

6  
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN

*TRATAMIENTOS ASFALTICOS EN EL  
MANTENIMIENTO DE AEROPUERTOS*

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A :  
R I C A R D O B U S T I L L O S A L V A R E Z

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**INDICE****Pág.****- INTRODUCCION****- CAPITULO PRIMERO "EVALUACION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO"**

1.1-	Generalidades	8
1.2-	Sistema de evaluación	11
1.3-	Normas y niveles de calidad	13
1.4-	Procedimientos de evaluación	16
1.5-	Estudios de evaluación	18
	1.5.1- Capacidad de carga de los pavimentos	19
	1.5.2- Calidad del perfil longitudinal de las pistas	41
	1.5.3- Resistencia al derrapamiento de las pistas	45

**- CAPITULO SEGUNDO "DETERIOROS Y FALLAS EN LOS PAVIMENTOS DE LOS AEROPUERTOS"**

2.1-	Generalidades	50
2.2-	Fallas por insuficiencia estructural	52
2.3-	Fallas por defectos constructivos	59
2.4-	Fallas por fatiga	64
2.5-	Fallas funcionales	67

-	CAPITULO TERCERO "CAUSAS PROBABLES DE LAS FALLAS"	
	3.1- Condiciones de los materiales	75
	3.2- Condiciones climatológicas	80
	3.3- Insuficiencia de proyecto	82
	3.4- Defectos constructivos	84
	3.5- Cargas del tráfico	90
	3.6- Efectos circunstanciales	91
	3.7- Relación entre factores y fallas	92
-	CAPITULO CUARTO "TECNICAS DE MANTENIMIENTO MEDIANTE TRATAMIENTOS ASFALTICOS"	
	4.1- Generalidades	101
	4.2- Asfalto	105
	4.2.1- Ligantes asfálticos	108
	4.3- Agregados	123
	4.4- Tratamientos asfálticos	129
	4.4.1- Tratamientos superficiales	130
	4.4.2- Mezclas asfálticas	134
	4.5- Relación entre fallas y soluciones	149
-	CAPITULO QUINTO "MAQUINARIA"	
	5.1- Maquinaria utilizada en tratamientos superficiales	159
	5.2- Maquinaria utilizada en mezclas asfálticas	163

- CONCLUSIONES
- GLOSARIO
- BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

Los aeropuertos de todo el mundo requieren de mantenimiento permanente en todas sus instalaciones.

En este trabajo se pretende exponer una serie de tratamientos - utilizados en la conservación de pavimentos de tipo flexible; también aparecen las formas de evaluar un pavimento, las fallas y deterioros más comunes en éste, las causas que los provocan y las soluciones apropiadas para enfrentar el problema.

La red aeroportuaria en México es de 50 aeropuertos de mediano y largo alcance, de los cuales la mayor parte constan de pavimento asfáltico. Las pistas, calles de rodaje, plataformas de operación e inclusive caminos de acceso, necesitan un mantenimiento continuo para tenerlos en buenas condiciones de operación.

El mantenimiento se dará para proporcionar una superficie estable y de rodamiento uniforme, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito, los efectos abrasivos, de impacto y de intemperismo, así como ser impermeable y presentar una rugosidad adecuada.

Todo esto trae como consecuencia la utilización de tratamientos asfálticos, que generalmente constan de reencarpados periódicos - para nivelar la superficie de rodamiento, bacheo en ciertas zonas lo calizadas donde se agrieta o hunde el pavimento y tratamientos para reconstruir las características superficiales.

Los tratamientos asfálticos que van a dar solución a los problemas, son muy variados y el resultado positivo de éstos, dependerá en

gran medida de los materiales a emplear, sus distintos medios de -  
preparación y utilización, la formación de las capas del pavimento  
y los métodos utilizados en el sistema de puesta en obra.

**CAPITULO PRIMERO**

**"EVALUACION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO"**

## 1.1- GENERALIDADES

La evaluación de los pavimentos aeroportuarios constituye una herramienta indispensable para la adecuada administración de los bienes que ellos representan. Dicha evaluación persigue tres objetivos básicos:

- Prever con precisión cuándo será necesario emprender trabajos de mantenimiento o de rehabilitación.
- Valorar las características residuales de los pavimentos para definir alternativas técnicas y económicas de mantenimiento, reparación o diseño de posibles refuerzos.
- Definir el volumen aceptable de tráfico, para las características de los pavimentos.

La evaluación deberá comprender en sí misma las propiedades estructurales y las características funcionales de los pavimentos.

Las propiedades estructurales del complejo pavimento-cimentación están relacionadas con la capacidad de carga, resistencia o capacidad portante.

Las características funcionales se relacionan con el estado de la superficie del pavimento y la posibilidad de su utilización en forma segura por las aeronaves.

Dichas características son:

- La calidad del perfil longitudinal de las pistas, en particular las irregularidades que provocan aceleraciones verticales a la aeronave durante su carrera de despegue o aterrizaje.

- Las condiciones de resistencia al derrapamiento, la cual gobierna las posibilidades del control direccional y la eficacia de frenado de la aeronave.
- La integridad de la superficie. La desintegración del pavimento (desprendimiento de agregados, etc.) es un grave defecto que puede causar la ingestión de gravas por las turbinas o provocar reventones de llantas.

Las propiedades estructurales y las características funcionales de los pavimentos no son independientes entre sí; por lo tanto, el estado de la superficie puede dar indicaciones de posibles deficiencias estructurales y al contrario, una estructura inadecuada al tráfico puede provocar daños superficiales.

La evaluación de los pavimentos es una operación de alta complejidad que requiere de la síntesis de los siguientes elementos, elaborada por un equipo de especialistas:

- A.- Ubicación del aeropuerto (geología, topografía, etc.)
- B.- Climatología (hidrología, temperaturas).
- C.- Geotecnia del lugar
- D.- Información acerca de materiales, construcción, políticas de mantenimiento, trabajos de reconstrucción o refuerzos, etc.
- E.- Observaciones de la condición superficial de los pavimentos: catálogo de daños, examen del drenaje y subdrenaje, etc.
- F.- Mediciones especiales del tipo no destructivo como perfilografía longitudinal (irregularidades), coeficientes de rozamiento y capacidad portante.

G.- Exploraciones a base de sondeos y muestreos de los materiales, - para investigar la composición de las capas del pavimento y las propiedades de la cimentación.

## 1.2- SISTEMA DE EVALUACION

Establecer los métodos de inspección que nos permitan conocer el estado existente de los elementos de una aeropista, será el siguiente paso en el desarrollo de un sistema de conservación.

Dicho sistema de evaluación implicará conocer los siguientes puntos:

- A.- Identificar los parámetros que caracterizan la calidad de cada elemento.
- B.- Detectar y medir las alternativas que pueden sufrir estos parámetros, es decir, los defectos que pueden producirse.
- C.- Reconocer los factores que influyen o determinan la aparición del defecto y su evolución.
- D.- Disponer de un medio para resumir todos estos datos en un conjunto, al que se pueda tener acceso fácil para obtener de él las mejores conclusiones.

Tradicionalmente los procedimientos de inspección se han basado en el buen juicio de ingenieros expertos que tomaban sus decisiones a partir de impresiones visuales, se trata de un juicio subjetivo, que constituye todavía en muchos países el procedimiento de evaluación.

Sin embargo, cada vez es más indispensable cuantificar ciertos defectos tomando medidas, además de los métodos de inspección visual.

Los parámetros fácilmente detectados en forma visual serán todos aquellos debidos a defectos superficiales, como baches, fisuras, agrietamientos, etc..

Los parámetros que necesitarán de medición serán por ejemplo, - la capacidad soporte y la adherencia.

En lo que respecta a la inspección visual, se intenta en general, estandarizar los elementos a medir, el modo de registrar la operación y su comparación con las normas de calidad empleadas, con el fin de limitar la subjetividad de la medida y de su interpretación. - Es común en este procedimiento el establecer una división de la aeropista por tramos y por elementos, aplicando una calificación o nota al estado detectado.

Dichas calificaciones serán recogidas en fichas de registro tal, que permitan realizar un seguimiento periódico de las degradaciones de los elementos.

La sencillez de la toma de datos, la mínima cantidad de medios necesarios y principalmente la observación adecuada de elementos que no podrían cuantificarse de otra manera, son las razones por las que la inspección visual sigue siendo un sistema básico para determinar las necesidades de conservación.

El incremento en el desarrollo de aparatos de medición de parámetros de difícil cuantificación visual ha permitido, en numerosos países, la inclusión tanto en las normas de calidad como en los procedimientos de evaluación, de los parámetros que se determinan con estos medios; como por ejemplo podemos citar las mediciones que se pueden realizar de la adherencia, regularidad superficial y capacidad portante.

### 1.3- NORMAS Y NIVELES DE CALIDAD

Ningún sistema de conservación puede funcionar sin la posibilidad de comparar el estado existente y las actividades realizadas, con una situación de referencia. Para constituir esta referencia, se deben establecer las normas correspondientes.

Las normas pueden ser de tres tipos:

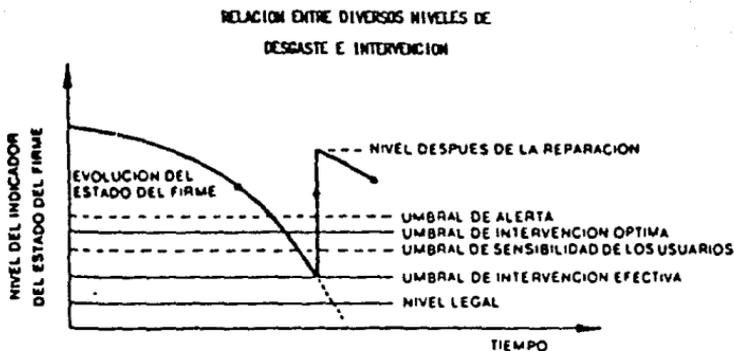
- Normas de calidad: Definen un nivel de calidad mínimo por debajo del cual no deben descender las características de la aeropista, para garantizar al usuario el nivel de servicio previsto.
- Normas cuantitativas: Criterios que establecen cuantitativamente los recursos de mano de obra y materiales necesarios para una actividad específica.
- Normas de productividad: Definen para cada actividad métodos de trabajo y composición de equipos y rendimientos.

Establecer unas normas de calidad es una tarea difícil por la gran cantidad de factores, que inciden en los elementos de la aeropista. Es práctica recomendable la de fijar unos umbrales mínimos de calidad y varios niveles de intervención para cada característica que se necesite evaluar, pudiéndose recomendar los siguientes:

- Umbral de alerta: Indica la necesidad de una vigilancia más intensa, para definir el tratamiento apropiado.
- Umbral de intervención óptima: Fija el momento más apropiado para realizar las obras, disminuyendo a largo plazo los costos de conservación.

- Umbral aceptable para el público: Nivel compatible con las exigencias del usuario.
- Umbral de intervención efectiva: Nivel en que se efectuará la conservación en la práctica, que puede o no coincidir con el óptimo, de acuerdo con los recursos disponibles.
- Umbral de aceptación legal: Nivel mínimo de calidad impuesto por los reglamentos oficiales.
- Umbral de reparación: Nivel que debe alcanzar el elemento recién reparado.

(fig. 1.1)



Umbrales

(fig. 1.2)



EJEMPLO DE DOS TIPOS DE ESTRATEGIA

### Estrategias

#### 1.4- PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION

La reconstrucción y rehabilitación, son acciones que pueden agruparse dentro de las actividades de conservación de aeropuertos.

Es necesario reconstruir y/o rehabilitar los pavimentos del aeropuerto cuando se presentan deficiencias estructurales o cuando existe insuficiencia en la longitud de las pistas.

La problemática presentada cuando ocurre una de las anteriores situaciones se atenderá previendo una serie de alternativas y eligiendo la que ofrezca las mayores ventajas económicas después de la revisión de las prioridades técnicas.

Dado que las condiciones locales de suelo e hidrología subterránea son diferentes en cada caso, el proyecto de reconstrucción de pavimentos es una tarea compleja que requiere de estudios previos y la comparación de alternativas viables.

La primera actividad a realizar después de decidir la reconstrucción o rehabilitación de alguna parte del aeropuerto será establecer comunicación oficial con las autoridades aeronáuticas para coordinar las acciones a emprender antes y durante la ejecución de las obras.

Cuando se trata de renivelaciones con reposición de carpetas será necesario revisar la estructura existente recorriendo al detalle las áreas pavimentadas, observando y haciendo un levantamiento de los deterioros o fallas mediante un inventario que incluya el tipo de daño, su extensión y severidad. Este procedimiento de observación se puede combinar con uno mecánico, consistente en transitar un equipo rodante de unas 10 a 15 toneladas de peso por pierna (un camión -

lastrado o un compactador neumático), con el fin de detectar y marcar zonas con deficiencia estructural (baches o rebotes). El equipo pesado busca simular el paso de una pierna de avión.

Por regla general, los rebotes detectados mediante el tránsito de equipo pesado tienen su origen en deficiencias de capas profundas que afectan también al subdrenaje que provocan saturación excesiva del terreno de cimentación. Por esta razón, los trabajos de reconstrucción de pavimentos deberán contemplar además la evaluación de las condiciones de subdrenaje y la rehabilitación o instalación del sistema de drenaje (con tubería perforada a los lados de la franja pavimentada).

### 1.5- ESTUDIOS DE EVALUACION

Los estudios de evaluación en pavimentos de uso aeronáutico, como ya se dijo anteriormente, comprenden tanto características estructurales como funcionales.

Dentro de estas características se encuentran tres principales, - que son las siguientes:

- Capacidad de carga de los pavimentos
- Calidad del perfil longitudinal de las pistas
- Resistencia al derrapamiento de las pistas

Estos estudios son los de mayor importancia, ya que de éstos se derivan diferentes procedimientos o métodos de diseño, que sirven, - con ayuda de gráficas, a la obtención o corrección de las características de un pavimento.

También en este tema se estudian las cargas de seguridad de aeronaves, que dependen del tipo de tren de aterrizaje y con las cuales se puede determinar el refuerzo que necesita un pavimento.

En algunos subtemas se presentan ejemplos de diferentes métodos, con el fin de conocer el procedimiento para la obtención de resultados óptimos, que sirven para una buena evaluación.

La realización de un buen mantenimiento, dependerá en gran medida de un buen estudio de evaluación.

## 1.5.1- CAPACIDAD DE CARGA DE LOS PAVIMENTOS

### INTRODUCCION

La capacidad de carga de los pavimentos depende de parámetros representativos de la estructura que pueden usarse directamente para calcular las cargas de seguridad.

Dichos parámetros son:

- Valor Relativo de Soporte (CBR = California Bearing Ratio) de la subrasante
- Espesor total equivalente del pavimento

Para definir la capacidad de carga de los pavimentos es necesario proceder por dos diferentes procedimientos que se complementan entre sí:

- A.- Un procedimiento opuesto exactamente al método de diseño estructural (método inverso de diseño).
- B.- Pruebas no destructivas de placa sobre la superficie del pavimento, obteniendo directamente la carga de seguridad para un tren de aterrizaje de rueda simple.

### METODO INVERSO DE DISEÑO

Los métodos de diseño establecidos parten de datos relativos a la

cimentación para determinar una estructura de pavimento capaz de recibir un volumen de tráfico dado durante una cierta vida útil con mantenimiento normal. Inversamente, conociendo las propiedades de la cimentación y la estructura del pavimento, el método permite establecer el tráfico admisible durante un lapso predeterminado de tiempo. Lo anterior constituye la base para el establecimiento de la capacidad de carga por el método inverso de diseño.

Cuando este método es empleado en forma aislada surgen considerables dificultades para obtener los parámetros estructurales (composición del pavimento y VRS del terreno de cimentación). Aún cuando existan registros confiables relativos a la construcción, cualquier trabajo subsecuente de refuerzo o de reconstrucción, además del deterioro causado por el tráfico y el intemperismo, obliga a prever un considerable número de sondeos y perforaciones. Además los resultados serán de todas formas inciertos debido a la dificultad para definir ciertos parámetros (coeficientes de equivalencia de las capas, etc.) y por el riesgo de que los sondeos y muestras no sean representativos.

Este método sólo puede aplicarse a pavimentos correctamente estructurados, sobre todo en los flexibles, en los que las capas deben ser de calidad creciente del terreno de cimentación hacia la superficie.

## PRUEBAS DE PLACA NO DESTRUCTIVAS

Estas pruebas pueden determinar directamente las cargas de seguridad para rueda simple en un gran número de puntos en pavimentos flexibles.

Las pruebas son insuficientes para determinar la carga de seguridad de aeronaves con tren de aterrizaje de ruedas múltiples o para fines de diseño de refuerzos: en estos casos debe recurrirse al método inverso de diseño.

Sin embargo, las pruebas de placa permiten una notable reducción del número de pruebas destructivas (sondeos y perforaciones) e incrementan substancialmente la confiabilidad de los resultados.

Las pruebas de placa consisten en aplicar cargas repetitivas al pavimento de acuerdo a ciclos programados para un desarrollo muy preciso y de la siguiente forma:

- Aplicación de la carga a velocidad constante (generalmente 2 ton/seg).
- Descarga rápida.
- Un intervalo de 10 segundos con carga cero.

Las cargas, las deflexiones y las elongaciones son registradas en forma continua durante los ciclos, en particular durante los intervalos de 10 segundos de carga mantenida y de carga cero.

La selección de los niveles de carga, las mediciones realizadas y el análisis de resultados dependen de la estructura del pavimento.

La prueba se realiza de la siguiente forma:

Principio de la prueba: El objeto de la prueba es caracterizar el comportamiento por fatiga del sistema pavimento-cimentación, sujeta al conjunto a ciclos de carga y descarga crecientes hasta abarcar la carga de operación y midiendo simultáneamente los asentamientos residuales al término de cada ciclo.

Los asentamientos residuales correspondientes a los primeros 10 ciclos de carga se extrapolan a 10000 ciclos, los cuales representan la magnitud del número de repeticiones de la carga de seguridad - que un pavimento debe soportar durante su vida útil.

Puede representarse gráficamente la relación entre el asentamiento residual a 10000 ciclos y la carga correspondiente.

Dependiendo de la forma de la gráfica y la composición del pavimento, puede seleccionarse un criterio de asentamiento residual máximo (generalmente 5 mm) para obtener la carga de servicio (o carga de seguridad) con base en dicha gráfica.

Método de operación: El diámetro de la placa se elige de tal forma que la presión aplicada al pavimento sea similar a la presión de llantas de aeronaves comunes.

En general, el diámetro de placa será de 17 a 26 pulgadas.

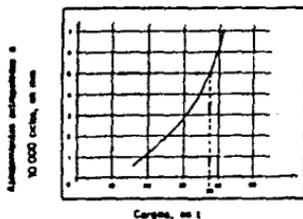
Los asentamientos se registran mediante cuatro o cinco sensores fijos a una viga de referencia; uno de ellos medirá los asentamientos bajo la placa y el resto lo hará a lo largo de un radio fuera de ella.

Las cargas de prueba (generalmente tres) se aplican por 10 ciclos, obteniéndose una gráfica de cargas-asentamientos como la mostrada-

en la figura 1.4, correspondiendo las deflexiones al sensor apoyado en la placa de prueba.

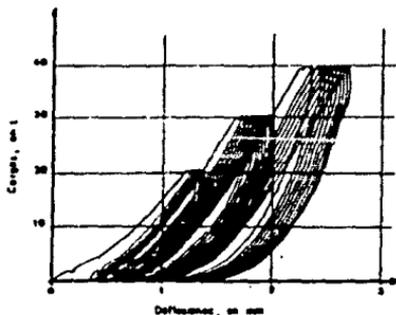
Las cargas de seguridad o cargas de servicio para el punto considerado se obtienen por el criterio de un asentamiento residual máximo permisible de 5 mm (fig. 1.3).

(fig. 1.3)



Asentamientos residuales

(fig. 1.4)



Ciclos de carga sobre pavimentos flexibles

## METODOLOGIA

Si el pavimento en cuestión es antiguo y sus características son poco conocidas, todos los medios que a continuación se describen deberán usarse para obtener una buena evaluación.

Si se trata de un pavimento de construcción nueva, para el cual existen registros completos o el pavimento ha sido evaluado en su totalidad recientemente, es suficiente, en general, realizar pruebas de placa no destructivas para verificar la evaluación de su resistencia.

### A.- Demarcación de zonas homogéneas

La etapa inicial del estudio consiste en definir la zonificación de los pavimentos de acuerdo a su estructura, comportamiento y -- condiciones superficiales.

En primer término los pavimentos se clasifican de acuerdo a su -- función (pistas, áreas de movimientos, plataformas, rodajes, etc.).

Para cada clasificación, los datos de tipo de construcción, mantenimiento recibido, rehabilitación efectuada, etc., permitirán una división inicial de la homogeneidad de la estructura.

Con respecto a cada zona delimitada, se requiere un estudio de -- tráfico (peso, número de movimientos), así como una inspección y levantamiento detallado de deterioros.

Finalmente, la clasificación final de las zonas homogéneas se obtendrá con base en el comportamiento mecánico de las estructuras -- mediante pruebas de deformación (inflúgrafo, viga Benkelman, --

etc.), o mediante la realización de un regular número de pruebas de placa no destructivas (80 a 100 pruebas en un aeropuerto promedio).

Las pruebas de placa, además de ayudar a obtener una buena zonificación, proporcionan la carga de seguridad para rueda simple en cada sitio de prueba ( $P_0$ ).

#### B.- Caracterización de las zonas homogéneas

Luego de definir la carga de seguridad representativa de cada zona, se localizarán uno o varios pozos a cielo abierto de aproximadamente  $1.5 \text{ m}^2$  de sección. Un pozo se ubicará junto a una de las pruebas de placa cuyo resultado se acerque a la carga de seguridad representativa de la zona.

Otros pozos se ubicarán junto a puntos atípicos (por ejemplo, junto a pruebas que dieron cargas de seguridad particularmente bajas).

En función de la homogeneidad de las estructuras, una pista de un aeropuerto promedio requerirá del orden de cinco a siete pozos a cielo abierto para el siguiente propósito:

- Determinar la estructura del pavimento, en particular el espesor de las capas y verificar la calidad de los materiales (in situ y en laboratorio).

- Realizar el mayor número de pruebas VRS in situ o ensaye de módulo de reacción del terreno de cimentación.
- Determinar contenidos de agua y compactación así como extraer muestras inalteradas y remoldeadas para ensayos y pruebas de laboratorio.

C.- Interpretación y síntesis de resultados.

La carga de seguridad para rueda simple se define para cada zona por medio de pruebas de placa. Cada zona también se caracteriza por un espesor total equivalente y por un VRS, obtenidos a través de sondeos y pruebas. Por lo tanto, es posible calcular las cargas de seguridad por el método del diseño inverso. Sólo en el caso de que ambas cargas sean idénticas o parecidas se podrá decir que los parámetros involucrados son estables o correctamente seleccionados (como por ejemplo, los coeficientes de equivalencia).

Tan pronto como se reconoce la condición anterior, será posible obtener las cargas de seguridad para cualquier tipo de tren de aterrizaje con base en las gráficas de diseño estructural.

CARGAS DE SEGURIDAD

La determinación de las cargas de seguridad para pavimentos -

existentes constituye el problema opuesto del diseño. Tres cuestiones surgen a este respecto:

- A.- Para un pavimento cualquiera, cómo presentar la información sobre su resistencia (o capacidad de carga) con base en sus características (espesor, VRS, etc.).
- B.- Definida su resistencia, cómo deducir de ella el peso admisible para cualquier aeronave.
- C.- Bajo qué condiciones se harán concesiones en el caso de que las cargas efectivas excedan a las cargas de seguridad.

La carga de seguridad o carga admisible ( $P_0$ ) en principio se refiere a la carga sobre una pierna del tren de aterrizaje. Sin embargo, puede también designarse por  $P_0$  a la carga o peso total admisible de la aeronave. Es necesario entonces precisar los porcentajes del peso total del avión, correspondientes a las piernas del tren de aterrizaje (datos que proporciona el fabricante de la aeronave).

Al presente existen dos sistemas adecuados para presentar la información sobre resistencia de pavimentos:

- Método inverso de diseño por tren de aterrizaje típico (STBA: Servicio Técnico de las Bases Aéreas; Francia).

- Método ACN-PCN (Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number). Norma OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) aplicable a los estados contratantes desde el 25 de noviembre de 1981 y que deberá sustituir progresivamente a los métodos anteriormente aplicados por los países.

#### METODO DEL TREN DE ATERRIZAJE TIPICO

Dado que casi todas las aeronaves comerciales están equipadas con trenes de aterrizaje de rueda simple, rueda doble o rueda doble tándem, los pavimentos pueden caracterizarse por medio de tres cargas de seguridad, cada una correspondiendo a la carga permisible límite para un tren de aterrizaje típico a razón de diez-movimientos diarios durante diez años (tráfico normal).

Ejemplo:

( Pavimento flexible )

CBR del terreno de cimentación: 6

Espesor equivalente:  $H = 73$  cm

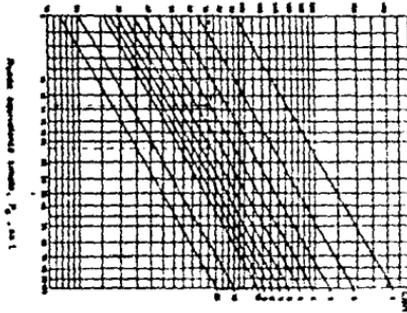
Tren de aterrizaje de rueda simple (fig. 1.5)  $P_0 = 22$  ton

Tren de aterrizaje de rueda doble (fig. 1.6)  $P_0 = 27$  ton

Tren de aterrizaje de rueda doble tándem (fig.1.7)  $P_0 = 47$  ton

(fig. 1.5)

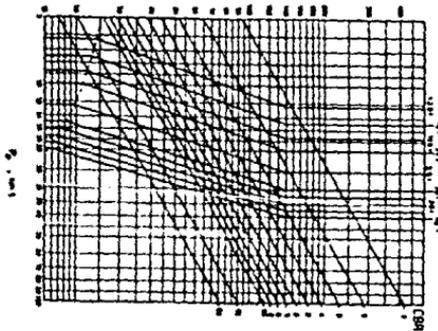
Espesor lateral equivalente  $H_e$ , en cm



Pierna con rueda sencilla

(fig. 1.6)

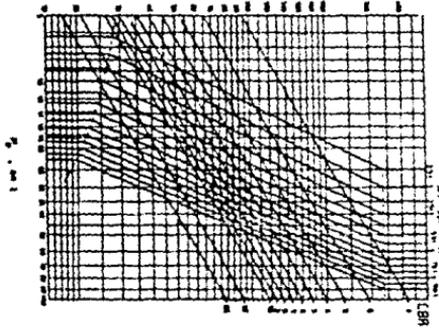
Espesor lateral equivalente  $H_e$ , en cm



Pierna con rueda doble

(fig. 1.7)

Espesor total equivalente  $M$ , en cm



Pierna con rueda doble tándem

(tabla 1.1)

Aeronave	Pasos		Porcentaje de accidentes (años)	ACN							
	1951 en años	Número de vuelos de comercial (años)		Desempeño (años)				Puntaje Pasos			
				A	B	C	D	A	B	C	D
A-300BZ	142 000	46.5	1.23	37	44	52	60	40	45	55	70
B-707-320B	80 650	44.0	1.24	39	46	55	63	42	47	57	73
B-727-200 (Ejemplar)	64 764	46.4	1.15	14	15	18	20	15	16	17	23
B-727-200	78 471	46.4	1.15	46	48	51	55	41	43	49	54
B-737-100	43 722	46.3	1.02	23	23	24	25	21	22	24	28
B-737-100	23 942	46.3	1.02	24	24	28	29	22	23	26	30
B-747-100	334 731	23.123	1.55	22	13	14	15	12	12	13	14
B-747-100	162 703	23.123	1.55	44	51	60	69	46	50	60	61
Caravelle	55 800	46.0	0.98	18	20	23	26	19	20	22	28
Caravelle	31 800	46.0	0.98	16	19	22	25	17	19	21	26
Concorde	193 066	46.0	1.28	8	9	10	12	8	9	10	12
Concorde	78 698	46.0	1.28	31	31	32	31	25	22	21	20
DC-8-63	182 386	47.6	1.34	21	22	25	28	21	22	26	32
DC-8-63	72 002	47.6	1.34	30	30	30	29	32	30	31	37
DC-8-41	52 183	46.65	1.10	17	18	23	26	19	19	22	29
DC-8-41	27 821	46.65	1.10	32	34	33	37	28	30	33	37
DC-10-40	253 103	37.7	1.17	19	18	17	18	13	14	15	18
DC-10-40	122 387	37.7	1.17	44	53	64	75	53	59	70	97
IL-62	161 570	45.5	1.63	20	21	24	28	22	23	26	32
IL-62	64 400	45.5	1.63	47	54	62	70	48	52	61	76
L-101	193 956	47.4	1.33	17	17	19	21	16	16	18	23
L-101	108 882	47.4	1.33	45	38	42	35	37	34	38	41
Mercury	54 080	46.3	0.87	24	23	28	33	25	27	29	36
Mercury	31 080	46.3	0.87	30	32	34	36	27	29	34	37

## ACN de las principales aeronaves comerciales

Para fines de publicación, los anteriores resultados pueden expresarse simbólicamente como sigue:

- 22T/ISW
- 22T/DW
- 47T/DTW

donde:

- ISW : Rueda simple (Isolated Single Wheel)
- DW : Rueda doble
- DTW : Rueda doble tándem

Suponiendo que se desea obtener el peso admisible máximo de una aeronave tipo B-727-200 (estándar), considerando el ejemplo anterior y la tabla 1.1, resultará lo siguiente:

$$P_o = \frac{27}{0.464} = 58.2 \text{ ton}$$

Dado que la carga de seguridad para rueda doble es de 27 T, para este avión la proporción del peso total sobre una pierna principal del tren de aterrizaje es de 46.4 por ciento.

#### METODO ACN - PCN

La capacidad de carga de los pavimentos diseñados para recibir aeronaves cuyo peso en plataforma es mayor de 5700 kg, se obtiene a través de los siguientes datos:

- A.- Número de clasificación del pavimento (PCN).
- B.- Tipo de pavimento considerado para la determinación de los números ACN - PCN.
- C.- Categoría del terreno de cimentación.

D.- Presión de inflado máxima permisible de los neumáticos.

E.- Base de la determinación.

El ACN (Aircraft Classification Number) es un número que expresa el efecto relativo de una aeronave de peso dado sobre un pavimento con una categoría del terreno de cimentación especificada.

El PCN (Pavement Classification Number) es el número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número ilimitado de operaciones (varios PCN podrían obtenerse si la resistencia del pavimento depende de importantes variaciones estacionales).

El número de clasificación del pavimento (PCN) indica que una aeronave cuyo número de clasificación (ACN) es menor o igual a dicho PCN podrá utilizar el pavimento únicamente sujeta a restricciones relativas a la presión de neumáticos.

Descripción de símbolos:

Los datos relativos al tipo de pavimento en consideración, la categoría del terreno de cimentación, la presión máxima permisible de neumáticos y la base de determinación de la resistencia, se presentan mediante el código de letras contenido en la tabla 1.2.

(tabla 1.2)

Categoría de la información	Símbolo
<p>1. Tipo de pavimento:</p> <p>Flexible</p> <p>Rígido</p> <p>Cuando se trate de una estructura compuesta o no estándar deberá agregarse una nota explicatoria</p>	<p>F</p> <p>R</p>
<p>2. Categoría de la resistencia de cimentación</p> <p>Alta resistencia para <math>K \geq 150 \text{ MN/m}^2</math> y representando todos los valores de <math>K</math> mayores de <math>120 \text{ MN/m}^2</math> para pavimentos rígidos; CBR = 15 y representando todos los valores de CBR mayores de 13 para pavimentos flexibles</p>	A
<p>Resistencia media: Caracterizada por <math>K = 80 \text{ MN/m}^2</math> y representando un intervalo de valores de <math>K</math> de <math>60</math> a <math>170 \text{ MN/m}^2</math> para pavimentos rígidos; CBR = 10 y representando el intervalo de valores de CBR de 8 a 13 para pavimentos flexibles</p>	B
<p>Baja resistencia: Caracterizada por <math>K = 40 \text{ MN/m}^2</math> y representando el intervalo de valores de <math>K</math> de <math>25</math> a <math>60 \text{ MN/m}^2</math> para pavimentos rígidos; CBR = 6 y representando el intervalo de valores de CBR de 4 a 8 para pavimentos flexibles</p>	C
<p>Resistencia ultrabaja: Caracterizada por <math>K = 20 \text{ MN/m}^2</math> y representando todos los valores de <math>K</math> menores de <math>25 \text{ MN/m}^2</math> para pavimentos rígidos; CBR = 3 y representando todos los valores de CBR menores de 4 para pavimentos flexibles</p>	D
<p>3. Presión máxima permisible de neumáticos</p> <p>Categoría de presiones de inflado:</p> <p>Alta (sin límite de presión)</p> <p>Media (presión restringida a 1.5 MPa)</p> <p>Baja (presión restringida a 1.0 MPa)</p> <p>Muy baja (presión restringida a 0.5 MPa)</p>	<p>W</p> <p>X</p> <p>Y</p> <p>Z</p>
<p>4. Base de la determinación</p> <p>Evaluación técnica: Estudios específicos de las características del pavimento por medio de estudios de ingeniería sobre el comportamiento del pavimento</p> <p>Evaluación basada en la experiencia adquirida con las aeronaves. Conocimiento del tipo y del peso de la aeronave que puede soportar satisfactoriamente el pavimento</p>	<p>T</p> <p>U</p>

Descripción de símbolos. Método ACN-PCN

**Ejemplo:**

Si la capacidad de carga de un pavimento flexible apoyado sobre una cimentación de resistencia media fue determinada mediante una evaluación técnica y se obtuvo un PCN = 80 y no existe limitación a la presión de neumáticos, los datos se expresarán como sigue:

$$\text{PCN} = 80/F/B/W/T$$

**Cálculo del ACN:**

Mediante el cálculo del ACN se persigue encontrar una rueda equivalente simple de la aeronave que sustituya para efectos de análisis el tren de aterrizaje actual.

A.- Para la pierna principal del tren de aterrizaje principal de la aeronave en cuestión, se calcula el espesor de pavimento necesario mediante el método siguiente:

- Cuerpo de Ingenieros para pavimentos flexibles (en función del CBR de la subrasante).

B.- Se calcula la carga sobre rueda simple inflada a la presión estándar de 1.25 MPa que requiere el mismo espesor de pavimento obtenido en el punto anterior.

C.- La carga así obtenida (carga por rueda simple) se representa por ESW (Equivalent Single Wheel) y el ACN es:

$$\text{ACN} = \frac{2}{1000} \text{ ESW} , \text{ CON ESW en kg} \quad (\text{ecuación 1})$$

El ACN es un número abstracto y el coeficiente de la ecuación anterior se seleccionó para que los ACN de la mayoría de las aeronaves

ves queden entre 0 y 100.

D.- Para simplificar los resultados de publicación, los ACN son calculados con respecto a cuatro categorías de terreno de cimentación y para dos pesos (peso máximo en plataforma y peso vacío de operación).

Cada una de las cuatro categorías de terreno de cimentación corresponde a un CBR típico (ver la tabla 1.2) y se acepta que el ACN varíe linealmente para pesos de aeronave intermedios entre el peso máximo y mínimo.

Los ACN para las principales aeronaves comerciales existentes han sido calculadas y publicadas por la OACI (tabla 1.1).

Con respecto a otras aeronaves, se han publicado programas de computadora para el cálculo (Manual de Diseño de Aeródromos).

#### Cálculo del PCN:

La publicación de los PCN de los pavimentos, persigue hacer posible la definición de las cargas de seguridad ( $P_0$ ) con una precisión comparable a la del método inverso de diseño.

El cálculo del PCN requiere conocer con la mayor exactitud posible las características del pavimento y del terreno de cimentación:

- El CBR de la cimentación.
- El espesor total equivalente en pavimentos flexibles.

Mediante el uso de la fórmula del CBR, es posible calcular la carga por rueda simple en términos del PCN, para una presión de neumática

cos estándar (1.25 PMA), así como las características de CBR y espesor total equivalente de pavimento.

(ecuación 2)

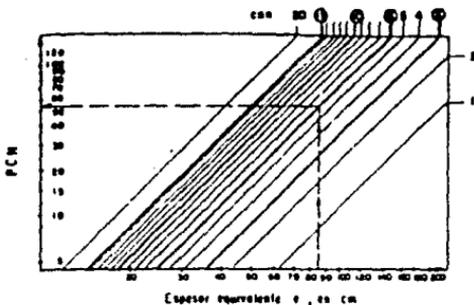
$$PCN = \frac{1}{500} \frac{e^2}{\frac{1}{0.57 \text{ CBR}} - 0.025}$$

El PCN puede leerse directamente de la gráfica de la figura 1.8.

Ejemplo:

$e = 85$  cm,  $CBR = 6$ ; de la figura 1.8  $PCN = 54$ , lo que significa - que el pavimento puede declararse abierto a toda aeronave con ACN - igual o menor de 54

(fig. 1.8)



Gráfica para el cálculo del número de Clasificación de Pavimento (PCN)

El espesor equivalente "e" deberá determinarse mediante el empleo cuidadoso de Coeficientes de Equivalencia (CE) con el propósito de -

convertir espesores actuales a espesores equivalentes en forma similar al proceso de diseño de pavimentos. Como una guía, en la tabla 1.3 se indican los coeficientes de equivalencia para materiales nuevos. En pavimentos antiguos estos coeficientes son diferentes y para su definición las pruebas de placa constituyen una herramienta invaluable.

(tabla 1.3)

Materiales nuevos	Coefficiente de equivalencia (CE)
Concreto asfáltico	2.0
Mezcla de grava-asfalto	1.5
Grava-pulvisc	1.2
Grava tratada (comento, cal, escoria, cenizas)	1.5
Grava triturada, bien graduada	1.0
Asfalto tratado (comento, escoria)	1.0
Grava redondeada	0.75
arena	0.5

Coefficientes para determinar el espesor equivalente de pavimentos flexibles

Con relación a la máxima presión de inflado de neumáticos, la letra W (sin límite) es adoptada generalmente.

Las otras letras, las cuales limitan la presión de inflado, se usan únicamente cuando existe un riesgo demostrable de causar daños a la superficie del pavimento, por ejemplo cuando se trata de pavimentos tratados superficialmente con un riego de sello (situación muy rara en la práctica).

Con respecto al método de evaluación, se empleará la letra T cuando éste se base en trabajos de campo para obtener las cargas de seguridad (sondeos, pruebas de placa, etc.); mientras que la letra U se adoptará cuando se definan los pesos admisibles de las aeronaves con-

base en la observación de la aeronave más pesada que utiliza al pavimento sin causarle daños.

Determinación de la aeronave admisible por el método ACN-PCN:  
La carga de seguridad  $P_{ta}$  de la aeronave se calcula del PCN con la ecuación siguiente:

(ecuación 3)

$$P_{ta} = m + (M - m) \frac{PCN - ACN_{mín}}{ACN_{máx} - ACN_{mín}}$$

donde:

ACNmáx.- Valor correspondiente al peso máximo de la aeronave  
M (tabla 1.1).

ACNmín.- Valor correspondiente al peso mínimo de la aeronave  
m (misma tabla)

Ejemplo:

PCN 46/F/B/W/T

y para aeronave B-727-200

ACNmáx = 43, para M = 78,471 kg

ACNmín = 22, para m = 44,293 kg

Considerando pavimento flexible y categoría de resistencia B (tabla 1.1), el porcentaje del peso total sobre rueda doble del tren de aterrizaje es 46.4

Por lo tanto:

$$P_{ta} = 44,293 + (78,471 - 44,293) \frac{46}{43} = \frac{22}{22}$$

$$P_{ta} = 83,354 \text{ kg}$$

O sea:

$P_a = 83,354 \times 0,464 = 38,676$  kg sobre una pierna del tren de aterrizaje principal.

## 1.5.2- CALIDAD DEL PERFIL LONGITUDINAL DE LAS PISTAS

### INTRODUCCION

La estructura de los pavimentos de las aeropistas está expuesta permanentemente al intemperismo y a la aplicación de esfuerzos repetitivos que le provoca el paso de las aeronaves; estas condiciones son las responsables del desarrollo progresivo de irregularidades superficiales que pueden ocasionar un exceso de vibraciones en los aviones durante su carrera de despegue o aterrizaje, provocando sobreesfuerzos en la estructura del avión y en el propio pavimento, alteraciones en las lecturas de los instrumentos de a bordo e incomodidad para los pasajeros.

En México se utiliza la técnica del perfilógrafo longitudinal para detectar las irregularidades de las aeropistas, obteniendo además un índice que refleje la intensidad de dichas irregularidades; esta técnica permite evaluar periódicamente las condiciones superficiales de las aeropistas con el fin de programar las obras de rehabilitación necesarias para mantener un adecuado nivel de servicio de los pavimentos.

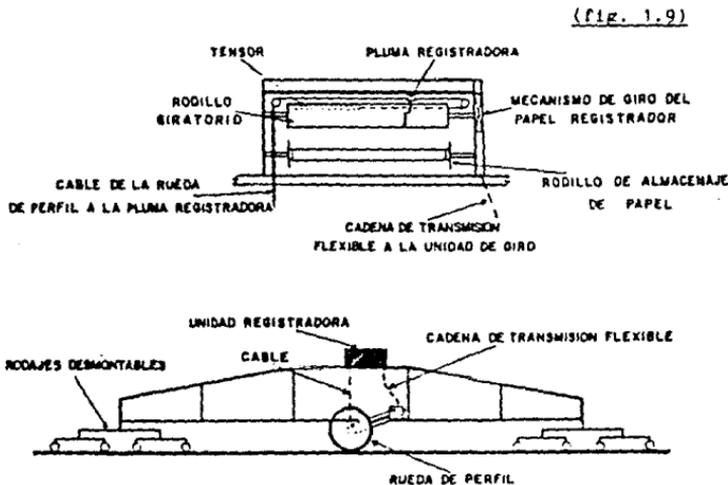
En la DGA (Dirección General de Aeropuertos) se utiliza además la técnica del perfilógrafo para el control del acabado superficial de las aeropistas nuevas; este control se lleva a cabo incluyendo en los proyectos, especificaciones que limitan las irregularidades a valores que no deben exceder cierto nivel, el que se verifica con mediciones del perfilógrafo al término de la construcción de la aeropista.

### PERFILOGRAFO HVEEM

Para evaluar las irregularidades superficiales de un pavimento, - en función del llamado Índice de Perfil, se utiliza el perfilógrafo tipo Hveem que se muestra en la figura 1.9; este aparato está formado -- por una estructura de aluminio de 7.6 m de longitud, una rueda de bicicleta que detecta las irregularidades de la superficie del pavimento y un mecanismo graficador.

Al diagrama obtenido con el aparato se le llama perfilograma, que representa las irregularidades del pavimento en una escala horizontal de 1:300 y una vertical de 1:1.

A partir de los perfilogramas, los índices de perfil (IP) se determinan cuantificando la parte del perfilograma que sobresale de una banda central de 5 mm utilizada como escantillón y margen de tolerancia.



Esquema del perfilógrafo Hveem

## METODOLOGIA DE LA EVALUACION

El perfilógrafo Hveem se hace rodar empujándolo manualmente siguiendo la trayectoria de 10 ejes longitudinales trazados previamente en la aeropista con una separación transversal de 2 m entre sí (de esta forma se cubre la franja central de 20 m sujeta a la mayoría de los pasos de las aeronaves).

Los perfilogramas resultantes se procesan en gabinete cuantificando las irregularidades que sobresalen de la banda central de 5 mm de ancho (dos décimas de pulgada); la cuantificación se realiza contando el número de décimas de pulgada de irregularidades sobresaliendo de la banda central de 0.2 pulgadas por cada tramo de 53.3 cm de perfilograma (equivalente a 160 m ó 0.1 de milla).

El conteo se realiza con una reglilla especial con una banda central de 0.2 pulgadas de ancho que se coloca sobre el perfilograma.

Se obtiene así un valor de Índice de Perfil por cada tramo de 160 m en cada una de las 10 líneas trazadas en las aeropistas.

Los valores de Índice de Perfil por tramo de 160 m de los 10 ejes, pueden manejarse como un promedio general o como un promedio por tramo de 160 m de pista; el primer promedio reflejará las condiciones generales de la pista y los promedios por tramo de 160 m de pista permitirán zonificar los tramos específicos en malas condiciones para recomendar trabajos de rehabilitación en forma aislada.

#### NORMAS PARA CALIFICAR EL PERFIL LONGITUDINAL

En aeropistas nuevas se exige que ningún valor de Índice de Perfil exceda de 30 pulgadas por milla; si los valores del IP se distribuyen normalmente en el intervalo de 0 a 30, podría especificarse que el promedio general de los IP de una aeropista nueva no exceda de 15.

En la práctica es normal que una aeropista nueva en buenas condiciones presente un IP promedio inferior a 20.

Las aeropistas en operación deben evaluarse periódicamente con el fin de detectar la evolución de las irregularidades; en este caso, los IP se presentan en promedios por tramo de 160 m de pista. Esta forma de presentación permite localizar los tramos con IP mayor de 30 para recomendar su rehabilitación.

### 1.5.3- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO DE LAS PISTAS

#### INTRODUCCION

La resistencia al derrapamiento de las pistas debe evaluarse para:

- A.- Proveer periódicamente mediciones del coeficiente de rozamiento de la superficie del pavimento.
- B.- Evaluar el deslizamiento de las pistas cuando están mojadas.
- C.- Determinar el efecto del rozamiento cuando las características del drenaje superficial son deficientes.
- D.- Detectar condiciones resbaladizas en circunstancias excepcionales.

Las mediciones del coeficiente de rozamiento deben hacerse sobre superficies limpias; además, para lograr uniformidad y permitir la comparación con otras pistas, los ensayos deben hacerse con un espesor de agua uniforme ( de 0.5 a 1.0 mm ), por lo que es necesario emplear - - equipos con aplicador automático de agua.

Es preferible que se utilice un aparato de medición que proporcione una evaluación continua del coeficiente de rozamiento.

#### DISPOSITIVOS DE MEDICION

Existe una gran variedad de aparatos de medición; a título enunciativo se tienen los siguientes:

- Vehículo de frenado en diagonal (DBV)
- Remolque LPC (francés)

- Medidor del valor Mu.
- Deslizómetro.
- Stradógrafo.

Existen correlaciones entre los resultados de los cinco dispositivos mencionados, por lo tanto, la entidad que utilice cualquiera de estos aparatos puede convertir sus mediciones a las que corresponden al resto de los dispositivos.

#### MEDIDOR DEL VALOR MU (MU-METER)

En México se utiliza el Mu-Meter como un método para clasificar pistas desde el punto de vista del rozamiento y para estimar la eficacia de frenado.

Es sabido que las aeronaves modernas aplican a las ruedas un par de frenado controlado para garantizar un porcentaje de deslizamiento constante (alrededor de 15 por ciento); este porcentaje de deslizamiento prefijado permite aprovechar el máximo coeficiente de rozamiento posible, valor que tiende a disminuir cuando la rueda se bloquea. Por la razón anterior, cuando el coeficiente de rozamiento intrínseco de la superficie es bajo, disminuye la eficacia de frenado y será necesaria una mayor longitud de pista durante los aterrizajes.

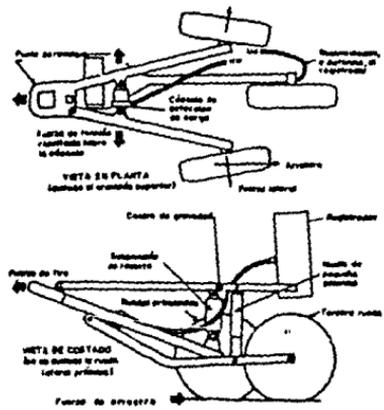
Una ventaja del Mu-Meter radica en que puede detectar el peligro de hidroplaneo cuando se opera a la velocidad estándar de 65 Km/hr y con una presión de neumáticos de 10 psi; el hidroplaneo del aparato (condición en que las llantas no hacen contacto con el pavimento), es

semejante al mismo fenómeno en una aeronave con llantas infladas a - 100 psi desplazándose sobre la pista a una velocidad de 160 Km/hr.

Otra ventaja del Mu-Meter es su capacidad para realizar mediciones continuas en toda la distancia cubierta, registrando éstas en un rollo de papel que avanza proporcionalmente a la distancia recorrida por el aparato.

El Mu-Meter se remolca con un vehículo común a velocidad constante y desarrolla fricción entre la superficie del pavimento y dos ruedas - exteriores que se desplazan con una desviación de 7.5 grados con respecto a la línea de arrastre. En la figura 1.10 se muestran esquemáticamente los componentes básicos del Mu-Meter.

(fig. 1.10)



Esquema mecánico del Mu-Meter

Las fuerzas laterales de fricción desarrolladas se transmiten a la estructura principal del aparato y son registradas en una celda de presión para convertirse, previa calibración, a valores del coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) que se grafican en forma continua en un rollo de papel. El valor de  $\mu$  es la constante física que representa la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal a la superficie de apoyo de las ruedas. El avance del rollo de papel se regula mecánicamente a través de la tercera rueda del aparato.

El peso total del Mu-Meter es de 245 kg. Los neumáticos de las ruedas principales tienen 40 cm de diámetro y 10 cm de ancho a la presión de 10 psi; la huella de dichos neumáticos es lisa para que su desgaste no afecte las mediciones.

#### MEDICIONES Y PRESENTACION DE RESULTADOS

Las mediciones se realizan en condiciones de pavimento mojado a 65 Km/hr siguiendo dos líneas paralelas al eje de la pista y separadas de éste entre 3 y 5 metros.

Los resultados se presentan en una gráfica cuya escala vertical es el coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) y la horizontal el cadenciamiento de la pista.

El examen directo de la gráfica permite definir los valores del coeficiente de rozamiento promedio para los tercios extremos y central de la pista y para la velocidad de la prueba (65 Km/hr). Los resultados se presentan en un plano indicando el sentido de los recorridos y una planta de la pista.

## NORMAS

El coeficiente de rozamiento obtenido con el Mu-Meter no debe ser menor de 0.7 para aeropistas nuevas; para aeropistas en operación, se especifica un nivel de mantenimiento de 0.5

Para fines de notificación de la eficiencia de frenado, los resultados del Mu-Meter pueden utilizarse con la siguiente tabla:

<u>Eficacia de frenado</u>	<u>Coefficiente u</u>
Buena	0.5 o mayor
Mediana	0.26 a 0.49
Deficiente	Menor de 0.25

Estas calificaciones tienen carácter de orientación y deben usarse con discreción.

La expresión buena trata de indicar que los aviones no experimenta rán dificultades de dirección ni de frenado debido al estado de la pista. Cuando la eficiencia de frenado es indicada como media, el frenado puede ser tal que para hacer un buen aterrizaje debe recurrirse a una ejecución precisa de los métodos de vuelo recomendados. Cuando la eficacia de frenado se indique deficiente, puede ocurrir una importante pérdida de las posibilidades de frenado y de dirección. En caso de que deba aterrizar, se aconseja asegurarse que la distancia de aterrizaje necesaria para pistas resbaladizas especificada en el manual de vuelo del avión no exceda de la distancia de aterrizaje disponible.

## **CAPITULO SEGUNDO**

### **"DETERIOROS Y FALLAS EN LOS PAVIMENTOS DE LOS AEROPUERTOS"**

## 2.1- GENERALIDADES

La descripción y discusión de las fallas de los pavimentos no es una tarea sencilla; su variedad y diferencia de matices bastarían para que no lo fuese, sin contar con otras dificultades, incluso ajenas a los hechos ingenieriles propiamente dichos. De este último tipo son los problemas que se tienen por falta de una nomenclatura de uso universal o por el hecho de que la descripción de una falla tiene mucho de personal y puede variar de un lugar a otro, de un país a su vecino o de una organización a otra.

Aparecen en este caso y, por cierto en forma muy clara, las ambigüedades que suele haber en torno al uso de la palabra falla. En pavimentos es común que la palabra se utilice tanto para verdaderos colapsos o desastres locales, como para describir deterioros simples o lugares de posible evolución futura desfavorable. El problema se complica aún más si se comprende que el concepto de deterioro o falla está asociado al de nivel de servicio, que es básicamente subjetivo, dependiente del nivel de exigencia o de la riqueza de quien lo establece. Frecuentemente se ve describir como fallas a comportamientos que simplemente se apartan de lo que se consideró perfecto y, por otra parte, todos los ingenieros con experiencia en pavimentos que abarque varios países han oído alabar como excelentes a superficies de rodamiento que no hubieran pasado ninguna inspección en zonas algo más prósperas.

La clasificación que se hace de los deterioros y fallas en los pavimentos, se base en el origen que tienen éstos y la forma principal en que se manifiestan.

Existen defectos o fallas que solo pertenecen a un solo grupo dentro de la clasificación, pero la mayoría tiene relación con dos o más grupos.

La división que se hace a continuación, está fundada en las principales causas que afectan al pavimento y que corresponden a un grupo de clasificación, aunque existan otras causas de menor importancia que tengan origen diferente.

Con lo anterior, las fallas de los pavimentos pueden posiblemente dividirse en cuatro grupos fundamentales, de origen bien diferenciado.

- Fallas por insuficiencia estructural.
- Fallas por defectos constructivos.
- Fallas por fatiga
- Fallas funcionales.

## 2.2- FALLAS POR INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL

Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.

Existen cinco tipos de falla que se encuentran contenidas en este grupo:

### A.- Corrimientos circulares.

Esta falla se presenta generalmente en forma de una o varias grietas semicirculares y en lugares donde las aeronaves dan los giros necesarios previos al despegue (ej. la goma de las pistas) o después del aterrizaje, cuando se retiran hacia los rodajes. También son conocidos como corrimientos radiales.

(fig. 2.1)



Corrimientos circulares y radiales

B.- Grietas longitudinales de orilla y de junta.

Las grietas longitudinales de orilla se localizan aproximadamente a medio metro de la orilla del pavimento y pueden ir o no acompañadas de grietas transversales y de grietas paralelas (fig. 2.2).

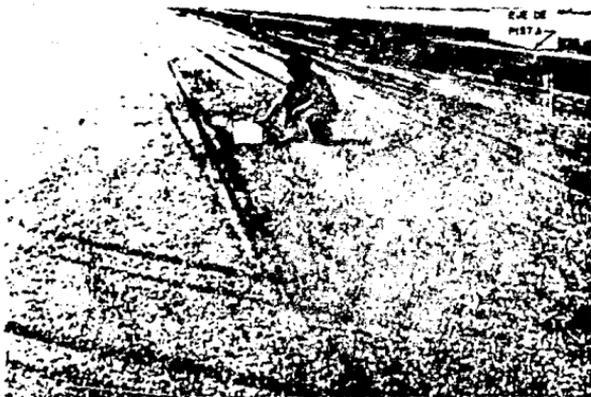
(fig. 2.2)



Grietas longitudinales de orilla

Las grietas longitudinales de junta se localizan en las uniones entre la carpeta y el acotamiento o entre dos franjas de carpeta o entre un pavimento rígido y uno flexible (figs. 2.3 y 2.4).

(fig. 2.3)



Grietas longitudinales de junta

(fig. 2.4)



Detalle de grietas longitudinales de junta

C.- Grietas de contracción.

Este tipo de grietas se presenta generalmente formando grandes polígonos entrelazados (fig.2.5).

(fig.2.5)



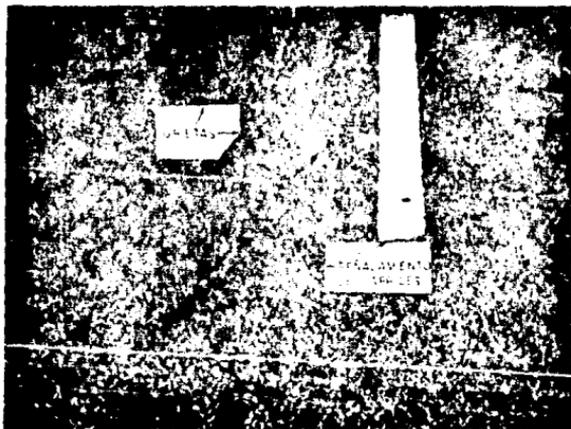
Probables grietas de contracción en un rodaje

D.- Grietas de reflexión.

Este tipo de grietas se presenta en las sobrecarpetas o capas de refuerzo de pavimentos y son un reflejo de las grietas existentes en la estructura del pavimento subyacente (fig. en consecuencia las grietas pueden ser longitudinales, transversales, diagonales o poligonales.

Esta falla se presenta muy frecuentemente en sobrecarpetas colocadas sobre pavimentos de concreto hidráulico o sobre bases estabilizadas con cemento; también se presenta en sobrecarpetas colocadas sobre pavimentos asfálticos cuyas grietas no fueron debidamente reparadas y por tanto se reflejan en la nueva sobrecarpeta.

(fig.2.6)



Grietas de reflexión en una sobrecarpeta colocada sobre un pavimento rígido

E.- Agrietamientos tipo piel de cocodrilo y tipo mapa.

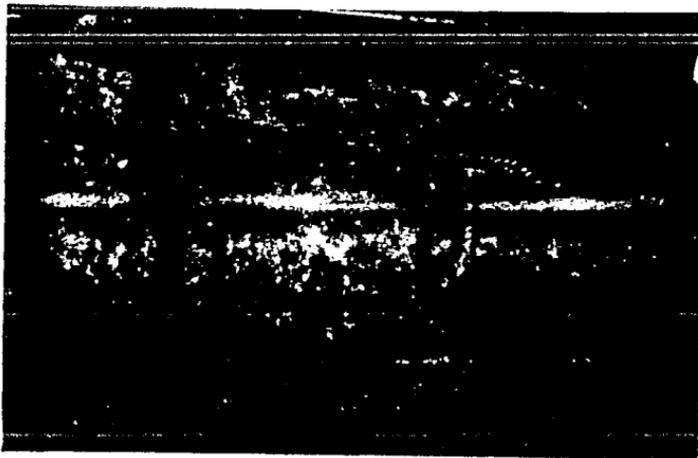
Los agrietamientos tipo piel de cocodrilo se presentan en forma de grietas interconectadas dando la apariencia de una piel de cocodrilo. El espaciamiento de las grietas es de 5 a 25 cm aproximadamente (figs. 2.7 y 2.8).

(fig. 2.7)



Asentamientos y grietas en forma de piel de cocodrilo

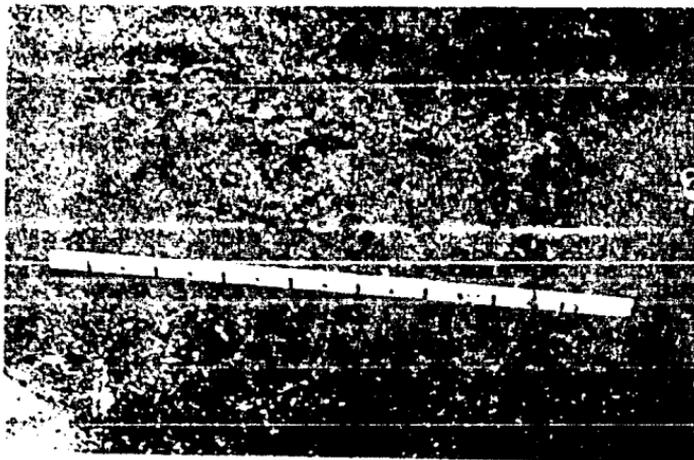
(fig. 2.8)



Agrietamientos tipo mapa

Los agrietamientos tipo mapa se presentan en gran escala en forma de grietas interconectadas que forman polígonos que varían en tamaño -- desde unos 30 cm hasta más de un metro (fig. 2.9)

(fig. 2.9)



Afloramiento de asfalto con burbujas de aguas atrapadas

### 2.3- FALLAS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

Son cuatro los tipos de falla que se caracterizan principalmente por errores o defectos en la construcción.

#### A.- Sangrado o afloramiento del asfalto.

El sangrado o afloramiento de asfalto, que generalmente ocurre durante las épocas de calor, consiste en la aparición del asfalto sobre la superficie del pavimento, formando una película extremadamente lisa, la cual bajo condiciones de lluvia presenta serios problemas al reducirse el coeficiente de fricción (fig.2.10).

(fig.2.10)



Corrimiento de la sobrecarpeta, debido probablemente a la liga defectuosa entre la sobrecarpeta y la superficie original del pavimento.

**B.- Corrimientos de la carpeta.**

Esta falla es un defecto aislado que presenta generalmente un agrietamiento en forma de media luna. En algunos casos se observa después del tendido de la carpeta y en el momento de la compactación; si la temperatura es aun elevada (mayor de 90 - 105°C para el cemento No.6) se observará que se forma un bordo adelante del rodillo frontal (la carpeta se corre).

C.- 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 pequeño -- diámetro.

(fig. 2.11)

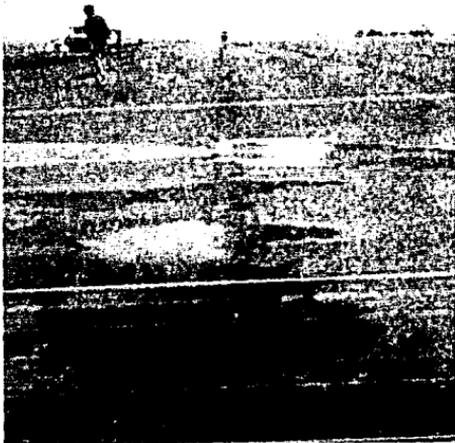


Corrugaciones

D.- Hundimientos o Depresiones.

Esta falla se presenta en forma de áreas bajas de dimensiones variables (hundimientos diferenciales) y pueden o no estar acompañadas de grietas (una depresión de 5 mm es considerada hundimiento). En época de lluvias se acumula el agua en estas depresiones formando charcos, los cuales pueden constituir un peligro para las operaciones de los aviones ante la posibilidad de que se produzca el fenómeno de acuaplaneo (hidroplaneo). Por otra parte los charcos presentes en las pistas ponen en peligro las partes integrantes del avión, cuando éstas reciben el impacto del agua al ser levantada por el tren de aterrizaje a las altas velocidades de operación; asimismo, los charcos pueden incrementar peligrosamente las distancias de despegue de los aviones. Además, el agua así acumulada acelera el proceso de deterioro del pavimento y atrae a las aves (figs.2.12 y 2.13)

(fig.2.12)



Hundimientos

(FIG. 2.13)



Hundimientos diferenciales o depresiones en el pavimento que provocan la formación de charcos cuando llueve.

## 2.4- PALLAS POR FATIGA

Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación e incremento estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Como quiera que estos fenómenos están grandemente asociados al número de repeticiones de carga, las fallas de fatiga resultan claramente influenciadas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

Son tres los tipos de falla por fatiga más importantes:

### A.- Oxidación del asfalto.

Esta falla presenta la característica de un excesivo intemperismo del asfalto y se determina visualmente ya que el agregado se ve con falta de recubrimiento asfáltico. (fig. 2.14) Es un defecto inevitable debido al paso del tiempo, pero existen diversos tratamientos para solucionar este problema.

(fig. 2.14)



Humedad y oxidación del asfalto

B.- Canalizaciones o roderas.

Esta falla está caracterizada por depresiones que forman canales; generalmente se presentan en las huellas de las ruedas, principalmente cuando el tráfico de los aviones está muy canalizado (fig.2.15)

(fig.2.15)

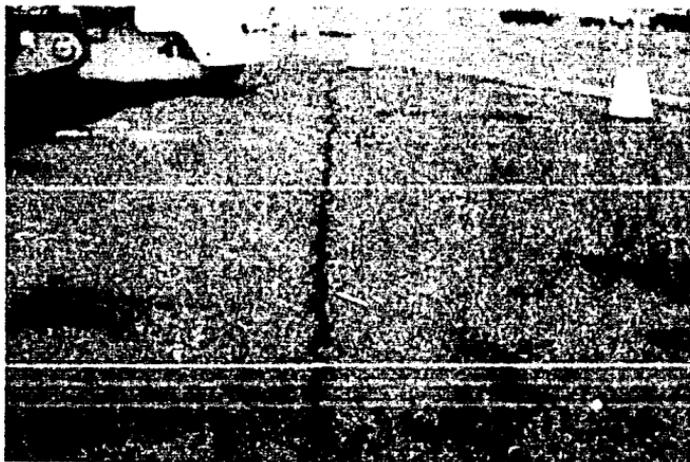


Grieta de hundimiento. Canalización en una calle de rodaje

C.- Grietas transversales.

Las grietas transversales pueden ser debidas a asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase como es el caso de los pavimentos que son cruzados por tuberías o ductos. También pueden ser debidas a movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación; en este último caso quedan incluidas entre otras, las grietas por secado de suelos arcillosos, las grietas originadas por movimientos telúricos y las grietas ocasionadas por fallas geológicas activas.

(fig. 2.16)



Grieta transversal en un rodaje

## 2.5- FALLAS FUNCIONALES

Estas fallas se relacionan con el estado de la superficie del pavimento y condicionan la posibilidad de su utilización en forma segura por las aeronaves.

Algunas características de estas fallas son:

- Las irregularidades del pavimento, que provocan aceleraciones a la aeronave.
- Las condiciones de resistencia al derrapamiento, las cuales gobiernan el control direccional y la eficacia de frenado de la aeronave.
- La desintegración del pavimento que puede provocar la ingestión de gravas por las turbinas o provocar reventones de llantas.

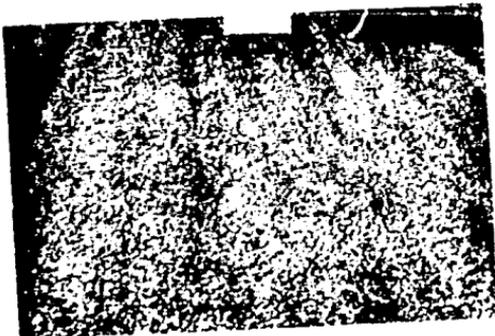
Existen seis tipos principales de fallas que presentan alguna de estas características.

### A.- Erosión del pavimento.

En los pavimentos de concreto asfáltico, la erosión se determina visualmente o por medio de técnicas que detectan la calidad del perfil longitudinal de las pistas; se manifiesta por el desprendimiento del material pétreo más superficial.

Hay ocasiones en que se destruye "la carpeta en zonas localizadas" y en la que el derrame de combustible juega un papel importante.

(fig. 2.17)



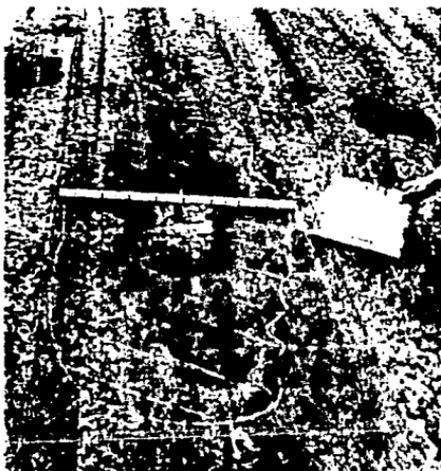
Erosión del pavimento

(fig. 2.18)



Detalle de erosión del pavimento

(fig. 2.19)



Destrucción localizada de la carpeta  
probablemente debida a derrame de -  
combustible

**B.- Disgregación o desmoronamiento.**

Esta es una falla de desintegración progresiva, consistente en la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta que pueden causar la ingestión de gravas por las turbinas o - provocar reventones de llantas.

"

Estas áreas deben repararse con la mayor prontitud para evitar daños mayores al pavimento.

(fig. 2.20)



Disgregación o desmoronamiento

#### C.- Agujeros.

Los agujeros son fallas de desintegración muy localizadas que se producen al levantarse o desprenderse un pedazo de pavimento de - área reducida y con el mismo espesor que el de la carpeta asfáltica. Son defectos que presentan la configuración de una cazuela de dimensión variable (fig. 2.21)

(fig. 2.21)



Agujero con agua

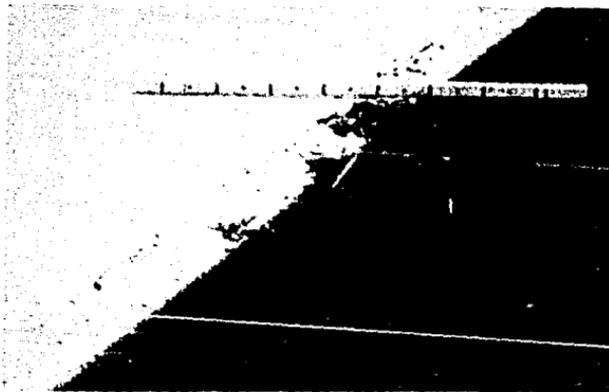
D.- Crecimiento de hierba y afloramiento de agua.

En algunos pavimentos y bajo ciertas condiciones, se pueden presentar dos fallas muy particulares: el crecimiento de hierba dentro o a través de la carpeta (fig.2.22) y el afloramiento de agua a través de la carpeta

El crecimiento de hierba es un problema que se presenta cuando las esporas de las plantas, llevadas por el viento, son depositadas en fisuras y grietas del pavimento. Si hay humedad suficiente, la vegetación brota ya que el asfalto se comporta como fertilizante al mantener el calor en la superficie.

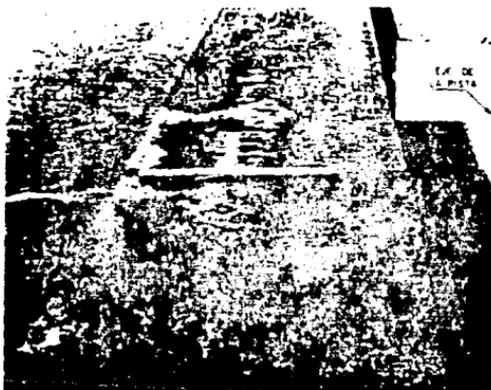
El afloramiento de agua se produce al aplicar cargas sobre el pavimento y si existe gran cantidad de agua atrapada, se forman charcos, los cuales pueden constituir un peligro para el pavimento.

(fig.2.22)



Crecimiento de hierba en la orilla de una pista

(fig. 2.23)



Afloramiento de agua al paso de las cargas

(fig. 2.24)



Bolsas de agua atrapadas en una carpeta, la cual es expulsada al aplicar ligeras cargas sobre el pavimento.

E.- Acumulación de caucho en la superficie.

La acumulación o residuos de caucho depositados en la zona de toma de contacto por los neumáticos de las aeronaves que aterrizan, borran las señales de pista y, cuando están mojados, forman un área sumamente resbaladiza. Aunque esta situación no corresponde a una falla del pavimento, requiere de una labor de conservación.

(fig. 2.25)



Acumulación de caucho en la superficie de la zona de toma de contacto de una pista

F.- Irregularidades de la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones.

Cuando la superficie de los pavimentos de una pista no es muy uniforme, se provocan vibraciones en los aviones durante su carrera de despegue o aterrizaje, pudiendo ocasionar sobreesfuerzos en la estructura del avión y en el pavimento, alteraciones en las lecturas de los instrumentos a bordo e incomodidad para los pasajeros.

## CAPITULO TERCERO

### "CAUSAS PROBABLES DE LAS FALLAS"

### 3.1- CONDICIONES DE LOS MATERIALES

Las causas más comunes que dan origen a las fallas y deterioros - en los pavimentos flexibles, son debidas principalmente a problemas - estructurales y a deficiencia de puesta en obra.

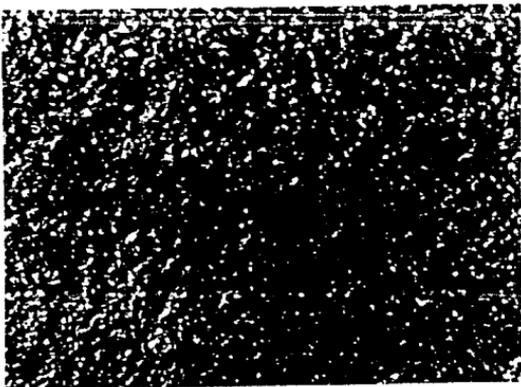
Existen problemas originados por la calidad deficiente de los materiales, tanto pétreos como asfálticos. El defecto más común es el - desprendimiento de finos superficiales, que es evidencia de falta de afinidad entre pétreos y asfalto. Es común en materiales duros, de - origen volcánico o de aluvión, la inadecuada afinidad con el asfalto, motivada por falta de porosidad o por incompatibilidad de carga estática de electricidad. Los aditivos rompen la tensión superficial de - los fragmentos pétreos permitiendo que el asfalto se adhiera a ellos.

Los defectos originados por los materiales en las mezclas asfálticas, ya sean mezclas en caliente, en frío o morteros asfálticos, son los siguientes:

#### A.- Agregado con falta de finos.

Quando la textura superficial de la mezcla es gruesa, se dice que la carpeta está abierta, ya que se observan numerosos espacios entre los agregados, aun después de la compactación. En el caso de morteros asfálticos se observa como la emulsión, en el caso de -- los aniónicos, o el agua en el caso de los catiónicos, fluye libremente entre los granos gruesos (fig. 3.1)

(fig. 3.1)



**B.- Agregado con exceso de finos.**

Los contenidos elevados de finos en las mezclas asfálticas dan lugar a las llamadas carpetas cerradas, en las que se observa un excesivo contenido de agregado fino sin espaciamiento entre los granos. En morteros asfálticos, el exceso de agregado fino dificulta la extensión de la mezcla y aparece en la parte ya extendida un rizado transversal característico.

(fig. 3.2)



C.- Agregado con filler segregado.

En ciertos casos, y sobre todo con agregados calizos, cuando éstos han estado cierto tiempo acopiados bajo lluvias intensas, el filler se segrega, apelmazándose en terrones.

Estos grupos tienen suficiente consistencia como para no romperse en la mezcladora, haciéndolo, bien por la presión de la rastra, - o bien más tarde por la acción del tráfico.

En el primer caso, se observan en la extensión unas ráfagas blancas, y en el segundo, unas manchas localizadas (fig. 3.3)

(fig. 3.3)



D.- Contaminación de arcillas.

Los agregados con filler contaminado por arcillas (equivalente de arena baja) producen una clara falta de adhesividad (fig. 3.4) e índices de abrasión muy elevados.

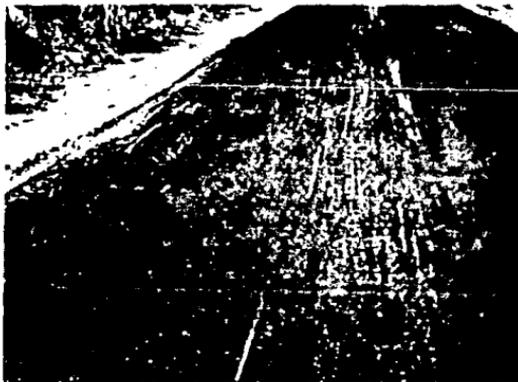
(fig. 3.4)



**E.- Contaminación con gravillas.**

Debido tanto a contaminaciones producidas en la misma cantera como durante el transporte, es frecuente la presencia de gravillas en el agregado a emplear en el mortero asfáltico. Sus efectos se ponen de manifiesto por la aparición de rayas longitudinales en longitud variable, producidas al ser arrastradas las gravillas por la rastra. Este mismo efecto se da cuando por el estado del firme antiguo, se producen arrastres de gravilla que pasan a la rastra (fig. 3.5)

(fig. 3.5)



### 3.2- CONDICIONES CLIMATOLOGICAS

Se da el caso que durante la construcción de una aeropista o terminada ésta, por grietas en el pavimento penetre agua de lluvia, por lo que el líquido se verá atrapado en la frontera entre el pavimento y las terracerías, provocando fallas por saturación de los materiales que se reflejan en deformaciones de las carpetas o aparición de baches que pueden requerir de costosos métodos de reparación y, en su caso, el cierre de operaciones en una pista.

También se presentan defectos originados por las condiciones climáticas en que se efectúa el tratamiento y son los siguientes:

Las lluvias pueden producir multitud de defectos sobre los morteros asfálticos aún no curados, que pueden llegar al total lavado del agregado.

Los efectos de las temperaturas extremadas también son claramente perjudiciales. En el caso de ser muy elevadas, el consumo de aditivo es alto y aparece un enriquecimiento en asfalto en la zona superficial del mortero que se adhiere a las ruedas de las aeronaves y es arrastrado por ellos. Por el contrario, si la temperatura es muy baja y, más aún, si se une una cierta ausencia de viento, el período de curado del mortero se prolonga hasta límites muy elevados.

Los efectos de la congelación en pavimentos aeronáuticos no es severa en México o en los países de habla española, puesto que en ellos no se dan, como norma general, las condiciones de clima extremo que-

han de presentarse para que la congelación del suelo alcance espesores de importancia, dure mucho tiempo y se produzcan efectos desfavorables durante el deshielo. Lo anterior constituye una regla prácticamente - sin excepción en el conjunto de problemas que se refieren a cimentaciones superficiales y otros de índole similar. En el caso concreto de México solamente en zonas del norte central del país se tienen espesores de congelación de algunos centímetros, pero siempre de escasa significación para este tipo de problemas.

### 3.3- INSUFICIENCIA DE PROYECTO

Desde un punto de vista estrictamente mecánico, las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de capacidad; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento o aún de la terracería.

Si las fallas por cortante están típicamente asociadas a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o subbase del pavimento y más raramente en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

En la construcción de aeropistas, en muchos sitios es preciso utilizar suelos arcillosos o con muy importante contenido de arcilla. Muy frecuentemente estos suelos presentan marcadas características de expansividad; son los suelos denominados activos, cuya característica es sufrir grandes cambios de volumen cuando varía su contenido de agua. Es común la presencia de estos suelos en el cuerpo de las terracerías y no es rara en la capa subrasante. En regiones áridas los suelos activos suelen encontrarse con contenidos de agua muy bajos y es frecuente que pierdan por acción solar parte del agua que se les incorpora durante el proceso de compactación, con la consecuencia de que al pasar más tiempo puedan volver a aumentar su contenido de agua por la natural tendencia de ésta a acumularse bajo las superficies cubiertas por los-

pavimentos o por efecto del natural humedecimiento que acompaña a las estaciones lluviosas.

En zonas áridas existirá siempre una mayor tendencia a los cambios en el contenido de agua por efecto climático. Estos cambios producen - en los suelos activos muy nocivos efectos, sobre todo en lo referente a la estabilidad volumétrica y a las características de resistencia al esfuerzo cortante.

Los siguientes son los efectos principales que un suelo expansivo puede sufrir en un pavimento flexible:

- Contracción por secado.
- Expansión por humedecimiento.
- Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y de la capacidad de carga como consecuencia de la expansión.

### 3.4- DEFECTOS CONSTRUCTIVOS

Existen algunos problemas originados por fallas durante el proceso de fabricación y tendido:

- Carpeta porosa: Falta de control de granulometría, seguramente por falla de una compuerta en la planta. Por lo común, no pasa normas y es rechazada.
- Carpeta cerrada: Indicadora de exceso de finos por fallas de control en granulometría. Puede cumplir con normas, pero la superficie lisa resultante deberá ser corregida para mejorar sus condiciones de fricción.
- Mezcla pinta: Indicadora de falta de tiempo de mezclado y de fallas en la alimentación de asfalto caliente en la planta de producción continua.
- Mezcla excesivamente brillante: Indicadora de exceso de asfalto, producido por fallas en el control de la dosificación.
- Defectos de nivelación: Producto de falta de cuidado durante el tendido, o de fallas en el equipo extendedor.
- Carpeta abierta: Indicadora de falta de compactación completa. Se puede corregir.

En los tratamientos superficiales con riego las fallas tienen una apariencia común: exceso de ligante en forma de manchas negras localizadas, amplias zonas exudadas, líneas longitudinales, juntas de trabajo - transversales y longitudinales defectuosas, etc. Sin embargo, esta impresión de exceso de ligante no se debe exclusivamente a un error en la

dosificación, en la que la cantidad de ligante ha sido superior a la debida, ya que puede deberse también, paradójicamente, a todo lo contrario.

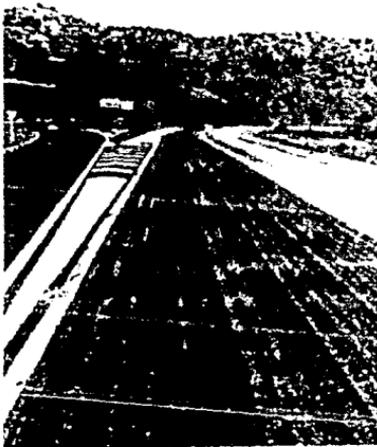
En efecto, un agregado que queda por cualquier motivo mal sujeto, y en particular por falta de ligante, se desprende y, al desprenderse, la única superficie que el usuario puede ver es la superficie negra de ligante expuesta al tráfico.

Existen errores de dosificación en obra y aunque la fórmula establecida en proyecto sea correcta, es muy frecuente que, en obra, el equipo de riego de ligante o de extendido de gravilla no esté suficientemente ajustado. Las fallas debidas a estos errores de dosificación son equivalentes a los que se producirían por mal proyecto inicial del tratamiento, aunque suelen ser mucho más diversos.

La mayor parte de los errores que producen fallas en los tratamientos superficiales se deben a defectos de ejecución. Dichos defectos, independientemente de los errores debidos a una mala dosificación o a productos de mala calidad, se refieren a una extensión y compactación defectuosas. Por ejemplo, son típicas las fallas siguientes:

- Mala terminación de juntas.
- Vertido irregular de ligante en algunas zonas.
- Pérdidas de gravilla por mal reparto de los difusores.
- Formación de líneas longitudinales con pérdida de gravilla (peinado), debidas a un mal reparto de los difusores del tanque regador (fig. 3.6).

(Fig. 3.6)



Pérdida de gravilla por mal reparto de los difusores

Algunos defectos existentes en la mezcla asfáltica son:

- Fraguado precipitado de la mezcla: Puede ser producido por tender mezclas asfálticas a bajas temperaturas ambientales (inferiores a los 18° C) o por la utilización de cemento asfáltico de tipo rápido (números 8 al 12).
- Fraguado lento de la mezcla: Lo originan altas temperaturas ambientales en cuyo caso siempre se logrará la temperatura para compactación (90 - 95° C). Puede ser también producido por asfalto de baja denominación (números 1 al 4).

Otra falla muy frecuente se debe a una apertura prematura al tráfi

co, lo que produce un desprendimiento típico de gravilla.

Existen dos tipos de defectos en los morteros asfálticos, los originados por la dosificación y mezcla y los originados por la extensión.

Los defectos originados por la dosificación son:

A.- Exceso o defecto de aditivo.

En el caso de los morteros catiónicos, la inadecuada dosificación o el consumo elevado de aditivo, conduce a graves defectos en la calidad del mortero.

Cuando el exceso de aditivo viene determinado por la deficiente calidad del agregado, el mortero no adquiere su adecuada cohesión - hasta la total evaporación del agua. La adhesividad es francamente mala y su cohesión es peor (fig. 3.7). También se adhiere con facilidad a las ruedas de las aeronaves, descarnándose la superficie.

(fig. 3.7)



Exceso de aditivo

Estos defectos son similares cuando el elevado consumo de aditivo tiene su origen en que la emulsión empleada está caliente o en una temperatura ambiente elevada. En este segundo caso de elevada temperatura ambiente, a los efectos antes citados se añade una rápida rotura por evaporación en la superficie del mortero, al tiempo que existe un derrame acentuado de la emulsión que, al romper en superficie, favorece la aparición de burbujas típicas en los derrames.

B.- Exceso o defecto del agua de preenvuelta.

Los defectos en el contenido del agua del mortero conducen, caso de que se logre una mezcla adecuada, a que ésta tenga una elevada viscosidad que dificulta la extensión y produce una excesiva dotación de mortero por unidad de superficie.

Por el contrario, cuando en el mortero existe un exceso de agua, la mezcla obtenida es muy fluida, produciéndose derrames superficiales del agua y emulsión (fig. 3.8).

(fig. 3.8)



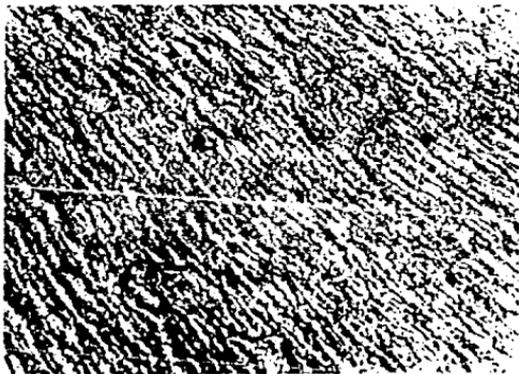
Exceso de agua

Al mismo tiempo, si el cierre rastra-pavimento es bueno, se produce un aumento indeseable de líquidos que enmascara el contenido real de sólidos distribuidos, dando lugar con ello a extensiones defectuosas. Otro hecho importante es el de que, al aumentar el contenido de agua, también lo hace claramente la pérdida por abrasión.

En relación a los defectos originados por la extensión, la inadecuada calidad de las gomas de acabado puede conducir a que en la extensión se observe un rizado característico. Este efecto puede deberse, además de la citada calidad de las gomas, al empleo de una emulsión con estabilidad muy crítica o a la calidad del firme sobre el cual se extiende.

En ciertos casos, este rizado del firme, lejos de ser considerado como un defecto, es una característica muy interesante del mortero, -- pues contribuye a potenciar sus ventajas como tratamiento antideslizante (fig. 3.9)

(fig.3.9)



Residuo Superficial

### 3.5- CARGAS DEL TRAFICO

La deformación permanente en la superficie del pavimento, frecuentemente está asociada a aumento de compacidad en las cargas granulares de base o sub-base, debida a su vez, a carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la subrasante o aún en el cuerpo de la terracería.

Este problema se observó en el aeropuerto de Veracruz, Veracruz.

La superficie del pavimento presentaba una serie de agrietamientos y asentamientos de severidad variable, concentrándose estos deterioros en la franja central de rodamiento.

Se diagnosticó que el origen de los deterioros fue un escaso mantenimiento y cargas en exceso a la capacidad del pavimento.

La evaluación de pavimentos también incluyó calas y sondeos de geotecnia para investigar la calidad de los materiales y la composición de la estructura.

### 3.6- EFECTOS CIRCUNSTANCIALES

Dentro del señalamiento que requieren los aeropuertos, en las áreas de maniobra es obligado utilizar pintura con microesferas de vidrio para darles características de luminosidad nocturna por reflejo.

La inconveniencia de pintar sobre carpetas jóvenes es que los solventes de la pintura reaccionan con el asfalto fresco, provocando una coloración amarillenta en la pintura blanca y, posteriormente, el desprendimiento de láminas delgadas de material compuesto por la pintura y finos de la carpeta.

Será conveniente esperar por lo menos treinta días a que el asfalto superficial se haya endurecido y oxidado en contacto con el aire, - antes de proceder a la pintura (fig. 3.10)

(fig. 3.10)



Grietas de contracción probablemente ocasionadas por la diferente absorción térmica debida a la diferencia de colores de la superficie

### 3.7- RELACION ENTRE FACTORES Y FALLAS

Los corrimientos circulares son debidos a los esfuerzos en el pavimento, provocados por los aviones al realizar giros muy cerrados en la pista o plataformas. Se pueden presentar en aeropuertos 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.

Las grietas longitudinales de orilla pueden ser causadas por una falta de soporte lateral, o bien, asentamientos del material cercano a la grieta; éstos a su vez pueden deberse a un drenaje defectuoso, a la acción de las heladas, a contracciones por secado del suelo de cimentación, o a vegetación cercana a la orilla del pavimento.

Las grietas longitudinales de junta pueden ser causadas por un drenaje defectuoso en el acotamiento, que origina procesos de saturado y secado del material que lo constituye; asentamientos del acotamiento, contracciones del suelo de cimentación, una liga defectuosa entre dos franjas de construcción de la carpeta o al diferente comportamiento de los materiales cuando se trata de la unión entre un pavimento rígido y uno flexible.

La causa de las grietas de contracción son los cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. Frecuentemente se deben a los cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La -

falta de tráfico apresura la formación de estas grietas. También son ocasionadas por las marcas de pintura, ya que se provocan diferentes absorciones térmicas en las zonas pintadas con respecto a las no pintadas.

Las grietas de reflexión son causadas por movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de la sobrecarpeta o por movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad que provocan expansiones y contracciones; también pueden ser causados por el paso del tráfico, por movimientos de tierra y por pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcilla.

Los agrietamientos tipo piel de cocodrilo son causados por deflexiones excesivas de la carpeta, colocada sobre una subrasante, sub-base y/o base inestables o resilientes. Los agrietamientos tipo mapa son causados en forma similar, pero la capa problema está mucho más profunda, probablemente en la subrasante.

Las causas de sangrado o afloramiento de asfalto pueden ser: un exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, un riego de liga o de impregnación excesivos, o bien solventes que acarrearán el asfalto a la superficie.

Adicionalmente, 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.

Los corrimientos de la carpeta son provocados por una falta de adherencia entre la carpeta o capa superficial y la base o capa subya

cente. 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 falta o exceso del riego de liga durante la construcción del pavimento, o a un exceso del contenido de arena en la mezcla, o a una inadecuada compactación durante la construcción, o bien a la falta de anclaje mecánico (piquete de amarre).

Las corrugaciones son causadas por cargas del tráfico que actúan sobre un concreto asfáltico 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, o a un cemento asfáltico demasiado blando. También puede deberse a una humedad excesiva, a contaminación por derrame de aceites o bien a una falta de aireación, al colocar la mezcla asfáltica.

Los hundimientos o depresiones pueden ser provocados por la operación de cargas superiores a las correspondientes al 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. En algunos suelos constituidos por arcillas con muy baja capacidad de soporte, la falla se puede presentar por flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista.

La oxidación del asfalto es provocada por agentes meteorológicos, por el efecto del escape de los motores de turbina a altas velocidades y temperaturas o por agua atrapada en las capas inferiores del pavimento.

Las canalizaciones son el resultado de la consolidación o de movi-

miento lateral de una o varias de las capas subyacentes, provocado por el tráfico. También pueden presentarse en pavimentos nuevos cuya carpeta asfáltica ha sido mal compactada o bien debido al movimiento plástico de concretos asfálticos que no tienen suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

Las grietas transversales pueden ser debidas a asentamientos aislados de la subrasante, base o sub-base como es el caso de los pavimentos que son cruzados por tuberías o ductos.

También pueden ser debidas a movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación; en este último caso quedan incluidas entre otras, las grietas por secado de suelos arcillosos, las grietas originadas por movimientos telúricos y las grietas ocasionadas por fallas geológicas activas.

La erosión del pavimento puede ser provocada por el chorro de las turbinas y/o por el paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad. Es determinante, para el desarrollo de esta falla, las condiciones de adherencia existentes entre el material pétreo y el asfalto. La elaboración defectuosa del concreto asfáltico durante la construcción del pavimento, la utilización de agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, y efectos circunstanciales como derrame de combustible y lubricantes, son las principales causas de una pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

Las causas que pueden originar disgregación o desmoronamiento son: insuficiente compactación durante la construcción, colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío, utilización de agregados sucios o

desintegrables, falta de asfalto en la mezcla, y/o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

La causa de los agujeros 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 de una carencia de finos en la mezcla, y/o de un drenaje deficiente.

Cuando hay crecimiento de hierba, la carpeta puede tener una textura demasiado abierta y/o la presencia de grietas que permiten la acumulación de humedad y tierra en oquedades interiores propiciando el crecimiento de hierba, cuyas raíces pueden provocar la desintegración de la carpeta y la disminución de la capacidad estructural de las capas inferiores. El afloramiento de agua se puede presentar cuando la capa-base esté saturada y al tener una carpeta de textura abierta o con grietas, el agua aflora al paso de las cargas; también se puede presentar la circunstancia de que la carpeta, durante su proceso de construcción, haya atrapado agua, la cual no tendrá una salida fácil debido a la impermeabilidad de la propia carpeta; en ambos casos la presencia de humedad dentro de la carpeta impedirá una adecuada adherencia del asfalto con el agregado pétreo pudiendo incluso actuar como lubricante entre los componentes de la carpeta y consecuentemente provocar su disgregación.

La acumulación de caucho en las zonas de toma de contacto de las pistas, es el resultado de las operaciones de aterrizaje de los aviones.

Las irregularidades de la superficie del pavimento que provocan vi

braciones a los aviones, se deben al mínimo control existente durante la construcción de la pista y se observa cuando el índice de perfil es superior a 30.

En forma de resumen se muestra a continuación la tabla 3.1, la cual enlaza los deterioros y fallas antes descritos con las causas probables del problema.

(tabla 3.1)

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA
Corrimientos Circulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giros de los aviones cerrados</li> <li>- Poca capacidad del pavimento para resistir esfuerzos de tensión</li> </ul>
Grietas longitudinales de orilla y de junta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de soporte lateral o</li> <li>- Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Drenaje defectuoso</li> <li>Acción de las heladas</li> <li>Contracciones por secado del suelo de cimentación</li> <li>Vegetación cercana a la orilla del pavimento</li> </ul> </li> <li>- Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta</li> </ul>
Grietas de contracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores</li> <li>- Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración</li> <li>- La falta de tráfico apresura la falla</li> <li>- Diferentes colores de la superficie del pavimento (ej. marcas de pintura) que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol</li> </ul>
Grietas de reflexión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta</li> <li>- Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones</li> <li>- El paso del tráfico</li> <li>- Movimiento de tierra</li> <li>- Pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcillas</li> </ul>
-Agrietamientos tipo piel de cocodrilo -Agrietamientos tipo napa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, subbase y/o base inestables o resilientes</li> </ul>
Sangrado o afloramiento de asfalto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica</li> <li>- Construcción inadecuada del sello</li> <li>- Riego de liga o de impregnación excesivos</li> <li>- Solventes que acarrear el asfalto a la superficie</li> <li>- El paso de las cargas del tráfico pesado puede acelerar el sangrado</li> </ul>

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA
Corrimientos de la carpeta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a:</li> <li>- Impurezas situadas entre las dos capas (polvo, aceite, caucho, agua)</li> <li>- Falta o exceso de riego de liga durante la construcción del pavimento</li> <li>- Exceso del contenido de arena en la mezcla</li> <li>- Inadecuada compactación durante la construcción</li> <li>- Falta de anclaje mecánico</li> </ul>
Corrugaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cargas del tráfico y</li> <li>- Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a:</li> <li>Exceso de asfalto en la mezcla</li> <li>Exceso de agregados finos</li> <li>Agregados pétreos demasiado redondeados o lisos</li> <li>Cemento asfáltico demasiado blando</li> <li>Humedad excesiva</li> <li>Contaminación por derrame de aceites</li> <li>Falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados o emulsificados)</li> </ul>
Hundimientos o depresiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento</li> <li>- Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento</li> <li>- Asentamientos del terreno de cimentación</li> <li>- Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos)</li> </ul>
Oxidación del asfalto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas</li> <li>- Agua atrapada en las capas inferiores</li> </ul>
Canalizaciones o roderas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocada (o) por el tráfico</li> <li>- Carpetas nuevas mal compactadas</li> <li>- Baja estabilidad del concreto</li> </ul>
Grietas Transversales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase (p.ej. cuando el pavimento se cruza do por tuberías o ductos)</li> <li>- Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (p.ej. grietas por secado de suelos arcillosos; grietas por movimientos telúricos, grietas por fallas geológicas activas)</li> </ul>

(tabla 3.1 Continuación)

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA
Erosión del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El chorro de las turbinas</li> <li>- El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad; y/o</li> <li>- Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración defectuosa del concreto asfáltico</li> <li>Agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto</li> </ul> </li> <li>Efectos circunstanciales (p.ej. derrame de combustibles y lubricantes)</li> </ul>
Disgregación o desmoronamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insuficiente compactación durante la construcción</li> <li>- Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío</li> <li>- Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto</li> <li>- Falta de asfalto en la mezcla; y/o</li> <li>- Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica</li> </ul>
Agujeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca resistencia de la carpeta en la zona debida a:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de asfalto en la mezcla</li> <li>- Falta de espesor de carpeta</li> </ul> </li> <li>- Exceso o carencia de finos en la mezcla y/o</li> <li>- Drenaje deficiente</li> </ul>
Crecimiento de la hierba y afloramiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textura de la carpeta demasiado abierta</li> <li>- Capa base saturada de agua</li> <li>- Agua atrapada en la carpeta durante la construcción</li> </ul>
Acumulación de caucho en la superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista</li> </ul>
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco control durante la construcción</li> <li>- Equipo inadecuado para el tendido</li> <li>- Fallas del pavimento</li> </ul>

## **CAPITULO CUARTO**

### **"TECNICAS DE MANTENIMIENTO MEDIANTE TRATAMIENTOS ASFALTICOS"**

#### 4.1- GENERALIDADES

La superficie de las pistas debe mantenerse en un estado que impida la formación de irregularidades dañinas o el desprendimiento de material que pueda representar un peligro para el funcionamiento de las aeronaves, por lo que existen especificaciones muy importantes, relacionadas con la calidad de la superficie de las pistas:

A.- El acabado de la superficie de la capa de rodamiento debe ser de tal regularidad que, cuando se verifique con una regla de 6 m colocada en cualquier parte y en cualquier dirección de la superficie no haya en ningún punto, excepto a través de la cresta del bombeo o de los canales de drenaje, una separación de 5 mm entre el borde de la regla y la superficie del pavimento.

B.- Los movimientos de las aeronaves y las diferencias de asentamiento de los cimientos con el tiempo tienden a aumentar las irregularidades de la superficie. Las pequeñas desviaciones respecto a las tolerancias anteriormente mencionadas no deben afectar mayormente a los movimientos de las aeronaves. En general son tolerables las irregularidades del orden de 2.5 a 3 cm en una distancia de 45 m.- No se puede dar información exacta sobre la desviación máxima aceptable respecto a las tolerancias, ya que ésta varía con el tipo y la velocidad de cada aeronave.

Estas especificaciones exigen una vigilancia continua del estado del pavimento y su reparación, cuando sea necesario. La reparación de pavimentos es costosa y con frecuencia impone restricciones en el tráfico del aeropuerto, aún cuando las zonas dañadas sean pequeñas. En conse

cuencia, el mantenimiento preventivo reviste gran importancia para la administración del pavimento del aeropuerto.

#### MANTENIMIENTO

Conservación o mantenimiento es todo cambio físico en el área, equipo o en las instalaciones de una planta (complejo, corporación, institución, empresa) que es esencial a las operaciones de la misma. Involucra mano de obra, materiales y equipo.

El objetivo del mantenimiento es asegurar la confiabilidad de una operación adecuada así como la seguridad personal. Como el aeropuerto - representa una parte importante de la infraestructura aeronáutica, tiene que cumplir con normas exigentes en cuanto a seguridad. El nivel de seguridad requerido sólo puede lograrse mediante un mantenimiento adecuado de todos los elementos que componen un aeropuerto.

El mantenimiento comprende las medidas necesarias para conservar o restaurar el funcionamiento operacional y también medidas para verificar y evaluar el funcionamiento actual de un elemento. Los componentes básicos del mantenimiento son:

- Inspección.
- Servicio y Revisión.
- Reparación.

La inspección comprende todas las medidas necesarias para verificar y evaluar el estado operacional y comprende verificaciones ocasionales y programadas. Las verificaciones programadas se ejecutan de acuerdo - con un plan en que se especifica la preparación de la verificación, el-

tipo de verificación, el informe del resultado y la evaluación final.

El servicio y el examen comprende las medidas necesarias para mantener o restaurar una instalación o dispositivo al estado operacional requerido. Estas medidas deberían llevarse a cabo siguiendo un plan en que se especifique el tiempo de servicio, el tipo de servicio y el informe de cumplimiento.

Cuando la inspección o el servicio revelen deficiencias, es preciso planificar y ejecutar las reparaciones lo antes posible. Las reparaciones pueden comprender tareas de menor cuantía o de gran importancia, como por ejemplo tratamiento de la superficie de la pista, con la consiguiente interrupción del tránsito.

Existen diferentes formas de mantenimiento por lo que es necesario establecer las definiciones que se indican a continuación:

- A.- Mantenimiento puro o neto: son aquéllos trabajos de conservación que se refieren a una sola actividad.
- B.- Mantenimiento vital: es aquél cuya importancia es tan elevada que al no realizarlo, corre peligro la organización porque se producen pérdidas de vidas, de equipo, colapso de algún elemento o se paraliza el complejo.
- C.- Mantenimiento diferido: es aquél que por su costo o por su jerarquía se pospone para realizarlo en fechas posteriores.
- D.- Mantenimiento periódico: es aquél que incluye operaciones que necesitan ser repetidas en ciclos mayores de un año, como por ejemplo poner el riego y acabados de superficie para pavimentos asfálticos.

E.- Mantenimiento rutinario: es aquél que incluye operaciones que suelen repetirse una o más veces al año (control de vegetación, limpieza de cunetas y zanjas, bacheo), y reparaciones de emergencia.

En toda organización deben precisarse los sistemas que la componen. Desde el punto de vista de conservación, posiblemente la sistematización más adecuada sea el Plan Maestro, que es un documento gráfico y escrito que indica, pensando de antemano cómo será la organización a 10, 15 ó 20 años posteriores.

La variedad de soluciones, dependerá básicamente de los estudios que se tengan realizados a largo plazo desde la concepción del proyecto, es decir, que el Plan Maestro se vaya cumpliendo de acuerdo a los pronósticos hechos para tal fin; así, en la actualidad, los aeropuertos construidos en estos últimos años, necesitarán de ampliaciones futuras en -- pistas, plataformas, etc.

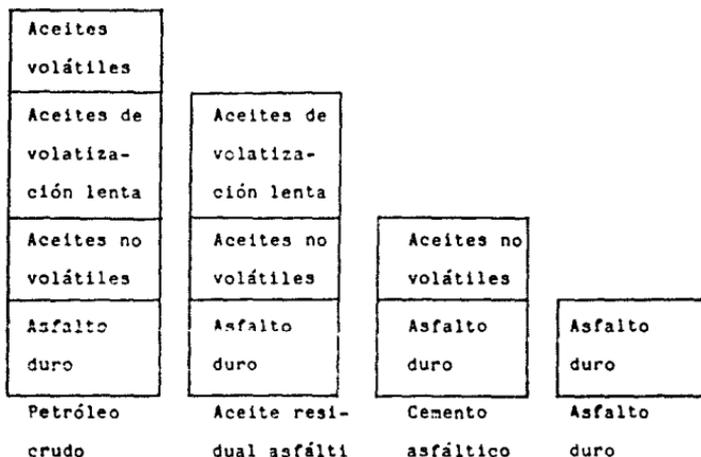
## 4.2- ASFALTO

El asfalto es un componente del petróleo el cual se encuentra en estado sólido, semisólido o líquido. Es de color pardo oscuro a negro; impermeable y adhesivo.

La mayoría de los asfaltos que se emplean hoy en día provienen de la refinación del petróleo.

El asfalto se produce en una gran variedad de tipos, desde los sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo.

Los siguientes ejemplos son productos asfálticos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo.



Disolviendo el cemento asfáltico en diferentes destilados volátiles del petróleo o emulsificándolos con agua, se obtienen los productos asfálticos, que tienen la característica de tener un alto valor cementante al usarse y adquirir esta propiedad muy pronto.

Otra propiedad del asfalto es, ser una substancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de agregado con la que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis (hidróxidos de amonio) y sales.

Todos los asfaltos están compuestos principalmente de asfaltos que provienen de fuentes naturales o del petróleo. La composición química de los asfaltos tiene una estructura compleja, constituida esencialmente por hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno) formando tres clases de grupos químicos: aceites, resinas y asfaltenos. Se considera que los asfaltenos son partículas pequeñas rodeadas por una capa de resina. El aceite sirve como medio en el que pueden subsistir estas resinas y asfaltenos. Cada uno de estos elementos contribuye a dar al asfalto sus propiedades; los asfaltenos le dan cuerpo, las resinas sus propiedades adherentes y dúctiles, y el aceite influye en su viscosidad y escurrimiento.

La temperatura en el tipo de asfalto a emplear es un factor muy importante, el cual se presenta en la tabla siguiente:

Tabla de temperaturas:

Tipo de asfalto	Temperatura recomendada	
	Para mezcla	Para riego
Cementos asfálticos	95° - 180°C	125° - 175°C
Asfalto líquido FR	10° - 110°C	18° - 140°C
Asfalto líquido FM	10° - 121°C	21° - 144°C
Asfalto líquido FL	10° - 135°C	10° - 135°C

La tabla de temperaturas de empleo recomendadas indica las temperaturas necesarias para conseguir una viscosidad del asfalto adecuado - para las aplicaciones por riego y por mezcla en los tipos indicados.

#### 4.2.1- LIGANTES ASFALTICOS

Se denominan ligantes asfálticos a una amplia gama de productos - que tienen en común su aspecto, color y poder aglomerante, debiéndose estas similitudes a estar constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos de distintos tipos.

De entre las diversas clasificaciones de los ligantes asfálticos - que se han intentado establecer quizá la más aceptada sea la que hace referencia a su origen, distinguiéndose los ligantes asfálticos naturales: asfaltos y rocas asfálticas, fundamentalmente; y los ligantes-asfálticos artificiales: asfalto de destilación y alquitranes de hulla.

Desde el punto de vista conceptual y siguiendo la terminología europea, es preciso dejar muy claras las diferencias entre unos y otros:

- Alquitrán: ligante asfáltico procedente de la destilación destructiva de carbones, maderas o esquistos (rocas formadas por el endurecimiento de depósitos arcillosos). En general, de ahora en adelante se entenderá que al hablar de alquitrán se hace referencia - al alquitrán de hulla.
- Betún: ligante asfáltico procedente, natural o artificialmente, -- del petróleo, y con un contenido de impurezas no solubles en sulfuro de carbono inferior al 5%.
- Asfalto: Betún mezclado con impurezas o cargas minerales no solubles en sulfuro de carbono y que están en la composición en proporciones superiores al 5%. Sin embargo, hay que señalar que en - la terminología americana la palabra asfalto se aplica para desig

nar lo que se ha definido aquí como betún.

Otros autores dan el nombre de betun sólo al ligante de origen natural.

#### LIGANTES ASFALTICOS NATURALES

Los asfaltos naturales se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración en determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre, a través de fisuras y rocas porosas, seguido o combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros y la consiguiente concentración de los compuestos asfálticos ya existentes en el mismo, que de esta forma se encuentran normalmente mezclados con mayor o menor proporción de materia mineral. Esencialmente, el proceso de su formación es similar al de los asfaltos obtenidos por destilación del petróleo, con la diferencia de que en el caso de los asfaltos naturales, el proceso se ha realizado a más baja temperatura y en tiempo infinitamente más largo.

Los principales asfaltos naturales son:

A.- Asfalto de Trinidad: en la isla de Trinidad y Tobago, cerca de la costa de Venezuela, existe un lago de asfalto que es uno de los mayores yacimientos de asfalto natural del mundo. Su explotación sólo exige cargarlo sobre las vagonetas que corren por vías tendidas sobre la superficie del asfalto, cuya consistencia es suficiente para tal fin.

El material en su estado natural, es una mezcla de asfalto, gases, agua, arena y arcilla. Parte del material mineral contenido en el

asfalto en su forma original, está finamente dividido e íntimamente ligado con el asfalto, de forma que modifica sus propiedades haciéndolo adecuado para algunos fines específicos.

El resto de las sustancias minerales, así como el agua, sólo son impurezas que es necesario eliminar para el buen aprovechamiento del asfalto, resultando el llamado Trinidad Epuré, cuyo asfalto residual tiene una penetración de 2 a 5.

B.- Rocas asfálticas: Las rocas asfálticas son rocas porosas que han sido impregnadas por asfalto natural. Para que estas rocas sean utilizables prácticamente, su contenido de asfalto debe ser superior al 7 %. Se utilizan generalmente molidas y con la adición de ligantes procedentes de la destilación del petróleo, para la fabricación de losas asfálticas.

C.- Gilsonita: Asfalto natural, duro y quebradizo que se encuentra en las hendiduras de las rocas o en vetas donde se extrae asfalto refinado con vapor. Sólo se encuentra en una determinada región de los EE. UU.

D.- Asfaltites: Son asfaltos naturales caracterizados por su elevado punto de fusión. En realidad, la gilsonita es un asfaltite, aunque esta denominación se suele referir al asfalto que se encuentra en los yacimientos del Mar Muerto, y cuyo interés es meramente histórico.

#### LIGANTES ASFÁLTICOS ARTIFICIALES

Entre los ligantes asfálticos artificiales se encuentran los asfaltos de destilación y los alquitranes de hulla.

Los asfaltos de destilación también suelen llamarse asfaltos de penetración, por ser la penetración de una aguja normalizada a 25°C la que sirve para clasificarlos de manera elemental. Suelen ser semisólidos a temperatura ambiente, por lo que para ser utilizados directamente en obra (es decir, sin emulsionar ni fluidificar) deben ser calentados y manejados durante intervalos de tiempo cortos y precisos.

Los alquitranes de hulla son los productos asfálticos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstitución del residuo que se obtiene en la destilación del carbón de hulla.

A partir de la materia prima, la hulla, la producción de alquitrán se divide en tres etapas:

- A.- Destilación del carbón para producir el alquitrán bruto.
- B.- Refino o destilación del alquitrán bruto.
- C.- Mezcla del residuo de destilación con los aceites destilados, con objeto de conseguir el grado deseado de alquitrán.

El alquitrán está compuesto fundamentalmente por dos fracciones: - la brea de alquitrán y los aceites de hulla.

Otros ligantes asfálticos son:

- Asfalto oxidado o soplado: es el asfalto al cual se le ha modificado alguna de sus características naturales, debido a que se le ha inyectado aire a temperaturas elevadas durante su destilación. Este asfalto tiene un punto de fusión más alto que el asfalto de la misma consistencia, elaborado por simple destilación o evaporación.

Se utiliza en la fabricación de materiales para techado, revestimiento de tubos y aplicaciones hidráulicas.

- Asfalto rebajado: material asfáltico de consistencia blanda o fluida; hace que se salga del campo en que normalmente se aplica el ensayo de penetración cuyo límite es 300.

Existen tres diferentes tipos de asfalto rebajado:

- Asfalto de fraguado rápido (FR): asfalto líquido compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina muy volátil.
- Asfalto de fraguado medio (FM): asfalto líquido compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo queroseno de volatilidad media.
- Asfalto de fraguado lento (FL): asfalto líquido compuesto de cemento asfáltico y aceites relativamente poco volátiles.

#### LIGANTES MODIFICADOS

Entre los ligantes modificados se encuentran las mezclas de asfalto y alquitrán, y los ligantes con adiciones de polímeros.

Con las mezclas asfalto y alquitrán se ha buscado un ligante que reúna las buenas cualidades de ambos componentes, evitando sus defectos. Así por ejemplo, se busca aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán, o disminuir la susceptibilidad térmica del alquitrán y su rápido envejecimiento, añadiendo asfalto.

Además, hasta ahora, las mezclas debían hacerse en proporciones muy desiguales de ambos componentes, con objeto de evitar la floculación:

15-30% alquitrán y 85-70% asfalto: asfalto-alquitrán;

15-30% asfalto y 85-70% alquitrán: alquitrán-asfalto.

Actualmente pueden obtenerse mezclas del tipo 50%-50% mediante el empleo de aditivos.

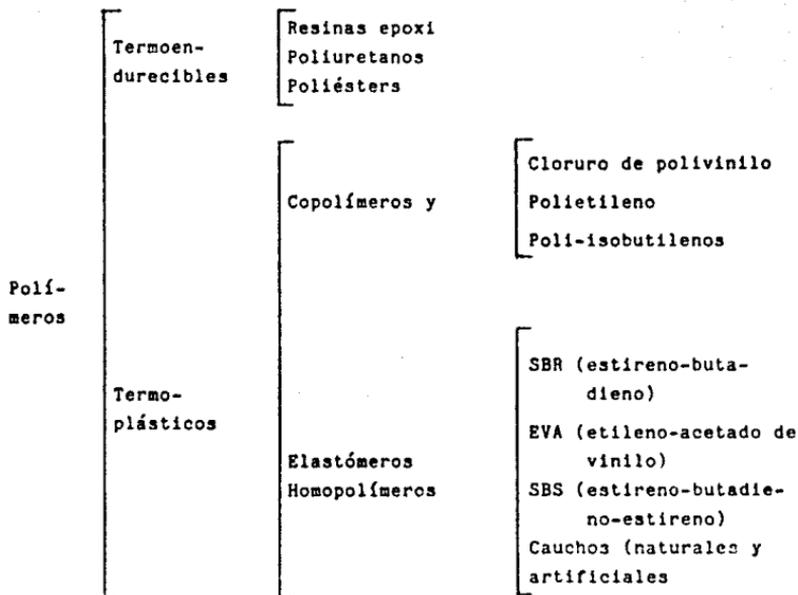
En general, los asfaltos-alquitrán dan un buen resultado en tratamientos superficiales, pues aumentan la adhesividad, disminuyen la temperatura de empleo y resultan menos susceptibles a la acción de los disolventes derivados del petróleo.

Los alquitranes-asfalto pueden emplearse, asimismo, en tratamientos superficiales, pues disminuyen la susceptibilidad térmica del alquitrán y su envejecimiento es más lento.

Con las adiciones de polímeros, también se puede modificar la reología del ligante, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica, ésto es, disminuir la fragilidad en tiempo frío y aumentar la cohesión en tiempo cálido.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de la carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga.
- Mejorar la adhesividad de los agregados.

Los polímeros normalmente utilizados son:



Las combinaciones habituales son las siguientes:

A.- Alquitrán-Vinilo.

Es una combinación de alquitrán y cloruro de polivinilo (P.V.C.).

En frío, el P.V.C. es un compuesto de muy baja actividad química; sin embargo, en caliente (130°C), mezclado con los aceites de alquitrán produce una gelificación de la mezcla, obteniéndose un producto mucho más viscoso que el alquitrán de partida.

Desde el punto de vista de los tratamientos superficiales, el alquitrán-P.V.C. se caracteriza por tener buena adhesividad pasiva, no producir prácticamente desprendimiento de gravillas y permitir la reducción de las dotaciones en un 10%, aproximadamente.

Otra característica fundamental es su resistencia al ataque de los carburantes, lo que ha hecho que se utilice con profusión en aeropuertos, etc.

Por último, hay que señalar que el contenido de P.V.C. del producto oscila entre 1.5 y 6 %. Su relativo bajo precio hace de este tipo de ligante modificado uno de los más interesantes de la gama existente.

#### B.- Asfalto-Caucho.

Las mezclas de asfalto con caucho no vulcanizado, generalmente látex o polvo de caucho, son procesos técnicamente muy delicados, en los cuales hay que calentar el asfalto a temperaturas superiores a 150°C y emplear distintos aditivos.

El producto obtenido con alrededor de un 2 % de caucho tiene unas características muy mejoradas respecto al asfalto de base:

- Aumenta la viscosidad.
- Aumenta la elasticidad.
- Aumenta la cohesión a temperaturas altas.
- Disminuye la fragilidad.

## EMULSIONES ASFALTICAS

### GENERALIDADES

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

Las soluciones usadas en años anteriores, fluidificando lixantes - con derivados ligeros del petróleo, parece una solución tecnológicamente anticuada y de gran despilfarro energético.

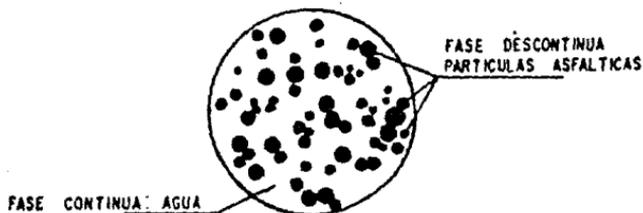
Sin embargo, no se trata de llegar a un enfrentamiento de las técnicas en caliente o en frío, pues es impensable usar mezclas asfálticas en caliente en obras pequeñas y alejadas de las plantas de fabricación y sería ilógico proyectar grandes volúmenes de mezclas en frío en zonas altamente equipadas con plantas asfálticas en caliente. Por ello, en la mayor parte de los casos, ambas técnicas son complementarias y deben ser las condiciones locales y económicas las que decidan la elección de uno de los dos procedimientos.

El desarrollo actual de la tecnología en frío para pavimentos se puede atribuir a los siguientes factores:

- Simplicidad de los equipos de maquinaria.
- Versatilidad ante climas y materiales.
- Ahorro energético.
- Ausencia de contaminación.

La emulsión asfáltica es un ligante o cementante asfáltico, que se obtiene al dispersar un ligante asfáltico en agua, en forma de peque--

Las partículas con diámetro comprendido entre 3 y 8  $\mu\text{m}$ . Al conjunto de pequeñas gotas de ligante asfáltico se le llama fase discontinua y al medio en el cual están dispersas, fase continua (fig. 4.1).



En la naturaleza hay numerosos ejemplos de emulsiones, como es el látex natural, algunos tipos de aceites vegetales, etc.

Hay dos tipos de emulsiones: directas e inversas. Las directas son aquellas en las que la fase continua es del tipo acuoso y la discontinua del tipo aceitoso.

El agua de la emulsión no sirve más que para facilitar la puesta en obra, haciendo que con su baja tensión superficial puedan mejorarse fácilmente las superficies de los agregados. Cuando las partículas de ligante asfáltico se vuelven a juntar para constituir película continua, se dice que la emulsión ha roto (visualmente, el liante cambia de color marrón que tenía la emulsión por el negro del asfalto).

Este proceso de rotura depende de varios factores: composición y tipo de emulsión, naturaleza del agregado, temperatura exterior, etc. (fig. 4.2).

Es tradicional llamar rotura por reacción química a aquella que se debe a una reacción de este tipo entre los compuestos químicos que se encuentran en la superficie del agregado y los radicales orgánicos que, procedentes del emulgente, rodean la película de asfalto; y rotura por evaporación a la que se debe a una evaporación del agua hasta que las micelas establecen contacto. Realmente, es imposible disociar ambos fenómenos, ya que en todas las emulsiones se presentan combinados con mayor o menor preponderancia según la polaridad de éstas.

Atendiendo a su estabilidad, las emulsiones se clasifican en emulsiones de rotura lenta, media y rápida. En principio, las primeras deben mezclarse con cemento o con un fíller tipo sin romper, y las segundas con agua en cualquier proporción.

El tiempo de rotura de la emulsión es un factor decisivo a la hora de la aplicación en obra para cada tipo de tratamiento, según la resistencia que se quiera obtener en las primeras horas, con vistas a la apertura al tráfico, la compactación, la insensibilidad a la lluvia, etc.



## COMPONENTES DE LAS EMULSIONES

Los componentes básicos de las emulsiones asfálticas son:

- Ligante o cementante asfáltico.
- Emulsionantes.
- Agua.
- Aditivos, bien sean empleados sobre la propia emulsión o bien sobre los agregados.

### A.- Ligantes asfálticos.

Los más utilizados son:

- Asfalto de destilación.
- Asfaltos rebajados.
- Mezclas asfalto-alquitrán.

### B.- Emulsionantes.

El emulsionante cumple una triple misión dentro de las emulsiones:

- Facilitar la dispersión del ligante asfáltico en el agua.
- Conservar la emulsión como tal, en el tiempo. Esto se consigue al cargar las partículas de asfalto con cargas eléctricas que se repelen entre sí.
- Favorecer la cubrición de los agregados por el ligante asfáltico-al estar éste cargado eléctricamente.

Según la característica química de los mismo, los emulsionantes - pueden ser de tipo aniónico o catiónico (según su carga eléctrica se desplace al ánodo o al cátodo).

Los emulsionantes aniónicos son en general sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja.

Los emulsionantes catiónicos son los productos de reacción de ácidos inorgánicos fuertes (ácido clorhídrico, principalmente), con aminas grasas.

#### C.- Agua.

La influencia de la dureza del agua es poco importante en las emulsiones catiónicas, pero puede ser un gran inconveniente para las aniónicas. Existen distintos 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 pueden ser de dos tipos:

- Tratamiento de las aguas para disminuir su dureza.
- 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.

#### D.- 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 concreta de la emulsión asfáltica (viscosidad, adherencia, etc.).

#### CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Atendiendo a la naturaleza del emulsionante químico utilizado, las

emulsiones asfálticas se clasifican en:

- Aniónicas.
- Catiónicas.

Dicha clasificación va en función de la carga eléctrica que el emulsionante confiere a las partículas del asfalto.

Las emulsiones aniónicas son las más antiguas. En principio, presentan una buena adherencia y resistencia al desplazamiento frente a los agregados calizos (que se ionizan positivamente al estar húmedos). (fig. 4.3).

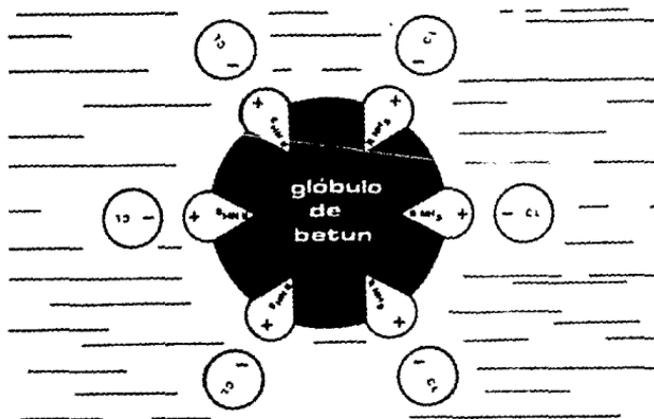
(fig. 4.3)



Emulsión aniónica

Las emulsiones catiónicas son mucho más recientes. Su rotura es mucho más rápida, generalmente, que la de las emulsiones aniónicas, ya que en las catiónicas se produce repentinamente, al atraerse químicamente las micelas de asfalto ionizadas con la superficie del agregado-también ionizada. Las emulsiones catiónicas presentan buena adherencia con los agregados silíceos y con la mayor parte de los calizos, ya que, en este caso, existe un ataque previo del ácido clorhídrico disuelto en el agua con la superficie caliza del agregado, que facilita la adherencia posterior de las micelas de asfalto (fig. 4.4).

(fig. 4.4)



Emulsión catiónica

#### 4.3- AGREGADOS

Para juzgar las propiedades de los agregados como material de las mezclas asfálticas es necesario tomar como base su naturaleza y el papel que en ella realiza.

El agregado es por definición, un conjunto de partículas minerales de diversos tamaños, procedentes de la fragmentación natural o artificial de las rocas.

Su naturaleza es por tanto, discreta, sólida, inorgánica y en primera aproximación inerte.

Este conjunto de partículas de los más diversos tamaños, carentes prácticamente de cohesión, dan lugar, dentro de la masa de la mezcla compactada, a un esqueleto mineral formado al encajarse, apoyándose tangencialmente unas partículas en otras. La distribución de los distintos tamaños de partículas es totalmente al azar, lo que unido al efecto de la compactación permite que las partículas más finas, rodeando a las más gruesas, queden al final incluidas en los huecos que van dejando estas últimas.

También del agregado, depende la textura superficial, ésto es, la rugosidad del tratamiento superficial. El interés del ingeniero debe radicar en conseguir una buena textura inicial y que esta textura se mantenga el mayor tiempo posible. Las características iniciales del agregado son también muy importantes para el buen resultado de la operación de puesta en obra. Hay que destacar especialmente las condiciones de limpieza y de humedad aparte de las otras características del

agregado.

Los factores relativos al agregado que se consideran son de tipo físico y de tipo químico. Todos ellos están condicionados por la naturaleza mineral de la roca, aunque es sabido que un proceso adecuado de trituración, limpieza, etc., puede conseguir paliar, en parte, defectos iniciales en las rocas y, por el contrario, un proceso defectuoso puede ser causante de la obtención de un mal agregado a partir de una roca de buenas características.

Las características de tipo físico y químico que más influyen en los tratamientos asfálticos son:

A.- Dureza.

La dureza se determina por el llamado ensayo Los Angeles.

Se trata de introducir un agregado con una granulometría especificada, dentro de un tambor en el que existen unas bolas de acero. En el proceso de giro el agregado se degrada, produciéndose finos. Es evidente que el mayor o menor desgaste de Los Angeles no es garantía en todos los casos del mal o buen comportamiento del agregado, por lo que los valores de desgaste Los Angeles deben ir siempre acompañados de los valores del ensayo de Pulimento Acelerado (C.P.A.).

B.- Forma.

Es una característica importante, por dos motivos: primero, porque las partículas minerales que tienen forma poco cúbica tienden a romperse con más facilidad que las cúbicas y, segundo, porque cuan

to más lajosas sean las partículas, más habrá que variar las reglas normales de dosificación, ya que éstas tienden a apoyarse sobre la mayor dimensión (fig. 4.5)

(fig. 4.5)



C.- Angularidad.

Se considera que una partícula puede ser adecuada cuando tiene, por lo menos, dos caras de fractura. En tratamientos superficiales con riego de gran calidad suele pedirse que, prácticamente, todo el agregado sea proveniente de machaqueo, ya que en cualquier caso, es una garantía adicional para el buen resultado.

D.- Granulometría.

Es necesario utilizar agregados cuyas partículas sean de dimensiones lo más uniforme posible. En tratamientos superficiales con riego se caracterizan los tamaños adecuados por dos valores: tamaño mínimo y máximo de la granulometría.

Se admite que un cierto porcentaje pueda sobrepasar estos dos valores límites normales. Para elegir un tamaño u otro de agregado en un tratamiento hay que tener en cuenta los objetivos que se persiguen, ya que el comportamiento final depende en gran manera de la solución adoptada.

En mezclas asfálticas el agregado grueso o fracción retenida en la malla no. 8 (2.38 mm) constituye dentro de la mezcla el esqueleto mineral. Su papel fundamental es por tanto el de elemento resistente.

El agregado fino o fracción mineral que pasa por la malla no. 8 (2.38 mm.) y que queda retenido en la malla no. 200 (0.074 mm.) forma, junto con el filler y el ligante, el mortero asfáltico que rellena los huecos del esqueleto mineral. Este mortero contribuye fundamentalmente a dar cohesión a la mezcla y a densificar el conjunto, haciendo que la mezcla sea más cerrada.

El filler o polvo mineral es la fracción de partículas minerales o de adición más finas (que pasan la malla no. 200), que forman parte de la mezcla asfáltica.

El concepto de rellenedor a que alude su nombre inglés ha perdido totalmente significado y hoy se considera que su función en la mezcla está directamente relacionada con la actividad que manifiesta respecto al ligante asfáltico, con el que íntimamente mezclado constituye un mástico, cuyas características son de la mayor importancia en relación con el comportamiento de la mezcla.

**E.- Limpieza.**

Es una de las cualidades fundamentales para conseguir un buen resultado inicial. La falta de limpieza del agregado puede ser causa determinante de una mala adherencia y, por lo tanto, de una pérdida prematura de gravilla.

**F.- Resistencia al pulimento.**

Al tratar del ensayo de desgaste Los Angeles, ya se indicó la gran importancia que en los tratamientos superficiales tiene la conservación de la textura superficial de los agregados. Mediante un ensayo que consiste en la aplicación de dos abrasivos y el paso de una rueda neumática sobre unas probetas formadas por un mosaico de partículas minerales, se determina la evolución del coeficiente de rozamiento medio con un péndulo a lo largo de 6 horas. El valor final de dicho coeficiente es el llamado coeficiente de pulimento acelerado (C.P.A.). En los riegos, según la responsabilidad, hay que exigir valores comprendidos entre 0.4 y 0.55.

**G.- Propiedades químicas.**

Corresponde principalmente al fenómeno de la adherencia.

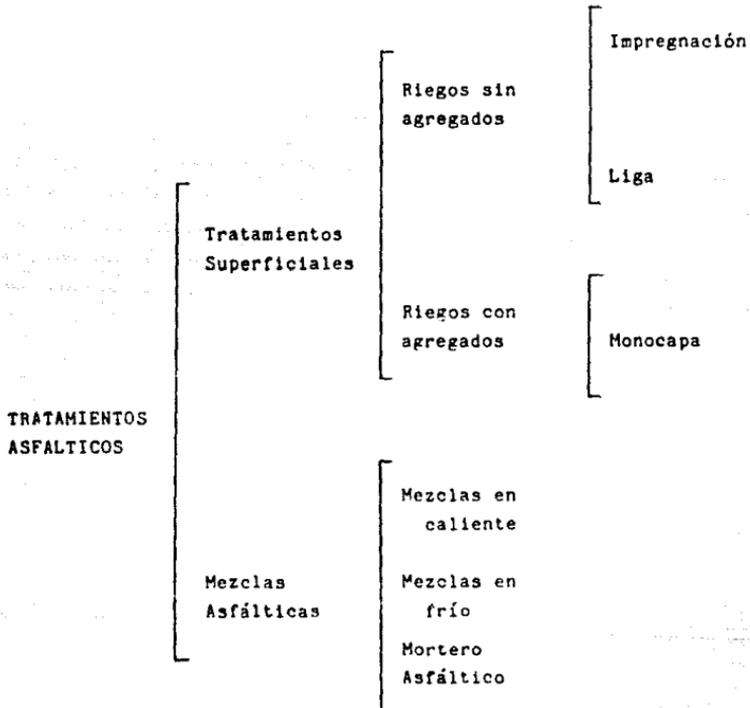
Tal como se indicó, la adherencia está condicionada por las características minerales del agregado y por la composición del ligante.

Otro factor muy importante, derivado de la propia composición del agregado, es el de su inalterabilidad. Existen numerosos tipos de agregados que se encuentran en un proceso de descomposición que puede acelerarse al estar directamente sometidos a la intemperie en pequeñas partículas y a la acción combinada de los agentes atmosféricos.

ricos. Este fenómeno debe ser caracterizado y estudiado previamente, ya que en los tratamientos superficiales se exige del agregado el máximo de resistencia.

#### 4.4- TRATAMIENTOS ASFALTICOS

De acuerdo con el tipo de aplicación que se utilice y el sistema de puesta en obra, se puede establecer la siguiente clasificación de tratamientos asfálticos, tomando en cuenta solo aquellos tratamientos que son utilizados para mantener en buenas condiciones los pavimentos de uso aeronáutico.



#### 4.4.1- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El término tratamiento superficial abarca a todo tipo de tratamiento hecho con riego (extensión de lixante y agregado de cubrición) o con mezcla, que tenga por objeto proporcionar una superficie de rodadura impermeable y segura en toda época del año.

El tipo de técnica empleada en los tratamientos superficiales implica una serie de dispersiones en cadena respecto a unos ajustes o dosificación teóricos previos. Pueden mencionarse: variación de la permeabilidad de la superficie del soporte, variaciones en la extensión del ligante, variaciones en la limpieza y dotación de la gravilla, etc. Se ha llegado a determinar que, debido a todos estos factores, pueden existir dispersiones de hasta el 25% en las dotaciones del ligante sin graves trastornos para el resultado de la obra. De todas formas, e incluso por la circunstancia anterior, es necesario un buen ajuste y estudio previo de la dosificación con objeto de no sumar a los errores propios de la obra unas variaciones importantes de origen que llevarían a desviaciones más importantes que las antes indicadas. Por ello, se recomienda ajustar en laboratorio y en gabinete, de la forma más precisa posible, la dosificación o proyecto del tratamiento superficial.

Uno de los tratamientos superficiales corresponde a los riegos sin agregados. Estos riegos, también llamados en negro, se usan generalmente como tratamientos auxiliares. Por sí mismos raras veces constituyen la superficie de rodamiento de un pavimento.

La técnica común consiste en la extensión de una película uniforme y continua de ligante.

Son factores muy importantes la viscosidad y el tiempo de curado del ligante, ya que normalmente se debe trabajar con espesores muy pequeños de películas. En algunos casos se han utilizado pequeñas cantidades de agregado de cubrición, generalmente arena.

Existen los siguientes tipos de riegos sin agregados:

#### RIEGOS DE IMPREGNACION

Los riegos de impregnación se efectúan sobre bases o capas granulares no tratadas previamente. Su función es conseguir una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, sin polvo ni partículas minerales sueltas, para poder extender adecuadamente las capas asfálticas siguientes. Se utilizan ligantes que tengan escasa viscosidad y que, además, esta característica se mantenga durante un cierto tiempo, para que pueda penetrar ligeramente por capilaridad.

Se debe humedecer con agua la superficie de la base, horas antes de la extensión del ligante, para que los capilares queden lo más libres posible y se favorezca la impregnación. La cantidad de ligantes 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 o agregado fino para absorber el exceso y las especialmente porosas o pobres se volverán a reparar con un nuevo riego de impregnación. Esto se consigue utilizando asfaltos fluidificados tipo FM, o emulsiones asfálticas de rompimiento lento y alto contenido de fluidificantes con dotaciones de aproximadamente  $1 \text{ Kg/m}^2$ .

El resultado positivo de este tipo de tratamiento, dependerá en -

gran medida, de la cantidad de finos que tenga la base a tratar pues - éstos entorpecen la penetración del asfalto.

#### RIEGOS DE LIGA

El riego de liga consiste en la aplicación de una película lo más fina posible de ligantes sobre una superficie asfáltica o impermeable, con el fin de conseguir una buena unión con la nueva capa asfáltica -- que se va a poner en obra inmediatamente.

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 gm/m<sup>2</sup> de ligante asfáltico residual); - además no deben contener fluidificantes en exceso, ya que éstos reblandecen las capas asfálticas inferiores y la que se va a colocar en obra y necesitan un largo período de curado o pérdida de solventes, que van en perjuicio de la rapidez de la obra.

Por ello la tendencia mundial es utilizar casi exclusivamente emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, poco viscosas y poco o nada - fluidificadas.

Otro de los tratamientos superficiales corresponde a los riegos - con agregados. Estos riegos consisten en la aplicación de una o varias películas continuas de ligante asfáltico sobre la superficie a tratar - y una o varias capas de agregado de cobertura de tamaño uniforme. Las - capas de agregados estarán formadas por una sola gravilla en su espesor.

#### RIEGOS MONOCAPA

Se basan en una sola película de asfalto y una sola capa de agrega-

dos. Esto es, se deja caer desde la extendedora un agregado de tamaño uniforme sobre la película de ligante, las partículas quedan apoyadas y distribuidas irregularmente, quedando aproximadamente un 50% de huecos en el volumen total de la capa. El paso de las compactadoras reduce los huecos al 30 % y, finalmente, el paso de las aeronaves durante un período largo los reduce a un 20 %, quedando las partículas apoyadas por su dimensión mayor.

Caso especial de este tratamiento es el llamado monocapa doble engrillado, consistente en una sola aportación de ligante y dos capas de agregado de distinto tamaño, de forma que el pequeño rellena los huecos dejados por el agregado mayor. Este tratamiento es poco utilizado en Aeropuertos, salvo en el caso de caminos perimetrales, etc.

#### 4.4.2- MEZCLAS ASFÁLTICAS

Se denominan mezclas asfálticas a las constituidas por un ligante asfáltico en película continua que envuelve a todas las partículas de un agregado de cualquier granulometría.

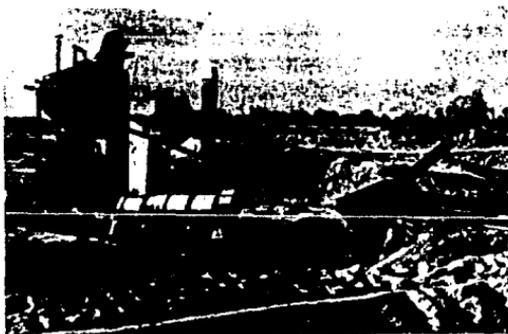
Las mezclas asfálticas son actualmente el material más usado en firmes flexibles de calidad. Con ellas se consiguen superficies de rodamiento de gran regularidad, geométricas y adecuadas para velocidades altas.

La primera clasificación tradicional de las mezclas asfálticas es:

- Mezclas asfálticas en caliente.
- Mezclas asfálticas en frío.

Las mezclas asfálticas en caliente son aquellas en las cuales se calientan previamente el asfalto y los agregados y se maneja, extiende y compacta a temperatura muy superior a la del ambiente (fig. 4.6).

(fig. 4.6)



Planta de fabricación de mezcla en caliente

Las mezclas asfálticas en frío, son aquellas que se fabrican con los agregados fríos, el ligante asfáltico frío o caliente y se manejan, extienden y compactan a temperatura ambiental. Además en algunos casos estas mezclas son almacenables. La planta de fabricación de mezcla en frío se muestra en la fig. 4.7.

(fig. 4.7)



Planta de febricación de mezcla en frío

La segunda clasificación se hace atendiendo al número de huecos o vacíos de la mezcla. Las mezclas que tienen una vez compactadas una proporción mayor del 12 % de vacíos, se denominan abiertas y aquellos que tienen una proporción menor, entre el 3 y 6 % cerradas.

Otra clasificación se hace atendiendo a la estructura interna de la mezcla.

Con respecto a la estructura de la mezcla, se puede establecer una distinción entre mezclas con esqueleto mineral de agregado grueso (que

se llamarán aglomerados o carpetas asfálticas) y mezclas sin esqueleto-mineral, tipo asfalto fundido o mástic.

La clasificación más importante que se utiliza en pavimentos de aeropuertos, es como ya se indicó anteriormente, la que se refiere al tipo de mezcla:

Las mezclas asfálticas en caliente son las más utilizadas en la -- construcción y rehabilitación de pavimentos aeronáuticos. Estas mezclas se fabrican en plantas de producción discontinua o de "bachas" o de producción continua.

Primeramente se eligen los bancos de material pétreo, que en general serán de roca masiva como basalto, riolitas, andesitas, calizas, o bien, bancos de conglomerados o aglomerados; pero conviene que éstos - tengan suficiente desperdicio para ser triturados.

Se hace el proyecto de granulometría en el laboratorio y se encuentra el contenido óptimo de asfalto. Con base en la granulometría se calibra el abastecimiento de la planta mezcladora.

Se hace la extracción del material y se realiza el triturado y cribado de éste, para lo cual en general se requiere de una trituradora de quijada, una o dos de cono o de rodillos, cribas y bandas.

Por medio de elevadores de cangilona, el material se lleva al cilindro de calentamiento y de secado; aquí el pétreo se calienta entre 150°C y 170°C. Ya con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez - con cangilones a la unidad de mezclado, en donde, en primer término, se hace un cribado para alimentar a 3 ó 4 tolvas con material de diferentes tamaños. Se pesa la cantidad de pétreos necesaria de cada una de --

ellas y se deposita en la caja mezcladora, en donde se provee del cemento asfáltico, a una temperatura de 130°C a 140°C. Se realiza la mezcla hasta su completa homogeneización y, por último, se hace el vaciado al equipo de transporte o a un silo de almacenamiento provisional.

Otro tipo de mezcla asfáltica corresponde a las mezclas en frío. En muchos casos, el empleo de mezclas 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 ponerse 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 entraña la pérdida por evaporación de los solventes debido a la mínima cantidad de huecos de este tipo de mezclas. El empleo de fluidificantes obliga a movimientos de la mezcla y pérdida de tiempo, que encarecen el costo de fabricación y puesta en obra.

#### MORTEROS ASFALTICOS

Podemos definir un mortero asfáltico, también denominado Slurry Seal o lechada asfáltica, como un semifluido constituido por una mezcla homogénea de emulsión asfáltica, finos de cemento hidráulico o cal apagada, agua y agregados finos bien graduados, el cual se puede aplicar a la superficie de rodamiento de los pavimentos con el fin de darles una mayor protección.

El cemento y la cal pueden no ser necesarios, dependiendo de los - finos del agregado, sin embargo se les puede aumentar la cantidad de - agua en forma considerable, hasta darles una consistencia de lechada. De esta forma pueden extenderse en obra en pequeños espesores que no - necesitan en principio ser compactados. La cohesión e impermeabilidad - final se consigue por un proceso complejo de rompimiento de la emul - sión, evaporación del agua y acción del tráfico densificando esta capa superficial.

La Asociación Internacional de Morteros Asfálticos, propone tres - tipos de graduaciones básicas en los agregados:

A.- Tipo I o fino: Utiliza un tamaño máximo de agregado de 3.2 mm - - (1/8"). Este tipo de mortero asfáltico es recomendable cuando se - requiere una máxima penetración en las grietas así como obtener - una buena preparación antes de colocar una sobrecarpeta de concre - to asfáltico elaborado en caliente.

Comunmente se le utiliza en lugares de poco tráfico, como pueden - ser pavimentos para aviones ligeros (avionetas) y áreas de estacio - namiento de vehículos ligeros, donde el principal objetivo es el - sellado de la superficie.

B.- Tipo II o general: Utiliza un tamaño máximo de agregado de 6.4 mm. (1/4"). Este tipo de mortero asfáltico se puede utilizar como se - llo, para corregir problemas de oxidación, baches, falta de agluti - nante, y para mejorar la resistencia al derrapamiento. Dependiendo de la calidad de los agregados y del diseño, puede ser aplicado en superficies donde el tráfico es moderado o pesado.

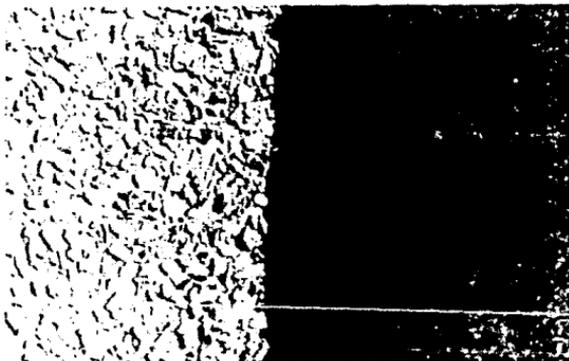
C.- Tipo III o grueso: Utiliza un tamaño máximo de agregado de 9.5 mm.

.3/8"). Este tipo de mortero asfáltico se utiliza para corregir su superficies de rodamiento en malas condiciones, como una primera capa de una estructura multicapa; se emplea también para mejorar la resistencia al derrapamiento, para incrementar la vida útil del pavimento y para prevenir el hidropilano (acuaplano).

En resumen, se puede decir que el objetivo principal de un mortero asfáltico es el de rejuvenecer, en cierto sentido, la superficie de un pavimento que tiene daños superficiales como pudieran ser oxidaciones, pérdida de aglutinante, desmoronamientos ligeros y agrietamientos. Uno de sus principales efectos es el mejorar la impermeabilidad y la resistencia al derrapamiento.

El papel que desempeña el agregado en la mezcla, es de suma importancia ya que radica en la textura final de la carpeta. (fig.4.8).

(fig. 4.8)



Diferencia de textura de una carpeta asfáltica sellada con mortero asfáltico

El procedimiento para la aplicación del mortero asfáltico sobre la superficie de un pavimento en términos generales consiste en lo siguiente:

Primeramente la superficie debe estar libre de marcas de pintura y libre de arcilla, para poder proporcionar una mejor adherencia entre el mortero asfáltico y la superficie del pavimento a tratar. Enseguida se deben rellenar los agujeros existentes a base de mezcla asfáltica, dejando una superficie uniforme.

Completado lo anterior se aplica el mortero asfáltico, por medio de un camión mezclador de tambor que lo extiende; la profundidad del mortero es regulada por una hoja o cuchilla de hule.

Generalmente los morteros asfálticos no se compactan, pues el porcentaje de agregado desprendido es mínimo. Solamente en algunos casos, como en las pistas de los aeropuertos es necesario recurrir a la compactación, que suele hacerse con neumáticos.

La apertura al tráfico de las aeronaves es variable, según el tipo de mortero a emplear; las técnicas modernas con mortero de rompimiento rápido, permiten abrir al tráfico en un tiempo que oscila entre 30 minutos y 2 horas, en función de las condiciones atmosféricas.

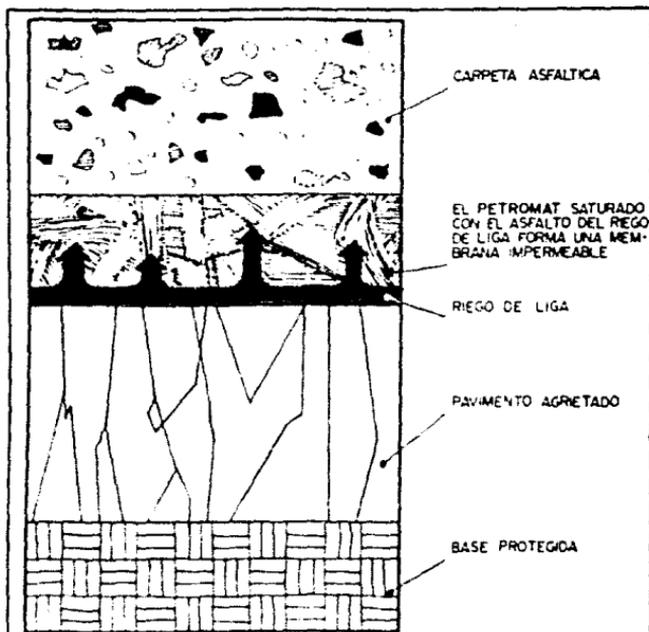
Un mortero o lechada bien aplicados, resiste el chorro de las turbinas y el impacto producido por los aviones sobre la superficie de rodamiento debido a aterrizajes duros.

Conviene señalar que este tipo de tratamiento sirve únicamente como capa de sello o desgaste, por lo que no se le puede considerar como parte estructural resistente del pavimento.

Existen también sistemas especiales de tratamiento. Cuando a un pavimento existente se le va a colocar una sobrecarpeta para incrementar su vida útil y/o su capacidad estructural, es importante que previamente se le someta a un bacheo adecuado, que consiste en la renivelación de la superficie de la base recién perfilada por la máquina Roto-Mill, por medio de la adición de mezcla asfáltica y una compactación adecuada, con el fin de dejar una superficie uniforme para recibir a la sobrecarpeta.

Un tratamiento alternativo, previo a la colocación de una sobrecarpeta sobre una carpeta muy agrietada consiste en la utilización de un sistema de membrana protectora (geotextil) para retardar las grietas de reflexión, proteger a la subrasante del agua superficial y aumentar la vida del pavimento por efectos de fatiga. Ejemplo de este tipo de membranas lo constituye la llamada "Petromat" que consiste en un geotextil de fibras de polipropileno no tejidas.

La superficie sobre la cual se colocará el geotextil debe estar libre de polvo, agua y vegetación; las grietas deben ser selladas y los baches reparados. En algunos casos podrá requerirse una capa de renivelación antes de colocar la membrana. Después de que la superficie a tratar ha sido preparada, se le aplica un riego de liga y a continuación la membrana geotextil y por último la sobrecarpeta (fig.4.9). Es muy importante que el riego de liga no sea ni muy pobre, ya que el geotextil no se adhiere, ni en exceso, ya que se forma una superficie de deslizamiento.



Sistema Petromat de membrana protectora de pavimentos flexibles

Otros tratamientos para las carpetas asfálticas consisten en el rejuvenecimiento y el reciclado.

Actualmente existe en el mercado un producto que hace posible revertir el proceso de envejecimiento del asfalto que contienen las carpetas. Este producto, denominado "Reclamit" es una emulsión especial de aceites de petróleo y resinas, es decir, es una emulsión catiónica de maltenos, que devuelve las cualidades originales al asfalto, rejuveneciéndolo y proporcionando al concreto asfáltico flexibilidad, ductilidad y una apariencia de nuevo (fig. 4.10).

(fig. 4.10)



Reciclado de carpetas.- Aspectos que presenta la carista después del producto "Reclamite" (parte inferior derecha)

Este producto se aplica fácilmente con cualquier tipo de pipa, -  
equipada con barra esparidora. La proporción en que se recomienda -  
aplicar el producto Reclamite es de dos partes del producto por una -  
parte de agua fría mezcladas perfectamente.

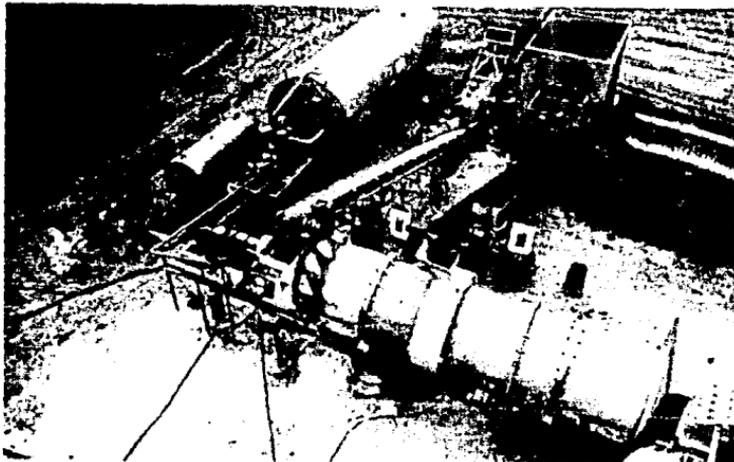
El producto es de baja viscosidad, por lo que se puede emplear a -  
cualquier temperatura superior a los 0°C; sin embargo, la temperatura -  
ideal de aplicación es la de un clima templado y con pavimento seco. -  
La necesidad de esta aplicación se hace patente cuando se observa la -  
superficie del pavimento árida, oxidada, con desintegraciones y/o con-

grietas de contracción.

Otro posible empleo del producto es de que puede ser utilizado para sellar grietas con anchos menores de 6 mm, con las ventajas de que no necesitan ser limpiadas previamente, se devuelve flexibilidad a la carpeta, se evitan los astillamientos y no quedan parches ni lunares.

Otro método en el rejuvenecimiento del pavimento es mediante el perfilado y reciclado de mezcla en caliente o en frío, el cual consiste en lo siguiente: Por medio de una máquina perfiladora en frío o en caliente se remueve el espesor de pavimento que se requiera reparar; al hacer ésto, se deja una superficie uniforme. El material obtenido del perfilado es puesto directamente en camiones, los cuales lo transportan a una planta de asfalto de tambor (fig. 4.11). En el reciclado del material se utiliza el 70% de material reciclable y el 30% de material virgen. En algunos casos requerirá utilizarse hasta el 50% de cada uno de acuerdo a lo que indique el laboratorio. Una cantidad mínima de cemento asfáltico es adicionada a la mezcla.

(fig. 4.11)



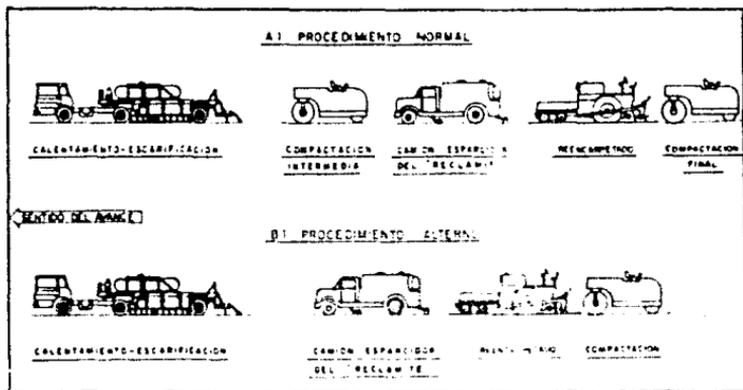
Planta de concreto asfáltico en caliente

La cantidad exacta puede ser variada para cumplir con las necesidades de una mezcla dada, dependiendo de las condiciones y contenido de asfalto en el material recuperado y el promedio de material viejo y -- nuevo. El producto final puede ser un pavimento reciclado de alta calidad. Finalmente la mezcla es tendida con una pavimentadora convencional y luego compactada.

Es importante cuidar la granulometría del material así como el contenido y calidad del pétreo-asfalto recuperado.

Otro proceso de reciclado para pavimentos flexibles es un procedimiento de calentamiento-escarificación-retenido (in situ). Dicho procedimiento consiste en lo siguiente (fig. 4.12):

(fig. 4.12)



Procedimiento de reciclado en el lugar

A.- Se barre la superficie a tratar y se calienta la parte superior de la carpeta mediante sopletes acoplados a una plataforma móvil. Los sopletes se regulan a temperatura variable, dependiendo de la profundidad a la que se requiere efectuar la escarificación, de las condiciones de envejecimiento del asfalto y de sus propiedades termoplásticas. Por consiguiente el avance de la plataforma móvil va -

ría de 1.5 a 15 m/min. Debe evitarse calcinar el asfalto, lo que se advierte al producirse espesas nubes de humo.

B.- Se procede inmediatamente a la escarificación de la superficie a una profundidad mayor de 1 cm (de preferencia 2 cm), mediante varillas y/o tornillos montados al chasis de la plataforma móvil y evitando fracturar los agregados (fig. 4.13)

(fig. 4.13)



C.- Se distribuye el material escarificado y se compacta con tandem de 8 a 10 ton. Esta fase intermedia puede suprimirse como se indica en la fig. 4.12 (b), pero sin la ventaja de permitir la circula-

ción de tránsito inmediatamente.

D.- Se aplica el producto Reclamite según se indicó anteriormente.

E.- Se coloca una sobrecarpeta con el espesor, la textura y tamaño de agregados apropiados, según sea el diseño.

F.- Finalmente se procede a la compactación normal de compactadores - neumáticos y metálicos.

Es de gran importancia recalcar que este método no es aplicable - cuando la falla del pavimento se deba a las capas subyacentes a la car - peta, o por defecto estructural, en cuyo caso habrá que ir a Solucio - nes de refuerzo con carpeta o a recomponer la estructura completa.

#### 4.5- RELACION ENTRE FALLAS Y SOLUCIONES

Los trabajos para corregir los corrimientos circulares consistirán en el sellado de las grietas si éstas no son muy profundas, o bien, en abrir caja y reponer el material, si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento. Para el sellado de grietas se procede como sigue: se limpia la grieta con cepillo y aire a presión y se rellena con un producto asfáltico, solo o con arena, según la fluidez que se requiera para una adecuada penetración; luego se espolvorea arena fina sobre la superficie del relleno para evitar que éste se pegue a las llantas de los aviones, y enseguida se remueve toda la arena suelta con cepillo y aire a presión, antes de poner el tramo separado en servicio.

Cuando existan grietas longitudinales de orilla, los trabajos correctivos consistirán en reparar el drenaje, si está defectuoso; limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellar las grietas. Cuando la orilla del pavimento tenga asentamientos, será necesario además, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego deliga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o con placa vibratoria.

Cuando existan grietas longitudinales de junta, los trabajos de mantenimiento consistirán en corregir el drenaje, si está defectuoso; limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas para evitar que penetre el agua a las capas inferiores del pavimento.

Los trabajos correctivos de grietas de contracción consistirán en limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión, rellenar las

grietas con producto asfáltico o con emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de un mortero asfáltico (Slurry Seal). Si la falla es muy intensa los trabajos correctivos podrán consistir en el reciclado de la carpeta, o en la colocación de una sobrecarpeta-reforzada con un geotextil para evitar la reflexión de las grietas. En el caso de que las grietas sean ocasionadas por las marcas de pintura, solo se deberá raspar la pintura, sellar las grietas y aplicar un mortero asfáltico.

Se recomiendan para grietas de reflexión y para usos generales de sellado de grietas, los asfaltos rebajados de viscosidad media tales como el FR-3 y el FM-3 o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido. A menudo se utilizan asfaltos muy pesados (alta viscosidad) aunque estos materiales no penetren a la grieta y solo dan un sellado superficial. Para el relleno de grietas menores de 3 mm de ancho, los asfaltos rebajados de fraguado rápido tales como el FR-1 son satisfactorios, mientras que para grietas con anchos mayores de 3 mm, se utiliza una mezcla de producto asfáltico y arena fina cuya fluidez garantice una adecuada penetración.

Ante agrietamientos tipo piel de cocodrilo, los trabajos correctivos deberán comenzar por remover el material saturado e instalar un subdrenaje adecuado. La excavación del área afectada se rellena con material de base compactado adecuadamente en capas no mayores de 15 cm de espesor, dependiendo del equipo de compactación utilizado. A continuación se efectúa un riego de impregnación y se coloca la carpeta.

El procedimiento para corregir el sangrado o afloramiento de asfal

to, será el de remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y efectuar un tratamiento superficial. En virtud de que los riegos de sello tipo carretera son peligrosos ya que pueden dañar las turbinas de los aviones por la ingestión del material pétreo, los tratamientos superficiales deben aplicarse con mortero asfáltico (Slurry Seal).

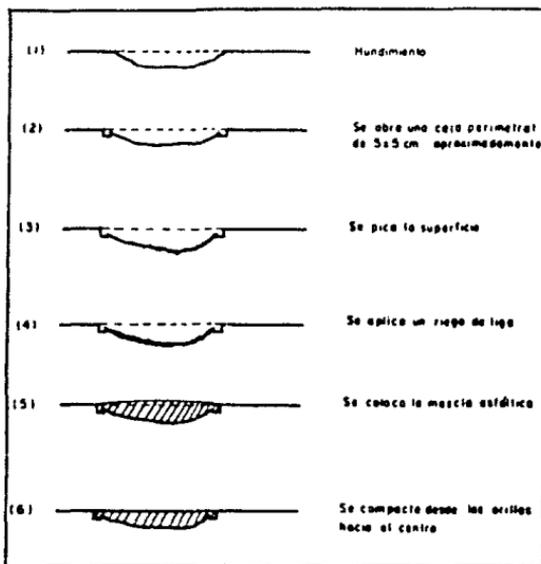
Los trabajos correctivos de corrimientos de carpeta consistirán en remover la carpeta afectada incluyendo al menos unos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado. Los cortes deberán ser rectangulares y sus paredes verticales. Enseguida se pica la superficie descubierta y se limpia con cepillo y aire a presión; se aplica un riego de liga ligero y se coloca la mezcla asfáltica en cantidad adecuada para que tenga el mismo nivel una vez compactada; luego se extiende la mezcla con cuidado para evitar segregación, y se compacta debidamente, utilizando el equipo de compactación adecuado.

Con respecto a las corrugaciones, si éstas llegan a ser excesivas en sus desniveles, los trabajos correctivos adecuados consistirán en remover la zona afectada colocando en su lugar un concreto asfáltico bien proporcionado. Si las corrugaciones son ligeras, los trabajos correctivos podrán consistir en recortar las irregularidades sobresalientes por algún método adecuado y aplicar a la superficie así obtenida un mortero asfáltico (Slurry Seal). Cuando existen corrugaciones en el pavimento y existe subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido, lo que puede requerir la completa remoción del pavimento.

Quando existen hundimientos debidos a la compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, se define el área por re-

nivelar, se abre una caja perimetral de aproximadamente 5 cm de ancho y 5 cm de espesor, con objeto de evitar espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como para evitar que la mezcla se corra; se pica la superficie por renivelar, se limpia y se aplica un riego de liga; se coloca la mezcla asfáltica y se compacta desde las orillas hasta el centro. Se recomienda dar un tratamiento superficial por medio de un mortero asfáltico (Slurri Seal) para proporcionar mayor impermeabilidad al pavimento (fig. 4.14).

(fig. 4.14)



Renivelación de hundimientos

Normalmente la oxidación del asfalto se puede corregir mediante un tratamiento superficial del área afectada a fin de proteger la estructura del concreto asfáltico en la zona interesada. Si la humedad proviene de las capas inferiores del pavimento, es necesario corregir previamente el subdrenaje. Otra alternativa para corregir esta falla, es utilizar un producto que devuelva al asfalto sus propiedades originales. El procedimiento consiste en regar la superficie oxidada con un producto patentado denominado "Reclamite" o algún otro similar. Se han obtenido resultados aceptables utilizando aceites lubricantes en sustitución del Reclamite.

Cuando existen canalizaciones o roderas, los trabajos correctivos consisten en efectuar una renivelación de las depresiones y enseguida colocar una sobrecarpeta según proyecto.

12.- Los trabajos correctivos de grietas transversales, consistirán en limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas. Cuando además existan asentamientos, la superficie afectada se pica, se limpia, se le aplica un riego de liga, se coloca la mezcla asfáltica y se compacta con rodillo o con placa vibratoria. En el caso de que una tubería que atravesase el pavimento no esté bien sellada y haya ocasionado arrastre de materiales, será necesario abrir caja, corregir el defecto y rellenar la excavación en capas compactando adecuadamente. En el caso de grietas ocasionadas por movimientos más generales del suelo de cimentación, se han utilizado geotextiles y georedes para dar capacidad al pavimento de soportar esfuerzos de tensión. El procedimiento consiste en abrir caja en la zona afectada y colocar las diferentes capas del pavimento con las georedes y geotextiles intercala-

dos.

Cuando la erosión del pavimento se encuentra en etapa inicial, los trabajos correctivos podrán consistir en un riego de mortero asfáltico. Como trabajo de urgencia con carácter provisional se han utilizado los riegos de taponamiento consistentes en la aplicación de emulsiones asfálticas rebajadas con agua entre un 50 y un 70 %. Cuando se presente un derrame de combustible, o de algún otro disolvente del asfalto, principalmente en las áreas cercanas al reabastecimiento de combustibles, el mantenimiento preventivo consistirá en reducir al máximo sus efectos, lavando inmediatamente toda el área afectada, de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente. Como mantenimiento preventivo puede aplicarse sobre la superficie el concreto asfáltico algún producto especial que forme una película protectora contra la acción de los combustibles y lubricantes. Generalmente estos productos son de patente y son elaborados a base de breas de hulla o de alquitrán o a base de resinas sintéticas.

La protección que proporcionan estos productos no es permanente, - sobre todo en las áreas más expuestas al derrame de combustibles por lo que es necesario repetir periódicamente su aplicación.

Cuando la disgregación o desmoronamiento se encuentra en sus inicios, podrá efectuarse un mantenimiento preventivo consistente en un riego de mortero asfáltico. Si la falla se encuentra muy avanzada, y la superficie es muy extensa, podrá llegarse a requerir un reencarpetao, previa renivelación de las depresiones.

Para la existencia de agujeros, una reparación temporal consistirá

en limpiarlo y rellenarlo con mezcla asfáltica compactando debidamente. Sin embargo, para efectuar la reparación permanente de un agujero, será necesario efectuar cortes de tal manera de formar un rectángulo con sus paredes sensiblemente verticales, impregnar las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica compactando debidamente. El parche terminado deberá tener el mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

Cuando exista crecimiento de hierba, la textura superficial puede corregirse mediante la aplicación de un riego de mortero asfáltico en las áreas afectadas, limpiando previamente el material de carpeta que va a corregirse. Cuando exista afloramiento de agua será necesario hacer un estudio de las condiciones en que está trabajando el drenaje y el subdrenaje ya que los canales y subdrenes obstruidos pueden provocar acumulación de agua que afecte la cimentación de la pista. En el caso de que no existan subdrenes será necesario construirlos para evacuar el agua atrapada dentro del pavimento.

La tecnología actual disponible para afrontar la acumulación de caucho en la superficie, se puede resumir en los siguientes métodos:

- Solventes químicos alcalinos.
- Chorros de agua a alta presión.
- Solventes químicos combinados con chorros de agua a alta presión.
- Tratamiento mecánico (rebajado longitudinal y ranurado transversal).

En forma de resumen se muestra a continuación la tabla 4.1, la cual enlaza los deterioros y fallas antes descritos con las soluciones más recomendables.

(tabla 4.1)

CONCEPTO	RECOMENDACIONES
Corrimientos circulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sellar la grieta si no es muy profunda</li> <li>- Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento</li> </ul>
Grietas longitudinales de orilla y de junta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corregir el drenaje si está defectuoso</li> <li>- Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas</li> <li>- Si existen además asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria</li> </ul>
Grietas de contracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico</li> <li>- Si existe pintura, raspar previamente</li> <li>- Si la falla es muy intensa "reciclar" la carpeta o colocar sobrecarpeta reforzada con un geotextil para evitar la reflexión de las grietas</li> </ul>
Grietas de reflexión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rellenar las grietas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agrietamientos tipo piel de cocodrilo</li> <li>- Agrietamientos tipo mapa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales</li> <li>- Instalar subdrenaje si la causa de la falla fue el agua</li> <li>- Aplicar un riego de impregnación a las paredes</li> <li>- Rellenar con mezcla asfáltica</li> <li>- Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene más de 15 cm de profundidad)</li> <li>- Reparación temporal de emergencia: Aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos; rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica (sólo de carácter temporal)</li> </ul>
Sangrado o afloramiento de asfalto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico)</li> </ul>

CONCEPTO	RECOMENDACIONES
Corrimientos de la carpeta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circulante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales</li> <li>- Picar la superficie descubierta</li> <li>- Limpiar con cepillo y aire a presión</li> <li>- Aplicar riego de liga ligero</li> <li>- Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidado para evitar segregación</li> <li>- Compactar adecuadamente</li> </ul>
Corrugaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico</li> <li>- Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado</li> <li>- Si hay subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido previamente</li> </ul>
Hundimientos o depresiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una nivelación</li> <li>- Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la renovación del pavimento</li> <li>- Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla</li> </ul>
Oxidación del asfalto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico; o</li> <li>- Aplicar un producto rejuvenecedor ("Reclamite" o similar)</li> </ul>
Canalizaciones o roderas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renivelar las depresiones y</li> <li>- Colocar una sobrecarpeta según proyecto</li> </ul>
Grietas transversales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas</li> <li>- Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria</li> <li>- Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactarlo adecuadamente</li> </ul>

CONCEPTO	RECOMENDACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la falla es debida a movimientos generales del suelo, se pueden reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de un geotextil de refuerzo sobre la zona afectada</li> </ul>
Erosión del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico, evitar el uso de riegos de sello</li> <li>- Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache</li> <li>- Puede aplicarse un riego de taponamiento como trabajo de urgencia y con carácter provisional</li> <li>- Cuando se presenten derrames de combustible, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo)</li> </ul>
Disgregación o desmoronamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico</li> <li>- Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar</li> </ul>
Agujeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reparación temporal: limpiar el agujero y llenarlo con mezcla asfáltica; compactar</li> <li>- Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar</li> </ul>
Crecimiento de hierba y afloramiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corregir el subdrenaje y/o el drenaje si éstos fueron la causa de la falla</li> <li>- Limpiar y sellar las grietas</li> <li>- Reponer el pavimento alterado</li> <li>- Aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta</li> </ul>
Acumulación de caucho	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado</li> <li>- Eliminarlo por medio de agua a presión</li> <li>- Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción</li> </ul>
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado</li> <li>- Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo</li> <li>- Solución alterna: tender sobrecarpeta (necesaria en irregularidades de gran longitud de onda)</li> </ul>

## CAPITULO QUINTO

### "M A Q U I N A R I A"

## 5.1- MAQUINARIA UTILIZADA EN TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Las operaciones fundamentales de un tratamiento superficial son:

- La extensión del ligante.
- El reparto del agregado de cubrición.
- La compactación.

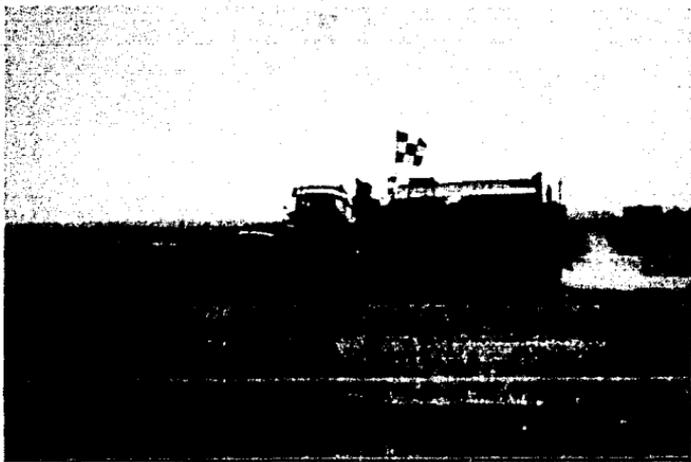
Aparte de estas operaciones existen otras que pueden considerarse como auxiliares y eventuales, como son: humectación de la superficie, barrido previo y final, etc.

No se van a describir todos los tipos de máquinas que pueden intervenir en cada operación, ya que algunas se consideran suficientemente conocidas y de uso universal, tal como sucede con las compactadoras, las barredoras de cepillos o de aspiración, etc. Sin embargo, si se van a describir brevemente algunos elementos específicos de la técnica de los tratamientos superficiales, como son las máquinas destinadas a regar el ligante y las repartidoras de gravilla.

Las máquinas con sistemas de riego de ligante más elementales, consisten de una simple bomba manual que se acopla a un recipiente de emulsión. Esta bomba aspira y da la presión suficiente al ligante para conseguir su pulverización por un difusor situado en el extremo de una lanza que maneja el operario regador.

En obras de importancia media se utilizan las cisternas regadoras colocadas sobre camión (petrolizadoras) (fig. 5.1). A continuación se describen los tipos más frecuentes actualmente.

(fig. 5.1)



Petroliadora

Los tanques regadores se pueden clasificar en dos grandes grupos: - los de media presión y los de alta presión, diferenciándose únicamente en la forma de impulsión del líquido a regar.

Los tanques de media presión constan de las siguientes partes fundamentales:

- Depósito: Construido en chapa de acero soldado eléctricamente en todas sus juntas y dotado de mamparas deflectoras en su interior para evitar la formación de oleaje durante el transporte, tubos inferiores de aspiración y descarga sumergidos en el propio líquido, aspiradoras de gases con salida por la parte inferior del depósito, indicador de nivel de llenado, registrando temperatura de 0 a 250°C y cisterna regadora sobre camión.

- Tubos de calentamiento: Mediante uno o dos tubos, circulan los gases calientes producidos por los quemadores. La presión de atomización es producida por un compresor rotativo movido por el motor del grupo y una bomba de engranajes que impulsa el combustible. Estos pueden ser de varios tipos, siendo los más usuales los de chorro plano y los de chorro cónico.
- Equipo motobomba: Formado por un motor Diesel de cuatro tiempos que, mediante embrague de fricción, mueve la bomba impulsando el ligante a la rampa de riego y al compresor de aire.
- Barra o rampa regadora: Tiene una longitud de entrada de 2.30 m, con circulación doble en su interior para garantizar una presión uniforme en todos los difusores y evitar obstrucciones en los mismos, gracias a la constante circulación del ligante, aun cuando no se esté regando.

Los tanques de alta presión en muchas de sus partes son prácticamente análogos a los tanques de media presión y la diferencia fundamental es que los de alta presión no necesitan bomba que impulse el líquido desde el tanque a la barra regadora, ya que esta operación se realiza enviando aire comprimido desde el compresor al propio tanque de almacenamiento, hasta conseguir dentro de él la presión deseada para el riego (tanques presurizados).

Los repartidores de gravilla eliminan el gran problema del poco rendimiento, costo elevado y falta de calidad que supone la distribución de la gravilla manualmente.

En líneas generales, existen en el mercado cuatro tipos de repartidores de gravilla, diferenciándose unos de otros dentro de sus grupos -

en la sofisticación de cada fabricante y no en el propio principio. Estos grupos son:

- Distribuidores centrifugos de arena.
- Repartidores adosados a la caja de los camiones portantes (fig.5.2).

(fig. 5.2)



- Repartidores remolcados por los camiones.
- Repartidores autopropulsados.

## 5.2- MAQUINARIA UTILIZADA EN MEZCLAS ASFALTICAS

La fabricación de la mezcla asfáltica comprende cinco fases perfectamente definidas que son: dosificación en frío, secado hasta alcanzar la temperatura conveniente, cribado en caliente, dosificación definitiva y amasado. Todo ello tiene lugar en lo que habitualmente se llama planta. Existen dos tipos de planta fundamentales, la continua y la discontinua. La diferencia esencial entre ambas es que en la primera los agregados, filler y ligante son suministrados continuamente al mezclador, del cual sale también continuamente hacia la tolva de carga. En la planta discontinua, los agregados filler y ligante se entregan en una masa determinada, la cual una vez mezclada sale del mismo normalmente por el fondo y pasa a una tolva o camión, no suministrándose a la amasadora nuevo material hasta que no está vacío.

En relación con la calidad del producto fabricado, es opinión general que no hay ventaja clara para ninguno de los dos tipos de planta, y es más, en contra de lo que pudiera parecer, se tiene experiencia de que una planta continua bien alimentada de productos más uniformes que la discontinua. Una ventaja que puede tener la planta discontinua es que la mezcla de los componentes puede ser más íntima puesto que las paletas pueden ser diseñadas con la sola preocupación de mezclar bien, no de producir además la salida de la masa.

La puesta en obra de la mezcla fabricada a 130 o 150 grados de temperatura, comprende tres operaciones perfectamente diferenciadas: transporte, extensión y compactación.

El transporte se hace en camiones de caja metálica y basculante ha-

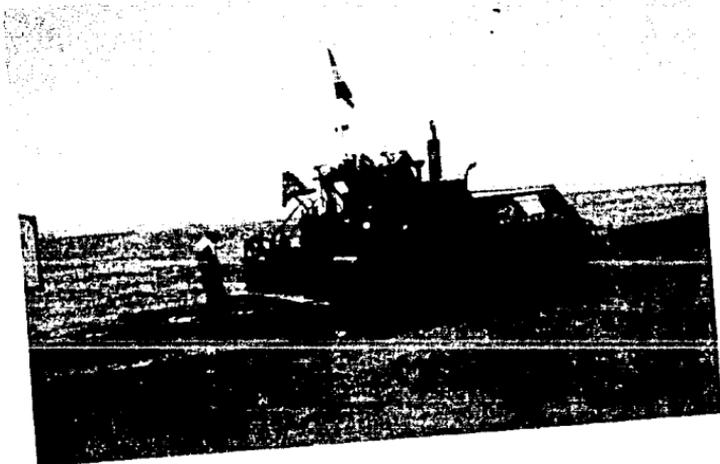
cia atrás. Todavía hace pocos años se insistía en que los camiones debían de ser de tamaño más bien pequeño para que duraran poco las operaciones de carga y descarga. Hoy día la tendencia es hacia camiones mayores, inclusive se emplean semirremolques con más de 20 toneladas por viaje.

La operación del extendido consiste en dejar sobre la superficie - una capa de mezcla asfáltica de un determinado espesor y cuya superficie, además de suficientemente lisa, tenga un determinado nivel bien respecto de otra capa o bien respecto de una superficie de referencia.

El extendido de las mezclas asfálticas puede hacerse con motoconformadoras. Ahora bien este sistema solamente es aconsejable en capas de reperfilado en donde la irregularidad de la superficie inferior no permita el empleo de extendedoras. Tiene el inconveniente para las mezclas en caliente de que airea mucho la mezcla con lo que hace descender la temperatura rápidamente.

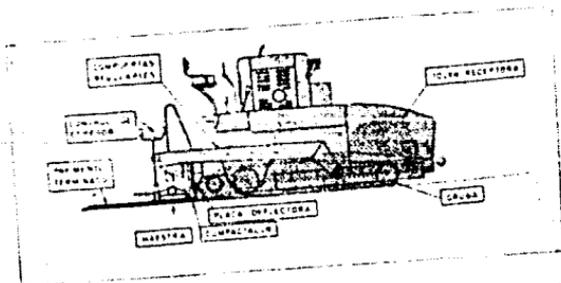
Actualmente se utiliza la extendidora (fig. 5.3), que consiste en - cuatro elementos fundamentales que son el elemento tractor que normalmente es un tractor de orugas, el elemento perfilador que está constituido por una pieza llamada maestra que tiene una anchura de alrededor de los 40 cm y una longitud que puede variar de 2 a 5 m, el elemento - alimentador que es una tolva en la que descarga un camión la mezcla y el elemento compactador que suele ser una regla vibrante colocada delante de la maestra (fig. 5.4).

(fig. 5.3)



Extendidora

(fig. 5.4)



Las velocidades de avance de las extendedoras oscilan de los 2 a los 12 metros por minuto y sus rendimientos de las 50 a las 500 toneladas por hora, naturalmente dependiendo de los modelos.

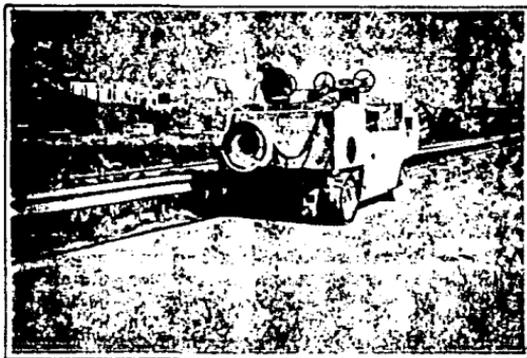
Una vez extendida la capa y con un 80 ó 90 % de compactación dada por la máquina extendedora viene la verdadera operación de acabado que es la compactación. Esta operación es más delicada que las anteriores y disponiendo de una planta aceptable y de una extendedora corriente - manejadas discretamente, se puede fabricar y extender suficientemente bien la mezcla. El apisonado cuyas finalidades son dos, terminar la compactación y dar el acabado final de la superficie, es en la operación en que más influye el factor humano, es decir, el operador del compactador.

Hay tres tipos de compactadores rodantes: los de llanta rígida, los de neumáticos y los vibratorios. A estos últimos no me referiré, pues no son adecuados para las mezclas asfálticas en caliente, ya que las ventajas que pueda tener la vibración en la compactación quedan desfavorablemente compensadas por las irregularidades superficiales que puede dar el mismo efecto vibratorio.

Las compactadoras de rueda rígida pueden ser los típicos triciclos y los tandem de dos o tres ejes.

Las compactadoras de neumáticos están formadas por dos grupos de ruedas que como mínimo son tres y como máximo ocho y que un grupo tiene una rueda más que el otro y su disposición tal que las huellas se traslapan (fig. 5.5).

(fig. 5.5)

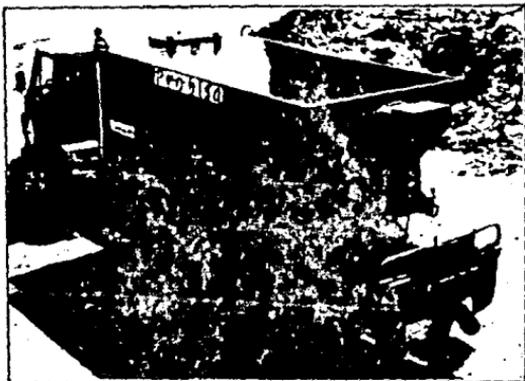


Compactación con neumáticos

Todos los compactadores tienen el problema de la adherencia de la mezcla a la llanta, lo cual se resuelve humedeciendo con agua u otros productos. La compactación de la mezcla debe comenzarse lo antes posible, es decir, tan pronto como la temperatura permita la entrada de la máquina compactadora sin sufrir desplazamientos irremediables, pues si se espera que no haya desplazamientos, la compactación se retrasa mucho y se hace más difícil.

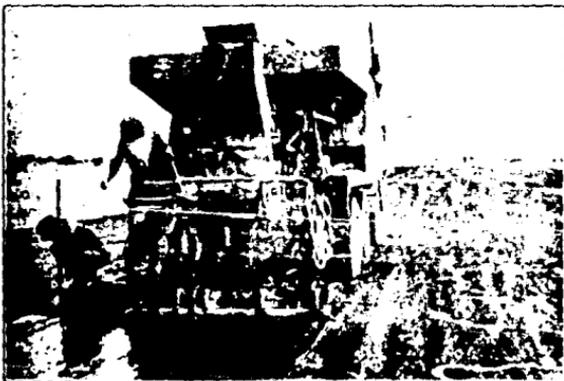
La puesta en obra de los morteros asfálticos, una vez superada en el tiempo la fase de extensión manual, ha evolucionado hacia máquinas ya específicamente estudiadas para este cometido (figs. 5.6 y 5.7).

(fig. 5.6)



Máquina de fabricación y extensión de mortero asfáltico

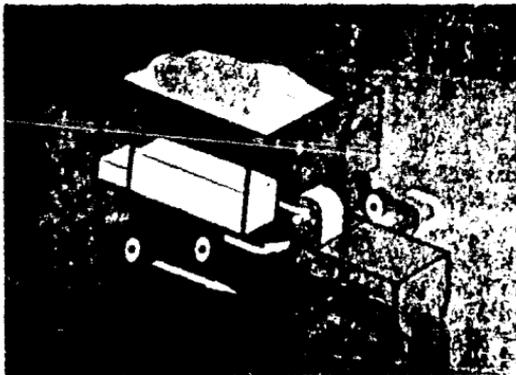
(fig. 5.7)



Riego de sello con mortero asfáltico usando una máquina tipo Young

Las máquinas constan, básicamente, de una tolva portadora de agregado y dos depósitos para el agua de preenvuelta y la emulsión. Un sistema de extracción del agregado conduce éste a un conjunto mezclador, donde se le añaden en este orden, agua de preenvuelta, aditivos y emulsión, adecuadamente dosificados. Dependiendo del tipo de mortero a fabricar, la máquina lleva depósitos auxiliares para aditivos, bien pulverulentos o bien líquidos, con sus sistemas respectivos de dosificación (fig. 5.8).

(fig. 5.8)



Esquema de una máquina de extensión de mortero

En otros procesos, existen máquinas como las perfiladoras de pavimento, mejor conocidas como "Roto Mill", que tienen la función de romper el pavimento que se encuentra deteriorado. Estas máquinas se utilizan en la rehabilitación de aeropuertos, en los que se tienen que -

reencarpetar partes de la superficie de las pistas o rodajes y/o en fallas pequeñas del pavimento.

Generalmente estas máquinas se utilizan para romper la capa más superficial del pavimento ya que no pueden romper grandes espesores. Son muy prácticas ya que por medio de una tolva, el material de desperdicio es llevado y depositado en camiones de carga, para posteriormente ser llevado a tiraderos o ser reciclado en alguna planta para su reutilización (fig. 5.9).

(fig. 5.9)



Perfiladora "Roto-Mill"

## CONCLUSIONES

En el trabajo de tesis descrito anteriormente, traté de exponer como tema principal, la utilización de los tratamientos asfálticos para la conservación de pavimentos flexibles de uso aeronáutico. Observé que estos tratamientos son muy variados y cada uno de ellos cumple con fines determinados.

Para tener un mayor entendimiento de la utilización de los -- tratamientos asfálticos, tuve que iniciar explicando otros temas - de igual importancia, que preceden al relacionado con las técnicas de mantenimiento.

El tema de evaluación del estado del pavimento, se estructuró con el fin de conocer el momento preciso en que un pavimento debe - ser reparado. Para ésto, fue necesario elaborar un sistema de eva-- luación, que permitiera reconocer los factores que influyen en la - aparición de fallas y defectos, conocer su evolución y contar con - los medios suficientes para solucionar el problema.

Para comparar el estado existente y las actividades realizadas con una situación de referencia, se establecieron normas de calidad, que a mi parecer son de gran ayuda para conocer el estado del pavi-- mento, ya que se manejan diferentes niveles de intervención para ca-- da umbral de calidad. Esto es, que gráficamente se conoce el momen-- to adecuado para darle mantenimiento a un pavimento que necesita ser reparado.

Con lo referente a estudios de evaluación, se explicaron deta-- lladamente los que consideré son los más importantes. Para conocer -

la capacidad de carga de los pavimentos, se realizaron diferentes -- estudios que se complementan entre sí, como son: el método inverso -- de diseño y las pruebas de placa no destructivas, con la intención -- de obtener resultados lo más exacto posibles de los parámetros es- -- tructurales.

Otros estudios estuvieron enfocados a la calidad del perfil lon- gitudinal y a la resistencia al derrapamiento de las pistas. Para és- to, se utilizaron técnicas a base de aparatos de medición como el -- perfilógrafo Hveem y el medidor Mu-Mater, con lo que finalmente se -- puede establecer un buen estudio de evaluación de un pavimento.

Los capítulos segundo y tercero llevan una estrecha relación, -- ya que si se conocen los deterioros y fallas existentes en los pavi- mentos, es necesario también conocer las causas probables que los -- provocan.

La división que se hizo de las fallas, fue hecha en base a las principales causas que afectan a un pavimento y corresponden a un -- grupo de clasificación, aunque existan defectos que pertenezcan a -- dos o más grupos. La clasificación se pudo hacer en cuatro grupos -- que incluyen las fallas por insuficiencia estructural, las debidas a defectos constructivos, las fallas por fatiga y las funcionales. La- utilización de fotografías de los defectos y fallas, nos pudieron dar una mayor idea de los deterioros que puede sufrir un pavimento.

Las causas probables de las fallas es un tema que fue necesario incluir, porque al tener conocimiento de éstas, se debe conocer tam- bién el motivo que las produce. Los materiales, el clima, los defeco

tos de construcción y otros, provocan que el pavimento se deteriore y, teniendo una clasificación de las causas más comunes, se comprenden de mejor el tema.

El capítulo cuarto es en donde recae la importancia del trabajo de la tesis. Se estructuró de manera que los temas tuvieran una secuencia lógica, y a su vez, una amplia información de las técnicas de mantenimiento. Se comenzó detallando lo que es el mantenimiento, sus componentes y los diferentes tipos que existen. Se explicó lo que es el asfalto, sus componentes, sus propiedades y los productos que de él se derivan, como son los ligantes asfálticos naturales, artificiales, modificados y emulsionados.

Se realizó un tema que trata de los agregados, considerando que las características que presenta uno u otro, son de gran importancia, ya que de éstos depende la calidad que tenga una mezcla asfáltica.

El tema que se explicó a continuación fué el referido a los tratamientos asfálticos, y la clasificación que se hizo, nos da una amplia información de la división que éstos tienen. Se dieron a conocer los tipos de tratamientos superficiales y mezclas asfálticas, así como también se expusieron tratamientos alternos que pueden tener utilización en la reparación de pavimentos.

Consideré hacer mención de la colocación de geotextiles, el reciclado de mezcla y la utilización de productos rejuvenecedores, con el propósito de conocer otras técnicas de mantenimiento.

La relación existente entre fallas y soluciones, nos dió también una mayor idea del tratamiento a utilizar.

Finalmente se elaboró un capítulo para concer la maquinaria que es utilizada en los trabajos de mantenimiento antes descritos.

**GLOSARIO :**

abrasión	Desgaste por rozamiento o por fricción.
aglomerado	Roca formada por restos de otras unidas entre sí por un cemento ligero.
aglutinante	Sustancia que sirve para unir.
álcali	Nombre que se da al hidróxido de amonio y a otros compuestos básicos como hidróxidos y óxidos metálicos solubles.
aluvión	Depósitos minerales formados por la acción mecánica de las corrientes de agua.
anión	Ion cargado negativamente.
cadenaamiento	Posición en la que se localizan ciertos puntos a una determinada medida de longitud.
catión	Ion de carga positiva.
caucho	Sustancia elástica obtenida del árbol de látex.
capacidad	Grado de compactación de un material.
conglomerado	Formación sedimentaria, completamente solidificada.
curado	Endurecido, seco, fortalecido.
destilación	Proceso en el cual una sustancia se calienta sin aire, a fin de expulsar las materias volátiles que contiene, sin que se inflame.
elongación	alargamiento accidental de un objeto.
escantillón	Regla o patrón para fijar dimensiones.
filler	O polvo mineral, es la fracción de partículas minerales o de adición más finas, que pasa la malla no. 200 y que forman parte de la mezcla asfáltica.
floculación	Proceso por el cual una sustancia dispersa coloidalmente se separa del líquido que la contiene en forma de partículas discretas y no como masa continua.

hidrocarburo	Cualquiera de los compuestos de hidrógeno y carbono.
hidrófilo	Que absorbe el agua con facilidad.
hidroplaneo	O acuaplaneo; fenómeno que se presenta al quedar una capa de agua entre el pavimento y los neumáticos de las aeronaves.
homogéneo	Pertenciente a un mismo género, poseedor de iguales caracteres.
hulla	Carbón de piedra, fósil, que tiene entre un 75 y un 90 por ciento de carbono.
inerte	Inactivo. Se dice de la sustancia que muestra escasa o nula tendencia a reaccionar.
in situ	En su lugar propio o natural.
ligante	Producto constituido por una mezcla de hidrocarburos de distintos tipos y poder aglomerante.
micela	Partícula coloidal.
nafta	Hidrocarburos líquidos, incoloros y volátiles, - destilados del petróleo.
polímero	Compuesto químico, natural o sintético, formado por la combinación de moléculas, para formar unidades más grandes y complejas.
queroseno	Mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo en la fracción que se evapora entre los 150 y 300°C.
rehabilitar	Habilitar de nuevo o restituir algo a su antiguo estado.
reología	Ciencia que estudia la fluidez de la materia y la deformación de los cuerpos bajo la acción de las - fuerzas externas.
resiliencia	Resistencia al choque. Energía potencial acumulada en un material sometido a deformación elástica.
resina	Nombre de diversas sustancias sólidas o semisólidas amorfas, transparentes quebradizas e inflamables;-

su composición es diversa, pero todas contienen -  
carbono, hidrógeno y oxígeno.

**rodaje**

Calles paralelas o que cortan transversalmente una  
aeropista, para el rápido desalojo de las aeronaves.

**segregar**

Apartar o separar una cosa de otra u otras.

**solvente**

Sustancia que puede disolver, es decir, que produce una mezcla homogénea con otra.

**sondeo**

Técnica empleada para averiguar la naturaleza del subsuelo.

## BIBLIOGRAFIA

- "Pavimentos bituminosos en frío"  
Fernández del Campo J.A.  
España, Editores Técnicos Asociados, S.A., 1983.
- "Firmes de carreteras y autopistas"  
Valero Alonso Luis y Fanlo Nicolás Jorge  
España, Editores Técnicos Asociados, S.A., 1974.
- "Emulsiones asfálticas"  
Probica, Grupo ICA. México.
- Conservación de Aeropuertos"  
Rodarte Lazo F. Fernando. Segunda edición.  
México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1986.
- "Ingeniería de Aeropuertos", "Mantenimiento y operación"  
Varios autores. Primera edición.  
México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1986.
- "La ingeniería de suelos en las vías terrestres, Volumen 2"  
Rico Alfonso y Del Castillo Hermilo. Primera edición.  
México, Editorial Limusa, 1977. -
- Manual de proyecto de aeródromos", "Pavimentos"  
Organización de Aviación Civil Internacional. Segunda edición  
OACI, 1983.

- "Manual de servicios de Aeropuertos, Métodos de Mantenimiento"  
Organización de Aviación Civil Internacional. Primera edición.  
OACI, 1984.
  
- "Aeródromos, Anexo 14"  
Organización de Aviación Civil Internacional. Octava edición.  
OACI, 1983.
  
- "Manual de pavimentos"  
Moncayo V. Jesús  
México, CECSA, 1980.
  
- "Emulsiones asfálticas"  
Rivera E. Gustavo. Primera edición.  
México, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 1977.
  
- "Estructuración de Vías Terrestres"  
Fernando Olivera Bustamante  
México, CECSA, 1986
  
- "Materiales asfálticos utilizados en pavimentación"  
Dirección General de Servicios Técnicos, S.C.T.  
México, 1987.