

16  
2y



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**REHABILITACION DE PAVIMENTOS  
DE USO AERONAUTICO A BASE DE  
EMULSIONES ASFALTICAS**

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

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I	
TIPOS DE ASFALTOS Y EMULSIONES .....	7
I.1 Generalidades .....	8
I.2 Orígenes y Clasificación de los Asfaltos ....	11
I.3 Emulsiones Asfálticas .....	17
I.3.1 Componentes y Fabricación .....	17
I.3.2 Propiedades y Usos .....	25
I.3.3 Ensayos y Pruebas .....	29
CAPITULO II	
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES .....	39
II.1 Riego de Impregnación .....	42
II.2 Riego de Liga .....	45
II.3 Riego de Taponamiento .....	48
CAPITULO III	
MEZCLAS EN FRIO .....	50
III.1 Mezclas Abiertas en Frío .....	58
III.1.1 Materiales .....	62
i. Agregados Pétreos .....	62
ii. Asfálticos .....	64
III.1.2 Fabricación y Puesta en Obra.....	67
III.2 Mezclas Densas en Frío .....	70
III.2.1 Estabilización de Suelos .....	75
III.2.2 Carpetas Densas .....	80

## CAPITULO IV

MORTERO ASFALTICO .....	86
IV.1 Materiales .....	92
IV.1.1 Agregado Pétreo .....	92
IV.1.2 Emulsión Asfáltica .....	99
IV.1.3 Aditivos .....	100
IV.2 Diseño del Mortero Asfáltico.....	101
IV.2.1 Diseño .....	104
IV.2.2 Pruebas Mecánicas .....	105
IV.3 Fabricación y Puesta en Obra .....	110
IV.3.1 Maquinaria .....	113
IV.3.2 Proceso Constructivo .....	122

## CAPITULO V

REHABILITACION DE PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO EN EL AEROPUERTO DE VILLAHERMOSA, TAB. ....	125
V.1 Descripción de la Obra .....	126
V.2 Materiales de Construcción y Diseño de la Mezcla .....	134
V.2.1 Agregado Pétreo .....	140
V.2.2 Emulsión Asfáltica .....	143
V.2.3 Aditivo .....	144
V.2.4 Diseño .....	144
V.3 Fabricación y Puesta en Obra .....	152
V.3.1 Planeación .....	153
V.3.2 Procesos Constructivos .....	156
V.4 Control de Calidad .....	171
V.4.1 De los Materiales Básicos .....	171
V.4.2 Del Producto Terminado .....	174
CONCLUSIONES .....	177
ANEXOS .....	183
BIBLIOGRAFIA .....	191

## INTRODUCCION

Las pistas de puertos aéreos necesitan un mantenimiento continuo para tenerlas en buenas condiciones de operación asegurando seguridad y confort en las operaciones de las aeronaves. Dicho mantenimiento depende del grado de deterioro que presente el pavimento, que puede ir desde reencarpetados periódicos para nivelar la superficie de rodamiento, restituyendo el acabado y las pendientes para el drenaje pluvial así como el bacheo en ciertas zonas localizadas donde se agrieta o hunde el pavimento, hasta aplicaciones de sello con mortero asfáltico para darle una nueva vida.

Esta periodicidad origina gastos de consideración y la necesidad de interrumpir el funcionamiento de la pista para reparaciones, con las consiguientes molestias en la operación del aeropuerto.

Un número considerable de operaciones complican la actividad de reparación y mantenimiento, que en sí resultan ser trabajos tradicionales de terracerías, pavimentación y obras de drenaje; y ante la necesidad de restituir la operación de una pista es necesario involucrar una buena programación de actividades, una eficiente coordinación de recursos y un continuo contacto con las autoridades del aeropuerto, líneas

aéreas, y servicios al público en general.

La oportuna detección de una falla en un pavimento y su rápida reparación cuando apenas se inicia es sin duda un factor importante para lograr un estado óptimo de operación de una aeropista.

Al efectuar la inspección de un pavimento, es de suma importancia determinar la causa de cada falla, para establecer, en base a dicha inspección, el procedimiento correctivo más adecuado. Dada la importancia de una aeropista, la reparación de las fallas deberán hacerse lo antes posible, sobre todo si representan un peligro para la seguridad de las operaciones aeronáuticas.

Es necesario un análisis detallado para seleccionar el método y los materiales adecuados para la reparación o rehabilitación de los pavimentos.

El primer paso para proceder a la rehabilitación es determinar la causa de falla, para poder atacar el problema desde la raíz, ya que de nada serviría corregir un pavimento con algún tipo de tratamiento si no es el mejor para resolver el verdadero problema.

Los defectos en los pavimentos asfálticos pueden ser el resultado de fallas estructurales por consolidación o corte desarrollados en la subrasante, sub-base, base o en la carpeta o bien por un drenaje defectuoso que torne críticas las condiciones de trabajo del pavimento.

La simple inspección visual de un pavimento deteriorado no siempre es suficiente para determinar la causa de su falla, por lo que en muchas ocasiones el hacer sondeos y efectuar pruebas a los materiales extraídos de las capas del pavimento y subrasante, se puede obtener como resultado información valiosa que puede complementar y apoyar la inspección visual.

Las fallas mas comunes que se presentan en los pavimentos de uso aeronáutico son las siguientes:

- Erosión del pavimento.
- Disgregación o Desmoronamiento.
- Oxidación del asfalto
- Agujeros.
- Hundimientos o Depresiones.
- Agrietamientos.
- Ondulaciones.

En México existe un uso generalizado de Mezclas en Caliente y debido a que el calentamiento de los materiales asfálticos utilizados, es en cualquier caso oneroso desde el punto de vista económico y energético; y que implica además, la utilización de grandes equipos difíciles de transportar e instalar, produciendo además situaciones de alta contaminación, se han perfeccionado técnicas en frío eficaces, económicas en consumo energético y bajas en índices de contaminación.

El elemento más valioso para el desarrollo de las técnicas en frío es la emulsión asfáltica. La emulsión asfáltica constituye la solución idónea para colocar en obra asfaltos a temperatura ambiente sin miedo a la presencia de humedad y a los problemas que produce una mala adherencia con los agregados.

La emulsión asfáltica es un ligante o cementante asfáltico, que se obtiene al dispersar el asfalto, en agua, en forma de pequeños glóbulos.

Las aplicaciones de las emulsiones asfálticas son muy extensas y se pueden hacer con ellas todo tipo de tratamientos: tratamientos superficiales como Riegos de Liga e Impregnación, Riegos de Sello como el Mortero Asfáltico,

trabajos de Bacheo en los que intervienen Bases Estabilizadas, y trabajos de Reencarpetado con Mezclas Densas o Cerradas.

Las principales ventajas que presenta el uso de emulsiones asfálticas son:

- Se aplican a temperatura ambiente.
- Se pueden aplicar en lugares con clima lluvioso.  
y sobre materiales húmedos.
- La fabricación y uso producen un mínimo de contaminación.
- Se pueden tener disponibles lejos de los centros de población por medio de plantas de fabricación portátil.
- Se logra un ahorro energético y económico.

Tomando en cuenta todo esto, las mezclas y tratamientos elaborados con emulsiones asfálticas ofrecen muchas ventajas de utilización en la rehabilitación de pavimentos de uso aeronáutico.

En el presente trabajo se describen los principales tratamientos a base de emulsiones asfálticas que existen para la corrección y rehabilitación de las principales fallas que

presentan los pavimentos de uso aeronáutico; así como un ejemplo analizando los principales problemas que se presentan en la aplicación de sello con mortero asfáltico tendido en el aeropuerto de Villahermosa, Tab.

## **CAPITULO I**

## **I. TIPOS DE ASFALTOS Y EMULSIONES**

Asfalto puede definirse como un material de color oscuro, con cualidades aglutinantes y compuesto esencialmente de hidrocarburos. Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en el mundo procede del refinamiento del petróleo y dado que México es uno de los principales productores a nivel mundial, la disponibilidad de los asfaltos ha sido un factor decisivo en el progreso de la nación, a través del avance de las comunicaciones. Los gobiernos de la República, han propiciado la producción de asfaltos a costos relativamente bajos, con la idea precisa de fomentar la construcción de obras viales.

### **I.1 GENERALIDADES**

Como ya se mencionó el asfalto es un material aglutinante de color oscuro, compuesto de hidrocarburos solubles casi en su totalidad en bisulfuro de carbono, sólido o semisólido a temperatura ambiente y que se licúa gradualmente al calentarse.

El asfalto es parte integrante de muchos petróleos en los cuales existe en solución. Cuando se refinan dichos petróleos para separar las fracciones volátiles el residuo que queda es

el asfalto. Procesos análogos que ocurren en la naturaleza han formado depósitos naturales de asfalto, que generalmente se encuentran mezclados con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias.

El asfalto es de particular interés al Ingeniero porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable. Es una sustancia termoplástica, que imparte flexibilidad controlable a la mezcla de agregados pétreos con los cuales se combina. Es además muy resistente a la acción de la mayor parte de los ácidos y sales. Puede ser licuado aplicándole calor, disolviéndolo en derivados del petróleo de distinta volatilidad o bien, emulsificándolo en agua.

El asfalto es uno de los materiales más antiguos que se conocen. Se han encontrado esqueletos intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en La Brea, cerca de Los Angeles, California.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en los valles de Mesopotamia y del Indo, entre los años 3200 a 540 A.C., como un material cementante en la construcción de mamposterías y de caminos, y como impermeabilizante para baños y otros depósitos de agua. Los

indios de América lo empleaban para impermeabilizar sus canoas antes de que el hombre blanco llegara al nuevo continente. En México los Totonacas de la región de Papantla lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus ritos. Algunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para blanquear su dentadura.

En 1802 se usó asfalto de roca en Francia para el terminado superficial de pisos, puentes y banquetas. En 1838 se utilizó asfalto de roca importado para la construcción de banquetas en Filadelfia, E.U. y en 1870 se colocó el primer pavimento asfáltico en dicho país.

En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en la ciudad de Washington, D.C. utilizando roca asfáltica de Francia y asfalto importado de Lago Trinidad, en Venezuela.

Los asfaltos utilizados en estos primeros trabajos fueron desde luego naturales, es decir asfaltos que se muestran en la naturaleza en forma de yacimientos y que podían explotarse sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

El uso del asfalto procedente de la destilación del petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del Siglo XIX, contándose con las primeras refinerías por el año de 1886.

A partir del año 1926, con el desarrollo de la industria automotriz y debido a la necesidad de contar con mejores caminos y calles para el tránsito de vehículos, la utilización de asfalto derivado del petróleo ha tenido un aumento sostenido en todas partes del mundo.

En México el uso generalizado del asfalto se inició por el año de 1925 al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados.

## **I.2 ORIGENES Y CLASIFICACION DE LOS ASFALTOS**

Las dos fuentes de donde procede el asfalto son de los depósitos naturales y del petróleo crudo; de éste se extrae después de obtener las fracciones volátiles sometándolo a refinación o destilación. Puesto que los asfaltos naturales provienen de un proceso natural de destilación o transformación del petróleo, lo que realmente estaría en discusión es el origen del propio petróleo.

No se sabe exactamente como se formó el petróleo en el subsuelo. Las teorías son muchas y aún se siguen discutiendo hasta el momento. Algunos investigadores defienden el origen mineral o inorgánico del petróleo y explican su formación de la manera siguiente:

A) Bajo la superficie terrestre existen carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al condensarse en estratos superiores más fríos, dieron lugar al petróleo.

B) Los metales alcalinos que se encuentran en estado libre en el interior de la tierra reaccionan con el bióxido de carbono a altas temperaturas y estas reacciones, en contacto con el agua, producen los hidrocarburos que constituyen el petróleo.

Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico del petróleo, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos de animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se considera más razonable al comprobarse que los estratos en que se ha formado el petróleo no han estado nunca a temperaturas superiores a los 38 grados centígrados, lo que descarta la teoría del origen

inorgánico, ya que la obtención de carburos metálicos requiere temperaturas mucho más elevadas.

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

Los asfaltos se han clasificado según su origen en 2 tipos: en Asfaltos Naturales y Asfaltos Derivados del petróleo.

#### ASFALTOS NATURALES.

Los asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas entre las que destacan las siguientes:

**MANANTIALES.** Se presentan en algunos lugares fuentes de las que fluye petróleo o asfalto líquido por alguna grieta de la roca y generalmente en pequeñas cantidades.

**LAGOS.** A veces, manantiales como los arriba mencionados, pero de gran caudal, situados en depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el Lago de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, que es uno de los mayores yacimientos naturales de asfalto en el

mundo. Su superficie total es de aproximadamente 46 hectáreas. El material, en estado natural es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para mayor aprovechamiento se somete a sencillos procesos de refinación que eliminan las sustancias no deseadas.

**EXUDACIONES.** Se presentan en rocas muy porosas saturadas de asfalto, de las que éste fluye por los efectos del calor o de alguna presión interior.

**IMPREGNANDO ROCAS.** Son bastante frecuentes los yacimientos de roca más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando total o parcialmente los poros pero sin llegar a exudar.

**FILONES.** Son intrusiones de asfalto en una masa rocosa, a través de fallas o grietas en algunos de sus estratos o bien, son simplemente sedimentación alternada de capas de asfalto y otros materiales. Este asfalto no se explota industrialmente ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas.

#### ASFALTOS DERIVADOS DEL PETROLEO.

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en

el mundo procede de la refinación del petróleo.

El petróleo se obtiene de yacimientos existentes en el subsuelo a diferentes profundidades, que pueden llegar a los 7000 m o más. Se presenta dentro de formaciones de tipo arenoso o calcáreo. Su color varía de ámbar a negro y su densidad es menor que la del agua. Se presenta generalmente encima de una capa de agua, hallándose en la parte superior una de gas. Las rocas almacenadoras de petróleo corresponden a muy diversas edades geológicas. En nuestro país, proceden generalmente del período terciario de la era Cenozoica. No todos los petróleos crudos contienen asfalto y en los que lo contienen las proporciones de éste son muy variables. Los crudos de petróleo se dividen fundamentalmente en dos grupos: crudos parafínicos y crudos asfálticos. Los últimos son desde luego los más adecuados para la obtención de asfaltos.

Como resultado de la refinación del petróleo, en México se obtienen los siguientes materiales asfálticos usados en pavimentación:

**CEMENTOS ASFÁLTICOS.** En México se tiene la posibilidad de utilizar cuatro tipos o grados de cementos asfálticos designados con los números 3, 6, 7 y 8 enumerados de mayor a menor grado de dureza. En la actualidad los más usados en

pavimentación son los de grado 3 y 6.

**ASFALTOS REBAJADOS.** Los asfaltos rebajados se preparan agregando al cemento asfáltico solventes ligeros del petróleo y se clasifican en tres grupos:

A) **Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido (FR).** Son aquellos en que se emplea como solvente del cemento asfáltico un material del tipo de la gasolina. Se designan con los símbolos FR-0, FR-1, FR-2, FR-3 y FR-4, en el que el índice creciente indica una proporción cada vez mayor de cemento asfáltico. Estos rebajados se utilizan en: Carpetas, Sub-bases y Bases Estabilizadas, Riegos de Liga y Riegos de Sello.

B) **Asfaltos Rebajados de Fraguado Medio (FM).** Son aquellos que se elaboran agregando al cemento asfáltico solventes del tipo de la kerosina. Se designan con los símbolos: FM-0, FM-1, FM-2, FM-3 y FM-4, en que los índices indican la proporción de cemento asfáltico. Estos rebajados se utilizan principalmente en riegos de impregnación.

C) **Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento (FL).** Son

aquellos que se elaboran con solventes del tipo de aceites ligeros. Estos rebajados se obtienen directamente del residuo de la destilación del petróleo. Se designan con los símbolos FL-0, FL-1, FL-2, FL-3 y FL-4. Los rebajados de este tipo practicamente ya no se usan en nuestro país. Se usaron en épocas pasadas, como paliativos del polvo en caminos revestidos.

### **I.3 EMULSIONES ASFALTICAS**

Las emulsiones asfálticas constituyen otro de los procedimientos que se usan para fluidificar el cemento asfáltico y hacer aplicaciones en frío. Son emulsiones generalmente del tipo de aceite en agua, en que la fase dispersa o interna es el asfalto, en forma de pequeños glóbulos y la fase continua o externa es el agua.

#### **I.3.1 COMPONENTES Y FABRICACION**

Para fabricar las emulsiones asfálticas existen fábricas o plantas de emulsiones, que tienen como pieza básica un molino coloidal que sirve para dispersar el asfalto caliente en el agua, cuando pasan ambos líquidos en forma continua a través de él. La dispersión se hace con ayuda de un emulsificante

que facilita la dispersión y evita la aglomeración de los glóbulos de asfalto al cargarlos eléctricamente.

Cuando los glóbulos de asfalto se unen para formar una película continua, se dice que la emulsión rompe (visualmente, la emulsión cambia de color marrón por el negro del asfalto). Este proceso de rotura depende de varios factores: composición y tipo de emulsión, tipo de pétreo a utilizar en la obra, temperatura exterior etc.

Desde el punto de vista de estabilidad, las emulsiones se clasifican en emulsiones de rotura lenta (RL), de rotura media (RM) y de rotura rápida (RR), dependiendo de la cantidad de emulsificante que contengan varía su tiempo de rotura.

El tiempo de rotura de la emulsión es un factor decisivo a la hora de la aplicación en obra. Según el tipo de emulsión que se utilice en cada tratamiento será la resistencia que se obtendrá en las primeras horas, con vistas a la apertura al tráfico, la compactación, la insensibilidad a la lluvia etc.

Las emulsiones usadas para pavimentación pueden ser de dos tipos: aniónicas (o básicas  $\text{ph} > 7$ ) y catiónicas (o ácidas  $\text{ph} < 7$ ) según la polaridad que el emulsificante proporciona a los glóbulos de asfalto.

Las emulsiones aniónicas presentan una buena adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a agregados pétreos calizos (se ionizan positivamente al estar húmedos) y una escasa adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los agregados silíceos (se ionizan negativamente al estar húmedos). Además de la naturaleza del pétreo hay que tener en cuenta otros factores, tales como la textura del pétreo, limpieza, temperatura etc.

En las emulsiones catiónicas el rompimiento se presenta mucho más rápido, generalmente, que en las emulsiones aniónicas, ya que en las catiónicas se produce repentinamente, al atraerse químicamente los glóbulos de asfalto ionizados con la superficie del pétreo también ionizada, mientras que en las aniónicas la evaporación del agua es el factor dominante para la rotura. Las emulsiones catiónicas presentan buena adhesividad con los pétreos silíceos y con la mayor parte de los calizos, ya que en este caso el emulsificante facilita la adherencia del asfalto con el pétreo.

Los componentes básicos de las emulsiones asfálticas son: el ligante asfáltico, el emulsionante, el agua y los aditivos (si se requieren).

**LIGANTE ASFALTICO.** Existen emulsiones fabricadas con cemento asfáltico y con asfaltos fluidificados, siendo las más usuales las fabricadas con cemento asfáltico.

**EMULSIONANTES.** Las características de los emulsionantes que existen en el mercado es muy diversa; pequeñas variaciones en las formulaciones de éstos acarrearán un diferente comportamiento de la emulsión final.

Los emulsionantes no solo se quedan cubriendo la superficie de los glóbulos de asfalto, sino que cierta parte de ellos permanece en la fase continua o externa. La proporción de ambas cantidades puede influir notablemente sobre las propiedades de la emulsión.

La cantidad de emulsificante en la fabricación de emulsiones puede variar sus propiedades de la siguiente manera:

- A) Un aumento de la cantidad de emulsionante disminuye el tamaño de los glóbulos de asfalto dentro de la emulsión.
  
- B) Un aumento en la cantidad de emulsionante hace, en general, emulsiones más estables, al menos hasta un cierto límite. Cantidades excesivas de emulsionantes

pueden producir grumos, formados por racimos de glóbulos de ligante.

- C) La Adhesividad de la emulsión a los pétreos depende en gran parte del contenido de emulsionante y del pH de la misma.

Los productos que más se utilizan para la elaboración de emulsificantes son las aminas grasas, combinadas con ácidos inorgánicos fuertes como el ácido clorhídrico en el caso de emulsiones catiónicas, y en el caso de emulsiones aniónicas se utilizan sales sódicas o potásicas.

Los emulsificantes desempeñan una triple función dentro de las emulsiones:

- A) Conservar la emulsión como tal protegiendo superficialmente a los glóbulos de asfalto con cargas eléctricas, que permiten que dichos glóbulos se repelan entre sí y, por lo tanto, no rompa la emulsión.
- B) Activar iónicamente el ligante asfáltico favoreciendo la posible cubrición de los pétreos al emplearse en obra, y hacer que, una vez rota la emulsión y

cubierto el pétreo por el ligante, éste continúa manteniendo a lo largo del tiempo unas condiciones aceptables de resistencia al desplazamiento por el agua.

- C) Aparte de todo ello, el emulsificante tiende a facilitar en el momento de fabricación la dispersión del asfalto en agua.

AGUA. La influencia de la dureza del agua es poco importante en la fabricación de emulsiones catiónicas, pero puede ser un gran inconveniente en las aniónicas. Existen varios procedimientos para combatir el problema de la dureza del agua a la hora de emulsionar un asfalto determinado. En general, los sistemas son caros y si se presentara este problema podríamos tener dos tipos de solución:

- A) Tratamiento del agua para disminuir su dureza.
- B) Variación en la formulación de las emulsiones, aumentando la concentración de emulsionante o variando la naturaleza del mismo para compensar los efectos de la dureza.

ADITIVOS. Además de los componentes fundamentales que se han expuesto anteriormente, los emulsionantes pueden venir acompañados por una serie de aditivos introducidos con el fin de mejorar alguna característica de la emulsión como viscosidad, adhesividad, etc..

En algunos tipos de mezclas asfálticas (mortero asfáltico, mezclas densas etc.), pueden emplearse para mejorar la envuelta de pétreos.

A la hora de emplear alguno de estos aditivos hay que tener muy en cuenta tanto la naturaleza del pétreo como la del emulsionante usado en la fabricación, pues en caso contrario se produce un grave deterioro de la calidad de la mezcla.

Las emulsiones asfálticas se fabrican en plantas especiales, que pueden ser sencillas o que pueden tener un alto grado de complicación.

En general, una planta de emulsiones consta de los siguientes elementos:

- Sistema de almacenamiento de materias primas (asfalto, emulsificantes, aditivos etc.).
- Sistema de bombas y tuberías para la incorporación,

mezcla y dosificación de componentes.

- Sistema de calentamiento: fuego directo con quemadores de petróleo o diesel, vapor de agua y aceite térmico. También se están estudiando otros sistemas de calentamiento como puede ser energía solar para calentar el agua.
- Sistema de fabricación: homogeneizadores, difusores y molinos coloidales. De la máquina elegida para la fabricación dependen gran parte de las propiedades finales de la emulsión.

El sistema de fabricación esta constituido por una máquina capaz de romper en pequeños glóbulos el asfalto y dispersarlo en el agua, cuando pasan ambos líquidos por la misma.

Las máquinas más utilizadas por su mayor producción y calidad son las de turbo-mezcladores y los molinos coloidales de conos.

Los turbo-mezcladores están compuestos de un estátor y un rotor de paletas curvas que giran a una velocidad de 3000 rpm.. En ellos, se introduce el asfalto caliente y el agua con el emulsionante; la fuerza centrífuga y los choques repetidos producen la rotura

en glóbulos del asfalto y su dispersión en el agua tratada, saliendo finalmente la emulsión fabricada.

Los molinos de conos, trabajan sometiendo a los fluidos a una serie de aceleraciones y desaceleraciones radiales, que producen grandes y rápidas variaciones de presión, lo que ocasiona la rotura en glóbulos del asfalto y su dispersión en el agua emulsionada.

### **I.3.2 PROPIEDADES Y USOS**

**CAUSAS DE ROMPIMIENTO.** El rompimiento de las emulsiones, es decir, la separación de las fases que las constituyen, se originan por muy diversos motivos. Entre ellos se pueden citar principalmente los siguientes:

- A) **AFINIDAD QUIMICA.** La afinidad química de los glóbulos de asfalto cargados eléctricamente, por superficies de carga opuesta; es decir, en las emulsiones aniónicas los glóbulos de asfalto están cargados negativamente y tienen atracción o afinidad por las superficies electropositivas. Por consiguiente en presencia de materiales pétreos de naturaleza básica, la emulsión tiende a romper por adherencia de asfalto

a la piedra. Sin embargo, en dichas emulsiones aniónicas esta atracción carece de la fuerza necesaria para producir el rompimiento.

En las emulsiones catiónicas, en cambio, el efecto de los agregados electronegativos es muy enérgico y conduce a un rompimiento más o menos inmediato de la emulsión. Las emulsiones catiónicas también rompen inmediatamente en presencia de agregados básicos (calizas) debido a una reacción del emulsificante. Es muy difícil encontrar en la naturaleza materiales que sean completamente electropositivos o electronegativos, pues la mayor parte de las rocas tienen elementos de las dos clases de materiales. Esto trae como consecuencia que las emulsiones aniónicas y catiónicas en muchos casos resulten efectivas para usarse con los mismos materiales.

- B) ALTERACION DEL EQUILIBRIO DE LA EMULSION POR EVAPORACION DE AGUA. Como ya se ha mencionado la estabilidad de la emulsión está asegurada por la protección que las moléculas del emulsificante dan a los glóbulos de asfalto. Esas moléculas se fijan en la superficie de los glóbulos, los cuales se encuentran en estado de equilibrio entre el asfalto y

el agua; de tal manera que al eliminarse agua por evaporación se rompe este equilibrio lo que ocasiona la unión de glóbulos y se produce el rompimiento de la emulsión. A este fenómeno se debe principalmente el rompimiento de las emulsiones aniónicas después de su aplicación. En las emulsiones catiónicas no suele producirse en la práctica este fenómeno, por ser mucho más rápido el rompimiento por efecto de las cargas eléctricas. No obstante, la influencia del fenómeno de evaporación existe también en estas emulsiones y se pone de manifiesto por el hecho de que el rompimiento es mucho más violento en presencia de agregados secos, que absorben el agua, que en agregados húmedos, por lo que muchas veces es conveniente humedecer previamente las superficies a las que han de agregarse ese tipo de emulsiones.

- C) ROMPIMIENTO POR DILUCION. Si se diluye una emulsión con agua, llega a producirse el rompimiento por un fenómeno inverso al de la evaporación del agua ya que al diluirse el emulsificante por exceso de agua, afecta al equilibrio original.

En la práctica el rompimiento de una emulsión se manifiesta claramente por el cambio que experimenta en su coloración, al

pasar del color marrón que es el característico al color negro típico del asfalto.

En los trabajos de construcción, rehabilitación y conservación de pavimentos las emulsiones asfálticas tienen las siguientes aplicaciones:

- EMULSIONES DE ROMPIMIENTO RAPIDO (RR). Pueden utilizarse en tratamientos superficiales como son: Riegos de Liga, Riegos de Impregnacion y Riegos de Sello.
  
- EMULSIONES DE ROMPIMIENTO MEDIO (RM). Se emplean principalmente para mezclas asfálticas utilizando materiales con muy poca cantidad de finos, para construcción de sub-bases estabilizadas, carpetas para caminos de bajo tránsito, bacheos y renivelaciones.
  
- EMULSIONES DE ROMPIMIENTO LENTO (RL). Se utilizan para mezclas asfálticas con materiales pétreos relativamente finos ó gravas-arenas con finos para sub-bases o bases estabilizadas y carpetas para caminos de bajo tránsito. También tienen aplicación en la elaboración de morteros asfálticos que están constituidos por emulsión asfáltica, arena, agua y en

ocasiones filler de cemento Portland o cal. Estos morteros se utilizan principalmente para el sellado de superficies agrietadas, de capas asfálticas rígidas por envejecimiento del asfalto original y como rehabilitación de la capa de rodamiento.

En todos los casos de utilización de emulsiones asfálticas, una vez seleccionados los materiales pétreos con los que habrán de combinarse, es necesario realizar estudios de laboratorio que permitan definir con seguridad el tipo de emulsión más conveniente y así lograr el mejor comportamiento de las obras que se construyan. En general, el tipo de emulsión debe depender del agregado pétreo que vaya a utilizarse y a las condiciones de trabajo por ejecutar. También cabe mencionar que el manejo y utilización de las emulsiones requieren de personal más cuidadoso y de tomar precauciones especiales en su transporte, manejo y aplicación, ya que es factible provocarles un rompimiento prematuro, que podría ser el origen de fracasos y problemas en los trabajos de construcción.

### **I.3.3 ENSAYOS Y PRUEBAS**

Las propiedades, clasificación e identificación de las emulsiones asfálticas se determinan mediante las siguientes pruebas:

VISCOSIDAD. Podemos definir la viscosidad como la resistencia que presenta un material a ser deformado, en función de la velocidad de aplicación de una carga, y se debe al rozamiento o fricción interna de sus moléculas.

Esta prueba tiene por objeto determinar la viscosidad de las emulsiones asfálticas a 25 y 50 grados centígrados. Para obtener la viscosidad se utiliza un aparato llamado viscosímetro "Saybolt-Furol" que nos da como medida de la viscosidad el tiempo que cierta cantidad de producto tarda en fluir por un orificio de dimensiones determinadas.

El aparato consiste en un recipiente en el que se vierte la emulsión asfáltica, rodeado de un baño termostático que permite tener el viscosímetro y la muestra a una temperatura de 25 y 50 grados centígrados dependiendo de la prueba. Todas las dimensiones del aparato están normalizadas. En el fondo del recipiente hay un orificio de diámetro también fijado, provisto de un tapón de corcho.

Para realizar la prueba se llena el recipiente con la emulsión asfáltica hasta un nivel determinado (100 ml), manteniéndolo durante cierto tiempo a la temperatura deseada mediante el baño termostático. Cuando se tiene la seguridad de que toda la masa del producto ha alcanzado la temperatura

de prueba, se renueva el tapón del fondo y se mide el tiempo que tarda en salir un determinado volumen del producto (60 ml).

La viscosidad de una emulsión a una temperatura dada, depende principalmente de la proporción de cemento asfáltico presente en la emulsión y de la distribución del tamaño de los glóbulos de asfalto.

La viscosidad de la emulsión debe ser lo suficientemente baja para poder regarla mediante las petrolizadoras convencionales y para que cubra con facilidad a los materiales pétreos o superficies a los que se aplica, pero al mismo tiempo será lo suficientemente viscosa para no escurrirse ni en el pavimento durante el riego, ni de la superficie de las partículas minerales durante el mezclado. Para riegos de sello y tratamientos superficiales se recomiendan viscosidades Saybolt-Furol de 25 a 100 segundos y para mezclas, viscosidades de 75 a 150 segundos, a las temperaturas de aplicación.

RESIDUO DE LA DESTILACION. Esta prueba se hace para determinar las proporciones de cemento asfáltico y de agua en la emulsión. La cantidad especificada de emulsión se coloca dentro del matraz de destilación que es de hierro o de aleación de aluminio, el cual esta conectado a un tubo

refrigerante por el que circula agua fría. Cuando se calienta el matraz por medio de un quemador circular, el agua se evapora y el vapor pasa al refrigerador donde se condensa recogiendo en una probeta graduada. Se controla la velocidad de destilado.

Al efectuar la destilación se obtiene el porcentaje en peso del residuo, restando al peso original de la muestra el peso del agua destilada y relacionando la diferencia con el peso original de la muestra. El residuo constituye el ligante útil que quedará aplicado en la obra mediante la emulsión.

**ASENTAMIENTO.** La prueba de asentamiento determina la tendencia de los glóbulos de asfalto a unirse entre sí durante el almacenamiento de la emulsión. La prueba consiste en mantener cierto volumen de emulsión en una probeta graduada, durante un número determinado de días, al cabo de los cuales se toman muestras de la parte superior y del fondo de la probeta. Estas muestras se pesan y se calientan hasta que toda el agua se evapore, se obtiene en cada una de ellas el porcentaje en peso del residuo y se determina la diferencia, la cual será una medida del asentamiento.

**RETENIDO EN LA MALLA NUM. 20.** La prueba de malla complementa a la de asentamiento y tiene un propósito

similar. Se usa para determinar cuantitativamente el porcentaje de cemento asfáltico presente en la emulsión en la forma de glóbulos relativamente grandes. Tales glóbulos tenderían a producir cubrimientos no uniformes de las partículas de material pétreo. Esta tendencia podría no ser revelada por la prueba de asentamiento, la que es de utilidad a este respecto sólo cuando hay la suficiente diferencia entre las densidades del agua y el asfalto para que ocurra el asentamiento.

La prueba se efectúa haciendo pasar una muestra de la emulsión a través de una malla del núm. 20. Para las emulsiones aniónicas se lavan la malla y el asfalto retenido con una solución diluida de oleato de sodio y para las emulsiones catiónicas el lavado se efectúa simplemente con agua destilada. Después del lavado se coloca la malla con el asfalto retenido en un horno para su secado y a continuación se determina el peso del asfalto retenido y el porcentaje que representa con relación al peso original de la muestra, valor que se reporta como resultado de la prueba.

**MISCIBILIDAD CON CEMENTO.** Esta prueba se efectúa a las emulsiones de rompimiento lento, tanto aniónicas como catiónicas y tiene por objeto asegurar productos sustancialmente inmunes a una rápida floculación de los

glóbulos de asfalto al entrar en contacto con materiales o suelos finos.

Para llevar al cabo esta prueba se mezclan completamente cantidades especificadas de emulsión y cemento Portland. La mezcla se lava después sobre una malla núm. 14 y se determina el peso del material retenido. Se reporta este peso como porcentaje del peso total de la mezcla. Generalmente se usan para la prueba 100 cm<sup>3</sup>. de emulsión y 50 gr de cemento Portland.

#### CUBRIMIENTO DEL AGREGADO. PRUEBA DE RESISTENCIA AL AGUA.

La prueba tiene un triple objeto ya que intenta determinar la capacidad de una emulsión a: cubrir completamente al agregado, soportar la acción de mezclado mientras permanece como película sobre el agregado y resistir la acción de lavado con agua después de terminado el mezclado.

Para efectuar la prueba se cubre con carbonato de calcio el agregado seco (solo si es de origen calizo) que se va a utilizar en la obra y luego se mezcla con la emulsión asfáltica. Aproximadamente la mitad de la mezcla se coloca sobre un papel absorbente para una apreciación visual del área de la superficie del agregado cubierta con la emulsión. El resto de la mezcla se lava con agua hasta que ésta salga

clara. El material se coloca luego sobre el papel absorbente y se aprecia también el área cubierta del agregado.

Otra muestra del mismo agregado de la obra se cubre igualmente con polvo de carbonato de calcio (si es de origen calizo) y se le agrega una cierta cantidad de agua para humedecerlo. Se adiciona la emulsión asfáltica y se mezcla completamente. Después se procede en la misma forma que con el agregado seco, apreciando el área de la superficie cubierta del agregado, en las dos porciones en que se divide la muestra después de agregarle la emulsión. En todos los casos se reporta el cubrimiento de la emulsión como un porcentaje del área total del agregado.

**CARGA DE LA PARTICULA.** Esta prueba sirve para una identificación de las emulsiones catiónicas de rompimiento rápido y medio. Consiste en sumergir dos electrodos en una muestra de emulsión, conectados a una fuente de corriente directa. Después de un tiempo especificado en que se hace pasar la corriente eléctrica, se examinan los electrodos para determinar en cual de ellos se ha depositado el asfalto. Si se depositó en el cátodo o electrodo negativo se trata de una emulsión catiónica.

**PH DE LA EMULSION.** Esta prueba se usa únicamente para determinar el grado de acidez de las emulsiones catiónicas de rompimiento lento. Se usa un potenciómetro o medidor de ph para realizar la prueba, la cual consiste en colocar la muestra de la emulsión dentro de un recipiente, e insertar dos electrodos de vidrio en conexión con el potenciómetro. Se mide en el aparato la diferencia de potencial en unidades de ph o en milivoltios, que son indicaciones de la acidez de la muestra.

**CONTENIDO DE SOLVENTES.** La prueba sirve para determinar el porcentaje de solventes derivados del petróleo que pueden contener algunas emulsiones catiónicas de rompimiento rápido y medio, lo cual no debe exceder de ciertos límites especificados. En realidad el dato se obtiene como resultado de la prueba de destilación que se efectúa a la emulsión, ya que el destilado incluye el volumen total de solventes y agua que están presentes en la emulsión. Como los dos materiales quedan separados en la probeta donde se recoge dicho destilado puede determinarse fácilmente las cantidades de cada uno. El contenido de solventes se reporta como porcentaje del volumen total de la muestra.

**PENETRACION.** Esta prueba se efectúa con el residuo de la destilación hecha a la emulsión asfáltica o sea que se hace

directamente sobre el cemento asfáltico. El resultado de esta prueba se expresa en grados y corresponde al número de décimas de milímetro que una aguja de dimensiones especificadas, con una carga de 100 gr. penetra en 5 seg. en la muestra de asfalto, mantenida a temperatura de 25 grados centígrados.

La penetración se ve afectada en un asfalto que se somete a los efectos del intemperismo, reduciéndose con el tiempo de exposición, al endurecerse el producto. Da una buena idea del grado de alteración por oxidación que experimenta un asfalto en un determinado momento de su servicio en una obra, cuando la prueba se hace recuperando el asfalto de la mezcla en que se está trabajando. Para evitar el agrietamiento prematuro de una carpeta por efecto del endurecimiento del asfalto, se recomienda, generalmente usar asfaltos suaves o de altas penetraciones, sin detrimento de la adecuada estabilidad de la mezcla.

Las emulsiones fabricadas con cementos asfálticos con penetraciones desde 40 hasta 250, son los más empleados en trabajos de construcción de pavimentos.

**DUCTILIDAD.** Esta prueba se hace con el residuo de la destilación de la emulsión asfáltica y sirve para determinar

el alargamiento máximo que experimenta una muestra de asfalto de dimensiones establecidas, sin romperse, cuando se estira dentro de un baño de agua a 25 grados centígrados y a una velocidad de 5 cm/min. Se considera que los asfaltos que tienen altas ductilidades poseen buenas cualidades de cementación en los pavimentos y se adhieren bien a los agregados; presentando a la vez características de poca susceptibilidad a la temperatura.

La ductilidad varía con la fuente de crudo y con los métodos de fabricación empleados. El intemperismo también produce disminución de la ductilidad en el asfalto. El resultado de esta prueba se da en cm..

**SOLUBILIDAD.** Esta prueba se hace al residuo de la destilación de la emulsión asfáltica y determina el grado de pureza del asfalto. El material soluble en tetracloruro de carbono, representa el contenido útil del producto. Haciendo la solución de una muestra de asfalto en este solvente, según se especifique, se separa por filtrado la porción soluble de la insoluble y el resultado se da como un porcentaje de cemento asfáltico soluble en tetracloruro de carbono.

## **CAPITULO II**

## II. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El término tratamiento superficial abarca todo tratamiento hecho con riego (extensión de ligante asfáltico). Se trata de aplicaciones para mejorar la adherencia entre capas y la impermeabilidad de una base; esto se logra con dos tipos de tratamientos principalmente:

- Riego de impregnación que sirve para impermeabilizar la base.
- Riego de liga que sirve para mejorar la adherencia entre capas.
- Riego de taponamiento que sirve para mejorar las condiciones de la superficie de rodamiento.

La técnica común consiste en la extensión de una película uniforme y continua de ligante asfáltico; ya sea en forma manual o con maquinaria. Son factores muy importantes la viscosidad y el tiempo de rompimiento de la emulsión, ya que normalmente se debe trabajar con espesores muy pequeños.

Para la selección de un método de rehabilitación de un pavimento es necesario un análisis detallado de las condiciones del mismo, con el fin de seleccionar el tipo de tratamiento óptimo que solucione el o los problemas que se presenten en el pavimento.

La selección del tipo de tratamiento se puede obtener haciendo una simple inspección visual del pavimento deteriorado y si es necesario hacer sondeos y efectuar pruebas de los materiales, capas del pavimento, subrasante etc..

Una vez seleccionado el tipo de tratamiento se procede a la rehabilitación de la pista.

El riego de impregnación es un tratamiento superficial que se emplea en los trabajos de bacheo profundo, esto es, en los que es necesario reponer la carpeta, base, sub-base y en algunas ocasiones hasta la subrasante.

La función del riego de liga es la de proporcionar una mejor unión entre dos superficies y es empleado en la corrección de distintos tipos de fallas como pueden ser: una erosión avanzada del pavimento, agujeros, corrimiento de carpeta, hundimientos, grietas, etc. en fin, en todo tipo de fallas en las que sea necesario dentro de la reparación la unión de dos capas que generalmente son la base con la carpeta o la unión entre dos capas de carpeta asfáltica.

## II.1 RIEGO DE IMPREGNACION

Los riegos de impregnación se efectúan sobre bases o capas granulares no tratadas previamente. Se intenta conseguir una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, sin polvo ni partículas sueltas, para extender adecuadamente las capas asfálticas superiores. Se utilizan asfaltos que tengan escasa viscosidad y que, además, esta característica se mantenga durante un cierto tiempo, para que pueda penetrar ligeramente por capilaridad. Estas exigencias variarán según el tipo de base a tratar, pudiendo las bases menos compactadas ser impregnadas más fácilmente que otras más compactadas. A veces se presenta una cierta dificultad al impregnar capas con material granular con alto contenido de partículas de grano fino, sobre todo si éstos son arcillosos.

Se debe humedecer con agua la superficie de la base, horas antes de la extensión del ligante asfáltico, para que los capilares queden lo más libres posible y favorezca la impregnación. La cantidad de ligante necesaria se suele fijar como la que es capaz de absorber la base en un período de 24 horas. Después de este período, las zonas especialmente ricas en asfalto se cubrirán con arena para absorber el exceso y las especialmente porosas o pobres se volverán a repasar con un nuevo riego de impregnación. En la práctica, y salvo que

existan notables heterogeneidades en la superficie de la base, se fija una dotación uniforme del orden de 1 kg/m<sup>2</sup> de emulsión de rotura lenta.

Se ha visto en la práctica que la mayor parte de las emulsiones, aunque sean de rotura lenta, impregnan con cierta dificultad el las capas muy cerradas ya que el suelo actúa tamizando las micelas (glóbulos o grupos de glóbulos) de la emulsión, lo que hace que penetre el agua y se forme una membrana superficial del ligante asfáltico. Este problema se ha solucionado haciendo un tipo de emulsión que contiene un alto contenido de fluidificantes en el asfalto residual (del orden del 15 al 20 %).

Para la aplicación de la emulsión en obras pequeñas se utilizan máquinas sencillas que constan de una bomba manual que se acopla a un bidón de emulsión; esta bomba aspira y da la presión suficiente a la emulsión para conseguir su pulverización por un difusor situado en el extremo de una lanza que maneja el operador regador. El motor que acciona la bomba sirve aveces también para permitir un desplazamiento a escasa velocidad de la máquina regadora. Otras veces, un motor más potente permite desplazamientos a velocidades normales dentro de la obra.

En obras de importancia media se utilizan las cisternas regadoras colocadas sobre camión ( petrolizadoras ).

Las petrolizadoras se pueden clasificar en dos grandes grupos: las de media presión y las de alta presión, que se diferencian unicamente en la forma de impulsión del líquido a regar.

Las petrolizadoras de media presión utilizan una bomba para impulsar el líquido y las de alta presión impulsan el líquido a base de aire comprimido en el tanque o sea, que actúan como un tanque presurizado.

Las principales partes que forman una petrolizadora son: depósito de líquidos, tren de riego, equipo de motobomba, quemadores, controles, tacómetros, termómetros, etc..

El tipo de falla más común que puede ocasionar una defectuosa aplicación del riego de impregnación es la de no dejar suficiente producto sobre la superficie a tratar y no impermeabilizarla adecuadamente. Esto trae como consecuencia el permitir que el agua emerja por capilaridad de las capas inferiores y ocasione daños a la carpeta asfáltica.

## II.3 RIEGO DE LIGA

El riego de liga consiste en la aplicación de una película lo más fina posible de ligante asfáltico sobre una superficie asfáltica o impermeable, para conseguir una buena unión con la capa asfáltica que se va a poner en obra inmediatamente, sobre la citada superficie.

Los ligantes asfálticos adecuados deben ser poco viscosos, con objeto de conseguir un buen reparto sobre la superficie con dotaciones escasas (del orden de 200 a 300 gr/m<sup>2</sup> de ligante asfáltico residual). Además, no deben contener fluidificantes en exceso, ya que éstos reblandecen las capas asfálticas inferior y la que se va a colocar en obra y necesitan un largo período de curado o pérdida de solventes, lo que va en perjuicio de la rapidez de la obra. Para el riego de liga se utiliza una emulsión catiónica de rompimiento rápido.

El riego de liga puede no utilizarse siempre, depende su uso del estado en que se encuentre la superficie a tratar. Cuando la superficie antigua esta muy sucia, además del barrido previo es necesario en muchos casos recurrir a un riego con ligante. Cuando se trata de una superficie limpia, rica en ligante y reciente, generalmente no se considera necesaria la

aplicación del riego de liga.

Para la aplicación del riego de liga se utiliza el mismo tipo de maquinaria que para el riego de impregnación y cuyas características principales se mencionaron ya en el inciso anterior.

La superficie sobre la cual va a ser aplicado un tratamiento superficial, debe limpiarse y repararse si es necesario, antes de que se efectúe cualquier riego con asfalto.

El bacheo es una operación esencial en las superficies que presenten agujeros, depresiones, que muestren movimientos de la base y agrietamientos serios. La reparación de tales irregularidades se lleva a cabo renovando todo el material suelto y defectuoso a suficiente profundidad y remplazandolo con una mezcla o tratamiento conveniente.

Para tener un buen anclaje sobre la superficie adyacente al tratamiento superficial, aquella deberá estar libre de material extraño suelto, tal como arena, arcilla, polvo o basura. Para remover los materiales extraños, generalmente se utilizan barredoras mecánicas rotatorias, si no se dispone de éstas, la limpieza se ejecuta con escobas de mano, picos y palas si fuere necesario.

Para asegurar el mejor funcionamiento de la maquinaria, las petrolizadoras que se usen para los riegos, estarán equipadas con instrumentos de medición que deberán estar convenientemente ajustados, además de contar con una adecuada operación.

El abanico que forman las espreas del tren de riego deberán estar ajustadas para asegurar uniformidad en la distribución de la emulsión, lo que se logra teniendo también la presión y velocidad apropiadas.

Las bombas de suministro de emulsión del tipo de desplazamiento positivo son las más adecuadas, ya que, garantiza la distribución uniforme en el tren de riego en cualquier momento, independientemente de la carga o volumen del material que quede en el tanque.

Las petrolizadoras deberán estar equipadas ya sea con un manómetro o con un tacómetro en la bomba, para regular el gasto de distribución que conjuntamente con la variación de la altura del tren de riego y la colocación de las espreas nos garantizará un riego uniforme y adecuado.

El tipo de falla más usual que puede causar una aplicación defectuosa del riego de liga ya sea por falta de emulsión o

por mala colocación de la misma, es la de corrimiento de carpeta que se manifiesta en el pavimento con ondulaciones superficiales; esto se debe a que no existe la adherencia adecuada entre la capa de rodamiento y la capa inferior.

### II.3 RIEGO DE TAPONAMIENTO

Cuando la carpeta asfáltica está por finalizar su vida útil (aproximadamente 4 años) o en algunos casos antes, empieza a presentar un tipo de falla que es ocasionado por el intemperismo al que están sujetas todas las mezclas asfálticas y esta falla es la de oxidación del asfalto, que ocasiona entre otras cosas que el material fino superficial se desmorone y se pierda.

Cuando un pavimento empieza a tener problemas por oxidación del asfalto, es conveniente aplicar un riego de taponamiento que consiste en agregar asfalto a la superficie, para que recupere sus propiedades el asfalto oxidado conjuntamente con el de la nueva aplicación.

Con este riego se consigue devolver, en cierto grado, las propiedades aglutinantes del asfalto y así evitar un mayor degradamiento de las partículas superficiales del agregado.

Este tipo de riegos se hace con emulsión asfáltica de rompimiento rápido rebajada con agua en proporciones que varían de 80 % - 20 % a 70 % - 30 % de agua y emulsión respectivamente.

La aplicación de estos riegos se realiza con máquinas petrolizadoras utilizando los mismos procesos que los descritos para los riegos de liga e impregnación.

### **CAPITULO III**

### **III. MEZCLAS EN FRIO**

Se denomina mezcla asfáltica a la constituida por un ligante que, con una película continua envuelve todas las partículas de un material pétreo, con granulometría cualquiera.

La primera clasificación tradicional de las mezclas asfálticas es la de Mezclas Asfálticas en Frío y Mezclas Asfálticas en Caliente.

Se define como mezcla asfáltica en frío a la combinación de un pétreo y un ligante asfáltico, lo cual puede hacerse con el ligante frío o caliente y los pétreos la mayor parte de las veces fríos, puede manejarse, extenderse y compactarse a la temperatura ambiente. En muchos casos estas mezclas son almacenables.

Se define como una mezcla asfáltica en caliente, a la combinación de un pétreo y un ligante asfáltico en la cual es necesario calentar previamente el ligante asfáltico y los pétreos, y además, de manera esencial, se maneja, extiende y compacta a temperatura netamente superior a la del ambiente.

Otra clasificación se hace atendiendo a la estructura interna de la mezcla. Dentro de esta clasificación se incluyen:

- Las Mezclas Abiertas.
- Las Mezclas Densas.
- Los Morteros Asfálticos.

Cada tipo de mezcla, indicada anteriormente, tiene un comportamiento diferente en cuanto a durabilidad y resistencia. Ese comportamiento está condicionado por la propia estructura y composición de la mezcla, por el tipo de sollicitaciones exteriores y por otros factores importantes tales como: la humedad y especialmente la temperatura.

Las mezclas asfálticas actualmente son muy usadas cuando se requieren firmes flexibles de calidad. Con ellas se consiguen superficies de rodadura de gran regularidad geométrica, cómodas por lo tanto para los vehículos y adecuadas para velocidades altas. También se emplean en capas de gran espesor en las que descansa la función resistente esencial del firme del camino.

Las mezclas en frío se utilizan para corregir fallas en el pavimento del siguiente tipo:

**EROSION AVANZADA DEL PAVIMENTO.** Este tipo de fallas se manifiesta por el desprendimiento del material pétreo más superficial. Esta erosión puede ser provocada por el chorro

de las turbinas y/o por el paso de la ruedas de los aviones a gran velocidad.

Las causas que originan estas fallas pueden ser: la elaboración defectuosa de la mezcla asfáltica durante la construcción del pavimento; la utilización de agregados pétreos con poca afinidad con el asfalto y a efectos circunstanciales como pueden ser el derrame de lubricantes y combustibles sobre la superficie, por lo tanto, sabiendo las causas que originan este tipo de fallas es importante que se tomen precauciones en la rehabilitación.

La corrección de este tipo de falla se hace retirando la carpeta existente dañada y reponiendola con una mezcla asfáltica del tipo denso o bién del tipo abierto pero colocandole un sello con mortero asfáltico para asegurar la textura superficial requerida.

**DISGREGACION Y DESMORONAMIENTO.** Esta es una falla de desintegración progresiva, consistente en la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta. Las causas que pueden originar esta falla son: insuficiente compactación durante la construcción, colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío, utilización de agregados sucios o desintegrables y/o falta de asfalto en la mezcla. Cuando la

falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, podrá llegarse a requerir un reencarpetado con una mezcla densa o si la superficie está dañada en zonas localizadas se procederá a un bacheo superficial.

**AGUJEROS.** Los agujeros son fallas de desintegración altamente localizadas que presentan la configuración de una cazuela de dimensión variable. La causa de la falla es la poca resistencia de la carpeta en la zona, resultante de una falta de asfalto en la mezcla, de una falta de espesor de la capa superficial de la carpeta, de un exceso o carencia de finos en la mezcla y/o de un drenaje deficiente.

La reparación correctiva de este tipo de falla es un bacheo en la que se repone la zona de carpeta dañada con una mezcla densa.

**CORRIMIENTO DE LA CARPETA.** Esta falla presenta generalmente un agrietamiento en forma de media luna; es provocada por una falta de adherencia entre la carpeta y la base. La falta de adherencia puede ser debida a impurezas tales como polvo, aceite, caucho, agua u otro material no adhesivo situadas entre las dos capas; también puede ser debida a la falta de riego de liga durante la construcción del pavimento o a un exceso de contenido de arena en la

mezcla, o bien a una inadecuada compactación durante la construcción. El tratamiento correctivo será el de un bacheo con mezcla densa.

**CORRIMIENTO CIRCULAR.** Esta falla se presenta generalmente en una o varias grietas semicirculares; es debido a esfuerzos en el pavimento provocados por los aviones al realizar giros muy cerrados en la pista o plataformas. Se puede presentar en aeropuertos en donde el ancho de la pista es insuficiente para realizar un viraje normal por lo que el piloto hace girar el avión sobre una de las piernas del tren de aterrizaje. También suele presentarse en pavimentos de poca capacidad para resistir los esfuerzos de tensión provocados por los giros de los aviones.

Si las grietas formadas están muy profundas será necesario abrir caja (bacheo) y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento. La reposición del material de carpeta se hará utilizando una mezcla asfáltica densa.

**CORRUGACIONES.** Las corrugaciones son una forma de movimiento o desplazamiento plástico de la carpeta asfáltica. Esta falla se presenta en forma de ondulaciones o bien en forma de depresiones y montículos de pequeños diámetros.

Las causas de esta falla son las cargas del tráfico que actúan sobre una carpeta asfáltica de poca estabilidad. Esta falta de estabilidad puede ser debida a un exceso de asfalto en la mezcla, a un exceso de agregados finos, a agregados pétreos demasiado redondeados o lisos, a un cemento asfáltico demasiado blando, a una humedad excesiva, a contaminación por derrame de aceites o bien a una falta de aeración al colocar la mezcla asfáltica elaborada con asfaltos rebajados.

La corrección consistirá en remover la zona afectada colocando en su lugar una mezcla asfáltica densa.

**HUNDIMIENTOS O DEPRESIONES.** Esta falla se presenta en forma de áreas bajas de dimensiones limitadas y pueden o no estar acompañadas de grietas. En época de lluvias se acumula agua en estas depresiones formando charcos los cuales pueden constituir un peligro para las operaciones de los aviones. Por otra parte el agua así acumulada acelera el proceso de deterioro del pavimento.

Los hundimientos o depresiones pueden ser provocados por la operación de cargas superiores a las correspondientes de diseño del pavimento, también pueden ser debidos a una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento o bien a asentamientos del terreno de cimentación.

La corrección de este tipo de falla dependerá de lo avanzado de la misma, de esta manera, se podrán tener varias soluciones que son:

- Cuando existen hundimientos debidos a la compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, se retira el área de carpeta dañada y se coloca mezcla asfáltica densa o abierta. Se recomienda dar un tratamiento superficial por medio de un mortero asfáltico para proporcionar mayor impermeabilidad al pavimento y en caso de usar mezcla abierta dar una superficie de rodamiento adecuada.
- Cuando existen asentamientos causados por falla de tuberías o alcantarillas, éstas deben ser reparadas previamente y después proceder a sustituir la carpeta dañada por mezcla asfáltica densa.
- Cuando existen hundimientos acompañados de grietas, es necesario efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla. En general las nivelaciones no son aplicables a estos casos.

Una vez establecido en qué casos es conveniente el uso de mezclas asfálticas en frío procederemos a analizar en qué consisten este tipo de mezclas.

### III.1 MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO

Las mezclas abiertas en frío, se fabrican generalmente con emulsiones, aunque excepcionalmente con asfaltos rebajados. Este tipo de mezclas se han utilizado principalmente para reperfilado y reponer la superficie de rodadura y un poco menos usadas en las construcciones de capas de bases asfálticas. Destacando estas tres aplicaciones:

- A) MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO PARA BACHEO. Se fabrican con procesos sencillos en las proximidades de obra (a mano, mezcladoras, etc.), o en plantas de fabricación, de donde se transportan a los distintos frentes. Lógicamente, este último sistema permite una regularidad y calidad mejores.

En general las mezclas abiertas en frío están compuestas por una emulsión que contiene asfalto fluidificado o una emulsión estable para permitir una almacenabilidad suficiente y una trabajabilidad que facilite la puesta en obra. En principio, se debe elegir el tamaño máximo del pétreo en función de la profundidad del bache a reparar. En baches muy profundos se presenta la dificultad de evaporar los fluidificantes, por los que éstos deben ser los

mínimos necesarios dentro de la emulsión. El bacheo con mezclas asfálticas en frío proporcionan altos rendimientos y calidades. En muchos casos es necesario recurrir a un sellado superficial del bache tratado, esto es para evitar la infiltración de agua si la mezcla quedo muy abierta y en el caso de las aeropistas para dar una superficie de rodamiento adecuada.

**B) MEZCLAS ABIERTAS EN FRIO EN CAPAS DE RODADURA FINAS.**

El empleo en estas capas presentan diversas ventajas:

- Buenos resultados al emplearse sobre pavimentos con mala regularidad superficial.
- Flexibilidad ante deflexiones altas del pavimento y ante asentamientos lentos del mismo.
- Aportación de un espesor adicional al del pavimento anterior.

La extensión y compactación de estas capas superficiales pueden hacerse con extendedoras y compactadoras, con altos rendimientos y una buena calidad y homogeneidad del trabajo. En obras pequeñas puede recurrirse a la extensión manual.

La permeabilidad de las capas superficiales abiertas puede presentar ventajas en ciertos casos e inconvenientes en otros. Si el pavimento anterior tiene buen perfil una capa abierta puede mantener el pavimento sin película de agua, consiguiéndose el necesario drenaje, siguiendo el bombeo y las pendientes de aquél. En los casos en que se intente evitar por todos los medios la penetración del agua a través de la capa superficial, un simple tratamiento de sellado con un mortero asfáltico asegura la impermeabilidad superficial.

La durabilidad de las mezclas abiertas en frío en lo que se refiere al posible envejecimiento del ligante, se ve favorecida por el empleo de dotaciones altas de asfalto.

En términos generales, la flexibilidad que se pide a las mezclas asfálticas en frío en la capa de rodamiento viene favorecida por el buen rozamiento interno de las partículas y por el contenido elevado de ligante.

C) MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA CAPAS GRUESAS DE BASE. Son capas abiertas con escasa rigidez y en

función de esta característica mecánica tienen sus ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas cabe citar su adaptación perfecta a los asentamientos producidos en las capas inferiores del pavimento y de los terraplenes. El mayor inconveniente radica en que, debido a la escasa rigidez las presiones que se transmiten son elevadas.

La mezcla en estos casos, suele emplearse con el contenido mínimo de fluidificantes y así prescindir de la almacenabilidad o de que ésta sea mínima, con el objeto de que la evaporación de aquéllos no impida la construcción de capas superiores durante un período determinado de tiempo.

Las mezclas abiertas, resisten fundamentalmente por rozamiento interno entre las partículas del pétreo. El ligante ayuda a proporcionar una cohesión mínima y evitar la degradación del pétreo como cuando éste se utiliza sin ningún tipo de ligante.

En este tipo de mezclas la durabilidad está condicionada por tres factores fundamentales: el envejecimiento del asfalto, la adherencia pétreo-asfalto y la resistencia del pétreo.

El problema del envejecimiento está relacionado íntimamente con la dotación de asfalto, así como al empleo de ligantes asfálticos con mayor viscosidad o modificados con elastómeros (como el látex), que aseguran mayor resistencia al envejecimiento.

La adherencia del asfalto con los pétreos debe asegurarse eligiendo unos agregados pétreos de calidad y características adecuadas.

### **III.1.1 MATERIALES**

#### **1. Agregados Pétreos**

Las exigencias en cuanto a los pétreos dependen de las características finales que se deseen obtener de las mezclas abiertas en frío. También hay que tener presente el proceso de fabricación y las características de las máquinas que se utilizan.

Una de las ventajas importantes que supone el uso de las mezclas abiertas en frío es la de poder ser fabricadas con pequeñas instalaciones en zonas apartadas de los grandes núcleos de demanda y consumo; ello requiere una mayor simplicidad mecánica y de acuerdo a este hecho, resulta

lógico demandar de los pétreos para las mezclas abiertas en frío una calidad y homogeneidad igual o superior a las de cualquier otro tipo de mezcla. Hay que poner especial énfasis al problema de la limpieza del pétreo o lo que es lo mismo, de la presencia de finos y de la calidad de los mismos.

Recordando que las mezclas abiertas en frío trabajan por rozamiento interno de las partículas es preciso exigir una dureza mínima de las partículas para asegurar que en el curso del tiempo, no se produzcan degradaciones debidas a las sollicitaciones mecánicas del tráfico.

Otro factor esencial a destacar en los pétreos es el de su buena adhesividad frente al ligante asfáltico en el curso del tiempo. La adhesividad es un fenómeno en el que intervienen tanto la calidad del pétreo como la calidad del ligante asfáltico.

La granulometría en estos tipos de mezclas se caracteriza por su escaso o nulo contenido de tamaños pequeños y finos.

La calidad de los finos del agregado tienen una importancia fundamental en el comportamiento de estas mezclas. Una escasa cantidad de finos de buena calidad puede crear con el asfalto un mastic (mezcla pastosa de finos-asfalto) que ayuda a

aumentar y rigidizar la película de asfalto alrededor del agregado grueso. Sin embargo, cuando este tipo de mezclas se fabrican con emulsiones asfálticas con fluidificantes, un contenido grande de finos dificulta la pérdida de los solventes con el consiguiente perjuicio para el endurecimiento de la mezcla.

#### ii. Asfálticos

En las mezclas abiertas en frío se emplean en la actualidad, fundamentalmente emulsiones asfálticas de rotura media fabricadas con una mezcla de asfalto y rebajados procedentes del petróleo. Son emulsiones con un escaso contenido de agua, con una viscosidad elevada (alto contenido de asfalto), que permiten por lo tanto, que la película del ligante que envuelve los pétreos sea de espesor suficiente. Al tener las mezclas abiertas en frío muy pocos finos hay que evitar que la emulsión sea tan fluida que solamente "pinte" ligeramente la superficie de las partículas, quedando al final una dotación excesivamente pequeña que producirá una durabilidad muy escasa del pavimento.

Es preciso que la emulsión tenga una estabilidad a la envuelta suficiente para que ésta sea buena, es decir, para que exista una cubrición prácticamente total. Sin embargo la

estabilidad no debe ser tan alta que la mezcla, una vez fabricada tarde excesivamente en romper, ya que en estos casos puede producirse el descubrimiento del pétreo a causa de lluvias inesperadas o sencillamente, a causa de un fenómeno físico de "escurrimiento" de la emulsión en los montones de almacenamiento o en el transporte. Si la emulsión rompe prácticamente al salir de la mezcladora o minutos después, puede asegurarse que se está en condiciones óptimas para tener una insensibilidad a los fenómenos atmosféricos y una buena puesta en obra. Como se sabe, una vez rota la emulsión, la mezcla sigue siendo trabajable debido a la presencia de fluidificantes que tardan bastante en evaporarse, o bien a la presencia de agua que lubrica las partículas envueltas de ligante durante los primeros momentos después de la fabricación.

En los últimos años se han puesto a punto las llamadas emulsiones con asfaltos modificados con caucho y diversos polímeros, con los que se han conseguido mezclas de alta calidad.

Puede afirmarse que los problemas de estabilidad son opuestos cuando se emplean emulsiones catiónicas que cuando se emplean emulsiones aniónicas. En el primer caso si la adhesividad de las emulsiones catiónicas es buena, los problemas suelen

presentarse por escasa estabilidad de la misma, sobre todo cuando el pétreo contiene finos. En el caso de emulsiones aniónicas, los problemas suelen presentarse por exceso de estabilidad de la emulsión, sobre todo cuando el pétreo no contiene finos.

La viscosidad, como se indicó anteriormente, es una propiedad muy importante, ya que permite asegurar una dotación suficiente sobre el pétreo dentro de la mezcla abierta. Se emplean emulsiones con contenido de agua próximos al 30 % estando el 70 % restante destinado al asfalto residual y al emulsificante.

El contenido de fluidificantes está en función del tiempo de almacenabilidad o curado que se quiere tenga la mezcla. En algunos casos, y con pétreos sucios se recurre al empleo de fluidificantes para mejorar las condiciones de envuelta, aunque esto no es muy recomendado ya que los elementos nocivos dentro de la mezcla, independientemente de la envuelta inicial, seguirá siendo siempre perjudicial. Lo que se recomienda es aumentar la estabilidad de la emulsión mejorando así el tiempo de envuelta, en lugar de recurrir a la fluidificación del ligante asfáltico.

### III.1.2 FABRICACION Y PUESTA EN OBRA

El diseño de la mezcla se basa principalmente en las siguientes características: granulometría, superficie específica del pétreo, tipo de capa, zona climática etc. y de acuerdo a esto se obtiene un contenido de ligante asfáltico. Debido a que las características mecánicas de la mezcla son función del ligante asfáltico se hacen pruebas mecánicas con diferentes contenidos de ligante en la mezcla y se determina así cual es la que tiene el mejor comportamiento.

Para llegar a tener un diseño óptimo de una mezcla abierta en frío podemos seguir los siguientes pasos:

- 1) ELECCION DEL PETREO. Se trata de definir unas determinadas granulometrías y exigir unas propiedades mínimas de dureza, forma, adhesividad, limpieza etc..
- 2) SUPERFICIE ESPECIFICA. Determinar la superficie específica del pétreo así como características de forma, absorción etc..
- 3) ENSAYOS DE ENVUELTA. En el laboratorio se deben hacer ensayos de envuelta. Hay que determinar el

tiempo de rotura, aunque éste solo sea indicativo, respecto al que vaya a obtenerse en obra; la velocidad de rotura de la emulsión es pues un factor importante para evitar envueltas defectuosas por rotura prematura, o sensibilidad a la lluvia por rotura demasiado lenta.

Desde el punto de vista de la emulsión se pueden usar tanto emulsiones catiónicas como las aniónicas. Son preferidas las de rotura media, sin embargo, en la decisión influyen otros factores como las condiciones climáticas, la lluvia, y sobre todo la disponibilidad de la emulsión.

El contenido de emulsión se fija tomando en cuenta los siguientes criterios:

- A) ENVUELTA. Se evalua por examen visual tras secado al aire de la mezcla.
- B) TRABAJABILIDAD. La mezcla debe ser fácilmente trabajable.
- C) ESCURRIMIENTO. Se prefiere que no exista pero se acepta hasta un 5 %.

D) **CONDICIONES DE TRABAJO.** La presencia de agua, condiciones atmosféricas y el proceso de mezclado, tienen influencia también en la selección del tipo de emulsión.

Las plantas de fabricación de mezclas en frío son más sencillas que las de mezclas en caliente, al eliminar los sistemas de calentamiento, tambor secador y recuperador de finos. De esta forma el conjunto queda reducido a una o varias tolvas de agregado, bandas transportadoras que alimentan a la mezcladora, donde a su vez llega la emulsión asfáltica por medio de tuberías desde el tanque de almacenamiento. Este tipo de instalaciones puede ser del tipo fijo o móvil.

Además de las plantas mezcladoras descritas, existen también las plantas móviles del tipo mezcladora-extendedora, muy útiles principalmente en zonas alejadas de plantas de producción; consta de una tolva donde se reciben los agregados, depósitos de emulsión, de agua y mezcladora, a la salida de la cual un tornillo sinfín distribuye la mezcla y una placa da el espesor deseado.

Para trabajos pequeños y de poca importancia pueden fabricarse en revolvedoras de concreto comunes o incluso a mano.

En general la extensión de la mezcla puede hacerse con extendedoras convencionales, con mezcladoras-extendedoras o con motoconformadoras.

La compactación puede hacerse con rodillos metálicos lisos vibratorios y con compactadores neumáticos o con combinaciones entre ellos. El empleo del sistema adecuado de compactación estará determinado por el espesor de la capa a compactar.

### **III.2 MEZCLAS DENSAS EN FRIO**

En muchos casos, el empleo de mezclas densas en caliente no resulta viable, bien sea por la situación de las obras, bien por su extensión o costo. La alternativa en estos casos son las mezclas en frío que pueden aplicarse en obra a temperatura ambiente y fabricarse en instalaciones sencillas.

Tradicionalmente este tipo de mezclas asfálticas se han venido fabricando con asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas. Sin embargo no se considera apropiada la utilización de asfaltos rebajados por la dificultad que presenta la pérdida por evaporación de los solventes debido a que la mezcla tiene una mínima cantidad de huecos. Por lo

tanto, en el campo de las mezclas en frío, sólo las hechas con emulsiones asfálticas tienen actualmente interés.

En un sentido amplio, el término "mezclas con emulsión" abarca todo tipo de mezcla en la que el ligante se utiliza en forma de emulsión, pasando posteriormente a constituir una película continua que envuelve los pétreos. El pétreo de la mezcla puede ser desde un totalmente triturado hasta un suelo en su forma natural dependiendo ésto del tipo de obra a efectuar.

Como característica general de las mezclas densas o cerradas, figura la de que se trata de materiales que, una vez compactados, tienen muy pocos huecos y ésto influye en su resistencia de una manera fundamental.

Los mecanismos generales de envuelta, rotura de la emulsión, eliminación del agua, adquisición de la resistencia final, etc., son comunes a todo este tipo de mezclas, aunque su calidad y finalidad pueden ser diferentes.

Dentro de este grupo de mezclas densas, podemos establecer de acuerdo a su utilización las siguientes técnicas más usadas en pavimentación:

- Estabilización de Suelos.
  
- Carpetas Densas o Cerradas.
  
- Morteros Asfálticos.

Los elementos básicos en una mezcla cerrada deben ser definidos y descritos detenidamente, dada su gran importancia en el comportamiento final de la mezcla.

El material pétreo tal como se ha dicho anteriormente, puede ser de muy distinta naturaleza y procedencia: desde un suelo en estado natural hasta un pétreo producto de la trituración total; pero, en cualquier caso, el primer paso de la ejecución consiste en que el pétreo tenga una buena cubrición de emulsión, en forma de película continua, de espesor variable según el tipo de material, que envuelva la mayor parte de las partículas y especialmente, que forme un buen mortero con la fracción más fina. Para conseguir los objetivos anteriores, es necesario muchas veces humedecer previamente los agregados. Esta humectación inicial deberá ser tal que permita la mejor incorporación posible del ligante al pétreo. Puede sin embargo, presentarse el problema que el agua inicial, sumada a los fluidos de la emulsión, haga que el material resultante tenga un exceso de humedad

que presente problemas a la compactación. En estos casos es preciso prever una eliminación de dicho exceso mediante algún proceso de aeración, almacenamiento, etc..

El segundo punto importante que se debe considerar en la fabricación de la mezcla, es el sistema de agitación y la energía empleada. Esto debe tenerse muy en cuenta cuando se realizan los ensayos para la dosificación de la mezcla en el laboratorio, ya que la energía de los sistemas utilizados no es la misma que la que se dispone en obra por lo que puede variar con ésto la calidad de la mezcla.

Existen en general, dos sistemas de mezclado: in situ y en planta. Este último consiste en el empleo de mezcladoras continuas con dos ejes de paletas que hacen avanzar la mezcla después de que se le ha añadido el agua y la emulsión para finalmente ser depositada en algún medio de transporte.

In situ, especialmente para las mezclas menos elaboradas, se recurre al empleo de mezcladoras móviles como la motoconformadora que es la más usada.

Conviene hacer notar que en lo que respecta a las mezclas densas, la puesta en obra y terminación sobre la pista tiene que hacerse lo más rápidamente posible antes de que la

emulsión haya roto, ya que si esto no es así, el material es prácticamente intrabajable e incompactable. En estos casos, hay que recurrir a emulsiones de rotura suficientemente lenta para las características de la obra o bien al empleo de aditivos sobre el pétreo que, por un lado, mejoran la adhesividad, y por el otro, regulan el tiempo de rotura según las características de la obra.

En la estabilización de suelos se puede trabajar la mezcla aún después de haber roto la emulsión asfáltica. En estos casos, una vez conseguida la envuelta, para la que deberá estar regulada la estabilidad de la emulsión, interesa que ésta rompa cuanto antes, con objeto de que no exista el riesgo de degradación o lavados por lluvias inmediatas. El motivo de que este tipo de materiales puedan colocarse con facilidad en obra, incluso después de rota la emulsión, radica en el escaso espesor de la película del ligante, que solo "pinta" ligeramente la superficie del pétreo. En estas mezclas es la humedad que ha permanecido entre las partículas, la que lubrica lo suficiente para conseguir la extensión y la compactación. Teniendo en cuenta lo anterior, para almacenar días, semanas e incluso meses este tipo de mezclas es preciso únicamente, asegurarse que en los almacenes se mantenga la humedad necesaria y, si esta tendiera a disminuir, hay que dar un riego energético con agua

para que en todo momento, esta humedad adicional asegure la manejabilidad final.

En resumen, se puede establecer que para asegurar la resistencia final de una mezcla con emulsión hay que valorar exactamente: la buena afinidad y adhesividad del pétreo con la emulsión; la homogeneidad del reparto de la misma; la cantidad de agua que contiene la mezcla, teniendo en cuenta la humedad inicial y el agua de la emulsión; los fluidos totales de mezclado; la humedad adecuada para la compactación.

### **III.2.1 ESTABILIZACION DE SUELOS**

Dentro de las mezclas densas en frío, la más elemental es la resultante de tratar un suelo natural con un ligante asfáltico. El suelo en principio, puede ser procedente de bancos de materiales, sin triturar, o de simples yacimientos de suelos de grano fino o grueso.

El ligante se mezcla normalmente en frío con el suelo, empleando emulsiones asfálticas.

Se define un suelo estabilizado con un producto asfáltico como a "la mezcla, convenientemente compactada de suelo,

agua, ligante asfáltico y eventualmente aditivos, cuyo fin es mejorar las características resistentes del suelo, disminuyendo su capacidad de absorción de agua y/o aumentando su coesión, por efecto de la incorporación del ligante asfáltico".

Para lograr una buena estabilización de un suelo con un ligante asfáltico es necesario que se cumplan una serie de condiciones que son:

- El suelo debe estar suelto y disgregado para facilitar el reparto uniforme del ligante.
- La maquinaria ha de ser capaz de conseguir la mezcla homogénea del ligante con el suelo.
- Tomar en cuenta las características del clima.

El campo de aplicación de las estabilizaciones de suelos con emulsión depende en gran medida de las condiciones locales y de la disponibilidad de agregados pétreos con que se cuente en las cercanías de las obras.

Las principales aplicaciones de los suelos estabilizados en aeropistas son:

- Estabilización de bases granulares.
- Estabilización de acotamientos.

El tipo de materiales que se utilizan en las estabilizaciones de suelos pueden ser de distinta índole como son: suelos finos, arenas y grava-arena de granulometría continua.

La emulsión adecuada para cada suelo deberá determinarse previamente mediante ensayos de envuelta eficaz y de estabilidad o tiempo de manejabilidad de la mezcla. En los suelos de grano fino, y cuanto menores sean las partículas, más importante será la estabilidad de la emulsión y la necesidad de formar una mezcla homogénea y resistente una vez compactado el suelo. También pueden usarse aditivos sobre el suelo disueltos en el agua de humectación, para retrasar el tiempo de rotura de la emulsión. Para las estabilizaciones se utilizan emulsiones aniónicas y catiónicas de rompimiento lento.

La mezcla de suelo con la emulsión puede hacerse in situ o en una planta fija.

La fabricación in situ puede presentarse en dos casos: que el suelo existente reúna las características adecuadas para su estabilización o que sea necesario aportar previamente otro

suelo de características complementarias, que debe mezclarse homogéneamente con el primero antes de la aportación de la emulsión asfáltica.

La realización de la obra requiere generalmente de los siguientes pasos:

- Disgregación del suelo o de los suelos que debe ser lo más eficaz posible para lograr una mayor homogeneidad.
- Aportación del agua necesaria para conseguir con la maquinaria disponible un buen reparto de la emulsión; el suelo deberá tener un contenido no mayor del 6% de agua y superior a un mínimo de un 3%. Es preferible que la humedad del suelo exista previamente a la extensión de la emulsión, y que la distribución sea uniforme, por lo que el agua debe añadirse al suelo antes de proceder al reparto del ligante y a la fabricación de la mezcla.
- Riego con la emulsión y mezclado. En muchos casos la humedad inicial más la debida al agua de la emulsión dará un contenido de agua superior al óptimo para la compactación. En estos casos es conveniente proceder a la aeración de la mezcla.

La emulsión asfáltica se aplicará en varias pasadas de

la petrolizadora simultaneamente a la operación de mezclado hasta completar la dotación prevista. El mezclado y tendido de la mezcla se hace con motoconformadora principalmente. Este tipo de máquinas requieren de varias pasadas para obtener la mezcla deseada. Existen máquinas más completas que con una sola pasada, son capaces de conseguir una mezcla adecuada del suelo y el ligante. Estas máquinas, auténticas mezcladoras móviles, constan de un depósito con emulsión, sistema de bombeo y aplicación de la misma, mezcladora continua y sistema de extensión.

- Compactación de la mezcla. La compactación se realiza con equipo de rodillos liso.

En el segundo caso la mezcla suelo emulsión puede hacerse en planta fija. La fabricación habitual en planta se hace en centrales continuas que proporcionan grandes rendimientos y calidad suficiente, siempre que se pueda dosificar por separado la emulsión, el agua y los pétreos clasificados en varios tamaños.

Las tolvas de los pétreos se controlan por compuertas y dispositivos mecánicos de salida. La emulsión se dosifica normalmente con una bomba. El agua de preenvuelta se aplica sobre el pétreo al entrar éste en la mezcladora.

El suelo estabilizado puede transportarse a obra inmediatamente después de la fabricación o almacenarse por algún tiempo si así se requiere.

### **III.2.2 CARPETAS DENSAS**

Se llama carpeta densa a la formada por un agregado, que con una granulometría determinada forma un esqueleto mineral en la que cada una de las partículas están cubiertas uniformemente por una película de asfalto y cuya mezcla una vez compactada tiene un contenido mínimo de huecos o vacíos.

Las carpetas densas en frío, una vez compactadas requieren de un tiempo variable para adquirir la cohesión final. Este tiempo puede ir desde minutos, horas o hasta días dependiendo del clima de la zona.

La mezcla debe fabricarse y extenderse en forma inmediata. El tiempo disponible para estas operaciones se basa en la duración del tiempo de rotura y el comienzo de la eliminación del agua.

El tipo de agregado que se utiliza en estas mezclas debe cumplir con una granulometría continua, dureza, etc. que se requiera para cada tipo de obra.

El ligante asfáltico puede ser de dos tipos: las emulsiones asfálticas estables y los asfaltos rebajados.

La técnica de las emulsiones han evolucionado grandemente en los últimos años siendo posible disponer de las emulsiones con la estabilidad requerida, con las que se consiga una envuelta adecuada con el pétreo, especialmente con los finos y cuyo tiempo de rotura sea muy corto.

Para el diseño de estas mezclas se utiliza la relación propuesta por el Instituto del Asfalto (U.S.A.), que nos da un valor óptimo en por ciento de asfalto residual sobre la mezcla.

Para la aplicación de esta relación debemos tener perfectamente identificado el agregado pétreo a utilizar y tener sus datos físicos como son:

- (6) Granulometría.
- Peso Volumétrico Suelto.
- (5) Equivalente de Arena.
- (4) Prueba de Desgaste (Los Angeles).
- (\*) Ver anexos.

La relación es:

$$P = 0.032 a + 0.045 b + k c + K$$

P = % de cemento asfáltico con respecto al peso total de la mezcla.

a = % retenido en malla No. 10

b = % pasa malla No. 10 y retiene malla No. 200

c = % pasa malla No. 200

k = 0.20 ( 11 a 15 % pasa malla No. 200 )

0.18 ( 6 a 10 % pasa malla No. 200 )

0.15 ( menos 5 % pasa malla No. 200 )

K = Puede variar de 0.0 a 2.0 según el tipo de material pétreo y su absorción.

El porcentaje de agua de mezclado se obtendra por tanteos, comenzando con un porcentaje (Ho) igual al óptimo teórico de emulsión y se van haciendo tanteos en más y en menos en incrementos de 1 %.

Para controlar la resistencia y calidad de la mezcla se utilizan las pruebas de (1) Compresión sin Confinar y la de (2) Pérdida de Estabilidad por Inmersión, en las que se fabrican especímenes de dimensiones estandarizadas y en las cuales se varía también el contenido óptimo de asfalto.

(\* ) Ver anexos.

Para obtener un porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso volumétrico seco del agregado se utiliza la siguiente relación:

$$CA_a = CA_m \cdot (1 + H_o)$$

$CA_a$  = % de cemento asfáltico con respecto al peso del agregado.

$CA_m$  = % de cemento asfáltico con respecto a la mezcla total.

$H_o$  = % de agua de mezclado ( se utiliza en decimales)

Una adecuada proporción de agua o humedad sobre el pétreo facilita la envuelta con la emulsión, la cual, con una viscosidad adecuada para cada tipo de granulometría permite la cubrición en película continua de todas las partículas.

A veces puede ser adecuado añadir pequeñas proporciones de aditivos al agua de preenvuelta, con objeto de regular el tiempo de rotura.

En general, es conveniente el empleo de emulsiones muy estables ya que el tiempo de rotura de la emulsión es uno de los factores decisivos para la trabajabilidad de la mezcla.

El ligante no sólo debe mezclarse con los finos sino también cubrir el pétreo grueso, por lo que, aparte de la estabilidad de la emulsión, la viscosidad de la misma tiene un papel importante para conseguir un buen espesor de película. En definitiva, son convenientes emulsiones viscosas y muy estables.

Para la elaboración de estas mezclas se utilizan emulsiones de rompimiento lento aniónicas o catiónicas, muy estables y viscosas, que permitan una mezcla adecuada con los agregados.

Los sistemas de fabricación y puesta en obra son análogos a los descritos en las carpetas abiertas, utilizándose generalmente plantas de fabricación y extendedoras o extendedoras-mezcladoras cuando se requiere una mejor calidad en la mezcla y su acabado, y motoconformadora si se requieren condiciones menos estrictas.

Es importante recalcar que el tiempo entre la fabricación, transporte, extensión y compactación de la mezcla, está limitado por la trabajabilidad de la propia mezcla. Esto se debe a un conjunto de factores, entre los que hay que destacar: el tiempo de rotura de la emulsión y la presencia de agua entre las partículas del agregado. Las emulsiones son lo suficientemente estables para que su rotura no sea

inmediata ni brusca, por lo que la rotura se produce de manera parcial y escalonada, pudiéndose durante todo este período de tiempo manejar perfectamente la mezcla. Incluso cuando la emulsión está completamente rota sigue existiendo cantidad suficiente de agua en forma de película continua y en forma de gotas, para contribuir a la trabajabilidad y a la compactabilidad de la mezcla.

Como las emulsiones usadas son de asfalto puro, la mezcla una vez compactada de forma enérgica, adquiere rápidamente una cohesión inicial que permite su uso en clima cálido en un espacio muy breve de tiempo. Esta cohesión debe ir aumentando con el tiempo durante los primeros días de puesta en obra.

Las mezclas densas se utilizan principalmente como capas de renivelación intermedias o de rodamiento, constituyendo mezclas de una alta calidad.

## **CAPITULO IV**

#### IV. MORTERO ASFALTICO

Las mezclas densas tienen un contenido de humedad relativamente bajo, en función de las necesidades de trabajabilidad y de compactación. Sin embargo, a los morteros asfálticos densos hechos en frío se les puede aumentar la cantidad de agua de una forma considerable hasta darles una consistencia de lechada o mortero; estos morteros asfálticos colocados en obra en forma de lechada, pueden extenderse en pequeños espesores que no necesitan, en principio, ser compactados. La permeabilidad final se obtiene por un proceso que depende de la rotura, evaporación de agua y acción del tráfico densificando esta capa superficial.

Considerando lo anterior podemos definir a un mortero asfáltico como una "mezcla asfáltica compuesta por emulsión asfáltica suficientemente estable, pétreo fino bien graduado, filler y agua, en proporción tal que se pueda conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua". La mezcla debe resultar fluida, homogénea, no debe tener grumos y una vez rota la emulsión y eliminada el agua, se puede conseguir una capa de mortero asfáltico estable, resistente a la abrasión del tráfico e impermeable.

Los morteros asfálticos pueden ser aniónicos o catiónicos, según el tipo de emulsión que contengan. Aparte de la emulsión, pueden utilizarse aditivos que, incorporados al pétreo o a la emulsión retrasan o anticipan el tiempo de rotura, actuando por lo tanto como reguladores de la misma y en algunos casos, como agentes de adhesividad. Inmediatamente después de haber roto la emulsión no debe abrirse al tráfico la obra ya que es necesario un cierto tiempo, desde algunos minutos a horas, según el clima y el tipo de mortero, para que, por la eliminación de agua, se alcance una cohesión mínima en la mezcla que sea capaz de resistir la acción de los neumáticos. Este proceso puede verse favorecido como es en el caso de aeropistas, utilizando una compactación controlada mediante el paso de compactadores de neumáticos. Este proceso no solo mejora la cohesión inicial, sino que evita pérdidas de las partículas minerales más gruesas del mortero, las cuales podrían ser perjudiciales para los aviones.

Con el uso de los morteros asfálticos se persiguen varios objetivos. Como los más importantes podemos señalar los siguientes:

- Impermeabilizar superficies de rodadura abiertas, agrietadas o pobres en ligante.

extenderse a mano con ayuda de rasquetas o jaladores, para obras chicas y por medio de máquinas extendedoras para obras grandes, el funcionamiento y características de éstas se verá más adelante.

El tipo de fallas que se presentan en los pavimentos y que se pueden reparar con un tratamiento a base de mortero asfáltico son las siguientes:

**EROSION DEL PAVIMENTO.** Consiste en el desprendimiento del material pétreo más superficial. Cuando la erosión se encuentra en etapa inicial el mortero asfáltico es el mejor correctivo.

**DISGREGACION O DESMORONAMIENTO.** Que consiste en la desintegración progresiva, esto es, la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta. Cuando la falla se encuentra en sus inicios, deberá efectuarse un riego de mortero asfáltico.

**SANGRADO O AFLORAMIENTO DE ASFALTO.** El sangrado y afloramiento de asfalto, que generalmente ocurre durante épocas de calor, consiste en la aparición de asfalto sobre la superficie del pavimento, formando una película extremadamente lisa, la cual bajo condiciones de lluvia presenta serios problemas al reducirse la fricción.

Las causas de esta falla pueden ser: un exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, una inadecuada construcción del sello, un riego de liga o de impregnación excesivos, o bien solventes que acarrean el asfalto a la superficie. También el paso de las cargas del tráfico pesado pueden ocasionar compresiones en un pavimento con exceso de asfalto, forzándolo a que aflore a la superficie.

El procedimiento para corregir este tipo de fallas será el de remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y efectuar un riego superficial con mortero asfáltico.

**OXIDACION DEL ASFALTO.** Esta falla presenta la característica de un excesivo intemperismo del asfalto, ya sea por agentes metereológicos, o por el efecto del escape de los motores de turbina a altas velocidades y temperaturas.

La oxidación del asfalto ocasiona una falta de adherencia del producto asfáltico. Normalmente esta falla se puede corregir mediante un tratamiento superficial con mortero asfáltico del área afectada a fin de proteger la estructura del pavimento en la zona de interés.

**FISURAS Y AGRIETAMIENTOS.** Cuando se presentan fisuras y

agrietamientos pequeños se puede deber a que el pavimento ya rebasó su vida útil y empieza a presentar aunado a los agrietamientos oxidación del asfalto, desmoronamiento etc. por lo que es necesario dar un tratamiento con mortero asfáltico para darle una nueva vida al pavimento.

En seguida veremos los componentes básicos del mortero asfáltico.

#### **IV.1 MATERIALES**

Un mortero asfáltico esta formado por los siguientes materiales: agregado pétreo, filler de aportación, emulsión asfáltica catiónica o aniónica, aditivos y agua.

##### **IV.1.1 AGRREGADO PÉTREO**

Debido a que los morteros se dividen en tres grandes tipos de morteros asfálticos ( aniónicos, catiónicos lentos y catiónicos rápidos de rompimiento controlado ), las exigencias respecto a los pétreos deben estar condicionados por el tipo de lechada que se va a utilizar, aparte de las condiciones del pavimento y del tráfico existente.

Las condiciones de buena calidad del pétreo fino que se

exigen en las mezclas asfálticas deben extremarse en los morteros, especialmente en aquéllos que más que destinados a una simple función de sellado, están destinados a proporcionar una capa de rodadura con una microtextura importante. En estos casos debe exigirse dureza y una proporción elevada de material pétreo procedente de trituración. La fracción más fina del pétreo en la cual se incluye el filler (cemento o cal) debe tener una clara afinidad con la emulsión de que se trate.

El filler ya sea cemento hidráulico o cal se debe escoger entre aquellas marcas que se conozcan de origen y que esté garantizada su calidad; sobretodo, el cemento debe ser de fraguado normal, ya que los de fraguado rápido no son compatibles con los morteros.

Estos fillers desempeñan principalmente dos funciones dentro de la mezcla:

- El rompimiento o fraguado del mortero se puede acelerar o retardar según el tipo de emulsión que se emplee. En el caso de las aniónicas el fraguado se acelera ligeramente, ganando tiempo para poner en servicio el tratamiento aplicado; este mismo cemento, si se agrega a los morteros con emulsión catiónica,

sufrirá un retraso en su rompimiento, lo que provoca que el fraguado del mortero sea más lento.

- Otra función que tienen estos fillers es la de formar un gel que mantiene a la emulsión en un estado de suspensión perfectamente bien repartida en el mortero.

Un exceso de estos finos puede tener resultados negativos en la resistencia de la superficie ante la abrasión. Esta es independiente del ligante asfáltico, pero la influencia del cemento o cal si pueden actuar a la inversa. Generalmente se usan en proporción de 0.1 a 3.0 % en peso del agregado seco.

Con morteros asfálticos aniónicos, deben utilizarse pétreos calizos; sin embargo, cuando se desea proporcionar a la superficie de rodadura una textura áspera y duradera, no se puede prescindir de pétreos que contengan una proporción importante de sílice. En estos casos es conveniente agregar un filler de aportación.

En general, con los morteros asfálticos aniónicos se puede ser más tolerante con la actividad del filler y con el equivalente de arena (que es la medición del grado de pureza del agregado pétreo fino), que con los morteros catiónicos. Pueden considerarse valores adecuados del equivalente de arena en gran parte de los casos entre 30 y 50. La mayor

tolerancia en los valores del equivalente de arena se justifica por la acción beneficiosa de los emulsionantes aniónicos sobre la fracción plástica del petróleo.

Los morteros asfálticos del tipo catiónico hechos con emulsiones de rotura lenta que se pueden mezclar con cemento exigen algunas peculiaridades del petróleo. Puede suceder que estas emulsiones de rotura lenta no mezclen perfectamente con todos los tipos de filleres, actuando el cemento como estabilizante más que como filler que provoca la rotura. En este caso, el empleo de cemento es adecuado no solo para mejorar la resistencia a la abrasión a largo plazo, sino precisamente para facilitar las condiciones de mezclado. El equivalente de arena para estos morteros se recomienda con un valor mínimo de 45.

Los morteros asfálticos de rompimiento controlado fabricados con aditivo sobre el petróleo y emulsiones catiónicas rápidas, son las que en general, exigen una mayor calidad de los petróleos ya que petróleos con bajo equivalente de arena solo se mezclan utilizando grandes cantidades de aditivo que elevan enormemente el costo de la fabricación e incluso pueden ser contraproducentes al activar excesivamente el ligante asfáltico original. Con los morteros asfálticos de rotura controlada es conveniente exigir equivalentes de arena altos,

incluso superiores a 55. Sin embargo equivalentes de arena excesivamente altos, pueden significar también la existencia de finos gruesos y en definitiva, la constitución de un mastic poco denso y duradero.

Para controlar la calidad del mortero asfáltico se han establecido ensayos y pruebas normalizadas de laboratorio; los que corresponden a los pétreos son los siguientes:

- Granulometría.
- Peso Volumétrico.
- Equivalente de Arena.
- Resistencia al Desgaste (prueba de Los Angeles).

Cada país según su experiencia y resultados obtenidos, ha establecido sus granulometrías tipo; aquí en México se han adoptado las de la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), que establece tres tipos con las características siguientes:

- Tipo I fino (1/8)"
- Tipo II general (1/4)"
- Tipo III grueso (3/8)"

MALLA	TIPO I # pasa	TIPO II # pasa	TIPO III # pasa
3/8 (9.5 mm)	100	100	100
No. 4 (4.7 mm)	100	90-100	70-90
No. 8 (2.36 mm)	90-100	65-90	45-70
No. 16 (1.18 mm)	65-90	45-70	28-50
No. 30 (0.6 mm)	40-60	30-50	19-34
No. 50 (0.3 mm)	25-42	18-30	12-25
No. 100 (0.15 mm)	15-30	10-21	7-18
No. 200 (0.075 mm)	10-20	5-15	5-15
Ligante Residual # sobre el pétreo	10-16	7.3-13.5	6.5-12
Dotación Media de mortero (kg/m <sup>2</sup> )	3-5.5	5.5-8	8 o más

La elección del tipo de mortero dependerá del objetivo del tratamiento.

**TIPO I.** Se utiliza para máxima penetración en las grietas y como preparación para mezcla en caliente o sello convencional. Se usa generalmente como sello en áreas de poco tránsito, aeropuertos para aviones ligeros, estacionamientos y hombros de carreteras.

**TIPO II.** Es el más ampliamente usado y se emplea para sellar, corregir defectos severos, grietas, oxidación y

pérdida de aglutinante y para aumentar la resistencia al derrape. Se usa en tráfico moderado y pesado dependiendo de la calidad del agregado disponible y del diseño. Este tipo es el usado en los aeropuertos tanto Nacionales como Internacionales, en México.

TIPO III. Se usa para corregir severos defectos de la superficie, como primer capa de un tratamiento múltiple, para dar resistencia al derrape, para prevenir patinaje por agua bajo cargas muy pesadas y para extender la vida útil en estas condiciones.

El peso volumétrico seco es necesario obtenerlo porque con base en éste se hará la dosificación de emulsión, aditivo, agua y filler de aportación si es necesario.

El equivalente de arena nos indica la presencia o ausencia de finos activos (arcillas), que pueden ser perjudiciales para la elaboración y comportamiento del mortero asfáltico.

La resistencia al desgaste es una prueba que nos da una buena indicación de como el agregado se comportará bajo condiciones de servicio.

Los problemas de limpieza y calidad del pétreo son

especialmente importantes cuando las condiciones climatológicas se alejan de las ideales. Para temperaturas muy altas, la velocidad de rotura de la emulsión crece exponencialmente, por lo tanto, pueden presentarse serias dificultades de puesta en obra si además, el pétreo no reúne las condiciones adecuadas de limpieza. Por el contrario, para temperaturas muy bajas es preciso recurrir a modificaciones en la emulsión, acortando su velocidad previsible de rotura, y al empleo de fillers adecuados para que la rotura se vea favorecida. También hay que tomar en cuenta la humedad ambiente y la porosidad y absorción del pétreo.

#### **IV.1.2 EMULSION ASFALTICA**

El tipo de emulsión asfáltica para el mortero, deberá ir de acuerdo con la exigencias mismas del trabajo. Como ya se dijo las emulsiones están divididas en dos grandes grupos: aniónicas y catiónicas. Por lo tanto, dependiendo del tipo de mortero que se requiera este será el tipo de emulsión que se utilice.

Las emulsiones aniónicas y catiónicas lentas, aunque de comportamiento diferente permiten menos precisión sobre el tiempo de rotura que las emulsiones rápidas con aditivos sobre el pétreo, ya que aquellas deben tener alta estabilidad

para que no rompan prematuramente en la época cálida del año, lo que supone que el tiempo de rotura sea excesivo cuando las condiciones climatológicas son frías o húmedas. En estos casos pueden presentarse grandes problemas de falta de rotura de la emulsión, debido a la poca reactividad con los pétreos.

Las emulsiones catiónicas rápidas se utilizan en el mortero asfáltico acompañadas de un aditivo que se aplica generalmente sobre el pétreo.

#### **IV.1.3 ADITIVOS**

Como ya se mencionó, la principal función de los aditivos es la de mejorar la adhesividad entre el asfalto y el pétreo, así como ayudar al control del rompimiento de la emulsión.

Para la fabricación de morteros asfálticos de rompimiento controlado se han utilizado recientemente diversos tipos de aditivos que se aplican principalmente sobre el pétreo, éstos mejoran algunas de las características típicas de los morteros o ayudan a evitar problemas que habitualmente se presentan, como pueden ser los debidos a temperaturas muy elevadas o muy bajas, o a los pétreos especialmente contaminados.

Se fabrican también emulsiones con aditivos que mejoran el comportamiento del mortero asfáltico. En este sentido es admisible todo polímero o elastómero que proporcione unas mejores características. Sin embargo estas mejoras deben probarse claramente en ensayos de abrasión que tiene una estrecha relación con la durabilidad del tratamiento en obra.

#### **IV.2 DISEÑO DEL MORTERO ASFALTICO**

El diseño de los morteros asfálticos consiste, al igual que en todas las mezclas, en la determinación de una fórmula de trabajo que establezca las proporciones adecuadas del pétreo, filler, emulsión y eventuales aditivos. Esta fórmula debe asegurar un buen comportamiento en obra respecto a estabilidad, textura y durabilidad. En el caso de los morteros no basta solamente con determinar dicha fórmula sino que es necesario, además, indicar la cantidad de agua idónea que facilite la puesta en obra y proporcione la consistencia adecuada para una buena trabajabilidad.

De acuerdo a los componentes del mortero y a la proporción de agua, hay que hacer algunas consideraciones según el tipo de mortero de que se trate. En los morteros de rotura lenta, la proporción de agua suele ser mucho más importante que en los morteros de rotura rápida, esto desde el punto de vista

de resistencia final del mortero asfáltico. Esto es, un mortero de rotura lenta adquiere su consistencia después de la evaporación de la mayor parte del agua que contiene, un exceso de agua puede no solo retrasar la rotura, sino también contribuir a posibles segregaciones de la mezcla fluyendo parte de la emulsión hacia puntos bajos o hacia zonas inferiores de la capa. Además, la permeabilidad inicial del mortero antes de la apertura del tráfico y después de la rotura, depende en gran parte, de los huecos que contiene el mismo, y estos huecos están íntimamente relacionados con la cantidad de fluidos que inicialmente tenía el mortero. El empleo de morteros asfálticos rápidos y en especial los de rompimiento controlado con aditivos, tienen un comportamiento distinto, esto es, en pocos minutos se produce una separación de fases, fluyendo el agua limpia y manteniéndose por lo tanto el mortero en unas condiciones relativamente independientes de la cantidad inicial de fluidos. En este tipo de morteros puede ser conveniente usar un exceso de humedad inicial, siempre y cuando esto no produzca segregaciones importantes en la puesta en obra, ya que este exceso facilita la correcta humectación de los pétreos y aumenta ligeramente el tiempo de rotura, que siempre es muy crítico en este tipo de morteros y especialmente en tiempo caluroso.

La otra consideración importante es la derivada del escasisimo espesor de la capa que un mortero asfáltico proporciona. Por lo tanto, las condiciones superficiales del pavimento antiguo tienen una gran importancia a la hora de fijar la fórmula de trabajo. Un exceso de ligante en el pavimento antiguo, o por el contrario, una permeabilidad excesiva, pueden influir de manera muy importante en el resultado final del mortero y deben condicionar la fórmula de trabajo modificando sustancialmente el contenido de ligante dentro del mismo. Las mismas consideraciones se pueden hacer sobre la temperatura y grado de humedad de la superficie a tratar, que pueden ocasionar una rotura prematura.

Por todo lo anterior, es necesario, al estudiar una obra en la que se quiere aplicar mortero asfáltico establecer un cuadro de condiciones de trabajo en el que se tomen en cuenta los factores siguientes:

- Factores relativos a la superficie primitiva: regularidad superficial, permeabilidad, textura, contenido de ligante etc..
- Climatología: época del año, temperatura ambiente y del pavimento, riesgo de precipitaciones.
- Selección de materiales y fórmula de trabajo.

#### IV.2.1 DISEÑO

Como se dijo anteriormente los agregados pétreos se ensayarán con el fin de obtener sus propiedades físicas. Para ello se realizan principalmente las pruebas siguientes:

- (6) Granulometría.
- Peso Volumétrico Seco.
- (5) Equivalente de Arena.
- (4) Prueba de Desgaste.
- (\*) Ver anexos.

Una vez obtenidos los datos del pétreo se procede con los siguientes pasos:

- Calculo teórico del residuo asfáltico.
- Primera aproximación práctica de la humedad óptima de mezclado.
- Determinación de la emulsión más adecuada para trabajarse con el material pétreo.

Una vez elegido el tipo de emulsión, se procederá a determinar prácticamente los componentes del mortero según las pruebas de diseño:

- ‡ Optimo del residuo asfáltico.
- ‡ De humedad de mezclado.
- ‡ De filler de aportación.
- ‡ De aditivo.

Estos porcentajes se tomarán con respecto al peso volumétrico seco del agregado pétreo.

Todo lo anterior se evaluará con una máquina de prueba, cualesquiera que sean los valores que se obtengan de dicha prueba, se tomarán como base de diseño y se deberán hacer las modificaciones necesarias durante la puesta obra para poder así garantizar la calidad óptima del mortero asfáltico.

El método de prueba más aceptado es la prueba de abrasión en inmersión o por vía húmeda. Esta prueba es requerida en las especificaciones de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) para el diseño y aplicación de morteros asfálticos en aeropistas.

#### **IV.2.2 PRUEBAS MECANICAS**

En los morteros asfálticos, debido al escaso espesor de la capa, la resistencia a la abrasión es una de las características esenciales, ya que la fórmula fundamental de

resistir a la acción del tráfico consiste en evitar que éste pueda degradar lentamente el mortero eliminando partículas minerales del mismo. Por ello, la mayor parte de los procedimientos de laboratorio para dosificar morteros asfálticos han ido mejorando cada vez más los métodos de abrasión por vía húmeda bajo distintos tipos de acción abrasiva como son: rueda metálica, elemento de goma etc..

El procedimiento aceptado en México es el de la American Society for Testing and Materials (ASTM), en la que el contenido óptimo de emulsión se determina apartir de la prueba de abrasión en inmersión.

La prueba de abrasión en inmersión es un buen instrumento de diseño para los tratamientos superficiales de sello con mortero asfáltico, debiendose relacionar los resultados con el comportamiento real que tenga la mezcla ya en la obra.

Esta prueba mide la resistencia de este tipo de capas delgadas bajo condiciones de inmersión, que da idea esencialmente de la buena adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

El procedimiento de prueba comienza después de haber obtenido todos los datos físicos del agregado pétreo y haber

establecido la granulometría de trabajo. Se calculará el residuo teórico de asfalto que deberá emplearse mediante la siguiente relación:

$$R = 2 ( 0.032 a + 0.045 b + K c + k_1 )$$

donde:

R = residuo asfáltico %

K = constante que varía de acuerdo con el % que pasa la malla No. 200

0.20 ..... 5 %

0.18 ..... 6 a 10 %

0.15 ..... 11 a 15 %

K<sub>1</sub> = factor de corrección por absorción que va de:  
0.7 % a 2.0 %

a = % retenido en malla No. 10

b = % que pasa malla No. 10 y se retiene No. 20

c = % que pasa malla No. 200

Para obtener la cantidad de emulsión necesaria:

$$E = \frac{R}{\% Re}$$

Re = residuo asfáltico reportado de la emulsión:

La cantidad de agua necesaria para realizar la mezcla, deberá determinarse por tanteos, hasta hallar la más adecuada. El porcentaje inicial será aquel que, al incorporarse el agregado y mezclarse sin emulsión, produzca una mezcla fácilmente trabajable y suelta.

Con esta humedad y cuando se incorpore la emulsión al agregado pétreo ya incluido el cemento y el aditivo (si se requirieren), se harán los ajustes necesarios. Esta humedad (Ho), será la que se emplee para realizar las mezclas que posteriormente se probarán en la máquina de abrasión.

Las cantidades de emulsión que se empleen en la elaboración de los espécimenes de prueba son:

( % E - 1.5 % ); ( % E - 1.0 % ); ( % E - 0.5 % ); ( % E );  
( % E + 1.5 % ); ( % E + 1.0 % ); ( % E + 0.5 % )

En todos los casos es recomendable mantener constante la cantidad de filler (cemento o cal), en un porcentaje de 1.0 con respecto al peso volumétrico seco del agregado pétreo; sin embargo una vez determinada la cantidad de emulsión óptima ( Eop ), se probará el desgaste que pueda tener variando 0.5 y 1.5 %, con el objeto de garantizar el menor desgaste posible.

La prueba consiste en someter a unos especímenes circulares de mortero asfáltico, de 5" ( 12.7 cm ) de diámetro y 5 mm de espesor, curadas previamente a 60 grados centígrados hasta peso constante y sumergidas en agua, a la acción abrasiva de una goma que actúa sobre ellas mediante un movimiento de giro sobre 2 ejes paralelos. El ensayo dura 5 minutos y el espécimen se encuentra sumergido en un baño de agua a 25 grados centígrados. La pérdida en peso define su resistencia a la abrasión, referida a una superficie unitaria. La abrasión se calcula en kg/m<sup>2</sup> o lo más usual en gr/cm<sup>2</sup> de acuerdo a la siguiente relación:

$$F_a = \frac{P_0 - P_1}{A}$$

F<sub>a</sub> = factor de abrasión

P<sub>0</sub> = peso de la base y espécimen antes de la prueba

P<sub>1</sub> = peso de la base y espécimen después de la prueba

A = área de desgaste del espécimen

al mezclado correcto y a proporcionar la fluidez deseada, debe estar dosificada en la cantidad establecida. Sin embargo, la cantidad de agua y el exceso de la misma, puede estar también condicionada por el tipo de mortero y por su velocidad de rotura, aparte de estarlo por las condiciones de trabajabilidad, tipo de pétreo y climatología. En los morteros de rotura lenta, un exceso de fluidos es muy perjudicial respecto a la resistencia a la abrasión y posibles migraciones del ligante. Por el contrario, en los morteros de rotura rápida y controlada, puede producirse un drenaje inmediato y franco de agua, después de la rotura. Por ello, es conveniente un exceso de humedad inicial para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y su estabilidad inicial.

La mayor parte de los defectos que se pueden presentar en las fases de mezclado y extensión, pueden corregirse fácilmente si el equipo humano está bien entrenado. Sin embargo cabe mencionar los problemas que se pueden derivar de una mala superficie del pavimento a reparar, tales como la mala regularidad, permeabilidad heterogénea, materiales sueltos etc., que difícilmente pueden corregirse si no son realizadas anticipadamente operaciones de corrección de defectos que están fuera del alcance del mortero asfáltico. Algunos aspectos pueden mejorarse en la superficie primitiva por

ejemplo, si el pavimento esta muy caliente es conveniente hacer un previo riego de agua que enfríe ligeramente la superficie, facilite la adherencia del mortero y evite los efectos nocivos de la presencia de polvo en pequeñas cantidades.

Sobre superficies muy pulidas puede ser conveniente aplicar previamente un riego de liga con una emulsión que sea adecuada para dicho riego.

Los morteros asfálticos no requieren en general, ningún tipo de compactación. Sin embargo, en el caso de los aeropuertos, los daños que ocasionan la arena y pétreo suelto pueden ser muy considerables al dañar a las turbinas de los aviones. Por ello, es necesario dar una enérgica compactación con neumáticos después de la rotura de la emulsión. También puede ser conveniente cuando se utilizan granulometrías muy gruesas.

Es preciso que el mortero, aunque sea de rotura lenta se extienda antes de que haya comenzado el proceso de rotura, ya que en caso contrario, podrían existir problemas de mala adherencia a la superficie antigua, así como escaso sellado de las zonas porosas y agrietadas. Es necesario hacer hincapié en que no basta que el mortero haya roto para que

tenga una cohesión suficiente que permita el paso de vehículos. Esta cohesión se alcanza mediante un proceso de drenaje, evaporación, dependiendo de la climatología y del tipo de mortero, que facilita que las partículas de pétreo, ya cubiertas de ligante asfáltico, establezcan contacto entre ellas.

En la práctica los morteros de rotura rápida y controlada pueden abrirse al paso de vehículos de 30 a 45 minutos después de la rotura en tiempo cálido; y en 2 a 3 horas en condiciones atmosféricas adversas. Se recomienda que con temperatura ambiente por debajo de 5 grados centígrados en morteros aniónicos y 2 grados centígrados en morteros catiónicos se suspendan los trabajos.

#### **IV.3.1 MAQUINARIA**

Para la puesta en obra de los morteros asfálticos se utilizan máquinas extendedoras que han sido diseñadas para montarse sobre un chasis de camión normal ( 2 o 3 ejes ) y como equipo auxiliar: barredora mecánica, cargador frontal, pipa de agua, petrolizadora, compactador neumático, herramienta menor de trabajo y equipo de iluminación si la obra así lo requiere.

MAQUINA MEZCLADORA EXTENDEDORA. Esta máquina es cargada con los materiales a utilizar, los mezcla en la debida proporción para obtener un mortero estable, lo descarga a la rastra que lo distribuye en el pavimento existente en forma uniforme y al espesor deseado.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y TOLVAS. Todas las máquinas tienen tanques separados y de capacidad apropiada para emulsión y agua, tienen una abertura en la parte superior lo suficientemente grande para el paso de una persona a limpiarlo y darle mantenimiento. Deberán ser llenados por esta abertura o por conexión desde el fondo, lo que es preferible para eliminar la espuma.

Algunas máquinas tienen bomba de vacío para así llenar los tanques sin requerir bombas ajenas de transferencia. Los tanques deberán tener indicadores de columna que muestren en todo momento el nivel de líquidos.

Los tanques deberán tener una capacidad tal que normalmente se vacien simultaneamente con la tolva del pétreo.

Para permitir la caída del agregado a la banda transportadora, la tolva deberá tener un ángulo de 45 a 50 grados con la vertical y tendrán vibradores de pared para

ayudar al deslizamiento de materiales húmedos. Aún las máquinas más pequeñas deberán tener entrada de tolva tal que pueda ser llenada por un cargador frontal grande.

**MOTOR DE FUERZA AUXILIAR.** Cada máquina esta equipada con un motor diesel o gasolina que proporciona la fuerza necesaria para toda la operación, cada motor tiene su propia fuente eléctrica y clutch para evitar sobrecargas de arranque. El calor que produce este motor es conducido a la bomba de emulsión para facilitar su trabajo. Todo esto se controla desde un tablero.

**ALIMENTACION DE MATERIALES.** El pétreo es alimentado de la tolva al mezclador mediante banda transportadora y controlado mediante una compuerta.

La emulsión es suministrada a presión mediante bomba de engranes y controlada por una válvula o por las revoluciones de la bomba.

La bomba deberá ser lavada con diesel al finalizar cada día de trabajo. Para checar que esta suficientemente limpia, se deberá poder mover con la mano antes de empezar la operación.

Al principiar el trabajo la bomba deberá estar caliente antes

debe ser resistente a la corrosión.

MEDICION DE LOS COMPONENTES. La impulsión de las bombas y de la banda transportadora está interconectada mecánicamente por lo que la proporción no se altera durante el proceso por variación de velocidad individualmente.

El agregado se mide mediante una compuerta vertical a la salida de la tolva que se ajusta manualmente. El orificio es rectangular y la base es paralela a la banda transportadora.

La posición de la compuerta determina el volumen de salida al mezclador. Es conveniente regular este volumen en función de las revoluciones del rodillo de la banda ya que el movimiento de éste está conectado mecánicamente con las bombas. Se debe considerar el contenido de humedad del material sobre su peso específico para evitar un mal proporcionamiento del agua de prehumedecido.

El clutch de la bomba de emulsión es del tipo que no pueda patinar por lo que el gasto de ésta estará en función del volumen alimentado de petróleo. De este volumen, depende el tiempo de mezclado, pero es independiente en todo momento de la velocidad del motor auxiliar.

El alimentador de finos trabaja simultáneamente con el del pétreo y dosifica mediante un tornillo sinfín cuya salida es controlada para asegurar el volumen deseado.

MEZCLADOR. El mezclador esta diseñado para batir enérgica y uniformemente y el mínimo de tiempo el agregado, filler, agua, aditivo y emulsión resultando el mortero asfáltico. La descarga es controlada mediante una compuerta que opera manual o hidráulicamente. El agitador es un serpentín helicoidal con tacos rascadores que a la vez que revuelven impulsan la mezcla a la salida. El filler se le agrega al pétreo justo antes de que éste caiga de la banda al mezclador, inmediatamente después se agrega el agua de prehumedecido seguido del aditivo, una vez en la tolva mezcladora estos se combinan antes de llegar al punto donde se vierte la emulsión, que es generalmente a la mitad del recorrido dentro de la tolva mezcladora.

Tanto la salida como la dirección del mortero asfáltico son controlados mediante compuertas. Estas compuertas están colocadas de tal forma que su borde superior sirve de vertedor. El nivel sobre este borde se controla moviendo la compuerta o disminuyendo la alimentación. Para vaciar el mezclador se baja completamente la compuerta. El mezclador deberá ser limpiado al finalizar el trabajo del día. Para

facilitar el limpiado del siguiente día se puede recubrir con una película de petróleo o diesel.

**RASTRA.** La caja tendedora o rastra tiene por objeto extender el mortero a donde sea necesario, a la vez que lo deposita a un ancho y espesor determinado sobre el pavimento existente y le da acabado superficial.

Esta rastra esta formada de cuatro compartimientos rectangulares. Está articulada al centro de los pares de cajones y se puede extender al ancho deseado de 2.4 a 4.0 m.

Las paredes de los compartimientos, delantera, media, trasera y laterales llevan unas cejas de neopreno reemplazables, el objeto de la delantera y de las laterales es retener el mortero dentro de la rastra, la cruz central ayuda a la distribución lateral, permitiendo que una parte pase al compartimiento posterior. La parte posterior va guarnecida por una banda continua en todo el ancho, formando una maestra que condiciona el terminado de la extensión. El conjunto de la caja de rastra va apoyada en tres patines de acero endurecido y arrastrada por un sistema de cadenas. Los patines de deslizamiento poseen un sistema de regulación vertical para poder variar la presión de la maestra sobre el pavimento y en cierta medida, regular la cantidad de mortero

extendido. Esta dosificación final es función de diversos factores: alzado de guías, presión de la maestra, calidad y dureza de la maestra, tipo y condiciones del pavimento en que se extiende, etc.. Por último cabe mencionar que los modelos comunes de rastras vienen con gusanos distribuidores hidráulicos, que extienden el mortero a todo lo largo sin importar el bombeo o la pendiente del camino.

**BARRA ROCIADORA DE AGUA.** Se recomienda humedecer el pavimento existente antes de aplicar mortero para bajar la temperatura, eliminar fricción y ayudar al cubrimiento de éste por el asfalto. Esto lo hace la misma máquina mediante espreas colocadas al frente de la rastra o bajo la tolva mezcladora. Debe cuidarse que no se tape alguna esprea para evitar lunares secos.

**BARRIDO.** Esencial para el éxito del tratamiento con mortero asfáltico es que la superficie a sellar este limpia. Después de remover cualquier tipo de vegetación y bacheo de hoyos y grietas mayores, se deberá limpiar la superficie. El método más común el barrerla con una barredora mecánica remolcada con un tractor agrícola; también es efectivo el sopleteado de la superficie.

**COMPACTACION.** Todos los morteros ya fraguados contienen vacíos por lo que deberá compactarse la mezcla. En carreteras de tráfico pesado, éste dará esa compactación, pero en casos de aeropistas se recomienda hacerlo con compactador neumático autopropulsado con peso de 4 a 8 toneladas y dando de 4 a 8 pasadas.

**TANQUES, PETROLIZADORA Y PIPAS.** Es necesaria la petrolizadora para abastecer y tanques para almacenar la emulsión. Deberá recordarse que muchas emulsiones no son estables cuando se almacenan mucho tiempo o a bajas o altas temperaturas. Una pipa de agua es muy útil ya que como normalmente no se cuenta con una toma municipal en el lugar de la obra, ésta sirve para el llenado y limpieza de las máquinas.

**HERRAMIENTAS DE MANO.** Se requiere de un cierto número de herramientas para usarse donde la máquina no tiene acceso como curvas y ángulos muy cerrados. Se necesitan palas, carretillas, cepillos, y rasquetas (jaladores de emulsión en forma de rastrillo con neopreno), normalmente éstas tienen de 0.60 a 0.90 m y se usan para dar acabado superficial en las áreas inaccesibles.

#### IV.3.2 PROCESO CONSTRUCTIVO

El mortero asfáltico es un tratamiento superficial que se puede utilizar como sellado y para obtener una superficie regular de rodamiento. La aplicación del mortero puede hacerse sobre una base en un tratamiento multicapa ( de 2 a 3 capas ) o bien, se puede hacer sobre un pavimento ya existente.

En las aeropistas el procedimiento que se va a utilizar es el de tendido de mortero asfáltico sobre un pavimento, normalmente en una capa de 6 mm y al cual se le dará una compactación con un compactador neumático.

El procedimiento constructivo del tendido de mortero asfáltico consta de varios pasos que son: limpieza y calafateo de grietas, carga de los materiales en la máquina extendedora, tendido del mortero, compactación y señalamiento provisional si es necesario y por último la limpieza general de la obra.

**LIMPIEZA Y CALAFATEO DE GRIETAS.** Como ya se mencionó el éxito del tratamiento con mortero asfáltico depende grandemente de la limpieza del pavimento a tratar y esto garantizará una buena adherencia con el pavimento existente.

Si existen grietas éstas de deberán limpiar mediante sopleteado y retirar la materia orgánica de las mismas y se procederá al calafateo mediante un mortero asfáltico fino.

**CARGA DE LA MAQUINA EXTENDEDORA.** Como en todo trabajo la disponibilidad de los materiales es básica para la continuidad y eficiencia máxima que se pueda conseguir de un conjunto de máquinas que trabajan juntas para llegar al buen término de una obra. En este tipo de obra en la que la máquina principal es la extendedora es necesario tenerla en perfectas condiciones de operación para que no se detenga la producción. Como la carga de los materiales que forman el mortero se hace sobre una sola máquina y se trata de hacerlo lo más rápido posible, es necesario contar con un almacén en el que todos los elementos de carga y las máquinas que van a hacerlas estén lo más cerca posible unas de otras para poder hacer la carga en el menor tiempo posible.

En la práctica lo que ha dado mejores resultados es que primero el cargador frontal cargue el agregado, después la pipa y la petrolizadora cargan simultáneamente agua y emulsión; el aditivo es cargado normalmente de bidones al tanque del aditivo por medio de una bomba eléctrica y el cemento se carga en forma manual al depósito de filler.

Una vez cargada la máquina se procede al tendido del mortero asfáltico. Antes del primer tendido de cada día de trabajo es recomendable calibrar la máquina, esto es, checar que cada uno de los elementos que componen el mortero se estén adicionando en cantidad correcta según el diseño de la mezcla.

Después del tendido y una vez que el mortero tenga la cohesión suficiente para que no sufra desplazamientos, se procede a compactar la capa con el compactador neumático dándole de 4 a 8 pasadas.

Como último paso en algunos tramos de la pista es necesario pintar un señalamiento aeronáutico en forma provisional que sirve mientras esto se hace en forma definitiva, después de la terminación de la obra. Conjuntamente con este último paso se realiza la limpieza general de la obra.

## **CAPITULO V**

## **V. REHABILITACION DE PAVIMENTOS DE USO AERONAUTICO EN EL AEROPUERTO DE VILLAHERMOSA, TAB.**

De acuerdo a los programas nacionales de conservación de aeropuertos se realiza la rehabilitación del aeropuerto de Villahermosa, Tab., en los meses de Octubre y Noviembre de 1989.

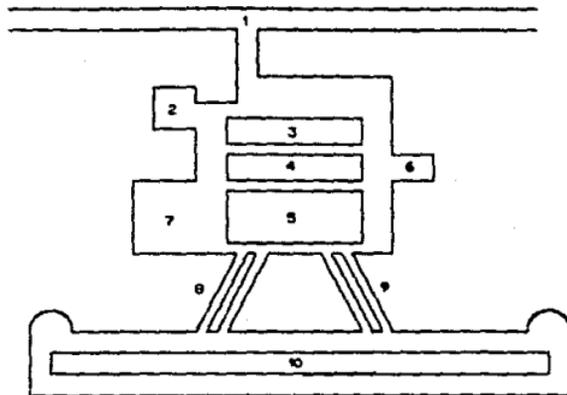
Tabasco es un estado situado al sureste de la República Mexicana, que cuenta con clima tropical lluvioso con precipitaciones abundantes superiores a los 2000 mm anuales.

Tomando en cuenta esta climatología y considerando la época del año de ejecución de la obra, así como el resultado de la evaluación del pavimento, se toma la decisión de utilizar técnicas en frío a base de emulsiones asfálticas para la rehabilitación de la pista 08-26 del mencionado aeropuerto.

### **V.1 DESCRIPCION DE LA OBRA**

La obra consiste en : bacheo, aplicación de mortero asfáltico y riego de taponamiento en pista 08-26, rodajes bravo y alfa así como en la plataforma de aviación comercial, plataforma de aviación civil, vialidades, estacionamiento y obras complementarias del aeropuerto (ver figura 1).

# AEROPUERTO VILLAHERMOSA, TAB.



- 1 CAMINO DE ACCESO
- 2 ZONA DE COMBUSTIBLES
- 3 ESTACIONAMIENTO
- 4 EDIFICIO TERMINAL
- 5 PLATAFORMA AMACION COMERCIAL

- 6 C R E I
- 7 PLATAFORMA AMACION CIVIL
- 8 RODAJE BAJA
- 9 RODAJE ALTA
- 10 PISTA 09-26

FIGURA 1

La pista 08-26 tiene una longitud de 2200 m y 45 m de ancho, es una pista de construcción mixta en la que el tercio medio es de losas de concreto hidráulico y los dos tercios restantes son de carpeta asfáltica, (ver figura 3).

La pista cuenta con dos zonas de viraje (gotas) para los aviones en los dos extremos de la pista contandose por lo tanto con la gota 08 y la gota 26.

Los rodajes bravo y alfa presentan la misma estructura de construcción mixta, siendo sus dimensiones de 400 m de longitud por 30 m de ancho.

Una de las actividades críticas previas a la de la rehabilitación de una pista es la de la evaluación del estado del pavimento, y al efectuar esta revisión en la pista 08-26 se llega al siguiente diagnóstico:

- Desgranamiento de los agregados lo que ocasiona problemas con las turbinas de los aviones y exige un proceso de barridos a fondo que se van aumentando de barridos diarios a barridos con una frecuencia de una hora.
- Fisuras en el pavimento asfáltico.
- Pulimento del agregado grueso al quedar expuesto y por

lo tanto disminución del índice de fricción adecuado para la operación aeronáutica.

- Alta permeabilidad en algunas zonas de la pista lo que está ocasionando problemas a la estructura general de la pista como pequeños hundimientos.
- Poca seguridad en las operaciones aéreas debidas al peligro constante que representa el que puedan ser dañadas las turbinas con el material suelto que se encuentra sobre la pista.

Las causas de este proceso de deterioro del pavimento se deben principalmente a:

- La acción oxidante del aire y el agua sobre el asfalto.
- Los intensos ciclos pluviales y condiciones climatológicas.
- Acción de las radiaciones solares.
- Incremento en las operaciones aéreas, a lo largo de la vida de servicio.

Tomando en cuenta las características anteriores se llega a la decisión de rehabilitar con un tratamiento de mortero asfáltico aplicado en las zonas donde existe carpeta

asfáltica y en donde las fallas son más críticas se procede a efectuar un bacheo previo al tendido del mortero.

Como ya se mencionó anteriormente las principales actividades a desarrollar son:

- Bacheos superficiales.
- Aplicación de mortero asfáltico.
- Riego de taponamiento.

Las cantidades de obra a ejecutar son: (ver figura 2)

#### BACHEOS

UBICACION	CANTIDAD (M2)
PISTA	650
RODAJE BRAVO	20
RODAJE ALFA	120
PLATAFORMA AVIACION COMERCIAL	350
PLATAFORMA AVIACION CIVIL	1000
C.R.E.I.	405
ZONA DE COMBUSTIBLES	15
ESTACIONAMIENTO	140
TOTAL	----- 2700

**MORTERO ASFALTICO**

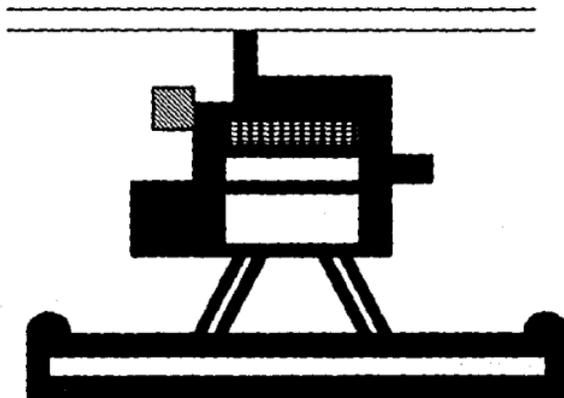
UBICACION	CANTIDAD (M2)
PISTA	63763
RODAJE BRAVO	12947
RODAJE ALFA	12970
PLATAFORMA AVIACION COMERCIAL	3349
PLATAFORMA AVIACION CIVIL	15440
C.R.E.I.	2080
ESTACIONAMIENTO	3402
VIALIDADES	1641
CAMINO ACCESO AEROPUERTO	792
TOTAL	----- 116384

**RIEGO DE TAPONAMIENTO**

UBICACION	CANTIDAD (M2)
ESTACIONAMIENTO	13500
ZONA DE COMBUSTIBLES	700
TOTAL	----- 14200

# AEROPUERTO VILLAHERMOSA, TAB.

## ACTIVIDADES A EJECUTAR



- BACHEOS, MORTERO ASFÁLTICO.
- ▨ BACHEOS, MORTERO ASFÁLTICO, RIEGO DE TAPONAMIENTO.
- ▧ BACHEOS, RIEGO DE TAPONAMIENTO

FIGURA 2

# AEROPUERTO VILLAHERMOSA

## SECCION TIPO DE CONSTRUCCION

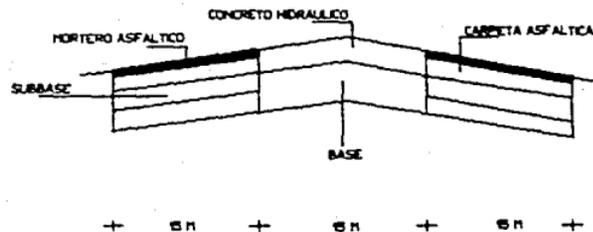


FIGURA 3

## V.2 MATERIALES DE CONSTRUCCION Y DISEÑO DE LA MEZCLA

Para llegar a un diseño óptimo de las mezclas asfálticas que se han de utilizar es necesario tener los materiales adecuados y esto está en función de las especificaciones.

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) por medio de su Gerencia de Conservación y directamente por la Subgerencia de Conservación de Areas de Operación y del Departamento Técnico de Areas de Operación, establecen las siguientes especificaciones para la obra: " Bacheo, aplicación de mortero asfáltico y riego de taponamiento en pavimentos de uso aeronáutico y terrestre y obras complementarias en el Aeropuerto de Villahermosa, Tab. ".

CARPETA ASFALTICA POR EL SISTEMA DE MEZCLA EN EL LUGAR. Los requisitos que deberán cumplir los materiales tanto pétreos como el producto asfáltico para la elaboración de la carpeta asfáltica por el sistema de mezcla en el lugar son los siguientes:

- El material pétreo deberá ser una mezcla de grava y arena bien graduada, criterio (6) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con un porcentaje máximo del 10 % pasando la malla No. 200 y con tamaño

máximo de partículas de 19 mm debiendo separarse en fracciones de 19 mm a No. 4 y de No. 4 a finos. Adicionalmente cumplirá con los requisitos siguientes:

- (3) Contracción lineal: 2 % máximo.
- (4) Desgaste de la prueba de Los Angeles: 40 % máximo.
- (8) Partículas alargadas y/o en forma de laja: 35 % máximo.
- (5) Equivalente de Arena: 50 % mínimo.
- Partículas trituradas: 70 % mínimo.
- (\*) Ver anexos.

El agregado pétreo deberá satisfacer al menos dos de los siguientes requisitos para afinidad con el asfalto:

- (7) Desprendimiento por fricción: 25 % máximo.
  - (9) Cubrimiento con asfalto ( Método Inglés ): 90 % mínimo.
  - (2) Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua: 25 % máximo.
  - (\*) Ver anexos.
- Producto asfáltico: el producto asfáltico a emplear será de una emulsión superestable.

- Mezcla asfáltica: el producto de la mezcla asfáltica y control durante su elaboración se hará mediante el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros sin confinar.

La mezcla asfáltica deberá cumplir con los requisitos que se indican enseguida:

- Resistencia de 5 kg/cm<sup>2</sup> mínima.
- Vacíos en la mezcla 4 % mínimo.
- Permeabilidad en la carpeta menor al 10 %.
- La mezcla se compactará al 95 % mínimo.

Para aceptar la carpeta se consideraran las siguientes tolerancias:

<u>PARAMETRO</u>	<u>TOLERANCIA</u>
Niveles	+/- 0.5 cm
Espesores	+/- 0.5 cm
Profundidad de las depresiones	máx. 0.5 cm

La profundidad de las depresiones se determinará colocando una regla de 5 m de longitud, paralela y

normal al eje longitudinal.

Para la elaboración de la mezcla asfáltica se podrá utilizar dosificadora o efectuarla con motoconformadora.

**RIEGO DE LIGA.** En las zonas de bacheo, previo a la colocación de la carpeta asfáltica y posterior al barrido de la superficie, se hará un riego de liga con producto asfáltico fr-3 o emulsión de rompimiento rápido.

**MORTERO ASFALTICO.** El material pétreo empleado en la construcción del mortero asfáltico deberá ser una arena bien graduada (criterio SUCS), y cementante fino no plástico y que cumplan con los requisitos que a continuación se indican:

- La granulometría:

	<b>MALLA</b>	<b>¿ QUE PASA</b>
	3/8 (9.5 mm)	100
No.	4 (4.7 mm)	90-100
No.	8 (2.36 mm)	65-90
No.	16 (1.18 mm)	45-70
No.	30 (0.6 mm)	30-50

**MALLA****¿ QUE PASA**

No. 50 (0.3 mm)	18-30
No. 100 (0.15 mm)	10-21
No. 200 (0.075 mm)	5-15

- (11) Índice plástico: 7 % máximo.
- (10) Límite líquido: 30 % máximo.
- (3) Contracción lineal: 2 % máximo.
- (5) Equivalente de arena: 70 % mínimo.
- (7) Afinidad con el asfalto, desprendimiento por fricción 25 % máximo.
- (4) Desgaste prueba de Los Angeles: 40 % máximo:
- (\*) Ver anexos.
- Material Asfáltico: El producto asfáltico para la elaboración del mortero será una emulsión de rompimiento controlado rápido y deberá cumplir con los requisitos siguientes:

- Viscosidad Saybolt-Furol	20-100 seg.
- Residuo de la destilación % en peso	60 mínimo.
- Asentamiento en 5 días diferencia en %	5 máximo.
- Retenido en malla No. 20 %	0.1 máximo.

- Carga de la partícula                    positiva.
- Penetración                                80-100
- Solubilidad en tetracloruro  
de carbono †                                97 mínimo.
- Ductilidad cm                              40 mínimo.

- Mezcla de Mortero: la dosificación de la emulsión asfáltica agregados pétreos, agua y filler (cemento o cal), estará dado por el contratista bajo su responsabilidad.

En caso de ser necesario se adicionará un aditivo retardante o acelerante según se requiera y la dosificación estará también bajo la responsabilidad de la contratista.

La mezcla asfáltica deberá cumplir con lo siguiente:

- Pérdida por abrasión en ensayo por vía húmeda:  
0.08 gr/cm2 máximo.
- (12) Arena adherida en ensayo L.W.T.  
0.08 gr/cm2 máximo.
- (\*) Ver anexos.

Adicionalmente se deberá cumplir con lo siguiente:

- Ligante residual: 7.5 a 13.5 † sobre el pétreo.

- Agua de amasado: 10 a 15 % sobre el pétreo.
- Agua total: 10 a 20 % sobre el pétreo.

**RIEGO DE TAPONAMIENTO.** El riego de taponamiento se aplicará mediante una mezcla compuesta de emulsión asfáltica de rompimiento rápido y agua, la proporción del agua y emulsión será del 80 y 20 % respectivamente y la dosificación será de 0.5 a 0.6 litros por metro cuadrado.

La mezcla de emulsión-agua deberá romper en un tiempo máximo de dos horas.

#### **V.2.1 AGREGADO PÉTREO**

Para la elección del agregado pétreo se estudian diferentes bancos en la zona geográfica cercana a la obra.

Los agregados utilizados se seleccionan de acuerdo a las especificaciones y en base a sus características de granulometría, limpieza y dureza.

Los bancos de materiales analizados para el mortero asfáltico son:

- " Agregados Controlados de Tabasco ". Teapa, tab.

- " Triturados y Construcciones de Chiapas ", Pichucalco, Chis.
- " Landa y Rubio ", Macuspana, Tab.
- " TACSA ", Teapa, tab.
- " El Barrio ", Lagunas de Oaxaca, Oax.

y se obtienen los siguientes resultados después de efectuar las pruebas correspondientes ( ver tabla 1).

El agregado pétreo de los bancos " Triturados y Construcciones de Chiapas " y "Landa y Rubio" presentan las mejores características de dureza, limpieza y bajo contenido de arcillas, su granulometría es adecuada para el mortero asfáltico requerido (tipo II) y debido a que el material de Pichucalco tiene bajo contenido de finos se hace una mezcla del 75 % y 25 % respectivamente para realizar el tratamiento.

Debido a que las características físicas del agregado pétreo que se requiere para la carpeta asfáltica son un poco menos estrictas que las del mortero, y como también cumple con las especificaciones el agregado del banco de Pichucalco, Chis. se escoge para la fabricación de la mezcla asfáltica.

El ensayo del material para la carpeta asfáltica reporta los siguientes resultados:

TABLA COMPARATIVA  
 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS ENSAYADOS  
 MORTERO ASFALTICO

BANCO	EQUIVALENTE DE ARENA %	DESGASTE DE LOS ANGELES %	GRANULOMETRIA	ADHESIVIDAD %	NATURALEZA	COMENTARIOS
AGREGADOS CONTROLADOS DE TABASCO, TEAPA, TAB.	68	5	ADECUADA	98	BASALTICA	PARCIALMENTE TRITURADO CON BUENA CALIDAD Y LIMPIEZA.
TRITURADOS Y CONSTRUCCIONES DE CHIAPAS PICHUCALCO, CRIS.	75	5	ADECUADA	96	BASALTICA	TRITURACION PARCIAL CON BUENA CALIDAD Y LIMPIEZA
LAMDA Y RUBIO MACUSPANA, TAB.	72	< 40	ADECUADA	95	SILICO CALCAREO	TRITURACION TOTAL, SELECCION DE PIEDRA PARA ASEGURAR LIMPIEZA.
T A C S A TEAPA, TAB.	57	< 40	TOTALMENTE FUERA DE LIMITES	REGULAR	BASALTICA	TRITURACION TOTAL REGULAR CALIDAD SIN INTERMEDIOS.
EL BARRIO LAJUNAS DE OAXACA OAXACA.	29	< 40	FUERA DE LIMITES	REGULAR	SILICO CALCAREO	TRITURACION TOTAL REGULAR CALIDAD MUY SUCCIO.

TABLA 1

<b>Granulometría:</b>	<b>Adecuada</b>
<b>Equivalente de Arena:</b>	<b>50</b>
<b>Contracción Lineal:</b>	<b>0.6 ‡</b>
<b>Desgaste de L. A. :</b>	<b>24 ‡</b>
<b>Partículas Alargadas:</b>	<b>19 ‡</b>
<b>* Desprendimiento por Fricción :</b>	<b>25 ‡</b>
<b>* Cubrimiento con Asfalto:</b>	<b>90 ‡</b>
<b>* Pérdida de Estabilidad por Inmersión en agua :</b>	<b>&lt; 25 ‡</b>

**\* Estas pruebas se hacen con una emulsión superestable.**

### **V.2.2 EMULSION ASFALTICA**

**La emulsión asfáltica que se utiliza para la fabricación del mortero asfáltico es una emulsión catiónica de rompimiento controlado con las siguientes características:**

<b>Viscosidad Saybolt-Furol:</b>	<b>30</b>
<b>Carga de la Partícula:</b>	<b>positiva</b>
<b>P H :</b>	<b>4</b>
<b>Asfalto Residual :</b>	<b>60</b>
<b>Retenido en Malla No. 20 :</b>	<b>0.07</b>
<b>Asentamiento a 5 días :</b>	<b>5</b>
<b>Penetración del Residuo:</b>	<b>90</b>

### V.3.3 ADITIVO

El control del tiempo de rotura de la mezcla se regula mediante un aditivo aplicado sobre el pétreo, elaborado en planta a base de aminas grasas, ácido clorhídrico y agua, con un PH entre 3 y 4.

### V.3.4 DISEÑO

El diseño del mortero asfáltico está basado en la prueba de abrasión que nos da como resultado un contenido óptimo de emulsión a emplear y así encontrar una fórmula de trabajo que establezca las proporciones adecuadas de material pétreo, emulsión, agua, aditivo y filler de aportación.

Resumiendo los componentes del mortero son:

Pétreo : mezcla de basalto y silico calcáreo, parcialmente triturado y triturado total respectivamente.

Emulsión: catiónica de rompimiento controlado.

Filler de aportación : cemento Portland tipo normal.

Agua : potable.

Aditivo : retardante.

Tomando en cuenta estas características de los materiales se hace el diseño de la mezcla.

GRANULOMETRIA. La granulometría que presenta el agregado es la siguiente: (ver figura 4)

MALLA	% PASA
3/8 "	100
No. 4 (4.7 mm)	97
No. 8 (2.36 mm)	87
No. 10 (2.0 mm)	82
No. 16 (1.18 mm)	61
No. 20 (0.85 mm)	54
No. 30 (0.6 mm)	44
No. 50 (0.3 mm)	23
No. 100 (0.15 mm)	11
No. 200 (0.075 mm)	6.5

PESO VOLUMETRICO SECO :	1560 kg/m <sup>3</sup>
EQUIVALENTE DE ARENA :	75
DESGASTE DE L.A. :	5 %
ABSORCION :	1.8 %

Ya que se establecen las características físicas del pétreo y

# GRANULOMETRIA DEL AGREGADO PETREO MORTERO ASFALTICO

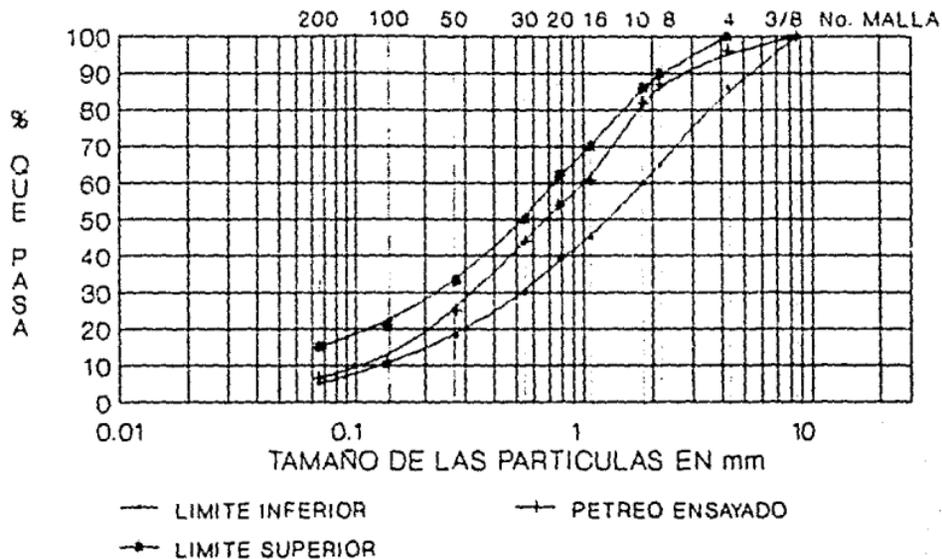


FIGURA 4

se corrobora que cumplen con las especificaciones se procede a encontrar el contenido óptimo de asfalto. Esto se logra por medio de la prueba de abrasión en inmersión, con la cual podemos encontrar el residuo teórico de asfalto empleando la siguiente relación:

$$R = 2 ( 0.032 a + 0.045 b + K c + K1 )$$

sustituyendo valores ( ver punto IV.2.2 )

$$R = 2 ( 0.032*18 + 0.045*28 + 0.18*6.5 + 1.8 )$$

$$R = 9.6 \%$$

La cantidad de emulsión será:

$$E = \frac{9.6}{0.6} = 16 \%$$

Por lo tanto el porcentaje de emulsión teórico es del 16 % y se toma como base para realizar las pruebas de abrasión variando la cantidad de emulsión.

Al ensayar variando la emulsión da como resultado un contenido óptimo de emulsión para la fabricación

del mortero. Los resultados de la prueba son:

‡ de emulsión: 16  
Pérdida por abrasión: 0.05 gr/cm<sup>2</sup>  
Asfalto Residual: 9.6 ‡

Vemos que todos los resultados anteriores están dentro de especificaciones por lo tanto se acepta como Eop = 16 ‡ .

Quedando el diseño final :

- Emulsión : 16 ‡ sobre el peso del agregado.
- Agua total : 20 ‡ sobre el peso del agregado.
- Cemento Portland : 1.9 ‡ sobre el peso del agregado.
- Aditivo : 1.9 ‡ sobre el peso del agregado.

Sin embargo, dependiendo de las condiciones climatológicas existentes en el momento de aplicar el tratamiento, las dosificaciones formuladas en el laboratorio podrán variar.

Para el diseño de la carpeta asfáltica se tiene un agregado pétreo con las siguientes características (ver figura 5).

- GRANULOMETRIA

MALLA	% PASA
1"	100
3/4"	89
1/2"	71
3/8"	63
1/4"	51
No. 4	44
No. 10	26
No. 20	19
No. 40	11
No. 60	9
No. 100	3
No. 200	1

PESO VOLUMETRICO SECO : 1660 KG/M3

EQUIVALENTE DE ARENA : 50

CONTRACCION LINEAL : 0.6 ‰

DESGASTE DE L.A. : 24 ‰

ABSORSION : 1.8 ‰

Ya que se establecen las características físicas del pétreo y se corrobora que cumplen con las especificaciones se procede a encontrar el contenido óptimo de asfalto. Para encontrar éste se utiliza la siguiente relación:

# GRANULOMETRIA DEL AGREGADO PETREO CARPETA ASFALTICA

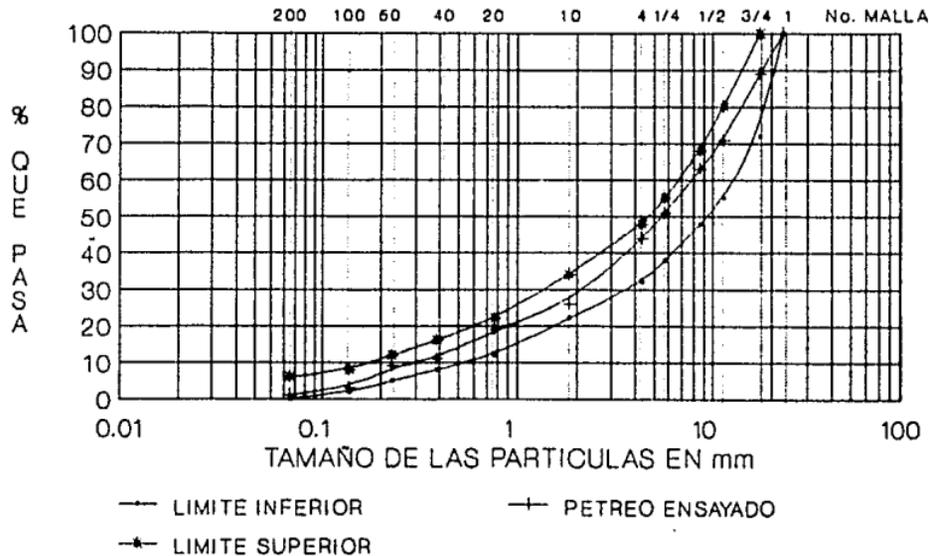


FIGURA 5

$$P = 0.032 a + 0.045 b + k c + K$$

sustituyendo valores ( ver punto III.2.2 )

$$P = 0.032*74 + 0.045*25 + 0.15*1 + 1.8$$

$$P = 5.5 \%$$

Por lo tanto el contenido asfáltico con respecto al peso total de la mezcla es:  $P = 5.5 \%$

Para obtener el porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso del agregado utilizamos la siguiente relación :

$$CA = \frac{CA}{a} * 1 + K_0$$

sustituyendo valores:

$$CA = \frac{5.5}{a} * 1 + 0.055$$

$$CA = \frac{5.8}{a} \%$$

por lo tanto el porcentaje de emulsión será:

$$E = \frac{5.8}{0.6} = 9.7 \%$$

Por lo tanto el porcentaje óptimo de emulsión es de 9.7 % y sirve de base para realizar pruebas de compactación sin confinar variando el asfalto y así obtener el óptimo de emulsión para el diseño de la mezcla.

Como resultado de estas pruebas se obtiene un asfalto residual del 5.5 %, quedando el diseño final :

Emulsión = 9.2 % sobre el peso del agregado.

Agua = 5.5 % sobre el peso del agregado.

Sin embargo, dependiendo de las condiciones climatológicas existentes en el momento de aplicar el tratamiento, las dosificaciones formuladas en el laboratorio podrán variar.

### **V.3 FABRICACION Y PUESTA EN OBRA**

La fabricación del mortero asfáltico se realiza con una máquina mezcladora extendedora del tipo Young cuyas principales características se mencionaron en el capítulo anterior (punto IV.3.1).

Debido a que el control de calidad del pétreo es básico para la elaboración de un adecuado mortero asfáltico se tiene permanentemente a una persona que controla la calidad de

los agregados en los bancos de materiales.

El almacén de agregados, emulsión, aditivos y filler de aportación se tiene en un área cercana a la obra. Se designa por parte de las autoridades del aeropuerto un área cercana a las instalaciones del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI).

El agua es proporcionada por la administración del aeropuerto, teniéndose almacenada y disponible en todo momento en las cisternas del CREI.

#### **V.3.1 PLANEACION**

El abasto de los materiales es uno de los factores que se tiene que vigilar muy de cerca, para evitar contratiempos derivados de los largos acarreos que se tienen, principalmente de la emulsión y aditivos que se transportan de la cd. de México a Villahermosa con un recorrido de 857 km, el agregado pétreo que tiene un acarreo de Pichucalco Chis. a Villahermosa de 90 km y de Macuspana, Tab de 50 km.

La planeación para la ejecución de la obra es realizada en forma conjunta por la contratista, la supervisión (ASA) y las autoridades del aeropuerto.

Se llega al siguiente plan:

- La contratista trabaja de las 7:00 a las 19:30 Hs. pudiéndose modificar el horario salvo previa autorización por problemas de precipitación pluvial.
  
- los trabajos en la pista 08-26 se desarrollaran en tres etapas que son:

PRIMERA ETAPA. Corrimiento del umbral en cabecera 26 al cadenamamiento 1+500, teniendo la pista una longitud disponible de 1600 m para operación aeronáutica, en horario 8:30 a 17:45 Hs. del 11 de Oct. al 24 de Oct.

SEGUNDA ETAPA. Cancelando umbral desplazado en cabecera 26 se procede a correr el umbral en cabecera 08 al cadenamamiento 0+500, teniendo la pista una longitud disponible de 1600 m para la operación aeronáutica en horario de 8:30 a 17:45 Hs. del 25 de Oct. al 1 de Nov.

TERCERA ETAPA. Cancelando umbral desplazado en cabecera 08 se realizan los trabajos entre los cadenamamientos 0+500 al 1+500 del 1 de Nov al 15 de Nov

en el siguiente horario:

8:30	a	11:30	3 hrs.
12:00	a	12:30	30 min.
12:40	a	14:00	1 hr. 20 min.
14:10	a	15:00	50 min.
15:30	a	16:30	1 hr.
17:00	a	18:00	1 hr.
		-----	
		Total	7 hr. 40 min.

Debido a que la rehabilitación se hace con el aeropuerto en operación esta etapa se tiene que hacer entre vuelos, esto es, entre aterrizajes y despegues de los aviones.

Adicionalmente se tiene:

- Los rodajes Alfa y Bravo se cierran las 24 hrs. del día en las siguientes fechas:

Rodaje Bravo      12 de Oct. al 17 de Oct.

Rodaje Alfa      18 de Oct. al 24 de Oct.

- Los trabajos en plataforma de aviación comercial (solo acotamientos), se efectúan en horario de 8.30 a 17:45 Hs. del 27 de Oct. al 1 de Nov.

- Los trabajos en plataforma de aviación civil, estacionamiento, vialidades, zona de combustibles y camino de acceso las 24 hrs. del día del 11 de Oct. al 22 de Nov.
  
- En todos los trabajos se coloca señalamiento preventivo para la protección de los tratamientos aplicados.
  
- Durante la rehabilitación de la pista queda solo como señalamiento horizontal sobre la misma, el eje y sus rayas extremas que sirven de guía a la operación y control aeronáutico.

### **V.3.2 PROCESOS CONSTRUCTIVOS**

Las actividades a desarrollar dentro de la obra son básicamente cuatro que son:

- Bacheo
- Aplicación de Mortero Asfáltico.
- Riego de Taponamiento.
- Limpieza General de Obra.

Los procesos constructivos que se emplean en cada una de

estas actividades son:

**BACHEO.** El bacheo se realiza en zonas localizadas donde la carpeta asfáltica presenta agrietamientos avanzados y desgranamiento del material.

El bacheo tiene las siguientes actividades:

- Corte de la carpeta asfáltica existente.
- Compactación de la plantilla.
- Riego de liga.
- Carpeta asfáltica.

El procedimiento constructivo que se utiliza en cada una de estas actividades es el siguiente:

Corte de carpeta asfáltica. En las zonas de bacheo se delimita el área mediante corte con sierra, para evitar daños a la carpeta de las áreas adyacentes.

Una vez delimitada el área se procede a romper la carpeta asfáltica con rompedoras o perforadoras neumáticas en toda el área limitada.

Posteriormente se carga y retira el material con un cargador frontal y los acarreos se realizan en camiones de volteo.

El tiro del desperdicio se hace en las cercanías del aeropuerto. El acomodo del material en el tiro se hace con motoconformadora.

Compactación de la plantilla. Una vez retirado el material de la demolición de carpeta, se procede a escarificar la superficie con motoconformadora y a incorporar el agua necesaria para que se logre la compactación adecuada. Se compacta con un compactador de rodillos lisos.

Riego de liga. Una vez compactada y barrida la superficie se procede a hacer un riego de liga con una emulsión de rompimiento rápido, con una dosificación de 0.5 litros por metro cuadrado. La aplicación se realiza con el tren de riego de la petrolizadora.

Carpeta asfáltica. En zonas de bacheo, una vez aplicado el riego de liga, se procede a tender una carpeta asfáltica por el sistema de mezcla en el lugar con espesor de 5 a 7 cm.

El proceso constructivo es el siguiente: en la plataforma de aviación civil se realiza la fabricación de la mezcla. Se

escoge este lugar porque es el que mayor área de bacheo tiene y el espacio disponible es el necesario para la fabricación y almacenaje de la mezcla.

Una vez almacenado el agregado pétreo se procede a extenderlo con una motoconformadora, se le incorpora agua para obtener la humedad necesaria de preenvuelta. Una vez homogeneizada la humedad de la mezcla se procede a incorporar la emulsión de tipo superestable. Esto se hace dando varias pasadas con el tren de riego de la petrolizadora, hasta lograr la dosificación de diseño.

Una vez fabricada la mezcla se carga en camiones de volteo y así se transporta la mezcla a las zonas donde se requiere. Ya en el área del bache se extiende la mezcla con motoconformadora si es de dimensiones grandes o a mano si es de dimensiones pequeñas, se da el espesor deseado y una vez que la humedad es la adecuada se procede a la compactación con un compactador de rodillo liso.

Terminada la compactación se procede al barrido de la superficie en la zona de reparación con el fin de evitar que quede material suelto en el área y pueda ocasionar algún daño a las aeronaves.

MORTERO ASFALTICO. Ya que se han terminado de hacer los bacheos en las zonas donde se tiene que aplicar el mortero asfáltico, se realizan las siguientes actividades:

- Limpieza.
- Calafateo de grietas.
- Tendido de mortero asfáltico.
- Compactación del mortero.

Limpieza. Antes de aplicar el mortero asfáltico sobre la superficie de rodamiento se procede a efectuar un barrido para eliminar materias extrañas o polvo. Esta actividad se realiza con escoba mecánica remolcada por un tractor agrícola.

Calafateo de grietas. Se limpian las grietas mediante sopleteado y se retira materia orgánica de las mismas. Se procede al calafateo mediante un mortero asfáltico con tamaño máximo de partículas de 1.00 mm y emulsión de rompimiento rápido.

Esta actividad se realiza con personal y se extiende y aplica la mezcla con jaladores o rastrillos con neopreno.

Tendido de mortero asfáltico. Una vez calafateada la

superficie y barrida, se procede al tendido de mortero asfáltico, se hace con una máquina mezcladora-extendedora tipo Young. Se tiende una capa de 6.00 mm de espesor.

Cabe mencionar que durante el tendido se pueden tener problemas que tienen su origen en el mal funcionamiento de alguno de los componentes o fabricación del mortero.

Las fallas más comunes en el tendido se pueden presentar si no se vigilan adecuadamente los siguientes aspectos:

- A) Máquina mezcladora extendedora.
- B) Condiciones del pavimento.
- C) Dosificación de materiales.
- D) Agregado pétreo.
- E) Estabilidad de la emulsión.
- F) Clima.

A) Máquina mezcladora extendedora. El problema más común en el tendido del mortero, es la irregularidad del mezclado causado normalmente por un desgaste excesivo de los tacones rascadores de la espiral mezcladora. Este desgaste que en algunos casos puede ser total, produce un aumento de la capa de mortero duro que recubre el interior de la mezcladora, lo que en

algunos casos ocasiona pequeños frenados al mezclado que en general pasa desapercibido al operador, que simplemente observa un mezclado irregular con una formación de terrones. Algunas veces, el operador puede confundirse con la presencia de segregación y apelmazamiento de finos.

Otro problema que se presenta eventualmente, es el desgaste del sistema de impulsión de la bomba del aditivo, lo que ocasiona irregularidades en la salida del mismo y por consiguiente dosificaciones y comportamiento irregular de la mezcla.

Otros tipos de defectos se originan por problemas con la rastra extendedora, entre los más comunes podemos mencionar:

El primero de ellos es debido al mal estado de las cejas de neopreno de acabado, que pueden provocar un defecto muy común, que aparece en forma de un rizado en la superficie de la capa que se esta tendiendo. Normalmente, la causa es que la calidad y tipo de hule utilizado no corresponde a la consistencia adecuada de tendido. En ciertos casos, puede deberse este defecto de rizado a la superficie sobre la que

se extiende y también, a una emulsión de estabilidad muy crítica.

Otro defecto imputable a la rastra extendedora, es el excesivo desgaste de los hules de cierre, que producen derrames indeseables durante el tendido muy especialmente al comienzo del trabajo, lo que da lugar a un trabajo deficiente de los líquidos, con la consiguiente segregación.

Finalmente el tipo de defecto de rizado puede ser causado por deformaciones geométricas de la rastra a causa de accidentes, que impiden el buen asentamiento de la misma sobre el pavimento.

Estos son básicamente los problemas que pueden presentarse, originados por defectos o fallas de la máquina extendedora.

B) Condiciones del pavimento. Existen muy variados defectos debidos al estado del pavimento pero cabe señalar los típicos que son:

- Gravillas sueltas.
- Baches, huella de llanta.
- Pavimento sucio.

Las gravillas. Que son arrastradas e introducidas en la rastra y que son de tamaño mayor que el agregado del mortero, producen el rayado del tiro.

Baches o huellas. Estos son causa de mayor espesor en el mortero dejado localmente; el pétreo se sedimenta y aparecen charcos con superficies brillantes de asfalto y acumulación de agua. En los casos en que exista un pavimento muy abierto total o parcialmente (baches localizados), se produce un infiltrado en los vacíos, de la parte líquida y finos del mortero; quedando en la superficie solamente la fracción gruesa y pobre en ligante.

Pavimento sucio. Otra causa de defecto ocurre cuando el pavimento está sucio con manchas de arcilla, frecuentemente arrastradas y depositadas por la propia máquina en sus ruedas. En estos casos el problema puede adquirir mayor gravedad porque no se les detecta en forma inmediata, sino al cabo de un cierto tiempo por la expansión de la arcilla por la humedad, que en algunos casos puede tardar algunos meses en manifestarse.

- C) Dosificación de materiales. Existen variantes que pueden provocar la falta o exceso de emulsión o la

falta o exceso de agua de mezclado. En el caso de falta de emulsión se aprecia, una vez curada, una insuficiencia de cohesión debida a la falta de ligante. Su característica más clara es la facilidad con que se desprenden los granos medios del agregado. Otra característica es el típico color claro del tendido una vez curado, hay que tomar en cuenta que algunas veces este color claro puede ser afectado por el color del material pétreo empleado.

En caso de que exista un exceso de emulsión, se observa una gran plasticidad y el mortero una vez curado, queda con aspecto de mastique que no adquiere la dureza final deseada. Si la extensión se realiza en tiempo caluroso, es posible que el tráfico lo levante por adherencia en las ruedas.

Los problemas producidos por falta de agua de mezclado es un defecto en que la mezcla, si se logra, es excesivamente pastosa; presenta dificultades de tendido y se produce un aumento en la cantidad de mortero por unidad de superficie, como sucede en los pavimentos muy abiertos o permeables. En estos casos la mezcla llega a hacerse inmanejable por falta de fluidez. En cambio, por exceso de agua se producen

escurrimientos superficiales del agua y de la emulsión, al mismo tiempo, si el cierre pavimento rastra no es bueno, se produce un aumento indeseable de líquido en ella, lo que falsea el contenido real de sólidos distribuidos que producen tendidos defectuosos. Al mismo tiempo, un contenido excesivo de agua en el mortero produce un aumento en su sensibilidad a la abrasión.

Aparte de los defectos ya mencionados, el mortero puede presentar problemas por exceso de aditivo, que a su vez puede estar fomentada por tres causas fundamentales: deficiente calidad del agregado, temperatura ambiente muy alta o emulsión caliente. En el primer caso, es decir, cuando el exceso de aditivo ha sido motivado por deficiente calidad del agregado pétreo, el mortero no rompe hasta la total evaporación del agua, la adhesividad es mala y su cohesión es aún peor. Se adhiere con facilidad a las ruedas de los aviones y se desgrana la superficie.

Un fenómeno común que produce la rotura de la emulsión prematuramente, es cuando se presenta una temperatura ambiente alta y aún mayor en el pavimento.

En todos los casos de exceso de aditivo es típica la presencia de pequeñas burbujas en la superficie antes de producirse la rotura de la emulsión.

- D) Agregado pétreo. Los defectos que se presentan en los morteros asfálticos más frecuentemente, se originan en la dificultad para conseguir agregados pétreos de calidad suficiente y uniforme. Los problemas más comunes son los siguientes:

Falta de finos. Nos da un tendido con textura gruesa, con partículas ligeramente aisladas y la emulsión tiende a escurrir libremente entre las partículas gruesas.

Exceso de finos. Este caso nos puede producir un aspecto de abultamiento irregular, rizado transversal con grumos. El mortero adquiere una pastosidad típica y llega a hacerse difícil el tendido.

En ciertos casos, cuando los agregados pétreos han estado cierto tiempo almacenados y sometidos a lluvias intensas, los finos se apelmazan en terrones, especialmente en los materiales calizos. Estos pequeños grumos son lo suficientemente duros para no

romperse en el mezclador, sino que rompen por la presión de los hules de la rastra o por el tráfico. En el primer caso, su aspecto es el de pequeños rayones blancos. En el segundo, manchas localizadas.

Contaminación. Un defecto muy frecuente es el de la contaminación de agregados por gravillas, originada en el banco o en el transporte por defecto de limpieza en la caja de los camiones. En el tendido producen rayas longitudinales de desigual longitud. Este mismo efecto se presenta cuando se incorporan a la ratra partículas del pavimento.

Los agregados contaminados por arcillas con equivalentes de arena bajos y contracciones lineales altas, producen una falta de adhesividad y deficiencias de envuelta.

E) Estabilidad de la emulsión. De igual modo, si la emulsión tiene una estabilidad excesiva o crítica pueden producirse una serie de problemas. Cuando la estabilidad es crítica se presenta un rizado transversal debido a la formación de grumos de pequeñas dimensiones; otro problema es la formación de zonas más o menos amplias de mortero roto dentro de la rastra.

Estas roturas parciales en la rastra producen defectos e irregularidades en el extendido con distribuciones muy irregulares si el pavimento está muy pulido.

En determinados casos, puede ocurrir que se produzca una sedimentación en el tanque de almacenamiento en obra, que si no es advertida a tiempo, puede dar como consecuencia tendidos con diferentes contenidos de asfalto de una a otra carga de la máquina. Lo que se refleja en el tendido es una diferencia de tonalidades. Estas diferencias de coloración, muy llamativas cuando el mortero ha curado, son prácticamente inapreciables durante la extensión y en tanto el mortero se mantiene húmedo.

- F) Clima. En cuanto a las condiciones climatológicas, las lluvias pueden producir multitud de defectos sobre los morteros aún no totalmente curados. Como es lógico, la sensibilidad es mayor en las aniónicas, dado el mayor plazo de curado. Los defectos pueden ir desde el escurrimiento de la emulsión en pequeñas zonas muy localizadas hasta el absoluto lavado del agregado.

**RIEGO DE TAPONAMIENTO.** Se realiza un riego con una mezcla emulsión-agua utilizando el tren de riego de la petrolizadora en las zonas de combustibles y estacionamiento.

**LIMPIEZA GENERAL DE OBRA.** La limpieza general de obra y de las zonas adyacentes a los trabajos se hacen con personal y se retira el material en camión de volteo.

Para la ejecución de todos estos trabajos la contratista debe cumplir con todos los requerimientos de seguridad aeronáutica que fijan las autoridades del aeropuerto; éstas son entre otras:

- Debe dotar a todos los vehículos y equipo con balizamiento de protección consistente en faros giratorios o cintilantes con luz color ambar colocada en la parte más alta.
- Utilización de bandera a cuadros rojos y blancos en todos los vehículos y equipo.
- Utilización de radio transmisor para tener contacto permanente con la torre de control.

Debido a que los horarios de trabajo son muy variados y con constantes interrupciones debidas a las operaciones del aeropuerto, se tiene la necesidad de trabajar turnos

nocturnos para el desarrollo de algunas actividades por lo que se cuenta con equipo de iluminación consistente en una planta de luz y torre de iluminación.

#### **V.4 CONTROL DE CALIDAD**

Para que un producto sea elaborado en forma correcta, es necesario que las características de los materiales estén dentro de las normas especificadas.

En este tipo de obras se lleva el control de calidad de:

- Los materiales básicos.
- El producto terminado.

##### **V.4.1 DE LOS MATERIALES BASICOS**

El control de calidad se hace de los componentes de las mezclas que son: agregado pétreo, emulsión, agua, aditivos y filler de aportación.

**AGREGADO PETREO.** Para controlar la calidad del agregado pétreo se tiene un pequeño laboratorio de campo en el banco de materiales, donde se controla la granulometría del material, limpieza, equivalente de arena y se vigilan las

cargas y acarreos para prevenir posibles segregaciones del material. Así mismo se vigila que los camiones de transporte cuenten con lonas para cubrir el agregado y protegerlo de viento y lluvias ocasionales.

Una vez en el almacén de la obra al material se le checa la granulometría y se criba si se detectan algunos sobretamaños.

**EMULSION.** El control que se hace de la emulsión empieza en la planta de fabricación donde se checa que el llenado de las pipas de transporte sea el adecuado, verificando que se cumplan los siguientes aspectos:

- Que la temperatura de llenado sea la ambiental. La agitación de la emulsión caliente tiende a formar grumos de asfalto.
- Que el tanque de la pipa de transporte no haya transportado rebajados y que este limpia. Esto se hace para evitar contaminaciones de la emulsión.
- Que el tanque de la pipa cuente con placas rompeolas para que la emulsión se agite lo menos posible. La agitación excesiva de la emulsión puede propiciar la formación de grumos de asfalto.

En la obra el control que se lleva es el siguiente:

- Se tamiza a la hora de descargarla para saber si no se han formado natas o grumos que afecten la calidad de la emulsión.
- Se revisa que el vaciado de la pipa a los tanques de almacenamiento se realice en forma correcta, esto es, que no corra el peligro de contaminación y que el vaciado se haga de tal manera que no se formen grandes cantidades de espuma y de que se agite lo menos posible.
- De acuerdo a los resultados de las pruebas de asentamiento se verifica que la emulsión se agite suavemente dentro de los tanques antes de usarse para tratar de homogeneizarla lo más posible.

ADITIVOS. El control que se hace al aditivo es el de checar el PH y en caso de que no sea el adecuado corregirlo.

AGUA. Se controla que el agua no tenga una dureza que pueda afectar el comportamiento de la emulsión dentro de las mezclas.

FILLER DE APORTACION. Como normalmente se utiliza alguna marca conocida de cemento solo es necesario checar que esté

en estado suelto a la hora de vaciarlo a la máquina extendedora.

#### V.4.2 DEL PRODUCTO TERMINADO

Dentro del control de calidad del producto terminado podemos incluir el que se verifique que la dosificación ya sea en la mezcla densa, en el mortero asfáltico o en los riegos, sea la adecuada y que los dispositivos de control de la maquinaria utilizada este en perfecto estado.

Los controles van de acuerdo a cada tipo de tratamiento por lo tanto se tiene:

RIEGO DE LIGA. Para verificar que la calidad y dotación del riego de liga sobre la superficie sea la especificada se utilizan dos métodos básicamente que son:

- Se toman muestras de la emulsión a utilizar y se determina en el laboratorio si sus características son las adecuadas.
- Para controlar la dotación se mide el volumen inicial dentro del tanque de la petrolizadora. Se efectúa el riego y se mide el volumen final dentro del tanque. Se obtiene el volumen regado y se relaciona con el área

regada y se obtiene una dotación por metro cuadrado, ésta se compara con la de especificaciones.

**CARPETA ASFALTICA.** Para controlar la calidad de la mezcla se utilizan dos pruebas que son:

- (1) Prueba de compresión sin confinar.
- (2) Pérdida de estabilidad por inmersión.

**MORTERO ASFALTICO.** Para controlar la calidad del mortero asfáltico se utilizan las siguientes pruebas:

- (13) Prueba centrífuga (rotarex) que nos sirve para determinar el contenido de asfalto del mortero.
- Prueba de abrasión vía húmeda que nos indica el grado de adherencia entre el pétreo y asfalto.
- Granulometría nos indica si hubo segregaciones durante el mezclado del mortero.

(\*) Ver anexos.

**RIEGO DE TAPONAMIENTO.** Para verificar que la calidad y dotación del riego de taponamiento sobre la superficie sea la especificada se utilizan los siguientes sistemas:

- Se toman muestras de la emulsión a utilizar y se determina en el laboratorio si sus características son

las adecuadas.

- Para controlar la dotación se mide el volumen inicial dentro del tanque de la petrolizadora. Se efectúa el riego y se mide el volumen final dentro del tanque. Se obtiene el volumen regado y se relaciona con el área regada y se obtiene una dotación por metro cuadrado ésta se compara con la de especificaciones.

## **CONCLUSIONES**

La detección oportuna de una falla y su rápida reparación, es sin duda la labor más importante del personal encargado del mantenimiento y conservación de las aeropistas.

Las grietas y otras fallas de la superficie, que en sus primeras etapas pueden pasar inadvertidas, pueden evolucionar en defectos de mucha consideración si no se reparan oportunamente. Es por tanto de suma importancia que se efectúen inspecciones periódicas del pavimento por personal calificado.

El éxito que pueda tener una rehabilitación dependerá básicamente de:

- Un diagnóstico de falla oportuna y acertada.
- Escoger el tratamiento adecuado para la corrección de esa falla.
- Realizar el trabajo de rehabilitación oportunamente.

Como se ha expuesto a lo largo de este trabajo es muy importante para la elaboración de cualquier tipo de mezcla asfáltica en frío que los agregados sean de la calidad

requerida para cada tipo de tratamiento.

El estudio del tipo de agregado y por lo tanto del tipo de emulsión que se va utilizar, es también muy importante para obtener una mezcla que nos de los resultados esperados.

El uso de tratamientos a base de emulsiones asfálticas y en general el trabajar con emulsiones asfálticas nos representa las siguientes ventajas en relación con los otros materiales asfálticos:

- Se aplican a temperatura ambiente, sin necesidad de calentamiento. El cemento asfáltico y los asfaltos rebajados tienen que calentarse para disminuir la viscosidad, para así permitir el cubrimiento del material pétreo. En los asfaltos rebajados las repetidas operaciones de calentamiento pueden hacer que se afecten desfavorablemente las características de estos productos, al perder gran parte de los solventes volátiles que contienen.
- Las emulsiones pueden aplicarse sobre materiales húmedos, principalmente en el caso de las catiónicas, eliminándose el costo por operaciones de secado. No obstante, con las emulsiones aniónicas la humedad de

los materiales pétreos no debe ser muy alta, ya que su rompimiento depende en gran medida de la evaporación del agua; en las emulsiones catiónicas en donde el rompimiento se efectúa fundamentalmente por la atracción de las cargas eléctricas, la humedad es una ayuda al favorecer el cubrimiento del pétreo.

- El empleo de emulsiones permite ampliar el período de la construcción, al poderse utilizar materiales pétreos húmedos, lo que disminuye costos al aumentar el tiempo que el equipo puede estar en actividad.

Con las emulsiones catiónicas pueden efectuarse trabajos de rehabilitación en la época lluviosa, que es cuando se presentan condiciones críticas en los pavimentos. Desde luego, los trabajos no pueden realizarse en plena lluvia, pero el empleo de estos productos permite utilizar materiales pétreos en condiciones muy desfavorables de humedad.

- Las emulsiones catiónicas permiten tender y compactar una mezcla asfáltica en un tiempo relativamente corto. Se elimina con ello el riesgo de obtener resultados poco satisfactorios por la presencia de una lluvia inesperada.

- Las emulsiones asfálticas presentan en general buenas características de adhesividad con los agregados pétreos, en virtud de que los emulsionantes son a la vez agentes tenso-activos que favorecen esta propiedad.

- Tanto la maquinaria de fabricación de las emulsiones como la de fabricación de las mezclas asfálticas en frío es de sencilla y fácil operación.

Por todas estas ventajas los productos hechos con emulsiones asfálticas se están utilizando con éxito cada vez más en la rehabilitación de las aeropistas.

Es importante hacer notar que en México la mayoría de las rehabilitaciones en aeropistas se realizan ya que han presentado fallas que ponen en peligro su buen funcionamiento.

Lo ideal sería que se implementara un programa de conservación preventivo en el que aún antes de que se presenten las primeras fisuras o superficies desgastadas se les aplicara un tratamiento que selle y renueve la superficie de rodamiento, lo que se logra con la aplicación de un mortero asfáltico; y aunque esto se está haciendo con los

aeropuertos de las ciudades importantes y de centros turísticos, no ha sido posible hacerlo en todos los aeropuertos debido a que se requiere una fuerte inversión de capital.

Independientemente de todo lo anterior y debido al agotamiento de las reservas petroleras en México y en el mundo, es posible que en un futuro cercano tengamos que aumentar el uso de las emulsiones y disminuir el de los asfaltos rebajados en los trabajos de pavimentación, con el objeto de ahorrar y darles un mejor aprovechamiento a los solventes ligeros que se emplean en la elaboración de dichos rebajados. Será conveniente promover más la tecnología y experimentación de las emulsiones asfálticas en nuestro país, con la finalidad de conocer más a fondo sus alcances y posibilidades y aumentar la utilización de estos productos, que aseguren el buen comportamiento en las obras con que ellas se realicen.

Debido a que el Gobierno Federal, a través de la empresa Petroleos Mexicanos, proporciona los cementos asfálticos y asfaltos rebajados a precios bastante reducidos, como un estímulo para fomentar la construcción de carreteras, el costo de estos productos es menor que el de las emulsiones asfálticas. No obstante, se considera que el costo de las

emulsiones podría abatirse mediante el uso de plantas portátiles estratégicamente ubicadas respecto a las obras, empleando técnicas propias y emulsificantes de fabricación nacional.

**ANNEX**

#### **(1) COMPRESION SIN CONFINAR**

La prueba de compresión sin confinar permite obtener y valorar a las mezclas que contienen partículas gruesas (grava y gravilla).

La compresión sin confinar se utiliza para valorar la fatiga máxima que soporta un espécimen elaborado con dimensiones y condiciones de prueba normalizadas.

Cumple dos objetivos: hallar por medio de una serie de ensayos con diferentes porcentajes de ligante, aquel valor o valores óptimos; los que serán examinados en la prueba de pérdida de estabilidad por inmersión y definir el porcentaje de ligante que resista mejor los efectos del agua durante la prueba de inmersión.

#### **(2) PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION**

La prueba de pérdida de estabilidad por inmersión esta basada en los resultados que se obtienen de la prueba de compresión simple: una vez determinado el valor óptimo del ligante que proporciona la máxima estabilidad, se procede a realizar la prueba de inmersión.

A la cantidad de ligante óptimo expresado en porcentaje de residuo asfáltico ( $\frac{1}{2}$  C.A. óptimo), se le aumenta y disminuye 0.5 % de contenido asfáltico para realizar la serie de pruebas.

### **(3) CONTRACCION LINEAL**

La contracción lineal de un suelo es la reducción en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelo que pasa la malla No. 40 (0.425 mm), cuando su humedad disminuye.

El resultado se expresa en porcentaje de la longitud final con respecto a la longitud inicial del espécimen.

La contracción lineal nos da idea de la plasticidad que pueda tener un material.

### **(4) DESGASTE DE LOS ANGELES**

La prueba de desgaste tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo y nos da como resultado una medida directa del grado de alteración alcanzado por éste, así como detectar la presencia de planos de debilitamiento y cristalización que provocan una desintegración de la partícula de material.

#### **(5) EQUIVALENTE DE ARENA**

Esta prueba nos indica que cantidad de material indeseable esta presente en el agregado pétreo, observando la rapidez con que tal material se decanta en una solución estandar acuosa de cloruro de calcio, glicerina y formaldehído. Si se utilizan agregados que contengan grandes cantidades de arcillas, se requerirán innecesariamente mayores proporciones de emulsión y aditivo, se afrontarán problemas para poder lograr completo curado y se tendrá debilitamiento en la resistencia a los esfuerzos impuestos por el tráfico.

#### **(6) GRANULOMETRIA**

El análisis granulométrico consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que lo componen.

A partir de la distribución de las partículas en un suelo, es posible formarse una idea de las propiedades del mismo.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, divide a los materiales de acuerdo a su granulometria y plasticidad. Este sistema de clasificación es muy útil para saber el uso que se puede dar a los materiales.

a la misma temperatura. Se toman 6 partículas de material con dimensiones entre 1/2 plg y 3/4 plg, se sumergen en la charola y se mantienen presionadas en el asfalto durante 10 mín. al cabo de los cuales se sacan y se observa en cada una de ellas el porcentaje de cubrimiento que tienen; se reporta el promedio de cubrimiento de las 6 partículas.

#### **(10) LIMITE LIQUIDO**

Para determinar el límite líquido de un suelo, se emplea el procedimiento de Casagrande, según el cual se define como límite líquido al contenido de agua de la fracción de suelo que pasa la malla No. 40 (0.425 mm), cuando al ser colocada en la copa de Casagrande y efectuar en ella una ranura trapecial de dimensiones especificadas, los bordes inferiores se ponen en contacto en una longitud de 13.0 mm, después de golpear la copa 25 veces, dejandola caer contra una superficie dura de características especiales, desde una altura de 1.00 cm, a la velocidad de 2 golpes por segundo.

El límite líquido se determina gráficamente mediante la curva de fluidez, la que se obtiene uniendo los puntos que representan los contenidos de agua correspondientes a diversos numeros de golpes, para los cuales la ranura se cierra la longitud especificada.

**(11) INDICE PLASTICO**

El índice plástico se define como la diferencia aritmética entre los límites líquido y plástico; se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

Límite plástico de un suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla No. 40 (0.425 mm) para que se pueda formar con ella cilindros de 3 mm de diámetro sin que se rompan o desmoronen.

**(12) ARENA ADHERIDA ENSAYO L.W.T.**

El ensayo L.W.T. (Loaded Wheel Tester) consiste, en una rueda de caucho blando de una pulgada de ancho y tres de diámetro que, bajo cargas que pueden ser variables a razón de 44 ciclos/min., circula sobre una probeta de mortero de 5 mm de espesor y 35 cm de longitud.

La máquina L.W.T. permite medir el ligante exudado después de someter las probetas de mortero a un proceso de compactación de 1000 ciclos, pesando la arena absorbida por el asfalto excedente en superficie.

Esta prueba nos ayuda a obtener un óptimo de asfalto para el diseño del mortero asfáltico.

**(13) PRUEBA CENTRIFUGA (ROTARZ)**

Esta prueba sirve para determinar contenidos de asfalto. El método fué desarrollado por el laborataorio del Departamento de Caminos del Estado de California (USA) y consiste en la medición indirecta de asfalto en las mezclas, combinado de los siguientes factores: superficie de la partícula y porosidad del agregado.

## **BIBLIOCRATIA**

## **BIBLIOGRAFIA**

BUSTAMANTE OLIVERA FERNANDO. Estructuración de Vías Terrestres. Editorial C.E.C.S.A.. Primera Edición. México 1986.

FERNANDEZ DEL CAMPO JUAN ANTONIO. Pavimentos Bituminosos en Frio. Editores Técnicos Asociados S.A.. Segunda Edición. Barcelona, España.

RIVERA E. GUSTAVO. Emulsiones Asfálticas. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.. Segunda Edición. México 1981.

RIVERA E. GUATAVO. Slurry Seal ( Mortero Asfáltico ). Primera Edición. México 1988.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Materiales Asfálticos Utilizados en Pavimentación. México 1987.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Normas Para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas. Carreteras y Aeropistas. México 1986.