

12
24

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

“DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE
PAVIMENTOS ASFALTICOS EN AEROPISTAS”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL

P R E S E N T A

FELIPE DE JESUS HERNANDEZ ORTIZ

GUADALAJARA, JALISCO. 1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
I.- CAPITULO PRIMERO GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS	
Ia.- INTRODUCCION	1
Ib.- PAVIMENTOS FLEXIBLES	4
Ic.- PAVIMENTOS RIGIDOS	11
Id.- PISTAS, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS	15
II.- CAPITULO SEGUNDO CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AEROPISTAS	
IIa.- ANALISIS DE TRANSITO	19
IIb.- CRITERIOS DE CARGA EQUIVALENTE	22
IIc.- RELACION DE ESFUERZOS - DEFORMACION	25
IId.- FACTORES CLIMATOLOGICOS	28
IIe.- ANALISIS DE MATERIALES	30
IIf.- PRUEBAS QUE SE DEBEN USAR EN LOS PAVIMENTOS	33
III.- CAPITULO TERCERO DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN AEROPISTAS	
IIIa.- METODO DE LA ARMADO DE LOS E.U.A.	38
IIIb.- METODO DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE	41
IIIc.- METODO DE LA AGENCIA FEDERAL DE AVIACION (F.A.A.)	45
IV.- CAPITULO CUARTO DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	
IVa.- TIPOS DE PRODUCTOS ASFALTICOS	51
IVb.- PRUEBAS HECHAS A LOS PRODUCTOS ASFALTICOS	55
IVc.- PROYECTO DEL CONCRETO ASFALTICO	65

V.- CAPITULO CINCO	
CONSTRUCCION DE LA CARPETA ASFALTICA	
Va.- IMPORTANCIA DE UNA CONSTRUCCION ADECUADA	75
Vb.- DRENAJE DE AEROPUERTOS	77
Vc.- FABRICACION DE MEZCLA ASFALTICA	80
Vd.- MAQUINARIA QUE SE UTILIZA EN LA PAVIMENTACION DE UN AEROPUERTO	83
Ve.- CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA	90
VI.- CAPITULO SEXTO	
RECOMENDACIONES PARA UNA BUENA CONSIDERACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	
Via.- ESTUDIOS DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON EL FIN DE RECONSTRUCCION O REFUERZO	92
Vib.- TIPOS DE AVERIAS DE LOS PAVIMENTOS, SU CORRECCION Y CAUSAS QUE LO PRODUCEN	97
VII.- CONCLUSIONES	121
VIII.- BIBLIOGRAFIA	126

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS

INTRODUCCION.-

Debido a que la superficie terrestre en estado natural no cumple con las necesidades que una superficie de rodamiento requiere para los actuales medios de transporte. A medida que los transportes evolucionan en peso, tamaño, velocidad, se fue creando la necesidad de proporcionarles una superficie de circulación con ciertas características apropiadas a una demanda de operación cada vez más exigente. Lo que motivo a la construcción de terracerías, la cual debía de ofrecer condiciones de rodamiento apropiadas y seguras al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados.

Las superficies de rodamiento que proporcionan las terracerías, formadas sólo por materiales naturales, solo satisfacen una necesidad para un tránsito bajo y el cual tendrá que soportar las incomodidades que por su constitución del camino dará al usuario y otra desventaja es su alto costo de mantenimiento si se compara con el costo inicial de la misma. Aún seleccionando los materiales térreos y fragmentos de roca más apropiados y dándoles un tratamiento mecánico no se logrará una superficie adecuada cuando los volúmenes de tránsito sean considerables. Dada las circunstancias anteriormente expuestas y las exigencias del tránsito se hace necesario recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla con los siguientes requisitos:

- * Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- * Tener textura apropiada al rodamiento.
- * Ser capaz de soportar las cargas ejercidas por los vehículos.

- * Ser durable y de poco mantenimiento.
- * Ser permeable.

Estas condiciones definen una capa de material granular de muy buena calidad, la cual no es prácticamente imposible obtener del todo en forma natural. Por lo cual se hace necesario ligar las partículas que componen dicha capa de una forma artificial.

A este recubrimiento de las terracerfas se denomina pavimento y se conoce como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de la terracerfa y la superficie de rodamiento.

La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades de tal forma que puede estar formada por una sola capa o por varias, lo que es recomendable, las cuales a la vez pueden ser de materiales naturales seleccionados sometidos a muy diversos tratamientos; la superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o por materiales pétreos compactados.

Existen dos tipos de pavimentos, que son los flexibles y rígidos. Es difícil definir una diferencia precisa entre uno y otro tipo de pavimento; es hasta cierto punto materia de juicio el precisar que tan rígido puede ser un pavimento flexible y viceversa

En realidad los pavimentos se diferencian y se definen en términos de los materiales de que están constituidos y de como se estructuran esos materiales y no por la forma en como se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas

das por los vehículos a las capas inferiores, lo que, quizá, sería un criterio de clasificación más adecuado.

En la práctica se suele decir que un pavimento rígido es aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico; en cualquier otro caso se considerará flexible.

Para la construcción de una superficie de rodamiento se debe de considerar el aspecto económico y los esfuerzos a que va a estar sometida principalmente, por lo cual es necesario encontrar un equilibrio ideal entre ellas.

La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal, que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean considerables con la calidad de ésta. Esta línea de acción lleva a los pavimentos rígidos, con losa de concreto hidráulico. Cualquier pequeña cedencia de los suelos bajo la losa de concreto es absorbida -- por la resistencia de la misma a la tensión.

O bien si la superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y alta calidad, pero entre ella y la terracerías se interponen un sistema de varias capas de material seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito, que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente. En rigor, el problema de dimensionamiento consistiría, en principio, en hacer variar el espesor y la calidad de los materiales empleados en cada capa, de manera que coincidan -- las dos leyes. Este en el orden de ideas que conducen a los pavimentos flexibles.

Lo que también es muy utilizado en las capas del pavimento, materiales cuya resistencia a la tensión sea considerable, añadiendo a los materiales térreos porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, la cal o el asfalto; las capas así tratadas, ven aumentada su capacidad de distribución de esfuerzos, con lo que puede tenerse grandes ahorros en espesor.

En realidad, estos tipos de pavimentos a base de capas de suelo - cemento, suelo - asfalto, etc., constituyen un tercer grupo, llamado de los semirígidos y cuyo uso se va haciendo más frecuentemente. Pero es muy común denominarlos entre el grupo de los flexibles.

Pavimentos Flexibles.-

Como ya se mencionó los pavimentos flexibles se consideran aquellos que bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregados pétreos y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien definidas: una base de material granular, y una sub-base, formada, preferentemente, también por un suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poder admitir suelos, de menor calidad, con mayor contenido de finos; la razón es, obviamente, el mayor alejamiento de la sub-base a la superficie de rodamiento, por lo que lleguen esfuerzos de menor intensidad.

Estas tres capas forman el pavimento propiamente -- dicho y descansan sobre la terracería. Bajo la sub-base se dispone otra capa, denominada subrasante, que forma parte de la terracería, sólo que mejor tratada que el resto de ésta.

Se considera que la principal función de la sub-base de un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con una calidad alta, como la del material usado en la base, pero se prefería hacer esta más delgada y sustituirla por una de menor calidad, aunque haya de ser aumentado el espesor, -- pues naturalmente, cuando menor sea la calidad del material colocado, tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos.

Otra de sus funciones consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular más o menos grueso, y la propia subrasante. La sub-base, más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

En la fig. I.1 se muestra la estructuración típica de un pavimento flexible en terracería.

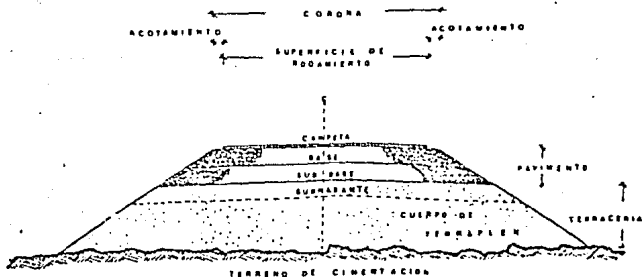


Fig. I.1 Sección transversal típica de un pavimento flexible.

Como es de suponerse, el material que forma la sub-base debe cumplir ciertos requisitos para desempeñar las funciones antes mencionadas.

La Fig. I.2 muestra la zona en la que debe desarrollarse la curva granulométrica del material que se emplee en una sub-base. Se pide que la curva granulométrica además de estar comprendida en las zonas 1, 2 ó 3 tenga una forma semejante a los trazos que marca estas zonas, sin cambios bruscos de curvatura. La relación de porcentaje, en peso, que pase la malla No. 200, al que pase la malla No. 40 no deberá exceder de 0.65. El tamaño máximo del material se limita a 51 mm (2").

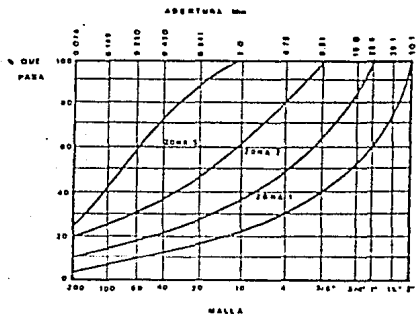


Fig. I.2 Requerimientos granulométricos para un material de sub-base.

Se fija que el equivalente de arena del material -- sea 20 como mínimo. La SAHOP utiliza muy extensivamente el método del valor relativo de soporte para proporcionar sus pavimentos; a los materiales de sub-base se les fija un valor relativo de soporte mínimo de 50%, con el material en condición saturada. Respecto al grado de compactación, exige el 95% respecto a la prueba Porter SAHOP.

Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub-base. Estas son la resistencia friccionante y la capacidad drenante.

La resistencia friccionante beneficiará la resistencia del conjunto y tendrá un buen funcionamiento en cuanto a deformabilidad, pues un material que posea esa calidad de resistencia será poco deformable a condición de estar bien compactado.

Y la capacidad drenante es muy deseable, que permitirá al pavimento eliminar convenientemente tanto el agua que se filtre por su superficie, como la que ascienda por capilaridad.

La función principal de la base es de orden económico análogo al de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta, más costosa, pero también proporciona un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas.

La base tiene también una función drenante, para -- eliminar el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

Para garantizar la resistencia estructural de la base, así como su permanencia de dicha resistencia, se recomienda un material friccionante. Para lo cual existen especificaciones, que se limitan a las zonas marcadas entre las curvas granulométricas que estén comprendidas entre las zonas 1 ó 2.

La capacidad de carga de los materiales friccionantes es baja en la superficie por falta de confinamiento, razón por la cual se requiere que sobre la base exista un material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que priva en la frontera superior del pavimento, es decir, se requiere ahora de un material cohesivo y con resistencia a la tensión. Este requisito lo cumple la carpeta que se obtiene ligando agregados pétreos con un -- producto asfáltico.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los impactos, etc., debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo y un frenaje apropiado. La naturaleza de la carpeta debe de ser tal, que resista la acción de los agentes del intemperismo. Es aconsejable que tenga un color que evite los reflejos del sol durante el día y de las luces durante la noche.

Además de las funciones mencionadas anteriormente, tiene otra importantísima y es la función estructural que influye mucho en el comportamiento esfuerzo-deformación de toda la sección resistente al incorporar al conjunto un elemento de gran rigidez.

Hablando de un pavimento flexible en conjunto, una de sus funciones es soportar las cargas impuestas por el tráfico

sito dentro del nivel de deterioro previsto en proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. Suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural, correspondientemente, la resistencia a este esfuerzo de los suelos, resulta ser la propiedad fundamental.

Además de los esfuerzos cortantes, actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura a cierta distancia del área cargada, cuando éste se deforme verticalmente hacia abajo, como se muestra en la figura I.3.

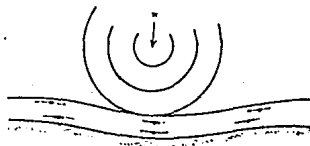


Figura-I.3 Deflexión del pavimento causando esfuerzos de tensión y compresión.

Llenar los requisitos de capacidad de carga para una cierta capa es hasta cierto punto independiente de su propio espesor, pues este es más bien necesario desde el punto de vista de la transmisión de esfuerzos a capas inferiores; una capa delgada puede soportar en sí misma las cargas impuestas, pero transmitirá altos esfuerzos a las inferiores, en tanto que una capa gruesa, cuya resistencia individual mejora con el aumento de espesor, se distinguirá por transmitir esfuerzos pequeños a las capas subyacentes. Pero aquí es donde interviene el factor económico, puesto que a mayor espesor mayor será el costo; por eso es de vital importancia encontrar un equilibrio entre el factor esfuerzo-costo.

Otro requisito que debe cumplir un pavimento es el de formabilidad. En los pavimentos, las deformaciones interesan desde dos puntos de vista. Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla, y por otro, porque un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de dos clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y las plásticas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente este proceso suele ir acompañado de una densificación de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante.

Pavimentos Rígidos.-

Los pavimentos rígidos se caracterizan por su poco gasto de mantenimiento y se deterioran poco, pero su costo - de construcción es alto y están sujetos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción - especializado.

Como ya se dijo, una característica importante de un pavimento es su costo, por lo cual se deben considerar -- los distintos tipos de pavimentos en el momento de elaborar un proyecto; los pavimentos rígidos o flexibles son ventajosos o inconvenientes según los casos, comparativamente hablando.

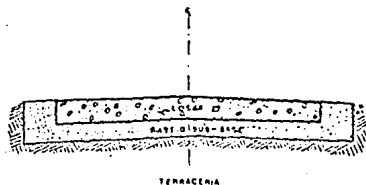
Los pavimentos rígidos o también conocidos como de concreto hidráulico, difieren de los pavimentos de asfalto, primero, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo, en que son afectados grandemente por los -- cambios de temperatura. Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a) Esfuerzos abrasativos causados por las llantas.
- b) Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Existe preferencia por parte de los pilotos hacia el uso de pavimentos rígidos en las aeropistas porque proporcionan una mayor suavidad de operación cuando están bien - - construidas y su mayor permanencia de estas condiciones respecto a los flexibles. Además debido al color y a la naturaleza del pavimento asfáltico, hace que las capas de aire próximas a él se calienten mucho bajo la acción solar, con lo que el aire pierde densidad y se dificultan las operaciones de aterrizaje y despegue. Estas son algunas de las razones por las cuales el uso de pavimentos de concreto hidráulico - en aeropuertos va teniendo más auge cada vez, pero la desventaja que presenta es que su inversión inicial se considera - de más de dos y media veces más que los flexibles.

No se pretende hacer una discusión sobre qué tipo de pavimento es el más ventajoso, ya que además de no poderse dar reglas generales y precisas para hacer una selección adecuadas, se tendría que analizar particularmente caso por caso, estudiando el volumen y calidad del tránsito, bancos de materiales disponibles, recursos económicos, etc.

En la figura I.4 se presenta la estructura típica - de un pavimento rígido.



Como podrá apreciarse, un pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto. Esta se apoya sobre una capa de material seleccionado a la que se le da el nombre de base o sub-base; cuando la sub-base tiene una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella evitándose así el uso de la capa de base.

Como la principal función de la losa de un pavimento es de carácter estructural, se suele utilizar concretos de resistencia relativamente alta.

Esta resistencia importa desde el punto de vista del concepto de resistencia a la tensión por flexión que se puede obtener sometiendo una viga de concreto simple a la flexión. El esfuerzo de tensión máximo que se alcanza en la fibra interior de la viga de prueba, se llama módulo de ruptura (MR). Este se valúa con mayor frecuencia a partir de las correlaciones obtenidas con la resistencia a la compresión ($f'c$) de este concreto. Ambos tipos de resistencia están relacionados pero no hay proporcionalidad y la relación depende del nivel general de resistencia del concreto.

En otras palabras, al aumentar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión aumenta también pero en grado cada vez menor. Además existen otros factores que afectan esta relación, como el hecho de que el agregado grueso triturado tiene un efecto benéfico sobre la resistencia a la flexión; también se ve afectada por la granulometría del agregado, el tipo de cemento, el aire incluido, etc. Se puede decir, en general, que:

$$0.10 f'c \leq MR \leq 0.17 f'c$$

El rango usual de resistencia a la tensión por flexión es de 35 a 42 Kg/cm², lo que da unos valores de resistencia a la compresión de 200 a 400 Kg/cm² o más.

Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado. Las losas de concreto simple son de dimensiones pequeñas, del orden de 4 a 8 m.; estas dimensiones -- aumentan al usar algún refuerzo y llegar hasta los 100 m. en concretos pre-esforzados, además de tener considerables ahorros de espesor en este último caso.

Los factores que afectan en el espesor de la losa son básicamente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas, el módulo de relación del suelo de apoyo, el número de cubrimientos y la resistencia del concreto a utilizar.

En los pavimentos rígidos debe de existir juntas -- por varias razones y debido a éstas, las juntas se pueden dividir en tres grupos básicos: juntas de contracción, de expansión y de construcción.

Las juntas de contracción se disponen para aliviar los esfuerzos de tensión causados por la contracción del concreto debido al enfriamiento de la losa y su consecuente disminución de dimensiones.

Las juntas de expansión se disponen para permitir que las losas de concreto se expandan una contra otra sin -- destruirse. Estas juntas deben ser construidas con una separación en todo su espesor entre losa y losa para permitir la expansión libremente. En vista de que no existe continuidad, es necesario introducir algún tipo de ligazón para la --

transmisión de cargas. Esto se logra por medio de pasajuntas, las cuales deben ser lisas y lubricadas. Y llevan un casquillo por el cual la barra de acero se puede mover durante el proceso de expansión.

Las juntas de construcción corresponden a las interrupciones de las operaciones de colado y deben garantizar la continuidad estructural.

Pistas, calles de rodaje y plataformas.-

En un aeropuerto existen diferentes zonas por las que un avión circula, variando las características del movimiento de éste, dependiendo de que operaciones esté realizando, afectando así de una manera distinta los pavimentos en sus diferentes áreas.

Un aeropuerto puede ser dividido en dos elementos básicos: el área de aterrizaje (pistas y calles de rodaje) y el área terminal (plataformas, edificios, etc.). El sistema incluye un tercer elemento que es la torre de control.

Una pista está formada por una franja pavimentada que soporta directamente las cargas impuestas por el tránsito de los aviones y adyacente a ésta, están las franjas de seguridad. El ancho de éstas dependen del tipo de operación prevista: con instrumentos, requiere una franja de seguridad de 150 m. a cada lado del eje de la pista, en tanto que para operación visual se requieren 75 m. a cada lado de ésta.

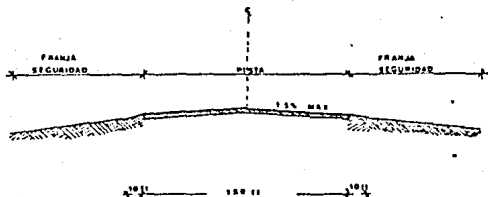


Figura 1.5 Sección transversal típica de una pista de aterrizaje en aeropuertos comerciales.

La principal función de las calles de rodaje es la de dar acceso, a los aviones que lleguen a las pistas de aterrizaje, al área terminal y hacia los hangares de servicio y viceversa.

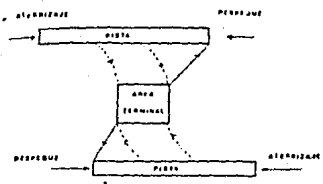
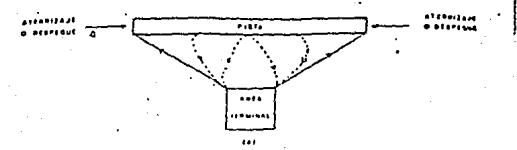
En general, las pistas y calles de rodaje deberán disponerse de tal manera que se provoque una interferencia y retardos mínimos en el aterrizaje, despegue y los movimientos en las calles de rodaje; ofrecer una mínima distancia de la plataforma a las cabeceras de las pistas y deberán de ser -- construidas procurando que los aviones que aterrizan puedan abandonar las pistas tan pronto como sea posible.

La plataforma es el lugar donde un avión se estaciona para hacer descender o ascender a los pasajeros, carga equipaje, correo, carga o provee del combustible necesario para el vuelo, ya sea por medio de pipas o por un sistema de hidrantes fijo.

Dada la constitución de un pavimento asfáltico, el derrame de combustible le es perjudicial, deteriorando la --carpeta rápidamente. Por lo cual se hace recomendable construir estas zonas con pavimento de concreto hidráulico o protegiendo superficialmente la carpeta, para evitar el deterioro de la misma.

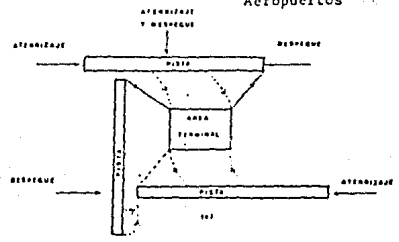
Existen tres factores básicos que gobiernan el tamaño de una plataforma: el espacio requerido por cada tipo de avión, el número necesario de aviones a alojar al mismo tiempo y el acomodo de los mismos.

Dado que las condiciones del tránsito son distintas en cada zona y se podría decir que las calles de rodaje y las cabeceras de las pistas deberán ser construidas usando un mayor espesor que en la porción intermedia de las pistas debido a la alta concentración del tráfico en aquéllas y además porque se ha visto que los esfuerzos inducidos por las cargas de los aviones decrecen al aumentar la velocidad de circulación de éstos sobre el pavimento.



——— CALLES DE
 ACCESO PARA AVIONES
 QUE SOLO
 CALLES DE
 ACCESO PARA AVIONES
 QUE LLEGAN

Figura 1.6 Algunas configuraciones de Aeropuertos



CAPITULO II

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AEROPISTAS

Análisis de Tránsito.-

Los factores que intervienen para el diseño de un pavimento, pueden considerarse los siguientes: el tránsito, el clima y las características de los materiales que lo constituyen.

El tránsito produce las cargas a que el pavimento va a estar sujeto. Respecto al diseño de pavimentos interesa conocer la frecuencia y número de repeticiones de las cargas, las velocidades de aplicación, la magnitud de esas cargas, -- las presiones de inflado de las llantas, así como su área de contacto, su disposición y arreglo.

La repetición de la carga puede producir el efecto de fatiga, aunque en los pavimentos flexibles este efecto no es tan importante como en los rígidos.

La velocidad de aplicación de las cargas ejerce influencia sobre las características esfuerzo-deformación en el pavimento y las terracerías. Se ha observado, en caminos, -- más destruidos los tramos de subida que los de bajada, de lo que se desprende que las cargas elásticas o lentas ejercen -- peores efectos que las más rápidas.

Por lo cual se hace necesario considerar la distribución de las cargas y de la velocidad de aplicación en las -- diferentes zonas del pavimento para determinar las áreas críticas y hacerlas lo suficientemente resistentes al efecto que

producen las condiciones del tránsito más severo. Bajo dichas condiciones se obtiene el espesor de diseño. Reduciendo el espesor para las zonas donde el tránsito no sea crítico.

En las plataformas y calles de rodaje, las cargas aplicadas son más severas, que en otra parte del aeropuerto. Y dichas cargas se aplican una y otra vez sobre el mismo lugar del pavimento. Considerándose más crítico cuando los aviones que están saliendo, debido a que la pérdida de peso por el combustible no comienza hasta que el avión está en movimiento.

En el caso de aeropistas, es más utilizado el concepto cubrimiento que el de repetición. Un cubrimiento es el número de pasadas de una rueda que es preciso efectuar para cubrir por completo el tercio central de la pista con trayectorias paralelas contiguas.

Los cubrimientos se determinan a partir del número de pasadas de la carga, relacionando el ancho de la faja en consideración, el arreglo y disposición de las ruedas, el ancho del área de contacto de cada llanta y la distribución del tránsito. En la tabla se proporciona la relación entre el número de operaciones y el de cubrimientos.

Número de operaciones necesario para producir un cubrimiento.

AVION	PISTA	CALLE DE RODAJE
DC-3	3.3	7.0
DC-4	9.6	27.0
DC-6	10.4	30.0
DC-8	7.6	21.0

En el sentido longitudinal, la máxima carga aplicada a la pista ocurre en las cabeceras de éstas, cuando el avión se dispone a despegar, estando estático o moviéndose lentamente para tomar su lugar correcto en la pista, con ningún porcentaje del peso sustentado por el efecto del aire sobre las alas, además, es necesario encender los motores a desarrollar su máxima potencia para el despegue. Esta condición de carga estática acompañada de vibración debida a los motores, produce una condición crítica. Mientras que un avión va a despegar, acelera y circula por la pista, se va transmitiendo el peso, del tren de aterrizaje a las alas. Por otro lado, el peso de un avión que está aterrizando está prácticamente sustentado por el aire, además de que su peso es menor que cuando despegar por el consumo de combustible.

Se sugiere que se tome en cuenta las siguientes consideraciones en el diseño de pavimentos flexibles en aeropuertos de la manera que a continuación se indica, donde estudios hechos señalan que se puede obtener un considerable ahorro en la construcción.

- 1.- Las plataformas y las calles de rodaje deberán ser del espesor de diseño (condiciones más críticas) y con un espesor uniforme en toda su área.
- 2.- Los primeros 100 m. de longitud de la aeropista deberán ser también del espesor de diseño y uniforme en todo su ancho.
- 3.- Después de los 100 m. de longitud, la franja central de la pista de 30 m. deberá tener el espesor de diseño hasta una distancia de 350 a 530 m. de la cabecera de la pista; después el espesor puede reducirse en un 10%.
- 4.- En las franjas adyacentes a la porción central

de las pistas el espesor puede ser reducido en un 25%, excepto en las entradas a las calles de rodaje.

Criterios de carga equivalente.-

Aquí se tratarán otros aspectos importantes del tránsito, como las presiones de inflado de las llantas, su área de contacto y el efecto de la configuración de éstas.

Se considera que la presión de la llanta es igual a la presión de contacto entre la rueda y el pavimento, aunque en la realidad exista una diferencia dependiendo de la magnitud de la presión de la rueda.

El área de contacto de la rueda puede ser calculada dividiendo el peso bruto soportado por la llanta entre la presión de ésta. Impresiones tomadas en casos prácticos indican que el área de contacto rueda-pavimento toma una forma elíptica.

En la mayoría de los problemas se considera que la carga en la llanta se distribuye uniformemente sobre una área circular. Como ya vimos, interesa conocer el radio del círculo para determinar los esfuerzos verticales y las deformaciones en la masa del suelo. El radio del área de contacto se calcula con la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{P}{p \pi}}$$

donde: P = carga total en la llanta.
p = presión de la llanta.
r = radio del área de contacto.

Los pavimentos se diseñan esperando una vida útil de 30 ó 40 años, para lo cual se debe enfrentar el problema de la aeronave crítica de diseño considerando el avance que pueda tener la industria aeronáutica durante ese lapso.

Esto ha enfatizado la necesidad de un método donde las distintas configuraciones de ruedas puedan relacionarse a un arreglo estándar de las llantas. En muchos casos, la conversión de la carga en un arreglo de varias llantas a una carga equivalente en una sola rueda ofrece un instrumento -- útil para el diseño y la evaluación de los pavimentos, es decir, se establece una equivalencia entre el arreglo real de las llantas y una sola rueda ideal que lo sustituya racionalmente en lo que se refiere a efectos sobre el pavimento; -- ésta es la que se conoce como rueda de diseño.

La carga equivalente en una sola rueda se podría definir como la carga en una llanta tal que produzca una magnitud igual de un determinado parámetro (esfuerzo, deflexión, etc.) en un punto dado dentro de un sistema específico de pavimento que la magnitud producida por la carga de una cierta configuración de ruedas en el mismo punto dentro de la estructura del pavimento.

Un método para determinar la carga equivalente en una sola rueda es el procedimiento gráfico presentado por Boyd y Foster. Estos se basaron en el criterio del máximo esfuerzo en la subrasante a partir de la distribución de esfuerzos en un sistema homogéneo de una sola capa estudiado por Boussinesq.

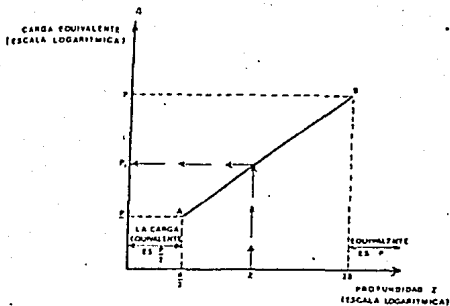


Figura 11.1 Método gráfico para encontrar la carga simple equivalente a un sistema dual.

El punto A ($d/2, p/2$) representa el caso donde cada rueda actúa separadamente y, similarmente, el punto B ($2S, P$) representa el caso donde la superposición se hace total. Uniéndose esos dos puntos con una recta se tendrá el lugar geométrico de los puntos en que una sola carga igual al esfuerzo de un sistema dual de las llantas.

Una vez que un espesor razonablemente Z se supone para el pavimento, se busca ese valor en el eje horizontal, se sube verticalmente hasta cortar la recta AB y se sigue horizontalmente hasta el eje vertical donde se lee la carga simple equivalente P_1 que da a la subrasante el mismo esfuerzo que el sistema dual estudiado. Si el espesor de diseño calculado es diferente al espesor supuesto para determinar la carga simple equivalente, el procedimiento se repite con

este nuevo espesor y así sucesivamente hasta que los dos espesores sean compatibles.

Relación Esfuerzos-Deformación.-

Cuando se trata con materiales de construcción, el ingeniero está fundamentalmente interesado por dos aspectos básicos. Que son la resistencia del material a los esfuerzos a que se somete y la deformación del material expresada en relación a los esfuerzos que se le aplican.

Existen varias teorías que tratan de explicar la - relación esfuerzo-deformación de un material, distinguiéndose entre sí por la diferente consideración de tres propiedades del comportamiento del material: la relación entre el - esfuerzo y la deformación (lineal o no lineal); la dependencia del tiempo con la deformación bajo un esfuerzo constante (viscoso o no viscoso); y el grado al cual el material puede recuperarse de su deformación al quitarle el esfuerzo actuante (plástico o elástico).

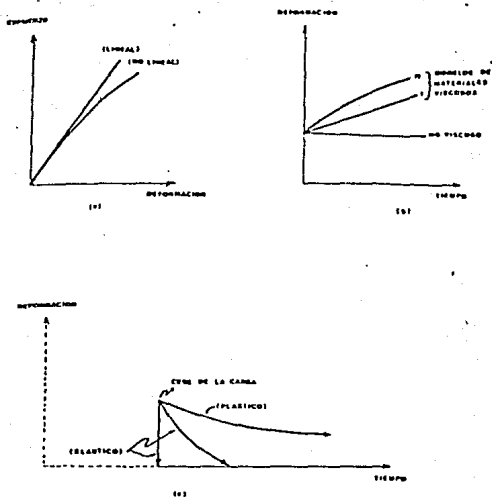


Figura II.2 Propiedades del comportamiento de material.

Las mezclas asfálticas a elevadas temperaturas y los suelos muy cohesivos no actúan como ninguno de estos casos ideales y como consecuencia varias combinaciones de modo los se han desarrollado para simular su comportamiento.

Teniendo en mente estos tipos distintos de comportamiento de los materiales, se podría entender las limitaciones de las teorías que tratan de explicar las relaciones esfuerzo-deformación dependiendo de las hipótesis a partir de las cuales se desarrollan éstas y los resultados que obtengan en las aplicaciones prácticas deberán siempre de verse con el debido criterio y, no pocas veces, ajustándose con la experiencia. No existe un método de diseño racional que sea universalmente aceptado en la tecnología de los pavimentos flexibles, pero la mayoría de los métodos están basados en la teoría multi-capa linealmente elástica.

Si los suelos fueran homogéneos, isótropo y linealmente elástico, sería posible describir su comportamiento esfuerzo deformación haciendo uso del módulo de Elasticidad (E) y la relación de Poisson (ν). Los suelos no son materiales en que se cumplan las hipótesis anteriores. Independientemente de que en un caso particular puede resultar útil usar valores del módulo de elasticidad o de la relación de Poisson, debe tenerse muy presente que estos valores no son constantes en un suelo, sino cantidades que, en el mejor de los casos, describen aproximadamente el comportamiento de un suelo para un estado de esfuerzos dado y que cambiarán, quizá radicalmente, si se cambia el estado de esfuerzo o si los esfuerzos se aplican de diferente manera. Por eso, cuando en relación con los suelos se mencionan las constantes elásticas anteriores, debe tenerse en cuenta que no representan nada en sí mismas, fuera de la condición particular para la que se ha medido o calculado.

Como ya se mencionó, un pavimento flexible está -- formado por varias capas de material que descansan sobre una terracería, no pudiéndose decir entonces que forman un medio homogéneo en todo su espesor. Burmister estudió el problema de la distribución de esfuerzos y desplazamientos en un sistema no homogéneo formado por dos capas.

Las hipótesis en que se basó son las siguientes:

- Las propiedades del material en cada capa son homogéneas, es decir, las propiedades son iguales en un punto dado A de la masa de suelo que al de otro punto B situado en la misma capa.
- La primera capa es infinita horizontalmente pero tiene un espesor finito, en tanto que la segunda capa es semi-infinita.
- Cada capa es isotrópica, es decir, las propiedades en un punto específico son iguales en todas y cada una de las direcciones.
- Entre las dos capas existe un contacto continuo, siendo la frontera entre ellas perfectamente rugosa desarrollándose así fricción.
- La distribución de esfuerzos depende de dos propiedades del material para cada capa que son el módulo de Elasticidad y la relación de Poisson.

Factores Climatológicos.-

Antes de empezar el diseño y la construcción de -- cualquier pavimento, dos variables deben de estudiarse cuidadosamente en la localidad propuesta para su construcción; -- estas variables son el clima y las condiciones del suelo.

El principal factor climatológico que afecta un pavimento suele ser la precipitación pluvial, ya sea por su acción directa o por elevación de las aguas freáticas. Se ha visto que existe una relación entre época de lluvia e intensidad de las mismas con las fallas en los pavimentos. Sin embargo, los verdaderos mecanismos a través de los que el agua actúa sobre la estabilidad son poco comprendidos. Así como el aumento de contenido de agua del suelo se refleja en un aumento de su peso, lo cual puede tener repercusiones en la estabilidad general de la masa.

Un flujo de agua puede afectar la estabilidad de una masa de suelo al disolver cementantes naturales que pudieran existir. Además también se puede producir tubificación y la erosión interna. El humedecimiento de la parte superior de las terracerías disminuye su resistencia, propicia la deformación del pavimento sobre ella y causa la incrustación de los materiales granulares que suelen formar la sub-base.

La temperatura tiene una influencia directa sobre los pavimentos. La magnitud de ésta afecta al tipo y cantidad de producto asfáltico que se debe usar en los pavimentos flexibles. La variación de la temperatura entre la superficie y la parte más baja del pavimento afecta a su deflexión y su capacidad de carga. En los pavimentos rígidos afecta al diseño de las losas de concreto, pues variaciones bruscas de temperatura inducen esfuerzos muy importantes en tales estructuras y, además, rige la separación de las juntas.

Las heladas, en los climas rigurosos y en suelos susceptibles, pueden ser fuente de un gran número de problemas en los pavimentos. En un sentido general, la acción de la helada incluye tanto en el proceso de congelamiento del agua libre del suelo como a su proceso de deshielo.

Cuando el agua se congela se expande cerca del 9% de su volumen original; lo que más afecta al pavimento es la formación, a todo lo largo de éste, de cristales de hielo de espesor no uniforme causándole deformaciones perjudiciales. Durante el deshielo, la zona congelada de suelo se funde acompañado de asentamientos. En el caso de que se hayan formado grandes cristales de hielo, al derretirse se tiene el efecto adicional del colapso de las bóvedas de las cavidades antes llenas de hielo, causando asentamientos diferenciales con -- problemas para el pavimento.

Análisis de Materiales.-

Es importante estudiar las características del terreno de cimentación de cualquier obra vial ya que las terracerías le transmiten esfuerzos que, a su vez, producen deformaciones que se reflejan en el comportamiento estructural de dichas terracerías.

Los terrenos de cimentación pueden estar constituidos por roca o por suelo. En general, la roca no plantea -- problemas como terreno de cimentación propiamente dicho, pues la obra vial le comunica esfuerzos que suelen ser de muy baja intensidad en comparación con la resistencia del material.

Las arenas o limos muy sueltos pueden plantear el problema de erosión y de asentamiento brusco, por colapso rápido de su estructura simple cuando están sujetos a cargas de alguna importancia. Estos colapsos suelen estar asociados a movimientos de agua en el subsuelo, sin embargo, este efecto no es muy importante bajo las terracerías, pues éstas absorben con facilidad los movimientos resultantes.

La condición de tubificación no es muy peligrosa - en el terreno de cimentación de terracerías, puede afectar - más bien a los terraplenes, siendo un factor que se debe con siderar en su estabilidad.

La licuación produce grandes fallas debido a la -- magnitud de la masa de suelo que se pone en juego al produ-- cirse este fenómeno. Los suelos susceptibles a la licuación son las arenas sueltas uniformes, finas y saturadas; los depósitos de limos no plásticos sueltos son particularmente pe ligrosos.

En terrenos de cimentación constituidos por limos plásticos y arcillas, deben distinguirse dos casos diferen-- tes: cuando su compresibilidad sea relativamente baja y cuan-- do sean altamente compresibles. En suelos que caen dentro - del primer grupo no se plantea problemas especiales a la su-- perestructura del sistema de pavimento. Para el segundo ca-- so los problemas se complican cuando se requieran construir - altos terraplenes sobre este tipo de terreno de cimentación.

Los suelos orgánicos no son recomendables, en tér-- minos generales, para usarse como material de construcción.

Es necesario que el material extraído tenga cierta calidad que cumpla con las especificaciones dadas en relación al uso a que se les destinará. En segundo lugar, tienen que ser lo más fácilmente accesibles y los que se puedan explo-- tar por los procedimientos más eficientes y menos costosos. También, tienen que ser los que produzcan las mínimas distan-- cias de acarreo de los materiales a la obra, lo cual se re-- fleja en los costos.

Para la construcción de aeropistas es necesario --

localizar bancos para materiales de terracería, para capa subrasante; para sub-base, para base y para carpeta. Muchas veces un mismo banco puede proporcionar material para varios de esos usos sometidos a diferentes tratamientos.

Los bancos de suelo han de muestrearse para conocer en el laboratorio las características que interesen para definir su uso o su rechazo. No existe ninguna regla para fijar el número de sondeos que es necesario hacer en un caso dado, aunque algunas instituciones fijan un determinado número de sondeos por cada número de metros cúbicos de material por explotar.

A estas muestras obtenidas se les somete a diversas pruebas de laboratorio dependiendo del uso que se les espera dar. A continuación se presentan un listado de las pruebas que se les realizan a los materiales obtenidos de banco según su utilización.

I.- Cuerpo de terraplén.

- a) Clasificación: límites de plasticidad
granulometría.
- b) Calidad: peso volumétrico máximo
valor relativo de soporte (a veces)

II.- Capa subrasante.

- a) Clasificación: límites de plasticidad
granulometría.
- b) Calidad: peso volumétrico máximo
valor relativo de soporte
expansión
equivalente de arena.
- c) Diseño: determinación del valor relativo de soporte
Prueba de Hvem
pruebas friaxiales

III.- Base y sub-base.

- a) Clasificación: límites de plasticidad
granulometría
- b) Calidad: peso volumétrico máximo
valor relativo de soporte
equivalente de arena
expansión
- c) Diseño: si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante.

IV.- Carpeta asfáltica.

- a) Clasificación: límites de plasticidad
granulometría
- b) Calidad: pruebas de desgaste y/o alterabilidad
equivalente de arena
expansión
afinidad con el asfalto
pruebas para definir la forma de los agregados
- c) Diseño: prueba de Marshall
prueba de Hveem

Pruebas que se deben usar en los pavimentos.-

Una de las pruebas más usuales en los pavimentos - es la prueba del Valor Relativo de Soporte (VRS).

El Valor Relativo de Soporte se obtiene de una prueba de penetración en la cual un vástago se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.217 cm/min. (0.05 pul/min.); se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en - 0.25 cm.

El VRS se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm. y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptando como patrón, que es una piedra triturada que cumple con las siguientes relaciones penetración-presión en el vástago:

<u>PENETRACION (CM)</u>	<u>PRESION APLICADA (KG/CM²)</u>
0.25	70
0.50	105
0.75	133
1.00	161
1.25	182

Como regla general, el VRS disminuye cuando la penetración en que se hace el cálculo es mayor, pero a veces si se calcula con la penetración de 0.5 cm. resulta mayor que el calculado con la penetración de 0.25 cm. en tal caso se adopta como VRS el valor obtenido con la penetración de 0.5 cm.

Con el objeto de reproducir la sobrecarga que en el pavimento real vaya a tender una determinada capa debido a las capas superiores, cuando se haga la prueba con material de -- aquella capa se coloca sobre él una placa cuyo peso comunique al espécimen una presión equivalente a la sobrecarga que se tendrá en el pavimento.

Los principales factores que afectan al VRS son la textura del suelo, su contenido de agua y su densidad. El procedimiento de prueba dependerá primordialmente del tipo de material a probar. En los suelos friccionantes, la expansión durante la saturación es despreciable, por lo que el monto de la sobrecarga dada por la placa que simula el peso de las ca-

pas superiores del pavimento, no es muy significativo durante la saturación; sin embargo, este valor de la sobrecarga si influye mucho en los resultados de la prueba en la etapa de penetración, pues el confinamiento afecta mucho a la resistencia en los suelos friccionantes. En suelos arcillosos ocurre precisamente lo opuesto; la expansión durante la saturación depende mucho de la presión de sobrecarga, mientras que ésta influye poco en la etapa de penetración.

Para suelos granulares las muestras se compactan con la humedad óptima pero usando tres diferentes energías de compactación. Para suelos finos las muestras se compactan con diferentes contenidos de humedad y diferentes condiciones de densidad, determinando en ambos casos el peso específico seco de las muestras.

De los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre distintas muestras se trazan tres distintas gráficas teniendo como abscisas y ordenadas los siguientes datos respectivamente.

- a) humedad de prueba (%) - VRS (%)
- b) humedad de prueba (%) - peso específico seco
- c) peso específico seco - VRS (%)

Pruebas de Placa.-

Las pruebas de placa se hacen para valuar la capacidad cortante de la subrasante, la base y en ocasiones de los pavimentos completos.

Por medio de la prueba de placa se puede calcular el módulo de relación (k) de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión que ha de transmitir la placa para producir en el suelo una deformación prefijada.

El módulo de reacción, como cualquier otro parámetro de comportamiento de la subrasante, depende de la humedad del suelo. En el laboratorio o en una prueba de campo - debería trabajarse con el contenido de agua que va a llegar a tener el suelo en el pavimento, que es la llamada humedad de equilibrio, pero ésta no se puede conocer de antemano. Lo que se hace es trabajar con un contenido de agua que se considera crítico; algunas instituciones lo hacen con el que co rresponde a la saturación.

Pruebas Triaxiales.-

Este tipo de pruebas se aplican a los pavimentos - con el fin de determinar las propiedades de las subrasantes y de las capas del pavimento propiamente dichas, incluyendo en algunos casos la carpeta.

Una prueba hecha en cámara triaxial mide el módulo de deformación (E) de los suelos, definido como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación obtenida.

El módulo de deformación se calcula en la porción recta de la curva esfuerzo-deformación. En la gran mayoría de los casos, sin embargo, esta gráfica no resulta recta, - calculándolo en estos casos con la recta que resulte de unir el origen de las coordenadas con el punto de la curva que re presenta el esfuerzo que se supone actuará en el pavimento - real.

Prueba de Hveem.

Hveem desarrolló un aparato, llamado Estabilómetro, que es básicamente una cámara triaxial que mide la relación entre las presiones verticales comunicadas al espécimen y las horizontales transmitidas a éste, sin permitir deformación - horizontal.

La prueba se completa midiendo la presión de exudación (la requerida para que el agua empiece a salir del espécimen) y la presión de expansión (se mide saturando un espécimen y permitiendo que al tratar de expandirse, empuje una viguita estándar, cuya flecha se mide).

CAPITULO III

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN AEROPUERTOS.

En este capítulo se mencionarán varios métodos de diseño de pavimentos. El término diseño estructural de pavimentos flexibles se refiere a la determinación del espesor del pavimento y de sus componentes y no al diseño de las mezclas asfálticas.

Existen una gran variedad de métodos de diseño para los pavimentos, pero en general, los métodos actualmente en uso son de tres tipos:

a) Métodos con base teórica. El representante típico del grupo es el desarrollado para sus pistas por organismos de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica.

b) Métodos semiempíricos, que se aplican los resultados de algunas teorías más o menos modificada a las conclusiones derivadas de una prueba de laboratorio. El método del VRS pertenece a este grupo.

c) Métodos empíricos, apoyados únicamente en la observación y en la experiencia. La Agencia Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos ha desarrollado un método de este tipo.

Método de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica.-

Para determinar el espesor requerido de pavimento flexibles en aeropuertos, el Departamento de los Estados Unidos de Norteamérica usan el método teórico desarrollado por

Donald M. Burmister, basado en la teoría de la elasticidad.

El método requiere la evaluación del módulo de elasticidad E_1 del pavimento y E_2 de la subrasante. Esto se logra mediante pruebas de placa sobre el material a utilizar. La capacidad de carga del pavimento se basa en el criterio de que la deflexión o asentamiento bajo la rueda no debe exceder 0.508 cm. (0.2 pul).

Según la teoría de la elasticidad, el asentamiento uniforme Δ bajo una placa rígida circular uniformemente cargada en un medio semi-infinito, homogéneo, elástico e isotrópico es:

$$\Delta = \frac{p \pi r}{2} \frac{1 - \gamma^2}{E_2}$$

donde: Δ = asentamiento de la placa, en cm.

p = presión aplicada, en Kg/cm^2

r = radio de la placa, en cm.

γ = relación de Poisson

E_2 = módulo de elasticidad de la subrasante, en Kg/cm^2

Para la aplicación de esta teoría se requiere realizar una prueba de placa en la subrasante por utilizar. Se mide la presión que se necesita aplicar a una placa de 76.2 cm. (30 pul) de diámetro para producir una deformación de 0.508 cm. Como la subrasante en una capa que puede considerarse -- semi-infinita, la teoría de Boussinesq puede considerarse -- aplicable. Al realizarse la prueba se busca el valor E_2 , pues to que todos los valores de la fórmula son conocidos.

En seguida se construye una plataforma de 5 po 5 m. y de 15 cm. de espesor mínimo (aproximadamente 6 pul) sobre -

la subrasante con el material que se disponga para construir la base del futuro pavimento. Se realiza una prueba de placa, y se calcula F , acotando la deformación al valor de 0.508 cm., y con el valor de E_2 que se había obtenido. Ya que se obtuvo F se va a la gráfica y conociendo también la relación h/r se obtiene el valor de la relación E_1/E_2 , de donde se calcula E_1 , que es el módulo de elasticidad de la base.

Después con los datos reales de la llanta de diseño, es posible calcular el área y el radio de la huella de la llanta, y se calcula el nuevo valor de F correspondiente a la placa flexible real, y con la misma deformación acotada a 0.508 cm.

Con este nuevo valor F real y la gráfica, utilizando la relación E_1/E_2 ya calculada, se puede obtener el valor de la relación h/r . Como ya se conoce el radio (r), se puede conocer de la relación el valor de h que es el espesor del pavimento necesario para satisfacer las deformaciones aceptables.

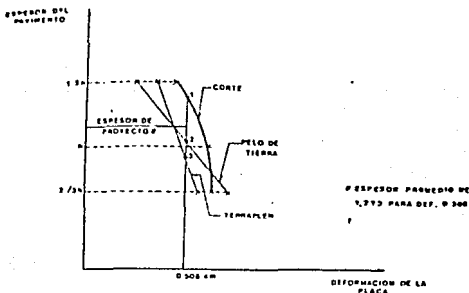


Figura III.1 Gráfica para encontrar el espesor de proyecto de un pavimento según el método de la Armada de los EUA.

Método del Valor Relativo de Soporte.-

Este método fue desarrollado por primera vez para uso en los aeropuertos militares por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., poco después de iniciarse la Segunda Guerra Mundial, basándose en estudios hechos en pavimentos para caminos.

Con base en observaciones del comportamiento de pavimentos construidos y en correlación de tal comportamiento con los valores del VRS exhibidos por las diferentes capas de tales pavimentos, el Cuerpo de Ingenieros propuso una expresión para determinar el espesor de un pavimento en aeropistas.

En esta expresión se usaba la carga simple equivalente obtenida a partir del criterio de igual esfuerzo en la capa subrasante. Investigaciones posteriores encontraron que este criterio era inadecuado debido a que se observó que una de las principales causas de la falla de un pavimento es el desplazamiento del material y no el nivel de esfuerzos en él inducido, por lo que un método para encontrar la carga simple equivalente en una configuración de llantas dada se desarrolló basado en la igualdad de deflexiones, asumiendo una misma área de contacto entre la rueda de diseño obtenida y cualquiera de las ruedas de la configuración.

Considerando la importancia que sobre el pavimento tiene el número de repeticiones de la carga, se llegó a la siguiente expresión para determinar el espesor del pavimento requerido en aeropistas.

$$e = 2.5 F \sqrt{\frac{P}{8.1VRS} - \frac{\Delta}{\pi}}$$

donde:

e = espesor total del pavimento, en cm.

$F = 0.23 \log. C + 0.15$

C = Volumen de tránsito en cubrimientos.

Δ = Area de contacto de la rueda con el pavimento m^2 .

P = carga sencilla equivalente al sistema de llantas múltiple del avión de diseño, en Kg.

VRS = Valor Relativo de Soporte de la subrasante.

Esta fórmula sólo es válida en aeropistas y para valores del VRS menores que 12½ lo cual cubre el intervalo de valores de subrasantes más frecuentes en la práctica.

Se han desarrollado curvas de diseño obtenidas por métodos empíricos y a partir de la ecuación anterior, para cualquier valor del VRS, incluyendo el intervalo cubierto por la fórmula, por lo que en la práctica basta manejar las curvas.

Se presentan aquí curvas de diseño de espesores de pavimentos en función del VRS de la subrasante para los aviones comerciales más frecuentes.

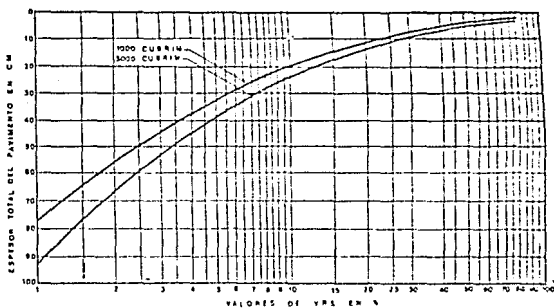


Figura III.2 Curvas de espesor del pavimento de función del VRS para avión DC-3

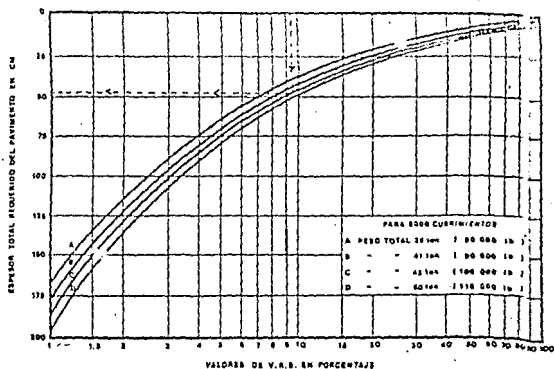


Figura III.3 curvas de espesor del pavimento en función del VRS para avión DC 9

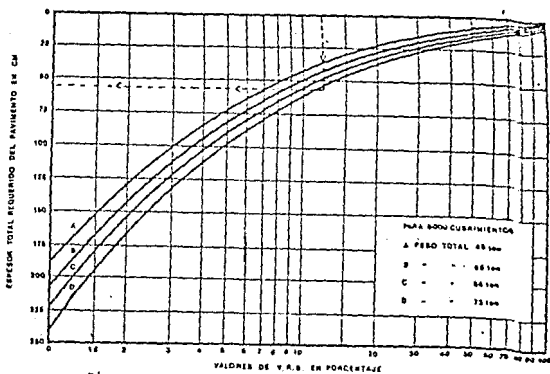


Figura III.4 curva de espesor del pavimento en función del VRS para el avión Boeing 727.

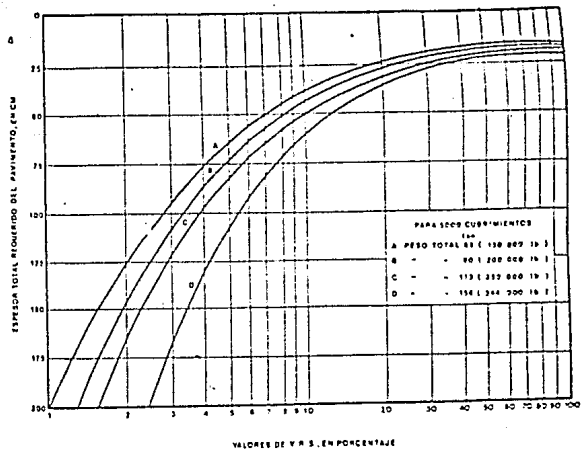


Figura III.5 curva de espesor del pavimento en función, del VRS para el avión UC-8-63

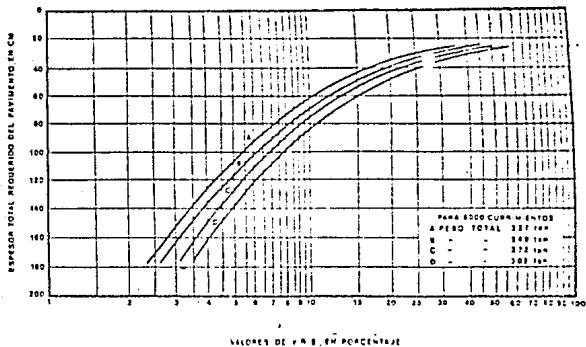


Figura III.6 curvas de espesor del pavimento en función del VRS para el avión Boeing 747

Para aeropistas de servicio internacional se utiliza como vehículo de diseño el avión DC-8 y el Boeing 747 aunque no es necesario mucho más crítico que el DC-8; la razón está en que no es solamente el peso del avión, sino todo un conjunto de factores como el arreglo de las llantas, su presión de inflado y disposición.

Las gráficas dan el espesor total del pavimento, el cual está integrado por la sub-base, base y carpeta.

Método de la Agencia Federal de Aviación (FAA).-

Este método se basa en una clasificación especial de los suelos desarrollada por la Agencia Federal de Aviación de los E.U.A.

Primero se hace una clasificación del suelo base, principalmente, a tres pruebas: análisis granulométrico, determinación del límite líquido y determinación del índice plástico, después, para cada grupo de suelo, se dan sus correspondientes clases de subrasante dependiendo de la topografía y los factores climatológicos del sitio donde se vaya a construir la aeropista. En la siguiente tabla se da la clasificación de las clases de subrasantes y la relación de éstas con los grupos de suelo según la FAA.

Los suelos granulares están clasificados dentro de los grupos E-1 al E-5, mientras que los suelos finos están comprendidos en los grupos E-6 al E-13. La división entre suelo granular y suelo fino está basada en el requisito de que los primeros deben tener menos del 95% de material que pasa la malla No. 10 (2 mm). Se toma esta malla porque se considera que es el tamaño crítico respecto a los cambios de humedad y otros factores climatológicos.

Grupo de suelo	Retenido en la malla No. 10 (%)	Análisis mecánico para material más fino que la malla No. 10			Límite líquido.	Índice plástico.	Clase de subrasante			
		Arena gruesa que pase la No. 10 pero no la No. 60 (%)	Arena fina que pase la No. 60 pero no la No. 270 (%)	Limo y arcilla que pase la No. 270 (%)			Buen drenaje		Mal drenaje	
							Acción de heladas	No acción de heladas	Acción de heladas	No acción de heladas
E-1	0-45	≥40	≤60	≤15	≤25	≤6	Fa	Fa	Fa	Fa
E-2	0-45	≥15	≤85	≤25	≤25	≤6	Fa	Fa	F1	F2
E-3	0-45	-	-	≤25	≤25	≤6	F1	F1	F2	F2
E-4	0-45	-	-	≤35	≤35	≤10	F1	F1	F2	F3
E-5	0-45	-	-	≤45	≤40	≤15	F1	F2	F3	F4
E-6	0-55	-	-	≥45	≤40	≤10	F2	F3	F4	F5
E-7	0-55	-	-	≥45	≤50	10-30	F3	F4	F5	F6
E-8	0-55	-	-	≥45	≤60	15-40	F4	F5	F6	F7
E-9	0-55	-	-	≥45	≥40	≤30	F5	F6	F7	F8
E-10	0-55	-	-	≥45	≥70	20-50	F5	F6	F7	F8
E-11	0-55	-	-	≥45	≥80	≥30	F6	F7	F8	F9
E-12	0-55	-	-	≥45	≥80	-	F7	F8	F9	F10
E-13	suelo orgánico					No adecuado para subrasante				

TABLA 3.1. clasificación de suelos y subrasantes según la FAA.

En ocasiones puede ser ventajoso realizar pruebas - al material de la subrasante para determinar su VRS; después de que se tiene el valor de éste, se hace la conversión correspondiente a la clase de subrasante según la tabla.

Tabla de Correlación VRS - clase de subrasante.-

Clase de subrasante	F10	F9	F8	F1	F6	F5	F4	F3	F2	F1	Fa
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	10.0	12	14.5	18	20

Los materiales clasificados como Fa proporcionan una adecuada subrasante sin la necesidad de añadirle un material - de sub-base. El grupo de suelo E-1 cae íntegramente en la clase Fa todas las condiciones de drenaje y heladas, mientras que el grupo E-2 cae dentro de la clase Fa sólo si las condiciones de drenaje son buenas. Las otras clases de subrasantes se designan desde F-1 hasta F-10; a mayor número, decrecen la calidad del material.

Las curvas de diseño se basan en el peso total del avión. La primera se usa cuando el arreglo principal de llantas está formado por una sólo rueda, la segunda cuando tiene - dos llantas en el arreglo principal y la última cuando se tiene una configuración de llantas en tándem dobles (cuatro ruedas).

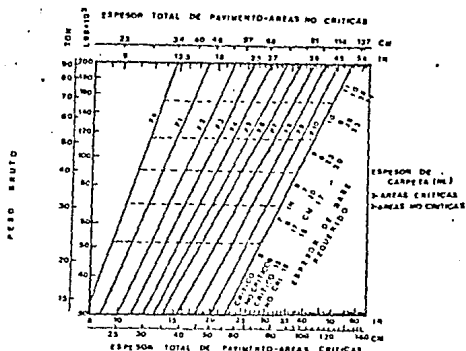


Figura III.7 Curvas de diseño. Arreglo principal de una llanta.

Las curvas de diseño asumen el 95% del peso total - del avión lo toman las dos configuraciones principales de llantas y el 5% restante lo toma la configuración delantera. La capacidad de operación en la que están basadas las curvas es equivalente a 5000 cubrimientos.

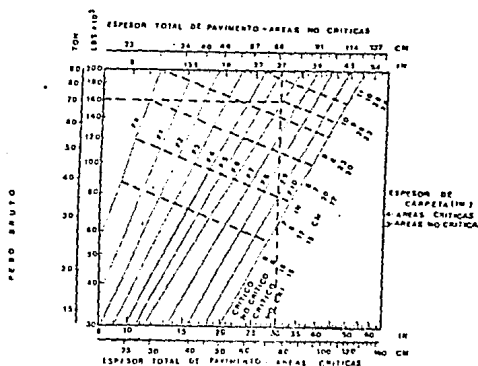


Figura III.8 Curvas de diseño. Arreglo principal de dos llantas.

La manera de usar las gráficas es la siguiente:

Se entra a la gráfica por el margen izquierdo hasta encontrar el correspondiente peso del avión de diseño; ahí se traza una línea horizontal hasta que intersecte con la línea recta que corresponda a la clase de subrasante tendida en el campo. Una vez encontrando este punto, se sube verticalmente y en la parte superior se lee el espesor total del pavimento requerido en la zona no crítica (parte central de la pista); si se baja verticalmente se obtiene el espesor necesario para zonas críticas, plataformas, calles de rodaje y cabeceras de las pistas.

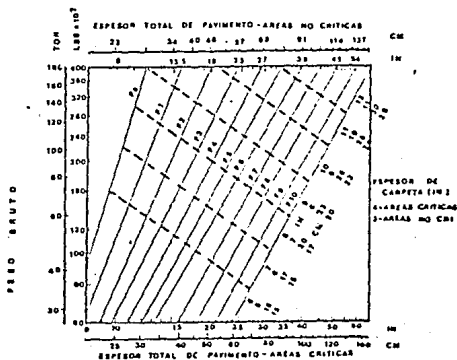


Figura III.9 Curvas de diseño. Arreglo principal en tándem doble.

Existen otros métodos para el estudio de espesores de pavimentos como son: el Método del Instituto del Asfalto (Full - depth), el Método del Cono de Dakota del Norte, Método del Índice de Grupo, Método Triaxial de Texas, etc. Pero los anteriores son los más empleados para el diseño de pavimentos.

CAPITULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Tipos de productos asfálticos.-

El asfalto es un material bituminosa natural o derivado del petróleo crudo, sólido o semisólido a la temperatura ambiente, de color negro o marrón, que posee cualidades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse. El asfalto está compuesto esencialmente de hidrocarburos, principalmente por asfalteno, maltenos, resinas y aceites; éstos constituyentes le dan al asfalto sus características de consistencia, poder de aglutinación y ductilidad.

Los materiales asfálticos, que se emplean en la construcción de caminos, se pueden clasificar como sigue:

- 1.- Asfaltos Rebajados.
- 2.- Emulsiones Asfálticas.
- 3.- Asfaltos Soplados.

1.- Asfaltos Rebajados.- Estos productos se obtienen mezclando asfalto con un material volátil, por lo que se les llama asfaltos rebajados y se dividen en tres:

Materiales Asfálticos de fraguado Rápido, Medio y Lento y se designan usualmente por sus iniciales FR, FM y FL respectivamente, de este modo las dos primeras letras nos indican el tipo. El grado o fluidez se indica por una cifra -- que procede las iniciales.

Los asfaltos menos viscosos o más fluidos, se designan por el número 0, tales como FR-0, FM-0, FL-0. Los números 0,1,2,3,4,5, designan asfaltos progresivamente menos fluidos

o de mayor viscosidad al crecer el número.

Los Asfaltos de fraguado Rápido (FR) se llaman así porque se fabrican por mezclas de asfalto con cierta cantidad de disolventes, que se evaporan rápidamente después de utilizarlo, dejando sólo el asfalto. El disolvente se utiliza para mezclar el asfalto, y obtener un asfalto de fraguado rápido, es un material de bajo punto de ebullición, como lo son la Nafta o gasolina; la cantidad de disolvente que se debe mezclar, depende del tipo de asfalto de fraguado rápido -- que se desee.

Los Asfaltos de fraguado Medio (FM), se obtienen mezclando el asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio del tipo kerosina. Al ser regado en una superficie mezclada con materiales pétreos, el disolvente del tipo kerosina, no se evapora tan rápidamente como sucede con el -- asfalto FR, que contiene disolvente más volátil como la gasolina, de aquí viene el nombre de fraguado medio.

Los Asfaltos de fraguado Lento (FL), se fabrican -- mezclando cemento asfáltico con aceites de volatilización lenta, necesitando, un período de fraguado mucho más tardado. De hecho los materiales del tipo (FL) extraídos del fondo de la torre de destilación, son de fraguado extremadamente lento y puede, no llegar a fraguar nunca.

La maquinaria que usualmente se emplea en las refinerías para la fabricación de asfalto consiste en una serie de tanques de mezcla a los que se les conecta tuberías para la conducción de los asfaltos que circulan, a altas temperaturas y son de diversas penetraciones, a través de una boquilla situada en el fondo de cada tanque.

Estas boquillas de mezcla, se hallan también unidas a diversas tuberías, que conducen los disolventes usuales, ne cesarios para producir, los distintos tipos de asfalto.

2.- Emulsiones Asfálticas.- Una emulsión es un sistema de dos fases formadas por substancias no miscibles, de las cuales, cuando menos una es necesariamente líquida; una de ellas constituye la fase que se encuentra dispersa en la otra. La fase dispersa o interna es un medio que se encuentra en forma de pequeños glóbulos y el líquido circulante se conoce como la fase continua o externa. Se han ideado designaciones especiales para indicar cual es la fase continua y cual es la fase dispersa. Las emulsiones aceite-en-agua, tienen el aceite formando la fase dispersa y el agua es la fase continua. Lo inverso ocurre cuando la emulsión es de tipo agua-en-aceite. Para carretera se utiliza la de tipo aceite-en-agua, consistiendo de la fase dispersa de cemento asfáltico.

Para las emulsiones asfálticas normales que se emplean en vías de comunicación, el porcentaje de emulsificante que se usa es aproximadamente del 1/2 al 1% en peso, con respecto a la emulsión. Esta cantidad proporciona una protección razonable contra la coagulación de las partículas de asfalto, pero en ciertos casos, es necesario dar una protección adicional y se requiere una cantidad mayor de estos agentes. Las emulsiones se clasifican en 3 grupos de acuerdo con sus resistencias a la coagulación que son: de rompimiento rápido, conteniendo una cantidad mínima de emulsificante, emulsión de rompimiento medio y emulsiones de rompimiento lento. Los estabilizantes más comunmente empleados son la caseína y los jabones de potasio o resina de vinzol.

Existen dos métodos principales que se usan para la fabricación de emulsiones para carreteras, que son: el método del molino coloidal, en el cual la emulsión se produce de una manera continua y el método de mezclador de alta velocidad, en el que la emulsión, se produce en bachas aisladas.

3.- Asfaltos Soplados.- Durante la última parte -- del proceso del refino al residuo se le inyecta aire, para ob tener asfaltos semi-sólidos, de propiedades especiales. En la fabricación de asfaltos soplados y oxidados, el proceso de destilación se interrumpe en el momento en que el residuo es todavía líquido, en el cual el residuo es trasladado al otro tanque convertidor donde se le hace pasar aire a través de él, que se mantiene a alta temperatura.

Los asfaltos oxidados, son los más rígidos que se fabrican y tienen la propiedad de mantener una consistencia elevada a las temperaturas que deben soportar cuando se exponen a los agentes atmosféricos.

Pruebas hechas a los productos asfálticos.-

Existen pruebas aplicadas a los asfaltos para determinación de la calidad de éstos con la finalidad de asegurarse de que dichos ligantes se ajustan a las especificaciones adecuadas. Aquí se mencionan solamente las pruebas más importantes sin entrar en detalle del procedimiento de la prueba ni del equipo usado, sino sólo en que consisten y así entender las especificaciones de las tablas de la IV-1 a la IV-6.

Las pruebas se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- 1.- Pruebas para la medición de las propiedades reológicas.
- 2.- Pruebas para determinar las proporciones de sus fracciones específicas y sus componentes.
- 3.- Pruebas para mediciones diversas.
- 4.- Pruebas en emulsiones.

1.- Pruebas para la medición de las propiedades reológicas.

a) Prueba de viscosidad.

Esta prueba tiene por objeto determinar el grado de fluidez del asfalto e, indirectamente, su grado de manejabilidad.

Se coloca el viscosímetro Saybol 150 gr. aproximadamente del producto asfáltico a una temperatura de 1°C menor que la especificada para la prueba (esta temperatura varía según el tipo de asfalto). Se tapa el viscosímetro y se mantiene así durante 15 min., hasta alcanzar la temperatura de prueba. Una vez alcanzada ésta se quita el tapón que obtura el orificio y se comienza a contar el tiempo que tarda el producto en llenar un matraz de 60 cm³ pasando a través del orificio Furor. Este tiempo, en segundos, expresa la viscosidad del producto a la temperatura de prueba.

CARACTERISTICAS	Cemento asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100g. 5s. 25°C. grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furor: a 135°C, s. mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland). °C mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C. cm. mínimo	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, porcentaje, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ³ , 5h. - 163°C:				
penetración retenida, porcentaje, mínimo	40	50	54	58
pérdida por calentamiento, porcentaje, máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

Tabla 4.1 Especificaciones para cementos asfálticos

CARACTERÍSTICAS	Grado				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C, segundos	75-150				
a 50°C, segundos		75-150			
a 60°C, segundos			100-120	250-500	
a 82°C, segundos					125-250
Destilación: % del total destilado a 360°C					
hasta 190°C, mínimo	15	10			
hasta 225°C, mínimo	55	50	40	25	8
hasta 260°C, mínimo	75	70	65	55	40
hasta 315°C, mínimo	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C, % del volumen total por diferencia, mín.	50	60	67	73	78
Agua por destilación, %, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en cms., mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 4.2 Especificaciones para asfaltos rebajados de fraguado rápido.

CARACTERÍSTICAS	Grado				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C, segundos	75-150				
a 50°C, segundos		75-150			
a 60°C, segundos			100-200	250-500	
a 82°C, segundos					125-250
Destilación: % del total destilado a 360°C					
hasta 225°C, máximo	25	20	10	5	0
hasta 260°C	40-70	25-65	15-55	5-40	30 máx
hasta 315°C	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C, % del volumen total por diferencia, máx.	50	60	67	73	78
Agua por destilación, %, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en cms., mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 4.3 Especificaciones para asfaltos rebajados de fraguado medio.

CARACTERISTICAS	Grado				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Prueba de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C, mínimo	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C, segundos	75-150				
a 50°C, segundos		75-150			
a 60°C, segundos			100-200	250-500	
a 82°C, segundos					125-250
Destilación: destilado total a 360°C, % en volumen	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx
Agua por destilación, %, máximo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, %, mínimo	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, segundos	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm., mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Tabla 4.4 Especificaciones para asfaltos rebajados de traguado lento.

CARACTERISTICAS	Grado				
	Rompimiento rápido		Rompim. medio	Rompimiento lento	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, seg.	20-100		100 mín	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, seg.		75-400			
Residuo de la destilación, N peso, mín.	57	62	62	57	57
Aparentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo	3	.3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ , %, mínimo	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl ₂ , %, máximo			30		
Retenido en la malla No. 20, %, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, %, máx.				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100g, 5 seg., grados	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo	40	40	40	40	40

NOTA: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C a 40°C.

Tabla 4.5 Especificaciones para emulsiones asfálticas amónicas.

CARACTERISTICAS	Grado					
	Recipimiento rápido		Recipimiento medio		Recipimiento lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, seg.	20-100	100-400	50-500	50-500	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, seg.	60	65	60	65	57	57
Residuo de la destilación, % peso, mín.						
Asentamiento en 5 días, diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla 20, %, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua; agregado seco, % de cubrim., mín.			80	80		
Agregado húmedo, % de cubrim., mín.			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, %, máx					2	2
Carga de la partícula pil, máximo	positiva	positiva	positiva	positiva	6.7	6.7
Disolvente en volúmen, %, máximo	3	3	20	12		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100g, 5 seg., grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-250	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, %, mínimo	97	97	97	97	97	97
Juicilidad, 25°C, mínimo	40	40	40	40	40	40

NOTA: La misma que la tabla 4.5.

Tabla 4.6 Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas.

b) Prueba de Penetración.

El objeto de esta prueba es determinar el grado de dureza de un cemento asfáltico original o del residuo obtenido de la destilación de asfaltos rebajados.

Se coloca asfalto en una caja que a su vez está dentro de un recipiente con agua caliente para mantener así la temperatura especificada de prueba; éste se pone en el penetrómetro (aparato con una aguja y una carátula graduada para poder medir la penetración). Se deja caer libremente la aguja durante 5 seg., al cabo de los cuales se lee en la carátula la distancia penetrada (la profundidad que penetra la aguja, expresada en décimas de milímetros, se denomina grados de penetración).

c) Prueba del punto de reblandecimiento.

Tiene por objeto determinar la temperatura a la cual el asfalto alcanza un estado específico de fluidez.

En esta prueba se vacía el asfalto en unos anillos de una determinada altura. Se coloca una esfera en la cara superior de la muestra y se eleva la temperatura en una relación de 5°C por minuto. La temperatura que marque el termómetro en el instante que la bola toque a la placa inferior se le llama punto de reblandecimiento.

d) Pruebas de ductilidad.

Como su nombre lo dice, tiene por objeto determinar el grado de ductilidad que presenta el producto asfáltico.

Se coloca una briqueta (una especie de pequeño cilindro) de asfalto entre dos mordazas. Se empieza a "jalar" la briqueta moviendo una mordaza en dirección paralela al eje de ésta hasta que se produzca su rompimiento. Esta distancia

medida en centímetros expresa la ductibilidad del asfalto. La velocidad de desplazamiento de la mordaza debe ser de - - 5 cm/min.

2.- Pruebas para determinar las proporciones de sus fracciones específicas y sus componentes.

a) Prueba de destilación.

Esta prueba se aplica a los asfaltos rebajados y -- tiene por objeto determinar la cantidad de disolvente que con tiene el producto y sus características de volatilización. Al residuo de esta destilación se le verifican las pruebas de pe netración, punto de reblandecimiento y solubilidad.

Se colocan en un matraz de destilación 200 gr. del asfalto rebajado calculando su volumen; se le va elevando la temperatura para que los disolventes se desprendan. Se hace pasar agua fría por un condensador conectado al matraz para - que los disolventes volátiles se condensen y sean recibidos - en una probeta graduada. Se calcula el volumen de los disolventes ya condensados y se puede obtener el porcentaje de - - éstos en el asfalto rebajado.

b) Prueba para la determinación de la pérdida por - calentamiento.

La prueba de pérdida por calentamiento de los asfal tos y sus disolventes es prácticamente una prueba de destilación y su objeto es medir las volatilidades relativas a las - temperaturas que normalmente se utilizan para la preparación de las mezclas asfálticas.

c) Prueba para la determinación del contenido de - agua.

El objeto de la prueba es determinar la cantidad de

agua presente en asfaltos rebajados para detectar la existencia de contaminaciones indebidas, o bien, asegurarse de que no se producirá espuma durante el calentamiento de los mismos.

Se coloca asfalto disuelto con gasolina que no contenga agua, en un matraz conectado a una trampa y a un condensador y se empieza a calentar lentamente. El volumen de agua condensada y recogida en la trampa representa el porcentaje de agua presente en el producto asfáltico.

d) Prueba de solubilidad.

El objeto de esta prueba es determinar el porcentaje de asfalto en un material asfáltico, ya sea cemento asfáltico o residuo de la destilación de asfaltos rebajados. En México se emplea el tetracloruro de carbono como disolvente.

3.- Pruebas para mediciones diversas.

a) Prueba del punto de inflamación.

Esta prueba tiene por objeto determinar la temperatura crítica arriba a la cual se debe tomar precauciones para eliminar los peligros de incendio durante el calentamiento y la manipulación del material.

Se llena una copa de material asfáltico y se calienta por la parte inferior, en tal forma que la temperatura del asfalto suba en una relación aproximada de 1.5°C por minuto. A intervalos de cada grado centígrado se pasa una pequeña flama horizontalmente por los bordes de la copa y se observa si se produce unas pequeñas chispas. Cuando suceda ésto se tiene la temperatura correspondiente al punto de inflamación.

b) Prueba de la película delgada.

El objeto de la prueba es obtener una indicación --

general de la cantidad de endurecimiento que puede sufrir el asfalto durante la operación de mezclado con los materiales pétreos.

Se toma una muestra normal de asfalto para efectuarle la prueba de penetración y se mete a un horno con una temperatura constante durante 5 hrs. Después se deja enfriar y se le aplica la prueba de penetración. La penetración del asfalto después de sacado del horno se expresa como un porcentaje de la penetración antes de llevarlo al horno.

4.- Pruebas en emulsiones.

a) Prueba de asentamiento.

El objeto de la prueba es obtener un índice de la estabilidad que las emulsiones tienen para soportar un almacenamiento prolongado, detectando la tendencia al asentamiento de los glóbulos del asfalto en la emulsión y de esta manera proteger a la emulsión durante su almacenamiento utilizando algún elemento que evite la separación del asfalto y del agua.

Se depositan 500 gr. de emulsión en una probeta y se mantiene en reposo durante 5 días. Después se obtiene 50 gr. de emulsión de la parte superior de la probeta y se le determina su contenido asfáltico. Se sacan 400 gr. de la probeta y a los 50 gr. restantes, incluyendo el sedimento depositado, se le determina su contenido de asfalto. La diferencia del porcentaje del contenido asfáltico de la muestra del fondo de la probeta y el obtenido de la muestra de la parte superior es el asentamiento de la emulsión en 5 días.

b) Prueba para la determinación del retenido en la malla No. 20.

El objeto de esta prueba es ver si una emulsión - -

contiene grumos de asfalto coagulado, que en algunas veces, entorpece el funcionamiento de los distribuidores de presión; además es una prueba complementaria de la de asentamiento y determina cuantitativamente el porcentaje de cemento asfáltico presente en la emulsión en forma de trozos. El material retenido en la malla No. 20 se expresa como porcentaje de la muestra de emulsión.

c) Prueba de miscibilidad con cemento.

Esta prueba se aplica únicamente a las emulsiones de fraguado lento y su objeto es determinar la resistencia de la emulsión a la coagulación por adición de electrolitos, deshidratación y fricción o mezcla con agregados finos.

d) Prueba de destilación.

Esta prueba se efectúa en las emulsiones para determinar la cantidad de agua en las emulsiones asfálticas y obtener el residuo asfáltico para poder efectuar las pruebas de penetración y ductibilidad.

e) Prueba de viscosidad.

Se hace para medir las propiedades de fluencia de las emulsiones y no tiene relación con la viscosidad del asfalto que forma parte de ella.

El procedimiento es igual que para los asfaltos rebajados y cementos asfálticos, variando únicamente la temperatura de prueba.

f) Prueba para determinación del PH.

Esta prueba se utiliza para identificar las emulsiones catiónicas de rompimiento lento determinando su grado de acidez y se usa en lugar de la prueba de carga de la partícula. Con esta prueba se determina la acidez o alcalinidad (PH) de la emulsión.

Proyecto del Concreto Asfáltico.-

El concreto asfáltico es una mezcla asfáltica elaborada en planta y en caliente a base de algún tipo de cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados.

Además de la cantidad y tipo de cemento asfáltico, las principales características de un concreto asfáltico están determinadas por las cantidades relativas de agregado grueso retenido en la malla No. 8 (2.38 mm), de agregado fino que pasa la malla No. 8 y el polvo mineral que pasa la malla No. 200 (0.074 mm).

El método que aquí se describe para el proyecto de concreto asfáltico es el método de Marshall. Este es aplicable para mezclas de tamaño máximo de agregados de 2.54 cm. (1"); puede realizarse tanto para el diseño en el laboratorio como para un control de campo del concreto asfáltico.

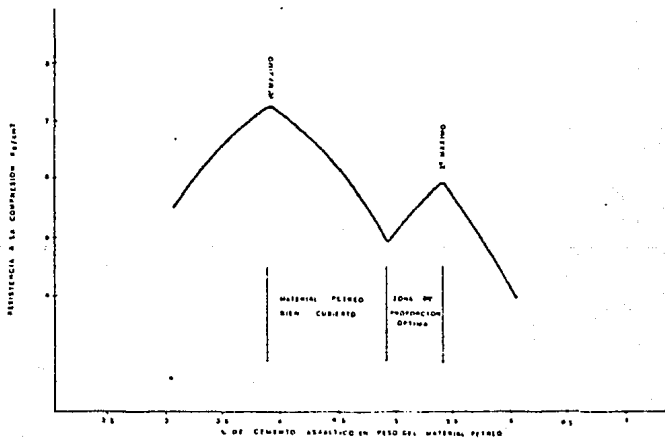


Figura IV.1 Obtención de la proporción óptima de asfalto por pruebas de compresión sin confirmar.

En este método los especímenes de prueba de 2.5" de altura y 4" de diámetro se preparan de acuerdo a un procedimiento especificado; estas muestras se preparan variando la cantidad de asfalto, siendo las cantidades típicas de 4.4.5, 5.5.5%, etc., además se elaboran de 3 a 5 especímenes para cada contenido de asfalto usado. El procedimiento y el grado de compactación de éstos varía de acuerdo a la condición de cargas a que vaya a estar sujeto el concreto asfáltico durante su vida, es decir, si se va a diseñar para tráfico ligero, pesado, etc.

Las tres principales características del diseño de la mezcla son la determinación de la gravedad específica de la mezcla, análisis de su densidad y porcentajes de vacíos que presenta, así como la obtención de su estabilidad y fluencia.

La estabilidad es la máxima resistencia, en kilogramos, de la muestra a 140°F (60°C) y el valor de fluencia es la deformación, expresada en milímetros, que experimenta durante la realización de la prueba de estabilidad.

Las temperaturas de mezclado y compactación para el asfalto son aquéllas con las que tenga viscosidades de 85 10 seg. y 140 15 seg., Saybolt Furol respectivamente.

El aparato de prueba está diseñado para aplicar cargas a través de cabezas semicirculares con una relación de deformación de 2"/min. Consta además de un anillo calibrado para determinar la carga aplicada y la cantidad de deformación para la carga máxima de la prueba.

A continuación daremos brevemente el procedimiento de prueba:

La gravedad específica de los especímenes se puede determinar con la siguiente ecuación,

$$G = \frac{W_a}{V} = \frac{W_a}{W_{pa} - W_{pw} - \left(\frac{W_{pa} - W_a}{G_p} \right)}$$

donde:

- G = gravedad específica de la muestra (densidad).
- W_a = peso al aire de la muestra sin parafina.
- W_{pa} = peso al aire de la muestra con la capa de parafina.
- W_{pw} = peso de la muestra con parafina en el agua.
- G_p = gravedad específica de la parafina (0.9gr/cm³).

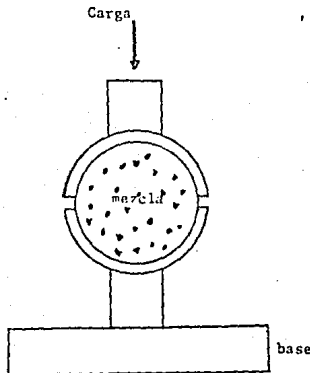


Figura IV.2 Dibujo esquemático del aparato de Marshall para medir la estabilidad y fluencia.

Las pruebas de estabilidad y fluencia se lleva a --
cabo en el aparato antes descrito. Las muestras se someten a
un baño previo en agua a 60°C durante 30 ó 40 minutos, después
se saca cuidadosamente su superficie y se coloca en la cabeza
inferior del aparato aplicando la carga de prueba con la cabe
za superior con una relación de deformación de 2"/min. hasta
que ocurra la falla. Se debe tener cuidado de que la prueba
se lleve a cabo en un tiempo máximo de 30 seg.

Se obtiene la densidad promedio (gravedad especifi-
ca teórica) de las muestras considerando los valores obtenidos
a partir de la ecuación para cada contenido de asfalto.

La máxima gravedad específica teórica de una mezcla
es la gravedad especificada de la mezcla que no contenga va-
cios en ella y se puede calcular con la ecuación 4.2.

$$G_{mm} = \frac{W_{mm}}{V_{mm}} \quad (4.2)$$

donde:

G_{mm} = máxima gravedad específica teórica de la mezcla
sin vacíos.

W_{mm} = peso al aire de la muestra sin compactar.

V_{mm} = volumen de la muestra sin huecos que es igual
al peso del agua desalojada por ella.

Se debe hacer notar que el valor correcto de los --
vacíos en una mezcla compactada depende del contenido efecti-
vo de asfalto y no el contenido total de éste.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene restan-
do la cantidad de asfalto perdido debido a la absorción del -
agregado del contenido total de la mezcla.

Las pruebas de estabilidad y fluencia se lleva a --
cabo en el aparato antes descrito. Las muestras se someten a
un baño previo en agua a 60°C durante 30 ó 40 minutos, después
se saca cuidadosamente su superficie y se coloca en la cabeza
inferior del aparato aplicando la carga de prueba con la cabe
za superior con una relación de deformación de 2"/min. hasta
que ocurra la falla. Se debe tener cuidado de que la prueba
se lleve a cabo en un tiempo máximo de 30 seg.

Se obtiene la densidad promedio (gravedad especifi
ca teórica) de las muestras considerando los valores obtenidos
a partir de la ecuación para cada contenido de asfalto.

La máxima gravedad específica teórica de una mezcla
es la gravedad especificada de la mezcla que no contenga va--
cíos en ella y se puede calcular con la ecuación' 4.2.

$$G_{mm} = \frac{W_{mm}}{V_{mm}} \quad (4.2)$$

donde:

G_{mm} = máxima gravedad específica teórica de la mezcla
sin vacíos.

W_{mm} = peso al aire de la muestra sin compactar.

V_{mm} = volumen de la muestra sin huecos que es igual
al peso del agua desalojada por ella.

Se debe hacer notar que el valor correcto de los --
vacíos en una mezcla compactada depende del contenido efecti
vo de asfalto y no el contenido total de éste.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene restan
do la cantidad de asfalto perdido debido a la absorción del -
agregado del contenido total de la mezcla.

Para determinar la pérdida de asfalto por absorción, es necesario encontrar primero la gravedad específica virtual del agregado, la cual se basa en la suposición de que no hay absorción de asfalto.

$$G_v = \frac{W_{ag}}{V_{mm} - \frac{W_{tac}}{G_{ac}}} \quad (4.3)$$

donde:

- G_v = gravedad específica virtual del agregado.
- W_{ag} = peso del agregado en la muestra.
- W_{tac} = peso del contenido total de asfalto en la mezcla.
- G_{ac} = gravedad específica del asfalto.

La cantidad de asfalto perdido por absorción puede calcularse con la ecuación 4.4.

$$\Delta_{ac} = \frac{G_u - G_{ag}}{G_u \cdot G_{ag}} \times 100$$

donde:

- Δ_{ac} = asfalto perdido por absorción como porcentaje del peso de agregado seco.
- G_{ag} = gravedad específica del agregado.

De la ecuación 4.5 se puede obtener el contenido -- efectivo de asfalto en la mezcla:

$$P_{eac} = \frac{P_{tac} - \frac{\Delta_{ac}}{100} (100 - P_{tac})}{100 - \frac{\Delta_{ac}}{100} (100 - P_{tac})} \times 100 \quad (4.5)$$

donde:

- P_{eac} = contenido efectivo de asfalto como porcentaje del peso total del agregado.

Ptac = contenido total de asfalto como porcentaje -
del peso total del agregado.

El porcentaje de huecos en una mezcla compactada --
puede encontrarse según la ecuación 4.6.

$$Vv = 100 - Pgm$$

donde:

Vv = volumen de vacíos como porcentaje del volumen
de la mezcla compactada.

Pgm = Gmb/Gmm = gravedad específica media expresada
en porcentaje de la máxima gravedad específica
teórica de la mezcla (Gmm).

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se -
trazan las siguientes gráficas con los valores promedios obte-
nidos de las distintas muestras para cada contenido de asfal-
to:

- Estabilidad - contenido de asfalto.
- Fluencia - contenido de asfalto.
- Densidad - contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos en la mezcla - contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos en los agregados minerales - contenido de asfalto.

Un ejemplo de estas curvas se muestra en la figura
IV.3.

Las tendencias del comportamiento notadas general--
mente al variar el contenido de asfalto de una mezcla son:

El valor de la estabilidad aumenta al ir aumentando el contenido de asfalto hasta un máximo después del cual la estabilidad decrece.

El valor de fluencia se incrementa con el aumento del contenido de asfalto.

La curva de densidad de la mezcla es similar a la curva de estabilidad excepto que la máxima densidad normalmente (pero no siempre) ocurre con un contenido de asfalto ligeramente mayor que para la máxima estabilidad.

El porcentaje de vacíos en la mezcla disminuye con el incremento del contenido de asfalto.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral generalmente decrece hasta un valor mínimo, después se incrementa con el aumento del contenido de asfalto.

Con los datos de las curvas de la fig. IV.3, auxiliados con los valores límites aceptados para los ensayos enlistados en la table IV.4 se puede obtener el contenido óptimo de asfalto tal que produzca la máxima estabilidad. La máxima densidad y el valor medio de los límites dados en la tabla citada para el porcentaje de vacíos en la mezcla. El contenido óptimo de la mezcla es entonces el promedio de los valores del contenido de asfalto para que se cumplan las características anteriores.

Suóngase que los datos mostrados en la fig. IV.3 representan los resultados de unos ensayos en el laboratorio para dosificar un concreto asfáltico para aeropistas y un tamaño máximo de agregado de 3/4". Para encontrar el contenido óptimo de asfalto, se obtendrá de las gráficas:

Contenido de asfalto para la máxima estabilidad	4.8%
Contenido de asfalto para la máxima densidad	5.1%
Contenido de asfalto para dar 4% de vacíos a la mezcla (valor medio de 3 y 5% dados en la tabla IV.4)	<u>4.3%</u>
Contenido óptimo de asfalto (promedio)	4.7%

Con este contenido de asfalto (4.7%), las propiedades de la mezcla que se obtienen de las gráficas trazadas en la fig. IV.3 tiene los siguientes valores:

Estabilidad	850 Kg.
Fluencia	2.45 mm
Porcentaje de vacíos en la mezcla	2.8
Porcentaje de vacíos en el agregado	14.4

Comparando estos resultados con los valores dados - en la tabla IV.4 se observa que la estabilidad excede el mínimo requerido que es de 700 Kg.; el valor de la fluencia está dentro del rango de 2 a 4 mm. y que el porcentaje de vacíos - en el agregado mineral pasa al mínimo requerido (que es de 14). Sin embargo, el porcentaje de vacíos en la mezcla está por de bajo del límite anotado en la tabla. Se deben hacer ajustes en la mezcla para proporcionar un diseño de mezcla teniendo todas sus propiedades dentro de los límites permitidos; el diseño de la mezcla elegido será aquel que además de cumplir -- con las especificaciones, sea el más económico.

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico.	Para Aeropistas.
Número de golpes por cara		75
Estabilidad mínima, kiloc ramos	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.	700
Flujo en milímetros	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.	2-4
Porcentaje de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	Para carpetas y mezclas de renovación.	3-5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) respecto al volumen del espécimen de la mezcla de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo.*	Para bases asfálticas	3-8
	4.76 mm (Núm. 4)	10
	6.35 mm (1/4 pulg)	17
	9.51 mm (3/8 pulg)	16
	12.7 mm (1/2 pulg)	15
	19.0 mm (3/4 pulg)	14
	25.4 mm (1 pulg)	13

*Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y bacheo.

Tabla.4.10 Límites para los resultados de los ensayos.

CAPITULO V

CONSTRUCCION DE LA CARPETA ASFALTICA

Importancia de una construcción adecuada.-

La construcción de un pavimento está regido por -- condiciones singulares y únicas, dependiendo de una multitud variable cuya determinación específica creará varios cambios o alternativas recomendables como solución; la elección de -- una de ellas estará sujeta a su vez de dos objetivos finales: la economía y el tiempo, que fijarán la vialidad y aprobación de ésta.

La incertidumbre se inicia con las numerosas teo-- rías que tratan de explicar el comportamiento del pavimento. Todas ellas parten de hipótesis más o menos lógicas, pero es tablecen parámetros de resistencia, condiciones de frontera y criterios de falla que no están comprobados experimentalmente, excepto en condiciones de prueba muy particulares.

Tomando en cuenta lo anterior, puede establecerse que los criterios de diseño en uso son del tipo convencional y su validez depende fundamentalmente de la evidencia que -- los respalda, apareciendo como única luz y guía en el dilema, las pruebas de laboratorio, que son exclusivamente índices -- de ciertas características de los materiales.

Toca al proyectista definir el diseño y la cons-- trucción adecuados donde deberá considerar el tipo de tránsito, clima, condiciones regionales, vida del proyecto, disponibilidad de materiales y la facilidad de conservación

La importancia de la pavimentación que provee de -- una cubierta artificial a una superficie de tierra estriba --

en sus finalidades. Algunos propósitos reconocidos como importantes, como ya mencionamos anteriormente, son: el soporte de las cargas sobrepuestas, la protección de la tierra de los daños que pueda causar el agua o las condiciones climáticas, formación de una superficie sólida para el desplazamiento por tracción con un mínimo de deslizamiento. Estas funciones serán cumplidas a medida que la calidad del pavimento sea satisfactoria, tanto en su etapa de diseño como en su construcción.

Todo lo anterior implica la necesidad de un control riguroso y minucioso si se quiere cumplir con los fines para los que se diseñó el pavimento.

La construcción de un aeropuerto implica que éste deberá ser adecuado para atender las necesidades del transporte aéreo actuales y futuras. Conforme aumentan las actividades de la población de la ciudad, se incrementa notablemente el número de personas que hacen uso del transporte terrestre y aéreo, lo cual, en el último caso, va acompañado de un desarrollo de la técnica aeronáutica que permite construir aviones cada vez más pesados y grandes, además, el incremento del número de operaciones hacen que los pavimentos estén en condiciones muy severas de servicio, trayendo como consecuencia la necesidad de actualizar la construcción de pavimentos en aeropuertos, lo cual implica una estructuración y terminación adecuadas para una operación eficiente y segura.

En el caso de la construcción de pavimentos en aeropuertos, se podrá decir que una construcción adecuada es --aquella que cumpla con los siguientes puntos: deberá tender a la máxima eficiencia, satisfacer la resistencia requerida en los pavimentos, reducir el mantenimiento de los mismos, evitar las pérdidas de pendientes, utilizar en la construcción,

hasta donde sea posible, materiales que se encuentren en la zona y buscar un método constructivo rápido y económico.

La construcción de superficies pavimentadas se puede realizar de diferentes maneras, mismas que dependen de -- los materiales usados para la pavimentación. Los materiales más comunes para pavimentar; son el asfalto y el concreto -- hidráulico. Aquí expondremos los procedimientos constructivos para pavimentos flexibles, hacia los cuales está enfocado este trabajo.

Drenaje en Aeropuertos.-

Ya se ha visto con anterioridad que el escoger una zona para la localización de un aeropuerto se debe buscar -- que dicha zona drene libremente con el fin de reducir las -- obras de drenaje y abaratar su costo. Sin embargo, con frecuencia la localización abarca terrenos inestables que requieren un drenaje adecuado tanto superficial como subterráneos. Como las cunetas profundas y las zanjas no son recomendables, se puede recurrir a otro medio para captar y desalojar el -- agua superficial. El sistema de drenaje que se emplea debe de ser resistente ya que algunas de sus partes estarán sometidas a las fuertes presiones de los grandes aviones que aterrizan y pasan sobre ellos.

Para poder proyectar un drenaje adecuado en un aeropuerto es necesario contar con los siguientes elementos de -- trabajo:

- a) Un plano topográfico del lugar y de las zonas que lo circundan.
- b) Un plano con curvas de nivel a 0.25 m. ó a 0.50 m. de equidistancia.

- c) Un plano con los perfiles y secciones transversales a lo largo del eje de las aeropistas, calles de rodaje y plataformas.
- d) Datos de precipitación pluvial en la zona y condiciones climáticas.
- e) Estudio de las características de los materiales que forman el subsuelo de la zona.

Debido a que existe una fuerte diferencia con relación a la calidad de agua que debe ser desalojada según que se emplee una u otra de las fórmulas conocidas, la experiencia local y un buen criterio deben ser siempre aspectos que deben jugar un papel importante.

Para calcular el escurrimiento superficial en los aeropuertos se empleará aquí nada más el método de la ARMO por creer que es el más adecuado, de fácil aplicación y que ha sido experimentado con muy buenos resultados por más de 25 años. El método aplica la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{AIR}{36f}$$

donde:

- Q = volumen en m³/seg. de escurrimiento del área A.
- A = área a drenar en hectáreas.
- I = factor de impermeabilidad o escurrimiento superficial.
- R = precipitación pluvial en cm. por hora, medida durante una hora.
- f = factor por compensación por pendiente, y que a la vez afecta al tiempo de concentración. Este factor tiene los valores siguientes:

Para pendientes de 0.5% o menos, $f = 3$

Para pendientes de 0.5% a 1%, $f = 2.5$

Para pendientes mayores de 1%, $f = 2$

Como generalmente las pequeñas áreas parciales de drenaje de los aeropuertos presentan la misma pendiente, -- aproximadamente, se puede entonces escoger el valor f con -- bastante aproximación.

Supóngase que se quiere calcular el escurrimiento en un aeropuerto conociendo que:

Area de drenar = 4 Ha.

Factor de escurrimiento = $I = 0.20$

Precipitación pluvial = $R = 5 \text{ mc/hr.}$

Declive promedio del terreno = 0% , por lo que $f=3$

$$Q = \frac{4 \times 0.2 \times 5}{36 \times 3} = 0.037 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Si se considera una pendiente para el tubo de drenaje de $S = 0.005$, un coeficiente de rugosidad del mismo de 0.021 y trabajando a tubo lleno, entonces, aplicando la fórmula de Manning, se necesitará un tubo de un poco menos de -- 30 cm. para drenar los $0.037 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Se verá ahora el caso de que se quisiera calcular el diámetro de los tubos combinados para drenar una aeropista pavimentada con pendiente transversal de 0.05% , con ancho de 30 m. y longitud de 850 m. , la precipitación pluvial de 5 cm/hr. en una hora, factor de escurrimiento $I = 0.9$ y pendiente del tubo de 0.005 .

$$Q = \frac{0.104}{850} = 0.0001225 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Ahora bien, según la fórmula de Manning, para una pendiente $0.5\% = 0.005$ y un coeficiente n de 0.021 , un tubo de 25 cm. de diámetro llevará $0.09 \text{ m}^3/\text{seg.}$, y uno de 30 cm. llevará $0.14 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Así, pues, el total de metros lineales de tubo de 25 cm. que se necesitará al principio de la línea será:

$$0.0001225 \times D = 0.09$$

$$\therefore D = \frac{0.09}{0.0001225} = 735 \text{ m. de tubo de } 25 \text{ cm.}$$

El resto de la tubería, o sea $850 - 735 = 115 \text{ m.}$, de la línea, será de tubo de 30 cm. de diámetro, ya que puede descargar $0.14 \text{ m}^3/\text{seg.}$, mientras que la cantidad total calculada a recibir es de $0.104 \text{ m}^3/\text{seg.}$

En cuanto al drenaje subterráneo en los aeropuertos, como el sistema de drenaje se proyecta para dar salida al agua de la superficie de una a tres horas después del aguacero, normalmente no se necesita aumentar la capacidad del sistema de drenaje superficial para recibir también el agua subterránea se usan drenes combinados.

Fabricación de mezcla asfáltica.-

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas -- por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación

resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es secado y calentado entre 133°C (275°F) y 177°C (350°F) en la planta antes de entrar en la mezcladora. Después de calentado, el agregado se cribará en los tamaños especificados, que se depositarán en compartimientos listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregados, se procederá a pesarlos - exactamente, proporcionando sus cantidades de acuerdo con lo anteriormente explicado, de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificando se introduce en la mezcladora y a continuación - se añade el cemento asfáltico, se calienta en pailas o tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme. No deberá calentarse a más de 177°C (350°F). La cantidad de cemento asfáltico la fija el laboratorio.

La temperatura de la mezcla al salir de la mezcladora está comprendida entre 135°C (275°F) y 177°C. El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que se termine de introducir el cemento asfáltico hasta que la mezcla salga de la mezcladora. En el caso de plantas de mezclado continuo, el tiempo de mezclado, en segundos, vendrá dado por la fórmula.

Capacidad de la planta en kilos

Kilos por segundo que salen de la planta.

La mezcla será transportada de la planta de mezcla al lugar de uso en camiones de volteo, que deberán limpiarse cuidadosamente para evitar que entren materias extrañas - en la mezcla y untarse interiormente de aceite o petróleo para evitar que la mezcla se adhiera. Los camiones tendrán una lona o encerado que cubra la mezcla mientras dure el transporte, en casos de tiempo inseguro o distancias a recorrer muy

largas. La mezcla se descargará en la terminadora, a una temperatura comprendida entre 135°C (275°F) y 177°C (350°F) y aún a temperaturas más bajas, si un laboratorio le autoriza, siempre que los resultados del extendido y la compactación sean satisfactorios. A menos de disponer de luz artificial, no se podrá continuar el trabajo cuando por la hora -- del día la luz no permita ejecutarlo a entera satisfacción. La mezcla sólo se extenderá sobre la base cuando ésta esté seca y las condiciones del tiempo lo permitan. Antes de empezar la operación, la base deberá barrerse o limpiarse por medio de aire a presión hasta que no quede ningún material suelto sobre la calzada.

La mezcla se espaciará en franjas de 3 a 3.60m. de ancho, en capas de espesor uniforme, por medio de una máquina terminadora o extendidora con una velocidad de 3 a 6 metros por minuto, que no produzca arranques o desgarramientos en la capa de la mezcla asfáltica que se está extendiendo. La colocación de la mezcla será tan continua como sea posible y las máquinas sólo pasarán sobre un borde no protegido de una carpeta recién colocada, cuando la colocación de esta carpeta vaya a suspenderse por tanto tiempo que permita enfriarse a la mezcla.

En los tramos adyacentes a cunetas, brocales, etc., aún no construídos, deberán usarse formaletas que den soporte lateral al pavimento durante la compactación. Lograda la compactación inicial, se desmontará y se rellenará el hueco hasta el hombrillo con material adecuado que se compactará de modo que el hombrillo tenga el ancho requerido tal como muestren los planos.

Inmediatamente después de terminada la extensión de una capa y antes de comenzar la compactación, deberá com-

probarse la superficie y corregirse cualquier desigualdad que aparezca, agregando o quitando material con rastrillos. Las irregularidades en alineación y rasante a lo largo de los -- bordes exteriores deberán corregirse, por adición o extrac-- ción de mezcla, antes de compactar dichos bordes.

Un obrero especialista, situado junto a la extende dora, se ocupará de la corrección de todas las irregularida-- des. En los lugares inaccesibles a la máquina extendora, el trabajo podrá ejecutarse a mano, por métodos aceptados por el laboratorio y por el Ingeniero Inspector. En esos casos, se descargará la mezcla sobre una plancha de acero situada - fuera del lugar donde va a extenderse la mezcla y desde ella se esparcirá con palas y rastrillos calientes, en una capa - uniforme, suelta, del espesor debido.

Las mezclas no se descargarán más rápidamente de lo que puedan distribuir los paleros, ni éstos distribuirán más rápidamente de lo que puedan esparcir los rastrilleros. Estos no deberán estar sobre la mezcla al rastrillar, salvo cuando estén corrigiendo defectos del primer rastrillado, en cuyo - caso estarán equipados con calzado adecuado.

El rastrillado deberá hacerse con tanto cuidado, - que después de la primer pasada de la aplanadora, sólo se re quiera una ligera proporción de bacheo.

Maquinaria que se utiliza en la pavimentación de un aeropuerto.-

Las mezclas asfálticas se extienden usualmente con extendedoras y terminadoras, también llamadas pavimentadoras, las cuales extienden la mezcla caliente de materiales asfíl-- ticos que reciben de los camiones de descarga por su extremo.

Las pavimentadoras extienden y compactan parcialmente la mezcla hasta obtener una superficie uniforme. Todas las pavimentadoras constan esencialmente de tolva, cintas -- transportadoras, tornillos distribuidores y maestras.

Existen dos tipos principales de pavimentadoras modernas en uso que compactan parcialmente la mezcla: con barras apisonadoras y con maestras vibratorias.

La conformadora es la parte más importante de la pavimentadora, ya que debe extender el material de pavimentación uniformemente y con exactitud para obtener una superficie lisa y homogénea. La conformadora extiende todo el material en el ancho de la carpeta que se está colocando. La mezcla caliente enviada por el transportador a la parte trasera de la pavimentadora se distribuye luego lateralmente a lo ancho de la conformadora mediante miembros giratorios de forma de tornillo.

La operación de la pavimentadora en la colocación de un pavimento asfáltico comienza con el acomodo de un camión cargado de mezcla caliente, con la cola apuntada hacia la pavimentadora. Estando levantada la caja del camión para descargar gradualmente su contenido, la pavimentadora engrana sus ruedas traseras y las alista para empujar. Cuando hay suficiente material en la tolva de ésta y se asegura la alimentación continua a la emparejadora, la pavimentadora empieza a moverse hacia adelante empujando el camión que se está descargando. Esto da a la pavimentadora la capacidad de su tolva más la del camión para operación continua. Las velocidades de recorrido son de 3 a 6 Km/hr., como máximo. Esta es una velocidad muy alta para maniobrar entre los trechos de pavimento en un lugar de trabajo.

Las pavimentadoras se diseñan para un ancho básico de pavimento de 6 a 10 pies. El ancho que cubre cada una -- puede cambiarse con extensiones de 2 a 10 pies de la conformadora y del esparcidor de tornillo. Dichas variaciones conducen a un ancho de pavimento de 6 a 19 pies para una sola - pavimentadora.

Para obtener un buen funcionamiento de una pavimentadora, exige lo siguiente:

1.- La pavimentadora debe funcionar tan continua-- mente como sea posible. Debido a que la mezcla se enfría y la excesiva viscosidad del asfalto impide una extensión y -- compactación adecuada, dando lugar a irregularidades en la - superficie terminada y a puntos con densidad insuficiente.

2.- En la tolva debe mantenerse material suficiente para suministrar a los tornillos extendedores mezcla suficiente para cubrir al menos dos tercios de su profundidad hasta sus extremos.

3.- La velocidad de avance de la terminadora debe regularse según el tipo y espesor de mezcla que se está extendiendo.

4.- La maestra debe calentarse al empezar el trabajo cuando se empleen mezclas frías o en cualquier otro momento que sea necesario.

5.- Normalmente pueden obtenerse juntas satisfactorias en frío, pero siempre es deseable obtener juntas en caliente cuando el volumen de trabajo justifique el empleo de dos terminadoras.

Los puntos esenciales para obtener buenas juntas -
son:

a) Las juntas en dos capas sucesivas no deben superponerse, sino desplazarse al menos 15 cm.

h) Las juntas deben de ser rectas. Es imposible - obtener una junta si la pavimentadora avanza en zig-zag a un lado y otro de la línea deseada.

c) En la primera capa extendida debe mantenerse una cara tan aproximadamente vertical como sea posible.

d) Las juntas deben mantenerse limpias y libres de material suelto.

e) El solape debe mantenerse uniforme. El solape deseable depende del tipo de mezcla y del espesor de la capa, siendo necesario en general un solape de 5 cm. para tener material que permita la compactación, obteniendo una buena junta, densa y no permeable.

f) Cuando se extiende material junto a una superficie previamente compactada debe obtenerse un espesor suficiente para la compactación. El exceso de altura de la capa sin compactar sobre la compactada varía con el tipo de mezcla, el espesor de las capas y el esfuerzo de compactación - aplicado.

g) Debe apisonarse las juntas tan pronto como sea posible, aplicando la mayor parte del peso de la apisonadora sobre una franja estrecha (usualmente de 7.5 cm. a 15 cm.) - del rodillo. Para conseguirlo se hace funcionar la apisonadora sobre la franja terminada con solamente 7.5 a 15 cm. de

una rueda apoyándose en la nueva franja.

h) El apisonado debe comenzar en la junta. Una -- vez que se ha compactado perfectamente la junta y una anchura de unos 30 cm. aproximadamente a partir de ella se empieza a apisonar por el otro lado hasta apisonar toda la franja.

Aplanadoras de rodillo liso, las apalanadoras usadas en la construcción son pesadas y son autoimpulsadas por su propia unidad de potencia. Las primeras aplanadoras de este tipo tenían dos ejes y la potencia se aplicaba en el eje trasero, mismo que impulsaba dos rodillos lisos de acero montados como las ruedas traseras de un automóvil. Hoy en día se utiliza el mismo diseño básico y cada uno de los rodillos posteriores es de casi 6 pies de diámetro y no más de 2 pies de ancho; el ancho total de los rodillos puede fácilmente -- abarcar el ancho de un carril de carpeta.

La aplanadora con triple rodillo puede tener rodillos de rayos o cilindros huecos que pueden cargarse con agua u otro fluido como lastre. Estas son, probablemente, las -- aplanadoras de peso estático más conocidas y cuyo uso es muy común. Este tipo de aplanadoras, tienen un peso que oscila entre 7 y 12 toneladas. El material de lastre puede aumentar su peso en un 15 a 35%. Esto da un máximo de 200 lbs/pulg. del ancho del rodillo frontal de gufa y aproximadamente 500 lbs/pul. de rodillo impulsor. Cada viaje o pasada en un sentido a una velocidad hasta de 9 km/hr. sobre la superficie que se va a compactar, equivale a una sola pasada a pesar de que los dos ejes pasan sobre el material.

Las aplanadoras de rodillo liso de acero van equipadas generalmente con barras raspadoras y dispositivos de as-

persión. Esto impide que los rodillos arrastren material en una vuelta completa y que, por lo tanto, se produzcan irregularidades adicionales durante la compactación.

Compactadores neumáticos, producen una acción de amasado del material que se transmite radialmente desde abajo del neumático para ayudar a consolidarlo. El compactador de neumáticos es un equipo diseñado especialmente como equipo de compactación que combina la acción del amasado con la del peso estático.

Individualmente, las ruedas pueden moverse hacia arriba y hacia abajo para pasar sobre terrenos duros. Este tipo de compactación es fácil de lastrar porque tiene una carrocería de tamaño apreciable soportada por varios neumáticos. Debe evitarse el sobre lastrado de cualquier equipo de compactación con el fin de asegurarse que el material, debido al peso excesivo, no reduzca su tamaño más allá del especificado.

Las ruedas están montadas en dos ejes de tal manera que las ruedas posteriores pasan por los centros que quedan entre las líneas formadas por los neumáticos frontales. Por lo tanto tienen un número impar de neumáticos, generalmente de 9 a 19.

El compactador de neumático del tipo de autopropulsión que lleva generalmente neumáticos de 15 pulgadas en la caja del portaneumáticos, se usa frecuentemente en las superficies asfálticas calientes. Los compactadores totalmente lastrados con neumáticos hasta de 14 lonas, inflados a una presión de 150 psi, dan presiones hasta de compactación comparables a las máximas que pueden aplicar los camiones o -

autobuses completamente cargados. Algunos compactadores de neumáticos se diseñan de tal forma que pueden variar la presión aplicada por los neumáticos cuando están compactando. Una presión baja del orden de 30 psi, da mayor área de contacto para las pasadas iniciales, y posteriormente, puede elevarse la presión hasta 130 psi, para la compactación final.

Las petrolizadoras de presión son las máquinas más importantes de un equipo para la construcción de carpetas asfálticas formadas por tratamientos superficiales y mezclas en el lugar. Esta máquina debe regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas, y durante todo el tiempo que dura la carga de la petrolizadora debe conservar la misma razón de riego sin que varíe ésta por cambios de pendiente o la dirección del camino.

La petrolizadora consiste de un camión con llantas neumáticas en el cual va montado un tanque equipado con algún sistema de calefacción, generalmente quemadores de aceite, que calientan directamente la tubería que pasa por todo el tanque. En la parte trasera del tanque, hay una barra con un sistema de riego por espreas, a través de las cuales se aplica el asfalto a presión sobre la superficie del camino. La barra de riego debe regar por lo menos tres metros de ancho. Se debe tener en el tanque un termómetro apropiado para comprobar en cualquier momento la temperatura del producto que se está regando. La petrolizadora debe contar también con una manguera provista, en la punta, de una boquilla para regar a mano las partes que no haya, o no se pueda regar con la barra de la misma petrolizadora. Esto ocurre, generalmente, cerca de brocales de alcantarillas de drenaje de las calles, en algunas esquinas, etc. Las petrolizadoras pueden ser de diferentes capacidades.

El control de calidad del producto asfáltico que se riega se lleva a cabo por medio de un tacómetro que es un aparato similar a un velocímetro pero cien veces más sensible. Una pequeña rueda, colocada entre la rueda delantera y la trasera, pero cerca de la primera, sirve para controlar la velocidad del tacómetro.

Control de calidad de la mezcla asfáltica.-

Como se menciona al principio de este capítulo, es indispensable para obtener una construcción de pavimento adecuada, una supervisión minuciosa y rígida en todo el proceso, cuidando todos los detalles ejerciendo un control en cada etapa.

La calidad de la mezcla asfáltica se controla mediante:

- Un muestreo de la mezcla en la planta o después de extendida y antes de compactarla en el sitio de la pavimentación. La muestra debe tomarse del pavimento con un cucharón. Se abarcará el espesor completo de la capa que está siendo colocada y se incluirá todo el material del área de muestreo.

- Verificar en cada muestra la granulometría, el contenido de asfalto y las características de la prueba de diseño. La mezcla debe quedar dentro de las tolerancias de trabajo de la misma y de los requisitos de calidad especificados.

- Verificar la temperatura de la mezcla al salir de la extendidora.

- Cortar o extraer corazones de 4 pulgadas (102 mm) del pavimento terminado y determinar el espesor promedio y la compactación. Esta debe cumplir con los requisitos de di seño. Un procedimiento para seleccionar los lugares de mues treo es elegirlos aleatoriamente. El peso volumétrico puede determinarse por el método de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina o usando especímenes saturados y superficialmente secos.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES PARA UNA BUENA CONSERVACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Nunca se ha construido un pavimento que no exija conservación. La conservación comienza tan pronto como termina la construcción de un pavimento nuevo y es el arte de conservar un pavimento en sus condiciones de máxima utilidad con un mínimo de gasto y de molestias para el tráfico. Cuando el costo de conservación se hace mayor que el de sustitución, ésta es evidentemente la solución más indicada.

Son numerosos los tipos de averías que puede presentar un pavimento. Deben determinarse los motivos de las averías tomando las medidas necesarias para corregir las causas que han dado lugar a los trastornos.

Probablemente el agua es la principal causa de averías en las estructuras de los pavimentos. Por ello el control del agua superficial y subterránea es una de las partes más importantes de la labor de conservación.

Estudio de pavimentos existentes con el fin de reconstrucción o refuerzo.-

Se presenta con frecuencia la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido anteriormente a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación.

Aunque presente en todas partes, éste es un problema común en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión del tránsito, insuficiencia presupuestal en el mo-

mento de la construcción y falta de la adecuada conservación que contribuye a generarlos. Contribuye también a hacer frecuente la necesidad de ampliación y reconstrucción una sana política de inversión escalonada, por lo que originalmente se construye para condiciones poco diferentes de las actuales con vidas útiles relativamente cortas, esperando a que el desarrollo futuro del tránsito cree las condiciones que hagan posible efectuar nuevas inversiones en condiciones favorables. Esta orientación de la política de inversiones permite mayor disponibilidad de recursos y atención a un número mayor de obras, pero produce frecuentes necesidades de ampliación.

En este inicio se desea pasar una breve revista de la metodología de la valuación de pavimentos flexibles construidos.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riegos de "rejuvenecimientos" o construcción de sobre-carpetas hasta reconstrucciones integrales; también han de considerarse los problemas emanantes de las ampliaciones de sección.

Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el ejemplo de sobre-carpetas, en tanto que las construcciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la ampliación de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión detectada con los instrumentos de que hoy se disponen y a los que se mencionarán más adelante.

El planeamiento de un criterio de rehabilitación es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorias el servicio de un pavimento dado; desde luego es algo mucho más complicado que la simple aparición de -

grietas superficiales. En lo anterior, insatisfactorio no implica, desde luego, la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito, pero en el que se gaste más de lo conveniente en conservación. Las siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación:

a) Nivel de servicio.

Este concepto variará con el tipo de vía terrestre.

b) Condiciones de la superficie.

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.) no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo está por una relación única y sencilla, si bien es cierto que una falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento. Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse fácilmente por métodos que no producen ninguna mejora real en las condiciones estructurales.

c) Condición estructural.

Este concepto se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo.

d) Seguridad.

El concepto se valúa generalmente con base en estadísticas de accidentes.

e) Costos.

Se refiere no sólo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

El índice de servicio se estima frecuentemente con base a la opinión de un grupo de usuarios quienes recorren - la vía terrestre en condiciones normales y lo califican de - algún modo. Se ha intentado también llegar a una califica-- ción por medio de fórmulas de regresión estadística de medi-- das obtenidas por procedimientos mecánicos en la superficie del pavimento.

Adicionalmente al concepto de nivel de servicio es importante considerar las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos, deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro cuya presencia, como se mencionó anteriormente, no siempre debe atribuirse a insuficiencia estructural.

Es muy importante que en todo programa para la ejecución de un estudio con fines de rehabilitar un pavimento - se incluya un levantamiento de los deterioros que presente - la superficie de rodamiento y su posible relación con las condiciones de drenaje y subdrenaje, topografía de la zona y -- cualquier otra que se considere con alguna influencia en el comportamiento general exhibido por el pavimento.

Por lo que se refiere a la capacidad estructural - de un pavimento, se ha relacionado, para fines de valuación, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capacidad estructural se desea valorar. Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática puede ser determinadas con equipos tales como la viga de Benkelman o un curvímetro Dehlen. Un deflectómetro del tipo Dynaflect permite la medición de deflexiones cuando la carga que se aplica al pavimento es dinámica.

Por lo que se refiere al equipo a utilizar para la medición de las deflexiones, la sección ha de estar basada en su disponibilidad, costo y necesidades de avance; el costo de una viga Benkelman es considerablemente menor que el de un deflectógrafo dinámico tipo Dynaflect, pero la rapidez y eficiencia en la determinación de las lecturas de flexión que puede lograrse con éste último es mucho mayor que cuando se utiliza una viga Benkelman.

Otra alternativa para valuar la capacidad estructural de un pavimento, que ha sido sugerido por varias instituciones, entre ellas el Departamento de Transporte de Canadá, consistente en la ejecución de pruebas de carga por medio de placas.

De hecho este ha sido un recurso frecuentemente utilizado por la SAHOP para valuar la capacidad estructural de los pavimentos construidos en aeropistas, siguiendo el criterio recomendado por el propio Departamento de Transporte del Canadá.

Una vez que han sido analizados o valuados todos los conceptos anteriores, que pueden ser considerados como los más constantes del problema, debe pasarse a la siguiente etapa, de tomar una decisión acerca del tipo de rehabilitación más adecuado; es ahora cuando entran en juego todos aquellos conceptos a que se podría asignar el papel de variables y entre los cuales entra el incremento esperado del volumen e intensidad de las cargas del tránsito a circular por el pavimento, el costo de los trabajos de rehabilitación y su relación con la disponibilidad de fondos para su ejecución, la vida útil que deba considerarse a la rehabilitación y el costo de su mantenimiento; otro factor importante es el que se

relaciona con la disponibilidad de interrupción de su uso - que pueda originarse con motivo de las obras de rehabilitación proyectadas.

A la luz de estas consideraciones, algunas de ellas simplemente cualitativas y otras tan cualitativas como se -- desee, pero sin una dosis de buena experiencia, perderán su significado, por lo que es conveniente que el estudio esté a cargo de un personal especializado.

Cabe añadir aquí que otra línea de acción, al parecer hoy muy en boga en algunos países, que consiste fundamentalmente en ir adecuando la capacidad estructural del pavimento, por medio de la construcción programada de sobrecargas, a los incrementos en el volumen e intensidad de las cargas de tránsito. Vale decir que ésta forma de proceder requiere de un sistema de valuación vigilante de las condiciones generales del pavimento para señalar en forma oportuna el momento en que éste deba reforzarse. Resulta obvio señalar -- que en este caso el éxito del proyecto depende de una manera muy importante de la atención que se dedique a los trabajos de mantenimiento y conservación de los pavimentos.

Hablaremos más sobre la evaluación de la suficiencia estructural en el inciso referente a sobrecargas.

Tipos de averías de los pavimentos, su corrección y causas que las producen.-

Algunos de los síntomas superficiales de los diversos tipos de averías de los pavimentos son:

- 1.- Envejecimiento.
- 2.- Disgregación.

- 3.- Grietas largas.
- 4.- Grietas de piel de cocodrilo.
- 5 - Baches
6. Exudación e inestabilidad.
- 7.- Depresiones.

Frecuentemente se presentan al mismo tiempo varias de estas características superficiales. A veces un tipo de avería puede evolucionar tanto hasta llegar a la destrucción de la estructura cuando no se remedia a tiempo.

Se dispone de gran variedad de materiales y técnicas aplicables a la corrección de los diversos tipos de averías antes indicados. Algunos de ellos, que pueden emplearse aisladamente o combinados con otros, son:

I.- Tratamientos superficiales.

a) Riego en negro. Emulsión diluida con agua (aplicada usualmente con una dosificación de 0.20 lts. de emulsión pura por metro cuadrado a cubrir).

b) Sellado con arena. Aplicación por riego de emulsión o asfalto fluidificado cubierto con arena.

c) Sellado con gravilla. Aplicación por riego de emulsión asfaltos fluidificados o cemento asfáltico cubierto con gravilla limpia.

d) Sellado con lechada asfáltica. Aplicación de una mezcla de arena, emulsión y agua.

e) Tratamiento superficial múltiple.

II.- Mezclas para bacheo.

a) Mezclas en caliente. Agregados graduados mezclados en una planta central o portátil con un cemento asfáltico, usualmente de gran penetración, para uso inmediato.

b) Mezclas en frío. Agregados locales mezclados en una instalación central con asfalto líquido para uso inmediato o almacenaje.

c) Mezclas en frío almacenables. Se entiende bajo este concepto, usualmente, una mezcla de agregados locales con asfaltos líquidos de curado medio o lento que se almacena para uso futuro.

De la lista que se ha dado puede decirse que existen muchos tipos de averías, cuya importancia relativa puede variar considerablemente. Sin embargo, independientemente de la importancia de los daños, es axiomático que si se desea la máxima efectividad, las reparaciones deben de hacerse a tiempo. Cuando más rápido se inicia la reparación de una zona averiada en un pavimento, más fácil y económica resultará y más beneficiosa es para toda la superficie. Esto es especialmente cierto si la superficie del pavimento está rota o agrietada porque cuando esto ocurre el deterioro se acelera mucho y se hace posible la entrada del agua en la cimentación.

Aunque existen muchos tipos de averías, también -- existe una amplia gama de tratamientos aplicables para el trabajo de reparación. Frecuentemente se obtienen los mejores resultados empleando una combinación de dos tipos de tratamiento.

A continuación explicaré brevemente los tratamientos más comunes a las siete averías enlistadas anteriormente.

1.- Una superficie envejecida, esto es, que está excesivamente seca pero en la que no se ha presentado ningún fenómeno de disgregación, o lo ha hecho en medida muy leve, exigirá, en general, solamente un riego negro:

a) Limpiar la superficie.

b) Aplicar un riego en negro de aproximadamente -- 0.4 lts. por metro cuadrado a cubrir.

c) Si es necesario rellenar zonas de la superficie ligeramente disgregadas, puede ser necesaria la aplicación de un sellado con lechada asfáltica.

2.- Superficie con indicios de disgregación en la que se aprecia pérdida de material superficial como consecuencia del desgaste producido por el tráfico. Este defecto puede deberse también al empleo de una mezcla excesivamente pobre. Probablemente podrá repararse la superficie con algún tipo de tratamiento superficial:

a) Limpiar la superficie.

b) Aplicar una capa de sellado. Si la disgregación no ha avanzado excesivamente, un riego en negro puede aportar asfalto suficiente para mantener las partículas superficiales en su sitio evitando la continuación de la disgregación. Si ésta es más pronunciada, puede ser necesario aplicar un riego de sellado con arena, con gravilla o con lechada asfáltica.

3.- Las grietas largas pueden deberse a contracción o a asentamiento. Si su anchura es inferior a 3mm. puede ser conveniente no hacer nada, a menos que el agua pueda entrar en la base y causar daños mayores. Si la anchura de las grietas es superior a 3 mm., debe rellenarse:

a) Sacar las materias extrañas de la grieta mediante un chorro de aire comprimido (si el material contenido en la grieta es arena suelta puede dejarse, tratándolo adecuadamente).

b) Si hay zonas descascarilladas a lo largo de la grieta debe eliminarse el borde de material suelto.

c) Las grietas pueden llenarse por uno de los métodos siguientes: en las grietas limpias puede verterse asfalto especial para rellenar juntas o puede hacerse una aplicación de lechada asfáltica, manteniendo la maestra flexible - comprimida contra el pavimento, de forma que la lechada penetre solamente en la grieta; o llenar la grieta con una mezcla pobre de arena y asfalto que se obliga a penetrar con cepillo. En el último método debe verterse en las grietas recién rellenadas un asfalto líquido de tipo FR-0 ó FR-1, en cantidades suficientes para cerrar la parte superior de la mezcla uniéndola al borde de la grieta.

4.- Grietas en piel de cocodrilo. Se deben usualmente a una falla de la base o a la existencia de un terreno excesivamente flexible formando colchón. Existen tres procedimientos de reparación normalmente empleados, de los que sólo uno puede considerarse como una corrección permanente, los otros dos deben considerarse normalmente sólo como remedios de urgencia cuando no pueden hacerse inmediatamente las reparaciones definitivas.

A.- Bacheo profundo. (reparación permanente).

a) Se elimina el material de la superficie y de base en la zona agrietada hasta la profundidad a que se ha producido el fallo de la base. En algunos casos esto puede significar que habrá que eliminar también parte del terreno natural situado bajo la base. Frecuentemente se observará -

en esta etapa de la reparación, que la avería se deba a la acción del agua. Si es así, deben tomarse las medidas necesarias para eliminarla.

b) Al eliminar las capas de base y de superficie - debe extenderse la excavación al menos 30 cm. por fuera del perímetro de la zona agrietada, para que la reparación esté unida a material sólido en todo su perímetro. Si no se hace así se producirán de nuevo las grietas en piel de cocodrilo alrededor del borde del remedio, usualmente en una zona de - 15 a 30 cm. de anchura alrededor de él.

c) Al extraer el material de la zona a reparar, las caras cortadas deben ser rectas y verticales. Debe darse a la excavación tal forma que exista en la dirección del tráfico un apoyo rectangular, contra el que pueda colocarse el material de relleno.

d) Se rellena la zona excavada con una buena base granular, compactada en capas, si es necesario. Si no se dispone de un material de base con buena granulometría debe hacerse el relleno con el material local más adecuado de que se disponga. En algunos casos, cuando la zona de relleno no es demasiado profunda, puede hacerse todo el relleno con la misma mezcla que vaya a emplearse para la capa de superficie.

e) Se aplica una imprimación a la superficie de la base granular.

f) Se termina la capa de superficie con una mezcla asfáltica. Es preferible que se trate de un material mezclado en caliente pero sino se dispone de material de este tipo, - puede emplearse con resultados satisfactorios, una mezcla en frío.

g) Sea cual fuere el material empleado, cada capa debe compactarse perfectamente.

B.- Bacheo superficial (reparación provisional).

a) Se barre la superficie de la zona agrietada.

b) Se aplica un riego de adherencia.

c) Se aplica a esta zona una capa muy delgada de mezcla asfáltica (en este caso también es preferible que se trate de mezcla en caliente, pero sino se dispone de ella -- puede emplearse mezcla en frío). Al aplicar este tipo de reparación debe tenerse cuidado con la terminación de los bordes, eliminando las partículas de agregados gruesos antes de la compactación final.

d) Se compacta el remiendo superficial. Puede hacerse satisfactoriamente haciendo pasar repetidas veces las ruedas del camión que transporta la mezcla. Si la superficie a reparar es grande, debe hacerse la compactación con una -- apisonadora (las apisonadoras de neumáticos son muy efectivas).

C.- Tratamiento superficial con agregados de cubri
ción (reparación provisional).

a) Se barre la superficie a tratar hasta dejar perfectamente limpio.

b) Se aplica por riego la cantidad de asfalto necesaria. Usualmente es conveniente el empleo de 0.6 a 1.0 - - lts/m², sin embargo, si se pierde a través de las grietas una cantidad excesiva de asfalto, puede emplearse una cantidad - ligeramente superior.

c) Se aplican los agregados de cubrición.

d) Se apisona el tratamiento superficial con apisonadoras de neumáticos.

e) Si es necesario elevar el nivel de la zona reparada hasta el de las zonas adyacentes del pavimento, puede aplicarse un segundo riego superficial.

5.- Los baches son roturas de la superficie que penetran hasta la base o por debajo de ella. Existen dos métodos generales de reparación:

A.- Con mezcla asfáltica.

a) Se limpia el bache perfectamente por barrido.

b) se modifica la forma del bache, si es necesario, para obtener, en la dirección del tráfico, un apoyo vertical contra el que pueda apoyarse el material de relleno. Los costados del orificio deben ser aproximadamente verticales.

c) Se impregna el bache con emulsión o un asfalto fluidificado ligero.

d) Se rellena el hueco con mezcla asfáltica. Si el agujero es profundo, debe colocarse y compactarse la mezcla en capas. Una vez terminado el material de relleno, debe sobresalir de 3 a 6 mm. por encima de las zonas vecinas del pavimento.

e) La compactación puede lograrse con pisonos o, si es posible haciendo pasar sobre la mezcla las ruedas del camión que ha transportado la mezcla.

B.- Por penetración.

a) Se limpia el bache perfectamente por barrido.

b) Se modifica la forma del bache, para obtener un borde vertical en la dirección del tránsito sobre el que pueda apoyarse el material de relleno.

c) Se imprime el bache.

d) Se rellena con piedra y asfalto en aplicaciones sucesivas. En este método debe colocarse en el agujero primeramente la piedra, que se fija en su posición por compactación, aplicando a continuación el asfalto. Hay que tener -- cuidado de emplear la mínima cantidad posible de asfalto para evitar exudaciones posteriores.

e) Una vez que se ha llegado con el relleno hasta el nivel del pavimento adyacente, se extiende sobre su superficie, se apisona sin aplicar más asfalto.

6.- La exudación o inestabilidad se producen usualmente en pavimentos que contienen un exceso de asfalto o como consecuencia del empleo de un exceso de material asfáltico - en la aplicación de un tratamiento de sellado. Esto da lugar a la aparición de una superficie resbaladiza como consecuencia de la excesiva cantidad de asfalto. También puede dar - lugar a ondulaciones de la superficie debidas a inestabilidad. Debe de eliminarse el exceso de asfalto.

A.- Eliminar el exceso de asfalto y las ondulaciones pueden arrancarse en frío con una motoconformadora u otra máquina especial. Naturalmente esto no es siempre posible, ya que la naturaleza de la superficie ha de ser adecuada para - este tratamiento.

b) Se ha empleado con éxito un tipo de máquina regularizadora de discos combinada con una hoja recta montada sobre una motoconformadora. En este tipo de maquinaria la mayor parte de la eliminación de material se hace mediante los discos mientras que la hoja, situada inmediatamente detrás, regulariza la superficie resultante.

c) Eliminar el exceso de asfalto con una máquina regularizadora en caliente. Esta máquina calienta la superficie del pavimento antes de arrancar su parte superior con una serie de hojas. Se emplea más frecuentemente en pavimentos urbanos. Realmente es el método más costoso de reparación.

B.- Después de eliminar la superficie, el pavimento puede dejarse sin ningún tratamiento.

Sin embargo, de esta forma se obtiene un pavimento de textura superficial muy áspera que puede no ser deseable.

C.- Aplicar una nueva superficie.

a) Es preferible la aplicación de una nueva capa de superficie de mezcla asfáltica en caliente.

b) Puede emplearse satisfactoriamente un sellado con lechada asfáltica.

c) También puede aplicarse un tratamiento superficial con gravilla.

7.- Las depresiones se producen usualmente como consecuencia de asentamientos del terreno. Puede ser ondulaciones alargadas o tener lados cortados bruscamente como consecuencia de bruscos movimientos de tierra. En algunos casos

puede existir una diferencia brusca de nivel entre diversas partes del pavimento. Generalmente es necesario reponer de alguna forma la uniformidad de la superficie.

A.- Con mezcla asfáltica.

a) Debe barrerse la superficie de la zona hundida hasta dejarla perfectamente limpia.

b) Se aplica un riego de adherencia ligero.

c) Se llena la depresión con mezcla asfáltica (preferentemente en caliente). En las zonas hundidas alargadas el mejor sistema es verter el material desde los camiones y extenderlo con motoconformadora. En las depresiones de menor superficie puede colocarse la mezcla en caliente a mano, apiñonándola a continuación.

d) En algunos casos es conveniente aplicar un sellado con arena sobre la mezcla colocada en la zona hundida, extendiendo el sellado aproximadamente 30 cm., por fuera de la reparación. De esa forma se evita la posibilidad de que pueda penetrar agua bajo el material de relleno, donde causaría perjuicios por no tener posibilidad de salir.

Sobrecarpetas para pavimentos existentes en aeropuertos.-

Ya habíamos hablado de la suficiencia estructural aunque sin definirla. Se puede definir como la capacidad de un pavimento para soportar el tránsito sin desapreciable deterioro estructural. Depende de una construcción adecuada, con materiales apropiados y suficiente espesor, para evitar que el tránsito venza la resistencia de la capa subrasante o de cualquier otra capa de la estructura del pavimento.

El objeto de la elaboración estructural es determinar la capacidad actual del pavimento y predecir su futura vida de servicio con respecto al tránsito, la evaluación constituye la base para diseñar las mejoras que necesita para proporcionar servicio durante un período de diseño seleccionado.

Una estructura inadecuada del pavimento puede existir por varias razones, algunas de las más importantes son:

- El volumen del tránsito y su peso puede incrementarse, y con frecuencia sucede así, con una tasa de crecimiento mayor que la prevista en el diseño original. En este caso, la vida de servicio se reduce.

- Algunas propiedades de los materiales que constituyen el pavimento pueden cambiar bajo condiciones de servicio. Esto puede reducir la efectividad de los mismos dentro de la estructura del pavimento.

- Muchos pavimentos fueron construidos antes de que se desarrollaran procedimientos de diseño que toman en cuenta las relaciones entre el soporte de la capa subrasante, las resistencias de los materiales del pavimento y las cargas del tránsito. Por lo tanto, no pueden cumplir con los actuales requisitos estructurales.

Las técnicas de evaluación caen dentro de dos categorías generales. La primera, análisis de los componentes, usa relaciones entre la resistencia de la capa subrasante, estructura del pavimento y cargas del tránsito. Este procedimiento es enteramente similar al que se emplea en el diseño de pavimentos nuevos, excepto que deben estimarse la integridad estructural y los espesores de los componentes del pavimento existente en términos de espesores de concreto asfál-

tico. La segunda categoría considera el uso de mediciones - efectuadas realmente sobre el pavimento o en los materiales que lo constituyen.

Si una evaluación de las condiciones superficiales indica que se necesitan medidas correctivas para restaurar - la capacidad de servicio del pavimento, se requiere efectuar una investigación más completa antes de diseñar la corrección. El siguiente paso constituirá en un estudio de las condiciones existentes para establecer la suficiencia estructural. Esto incluye el registro de cada tipo de deterioro observado y el grado en que se ha desarrollado, lugares en que se presenta o el número de veces que ocurre cada uno.

No hay un método de estudio único de las condiciones del pavimento que se use universalmente para determinar la suficiencia estructural. En vez de eso, se emplea una gran variedad de métodos en todo el mundo. Cualquier método probado puede emplearse.

Si el estudio revela que el pavimento es estructuralmente adecuado y no hay forma de saber cuanto tiempo permanecerá así puede diseñarse una sobrecarpeta de renivelación sin necesidad de una investigación adicional. Pero si el pavimento muestra fallas estructurales, o si es posible saber cuanto tiempo puede prestar servicio un pavimento estructuralmente adecuado antes que necesite refuerzo, se requiere en - este caso una evaluación más a fondo para poder reunir la información que permita diseñar el mejoramiento. Esto puede hacerse mediante el análisis de los componentes estructurales.

El procedimiento para el diseño de sobrecarpetas - mediante el análisis de los componentes está basado en la --

consideración de que las capas antiguas y las nuevas formarán una estructura compuesta del pavimento que tendrá la resistencia necesaria para la nueva condición. Por lo tanto; la estructura del pavimento antiguo debe ser evaluada con base en la calidad y espesor de sus componentes antes de diseñar la sobrecarpeta.

Si el estudio de las condiciones del pavimento existente indica la necesidad de una mayor investigación y se toma la decisión de obtener muestras de la capa subrasante y de los componentes del pavimento, deben seleccionarse los lugares para el trabajo. Para una evaluación adecuada, el pavimento debe primeramente dividirse en tramos de características similares, tanto como sea posible. Luego se eligen los lugares de muestreo dentro de cada tramo.

Pequeñas zonas aisladas de falla deben muestrearse sin considerarlas dentro del plan general de muestreo, de tal manera que queden incluídas para reparaciones especiales. - Haciendo ésto no será necesario diseñar la sobrecarpeta para las condiciones más desfavorable del proyecto.

La elección de los lugares que proporcionarán información imparcial y suficientemente precisa, requiere del uso de técnicas especiales. Varios métodos han sido desarrollados para obtener muestras representativas, entre ellos se encuentran los métodos de la ASTM para muestreo de suelos de capas subrasante y de mezcla asfáltica y los métodos equivalentes de la AASHTO. Independientemente del método que se emplee, se requiere el criterio del ingeniero en el desarrollo del plan de muestreo.

La técnica conocida como muestreo aleatorio es una de las mejores que se han ideado. De acuerdo con esta técnica,

el lugar de muestreo se elige en tal forma que todos los posibles lugares dentro del tramo que se investiga tienen las mismas posibilidades de ser escogidos. La elección es imparcial debido a que se hace enteramente al azar, usando una tabla de números aleatorios.

Para diseñar apropiadamente el espesor de un pavimento es necesario conocer las propiedades de resistencia de la capa subrasante. Cuando no se dispone de los datos de di seño original, debe establecerse las resistencias del suelo de la capa subrasante.

Las diferentes clases de suelo que pueden existir en la obra deben localizarse, ya sea por el uso de mapas de suelos existentes o mediante un nuevo estudio de dichos suelos. De acuerdo con los procedimientos estadísticos de mues treo, debe obtenerse un número suficiente de muestras (se re comiendan tres como mínimo), para determinar con confianza - un intervalo de resistencias de cada uno de los principales suelos clasificados.

Quando se dispone de los registros de diseño original, es deseable de todas maneras un cierto número de mues treos para asegurar al ingeniero proyectista que no ha habido ningún cambio en las condiciones del suelo durante la vida - del pavimento existente.

Esto tendrá una ventaja adicional de asegurarle que los datos originales fueron correctos. Se recomienda en este caso tomar por lo menos, para su ensayo, una muestra cada -- 1500 pies (457 m).

Uno de los primeros pasos en el procedimiento de - análisis de los componentes, es entonces, el de obtener los

especímenes de suelo para comprobar o determinar los valores de resistencia en los cuales podemos basar el diseño de espesor total requerido de pavimento. Para evitar que haya parcialidad en los resultados, los lugares de muestreo aleatorio deben elegirse para cada tipo de suelo que se encuentre.

Las muestras de suelo de la subrasante se ensayan en el laboratorio para determinar sus valores de resistencia.

Después de que se obtienen los valores de resistencia, se fija el valor de resistencia de diseño de la capa subrasante. Este valor se define como el valor de resistencia de la capa subrasante que es igual o menor que aproximadamente el 85% de todos los valores de prueba obtenidos en el tramo.

Los lugares de prueba que tenga valores menores al valor de diseño, deben ser considerados para un tratamiento especial. Deben probarse muestras adicionales de estos lugares para determinar la magnitud de cada área débil. Estas zonas pueden requerir un incremento local en el espesor que proporcione un soporte uniforme en toda la longitud del tramo para tratar. Los valores de prueba que representan estos lugares se omiten en los cálculos que se efectúan para obtener el valor de resistencia de diseño.

El análisis del tránsito de las aeronaves, que incluye intensidad, composición y peso total, es una parte esencial para la determinación de la suficiencia general del pavimento.

El análisis nos proporcionará una base para el diseño de sobrecarpetas correctivas, en caso de que se requieran. Además puede usarse para determinar la suficiencia geométrica del pavimento y para planear las correcciones necesarias.

El análisis de tránsito, con fines de evaluación, se realiza esencialmente en la misma forma que tratándose - de pavimentos nuevos. Pero en este caso puede utilizarse - como dato para la estimación del tránsito futuro, el número real de aeronaves que están haciendo uso del pavimento.

Los componentes estructurales del pavimento deben evaluarse de tal manera que pueda asignárseles un espesor - efectivo que permita valorar su eficiencia actual. El espesor efectivo (T_e) de un pavimento existente es el espesor equiva lente que tendría si pudiera ser convertido en un pavimento con espesor total de concreto asfáltico. En caso de requereirse refuerzo, este espesor efectivo puede usarse en el diseño del espesor del pavimento. La estructura del pavimento existente constituirá entonces una parte integral e importan te del pavimento rediseñado. Para determinar el espesor efeg tivo, T_e , cada capa del pavimento existente debe convertirse en el espesor equivalente de concreto asfáltico usando el -- factor de conversión adecuado para cada una (ver tabla).

Factores para convertir a un espesor efectiro (T_e) los espesores de los componentes del pavimento existente.

(Estos factores ÚNICAMENTE deben usarse para evaluar un pavimento existente y diseñar la sobrecarpeta).

CLASIFICACION DEL MATERIAL.	DESCRIPCION DEL MATERIAL	FACTORES DE CONVERSION (*)
I	Capa subrasante de suelo natural	0.0
II	a) Capa subrasante mejorada. Materiales predominantemente granulares, puede contener algo de limo y arcilla, pero teniendo IP de 10 ó menos.	0.0

b) Capa subrasante mejorada, modificada con cal, construida con suelo de alta plasticidad, IP mayor de 10.

III

a) Sub-base o base granular, agregados duros, razonablemente bien granulados con algunos plásticos y un VRS no menor de 20. Use el valor superior del intervalo si el IP es menor de 6 y el valor inferior si el IP es mayor de 6.

b) Sub-base y bases modificadas con cemento Portland construidas con suelo de baja plasticidad IP de 10 o menor (sub-base modificada con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, sin endurecer o semiendurecida, colocada entre la capa subrasante y la base.

0.2 - 0.3

Base modificada con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, sin endurecer o semiendurecida, usada como una capa dentro del sistema de pavimentación para reforzar y proteger a la capa subrasante o a la sub-base).

IV

a) Base granular. Material granular no plástico que cumple con las especificaciones establecidas dadas para una base de alta calidad. Use el valor más alto del intervalo fijado.

b) Carpetas de mezclas asfálticas - que presentan un patrón grande de - grietas bien definidas, mostrando - desintegración a lo largo de las -- grietas, con apreciables deformaciones en las huellas de las ruedas y claras indicaciones de inestabilidad.

c) Pavimentos de concreto hidráulico que se ha fracturado en pequeñas piezas de dos pies (0.61 m.) o menos en su dimensión mayor previamente a la construcción de la sobrecarpeta.

0.3 - 0.5

Use el valor superior de intervalo cuando exista sub-base y el valor inferior cuando la losa se apoye directamente sobre la capa subrasante.

d) Base de suelo-cemento que han desarrollado un amplio patrón de grietas, lo que se manifiesta por agrietamiento reflejado en la superficie, pudiendo presentar bombeo, el pavimento muestra pocos indicios de inestabilidad. (Base de suelo-cemento= material endurecido formado por el cuadro de una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, mecánicamente compactada y colocada dentro del sistema del pavimento para reforzar y mantener protegida a la capa subrasante o la sub-base).

V

a) Carpetas asfálticas sobre bases - asfálticas (**) que muestran agrietamiento apreciable y patrones de grietas

pero poca o ninguna desintegración a lo largo de las grietas y aunque muestren cierta deformación, permanecen esencialmente estables.

b) Pavimento de concreto hidráulico bastante agrietado y fallado que no puede ser sellado por abajo de manera efectiva. Fragmentos de losa - de una a cuatro yd². (0.8 a 3.5 m²), 0.5 - 0.7 que pueden asentarse bien sobre la capa subrasante con equipo neumático pesado.

c) Base de suelo - cemento que presentan poco agrietamiento, como lo demuestran los patrones de grietas reflejadas superficialmente y que están colocadas sobre superficies - estables.

VI

a) Carpetas de concreto asfáltico - que muestran algunas grietas finas y pequeñas e intermitentes patrones de agrietamiento, así como ligeras deformaciones, pero permanecen estables.

b) Mezclas con asfalto líquido que permanecen estables, generalmente - sin grietas que no presentan lloramientos de asfalto y solamente manifiestan ligera deformación. 0.7 - 0.9

c) Base tratada con asfalto incluyen las diferentes al concreto asfáltico (**).

d) Pavimento de concreto hidráulico

estable, sellado por abajo, que presenta cierto agrietamiento, pero no tiene fragmentos menores de una -- yarda cuadrada (0.8 m^2).

VII

a) Concreto asfáltico, incluyendo base de concreto asfáltico, generalmente sin grietas y casi sin deformación.

b) Pavimento de concreto hidráulico estable, sellado por abajo, generalmente sin grietas.

0.9 - 1.0

c) Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica que se conserva estable y presenta muy poco agrietamiento reflejado, sin señales de bombeo.

(*) Valores e intervalos de los factores de conversión por lo que deben multiplicarse los espesores de la capa de la estructura existente para obtener los espesores equivalentes de concreto asfáltico.

(**) Base de concreto asfáltico, base de macadam asfáltico, base de mezcla en planta, base asfáltica de mezcla en el lugar.

Si no se cuenta con los registros originales de la construcción o si es necesario obtener una completa información, las capas granulares deberán ser muestreadas y probadas para determinar si se clasifican como base granular, sub-base

o capa subrasante mejorada y a la vez se determinará el espesor de cada una de ellas. Las capas originalmente clasificadas como base granular, por ejemplo, pueden ya no ser mejores que una sub-base o una capa subrasante mejorada, debido a la intrusión del suelo y a la degradación de los materiales.

Las capas asfálticas deben examinarse para determinar los tipos de mezcla y la condición y espesor de cada una.

El concreto hidráulico debe ser examinado para determinar el estado de las losas, su espesor y sus condiciones de apoyo.

Entre las señales de deterioro que se pueden observar están el bombeo, agrietamiento, despostillamiento, defectos en las juntas y movimientos de las losas bajo la acción del tránsito.

La evaluación de las condiciones de las capas de -- concreto asfáltico o de concreto hidráulico es principalmente una determinación subjetiva, y su efectividad, en un grado -- considerable, depende de la experiencia del observador.

Una vez que se han identificado las capas componentes del pavimento y se ha determinado su condición, se seleccionan de la tabla los factores de conversión adecuados y se determina el espesor efectivo (T_e) de cada capa, el cual será el producto del espesor medio de la capa multiplicando por su correspondiente factor de conversión. El espesor efectivo -- (T_e) de la totalidad del pavimento es la suma de los espesores efectivos de cada una de sus capas.

No existen suficientes datos de equivalencia de --

comportamiento de los distintos materiales, como para poder establecer factores específicos de conversión de equivalencia para cada uno de ellos. De modo que los factores de conversión indicados en la tabla, que abarcan a la mayor parte de los materiales de pavimentación, son en cierto grado subjetivos y a eso se deben los rangos de valores mostrados en dicha tabla.

Con el valor de resistencia de la capa subrasante, el análisis del tránsito y el espesor efectivo (T_e) obtenido del examen del pavimento puede determinarse el espesor de sobrecarpeta necesario para reforzar un pavimento inadecuado para que pueda recibir el tránsito previsto para un período proyectado. Para determinar el espesor de la sobrecarpeta se deberán seguir los siguientes pasos:

- 1.- Determine el valor de resistencia de diseño de la capa subrasante.
- 2.- Determine la temperatura ambiente media anual, t .
- 3.- Determine el número estimado de aeronaves para el lugar crítico de diseño por cada cinco años del período de diseño deseado.
- 4.- Determine el espesor total de pavimento de concreto asfáltico T_a que se requiere para satisfacer a la capa subrasante, el medio ambiente y a las condiciones de tránsito determinadas en los pasos 1, 2 y 3 anteriores para el período de diseño seleccionado, usando el método de diseño del Full-Depth.
- 5.- Determine el espesor efectivo, T_e , de la estructura del pavimento existente con el auxilio de la tabla.

6.- El espesor requerido de sobrecarpeta de concre
to asfáltico es igual a $T_a - T_c$.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

Desde la antigüedad el hombre ha tenido la necesidad de trasladarse de un lugar a otro por razones de desarrollo económico, social, cultural, político, etc. A medida que ha transcurrido el tiempo, esta necesidad ha crecido cualitativa y cuantitativamente arrollando sistemas de transporte a los que se les exige, en términos generales, una mayor velocidad de transportación, seguridad, comodidad y continuidad en el servicio y una mayor capacidad, procurando hasta donde sea posible una máxima economía.

El sistema de transporte aéreo ha venido a ser una solución a éstas demandas, poniendo especial énfasis en un menor tiempo de traslado, obligándose a un continuo refinamiento de su planeación y servicio para conciliar intereses opuestos como la mayor demanda y eficiencia a menor costo.

Un aeropuerto es un sistema que involucra aspectos de muy diversas índole, por lo que se requiere de asesorías y especialistas en diferentes ramas, una de éstas es la Ingeniería Civil, teniendo especial importancia el diseño y construcción de los pavimentos; se hace necesario resaltar que éste último forma un pequeño elemento que debe conjugarse con los demás, a tal grado que éstos pueden modificar considerablemente el proyecto original.

Ahora bien, dentro de los pavimentos, las pistas, - calles de rodaje y plataformas deberán disponerse de tal forma que se provoquen retardos e interferencias mínimos en el aterrizaje, despegue y tránsito en las calles de rodaje, debiéndose obtener la menor distancia de la plataforma a las -

cabeceras de las pistas y deberán ser construidos procurando que los aviones que aterrizan puedan abandonar las pistas -- tan pronto como sea posible, maximizándose la rotación continua de los aviones.

En cuanto al funcionamiento estructural de los pavimentos, es importante mencionar que no existe una solución -- teórica rigurosa; las existentes se basan en hipótesis simplificadoras como lo son el suponer a las capas totalmente homogéneas, linealmente elásticas y con iguales propiedades en todas direcciones (isótropas); de aquí se puede desprender que las teorías no proporcionan métodos en los que pueda confiar ciegamente, sino sólo criterios que aurrados con pruebas de la boratorio y la experiencia del ingeniero, nos brinda información confiable para su proyecto. Además, no hay que olvidar que las pruebas de laboratorio únicamente nos sirven como un índice para representar el comportamiento real de los pavimentos.

La construcción de un pavimento no puede hacerse con el refinamiento que la teoría exige, es decir, no existen técnicas constructivas para obtener las mismas condiciones en -- los materiales que las planteadas en las hipótesis y en el la boratorio, por lo que éste factor contribuye a aumentar la incertidumbre.

A todo ésto hay que añadirle las condiciones climatológicas y los costos. Estos últimos pueden variar al hacer modificaciones en los diferentes espesores de las capas, en -- función de los materiales disponibles. La experiencia y la -- Geología han demostrado que siempre existen depósitos apropiados de materiales pétreos cerca de la localización de la obra, aunque a menudo hay que darles ciertos tratamientos para que

sus propiedades mecánicas en cuanto a resistencia y deformación y las hidráulicas en cuanto a permeabilidad se apeguen a las especificaciones de proyecto.

En base a lo que se mencionó en el párrafo anterior, la subrasante en un pavimento tiene como función primordial - la económica, ya que permitirá ahorros en los espesores de -- carpeta y capas superiores que son de costo mucho mayor.

En el caso de las carpetas es indispensable hacer - una selección exhaustiva de los agregados ya que constituyen normalmente el 90% en peso o más de la mezcla, por lo que sus propiedades no deben descuidarse y son de vital importancia, ya que éstos soportan directamente a las cargas. El producto asfáltico usado debe proporcionarse en una cantidad óptima - para obtener una estabilidad suficiente de la mezcla, evitando la posible lubricación por exceso o la falta de función -- cementante en las partículas de la misma.

Por otro lado la compactación obliga al desarrollo de la resistencia a la tensión permitiendo que el asfalto y los agregados realicen su labor cementante. Es conveniente - subrayar que la compactación es la esencia de un correcto funcionamiento de un pavimento, y en un aeropuerto donde la superficie de rodamiento debe de ser casi perfecta, esta etapa se vuelve más crítica.

La vida y durabilidad de un pavimento depende de la velocidad de eliminación del agua y del tiempo que permanezca la humedad en éste o en su cercanía, por lo que la técnica -- del drenaje debe llevarse hasta su última eficiencia si se -- desea un pavimento con muchos años de servicio.

Independientemente de ésto, todo pavimento construido exige una conservación. La necesidad de analizar un pavimento construido anteriormente a fin de decidir sobre su reparación y el monto de ésta, tiene un índice de frecuencia - muchísimo mayor en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión del tránsito, insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción y la falta de la adecuada conservación que contribuye a generarlo. Contribuye también a - hacer frecuentemente la necesidad de ampliación y que originalmente se construye para condiciones poco diferentes de las -- actuales con vidas útiles relativamente cortas esperando que el desarrollo futuro del tránsito cree las condiciones que -- hagan posible efectuar nuevas inversiones en condiciones favorables. Esta orientación de la política de inversiones permite mayor disponibilidad de recursos y atención a un número mayor de obras, pero produce inevitablemente necesidades de ampliación.

En el caso de la elección en el tipo de pavimento a usar en un aeropuerto, se deberá considerar que los pavimentos rígidos requieren poco gasto de conservación y se deterioran muy poco, pero su costo de construcción es alto y están sujetos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción muy específico y especializado, en tanto que los pavimentos flexibles requieren un menor gasto inicial pero una conservación más costosa y además puede producir interrupciones de tránsito o servicio que puedan ser de - muy alto valor.

En el caso de México podría ser muy ventajoso utilizar pavimentos flexibles, puesto que hay que recordar que - - siendo un país productor de petróleo, la disponibilidad de -- los productos asfálticos será mayor que en países no productivos

res; además en el caso de la ciudad de Guadalajara, debido al tipo de suelo existente en el lugar donde se encuentra locali zado su aeropuerto, donde se presentan frecuentes asentamientos diferenciales, los pavimentos flexibles podrán absorberlos satisfactoriamente evitándose así la ruptura de las losas de concreto hidráulico, por no contar con un apoyo uniforme, en el caso de tener pavimentos rígidos.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres.
Alfonso Rico y Hetmilio del Castillo. Vol. 1 y 2.
- 2.- Mecánica de Suelos.
Juárez Badillo y Rico Rodríguez.
- 3.- Introducción para el Diseño de Pavimentos Flexibles.
Secretaría de Obras Públicas.
- 4.- Manual del Asfalto.
Instituto Norteamericano del Asfalto.
- 5.- Manual de Caminos Vecinales.
René E. Gutiérrez.
- 6.- Revista de Aeropuertos.
Aeropuertos y Servicios Auxiliares.
- 7.- Métodos, Planeamiento y Equipo de Construcción.
R. L. Peurifoy.
- 8.- Maquinaria para Construcción.
David A. Day.
- 9.- Prácticas Recomendables para la Construcción de Pavimentos y Bases de Concreto.
ACI 316-74
- 10.- Tecnología del Concreto.
A.M. Neville. Tomo I.

11.- Planning and Design of Airports.
Robert Horonjeff.

12.- Principles of Paviment Design.
Yoder-Witczak.

copi•offset express

TESINAS • MEMORIAS • INFORMES
AV. MEXICO No. 2210
Casi Esquina Con Américas
Tel. 15-19-68

GUADALAJARA JAL
COPIAS TESIS
TRANSCRIPCIONES
HELIOGRAFICAS
ENCUADERNACION
ENGARZADOS
REDUCCIONES
ENMIENDAS
IMPRESIONES DE
FORMAS INTERNAS
FACTURAS VOLANTES
PASAMOS SU TIPO
EN MAQUINA EDE



USAMOS EQUIPOS XEROX Y OFFSET

• PLANIFICADOR • REPROGRAFIA DE COLOR
• PUNTA DE • CAMBIO DE TONER
• BARRAS DE • TONER DE COLOR

HELIOGRAFICAS

• COPIAS BOND
• PAPELERIA PARA SU EMPRESA
• REDUCCIONES
• AMPLIFICACIONES