

5  
2ej.

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**ASFALTOS Y SU APLICACION A PAVIMENTOS EN CAMINOS**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**Ingeniero Civil**

presenta:

**Arturo Alatorre Camarillo**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

## I.- INTRODUCCION

### II. 1.- ANTECEDENTES

- 2.- Historia del Asfalto
- 3.- Origen del Asfalto
- 4.- Clasificación de Asfaltos
- 5.- Reseña Histórica sobre los Asfaltos

### III. 1.- TIPOS DE ASFALTOS

- 2.- Propiedades de los Materiales Asfálticos
- 3.- Fabricación de los Asfaltos
- 4.- Transporte y Almacenamiento

### IV.- APLICACION A LOS PAVIMENTOS

- 1.- Tratamientos Superficiales
- 2.- Riego de Impregnación
- 3.- Riego de Liga y Riego de Imprimación
- 4.- Tratamiento de Riego Múltiples
- 5.- Métodos de Construcción
- 6.- Estabilización de Suelos
- 7.- Mezclas Asfálticas
- 8.- Morteros Asfálticos

## V.- CONCLUSIONES

## I N T R O D U C C I O N

En este tema de ASFALTOS y su aplicación que se emplean en la CONSTRUCCION DE CAMINOS, es de gran importancia en MEXICO.

El principal objetivo es dar a conocer la forma y variedad de la existencia y gran importancia que tienen estos derivados del PETROLEO, mismos que estan tomando un lugar muy importante en la CONSTRUCCION DE CAMINOS en casi todos los Paises del mundo.

Existen libros y apuntes sobre la materia son traducciones de experiencias extranjeras, las cuales han abierto el mercado en MEXICO. Sin embargo, en la CONSTRUCCION DE CAMINOS se han obtenidos resultados extraordinarios en los últimos años.

Al considerar que los ASFALTOS podrían ser un producto del futuro próximo, para la CONSTRUCCION DE CAMINOS y sus diversas aplicaciones en otras áreas importantes para el desarrollo del País.

## II. 1.- ANTECEDENTES.

La inversión anual en construcción y conservación de pavimentos en MEXICO, es un renglón muy importante dentro del presupuesto nacional.

Actualmente existe una gran variedad de métodos de diseño para pavimentos, los cuales presentan diferencias notables tanto en la forma de abordar el problema como en la experiencia en que se basan. Los distintos criterios consideran únicamente algunas de las causas de falla del pavimento, quedando limitados a esas condiciones particulares. Es decir, las teorías en uso representan soluciones a problemas específicos, o casos particulares del problema general. En consecuencia, se puede decir que el nivel actual de conocimientos sobre pavimentos no dispone de una teoría que permita predecir, de una manera adecuada, el comportamiento de la carretera bajo condiciones generales.

Además, hay fuertes deficiencias en lo que se refiere a una determinación precisa de los parámetros de materiales, así como al cambio de esos parámetros respecto al tiempo y a las condiciones climáticas. Muchas de las pruebas en uso no están directamente relacionadas con las características fundamentales que intervienen en el comportamiento de la carretera; sirven únicamente como normas de aceptación o rechazo durante la construcción, con una finalidad de control de uniformidad y base de pago. Por otra parte, las pruebas de control de calidad varían radicalmente de una institución a otra, y es muy difícil el intercambio de información.

El resumen, la predicción del comportamiento de los pavimentos a través de un determinado método, se ha basado en teorías que contienen limitaciones serias, o bien que solamente han sido verificadas para casos particulares. En su aplicación, las teorías son alteradas en forma significativa por la inclusión de factores empíricos.

## II. 2.- HISTORIA DEL ASFALTO.

El asfalto, es el material de construcción más versátil del mundo actual, no es de modo alguno nuevo. En la antigüedad fue usado de muchas formas en Mesopotamia, Siria y Egipto. El asfalto utilizado por los antiguos era el material nativo procedente de los yacimientos o lagunas asfálticas, donde el crudo asfáltico subió a la superficie y las fracciones más ligeras se evaporaron naturalmente. El residuo pesado remanente contenía usualmente proporciones diversas de agua, tierra y otras impurezas; pero, mediante métodos de destilación lentos y burdos se obtuvieron combustibles para las lámparas y productos bituminosos para mastics, impermeabilización y pavimentación.

Los yacimientos más extensos de asfalto nativo fueron encontrados hace 4 ó 5 millares de años en Irak, se sabe que existieron varios yacimientos importantes a lo largo de las orillas del río Eufrates, en las proximidades de Hit y Ramadi. Los antiguos historiadores mencionan también otros yacimientos a lo largo del río Tigris, al norte de Irak, cerca de la actual ciudad de Shargat, junto a cuya localidad existe en la actualidad un campo petrolífero.

Los egipcios obtuvieron asfalto nativo para impermeabilización, momificación y construcción, del Mar Muerto y de un yacimiento situado cerca del río Jordán, en el Líbano.

Debemos mucho de cuanto se sabe acerca de la antigua Babilonia a la excelente conservación de las edificaciones por el empleo de asfalto como mastics de unión entre los elementos de construcción también como impermeabilizante. El suelo de los palacios, de los baños y de las calles principales estaba pavimentado con una mezcla de arena y asfalto.

Los ensayos de extracción y cribado de trozos de pavimento procedente de las ruinas revelan que las mezclas para pavimentación -

utilizadas en la antigüedad se asemejaban mucho a las actuales mezclas de arena y asfalto.

Asfalto de Trinidad!- Sir Walter Raleigh desembarcó en la isla de Trinidad en 1595 y permaneció allí durante el tiempo suficiente para abastecerse de asfalto para calafatear sus barcos.

El material empleado era un asfalto natural tomado de un lago situado a corta distancia de la costa del golfo de Paria, y era muy si milar al usado por los antiguos. Del lago Trinidad se han extraído cen tenares de miles de toneladas sin que hasta la fecha muestre ninguna - señal apreciable de disminución. A medida que se extrae el material, - la presión de la tierra hace surgir más residuo pesado a la superficie donde la Naturaleza continúa su proceso de destilación. El asfalto natural o nativo extraído del lago contiene muchas impurezas y materia-- les extraños, tales como algas, arena fina y vegetación. Para conse-- guir un material de pavimentación adecuado es preciso eliminar estas - impurezas. Por consiguiente es necesario un proceso de refino.

Durante muchos años, el asfalto de Trinidad se ha exportado a Países extranjeros para construir pavimentos; pero con el desarrollo - de los modernos métodos de refinar los crudos de petróleo de los diver sos países, los materiales asfálticos se producen en la mayoría de los casos a tal precio, que hace imposible la competencia del asfalto de - Trinidad.

La isla de Trinidad es ahora un gran productor de crudo de petróleo y resulta problemático saber si la continua extracción de crudo a profundidades de varios millares de pies bajo la tierra reducirá la presión subterránea en medida suficiente para vaciar el lago de asfalto.

Yacimientos de asfalto de La Brea!- Los yacimientos de asfalto de la Brea, en los Angeles, Calif., constituyen otro ejemplo de como se realiza sus maravillas la Naturaleza. Este depósito de asfalto -

nativo es un caso paralelo al del lago Trinidad.

El poder protector del asfalto se demuestra de nuevo en los yacimientos de la Brea por restos fósiles de tigres de diente de sable, - mastodontes, camellos y otros animales prehistóricos que se han extraído. Se supone que estos animales cayeron accidentalmente al lago de asfalto hace más de 30,000 años.

## II. 3.- ORIGEN DEL ASFALTO.

No se sabe exactamente cómo se formó el asfalto en el subsuelo. Las teorías de su origen se siguen discutiendo hasta la fecha. Varios químicos famosos, entre ellos el ruso, Mijail Vasilievich Lomonosov (1711-1865), en 1745; el francés Marcelín Pierre Eugene Berthelot (1827-1907) en 1866; el ruso, Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907) en 1877 y el francés Paul Sabatier (1854-1941) en 1902, defendieron el origen mineral. Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se demuestra al comprobarse que los terrenos en los que se ha formado, no han estado nunca a una temperatura superior a 38 grados centígrados, lo que descarta la teoría del origen mineral ya que la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho más elevadas.

Los estudios recientes hechos en laboratorios con análisis de rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas, ciertas propiedades ópticas, que sólo se localizan en las sustancias orgánicas; por otro lado el contenido de nitrógeno y otras sustancias en el asfalto sólo puede proceder de materiales orgánicos.

También nos puede confirmar el origen orgánico, el hecho de -- que la mayor parte de los yacimientos en el mundo se localizan en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

## II. 4.- CLASIFICACION DE ASFALTOS.

- 1.- Asfaltos líquidos de curado lento (SC)
- 2.- Asfaltos disueltos.
  - a) Asfaltos disueltos de curado medio (MC).
  - b) Asfaltos disueltos de curado rápido (RC).
- 3.- Cementos asfálticos.
- 4.- Emulsiones asfálticas.
- 5.- Asfaltos en polvo.

### ASFALTOS LIQUIDOS DE CURADO LENTO (SC)

Los asfaltos líquidos de curado lento pueden ser aceites residuales asfálticos, que contienen pocos o ningunos elementos volátiles o pueden proceder de una mezcla de cemento asfáltico y aceites residuales. Varían desde el fluido de características ligantes pobres -- hasta un material muy viscoso de excelentes características ligantes, que requieren calor para hacerse trabajable. La tabla 4.1 muestra -- las especificaciones para los asfaltos líquidos (SC). Téngase en --- cuenta que cuanto más alto es el número indicativo mayor es el contenido de asfalto con la correspondiente disminución de aceite fluidificante.

### ASFALTOS DISUELTOS DE CURADO MEDIO (MC)

Los asfaltos disueltos de endurecimiento medio se obtienen mediante el fluxado de cemento asfáltico con Kerosina, que es un producto altamente volátil. La Kerosina hace al asfalto trabajable a temperaturas relativamente bajas y se evapora al exponerse al aire o al calor, dejando libre el cemento asfáltico. Las especificaciones para - este asfalto líquido aparecen en la Tabla 4.2.

### ASFALTOS DISUELTOS DE CURADO RÁPIDO (RC)

Los asfaltos disueltos de curado rápido se obtienen fluxando- el cemento asfáltico con nafta o gasolina, productos mucho más voláti

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS LIQUIDOS DE CURADO LENTO

TABLA 4.1

Designación	SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5
Necesidad General	El material debe estar libre de agua					
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F. ....	150 +	150 +	175 +	200 +	255 +	250 +
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	---	---	---	---	---
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	---	75.150	---	---	---	---
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	---	---	100.200	250.500	---	---
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	---	---	---	---	125.250	300.600
Porcentaje de agua .....	0.5	0.5	---	---	---	---
<b>Destilación:</b>						
Total destilado a 680° F., porcentaje en volumen .....	15.40	10.30	5.25	2.15	10.	5.
Ensayo de flotación en el residuo a 122° F., segundos ..	15.100	20.100	25.100	50.125	60.150	75.200
Residuo asfáltico de penetración 100, porcentaje .....	40 +	50 +	60 +	70 +	75 +	80 +
Ductilidad del residuo asfáltico a 77° F., centímetros ..	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono *, porcentaje ....	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido °F .....	50.120	80.200	150.200	175.250	175.250	200.275
Temperatura de mezcla °F .....	50.120	80.200	150.200	175.250	175.250	200.275

\* Si el material no cumple los requerimientos de solubilidad, será aceptable si tiene una solubilidad en bisulfuro de carbono de 99 + %, y el betún soluble en tetracloruro de carbono es el 199,65 + %.

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS DISUELTOS DE CURADO MEDIO

TABLA 4.2.

Designación	MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Necesidad General	El material debe estar libre de agua					
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F .....	100+	100+	150+	150+	150+	150+
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	--	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	--	75.150	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	--	---	100.200	250.500	--	--
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	--	---	--	--	125.250	300.600
<b>Destilación:</b>						
Destilación (porcentaje del total destilado a 680° F.)						
a 437° F. ....	25.	20.	10.	5.	0	0
a 500° F. ....	40.70	25.65	15.55	5.40	30.	20
a 600° F. ....	75.93	70.90	60.87	55.85	40.80	20.75
Residuo de destilación a 680° F.,						
Porcentaje en volumen por diferencia .....	50 +	60 +	67 +	73 +	78 +	82 +
<b>Ensayos en el residuo de destilación:</b>						
Penetración 77° F., 100 grs., 5 segundos .....	120.300	120.300	120.300	120.300	120.300	120.300
Ductilidad 77° F.,* centímetros .....	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje ....	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido °F .....	50.120	80.150	100.200	175.250	200.275	120.275
Temperatura de mezcla °F .....	50.120	80.150	100.200	150.200	175.225	200.250

\* Si la penetración del residuo es mayor de 200 y su ductibilidad a 77° F, es menor de 100, el material será aceptable si su ductibilidad a 60° es 100 +.

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS LIQUIDOS DE CURADO LENTO

TABLA 4.1

Designación	SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5
Necesidad General			El material debe estar libre de agua			
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F. ....	150 +	150 +	175 +	200 +	255 +	250 +
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	—	—	—	—	—
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	—	75.150	—	—	—	—
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	—	—	100.200	250.500	—	—
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	—	—	—	—	125.250	300.600
Porcentaje de agua .....	0.5	0.5	—	—	—	—

Destilación:

Total destilado a 680° F., porcentaje en volumen .....	15.40	10.50	5.25	2.15	10.	5.
Ensayo de Fluoración en el residuo a 122° F., segundos ..	15.100	20.100	25.100	50.125	60.150	75.200
Residuo asfáltico de penetración 100, porcentaje .....	40 +	50 +	60 +	70 +	75 +	80 +
Ductilidad del residuo asfáltico a 77° F., centímetros ..	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono *, porcentaje ....	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido °F .....	50.120	80.200	150.200	175.250	175.250	200.275
Temperatura de mezcla °F .....	50.120	80.200	150.200	175.250	175.250	200.275

\* Si el material no cumple con requerimientos de solubilidad, será aceptable si tiene una solubilidad en disulfuro de carbono de 99 + %, y el bitún soluble en tetracloruro de carbono es el 199,65 + %.

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS DISUELTOS DE CURADO MEDIO

TABLA 4.2.

Designación	MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Necesidad General			El material debe estar libre de agua			
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F. ....	100+	100+	150+	150+	150+	150+
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	—	—	—	—	—
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	—	75.150	—	—	—	—
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	—	—	100.200	250.500	—	—
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	—	—	—	—	125.250	300.600

Destilación:

Destilación (porcentaje del total destilado a 680° F.)						
a 437° F. ....	25.	20.	10.	5.	0	0
a 500° F. ....	40.70	25.65	15.55	5.40	30.	20
a 600° F. ....	75.93	70.90	60.87	55.85	40.80	20.75
Residuo de destilación a 680° F.,						
Porcentaje en volumen por diferencia .....	50 +	60 +	67 +	73 +	78 +	82 +

Ensayos en el residuo de destilación:

Penetración 77° F., 100 grs., 5 segundos .....	120.300	120.300	120.300	120.300	120.300	120.300
Ductilidad 77° F., * centímetros .....	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje ....	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido °F .....	50.120	80.150	100.200	175.250	200.275	120.275
Temperatura de mezcla °F .....	50.120	80.150	100.200	150.200	175.225	200.250

\* Si la penetración del residuo es mayor de 200 y su ductibilidad a 77° F. es menor de 100, el material será aceptable si su ductibilidad a 60° es 100 +.

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS DISUELTOS DE CURADO RAPIDO

TABLA 4.3

Designación	RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5
Necesidad General	El material debe estar libre de agua					
Punto de inflamación (vaso abierto), °F .....	--	--	80 +	80 +	80 +	80 +
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	--	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	--	75.150	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	--	--	100.200	250.500	--	--
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	--	--	--	--	125.250	300.600
<b>Destilación:</b>						
Destilado (porcentaje del total destilado a 680° F.)	15 +	10 +	--	--	--	--
a 374° F. ....	55 +	50 +	40 +	25 +	8 +	--
a 437° F. ....	75 +	70 +	65 +	55 +	40 +	25 +
a 500° F. ....	90 +	88 +	87 +	83 +	80 +	70 +
a 600° F. ....						
<b>Residuo de destilación a 680° F.,</b>						
Porcentaje en volumen por diferencia	50 +	60 +	67 +	73 +	78 +	82 +
<b>Ensayos en el residuo de destilación:</b>						
Penetración 77° F., 100 grs., 5 segundos .....	80.120	80.120	80.120	80.120	80.120	80.120
Ductilidad 77° F., centímetros .....	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje ...	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido, °F. ....	50.120	80.150	100.175	150.200	175.250	200.275
Temperatura de mezcla, °F. ....	50.120	80.125	80.150	125.175	150.200	175.225

ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS

TABLA 4.4.

Requerimientos Generales	El asfalto procederá del refinamiento del petróleo. Tendrá un carácter uniforme y no formará espuma si se calienta a - 350° F		
Penetración 77° F., 100 grs. 5 segundos ..... (Grado de penetración)	** 40.50 50.60 60.70 70.85 85.100	**  100.120 120.150 150.200	**   200.300
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F .....	450 +	425 +	350 +
Pérdida al calor, 325° F 5 horas, porcentaje .....	1.	2.	2.
Penetración después de la pérdida al calor, 77° F, 100 grs. 5 segundos, por ciento original	70 +	70 +	60 +
Ductilidad: 77° F., centímetros ..... 64° F., centímetros .....	100 + -	60 + -	60 + -
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje .....	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de esparcido, °F. ..	275.350	275.350	275.350
Temperatura de mezcla, °F .....	275.325	275.325	200.275

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS DISUELTOS DE CURADO RAPIDO

TABLA 4.3

Designación	RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5
	Necesidad General					
El material debe estar libre de agua						
Punto de inflamación (vaso abierto), °F .....	--	--	80 +	80 +	80 +	80 +
Viscosidad Furol a 77° F., segundos .....	75.150	--	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 122° F., segundos .....	--	75.150	--	--	--	--
Viscosidad Furol a 140° F., segundos .....	--	--	100.200	250.500	--	--
Viscosidad Furol a 180° F., segundos .....	--	--	--	--	125.250	300.500
<b>Destilación:</b>						
Destilado (porcentaje del total destilado a 680° F.)	15 +	10 +	--	--	--	--
a 374° F. ....	55 +	50 +	40 +	25 +	8 +	--
a 437° F. ....	75 +	70 +	65 +	55 +	40 +	25 +
a 500° F. ....	90 +	88 +	87 +	83 +	80 +	70 +
a 600° F. ....						
<b>Residuo de destilación a 680° F.,</b>						
Porcentaje en volumen por diferencia	50 +	60 +	67 +	73 +	78 +	82 +
<b>Ensayos en el residuo de destilación:</b>						
Penetración 77° F., 100 grs., 5 segundos .....	80.120	80.120	80.120	80.120	80.120	80.120
Ductilidad 77° F., centímetros .....	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje ...	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de separación, °F. ....	50.170	80.150	100.175	150.200	175.250	200.275
Temperatura de mezcla, °F. ....	50.120	80.125	80.150	125.175	150.200	175.225

ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS

TABLA 4.4.

Requerimientos Generales	El asfalto procederá del refinamiento del petróleo. Tendrá un carácter uniforme y no formará espuma si se calienta a - 350° F		
Penetración 77° F., 100 grs. 5 segundos (Grado de penetración) .....	40.30	100.120	200.300
	50.60	60.70	70.85
	70.85	85.100	
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F .....	450 +	425 +	350 +
Pérdida al calor, 325° F 3 horas, porcentaje .....	1.	2.	2.
Penetración después de la pérdida al calor, 77° F., 100 grs. 5 segundos, por ciento original	70 +	70 +	60 +
Ductilidad:			
77° F., centímetros .....	100 +	60 +	60 +
64° F., centímetros .....	--	--	--
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje .....	99.5 +	99.5 +	99.5 +
Temperatura de separación, °F. ..	275.350	275.350	275.350
Temperatura de mezcla, °F .....	275.325	275.325	200.275

les que la Kerosina. Por evaporarse estos destilados mucho más rápidamente que la Kerosina, se llama a este tipo de curado rápido. Para los asfaltos líquidos RC se emplean cementos asfálticos de menor penetración que para los MC.

Las especificaciones que aparecen en la tabla 4.3 cubren la línea más corriente de curado rápido, y debe tenerse en cuenta que -- cuanto más alto es el número indicador, mayor es el porcentaje de cemento asfáltico, como en los casos de los asfaltos líquidos MC Y SC.- De forma que un RC-S es mucho más viscoso que un RC-0. Los materiales SC, MC y RC del mismo grado o número especificador tienen la misma viscosidad.

#### CEMENTOS ASFÁLTICOS (AC)

El cemento asfáltico es un ligante denso que se emplea en la preparación de mezclas asfálticas en caliente. Se designa seleccionando una graduación de penetraciones de dureza adecuada, para cada tipo de construcción, condiciones climatológicas, clase y naturaleza del tráfico que ha de soportar el pavimento.

Los cementos asfálticos de petróleo se refinan por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento, continuándose la destilación hasta que se obtiene la penetración deseada. El verdadero grado de penetración se controla por la cantidad de aceites fluxantes que se mantienen al final del proceso.- Se usa vapor en el refinado, para que los volátiles pesados puedan -- ser separados sin aumentar demasiado la temperatura, ya que temperaturas excesivamente altas reducen la ductilidad, rebajan la penetración y producen el desdoblamiento, lo que da un producto menos homogéneo,- (ver tabla 4.4).

Los cementos asfálticos y los asfaltos líquidos de curado lento son bastante similares. Ambos materiales contienen aceites que -- son esencialmente no volátiles y tanto uno como otros son completa--

mente solubles en bisulfuro de carbono. Por supuesto los AC son mucho más viscosos que los asfaltos líquidos y en la construcción de carreteras se utilizan para distintos fines.

La calidad de un cemento asfáltico viene afectada por las propiedades del crudo del que se obtiene, ya que los diferentes campos petrolíferos producen crudo de características totalmente distintas. También el sistema de refinado afecta en mucho la calidad y características del cemento asfáltico producido.

Los cementos asfálticos necesitan calentarse para adquirir fluidez que les haga trabajables, al contrario de la mayor parte de otros materiales asfálticos, cuya docilidad depende de las materias o agentes fluxantes. Como los agentes fluxantes únicamente sirven para dar docilidad al material bituminoso hasta que los agregados y el ligante estén mezclados y colocados en el camino, no dan un servicio permanente. En realidad, pueden ser perjudiciales si permanecen en la mezcla. El resultado es que a veces es más económico el uso de cementos asfálticos, que el de ligantes más ligeros que necesitan aereación para separar los volátiles. En los AC, no hay agentes fluxantes que rebajen o aumenten el costo del Betún.

#### EMULSIONES ASFALTICAS

Corrientemente, cuando es necesario mezclar dos sustancias tales como aceite y agua, en que una no puede quedar en suspensión en la otra por un tiempo apreciable, se ha de añadir un tercer ingrediente, tal como jabón para retardar la separación. De la misma forma, el cemento asfáltico y el agua se mezclan usando un agente emulsionante que demora la separación. Se emplean numerosos agentes emulsionantes tanto orgánicos como inorgánicos, tales como arcilla coloidal, silicatos solubles o insolubles, jabón y aceites vegetales sulfonado.

Quando la emulsión rompe, el agua fluye o se evapora dejando libre el asfalto. Hay que tener mucho cuidado al manejar emulsiones,

evitar el rompimiento prematuro, ya que una presión excesiva, el calor o el frío pueden producirlo. La rapidez de rotura se controla por la proporción y clase de elementos constitutivos de la emulsión.

Hay dos tipos de emulsiones asfálticas. El primero es la emulsión corriente, en la cual las partículas de asfalto se dispersan con agua con ayuda de un agente emulsionante. Este tipo es el más usual.

El segundo es la emulsión inversa, en el cual pequeñas gotas de agua se dispersan en asfalto.

Los usos principales de los distintos tipos de emulsiones asfálticas que aparecen en la tabla 4.5, son los siguientes:

TIPO RS-1. Emulsión asfáltica (curado rápido, alta viscosidad) que se emplea para penetración y tratamientos superficiales.

TIPO RS-2. Emulsión asfáltica (curado rápido, alta viscosidad) que se emplea para tratamientos superficiales.

TIPO MS-1. Emulsión asfáltica de poca viscosidad (curado medio) que se emplea para mezclarla sobre el camino con agregados gruesos, prácticamente todos los cuales quedan retenidos en el tamiz de 1/8 de pulgada y casi nada del material pasa el tamiz número 200.

TIPO MS-2. Emulsión asfáltica de viscosidad media (curado medio) que se emplea para mezclarla en planta fija con agregados gruesos prácticamente todos los cuales quedan retenidos en el tamiz de 1/8 de pulgada y casi nada del material para el tamiz número 200.

TIPO SS-1. Emulsión asfáltica de curado lento que se emplea con agregados finos de los cuales una parte considerable para el tamiz de 1/8 de pulgada y cierta parte para el tamiz número 200.

#### ASFALTOS EN POLVO

Los asfaltos en polvo son duros y sólidos y tienen una penetra

ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS

TABLA 4.5.

Clase Tipo	Ruptura Rápida				Ruptura Media				Ruptura Lenta	
	RS-1		RS-2		MS-1		MS-2		SS-1	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol, 60 ml. a 77° (25°C), segundos .....	20	100			20	100	100		20	100
Viscosidad Saybolt Furol, 60 ml. a 122°F (50°C), segundos .....			75	400				65		
Residuo por destilación, porcentaje	55	60	63	68	55	60	60	5	57	62
Sedimentación, 5 días .....		3		3		5				
Demulsificación, porcentaje:										
35 ml. de 0.02 N CaCl <sub>2</sub> .....	60		60							
50 ml. de 0.10 N CaCl <sub>2</sub> .....					30			30		
Miscibilidad con agua, coagulación apreciable en 2 horas						Nada		Nada		
Miscibilidad modificada con agua, diferencia de contenido asfáltico										4,5
Ensayo de mezcla de cemento, porcentaje .....										2,0
Ensayo de revestimientos										
Ensayo de tamizado, porcentaje ..		0,10		0,10		0,10		0,10		0,05

El ensayo de demulsificación deberá practicarse dentro de 30 días de la fecha de embarque.

Si la muestra de emulsión asfáltica no cumple el ensayo de miscibilidad modificada con agua, deberá entonces someterse a los ensayos de sedimentación en 5 días y de miscibilidad. Si la diferencia numérica entre los porcentajes medio de sedimentación en 5 días es menor de 3, y si el ensayo normal de miscibilidad revela que no hay coagulación apreciable en 2 horas, entonces se considerará que la emulsión asfáltica cumple con las especificaciones y deberá ser aceptada.

TAHIA 4.5.

ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS

Clase Tipo	Ruptura Rápida				Ruptura Media				Ruptura Lenta	
	RS-1		RS-2		MS-1		MS-2		SS-1	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol, 60 ml. a 77° (25°C), segundos .....	20	100			20	100	100		20	100
Viscosidad Saybolt Furol, 60 ml. a 122°F (50°C), segundos .....			75	400			65			
Residuo por destilación, porcentaje .....	55	60	63	68	55	60	60	5	57	62
Sedimentación, 5 días .....		3		3		5				
Demulsificación, porcentaje:										
35 ml. de 0,02 N CaCl <sub>2</sub> .....	60		60							
50 ml. de 0,10 N CaCl <sub>2</sub> .....					30		30			
Miscibilidad con agua, coagulación apreciable en 2 horas .....						Nada		Nada		
Miscibilidad modificada con agua, diferencia de contenido asfáltico .....										4,5
Ensayo de mezcla de cemento, porcentaje .....										2,0
Ensayo de revestimientos .....										
Ensayo de tamizado, porcentaje ..		0,10		0,10		0,10		0,10		0,05

El ensayo de demulsificación deberá practicarse dentro de 30 días de la fecha de embarque. Si la muestra de emulsión asfáltica no cumple el ensayo de miscibilidad modificada con agua, deberá entonces someterse a los ensayos de sedimentación en 5 días y de miscibilidad. Si la diferencia numérica entre los porcentajes medio de sedimentación en 5 días es menor de 3, y si el ensayo normal de miscibilidad revela que no hay coagulación apreciable en 2 horas, entonces se considerará que la emulsión asfáltica cumple con las especificaciones y deberá ser aceptada.

ción inferior a 10. Para su uso el asfalto se pulveriza hasta un estado de subdivisión muy fino, con el 100% pasando el tamiz número 10 y por lo menos el 50% pasando el tamiz número 200. Se emplea los asfaltos pulverizados en algunas mezclas patentadas, tales como Colprovia, pero más generalmente se utilizan en construcción de bajo costo junto con un agente fluidificante como los asfaltos líquidos SC-2, -SC-3 y SC-4.

El polvo asfáltico se añade a los agregados y a los asfaltos líquidos de curado lento (SC), según sea el sistema de construcción que se emplee, y en la carretera bajo los efectos del calor y la presión, se une lentamente con el aglomerante para producir un resultado de consistencia similar a la del cemento asfáltico. Variando la relación de asfalto pulverizados a los asfaltos líquidos, se puede obtener la penetración que se desee. La ventaja principal del empleo de los asfaltos en polvo es que en realidad supone el uso de cemento asfáltico en mezcla fría. Una especificación típica para asfalto debe cumplir los siguientes requerimientos:

Peso específico a 77/77°F -----	1,05 +
Punto de inflamación (vaso abierto de Cleveland), °F -----	500 +
Punto de ablandamiento (sistema de anillo y la bola), °F -----	240 +
Penetración:	
77°F., 100 grs., 5 segundos -----	0
115°F., 50 grs., 5 segundos -----	2 -
Betún soluble en tetracloruro de carbono:	
15 minutos, porcentaje -----	93, 0 +
Cantidad total de betún, porcentaje	98, 0 +

## II. 5.- RESEÑA HISTORICA DE LOS ASFALTOS.

PREHISTORIA.- Se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de Asfalto en el pozo de la Brea, en los Angeles California.

320 a 540 a J.C. Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del Asfalto en Mezopotamia y 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. Construcción del primer pavimento asfáltico en --- Newark, Nueva Jersey, por el Profesor E. J. De Smedt, químico belga.

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

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

A partir de 1924, el asfalto del petróleo producido anualmente ha crecido constantemente.

El asfalto producido y empleado se obtiene de la destilación - del petróleo.

### III. 1.- TIPOS DE ASFALTO.

**Asfaltos Soplados.**- Inyectando aire a través del residuo durante la última parte del proceso de refinado pueden obtenerse asfaltos semisólidos de propiedades especiales. En la fabricación de asfaltos soplados u oxidados, el proceso de destilación se interrumpe en el momento en que el residuo es todavía líquido. Entonces se traslada el residuo a otro tanque llamado convertidor y se hace pasar aire a través de él mientras se mantiene a alta temperatura. Este tratamiento prosigue hasta que el residuo ha alcanzado las propiedades deseadas. Los asfaltos oxidados son los más rígidos que se fabrican y tienen la propiedad de mantener una consistencia elevada a las temperaturas que deben soportar cuando se exponen a los agentes atmosféricos.

Estos asfaltos no se utilizan normalmente en las mezclas de pavimentación, pero sus propiedades especiales los hacen valiosos para multitud de usos industriales. Se emplean en materiales para techados, cajas de baterías, revestimientos interiores para automóviles y pinturas impermeabilizantes. Se usan mucho como materiales para relleno de juntas en pavimentos de concreto y para sellado inferior de viejos pavimentos rígidos bajo los cuales han producido cavidades.

La adición de un catalizador durante el proceso de oxidación produce un material que conserva su plasticidad a temperaturas muy inferiores a aquellas a las que un asfalto ordinario se hace frágil. El asfalto oxidado catalítico tiene determinadas propiedades de elasticidad que le hacen asemejarse en cierto modo a la goma, y se emplea como revestimiento de canales.

**Cutbacks.**- Los materiales asfálticos de curado rápido, medio y lento se designan usualmente por sus iniciales en inglés. RC, MC Y SC, respectivamente. De este modo, las dos primeras letras designan el tipo. El grado o fluidez se indica por una cifra que sigue a las iniciales. Los asfaltos menos viscosos o más fluidos se designan por el nú-

mero 0, como RC-0, MC-0 y SC-0. Los número 0, 1, 2, 3, 4, y 5 designan asfaltos progresivamente menos fluidos o de mayor viscosidad al crecer los números. Además, este número indica un tiempo definido de fluidez o viscosidad, independientemente del tiempo de cutback.

Los cutbacks de curado rápido (RC) se llaman así porque se fabrican por mezcla del asfalto con cierta cantidad de disolvente o material de corte, que se evapora rápidamente después de usarlo, dejando solo el asfalto. El disolvente utilizado para mezclarlo con un asfalto y producir un cutback de curado rápido es un material de bajo punto de ebullición, como nafta o gasolina. La cantidad de disolvente que debe mezclarse con el asfalto depende del tipo de cutback tipo RC-0, la mezcla del fabricante será de un 45% de disolvente y un 55% de asfalto. Para fabricar RC-5 sería preciso mezclar, aproximadamente, 15% de disolvente y 85% de asfalto. La viscosidad de cutback depende también del porcentaje de disolvente empleado en la mezcla; de este modo resulta que el cutback tipo RC-0 será el de viscosidad más baja, y el RC-5, el de viscosidad más alta.

Los cutbacks de curado medio (MC) se fabrican mezclando asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio, de tipo keroseno. Cuando esta mezcla de materiales se riega sobre una superficie o se mezcla con agregados, el disolvente tipo keroseno no se evaporan rápidamente como el de tipo gasolina empleado en la fabricación de los cutbacks tipo RC. De aquí viene la designación curado medio. La relación entre el grado y la viscosidad de los cutbacks de curado medio son las mismas que para los cutbacks de curado rápido.

Los cutbacks de curado lento (SC) pueden fabricarse por uno cualquiera de estos dos procedimientos. Primero, mezclando asfalto con gas-oil de alto punto de ebullición, y segundo, controlando el caudal y la temperatura de crudo durante la primera destilación. Ya que el gas-oil que entre en la composición de tipo SC es un material semivolátil, necesita un período de curado mucho más delicado. De he

cho, los materiales de tipo SC extraídos del fondo de la torre de destilación son de curado extremadamente lento y pueden no llegar a curar nunca.

La maquinaria que se emplea normalmente en ciertas refinerías para la fabricación de cutbacks consiste en una serie de tanques de mezcla a los que se conectan dos o más tuberías, que conducen asfaltos fundidos de penetraciones diversas a través de una boquilla de mezcla situada en el fondo de cada tanque. Estas boquillas de mezcla se hallan también unidas a diversas tuberías, que conducen los disolventes usuales necesarios para producir los distintos tipos de cutbacks. Cada conducción de disolvente y de asfalto está provista de manómetro y válvula, mediante los cuales un operador experto puede inyectar en el tanque de mezcla la cantidad y tipo de asfalto y disolvente adecuados para producir un cutback que cumpla cualquier especificación dada.

### III. 2.- PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ASFALTICOS.

F. N. Hveem ha clasificado las propiedades de los materiales asfálticos empleados en pavimentación en cuatro grupos generales de acuerdo con su:

- 1.- Consistencia.
- 2.- Durabilidad o resistencia al envejecimiento.
- 3.- Velocidad de curado.
- 4.- Resistencia a la acción del agua

Estas cuatro propiedades definen completamente para fines prácticos el tipo de asfalto y su adecuación.

CONSISTENCIA.- La consistencia de los materiales asfálticos varía desde la de un líquido muy fluido, solo ligeramente más viscoso -- que el agua (cutbacks grado 0), a la de un cuerpo semisólido, rígido, de propiedades semejantes a las del lacre (asfaltos oxidados). A causa de esta amplia variación, no hay ningún instrumento que mida satisfactoriamente la consistencia de todos los materiales asfálticos. En la actualidad se emplean tres métodos distintos para la medida de consistencias:

- 1.- Viscosidad Furol.
- 2.- Penetración.
- 3.- Ensayo del flotador.

Viscosidad Flurol.- El término más general empleado para la designación de la consistencia es el de viscosidad, que es una medida de la resistencia al flujo. Cuanto más alta es la viscosidad de un líquido, más se aproxima este en sus propiedades de consistencia a un semisólido. La viscosidad Furol es un ensayo específico que se emplea para medir la viscosidad de los materiales asfálticos líquidos. Es el número de segundos que necesitan 60 cm<sup>3</sup> del material para fluir a tra-

vés de un orificio de tamaño dado y a una temperatura especificada. --  
(veáse fig. 3.1)

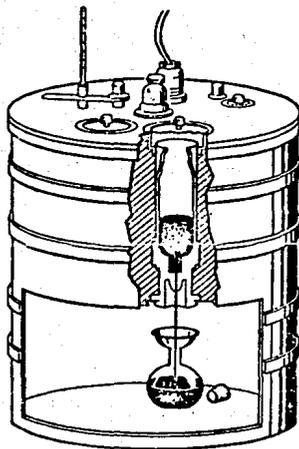


Fig. 3.1 Ensayo de Viscosidad

No es conveniente realizar el ensayo de viscosidad Furol a la misma temperatura para todos los asfaltos líquidos. En efecto: si observamos la línea horizontal [viscosidad Furol aproximada a 60°F] apreciamos que si se eligiera esta temperatura para realizar el ensayo de viscosidad en todos los tipos de asfalto líquido, la precisión posible expresada porcentualmente, sería muy pequeña en los grados 0 y 1, mientras que la viscosidad de los materiales de grado 5 requeriría 3000 --seg o 50 min. de duración del ensayo, lo que sería poco práctico para ensayos de rutina.

La viscosidad del asfalto es una función decreciente de la tem

peratura; por consiguiente, se elige la temperatura de ensayo de cada grado de forma que se obtenga un tiempo de fluencia adecuado a los fines prácticos. La temperatura de ensayo y los límites del tiempo de fluencia para cada grado.

Penetración.- El asfalto es un cuerpo semisólido a temperatura ambiente. Aún cuando se caliente para disminuir la viscosidad no es práctico determinar la consistencia por la viscosidad Furol. La principal razón por la que estamos interesados en su consistencia es con el fin de determinar sus cualidades o poder cementante (denominadas comúnmente poder ligante) a la temperatura normal en la carretera. Es un hecho conocido que cuanto más rígido es el asfalto, más fuertemente une las piedras en una mezcla asfáltica. Teniendo en cuenta estas consideraciones prácticas, se hace uso de un método que refleja la consistencia a 25°C, que es, aproximadamente, la temperatura ambiente-media. Se llama penetración, y se realiza permitiendo que una aguja de dimensiones especificadas cargada con 100 g penetre en el material durante un período de 5 seg. (ver fig. 3.2)

Se determina la penetración por la profundidad a que la aguja se hunde en el asfalto, medida en décimas de milímetro. Así, p. ej., en un material que tenga una penetración de 100, la aguja se hundirá en el asfalto exactamente 1 cm. La penetración y la consistencia son inversamente proporcionales; es decir, cuanto mayor es la penetración, más blando es el asfalto.

El tipo de ensayo de penetración representado en la figura 3.2 es el ensayo normal de penetración. Es el único que se usa para los asfaltos empleados en trabajos de pavimentación. Los asfaltos especiales (asfaltos oxidados) para techados, sellado de juntas y otros muchos usos, deben conservar su plasticidad en todo el campo de las temperaturas atmosféricas sin hacerse demasiados fluidos a temperaturas altas.

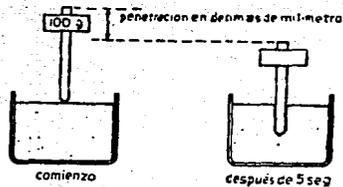


Fig. 3.2 Ensayo de Penetración.

Para comprobar que el comportamiento del asfalto es satisfactorio en este aspecto, se realizan ensayos de penetración a 0°C y 45°C.- Cuando se realiza el ensayo a 0°C, se carga la aguja con 200 g y se mide la penetración en 60 seg. Cuando se hace el ensayo a 45°C, se carga la aguja solo con 50 g y se mide la penetración en 5 seg.

Ensayo de flotador.- Los asfaltos más viscosos que un asfalto líquido de grado 5 no pueden estudiarse de modo adecuado con el ensayo de viscosidad furol. Por otra parte, los que tienen una penetración -- mayor de 300 no resultan adecuados para sufrir el ensayo de penetra---

ción. Por consiguiente, hay un determinado margen de consistencia en el que ninguno de los dos ensayos es aplicable. En este tipo de materiales quedan incluidos el residuo de la destilación de laboratorio de los cutbacks tipo SC y los asfaltos especiales especificados ocasionalmente por algunos organismos constructores de carreteras. Su viscosidad se mide por medio del ensayo del flotador.

Para realizar el ensayo del flotador se coloca el asfalto en un pequeño molde abierto por ambos extremos. A continuación se enfría y se une al fondo de un platillo de aluminio sumergido en un baño de agua a 50°C. (Veáse fig. 3.3)

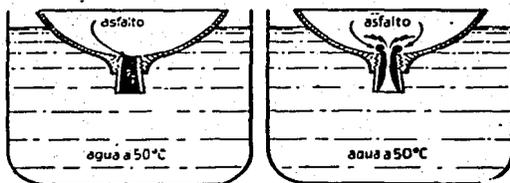


Fig. 3.3 Ensayo del Flotador

El tiempo, medido en segundos, necesario para que el agua se abra paso a través del tapón de asfalto, se da como resultado del ensayo del flotador. De este modo, cuanto más alto es el valor de esta cifra, más rígido es el asfalto.

Relaciones temperatura-consistencia.- Consideramos dos asfaltos semisólidos, de los cuales uno es un asfalto oxidado y el otro un asfalto normal para pavimentación, ambos con la misma penetración a  $25^{\circ}\text{C}$ . Si se calientan a  $45^{\circ}\text{C}$  y se determinan sus penetraciones, se encontrará que a esta temperatura las consistencias ya no tienen el mismo valor sino que el asfalto de pavimentación es mucho más blando. Si se continúa calentando, la diferencia de consistencia se hace más pronunciada. El asfalto de pavimentación se convierte en un líquido, --- mientras que el otro se halla aún en estado semiplástico. A unos  $120^{\circ}\text{C}$ , el asfalto de pavimentación se habrá convertido en un líquido muy fluido, mientras que el asfalto oxidado no alcanzará el mismo estado de fluidez hasta una temperatura de  $180^{\circ}\text{C}$  o más. Si se deja entonces enfriar ambos asfaltos hasta  $0^{\circ}\text{C}$  el asfalto de pavimentación se pondrá mucho más duro que el otro. De este modo se comprueba que la consistencia del asfalto de pavimentación queda mucho más afectado por los cambios de temperaturas que la del asfalto oxidado. Esta propiedad -- del asfalto se llama susceptibilidad térmica. La susceptibilidad térmica de asfaltos procedentes de diferentes crudos varía en cierta proporción, pero esta variación es de escasa importancia si se compara -- con la que existe entre los asfaltos oxidados y los de pavimentación.

Punto de reblandecimiento.- El único método más sencillo para obtener la susceptibilidad térmica de los asfaltos consiste en la determinación del punto de reblandecimiento anillo y bola.

Los asfaltos que tienen puntos de reblandecimientos más altos para una determinada penetración a  $25^{\circ}\text{C}$  son menos susceptibles a los cambios de consistencia debidos a la temperatura. Para realizar el en sayo, se coloca primero el asfalto en un pequeño anillo y se deja enfriar. A continuación se sumerge el anillo en agua o glicerina se coloca sobre el asfalto una pequeña bola de acero y se aplica calor al líquido. En determinado momento, al subir la temperatura, el asfalto se reblandece y permite la caída de la bola al fondo del recipiente. - Se denomina punto de reblandecimiento del asfalto la temperatura expresada

sada en grado centígrados a la que esto se realiza (veáse fig. 3.4).

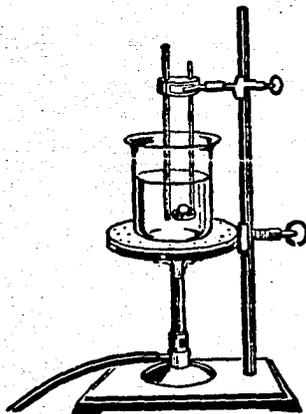


Fig. 3.4 Ensayo de Punto de reblandecimiento

El punto de reblandecimiento de los asfaltos para pavimentación de los tipos BA 40-50 a BA- 200-300 (penetración a 25°C comprendida entre 40-300) varía, aproximadamente, entre 57° y 35°C. El punto de reblandecimiento no es un ensayo muy significativo en materiales de este-

tipo y existen muchas especificaciones en las que no se fija el punto de reblandecimiento. Sin embargo, el ensayo es de gran significación en los asfaltos oxidados, ya que es importante que el punto de reblandecimiento de estos materiales sea muy superior a la temperatura que puedan alcanzar expuestos al sol, la cual llega a ser de 65°C. Esto se debe a que dichos materiales se emplean con frecuencia en superficies inclinadas, tales como tejados, así como para otros fines que existen también que el material se mantenga duro en tiempo cálido.

**DURABILIDAD O RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO.**- Para que sirva satisfactoriamente como ligante, un asfalto de pavimentación debe mantenerse plástico. Cuando un asfalto en película delgada se expone a las inclemencias atmosféricas, a veces pierde parte de su plasticidad y se hace quebradizo a causa de ciertos cambios físicos y químicos. Es te deterioro natural se llama envejecimiento atmosférico.

El envejecimiento atmosférico causado en el asfalto de un pavimento por endurecimiento progresivo da lugar en ocasiones a la formación de finas grietas. Cuando este proceso continúa, las grietas se ensanchan, y finalmente, a menos que se ponga algún remedio, el agua superficial entre por las grietas abiertas, reblandeciendo la base dando lugar a que el pavimento asfáltico quede deshecho. El envejecimiento del ligante asfáltico puede originar también un excesivo desgaste superficial del pavimento.

El envejecimiento atmosférico de los asfaltos de pavimentación se produce principalmente por oxidación y volatilización. Otros factores que suelen contribuir a su deterioro son las ondas más cortas de la luz (rayos ultravioletas), el envejecimiento propiamente dicho y, posiblemente, la acción de lavado por el agua. Es obvio que el ingeniero debe tratar de reducir el envejecimiento atmosférico tanto como sea posible. En los párrafos que siguen damos los métodos para conseguirlo.

**Oxidación y Volatilización.**- Oxidación es un ataque químico - del asfalto por el oxígeno del aire. Volatilización es la vaporación de los hidrocarburos más ligeros del asfalto. El efecto de ambos factores produce un endurecimiento progresivo y permanente del asfalto -- que puede medirse por el ensayo de penetración. Se ha demostrado que cuando el asfalto de un pavimento llega a alcanzar una penetración de 30 es muy probable que se haga quebradizo y forme grietas, y si alcanza una penetración de 20 resulta virtualmente ventajoso emplear los tipos de asfalto más blandos (de mayor penetración) utilizables practicamente en la construcción de un pavimento. Así, p. ej., un pavimento - construido con asfalto de penetración 40 está muy próximo al límite de fragilidad (penetración 30) y, evidentemente, se agrietará mucho antes que un pavimento construido con asfalto de penetración 100.

**Efecto de la temperatura.**- La elevación de la temperatura del asfalto acelera muchísimo la oxidación y volatilización. En la estimación de la velocidad de las reacciones físicas y orgánicas se emplea a veces una regla empírica, en virtud de la cual la velocidad de una --- reacción se duplica aproximadamente por cada 10°C de aumento de la temperatura.

Esto explica porqué el calentamiento excesivo puede perjudicar gravemente a un asfalto aunque el exceso de temperatura no sea de muchos grados; p. ej., la proporción en que se producen oxidación y volatilización en una mezcla agitada en el mezclador a 179°C es 8 veces mayor que la que se produciría a 150°C.

**Efecto de la superficie.**- El endurecimiento debido a oxidación y volatilización es función de la superficie del asfalto expuesta a los agentes atmosféricos. Teóricamente, tanto la absorción de oxígeno como las pérdidas por evaporación, expresadas en gramos por centímetro cúbico y por minuto, son directamente proporcionales al área de la superficie expuesta a los agentes atmosféricos, e inversamente proporcionales al volumen. Expresado de forma más breve: el endurecimiento-

debido a esta causa aumenta en proporción directa al cociente de la superficie por el volumen total.

A la influencia de la relación de la superficie al volumen se debe el que una gran masa de asfalto (varios centenares de miles de litros) puedan mantenerse en un tanque de almacenaje a una temperatura de 150°C durante varias semanas o meses sin que se produzca un endurecimiento indeseable. Este mismo asfalto, agitado a idéntica temperatura en un mezclador, experimenta un descenso de varios puntos en su penetración en menos de un minuto.

En el primer caso, el cociente de la superficie expuesta a los agentes atmosféricos por el volumen total es muy pequeño, mientras que en el segundo, este cociente es enorme. Este principio se tiene en cuenta en el proyecto de mezclas asfálticas para pavimentos. Para que su estabilidad sea la apropiada, un pavimento debe contener pequeños huecos o espacios llenos de aire. Sin embargo, cuanto más grandes son estos huecos, mayor es el área expuesta a la oxidación; por consiguiente, estos huecos deben reducirse al mínimo en el proyecto de pavimentos de concreto asfáltico.

Acción de la luz.- Se sabe que la luz tiene un efecto destructivo sobre el asfalto. A veces, el ataque se produce por la acción de los rayos ultravioletas del sol, que pueden destruir las moléculas de asfalto, descomponiéndolas en agua y productos solubles en esta. La ruptura de las moléculas por tal proceso se llama foto oxidación, porque se trata esencialmente de una reacción de oxidación acelerada por la acción de la luz.

Afortunadamente, los rayos destructivos solo son capaces de penetrar a una profundidad de unas pocas capas moleculares por debajo de la superficie del asfalto. Por otra parte, tampoco pueden penetrar a través de las partículas de los agregados en los pavimentos. Por tal motivo debe considerarse la foto-oxidación como de importancia secundaria

en el deterioro de los pavimentos gruesos. Sin duda contribuye considerablemente al envejecimiento atmosférico de los riegos de sellado -- delgados y de las superficies delgadas de asfalto en general.

Endurecimiento.- Cuando un asfalto se calienta y se deja después enfriar a la temperatura atmosférica, continúa endureciéndose indefinidamente, aunque esté protegido contra la oxidación, la volatilización y la luz. Esto se debe a una reordenación de las moléculas en el asfalto, formando una estructura de tipo gel. El endurecimiento adicional que se produce es prácticamente despreciable. Este proceso -- de endurecimiento es reversible; esto es, el asfalto puede volver a re cobrar su penetración original por calentamiento o por agitación mecánica o amasado energético.

En efecto del endurecimiento parece tener poca importancia --- práctica, excepto en capas extremadamente delgadas. A veces se observa este tipo de transformación en calles sin salida, pavimentadas con superficies bituminosas simples o dobles en las que hay poco o ningún tráfico. Sin embargo, el deterioro de estos pavimentos se agrava indudablemente por la acción de la vegetación, que crece fácilmente en estas zonas.

La vegetación extrae agua rápidamente del suelo subyacente, -- produciendo una contracción de este, en lo que a su vez origina grietas en el pavimento.

Ensayo de durabilidad.- Varios ingenieros han desarrollado investigaciones de importancia considerable en un esfuerzo para obtener un ensayo de resistencia al envejecimiento que permite apreciar la durabilidad de los asfaltos de pavimentación de manera segura. Benson; Sttuck; Enderby, Stross y Miles; Ebberts; F. N. Hveem; R. H. Lewis y -- J. Y. Wellborn, y otros han propuesto ensayos diversos probablemente, -- el más empleado de todos estos ensayos es el de película delgada de -- Lewis-Wellborn.

Podría parecer que la calidad de los asfaltos extraídos de diversos crudos por diferentes refinadores es susceptible de valorarse por su comportamiento en servicio. No obstante, es extremadamente difícil determinar esta calidad a causa de la multiplicidad de variables que intervienen. Son innumerables los casos en que se atribuyen a la calidad del asfalto averías de pavimentos, que más tarde se comprueban fueron causados por alguna otra razón, tal como base débil, malos agregados, exceso o defecto de asfalto, o debidas a gran variedad de métodos de construcción defectuosos.

Asfaltos de cracking.- Se ha demostrado que los asfaltos que han sufrido cracking en el proceso de refino envejecen bajo el efecto de los agentes atmosféricos mucho más rápidamente que los que no han experimentado este efecto. Las especificaciones para materiales procedentes de cracking.

Es muy fácil identificar los asfaltos que han sufrido un cracking intenso. El asfalto que no ha experimentado cracking tiene superficie brillante como la de un espejo, mientras que si ha sufrido un cracking intenso presente una superficie mate; cuando se somete al ensayo de solubilidad de tetracloruro de carbono de 0.5% o más de un residuo negro semejante a carbón. Su peso específico es mucho más alto que el de un asfalto de la misma penetración y procedente del mismo crudo que no haya sufrido cracking. Sin embargo, cuando el cracking solo ha sido ligero, estas características no son evidentes y son precisos sistemas de detección más sensibles. El ensayo, comúnmente usado es de la mancha. Este ensayo realizado empleando el disolvente normal, no es un medio infalible de detección ni se acepta generalmente como ensayo de calidad. Por esto debe usarse con una discreción, según se indica más adelante.

El asfalto se disuelve en un disolvente y se deja caer una gota de la solución sobre una hoja de papel de filtro. Si la mancha sobre el papel es de color uniforme, se considera que el asfalto ha su-

frido cracking y es aceptable. Si la mancha tiene en el centro un círculo negro o de color castaño oscuro, rodeado de un anillo de color -- más claro, se considera que el material ha sufrido cracking.

En la mayoría de los casos, el resultado positivo del ensayo - (presencia de un círculo central oscuro) cuando se usa el disolvente - especificado, demuestra que el asfalto ha sufrido cracking en el proceso de refino. Sin embargo, hay algunos casos en que esto no es cierto- debido a la naturaleza del crudo del que se ha obtenido el asfalto. La razón es que el disolvente normal, que se define arbitrariamente por - su poder disolvente (número de anilina), no es un disolvente perfecto- para los asfaltos procedentes de cualquier origen.

Cuando el asfalto procedente de cierto crudo da resultado posi- tivo en el ensayo de la mancha usando el disolvente normal, y se sabe- con toda seguridad que no ha experimentado cracking en el proceso de - refino, es necesario modificar el ensayo utilizando un disolvente más- activo.

Esto puede hacerse por dos métodos distintos. En uno de ellos- el disolvente normal se diluye con xileno, aumentando así su poder di- solvente hasta que se obtiene una solución nafta-xileno, que da resul- tado negativo en el ensayo de la mancha con asfaltos procedentes del - crudo en cuestión. Entonces se adopta solución para el ensayo de todos los asfaltos procedentes del mismo crudo. El otro método emplea un di- solvente que cumple las especificaciones del disolvente normal respec- to a destilación, pero producido del mismo crudo a partir del que se - obtiene el asfalto.

**VELOCIDAD DE CURADO.**- Si se pintan diversas porciones de una - superficie plana con películas delgadas de nafta, keroseno y aceite lu- bricante ligero, la nafta se evaporará más de prisa que el keroseno, y esto lo hará a mayor velocidad que el aceite. Mucho después que la naf- ta se haya evaporado por completo, aún quedará algo de keroseno y, del mismo modo, restará aún gran proporción del aceite lubricante cuando -

el keroseno se haya evaporado por completo. Esta es la relación --- que existe entre los tiempos de curado de los cutbacks de tipo RC. MC- y SC, cuyos disolventes son nafta y keroseno y aceite ligero, respectivamente.

Consideramos ahora los diversos cutbacks de tipo RC representados. Supongamos que hemos extendido el RC-0 en capa delgada, de forma que sus disolventes puedan evaporarse. Cierta tiempo después del - comienzo de la evaporación, habrá perdido suficiente nafta para ser un RC-1. Al continuar la evaporación se transformará progresivamente en RC-2, RC-3, RC-4, RC-5 y, finalmente, en asfalto puro. Este proceso - de evaporación y el correspondiente aumento de viscosidad del cutback- constituyen el curado. Se define el curado como el aumento de la consistencia de un asfalto debido a la pérdida progresiva de disolvente - por evaporación.

La velocidad de curado o tiempo requerido por un cutback para aumentar su viscosidad desde su valor inicial hasta una consistencia - tal que pueda realizar satisfactoriamente sus funciones como ligante, - es una característica importante del mismo.

Factores que afectan al tiempo de curado.- Las propiedades in trínsecas más importantes de un asfalto que afectan el tiempo de curado son las siguientes:

- 1.- Volatilidad o velocidad de evaporación del disolvente.
- 2.- Cantidad de disolvente contenido en el cutback.
- 3.- Penetración del asfalto base.

El efecto de la volatilidad del disolvente es evidente, ya que es la diferencia esencial entre los cutbacks de tipo RC, MC Y SC.

Es claro que cuanto menos disolvente contiene un cutback, me-- nos tiempo es necesario para su curado por evaporación de este disol-- vente.

El tiempo de curado crece cuando aumenta la penetración o disminuye la dureza del asfalto.

Los factores externos más importantes que afectan al tiempo de curado son los siguientes:

- 1.- Temperatura.
- 2.- Superficie (relación de superficie a volumen).
- 3.- Velocidad del viento.

Ensayos de curado.- Teniendo en cuenta el gran número de factores variables que afectan al tiempo de curado, es prácticamente imposible predecir el tiempo absoluto de curado que cabe esperar en obra.- Son los factores externos los que son incontrolables e imposibles de prever. El ensayo de las propiedades intrínsecas del cutbacks, que afectan al tiempo de curado, revela que todas puedan controlarse perfectamente. Por consiguiente, si se mantienen constantes los factores externos, resultará posible realizar un ensayo que refleje comparativamente los tiempos de curado de los diversos cutbacks.

El índice de curado desarrollado por el [Texas Highway Departmente] cumple estos fines. Sin embargo, no se trata realmente de un ensayo, sino más bien de una interpretación de los resultados de la destilación normal, lo que da como resultado un número llamado índice de curado, que se expresa en horas. Así un cutback con índice de curado 30, curará, aproximadamente, en la mitad de tiempo que otro cuyo índice de curado sea 60, siempre que los factores externos se mantengan constantes. Esencialmente, el análisis del resultado de la destilación, que permite obtener el índice de curado, es una aplicación de la ecuación de Maxwell-Stefan, desarrollada alrededor de 1870, y que permite obtener el flujo de un gas a través de otro.

Destilación.- En la figura 3.5 se representa el aparato empleado para realizar el ensayo normal de destilación (ASTM D-402).

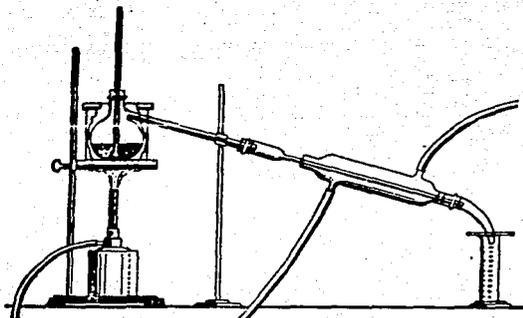


Fig. 3.5 Ensayo de destilación

Se coloca en el matraz 200 cm<sup>3</sup> del cutback a ensayar y se monta el aparato según se indica en la figura, calentando el matraz hasta que el material hierve, de forma que el disolvente condensado cae en la probeta graduada. Se observa el volumen de disolvente contenido en la probeta graduada a las siguientes temperaturas °C: 160,175,190,225, 260,316 y 360. Mediante esta destilación se obtiene el disolvente y -

el asfalto que el refinador empleó en la fabricación del cutback.

Como los cutbacks tipo RC-2 son probablemente los asfaltos líquidos utilizados con mayor frecuencia, ha sido posible obtener relaciones bastante completas entre su índice de curado y su comportamiento en obra. Los límites óptimos del índice de curado para un RC-2 que ha de usarse en mezclas son 25 y 45. Para riegos de sellado y otros -- tratamientos superficiales puede suprimirse el límite superior Hank y Brown han demostrado que es ventajoso emplear para estos fines un índice de curado inferior a 25, pero que son satisfactorios índices de curado hasta 45.

Normalmente se considera un índice de curado de 35 como el óptimo para un RC-2 de uso universal, y algunos refinadores de asfalto -- tienen esto en cuenta en la fabricación de su RC-2.

La amplia aplicación del índice de curado RC-2 ha dado lugar a varios procedimientos simplificados que no requieren otros ensayos que los realizados en el análisis de rutina. Clark ha desarrollado una modificación simplificada aplicable a los cutbacks de tipo MC. En el A & M College de Oklahoma, se ha desarrollado una modificación simplificada, llamada índice de evaporación (Veáse fig. 3.6).

Todas las modificaciones del índice de curado tienen una base común, que es una curva de evaporación en la que el tiempo de curado -- en horas se lleva en abscisas, representando en ordenadas el porcentaje del cutbacks evaporado. Los puntos de la curva se obtienen a partir de la ecuación siguiente:

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_f$$

donde T = tiempo de curado en horas;

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, = tiempo en horas que cada fracción específica necesita para -- evaporarse. Una fracción específica del cutback es la que -- destila entre dos temperaturas determinadas, o dentro de un intervalo de puntos de ebullición.

Por consiguiente:

$$T_x = (\Delta \%)_x K_x$$

donde:

$t_x$  = tiempo de evaporación de la fracción x.

$(\Delta \%)_x$  = porcentaje de cutback contenido en la fracción x.

$K_x$  = velocidad de evaporación de la fracción x, %/h.

RESISTENCIA A LA ACCION DEL AGUA.- La durabilidad de un pavimento asfáltico depende en gran medida de la capacidad del asfalto para adherirse a los agregados en presencia de agua. Bajo determinadas condiciones, se observan a veces en algunos tipos de mezclas pérdidas de adherencia entre los agregados y el asfalto y deterioro del pavimento poco después de su construcción. En estos casos, la separación del asfalto y los agregados se ha limitado a las mezclas en frío, en las que se usaron asfaltos líquidos con agregados hidrofílicos. En estas condiciones, puede mejorarse la capacidad de asfalto para adherirse a los agregados mediante el uso de aditivos comerciales de adhesividad.- En los aglomerantes asfálticos mezclados en caliente y colocados en frío, en los que se incluye agua en la mezcla, se emplean generalmente aditivos con el producto de imprimación, como medida preventiva contra el desplazamiento del asfalto por el agua.

En cambio, no se considera necesario el empleo de aditivos de adhesividad en la fabricación de concreto asfáltico mezclado y colocado en caliente, en el que los agregados se secan perfectamente antes de la mezcla.

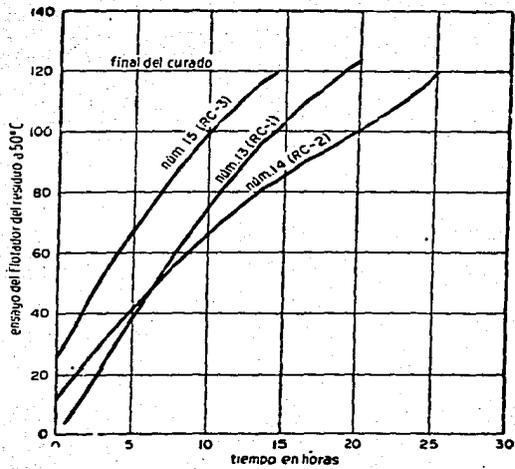


Fig. 3.6 Curvas de curado de los cutbacks tipo RC.

### III. 3.- FABRICACION DE LOS ASFALTOS.

Los materiales asfálticos de construcción son una parte del -- crudo del petróleo extraído de cientos de miles de pozos en todo el -- mundo. La cantidad de asfalto que puede contener un crudo de petróleo es muy variable y depende de la densidad del mismo. Cuanto más baja es la densidad del crudo, mayor es su contenido de asfalto; por ejemplo., un crudo de densidad API 15 produce, aproximada-- mente, un 60% de asfalto y un 40% de destilados de petróleo más lige-- ros, tales como gasolina, Kerosina, aceites lubricantes, etc., mien-- tras que un crudo de densidad API 35 puede producir solo un 10% de as-- falto y alrededor de un 90% de fracciones más ligeras.

El crudo del petróleo se transporta mediante tuberías, camio-- nes tanques o barcasas a la refinería, donde se separa en sus diversos componentes por un proceso continuo de destilación.

En la obtención del asfalto se utilizan dos procedimientos di-- ferentes: la destilación al vapor y vacío y el método de extracción -- por solventes.

Proceso de destilación.- El proceso de destilación por vapor-- al vacío separa el crudo en diversos productos. Los cambios ocurren - durante el refinado son de tipo físico; por ello es posible recombinar - varios de los productos obtenidos tomados al azar, con lo que resulta-- una masa homogénea.

El refinado del crudo de petróleo es una operación continua que-- se realiza bombeando primero el crudo a través de un horno tubular, -- donde se eleva su temperatura, e introduciéndole a continuación en una torre de destilación para el primer corte o separación. La torre de - destilación es un cilindro vertical que contiene una serie de platafor-- mas o bandejas superpuestas. Cuando se inyecta el crudo caliente cerca del centro de la torre, los vapores o fracciones más ligeras se reñ-- nen en las bandejas superiores y se llevan a un condensador. En los -

niveles inferiores de la torre de destilación se sitúan grados o cortes más pesados del crudo, hasta que solo queda en el fondo de la torre el residuo más pesado que contiene el asfalto.

La Fig. 3.1 es un esquema de la destilación del asfalto del petróleo. Durante el primer proceso de separación, la mayoría de las refineries separan el crudo en cinco productos que pueden clasificarse - como sigue:

1) Gasolina de destilación; 2) Keroseno destilado; 3) diesel--Oil; 4) aceite lubricante, y 5) material residual pesado. Cada una de estas fracciones pueden redestilarse de forma análoga para su ulterior separación, en productos de propiedades bien definidos.

El residuo pesado tiene usualmente características semejantes a las de un asfalto disuelto de curado rápido tipo SC-0, o bien cualquier tipo de asfalto deseable. Controlando la temperatura del residuo pesado en el horno tubular y la cantidad de vacío aplicado a la torre, pueden separarse las fracciones más ligeras o los constituyentes aceitosos que quedan en el residuo pesado de la primer destilación.

Si se aumenta la temperatura del crudo en el horno tubular y el vacío aplicado a la torre, se obtiene un producto final que es un asfalto de baja penetración; inversamente, la disminución de la temperatura del crudo y del vacío aplicado producen un material de penetración más alta; es decir más blando.

Método de extracción por solventes.- El método de extracción por solventes, en el refinado del asfalto está íntimamente asociado con la fabricación de aceites lubricantes de alta viscosidad que requieren un cuidadoso control de temperatura del crudo. Para extraer el asfalto de las fracciones de aceites lubricantes se emplea el propano; usualmente el producto final en este proceso es un asfalto de penetración bastante baja, rara vez superior a 50. Para transformar este asfalto de penetración relativamente baja en cualquiera de los otros ti-

pos más blandos, es necesario mezclarle una pequeña cantidad de material residual blando.

También es práctica corriente mezclar ciertos porcentajes de asfalto al vacío de alta penetración para obtener un material de penetración intermedia.

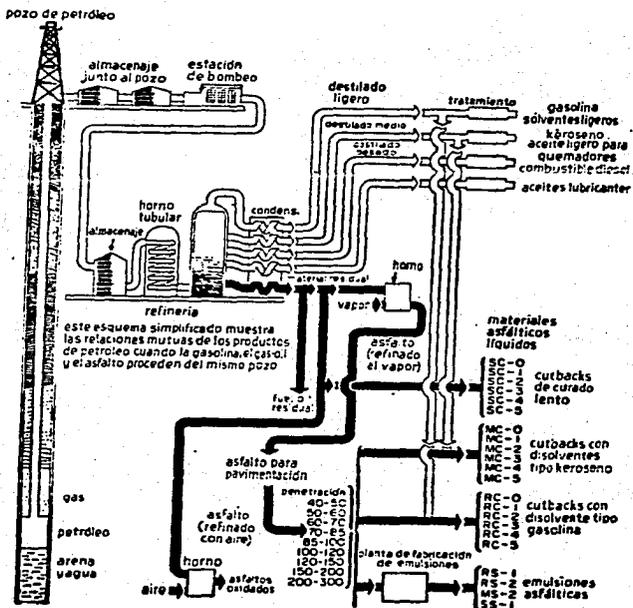


Fig. 3.1 Obtención de Asfaltos del Petróleo.

### III. 4.- TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE ASFALTO.

El almacenamiento de asfalto deberá bastar para las necesidades de un día, a menos que las circunstancias del caso hagan que esto sea innecesario. Tal sería el caso si la planta asfáltica estuviese situada cerca de una refinería, y que los camiones puedan entregar el asfalto a la temperatura de mezcla que se requiere.

Es preferible contar con dos tanques de almacenamiento chicos que uno grande. De existir sólo un tanque, no siempre se encontrará lleno y a la temperatura adecuada, por la mañana. La descarga de asfalto frío sobre un volumen reducido de asfalto para liga caliente podrá hacer necesario suspender el funcionamiento de la planta hasta tanto el tanque ha recuperado la temperatura requerida. Disponiendo de dos tanques chicos, existe mayor flexibilidad, ya que el calentador puede encargarse de calentar el asfalto de uno de los tanques durante el día.

Con los datos de la tabla 6.1 se podrán seleccionar fácilmente los tanques, tubos y calentadores que se necesiten, más la decisión tendrá que ajustarse a los planes y circunstancias de cada caso. Distancia, método de transporte, medio de calentamiento, tipo de asfalto, y combustible que se usen son factores que habrá que tomar en cuenta.

#### UBICACION Y DISTRIBUCION DE LA PLANTA

Hay varios factores importantes que determinan la selección adecuada del sitio para la planta. Cabe mencionar los siguientes: suficiente área para el trabajo; proximidad a las obras o al mercado de las mezclas; consideraciones relativas al tráfico; abundancia de agregados condiciones favorables del nivel de las aguas freáticas a fin de poder construir cimientos estables; y reglamentos municipales contra el ruido y la molestia del polvo. (veáse fig. 6.2)'



TABLA 6.1

Capacidad de la Planta	30	55	80	105	130	155	180	205	250	Tons.
Rendimiento en 10 Hrs. (est.)	250	500	750	1,000	1,250	1,500	1,750	2,000	2,450	Hora

Requisitos de Asfalto - Almacenamiento y Medida de Tubo

Asfalto Requerido Por Día, a 6%	15	30	45	60	75	90	105	120	147	Toneladas
	3,800	7,600	11,400	15,200	19,000	22,800	26,600	30,400	37,200	Galones
Tanques de Almacenamiento	1	2	2	2	2	3	3	3	4	Número
	4,000	4,000	6,000	8,000	10,000	8,000	10,000	10,000	10,000	Galones
Tubo para asfalto	2"	2"	2"	3"	3"	3"	3"	3"	3"	Díam.

Requisitos de Combustible

"Fuel Oil"										
Por día (est.)	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,900	Galones
Capacidad del Tanque para Combustible Recomendada	2,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	8,000	8,000	10,000	Galones
Medida del Tubo del Abastecimiento y Retorno del Combustible Recomendada	2"	2"	3"	3"	3"	3"	3"	3"	4"	Díam. *

Datos Respecto al Calentador de Aceite Caliente

Medida del Tubo del Aceite Caliente	2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"	Díam.
Rendimiento Térmico Millares de BTU/Hora	450	450	750	800	800	1,200	1,600	1,600	1,800	Millares de BTU
Galones de Combustible Por día (est.)	70	70	70	90	90	90	125	125	175	

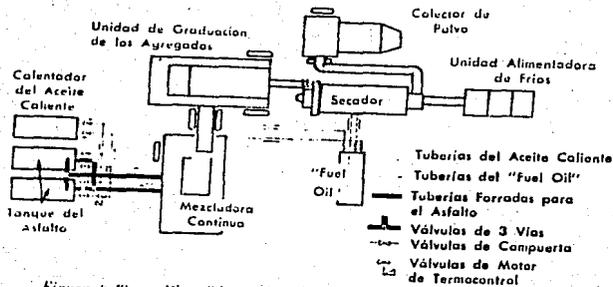


Figura 6.49 -- Plan Típico de una Planta Continua Barber-Greene y Distribución de las Tuberías.

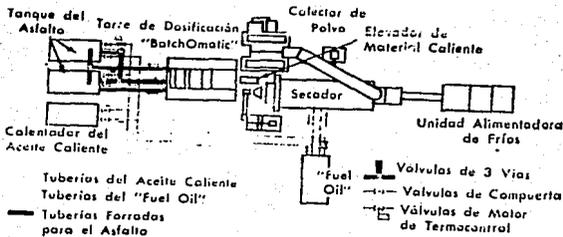


Fig. 6.2 Plan típico de una planta intermitente y distribución de las Tuberías.

Una vez seleccionado el sitio, la planta deberá orientarse de acuerdo con el tráfico de los camiones y también con la dirección de los vientos que prevalezcan. De ser posible, la plataforma del operador deberá situarse de manera que el viento arrastre el polvo lejos del operador y de los motores de la planta.

Los tanques y los calentadores deberán situarse de manera que resulte mínima la cantidad de tuberías que se empleen, y a la vez que se facilite el abastecimiento de asfalto y de combustible, sin estorbar el funcionamiento de la planta.

#### CALENTADORES DE ACEITE CALIENTE Y TANQUES

La selección de calentadores, tanques y tuberías tendrá que guiarse por las cantidades de asfalto que se usarán diariamente y la cantidad que deba almacenarse como reserva. A su vez, el sistema afecta directamente a la eficiencia del funcionamiento de la planta, en general. La capacidad de calentamiento dependerá de las pérdidas que se registren en la planta, en las tuberías y en los tanques, y del porcentaje de asfalto que se reciba con una temperatura inferior a la que se requiere para la mezcla.

La fórmula y las tablas que siguen ayudarán a determinar la energía térmica en B T U (Unidades Térmicas inglesas) que se requiera para una aplicación determinada. Sin embargo, convendrá también consultar con el fabricante del calentador antes de resolver en firme.

##### I.- Pérdidas de Calor en la Mezcladora.

50 Tons. de capacidad	100.000 BTU/hora.
100 Tons. de capacidad	180.000 BTU/hora.
150 Tons. de capacidad	265.000 BTU/hora.
200 Tons. de capacidad	350.000 BTU/hora.
300 Tons. de capacidad	500.000 BTU/hora.

##### II.- Pérdidas de Calor en las Tuberías.

Pérdida de calor por cada 100 pies de tubería de 2 pulgadas de diámetro, con forro de 3 pulgadas = 130.000 BTU/Hr.

Pérdida de calor por cada 100 pies de tubería de 3 pulgadas de diámetro, con forro de 4 pulgadas = 170.000 BTU/Hr.

##### III.- Pérdidas de calor en los Tanques de BTU/hora.

SIENDO LA TEMPERATURA DEL ASFALTO 300°F Y LA DEL AIRE DEL AMBIENTE 50°F

Medidas del Tanque	Capacidad del Tanque, en Galones	Tanque con Aislamiento	1 Pulgada de Aislamiento	2 Pulgadas de Aislamiento
8" x 14"	5,000	350,000 BTU	31,000 BTU	18,000 BTU
10" x 15"	8,000	500,000	43,000	25,000
10" x 17"	10,000	540,000	46,000	28,000
11" x 21"	15,000	720,000	62,000	37,000
12" x 24"	20,000	900,000	76,000	46,000
12" x 32"	25,000	1,150,000	96,000	58,000

\*Correcciones para las pérdidas de calor si la temperatura del tanque es distinta de 300°.

Temperatura del Asfalto	Multiplíquense los datos de la tabla III por
350° F	1.25
325° F	1.15
250° F	0.75
200° F	0.50

IV Calor que se Requiere para Elevar la temperatura del asfalto.

BTU/hora= Calor específico x Elevación de la Temperatura por Hora x Peso del asfalto.

EJEMPLO: Para una elevación del calor de 15°F por hora.

BTU/hora= 0,5 BTU/lbs.°F x 15°F/horas x 8 lbs./gal. x no. de galones.

Galones en el tanque	5,000	8,000	10,000	15,000	20,000	25,000
Miles de BTU/hora	300	480	600	900	1.200	1.500

V. Factor de seguridad.

Al calcular la pérdida total de calor en BTU, hay que tomar en cuenta factores desconocidos. Hay que dar margen para las pérdidas de calor atribuibles a los tanques del combustible, bombas de trasiego, -- válvulas y equipo relacionado, velocidad del viento, etc. Como resul--

ta casi imposible precisar cada uno de estos factores, se recomienda - agregar un 10 a un 15% adicional a las BTU requeridas, según la Tabla. Si la unidad va a estar situada en una zona de mucho viento, habrá que agregar un porcentaje mayor.

El calentador, los tanques de almacenamiento y el equipo de la planta deberán quedar colocados en la forma más compacta que sea posible, a fin de que resulte mínima la longitud de las tuberías de abastecimiento y descarga. El aceite caliente deberá circular por el sistema con una velocidad de unos 7 pies por segundo. Esto es necesario, - para lograr una transferencia adecuada del calor. Las tuberías de abastecimiento de gran longitud podrán requerir el empleo de una bomba adicional. Por lo general se recomienda que las tuberías de abastecimiento y de retorno del aceite caliente tengan por lo menos 2 pulgadas de diámetro. Las ramas laterales que van de esta línea a los tanques y a la planta mezcladora se reducen a 1 pulgada.

Dotando a los diversos componentes de la planta con válvulas - de compuerta en los puntos de entrada y de salida, se podrá almacenar aceite caliente durante el transporte de estas unidades. Se recomienda instalarlas en las tuberías de abastecimiento. Las válvulas de compuerta servirán además para equilibrar el flujo del aceite a través -- del sistema, ayudando a regular la presión a unas 30 lbs/pulgada<sup>2</sup>, aproximadamente. El aceite caliente tratará siempre de seguir la línea de menor resistencia. Por ello convendrá lograr uniformidad en la resistencia del sistema mediante el uso de válvulas. Se aconseja también instalar válvulas para purga del aire en los puntos altos, a fin de tratar de que las tuberías se mantengan llenas de aceite, por completo.

#### INSTALACION DE TUBERIAS

El corte y ajuste de las diversas tuberías que hay que instalar en una planta asfáltica de capacidad ordinaria puede resultar bas-

tante costoso. Las tuberías flexibles para unión, permiten conectar - con una pérdida mínima de tiempo las unidades componentes de la planta las tuberías de abastecimiento, las tuberías forradas para el asfalto, o sea el sistema completo. Uno o dos cambios de ubicación de la planta bastarán para compensar el costo adicional que signifique la adquisición de estas uniones flexibles.

Las tuberías que conecten una tubería de abastecimiento forrada con otra igual, también podrán ser de este tipo flexible, con un -- diámetro no menor de 3/4 de pulgada, y preferiblemente de 1 pulgada.

#### TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Un medio de transferir el calor generado por el calentador al asfalto es hacer circular aceite caliente por serpentines instalados- en el interior de los tanques de almacenamiento. La superficie de ta les serpentines deberá ser ia suficiente para llenar dichos requisi-- tos. Cálculos realizados por los técnicos, y comprobados en la prácti ca, indican que se necesitan aproximadamente 600 pies de tubería de - acero, standard, negra, de 2 pulgadas de diámetro, por cada 10.000 ga lones de asfalto, a fin de poder elevar la temperatura de éste 15°F - por hora. Este resultado disminuirá considerablemente tratándose de - tanques sin aislamientos instalados en ambientes de baja temperatura- o donde soplen vientos.

Por lo general, es cosa aceptada que el aislamiento de todo - el equipo de calefacción, tanques, tuberías de abastecimiento, etc.,- compensará su costo en una o dos temporadas de funcionamiento de la - planta. Se recomienda emplear una capa de aislamiento de 2 pulgadas - de espesor, por lo menos, utilizando fibras de vidrio, o un material- similar.

La colocación y configuración de los serpentines en el tanque son muy importantes. La circulación del asfalto, tan pronto como su - estado permite bombearlo, se usa a menudo como medio de acelerar la e

levación de la temperatura.

La selección de los accesorios del tanque es igualmente importante. La colocación correcta de válvulas para el aceite caliente es generalmente en la tubería de descarga del sistema de circulación. Es de importancia capital que el control a termóstato de estas válvulas quede instalado correctamente, a fin de asegurar el control del contenido en cualquier nivel. Es conveniente usar un termómetro indicador, de esfera grande, así como un indicador del nivel del asfalto que hay en el tanque. Las tuberías de abastecimiento y de retorno deberán quedar instaladas correctamente, así como también un eficaz sistema de purga del aire del tanque.

Son indispensables grifos en la salida del asfalto. Generalmente se proveen dos en la parte trasera del tanque para cuando hay que trasegar el contenido a otro tanque. También se necesita una abertura adecuada para la limpieza del tanque y un registro de inspección. Habrá que pensar también en dotar el tanque de patas o sostenes para su instalación permanente sobre un remolque. Consultando al fabricante del tanque acerca de todos los requisitos del caso, se obtendrán economías y se asegurará el buen funcionamiento del sistema.

El sistema completo del calentamiento, inclusive los tanques de almacenamiento del asfalto y del [fuel oil], podrá instalarse de manera que su funcionamiento sea totalmente automático y económico. Cuando se empleen tanques con aislamiento, convendrá instalar un control eléctrico que interrumpa el funcionamiento del calentador del aceite caliente cuando no haya necesidad de mantener la temperatura. Esto es ventajoso sobre todo por la noche, cuando la maquinaria trabaja sin que se le preste atención. La pérdida de calor en tanques sin aislamiento probablemente requerirá que se mantenga el calor continuamente. No obstante ello, se requerirán válvulas de control a termóstato.

Es conveniente proveer aislamiento en el tanque de almacena--

miento del [fuel oil] que quema el secador, especialmente si la planta está ubicada en una zona donde soplan fuertes vientos o la temperatura es baja. Ello es más urgente en lugares situados a considerable altura sobre el nivel del mar y en las regiones del país donde la temperatura baja considerablemente durante la noche, a principios de la primavera y del otoño.

La experiencia ha demostrado en forma convincente que la inversión adicional que se haga en equipo adecuado y el mayor cuidado que se tenga con él, serán factores muy importantes para el éxito económico de la planta.

#### DERRETIDORES DE ASFALTO

En la mayoría de los casos no existen fuentes cercanas de abastecimiento de cementos asfálticos donde poder adquirirlos a una temperatura que permite bombearlos. Lo común es adquirirlos en estado sólido, en tambores de acero, de 55 galones de capacidad. Para derretir y calentar el asfalto.

Tales unidades se componen de un compartimiento con capacidad para 2 a 6 tambores, montado sobre un sumidero. Los tambores son de construcción delgada, para poderse abrir con facilidad, descartándose después de haber sido vaciados. La tapa del tambor se corta generalmente a mano, aun cuando también existen herramientas especiales, que dejan al tambor en condiciones utilizables.

Se podrá usar una cargadora mecánica para elevar los tambores hasta la entrada del derretidor, siendo luego empujados automáticamente, a medida que se introducen nuevos tambores. Allí es calentado por otros serpentines hasta una temperatura predeterminada, siendo entonces extraído a través del pozo caliente eliminándose la necesidad de tener que hacer circular el asfalto para conservar la temperatura de aplicación deseada. El asfalto alcanza dicha temperatura durante su paso por el pozo.

Habrá que contar con los medios para calentar el asfalto, ya sea vapor a alta presión o aceite caliente en circulación. La adición de la operación para derretir el asfalto con frecuencia hará que aumente al doble las necesidades de calentamiento de una planta. Tal operación generalmente se realiza sin interrupción, las 24 horas del día, a fin de proveer la cantidad suficiente de asfalto derretido, caliente, para que la planta funcione turnos de 8 a 10 horas. Las plantas más grandes podrán requerir varias unidades derretidoras, a fin de cubrir sus necesidades (Veáse fig. 6.3).

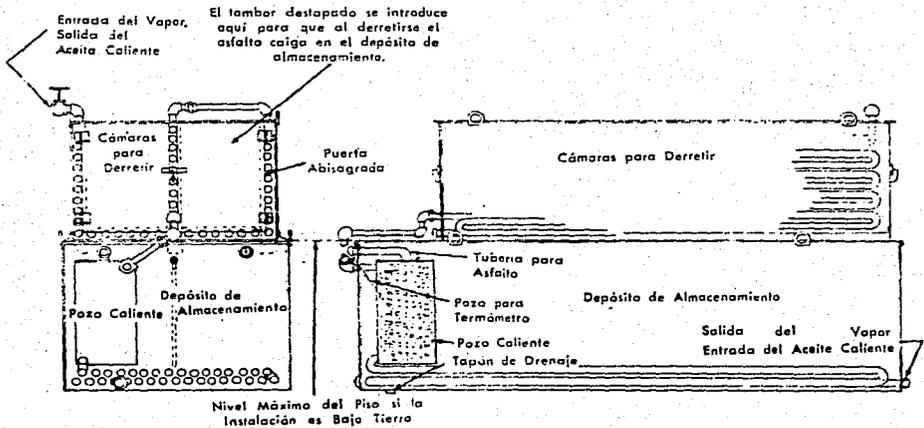


Fig. 6.3 Diagrama de una Instalación para derretir el Asfalto

#### IV. APLICACION A LOS ASFALTOS

##### IV. 1.- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

Descripción.- Los tratamientos asfálticos superficiales son a plicaciones de material ligante asfáltico y agregados sobre capas de base flexible recién construidas, de buena calidad y del espesor ade--  
cuado para soportar las cargas del tráfico. La función de estos tratamientos superficiales consiste en proteger la capa de base y proporcionarle una capa de desgaste sin polvo, sobre la que el tráfico pueda moverse cómoda y seguramente.

Los tratamientos asfálticos superficiales pueden ser capas simples o múltiples de material asfáltico y de agregados, formando una capa de desgaste cuyo espesor varía entre 12 mm y 62 mm.

Los tratamientos asfálticos superficiales simples constan de una aplicación de material asfáltico y de una aplicación de agregados, que producen una capa de desgaste de 12 mm a 18 mm de espesor, según usea el tamaño máximo efectivo de los agregados empleados.

Los tratamientos asfálticos superficiales multicapas constan de dos, tres o cuatro capas de material asfáltico y agregados, y no solo proporcionan capas de desgaste más gruesas que los tratamientos asfálticos superficiales simples, sino que producen en el pavimento un aumento de resistencia proporcional a su espesor.

La aplicación de material asfáltico y agregados en dos capas se llama tratamiento asfáltico superficial doble; la aplicación en tres capas, tratamiento asfáltico superficial triple, y así sucesivamente.

Los espesores medios aproximados de los tratamientos asfálticos superficiales dobles, triples y cuádruples son: 21 mm, 37 mm y 50mm, respectivamente. El tamaño máximo de los agregados empleados aumenta con el número de capas, utilizándose los agregados más gruesos en la primera capa; en las sucesivas, se emplean tamaños de agregados decreciente.

#### IV. 2.- RIEGO DE IMPREGNACION.

A este término en la construcción se le conoce también como riego de penetración. Su objetivo es el de proteger la base hidráulica de la lluvia y del tránsito normal de vehículos ligeros durante la construcción. Además sirve como zona de transición entre la base hidráulica y la capa asfáltica siguiente. De esta manera, el riego de liga tiene una superficie a fin para asegurar el enclaje de la capa siguiente:

Este tratamiento se ha hecho hasta la fecha con ligantes asfálticos del tipo fraguado medio, que contiene solventes poco volátiles, - en porcentajes del 40 al 45 por ciento con respecto al volumen total, - lo que les da la posibilidad de tener baja viscosidad. El riego de estos productos se hace por medio de una petrolizadora en cantidades de - 1.5 l/m<sup>2</sup> a fin de que el producto penetre en la superficie, ayudado por su baja viscosidad. Antes de efectuarlo, eventualmente se recomienda -- realizar un riego de agua en muy pequeña cantidad por metro cuadrado, - para romper la tensión superficial que presenta el polvo adherido o acumulado en la superficie y ayudar al mojado del producto asfáltico.

Aunque esto también se hace con emulsiones diluidas que contienen solventes, no se han obtenido resultados deseados, porque forzosamente se tienen que emplear emulsiones de rebajados asfálticos de grado medio.

En casos difíciles de penetración con emulsiones, se recurre a la ayuda de los métodos de construcción. Un recurso es el de escarificar superficialmente la base a trabajar y hacer un riego de emulsión -- con solventes que ayuden al mojado del material. También puede hacerse diluyendo la emulsión a 30 ó 40 por ciento de residuo final, lo que hará abatir la tensión superficial de los materiales finos para tratar. - Realizada esta operación, debe dejarse hasta el siguiente día para poder compactar. Este método de trabajo se practica en Arizona, Estados- Unidos, con buen éxito.

Se acostumbra proteger con un riego de arena como poreo, para - evitar que el tránsito deteriore al trabajo. En el peor de los casos, - puede producirse un pequeño calavereo, muy fácil de reparar.

Para este tratamiento no hay propiamente un diseño, sino la sim ple recomendación de que debe penetrar de 2 a 4 milímetros.

#### IV. 3.- RIEGO DE LIGA.

Es un tratamiento superficial, para unir capas; sea una base - hidráulica con unas capas asfálticas o una capa asfáltica con otra del mismo tipo. Las cantidades de emulsión que se emplean son las mínimas necesarias. Siempre de acuerdo con la superficie por tratar; mientras más pososas, mayor será la cantidad que se debe emplear.

Generalmente, el riego de liga se hace casi en el momento de - realizar el tendido de la capa asfáltica. Cuando hay superficies muy-secas y polvosas, es necesario barrer correctamente y dar un ligero -- riego de agua para romper la tensión superficial.

El ligante que se emplea en una emulsión de rompimiento rápido catiónica RR-C, con una proporción de 3 a 5 por ciento de solvente del mismo tipo empleado en los rebajados de fraguado rápido. Esto dará al riego de liga aún mayor tiempo con propiedades plásticas y adherentes, a pesar de que la emulsión haya roto.

En algunas ocasiones y muy especialmente cuando se trata de su perfcies calizas, este riego puede hacerse con una emulsión de rompimiento rápido aniómico (RR-A), puede substituirse por una catiónica di señada para que contenga ácido naftánico o algún tall-oil que mejore - su adherencia activa con los materiales alcalinos. Para este caso, el aplicador debe pedir al productor el diseño de la emulsión más adecuada, ya que no se trata de una emulsión comercial. Generalmente se tiene la idea que la modificación a la emulsión no es necesaria, se ha -- visto que esta práctica es adecuada y asegura los resultados.

Las cantidades de ligante que se recomiendan varían de 0.8 a - 1.0 Lt/m<sup>2</sup>, siempre en relación con el tipo de superficie sobre la cual se va aplicar.

Las superficies porosas, de granulometría abierta, etc. pueden

tener una mayor absorción que las muy cerradas y ricas en asfalto. No hay un verdadero diseño para realizar este tipo de tratamientos, sino recomendaciones basadas en la experiencia.

#### IV. 3.- RIEGO DE IMPRIMACION.

La capa de imprimación asfáltica aplicada a una base flexible-recién construida no solo proporciona un sellado temporal contra la infiltración del agua de superficie, sino que cumple su principal misión produciendo un buen enlace entre la capa de base y el tratamiento asfáltico superficial.

Para la imprimación de las capas de base flexibles se recomienda el empleo de cutbacks de curado medio de los tipos MC-0 o MC-1 el tipo MC-0 es el más adecuado para imprimación de bases flexibles muy densas, y la dosificación varía usualmente entre 0,9 y 1,57 litros por metro cuadrado; el tipo MC-1 es el que da mejor resultado con materiales de base de tipo más granular, y la dosificación puede variar desde un mínimo de 1,75 litros a un máximo de 3,50 litros por metro cuadrado. La dosificación adecuada de cada uno de estos materiales equivale al máximo que, en condiciones atmosféricas favorables puede ser absorbido completamente por el material de base en 24 horas, a partir del momento de aplicación. Al actuar la humedad como elemento portador de los materiales asfálticos, el material de imprimación tiene mayor penetración en la capa de base si la superficie de esta contiene una pequeña cantidad de humedad. Si la superficie de la base se ha secado hasta el extremo de tener polvo, deberá regarse ligeramente con agua antes de aplicar la capa de imprimación. La aplicación de la imprimación a una base flexible recién construida origina frecuentemente el esponjamiento de los 6 mm superiores de la base. Si ocurre esto, es una buena práctica de construcción compactar el material esponjado inmediatamente después del curado, apisonándolo con compactador de neumáticos. Así se obtiene un sellado mucho mejor contra la infiltración del agua superficial.

El material asfáltico de imprimación se aplica con un tipo aprobado de distribuidor a presión y con las dosificaciones indicadas. Los distribuidores a presión están equipados con una bomba de engrana-

jes accionada por motor, que suministra a la barra regadora el asfalto del tanque a presión uniforme y puede regularse para distribuir el número deseado de litros por minuto. El camión lleva acoplado un tacómetro, que indica su velocidad de avance en metros por minuto. De este modo, regulando el caudal de material asfáltico a través de la barra de riego y calculando la velocidad a que debe avanzar el distribuidor, puede aplicarse cualquier dosificación de material asfáltico dentro de tolerancias estrictas.

Para determinar exactamente el volumen total de material asfáltico aplicado por un distribuidor, el tanque estará calibrado de tal forma que pueda medirse su contenido en incrementos no superiores a 40 litros. La calibración de un tanque distribuidor se realiza con el tanque vacío y las válvulas y tubos de salida cerrados, para evitar fugas de líquidos. Se llena el tanque con agua de recipientes bien medidos y de 20 ó 30 litros 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 graban en incrementos de 20 ó 30 litros en una regla metálica, que puede emplearse para determinar adecuadamente el contenido del tanque a cualquier nivel.

Antes de comenzar una aplicación de asfalto distribuido con camión regador, se mide con la regla el tanque para determinar su contenido, operación que se repite después de haber terminado la aplicación midiendo el material que queda en el tanque y calculando el número de litros aplicados en caliente.

Se apuntan en una ficha permanente este número de litros y la temperatura a que fueron aplicados, que se usan como datos de costo y para convertir litros en caliente a litros en frío. La mayor parte del asfalto distribuido con camión se compra y paga por litros en frío esto es, por volumen neto en litros medido a 25°C. El volumen de los materiales asfálticos calentados a temperaturas superiores a 25°C aumenta y, por consiguiente, se precisa conocer tanto la temperatura de

aplicación como el volumen aplicado a dicha temperatura para hacer la conversión a 25°C. Para esta conversión se emplean las tablas de corrección temperatura-volumen para materiales asfálticos.

**Materiales asfálticos para tratamientos superficiales.**— La selección del grado de material asfáltico empleado y su dosificación influyen en los resultados finales de un tratamiento asfáltico superficial por lo que merecen cuidadosa consideración.

Los principales factores a tener en cuenta son la estación del año en que se va a realizar el trabajo y el tipo de pavimento; si se trata de un riego en una sola capa o en varias, y el tipo de los agregados. El más importante de estos factores es la estación del año o los factores atmosféricos dominantes durante la realización del trabajo. El uso del betún asfáltico y de los tipos más viscosos de asfaltos líquidos está limitado a la construcción en tiempo cálido. Los materiales asfálticos más adecuados para su uso durante los meses cálidos son los betunes asfálticos de penetración 150-200 y 200-300 y los cutbacks de los tipos RC-4, RC-5 y MC-5.

Es preferible siempre aplicar los tratamientos asfálticos superficiales durante los meses estivales, pero cuando es necesario hacerlo en las estaciones frías del año, debe emplearse un tipo más ligero de asfalto fluidificado o emulsión asfáltica. Es necesario recordar que en los materiales asfálticos extendido con distribuidor a presión, en tratamientos superficiales y otras aplicaciones similares, la curva de viscosidad del material asfáltico deberá ser paralela a la correspondiente curva de temperatura atmosférica. Cuando descienda la temperatura general atmosférica, disminuirá también la viscosidad del material asfáltico. Los cutbacks de curado rápido RC-2 y RC-3 son los más adecuados para construcción en tiempo frío, porque permanecen adherentes o blandos hasta que se extienden los agregados. La temporada de empleo de la emulsión asfáltica de los tipos RS-1 y RS-2 es más amplia y este material se comporta tan satisfactoriamente en tiempo cálido

do como en tiempo frío.

Ambos tipos de emulsión deben utilizarse a temperaturas superiores a 4°C, porque ninguno de ellos resiste a la congelación. La emulsión asfáltica proporciona mejores resultados que los otros materiales asfálticos cuando se emplea con agregados húmedos.

Tratamiento asfáltico superficial monocapa.- Después que la imprimación haya curado durante 24 horas por lo menos, se aplica el material asfáltico (según la dosificación prescrita) directamente sobre la capa de base que ha recibido la imprimación, del modo indicado para la aplicación de esta última capa.

El solape de las aplicaciones de material asfáltico en la unión de dos aplicaciones produce un exceso de asfalto que fluye a la superficie y origina una situación de inestabilidad y un aspecto desagradable del riego terminado. Las lagunas o aplicaciones escasas en las uniones dan lugar a la retención de poca o ninguna gravilla, y el retoque es necesario inmediatamente.

Para eliminar estos defectos al final de una aplicación y comienzo de otra; las aplicaciones de material asfáltico con distribuidor debe empezar y terminar todas sobre una o más tiras de papel de construcción o de envolver, colocado a través del camino antes de iniciar el trabajo. Cuando el material asfáltico recién extendido al final de una aplicación ha sido cubierto con agregados en su anchura total y en una distancia de 2,5 m a 3 m del final, el borde anterior del papel se coloca de tal forma que coincida exactamente con el borde del material asfáltico aplicado en último lugar. Usualmente, al comienzo de una aplicación son necesarias tiras suplementarias de papel; para mantener este en su sitio se coloca sobre él una pequeña cantidad de agregados. A continuación, el distribuidor inicia su movimiento hacia adelante, suficiente distancia detrás del borde anterior de las tiras de papel, para alcanzar la velocidad predeterminada en el momento en -

que la barra regadora alcanza el papel, de manera que el paso de material asfáltico a través de la barra distribuidora se abre cuando esta pasa sobre el papel, y el primer material se riega sobre este antes de alcanzar su borde anterior. Después se retira el papel y se destruye.- Así se obtiene un borde bien definido de la capa de ligante asfáltico-aplicado a la base la imprimación.

Como las aplicaciones de material asfáltico se terminan sobre una o más tiras de papel, situadas a través del camino o de la zona en la que se está aplicando el material, es necesario que el papel se coloque antes del comienzo de la operación. La posición de este para -- terminar una aplicación se determina calculando la distancia que debería cubrirse por la carga de material asfáltico que lleva el camión -- distribuidor y situando el papel a suficiente distancia por delante de este punto teórico para que al alcanzarlo queden en el tanque de 200 a 300 litros de material. El paso del asfalto se corta cuando la barra -- llega al papel, al mismo tiempo que se detiene el avance del camión, -- de forma que todo el material que gotee de la barra caiga sobre aquel. Después de quitar el papel queda otro borde bien definido de material-asfáltico, que permite obtener un buen enlace con la aplicación si---- guiente. No debe intentarse aplicar toda la carga del distribuidor, -- porque cuando el material baja demasiado en el tanque, la bomba empieza a aspirar material mezclado con aire y el caudal deja de ser unifor me.

Para asegurar una alineación adecuada de la aplicación del material asfáltico se atiranta una cuerda a lo largo del paseo o cerca -- del borde de la aplicación, de modo que sirva de guía al conductor del distribuidor.

Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico se extienden los agregados por medio de un distribuidor mecánico y con la dosificación especificada. La anchura usual de la aplicación de as falto en una nueva construcción es de 6 m a 7,20 m; sin embargo los agregados se aplican en dos pasadas del equipo distribuidor de anchura-

igual a la mitad. Los agregados deben extenderse tan pronto como sea posible después de la aplicación del material asfáltico, con el fin de aprovechar la fluidez del asfalto y obtener la adherencia de la máxima cantidad de agregados. En determinadas condiciones puede ser necesario reducir la longitud de la aplicación del ligante para que pueda ser cubierto con los agregados en un tiempo máximo especificado.

Tan pronto como se han extendido los agregados sobre el material asfáltico recién aplicado, debe apisonarse toda la superficie con una sola pasada de un rodillo de llanta metálica; seguidamente puede barrerse la superficie con una barredora arrastrada a pasar una hoja ligera para obtener una distribución más uniforme de los agregados. A continuación debe procederse al apisonado con rodillo de llanta rígida o de neumáticos, o con una combinación de ambos tipos, hasta conseguir una perfecta adherencia de los agregados al material asfáltico.

**Agregados para tratamientos superficiales.-** Los agregados están compuestos de partículas inalterables y duraderas de grava, grava triturada, piedra triturada o escorias trituradas. Estos materiales no deben contener más del 5% de pizarra, esquito u otras partículas blandas y se hallaran libres de materias orgánicas, arcilla, limo o revestimientos de los mismos materiales.

El coeficiente de desgaste de estos agregados, según el ensayo los Angeles para agregados gruesos ( ASSHO T-96), no debe ser mayor a 35 salvo en el caso de las escorias, en las que puede admitirse hasta el 40%.

A causa de las diferencias existentes en los pesos específicos de los agregados, sus medidas se expresaran en volumen y no en peso, -- ver tabla 4.1.

Dosificación de ligante, agregados y granulometría de estos en-  
tratamientos asfálticos superficiales simples.

Litros de asfalto por metro cuadrado		Litros de Gravilla por metro cuadrado	
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1,57	2,48	10	15

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS

Aplicación	Porcentaje de material que pasa por el tamiz				
	3/4 pulg	1/2 pulg	3/8 pulg	Núm. 4	Núm. 10
Dosificación de asfalto menor que 2 litros/m <sup>2</sup> .....	100	90-100	30-60	0-10	0-3
Dosificación de asfalto com- prendida entre 2 y 2,5 litros/m <sup>2</sup>	100	45-65	10-30	0-10	0-3

Tabla 4.1

#### IV. 4.- TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS SUPERFICIALES MÚLTIPLES.

Se compone de capas sucesivas de ligante asfáltico y agregados aplicados de la misma forma descrita para los tratamientos asfálticos-superficiales monocapa, excepto comúnmente se reduce la primera aplicación de ligante asfáltico, mientras que el tamaño máximo de los agregados de la primera capa aumenta de acuerdo con el número de capas a aplicar.

En determinadas regiones de los Estados Unidos se registran variaciones en las dosificaciones de materiales asfálticos y en las dosificaciones y tamaños de los agregados empleados en la construcción de tratamientos asfálticos superficiales multicapa. Las dosificaciones máximas y mínimas de materiales asfálticos y agregados y las granulometrías de los agregados indicadas en las tablas 4.2 a 4.4, representan la media, aproximadamente, de los valores aplicados en general.

Si los agregados de que se dispone son gruesos respecto a la especificación, será necesario emplear las cantidades máximas de material asfáltico y de agregados; si, por el contrario, son finos, estará más indicado el empleo de las dosificaciones mínimas de ambos materiales. Antes de establecer las más adecuadas deben analizarse los agregados cuidadosamente para determinar su tamaño máximo efectivo.

**Manejo del asfalto.-** Los materiales asfálticos se reciben usualmente de la refinería en vagones-cisterna o en camiones-cisterna; sin embargo, a veces se expenden pequeñas cantidades en bidones. Existen vagones-cisterna de ferrocarril aislados y sin aislar, con capacidades de 30,000 y 40,000 litros y un número mucho más limitado de vagones-cisterna de 20,000 litros. Estos vagones están provistos de serpentines de vapor, de forma que a su llegada puede calentarse su contenido mediante vapor o aceite caliente impulsado a través de dichos serpentines. Para elevar la temperatura del asfalto se emplean varios tipos de calentadores; sin embargo los calentadores de vapor o aceite caliente se utilizan principalmente para calentar el contenido frío de un vehículo hasta que el asfalto haya alcanzado

Tabla 4.2 Dosificación de asfalto y agregados y granulometría de estos para tratamientos asfálticos superficiales dobles.

Aplicación	Litros de asfalto por metro cuadrado		Litros de grava por metro cuadrado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Primera capa . . .	1,12	1,57	12	18
Segunda capa . . .	1,57	2,00	6	9

Granulometría de los agregados

Aplicación	Porcentaje de material que pasa por el tamiz de				
	1 pulg	¾ pulg	½ pulg	Núm. 4	Núm. 10
Primera capa . . .	100	55-85	0-15	0-2	0-3
Segunda capa . . .	...	100	90-100	10-30	0-3

Tabla 4.3 Dosificación de Asfalto y Agregados y granulometría de estos para tratamientos asfálticos superficiales triples.

Aplicación	Litros de asfalto por metro cuadrado		Litros de grava por metro cuadrado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Primera capa . . .	0,9	1,35	15	18
Segunda capa . . .	1,57	2,25	7,5	9
Tercera capa . . .	1,12	1,57	5	6

Granulometría de los Agregados

Aplicación	Porcentaje de material que pasa por el tamiz de					
	1 ¼ pulg	1 pulg	¾ pulg	½ pulg	Núm. 4	Núm. 10
Primera capa . .	100	85-100	25-45	0-20	0-5	
Segunda capa . .	...	.....	100	65-90	0-10	0-3
Tercera capa . .	...	.....	.....	100	10-35	0-3

Tamaño del tamiz	Porcentaje total que pasa, en peso	
	A g r e g a d o s	
	gruesos	finos
2 1/2 pulg. . . . .	100	
2 pulg. . . . .	90-100	
1 1/2 pulg. . . . .	35-70	
1 pulg. . . . .	0-15	100
3/4 pulg. . . . .	.....	90-100
1/2 pulg. . . . .	0-5	
3/8 pulg. . . . .	.....	20-55
Núm. 4 . . . . .	.....	0-10
Núm. 10 . . . . .	.....	0-3

Tabla 4.4

Tamaño del tamiz	Porcentaje total que pasa, en peso		
	A g r e g a d o s		
	gruesos	intermedios	finos
2 1/2 pulg. . . . .	100		
2 pulg. . . . .	85-100		
1 1/2 pulg. . . . .	45-75		
1 pulg. . . . .	0-25	100	
3/4 pulg. . . . .	.....	85-100	100
1/2 pulg. . . . .	0-5	.....	90-100
3/8 pulg. . . . .	.....	20-55	40-75
Núm. 4 . . . . .	.....	0-10	5-25
Núm. 10 . . . . .	.....	0-3	0-3

Tabla 4.5

do su punto de vertido, en cuyo momento puede elevarse más rápidamente la temperatura por medio de un calentador de circulación. Ningún material debe calentarse a más de 10°C por encima de su temperatura de aplicación.

Los calentadores de circulación empleados indebidamente para calentar un material asfáltico frío pueden perjudicar el material sobrecalentándolo y coquificándolo. No es aconsejable usar este tipo de calentadores hasta que toda la masa del producto está lo suficientemente fluida para ser impulsada por la bomba del calentador. Los vagones cisterna sirven como tanques de almacenaje mientras se emplea su contenido, eliminando con ello la necesidad de disponer de tanques de almacenaje en obra.

El transporte de los materiales asfálticos en camión cisterna se ha hecho muy popular en la industria de la construcción para entregas hasta distancias de 400 Km del punto de carga, porque este método permite al usuario recibir el material en instalaciones de almacenaje situadas en obra. La entrega del material en obra elimina frecuentemente largos transportes desde la estación de ferrocarril más próxima. La entrega directa en camión desde la refinería a la obra hace también posible recibir el material a temperatura adecuada para manejarlo con calentadores de circulación, eliminando con ello la necesidad de calentadores de vapor o de aceite caliente.

Manejo de los agregados.- Los agregados producidos en obra o comprados a productores regulares deben manejarse de tal manera que se evite su segregación y contaminación.

El almacenaje de los agregados en montones cónicos conduce a la segregación y debe evitarse. Si el monton de agregados es de forma cónica o un caballón alargado de sección V invertida, los agregados deberán colocarse en capas de tal forma que se reduzca al mínimo la cantidad que se desliza por las laderas.

Se nivelarán previamente las zonas donde se van a almacenar -- los agregados eliminando todos los materiales extraños antes de colo-- car la primera capa de agregados; esto permitirá la máxima recupera-- ción de agregados sin compactar.

Una práctica económica en proyectos de carretera de longitud - considerable consiste en almacenar la cantidad necesaria de agregados- en zonas preparadas a lo largo de la carretera, e intervalos de unos - 3 Km, de forma que cuando se comienza la construcción del tratamiento- superficial o riego de sellado, el transporte máximo desde el acopio - al punto de empleo no exceda de kilómetro y medio. El empleo de carga- dores mecánicos transportables para cargar los agregados sobre camión, reduce al mínimo el número de camiones necesarios.

#### RIEGOS DE SELLADO, DE COLOR Y ANTIDESLIZANTES

Los métodos de construcción aplicados a riegos de sellado, de- color y antideslizantes son idénticos; sin embargo, puede haber consi- derables diferencias en las dosificaciones de material asfáltico y a-- gregados en relación con los fines de estos riegos.

Un riego de sellado es una aplicación de material asfáltico y- agregados sobre una superficie existente para sellarla contra la infil- tración de la humedad superficial. Los riegos de sellado se aplican - usualmente a superficies asfálticas existentes, que se han agrietado u oxidado a lo largo de cierto número de años y han empezado a desinte-- grarse.

Un riego de color es una aplicación de material asfáltico y a- gregados de color determinado sobre superficies viejas o nuevas, con - el fin de obtener un efecto concreto de color. El uso más común del - riego de color se hace sobre las pistas de concreto asfáltico en las - que sea deseablê conseguir una superficie de color claro.

Los riegos antideslizantes son aplicaciones relativamente li

geras de material asfáltico y agregados a la superficie donde se considera necesario obtener un aumento en la resistencia al deslizamiento.

Son mucho los factores que intervienen en la determinación del tipo de material asfáltico, dosificación y tamaño máximo y cantidad de agregados que han de utilizarse en estos riegos; todos ellos merecen seria consideración por la persona responsable del trabajo.

Los principales factores a considerar son:

- 1°. Estado de la superficie existente y propósito del sellado.
- 2°. Estación del año en que ha de realizarse el trabajo.
- 3°. Carácter y tamaño máximo efectivo de los agregados a emplear como material de cubrición.
- 4°. Volumen y peso del tráfico.

Los requisitos a exigir del asfalto varían de acuerdo con las diferentes características de las superficies existentes. Si la que ha de sellarse es de textura abierta y está oxidada, una parte del asfalto aplicado penetrará en la superficie existente, actuando en parte como imprimación, por lo que será necesaria una dosificación ligeramente mayor que en el caso de superficies menos absorbentes de acabado liso.

La cantidad de asfalto precisa para riegos antideslizantes es en general mucho menor que la necesaria para los riegos de sellado usuales. La razón de ello radica en que de ordinario un exceso de asfalto aplicado originalmente ha exudado a la superficie, y al efectuar la nueva aplicación, este asfalto se reblandece, produciendo el efecto de una aplicación ligeramente más abundante.

Las dosificaciones de material asfáltico pueden alcanzar volúmenes hasta de 1.8 litros por metro cuadrado para riegos de sellado sobre firmes de textura abierta y superficies absorbentes cuando se cubren con agregados de un tamaño máximo de 18 mm; por otra parte no ex-

ceden a 0.9 litros por metro cuadrado si se cubren con agregados de un tamaño máximo de 9 mm.

Los riegos de color y antideslizantes requieren usualmente la aplicación de 0.57 a 0.95 litros por metro cuadrado si se desea obtener resultados satisfactorios.

#### SELECCION DEL TIPO Y GRADO DE MATERIAL ASFALTICO

Las condiciones climatológicas dominantes en la zona en que se ha de realizar el trabajo y la estación del año ejercen considerable influencia en la selección del tipo y grado de material asfáltico.

Se obtienen resultados óptimos si se realizan los trabajos de este tipo en la primera parte de la estación cálida, de forma que la superficie recién sellada sufra los efectos del tráfico considerable registrado durante los meses de verano. Generalmente se emplean tipos blandos de betún asfáltico cuando los trabajos de sellado pueden efectuarse durante la primera parte del verano; sin embargo, si el trabajo ha de realizarse durante la estación más fría del año, o si ha de aplicarse el sellado a una superficie existente que está desintegrándose y en la que se ha oxidado el material asfáltico original, se obtiene resultados más satisfactorios empleando un cutback.

La emulsión asfáltica de alta viscosidad y rotura rápida da resultados satisfactorios en todas las épocas del año, excepto cuando la temperatura se aproxima a la de congelación. Las emulsiones de rotura rápida no la resisten; por consiguiente, deben manejarse y colocarse en obra a temperaturas superiores a 5°C.

#### NATURALEZA Y TAMAÑO DE LOS AGREGADOS

La naturaleza de los agregados esto es, su textura superficial absorbente o no absorbente y su tamaño máximo efectivo, tiene gran importancia en la determinación de las dosificaciones de asfaltos y agre

gados. El espesor de la capa terminada depende del tamaño máximo efectivo de los agregados por consiguiente los agregados más gruesos exigen aplicaciones más abundantes de material asfáltico. Hay que hacer correcciones en las dosificaciones de material asfáltico, Para tener en cuenta la absorción de este material asfáltico por la superficie del pavimento y también por la superficie de los agregados cuando estos son muy absorbentes.

#### DOSIFICACIONES DE MATERIAL ASFALTICO Y AGREGADOS

La relación entre las dosificaciones de ligante y agregados en riegos de sellado, prescindiendo de la absorción del ligante por la superficie del pavimento y por los agregados, debe ser de 45 litros de material asfáltico y 4,5 Kg de agregados, por metro cuadrado. Suponiendo que los agregados de peso específico medio tienen un tamaño máximo efectivo de 12 mm, serán precisos 15 Kg, aproximadamente, para cubrir un metro cuadrado con espesor sin compactar de 12 mm. En este caso, el asfalto necesario sería de 1,25 litros por metro cuadrado.

La cantidad de material asfáltico absorbido por la superficie del pavimento puede variar de 0,09 a 0,18 litros por metro cuadrado; cuando sea necesario deberán añadirse a las dosificaciones usuales cantidades comprendidas en este margen. La cantidad de ligante absorbida por los agregados es variable y depende de la cantidad aplicada por metro cuadrado; usualmente varía entre 0,045 y 0,135 litros por metro cuadrado.

La relación entre las dosificaciones de asfalto y agregados para riegos antideslizantes es menor que para los riegos de sellado; se aplica menor cantidad de asfalto y el tamaño máximo efectivo de los agregados excede rara vez de 9 mm. La necesidad de un riego antideslizante se debe usualmente al exceso de material asfáltico que exude en la superficie del camino, por lo que el grado de exudación determina la dosificación del nuevo material asfáltico. En condiciones normales

la relación entre las dosificaciones de material asfáltico y agregados para un riego antideslizante será 0.67 litros de material asfáltico y 10,8 Kg de agregados por metro cuadrado.

#### AGREGADOS IMPREGNADOS PREVIAMENTE

Los riegos de sellado construidos en zonas residenciales e industriales producen a veces molestias por el polvo. Para evitarlo pueden impregnarse de antemano los agregados con 1% aproximadamente, de cutback MC-0, colocándolos después del modo usual. La impregnación previa no solo elimina durante los primeros días el aspecto corrientemente polvoriento, sino que da a los agregados una elevada afinidad por el material asfáltico, reduciendo así el volumen de piedras arrancadas por el tráfico y el número de ellas que saltan bajo las ruedas con peligro de accidentes.

Los agregados para riegos de sellado deben cumplir las condiciones generales de los empleados en tratamientos asfálticos superficiales, pero las tolerancias en cuanto a granulometría son más estrictas.

En la construcción de riegos de sellado es necesario recordar que el tamaño máximo efectivo de los agregados impone las dosificaciones de ambos materiales. Debe emplearse la cantidad de material asfáltico estrictamente necesaria para que, en su mayoría, los elementos de los agregados queden embebidos en el asfalto en el 60% de su volumen, aproximadamente. Los agregados no quedarán sumergidos en asfalto, y el tráfico deberá rodar sobre agregado y no sobre asfalto.

Slurry-seal con emulsión asfáltica.- El slurry-seal es un medio económico de sellar una superficie asfáltica existente, agrietada o envejecida. Produce además un acabado suave de la superficie, añadiéndole muchos años de vida. El slurry-seal mezclado y aplicado en debidas condiciones, rellena y sella las grietas y nivela en cierto --

grado pequeñas irregularidades superficiales.

Se aplica una pasta compuesta de arena fina o residuos del cribado de piedra caliza, o una combinación de ambos materiales, emulsión-asfáltica y agua.

La emulsión asfáltica empleada para este tipo de trabajo debe corresponder al tipo SS-1 de la tabla.

Los agregados utilizados para esta mezcla pueden ser una arena bien graduada; sin embargo, se han obtenido mejores resultados empleando una combinación de 50% de arena y 50% de residuos de cribado de piedra. Los límites recomendados para la granulometría de los agregados son:

Tamiz	Porcentaje que pasa
Núm. 8 .....	100
Núm. 10 .....	90-100
Núm. 20 .....	60- 85
Núm. 40 .....	40- 60
Núm. 80 .....	15- 30
Núm. 200 .....	3- 10

Una mezcla típica para agregados de tamaño medio sería 78% en peso de agregados, 8% de emulsión asfáltica tipo SS-1 y 14% de agua. -- Las mezclas de este tipo, en las que los agregados se componen exclusivamente de arena, pueden hacer necesario efectuar una reducción del 1% en la cantidad de emulsión asfáltica y una disminución de 1% al 2% en el contenido de agua. En las mezclas fabricadas con agregados gruesos dentro de los límites de las especificaciones pueden reducirse simultáneamente las cantidades de emulsión asfáltica y agua. Inversamente, en una mezcla fabricada con agregados muy finos o con cierta plasticidad, deben incrementarse los porcentajes de emulsión asfáltica y agua. En cada caso son necesarios estudios preliminares de laboratorio para determinar las cantidades de emulsión y agua necesarias para producir una pasta de consistencia satisfactoria. Antes de empezar los trabajos definitivos es aconsejable la preparación de pequeñas secciones de prueba para determi--

nar los resultados que se obtendrán con los métodos de construcción em  
pleados.

En operaciones a gran escala, el mezclado de la pasta se hace muy bien en concretas montadas sobre camión; los materiales pueden almacenarse cerca de la obra combinados en las proporciones adecuadas, y mezclarse durante el transporte al punto de aplicación.

La pasta se prepara vertiendo primeramente en el tambor giratorio de la concretas la cantidad necesaria de agua, añadiendo a continuación la emulsión asfáltica y, por último, los agregados que se agregan de manera lenta y uniforme; con este procedimiento se evita la formación de grumos. Los materiales deben mezclarse al menos durante 5 min, pero la operación de mezclado puede prolongarse por un período mucho más largo; sin embargo, si el tiempo de mezclado ha de ser de duración apreciable, es necesario tener en cuenta la evaporación, añadiendo una cantidad adicional de agua. No debe permitirse que la mezcla se haga demasiado viscosa antes de colocarla.

La colocación de slurry-seal en obra empleando mezcladoras móviles y extendedores arrastrados es una operación muy sencilla; el extendedor se engancha al camión en el que está montada la mezcladora, y la mezcla terminada se descarga sobre aquel, cuyas dimensiones usuales son 3 m de anchura y 2,5 m de longitud, y que está equipado una maestra regulable de goma, situado 60 cm por delante del extremo final. La maestra debe poderse adaptar a la sección transversal del camino en cuatro puntos, dejando un espacio libre variable entre 4,5 mm y 12 mm.

No debe permitirse el paso del tráfico sobre la capa de slurry seal hasta que esta fraguado. El tiempo necesario para el fraguado depende de las condiciones atmosféricas reinantes y del espesor de la capa. En un día seco y cálido puede permitirse el paso del tráfico sobre una capa delgada de slurry-seal (espesor, 3 mm o menos) dos horas después de su extensión; las capas más gruesas necesitan hasta tres horas para fraguar suficientemente y permitir que circule sobre ellas tráfico rápido.

En obras pequeñas, es suficiente el uso de una mezcladora de concreto ordinaria. Para extender el slurry-seal en zonas reducidas puede emplearse barrederas manejables a mano a 1 m a 1.20 de longitud.

#### SELLADOS CON EMULSION DILUIDA SIN MATERIAL DE CUBRICION

Aunque el slurry-seal resulta económico en comparación con el tipo convencional de riego de sellado construido con aplicación de material asfáltico y agregados es aún más económico el sellado con emulsión diluida sin necesidad de material de cubrición.

Este tipo de sellado consiste en la aplicación, a una superficie existente, de una pequeña cantidad de emulsión diluida para sellar grietas de pequeña importancia o detener la desintegración de la superficie, que puede estar empezando a mostrar desperfectos a causa de su escaso contenido de asfalto.

La emulsión asfáltica usada para este fin deberá ser un material de tipo estable que puede diluirse en agua sin romper. Se obtiene buenos resultados con emulsión del tipo SS-1.

También cabe emplear para este tipo de sellado emulsión de tipo MS-2, que sea suficientemente estable para admitir la dilución sin rotura. La viscosidad de la emulsión diluida es tan baja que no es necesario el empleo de un distribuidor a presión para su aplicación; no hay inconveniente en aplicar el material con un camión de los normalmente para regar con agua.

Se ha comprobado que una o dos aplicaciones de solución diluida, compuesta de un 5% a un 10% de emulsión asfáltica tipo SS-1 y del 90% al 95% de agua, da buenos resultados en el sellado de superficies análogas a la descrita. No es necesario un mezclado especial ni agitación de la emulsión asfáltica y el agua, siempre que al combinar ambos materiales se llene primero el tanque con agua aproximadamente hasta la mitad, añadiendo a continuación la cantidad necesaria de

emulsión; al añadir el resto de agua, se obtiene un mezclado satisfactorio.

La cantidad de solución diluida que debe aplicarse varía entre 0,9 y 1,35 litros por metro cuadrado.

En los sellados de este tipo no hace falta material de cobertura; la acción del tráfico sobre el material recién extendido no perjudica el sellado, aunque es conveniente desviar la circulación de las zonas recién terminadas para evitar las salpicaduras de emulsión sobre los vehículos.

En superficies que hayan sufrido agrietamiento o desintegración más intensa, puede ser necesario un segundo riego; en tales casos es aconsejable el empleo de una solución de emulsión al 10%.

#### TRATAMIENTOS POR PENETRACION

El tipo más antiguo de pavimento para carreteras, utilizando aún en nuestros tiempos, se denomina macadam, nombre tomado de John L. McAdam, ingeniero escocés. Los criterios de proyecto que damos a continuación, empleados por McAdam a comienzos del siglo XIX, conservan básicamente hoy día la validez que tuvieron en su tiempo.

1°. Elevar la base de tierras sobre el terreno circundante para obtener un buen drenaje.

2°. Dar pendiente a la caja y desaguar el agua superficial en las cunetas.

3°. Emplear piedra partida limpia para la capa de superficie, sin añadir arcilla o material orgánico que pueda retener el agua o ser afectado por la acción del hielo.

4°. Proyectar el camino de acuerdo con las condiciones del tráfico.

5°. Drenar y compactar el suelo que forma la cimentación para

que pueda soportar las cargas.

6°. Compactar las diversas capas de piedra de tamaño homogéneo hasta obtener una superficie firme y uniforme.

La moderna construcción macadam conserva todas estas características, además del empleo de un ligante asfáltico para unir las superficies de los elementos de piedra partida y formar una cubierta impermeable sobre la subbase preparada. Los pavimentos de este tipo pueden construirse rápidamente y son fuertes, duraderos y económicos en su construcción; sus gastos de conservación son casi tan bajos como los correspondientes a cualquier pavimento de alta calidad.

Los pavimentos de macadam con penetración constan de una o más capas de base de unos 7 cm de espesor y una capa de superficie de 6 cm y se construyen sobre subbases perfectamente compactadas. El número de capas de base depende del poder portante de la subbase y del peso máximo, por rueda, del tráfico que vaya a soportar el pavimento. Se obtienen pavimentos de cualquier valor portante empleando el número necesario de capas de base.

Agregados para capas de base.- Los agregados deben ser piedra partida limpia o escoria triturada de calidad uniforme, y no contener elementos planos o alargados. La piedra o escoria deberá tener un porcentaje de desgaste en el ensayo Los Angeles no superior a 50, y la escoria de cada uno de los tamaños empleados no pesará menos de 1550 Kg por metro cúbico. En la tabla 4.4 se indican los límites de la granulometría de los agregados gruesos y finos utilizados generalmente para construir las capas de base.

Cabe emplear grava para este tipo de construcción siempre que se produzca triturado únicamente aquellas retenidas en el tamiz de 3.5 pulg., además de satisfacer las mismas especificaciones indicadas para piedra o escoria triturada respecto al tanto por ciento de desgaste.

**Tabla 4.4 Dosificaciones de asfaltos y agregados y granulometría de estos para tratamientos superficiales cuádruples.**

Aplicación	Litros de asfalto por metro cuadrado		Litros de grávilla por metro cuadrado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Primera capa . . . . .	1,12	1,57	18	24,5
Segunda capa . . . . .	2,00	2,47	10	13
Tercera capa . . . . .	1,57	2,25	7,5	9
Cuarta capa . . . . .	1,72	1,57	5	6

**Granulometría de los Agregados**

Aplicación	Porcentaje de material que pasa por el tamiz de						
	1 1/2 pulg.	1 pulg.	3/4 pulg.	3/8 pulg.	1/2 pulg.	Núm. 4	Núm. 10
Primera capa . . . . .	100	70-95	15-40	0-15	0-5		
Segunda capa . . . . .		100	90-100	25-45	0-20	0-5	
Tercera capa . . . . .				100	65-90	0-10	0-3
Cuarta capa . . . . .					100	10-35	0-3

Agregados para capas de superficie.- Los agregados para la superficie o capa de desgaste han de cumplir las mismas condiciones que los de las capas de base, salvo que deben ser más duraderos y tener un porcentaje de desgaste en la máquina, Los Angeles no mayor de 3.5. Los límites para la granulometría para capas de superficie de los tres tamaños de agregados dados en la tabla 4-5 representan un ejemplo típico de las especificaciones generalmente adoptadas para este tipo de superficies.

Materiales Asfálticos.- El material asfáltico empleado como ligante en capas de base y superficie de macadam con penetración puede ser betún asfáltico 85/100, 100/120 ó 120/150, o emulsión asfáltica de tipo RS-1 ó RS-2.

Construcción de capas de base por penetración.- Se limpiará la base de todo material suelto o ajeno a ella, eliminando todas las zonas blandas o inestables. Generalmente, no se emplea encofrado lateral para contener los agregados, en su lugar se construyen paseos bien compactados, con borde vertical en el espesor total de la capa de base de forma que realicen la función de encofrado. Se extienden uniformemente los agregados gruesos en capas sin compactar del espesor adecuado, mediante extendedoras mecánicas. Sólo se recurrirá a la extensión a mano en caso de necesidad; en tales circunstancias no deben volcarse nunca las cargas de agregados directamente sobre la subbase, si no fuera de ella, para evitar la segregación de tamaños y asegurar una compactación uniforme en el proceso de construcción.

A continuación se apisonan los agregados gruesos con una apisonadora triciclo, de peso no menor de 10 ton. y con una carga mínima de 550 Kg por centímetro de anchura de las ruedas traseras.

El apisonado comienza longitudinalmente por los bordos y avanza hacia el centro del pavimento solapando al menos media anchura de la rueda trasera en cada dos pasadas sucesivas. Es buen sistema ini--

ciar el apisonado al borde del pavimento, de forma que la mitad al me nos de la anchura de la rueda trasera pise el paseo, continuando se-- gún se ha descrito anteriormente. El apisonado continúa hasta que -- las partículas de los agregados queden firmemente enlazadas, de forma que cada parte de la superficie reciba la compresión de las ruedas -- traseras. El apisonado constituye la operación esencial en la cons-- trucción de pavimentos de macadam, aunque se menosprecia y descuida - con frecuencia. Si bien las apisonadoras de llanta metálica han pro-- ducido durante muchos años una compactación adecuada para capas de ba se de macadam, los compactadores vibratorios aparecidos recientemente están dando resultados altamente satisfactorios en este tipo de cons-- trucción.

Una vez obtenida una superficie satisfactoria y con la rasan te adecuada, de modo que no se aprecia ya movimiento de la piedra ba jo la apisonadora, se hace una aplicación de betún asfáltico en ca--- liente o emulsión asfáltica, usualmente de 5 a 6 litros por metro cua drado (para una capa compactada de 7.5 cm), por medio de un distribui dor a presión. Inmediatamente después de esta aplicación se extien-- den agregados finos en cantidad suficiente, con el fin de evitar que se peguen las ruedas de la apisonadora y también para llenar los huecos de la superficie. A continuación se apisona la superficie hasta obtener una buena ligazón, de manera que no se observe movimiento ba jo los rodillos. Seguidamente se hace otra aplicación del material - asfáltico, en general con una dosificación de 1,8 litros por metro -- cuadrado, extendiendo y apisonando a continuación una nueva capa de - agregados finos hasta que se han llenado los huecos superficiales en tre los elementos de los agregados gruesos, pero sin cubrirlos. Una vez terminada la base de macadam no deben quedar agregados sueltos so bre la superficie; estos se barren hasta dejar la superficie perfecta mente limpia. Es este un punto a veces descuidado, pero absolutamen te esencial si se considera la posibilidad de aplicar un sellado o de construir nuevas capas.

Construcción de capas de superficie de macadam por penetración. Para obtener una superficie perfectamente densa e impermeable, los agregados empleados en la construcción de capas de superficie son de un tamaño ligeramente menor que el de los utilizados en capas de base. Se suelen emplear tres graduaciones de agregados gruesos, intermedio y fino.

El procedimiento de construcción es similar al de la capa de base; se extiende y apisona el agregado grueso y se aplica a continuación betún asfáltico en caliente o emulsión a razón de unos 9,0 litros por metro cuadrado. Inmediatamente después de esta aplicación se extienden y barren y apisonan los agregados intermedios hasta que se llenan los huecos superficiales entre los fragmentos de agregados gruesos, pero sin llegar a cubrirlos. A continuación se apisona la superficie del camino de manera que la piedra quede perfectamente adherida al material asfáltico y así se continúa hasta que el pavimento está perfectamente compactado y no muestra movimiento perceptible bajo la apisonadora.

Después de barrer de la superficie el exceso de agregados, se hace una aplicación del material asfáltico de unos 2,16 litros, aproximadamente, por metro cuadrado y se extiende, barre y apisona una nueva capa de agregados finos. Terminado el apisonado final se eliminan por barrido los agregados sueltos que hayan podido quedar sobre la superficie del camino.

Hay varios factores importantes a los que debe prestarse particular atención en la construcción de un pavimento macadam por penetración.

El estado de la subbase es muy importante; esta debe ser firme y sólida, libre de material suelto o esponjoso y con las secciones longitudinal y transversal necesarias.

Los agregados deben ser duros y resistentes, ya que los blandos se pulverizan o partirían bajo el apisonado.

El apisonado es de la máxima importancia; hay que apisonar toda la superficie hasta obtener el máximo grado de enlace entre los fragmentos de agregados gruesos, de los que depende la resistencia del pavimento. La emisión del material asfáltico se reduce a unirlos entre sí, manteniéndolos en su sitio. Apisonando el borde del paseo a la vez que el borde del pavimento, se obtiene una buena resistencia al deslizamiento de la piedra bajo el efecto del apisonado persistente; esto asegura el mantenimiento del espesor del macadam en los valores especificados.

No debe emplearse el extendido a mano, salvo en casos de necesidad o en lugares no accesibles a las máquinas; con la extendidora mecánica se consigue una aplicación de los agregados más uniforme que con otros métodos, sin que se produzca tanta segregación o contaminación con materiales extraños.

Es importante que las temperaturas del asfalto sean las especificadas; los límites ordinarios son 135° a 177°C, si bien la emulsión de asfalto se suele aplicar a temperaturas comprendidas entre 50° y 65°C. Cuando se extiende el asfalto a temperaturas más bajas que las mencionadas, la aplicación no es uniforme y no se obtiene una buena unión del conjunto de los agregados. Estas aplicaciones dan lugar a ondulaciones, desintegración y baches. El barrido produce una extensión uniforme de los agregados finos e intermedios, asegurando un llenado de los mejores huecos, y no debe omitirse. Aunque el extendedor mecánico realiza un buen trabajo en el extendido de los agregados, el barrido mejora grandemente la cantidad de esta operación.

Es esencial la eliminación de los agregados sobrantes, pues si el exceso permaneciera suelto sobre la superficie y se aplicara un riego de sellado, existirían agregados gruesos en demasía respecto a la -

cantidad de asfalto aplicada; esto daría lugar a que el riego de sellado o tratamiento superficial fuera arrancado pronto bajo los efectos - del tráfico, a causa de la escases de material ligante.

Al aplicar el material asfáltico debe prestarse gran atención- a la unión de dos aplicaciones, con el fin de evitar solapes. Cuando estos se producen, hay un exceso de asfalto que exuda a la superficie, dando lugar a zonas deslizantes y de aspecto desagradable. Constituye un buen sistema extender papel de construcción sobre la superficie de- trás del enlace, a tal distancia que los distribuidores estan funcio- nando a pleno régimen cuando lleguen a la superficie no tratada; el de talle de este procedimiento puede verse en las aplicaciones de trata- mientos superficiales con asfalto. Siempre existen zonas del camino - que resultan inaccesibles al distribuidor y que es necesario retocar a mano; para ello puede usarse un recipiente con pico o vertedera estre- cho o una barra de pulverización a mano adaptable al distribuidor.

#### IV. 5.- METODOS DE CONSTRUCCION.

La adecuada preparación de la capa de base o cimiento es de máxima importancia en los tratamientos asfálticos superficiales, porque el grado de perfección obtenido en esta operación se reflejará en la durabilidad y suavidad el pavimento terminado. Suponiendo que son satisfactorios la calidad y espesor del material de la base flexible, es necesario que esté perfectamente compactado y que tanto el perfil longitudinal como el transversal sean los adecuados. Aún los materiales de base de la mejor calidad sufrirán asentamientos y producirán irregularidades si no se compactan hasta obtener una densidad elevada antes de aplicar la imprimación y el tratamiento asfáltico superficial. Se obtiene fácilmente la densidad máxima de la capa de base cuando es óptimo su contenido de humedad. En las bases para caminos de tráfico medio se recomienda compactar hasta la densidad no inferior al 95% de la densidad AASHO modificada, mientras que en los caminos para tráfico pesado se exige el 100% de esta densidad.

Después de compactada perfectamente la capa de base, es conveniente un período de curado de algunos días para reducir el contenido de humedad a la mitad o menos del valor óptimo. Si una capa de base compactada se satura de humedad a consecuencia de las lluvias, se perderá gran parte de la densidad original y será precisa una recompactación. Un procedimiento económico consiste en aplicar una capa de imprimación a la base compactada tan pronto como se ha producido la evaporación de la humedad. Esto reducirá al mínimo la pérdida probable de densidad por acción del agua superficial de las lluvias.

#### IV. 6.- ESTABILIZACION DE SUELOS.

Los principios básicos de la estabilización de suelos con asfalto, aplicados a la construcción de carreteras y pistas de aeropuertos, son métodos de proyecto y mezclado de suelos o agregados locales con materiales asfálticos para formar una capa de base estable e impermeable. Las capas de base construidas adecuadamente con suelo estabilizado con asfalto resisten la deformación por la acción ligante de este, que une entre sí las partículas del suelo. La delgada película de asfalto que rodea las partículas del suelo le proporciona un elevado grado de impermeabilidad, que también contribuye a aumentar la resistencia a la deformación.

En muchas regiones donde no hay materiales para construcción de bases flexibles, o donde habría que importarlos con excesivo gasto, pueden mezclarse los suelos locales con materiales asfálticos para formar capas de base satisfactorias a precios más reducidos. La estabilización de suelos con asfalto permite asimismo obtener resultados satisfactorios con materiales para construcción de bases flexibles de inferior calidad.

Una investigación de laboratorio completa de los suelos cuyo uso se propone, constituye un requisito previo para el proyecto y la construcción de cualquier estabilización de suelos con asfalto.

La investigación de laboratorio se compone de análisis del suelo y de ensayos para determinar el tipo, grado y cantidad de material asfáltico necesario para una mezcla bien equilibrada.

Normalmente, un análisis mecánico de los suelos, que precise el tamaño de las partículas y su contenido de limo y arcilla, indica si el suelo resulta o no adecuado para la estabilización. De ordinario se rechazan los suelos que tienen un contenido combinado de limo y arcilla superior al 45%. La pulverización de los suelos es un factor muy importante en su estabilización con asfalto; por ello, la efectividad del equipo de pulverización de que se disponga tiene cier

ta influencia sobre el porcentaje máximo admisible de limo y arcilla.- Cuanto más alto es el contenido de limo y arcilla de un suelo, más difícil se hace la pulverización.

El paso siguiente de la investigación de laboratorio es la selección del tipo, grado y cantidad de material asfáltico que ha de mezclarse con el suelo; las características de este determinan el tipo de estabilizador asfáltico que ha de usarse para obtener los resultados más satisfactorios.

Los cutbacks de curado rápido (y las emulsiones asfálticas) -- producen excelentes resultados cuando se mezclan con suelos extremadamente arenosos o que contienen un mínimo de partículas de limo y arcilla. En esta clasificación están incluidos los suelos con un índice de plasticidad igual o inferior a 5. Los suelos que tienen poca o ninguna plasticidad carecen de cohesión, y dependen del poder ligante del material asfáltico para la obtención de estabilidad.

Los cutbacks de curado medio con un disolvente del tipo Keroseno, producen de ordinario una masa más homogénea cuando se mezclan con suelos cuyo índice de plasticidad varía entre 6 y 10. Cuando aumenta la plasticidad de un suelo, aumenta también la cohesión; por consiguiente, la estabilidad de una mezcla de este tipo de suelos depende a la vez del poder ligante del material asfáltico y de la cohesión de las partículas de arcilla que forman parte del suelo. Las emulsiones asfálticas resultan también satisfactorias con determinados suelos, cuyo índice de plasticidad está comprendido entre los valores citados.

Los cutbacks de curado lento, cuyo disolvente es un gas-oil o residuo pesado de la destilación del petróleo, impregnan los suelos arcillosos mejor que los otros tipos de material asfáltico; por ello, se comportan más satisfactoriamente cuando se mezclan con suelos cuyo índice de plasticidad sea superior a 10, o cuyo contenido de limo y arcilla exceda del 30%. Estos suelos, de mayor poder cohesivo, tienen ca-

racterísticas ligantes propias de gran importancia y dependen menos -- del poder ligante del material asfáltico.

En el caso de que el suelo estudiado se halle en el límite de-- dos cualesquiera de las clasificaciones anteriores, la investigación -- preliminar de laboratorio debe extenderse a dos tipos distintos de ma-- terial asfáltico.

Con el fin de determinar el grado y cantidad de material asfál-- tico más adecuado para un suelo dterminado, se ensaya en el laborato-- rio la estabilidad y absorción de humedad de cierto número de mezclas. Estas mezclas deben prepararse haciendo variar ampliamente el conteni-- do de asfalto mediante incrementos del 0,5%. En general el contenido -- óptimo de asfalto se encuentra preparando en el laboratorio mezclas -- con el 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; y 7% de asfalto. La experiencia -- obtenida con un suelo determinado puede reducir los ensayos futuros de laboratorio a solo 3 ó 4 contenidos diferentes de asfalto.

Para producir, tanto en el laboratorio como en el campo, una -- masa homogénea con un esfuerzo mínimo de mezclado, el suelo debe conte-- ner cierta cantidad de humedad cuando se utilizan cutbacks, y el 10% o más si se emplean emulsiones asfálticas. Esto se debe a que la hume-- dad actúa como agente portador del asfalto y también como lubricante -- que facilita el mezclado.

Una vez que las mezclas de laboratorio han sido moldeadas y cu-- radas, se determina su estabilidad en seco e impregnadas de agua, así-- como su absorción, representándose los valores obtenidos en un gráfico según se indica en la figura (6.1).

Para el ensayo de estabilidad pueden emplearse varios métodos; la mayoría de ellos son los mismos utilizados para el ensayo del con-- creto asfáltico en caliente, tales como el Hubbard-Field, Hveem, tria-- xial y Marshall.

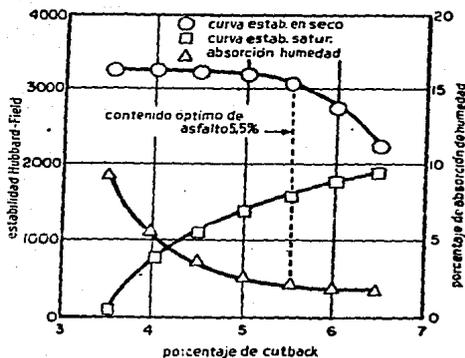


Fig. 6.1 Curvas típicas de resultados de las investigaciones preliminares de laboratorio sobre el suelo a estabilizar con material asfáltico.

Los ensayos de absorción de humedad se realizan colocando la probeta en una cubeta capilar durante siete días o sumergiéndola completamente durante veinticuatro horas.

Las mezclas con elevado contenido de asfalto son muy poco absorbentes, pero tienen con frecuencia estabilidades muy bajas; por el contrario, las mezclas de bajo contenido de asfalto dan estabilidades al-

tas y resultan demasiado susceptibles a la absorción de humedad. Mediante los ensayos de laboratorio, deberá seleccionarse una mezcla --- bien proporcionada, en la que la absorción de humedad no exceda del --- máximo permitido y cuya estabilidad no esté por debajo de la necesaria.

Los métodos constructivos aplicados a la construcción de suelos estabilizados con asfalto emplean una amplia gama de tipos de maquinaria. Independientemente del tipo de material asfáltico elegido para una obra determinada, es buen sistema utilizar el grado más denso capaz de incorporarse fácilmente al suelo. La aplicación de este principio supone que el tipo de maquinaria de mezcla disponible es un factor importante en la selección del grado de material asfáltico que ha de utilizarse; p. ej., si se ha elegido un cutback de curado medio para un trabajo determinado y el constructor propone el empleo del equipo normal de mezcla con motoniveladora, será preferible usar el cut---back tipo MC-2, que contiene gran cantidad de disolvente y permite emplear más tiempo en la ejecución de la mezcla. Por el contrario, si es posible emplear una mezcladora móvil eficiente y moderna, pueden utilizarse con iguales resultados tipos más viscosos de cutback, tales como el MC-4. Las condiciones climatológicas también ejercen cierta influencia en el tipo de material capaz de producir los mejores resultados. En climas cálidos pueden emplearse grados más viscosos que en climas fríos.

Una vez terminadas las operaciones de mezclado, las etapas, si siguientes en la construcción de una capa de base de suelo estabilizado son: ventilación y compactación. Si se compactan mezclas suelo-asfalto que contengan proporciones relativamente elevadas de humedad y disolvente, se obtendrán capas con estabilidades demasiado bajas, por lo que las mezclas deben ser ventiladas para disminuir las cantidades de humedad y disolvente. La ventilación se obtiene operando sobre la mezcla, de forma que se permita la evaporación de la humedad y de los disolventes. Esto puede conseguirse moviendo la mezcla con motonivelado-

ra a un lado y otro sobre la caja del camino, o mediante el uso de grdas de discos y roturadores de paletas. Antes de la compactación, el contenido de humedad debe reducirse aproximadamente a los  $3/4$  del óptimo, y es conveniente eliminar por evaporación del 65% al 75% de los disolventes de cutback.

Cuando se emplea emulsión asfáltica como agente estabilizante- el contenido de humedad de la mezcla debe reducirse antes de la compac tación a los  $3/4$ , aproximadamente, del contenido de humedad óptimo del suelo original.

Tanto los rodillos neumáticos como los de pata de cabra permitt en una compactación satisfactoria. Si se emplean compactadores de neu máticos exclusivamente, el espesor máximo de la capa a compactar debe- regularse de acuerdo con el peso del rodillo o con el esfuerzo de compac tación producido por este. La mayoría de los compactadores ligeros de neumáticos no pueden producir las densidades necesarias si la capa- que ha de compactarse tiene un espesor mayor que 5 cm; sin embargo, -- los compactadores más pesados capaces de producir cargas de 2000 Kg o más por rueda, pueden compactar espesores hasta de 15 cm en una sola - capa. Los rodillos de pata de cabra pueden compactar satisfactoriamente espesores de 15 cm en una sola capa; sin embargo, los 2.5 cm supe- riores, o sea una profundidad igual a la de las irregularidades deja- das por el rodillo, deben removerse con motoniveladora, extendiendo u- niformemente el material suelto y compactando esta capa final con rodillos de neumáticos.

Por lo general, las bases de suelo estabilizado contienen el - material asfáltico estrictamente necesario para hacerlas estables y re sistentes a la absorción de humedad; por lo consiguiente, no son capa- ces de resistir el desgaste producido por el tráfico, de forma que pa- ra preservar la capa de base de suelo estabilizado debe preverse una - capa de desgaste duradera. Se aplica un riego de imprimación y una ca

pa de desgaste a la base de suelo estabilizado con asfalto después de dejar que esta cure durante una semana, aproximadamente. La capa de desgaste puede ser un tratamiento asfáltico superficial o una capa de concreto asfáltico.

La capa de desgaste que debe aplicarse se elegirá teniendo en cuenta el volumen y peso del tráfico previsto.

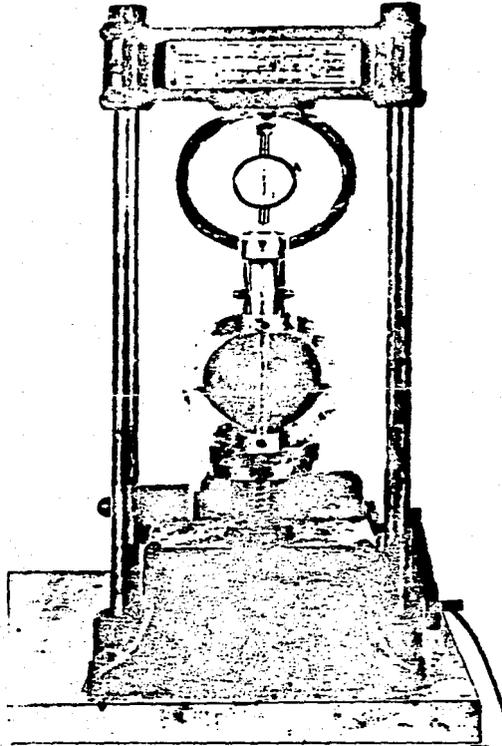
## 7. 1.- MEZCLAS ASFALTICAS.

GENERALIDADES.- No sólo es importante ensayar el asfalto y -- los triturados 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.

METODO 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 agregados 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 prepara probetas de  $2\frac{1}{2}$ " (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°C para la realización de los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales de 5 cm/min. La carga máxima registrada durante el ensayo, en Kgs., se designa como estabilidad Marshall de la probeta. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que ésta 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 contenidos de asfalto variables por encima y por debajo del óptimo estimado, ensayándolas por el procedimiento que acabamos de describir. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto. (Ver figura 7.1.)

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus ca-



**Ensayo Marshall de Estabilidad y Fluencia**

racterísticas físicas. Los materiales y procedimientos para la realización de estos ensayos se describen con detalle en la Obra Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M. S. número 2, publicada por el Instituto del Asfalto. En esta publicación se incluyen también criterios para proyecto de mezclas para pavimentación. La maquinaria y procedimientos necesarios para la realización del ensayo Marshall se describen tam

bién en el método AST D1559.

**METODO DE HVEEM.**- El método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende los tres ensayos principales siguientes:

1. Ensayo del estabilómetro.
2. Ensayo del cohesímetro.
3. Ensayo del equivalente centrífugo en Keroseno (CKE).

Estos ensayos se emplean para proyectar mezclas en el laboratorio. El CKE se emplea también como ensayo en obra.

Los ensayos del estabilómetro y del cohesímetro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y agregados cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las probetas de 2 1/2" (6,35 cm) de altura 4" (10 cm) de diámetro se compactan por procedimientos normalizados en un compactador para amasado como el que se representa en la figura 7.2.

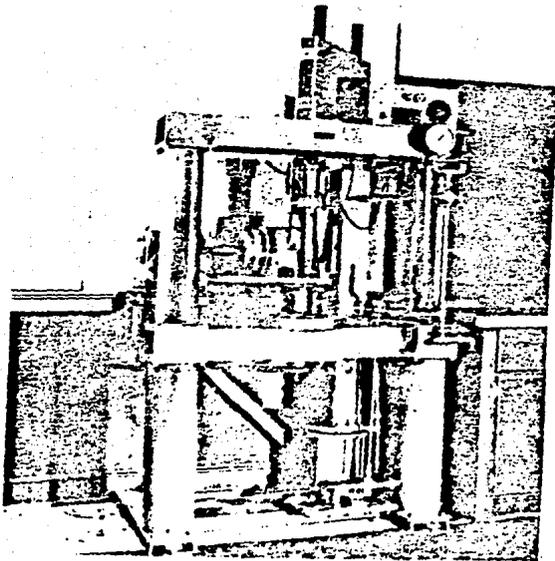


Fig. 7.2 Compactador por amasado para preparación de Probetas

Se determina la densidad y huecos de la probeta compactada, — que se calienta después a 60°C y se someta 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. El ensayo se representa esquemáticamente en la figura 7.3.

La probeta está encerrada en un 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 relati-

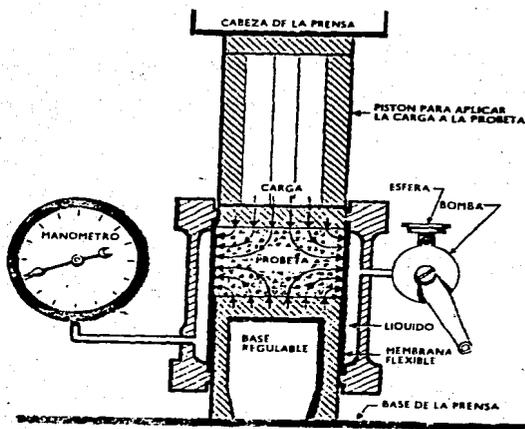


Fig. 7.3 Ensayo del Estabilómetro de Hveem

vo. 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 imcomprensible, que no transmite presión lateral, y al que se 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 que la probeta se rompe por tracción como se ve en la figura 7.4.

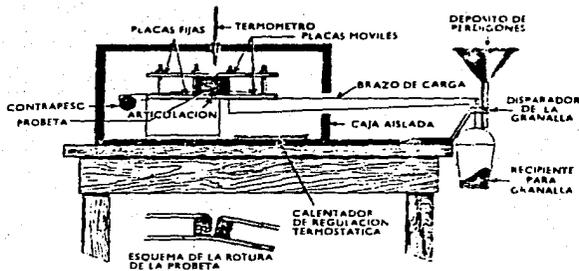


Fig. 7.4 Ensayo del Cohesiómetro de Hveem

Otra parte del método de Hveem empleada a veces en la determinación del contenido del asfalto óptimo, estimado por un procedimiento denominado ensayo del equivalente centrífugo en Keroseno (CKE). Se satura con Keroseno la porción de los agregados de la mezcla que pasa por el tamiz número 4, centrifugándola a continuación.

La parte de los agregados que pasa por el tamiz de 3/8 de pulgada es retenida en el número 4, que se considera representativa de los agregados gruesos de la mezcla, se satura el aceite lubricante y se deja escurrir durante 15 min a 60°C.

Los pesos de Keroseno y aceite retenidos por estos agregados se emplean como datos de un procedimiento para calcular y estimar el contenido óptimo del asfalto de la mezcla. Normalmente se realizan los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro en probetas con el contenido del asfalto indicado por el ensayo CKE y con contenidos de asfaltos mayores y menores para establecer el contenido del asfalto óptimo y determinar otras características físicas de la mezcla compactada. Más adelante indicaremos algunos criterios para proyecto de mezclas para pavimentación empleando este método. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo antes indicados se describen con detalles en la Publicación Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt-Paving M. S. número 2, del Instituto del Asfalto. También se describen en el método ASTM D1560, mientras que el ASTM D1561 describe los aparatos y procedimientos para preparar las probetas con el compactador por amasado antes mencionado.

**METODO HUBBARD'FIELD.** El método Hubbard'Field es un procedimiento empleado para el proyecto en laboratorio de mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento se desarrolló originalmente para el proyecto de mezclas para pavimentación de tipo arena-asfalto o sheet asphalt, empleando betunes asfálticos, en las que todos los agregados pasaran por el tamiz número 4, y al menos el 65% por el número 10. Las partes principales del ensayo son un análisis de densidad-hue-

cos y un ensayo de estabilidad.

Se preparan, empleando procedimientos de compactación especificados, probetas de 2" ( 5 cm) de diámetro y 1" (2,5 cm) de altura.- Se determinan la densidad y los huecos de la probeta compactada, que a continuación se somete al ensayo de estabilidad Hubbard'Field, como se indica en la figura 7.5. En este ensayo, primeramente, se calientan las probetas a 60°C y se colocan en moldes de ensayo. Se aplican las cargas como se indica 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 más estrecho, de 1,75" (aproximadamente 45 mm) de diámetro. La máxima carga producida, en libras, es la estabilidad -- Hubbard-Field.

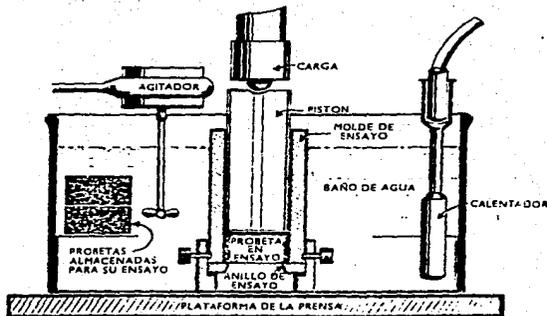


Fig. 7.5 Ensayo Hubbard-Field de probetas de 2" de diámetro

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.

Como el procedimiento que hemos descrito solamente es aplicable a mezclas asfálticas de tipo arena-asfalto o shett asphalt, se ideó un procedimiento modificado aplicable a mezclas asfálticas con agregados gruesos. 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). El ensayo se representa esquemáticamente en la figura 7.6. Por lo demás, 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 agregados gruesos cerca del orificio del molde dan lugar frecuentemente a valores erráticos de la estabilidad.

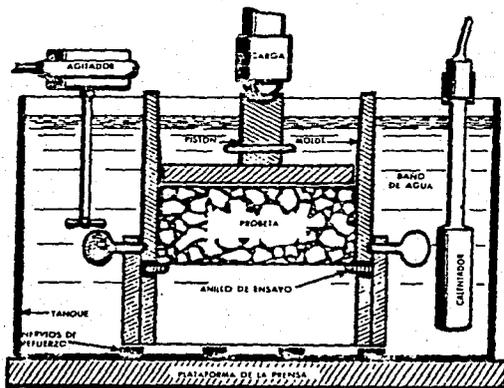


Fig. 7.6 Ensayo Hubbard-Field de Probetas de 6" de diámetro

**METODO 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 menos doble de 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 del Asfalto, desarrollado por Vaughn Smith, se representa esquemáticamente en la figura 7.7.

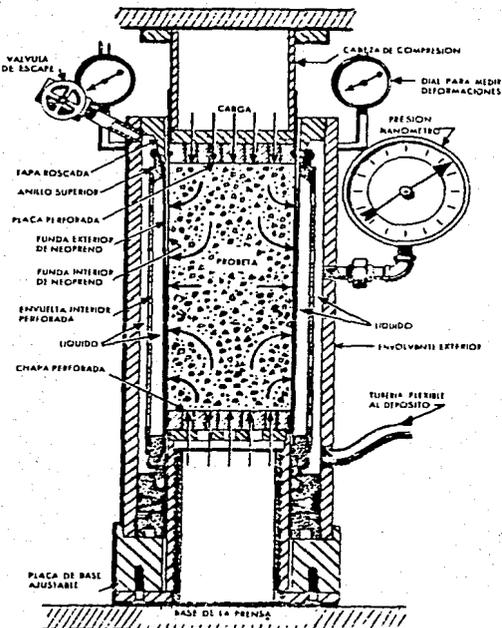


Fig. 7.7 Ensayo triaxial de Smith

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 razonamiento interno de la probeta. Más adelante se incluyen también los criterios sugeridos para el proyecto de mezclas para pavimentación empleando este método. Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen en Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M. S. número 2, publicado por el Instituto del Asfalto.

El ensayo de comprensión triaxial del Instituto del 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 comprensión triaxial emplea aparatos si milares, pero se llama del sistema abierto. En él se mide la carga -- vertical necesaria para que la probeta rompa mientras se mantiene cons tante 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 el laboratorio para:

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

nos procedimientos de proyecto de mezclas.

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

B) En probetas obtenidas de pavimentos construidos para comparar 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 de 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:

$$d = \frac{W_a}{W_a - \frac{W_w}{W_a}}$$

donde d = densidad en kilogramo por litro.

W<sub>a</sub> = peso de la probeta al aire, en gramos.

W<sub>w</sub> = 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 com-

compactadas en el apéndice II de Mix Desing Methods for Hot Mix Asphalt - Paving, M. S. número 2, publicado por el Instituto del Asfalto. También puede encontrarse la descripción detallada de estos ensayos en los métodos ASSHO T166 y ASTM D1188.

**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 agregados 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, Ww y Wl y los porcentajes de agregados y asfalto, respectivamente, y G y G1 sus respectivos pesos específicos.

$$D = \frac{100}{\frac{W}{G} + \frac{W_l}{G_l}}$$

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 Desing Methods for Hot Mix Asphalt Paving, M. S. número 2 del Instituto del Asfalto.

La principal dificultad para llegar a una determinación exacta de los huecos de una probeta resulta de las características de porosidad de algunos agregados que a su vez tienen influencia sobre el peso específico de los agregados empleado en los cálculos, como discutimos-

al hablar del peso específico.

**EXTRACCION.** Llamamos extracción del procedimiento empleado para separar el asfalto de los agregados en una mezcla asfáltica para pavimentación. La finalidad de la extracción es determinar el contenido de asfalto de la mezcla y obtener agregados sin asfalto que puedan emplearse para el análisis granulométrico y cualquier otro ensayo sobre ellos que desee realizar. Cuando se desea ensayar el asfalto extraído se hace un ensayo de recuperación.

El método de extracción más empleado para determinar el contenido de asfalto y obtener agregados limpios es el centrífugo. En el se calienta la mezcla asfáltica, después de desmeduzada, en el recipiente de una centrifugadora. Después se añade un disolvente que disuelve el asfalto. Los disolventes normalmente empleados son tricloroetileno, benceno o tetracloruro de carbono. El asfalto disuelto se separa de los agregados en un tipo especial de centrifugación. Durante el reposo de centrifugación 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 agregados secos después de la extracción se emplea como base para determinar las proporciones relativas de asfaltos y agregados. Deben hacerse correcciones para tener en cuenta la pequeña cantidad de agregados muy finos que pueda pasar a través del anillo filtrante del recipiente de la centrífuga durante el proceso de extracción, lo que se logra determinando el contenido de cenizas de una parte de la solución del asfalto en disolvente. También deben hacerse correcciones para el agua, se existía en la mezcla asfáltica. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo de extracción se detallan en los métodos ASSHO T164 y ASTM D2172.

Hay varios métodos de extracción por flujo empleados para la determinación del contenido de asfalto y la obtención de agregados limpios para ensayo posterior. Normalmente se emplea un recipiente ci

límpido 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".

**RECUPERACION 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 el extractor un disolvente-tricloroetileno o benceno- que se vaporiza por aplicación de calor. El vapor condensa y cae sobre la mezcla disolviendo el asfalto y llevándolo en disolución al fondo del extractor. Este procedimiento continúa 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 ASSHO -- T170 y ASTM D2172.

**DESTILACION DE LA HUMEDAD Y SUSTANCIAS VOLATILES.** A veces es conveniente saber la cantidad de humedad y/o sustancias volátiles en una mezcla asfáltica para pavimentación, especialmente cuando se emplea asfaltos líquidos. Estas determinaciones se hacen usualmente empleando algún procedimiento de destilación, como el indicado en el método ASTM D225. Algunos organismos emplean los procedimientos detalla-

dos en el método ASSHO T110 y en el ASTM D1461.

**ENTUMECIMIENTO.** En las mezclas asfálticas que contienen finos de calidad dudosa se determina a veces el entumecimiento como dato para juzgar los posibles defectos 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 la mezcla en un cilindro metálico, normalmente de 4" (10 cm) de diámetro, y se deja enfriar a temperatura ambiente. A continuación se coloca probeta y molde en una bandeja con agua y se monta sobre la probeta un medidor, como se indica en la figura 7.8. Se anotan la lectura inicial del medidor y sus indicaciones después de períodos determinados de tiempo, usualmente 24 H, o hasta que no se produce más entumecimiento. Los aparatos y procedimientos 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. número 2, publicada en el método ASSHO 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 puedan sufrir entumecimientos hasta de  $3/4$  de pulgada (19 mm) en las condiciones del ensayo.

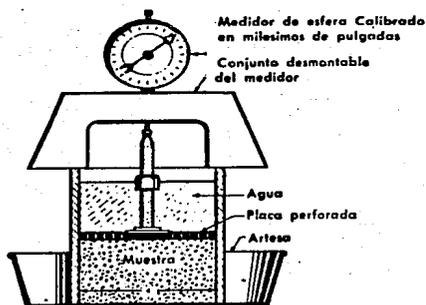


Fig. 7.8 Ensayo de entumecimiento

## 7. 2.- MEZCLAS ASFALTICAS.

Los materiales asfálticos líquidos que pueden emplearse en la construcción de pavimentos y capas de base son las emulsiones asfálticas (EA), y los cutbacks de curado rápido (RC), medio (MC) y lento (SC).

Los diversos grados de capa de tipo de material asfáltico líquido tienen un amplio campo de empleo, desde el de simples paliativos del polvo al de ligantes para pavimentos de alta resistencia. Se emplean para mezclas en frío y en caliente, mezclas in situ, estabilización asfáltica de suelos, impregnación de capas de tierra y control de polvo, así como en los tratamientos por penetración.

### MEZCLAS EN PLANTA

En el concreto asfáltico mezclado en planta en caliente pueden emplearse los asfaltos líquidos de viscosidad más elevada para las mezclas con betún asfáltico, salvo que la temperatura de mezclado para mezclas con asfaltos líquidos es considerablemente más baja, variando entre los límites aproximados de 80° y 120°C. Las mezclas en planta en caliente empleando asfaltos líquidos se emplean principalmente en obras situadas en lugares donde no resulta práctico el transporte a granel de betún asfáltico, tales como construcciones militares en campos de operaciones extranjeros. Los tipos y grados de materiales asfálticos adecuados para estas mezclas son el RC-4, RC-5, MC-4, MC-5, SC-4, SC-5. Como la cantidad e intervalo de destilación de los disolventes usados en la fabricación de estos tipos y grados de cutback varían, la temperatura de mezclado debe regularse adecuadamente, empleando la temperatura más baja para los materiales de tipo RC y la más alta para los de tipo SC. Las temperaturas de mezclado de las mezclas en planta en caliente con estos materiales asfálticos son:

Tipo y grado

Temperatura  
de mezclado, °C  
Mín. Máx.

RC-4 .....	65	93
RC-5 .....	80	107
MC-4 .....	80	107
MC-5 .....	93	121
SC-4 .....	93	121
SC-5 .....	107	135

Durante el período de mezclado se evapora gran parte del disolvente del cutback, pero no siempre lo suficiente para producir un pavimento estable; por ello, a veces son necesarias antes de la compactación, operaciones adicionales para producir mayor ventilación de la mezcla.

Las mezclas en planta en frío se asemejaban en muchos aspectos a las mezclas en planta en caliente, salvo en el empleo de cutbacks de viscosidad inferior y de emulsiones asfálticas, y de su mezcla a la temperatura ambiente. Las mezclas de este tipo pueden emplearse inmediatamente o transportarse y almacenarse para uso futuro. El tipo y grado de material asfáltico más adecuado viene determinado por la granulometría de los agregados y el uso al que se destina la mezcla.

Las mezclas para capas de superficie densas que contienen del 35% al 45% de agregados que pasa por el tamiz núm. 10, obtenidas para su utilización inmediata, pueden fabricarse empleando cutbacks de tipo RC-1, RC-2 o MC-3, o emulsiones asfálticas de rotura media, MS-2. Solo es necesario el secado de los agregados para mezclas con cutback cuando los agregados están saturados o tienen alguna humedad superficial. Las mezclas con emulsión asfáltica pueden fabricarse con agregados húmedos; de hecho, es necesario incluso añadir agua, especialmente cuando el agregado contiene alta proporción de material que pasa por el tamiz núm. 10.

Las mezclas fabricadas con cutback deben ventilarse perfectamente antes de la compactación, debido al contenido de productos volátiles de estos ligantes. La ventilación de la mezcla se suele reali--

zar removiéndola con motoniveladoras sobre el camino hasta que se ha evaporado una gran proporción de los disolventes. La evaporación de los disolventes se observa por la disminución de la docilidad de mezcla durante su manipulación. Cuando se han ventilado suficientemente, estas mezclas parecen ser muy difíciles de manejar, pero aún conservan la necesaria docilidad para ser extendidas fácilmente con motoniveladora.

Las mezclas en planta en frío fabricadas con emulsión asfáltica de rotura media (MS-2) se ponen en obra y se compactan sin necesidad de ventilación. Las temperaturas atmosféricas elevadas y el ambiente seco hacen que las mezclas en frío con emulsión asfáltica curen rápidamente; las condiciones atmosféricas opuestas retardan el tiempo de curado.

La cantidad de material que pasa por el tamiz núm. 10 en un material de pavimentación mezclado en frío, tienen considerable influencia sobre la docilidad de la mezcla; por ello, las mezclas en frío con cutback, que han de ser almacenadas para uso futuro, contienen normalmente del 5% al 10% menos de material que pasa por el tamiz núm. 10 que las mezclas fabricadas para uso inmediato.

El cutbacks de curado medio (MC-2), empleando como material asfáltico líquido para mezclas de pavimentación almacenables, proporciona a la mezcla la docilidad necesaria.

El concreto asfáltico mezclado en caliente y colocado en frío es un tipo intermedio entre el concreto asfáltico mezclado y colocado en caliente y los que acabamos de describir.

Las mezclas de este tipo pueden ser transportadas y colocadas inmediatamente después del mezclado o bien almacenarse para uso futuro durante un período de seis a ocho meses. Resultan muy adecuadas para obras de pequeño volumen, cuando no es posible instalar una planta de mezcla en caliente o donde no está justificado económicamente el trans

porte de esta instalación. Además, las mezclas en caliente colocadas -- en frío proporcionan un tipo excelente de material para bacheos.

La granulometría de los agregados y el proyecto de la mezcla -- son esencialmente los indicados para el concreto asfáltico fabricado y colocado en caliente, excepto en lo que se refiere al uso de betún asfáltico de penetración más elevada, a la temperatura de mezclado más baja, a la imprimación de los agregados y a la adición de agua a la mezcla.

El concreto asfáltico mezclado en caliente y colocado en frío -- se fabrica en una instalación central de mezclado en caliente, donde -- los diversos agregados se secan perfectamente y se separan en tolvas -- distintas de tamaños determinados. Una vez que los agregados están perfectamente secos, se enfrían a unos 80°C antes de introducirlos en el -- mezclador. El calentamiento y enfriamiento de los agregados se suele -- realizar en un secador de doble tambor, que elimina todo resto de humedad de los agregados cuando estos atraviesan el cilindro interior y enfría después el material a la temperatura de mezcla deseada mientras atraviesa el cilindro exterior y antes de pasar a las tolvas de material en caliente de la instalación. Más adelante se explica la necesidad de reducir la temperatura de los agregados.

Se vierte en la tolva de la báscula situada sobre el mezclador -- la cantidad exacta de agregados de cada tolva indicada por la fórmula -- de dosificación empleada. Entonces se vierten estos agregados en el mezclador, donde se someten a un mezclado en seco de una duración de unos 10 seg. Luego se añade el producto asfáltico de imprimación, después de lo cual se continúa el mezclado durante otros 10 seg.

El producto asfáltico de imprimación añadido a la mezcla en esta fase de la operación es un cutback de curado medio ( MC-0), al que -- se añade activante. Lleva aproximadamente el 0,75% de MC-0, lo que es a penas suficiente para manchar la superficie de los agregados, aunque a --

segura una buena adherencia del betún asfáltico a los agregados en presencia de agua.

A continuación se añade simultáneamente agua y betún asfáltico de alta penetración.

La cantidad de agua que debe añadirse depende de la finalidad a que se destina la mezcla o de cómo ha de usarse esta. En las mezclas que han de transportarse, descargarse y colocarse en obra inmediatamente, se emplea el 2% de agua en peso; pero si el material ha de almacenarse y usarse a lo largo de un período de varios meses se añade el 3% de agua.

La adición de agua hace que la mezcla se esponje y permanezca trabajable después del enfriamiento a temperatura normal. Un mínimo del 2% de agua hace una mezcla trabajable durante varios días; sin embargo en mezclas que han de ser almacenadas durante períodos más largos es necesario el máximo de 3% de agua.

La experiencia en este tipo de mezcla en caliente colocada en frío, que a veces se llama mezcla con agua, indica que la penetración ideal de los betunes asfálticos a emplear es la comprendida en los límites inferiores del tipo de penetración 200/300, o sea, una penetración comprendida entre 200 y 250. Generalmente se obtiene una mezcla homogénea con un tiempo de mezclado de 45 seg.

Un factor muy importante en la fabricación de este tipo de mezcla es la temperatura de descarga de la mezcla terminada. Es necesario enfriar los agregados a una temperatura aproximada de 80°C antes del mezclado para obtener una temperatura aproximada de descarga de la mezcla terminada de 76°C ( $\pm 5^\circ$ ). Durante el mezclado se evapora del 60% al 65% de agua añadida. En las mezclas fabricadas para la colocación inmediata y para almacenaje son de desear contenido de humedad 0,75% y el 1% respectivamente. La proporción de humedad se reduce así a una cantidad despreciable durante las operaciones normales de extendido.

## MATERIAL MEZCLADO "IN SITU"

Las capas superficiales de asfalto y agregados mezcladas sobre el camino o in situ se construyen haciendo pasar los materiales por una planta mezcladora móvil o empleando motoniveladoras y algún otro equipo auxiliar. Las mezclas para capas de superficie fabricadas de este modo resultan más económicas y de peor calidad que las obtenidas en planta, porque no hay un control seguro de la granulometría. Los agregados seleccionados para capas de superficie mezcladas in situ pueden ser materiales naturales o tratados. Si es necesario mezclar dos o más materiales para obtener una granulometría satisfactoria, la mezcla se realiza normalmente antes de transportar el material a la obra.

Para mezclar in situ los agregados y el material asfáltico se suele emplear plantas móviles de diversos tipos. El más común es la mezcladora mecánica, que recoge los agregados de un caballón y los hace pasar a través de un mezclador de tipo continuo. El material asfáltico se pulveriza sobre los agregados en proporciones determinadas cuando estos entran en la cámara de mezcla.

Para obtener un control adecuado de la cantidad necesaria de material asfáltico es necesario que los agregados estén acopiados en un caballón de tamaño uniforme, de forma que pueda relacionarse la velocidad de la bomba de asfalto con la velocidad de la planta y el tamaño del caballón.

Son varios los tipos y grados de material asfáltico que pueden emplearse en plantas mezcladoras móviles. Con agregados cuyo tamaño máximo es de 25 mm y que no contiene más del 40% de material que pase por el tamiz núm. 10, puede emplearse cutbacks de los tipos MC-4 y RC-4 o por emulsión asfáltica del tipo MC-2. Cuando la parte del material que pasa por el tamiz núm. 10 es superior al 40% del total, se obtiene una mezcla más homogénea empleando cutbacks de viscosidad inferior, co-

mo el RC-3 y MC-3. Una pequeña cantidad de agua (del 3% al 4%) coadyuva a la producción de una buena mezcla actuando como agente portador - para el asfalto.

Existen tipos de plantas móviles que toman los triturados de - su posición in situ, o que operan sobre un caballón aplanado.

Las plantas que toman los triturados de posición in situ remueven el material y lo pulverizan, introducen el material asfáltico en - proporción determinada y mezclan perfectamente las partes componentes. La mezcla se deja sobre el camino en estado suelto, lista para ser ven- tilada.

Otro tipo de planta mezcladora requiere que los agregados se - hallen extendidos en capa uniforme en estado suelto antes de empezar - las operaciones de mezclado. En general, son necesarias varias pasadas de mezclador antes de obtener una mezcla satisfactoria.

El mezclado con motoniveladora de agregados y material asfálti- co constituye uno de los métodos más antiguos de construcción de capas asfálticas superficiales. Las técnicas constructivas son muy sencillas y solo emplean los elementos más comunes de maquinaria de construcción de carreteras y alguna maquinaria agrícola.

Los agregados se colocan sobre el camino en un caballón aplana- do, de espesor y anchura uniforme, y se riegan abundantemente con mate- rial asfáltico. Para la aplicación de asfalto se emplean de ordinario- distribuidores a presión. La cantidad necesaria de asfalto se reparte- en varias aplicaciones iguales; después de cada aplicación de asfalto, los agregados y este se mezclan, removiendo los materiales con la moto- niveladora sobre el camino o sobre la zona de mezclado, hasta que el - asfalto se ha dispersado uniformemente. Se continúa aplicando asfalto- y removiendo la mezcla hasta conseguir el contenido total del asfalto- necesaria en buen estado de dispersión.

El mezclado con motoniveladora y gradas de discos no produce - la misma acción de amasado que los mezcladores de paletas, por lo que se precisa un período de tiempo más largo para obtener una mezcla equivalente. Por idéntica razón resulta más práctico emplear cutbacks viscosidad inferior.

Los materiales asfálticos más adecuados para el mezclado con - motoniveladora son los cutbacks de tipos RC-2, RC-3, MC-2, MC-3, y la emulsión asfáltica de tipo MS-2. Cuando se emplea emulsión asfáltica - suele ser necesario añadir agua a la mezcladora para obtener la dispersión y envuelta adecuadas.

Es esencial la ventilación apropiada antes de la compactación - de las mezclas en planta móvil y con motoniveladora. Un contenido insignificante de humedad de la mayor parte de los agregados constituye una ayuda para la mezcla, aunque a veces resulta perjudicial si esta - se compacta con más del 2% de humedad. Por ello es necesario que se remueva lo suficiente estas mezclas después de efectuadas, con el fin de eliminar por evaporación la mayor parte del contenido de disolvente y - de humedad. La extensión y compactación de la mezcla no debe realizarse hasta que el contenido de volátiles se haya reducido a menos del -- 25% de la cifra original; el contenido de humedad no debe exceder del 2%.

## 8. 1.- MORTEROS ASFALTICOS.

Se conoce con el nombre de Mortero Asfáltico o Sheet Asphalt a una arena bien graduada combinada con cemento asfáltico y filler. Los pavimentos de este tipo han sido durante muchos años muy empleados en calles de ciudades, debido a que por su contextura densa y cerrada son lisos, limpios y extremadamente silenciosos, pudiendo dárseles características antideslizantes con la adición de arena de granos angulosos.- Como el mortero asfáltico presenta una contextura muy cerrada, la acción de las heladas es mínima.

Los pavimentos de mortero asfáltico no se encuentran de ordinario fuera de las ciudades, a causa de su elevado costo. Se necesita un alto porcentaje de betún, y siendo una mezcla crítica necesita un control técnico exacto, pues tanto un pequeño exceso o defecto de algún tamaño de agregado o de contenido de betún puede reducir la estabilidad del pavimento, y un exceso de betún hace resbaladizo el pavimento cuando está húmedo.

Las temperaturas de mezcla varía desde 275 a 325°F., según el concreto asfáltico usado, y la temperatura de la mezcla al ser tendida en la carretera debe ser superior a 250°F., para tendido mecánico. Para obtener buenos resultados, la temperatura ambiente debe estar por encima de los 40°F.

En la mayoría de las graduaciones de mortero asfáltico, el tamaño de la partícula máxima es aproximadamente el del tamiz número 10- no siendo práctico para tan pequeñas partículas el cribado y vuelta a mezclar, desde el punto de vista de producción. En lugar de ello la graduación se consigue mezclando arenas en el alimentador de fríos y añadiéndole filler de polvo granular en la amasadera. Sin embargo, como la misma instalación de mezcla se emplea corrientemente para preparar la base compuesta por elementos más gruesos, que requieren separación-

de tamaños después del secado, la arena del mortero asfáltico se pasa - por un tamiz del número 10 o mayor para separar cualquier materia de ma yor tamaño que se haya unido a la arena durante su preparación.

Agregados de Granulometría Cerrada con  
Tolerancia muy Limitada  
MORTERO ASFALTICO

Ligantes normalmente usados	Porcentaje de ligante normalmente usado		Especificaciones más aproximadas otros datos	
			A.I.	B.P.R.
AC's: 50-60				
60-70				
70-85	8½	11½	A-4	J-1
85-100				

Dado que es difícil lograr una buena adhesión entre una mezcla bituminosa con agregados finos y una base rígida, el pavimento de morte ro asfáltico se construye tendiendo dos capas. Originalmente se tendía primero una capa de liga de 1½ pulgadas, con material más grueso, y lue go la capa de rodadura, también de 1½ pulgadas, con agregados más finos. Estos espesores han sido modificados en la práctica asignándose más es pesor a la capa inferior de liga y menos espesor a la capa superior, de costo más elevado. La capa de liga es indispensable, ya que contribuye a nivelar, la base aumenta la resistencia al agrietamiento y mejora la ad hesión del pavimento a la base.

El mortero asfáltico se tiende mejor con una terminadora mecánica. No es una mezcla bituminosa fácil de manipular y se requiere un control cuidadoso de la temperatura, las operaciones de mezcla y maquinaria terminadora especialmente en las operaciones de mezcla, el control de la boratorio deberá ser minucioso. Debido a ello, el uso de mortero asfáltico ha sido substituido en gran parte por el empleo de concreto asfáltico que, además de resultar más económico, es un material menos crítico.

## MORTERO ASFALTICO CON AGREGADO GRUESO

Esta graduación es similar a la del mortero asfáltico expuesto anteriormente, pero incluye elementos gruesos con la arena, de aquí su nombre mortero asfáltico con agregado grueso. En realidad esta mezcla bituminosa (llamada a veces Topeka modificado) está en el límite entre mortero y el concreto asfáltico.

Las temperaturas de mezcla varían entre 275 a 325°F. Según el tipo de cemento asfáltico empleado y la temperatura de distribución - debe ser por lo menos 250°F. Rara vez se permite la distribución con - temperatura ambiente inferior a 40°F.

Agregados de Granulometría cerrada con tolerancia  
muy Limitada

### MORTERO ASFALTICO CON AGREGADO GRUESO

Ligantes normalmente usados	porcentaje de ligante normalmente usado	Especificaciones más aproximadas otros          datos
		A.I.          B.P.R.
AC's: 50-60		
60-70	6-9	
70-85		A-3          B-2
85-100		F-1

Al contrario del mortero asfáltico, este tipo de mezcla es fácil de distribuir mecánicamente, porque el contenido de finos está considerablemente reducido y la graduación general es más fácilmente controlable.

El mortero asfáltico con agregado grueso se mezcla mejor en --- Planta fija con el agregado dividido en dos tolvas por el tamiz número 10. La arena que ocupa del 75 al 80 por 100 del total de agregados ha - de ser controlada, en el alimentador de fríos, combinando diferentes arenas, ya que, como antes se ha dicho, no es práctico separar materia---

les como tamiz menor del número 10.

Como aproximadamente las tres cuartas partes de los agregados-  
la suministra la tolva de arena, es conveniente aumentar proporcional-  
mente la capacidad de esta tolva para asegurar el suministro o, si se  
dispone de una tercera tolva, pueden emplearse dos para arena, quedando  
la otra para la piedra cribada.

El morteo asfáltico con agregado grueso se emplea solamente como  
capa de rodadura. La base es un concreto bituminoso con agregados  
de mayor tamaño.

#### CONCRETO ASFALTICO

La inmensa mayoría de las carreteras arteriales bituminosas se  
construyen actualmente de concreto asfáltico, ya que deben estar pre-  
vistas para soportar las más pesadas cargas del tráfico. El espesor -  
total del pavimento bituminoso varía corrientemente entre dos y cuatro  
pulgadas. Esta capa superficial de un camino de primer orden deberá --  
descansar siempre sobre una base y una subbase adecuadas, cuya cons-  
trucción podrá ser nueva o tratarse de capas acumuladas como resultado  
de la construcción por etapas. Por consiguiente, un camino de primer -  
orden no es necesariamente de construcción nueva, sino que puede lo---  
grarse mediante la culminación de un plan de largo alcance cuidadosa-  
mente ejecutado.

Después de la introducción de equipo adecuado para la mezcla y  
el tendido de concreto asfáltico, este material ha venido a ser consi-  
derado como el más económico para la pavimentación de carreteras de --  
primer orden. Mecánicamente el concreto asfáltico es similar al de ce-  
mento Portland. Los huecos entre las partículas de agregado se rellenan  
con mortero de Filler, arena y cementos comparables al mortero de  
cemento Portland y arena.

En el concreto de betún los agregados consisten generalmente -

en piedra triturada, escorias o grava, mezclados con arena y filler de polvo granular. El grado de trituración se expresa algunas veces como porcentaje de caras fracturadas de las partículas de piedra.

Los cementos asfálticos para mortero asfáltico y mortero asfáltico con agregado grueso se repiten en la tabla 8.1 para el concreto asfáltico. En climas cálidos deben usarse cementos asfálticos de poca penetración para impedir que el pavimento se ponga blando bajo la acción del calor; por el contrario, en los climas fríos deben ser usados cementos asfálticos más blandos para impedir que el pavimento se ponga quebradizo. Aunque en la zona sur de los E.U.A. se usan cementos asfálticos de hasta 60 de penetración, la tendencia actual es que la mínima debe ser 70 para todos los climas.

El porcentaje de cemento asfáltico empleados se da en la tabla 8.1; varía de 4 a 9 por 100, según el área del pavimento y la cantidad de material fino. Las temperaturas de mezcla deben ser entre 275 y 325° F, y la temperatura en el momento de entrega a la terminadora normalmente habrá bajado en unos 25°.

Las especificaciones de concreto asfáltico requieren normalmente el empleo de Plantas Fijas con unidad de clasificación de dos, tres o cuatro tolvas, situada entre el secador y la amasadora. El número de separaciones depende del tamaño mayor de los agregados, aunque algunos estados tienden el empleo de más tolvas que otros, para los mismos tamaños de agregados. Las plantas en las que se criban los materiales después del secado se conocen generalmente como plantas de agregados múltiples.

Quizá la combinación corriente es dos clases de arena y una de piedra. Al preparar concretos asfálticos de agregados más gruesos, cuando en la misma obra se han de preparar de agregados gruesos y finos suele haber dos clases de arena y dos de piedra.

Agregados de Granulometría Cerrada con Tolerancia  
muy Limitada

CONCRETO ASFALTICO

Tamaño máximo del agregado	Ligantes normalmente usados	Porcentaje de ligante normalmente usado	Especificaciones más aproximadas otros datos	
			A.I.	B.P.R.
3/8"	AC's: 50-60	5 ½ - 9		
1/2"	60-70	5 - 8	A-2 a	
1"	70-85	4 ½ - 6 ½	A-2 b	
1 1/2"	85-100	4 - 6		1-1

TABLA 8.1.

La Planta no puede crear tamaños de agregados; las tolvas y --  
cribas simplemente comprueban y preparan el agregado con el que se ali-  
menta y evita la segregación que puede presentarse en el secadero, tol-  
vas y elevadores. Esto último, sin embargo, es un factor de menor im-  
portancia en el control de calidad de concreto asfáltico.

Por otra parte, como las tolvas y cribas complican grandemente  
las instalaciones, cuya portabilidad y costo, inicial han de tenerse -  
muy en cuenta, muchos ingenieros, especialmente en ciudades pequeñas y  
departamentos, provinciales, autorizan la producción de concretos as-  
fálticos en plantas que no tienen tolvas ni cribas, para obtenerlos as-  
sí a un costo razonable. En estos casos se han de hacer periódicamente  
cuidadosas comprobaciones de la combinación de agregados en el alimen-  
tador de fríos para adaptarse a las variaciones de los agregados que -  
se suministren. Tal funcionamiento de una planta se describe con fre--

cuencia como operación con un solo agregado. Esta descripción no deberá emplearse para identificar una mezcla de composición determinada, - especialmente con concreto asfáltico. La operación con un solo agregado está asociada más bien a la construcción de pavimentos en caminos - intermedios o secundarios.

Donde se dispone de agregados de granulometría uniforme, el empleo de alimentadores de fríos múltiples, interconectados, puede ser - el medio de lograr un control rígido de las proporciones. Los alimentadores de fríos constituyen una de las maquinarias más importantes de - una planta mezcladora.

De lo antes expuestos resulta evidente que cualquier mención - que se haga de operaciones sencillas o múltiples no indica necesariamente lo complejo del sistema de alimentación de fríos. No obstante, - en la práctica se observa que los sistemas de alimentación de un solo agregado son menos complicados que los que se usan en operaciones de - agregados múltiples. Los sistemas de alimentación de un solo agregado deberán ser flexibles y proveer medios suficientes de control para satisfacer los requisitos de las especificaciones de las mezclas.

Como ya se dijo anteriormente, los sistemas adecuados de alimentación de fríos puede proveer un control rígido de las proporciones, - no necesitándose en tal caso la ayuda de una operación de cribado

El concreto asfáltico se tiende rápidamente con terminadora mecánica a temperaturas más bajas de lo que es posible con otros sistemas. Muchas veces continúa la construcción con temperaturas ambientes - de hasta 40°F.

Al igual que con todas las mezclas bituminosas, el espesor mínimo de la capa debe ser suficientemente mayor que el tamaño máximo - del agregado, para permitir el tendido sin roturas.

Es práctica corriente especificar que el concreto asfáltico se

tienda en dos capas, la inferior con agregados de mayor tamaño que la superior. Una especificación típica exige para la capa inferior tamaño máximo de agregado de 1 pulgada o  $1\frac{1}{2}$  de pulgada y  $\frac{3}{8}$  o  $\frac{1}{2}$  de pulgada para la capa superior. En pavimentos de capa única o con capas múltiples en las que se emplea la misma mezcla para todas, el tamaño máximo de agregados es corrientemente de  $\frac{5}{8}$  a  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Datos Consolidados para el Uso de Agregados  
de Granulometría Cerrada con Tolerancia muy  
limitada

	Concreto Asfáltico				Mortero	Mortero Asfáltico
	3/8"	$\frac{1}{2}$ "	1"	$1\frac{1}{2}$ "	Asfáltico con agregado grueso	
					AC's:	AC's:
Ligantes		50-60			50-60	50-60
Normal		60-70			60-70	60-70
mente		70-85			70-85	70-85
usados		85-100			85-100	85-100
Porcentaje						
de Ligantes	5 $\frac{1}{2}$ -9	5-8	4 $\frac{1}{2}$ -6 $\frac{1}{2}$	4-6	6-9	8 $\frac{1}{2}$ -11 $\frac{1}{2}$

AGREGADOS DE GRANULOMETRIA CERRADA Y ECONOMICA

Los agregados de esta clasificación dan al pavimento terminado una estabilidad que normalmente es adecuada para las condiciones medias de tráfico, esto es, que no sean las autopistas principales o las calles activas de una ciudad. Por conseguir estabilidad para condiciones medias de tráfico, por poderse utilizar agregados locales y por ser los agregados uno de los artículos que intervienen en el revestimiento, este tipo de granulometría el más comúnmente usado en la totalidad de las carreteras con superficie bituminosa.

Puesto que el verdadero propósito de esta clasificación de agregados es tener en cuenta las variaciones razonables de graduación que -

sean económicamente permisibles, no puede especificarse el porcentaje de ligante que dé la mezcla crítica, y es práctica común hacer una mezcla más bien pobre de ligante.

Esta clasificación de agregados se ha subdividido en tres partes de acuerdo con su contenido en finos: Granulometría densa con 0 a 3 por 100 de material inferior al tamiz número 200, granulometría densa con 3 a 12 por 100 de material inferior al tamiz número 200, y arena. La diferencia del contenido de finos es un factor de importancia en la selección de ligante y de sistema constructivo y afecta también al porcentaje de ligante. La superficie total aumenta al aumentar los finos y se necesita un mayor porcentaje de betún para revestir suficientemente cada partícula.

Los dos sistemas de construcción aplicables 1) mezclas sobre el camino; 2) planta fija con secador mecánico - se expone de acuerdo con estos agregados. En relación con plantas fijas, resulta también apropiado identificar estas mezclas o agregados con la construcción de pavimentos de tipo intermedio. Por lo general, se obtienen mediante operaciones de un solo agregado, o sea sin cribar después del secado. El sistema de alimentación de fríos podrá utilizar un alimentador sencillo o bien, material aceptable salido de la gravera, o una combinación de dos o más materiales previamente triturados, más arena suministrada por dos o más alimentadores. Tratándose de una operación (de compromiso), en que se buscan economías, hay que evitar manipuleos complicados, a menos que lo exijan las condiciones en que se obtienen los materiales.

V.-

## C O N C L U S I O N E S

Uno de los principales objetivos es dar a conocer la gran variedad de existencia y gran importancia que tienen estos derivados del petróleo, los cuales han tomado un lugar muy importante en la construcción de caminos en todo el mundo.

Las condiciones climatológicas dominantes, en la zona en que se ha de realizar el trabajo y la estación del año, ejercen considerable influencia en la selección del tipo y grado del material asfáltico.

Se hace notar que el empleo de materiales asfálticos en la construcción de caminos, permite lograr un mayor kilometraje de buenos caminos, con los fondos asignados en los presupuestos.

La industria ha avanzado rápidamente en los últimos años, pero el objetivo principal en la construcción asfáltica, es la posible adaptación de métodos y materiales a las condiciones locales.

En muchos casos, algunas de las diferentes clases de agregados se combinan para dar una granulometría que tenga características deseables o necesarias para un determinado uso. En otros casos un solo agregado puede tener la granulometría adecuada. Tienen gran importancia la graduación de los agregados, pues ello influye fundamentalmente en la estabilidad mecánica de la mezcla asfáltica.

Los agregados constituyen un elemento costoso en los presupuestos de construcción de carreteras o causa de los grandes volúmenes a transportar. Por consiguiente, al seleccionar un agregado siempre debe buscarse su economía en relación a la clase de servicio que ha de prestar la carretera. Deben tenerse en consideración, los agregados que se encuentren en la localidad y estudiar su costo de preparación frente al de los agregados que se encuentren a mayor distancia y sus altos costos del transporte.