que dan lugar a un exceso de finos que tienden a secar la mezcla, lo que se produce normalmente cuando la tolva se queda casi vacía. Puede evitarse este fenómeno soldando pletinas en los ángulos de la tolva matando los ángulos rectos.

Otros problemas que puedan presentarse son escasez o

exceso de material en alguna tolva, compuertas desgastadas que permiten la fuga de áridos hacia la tolva de pesada después de haber descargado la cantidad deseada y humedad en las paredes de las tolvas. El exceso o defecto de este material en las tolvas puede corregirse modificando la alimentación en frío. La humedad se presenta cuando el vapor de agua existente en los áridos y en el aire se condensa en las paredes de las tolvas, lo que se produce normalmente solo al principio del trabajo del día o cuando los áridos gruesos no se han secado perfectamente. La presencia de humedad puede dar lugar a acumulaciones de polvo que, liberado repentinamente, pueden producir un exceso de finos en la mezcla.

Toma de Muestras de las Tolvas: La mayoría de las instalaciones modernas para mezclas en caliente están provistas de artificios para extracción de muestras de las tolvas de áridos en caliente. Varían desde compuertas o ventanas de toma de muestras en los laterales de las tolvas a artificios para desviar el flujo de áridos de las tolvas a recipientes adecuados. En las instalaciones discontinuas el mejor lugar para obtener muestras son las compuertas de las tolvas, durante la caída del material a la tolva de pesada. En las plantas continuas el mejor lugar para obtener muestras es en las compuertas del alimentador, al depositarse el material en la cinta transportadora que lo lleva al mezclador. Es esencial que los dispositivos para toma de muestras estén contruidos y situados de tal forma que las muestras obtenidas sean representativas del material contenido en las tolvas.

Al pasar el material por los tamices las partículas más finas caen al lado más próximo de las tolvas, y las más gruesas en el opuesto. Cuando se extrae material abriendo la compuerta de fondo se obtiene una muestra compuesta principalmente de material fino en un borde y de material grueso en el otro. Este fenómeno es de la máxima importancia en la tolva número 1 o de material fino, ya que la necesidad de asfalto resulta modificada de forma importante por el material de esta tolva. Por ello, la posición del dispositivo de toma de muestras en la compuerta puede hacer que la muestra se componga solamente de materiales finos, o de materiales gruesos, o realmente representativa del material contenido en la tolva.

La estratificación de tamaños en la tolva de áridos finos puede deberse a variación de la granulometría en los acopios o a irregularidad en la alimentación de áridos finos.

Medición de los Tanques de Asfalto: Se logra una comprobación de la cantidad de asfalto empleada durante el día mediante mediciones del contenido de los tanques de asfalto, por la mañana y por la noche, teniendo en cuenta el material recibido. A veces son deseables comprobaciones más frecuentes. Estas medidas se comparan con los pesos de las amasadas y las cantidades teóricas determinadas a partir de las hojas de movimiento para comprobar la exactitud con que se ha controlado la dosificación. Si existen diferencias importantes en estas cifras será necesaria una investigación del sistema de almacenaje y alimentación de asfalto para corregir cualquier irregularidad.

Al cubicar el contenido de los tanques o emplear cualquier otra medida volumétrica del asfalto debe recordarse que, al pasar de volumen a peso debe tomarse la temperatura del asfalto en el momento de la medición o del empleo, corrigiendo el volumen a la temperatura normalizada.

Calentamiento y Circulación del Asfalto: La instalación debe estar preparada para hacer circular el asfalto a través del sistema de alimentación y almacenaje. Todos los tanques de almacenaje, tuberías de conducción y bombas deben tener serpentines de calentamiento y/o revestimientos aislantes para mantener el asfalto a la temperatura necesaria. Las líneas de retorno que descargan en los tanques de almacenaje deben estar en todo momento sumergidas bajo el nivel del asfalto en el tanque para evitar la oxidación del asfalto. Para romper el vacío en las tuberías, cuando se invierte el funcionamiento de la bomba, deben practicarse en la línea de retorno, en el interior del tanque, dos o tres ranuras verticales sobre el máximo nivel posible de asfalto.

En el sistema de alimentación de asfalto deben situarse suficientes termómetros para asegurar el control de su temperatura. Debe situarse cerca del extremo de salida de la tubería de asfalto un instrumento inscriptor para comprobar su temperatura en el punto de empleo. El tanque de almacenaje de asfalto debe estar provisto también de un termómetro inscriptor adecuadamente situado que pueda cubrir un tiempo

mínimo de 24 h. En el sistema de circulación debe existir una válvula que permita obtener muestras del asfalto. Si se mantiene la temperatura del asfalto haciendo circular aceite caliente, debe inspeccionarse frecuentemente el nivel de éste en el depósito de la unidad de calefacción. Si este nivel desciende, el inspector debe buscar un posible punto de fuga del aceite caliente a la masa de asfalto almacenado.

Temperatura de la Mezcla: El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad decrece al crecer la temperatura. La relación entre temperatura y viscosidad puede no ser la misma para materiales asfálticos de diferentes orígenes o diferentes tipos y grados.

Normalmente se especifica una temperatura de mezclado, pero, como consecuencia de estas variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es conveniente para el adecuado empleo del asfalto. Por ello, el Instituto de Asfalto recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura del asfalto empleado para fijar una temperatura de mezclado a la que la viscosidad del asfalto sea la adecuada.

La viscosidad de aplicación mas adecuada depende de factores como:

1. Tipo de aplicación (mezcla o riego).
2. Características granulométricas de los áridos.
3. Condiciones atmosféricas (aplicación por riego).

La temperatura mas adecuada para la mezcla es aquella a la que la viscosidad del asfalto esta comprendida dentro del margen 75-150 SSF. Las viscosidades mas altas de este margen son normalmente mas adecuadas para mezclas con áridos gruesos, y las mas bajas para mezclas con áridos finos.

Debe pedirse, en cada caso, al contratista o suministrador del asfalto que de al ingeniero datos sobre la relación temperatura-viscosidad de cada asfalto a emplear en la obra. Estos datos deben cubrir el margen de temperaturas y viscosidades dentro de los que puede emplearse el asfalto. Tomándolos como base, el ingeniero puede especificar la temperatura a que debe emplearse el material.

En las aplicaciones por mezclado la temperatura especificada debe ser tal que la viscosidad del asfalto este dentro del margen de 75-150 SSF. Debe tenerse en cuenta que la temperatura de los áridos regula en proporción importante la temperatura de la mezcla. La diferencia de temperatura entre los áridos y el asfalto no debe ser superior a 10 g C.

Medición del Filler Mineral: Cuando se añade a la mezcla filler mineral la cantidad empleada debe comprobarse frecuentemente. Si se recibe en sacos puede emplearse el siguiente método:

1. Después de cargar un camión hay que asegurarse de que la tolva de filler contiene la cantidad necesaria para la serie de cargas a comprobar.
2. Al cargar los camiones de ensayo cuéntese los sacos de filler añadidos a la tolva. Recuerdese que la tolva de filler debe estar llena al final del ensayo.
3. El número de sacos añadidos durante el ensayo, multiplicado por el peso de filler contenido en cada uno, da el peso de filler en las cargas de ensayo.
4. El peso de filler, dividido por el peso de áridos secos y filler, y multiplicado por 100, da el porcentaje de filler.

Esta comprobación de filler mineral debe realizarse a lo largo de un período de carga de varios camiones. Esto reducirá al mínimo cualquier error en la estimación del peso de un saco de filler parcialmente empleado y en la apreciación personal respecto al momento en que la tolva de filler esta totalmente llena al principio y al final de una comprobación.

La tolva de filler debe vaciarse al final del trabajo de cada día, cubriéndola a continuación para mantenerla seca. La humedad puede dar lugar a la formación de grumos que impiden el adecuado flujo del material. El flujo de filler debe comprobarse también visualmente a intervalos frecuentes. La abertura de la compuerta es pequeña y las materias extrañas, especialmente trozos de los sacos de papel en los que se transporta el filler, pueden obstruir el paso y reducir en forma apreciable el volumen de filler añadido a la mezcla.

Las mismas comprobaciones pueden realizarse también con filler mineral almacenado a granel cuando puede determinarse exactamente su cantidad. Cuando el filler mineral se adquiere y almacena a granel es, generalmente, poco práctico medir la cantidad almacenada. La calibración de los sistemas de alimentación y pesado deben comprobarse con exactitud y frecuentemente.

III.2 Instalaciones Mezcladoras Discontinuas.

Balanzas de Comprobación: Antes de poner la instalación en marcha deben comprobarse las balanzas de la tolva de pesada y del recipiente de asfalto con pesos normalizados. Generalmente, son suficientes diez pesos normalizados de 25 Kg. La mayoría de las especificaciones exigen que el contratista proporcione al inspector de la instalación pesos normalizados adecuados.

En algunas regiones las balanzas son comprobadas periódicamente por un organismo oficial. Esto no excusa al inspector de la responsabilidad de confirmar la exactitud de las balanzas.

Una vez montada la instalación y las balanzas en condiciones de funcionamiento deben cargarse las tolvas al máximo de su capacidad. Después de esperar 24 h como mínimo para dar lugar al posible asentamiento de la instalación deben comprobarse las balanzas, como se indica a continuación:

Se comprobará que el sistema de palancas, las cuchillas y los rodamientos estén limpios, y que ninguna parte móvil roza con otro elemento cualquiera. El indicador de la balanza se mantendrá en cero cuando no haya carga y se moverá libremente al tocarlo con el dedo. La comprobación de pesado se hace colgando una plataforma de la tolva o situando en ella directamente pesos de ensayo, continuando hasta la máxima carga que haya de pesarse en la tolva correspondiente. El procedimiento adecuado es el siguiente:

Se colocan en la tolva 250 kg de pesos de comprobación, que se centran lo mas exactamente posible en la tolva, y se anota la lectura exacta del indicador. Se quitan los pesos de

INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS FINOS

Almacena los aridos y dosifica exactamente la cantidad de cada tamaño necesario para mantener constantes las cantidades obtenidas en la unidad clasificadora.

Emparrillado que protege al secador de materiales de tamaño excesivo y sustancias extrañas.

SECADOR

Los aridos que fluyen continuamente se secan al máximo por contacto directo con la llama y los gases calientes. Cada partícula de los aridos se expone a esta acción repetidamente logrando un secado completo.

La conducción suavia para el aire extraido del secador reduce al minimo las molestias causadas por el polvo en las proximidades de la instalacion.

El ventilador produce la corriente de aire necesaria para el sistema de combustion del secador y el colector de polvo.

Las paletas dejan caer los aridos formando una columna uniforme a traves de la llama y los gases calientes, obteniendo el maximo efecto de secado.

Los finos recogidos se transportan mediante un tornillo a la base del extractor de aridos calientes.

COLECTOR POLVO

Recupera polvo fino, que puede devolverse a la mezcla si es necesario.

UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y almacena los aridos segun el tamano y dosifica la cantidad necesaria de aridos de cada tamano.

Tornillos vibratorios que separan los aridos en los tamanos adecuados rechazando los de tamano excesivo.

Almacenaje de filler producido uniformemente por medio de tornillos.

Los tornillos de material grueso almacenan aridos suficientes para garantizar un funcionamiento continuo.

La cinta de pesadas mide todos los tamanos de aridos para el control continuo.

La cubeta de salida calorificada mide la cantidad de filler necesaria para cada amasado.

El extractor recoge los finos de media perfeccionamiento de los aridos.

Sistema de alimentacion y medidas de filler mismo al con almacenamiento se eleva al nivel del suelo.

Figura VIII-7. Instalación mezcladora discontinua.

la prueba y se añaden áridos hasta obtener en el indicador la misma lectura. Se repite este procedimiento hasta que se alcanza el peso total por amasada. Los diversos datos se anotan como se indica en la tabla siguiente:

Hoja de calibración de la balanza

Adición numero	Peso real de las pesas y áridos combinados, Kilos.	Lectura en el dial de la ba- lanza, Kilos.	Error de escala	
			Kilos	Porcentaje
1	250	251	+1	+0,4
2	500	498,5	-1,5	-0,3
3	750	750,5	+0,5	+0,1
4	1.000	1.000	Ninguno	Ninguno
5	1.250	1.217,5	-2,5	-0,2
6	1.500	1.500	Ninguno	Ninguno

Durante el ensayo debe hacerse una comprobación de la sensibilidad de la balanza a cada incremento de carga de 250 kg. Se hace colocando un peso de ensayo de 2,5 kg sobre la plataforma de la balanza, que debe producir una reacción inmediata del indicador. Si no es así, será necesario reparar la balanza limpiando o, posiblemente, afilando las cuchillas hasta que sean sensibles al peso de 2,5 kg en todo el posible campo de empleo.

Si las balanzas no cumplen las especificaciones en cuanto a precisión o sensibilidad, no se permitirá el funcionamiento de la instalación hasta que se hayan hecho las correcciones o sustituciones necesarias. Las balanzas de dosificación deben probarse diariamente, comprobando si marcan cero cuando están descargadas, pesando una mezcla y añadiendo cuatro pesos de patrón de 25 kg y comprobando que la lectura de la escala aumenta en 100 kg.

La balanza para dosificación de asfalto se calibra de forma muy similar, pero solo es necesaria una operación de

pesado. Los pesos de ensayo se sitúan sobre el recipiente para el asfalto o se unen a él, anotando las lecturas a medida que se añade peso, hasta que el peso total es ligeramente superior al necesario en cada amasada de la mezcla. Su sensibilidad debe comprobarse de la misma forma que en las balanzas para áridos, salvo que se empleará un peso de ensayo de 1 kg.

La tara del recipiente para asfalto vacío debe vigilarse cuidadosamente, de forma que se vacíe por completo, compensando debidamente el peso adicional del asfalto y polvo que puedan adherirse a él.

Medidores de Asfalto: Cuando se emplean artificios medidores deben comprobarse también su precisión. Esto puede hacerse recogiendo el asfalto de la barra pulverizadora directamente en un recipiente de volumen conocido. La diferencia entre las lecturas de artificio medido antes y después de bombear el volumen conocido debe coincidir con la cantidad contenida en el recipiente. Otro método es bombear una cantidad dada de asfalto sobre un recipiente tarado que se pesa a continuación. La cantidad pesada en este recipiente debe coincidir con el volumen de asfalto correspondiente a la diferencia en lecturas del aparato medidor antes y después de bombear, convertida a peso de asfalto a 15 g C. La cantidad que se vierte en el recipiente debe ser suficiente para asegurar una comparación exacta y debe ser aproximadamente la cantidad en volumen o en peso empleada en cada amasada.

Orden de Carga de las Tolvas: A menos que la instalación este preparada para descargar material de todas las tolvas simultáneamente, el vertido de áridos de las tolvas de material caliente a la de pesada debe comenzar por los áridos de mayor tamaño, disminuyendo progresivamente hasta el tamaño más fino, añadiendo el filler mineral en último lugar. Esto permite que los áridos vayan mezclándose a medida que caen en el mezclador. Aun más importante es que este procedimiento sitúa los áridos gruesos en el fondo del mezclador y asegura, del mejor modo posible, una mezcla perfecta, especialmente si el mezclador está desgastado y hay excesiva holgura entre las paletas y el interior de la cubeta.

El nivel del material en las tolvas en caliente debe ser siempre suficiente para su buen funcionamiento. Si una tolva

esta casi vacía existe el peligro de que el operador de la instalación supla la deficiencia empleando material de otra tolva, perdiendo por completo el control de la granulometría de la mezcla final. Este defecto se debe a una alimentación de áridos fríos defectuosa.

Distribución de Asfalto: El asfalto debe introducirse y distribuirse uniformemente en el mezclador en un periodo inferior a 15 s. No siendo así existe la posibilidad de que se produzca una mezcla no homogénea.

Funcionamiento de las Válvulas: Las válvulas de paso de asfalto deben estar debidamente comprobadas. Deben cerrar perfectamente, de forma que no gotee asfalto una vez que se ha vertido en el recipiente de la báscula o se ha dejado salir de él la cantidad deseada. Si se sospecha que la distribución del asfalto es irregular deben tomarse muestras de ambos extremos y el centro de la cubeta del mezclador después de un ciclo normal de mezcla, comparando unas con otras, visualmente, bajo una luz fuerte.

Mezclador: Todas las instalaciones modernas para mezclas asfálticas en caliente emplean mezcladores de paletas. Se componen de ejes gemelos con paletas que mezclan los ingredientes de cada amasada en forma homogénea. Sus partes principales son las cabezas y barras de las paletas, el encamisado, los ejes, la compuerta de descarga y la envuelta de calefacción.

Para que el funcionamiento sea satisfactorio todos los elementos del mezclador deben encontrarse en estado mecánicamente satisfactorio y adecuadamente ajustados.

La holgura entre las cabezas de las paletas y el encamisado interior depende del máximo tamaño de los áridos y normalmente será inferior a su mitad. Cuando el desgaste es excesivo la holgura se hace tan grande que pueden aparecer puntos muertos en los que el material no se mezcla perfectamente. La solución es sustituir el encamisado y las cabezas cuando es necesario.

Lo mismo puede ocurrir si se rompen dos paletas adyacentes.

Cuando esto sucede es indispensable la inmediata sustitución. Sin embargo, cuando se rompen paletas en puntos muy separados de los ejes pueden aplazarse las reparaciones hasta el final de la jornada de trabajo.

Si el mezclador esta excesivamente lleno puede producirse una mezcla no homogénea. Se obtiene el mejor rendimiento cuando los extremos de las paletas apenas son visibles, durante el mezclado, sobre el material en el extremo superior de su recorrido. Por otra parte, si el mezclador esta insuficientemente lleno tampoco se logrará un mezclado adecuado porque no existirá material suficiente para que las paletas lo hagan circular de forma deseada.

No se producirá un mezclado uniforme si los áridos y el asfalto no estan uniformemente distribuidos en la mezcla. La distribución de los finos depende del orden de descarga de las tolvas. El mal funcionamiento del sistema de distribución de asfalto dara lugar a una distribución irregular del mismo. Tanto uno como otro defecto se harán evidentes por inspección visual o mediante ensayos realizados sobre el producto terminado.

En estos casos puede ser necesario un aumento del tiempo de mezclado en seco para conseguir una distribución uniforme de todos los tamaños en el mezclador.

Tiempo de Mezclado: La película de asfalto depositada sobre los áridos se endurece por efecto del calor y la exposición al aire. El tiempo de mezclado debe ser el mas corto, compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los áridos y un revestimiento uniforme de sus partículas con asfalto. La velocidad de los ejes del mezclador y la disposición y ángulo de las paletas son factores que influyen en el rendimiento del mezclador. La tendencia actual es disminuir el tiempo de mezclado, pero si se produce un mezclado no uniforme el inspector deberá, como primera medida, incrementar el tiempo de mezclado ligeramente.

Dispositivo de Medición del Tiempo: La mayor parte de las especificaciones exigen se emplee un aparato medidor para asegurar que los materiales permanecen en el mezclador durante un tiempo suficientemente largo para producir una mezcla homogénea. Normalmente este dispositivo se pone en

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

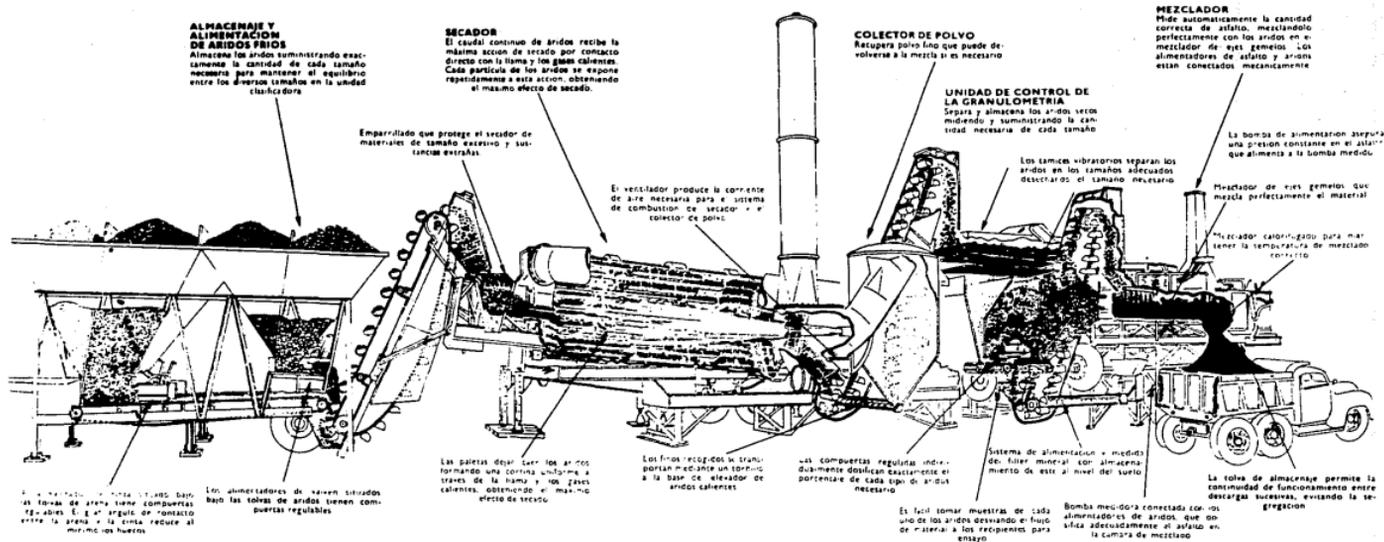


Figura VIII-8. Instalación mezcladora continua.

necesarias para asegurar una carga uniforme de áridos secos y calientes en la tolva que se intenta calibrar, determinando un caudal de descarga que represente con fidelidad las condiciones previstas durante el funcionamiento de la instalación. Además, si la instalación de cribado transmite vibraciones a las tolvas de material caliente, debe funcionar también durante el calibrado de la planta.

Los ensayos deben realizarse para un número de aberturas de compuerta suficiente para asegurar la precisión y amplitud del campo cubierto por la curva de calibración.

Distribución del Asfalto: Las instalaciones mezcladoras continuas están provistas de bombas proporcionométricas para el asfalto. Uno de los tipos empleados se regula cambiando los engranajes, enlazados mecánicamente a los alimentadores de áridos. Otro se regula mediante un volante de regulación a distancia situada en la plataforma del operador del mezclador. Cuando se emplea el primer tipo es necesario utilizar las tablas del fabricante como base para determinar las combinaciones de bomba y engranajes adecuadas para obtener la dosificación de asfalto deseada.

Debe ser posible fijar las compuertas del alimetador y la bomba de asfalto de tal forma que no pueda hacerse ningún cambio sin conocimiento del inspector.

Para mantener constante la proporción de asfalto debe conocerse en todo momento su temperatura al pasar por la bomba. El inspector debe hacer frecuentes lecturas en el termómetro instalado en la tubería de circulación junto a la bomba, de forma que pueda hacer las correcciones necesarias para compensar los cambios de volumen producidos en el asfalto por las variaciones de temperatura. Sin embargo, si estas variaciones son pequeñas, no es necesario regular la bomba de nuevo.

Mezclador de Paletas: Generalmente, la función de un mezclador de paletas de tipo continuo es la misma que en una instalación de tipo discontinua. Sin embargo, el principio de mezclado es distinto. En un mezclador de tipo discontinuo los materiales están encerrados en la cubeta de mezclado. En un mezclador continuo los materiales son impulsados hacia la salida. La presión de mezclado varía con la altura o peso del

material contenido en el mezclador, que puede regularse mediante la compuerta de salida.

La altura del material en el mezclador continuo no debe superar la de los extremos de las paletas, salvo para el último juego de estas.

Para mejorar el mezclado puede ser deseable hacer las siguientes correcciones:

1. Elevar la compuerta en el extremo de salida del mezclador para mantener el material en el durante un periodo de tiempo mas largo, con un espesor que intensifique aún mas la acción de mezclado.
2. Regular o invertir la inclinación de las paletas para retardar el movimiento del material en el molino, aumentando el grado de mezclado conseguido.

Tiempo de Mezclado: Para calcular el tiempo de mezclado en un mezclador continuo se divide el peso (en kilos) de su contenido, con el nivel de material empleado durante la mezcla, por el peso (en kilos) del volumen de mezcla producido por segundo. Para calcular el peso del contenido del mezclador se hace funcionar la instalación hasta que el flujo de mezcla a través de ella sea constante. Se detiene la instalación y se hacen varias medidas para determinar el nivel de la mezcla en el mezclador. De estas medidas se deduce la altura media y el volumen de mezcla en metros cúbicos. El volumen, multiplicado por el peso de la mezcla en kilos por metro cúbico, es igual al peso del material contenido en el mezclador.

	Capacidad de mezclador en kilos
Tiempo de mezclado =	-----
en segundos	Producción en kilos/segundos

El volumen del mezclador para diferentes niveles de material se indica en la placa de características unida a la instalación. En estos casos se mide la altura media de la mezcla y se determina el volumen a partir de las tablas del fabricante.

Comprobaciones del Contenido de Asfalto: Para comprobar

el contenido de asfalto se compara el peso de una cantidad conocida de mezcla terminada, con la cantidad de asfalto empleada. Cuando se emplea un dispositivo medidor puede hacerse esto del siguiente modo:

Se detiene la operación de mezclado al final de una carga. Se anota la indicación del medidor de asfalto en este momento y se hacen a continuación diez cargas completas de mezcla. Al final de la décima carga se detiene de nuevo la operación de mezclado y se anota otra vez la lectura del medidor de asfalto. Los litros de asfalto empleados multiplicados por el peso de un litro darán el peso total. Esta cifra, dividida por el peso total de las diez cargas de mezcla y multiplicadas por 100, dará el porcentaje de asfalto empleado en el ensayo realizado durante diez cargas. Este ensayo debe hacerse, usualmente, dos veces al día, y el resultado debe estar dentro de las tolerancias fijadas por las especificaciones del proyecto para el contenido de asfalto.

Quando no se emplea dispositivo medidor puede medirse el asfalto en los tanques de almacenaje o mediante cálculos basados en el número de vueltas de la bomba de asfalto, anotando antes y después del mezclado de las diez cargas.

III.4 Ensayos sobre los materiales usados en los Pavimentos Flexibles.

Toma de Muestras y Ensayo de Materiales: Para mantener un control adecuado del funcionamiento de toda la instalación, es necesario obtener numerosas muestras en puntos fijados del proceso de producción. La tabla VIII-7 puede ser útil como guía en proyectos en los que no se haya especificado la forma de tomar muestras y el número y tamaño de éstas. Al principio de la producción puede ser necesario aumentar el número de ensayos.

Toma de Muestras: Deben tomarse las precauciones necesarias en la toma de muestras, cuarteo y ensayo de las probetas para asegurar que se obtienen resultados exactos sobre muestras realmente representativas. Se obtienen, en general, resultados óptimos empleando muestras grandes de áridos, cuarteadas cuidadosamente, hasta obtener muestras del tamaño deseado. La mejor forma de obtener muestras de asfalto

Tabla VIII-7—PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACION DE ENSAYOS

Muestra de	(1) Frecuencia mínima	(2) Tamaño mínimo	Ensayos a realizar	Norma
Aridos fríos	(1) La necesaria	Véase AASHO T-2	Análisis granulométrico. Equivalente de arena (cuando sea necesario)	AASHO T-11 AASHO T-27 AASHO T-84 AASHO T-85 Tamizado por vía húmeda, California 217 B
Cada tolva en caliente	Dos diariamente	(3) Véase AASHO T-2	Análisis granulométrico Equivalente de arena (cuando sea necesario)	AASHO T-11 AASHO T-27 California 217 B
Aridos calientes combinados	Dos diariamente	Véase AASHO T-2	(4) Análisis granulométrico	AASHO T-11 AASHO T-27
Filler mineral	(1) La necesaria	Véase AASHO T-2	Análisis granulométrico	AASHO T 37
Asfalto	Uno por cada cargamento (5)	1 litro	Enviar al laboratorio central	AASHO T-40
Mezcla sin compactar	Dos diariamente	10 kilos	(4) Extracción completa	AASHO T-168 AASHO T-164 AASHO T-30
Mezcla sin compactar	Dos diariamente	8 kilos	Densidad Estabilidad	AASHO T-166 y AASHO T-166 y las exigencias fijadas por el pliego de condiciones del proyecto.
Mezcla compactada	Según exija el inspector de colocación		Densidad	AASHO T-166

- (1) La frecuencia en la toma de muestras se regulará por las instrucciones de la Administración y por las condiciones inmediatas correspondientes a la obra en cuestión.
- (2) El tamaño de las muestras se regulará por las instrucciones de la Administración. En determinadas condiciones especiales el tamaño de la muestra puede variar.
- (3) En las instalaciones discontinuas las muestras de material de las tolvas en caliente deben tomarse del material que pasa por la compuerta de la tolva durante varias amasadas sucesivas, y en las instalaciones continuas deben tomarse en varias veces, separadas varios segundos.
- (4) En las instalaciones continuas los áridos combinados de la muestra deben obtenerse del punto de descarga en el mezclador, en varias porciones tomadas con varios segundos de separación.
- (5) Este procedimiento puede variarse de acuerdo con la práctica local.

Ensayos Sobre los Áridos:

1. Análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos, ver la especificación AASHO T27, modificada para su empleo por vía húmeda.
2. Análisis granulométrico del filler mineral, ver la especificación AASHO T37.
3. Determinación de la humedad por el método de reflujo de xileno (B28).
4. Equivalente de arena, ver el método AASHO T176.
5. Peso específico de los áridos, ver los métodos AASHO T84 y T85.

Ensayos Sobre el Asfalto:

1. Penetración. Método AASHO T49.
2. Punto de inflamación. Método AASHO T48.
3. Pérdida por calentamiento. Método AASHO T47.
4. Ductilidad. Método AASHO T51.
5. Solubilidad. Método AASHO T44.
6. Viscosidad Saybolt-Furoi Método AASHO T72.
7. Destilación. Método AASHO T78.

Ensayo de los Asfaltos Para Construcción de Carreteras:
 Cuando se ensayan asfaltos procedentes de suministradores normalmente establecidos, es usualmente innecesario gastar tiempo y dinero en un gran número de ensayos, ya que la producción normalmente no experimenta grandes variaciones una vez en marcha. El ensayo más fácil de realizar es el de penetración, y cualquier variación importante en las otras propiedades es, generalmente, acusada por él.

El ensayo de ductilidad es usualmente innecesario, ya

que la ductilidad de la mayor parte de los asfaltos empleados en carreteras es muy superior a la longitud del ductilómetro. El ensayo de penetración es de gran utilidad, empleado sobre el asfalto extraído, cuando existen motivos para sospechar sobrecalentamientos y, como consecuencia, un endurecimiento indebido.

Toma de Muestras de la Mezcla y su Ensayo: Al llegar aquí es necesario un especial aviso de precaución. Una de las mayores fuentes de error en el ensayo de materiales es el fracaso en la obtención de muestras representativas.

Los métodos de ensayo deben seguirse estrictamente. Bajo la presión de la producción de una instalación de gran capacidad existe la tentación de emplear métodos abreviados. Debe resistirse esta tentación a toda costa, porque entre todos los ensayos de control existe una relación definida. Al juzgar los resultados de un ensayo se debe estar en condiciones de predecir con razonable precisión lo que debe esperarse de los siguientes y del pavimento terminado.

Ensayos de Extracción: Hay dos tipos de ensayos de extracción:

1. El centrífugo, cubierto por el método AASHTO T164 (ASTM D1097).
2. Los métodos de reflujo.

El método AASHTO T170 cubre un método de reflujo o extracción en caliente (designación ASTM D762).

Otros varios organismos constructores de carreteras han desarrollado aparatos para procedimientos de extracción por reflujo. El método de reflujo es mas confiable y exacto que el centrífugo.

Ensayos de Estabilidad: También deben ejecutarse sobre la mezcla ensayos de estabilidad por los métodos Marshall, Hubbard-Field o Hveem. Ver el folleto "Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving", Asphalt Institute Manual Series num. 2.

Comprobación del Contenido de Asfalto de la Mezcla: El

2.

Comprobación del Contenido de Asfalto de la Mezcla: El contenido de asfalto de la mezcla, indicado por los ensayos de extracción, debe comprobarse por mediciones diarias del volumen de asfalto en los tanques de almacenaje, teniendo en cuenta el asfalto recibido durante el día. La cantidad de asfalto empleada, dividida por el peso total de mezcla indicado por la balanza de camiones o por la de la instalación, debe coincidir con bastante exactitud con los ensayos de extracción. Se obtiene otra comprobación comparando los pesos de los camiones con el producto del número de amasadas, leído en el contador instalado al efecto o en el cuentarrevoluciones, por el peso de cada amasada, tanto en áridos como en asfalto. Si se llevan con cuidado las anotaciones del asfalto empleado y los camiones o amasadas producidas, se obtendrá la mas segura comprobación del contenido de asfalto de la mezcla.

III.5 Inspección de la Instalación Mezcladora.

Inspección de la Instalación: Las obligaciones del inspector de la instalación mezcladora se describen con detalle en el folleto "Asphalt Plant Manual", Asphalt Institute Manual Series numero 3. A continuación damos una lista de puntos que el inspector de la instalación debe cubrir:

1. Hacer una completa inspección preliminar de todas las unidades de la instalación.
2. Inspeccionar el almacenaje de áridos para ver si:
 - a) Los áridos se almacenan en un lugar donde pueden mantenerse limpios.
 - b) Existen muros u otros elementos de separación adecuados para evitar la mezcla de los distintos tamanos.
 - c) Se manejan los áridos de forma que se evite la segregación y degradación.
3. Inspeccionar la calibración y fijación de las compuertas del alimentador en frío.

tro de calor adecuados.

b) Se secan los áridos hasta el contenido de humedad exigido por las especificaciones.

c) Los aparatos indicadores de las temperaturas de los áridos están debidamente instalados y comprobados en cuanto a exactitud y sensibilidad.

d) El árido se calienta uniformemente hasta la temperatura necesaria.

5. Inspeccionar los tamices de material caliente asegurándose de:

- a) Su limpieza.
- b) Que no están desgastados, y
- c) Sus dimensiones.

6. Inspeccionar las tolvas de material caliente, viendo que:

- a) No existen agujeros en las paredes de las tolvas.
- b) No hay nada que impida u obstruya el flujo de áridos.
- c) Existen elementos para eliminar, en su caso, el exceso de áridos.

7. Comprobar las balanzas para pesado de los áridos y el asfalto:

- a) Con pesos normalizados.
- b) Comprobando que dan lectura o cuando no hay carga.
- c) Comprobando su libertad de movimiento y sensibilidad.
- d) Los indicadores funcionan adecuadamente.

8. Inspeccionar el mezclado comprobando que:

- a) Los revestimientos y las paletas no se han desgastado

por encima de la tolerancia recomendada por el fabricante.

b) Se introducen los áridos adecuadamente.

c) Se distribuye el asfalto sobre la mayor superficie posible del mezclador uniformemente.

d) El tiempo de mezclado es uniforme y de acuerdo con las especificaciones.

e) El mezclador se llena hasta la altura necesaria para obtener un rendimiento óptimo.

f) La temperatura de mezclado es la necesaria para que la viscosidad del asfalto permita una completa envuelta de los áridos, y

g) El mezclado es completo y uniforme.

10. Tomar muestras y hacer sobre la mezcla los ensayos necesarios.

11. Usualmente, el pesado de la mezcla determinando las cantidades a pagar y la emisión de los "tickets" de carga en la plataforma del mezclador, o en una balanza para camiones, están bajo la supervisión del inspector de la instalación.

12. Usualmente, el inspector de la instalación hace ensayos de densidad sobre probetas tomadas del firme por el inspector de pavimentación, viendo si la compactación cumple lo especificado.

13. El inspector debe llevar nota completa de los materiales recibidos, ensayos sobre los materiales y mezclas, comprobaciones sobre el contenido de la mezcla, diarios de trabajo de la instalación, notas e informes. Ver el folleto "Asphalt Plant Manual", Asphalt Institute Manual Series, número 3.

Possible Causes of Imperfections in the Mix Produced: La tabla VIII-8 indica las causas más comunes de imperfecciones en las mezclas asfálticas de este tipo.

Capítulo IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y CONSERVACION.

IV.1 Introducción.

Antes de avocarnos al procedimiento constructivo de los pavimentos, consideramos conveniente estudiar de donde se derivan los espesores necesarios en la construcción de una carpeta asfáltica.

Cálculo de los Espesores.

Generalidades: La estructura de un pavimento asfáltico puede proyectarse y construirse de forma que pueda sustentar las mas elevadas frecuencias de tráfico y cargas por eje, distribuyendo las presiones y tenciones impuestas, reduciendolas en magnitud hasta que puedan ser soportadas con seguridad por el terreno natural. El espesor del pavimento asfáltico debe calcularse para asegurar un comportamiento satisfactorio durante largo tiempo, teniendo en cuenta las condiciones del tráfico, las características del terreno y las de los materiales de construcción. Esto exige usualmente que se empleen materiales de resistencia y valor portante cada vez mas elevados desde el terreno hasta la superficie del pavimento. Las características de los materiales utilizados influiran en el espesor de cada una de las capas de los componentes del pavimento y, por lo tanto, en el espesor total.

El método de proyecto del Instituto de Asfalto se describe con detalle en el libro "Thickness Design Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets", Manual Series num. 1 (MS-1). En esta publicación se estudia también la sustitución de diversos materiales por hormigón asfáltico de alta calidad, como las mezclas del tipo IV del Instituto de Asfalto, fijandose coeficientes de reducción de espesores para la suustitución de estos materiales, con cuyo empleo pueden determinarse las combinaciones de materiales mas económicas y duraderas. La construcción de pavimentos asfálticos ofrece tantas posibilidades que frecuentemente pueden utilizarse diversos tipos de mezclas asfálticas para un tráfico y condiciones climatológicas dados. Hay ocasiones en que también pueden conseguirse resultados excelentes con mezclas de tipo distinto de las de tipo IV del Instituto de Asfalto; sin embargo, todavía no se han determinado con

Método de Cálculo: El método del Instituto de Asfalto para la determinación de espesores de los pavimentos asfálticos utiliza como datos el tráfico previsto, la resistencia de la superficie de sustentación existente (CBR, Valor R, Valor Portante y Ensayo de Placa), la calidad de los materiales a utilizar y los procedimientos de construcción.

1. "Estudio del Tráfico". El tráfico previsto se materializa en un "Índice de Tráfico de Proyecto", que es el número medio de ejes simples de 18000 libras previsible por día y vía de tráfico más pesado durante el período de proyecto, que es normalmente de 20 años. Hay varios métodos para calcular el Índice de Tráfico de Proyecto.

2. "Resistencia del Terreno y de los Materiales de Subbase y Base". Debe medirse la resistencia del material que vaya a utilizarse en la construcción de la estructura de un pavimento asfáltico consiguiendo datos para un proyecto adecuado y económico. También es necesario estudiar los materiales para determinar su calidad y establecer las exigencias de compactación. Los ensayos para determinación de la resistencia mecánica que se indican a continuación son los más frecuentemente utilizados y los recomendados por el Instituto de Asfalto:

a) Valor portante de California (CBR).

b) Valor portante en el ensayo de placa, en kg/cm², placa de 30 cm, asiento de 5 mm, 10 repeticiones.

c) Valor R (Hveem).

Los métodos para determinar la resistencia de los materiales de cimentación se describen con detalle en el libro "Soils Manual for the Design of Asphalt Pavement Structures", Manual Series num. 10 (MS-10).

3. "Métodos de Proyecto". Después de determinar la resistencia de los materiales de cimentación y el índice de Tráfico de Proyecto, se determina el espesor de la estructura del pavimento mediante el empleo del ábaco de proyecto adecuado (ver figs. V-3 y V-4). Como consecuencia de las diferencias de procedimiento y valores numéricos en los valores del CBR y

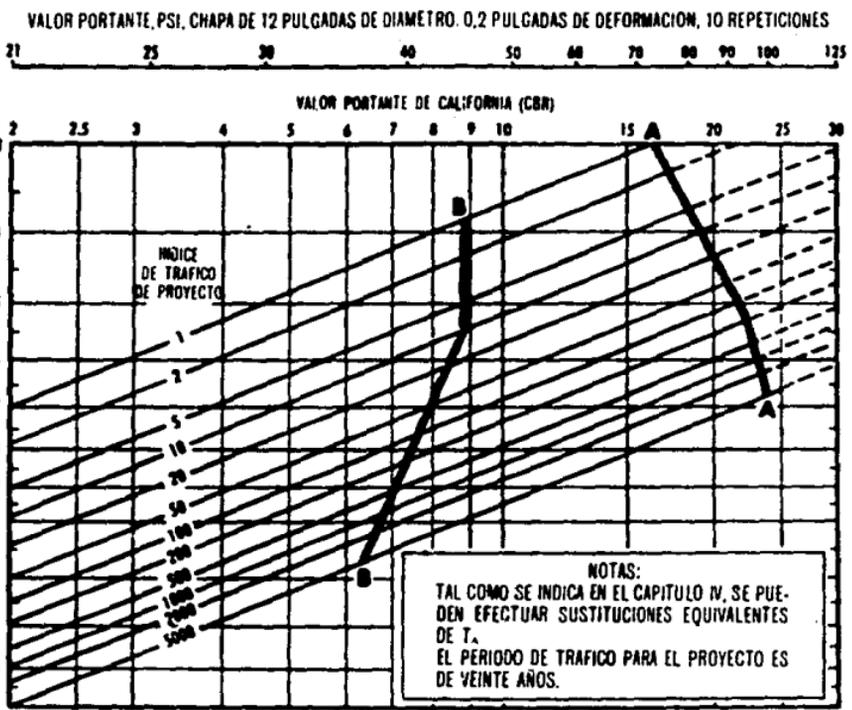
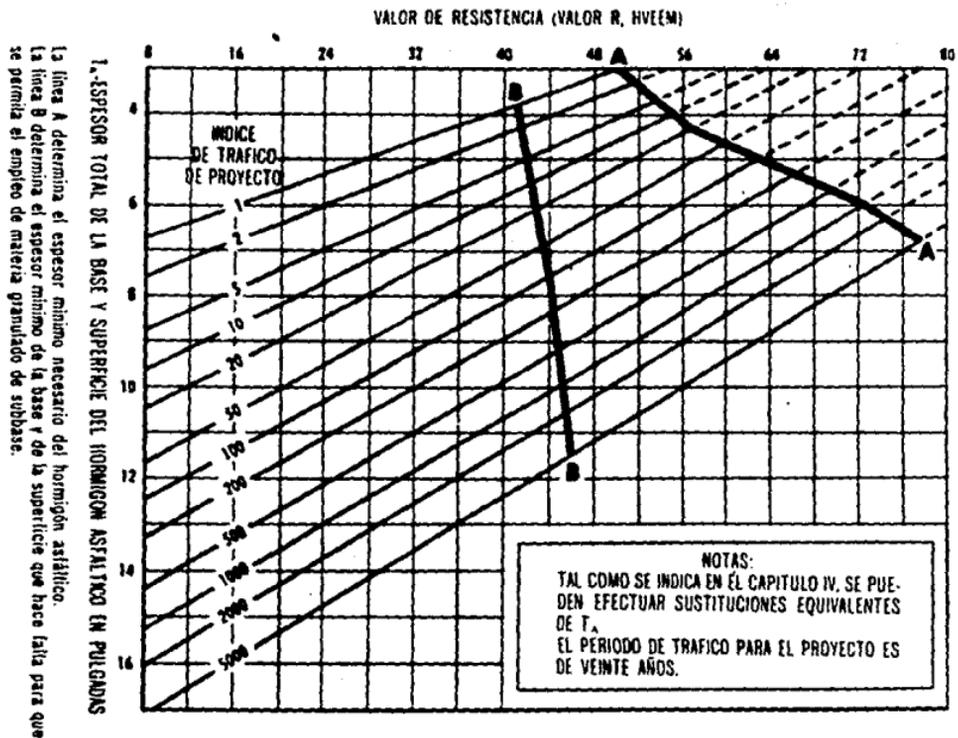


Figura V-3. Condiciones de espesor para pavimentos de asfalto cuando se emplean valores portantes en el ensayo de placa o valores portantes de California para calcular la resistencia del terreno.



La línea A determina el espesor mínimo necesario del hormigón asfáltico.
 La línea B determina el espesor mínimo de la base y de la superficie que hace falta para que se permita el empleo de materia granulada de subbase.

**Figura V-4. Espesor necesario de las estructuras de pavim-
 entación de asfalto empleando valores de resistencia
 del terreno.**

del valor R, se dan ábacos de proyecto separados para cada uno. Como puede establecerse una correlación entre los valores portantes en el ensayo de placa y el CBR obtenido por ensayo en el laboratorio de muestras no perturbadas, puede utilizarse el mismo ábaco sea cual fuere el ensayo utilizado de estos dos.

Quando existe cierta variedad de materiales disponibles para la construcción de la estructura de un pavimento asfáltico, deben estudiarse diversas variantes utilizando combinaciones distintas de estos materiales para determinar el pavimento mas económico.

4. "Estudio Económico y Selección de la Solución". Después de proyectar diversas variantes, se determina el costo estimado de cada sección, incluyendo otros elementos, como los costos anuales medios de conservación, las condiciones climatológicas y los resultados obtenidos en la práctica con pavimentos asfálticos contruidos utilizando los materiales locales.

En ciertas zonas, la experiencia y condiciones locales pueden justificar una modificación del espesor del proyecto. Los espesores obtenidos por el método del Instituto de Asfalto estan del lado de la seguridad y son adecuados para las condiciones mas difíciles. Sin embargo, los ensayos físicos y químicos, normalmente utilizados pueden no ser suficientes para preveer el comportamiento de los suelos. Cuando hay motivos para creer que existe este tipo de circunstancias, debe consultarse a un experto en el tipo de suelos en cuestión.

Período de Proyecto: El período de proyecto es el numero de años que debe pasar antes de que sea necesario aplicar el primer refuerzo al nuevo pavimento asfáltico. El procedimiento que se describe en el Manual de Cálculo de Espesores (MS-1, "Thickness Design") del Instituto de Asfalto, se basa en un período de proyecto de 20 años, pero se dan los métodos que pueden utilizarse para períodos de proyecto de duración mayor o menor. Se estima que el final del período de proyecto es el momento en que el pavimento alcanza un índice de utilidad de 2.5. (El índice de utilidad es un numero comprendido entre 0 y 5 que permite clasificar un pavimento segun sus cualidades de rodadura. Los firmes a los que corresponde una puntuación de 2.5 necesitan un nuevo pavimen-

to).

Previsión de la Construcción por Etapas: Muy frecuentemente puede preverse la construcción por etapas para lograr mayor economía y mejor comportamiento del pavimento. Un posible método es proyectar para periodos relativamente cortos, por ejemplo cinco años o menos, previendo los refuerzos que puedan ser necesarios. Otro método es proyectar para un periodo de 20 años por ejemplo, reduciendo después el espesor en 3 ó 5 cm y previendo añadir el espesor restante cuando el índice de utilidad se aproxime a 2,5. Ambos métodos se describen con detalle en el Manual MS-1 "Thickness Design" del Instituto de Asfalto.

Drenaje y Compactación: Un buen drenaje y una completa preparación y compactación del terreno y de la base son características esenciales de un pavimento adecuadamente proyectado y construido. El Manual sobre el cálculo de espesores (MS-1) contiene información sobre el drenaje de las estructuras de los pavimentos asfálticos. También se dan detalles sobre la compactación de las diversas capas de la estructura de un pavimento asfáltico en el citado manual MS-1, "Thickness Design".

Efectos de las Heladas: La susceptibilidad a las heladas esta estrechamente relacionada con la susceptibilidad al agua, por lo que, tanto la selección como el tratamiento de los materiales encaminados a conseguir la resistencia a uno de los efectos, lo conseguirá también respecto al otro. En los lugares en los que se producen temperaturas muy bajas que puedan dar lugar a la congelación del terreno deben elegirse para la subbase y la capa de terreno mejorado, materiales que no puedan tener un comportamiento perjudicial cuando sean sometidos a ciclos de hielo y deshielo. Debe tenerse en cuenta la posibilidad de utilizar membranas asfálticas para controlar la humedad de los terraplenes construidos con suelos susceptibles de grandes cambios de volumen.

Los problemas que produce la congelación y sus posibles soluciones, incluso el empleo de las membranas asfálticas, se estudian detalladamente en el manual de cálculo de espesores del Instituto de Asfalto (MS-1, "Thickness Design").

Recargos Asfálticos Sobre Pavimentos Existentes: Los

Recargos Asfálticos Sobre Pavimentos Existentes: Los pavimentos existentes pueden mejorarse aplicandoles una capa de rodadura de hormigón asfáltico o, en caso de que sea necesario, una capa de base y otra de rodadura. En ciertas condiciones, puede incluirse en el recargo una base de alta calidad no asfáltica. Los recargos pueden dividirse en dos categorías, según su finalidad:

1. Recargos destinados a conseguir superficies de rodadura lisas, antideslizantes e impermeables, o a conseguir mejora de los perfiles longitudinal o transversal.
2. Recargos destinados a reforzar pavimentos existentes de forma que puedan soportar cargas mayores o incrementos del tráfico.

En el primer caso, los recargos se componen usualmente en su totalidad de hormigón asfáltico y el espesor necesario está determinado por factores no relacionados con el incremento de la resistencia del pavimento.

En el segundo caso, en el que es necesario un aumento de la resistencia de la estructura, el procedimiento de proyecto se basa en el concepto de que las capas antiguas y las nuevas deben formar una estructura compuesta, con la resistencia y características de funcionamiento necesarias para las nuevas condiciones.

El manual de cálculo de espesores MS-1 describe los procedimientos para determinar el espesor de los recargos.

IV.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Los tipos de carpeta asfáltica que se utilizan en México para la construcción de carreteras, son los que se indican a continuación, definiéndose en función del tránsito total probable de vehículos (ligeros, pesados y semi-pesados), en ambos sentidos:

A) Carpeta Asfáltica de Un Riego.

Se emplea para un tránsito inferior a 1000 vehículos diarios.

Aunque este tipo de carpeta casi no se proyecta actualmente, su construcción se justifica en algunos casos por las características o calidad de los materiales de Base o de la propia Carpeta, a fin de proporcionarle mayor duración al pavimento, ya que su calidad es superior a la de Un Riego, principalmente debido a su mayor espesor. Las Carpetas Asfálticas de 2 Riegos son adecuadas para resistir un tránsito máximo de 1000 vehículos diarios.

C) Carpeta de Mezcla Asfáltica.

Las Carpetas de Mezcla Asfáltica, elaboradas con emulsiones o productos asfálticos rebajados, construidas con el sistema de mezcla en el lugar, en planta móvil o estacionaria, se usan para carreteras con tránsito de 1000 a 4000 vehículos diarios. El espesor recomendable de estas Carpetas varía de 3 a 6 cm, y se determina de acuerdo con el volumen de tránsito probable, es decir, que cuando se estima un sistema de tránsito cercano a los 1000 vehículos diarios puede elegirse el espesor de 3 cm, pero cuando la cuantificación del tránsito estimado se aproxima a los 4000 vehículos diarios, la Carpeta se construye con espesor de 6 cm.

En México, generalmente las Carpetas de Mezcla Asfáltica se construyen con el sistema de mezcla en el lugar, utilizando productos asfálticos rebajados.

D) Carpetas de Concreto Asfáltico.

Las Carpetas de Concreto Asfáltico, construidas con materiales pétreos triturados y cemento asfáltico, elaboradas en caliente con planta estacionaria, se emplean para carreteras con tránsito mayor de 4000 vehículos diarios o para autopistas. El espesor compacto de la carpeta en estos casos, se fija de 5 a 7.5 cm, dependiendo de las condiciones propias de la obra.

Al comparar los costos medios relativos de los distintos tipos de Carpeta Asfáltica, se manifiesta la gran importancia de efectuar en cada caso una correcta selección del tipo de Carpeta, la cual debe justificarse tanto técnica como económicamente. Estos costos medios relativos son los

Carpeta, la cual debe justificarse tanto técnica como económicamente. Estos costos medios relativos son los siguientes:

Tipo de Carpeta	Costo medio relativo tomando como unidad el costo del m ² de la Carpeta Asfáltica de Un Riego.
a) Carpeta Asfáltica de Un Riego.	1.00
b) Carpeta Asfáltica de 2 Riegos.	2.00
c) Carpeta de Mezcla Asfáltica:	
Para espesor compacto de 3 cm.	3.25
Para espesor compacto de 6 cm.	5.50
d) Carpeta de Concreto Asfáltico:	
Para espesor de 5 cm. ..	6.50
Para espesor de 7.5 cm.	9.25

A) Carpetas Asfálticas de Un Riego:

IV.2.1 Características de la Subrasante, Espesores y Requisitos de la Subbase y Base de Pavimento.

La Carpeta Asfáltica de Un Riego, debe construirse sobre una carretera cuya Subrasante cumpla con las características de calidad y compactación marcadas en el Capítulo XC de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.O.P.

espera es inferior a 1000 vehículos diarios, de cualquier tipo en ambos sentidos, se calcula aplicando al material de la Subrasante la prueba modificada de valor relativo de soporte (Especificaciones S.O.P., Parte Novena Cláusula 108-13) y empleando la gráfica 4 que aparece a continuación.

El espesor que marca la curva, es el espesor total de la Subbase ~~mas~~ la Base de pavimento. El espesor de la Base no debe ser en ningún caso menor de 12 cm compactos y el espesor mínimo de la Subbase es de 10 cm compactos. La compactación que deberá darse a estos materiales es del 100% del peso volumétrico seco ~~máximo~~ obtenido con el método de prueba S.O.P., Parte Novena, Cláusula 108-11.

2. Los materiales empleados como Subbase de pavimento para carreteras, debe llenar los requisitos siguientes:

a) De granulometría. (Método de prueba S.O.P., Parte Novena, Cláusula 109-8).

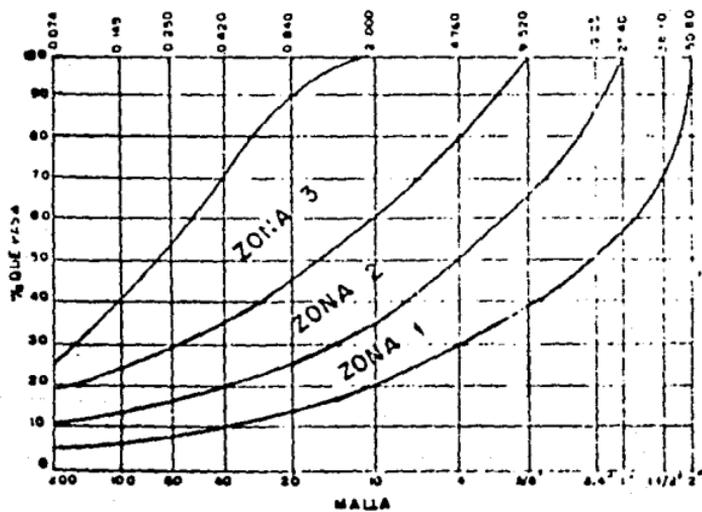
La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 y tendrá una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pase la malla No. 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65).

El tamaño de las partículas del material no deberá ser mayor de 50 mm (2").

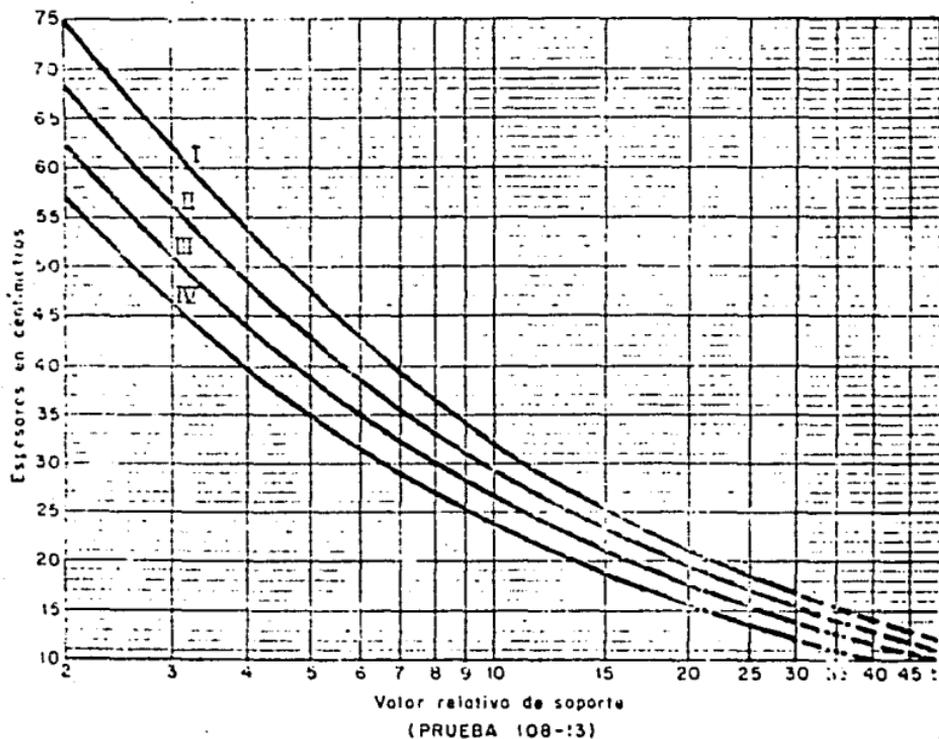
b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena, los indicados en el cuadro que sigue, de acuerdo con los métodos de prueba S.O.P., Parte Novena, Capítulo CIX:

Zona en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Contracción lineal en por ciento.	6.0 Máx	4.5 Máx	3.0 Máx

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS.



GRAFICA PARA CALCULAR EL ESPESOR MINIMO DE SUB-BASE
 MA^o BASE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS
 EN FUNCION DE V. R. S. DE LA SUB-RASANTE



Nota: El espesor de la carpeta asfáltica debe considerarse como adicional al valor obtenido con las gráficas anteriores.

INTENSIDAD DE TRANSITO DE TODO TIPO DE VEHICULOS CONSIDERADO EN DOS SENTIDOS	CURVA APLICABLE PARA PROYECTO DE ESPESORES	ESPESOR MINIMO DE SUB-BASE	ESPESOR MINIMO DE BASE
Menos de 1000 vehículos al día	IV	10	12 cm
De 1000 a 2000 " " "	III	10	12 cm
De 2000 a 4000 " " "	II	10	15 cm
Más de 4000 ó autopistas	I	10	15 cm

Valor cementante en kg/cm 2 para materiales angulosos.	3.5 Min	3.0 Min	2.5 Min
Valor cementante en kg/cm 2 para materiales redondeados y liosos	5.5 Min	4.5 Min	3.5 Min
Valor relativo de soporte en porciento	50	Min	
Equivalente de arena en porciento	30 Min	(Tentativo)	

Quando la curva granulométrica del material se aloje en dos zonas, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede localizada la parte de dicha curva, correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas Nos. 40 y 200.

c) De su grado de compactación en la carretera.

El material deberá compactarse a 100% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, determinado mediante el método de prueba S.O.P. Parte Novena, Cláusula 108-11, exceptuando los casos en que el Ingeniero Encargado de la Obra juzgue conveniente modificar el grado de compactación.

3. Los materiales empleados como Base de Pavimento para carreteras, deben llenar los requisitos siguientes:

a) De granulometría, las mismas especificaciones señaladas para el caso de la Subbase.

b) De límite líquido, contracción lineal y valor cementante, los indicados en el cuadro siguiente, determinados de acuerdo con los métodos de prueba S.O.P., Parte Novena, Capítulo CIX:

Zona en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Limite Líquido	30 Máx	30 Máx	30 Máx
Contracción lineal en por ciento	4.5 Máx	3.5 Máx	2.0 Máx
Valor cementante en kg/cm 2 para materiales angulosos	3.5 Mín	3.0 Mín	2.5 Mín
Valor cementante en kg/cm 2 para materiales redondeados y lisos ...	5.5 Mín	4.5 Mín	3.5 Mín

Cuando la curva granulométrica del material se aloje en dos zonas, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede localizada la parte de dicha curva correspondiente a la fracción comprendida entre las mallas Nos. 40 y 200.

c) De valor relativo de soporte y equivalente de arena, determinados de acuerdo con los métodos de prueba S.O.P., Parte Novena, Capítulo CIX:

Intensidad de Tránsito en dos sentidos, considerando todo tipo de vehículos	Valor Relativo de Soporte	Equivalente de Arena (Tentativo)
Hasta 1000 vehículos al día	80 Mín	35 Mín

d) De afinidad con el asfalto. Desprendimiento por fricción, de acuerdo con los métodos de prueba S.O.P., Parte Novena, Capítulo CX

De cubrimiento con asfalto (Método Inglés), de acuerdo

De cubrimiento con asfalto (Método Inglés), de acuerdo con los procedimientos de prueba S.O.P. Parte Novena, Capítulo CX: 80% Mfn.

e) De su grado de compactación en la carretera, las mismas especificaciones señaladas para el caso de la Subbase.

IV.2.2 Riego de Impregnación.

A la Base de pavimento convenientemente preparada y terminada debe dársele un Riego de Impregnación, que es la aplicación de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio o lento.

Este Riego de Impregnación tiene la función de formar una transición estable entre la Base y la Carpeta, para lo cual debe quedar anclado en la Base, además de aglutinar las partículas en la zona penetrada y reducir la permeabilidad de la superficie impregnada.

Como ya se dijo anteriormente, las Bases deben construirse con materiales que cumplan las especificaciones respectivas y quedar bien compactadas y conformadas; en el momento de recibir el riego asfáltico, deben estar secas superficialmente, de preferencia hasta una profundidad de 1/2 a 1 cm, además de encontrarse exentas de polvo y de cualquier otro material suelto o extraño.

La textura de la Base varía con el tipo de material que se use y la bondad del Riego de Impregnación depende en gran parte de esta textura; por este motivo, es aconsejable que la curva granulométrica del material para la Base este preferentemente dentro de las zonas 1 o 2 de las Especificaciones granulométricas y que la cantidad de partículas de diámetro menor de .005 mm, sea inferior al 10%; que las partículas de tamaño medio y grueso que contenga el material de la Base, sean relativamente duras, para que no se rompan, en forma apreciable, durante el proceso de compactación, modificando considerablemente su granulometría; finalmente, se requiere que exista una buena adherencia entre el asfalto del Riego de Impregnación y el material de la Base en estado húmedo, ya que es prácticamente imposible que la Base permanezca seca, aún en climas relativamente áridos, una vez que ha quedado

1. Producto Asfáltico.

El producto asfáltico adecuado para este riego, debe ser de baja viscosidad y tener un disolvente que no sea de rápida volatilidad, ya que esto ocasionaría que el producto regado aumentara rápidamente su viscosidad, quedándose en la superficie.

Los productos asfálticos recomendados para este fin normalmente son del tipo FM-0, FM-1 y FM-2; para aquellos lugares donde se tenga un clima muy caluroso, cuya temperatura mínima no sea inferior a 30 g C durante los días de trabajo, pueden usarse los productos FL-1 o FL-2.

Los métodos de prueba para estos productos asfálticos son los indicados en el Capítulo XCIII de la Parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.O.P.

Se hace notar, que aunque es conveniente emplear un producto poco viscoso, lo que importa es que quede una película asfáltica, de un espesor adecuado, cubriendo las partículas de la Base en la zona impregnada, por lo que no es adecuado emplear productos demasiado fluidos, debido a su bajo contenido de cemento asfáltico, ya que si esto sucede, se puede obtener una mayor penetración del riego, pero la película de cemento asfáltico será tan delgada que apenas alcanzará a pintar las partículas. Cuando por motivos especiales, es necesario aplicar un producto con bajo contenido de cemento asfáltico (por ejemplo FM-0), es aconsejable dar primero una aplicación y después de que haya penetrado, dar una segunda aplicación, con objeto de que no quede demasiado delgada la película asfáltica, para no correr el riesgo de que el Riego de Impregnación afloje superficialmente la Base, haciendo un efecto de lubricante en vez de cementante, que es lo deseable.

El riego asfáltico debe penetrar completamente la Base sin que quede exceso de asfalto no absorbido en la superficie. Es común observar que un producto asfáltico se puede comportar en diferente forma cuando se aplica sobre una Base que tiene aparentemente poca variación, por lo que es de suma importancia, una vez que ha quedado definido el tipo de producto asfáltico, hacer pruebas sobre la Base debidamente preparada, para determinar la cantidad por metro cuadrado que

hay que regar, modificando esta cantidad cada vez que sea necesario. Lo anterior significa que el tipo y cantidad de asfalto por regar, deben ser determinados en función de la textura y permeabilidad de la Base, así como de la temperatura ambiente.

Las cantidades de producto asfáltico que normalmente deben regarse, varían entre 1.2 y 2.0 lts/m². Es preferible que la cantidad de asfalto regada quede ligeramente escasa, que tener un exceso no absorbido que pueda afectar la estabilidad de la Carpeta, es decir, que provoque corrimientos de la misma, o bien, que el exceso de asfalto ascienda a la superficie de la Carpeta provocando llovamientos en ella. Una Base que requiera más de 2.00 lts/m², es una Base defectuosa, que está demasiado abierta, ya sea por mala graduación o por falta de compactación, o bien, que contiene gran cantidad de partículas de alta absorción (Partículas porosas).

2. Cuidados que hay que tener para conseguir un buen Riego de Impregnación.

Para obtener un buen Riego de Impregnación, es necesario tomar las siguientes precauciones:

a) Antes de recibir el riego de producto asfáltico, la Base debe estar bien conformada, compactada y seca, preferentemente hasta una profundidad entre 1/2 y 1 cm.

b) La Base debe estar exenta de polvo y partículas sueltas o extrañas, por lo cual, antes de recibir el riego de asfalto, deberá barrerse lo mejor posible.

c) La Base no debe tener depresiones donde pueda encharcarse el asfalto del riego; si esto sucede, hay que quitar el exceso de asfalto de los charcos, por medio de cepillos, cuando todavía se encuentra fluido.

d) La petrolizadora deberá estar provista de un equipo para calentar el producto asfáltico y de una bomba con la potencia adecuada para dar la presión suficiente que produzca una dispersión uniforme en todas las "espreas" de la barra; esta deberá ajustarse para que durante el riego permanezca a una altura constante, de manera que trabajando adecuadamente

todas las "espreas", se cubra uniformemente la superficie.

e) Para determinar exactamente el volumen total de producto asfáltico aplicado en un tramo por la petrolizadora, el tanque de esta debiera estar calibrado en tal forma que pueda medirse su contenido en incrementos de 100 lts. La calibración de un tanque distribuidor se realiza encontrándose vacío y con las válvulas y tubos de salida cerrados para evitar fugas del líquido. Se llena el tanque con agua, utilizando recipientes bien medidos de 100 lts de capacidad; después de añadir cada recipiente de agua, se mide y se apunta la profundidad del agua en el centro del tanque. Las profundidades así obtenidas se marcan en una regla metálica; esta regla es la que debe emplearse para determinar adecuadamente el contenido del tanque a cualquier nivel. Antes de comenzar una aplicación de asfalto, se mide con la regla el tanque para determinar su contenido, operación que se repite después de haber terminado la aplicación, midiendo con la regla el asfalto que queda en el tanque y calculando la cantidad regada por metro cuadrado; o bien, colocando en el tramo por regar un papel de superficie conocida y pasando el papel antes e inmediatamente después de dar el riego; este último procedimiento puede ser usado para comprobar si es correcta la calibración de la regla utilizada para una determinada petrolizadora.

f) El producto asfáltico deberá regarse a la temperatura recomendada en las tablas de aplicación, pero como se requiere que la viscosidad permanezca lo mas baja posible para que el producto pueda penetrar, es aconsejable dar el riego a la hora de mas calor en el día.

Producto Asfáltico	Temperatura de	Recomendable de	Aplicación
F. L. 0.	30	a	60 g C
F. L. 1.	50	a	85 g C
F. L. 2.	60	a	100 g C
F. L. 3.	80	a	120 g C

F. M. 0.	30	a	60 g	C
F. M. 1.	50	a	80 g	C
F. M. 2.	60	a	100 g	C
F. M. 3.	80	a	120 g	C

g) El periodo de curado debe ser como mínimo de 24 horas; se recomienda cerrar al tránsito el tramo impregnado mientras no haya penetrado la mayor parte del producto asfáltico regado y hasta después de haber endurecido el que queda en la superficie, de tal modo que no se levante con las llantas de los vehículos. Cuando por razones de necesidad no sea posible dejar mucho tiempo cerrado un tramo, puede darse después de transcurridas 12 horas como mínimo, un riego de arena para evitar que las llantas levanten el asfalto; esto podría hacerse como una medida de emergencia; aunque siempre es preferible dejar que el riego de asfalto tenga su tiempo de curado completo sin permitir el tránsito sobre él.

b) La Base impregnada no deberá dejarse sin Carpeta durante mucho tiempo, pues se corre el peligro de que el tránsito la deteriore. Este tiempo es variable según la intensidad de tránsito, el clima del lugar y la calidad de los materiales; el tiempo normal que debe transcurrir entre la fecha en que se da el Riego de Impregnación y la construcción de la Carpeta no debe exceder de los 8 días. En casos especiales, en que se requiera mayor tiempo para construir la Carpeta y no se observen deterioros en la Base, el periodo anterior puede aumentarse hasta un mes.

3. Como juzgar la bondad del Riego de Impregnación.

El Riego de Impregnación bien aplicado es aquel en donde la superficie tratada de la Base, queda uniformemente cubierta con el producto asfáltico y este queda firmemente adherido a ella; la penetración normal del Riego de Impregnación en una Base, es de 8 a 10 mm; sin embargo, en algunos casos una penetración de 3 a 5 mm puede ser satisfactoria, si hay anclaje y buena adherencia entre el asfalto y la Base.

casos una penetración de 3 a 5 mm puede ser satisfactoria, si hay anclaje y buena adherencia entre el asfalto y la Base.

La importancia del Riego de Impregnación aumenta mientras mas delgada sea la Carpeta Asfáltica que se construya, por este motivo hay que hacer hincapié en dejar un buen Riego de Impregnación, sobre todo cuando se construyen las Carpetas de Un Riego. En estos casos, ademas de todas las precauciones aconsejables, es indispensable cerciorarse de la afinidad del material de la Base con el asfalto, con el objeto de tomar las medidas necesarias para que la adherencia del riego sea satisfactoria.

4. Medidas que pueden tomarse para mejorar el Riego de Impregnación.

Cuando a pesar de haberse observado todas las indicaciones anteriores, el Riego de Impregnación no queda de la calidad deseada y ligado firmemente a la Base, se pueden tomar todas o algunas de las siguientes medidas:

a) Incorporar a la Base, mediante mezclado, arena o material grueso, con el fin de reducir el porcentaje de partículas menores de 0.074 mm de diámetro y obtener una textura mas apropiada en la Base.

b) Emplear un producto asfáltico menos viscoso, con objeto de que penetre mejor.

c) Adicionarle al producto asfáltico un aditivo adecuado, con lo que además de mejorar la adherencia con el material pétreo, se aumenta también su penetración en la Base.

d) Cuando después del barrido de la Base, queda una superficie de textura cerrada, muy seca y de apariencia polvosa, puede darse un riego ligero de agua con un esparcidor equipado con bomba, barra y "espreas", para desalojar el aire absorbido que tienen principalmente las partículas mas finas y que impide un buen cubrimiento del producto asfáltico. Se debe dejar este riego hasta que se evapore parte del agua y cuando empiece a dar la Base la apariencia de estar seca, se procederá a la aplicación del producto asfáltico.

cion.

Las Carpetas Asfálticas de Un Riego se construyen sobre la Base debidamente preparada e impregnada, mediante la aplicación de un producto asfáltico cubierto con material pétreo 3-A, 3-B o 3-E.

1. Productos asfálticos empleados.

Los productos asfálticos empleados en las Carpetas de Un Riego, pueden ser emulsiones de fraguado rápido o asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR-3 o FR-4).

El producto mas usual en nuestro País es el asfalto rebajado FR-3, sin embargo, para definir cual es el producto asfáltico mas conveniente, debe tomarse muy en cuenta la viscosidad y la temperatura de aplicación, para que pueda regarse la cantidad adecuada sin escurrimiento apreciable motivado por el bombeo, sobreelevación en las curvas y pendiente longitudinal; por tal motivo, en zonas de alta temperatura, es recomendable emplear un producto mas viscoso, así como en carreteras que tengan curvas muy frecuentes y fuerte pendiente longitudinal.

Las temperaturas de aplicación de los productos asfálticos, son las que aparecen en el siguiente cuadro, haciéndose notar que no debe efectuarse ningún trabajo de pavimentación si la temperatura ambiente es inferior a 10 g C.

Producto Asfáltico	Temperatura de Aplicación Recomendable		
Emulsiones Asfálticas	De 30 g C	a	50 g C
FR-3	De 60 g C	a	80 g C
FR-4	De 80 g C	a	100 g C

2. Los materiales pétreos para Carpetas de Un Riego deberán satisfacer los siguientes requisitos, determinados de acuerdo

con los métodos de prueba S.O.P., Parte Novena, Capítulo CX.

a) De granulometría:

Por Ciento que Pasa la Malla						
	12.7	9.52	6.25	Numero	Numero	Numero
	mm,	mm,	mm,	4	8	40
	1/2"	3/8"	1/4"			

3-A	100	95 Min	--	--	5 Máx	0
3-B		100	95 Min	--	5 Máx	0
3-E	100	95 Min	--	5 Máx	0	--

En general, se recomienda emplear el material 3-E para este tipo de tratamiento, preferentemente a los materiales 3-A y 3-B.

b) De desgaste Los Angeles, para cualquier tipo de agregado. 30% Máximo.

c) De intemperismo acelerado. 12% Máximo.

d) De afinidad con el asfalto. Desprendimiento por fricción. 25% Máximo.

e) De cubrimiento con asfalto (Método Inglés). 90% Mínimo.

3. Cantidades recomendables de material pétreo y producto asfáltico.

La cantidad de producto asfáltico que deberá regarse estará en general comprendida entre 1 y 1.5 lts/m²; la cantidad de material pétreo podrá variar de 10 a 12 lts/m²; las cantidades anotadas anteriormente, pueden servir de guía para definir la cantidad de asfalto y material pétreo que

debe regarse; sin embargo, es mas conveniente hacer pruebas para definir dichas cantidades procediendo en la siguiente forma:

a) Sobre un tramo de Base convenientemente impregnado, se marcará un cuadro de 1 m² aproximadamente y se extenderá en el cuidadosamente, a mano, el material pétreo que se va a usar. Si por alguna cuausa no es posible hacer la prueba en la propia carretera, se podrá preparar una superficie lo mas sizzilar a la de la Base sobre la que se colocará la Carpeta. La distribución del material pétreo se hara en tal forma que no aparezcan zonas sin cubrir y que el espesor de la capa no sea mayor que la dimensión de las partículas mas grandes. En esta forma, se determina la cantidad mínima que hay que regar de material pétreo por metro cuadrado, la cual deberá incrementarse en un 10% a 15% para dar la cantidad práctica de material pétreo que se utilizará en el riego.

b) Preferentemente sobre la Base debidamente impregnada o en su defecto, en una superficie en condiciones similares, se marcara un cuadro de 1 m² aproximadamente, regando una cantidad de producto asfáltico, en litros, numéricamente igual a la novena parte del espesor en mm de la capa obtenida segun se indica en el punto a). Una vez dado el riego de producto asfáltico, se cubre con la cantidad práctica de material pétreo definida como esta indicado en el punto a) y se procede a ejecutar su apisonado usando un mazo de madera de una superficie de 1 decimetro cuadrado aproximadamente, recubierto de hule grueso. Este cuadro se deja 8 dias protegido del tránsito; después de transcurrido este tiempo, se barre cuidadosamente con objeto eliminar el material que no se fijo, recogíendolo para medir su volumen.

c) Se hacen nuevas pruebas procediendo en la misma forma indicada en el punto b) con las cantidades de producto asfáltico correspondientes a 1/8, 1/7 y 1/6 del espesor de la capa de material pétreo.

d) La cantidad adecuada de producto asfáltico será la correspondiente a la prueba que use menos desprendimiento de material pétreo y no presente afloramientos de asfalto.

4.- Equipo.

Para el riego del producto asfáltico deberá emplearse una petrolizadora con equipo de calentamiento para proporcionarle a dicho producto la temperatura recomendada; así mismo, la petrolizadora deberá contar con una bomba de potencia suficiente para dar una presión que produzca una dispersión uniforme en todas las "espreas" de la barra; esta deberá ajustarse para que durante el riego permanezca a una altura constante de manera que trabajando adecuadamente las "espreas", riegue uniformemente cubriendo toda la superficie. Para determinar exactamente el volumen total del producto asfáltico aplicado en un tramo, se proceda en la misma forma descrita para el Riego de Impregnación.

Para el tendido del material pétreo deberá usarse un esparcisor que garantice la uniformidad de distribución de dicho material. Para el planchado deberán utilizarse rodillos y rodillos neumáticos con peso máximo de 7 toneladas.

Se usarán rastras ligeras de fibra para obtener una mejor distribución del material pétreo.

5. Procedimiento de construcción.

Sobre la base impregnada y limpia, se aplicará un riego de producto asfáltico del tipo y la cantidad por metro cuadrado fijados. Una vez aplicado el riego de producto asfáltico, se procederá a cubrirlo con material pétreo 3-A, 3-B o 3-E según el caso, en la cantidad especificada. Después de extendido el material pétreo con esparcisor y con objeto de tener una mejor distribución del mismo, se le pasará una rastra ligera de raíz o de fibra para que la superficie quede exenta de ondulaciones, bordos, depresiones, etc., iniciándose inmediatamente el planchado con rodillo liso, que deberá efectuarse, en las tangentes, de la orilla hacia el centro, mientras que en las curvas, del lado interior de la curva hacia el lado exterior; esta operación de planchado con rodillo liso, debe proseguirse con el compactador neumático. Deberá pasarse el equipo de planchado, cubriendo toda la superficie 2 veces como mínimo.

Cuando se de por terminado el planchado y después de que transcurran como mínimo 6 a 8 horas de la terminación del mismo, puede abrirse al tránsito la carretera, poniendo especial cuidado en que la velocidad de los vehículos no

exeda de 10 Km/hr durante los primeros cuatro días, aunque siempre que sea posible, es aconsejable contar con desviaciones o bien, hacer el trabajo por alas, con el fin de no transitar durante los primeros cuatro días, con objeto de permitir así que el material pétreo quede firmemente adherido al producto asfáltico. Diariamente, durante los cuatro primeros días, deberá rastrearse y replancharse con rodillo neumático el tramo construido; después de este tiempo, se considera que el material pétreo suelto ya no puede adherirse al asfalto, por lo que deberá procederse a su barrido y remoción fuera de la Carpeta.

No deberán regarse con el producto asfáltico tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con el material pétreo y es necesario verificar antes de dar el riego del producto asfáltico, que la Base este impregnada adecuadamente y que se encuentre seca y limpia.

No deberá permitirse la construcción de la Carpeta Asfáltica si la temperatura ambiente es inferior a 10 g C.

Al hacerse la aplicación del producto asfáltico, deberá tenerse especial cuidado en evitar los empalmes de los riegos, siendo conveniente colocar una tira de papel en los lugares donde se inicien (cada tira de 0.1 a 0.2 m. de ancho, aproximadamente).

6.- Control de la construcción.

El control de la construcción de este tipo de Carpetas se consigue ajustando las cantidades por metro cuadrado de material pétreo y de producto asfáltico, de acuerdo con los resultados obtenidos en los primeros tramos, de tal modo que se consiga fijar capas uniformes de material pétreo, sin excederse en la proporción de asfalto. La buena calidad de un pavimento, se logra con procedimientos de construcción adecuados; el control de la construcción se reduce, por una parte, a la verificación de la calidad de los materiales y por otra, a la vigilancia de todas las etapas del trabajo, las cuales deben estar a cargo de personal experimentado y responsable, que pueda tener facultades ejecutivas, siendo por lo tanto esta última parte, atribución fundamental del Ingeniero Encargado de la Obra.

7.- Defectos que se observan muy comunmente y que deben ser evitados.

a).- En algunos casos los riegos asfálticos se aplican traslapandolos en la línea central y en el lugar de arranque de la petrolizadora, lo cual ocasiona que en estos lugares posteriormente aflore el asfalto. En las curvas de fuerte sobreelevación, frecuentemente el asfalto del riego se escurre, si no se tiene precaución de distribuirlo con cepillos, para evitar los encharcamientos.

b).- La limpieza de las espreas y la altura sobre la Base a que debe colocarse la barra de la petrolizadora, son muy importantes para lograr un riego asfáltico uniforme. El poco cuidado que se tiene en estos detalles, da lugar con frecuencia a que los riegos queden "rayados".

c).- Cuando se usan materiales pétreos que no reúnen las especificaciones de granulometría, por exceso de finos, se originan fallas de Carpeta, ya que al tenderse el material pétreo sobre el riego asfáltico, se adhiere el material mas pequeño dejando sin ligar el material grueso que es el que mas conviene fijar. Es necesario, para evitar el defecto anterior, que la clasificación del material pétreo se haga usando mallas adecuadas y lavando el material cuando pueda disponerse de agua suficiente, o bien, que se usen ventiladores para facilitar el desprendimiento y eliminación del polvo, cuando se tabaje en una zona donde el agua sea escasa.

d).- Debe evitarse el empleo de materiales pétreos que no pasen las especificaciones de desgaste o adherencia, pues esto ocasiona una menor duración de la carpeta.

e).- El uso de aplanadoras de ruedas metálicas con peso de 12 toneladas, es impropio para este trabajo, pues aunque los materiales utilizados tengan la resistencia adecuada, el peso excesivo, de la aplanadora rompe el material, disminuyendo el espesor de la Carpeta y provocando que los finos producidos sean los que preferentemente se adhieran al asfalto, dando lugar a que aparezcan zonas "lloradas".

f).- Finalmente, no se da la debida importancia al rastreo y replanchado que es necesario hacer después de los primeros días de aplicar los riegos, para obtener una Carpeta

rastreo y replanchado que es necesario hacer después de los primeros días de aplicar los riegos, para obtener una Carpeta lo mas uniforme posible.

IV.3 CONSERVACION DE PAVIMENTOS.

Desde 1775, Pierre Jerome Marie Tresaguet, Inspector General de Carreteras en Francia se dió cuenta de la importancia del mantenimiento de un camino en lo que respecta a las capas superiores que sirven como estructura de un pavimento. Fué a fines de ese siglo que la actividad caminera fue reconocida como una profesión que requería la aplicación de conocimientos científicos, y el primer Ingeniero de carreteras fue Tresaguet. El se percató antes que nadie de la necesidad de mantener un pavimento bien drenado y con buena superficie de desgaste.

Las ideas de Tresaguet fueron bien acogidas en todas partes del mundo y a medida que se iban construyendo carreteras en los diversos países, se fueron creando los organismos especializados, para atender su conservación. En México, simultáneamente a la construcción y pavimentación de carreteras se fue atendiendo su conservación con el mismo personal y elementos que las construían, hasta que ya para 1930 (cerca de 1,500 km.) se consideró que la magnitud de la red requería la creación de una dependencia dedicada exclusivamente a esta actividad.

El fuerte deterioro que ha experimentado la red en diversas épocas críticas, no puede atribuirse, como se expone antes, a la falta de un organismo que tuviera como única finalidad el mantenimiento de los pavimentos. Ese bajo nivel de servicio tiene otras explicaciones.

La destrucción rápida de nuestras carreteras y sus éxitos en el tránsito tienen su explicación en varios factores importantes: 1) La edad de sus pavimentos, que en algunos casos sobrepasa los cuarenta años. 2) El incremento extraordinario del tránsito que en muchas carreteras se ha triplicado, cuadruplicado o quintuplicado. 3) El aumento de las cargas rodantes cuyo efecto destructivo en la red veterana, se pensó en reforzarlos para estas cargas. 4) El descuido que se tuvo en esta red, por las presiones para destinar mas fondos al desarrollo urgente de las comunicacio-

especializado.

En los actuales momentos el problema que confronta la Dirección General de Conservación es serio, y lo es tal vez peor para la red a cargo de las Juntas Locales de Caminos de los Estados. Un gran porcentaje de los pavimentos han llegado al nivel de rechazo y ni siquiera una conservación intensiva alivia esta situación en forma permanente.

Los usuarios de los caminos, los empresarios e industriales están protestando por el mal estado de los pavimentos y demandan se mejoren las superficies de rodamiento y se tomen medidas de seguridad más estrictas. Para realizar esto, hace falta personal preparado, en todos los niveles; los salarios han subido exorbitantemente y los costos de materiales y equipo han escalado paralelamente con los salarios. Lo más lamentable, la eficiencia en los trabajos de campo ha bajado a menos del cuarenta por ciento.

El panorama que se observa es delicado. Hay que rehabilitar por lo menos los pavimentos del sistema carretero federal, y paralelamente, darle una conservación intensiva al resto para mantener rodando en forma económica el transporte pesado. Hay que fijar criterios de reconstrucción y políticas adecuadas que faciliten la enorme obra que hay que emprender sin interferir la tránsito o reducir estas molestias al público y al contratista constructor al mínimo. Hay que fijar prioridad en los estudios y en la construcción y obtener la información periódica que permita obtener los índices de servicio de aquellos tramos que tengan que esperar algunos años en su rehabilitación.

Una auscultación general de la red nos puede orientar hacia un diagnóstico expedito para fijar un programa tentativo:

1. El deterioro estructural que limita la capacidad de carga.
2. La calidad de rodamiento inadecuada.
3. Peligrosidad por deslizamiento en los pavimentos.
4. Deterioro superficial de los pavimentos.
5. Aforos de tránsito determinando su composición.

Procedimientos de Conservación Normal y Reparación de Pavimentos.

Organización y Eficiencia en las Obras:

Como se explicó anteriormente la evolución del departamento que se creó para atender la conservación de la creciente red de carreteras en nuestro país; como mejoró la eficiencia en la ejecución de los trabajos cuando se tuvo una organización en las Oficinas Centrales y en el campo que minimizara el tiempo de recorrido de los vehículos que mueven personal, materiales y equipo. El otro factor que dió un avance importante a esta actividad fue la de implementación de programas de trabajo y la producción de ordenes semanales a los sobrestantes para precisarles las labores por desarrollar diariamente, con la respectiva verificación, cada principio de semana, de estas ordenes.

La instalación de campamentos de superintendencias, sobreestacias y cuadrillas en lugares ad-hoc y la delimitación de longitudes de carretera correspondientes a cada unidad de conservación y los métodos descritos, a pesar de lo empírico de su organización ha constituido la base en que se apoyan las labores de conservación normal. Sin embargo, la misma magnitud de la red actual y los problemas de manejo de personal que se han venido creando, advierten la necesidad de hacer una revisión de estos sistemas que ya resultan caducos. Lo que se ha venido hablando respecto a las evaluaciones de los pavimentos y la carencia de personal calificado, por citar solo dos aspectos del problema, indican que estamos en el umbral de un cambio de sistemas, y la coyuntura no puede ser mas favorable al iniciarse la rehabilitación de la red federal.

Los ingenieros de conservación han carecido de un sistema para llevar costos. No sería de extrañar que sufrieran una sorpresa muy desagradable al calcular los altos costos del bacheo, por ejemplo en el campo, se cuenta con el manual de Procedimientos de Conservación y con normas de acabados en bacheos y sellos, pero poco son tomados en cuenta y como consecuencia no hay normas de rendimientos; hace falta un instructivo para este fin. El rendimiento del trabajador no calificado (y el especializado esta en las mismas condiciones) es muy bajo. Quizá un enfoque de control industrial en la conservación normal, como se ha ensayado con éxito en Estados Unidos y Canada, mejorará este aspecto de

los trabajos. La baja eficiencia del personal es consecuencia en parte del tiempo muerto del obrero para trasladarse del campamento al trabajo y de regreso, tiempo que se incrementa con el lapso empleado para el desayuno. Estos son tiempos ociosos que otorga la ley. El rendimiento reducido en sus labores es consecuencia de un sin número de factores tales como: tolerancia de los sobrestantes y cabos, falta de vigilancia del personal técnico directivo, presiones sindicales, etc. Se ha estimado que la eficiencia de este personal no llega ni al 50%.

Lo anterior ha motivado que una buena parte de la conservación normal y las reconstrucciones se hayan derivado hacia la contratación. Actualmente se efectúan en general a contrato:

1. Los acarrees de materiales incluyendo los asfaltos.
2. La producción de triturados y/o cribados.
3. Los riegos de sello.
4. La maquila en la elaboración de carpetas de mezcla en el lugar.
5. La fabricación de señales.
6. El señalamiento horizontal.
7. El dayerbe (en muchos lugares).
8. Algunas reconstrucciones menores (las mayores siempre se hacen a contrato).

Como se aprecia, la política de la Secretaría es hacer por administración directa el trabajo rutinario de conservación sobre todo aquellas actividades menores localizadas a grandes distancias unas de otras y de difícil cuantificación.

La calidad de la obra realizada en las labores de conservación siempre ha sido satisfactoria. Esto lo ha motivado en parte los presupuestos exigüos que en algunas épocas se aprobaron y que obligan al personal de campo a emplear materiales que no cumplen con las Especificaciones Generales de la Secretaría. En la actualidad esta práctica debe abandonarse y todos los trabajos deben hacerse empleando los materiales y procedimientos adecuados.

En este capítulo se expondrán los procedimientos de Conservación normal que se hacen directamente por administración y algunos sistemas de reparación de pavimentos, con

técnicas que se han introducido al país recientemente.

Recordemos la definición que se dió de conservación normal y reconstrucción en lo que a pavimentos atañe, en capítulos anteriores y pasemos a describir los procedimientos usados para corregir fallas.

Conservación es el acto de mantener algo en buenas condiciones de servicio.

Reconstrucción es el acto de restaurar algo a sus condiciones originales; esta es la aceptación que se le da al término en nuestro medio caminero y lo distinguimos del término rehabilitación cuyo significado (también en nuestro medio) se entiende por el acto de restaurar, en el caso de un pavimento, su capacidad de cumplir sus funciones adecuadamente; esto presupone el refuerzo periódico de su estructura para adecuarla a las necesidades del tránsito creciente.

El "reciclado" es la reutilización de los materiales de un pavimento para que mediante ciertos procedimientos de construcción y el empleo de rejuvenecedores de asfaltos vuelva a dárseles un nuevo ciclo de vida útil.

Tan pronto como se termina la construcción de un pavimento y se abre al tránsito, comienzan a actuar sobre el esfuerzos que tienden al deterioro. Contribuyen también a su destrucción los cambios de temperatura, humedad y algunos movimientos de las terracerías o de las capas inferiores del pavimento. Esto explica que tarde o temprano aparezcan grietas, depresiones, cavidades, erosiones, etc., que reclaman una atención inmediata. Una corrección preventiva de las fallas puede significar fuertes ahorros en el mantenimiento futuro. En la misma forma, las cuadrillas de personal bien entrenado que conozca el uso de los asfaltos, elimina la posibilidad de repetir los trabajos de conservación mal ejecutados, lo que también conduce a economías en las obras.

El Manual de Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de la Secretaría explica en detalle las causas y formas de corregir las fallas en los pavimentos, tales como calafateos de grietas, bacheos, renivelaciones, corrección de roderas, etc. Estos trabajos son bien conocidos por el

personal de conservación, pero no siempre se efectúan correctamente. En consecuencia, más que hacer una descripción detallada de como corregirlos, se considera mucho más útil insistir en modificar prácticas viciadas y en algunos casos sugerir técnicas mejores que han nacido como consecuencia de la invención de nuevos equipos de trabajo.

Los bacheos, renivelaciones, asentamientos y rellenos de acotamientos y corrección de roderas son los trabajos que demandan un fuerte abastecimiento de mezcla bituminosa. Sin lugar a duda, el concreto asfáltico, por la forma en que es elaborado, constituye el material de mejor calidad para éstos fines. Su uso debe irse generalizando en nuestro país porque una gran parte de la red federal pavimentada soporta un tránsito superior a los 3000 vehículos TDPA y, a menos que en estas reparaciones se use este producto, el trabajo que se efectue será de corta duración. Lamentablemente la Secretaría no ha instalado plantas regionales que provean de este producto a las obras de conservación; ni sería económico hacerlo, por la reducida demanda y por las grandes distancias que hay que transportarlo. Las fuentes de aprovisionamiento privado (esta es la política seguida por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos) resuelven en gran parte el problema descrito cuando la red para abastecer atraviesa poblaciones de cierta importancia, cuyo mercado local les permite sostenerse a lo largo del año y pueden dar este servicio. Esto es frecuente que ocurra, por lo que la SCT debe estimular la creación de plantas de mediana o baja capacidad dentro de la iniciativa privada o crear las propias a la escala que se requieren.

Las mezclas elaboradas en el lugar y que se almacenan para ser usadas posteriormente, se deben efectuar con desflujados y dejar "curar" en la caja abierta, en el caso de bacheos, para evitar que pierdan estabilidad por las cargas de tránsito.

Para efectuar el riego de liga en la superficie del bacheo en pequeñas renivelaciones, es común que se emplee una "regadera"; lo anterior origina que se aplique demasiado asfalto y que los bordes de la caja del bacheo se "lioren" con el tiempo; de ahí que sea importante que a falta de una petrolizadora con su manguera de bacheo se utilice un tanque de aire a presión, de tipo manual, que contenga el asfalto

líquido para su aspersión. Si se usa emulsión, debe darse margen para que esta rompa y el agua se evapore antes de colocar la mezcla asfáltica y compactar.

El camión que transporte la mezcla nunca debe vaciar esta directamente a la caja del bache, para evitar que se clasifique; es mejor hacerlo con la pala directamente del camión e ir la colocando en la caja partiendo de los bordes hacia el centro. La cantidad que se deposite en la caja debe ser suficiente para que una vez compactada, la superficie del bache quede al ras del pavimento circundante; el uso de un hilo o una regla de madera ayuda a esta operación, para que la superficie no quede ni deprimida ni protuberante. Hay que recordar que el tráfico da el acabado final de compactación.

La profundidad de la caja del bache la determina las causas que originan este. Si ésta es agua o humedad (previa corrección de subdrenaje, muchas veces hay que excavar hasta la subrasante), en estos casos, si el relleno se hace con material de base, es necesario impregnar antes de construir la nueva carpeta; en caso de usarse una base negra, no es necesario efectuar la operación de impregnación.

La apertura de la caja de un bache generalmente se hace a mano cuando este es relativamente pequeño. Sin embargo, cuando se suceden siguiendo una línea (generalmente de roderas), hay que inclinarse por mecanizar el sistema, ya que los costos se pueden reducir considerablemente. Cuando el bache es profundo, los escarificadores de la motoconformadora ayuda a agilizar el trabajo de remoción de la zona afectada; pero debe procurarse no llegar a ellos muy cerca de la parte sana del pavimento, porque de lo contrario esta se "bronquea". El recorte final debe hacerse con pico.

Si el pavimento fallado comprende únicamente la carpeta fatigada por deflexión, erosionada o a punto de desgranarse o desprenderse por mal riego de liga o por oxidación, y su extensión es considerable abarcando franjas muy largas o la mayor parte del pavimento, actualmente se usan con gran ventaja fresadoras chicas. Este tipo de equipo, además de no aflojar el pavimento sano adyacente, digrega perfectamente la carpeta vieja y deposita el material en los acotamientos. De esta manera se puede reutilizar el pétreo y el asfalto oxidado para renivelar acotamientos empleando un rejuvenece-

dor o una emulsión asfáltica diluida. El cilindro dentado de la máquina fresadora deja una textura rugosa en forma de mosaico en la base negra o en la base subyacente que proporciona un buen anclaje en la nueva que se tienda.

En vez de digregar y levantar una carpeta como la descrita, también se viene empleando con éxito el procedimiento térmico denominado "heater-remix". Este sistema es útil cuando el deterioro de la carpeta aun no llega al punto de desprendimiento del mosaico formado por las grietas. Su uso en nuestro país ha tropezado con algunos inconvenientes, sobre todo cuando el trabajo se hace en pavimentos de carreteras.

El equipo de "heater-remix" consta de una campana montada sobre un chasis o bastidor que se desplaza a 5 centímetros del pavimento, y en cuyo interior lleva unos quemadores, generalmente a gas butano. En su parte posterior lleva un marco con escarificadores, con movimiento de resorte que van rallando el pavimento reblandecido por el calor. Todo este equipo es arrastrado por un tractor-camión con quinta rueda. Al pavimento así escarificado se le aplica un rejuvenecedor para restituir el asfalto oxidado sus propiedades originales. Las depresiones y las orillas de la carpeta muy desniveladas, así como a las roderas, se les va "recargando" concreto asfáltico virgen, y una vez reperfilada la superficie se compacta el material suelto, primero con una aplanadora mecánica y después con una neumática.

Se ha observado que los escarificadores de esta máquina penetran cuando mucho unos dos centímetros en el pavimento. El propósito de este tratamiento es el de borrar las grietas y de rejuvenecer el asfalto, a la vez que mejorar la calidad de rodamiento del pavimento. Hay equipos europeos que se emplean para la misma finalidad y con los cuales se obtienen mejores resultados, porque siendo los escarificadores mas robustos penetran mejor en la carpeta, ya que van montados en bastidores a los que se les aplica una determinada presión mediante gatos hidráulicos. Esta máquina tiene una ventaja adicional sobre la americana y es que cuenta con un dispositivo que forma parte del mismo equipo y que viaja transversalmente al movimiento de éste, distribuyendo el material escarificado, o el virgen que se agregue, con el fin de corregir deformaciones; el sistema de calentamiento es

indirecto por medio de rayos infrarrojos. El resto del proceso es idéntico al anterior y ambos pueden usarse también como una etapa previa al tendido de una sobrecarpeta delgada; en este caso el calor aplicado al pavimento puede aprovecharse también para "vulcanizar" la nueva carpeta que se coloca.

El inconveniente de utilizar estos métodos en los pavimentos de la red de carreteras de nuestro país, es que como algunos tienen uno o más riegos de sello dados con materiales que si bien pueden ser satisfactorios para ese fin, no llenan la calidad que marcan las normas de la SCT para formar parte de una carpeta, por su granulometría uniforme (y en muchos casos por su textura porosa y baja resistencia al desgaste), los escarificadores solo penetran en esta capa sin llegar a la carpeta. Así mismo, los riegos de sello en los que se emplea asfalto rebajado, es frecuente que alcen llama al paso de la campana térmica. El humo y las llamas que se desprenden constituyen un riesgo y una molestia seria al tránsito. Los mismos inconvenientes descritos excluyen también a los materiales de estas carpetas para ser reciclados en una planta fija.

Los morteros asfálticos bien empleados pueden también detener el proceso de desintegración de las carpetas muy agrietadas. Su consistencia fluida los hace penetrar por los intersticios de las grietas sellándolas y uniendo el mosaico en una masa sólida. Su uso es más frecuente en calles que en carreteras.

Las renovaciones y corrección de roderas exigen un tratamiento y cuidado especiales. En el perímetro de ambas fallas debe hacerse un recorte que ancle la delgada sobrecarpeta y le proporcione resistencia al tránsito en esas zonas más delgadas, de manera que no la fracture el paso de las llantas. Si los espesores no son grandes (y este es frecuentemente el caso), deben usarse mezclas con un agregado máximo de media pulgada. En algunos casos, si las roderas son anchas, es posible usar un rodillo fresador que haga el trabajo descrito; aunque también hay rodillos de este tipo de diversos anchos.

Antes de construir una sobrecarpeta, siempre es aconsejable hacer una evaluación de las condiciones del pavimento y de su estructura. La calidad de rodamiento lo determinan el

"Nays" o cualquier otro dispositivo semejante. El proyecto de refuerzo lo determina la evaluación de la estructura y el tránsito actual y futuro. Como las deformaciones existentes se reflejan invariablemente en la nueva carpeta, aunque atenuadas, es más difícil dar a esta la calidad de una que se construye por primera vez. Por tal razón, es muy útil hacer un fresado, aunque sea de poca profundidad de aquellos tramos muy alabeados para mejorar la calidad del tendido. En una carretera de cuatro carriles, generalmente los de baja velocidad, por donde se confina el tráfico pesado, son los que deben fresarse en toda su longitud, porque son los más deformados. Por otra parte, la construcción de una sobrecarpeta acentúa el escalón existente entre ésta y el acotamiento, aumentando el riesgo de un accidente, por lo que es imprescindible disminuir o eliminarlo en su totalidad. Aquí es donde el material de recobro se le saca provecho depositándolo en este sitio y tratándolo como se menciona antes, para construir una base negra.

Como se puede apreciar, el fresado pese a su alto costo, justifica su empleo por las siguientes razones:

1. Se impide que se forme un "sandwich" peligroso entre las dos carpetas y los riegos de sello existentes; el material de estos sellos; como ya se ha dicho, frecuentemente es inadecuado como material para carpeta.
2. El fresado deja una superficie de textura rugosa que es ideal para anclar la nueva carpeta.
3. Se mejora la calidad de rodamiento de la superficie fresada y consecuentemente la de la nueva carpeta.
4. El material fresado no se desperdicia sino se vuelve a emplear en acotamientos dándosele un nuevo uso.
5. Finalmente si la intención es "reciclar" la carpeta vieja, porque la estructura es satisfactoria, este tratamiento elimina el material de las diversas capas de sello que de ninguna manera serían útiles por la calidad del petróleo y por los riesgos e inconvenientes de los fluxes que aún conservan, por lo que no deben formar parte de una carpeta regenerada.

Los riegos de sello en nuestro medio forman parte de la

conservación normal, aunque en ocasiones por el hecho de que se otorgan estos trabajos a contrato, se piensa que son obras de reconstrucción mayor.

En la penuria en que siempre han vivido las dependencias de conservación, los riegos de sello han sido el procedimiento clásico para alargar la vida de los pavimentos y reducir las tareas de bacheo. Desafortunadamente ante la presión del deterioro rápido de los pavimentos, muchas veces se efectuaron estos riegos, empleando materiales fuera de especificaciones y con procedimientos que en vez de prolongar la vida de esas carpetas las convirtieron en trampas mortales para el tránsito.

En efecto, aun actualmente, hay personal de campo de conservación que no sabe aplicar un riego de sello correctamente. Muchos Superintendentes creen que este trabajo es sencillo y lo dejan en manos de sobrestantes y cabos. Esta actividad es delicada y requiere que se disponga no solo de material de buena calidad, sino también de equipo en buenas condiciones y personal entrenado; debe hacerse una revisión detallada de las superficies por cubrir y efectuar una buena coordinación de todas las etapas del trabajo.

El riego convencional tiene como función primordial sellar grietas para impedir la entrada de agua y aire, detener la desintegración de una carpeta y dar a su superficie características antiderrapantes.

A continuación se traduce parte de la publicación 1616, de 1968 del Highway Research Board sobre Tratamientos Superficiales, que describe en detalle los métodos de construcción de un riego de sello y la preparación previa de la carpeta que va a recibirlo.

Los riegos de sello con mortero asfáltico tienen la misma finalidad que los convencionales; es decir:

1. Impermeabiliza carpetas deterioradas.
2. Rellena vacíos, grietas y depresiones del pavimento.
3. Retarda la oxidación de los asfaltos del pavimento existente.

4. Proporciona una superficie antiderrapante.

Su uso en México ha sido primordialmente en calles, aeropistas, y áreas de estacionamiento. Ultimamente se ha estado usando con mayor frecuencia en carreteras en donde se les saca partido a los materiales locales, ya que las emulsiones aniónicas o catiónicas se adaptan bien a casi cualquier tipo de agregados que se dispongan en la región.

Generalmente cualquier material usado para mezclas en caliente, es utilizable en morteros asfálticos, con tal de que llenen las normas de calidad especificadas por la SCT.

Los agregados que se usan para fabricar morteros asfálticos deben de satisfacer una determinada curva granulométrica, según se trate de un mortero grueso, uno de tipo medio o uno fino. En el primer caso, el espesor de la carpeta es de aproximadamente un centímetro; el segundo uno de 7 milímetros y el mas fino de 3 mm.

La cantidad de emulsión empleada en cada caso, en el mismo orden mencionado anteriormente, es la que proporcione al agregado una cantidad de cemento asfáltico de 6.5 a 12 %, de 7.5 al 13.5% y de 10 a 16% . El agregado seco pétreo empleado en cada caso, es de 8 a 14 kg/m², 5 a 8 kg/m² y de 2 a 5 kg/m². El cemento asfáltico empleado en las emulsiones es el No. 6 y comunmente contiene un 60% de este.

Las principales pruebas de laboratorio son:

a) Prueba de equivalente de arena: AASHO-T176 o ASTM-D2419, para determinar el contenido de arcillas expansivas y limos.

b) Cribado: AASHO-T27 o ASTM-C136, para determinar granulometrias en 6 a 8 muestras tomadas al azar.

c) Peso específico aparente: AASHO-T84 o ASTM-C128, para hacer la corrección de densidad del agregado.

d) Prueba centrífuga (rotarex): para determinar el contenido de asfalto.

e) Peso unitario: AASHO-T19 o ASTM-C29, y el efecto de varias proporciones de humedad, con el objeto de encontrar la óptima para el correcto fraguado.

f) Abrasión y desgaste: ASTM-C131 y ASTM-C28.

Los equipos en uso para la elaboración y tendido de los morteros asfálticos son en esencia de dos tipos; su única diferencia estriba en el mezclador: uno tiene un helicoides con pequeñas paletas y el otro una flecha con asapas. Ambos llevan una tolva con la arena graduada y un tanque con emulsion asfáltica montados sobre un chasis de camión. Un motor colocado en la parte lateral proporciona energía para mover el mezclador y la banda transportadora que alimenta a éste. En la parte posterior llevan una rastra o cajón donde se deposita el mortero elaborado, el cual se va distribuyendo sobre el pavimento al desplazarse el camión, ya que la mezcla tiene una consistencia de "atole". Todos los ingredientes se dosifican por gasto. Cuando la máquina cuenta con personal bien entrenado, la carpeta resulta de un color uniforme negro brillante con espaldas bien alineados y de espesor uniforme.

Algunos ingenieros consideran que por tener el mortero asfáltico una granulometría fina, la superficie resultante no es antiderrapante. Unas pruebas efectuadas en las calles de la Ciudad de Dallas, Texas en donde se registraban índices de accidentes muy altos por haberse pulido el pavimento, demostraron que la aplicación de tratamiento con mortero asfáltico bajaban estos índices notablemente.

Las características del mortero asfáltico que impide el deslizamiento de vehículos sobre pavimentos mojados se vio que depende de dos propiedades:

- 1) La textura del material debe proporcionar asperezas superficiales pequeñas y agudas sobre las cuales la presión de contacto de la llanta sea suficientemente grande para expulsar una película delgada de agua.
- 2) También el agregado fino debe exhibir la propiedad de romperse gradualmente bajo la acción del tráfico. Si el agregado pétreo no presenta esta característica se irá puliendo. El pulido aumenta el área de contacto de la llanta

romperse gradualmente bajo la acción del tráfico. Si el agregado pétreo no presenta esta característica se irá puliendo. El pulido aumenta el área de contacto de la llanta sobre cada zona áspera; se disminuye así la presión de contacto de la llanta sobre cada una de ellas y en consecuencia, se reduce la habilidad de la llanta para expulsar la película de líquido.

IV.3.1 La Reconstrucción de Carpetas y la Construcción de Sobrecarpetas.

La diferencia entre la reconstrucción de una carpeta y la construcción de una sobrecarpeta estriba en que en el primer caso las condiciones del pavimento son tales que no es posible aprovechar la superficie de rodamiento existente, para construir encima una carpeta, de la que pueda esperarse una vida útil razonable, digamos 6 a 8 años. En ambas alternativas es difícil tomar una decisión que necesariamente tendrá que basarse en un juicio subjetivo, a menos que se lleven a efecto estudios como los que se han comentado anteriormente.

Asimismo, la decisión de si la obra de reconstrucción debe realizarse a contrato o por administración, tiene que basarse en razonamientos en los que se pesan factores como: magnitud del trabajo, urgencia, disponibilidad de equipo, disponibilidad de materiales y de personal capacitado, etc. Generalmente las reconstrucciones aisladas no mayores de 1 km a distancias una de otra de varios kilómetros, caen dentro del caso de las obras a cargo directo de la Superintendencia o Residencia, aunque algunas fases de la obra (producción de agregados, acarreo de materiales, etc.) se hagan a contrato. La posibilidad de contar con pequeños contratistas en la región, hacen mas flexible la toma de decisiones. Hay que tomar en cuenta que para escarificar una carpeta en malas condiciones y construir una nueva, implica llevar al frente de trabajo motoconformadoras, aplanadoras metálicas de 10-12 ton, autotanques para riego de agua, petrolizadoras, nodrizas para asfalto, camiones de volteo, aplanadoras neumáticas y una serie de equipo menor, que no siempre forma parte del parque de maquinaria de un contratista modesto. De ahí que sea una buena política de la Secretaría complementar con equipo propio y ejecutar fases del trabajo que quedan fuera del alcance de un contratista menor. En ocasiones, y esto se

mente esto es factible emprender cuando se trata de tramos continuados, de longitud importante ya sea de reconstrucción o de construcción de carpetas.

Poco a poco se han ido abandonando prácticas tales como utilizar materiales de río cribados, dosificar asfaltos rebajados con nodriza, desfluxar mezclas con motoconformadora (lo que es muy caro comparado con el sistema de rastras de discos tiradas por tractor agrícola) etc. Unicamente falta crear conciencia entre el personal directivo y los contratistas de ir introduciendo equipos más modernos para incorporar asfaltos a las mezclas, cambiar sistemas de desfluxado y de tendido y afinamiento de carpetas.

En la elaboración de carpetas no solo se siguen empleando equipos inadecuados, sino también no se le ha dado a la producción de materiales de calidad la atención que merece. Por ejemplo, en la producción de agregados para conservación, la vigilancia en la explotación de los frentes de los bancos no siempre es esmerada; ya sea que se trate de bancos de roca o playones de ríos, durante su explotación la calidad del material que se extrae puede cambiar durante el ataque de estos. La falla prematura de las carpetas puede atribuirse muchas veces a granulometrias defectuosas de los pétreos, a la mala calidad de los asfaltos, o a la poca afinidad del triturado de éstos, a un bajo equivalente de arena de los finos; a almacenamientos inadecuados en donde los asfaltos o los materiales de carpeta se contaminan.

Por lo que respecta a los materiales bituminosos, y teniendo en cuenta la mala calidad de los asfaltos que surte actualmente Petróleos Mexicanos, debe acentuarse la vigilancia para verificar su calidad con auxilio del laboratorio. También debe cuidarse la limpieza de los depósitos donde se almacenan estos, sobre todo las emulsiones, cuando se cambia de un tipo de producto a otro (aniónicas a catiónicas). Se debe tener muy presente que en el actual avance de la tecnología de estos productos, su uso en nuestro país está limitado a los rigos de sello, riegos de liga, a riegos rejuvenecedores en materiales de recobro de carpeta, a morteros asfálticos y a bases negras.

El criterio de juzgar el equipo de pavimentación como elementos para una producción industrial, ayuda a formar conciencia entre el personal de campo de la importancia de su mantenimiento y revisión diaria para conservar la línea de producción en marcha. Es vital para producir un trabajo de alta calidad que las máquinas con las que se manejan asfaltos o intervienen en algún proceso en el que se usa este producto, estén bien limpias y en buenas condiciones de servicio. Las petrolizadoras, mezcladoras fijas o móviles, rastras de discos, aplanadoras neumáticas o metálicas, etc., deben asearse en todas sus partes cuidadosamente al término de cada jornada, sobre todo aquellas que dosifican el asfalto en riegos de liga, de sello y en la elaboración de carpetas; tan perjudicial es dosificar el asfalto en exceso como en defecto.

Como en todo proceso industrial bien llevado, ningún material susceptible de emplearse nuevamente debe desecharse. En el caso de reconstrucción de carpetas, la escarificación con fresadora permite emplear la carpeta vieja en acotamientos, ampliaciones de caminos, en entronques, en desvíos, etc. Un riego de emulsión diluida sobre este material de rescate tendido en los acotamientos o en cualquier otro lugar, hace subir la penetración de los asfaltos oxidados que contiene, de cero hasta valores del orden de cuarenta o cincuenta pts.

La construcción de carpetas nuevas o sobrecarpetas por el sistema de riegos es una práctica que se ha venido abandonando en nuestro país sin ninguna razón. Estos pavimentos son ideales para carreteras de relativo bajo tránsito (de 50 a 500 vehículos por día). Para su elaboración se requiere una petrolizadora, una aplanadora metálica y un esparcidor de material. Los avances por turno de 8 horas en la construcción de carpetas de este tipo, con el equipo descrito, puede llegar, coordinando bien todas las actividades a medio kilómetro por ala, cuando se utilizan materiales uno y dos. Aún se ven en la red de caminos carpetas hechas en esta forma hace mas de 30 años y que se conservan en buenas condiciones. Este es otro de los trabajos en donde las emulsiones estan indicadas, por la ausencia de finos en el pétreo. En cuanto a costos, esta pueden competir con las mezclas en el lugar, con la ventaja de que la tolerancia de los márgenes de error en los procesos de elaboración es mucho mas amplia y requiere muy poco equipo.

Las sobrecarpetas de concreto asfáltico en carreteras de alto tránsito, son las indicadas si se desea que estas tengan una vida minima de 10 años, con una conservación razonable. Los sistemas modernos de elaboración de las mezclas, el tendido de ellas y los equipos de compactación, no las iguala en calidad ningún otro método en uso. En las autopistas y caminos directos a cargo del Organismo Descentralizado, se vienen empleando plantas de producción continua altamente sofisticado y de una gran capacidad. En algunas carreteras de la Red Federal con fuerte tránsito, también se han construido carpetas con este tipo de plantas. Seguramente que la modernización de los pavimentos de la red nacional, cuyo programa puso en marcha la SCT en 1981, hizo que se popularizaran mas estos sistemas avanzados de mezcla en caliente.

La Red Federal que se ha pavimentado con concreto asfáltico, a la fecha tiene una longitud de cerca de 7000 kilómetros. Su rehabilitación es importante que se haga empleando estos equipos modernos para alargar la vida de sus pavimentos.

Si las plantas y equipos complementarios a que se hace referencia anteriormente, producen un concreto asfáltico de alta calidad, es indispensable vigilar que los materiales empleados reúnan en todo momento estos requisitos. Para este fin, lo que se mencionaba en párrafos anteriores es primordial. Los bancos de roca pueden contener estratos o bolsas de material que no se ajustan a las especificaciones y que una vez triturados con el resto del material sano lo contaminan y hacen costosa su eliminación. Si la vigilancia se descuida, en la carpeta terminada aparecerán partículas blandas que serán el inicio de bacheos y el acortamiento de su vida.

Lo mismo se puede decir de las granulometrías, de la calidad de los asfaltos y de la verificación de la calidad del producto terminado: (contenido de asfalto, vacíos, estabildades, etc.); de ahí la necesidad de un control de laboratorio tanto en la planta como en el camino. En este último lugar, independientemente de los controles que hay que llevar para efectos de medición y pago al contratista, hay que verificar que las temperaturas de la mezcla, las compactaciones y acabados cumplan con las Especificaciones.

En lo que corresponde al último punto tocado, las máquinas extendedoras modernas, tienen equipos electrónicos con sensores para dar con precisión los espesores de proyecto.

Una carpeta que se tiende sobre una base recién terminada, facilita que los acabados presenten una muy buena calidad, porque los pequeños defectos que tenga la base, los atenúa la carpeta. Esto no es así cuando se construye una sobrecarpeta, porque el tráfico y el intemperismo han deformado la superficie de rodamiento y el equipo convencional no es capaz de borrar las deformaciones transversales y longitudinales; estas disminuyen en la sobrecarpeta, pero se sigue reflejando en ella. Se han diseñado equipos ("patines") complementarios de las extendedoras-acabadoras, en forma de balancines invertidos y que se fijan a ellas y van detectando

las ondulaciones 3 metros adelante, y la transmiten al dispositivo sensor que corrige anticipadamente los espesores. Los resultados no son aun del todo satisfactorios, por lo que la calidad de rodamiento en una sobrecarpeta se mejora pero no llega a la perfección deseada.

La combinación del equipo sensor, de los patines y el fresado de parte de la carpeta vieja, ayuda a elevar la calidad de los acabados en una sobrecarpeta. Ya se comentaba en párrafos anteriores las ventajas del fresado y del aprovechamiento del material de recobro para acotamientos, este reciclado incluso puede competir en costo con la construcción de una nueva de concreto asfáltico virgen. Pero hay dos requisitos mas que deben cumplirse:

1. El material que se rescate de la carpeta vieja debe ser concreto asfáltico y su conservación tiene que haberse hecho empleando también este producto.
2. La carpeta vieja debe carecer de riegos de sello; si los tiene, el fresado debe hacerse en dos etapas: el primero para eliminar los materiales de sello, y el segundo para rebajar la carpeta que se va a reciclar. De cualquier manera, el material que no se procese en la planta recicladora, puede usarse en acotamientos.

Lo que hace difícil la reutilización del material de las carpetas oxidadas es su heterogeneidad: diversos tipos de materiales pétreos y asfaltos usados, sus granometrías y sus dosificaciones, los riegos de sello y los baches rellenados empleando materiales de mala calidad.

El trabajo de fresado es caro; por ejemplo, para un recorte de carpeta de 4 cm de espesor, el costo de concreto asfáltico virgen puede llegar a encarecerse hasta en un 80%. Si a esto se le agrega el acarreo del producto de recobro a la planta procesadora y su regreso al tiro, este puede llevarse a un 100%, a pesar de que las tarifas de fletes pudieran reducirse por razon del circuito de camiones siempre cargados. Estos costos se equilibran con las ventajas a que se ha hecho referencia varias veces. Sin embargo, ante la duda de no tener material de recobro de buena calidad y uniformes, es preferible fresar, depositar el producto en los acotamientos y extenderlo con motoconformadora para aplicarle

uniforme, es preferible fresar, depositar el producto en los acotamientos y extenderlo con motoconformadora para aplicarle el riego de emulsión que lo reviva. Todo esto también condicionado a que el fresado sea indispensable por otros motivos.

También, si el contratista tiene problemas con la producción de triturados, el reciclado le ofrece ventajas porque el material producto del fresado puede significarle un ahorro de un 30% en el volumen de producir.

IV.4 MAQUINARIA PARA LA APLICACION DEL ASFALTO.

En la construcción de una carpeta asfáltica se utilizan diversas máquinas para su aplicación, aquí solo mencionaremos algunas, las de uso mas frecuente y no detallaremos las funciones de cada máquina.

A continuación haremos una lista de la maquinaria que se utiliza en la construcción de los pavimentos.

- Vagones Cisternas: De diversos tamaños, siendo el mas común el de 40,000 lt de capacidad.
- Camiones Cisternas: Con tanques de acero o aluminio, siendo los mas comunes de 9000 a 20,000 lt.
- Bidones de Acero: Usualmente de 200 a 220 lt de capacidad.
- Calentadores para Asfalto: Hay de tres tipos:
 1. Calentadores para tanques, que calientan el asfalto haciendo circular vapor a través de serpentines situados adentro del tanque.
 2. A veces se calienta el asfalto en los tanques mediante serpentines solamente hasta alcanzar la viscosidad de bombeo; a continuación se calienta en un calentador la cantidad de asfalto necesaria para su uso inmediato.
 3. Para trabajos de conservación se emplean pequeñas calderas, siendo las mas comunes de 300 a 900 lt.
- Escobas y Equipos de Limpieza: Las escobas y barredoras

máquina impulsada a mano con un dispositivo vertical de limpieza con motor, con el que se siguen las grietas sin aumentar su anchura. 2) arado unido a un tractor o motoniveladora; 3) ruedas para limpiar y recortar grietas para rellenarlas adecuadamente y 4) chorro de aire comprimido.

- Escarificadores: Usados usualmente en conservación y reconstrucción. (Sistemas de rastras que rasgan el material).

- Pulverizadores: Disgregadores de material después de haberlo escaificado.

- Distribuidor de Asfalto (petrolizadora): Es el elemento clave en la construcción de tratamientos superficiales. (ver figura VII-2). Aplica asfalto exactamente medido sobre la superficie del terreno.

- Extendedores de Áridos: Hay cuatro tipos de extendedores de áridos:

A) El tipo de disco giratorio que se une al camión de áridos.

B) Cajas con abertura regulable que se unen a la compuerta del camión volquete de la que estan colgadas. (ver fig. VII-4).

C) Caja extendedora montada en sus propias ruedas, unida al camión volquete que la empuja. Algunos de estos tipos tienen:

a) Aletas y una espiral o agitador de paletas.

b) Extendedora o alimentadora giratoria y compuerta regulable.

D) Extendedor de áridos autopropulsado.

- Extensión con motoniveladora.

- Pavimentadoras o terminadoras de pavimentos.

- Compactadores de pata de cabra. (para terracerías).

- Compactadores de neumáticos.

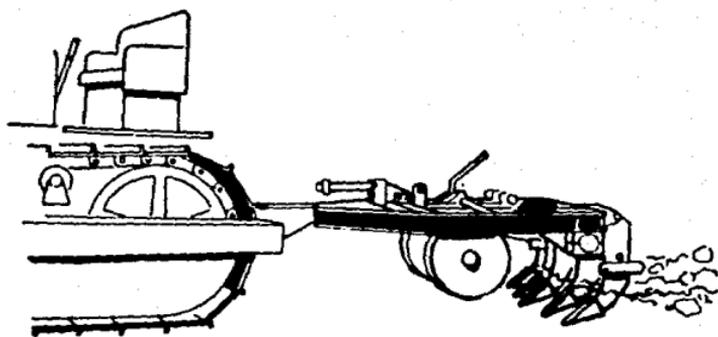
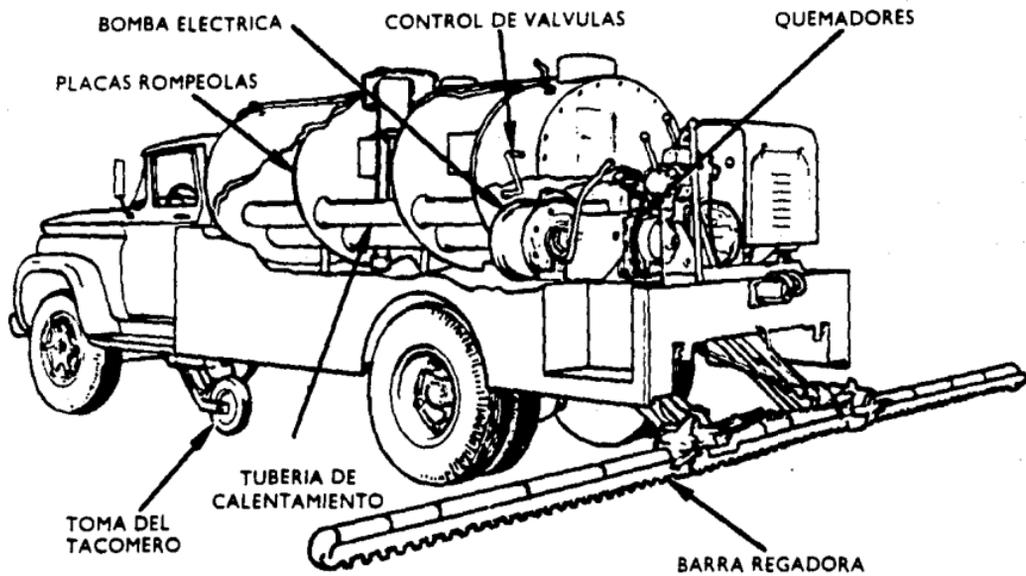


Figura VII-1. Escarificador.

Figura VII-2. Distribuidor.



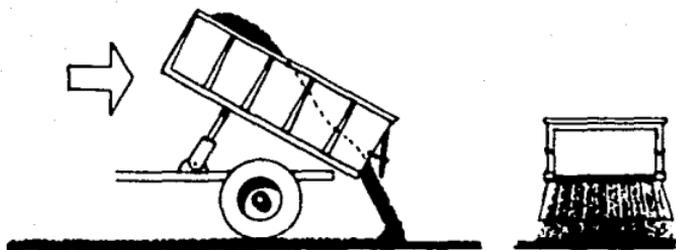


Figura VII-4. Extendedor de compuerta.



Figura VII-5. Extendedor con tolva (sobre ruedas).

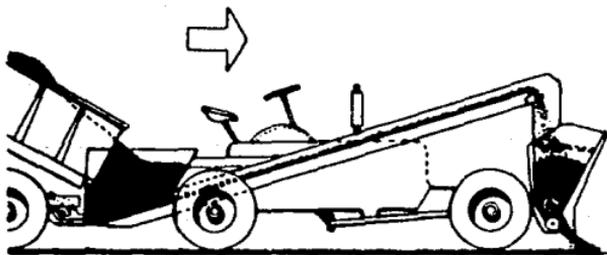
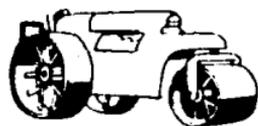


Figura VII-6. Extendedor autopropulsado.

- Rodillos de llanta metálica. (ver fig. VII-9).
- Compactadores vibratorios.
- Planchas calentadoras y alisadoras.

En general esta es la maquinaria utilizada en la construcción de pavimentos.



TRICICLO



TANDEM, RUEDAS METALICAS



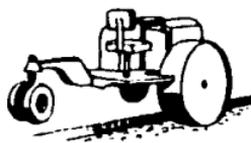
TANDEM, TRES EJES



DE NEUMATICOS



PATA DE CABRA



PARA ZANJAS



DÉ ENSAYO



COMPACTADOR VIBRATORIO

Figura VII-9. Tipos de compactadores.

Capítulo V. CONCLUSIONES.

En el desarrollo de este trabajo se ha hablado de la importancia que tienen los pavimentos flexibles en el desarrollo de un país, ya que sin las correctas vías de comunicación es imposible el desarrollo de política, economía y cultura.

Los pavimentos de carreteras son producto de estos requisitos que la economía y la civilización fueron imponiendo. Abreviar el tiempo de viaje y eliminar el polvo, significa establecer mayores velocidades y dar al usuario del camino seguridad y comodidad. Con esa nueva estructura en la carretera, además de las ventajas señaladas que se obtenían, los vehículos se desplazaban de una población a otra en cualquier época del año sin que interfiriera y se hiciera penoso el viaje ya sea por las lluvias o en invierno.

En nuestro siglo el petróleo da impulso al transporte moderno a la vez que resuelve el problema de altas velocidades con pavimentos tersos y libres de polvo. Inclusive como ya se dijo anteriormente se da transividad en toda época del año y con vehículos cada vez más pesados, sin que el pavimento se deforme o destruya rápidamente.

Sin embargo, pudimos observar que la tecnología usada actualmente, duró muchos años para poder perfeccionarse y aún en nuestros días se tienen algunas fallas en la construcción y conservación de éstos.

Por lo complejo de este problema fue necesario crear técnicas (de mecánica de suelos, química de los asfaltos, etc.) para dar cima a la construcción de las capas que constituyen lo que se conoce como pavimento en la infraestructura del transporte.

Los primeros estudios de aplicación de los asfaltos para pavimentación se realizaron en 1905, cuando se tenía la sospecha de poder aprovechar los residuos asfálticos que se tenían como desecho. Se utilizaron petróleos crudos y alquitranes, los cuales se aplicaban con rastras construidas en tubería de perforación cortada con soplete longitudinalmente en forma de media caña, las cuales eran jaladas por tiros de mulas mediante cadenas de eslabón.

Los primeros asfaltos usados en Estados Unidos y en México provenían de los Lagos de asfalto natural de Trinidad y de Bermudez, Venezuela, y nuestro país comenzó a exportar y usar asfaltos extraídos de los "crudos" de Ebano, y posteriormente de los petróleos del Panuco, los cuales tenían una excelente calidad, lo cual provocó que hubiera una gran demanda en los Estados Unidos.

En el desarrollo de la tecnología de pavimentos, México quedó rezagado ya que en 1920 cuando en los Estados Unidos ya se creaba el primer Instituto de Investigación de Pavimentos, el Highway Research Board, aquí no se iniciaba aun la construcción de nuestra red de caminos, la cual se vino realizando a partir de 1925. Tal vez sea el año de 1940 en que entra en México la era de la investigación de pavimentos.

El material histórico de los materiales y procedimientos empleados en los primeros pavimentos, expuesto anteriormente se ha considerado útil para comprender mejor y aquilatar, a pesar de sus deficiencias, el servicio que han prestado los primeros pavimentos a las carreteras.

Hablando un poco de lo que son los componentes del pavimento, los asfaltos y agregados o áridos, en cuanto a sus características podemos concluir que en cada uno de ellos debemos poner gran cuidado en su proceso de explotación así como su elaboración.

Sabemos que el asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, y que resulta de la destilación del petróleo con la cual se pueden separar sus diversas fracciones y así obtenerlo. Este elemento tiene como característica que es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida, a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por la aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación (agregado de agua).

A su combinación con diferentes materiales se obtienen

diferentes mezclas para los diferentes usos que se requieran. Así podemos obtener desde un concreto asfáltico hasta un asfalto líquido.

A lo que llamamos pavimentos flexibles es a la combinación de asfalto con áridos (ya sea arena, grava o filler mineral) y que se pueden obtener ya sea mediante una mezcla "in situ" o en una instalación mezcladora.

Los pavimentos flexibles constan de varias capas que van desde las terracerías, subbase y base, colocándose después lo que es la carpeta asfáltica. La palabra flexible, empleada para designar a este material se refiere a la capacidad de estas estructuras de adaptarse a los asentamientos de la cimentación.

Como se dijo anteriormente, los pavimentos flexibles cuentan con varias capas, que van desde la cimentación en donde se coloca el drenaje de la carpeta, prosiguiendo con la subbase que es la capa de la estructura del pavimento que se sitúa inmediatamente abajo de la capa de base. Y posteriormente tenemos la capa de base la cual es la capa superior del material colocado en los terraplenes, o no movido de las trincheras, en la normal preparación de la explanación. Sin embargo, si el terreno de base es de alto poder portante y está adecuadamente compactado, puede sustituir a las capas de terreno mejorado, subbase e incluso de base de la estructura del pavimento asfáltico según su calidad. El terreno de base se indica también a veces con la expresión "terreno de cimentación".

Refiriéndonos ahora a las pruebas de laboratorio que se realizan a los pavimentos flexibles en su conjunto, así como a los diferentes materiales que lo componen, ya sean asfaltos o áridos diremos que son muy completos y que realizados de forma correcta y detallada, no puede haber fallas en la extracción tanto en el banco del material como en su procesamiento y mezclado.

De los diferentes ensayos que se realizan a las mezclas asfálticas para determinar si cumplen con las especificaciones, podemos decir que por ejemplo a los betunes asfálticos (quizá los de mayor aplicación en nuestro medio), se les realizan desde el ensayo de penetración que consiste en

determinar la dureza relativa de un betún asfáltico, el de viscosidad que tiene como finalidad determinar el estado de fluidez de los asfaltos a temperaturas que se emplean durante su aplicación, incluso este ensayo se conoce comunmente como ensayo de viscosidad Saybolt-Furol en relación a los nombres de sus decubridores. Continuamos con el ensayo de Punto de Inflamación que consiste en indicar la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre, después se efectua el ensayo En Estufa en Película Delgada, el cual se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en un betún asfáltico durante las operaciones de mezclado en la instalación mezcladora. Otro de los ensayos importantes es el de Ductilidad la cual es una característica muy importante en los betunes asfálticos en muchas aplicaciones, ya que los betunes asfálticos dúctiles normalmente tienen mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica.

La Solubilidad es otro ensayo realizado a los betunes asfálticos y consiste en determinar el contenido en betún del betún asfáltico. El Peso Especifico tambien es un ensayo importante para conocer el peso especifico del betún asfáltico que se emplea. Un ensayo mas es el Punto de Reblandecimiento y este consiste en determinar la temperatura a la que se reblandece el betún asfáltico con el que se esta trabajando, ya que no todos los asfaltos tienen igual punto de reblandecimiento.

En general estos ensayos se realizan para casi todos los materiales asfálticos utilizados en pavimentación, aunque hay algunos otros que por sus características necesitan de otro tipo de ensayos para poder controlarlos correctamente. Este es el caso de los asfaltos líquidos a los que se les hace el ensayo de Destilación, el cual se emplea para determinar las proporciones relativas de betún asfáltico y disolventes presentes en el asfalto fluidificado. Otro de estos ensayos es el Contenido de Humedad, y consiste en saber el contenido de agua que contiene la mezcla. El ensayo de Flotador también se realiza a este tipo de asfaltos y se hace sobre el residuo de destilación de los asfaltos líquidos, este ensayo es un ensayo de viscosidad modificado, y se emplea porque el residuo es usualmente demasiado blando o de volumen demasiado pequeño para la determinación de viscosidad Saybolt-Furol. Su

finalidad por consiguiente, se reduce a dar una indicación de la consistencia de los productos con estas limitaciones.

Para las Emulsiones Asfálticas se realizan los mismos ensayos que en las anteriores mezclas con la adición de: El ensayo de Sedimentación que determina la tendencia a sedimentar de los glóbulos de asfalto durante el almacenaje de una emulsión asfáltica. Demulsibilidad es otro ensayo que se realiza y consiste en dar una indicación de la velocidad relativa a la que los glóbulos coloidales de asfalto de las emulsiones de rotura rápida y media se uniran entre sí (o la emulsión romperá) cuando la emulsión se extiende en película delgada sobre el terreno o los áridos. El ensayo de Tamizado complementa al de Sedimentación y tiene un propósito en cierto modo similar, se emplea para determinar cuantitativamente el porcentaje de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes. El Mezclado con Cemento es otro ensayo que se realiza y desempeña en las emulsiones de rotura lenta (SS) un papel análogo al del ensayo de demulsibilidad en los tipos de rotura rápida o media.

Una vez explicados los ensayos que se realizan sobre las diferentes mezclas asfálticas, podemos hablar un poco sobre los ensayos realizados a los áridos o agregados, utilizados en las mezclas asfálticas. A estos materiales se realizan ensayos de Tamizado con el cual se determinan las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en unos áridos (clasificación de los áridos). Este ensayo se puede realizar de dos formas: por vía seca o por vía húmeda. Un ensayo mas realizado a los áridos es el de Equivalente de Arena, el cual indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. La Abrasión es un ensayo que se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o a la abrasión (abrasión es el desgaste medido por el ensayo Los Angeles y no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico). El Ensayo de Resistencia a los Sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. Otro ensayo realizado es el de Determinar el Peso Especifico el cual se hace por dos razones: 1) Para permitir el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas. 2) Para corregir las can-

tidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente. Otro ensayo es la determinación del Peso Unitario, el cual puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Y por último se realiza el ensayo de Humedad y este determina la cantidad de agua que contienen los áridos.

Una vez realizado el mezclado de los dos elementos asfaltos y áridos, se realizan ensayos a los dos en conjunto antes de ser aplicados para pavimentación y mencionaremos algunos de ellos. El Método Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra. Las principales características de este ensayo son las determinaciones densidad-huecos y los ensayos de estabilidad y fluencia (son para mezclas que contengan betún asfáltico y cuyo tamaño de áridos no exceda de 1").

El ensayo de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende tres ensayos principales: 1) Ensayo del estabilómetro. 2) Ensayo del cohesiómetro. 3) Ensayo del equivalente centrífugo en queroseno (CKE). Los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". El ensayo de equivalente centrífugo en queroseno sirve para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla.

Método de Hubbard-Field es un procedimiento empleado para el proyecto en laboratorio de mezclas asfálticas para pavimentación y consiste en determinar o analizar la relación densidad-huecos y un ensayo de estabilidad. Este ensayo fue realizado en un principio para el proyecto de mezclas tipo arena-asfalto o "sheet asphalt".

Un ensayo mas realizado a las mezclas asfálticas es el Triaxial y que se emplea fundamentalmente para investigación sobre mezclas asfálticas, y rara vez para proyectos o ensayos de rutina. Este ensayo consiste en aplicar cargas tanto vertical como lateralmente y se calculan por fórmulas establecidas la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de la probeta.

Densidad o peso unitario de una mezcla asfáltica para

pavimentación se determina con las siguientes finalidades: A) 1. Obtener un punto de partida para calcular el porcentaje de huecos y huecos rellenos de asfalto en las mezclas compactadas, parte integrante de algunos procedimientos de proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación. 2. Dar una indicación del contenido de asfalto óptimo en algunos procedimientos de proyecto de mezclas. 3. Fijar una base para controlar la compactación durante la construcción del pavimento y la eficacia de las operaciones de apisonado. Y B) En probetas obtenidas de pavimentos contruidos, comprobar la densidad del pavimento y la eficacia de las operaciones de apisonado.

Extracción es el procedimiento empleado para separar el asfalto de los áridos en una mezcla asfáltica para pavimentación. La finalidad de la extracción es determinar el contenido de asfalto de la mezcla y obtener áridos sin asfalto que puedan emplearse en el análisis granulométrico y cualquier otro ensayo sobre ellos que se desee realizar.

Recuperación del Asfalto este ensayo se realiza cuando se desea realizar ensayos sobre el asfalto extraído de las mezclas de pavimentación. Destilación de la Humedad y las Sustancias Volátiles, a veces es conveniente saber el contenido de humedad y/o sustancias volátiles en una mezcla para pavimentación, especialmente cuando se emplean asfaltos líquidos. Entumecimiento, en las mezclas asfálticas que contienen finos de calidad dudosa se realiza el ensayo de entumecimiento como dato para juzgar los posibles efectos perjudiciales del agua sobre el pavimento.

Una vez que se ha hablado sobre los diferentes ensayos de laboratorio realizados a los materiales que componen los pavimentos flexibles, hablaremos un poco sobre el proceso de elaboración de estos.

Como ya se explicó en el desarrollo de este trabajo, la elaboración de los pavimentos a evolucionado en gran forma al grado de que actualmente ya casi no se elabora asfalto "in situ" a menos de ser de gran necesidad. El pavimento se elabora en instalaciones mezcladoras (ya sean continuas o discontinuas) con los controles adecuados, y las economías que esto provoca actualmente que se considere como primera posibilidad para cualquier capa en la estructura del pavimen-

y sustancias extrañas. En el secador se tienen paletas que dejan caer los áridos formando una cortina uniforme a través de la llama y los gases calientes, obteniendo el máximo efecto de secado. Una vez saliendo del secador se tiene un colector de polvo, el cual recupera el polvo fino que puede devolverse a la mezcla si es necesario, tiene un ventilador que produce la corriente de aire necesaria para el sistema de combustión del secador y el colector de polvo. De aquí una vez mas por cangilones se llevan hacia unos tamices vibratorios en donde se separan los áridos en los tamaños adecuados, desechando el tamaño innecesario. Posteriormente pasan al mezclador el cual mide automáticamente la cantidad correcta de asfalto, mezclándolo perfectamente con los áridos en el mezclador de ejes gemelos. Los mezcladores de asfaltos y áridos están conectados mecánicamente. (se tiene una bomba de alimentación que asegura una presión constante en el asfalto que alimenta a la bomba medidora, el asfalto es almacenado en tanques y de aquí es llevado hacia la bomba medidora). Aquí mismo se tiene un mezclador calorifugado que mantiene la temperatura de mezclado correctamente. Como último paso se va a la tolva de almacenaje que permite la continuidad de funcionamiento entre descargas sucesivas, evitando la segregación.

La Única diferencia que existe entre las plantas mezcladoras continuas y las discontinuas es que en las primeras se introducen los asfaltos y áridos continuamente al mezclador, mientras que en las discontinuas no se alimentan continuamente, y se tiene al final el mezclador, y una cubeta de asfalto calorifugada la cual se encarga de medir la cantidad de asfalto necesaria para la mezcla.

Ya que se ha hablado de la elaboración de los pavimentos flexibles hablaremos ahora del procedimiento constructivo así como de la conservación de estos.

En el transcurso de este trabajo se explicó que en nuestro país se construyen cuatro tipos de carpetas, las Carpetas Asfálticas de Un Riego, Carpetas Asfálticas de 2 Riegos, las Carpetas de Mezcla Asfáltica y las Carpetas de Concreto Asfáltico. Cada una para un determinado volumen de vehículos diariamente. Como se explicó la estimación del tránsito probable es el dato básico para el proyecto del pavimento, incluyendo la Carpeta Asfáltica.

Así, una vez determinada la Carpeta que se va a utilizar, se procederá a su construcción teniendo en cuenta que desde las terracerías, capa de subbase, capa de base y carpeta se debe tener un control muy estricto para evitar cualquier falla que pueda tener el pavimento.

Para cualquier tipo de camino, las terracerías constituyen una capa muy importante. Se pueden reducir todos los casos de construcción de terracerías a la sección en corte y a la sección en terraplen. En las cuales se debe tener especial cuidado tanto en la estabilidad de los taludes del corte, como a la capacidad de carga del terreno para un terraplen que puede ocasionar una falla del mismo. En cuanto a la subbase se calcula aplicando al material de la Subrasante la prueba modificada de valor relativo de soporte y mediante la gráfica para calcular el espesor mínimo de la subbase se obtiene su espesor. La base se obtiene por este mismo procedimiento y su espesor no debe ser en ningún caso menor de 12 cms.

Una vez que se tiene la base de pavimento debidamente preparada y terminada se le da un Riego de Impregnación, que es la aplicación de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio o lento. Y tiene como función el formar una transición estable entre la base y la carpeta. Una vez que se ha realizado este riego del tipo y cantidad especificado por metro cuadrado, se procederá a cubrirlo con material pétreo, después se extiende el material con un esparcidor, y con objeto de tener una mejor distribución del mismo se pasará una rastra de raiz para que la superficie quede exenta de ondulaciones. Posteriormente se inicia el planchado con rodillo liso, el cual se realiza de las orillas hacia el centro, una vez hecho esto se pasa el rodillo neumático para obtener su máximo compactado. Se debe dejar un tiempo conveniente una vez terminada la carpeta para permitir que haya la máxima adherencia del material pétreo.

Ya que se terminó la construcción de la Carpeta, y empieza a desarrollarse su vida útil, se deberá tener mucho cuidado en darle una conservación adecuada para llegar a la vida útil de proyecto. La conservación en pavimentos es otro tema que también ha tenido algunos problemas durante el transcurso de la historia, ya que casi no se ha hecho

hincapié en realizarla correctamente, y en un resumen de lo que es la conservación de pavimentos a la fecha podemos decir que:

1. El rendimiento de la mano de obra en el campo es baja, pese a la organización establecida hace ya algunos años.
2. Lo anterior ha propiciado que en la construcción de carreteras federales la SCT tienda a realizar la mayor parte de los trabajos de conservación a contrato.
3. El personal de campo de conservación debe abandonar la idea de que las Especificaciones Generales de la SCT se hicieron para aplicarse únicamente en la obra que se ejecuta a contrato.
4. Se deben tecnificar mas las labores de conservación y preparar personal idóneo para efectuarlas.
5. Los riegos de sello requieren una atención especial para obtener buenos resultados.
6. Las carpetas de riegos no deben abandonarse. Su uso significa pavimentos duraderos y económicos en carreteras de bajo y medio tránsito.
7. El uso de equipo moderno en trabajos de conservación normal, reconstrucciones y sobrecarpetas, deben de alentarse para salir del atraso en que se encuentran todavía estas actividades.
8. La construcción de carpetas de mezcla en planta, debe generalizarse en la red nacional. El volumen de tránsito a que dan servicio y su mayor vida útil justifican el costo mas elevado de este sistema de pavimentos.
9. El "reciclado" o reutilización de pavimentos oxidados, tienen en nuestro país, de momento, un uso limitado. La flexibilidad que proporcionan las nuevas plantas de producción continúan dejando abierta la posibilidad de derivar hacia estas nuevas técnicas cuando llegue el momento propicio y se tengan que rehabilitar las carreteras actualmente construidas. Mientras tanto, los trabajos de conservación que se realizan en estos pavimentos deben ser de la mejor

calidad, con miras a reutilizar los materiales de las carpetas existentes.

Como ya se dijo anteriormente, en un país como el nuestro que es un gran productor de petróleo, la construcción de carreteras mediante el uso de los pavimentos flexibles, es una muy buena solución a los problemas de comunicación a que se enfrenta. Se deben de erradicar vicios que se traen de muchos años atrás para poder elevar el nivel de vida de las carreteras, tener gente mejor preparada en todas las actividades tanto de construcción como de conservación. Así como, desde la producción llevar un control muy riguroso en todas las pruebas de laboratorio que se les realizan a los materiales asfálticos para evitar cualquier sorpresa desagradable en el futuro.

A mi entender los pavimentos flexibles son de gran utilidad, sabiendo aprovecharlos correctamente y con el personal adecuado. Así pues, yo pienso que México tiene una muy buena oportunidad de comunicar a todo el país a un costo no muy elevado y con un material muy bueno y duradero, solucionando así uno de los tantos problemas por los que atraviesa nuestro país.

Capítulo VI. BIBLIOGRAFIA.

1. **Manual del Ingeniero Civil.**
Segunda Edición
Frederick S. Merritt
Edit. MacGraw Hill.
2. **Seminario de Pavimentos.**
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
Tema VII. "PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES".
Ponente: Ing. Víctor Torres Alcalá. 1980.
3. **Seminario de Pavimentos.**
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
Tema XI. "CRITERIO Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA
CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS".
Ponente: Ing. Rafael González Cisneros. 1980.
4. **Manual del Asfalto.**
The Asphalt Institute. PROAS.
Urmo, S.A. de Ediciones.