

Universidad Nacional Autónoma de México <sup>205</sup>

FACULTAD DE INGENIERIA <sup>172</sup>



---

UTILIZACION DEL ASFALTO EN LA  
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

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

GASPAR RODRIGUEZ MARTINEZ



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 esta 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.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-401  
T.E.



Señor GASPAR RODRIGUEZ MARTINEZ,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Sergio A. López Mendoza, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"UTILIZACION DEL ASFALTO EN LA CONSTRUCCION DE  
PAVIMENTOS"

1. Tipos y propiedades del asfalto.
2. Aplicación en pavimentos para carreteras.
3. Plantas de fabricación de mezclas asfálticas.
4. Procedimientos de colocación.
5. Conclusiones sobre la utilidad del asfalto en pavimentos.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
C. U. Universitaria, 10 de septiembre de 1982  
EL DIRECTOR

JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJE/OT/H/ser

## I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I	
TIPOS Y PROPIEDADES DEL ASFALTO	1
CAPITULO II	
APLICACION EN PAVIMENTOS PARA CARRETERAS	31
CAPITULO III	
PLANTAS DE FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS	44
CAPITULO IV	
PROCEDIMIENTOS DE COLOCACION	54
CAPITULO V	
CONCLUSIONES SOBRE LA UTILIDAD DEL ASFALTO EN PAVIMENTOS.	66

## I.- TIPOS Y PROPIEDADES DEL ASFALTO.

La utilización del asfalto como material de construcción se generalizó hace muchos años, los rasgos más antiguos indican su utilización en el año de 3800 a de J.C. en el Valle del -- Eufrates, en donde se encuentra en depósitos naturales.

Siendo también usado en esa época en el Valle del Indo y en -- la Mesopotamia como aglomerante para albañilería, en construcción de caminos y en capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.

La época tan remota de su utilización, así como los diferen-- tes lugares en los que han sido usados, ha originado que los productos asfálticos reciban diferentes denominaciones, lo -- cuál ha originado muchas confusiones y para no caer en ellas-- antes de seguir con el tema es necesario fijar algunos conceptos y aclarar algunos términos que definen diferentes substancias.

Los aglutinantes bituminosos están constituidos esencialmen-- te por hidrocarburos, en los cuales se encuentra como mate--- rial básico el betún ó bitum, estos aglutinantes se encuen--- tran asociados con minerales en mayor ó menor proporción.

La palabra betún proviene de la latina bitumen, que significa pez hirviente, y la de asfalto de la griega asphaltos, la --- cuál tiene la misma acepción.

El Instituto Norteamericano del asfalto define la palabra --- "betún ó bitum" de la siguiente forma :

Es el componente básico de sustancias ó cuerpos bituminosos, constituidos por hidrocarburos naturales ó nó totalmente solubles en sulfuro de carbono.

Al hablar de los hidrocarburos conviene mencionar su origen , en la actualidad la teoría más aceptada es la "orgánica" de -- Engler, la cuál establece que los petroleos son productos de la descomposición fuera de contacto del aire de productos de origen animal y vegetal en el interior de la tierra, mediante la acción del calor y presiones durante miles de años.

Comunmente en el medio de la construcción se conoce como as--

falta a una substancia de color negro, sólida ó viscosa, ductil, que se ablanda con el calor, la cuál si es pura recibe el nombre de betún, de la cuál se aprovechan sus propiedades aglomerantes, adhesivas e impermeables.

Se han formulado muchas definiciones de el asfalto por diversos organismos que se han avocado a su estudio, pero sin duda la más autorizada, debido a sus estudios y experiencia con el mismo es la dada por la ASTM y mencionada a continuación.

ASFALTO : Materiales aglomerantes sólidos ó semisolidos de color que varía de negro a pardo obscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida ó semisólida ó se obtienen de la destilación de petroleo; ó combinaciones de éstos entre sí con el petroleo ó productos derivados de estas combinaciones.

Una vez establecido lo anterior, hablaremos de los materiales bituminosos, los cuales los podemos clasificar en :

- |          |                          |
|----------|--------------------------|
|          | a) CEMENTOS ASFALTICOS   |
| ASFALTOS | b) ASFALTOS DILUIDOS     |
|          | c) ASFALTOS EMULSIONADOS |

#### MATERIALES BITUMINOSOS

- |             |                            |
|-------------|----------------------------|
|             | a) ALQUITRANES PROPIAMENTE |
| ALQUITRANES | DICHOS.                    |
|             | b) BREAS                   |

El asfalto es un producto de la destilación del petroleo, en la cuál se han separado sus componentes volátiles de las asfálticas, esta destilación se puede llevar a cabo por un proceso natural, ó artificial, en las plantas construídas por el hombre, la fig. 1 esquematiza la fabricación de productos asfálticos.

# ESQUEMA DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS

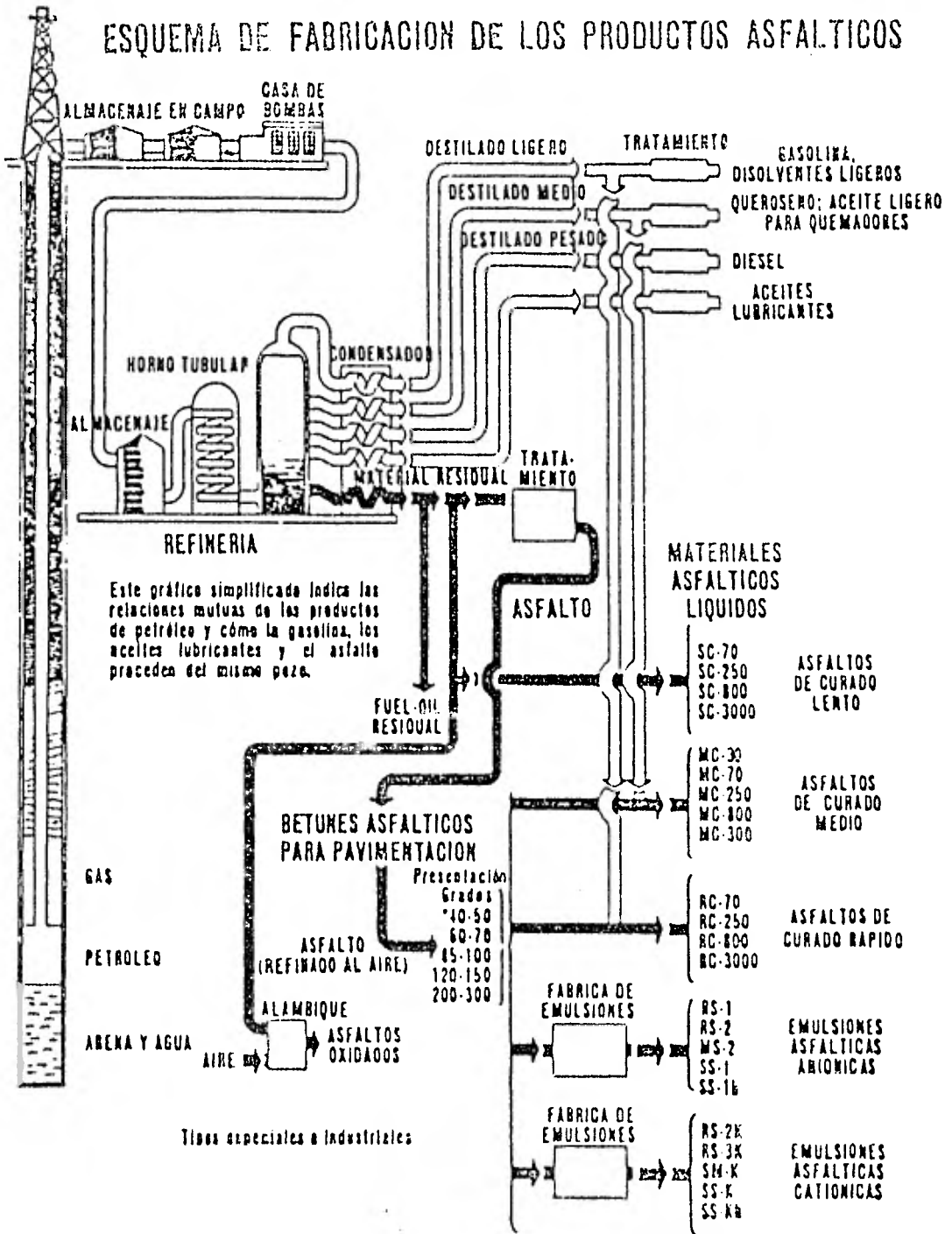


Figura 2.- Diagrama de fabricación de los productos asfálticos.

Otra forma de obtenerlo es separandolo de las rocas asfálticas, de las cuales se habla más adelante.

El asfalto está compuesto por tres grupos fundamentales de ingredientes.

ASFALTOS	{	ACEITES	(Semilíquidos)
		RESINAS	(Semisólidas)
		ASFALTENOS	(Sólidos)

Los asfaltos se consideran como sistemas coloidales, en los que la fase dispersa ó micelas asfálticas está constituida por asfaltenos envueltos por cuerpos protectores de propiedades semejantes a las resinas debido al fenómeno de absorción, y la fase continua está formada por hidrocarburos de menor peso molecular.

Los asfaltenos son cubiertos por las resinas y ambos son -- contenidos en el aceite que actua como vehículo.

Los asfaltenos dan al asfalto su dureza y propiedades aglutinantes, las resinas facilitan su adherencia y los aceites le dan plasticidad y fluidéz.

El asfalto se encuentra en proporciones variables en la --- constitución de la mayor parte de los petroleos, los cuales dependiendo de su tipo podrán ó no contenerlo.

Dependiendo de su contenido de betún los petroleos se pueden clasificar en :

- a) PETROLEOS DE BASE ASFALTICA : Tienen una gran cantidad de betún careciendo casi totalmente de parafinas consistentes.
- b) PETROLEOS DE BASE SEMIASFALTICA : Contienen una mediana cantidad de betún.
- c) PETROLEOS DE BASE PARAFINICA : No poseen betún conteniendo por lo general parafinas sólidas.

ASFALTOS NATURALES : Se usaron por primera vez en los Estados Unidos en el año de 1935, en la Avenida Pensylvania de-



Washington, usándose asfaltos nativos de la Isla de Trinidad ubicada fuera de la Costa Noroeste de Venezuela, este asfalto natural por lo general es rebajado con algún otro asfalto más suave para ser usado en pavimentación, su contenido de materia orgánica e inorgánica insoluble varía por lo general de 6 a 45%.

En los yacimientos, el petróleo se encuentra sometido a grandes presiones y temperaturas, protegido por capas impermeables, las cuales al presentar una falla ó grieta, permiten que el líquido, ayudado por el vapor de agua atrapado, escape hacia la superficie cambiando sus condiciones de presión y temperatura, en este recorrido el petróleo pierde sus componentes volátiles convirtiéndose en lo que denominamos asfalto natural, siempre y cuando el petróleo sea de base asfáltica.

Actualmente el asfalto natural ha sido desplazado por el asfalto del petróleo.

**ASFALTOS DE ROCA :** Son depósitos naturales de piedra caliza ó de piedra arenisca impregnados de asfalto natural a través de su vida geológica; el porcentaje de betún varía generalmente de 4 a 18%.

Se usó por primera vez en el año de 1854 en Francia, en donde se tendió roca caliza impregnada con asfalto natural, la cual se apisonó con el tránsito. Generalmente para su empleo se agrega un aglutinante asfáltico, agregado mineral y aceite fluxado, construyéndose así superficies duraderas y estables, pero su uso se limita a los lugares próximos al banco de roca, ya que el alto costo de transporte es una limitación para su empleo.

**ALQUITRANES Y BREAS :** El alquitrán es un material bituminoso que se obtiene por la destilación destructiva de un grupo muy extenso de substancias orgánicas, prácticamente todas las que tienen fracción volátil.

La brea es la fase semisólida ó sólida de los alquitranes, se obtiene como residuo de la destilación directa del alquitrán, cuando de él se extraen sus componentes volátiles.

Los alquitranes y breas, son pues substancias pirogenadas, - no naturales que se obtienen industrialmente ya sea como productos principales ó como subproductos.

Los alquitranes son afectados por los métodos y temperaturas de su producción así como por la naturaleza del aceite ó del carbón, se producen en consistencias que van desde líquidos hasta semisólidos y en forma de disoluciones, por lo que se adaptan a varios métodos de construcción, al igual que los cementos asfálticos la AASHO los clasifica en 14 calidades, los grados más viscosos se emplean a temperaturas elevadas, pudiendose combinar las clases diferentes para lograr la consistencia deseada.

Su uso depende de su costo, en nuestro país no son fabricados, en cambio en los Estados Unidos son empleados con frecuencia, siendo su producción muy alta, la AASHO y la ASTM establecen especificaciones para alquitranes de caminos.

Las breas tienen un uso similar al de los cementos asfálticos duros, usandose frecuentemente en el relleno y fabricación de juntas premoldeadas para concreto hidráulico.

**ASFALTO DEL PETROLEO :** Se utilizaron por primera vez en el año de 1894, cuando se roció petróleo crudo de los pozos de Summerland sobre caminos de tierra en el Condado de California en los Estados Unidos.

Este asfalto es obtenido por medio de la destilación artificial del petróleo, en la cuál se separan sus componentes más ligeros y volátiles, encontrandose en el material remanente-producto de esta destilación como material básico el betún asfáltico, las consistencias varían desde sólidas y quebradizas a líquidos casi tan fluidos como el agua.

Estos materiales son clasificados de acuerdo a su consistencia, la cuál es medida por medio de la prueba de penetración, y consiste en medir la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente es una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura carga y tiempo. La prueba se detalla más adelante en la parte correspondiente a - - -

ensayos para betunes asfálticos.

Anteriormente los productores de asfalto fabricaban 9 tipos diferentes de cementos asfálticos, los cuales eran clasificados en grados de acuerdo a su penetración, para disminuir costos decidieron reducir el número de grados a 5, quedando comprendidas las anteriores graduaciones en estos últimos 5 tipos, que son clasificados de acuerdo a su penetración de la siguiente forma.

GRADUACIONES ANTERIORES	GRADUACIONES NUEVAS
40 - 50	40 - 50
50 - 60	
60 - 70	60 - 70
70 - 85	
85 - 100	85 - 100
100 - 120	
120 - 150	120 - 150
150 - 200	
200 - 300	200 - 300

Los asfaltos para su empleo en pavimentos, requieren una -- consistencia líquida en el momento del mezclado, la cuál -- puede ser lograda mediante el calentamiento, mezclandolos -- con disolventes ó emulsificandolos con agua.

Los cementos asfálticos al ser mezclados con fracciones más ligeras y volátiles obtenidas de la destilación, dan origen junto con las emulsiones al grupo conocido como el de los -- asfaltos líquidos.

Gráficamente los podemos representar como sigue :

GASOLINA O NAFTA	QUEROSENO	ACEITES NO VOLATILES O DE EVAPORA- CION.	AGUA Y EMULSIFI- CANTE.	AGUA Y EMULSIFI- CANTE.
BETUN	BETUN	BETUN	BETUN	ASFALTOS LIQUIDOS
ASFALTICO	ASFALTICO	ASFALTICO	ASFALTICO	RC MC ó SC
CURADO RAPIDO	CURADO MEDIO	CURADO LENTO	EMULSIONES ASFALTICAS DIRECTAS	EMULSIONES ASFALTICAS INVERSAS

Nota : Las dimensiones de estos diagramas no son proporcio-  
nales a su composición.

Los productos obtenidos de los cementos asfálticos a partir-  
de la adición de disolventes reciben el nombre de "Asfaltos-  
Fluidificados" ó "Asfaltos Rebajados".

Dependiendo de la volatilidad del disolvente usado, este se-  
evaporará a una velocidad determinada al ser sometido a los-  
agentes atmosféricos, la velocidad a la cuál este disolvente  
pierde sus compuestos volátiles ha originado la siguiente --  
clasificación.

ASFALTOS REBAJADOS

- a) DE FRAGUADO LENTO (SC)
- b) DE FRAGUADO MEDIO (MC)
- c) DE FRAGUADO RAPIDO (RC)

La velocidad a la que se pierden los volátiles está en fun-  
ción de la ligereza del disolvente usado, siendo su tempera-  
tura de ebullición, llamada también punto de ebullición un -  
marco de referencia para poder clasificar un rebajado asfál-  
tico.

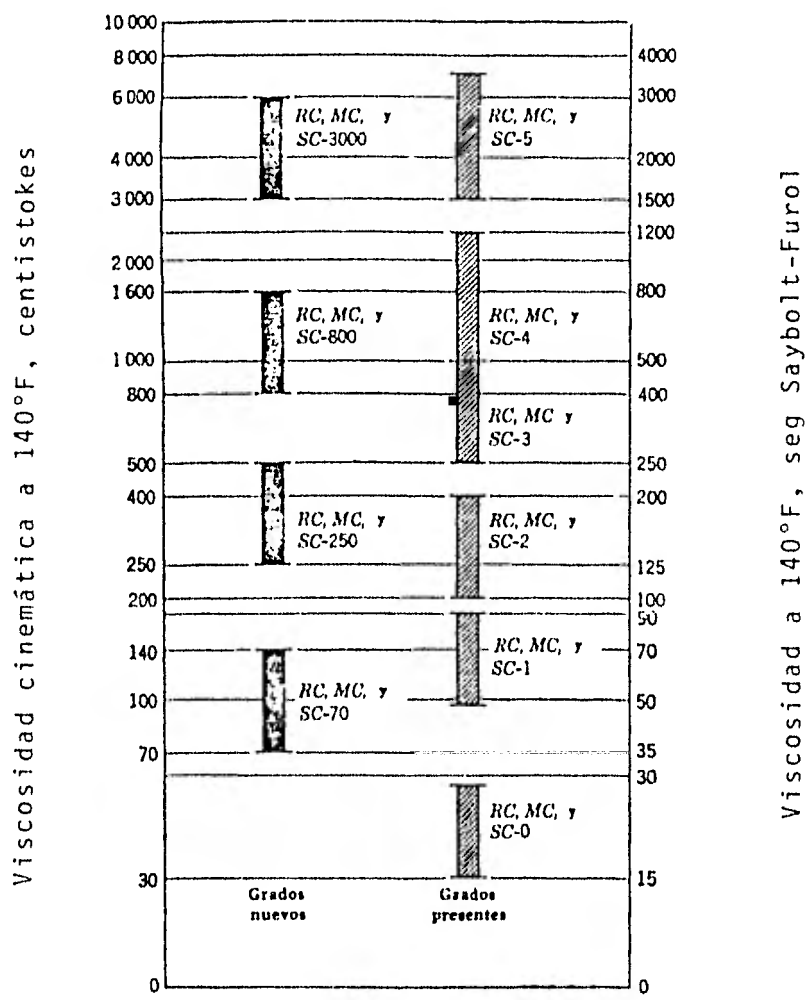


Fig. 2 Viscosidades comparativas de los grados anteriores y nuevos de asfaltos líquidos a 140°F

A continuación se indican las temperaturas de ebullición para los diferentes disolventes usados.

PUNTO DE EBULLICION	DISOLVENTES
(SC) Mayor A 275°C	ACEITES NO VOLATILES DE EVAPORACION LENTA
(MC) 163°C A 274°C	QUEROSENO
(RC) 121°C A 204°C	GASOLINA, NAFTA.

La fluidéz de los varios grados de asfaltos diluidos es controlada por la cantidad de solvente, el cuál al evaporarse proporciona un aglutinante con una consistencia que depende del cemento asfáltico seleccionado, las tres clases de "Asfaltos Rebajados" se clasifican en grados de acuerdo a su viscosidad.

Anteriormente se usaba una clasificación arbitraria, siendo esta sustituida por una que tiene como base la viscosidad, la cuál es indicada por el número que sigue a las letras -- SC MC ó RC, la viscosidad de cada tipo está comprendida entre el número indicado y su doble numérico, la cuál puede ser medida por el ensayo Saybolf-Furol ó el de la viscosidad cinemática (ambos se detallan en lo correspondiente a ensayos para betunes asfálticos), la fig. 2 es una tabla en la que se comparan las viscosidades de la nueva y anterior clasificación de asfaltos líquidos.

a) ASFALTOS DE FRAGUADO LENTO : Son productos líquidos del petróleo que se endurecen muy lentamente, los cuales --- pueden ser productos remanentes ó bien se obtienen de la destilación mediante la adición a los cementos asfálticos de aceites fluidificantes de volatización lenta, siendo más viscosos que los aceites lubricantes pero más --- fluidos que los cementos asfálticos.

Estos productos se usan donde se desea casi la misma consistencia del aglutinante durante el mezclado y despues de transcurrido el tiempo de fraquado.

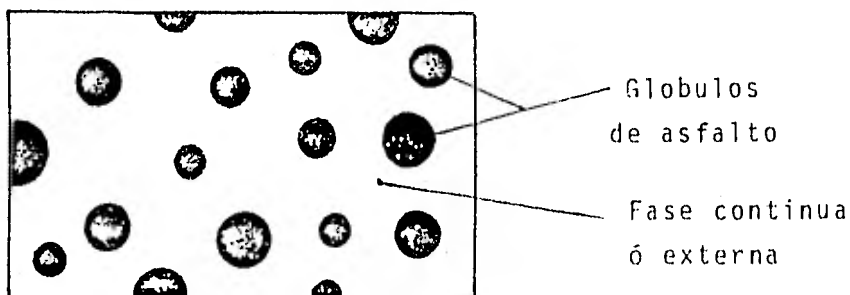
- b) ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO : Son asfaltos diluidos ó rebajados con destilados de volatilidad media como el petroleo ó el aceite diesel ligero.  
Se emplean cuando se desea una mayor fluidéz en el momento del tratamiento comparada con la que se obtiene después de que la mezcla, con el tiempo ha sido curada.
- c) ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO : Son los asfaltos diluidos con algún destilado ligero del petroleo como gasolina ó nafta, estos productos son usados cuando se desea un cambio rápido de el estado líquido a la consistencia de el cemento asfáltico original.

ASFALTOS EMULSIONADOS : Una emulsión es un sistema de dos fases formado por substancias no miscibles entre sí, de las cuales cuando menos una es necesariamente líquida. Una de ellas constituye la fase dispersa ó interna que se encuentra en forma de pequeños glóbulos, la cuál está contenida en el líquido circundante al que se le conoce como la fase continua ó externa, dependiendo de la concentración de cada una de estas dos fases, las emulsiones se clasifican en dos tipos :

- a) Emulsiones Directas : Son aquellas en la cuál la fase hidrocarbonada está dispersa en la parte acuosa, conociéndoseles como emulsiones aceite - en - agua.
- b) Emulsiones Inversas : En las cuales la parte acuosa está dispersa en la fase hidrocarbonada conociéndoseles como del tipo agua - en - aceite, estas poseen una viscosidad muy alta, teniendo en la mayoría de los casos usos industriales.

Las emulsiones empleadas en carreteras son casi sin excepción del tipo aceite - en - agua, consistiendo la fase dispersa de cemento asfáltico, disolventes del asfalto ó-

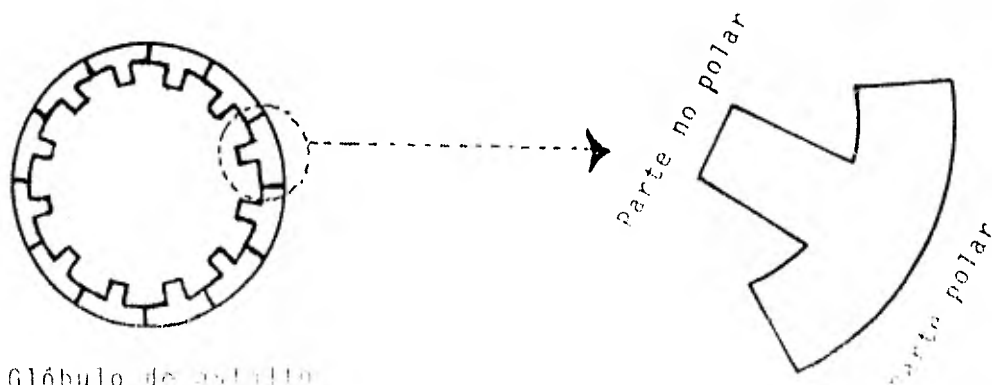
bien mezcla de estas efectuada antes de la emulsificación. Esquemáticamente su constitución es la siguiente.



En la preparación de las emulsiones de asfalto tienen que agregarse emulsificantes en pequeñas proporciones, los cuales tienen como función facilitar la formación de las dispersiones y mantener en suspensión a los glóbulos de asfalto, que por razones de simetría en la acción capilar, son de forma esférica.

En caso de no existir emulsificante, una dispersión de pequeñas gotas de asfalto en agua, formadas mediante agitación, se separará rápidamente en dos capas.

Con la presencia del emulsificante, se forma una película de él absorbida alrededor de cada glóbulo de emulsión, y esta película actuando como cubierta protectora, proporciona una resistencia considerable a la floculación de los glóbulos. En la fig. se esquematiza la disposición de las moléculas del emulsificador en torno a un glóbulo de asfalto.





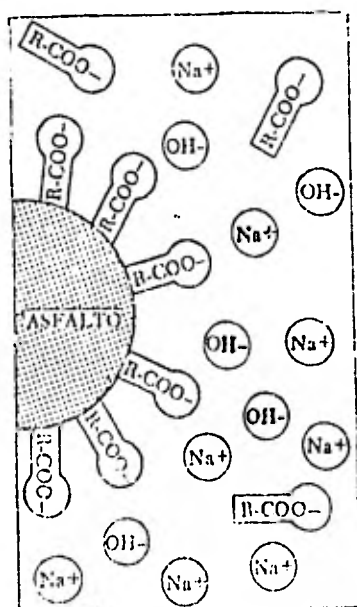
El emulsificante define el tipo de emulsión, las catiónicas con carga del glóbulo positiva y las aniónicas negativa.

Los emulsificantes aniónicos y catiónicos son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado, su parte hidrocarbonada lineal ciclica es soluble en el asfalto, los emulsificantes aniónicos tienen grupos ácidos y los catiónicos grupos amínicos que se encuentran saponificados; su parte polar es soluble en el agua e hidrófila, por lo que se orientan hacia el agua contenida en fase continua situandose en su mayor parte en la interfase.

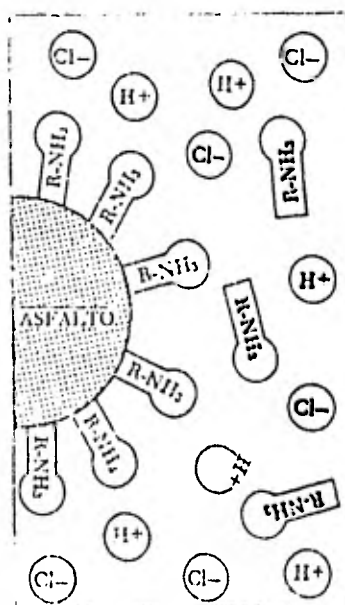
Su parte polar orgánica se dirige hacia el asfalto y su parte polar inorgánica hacia el agua, usandose estos emulsificantes iónicos, los glóbulos adquieren cargas del mismo signo repeliendose entre ellos.

Las emulsiones fabricadas con emulsificantes aniónicos y catiónicos, no son mutuamente compatibles; cuando se mezclan -

Emulsión aniónica



Emulsión catiónica



Esquema de los glóbulos que forman la emulsión aniónica y catiónica.

entre sí, ya que las cargas iónicas contrarias tienden a neutralizarse y se produce la coagulación del asfalto emulsificado.

Normalmente las emulsiones aniónicas son alcalinas, con un PH de 9 ó más y las catiónicas tienen valores de PH menores que 7.

**TAMAÑO Y DISTRIBUCION DE LOS GLOBULOS DE ASFALTO :** El tamaño promedio de los glóbulos de asfalto en una emulsión varía de 2 a 6 micras, esto hace que tengamos una superficie de contacto muy grande, lo que favorece el mojado del material pétreo, lograndose con esto una repartición del ligante, lo cual aumentará la cohesión de la mezcla.

**ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES :** En la fabricación de emulsiones asfálticas normales para carreteras, el porcentaje de emulsificante que se usa es aproximadamente de 0.5 al 1.0% en peso con respecto a la emulsión, esta cantidad proporciona una protección razonable contra la coagulación de las partículas de asfalto, pero en ciertos casos es necesario dar una protección adicional requiriendose una cantidad adicional de emulsificante.

Dependiendo de su resistencia a la coagulación, la cuál es función de la cantidad de estabilizante, las emulsiones se clasifican en :

- a) EMULSIONES DE ROMPIMIENTO RAPIDO.
- b) EMULSIONES DE ROMPIMIENTO MEDIO.
- c) EMULSIONES DE ROMPIMIENTO LENTO.

Las cuales tienen una cantidad mínima, media y mayor de estabilizante respectivamente.

Estos estabilizantes pueden ser incorporados a la emulsión durante la etapa de fabricación ó posteriormente.

La práctica ha demostrado que el mezclar dos emulsificantes-

de diferentes tipos a la vez hace a las emulsiones más estables.

Los emulsificantes más comunmente empleados son :

La caseína, los jabones de potasio y la resina de vinzol.

Cuando se almacene emulsión se deben tomar precauciones para evitar la coagulación así como la congelación del agua contenida en la misma.

PRUEBAS REALIZADAS A LOS CEMENTOS ASFALTICOS : Para poder fabricar mezclas que cumplan con los requisitos necesarios para los trabajos de pavimentación, es necesario llevar un control de las propiedades de los ligantes empleados, a continuación se mencionan las pruebas y especificaciones usadas, las cuales se encuentran establecidas en los ensayos normalizados de la AASHO y/o de la ASTM así como del Instituto del Asfalto.

PENETRACION : El ensayo determina la dureza ó consistencia del cemento asfáltico, en el caso de cementos asfálticos colocados en caliente se deben de efectuar dos pruebas, a la temperatura de aplicación y de servicio respectivamente.

La prueba consiste en medir la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo, cuando no se señalan otras condiciones específicas la prueba se realiza a 25°C y la carga sobre la aguja es de 100 gr. la cuál se aplica durante 5 seg., la distancia determinada en estas condiciones se llama penetración normal, siendo la unidad de penetración la décima de milímetro.

Los betunes asfálticos se clasifican de acuerdo a su penetración y dureza en grados, los cuales ya fueron descritos en páginas anteriores, al tratar el tema de los cementos asfálticos.

La prueba así como el equipo empleado se describen en el método AASHO T 49 y en el ASTM D5.

VISCOSIDAD : La prueba tiene como finalidad determinar el estado de fluidéz de los asfaltos a las temperaturas en las -- cuales son aplicados, la viscosidad puede ser medida en el -- ensayo Saybolt Furol ó en el de viscosidad cinemática, gene-- ralizandose actualmente el uso de este último.

a) Prueba de Viscosidad Saybolt-Furol : El viscosímetro es -- un recipiente cilíndrico especial alojado en un baño de -- aceite, el tubo de salida en la base del cilindro es más-- pequeño, teniendo una contracción en la salida, la visco-- sidad se define como el tiempo en segundos requerido para 60 ml. de material fluyan por la gravedad a partir del ci-- lindro completamente lleno, la temperatura se controla -- por medio del calentamiento regulado del baño de aceite , la cuál para tener tiempos razonables es diferente para -- los diversos tipos de asfaltos, ya que cuanto más visco-- sos son los materiales más tiempo es necesario para que -- pasen a través del orificio, el tiempo se mide en segun-- dos los aparatos y procedimientos se describen en el méto-- do ASTM E 102.

b) Pruebas de Viscosidad Cinemática : Consiste en medir el -- tiempo de flujo de un volúmen constante entre dos puntos-- de un tubo capilar generalmente de cristal, bajo tempera-- tura controlada y presión reproducible precisa. Debido a-- la diferencia de viscosidades de los asfaltos se usan va-- rias medidas de tubos capilares, la viscosidad se expresa en stokes ó en Centistokes (un centímetro de stokes), la-- cuál es una unidad científica fundamental, ultimamente -- existe la tendencia de medir la viscosidad cinemática de-- los asfaltos fluidificados y de los betunes asfálticos, -- lo cuál está desplazando a la viscosidad Furol.  
El procedimiento, los aparatos y la calibración del visco-- simetro se describen en el método ASTM D 445.

PUNTO DE INFLAMACION : Este ensayo nos indica la temperatura --

a la cuál puede ser calentado un material asfáltico sin peligro de inflamación, la cuál se puede determinar de dos formas diferentes :

- a) Ensayo en vaso abierto Cleveland : En el cuál un vaso --- abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida, haciendose pasar periodicamente sobre la superficie de la muestra -- una pequeña llama, y se define como punto de inflamación, la temperatura a la cuál se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina, este ensayo se describe en los métodos AASHO T 48 y ASTM D 92.
- b) Método Pensky-Martens : Difiere del ensayo de cleveland, - en que la mezcla es agitada continuamente durante el período de prueba, además de tener un dispositivo que cierra el recipiente que contiene la mezcla.

El material y procedimiento de este ensayo son descritos en los métodos AASHO T 33 y ASTM D 93.

**DUCTILIDAD** : La ductilidad es una propiedad muy importante , ya que los cementos asfálticos ductiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esa característica, por otra parte los que poseen una ductilidad elevada son más sensibles a los cambios de temperatura, la prueba nos indica la forma en que se comportará el material en la superficie del pavimento al ser sometido a las cargas rodantes, ya que puede ser ductil ó quebradizo -- por lo que podrá deformarse ó agrietarse.

La ductilidad se determina en un ensayo de extensión en aparatos llamados ductilómetros, en el cuál se moldea en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de cemento asfáltico, la cuál una vez colocada en el ductilómetro, se somete bajo condiciones de temperatura a un alargamiento con velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos se rompe, la longitud en cms. a que el material se --

rompe define la ductilidad, las condiciones normalizadas para este ensayo se determinan en los métodos AASHO T51 y ASTM D 113.

**SOLUBILIDAD** : La prueba nos indica la cantidad de bitumen ó betún, el cuál es la parte cementante activa de los materiales bituminosos, la determinación de la solubilidad es un proceso de disolución del betún asfáltico en un disolvente , el cuál puede ser tetracloruro de carbono ó bisulfuro de carbono, usandose generalmente este último por no ser inflamable, en el proceso la cantidad que es soluble nos representa la parte activa del ligante.

El procedimiento y materiales se describen en los métodos AASHO T 44 y ASTM D 4.

**ENSAYO EN ESTUFA EN PELICULA DELGADA** : Sirve para preveer el endurecimiento que se puede producir en el betún asfáltico - en las operaciones de mezclado, se determina por ensayos de penetración antes y después del tratamiento en estufa, expresandose la penetración después del tratamiento como un porcentaje de la penetración registrada antes del mismo, las especificaciones establecen valores mínimos de ese porcentaje de penetración, en el ensayo se coloca una muestra de 50 gr. de betún asfáltico a la cuál se le ha determinado su penetración en un recipiente cilíndrico obteniendose una probeta cilíndrica de aproximadamente 3 mm. de altura, el recipiente - se coloca en un soporte giratorio de un horno bien ventilado y se mantiene a una temperatura de 163°C durante 5 horas, posteriormente se vierte el betún asfáltico en un recipiente para aplicarle la prueba de penetración. Este ensayo ultimamente ha sustituido al de pérdida por calentamiento.

El procedimiento y equipo empleado se detallan en el método AASHO T 179.

**PUNTO DE REBLANDECIMIENTO** : Indica la temperatura a la cuál-

los diferentes tipos de asfaltos reblandecen, para lo cuál - se usa el ensayo arbitrario de anillo y bola, este método se usa para los materiales más duros, usados en otras aplicaciones diferentes, el cuál consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas, sumergiéndose la muestra en un baño de agua y se coloca sobre ella -- una bola de acero de dimensiones y peso especificadas, a continuación se calienta el baño de agua a una velocidad establecida, por lo que el material fluye debido al peso de la bola de acero, registrándose la temperatura en que el asfalto toca el fondo del recipiente.

**PESO ESPECIFICO** : Normalmente no se especifica, pero su conocimiento nos sirve para realizar las correcciones de volumen cuando este es determinado a temperaturas elevadas, sirve -- también para determinar los huecos en las mezclas asfálticas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado de material al peso de un volumen igual de agua, - encontrándose los dos materiales a temperaturas especificadas, el peso específico para betunes asfálticos se determina generalmente por el método del pignómetro detallado en los - ensayos AASHO T 43 y ASTM D 70.

**PRUEBAS PARA LOS ASFALTOS LIQUIDOS DE CURADO RAPIDO Y MEDIO.**

**PUNTO DE INFLAMACION** : La finalidad del ensayo es la misma - que para los cementos asfálticos, la única diferencia está - en el modo de calentar el asfalto, que para este caso se --- efectúa de una manera indirecta, por medio de baño en agua , el procedimiento y equipo usados se describen en el método - AASHO T 79 y ASTM D 1310.

**VISCOSIDAD** : Normalmente se emplea el ensayo Saybolt-Furol , siendo el procedimiento el mismo que el indicado para cementos asfálticos, con la única diferencia que el fluido de ca-

lentamiento es agua en lugar de aceite, esto debido a que en los asfaltos líquidos las temperaturas de ensayo son menores.

Debido a la diferencia de viscosidades de los asfaltos fluidificados a la misma temperatura, así como de los asfaltos líquidos de curado lento la determinación de la viscosidad se efectúa a diferentes temperaturas para cada tipo, también en el caso de los asfaltos líquidos existe cierta tendencia a medir la viscosidad cinemática, los aparatos y procedimientos se describen en los métodos AASHTO T 201 y ASTM D 2170.

**DESTILACION :** La prueba de destilación tiene como finalidad determinar las proporciones de cemento asfáltico y disolventes presentes en el asfalto fluidificado, indicándonos también las cantidades de disolventes que son destilados a diversas temperaturas, lo cuál nos indica la velocidad con que el material curará después de la aplicación.

El asfalto recuperado en el ensayo puede emplearse para realizar las pruebas descritas al hablar de los cementos asfálticos.

En la prueba se coloca una cantidad especificada de asfalto fluidificado en un matraz de destilación, el cuál está conectado a un condensador, el asfalto fluidificado es calentado gradualmente hasta una temperatura especificada, registrando la cantidad de solventes destilados a diversas temperaturas, una vez alcanzada la temperatura de 360°C se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en volumen de la muestra original, el procedimiento y equipo se detallan en los métodos AASHTO T 78 y ASTM D 402.

**PESO ESPECIFICO :** Puede resultar útil conocer el peso específico de los asfaltos fluidificados, sobre todo cuando es necesario realizar correcciones de volúmenes a temperaturas elevadas, determinándose normalmente por el método del pignómetro, descrito en los métodos AASHTO T 43 y ASTM D 70.



## PRUEBAS PARA LOS ASFALTOS LIQUIDOS DE CURADO LENTO.

VISCOSIDAD : La finalidad del método y equipo son los mismos que los detallados anteriormente para asfaltos fluidificados (RC) y (MC).

PUNTO DE INFLAMACION : La finalidad, método y equipo son los mismos que los indicados para cementos asfálticos.

DESTILACION : La finalidad, método y equipo son los indicados para asfaltos fluidificados, con la única diferencia de que la cantidad de disolvente destilado solo es medida para 360°C, ya que en estos productos la velocidad de evaporación es muy lenta y para fines prácticos no interesa conocer su variación, ya que no son capaces de curar como los asfaltos fluidificados (RC) ó (MC).

FLOTACION : Este es un ensayo de viscosidad modificado el cuál proporciona información acerca de la consistencia, debido a que el residuo es muy blando para ser sometido a la prueba de penetración y de volúmen muy pequeño para ser sometido a el ensayo Saybolt-Furoil ó de viscosidad cinemática. La prueba se realiza colocando un tapón de residuo asfáltico solidificado por enfriamiento a 5°C en el orificio del fondo de un flotador el cuál es colocado en un recipiente con agua a 50°C, midiendose el tiempo en que el agua penetra a través del tapón a el flotador, la prueba se especifica en los métodos AASHO T 50 y ASTM D 139.

CONTENIDO DE HUMEDAD : Se coloca en una retorta un volúmen determinado de asfalto, el cuál es mezclado con un disolvente tipo nafta.

La retorta tiene un condensador de reflujo que descarga a un colector graduado, se aplica calor a la retorta escapando el vapor de agua siendo este condensado y recogido en el colec-

tor, en el cuál el agua es medida y expresada como porcentaje de volúmen de mezcla original, el equipo y procedimiento de prueba se detallan en los ensayos AASHO T 55 y ASTM D 95.

ASFALTO RESIDUAL DE PENETRACION 100 : Debido a la baja velocidad de curado de los asfaltos SC, pueden ó nó alcanzar una penetración de 100, por lo que en esta prueba se determina la cantidad de solventes que deben de perder para lograrla. Esta prueba proporciona un residuo sobre el cuál pueden efectuarse los ensayos normalizados para cementos asfálticos. El ensayo se lleva a cabo calentando una muestra de asfalto líquido SC a una temperatura de 250-260°C manteniendola constante hasta que pierda suficientes volátiles para alcanzar una penetración de 100, determinandose el porcentaje en peso del cemento asfáltico restante, fijandose para cada tipo de asfalto líquido SC proporciones mínimas de este residuo, la prueba se especifica en los métodos AASHO T 56 y ASTM D 243.

DUCTILIDAD : Es la obtenida ensayando el asfalto residual de penetración 100.

SOLUBILIDAD : La finalidad, método y equipo son los mismos que los mencionados para cementos asfálticos.

PESO ESPECIFICO : La finalidad, método y equipo son los mismos que los mencionados para asfaltos fluidificados.

PRUEBAS REALIZADAS A LAS EMULSIONES ASFALTICAS.

VISCOSIDAD : La finalidad, método y equipo son los mismos -- que los mencionados anteriormente para asfaltos fluidificados, la viscosidad de una emulsión es la valoración de sus propiedades de flujo y no tiene relación con la viscosidad del asfalto disperso, la viscosidad queda condicionada principalmente por la proporción de asfalto presente en la emul-

sión y por la distribución del tamaño del glóbulo, la viscosidad de una emulsión debe ser lo suficientemente baja para poder regarla mediante petrolizadoras convencionales, pero al mismo tiempo deberá ser lo suficientemente viscosa para no escurrirse no en la carretera durante el riego ni de la superficie de las partículas durante el mezclado, la prueba se describe en los métodos AASHO T 59 y ASTM D 244.

RESIDUO DE DESTILACION : Se usa para determinar las proporciones de asfalto y agua, asimismo para obtener el asfalto puro para su ensayo, generalmente se usa el ensayo Saybolt-Furol, el procedimiento es el mismo que el usado para asfaltos fluidificados, las diferencias están en el material de la retorta, que en este caso es de hierro, y en que son usados quemadores anulares en lugar de mechero bunsen, la prueba se detalla en el método AASHO T 59 y ASTM D 244.

SEDIMENTACION : Cuando se deja en reposo un depósito de emulsión asfáltica, se puede presentar el fenómeno de sedimentación, el cuál puede ser medido por medio de la prueba de sedimentación que consiste en colocar una muestra de emulsión-asfáltica en un cilindro graduado, dejándolo reposar durante cinco días, al término de los cuales es medido el contenido de asfalto entre el fondo y la superficie de la muestra, la prueba se detalla en los métodos AASHO T 59 y ASTM D 244. Si antes de aplicar una emulsión se puede redispersar el sedimento por agitación, la emulsión puede usarse satisfactoriamente.

DEMULSIBILIDAD : Nos indica la velocidad a la cuál la emulsión romperá, al extenderse en películas delgadas sobre el terreno ó los áridos, la prueba se realiza mezclando la emulsión con una solución de cloruro cálcico y agua, el cuál coagula ó flocula los pequeños glóbulos de asfalto presentes en

la misma, después de esto la mezcla es tamizada para determinar la cantidad de asfalto separada de la emulsión.

En el ensayo de emulsiones de rotura rápida se usa una solución débil de cloruro cálcico, empleándose para las de rotura lenta una solución más concentrada, la concentración de la solución así como la descripción de la prueba se describen en los métodos AASHO T 59 y ASTM D 244.

**TAMIZADO :** Tiene como finalidad determinar los glóbulos de tamaño mayor al medio, este ensayo se puede considerar como complemento de la prueba de sedimentación, ya que la velocidad a la cuál los glóbulos se sedimentan depende bastante -- del tamaño de los glóbulos de asfalto, los glóbulos grandes pueden no ser identificados en el ensayo de sedimentación, -- sobre todo cuando la diferencia de peso específico entre el asfalto y agua es pequeña y la sedimentación no se logra con la misma facilidad que cuando la diferencia de pesos específicos es más marcada, la prueba consiste en hacer pasar una muestra representativa de la emulsión a través del tamíz número 20, lavandose después el tamíz y el asfalto retenido -- con una solución diluída de oleato sódico y posteriormente con agua destilada, una vez lavado el tamíz y el asfalto se secan en estufa y se determina la cantidad de asfalto retenido, la prueba se detalla en los métodos AASHO T 59 y ASTM -- D 244.

**MEZCLADO CON CEMENTO :** las emulsiones estables deberán presentar estabilidad química y mecánica suficiente en cualquier mezcla de agregado, incluyendo mezclas con gran proporción de finos, los cuales juegan un papel importante ya que aceleran el tiempo de rotura de la emulsión, por lo que en mezclas con materiales finos y áridos con polvos se emplean emulsiones de fraguado lento, las cuales normalmente no son afectadas por el ensayo de demulsibilidad, por lo que tienen que ser sometidas a el mezclado con cemento. La prueba con--

siste en mezclar una muestra de emulsión asfáltica con cemento portland de gran finura de molido, a continuación y con ayuda de agua se hace pasar la mezcla a través de el tamiz número 14, determinandose la cantidad de material retenido en el tamiz, el procedimiento se detalla en los métodos --- AASHO T 29 y ASTM D 244.

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO : Los ensayos que se realizan sobre el residuo de la destilación son los de penetración, solubilidad y ductilidad descritos anteriormente para los cementos asfálticos.

PESO ESPECIFICO : La finalidad, método, y equipo son los mismos mencionados anteriormente para asfaltos fluidificados.

A continuación se presentan unas tablas con las especificaciones para cada producto asfáltico usado en pavimentación.

TABLA I - I ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS

Características	METODO DE ENSAYO AASHO	METODO DE ENSAYO ASTM	T I P O S				
			INDUSTRIALES Y ESPECIALES	P A V I M E N T A C I O N			
Penetración 25°C, 100 gr. 5 seg.	T-49	D-5	40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad a 135°C Superficial, SPF Apéndice, centistokes.	-	E-102 D-445	120+ 240+	100+ 200+	85+ 170+	70+ 140+	50+ 100+
Punto de inflamación (vaso abierto) estelada, °C	T-48	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada, Penetración después del ensayo, 25°C 100 gr. 5 seg., % de la original	T-179 T-49	- D-5	- 52+	- 50+	- 45+	- 42+	- 37+
Porosidad: A 25°C, cms. A 135°C, cms.	T-51 -	D-113 -	100+ -	100+ -	100+ -	60+ -	- 60+
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	T-44*	D-4*	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+
Condiciones generales							

El asfalto se preparará por destilación del petróleo. Se  
rá uniforme en su naturaleza y no formará espuma al ca-  
lentarlo a 177°C.

\* Salvo que se emplee tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento 1° I-  
del método AASHO, 144, o el n° 1 del Método ASTM D-4.

TABLA I - E FECTOS DE LOS TIPOS PARA CEMENTOS ASALITON

CARACTERÍSTICAS	M 1000 M 1500 M 2000 M 2500	M 1000 M 1500 M 2000 M 2500	IMPUREZA EN CENizas MILIMETROS	E F E C T O S			
				P A V I M E N T A C I O N			
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	1450	1850	2400	60-70	80-100	120-150	200-300
Resistencia a tracción	-	1000	1500	1500	200	300	500
Resistencia a flexión	-	1000	1500	2000	1700	1400	1000
Coeficiente de dilatación térmica (10 <sup>-6</sup> )	1.12	1.05	1.15	1.05	1.05	1.05	1.05
Intacto en agua en película delgada	1.05	1.05	1.05	-	-	-	-
Penetración de agua del concreto (25 x 25 x 100 grs.) a expensas de la arcilla	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Dureza (Mohs)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Resistencia a la abrasión	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Estabilidad en C <sub>60</sub> H <sub>120</sub>	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Condiciones generales	El asfalto se preparó por destilación del petróleo. Se utilizó en su naturaleza y no sufrió espesa al carbonarlo a 120°C.						

\* Salvo que se especifique lo contrario, de carbón en forma de polvo en lugar de carbón, el procedimiento A-15 del método ASTM, C-119, de la ASTM, C-119, de la ASTM.

TABLE 1-7. ESPECIFICACIONES PARA AVALUO CUANTITATIVO DE CARBONO RÁPIDO 660

Características	MÉTODO DE ANÁLISIS AAS-90	MÉTODO DE ANÁLISIS ASTM	C R A T O S					
			RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5
Punto de inflamación, vaso objetivo, °C	1-79	D-1490	-	-	26,7	26,7	26,7	26,7
Viscosidad Fines a 25°C, cent.	1-12	D-88	75-100	-	-	-	-	-
a 50°C, cent.			-	75-150	-	-	-	-
a 90°C, cent.			-	-	100-200	250-500	-	-
a 87,7°C, cent.			-	-	-	-	125-250	50-500
Destilación:	1-78	D-992						
Residuo (porcentaje del total de la carga a °C):								
A 150°C			10*	10*	-	-	-	-
A 175°C			55*	50*	10*	25*	8*	-
A 200°C			77*	70*	65*	75*	50*	25*
A 225°C	90*	88*	82*	85*	80*	70*		
Residuo de destilación a 200°C, porcentaje en volumen por diferencia			10*	10*	17*	15*	30*	
Ensayos sobre el residuo de destilación:								
Densidad, 25°C, 100 gr./3 cc.	1-39	D-155	80-120	80-120	90-120	80-120	80-120	
Densidad, 25°C, cm.	1-41	D-115	100*	100*	100*	100*	100*	
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	1-42*	D-1*	99,5*	99,5*	99,5*	99,5*	99,5*	
Condiciones generales			El material no contendrá agua.					

\* Salvo que se especifique tetracloruro de carbono como disolvente en líneas de cultivo de carbono, el procedimiento n° 1, del Método AAS-90 T-91, o el n° 1 del Método ASTM D-4.



TABLE 1-3 ESPECIFICACIONES PARA ANILINO DIFENILAMINO DE CARGO MEDIO (S.F.)

Característica	MÉTODO DE EN-SAYO ASTM	MÉTODO DE EN-SAYO ASTM	C O N T E N I D O					
			20-0	20-1	20-2	20-3	20-4	20-5
Punto de inflamación, vaso abierto, °F	1-79	D-1119	67,8	67,8	65,6	65,6	65,6	65,6
Viscosidad Pascal a 25°C, segs.			75-150	-	-	-	-	-
" " a 50°C, segs.			-	75-150	-	-	-	-
" " a 65°C, segs.	1-12	D-89	-	-	1,0-2,00	750-900	-	-
" " a 80°C, segs.			-	-	-	-	1,50-250	600-700
Destilación:								
Residuo (porcentaje del total destilado a 100°C):								
A 25°C			20-	20-	10-	5-	0	0
A 200°C	1-78	D-207	65-70	75-85	15-25	5-20	0-1	20-
A 350°C			75-90	70-90	60-80	50-85	10-20	20-70
Residuo de la destilación a 100°C, porcentaje en volumen por diferencia			20-	30-	60-	70-	20-	30-
Encuentro sobre el residuo de destilación:								
Penetración, 25°C, 100 psi 5 segs.	1-29	29	70-100	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100
Viscosidad, 75°C, cm <sup>2</sup> /seg	1-21	D-117	100	100	100	100	100	100
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	1-4439	D-12	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+
Condiciones generales			El material no contendrá agua.					

A Si la penetración del residuo es superior a 200 y la viscosidad a 75°C es inferior a 100, el material será aceptable si su viscosidad a 75°C es inferior a 100.

Salvo que se emplee tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n° 1 del Método ASTM 1-4 el n° 4, o 1 del Método ASTM Dos.

TABLA I -1 ESTIPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CERAZO LUNDO (5%)

Características	MÉTODO DE EN- SAYO AASHTO	MÉTODO DE EN- SAYO ASTM	C O N D I C I O N E S					
			80-80	90-1	80-2	80-3	90-4	90-5
Punto de inflexión vaso abierto °C	1-48	D-92	65,6*	55,6*	79,5*	93,3*	107,7*	121,1*
Viscosidad (mPa.s) a 25°C, seg.			25-150	"	"	"	"	"
" a 50°C, seg.			"	75-150	"	"	"	"
" a 90°C, seg.	1-71	D-88	"	"	300-200	250-500	"	"
" a 97°C, comp.			"	"	"	"	175-150	50-600
Agua	1-75	D-95	0,2*	0,5*	0,0	0,0	0,0	0,0
Destilación:								
Total destilado a 300°C.	1-78	D-102	10-30	20-30	5-25	2-15	10-	5-
Residuo del frastador sobre el residuo de destilación a 50°C, seg.	1-99	D-119	75-100	70-100	25-100	50-125	60-150	75-200
Residuo no-líquido de penetración 100,1			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
cantidad sobre residuo a 50°C, seg. de penetración 100,1 a 25°C, res.	1-31	D-123	100*	100*	100*	100*	100*	100*
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	1-44*	D-94*	99,5*	99,5*	99,5*	99,5*	99,5*	99,5*

\* Salvo que se emplee tetracloruro de carbono con dióxido de azufre en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento #1 del método AASHTO 1-44, o el #1 del Método ASTM D-94. Si el material se cumple las condiciones de solubilidad será aceptable si la solubilidad en sulfuro de carbono es 99,5% y la proporción de betún mineral soluble en sulfuro de carbono soluble en tetracloruro de carbono es 99,5%.

TABLA I -5 ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA EMPLEOS DE ANÁLISIS A-

Características	MÉTODO DE IN- SAYO ASBIO	MÉTODO DE IN- SAYO ANP*	C O N T A D O			
			Ruptura rápida		Ruptura media	
			30-1	30-2	30-3	30-4
ENSAYOS SOBRE LA FRACTURA						
Viscosidad (seg. A 70-1, seg. A 50-1, seg.)			20-100	-	100*	20-100
Residuo de la destilación, sedimentación, % máx. 2			10	25-400	10	10
	1000	1000	10	62-600	10	10
			10	10	10	10
Insolubilidad:						
50 ml. de $Cl_2Ca$ , 0,02 N.			100	100	-	10
50 ml. de $Cl_2Ca$ , 0,02 N.			-	-	100*	-
Indicador (tratado en el punto n. 20) 1			0,100	0,100	0,100	0,100
Medida con ceramita 2			100	100	100	100
ENSAYOS SOBRE EL MÓDULO						
Penetración (seg. 10-1, 10-2, 10-3, 10-4, 10-5, 10-6)	1000	1000	100-200	100-200	100-200	100-200
2. Índice de módulo, 10-1, 10-2	1000	1000	10-10	10-10	10-10	10-10
Insolubilidad, 10-1, 10-2	1000	1000	100	100	100	100

\* Para algunos usos especiales, tales como emulsión, también a diferentes capas de sellado, puede preferirse un tipo más de penetración interior. En tales casos la penetración del resqueo (seg. 10-1) en el punto de ensayo no debe ser mayor que 50-100.

\*\* Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, en procedimientos n. 1 del Método ASBIO, 10-1, o el n. 3 del Método ANP, 10-1.

## II APLICACION EN PAVIMENTOS PARA CARRETERAS.

Los materiales bituminosos son usados en pavimentos para carreteras en formas muy variadas, siempre combinados con materiales petreos en proporciones adecuadas a cada caso particular.

Las diferentes clases de caminos, construídos bajo tan diferentes condiciones han dado lugar a diversas combinaciones de materiales bituminosos con agregados, las cuales han dado por resultado pavimentos de diferentes calidades que van desde mezclas sencillas y económicas como son las carpetas de riegos, hasta concretos asfálticos de la más alta calidad, construídos con un control riguroso, tanto de los procedimientos constructivos como de la calidad y cantidad de los materiales.

El comportamiento de un pavimento bituminoso depende fundamentalmente de la adherencia que exista entre las partículas de agregados y el aglutinante, la adherencia es un fenómeno superficial que depende basicamente de el contacto íntimo de las superficies de las partículas con el ligante y de la afinidad de las superficies de los dos materiales, debido a que los agregados se encuentran en forma sólida, para lograr un contacto íntimo es necesario que el ligante -- tenga una consistencia líquida en el momento del mezclado -- para así lograr un mejor mojado de los agregados, el cuál -- depende de la viscosidad y de la tensión de la superficial del ligante, ya que a menor viscosidad se tiene un mayor poder de mojado y a menor tensión superficial habrá menos resistencia del líquido a mojar la superficie.

El agua tiene una tensión superficial grande, pero debido a que su viscosidad es muy baja comparada con los ligantes asfálticos usados tendrá mayor poder de mojado que cualquiera de estos últimos.

Las características electroquímicas dan a ciertos agregados mayor afinidad al agua que a los asfaltos, aquellos que pre

sentan alta afinidad al agua se denominan "Hidrofilicos", - entre ellos tenemos a los agregados silicosos como la cuar-cita, en contraste existen otros tipos de agregados los cua- les tienen muy poca afinidad con el agua por lo que son co- nocidos como "Hidrofobicos", este grupo está constituido bá- sicamente por agregados de origen calcareo como los basal- tos, calizas y dolomíticas, si la superficie del agregado - petreo presenta alta afinidad con el agua, esta es atraída - a la superficie de la partícula desalojando la película de - asfalto y destruyendo la adherencia del ligante, lo que pro - vocará que los agregados finos queden expuestos al agua, -- por lo que aquellos sean susceptibles sufrirán expansiones , las cuales destruirán la estructura del pavimento.

Independientemente del tipo de pavimento de que se trate se debe de tener presente que el comportamiento depende de las propiedades del ligante, del agregado y de la unión que --- existe entre ambos.

El tipo de pavimento asfáltico usado depende de las solici- taciones a las que será sometido y ante las cuales deberá - mostrar un comportamiento satisfactorio estas sollicitacio- nes son las impuestas por el tránsito y las debidas a las - condiciones locales, como son clima, humedad y temperatura - entre otras.

Las sollicitaciones impuestas por el tránsito comprenden, la magnitud y frecuencia de las cargas rodantes, así como el - tipo de las mismas, este factor es muy importante y debe -- ser tomado en cuenta al realizar los estudios de factibili- dad de la obra, ya que en algunas regiones se planean cami- nos para un cierto tráfico y debido a el rápido desarrollo - de la zona este es superado tanto en la frecuencia como en - la magnitud de las cargas, otras veces el camino queda so- brediseñado al no alcanzarse los niveles de tráfico para el proyectados, pensando en esto conviene realizar un estudio - de construcción por etapas, el cuál ha dado buenos resulta- dos si es convenientemente planeado, ya que si las condicio

nes del tránsito lo ameritan se puede mejorar basándose en las condiciones reales.

El otro tipo de solicitaciones a que son sometidos los pavimentos son las impuestas por las condiciones locales como son clima, humedad, temperatura, estos factores tienen efectos negativos si no son tomados en cuenta al seleccionar -- los materiales que formarán parte de la estructura del pavimento. La carpeta, las capas de base y la subrasante no deben de quedar expuestas a la humedad excesiva, ya que la falla de cualquiera de las partes de la estructura puede ocasionar la falla del pavimento, ya sea estructural ó de servicio.

En los pavimentos bituminosos el agua destruye la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, este problema se presenta especialmente en las mezclas que contienen agregados "hidrofilicos".

Al construir una carpeta asfáltica, el agua que antes se -- evaporaba al tener una superficie libre va a ser retenida, -- por lo que cuando sea necesario, se le deberá proporcionar un buen drenaje para que abandone el cuerpo de la estructura. Se debe de poner especial interés al agua que pudiera -- subir por capilaridad a la carpeta, esto se logra mediante el control de los agregados finos que son los que facilitan este fenómeno.

La impermeabilidad de la carpeta también es muy importante, ya que si existen grietas en la superficie el agua penetrará dañando la estabilidad del pavimento.

La temperatura afecta el comportamiento de los materiales -- bituminosos, por lo que se debe utilizar un producto asfáltico adecuado a las temperaturas a que se encontrará sujeto el pavimento.

Las temperaturas altas disminuyen la viscosidad de los asfaltos y las temperaturas bajas la aumentan, en cualquiera de los dos casos el comportamiento de el asfalto se verá modificado, pudiendose volver duro y quebradizo a bajas tempe

raturas ó demasiado flexible ó poco viscoso con el calor. La variación de las condiciones locales hacen necesario elegir el material asfáltico que mejor se adapta a cada caso particular, para poder de este modo obtener el máximo beneficio en el uso de los productos asfálticos.

A continuación hablaremos de los usos específicos de los -- productos asfálticos en los diferentes tipos de pavimentos, así como de las etapas de la pavimentación en que son usados.

**ESTABILIZACION DE SUELOS :** Los materiales bituminosos han sido empleados con éxito para estabilizar tierras y arenas y para impermeabilizar materiales graduados como lo son las bases tratadas que contienen materiales plásticos finos.

Existen suelos con suficiente cohesión y fricción interna para resistir satisfactoriamente el tránsito de vehículos, siempre que su contenido de humedad sea bajo, pero si por absorción se incrementa esta humedad su estabilidad disminuye considerablemente, es en estos suelos donde se aprovechan las propiedades impermeabilizantes de los asfaltos para mantener su poder soportante natural durante todo el año. En los suelos sin suficiente cohesión y fricción interna, se aprovechan las propiedades cohesivas de los asfaltos para proporcionarles la cohesión necesaria.

Los productos asfálticos que más han sido usados son los tipos de curación rápida, curación mediana, curación lenta y emulsiones asfálticas.

El tipo y la cantidad de asfalto así como el mezclado uniforme son los requisitos básicos para una buena estabilización.

**RIEGO DE IMPREGNACION O DE IMPRIMACION :** Tiene como función impregnar la superficie de la base, penetrando a través de ella hasta una profundidad determinada, la cuál varía con la textura de la misma, especificandose valores mayores de 4 mm.

La impregnación crea una transición entre la carpeta asfál-

tica y la base.

El riego actúa como adherente, así también como sello de junta entre la base y el nuevo pavimento, la viscosidad del asfalto usado, así como su cantidad por unidad de superficie varían de acuerdo a la textura de la base, usándose materiales asfálticos de baja viscosidad para que puedan ser absorbidos fácilmente.

El riego proporciona a la base mayor impermeabilidad, resistencia al intemperismo y a la abrasión, así como protección durante el tiempo que transcurra entre su terminación y la construcción de la carpeta o nuevo pavimento.

El tipo de producto asfáltico usado es generalmente asfalto rebajado de fraguado medio como son los FM-0 y FM-1, los cuales pueden ser regados en una ó dos aplicaciones. El tipo FM-0 se usa para bases cerradas y la cantidad usada varía generalmente entre 0.9 LT/M<sup>2</sup>. y 1.6 LT/M<sup>2</sup>.

El tipo FM-1 es usado para bases abiertas en cantidades que varían de 1.4 a 2.8 LT/M<sup>2</sup>, estas cantidades varían con el tipo de base a impregnar.

Se deberá especificar para cada tipo de base la cantidad de material por metro cuadrado y en caso de existir variaciones conveniente una disminución en lugar de un aumento ya que de esta manera cualquier cantidad no absorbida es tomada por el material del nuevo pavimento y la superficie no mostrará exudación la cuál es perjudicial ya que funciona como lubricante.

El riego se deberá aplicar por medio de una petrolizadora siempre y cuando el viento permita su aplicación uniforme, debiéndose realizar de preferencia a las horas más calurosas del día.

La impregnación no se debe realizar sobre superficies mojas ya que la presencia de agua no permitiría la adherencia de el producto asfáltico.

Cuando después del barrido se presente una superficie de textura muy cerrada y muy seca, se aconseja dar un riego li



gero de agua para desalojar el aire retenido principalmente por las partículas más finas y que impida que la aplicación del material asfáltico se realice en una forma satisfactoria, este riego de agua se dejará evaporar casi totalmente y una vez seca la superficie se aplicará el riego de impregnación, la superficie impregnada deberá presentar un aspecto uniforme y el material asfáltico deberá estar firmemente adherido.

Cuando el material asfáltico regado forme charcos, se quitará el exceso por medio de cepillos.

La superficie impregnada deberá cerrarse al tránsito hasta alcanzar el fraguado, especificandose un tiempo de 24 horas siguientes a la impregnación como mínimo, en caso de que -- por causas de fuerza mayor sea necesario abrir al tránsito la base impregnada antes de que transcurra el tiempo establecido, esta se cubrirá con arena fina y seca, la cuál será barrida para quitar las partículas sueltas antes de proceder a colocar la carpeta.

**RIEGO DE SELLO :** Cuando la carpeta de un camino se ha gastado ó agrietado de tal manera que el agua puede penetrar en la subrasante, se debe de aplicar un riego de sello, este riego también es usado para mejorar la superficie de rodamiento, la época del año en que se use el sello y las razones por las que se ponga dictan la clase de asfalto que deba usarse. Los cementos asfálticos calientes se usan solo en verano, cuando es necesario sellar una carpeta en tiempo frío, deberán usarse asfaltos rebajados, las propiedades de las superficies y el tamaño de las partículas del agregado a usarse tienen mucha influencia en la cantidad de asfalto necesario. Si se usa material poroso absorbente deberá tomarse en cuenta la introducción en el mismo de algunos componentes asfálticos.

En los últimos años se han utilizado mezclas de agregado fino (caliza, polvo de roca, escoria, cal y cemento portland)

y una emulsión de fraguado lento diluida, llamándoseles sellos de lechada ó morteros asfálticos.

**CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS :** Son las que se construyen mediante uno ó más riegos de productos asfálticos cubiertos sucesivamente con capas de material petreo- de diferentes tamaños, triturados ó cribados.

Estas carpetas pueden ser de uno y hasta cuatro riegos de productos asfálticos.

Las clases de asfaltos que se usan en estas carpetas oscilan del FR-0 al FR-5 y del FM-2 al FM-5. Se pueden utilizar --- emulsiones de varios grados, el grado que se use depende de la granulometría del agregado. En algunos casos se usan cementos asfálticos (de 150 a 300 de penetración). Si se da más de un riego, se usan agregados más gruesos para el primero y en los sucesivos se va reduciendo el tamaño del agregado . En épocas calurosas se usan FM-5, FR-5 y cementos asfálticos. Cuando se construyen en tiempo frio, se usan los rebajados menos viscosos y emulsiones asfálticas.

**MACADAM DE PENETRACION :** Bajo este término se conocen los pavimentos contruidos por capas sucesivas de piedra triturada y limpia, acomodadas manual ó mecánicamente que se apisonan y hacen resistentes por medio del acúñe y el roza --- miento de los fragmentos de piedra de menor tamaño que llenan los huecos dejados por las piedras mayores.

El macadam de los caminos actuales se mantiene unido por medio de un aglutinante asfáltico, el cuál además de cementar superficialmente las piedras forma una protección impermeable.

Las piedras que se usan en estos caminos asfaltados deben ser duras y angulares, el agregado no se debe quebrar ni -- pulverizar bajo el efecto del tránsito y las piedras deben acunarse para producir un pavimento fuerte, la piedra quebrada, la grava ó la escoria son excelentes agregados, lo -

contrario puede decirse de la grava natural redondeada ó la arena las cuales no deben usarse.

Las subrasantes ó sub-bases deben estar bien drenadas y compactas y la base debe de ser de calidad adecuada para evitar la penetración de la piedra usada en este pavimento.

**MEZCLAS ELABORADAS Y COLOCADAS EN FRIO ;** Se pueden preparar mezclas asfálticas frías en plantas móviles, mediante el mezclado sobre el camino ó en plantas estacionarias usando asfaltos rebajados ó emulsiones asfálticas, de viscosidad baja a media. El agregado usado es el mismo que el de las mezclas calientes.

Se usan asfaltos rebajados de FR-1 a FR-5 con los agregados de granulometría abierta, pero los de menos viscosidad FR-1 y FR-2 son los que más comunmente se emplean, pudiendose también usar FM-2 en algunos casos. Los rebajados de alta viscosidad FM-3 y FM-5 se usan con los agregados de granulometrías cerradas.

Las emulsiones también son usadas en la preparación de mezclas frías usandose generalmente la MS-2, la cuál se combina con agregados más gruesos que los que se emplean con los asfaltos rebajados, las mezclas frías hechas en planta pueden almacenarse en montones ó usarse inmediatamente estas mezclas endurecen al perder los solventes.

Las mezclas frías en plantas con emulsión aniónica presentan problemas si llueve fuerte, ya que fraguan rápidamente en tiempo caliente y seco pero despacio en condiciones húmedas y frías.

**MEZCLAS ELABORADAS Y COLOCADAS EN CALIENTE ;** Estas mezclas proporcionan los pavimentos de la más alta calidad, los cuales son elaborados en plantas estacionarias ó plantas centrales en las que se lleva un riguroso control tanto del aglutinante como de los agregados de los que se lleva un registro de calidad, cantidad y tamaños. En estas plantas los agregados y el asfalto son calentados a una temperatura aproximada a-

los 150°C, después de lo cual son mezclados hasta lograr -- una mezcla homogénea, la cual es transportada y colocada en el lugar estando aún caliente, realizando inmediatamente la compactación de la misma.

Existe una gran variedad de mezclas calientes hechas en planta, en las cuales son usados cementos asfálticos con una penetración que varía de 40 a 300 y asfaltos rebajados de --- elevada viscosidad como FR, FM y FL-4 y 5. Las proporciones con referencia a la clase y granulometría del agregado y a la cantidad de asfalto varían considerablemente y deben fabricarse y controlarse cuidadosamente con el fin de obtener la estabilidad adecuada en el camino.

**AGREGADOS :** Como se mencionó anteriormente el comportamiento de un pavimento asfáltico depende de las propiedades del ligante, del agregado y de la unión que existe entre ambos. Los agregados constituyen generalmente el 95% del volumen - y del 87 al 96% en peso del pavimento, siendo el transporte debido a su alto costo un factor re restrictivo en la elec--- ción de los mismos.

Los agregados usados con mayor frecuencia son piedra y escoria partidas, grava triturada ó natural, arena y filler mineral.

Dependiendo de el grado de contaminación con polvo ó con materia orgánica los materiales pueden o nó ser sometidos a el proceso de lavado.

Según las especificaciones de la SAHOP los materiales re--- quieran o nó lavado deben de ser de los tipos indicados a - continuación :

- a) Materiales que requieren ser cribados.
- b) Materiales que requieren ser triturados parcialmente y - cribados.
- c) Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados.

En los pavimentos bituminosos el control de los agregados es tan importante como el de los asfaltos, por lo que a continuación mencionaremos las principales propiedades que deben tomarse en cuenta al seleccionarlos para garantizar un comportamiento adecuado, estas propiedades deben ser determinadas antes de seleccionar los agregados y son las mencionadas a continuación :

Granulometría.  
Resistencia al desgaste.  
Sanidad ó estabilidad.  
Pureza ó limpieza.  
Fricción interna.

GRANULOMETRIA.- El tamaño de las partículas de agregado usadas varía con el tipo de mezcla, siendo necesario llevar un control de la granulometría, el cuál se logra mediante la acción del tamizado a través de mallas de aberturas cuadradas, en el cuál se determinan los porcentajes en peso de las partículas que son retenidos en las diferentes mallas con respecto al peso total de la muestra usada en la prueba. La composición granulométrica así obtenida representa la distribución de los diferentes tamaños que componen el material granular, esta propiedad hace que las mezclas elaboradas sean clasificadas de acuerdo a su distribución de tamaños en "mezclas abiertas" y "mezclas cerradas", teniendo las primeras uno ó dos tamaños de material y las últimas una distribución uniforme de los mismos, por lo que tienen una relación de vacíos menor.

Los agregados usados en la construcción de pavimentos son clasificados según su tamaño en :

- a) Materiales Gruesos : Son los retenidos en el tamíz No.8, generalmente en el caso de carpetas asfálticas son menores de una pulgada ó del 75 del espesor de la carpeta.

b) Materiales Finos : Son los que pasan a través del tamiz No. 8.

c) Relleno ó filler: Son los que pasan a través del tamiz No. 200.

La granulometría de los agregados varía según el tipo de pavimento del que vayan a formar parte, así como de la capa integrante del mismo en la cuál vayan a ser usados.

Usandose desde materiales muy finos en las capas de superficie ó de sello, hasta materiales gruesos en carpetas y bases.

**RESISTENCIA AL DESGASTE :** Los agregados deben de tener suficiente dureza ó tenacidad para soportar las fuerzas a las que serán sometidos, tanto en la construcción como en condiciones de operación del camino, estas fuerzas son principalmente el planchado ó compactación durante la construcción y la abrasión provocada por el tránsito de vehículos, lo que puede originar en el caso de no haber usado materiales adecuados la fractura de los mismos, así como la pulimentación de los que se encuentran en la superficie de rodamiento, lo que hará resbaladizo el pavimento. Existen dos pruebas para determinar la dureza de los agregados.

Prueba de abrasión "Los Angeles". Una muestra de agregado es introducida junto con esferas de hierro de peso y diámetro determinado a un cilindro de acero de dimensiones determinadas, el cuál tiene un entrapamiento de acero que sobresale radialmente hacia adentro, el cilindro se haya montado sobre un eje horizontal alrededor del cuál y una vez que la muestra y las esferas de hierro han sido introducidas se hará girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. después se procede al tamizado de la muestra a través del tamiz No. 12 deseandose la porción que pasa, la diferencia entre los pesos originales y finales de la muestra de prueba se expresa como porcentaje de la muestra original y se conoce como "porcentaje de desgaste", especificandose valo-

res máximos de este porcentaje los cuales varían con el tipo de pavimento ó capa del mismo en el cuál vayan a ser empleados los agregados. La prueba se detalla en los métodos-AASHO T96 y ASTM C131.

Prueba de abrasión Deval. El equipo y procedimiento es similar al de la prueba "los angeles" solo que en este caso el eje horizontal del cilindro está montado a 30 grados sobre su eje horizontal, el agregado grueso se coloca junto con las esferas y se hace girar 10,000 veces a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. tamizando posteriormente la muestra a través del tamíz No. 12 y determinando su "porcentaje de desgaste".

Entre menor sea el porcentaje de desgaste, tendremos un material de mejores características, normalmente se dan límites máximos para dicho porcentaje los cuales son menores en las capas más próximas a la superficie de rodamiento, ya -- que en las proximidades de esta las sollicitaciones son mayores por lo que se requiere un agregado más duro.

SANIDAD O ESTABILIDAD : Tanto los agregados gruesos como -- los finos deben ser resistentes a los agentes atmosféricos, esta propiedad se puede determinar sometiendo una muestra -- de material a inmersión en sulfato de sodio ó sulfato de -- magnesio seguida por un escurrido y secado de horno, el líquido penetra en los huecos de las partículas y al secarse -- crea presiones, que dividen a las mismas, la muestra de --- agregado es sometida a varios ciclos de inmersión y secado -- para ser sometida posteriormente a una prueba de granulometría, la cuál se compara con la granulometría de la muestra original y se determinan los porcentajes de pérdida de peso para cada fracción granulométrica, el total de estos valo-- res es el porcentaje de pérdida resultado del ensayo, el -- procedimiento se describe en los métodos AASHO T104 y ASTM-C88.

La prueba de congelación y descongelación tiene el mismo --

fin que la del sulfato de sodio, solo que en este caso los ciclos son de congelación, pudiendose usar para suministrar información e indicar si los materiales requieren una investigación posterior a su solidéz, pero no debe utilizarse como una base arbitraria de rechazo. El procedimiento se describe en el método AASHO T103-42.

FRICCION INTERNA : Es la resistencia al deslizamiento entre partículas debido a la acción de las cargas rodantes, depende de la rugosidad de la superficie de las mismas así como de las áreas de contacto entre ellas, cuando la variación de tamaños es uniforme se tienen mayor número de puntos de contacto, por lo que se tendrá una mejor distribución de los esfuerzos, los materiales triturados y las escorias de alto horno debido a sus superficies más irregulares y ásperas presentan un gran acúñe y una fricción interna alta, -- que es mucho mayor que en los boleos, gravas y arenas naturales, las cuales tienen una superficie más lisa con un coeficiente de fricción bajo.



### III.- PLANTAS DE FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS.

La necesidad de construir pavimentos de calidad adecuada aumenta día con día, lo que origina una demanda cada vez mayor de mezclas asfálticas calientes, las cuales deberán ser fabricadas con controles adecuados y en volúmenes que respondan a una necesidad creciente.

Esto ha provocado que el uso de instalaciones mezcladoras se generalice, pudiendo lograr en ellas mezclas de superior calidad con controles adecuados y en volúmenes importantes. Las instalaciones mezcladoras modernas han llegado a tal grado de automatización y perfección mecánica que la producción de mezclas se realiza en forma casi automática controlando el proceso en todos sus pasos por controles electrónicos, hidráulicos y dispositivos automáticos, un solo hombre puede iniciar el proceso y vigilar las operaciones de producción.

Las ventajas que se tienen al usar estas instalaciones mezcladoras son entre otras las siguientes :

- a) Los aridos pueden dosificarse, secarse y calentarse exactamente, garantizando que todas las partículas queden completamente cubiertas con una capa uniforme de asfalto.
- b) La cantidad de asfalto se puede controlar exactamente -- así como su temperatura para lograr una viscosidad adecuada para un mezclado perfecto.
- c) Se pueden fabricar grandes volúmenes y las plantas pueden ser transportadas a lugares en donde se justifique su operación.
- d) La fabricación de mezclas es relativamente independiente de las condiciones atmosféricas, ya que los agregados -- pueden ser secados.
- e) Se obtienen mezclas homogéneas las cuales son de fácil colocación mediante el uso de terminadoras ó motoconformadoras de base larga.

El procedimiento para la elaboración de mezclas asfálticas- en instalación mezcladora consta básicamente de los siguientes pasos.

- Secado y calentamiento de los áridos.
- Dosificación de los mismos.
- Calentamiento y dosificación del asfalto.
- Mezclado uniforme de ambos materiales.

Las plantas estacionarias se clasifican en dos tipos.

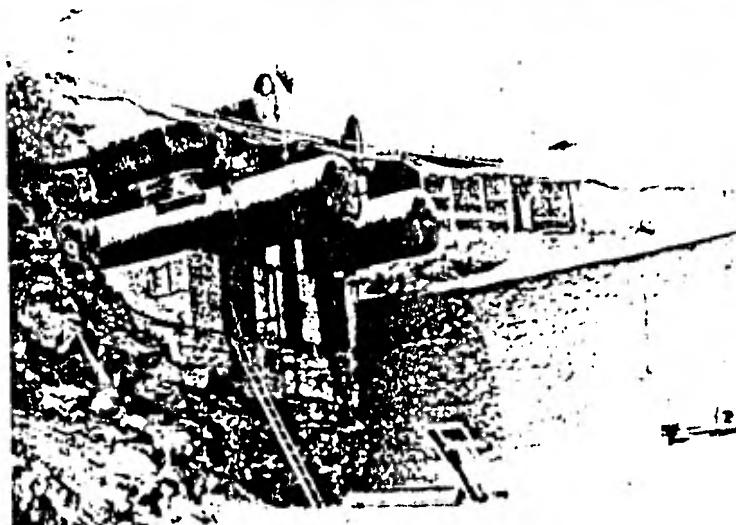
- a) Plantas de tipo continuo.
- b) Plantas de tipo discontinuo.

PLANTAS DE TIPO CONTINUO : En estas los materiales suministrados por mecanismos transportadores regulables alimentan-continuamente a la mezcladora, la cuál descarga ininterumpidamente a los camiones ó a la tolva de almacenamiento.

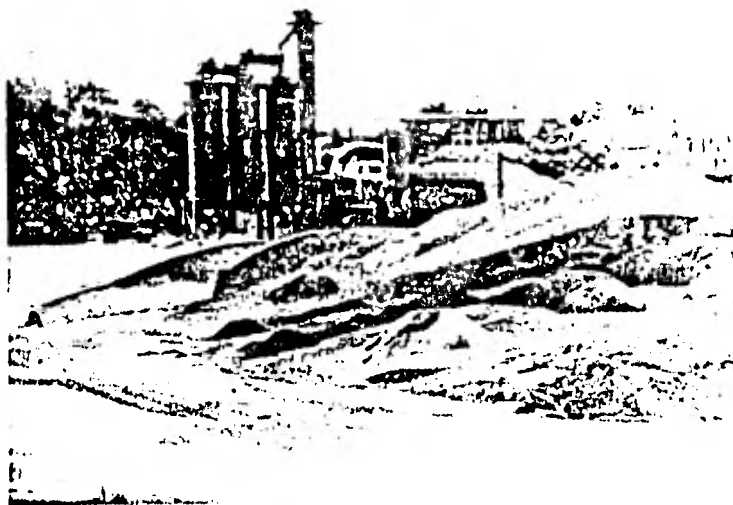
PLANTAS DE TIPO DISCONTINUO : En esta planta el ciclo de --operaciones comprende la pesada de los materiales por separado, el mezclado y la descarga sobre los vehículos de ---transportación externa, después de lo cuál inicia nuevamente el ciclo.

Los dos tipos de plantas producen mezclas de muy buena calidad, la selección entre ambas depende del volumen requerido. Para poder producir sin interrupciones es necesario tener -almacenada una cantidad suficiente tanto de materiales pé--treos como de asfalto, ya que en caso de tener algún proble--ma en el suministro puede detenerse la producción, esta ---existencia de materiales crea la necesidad de un adecuado -almacenamiento, por lo que en la planificación de la planta se deben de considerar los espacios y los lugares necesa---rios.

El material pétreo se debe de almacenar teniendo cuidado de evitar la segregación por tamaños así como la mezcla de los materiales, por lo que es conveniente separar los materia--



Fotografía IV-1. Depósitos de almacenamiento de asfalto de una instalación fija, de los cuales el aglutinante es bombeado a la instalación mezcladora.



Fotografía IV-2. En esta vista parcial de una instalación-mezcladora fija podemos observar al almacenamiento del material pétreo, el cuál está separado por medio de muros para evitar el mezclado de los diferentes tamaños.

les en tolvas ó separando los montones por medio de elementos que cubran toda la altura y resistan las fuerzas originadas por el empuje, el material pétreo más que en montones tratará de almacenarse por capas para evitar la segregación. El asfalto se almacenará en depósitos que tengan dispositivos adecuados para su calentamiento y bombeo a la instalación mezcladora, el bombeo se realiza mediante bombas de impulsión ó mediante presión de aire, el sistema debe contar con dispositivos para la recirculación a través de tubos de retorno para evitar el enfriamiento ó solidificación del asfalto contenido en los tubos durante la noche ó en el tiempo en que momentaneamente se detenga la producción.

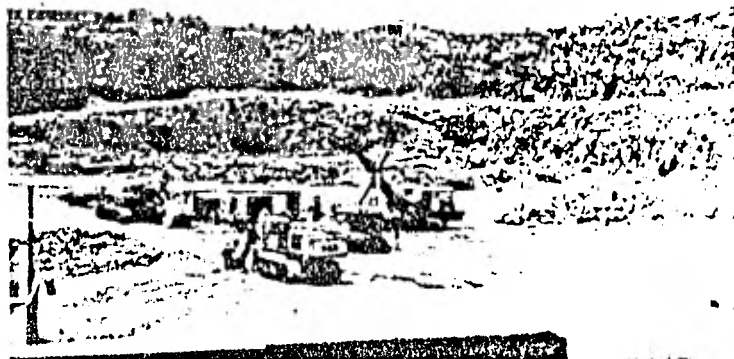
EL PROCESO LLEVADO A CABO PARA FABRICAR MEZCLAS EN CALIENTE ES EL SIGUIENTE :

Los agregados son almacenados según su tamaño en tolvas recibiendo una primera clasificación, generalmente son cuatro las tolvas usadas, las cuales tienen compuertas regulables en el fondo, por medio de estas compuertas se dosifica el material pétreo a un transportador de banda y posteriormente es conducido por medio de un elevador de cangilones a la entrada del secador, el cuál tiene un empañillado para evitar el paso de tamaños excesivos y de materias extrañas.

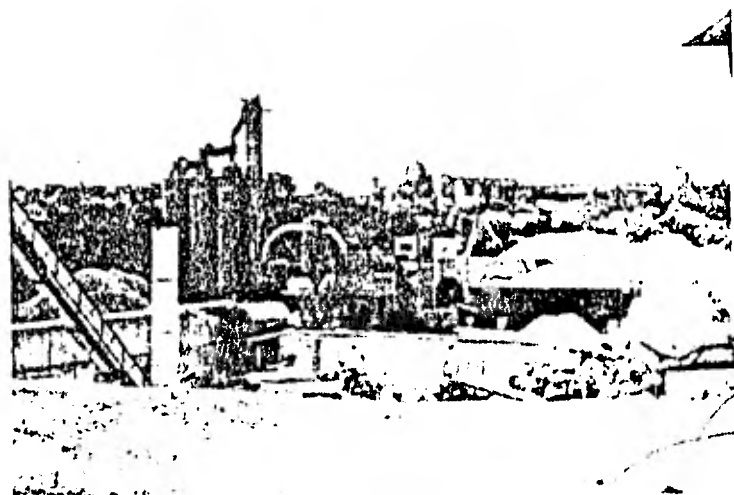
Los áridos penetran al secador, el cuál gira y está provisto de paletas interiores que conducen el material hacia la parte superior del secador y lo dejan caer a través de la llama y de los gases calientes obteniendo el máximo efecto de secado.

El secador tiene un ventilador que produce la corriente de aire necesaria para la combustión y para que los finos sean conducidos a el colector de polvo, el cuál los recupera e incorpora a la mezcla cuando es necesario, evitando con esto la contaminación del ambiente.

El material caliente pase a través de tamices vibratorios que lo separan según su tamaño y lo clasifican en las tol-



Fotografía No. IV-3. Banco de materiales pétreos usados en la elaboración de mezclas asfálticas, el equipo usado depende fundamentalmente del volúmen que requiere la planta.



Fotografía No. IV-4. Instalación mezcladora fija, este tipo de plantas son usadas en ciudades, en donde la demanda de mezclas asfálticas es grande y constante.

vas de material caliente.

A continuación es pesado y dosificado el material, para ser mezclado con el asfalto, hasta aquí el funcionamiento de la planta continua y discontinua son parecidos pero la forma de alimentar a la mezcladora las hace diferentes ya que en las plantas discontinuas se mide el agregado de todos los tamaños incluso el filler mineral por medio de una tolva de pesadas y la cantidad de asfalto por medio de una cubeta de asfalto calorifugada, mezclandose a continuación los materiales por medio de una mezcladora de ejes gemelos, depositando posteriormente la mezcla en camiones para su transportación la fig. IV-1 nos muestra una instalación mezcladora discontinua.

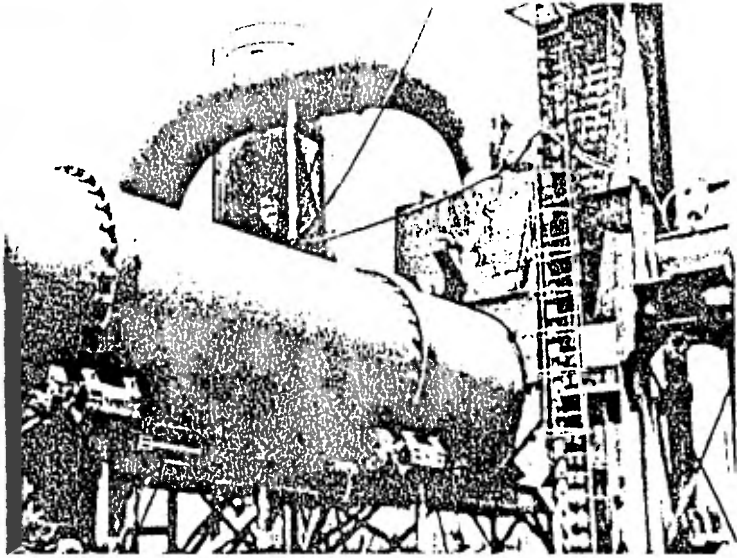
En las plantas continuas las compuertas individuales de las tolvas de materiales calientes dosifican exactamente el porcentaje de cada tipo de áridos necesario teniendo también un sistema de alimentación y medida de filler mineral, una bomba medidora conectada con los alimentadores de áridos dosifica adecuadamente el asfalto en la cámara de mezclado, el mezclador mide automáticamente la cantidad correcta de asfalto mezclado perfectamente con los áridos en un mezclador de ejes gemelos.

La tolva de almacenaje permite la continuidad de funcionamiento entre descargas sucesivas, evitando la segregación. La fig. IV-2 nos muestra una instalación mezcladora continua.

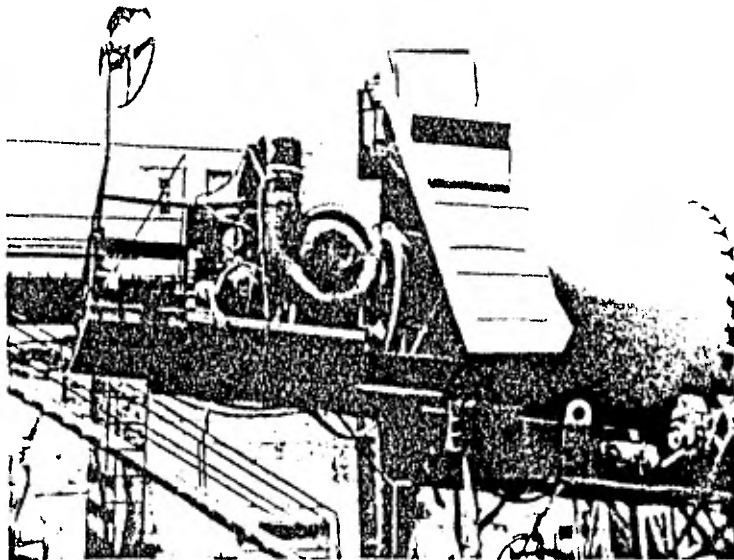
En los últimos años se ha tenido una evolución de los métodos y de los equipos para la producción de mezclas asfálticas.

Además de la planta básica, esta tendencia también ha afectado el equipo de producción auxiliar, desarrollando equipos para cumplir con otros requisitos más exigentes, tal como la necesidad de una mayor movilidad.

Debido a la naturaleza de la producción de asfalto de mezcla en tambor el sistema de alimentación en frío ha tenido-



Fotografía No. IV-5. Vista parcial del secador de una instalación mezcladora fija, en la que puede observarse también, el colector de polvo.



Fotografía No. IV-6. Se observa parte del quemador que produce la flama para secar los agregados, así como del ventilador que produce la corriente necesaria para la combustión en el tambor de secado.

una gran importancia, la ausencia de plataformas de reja vibratoria de varias filas y de las tolyas calientes se ha hecho notar, el proporcionamiento y gradación adecuados se -- realizan en las tolyas en frio, teniendo materiales apila-- dos en forma limpia separados en varios tipos y tamaños, - siendo esto la clave para el éxito en la producción.



# INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

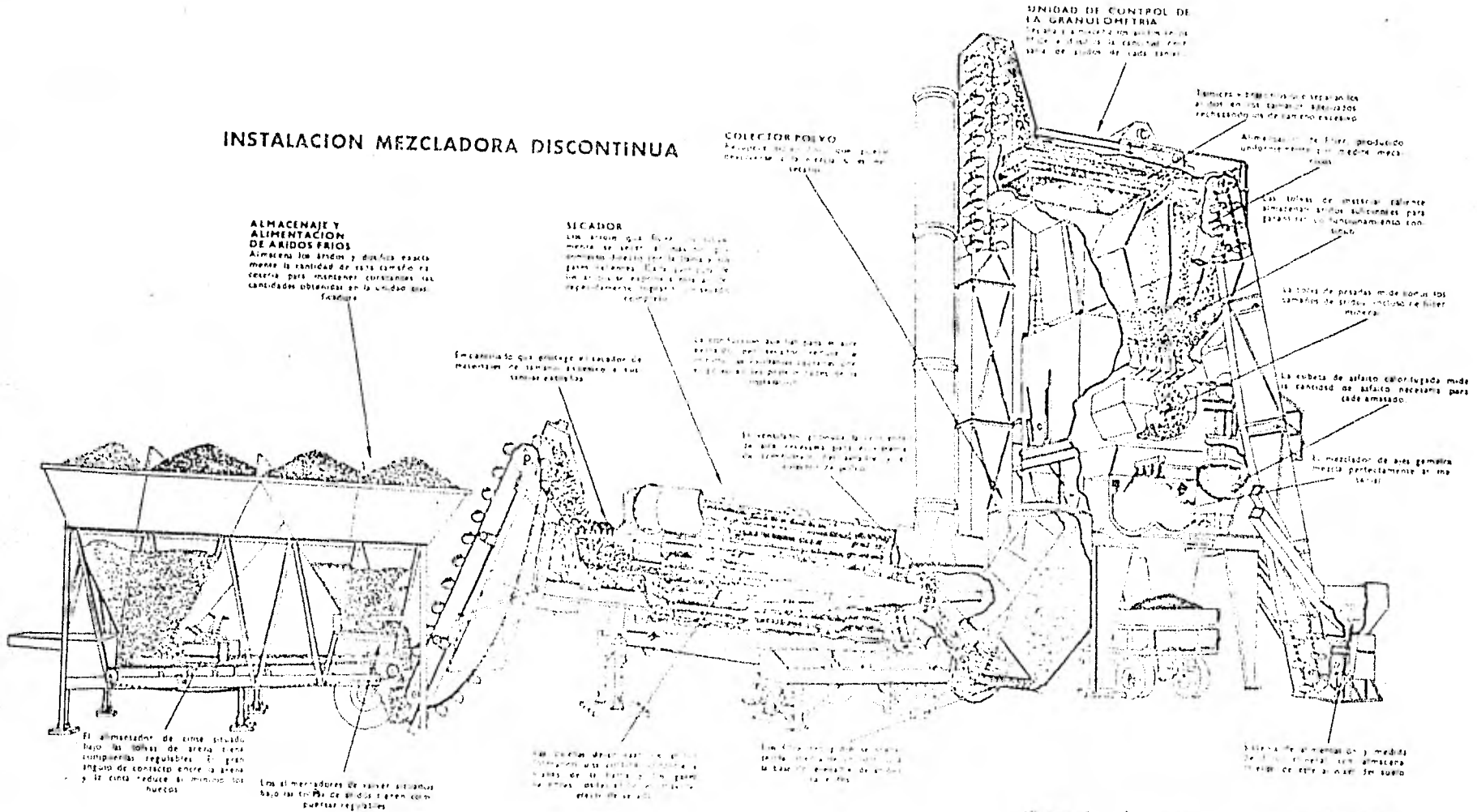


Figura IV-1 Instalación mezcladora discontinua.

# INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

## ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIOS FRIOS

Alimenta los arios de un stredo exactamente la cantidad de cada tamaño necesaria para mantener el equilibrio entre los diversos tamaños en la unidad clasificadora.

## SECADOR

El caudal continuo de arios recibe la máxima acción de secado por contacto directo con la llama y los gases calientes. Cada partícula de los arios se expone repetidamente a esta acción obteniendo el máximo grado de secado.

## COLECTOR DE POLVO

Por cada partícula de polvo que se eleva a la mezcla se precipita.

## MEZCLADOR

Mixta simultáneamente la cantidad correcta de arios mezclados perfectamente con la acción de los mezcladores de arios y arios están conectados mecánicamente.

## UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y clasifica los arios de un tamaño necesario y suministrando la cantidad necesaria de cada tamaño.

La bomba de alimentación asegura una presión constante en el arioso que alimenta a la bomba medidora.

Los arios se elevan por un tubo en un tiempo que permite realizar el tamizado necesario.

Mezclador de tres gamas que mezcla perfectamente el material.

Meseta de control para manejar la composición del mezclado.

El alimentador de cinta situada con las tolvas de arena tiene compuertas regulables. El gran ángulo de contacto entre la arena y la cinta reduce al mínimo los huscos.

Los alimentadores de arena trabajan bajo las tolvas de arena con compuertas regulables.

Las tolvas de arena para los arios de diferentes tamaños conectadas a un tubo de alimentación que garantiza el suministro constante de arios.

El arioso se eleva por un tubo en un tiempo que permite realizar el tamizado necesario.

El arioso se eleva por un tubo en un tiempo que permite realizar el tamizado necesario.

El arioso se eleva por un tubo en un tiempo que permite realizar el tamizado necesario.

La tolva de alimentación asegura una presión constante en el arioso que alimenta a la bomba medidora.

Bomba medidora conectada con los alimentadores de arios que mezcla perfectamente el arioso de cada tamaño necesario.

La tolva de alimentación permite la continuidad de funcionamiento entre dos etapas sucesivas, evitando la segregación.

Figura IV-2 Instalación mezcladora continua.

#### IV.- PROCEDIMIENTOS DE COLOCACION.

El comportamiento adecuado de los pavimentos asfálticos no solo depende de la correcta selección de los agregados pétreos y del producto asfáltico, el procedimiento constructivo también determina el éxito de una obra de pavimentación, por lo que no es suficiente considerar los procedimientos tradicionales generalmente aceptados, es necesario hacer un estudio particular para cada caso, tratando de aprovechar las innovaciones técnicas y buscando incorporar la maquinaria más reciente, pero tratando de aprovechar al máximo los conocimientos establecidos hasta ahora.

A continuación mencionaremos algunas operaciones realizadas en la construcción de pavimentos asfálticos, así como los procedimientos constructivos utilizados en la construcción de los mismos, los cuales no deben de tomarse como definitivos ya que en cada caso particular se pueden establecer innovaciones que mejoren los mismos.

#### PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE CARPETAS CONSTRUIDAS A BASE DE RIEGOS.

**BARRIDO :** Se realiza con el fin de eliminar el polvo suelto y materias extrañas de la superficie, realizandose por medio de cepillos de mano ó barredoras mecánicas.

**IMPREGNACION DE LA BASE :** Por medio de una petrolizadora, la cuál debe de contar con equipo de calentamiento, bomba de presión, barra distribuidora, tacómetro y todos los demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento se debe de aplicar el riego de imregnación, el cuál no se debe de realizar a temperaturas muy bajas, ya que estas afectan la viscosidad del asfalto empleado, así como al agua contenida, en las emulsiones, especificandose temperaturas no menores a 5°C.

**APLICACION DE PRODUCTO ASFALTICO :** Se aplicará por medio de

una petrolizadora la cantidad de producto asfáltico de proyecto, cuidando de que el viento, así como la velocidad de la máquina permitan una aplicación uniforme del producto asfáltico. La temperatura no debe de ser menor de 5°C.

**APLICACION DE AGREGADOS :** Una vez aplicado el riego de producto asfáltico inmediatamente se cubrirá con el material pétreo, la SAHOP usa agregados 3-A ó 3-B, de acuerdo a sus propias especificaciones.

El tendido del material se efectua por medio de esparcidores mecánicos ó con pala de mano, en este último caso se deben de colocar previamente los montones de agregados a orilla del camino sobre los acotamientos, debiendo evitarse la contaminación del material pétreo con tierra ó polvo. Una vez tendido el material se distribuirá uniformemente por medio de rastras de cepillos metálicos ó de fibra.

**COMPACTACION :** Inmediatamente despues de la colocación y distribución del material pétreo se procederá al planchado usando aplanadoras de 5 ton. de peso como minimo y 8 como máximo.

La compactación se realiza en forma longitudinal a la carpeta debiendose iniciar de la orilla hacia el centro en las tangentes y en las curvas con sobreelevación, del lado interior hacia el lado exterior.

**APERTURA DEL CAMINO AL TRANSITO :** En los dos primeros días se procede al planchado de algunas zonas en las que se marquen rodadas u ondulaciones.

**BARRIDO DE EL MATERIAL EXCEDENTE :** Transcurrido un tiempo no menor de tres días se procede al barrido de el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico. El procedimiento de construcción de carpetas de más riegos es similar al método anterior, solo que cuenta con más aplicaciones, tanto de materiales pétreos como de materiales asfálticos.

## PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS TIPO "MACADAM"- DE PENETRACION.

**BARRIDO** : Se efectua con el fin de quitar la tierra suelta y cualquier material extraño.

**IMPREGNACION** : Dependiendo de las condiciones en que se encuentre la base se decidirá si es necesario impregnarla, para esto se toma en cuenta la textura de la misma.

**PRIMERA APLICACION DE AGREGADOS** : Se aplican agregados de tamaño grueso, generalmente de 2 a 3 1/2 pulgadas, esparciéndolos por medio de tolvas esparcidoras adaptadas a camiones de volteo ó con terminadora de superficie asfáltica. El material no se debe de colocar en montones para después esparcirlo, debe colocarse directamente en el lugar que ocupará ya sea por medios mecánicos ó a mano, esto con el fin de evitar la segregación, procediendo después al nivelado de la superficie.

**PRIMER APISONADO** : Para compactar los áridos y reducir los vacios entre la piedra se compacta el material por medio de aplanadoras, generalmente de 10 toneladas, hasta lograr que los fragmentos de piedra se acuñen entre sí.

**PRIMERA APLICACION DE LIGANTE** : Después de obtener una superficie satisfactoria y sin piedras sueltas ó móviles bajo la acción del planchado se procede a aplicar mediante distribuidores a presión cemento asfáltico caliente ó emulsión asfáltica.

**SEGUNDA APLICACION DE AGREGADOS** : Se tiende una segunda capa de agregados de menor tamaño y en menor cantidad para llenar los huecos dejados superficialmente en el primer tendido, esta operación debe realizarse inmediatamente después de la primera aplicación de ligante, cuando este se encuentre aún caliente.

**SEGUNDO APISONADO** : Esta operación es inmediata a la aplica

ción del árido, debiéndose realizar cuando el ligante esté aún caliente para lograr una mejor compactación y unión de las partículas.

SEGUNDA APLICACION DEL LIGANTE : Se rocía por medio de distribuidores a presión otra capa del mismo material asfáltico usado en el primer riego, pero en menor cantidad.

TERCERA APLICACION DE AGREGADOS : Se distribuye una cantidad aún menor de gravilla ó agregado de cierre de pequeñas dimensiones para proporcionar una superficie antiderrapante, la cuál debe de resistir la acción abrasiva del tránsito.

APISONADO Y BARRIDO FINAL : Se procede a compactar el agregado de cierre alternando el barrido con la compactación - para de esta forma alisar la superficie logrando una mejor distribución del agregado.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ELABORADOS POR MEDIO DEL SISTEMA DE MEZCLA EN EL LUGAR.

BARRIDO : Sobre la base debidamente preparada, antes que na da se debe de realizar un barrido con el fin de desalojar - materiales extraños y polvo, este barrido se puede llevar a cabo por medio de cepillos y barredoras mecánicas.

IMPREGNACION : Posteriormente al barrido se aplicará el riego de impregnación, dejando transcurrir el tiempo suficiente para que el producto asfáltico frague totalmente.

APLICACION DE RIEGO DE LIGA : Una vez impregnada la base se aplicará un riego de liga utilizando cementos asfálticos, - rebajados ó emulsiones de rompimiento rápido. Este riego de berá cubrir toda la superficie que quedará bajo la carpeta, dejandose transcurrir el tiempo necesario para que el material asfáltico adquiera la viscosidad adecuada.

ACAMELLONADO DEL MATERIAL : El material es acameillonado determinando su volumen por el método de las áreas extremas , el cuál es especificado por la SAHOP, determinandose tam---

bién su peso volumétrico seco.

Si el material no cumple con los requisitos granulométricos se le agregarán uno ó más materiales, los cuales serán acamellonados por separado procediendo a determinar su volúmen y su peso volumétrico seco.

Se determinará el coeficiente de variación volumétrica de material compactado a material acamellonado, en caso de tener más de dos materiales se debe de determinar el coeficiente de variación volumétrica de materiales mezclados, con estos coeficientes se podrá determinar el volúmen de material suelto necesario para lograr el volúmen de proyecto de mezcla compacta.

APLICACION DEL MATERIAL ASFALTICO : Si se emplean motoconformadoras para efectuar la mezcla, el material asfáltico se aplicará por medio de petrolizadoras sobre el material pétreo parcialmente extendido hasta alcanzar la cantidad de proyecto, lo que se puede lograr en uno ó más riegos, se mezclarán los materiales después de cada riego para facilitar la incorporación del material asfáltico al pétreo.

No deberá regarse material asfáltico si los agregados contienen una humedad superior a la de absorción ó tienen agua superficial.

Cuando se usen emulsiones la humedad deberá ser tal que junto con el agua contenida en la emulsión no rebase la humedad de absorción del material.

Cuando el material pétreo contenga una humedad excesiva se puede proceder a su oreado manipulandolo por medio de una motoconformadora ó con otro equipo hasta lograr que la humedad quede dentro de límites aceptables que no perjudiquen la adherencia con el asfalto.

MEZCLADO : Una vez alcanzada la cantidad de ligante de proyecto se procede a realizar el mezclado, hasta lograr un producto homogéneo.

El mezclado se puede llevar a cabo por medio de motoconfor-

madoras ó en mezcladoras móviles, estas últimas recogen el material pétreo, lo mezclan con el producto asfáltico por medio de un equipo mezclador y lo depositan sobre la subrasante.

Las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados se curarán -- areandolas con motoconformadoras ó con equipo mezclador el tiempo necesario para volatizar una parte de disolvente y obtener así la relación disolvente-cemento asfáltico de proyecto.

Cuando son usadas emulsiones de rompimiento medio ó lento en ocasiones se aplica un riego previo de agua para dar la humedad necesaria.

Una vez alcanzada dicha relación se procede a tender la mezcla en el espesor y ancho establecidos.

COMPACTACION : Se procurará realizarla a las horas más calurosas, verificando antes que la relación disolvente-cemento sea la adecuada para llevarla a cabo, la compactación se iniciará usando rodillo liso tipo tandem adecuado para dar un acomodo inicial a la mezcla, a continuación se usan compactadores neumáticos hasta alcanzar la compactación de proyecto, la SAHOP especifica un mínimo de 95% del peso volumétrico -- máximo. Posteriormente se usa una plancha lisa para borrar las huellas de los compactadores.

En carreteras el planchado se realiza moviendo el rodillo tipo tandem ó el compactador neumático paralelamente al eje, realizando el recorrido de las orillas de la carpeta hacia el centro en las tangentes y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En aeropistas además de lo señalado anteriormente, el equipo deberá pasarse en direcciones perpendicular y oblicuas con respecto al eje de la pista.

En carreteras cuando la permeabilidad resulte mayor del 10% se dará un riego de sello de mortero asfáltico.

Para finalizar se deben de verificar el alineamiento el perfil y la sección, en su forma, espesor, anchura y acabado.



El procedimiento de colocación de mezclas frías elaboradas en plantas móviles ó fijas es similar al de mezcla en el camino, con la diferencia de que el mezclado se efectúa previamente en la planta.

#### PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO.

**RIEGO DE IMPREGNACION :** Sobre la base debidamente compactada se aplicará el riego de impregnación, y una vez que el material asfáltico usado en este riego haya fraquado se procederá al barrido para dejar la superficie libre de materias extrañas y polvo.

**RIEGO DE LIGA :** Se aplicará un riego de liga sobre la base preparada e impregnada, los materiales asfálticos que podrán emplearse en el riego pueden ser cementos asfálticos, asfaltos rebajados ó emulsiones asfálticas, este riego se debe efectuar con petrolizadora antes de iniciar el tendido de la mezcla asfáltica y cubrirá toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta, dejando transcurrir el tiempo necesario para que el material asfáltico regado adquiera la viscosidad adecuada.

**MEZCLADO :** Se llevará a cabo en plantas en donde el agregado es clasificado y dosificado en peso y posteriormente mezclado con el asfalto caliente hasta lograr una mezcla homogénea, la cuál es cargada a los camiones que la transportarán a una temperatura comprendida entre 120 y 150 grados centígrados.

**TRANSPORTACION :** El concreto asfáltico deberá transportarse en vehículos con chasis metálica, las cuales serán cubiertas con una lona, lo que protegerá el producto de la pérdida excesiva de calor, del polvo y de materias extrañas, la superficie interior de la caja del camión deberá estar libre de residuos de concreto asfáltico para evitar que estos se adhieran a la mezcla.

COLOCACION : El concreto asfáltico deberá tenderse con máquina especial para este trabajo, de propulsión propia, -- con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida, además deberá estar dotada de dispositivos que permitan la repartición uniforme de la mezcla sin que se presente segregación por tamaños en la misma, debiendo contar con un calefactor en la zona de acabados superficiales para lograr un acabado uniforme de la mezcla, la cuál una vez depositada en la caja mezcladora de la máquina debe de ser tendida inmediatamente, especificandose como temperatura mínima para el tendido 110°C.

La velocidad de la máquina debe ser tal que permita un acabado y un espesor uniforme.

Las juntas de construcción longitudinales y transversales en caso de que el tendido se haga en dos ó más fajas con un intervalo de tiempo entre faja de más de un día deberán impregnarse de preferencia con cemento asfáltico ó con un material asfáltico de fraguado rápido antes de proceder al tendido de la siguiente faja, en el caso de juntas transversales la SAHOP especifica que sean recortadas a 45° antes de proceder al siguiente tendido.

COMPACTACION : Inmediatamente después del tendido se llevará a cabo la compactación, la cuál debe de ser realizada a la temperatura más alta posible en la cuál pueda entrar la aplanadora sin provocar el corrimiento de la mezcla, la temperatura recomendada está comprendida entre 100 y 110°C. La compactación debe iniciarse con una aplanadora de rodillos lisos adecuada para dar la compactación inicial a la mezcla, este planchado debe de efectuarse longitudinalmente y es el que proporciona la mayor parte de la densidad que puede admitir la carpeta. la aplanadora no debe de hacer cambios de dirección ni estacionarse sobre la mezcla para no provocar deformaciones.

Posteriormente se transita el compactador neumático, el --

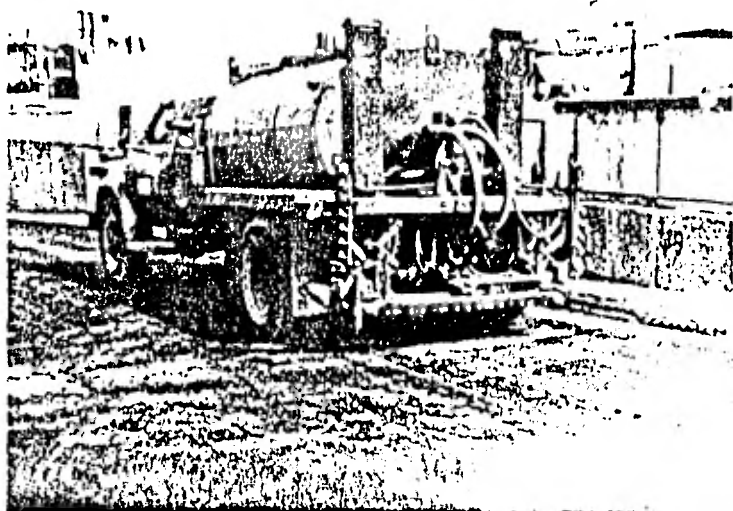
cuál es preferible que sea autopropulsado ya que el jalado por tractor daña la superficie de la carpeta, el compactador autopropulsado gracias a su sistema basculante en las ruedas da a la carpeta un efecto de amasado principalmente en la superficie, lo que beneficia la compactación y la impermeabilización de la superficie, se recomienda suspender la compactación con compactadores neumáticos a la temperatura de 70°C, procediendo inmediatamente a dar el acabado final con una plancha de rodillo liso adecuada para borrar las huellas que dejen los compactadores neumáticos. Actualmente se usan con éxito rodillos vibratorios.

Los compactadores usados deberán moverse paralelamente al eje de carpeta realizando el recorrido de las orillas de la carpeta hacia el centro en las tangentes y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En el caso de aeropistas el recorrido se realiza también de manera perpendicular y oblicua al eje de la pista.

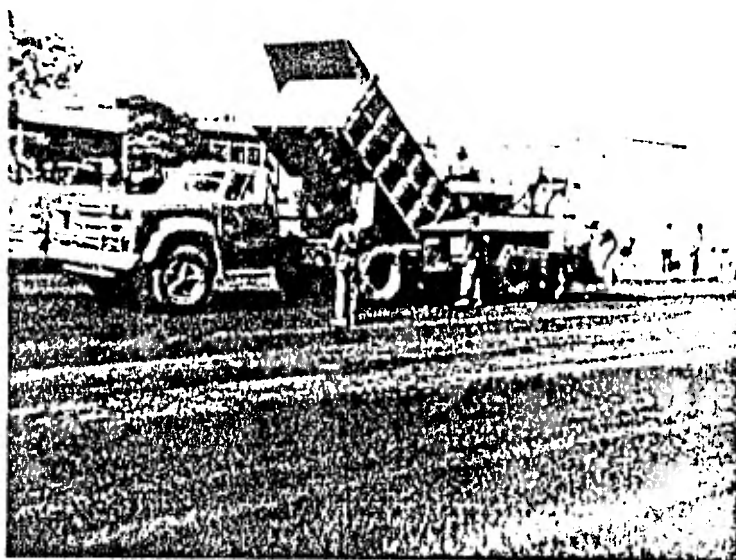
Cuando la carpeta resulte de una permeabilidad mayor de 10% se aplicará un riego de sello.

Por último se verifican el alineamiento, el perfil, la sección, la compactación, el acabado y el espesor.

La SAHOP especifica las tolerancias, así como las pruebas que deberán realizarse, señalando también la colocación y distribución de las mismas.



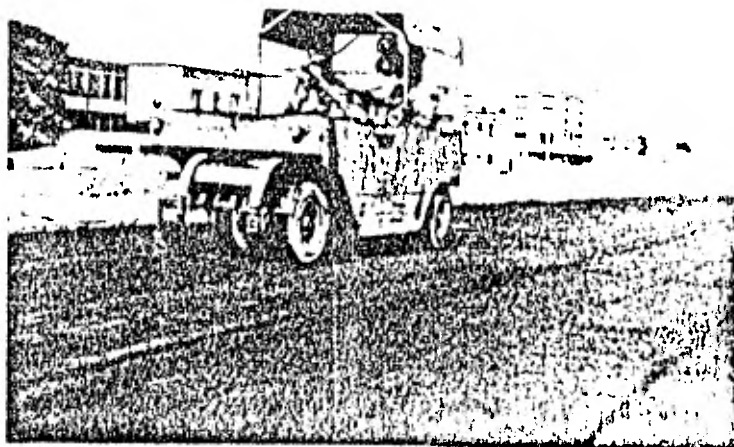
Fotografía III-1. Petrolizadora con equipo de calentamiento, barra distribuidora, tacómetro y demás aditamentos necesarios para su correcto empleo.



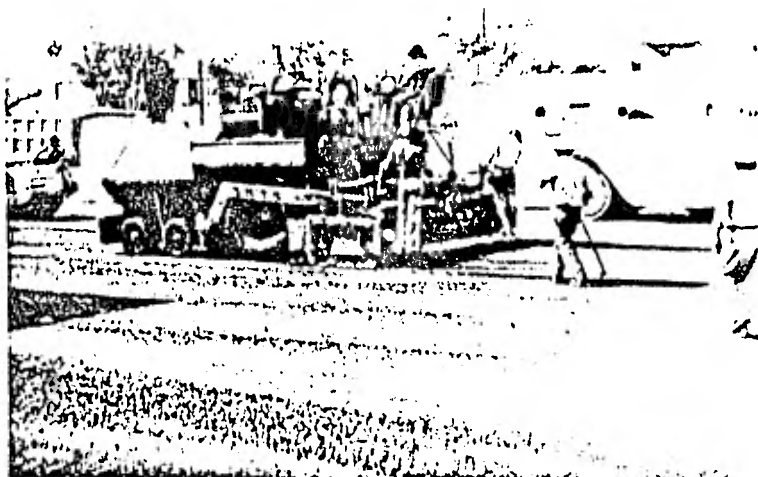
Fotografía III-2. Descarga de camión transportador a caja de terminadora, la cuál coloca la mezcla con un espesor y acabado uniformes mientras se desplaza.



Fotografía III-3. Aplanadora de rodillos lisos tipo tandem efectuando la compactación de la mezcla inmediatamente después de que ha sido colocada por la terminadora.



Fotografía III-4. Compactador neumático autopropulsado -- realizando la segunda etapa de la compactación, el peso de estos compactadores se hace variar por medio de lastre.



Fotografía III-5. El trabajo de la terminadora es auxiliado por medio de una cuadrilla de trabajadores que desechan los agregados de tamaño excesivo.



Fotografía III-6. Compactadores neumáticos y de rodillos lisos trabajando simultáneamente, alternándose en el trabajo de compactación.

## V.- CONCLUSIONES SOBRE LA UTILIDAD DEL ASFALTO EN PAVIMENTOS.

La construcción de pavimentos para carreteras ha sido el -- el uso primordial que se ha dado al asfalto durante los --- últimos años, ya que aproximadamente el 80 de la produc--- ción de asfalto se destina a ese fin, por lo que su optima- utilización debe ser motivo de preocupación constante, so-- bre todo en los últimos años en los que los hidrocarburos - y los productos derivados de los mismos juegan un papel tan importante en la economía del país.

El asfalto es utilizado en pavimentos, los cuales deben de tener un comportamiento satisfactorio ante las sollicitaciones a las que estarán sujetos durante su vida útil. Estas - sollicitaciones varían de un lugar a otro por lo que los pa- pavimentos se deben de adaptar a dichas variaciones modifican do su constitución para responder a los fines para los que- fueron construídos.

En los capítulos anteriores se trató lo referente a los di- diferentes tipos de mezclas asfálticas así como su utiliza--- ción en pavimentos para carreteras, por lo que aquí solo -- mencionaremos las variables que intervienen para decidir -- cuál de ellas seleccionar para un determinado uso.

Para poder determinar que tipo de mezcla vamos a usar necesi- sitamos conocer antes que nada, las sollicitaciones a que va a estar sujeto el pavimento, ya que esto nos va a servir de punto de partida para nuestra selección, una vez conocido - esto podremos establecer nuestras diferentes alternativas , las cuales podrán ser establecidas tomando en cuenta las -- condiciones locales como son :

- Clima.
- Existencia de agregados en la zona.
- Sanidad del agregado.

- Cercanía de las plantas productoras de asfaltos ó emulsiones.
- Disponibilidad de equipo y personal.

Generalmente se sigue un criterio económico para seleccionar el tipo de mezcla a usar, debiéndose realizar un estudio cuidadoso en cada caso para adaptarlo a las condiciones particulares, las cuales varían de un lugar a otro.

Al igual que el concreto hidráulico las mezclas asfálticas se deben de trabajar a una consistencia diferente a la que tendrán en condiciones de servicio con el fin de hacerlas trabajables y poder ser colocadas y compactadas, esta consistencia se logra disminuyendo la viscosidad del asfalto de las siguientes maneras :

- a) Por calentamiento: Este sistema proporciona las mejores carpetas construídas hasta ahora, las cuales son usadas para tráfico intenso y pesado, resultando ser también - el método más costoso por requerir de instalaciones de mezcla caliente.
- b) Por disolución del asfalto en un solvente : Estas mezclas al igual que las emulsiones son elaboradas en frío, y su velocidad de fraguado depende de la volatilidad del disolvente empleado, usándose generalmente gasolina, -- diesel ó algún aceite del petróleo, numerosos líquidos orgánicos son suficientemente volátiles y son buenos -- disolventes del asfalto, pero son o muy caros o muy peligrosos para usarlos comercialmente, ya que por ejemplo el bisulfuro de carbono y el benceno son caros, inflamables y venenosos, algunos compuestos del cloro y del nitrógeno son buenos solventes, pero también inconvenientes para usarse comercialmente, el azufre se puede contar dentro de este grupo y de el hablaremos más adelante.
- c) Emulsionando el asfalto en una solución acuosa o disper



ción: Este tipo de mezclas son generalmente las más --- económicas, lográndose carpetas de buena calidad, en -- las que se usan agregados mojados, por lo que pueden -- ser elaboradas en todas las épocas del año, siendo una- de las principales ventajas de las mismas, además de la gran superficie de contacto de los globulos de asfalto, lo que permite un buen mojado del agregado.

El uso de rebajados asfálticos ó emulsiones se debe de esta- blecer de un estudio detallado, aunque generalmente para - un determinado tipo de pavimento el uso de emulsiones es - más económico que el de rebajados, las condiciones propias de el lugar donde van a ser usadas puede demostrar lo con- trario ya que se deben de considerar las condiciones locales- mencionadas anteriormente.

Las formas de disminuir la viscosidad de los asfaltos men- cionadas anteriormente es lo que da origen a la classifica- ción de los diferentes tipos de mezclas, con cuyos nombres estamos tan familiarizados.

Antes de decidir sobre el tipo de mezcla asfáltica que se- usará en un determinado pavimento se deben de estudiar las características propias de la zona en la que se ubicará. - Esto con el fin de poder predecir ó tomar en cuenta las -- tendencias del tráfico que circulará en ese pavimento, ya- que muchas veces el desarrollo de la zona en estudio ó de- ciudades cercanas modifica las condiciones del tráfico, ge- nerando un volumen de tránsito adicional, puede suceder -- también que las políticas económicas de desarrollo sufran- cambios por lo que algunas zonas no alcanzarán el grado de actividad planeado.

Por lo anteriormente mencionado, la construcción por eta-- pas, ha sido motivo de estudio en los últimos años, ya que permite con una inversión menor realizar una obra que pue- de ser modificada de acuerdo a las condiciones reales de -

tránsito que imperen en el camino. Esto permite lograr una vida útil y económica más apegada a la realidad, evitando los gastos que ocasiona ampliar ó mejorar una vía de comunicación en la cuál no se previó su posterior ampliación. Habiendo tratado lo referente a las mezclas tradicionales, mencionaremos algunas innovaciones de las mismas.

En los últimos años se ha experimentado con el uso del azufre en la construcción de pavimentos, tratando de aprovechar al máximo su fuerza mecánica y su resistencia a tensión, usandose, ya sea combinado con asfalto o como sustituto del mismo, en este último caso el azufre debe ser plastificado con el fin de imitar la flexibilidad del asfalto.

Una mezcla de aglutinante asfáltico de pavimento puede contener del 20 al 50% de azufre por peso, y la mezcla tiene propiedades semejantes a las de un aglutinante totalmente de asfalto.

El azufre puede ser usado en las mezclas para la construcción de pavimentos en las siguientes formas :

- a) COMO SUSTITUCION PARCIAL : En este tipo de mezclas el azufre se combina con asfalto y arena, en la que una parte del mismo se disuelve con el asfalto y el resto se dispersa en la mezcla.

Este tipo de mezclas ofrecen varias ventajas sobre el asfalto solo, entre las cuales podemos mencionar la menor viscosidad de las mismas, lo que permite el ahorro de energía durante el mezclado y el manejo de los productos, fuerza mecánica superior y resistencia a la gasolina y al combustible diesel, los cuales al ser derramados sobre el pavimento por los vehículos dañan la superficie de rodamiento, actualmente este tipo de mezcla es usado por varias compañías en otros países. Conociéndose a estos productos por sus nombres comerciales.

La fórmula de asfalto azufre y arena que ha sido proba-

da y usada con éxito en los E.U. contiene 81% de arena, 13% de azufre y 6% de asfalto. Sin embargo como se necesita de equipo especial para pavimentar, probablemente no se usará este material a menos que se disponga de un buen agregado en el sitio de trabajo, todos los productos de azufre y asfalto se elaboran de la misma manera, se mezclan ambos componentes y se someten a temperaturas de aproximadamente 121-135°C. Sin embargo existen algunas diferencias en cuanto a los métodos y equipo -- que se emplean para la mezcla, ya que en algunos casos -- el azufre y el asfalto se mezclan en un molino coloidal y el agregado se añade más tarde cuando los componentes pasan a un amasadero. Otra forma de proceder es introduciendo el azufre, el asfalto y el agregado directamente en un amasadero, en este caso el agregado proporciona la acción de corte necesaria para mezclar el asfalto y azufre, la mezcla tiene que utilizarse inmediatamente -- para evitar el asentamiento del azufre disperso, el --- cuál puede ser retardado mediante la adición de un polímero, hasta la fecha este asentamiento puede ser controlado 3 días aproximadamente.

- b) COMO SUBSTITUTO DEL ASFALTO : Cuando se pretende darle este uso, el azufre debe ser plastificado con el fin de imitar la flexibilidad del asfalto, esto se logra mediante la adición de plastificantes en porcentajes que varían de 20 a 40%, las variaciones en su composición lo pueden hacer tan rígido como el concreto o tan flexible como el asfalto, el azufre y los plastificantes se mezclan y se somete el producto a temperaturas de aproximadamente 150°C a presión atmosférica.

El uso de el azufre aunque ha dado muy buenos resultados no se ha generalizado debido a que se necesita en la mayoría de las veces equipo especial de mezclado, -- por otro lado, este producto es tóxico, por lo al trabajar con el se debe de proteger a los operarios de los -

gases que escapan al trabajar las mezclas.

Para mejorar las propiedades de los pavimentos asfálticos - sobre todo aquellos que son sometidos a sollicitaciones severas de operación, se ha estudiado su comportamiento al ser reforzados con mallas, las cuales desempeñan el papel que corresponde a el acero de refuerzo usado en losas, por lo que el material de las mallas debe tener buena adherencia con el asfalto, ser resistente a la tensión y ser durable, este tipo de pavimento se encuentra en estado de experimentación, habiendose observado buenos resultados en su comportamiento.

## BIBLIOGRAFIA

- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES Vol.2  
Alfonso Rico y Hermilo del Castillo. 1981
- TRATADO DE CONSTRUCCION  
Antonio Miguel Saad 1979
- EMULSIONES ASFALTICAS  
Gustavo Rivera E. 1977
- INGENIERIA DE CARRETERAS  
Hewes & Oglesby 1980
- MANUAL DEL ASFALTO  
The Asphalt Institute 1977
- ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION  
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1974
- MANUAL DE PAVIMENTOS  
Jesús Moncayo V. 1980
- APUNTES DE PLANTAS DE FABRICACION DE MEZCLAS  
ASFALTICAS.  
Fernando Favela Lozoya. 1979
- EL ASFALTO  
Ralph N. Traxler. 1962
- PRONTUARIO DE LA ASIGNATURA DE PAVIMENTOS  
Manuel Enrique Echegaray del Solar. 1969