

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
INGENIERIA CIVIL**

**TIPOS ESPECIALES DE PAVIMENTOS
EN AEROPUERTOS SOBRE
TERRENOS BLANDOS**

T E S I S

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

ALBERTO RAMIREZ NAVARRO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TIPOS ESPECIALES DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS
SOBRE TERRENOS BLANDOS

C _ O _ N _ T _ E _ N _ I _ D _ O

PROLOGO

INTRODUCCION

1.- OBJETIVOS

1.1.- generales

1.2.- particulares

2.- DEFINICIONES

2.1.- pavimento

2.2.- clasificación de pavimentos en aeropistas

2.2.1.- flexibles

2.2.2.- rígidos

2.2.3.- combinados

3.- PAVIMENTOS EN LAS AEROPISTAS

3.1.- elementos que determinan el tipo de pavimento

3.1.1.- tránsito

3.1.1.1.- factores de operación

**3.1.2.- tipo de terreno de cimentación y materiales
que integrarán la estructura del pavimento.**

3.1.3.- clima

3.1.4.- drenaje

3.1.5.- economía .

3.2.- métodos de proyecto de pavimentos flexibles en Aero-
puertos.

3.2.1.- método del cuerpo de Ingenieros del Ejército
de los EE.UU.

3.2.2.- método de la administración federal de avia-
ción (F.A.A.).

3.2.3.- método del Departamento de Transporte de Ca-
nadá.

3.3.- estudios adicionales cuando se tiene un terreno de -
cimentación blando.

3.3.1.- definición de terreno blando.

3.3.2.- problemas que presentan los terrenos blandos,

3.3.- información necesaria para el proyecto.

4.- TECNICAS EN LOS PAVIMENTOS SOBRE TERRENOS LACUSTRES.

4.1.- pavimentos empleados en el Aeropuerto Internacional
de la Ciudad de México.

4.1.1.- métodos e hipótesis de diseño.

4.1.2.- procedimientos constructivos.

4.1.3.- tipos de fallas.

4.2.- sección compensada para las pistas del Aeropuerto -
Internacional de la Ciudad de México.

4.2.1.- factores que se consideran en la determina-
ción de la sección compensada.

4.2.2.- funcionamiento.

4.2.3.- distribución de esfuerzos al terreno.

- 4.2.4.- dimensionamiento de la sección compensada.
- 4.2.5.- obras auxiliares
- 4.2.6.- cálculo de la compensación.
- 4.3.- Pavimento sobre otro tipo de suelo blando.
 - 4.3.1.- sección mixta en el Aeropuerto de la Ciudad de Villa hermosa, Tabasco.
 - 4.3.1.1.- características del terreno.
 - 4.3.1.2.- elección de la sección mixta.
 - 4.3.1.3.- cálculo del pavimento flexible.
 - 4.3.1.4.- cálculo del pavimento rígido.
 - 4.3.1.5.- proceso constructivo.
 - 4.3.1.6.- problemas que se han presentado.

5.- EMPLEO DEL PAVIMENTO TIPO SECCION COMPENSADA EN EL AERO - PUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

- 5.1.- proceso constructivo.
 - 5.1.1.- trazo
 - 5.1.2.- excavación.
 - 5.1.3.- plantilla de arena.
 - 5.1.4.- losa de concreto hidráulico.
 - 5.1.5.- sub-base.
 - 5.1.5.1.- material ligero.
 - 5.1.5.2.- material pesado.
 - 5.1.5.3.- tezontle cementado.
 - 5.1.6.- aplicación de riegos de impregnación y liga.
 - 5.1.7.- base asfáltica.

5.1.8.- carpeta asfáltica.

5.1.9.- obras auxiliares.

5.1.10- acotamientos.

5.2.- Comportamiento del pavimento durante su vida útil.

6.- C O M P A R A C I O N E S.

**Magnitud de asentamientos entre las diferentes secciones
utilizadas a lo largo de la Pista 05 Izq. 23 Der.**

7.- C O N C L U S I O N E S.

P R O L O G O

El hombre es un ser racional que en todo momento --
tiende a modificar y mejorar la naturaleza para su bienestar.

Una vez que ha satisfecho sus necesidades primarias,
tiene inquietudes y ambiciones que realizar entre una de ellas
está el deseo de desplazarse por cualquier punto del espacio,-
ya sea en tierra, aire ó agua.

Esta característica nos lleva a observar una de sus
mayores ambiciones que es la de volar, y que en base a la tena
cidad que lo caracteriza, ha logrado ese anhelo.

En la actualidad el transporte por aire es un medio-
más seguro que el terrestre debido a que los aviones han alcan
zado un alto nivel de desarrollo, por una parte debido a las -
acciones bélicas y por otro a las actividades comerciales e in
dustriales, además se cuenta con mayores ayudas para la aero-
navegación como son: Ayudas visuales (VASIS), Luces de hombro-
de pista, de aproximación y destello, señalamiento de umbral,-
hombro de eje de pista. Radio Ayudas (VOR, Radar, Localiza -
dor,). Aunado a lo anterior, se tienen las áreas necesarias -
para sus maniobras, todo ésto en conjunto hacen del transporte
aéreo el medio al que día a día se le atribuye más comodidad,-
rapidez y seguridad, llevando con ello un mejor bienestar para
nuestra creciente sociedad.

En el tema que aquí se desarrollará se analizarán - los aspectos que se refieren a tomar en cuenta un factor muy importante para el buen funcionamiento de este medio de comunicación, que es el referente a las superficies necesarias, - sobre las cuales las aeronaves realizan sus maniobras y que - son los pavimentos.

Al transitar los aviones le imprimen a los pavimentos grandes esfuerzos dinámicos y estáticos, los cuales deben ser soportados, de tal forma que no se presenten deformaciones en la superficie de rodamiento que lleguen a impedir las operaciones de las aeronaves. También debe soportar los efectos que le causa el peso propio de la estructura, las condiciones climáticas y de humedad; es por esto, que es de especial atención en Aeropuertos, el proporcionar pavimentos que soporten las exigencias antes mencionadas, que especialmente cuando se tienen suelos blandos, requieren tipos especiales - de pavimentos.

Es así como se presenta el siguiente estudio que - trata sobre el proyecto, diseño, construcción y comportamiento de pavimentos en algunos Aeropuertos sobre suelos blandos.

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

Para lograr adentrarnos al tema que nos ocupa, es necesario conocer ciertos aspectos que nos llevarán a comprender correctamente el contenido de ésta obra, así comenzaremos diciendo que un Aeropuerto es: el elemento de liga entre las comunicaciones aéreas y terrestres, para lo cual se necesita de un lugar sobre la superficie terrestre debidamente localizado, donde se alojen las pistas y las instalaciones suficientes para brindar seguridad a las aeronaves en sus maniobras de aterrizaje y despegue; al mismo tiempo debe estar dotado de las edificaciones apropiadas para la recepción y transbordo de mercancías y pasajeros, de los sistemas de transporte aéreo y terrestre o viceversa, en donde se cuenta con equipo y personal adecuado para abastecer, mantener y efectuar las reparaciones necesarias a las aeronaves.

Para saber cual será la magnitud y categoría de un nuevo Aeropuerto, se realiza el estudio socioeconómico enfocándolo principalmente a: población, formas de vida, actividad principal, estados de cultura, medio de comunicación y transporte, planes para mejorarlos, tendencias a posibilidades en el progreso del turismo, comercio, industria y de mercado, es decir aquellos que puedan marcar un cambio en el nivel de vida.

En lo que se refiere a la localización de un Aero -

puerto, habrá que tomar en cuenta que se ha determinado el tamaño y tipo de Aeropuerto, para así buscar el sitio adecuado.

Como regla general el sitio a elegir deberá cumplir con condiciones de: clima, geológicas hidrológicas, topográficas y de tenencia de la tierra, así como las aeronáuticas propias que incluyen los espacios aéreos, siendo esto de vital importancia porque todo Aeropuerto debe responder a las necesidades específicas de tráfico aéreo.

Dentro del clima se debe considerar, la temperatura la precipitación pluvial, altura sobre el nivel del mar, --- vientos dominantes y reynantes, niebla o polvos originados - tanto por fábricas como por levantamiento de tierra por efecto del viento.

El sitio a elegir debe tomar en cuenta que la tenencia de la tierra no cause problemas con los propietarios, se procurará que el sitio elegido no sea excesivamente costoso, - de tal modo que la inversión realizada en la construcción del Aeropuerto, sea amortizable en relación a los beneficios que se esperan.

El aspecto geológico contempla el estudio de la estratigrafía de la zona, la posible existencia de fallas o - fracturas, además el conocimiento de las propiedades del sue-

lo como son: resistencia al esfuerzo cortante, deformabilidad, permeabilidad y nivel freático, entre otras. Todo ello con la finalidad de tener las bases suficientes para el proyecto.

Los estudios hidrológicos y topográficos nos sirven para poder proyectar el sistema de drenaje, de tal modo que se permita la rápida evacuación del agua sin presentar problemas tanto a los pavimentos como a las operaciones de los aviones.

También en cuanto al aspecto topográfico, se debe cumplir con la condición que el sitio a elegir presente superficies lo más planas posibles, de tal modo que no existan cambios bruscos de pendiente en el sentido longitudinal, ya que ello equivale a una mayor longitud de pista, además de que pueden presentar grandes problemas de operación para las aeronaves, que al transitar a velocidades altas, llegarían a colapsarse al encontrar un cambio brusco de pendiente.

El lugar no debe presentar obstáculos montañosos que pongan en peligro las operaciones de las aeronaves en la aproximación ó salida al Aeropuerto.

Las restricciones aeronáuticas definen tres zonas en donde se prohíbe o limita los obstáculos, afectando por tanto a la localización del Aeropuerto, éstas tres zonas son las siguientes:

- a).- Zona de aproximación.
- b).- Zona de viraje.
- c).- Zona de protección al Aeropuerto.

La zona de aproximación existe en ambos extremos de la pista de aterrizaje, teniendo una proyección en planta de forma trapecial, limitando ésta un plano inclinado sobre el que no deberá sobrepasar obstáculo alguno, la pendiente varía de acuerdo con la categoría o tamaño del Aeropuerto.

La zona de virajes se define como un área circular de 4,000 mts. de radio, teniendo como punto de partida al centro geográfico del Aeropuerto; se estipula que si dentro de ésta zona sobresale un obstáculo con altura mayor de 45 mts.- a partir del nivel medio del Aeropuerto, éste deberá eliminarse.

La zona de protección del Aeropuerto, se define como un área circular de 12 km. de radio con centro en el centro geográfico del Aeropuerto.

El reglamento de Aeronáutica establece también la superficie de transición, la cual tiene una pendiente ascendente y hacia afuera desde los bordes y orillas de la faja de aterrizaje y de las orillas o bordes de la superficie de aproximación de 7:1, ésta superficie continúa hasta llegar a los 45 mts. sobre el nivel medio de aterrizaje, sobre este pla

no inclinado no deberá sobresalir ningún obstáculo.

Se establece también, que la cercanía del Aeropuerto a la población debe ser tal que no se vean mutuamente afectados tanto por las molestias que causa el ruido en las operaciones de los aviones a los habitantes, como por el obstáculo que representa un poblado para las propias operaciones aeronáuticas, así como la distancia pérdida de tiempo y dinero para el usuario.

Así tenemos que la localización de un Aeropuerto, - es básicamente asunto de carácter operacional aeronáutico y - representa un problema de aspecto económico, la investigación recae en dos factores: de seguridad y economía, pero la seguridad debe considerarse primordial sobre cualquier otro - elemento que afecte la localización de un Aeropuerto.

CAPITULO N° 1

O B J E T I V O S

Este trabajo tiene varios objetivos, los cuales dividido en generales y particulares; a nivel general son los siguientes:

1.- Dar mayor difusión a las técnicas que se utilizan en pavimentos sobre terrenos blandos para aeropistas, - que aunque ya han sido empleados en las escuelas de Ingeniería no son muy conocidas, por ser tipos especiales de pavimentos.

2.- Proporcionar a los alumnos de las futuras generaciones las herramientas necesarias para poder proyectar, - calcular, construir y mantener en buenas condiciones de uso - estos tipos de pavimentos.

El cumplimiento de estos objetivos se llevará a - efecto proporcionando a la biblioteca ejemplares de ésta - Tesis, donde los alumnos pueden consultar, siempre que en el contenido de la materia correspondiente se les incluya un - tema sobre los pavimentos de aeropistas, que para mi juicio - es necesario ya que complementa la formación integral de los futuros Ingenieros; además de que está basado en obras reales como es la prolongación de la Pista 05 Izquierda - 23 -

Derecha del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y la construcción en el nuevo Aeropuerto de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; de la Pista 08-26.

Los objetivos particulares se refieren a los beneficios más importantes que logra el autor, los cuales son los siguientes:

1.- Aplicación de los conocimientos recibidos durante la formación académica.

2.- Complementar y enriquecer los conocimientos sobre pavimentos y procesos constructivos de el expositor.

3.- Conocer las propiedades y comportamiento del terreno en las zonas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, y del nuevo Aeropuerto de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; cuando se les sujeta a esfuerzos que imprime una aeronave.

4.- Desarrollo del tema de Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil.

Con estos objetivos se trata de ayudar a mejorar el bienestar de la sociedad, ya que lo que se enuncia en el contenido de éste trabajo procura poner a disposición de el Lector algunas técnicas que le sirvan para poder solucionar -

problemas sobre pavimentos en aeropistas, que a lo largo de -
su vida se le puedan presentar, esperando que éstas notas -
sean de la utilidad que se les pretende dar, pasamos al desa-
rrollo de éste trabajo.

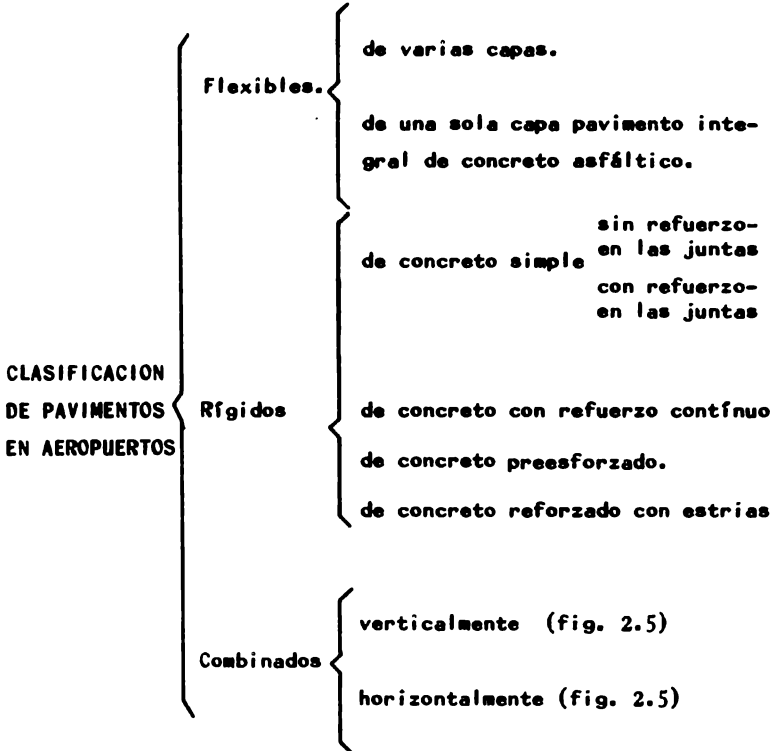
CAPITULO N° 2D E F I N I C I O N E S

Conforme se ha desarrollado la Aviación, ha sido necesario proporcionar pistas de aterrizaje y despegue adecuados para que las unidades de vuelo efectúen sus operaciones con seguridad, ésto nos lleva a construirles los pavimentos con los que logren dichos objetivos, siendo imperioso que tengan ciertas características de resistencia y deformabilidad que sean compatibles con las que soportan las aeronaves que transitarán sobre dicho pavimento.

Por pavimento se entiende el conjunto de capas constituidas con materiales seleccionados, que proporcionen una superficie de rodamiento adecuada que resista los esfuerzos originados por el tránsito y los transmita adecuadamente distribuidos a las terracerías.

Tradicionalmente los pavimentos se han clasificado en 2 grandes grupos: pavimentos flexibles y pavimentos rígidos, ésta clasificación como cualquier otra, adolece de limitaciones ya que en éste caso no es fácil precisar el límite entre lo rígido y lo flexible, no obstante esta limitación y haciendo eco de la costumbre ampliamente difundida, se respetará la clasificación arriba mencionada, agregando únicamente los pavimentos combinados, ya sea verticalmente y horizontalmente; debido a que revisten un especial interés en el caso -

de Aeropuertos, de esta manera la clasificación de pavimentos de Aeropuertos, resulta como sigue:



En los pavimentos flexibles, la superficie de rodadura es una carpeta a base de materiales pétreos y asfalto - la cual, se puede acomodar a posibles deformaciones que aparecen en su parte inferior (terreno natural, cuerpo del terreno -

plén), sin que haya falla estructural.

En este tipo de pavimentos, las partículas al ser sometidas a esfuerzos, trabajan individualmente, teniendo solo interacción por medio de la cohesión y fricción; es decir los esfuerzos son soportados y transmitidos en forma concentrada.

Cabe mencionar que las carpetas asfálticas hechas a partir de cementos asfálticos y materiales pétreos, se consideran como un pavimento intermedio entre los flexibles y los rígidos, ya que tiene características de ambos pavimentos.

Las capas que generalmente constituyen un pavimento flexible mencionadas de las superiores a las inferiores son - carpeta asfáltica (con o sin sello), base y sub-base; el pavimento se construye sobre las terracerías que están formadas - por la capa subrasante y el cuerpo del terraplén, y toda la estructura se apoya en el terreno natural, fig. 2.1 y 2.2.

Para el correcto funcionamiento de la estructura de un camino, deberá tomarse en cuenta que en él intervienen la calidad y espesores de los materiales de pavimento, de las terracerías y del terreno natural, por lo que la estructura debe analizarse en forma integral.

Los pavimentos rígidos tienen como superficie de rodamiento una losa de concreto hidráulico, la cual no puede se

PAVIMENTO FLEXIBLE TIPOICO

DE VARIAS CAPAS

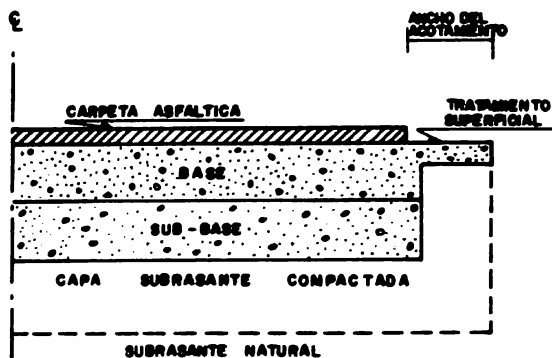


FIG. No. 2.1

PAVIMENTO FLEXIBLE DE UNA

SOLA CAPA (PAVIMENTO "INTEGRAL")

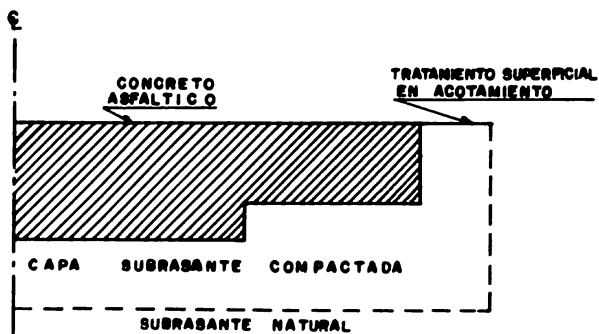


FIG. No. 2.2

PAVIMENTO FLEXIBLE TÍPICO
DE VARIAS CAPAS

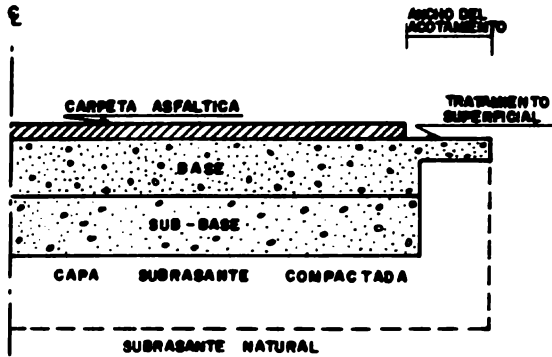
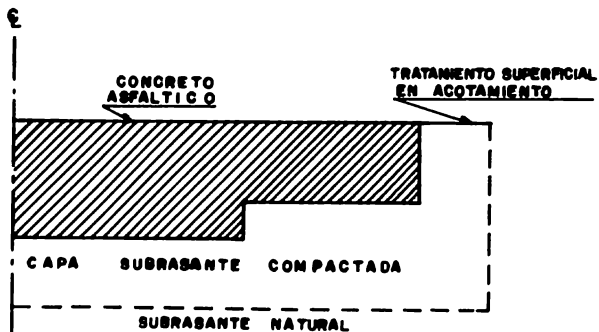


FIG. No. 2.1

PAVIMENTO FLEXIBLE DE UNA
SOLA CAPA (PAVIMENTO "INTEGRAL")



guir las deformaciones de las capas inferiores, ya que ello - fracturaría la losa, llegando a fallar con ello el pavimento.

En estos pavimentos la carga es soportada por toda - la losa y ésta la distribuye sobre las capas inferiores, es - decir, aquí el trabajo de la losa es en conjunto y no indivi - dual como en los flexibles, por lo que la distribución de los esfuerzos se realiza en un menor espesor y en una zona más - amplia.

Las capas en el pavimento rígido son: de la superfi - cie de rodamiento hacia abajo: losa de concreto hidráulico y - sub-base, en ocasiones para ésta última se piden característi - cas de material de base (fig. 2.3).

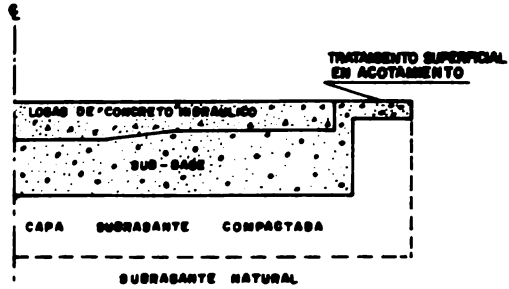
Debemos mencionar también los siguientes tipos de - pavimentos flexibles, en función de los materiales que se em - pleen (como superficie de rodamiento) y de su elaboración.

1.- Pavimentos con carpetas de concreto asfáltico - elaboradas en caliente.

El concreto asfáltico elaborado en caliente, es una - mezcla de agregados pétreos bien graduados y cemento asfálti - co, la elaboración del concreto asfáltico se hace en plantas, en donde se efectúa el secado y calentado de los agregados - así como el proporcionamiento y mezclado de éstos con el ce - mento asfáltico previamente calentado.

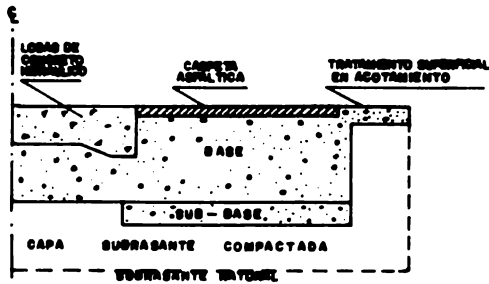
PAVIMENTO RIGIDO TIPICO
DE CONCRETO SIMPLE

fig. no. 2.3



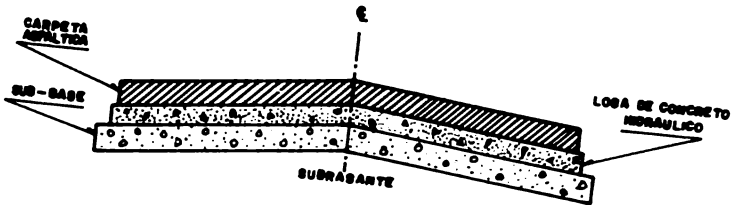
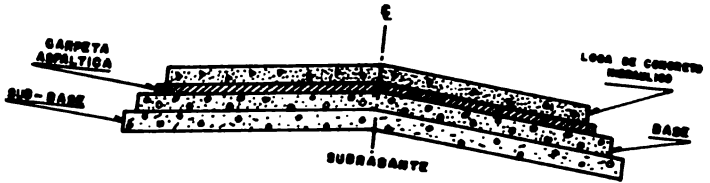
PAVIMENTO COMBINADO
HORIZONTALMENTE (EJEMPLO)

fig. no. 2.4



PAVIMENTOS COMBINADOS VERTICALMENTE

FIG. No. 2.5



Este método de mezclado en caliente garantiza que los agregados pétreos queden cubiertos con una película uniforme de asfalto y asegura un control preciso de los tamaños de los agregados y de la cantidad de asfalto.

Los pavimentos así elaborados no requieren de un período de curado después de haber sido tendidos y compactados, pudiendo entrar en servicio una vez que el material se ha enfriado a la temperatura ambiente, sin embargo la compactación debe efectuarse cuando la mezcla está suficientemente caliente, de lo contrario el trabajo de compactación tiene un limitado o nulo efecto en la reducción de vacíos de la carpeta.

Este tipo de carpetas pueden ser construídas rápidamente reduciéndose de esta manera las posibilidades de fallas ocasionadas por condiciones desfavorables de clima, ya que una vez compactada y enfriada tiene un alto grado de estabilidad y resistencia a la humedad y heladas.

Este procedimiento también se utiliza para la elaboración de bases asfálticas.

2.- Pavimentos con carpetas de concreto asfáltico - elaborado en planta en frío.

La mezcla asfáltica elaborada en planta en frío, es

una mezcla de agregados pétreos bien graduados con cemento asfáltico y un licuificante, asfalto rebajado o emulsión asfáltica.

Las mezclas asfálticas elaboradas en planta en frío, pueden ser preparadas con poco o nada de calentamiento del agregado, pero el producto asfáltico si debe ser calentado hasta alcanzar la fluidez necesaria para que cubra adecuadamente el agregado cuando no se emplee un licuificante; los problemas que presentan este tipo de concreto, con respecto al anterior son:

Requiere de un período de curado para permitir la evaporación de los solventes ó agua, se dificulta obtener altas densidades durante el proceso de compactación en clima frío; por último, la estabilidad generalmente es más baja que la del concreto asfáltico.

Este tipo de mezclas puede utilizarse para los mismos usos que los elaborados en caliente, excepto para trabajos en Aeropuertos.

Las mezclas asfálticas elaboradas en planta en frío, están especialmente adaptadas para trabajos de bacheo y para obras pequeñas, en donde el volumen por colocar no justifica la colocación de una planta de mezclado en caliente.

3.- Macadam de penetración.

Para la construcción de un macadam de penetración - se coloca primeramente asfalto, luego una capa de agregado - pétreo constituido por grava, a continuación se le aplica a - presión asfalto; los vacíos en la superficie de la capa de - grava se rellenan con agregado más pequeño seguido de una - aplicación adicional de asfalto; por último la superficie se - cubre con material cribado fino y se compacta.

El espesor de las carpetas de macadam, generalmente es del orden de 6 a 8 cms., se requiere una cantidad mínima - de equipo para la construcción de éstos pavimentos, por lo - que se adapta particularmente en zonas remotas o en trabajos - pequeños, su calidad es inferior a los concretos asfálticos - producidos en planta; la superficie obtenida no es tan densa - como la de una carpeta de concreto asfáltico y cuando comien - za a desprenderse el agregado superficial, éste puede consti - tuirse en un peligro para las operaciones de los aviones, por lo que el macadam de penetración solo se recomienda para ca - lles y caminos.

4.- Mezclas en el lugar.

Sus componentes son generalmente similares a los de las mezclas asfálticas elaboradas en planta en frío, pero la - mezcla se efectúa en el lugar por medio de motoconformadoras - y petrolizadoras, por medio de plantas mezcladoras viajeras ó bien por medio de algún otro equipo similar, la calidad de -

las mezclas en el lugar puede llegar a aproximarse a las mezclas asfálticas, elaboradas en planta en frío, sin embargo - se les considera de inferior calidad debido a que es más difícil llevar a cabo el control de calidad durante su elaboración.

CAPITULO Nº 3

PAVIMENTOS EN LAS AEROPISTAS

El proyecto de pavimentos para Aeropuertos y caminos, consiste en determinar el espesor y características del pavimento, y de cada una de las partes de la obra ya que no es posible proyectarlas separadamente.

Hay gran número de factores que pueden influir en el espesor de un pavimento, para que éste último pueda rendir un servicio satisfactorio durante su vida útil; las principales son:

- 1.- Tránsito.
- 2.- Tipo del terreno de cimentación y materiales - que integrarán la estructura.
- 3.- Clima.
 - 3.1.- Drenaje.
 - 3.2.- Heladas.
- 4.- Economía.

Tránsito:

Para el caso de Aeropuertos, los pavimentos están - destinados para el tránsito de aviones por lo que las caracte - rísticas de éstos últimos, serán la base para el proyecto - de éste tipo de obras.

Las características de las aeronaves que es necesari - o conocer, son las siguientes:

Tipos de aviones

Pesos sin cargas

Pesos con cargas

Disposición de las llantas

Presión de las llantas

Carga por rueda

Tránsito diario promedio por tipo de avión.

Existen diferentes tipos de aviones, los cuales tie - nen diferentes capacidades de carga, que es transmitida al - pavimento de acuerdo con la presión de las llantas, la coloca - ción de las piernas y la disposición que en el extremo de és - tas tengan las llantas; así se pueden tener llantas sencillas - dobles, doble tandem y múltiples.

Según sea la carga por rueda y la presión de las - llantas es la dimensión de la huella, por medio de la cual se

transmite la carga al pavimento, la cual puede considerarse - como circular ó aproximadamente elíptica.

La presión de contacto se supone para fines prácticos igual a la de inflado, despreciando la rigidez de la llanta.

Los aviones están apoyados sobre un tren de aterrizaje en forma de triciclo, consistente en una rueda de proa y dos sistemas principales de soporte. El porcentaje exacto de carga que reciben los sistemas, depende del tipo de avión y de como se ha distribuido su carga con respecto al centro de gravedad; se sabe mediante pruebas que entre el 88 y el 98 % del peso total de las aeronaves, es soportado por los sistemas principales, para el diseño de pavimentos puede considerarse que los sistemas principales absorben el 95 % en partes iguales y el 5 % restante, las ruedas de proa.

Los tres tipos de sistemas de aplicación de cargas que más se usan en la Aviación Civil son: simple, dual y dual tandem.

Las cargas de proyecto, serán las mayores que el pavimento resista en su período de vida económica.

Los pavimentos pueden dividirse en dos categorías - en relación con las solicitudes a que se verán sometidos y

consecuentemente, con los espesores requeridos para dar servicio satisfactorio.

Las zonas que necesitan mayor espesor son las llamadas zonas críticas; pistas, plataformas y calles de carreteo, las zonas restantes o no críticas, tienen cargas menores lo que permite una reducción del espesor en el pavimento que se traduce en ahorro considerable de trabajo y dinero; será el caso de las áreas cercanas a los edificios, donde los únicos vehículos que las atravesarán son camiones, camionetas y planchas móviles.

Factores de operación: (comparación con los pavimentos de carreteras)

Canalización del tránsito de vehículos.

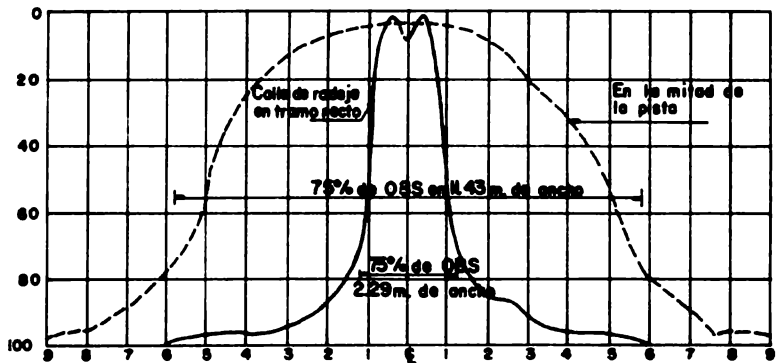
En las carreteras de dos carriles debido a la localización de las ruedas de los vehículos, la mitad de éstas van cercanas a la orilla del pavimento, en las carreteras de cuatro carriles, debido a la legislación de velocidad el tránsito pesado se canaliza hacia la derecha de la carretera, para cada sentido, ésta situación plantea una canalización del tránsito en el sentido transversal, de manera que las cargas más grandes se aplican próximas a la orilla del pavimento y en el caso de que se diseñara un pavimento diferencial, el mayor debería quedar ubicado en las orillas de la carretera.

En el caso de Aeropuertos, la situación es diferente ya que para las características de operación de las pistas, calles de rodaje y plataformas, éstas son marcadas con pintura y en algunas ocasiones con sistemas luminosos a lo largo del eje de la vía, ésta condición obliga en los Aeropuertos, a que la canalización del tránsito se realice en el centro de la pista y de la calle de rodaje, lo cual provoca que si se diseñan pavimentos diferenciales, el mayor espesor se encuentre en la franja central.

Para ilustrar se muestra en la fig. Nº 3.1, la concentración del tránsito de aviones, tanto en calles de rodaje como en pistas, se puede observar que el 75 % del tráfico se concentra en una franja central de 2.3 mts. de ancho en calles de rodaje y de 11.4 metros de ancho en pistas.

La repetición de cargas en un punto dado, está gobernada por el ancho de las llantas, por el ancho del tren de aterrizaje y por las condiciones de operación a éste conjunto de parámetros se le denomina ancho de banda; se ha observado que el ancho de banda para calles de rodaje como luces de eje de vía varía de 1.8 a 3.65 mts., para pistas con luces de eje de vía de 4.6 a 7.6 mts. y para aterrizajes normales varía de 10.7 a 13.70 mts.

PORCIENTO DE OBSERVACIONES DE TRAFICO



Distancia en metros del ξ o la huella del tren principal.

DISTRIBUCION DE LAS HUELLAS DEL TRAFICO DE AVIONES
CON TRENES PRINCIPALES DE RUEDAS DOBLES Y EN DOBLE TANDEM

FIG. No. 3.1

Intensidad de las cargas:

Los camiones más pesados que transitan en una carretera son del orden de 30 a 50 toneladas, son vehículos que - incluyendo las ruedas del tractor, llegan a tener hasta 18 - llantas fig. Nº 3.2.

En Aeropuertos, un avión con el mismo peso como por ejemplo el B-727 el B-737 6 el DC-9 tienen cuatro llantas - principales y dos auxiliares.

De lo anterior se deduce que la intensidad de carga por rueda es muy superior en Aeropuertos que en carreteras, máxime si consideramos aviones tan pesados como el B-747, cuyo peso máximo es de 374 tons. y únicamente tiene 16 ruedas - principales y 2 auxiliares (fig. Nº 3.2).

En la fig. Nº 3.3 y en la Nº 3.4, se encuentran las distribuciones de esfuerzos verticales que se producen bajo - una rueda cuando se aplican las siguientes cargas:

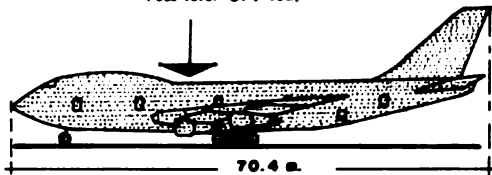
1.- Semieje con ruedas dobles, de un camión básico, - carga considerada en las ruedas dobles 4100 kgs.

2.- Pierna con 4 ruedas en doble tandem de un avión - B-747 carga considerada por pierna 84000 kgs.

B - 7 4 7

Peso total = 374 ton.

Peso total = 34 ton.



Número de llantas Carga por rueda (máx.)

16 principales _____ 1800 kg.

2 direccionales _____ 2500 kg

Número de llantas Carga por rueda (máx.)

16 principales _____ 21.500 kg

2 auxiliares _____ 15.000 kg.

INTENSIDAD DE LAS CARGAS

FIG. No. 3.2

FIG. No. 3.3

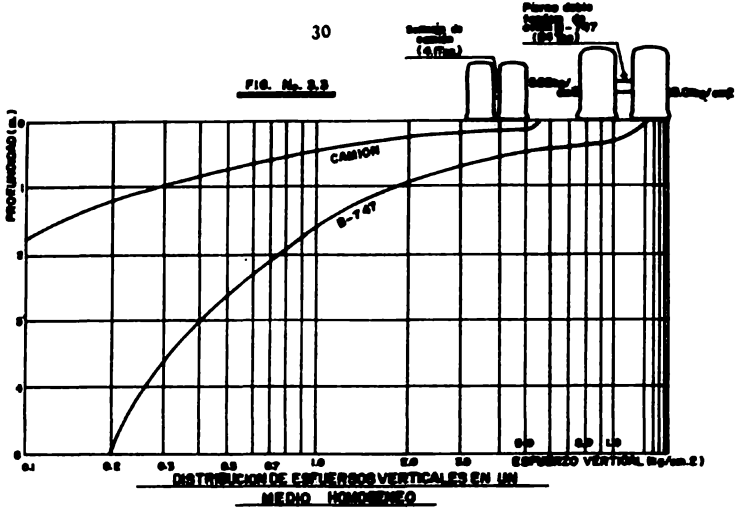
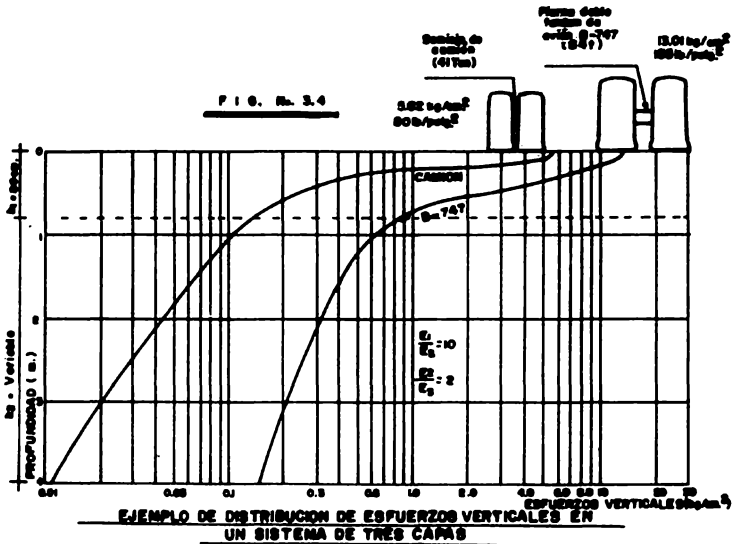


FIG. No. 3.4



En la figura N^o 3.3. el análisis teórico de esfuerzos se ha efectuado considerando al suelo como un medio homogéneo, sin embargo; al existir capas superficiales de mayor rigidez como en el caso de los pavimentos, los esfuerzos producidos por las cargas se reducirán más rápidamente con la profundidad como puede verse en la fig. N^o 3.4, en la que se considera a la masa sustentadora como un sistema de 3 capas con diferentes módulos de elasticidad y diferentes espesores de las capas constitutivas.

Presión de las llantas:

Este concepto puede ser considerado como una consecuencia del anterior, así se tiene que mientras en carreteras la presión de inflado de las llantas varía de 1.69 kgs/Cm². (24 lbs./in²) a 5.62 Kg/Cm². (80 Lbs./in²) en números redondos en Aeropuertos éstas presiones son del orden de 14.06-Kg/Cm². (220 Lbs./in²), llegando en algunos aviones militares a presiones de 28.12 kg/Cm². (400 Lbs./in²).

Frecuencia del tránsito:

En carreteras la separación entre un vehículo y otro subsecuente, dependerá de la propia geometría de la carretera y de la velocidad de circulación, así a velocidades medianas de 60 km./hora puede pasar un vehículo cada 1.5 se -

gundos en promedio, lo que da un volumen de tráfico por carril de más de 2000 vehículos por hora en condiciones de máxima capacidad, fig. 3.5.

En Aeropuertos por razones de control de tránsito aéreo bajo condiciones visuales, la separación entre dos aviones sucesivos que se aproximan al Aeropuerto no puede ser inferior a la distancia que hay entre el umbral de aproximación de la pista y el punto donde el avión precedente la desocupa (fig. 3.5), es decir dependerá del número de calles de rodaje de salida que la pista tenga, de la velocidad de salida y de las condiciones meteorológicas de operación; bajo condiciones de instrumentos, la separación mínima se puede incrementar hasta 5 millas náuticas (9260 metros), entre un avión y otro, ésta situación se presentará solamente bajo condiciones de tránsito intenso y en la mayoría de los Aeropuertos del mundo, la separación es aún mayor, es decir que entre un avión y otro pueden pasar varios minutos y hasta horas.

Además de lo anterior, existe la circunstancia de que es muy poco probable que un determinado punto del pavimento de una pista, tenga que soportar una repetición de carga cada vez que ocurra una operación, esto se puede ejemplificar con la fig. Nº 3.6.

La localización del punto de toma de contacto de un avión es variable, ya que depende de factores tales como el -

CARRETERAS



Capacidad máxima por carril
2000 automóviles/hora
(a 50-60 km/hr)



Capacidad máxima.
Carril de adentro: 2,200 automóviles/hora
Carril de afuera: 1,700 automóviles/hora
(a 60 km/hr.)

FIG. No. 3.5

AEROPISTAS



Capacidad práctica horario
operación visual (VFR): 45 a 99 op/hr
operación por instrumentos (IFR): 42 a 53 op/hr.

NOTA: El valor mayor es para
pistas que solo reciben
aviones bimotores y
monomotores.

El valor menor es para
pistas que reciben una
mezcla de aviones en
que el 60% son
cuatrirreactores o aviones
mayores.

FRECUENCIA DEL TRANSITO

tipo de avión, la técnica del piloto, la temperatura, la elevación del Aeropuerto, los mínimos meteorológicos y la velocidad y dirección del viento; en el momento del toque del avión lleva una velocidad horizontal de 125 a 145 nudos (230 a 270-Km./hr.) y una velocidad vertical de 0.6 a 1.8 m/seg. (2 a 6 ft/seg.).

En la figura Nº 3.6, aparece como centro de la zona de toma de contacto, la línea situada a una distancia de 380-metros (1250 ft) del umbral de la Pista, se ha observado que el 90 % de los aterrizajes quedan en una zona de 457 metros - (1500 ft) que se le ha denominado zona de toma de contacto, - la distribución longitudinal de las líneas de toma de contacto está representada por la curva de Gauss de la fig. Nº 3.6.

Pavimentos diferenciales en sentido longitudinal:

A lo largo de las carreteras el pavimento está sujeto a efectos constantes de cada carga, ya que independiente - mente de la velocidad y efectos de impacto, el peso del vehículo no cambia y solamente para un vehículo en particular, se presentaría una reducción en el peso a lo largo de su trayecto, por el consumo de combustible, cuyo peso es despreciable-comparado con el del propio vehículo.

En aeropuertos la operación de los vehículos se debe considerar bajo otras bases, ya que al analizar un despe-

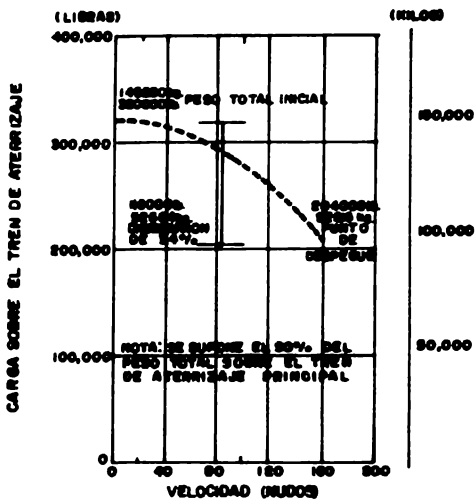
que a medida que aumenta la velocidad, se empieza a generar sustentación en las alas, las cuales comienzan a liberar el peso del avión sobre el tren de aterrizaje y consecuentemente sobre el pavimento, en la fig. N^o 3.7, se ejemplifica éste efecto para el caso de un avión B-707-300C.

Por lo anterior se puede deducir que en aquellas pistas de Aeropuertos, que no serán utilizadas como rodajes, es posible en el tramo central (en el sentido longitudinal), reducir el espesor de pavimento ya que las cargas actuantes, son menores que al inicio de la carrera de despegue fig. N^o 3.8.

Por lo que se refiere a aterrizaje, los pesos no son críticos; recientes mediciones en el Aeropuerto de Dayton EE.UU., mostraron que el impacto promedio producido por los aterrizajes normales fué de 65 % de la carga estática, pudiendo llegar en el caso de aterrizajes duros a 210 % de la carga estática.

Condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento:

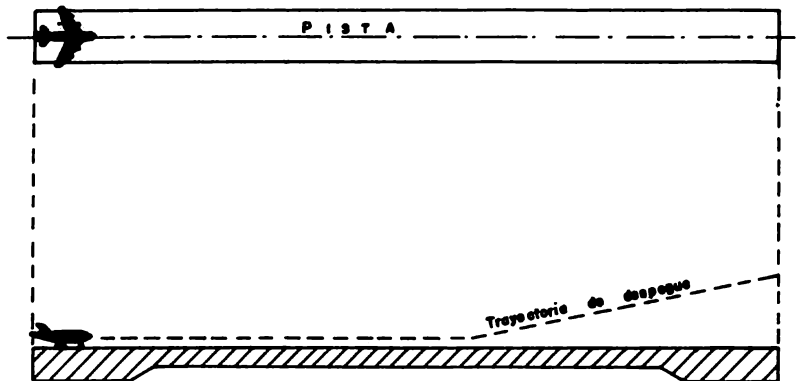
En trayectos muy largos y a velocidades uniformes los vehículos carreteros pueden entrar en resonancia si se tienen alteraciones de la rugosidad en forma uniforme, como por ejemplo las juntas transversales en los pavimentos de concreto hi-



TRANSFERENCIA DE CARGA AL PAVIMENTO DURANTE EL DESPEGUE
DE UN AVION BOEING 707-300C
 (De H.R Lee y J.L Scheffel.)

FIG. No. 37

Planta



PAVIMENTO DIFERENCIAL EN SENTIDO LONGITUDINAL DE PISTAS

(Croquis)

FIG. No. 3.8

drúlico, esta resonancia que puede ser notoria o no, pero la percibe el organismo del conductor y el cerebro, dentro de una caja de resonancia que es el cráneo, puede llegar a perder sensibilidad para efectos reflejos, en estudios sobre el tema se ha encontrado que en algunos accidentes en carreteras éste fenómeno puede ser importante; en consecuencia, las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento para una carretera son aspectos que deben tomarse en cuenta en forma severa sobre todo en pavimentos rígidos.

En Aeropuertos la situación es totalmente diferente, ya que las condiciones de rugosidad pueden determinar dos características no deseables para la operación de los aviones - sobre la superficie de rodamiento de una pista y que dependiendo de la velocidad en términos generales son:

La primera, que se refiere propiamente al perfil longitudinal del pavimento y que provoca oscilaciones alrededor del eje transversal del avión.

La segunda, que contempla el estado transversal de la pista, lo cual provoca vibraciones.

Estos dos efectos pueden provocar sobreesfuerzos en la estructura del avión, alteraciones en las lecturas de los instrumentos e incomodidad de los pasajeros, por su parte el pavimento tendrá que soportar mayores esfuerzos.

El efecto que le causan las oscilaciones al avión - es que entre mayores sean estas, el ángulo de ataque de las - alas se cambia en forma arbitraria, durante la carrera de des-
pegue, provocando alteraciones en la generación de sustenta -
ción y originando que la longitud de pista se incremente; por
las oscilaciones, el tren de nariz puede llegar a despegarse-
totalmente y al regresar al pavimento, causar impactos de más
del doble de su carga crítica.

Además en las cimas, también se puede presentar im-
pactos en el tren principal, que los transmite al pavimento -
con un incremento del peso estático del orden de 65 %, final-
mente se puede producir en las cimas del perfil, despegues -
falsos con el consiguiente regreso del avión al pavimento, -
generando esfuerzos y consecuentemente deformaciones adiciona-
les a la estructura del pavimento.

En la figura N° 3.9, se presenta el efecto de la -
sustentación de las alas en el impacto producido por la rugo-
sidad del pavimento y los despegues de un avión B-727, puede-
observarse que el efecto de la sustentación no logra neutrali-
zar el impacto, sin embargo cuando la superficie del pavimen-
to tiene pocas irregularidades, el impacto se reduce conside-
rablemente.

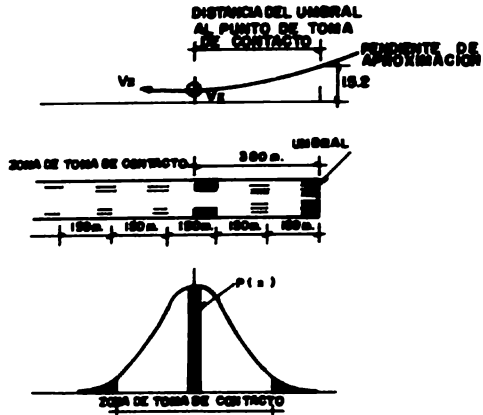
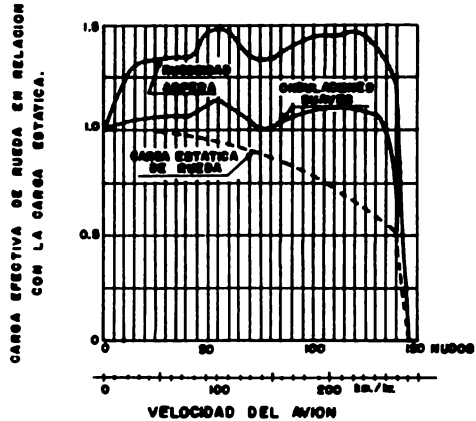


FIG. No. 3.8 DISTRIBUCION LONGITUDINAL DE CARGAS (con R.C. Yeng)

FIG. No. 3.9



EFFECTO DE LA SUSTENTACION DE LAS ALAS EN EL IMPACTO PRODUCIDO POR LA RUGOSIDAD.

(Fuente : NC.Yeng) (Adaptado por F.F. Rodarte)

Textura de la superficie del pavimento que afecta -
al frenado de los vehículos:

Tanto en carreteras como en Aeropuertos es muy importante que la textura del pavimento provea un adecuado coeficiente de rozamiento para reducir accidentes, en ambos casos, el coeficiente de rozamiento puede ser afectado por la temperatura, (principalmente en los pavimentos flexibles), por lluvia, nieve, derrame de combustibles, por afloramiento de asfalto (en el caso de pavimentos flexibles), y por desgaste de la propia superficie del pavimento (en Aeropuertos - el desgaste es mucho menor).

El coeficiente de rozamiento se disminuye al incrementarse la velocidad; la velocidad de circulación en las carreteras de México está limitada a 100-125 Km/hora, en Aeropuertos la velocidad que lleva el avión en el momento de toque en la pista es de 230 - 270 Km./hora (125 a 145 nudos), y en los rodajes de alta velocidad los aviones circulan a velocidades de 90 a 110 Km./hora (50 a 60 nudos).

Una diferencia entre las carreteras y las aeropistas es la circunstancia de que en las zonas de toque de las pistas las llantas de los aviones dejan impregnado un poco de su caucho en la superficie del pavimento, lo que a través de un buen número de aterrizajes, hace que aparezca una película de caucho cubriendo dicha superficie.

El caucho impregnado en grandes cantidades en las - pistas de mucho tráfico, impide el drenaje de la lluvia proporcionando de esta manera las condiciones para que se produzca el peligroso fenómeno de hidroplaneo, lo que incrementa grandemente las distancias en que pueden detenerse las aeronaves - al efectuar el aterrizaje.

Factores de Operación:

En cualquier carretera o camino es relativamente fácil modificar la circulación de vehículos, alterando la velocidad de los mismos para efectuar reparaciones, atender - accidentes o efectuar trabajos de mantenimiento rutinario.

En los Aeropuertos no es posible considerar esta posibilidad, ya que la velocidad de desplazamiento de los aviones dependerá de su peso y de las necesidades que se tengan - de generación de sustentación o enfrenamiento, por lo que no es posible realizar trabajos sobre un pavimento de un Aero - puerto ya que está en operación.

Esta situación obliga a pensar que los pavimentos - deben ser concebidos pensando que no haya deterioros frecuentes debido al tránsito ó al intemperismo, que obliguen a realizar grandes trabajos sobre ellos, ya que en este momento la pista debe cancelarse a operaciones y en consecuencia, si el - Aeropuerto tiene una sola, se tendrán clausuradas las opera -

ciones por el tiempo que duren los trabajos.

Tipo de terreno de cimentación y materiales que integrarán la estructura del pavimento:

Los materiales que constituyen el terreno de cimentación, las terracerfas y la capa subrasante tienen un papel fundamental en el comportamiento y espesor requerido de un pavimento, por ello la determinación de las características mecánicas e hidráulicas del suelo que formarán las partes antes mencionadas es de vital importancia, y se determinan aplicando los principios y métodos de trabajo de la mecánica de suelos, lo mismo que para materiales de bases y sub-bases.

Para llegar al conocimiento de las características mencionadas, podemos seguir el siguiente programa de estudios que consta de:

- 1.- Exploración Geotécnica.
- 2.- Muestreo.
- 3.- Obtención de las propiedades físicas y mecánicas
- 4.- Clasificación de los materiales.
- 5.- Pruebas adicionales para la utilidad de algún material en una u otra capa de la estructura.

Aspecto fundamental en el problema que aquí se trata, es buscar la colaboración de ciencias que, como la Geología, -

pueden dar en ocasiones información de carácter general muy importante. Puede decirse que, sobre todo en obras de gran magnitud, un análisis serio y eficaz, desde un punto de vista geológico, resulta imprescindible, este estudio será naturalmente, previo a cualquier actividad realizada por el especialista de mecánica de suelos.

La información que se puede obtener es la siguiente: formación geológica, existencia de fallas, plegamientos, configuración topográfica, tipos y características de roca; todo ello es de vital importancia ya que ayuda al Ingeniero a normar el criterio permitiéndole tomar las medidas pertinentes para proseguir con la exploración y el muestreo.

Una vez que se tiene localizado el eje de la obra, la magnitud de la exploración y muestreo depende del tamaño de los cortes y terraplenes que se tengan, así como el tipo de terreno de cimentación sobre el cual se desplante la obra.

En general podemos decir que la exploración se ejecuta con pozos a cielo abierto, obteniéndose las muestras necesarias para las pruebas que nos permitan clasificar el material de los préstamos laterales, eje de la obra y de los posibles blancos.

Sólo se emplean métodos de exploración definitivos, cuando el corte sea muy grande, ó cuando el terreno de cimen-

tación presente problemas específicos (suelos blandos, expansivos, etc.). En estos casos tal exploración se hará con sondas con los cuales se puedan obtener muestras que nos den información cualitativa y cuantitativa con respecto al problema que se tenga.

Una vez que se tienen las muestras, se procede a realizar las pruebas para clasificar los materiales ya que esto, permite al técnico normar su criterio respecto al suelo en cuestión, antes de que adquiera conocimientos más profundos y extensos de las propiedades del mismo; así al usar un sistema de clasificación será posible, entre otras cosas, obtener criterios para saber en que dirección es conveniente profundizar la investigación.

La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (S.A.H.O.P.), Organismo Oficial que resume la práctica Ingenieril Mexicana, en el campo de las vías terrestres ha formado su propio sistema de clasificación, el cual está basado en el sistema unificado de clasificación de suelos, dando buenos resultados hasta la fecha.

La clasificación de la S.A.H.O.P., agrupa en 3 divisiones los materiales de la corteza terrestre; suelos, fragmentos de roca, y rocas; para los fines de pavimentos hablaremos únicamente de los suelos y los fragmentos de roca.

El término suelo se aplica a todas aquellas partículas de materiales menores de 7.6 cm. (3"). El término fragmentos de roca, se aplica a los fragmentos mayores de 7.6 cm. y que no forman parte de una formación rocosa masiva. El término roca se usa para formaciones rocosas continuas ó masivas.

El suelo se subdivide en suelos de partículas finas o "finos" y suelos de partículas gruesas o "gruesos". Los finos son aquellos cuyas partículas son menores que la malla N^o 200 y los gruesos son los que se retienen en la malla N^o 200 y pasan la malla de 7.6 cm. (3"). Los finos comprenden los suelos orgánicos, limos y arcillas. Los suelos orgánicos son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica; en aquellos que predomina mucho la materia orgánica quedan en un grupo denominado turba.

Los suelos gruesos comprenden los grupos denominados arena y grava, siendo la frontera entre ellas la malla N^o 4.

Debemos mencionar que un suelo se considera grueso si más del 50 % de sus partículas son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas en peso, son finas.

Los fragmentos de roca se subdividen en chicos, medianos y grandes, los fragmentos chicos son aquellos que se -

retienen en la malla de 7.6 cm. y su dimensión máxima es menor de 20 cm. Los fragmentos medianos son aquellos cuya dimensión máxima esté comprendida entre 20 cm. y 75 cm. Los fragmentos grandes son aquellos cuya dimensión máxima está entre 75 cm. y 200 cm.

Además de la granulometría de los materiales ésta clasificación está basada en la carta de plasticidad, resultado de una investigación realizada por Casagrande; en ésta investigación se observó que al situar los suelos en un sistema coordenado que tenga el límite líquido en el eje de las abscisas y el índice plástico en el eje de las ordenadas, su agrupamiento no ocurre al azar, si no que se agrupan de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas; del mismo modo que los suelos vecinos poseen propiedades similares, los alejados las tienen diferentes, con base a esto se pudo establecer en la gráfica fronteras que separan a los materiales finos en diferentes grupos de propiedades afines. Cada uno de éstos grupos tiene un símbolo genérico, dado por una o más letras mayúsculas formándose las siguientes divisiones para los suelos finos:

- 1.- Limos inorgánicos de símbolo genérico M.
- 2.- Arcillas inorgánicas de símbolo C.
- 3.- Limos y arcillas orgánicas de símbolo genérico O.

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdivide en dos grupos, según su límite líquido, si éste es menor de 50 %, son suelos de compresibilidad baja o media, se le añade al símbolo genérico la letra L y por ésta combinación se obtienen los grupos ML, CL y OL.

Los suelos finos con límite líquido mayor de 50 % son de alta compresibilidad, llevan además del símbolo genérico la letra H formándose los grupos MH, CH, OH.

Además de lo anterior, para lograr clasificar los materiales se necesitan conocer los siguientes datos.

La clasificación petrográfica; consiste en especificar de que roca se trata.

Las características granulométricas, indican si se trata de un material de fragmentos de tamaño uniforme o en el caso de comprender varios tamaños deberá estimarse si el material está mal graduado, o bien graduado, se indicará también el tamaño máximo de los fragmentos.

La forma de los fragmentos deberá indicarse en los términos acicular, cuando tenga forma de aguja, laminar cuando tenga forma de lámina y equidimensional cuando tenga el mismo orden de magnitud, ésta última comprende a los fragmentos que tenga vértices y aristas agudos, angulosas y redondeados.

En lo referente a las características de las superficies, deberán calificarse con los términos: lisa, ligeramente rugosa, medianamente rugosa y muy rugosa.

El término estructura indica la manera en que están colocados entre sí los diferentes constituyentes de un depósito pétreo. Ya que los huecos entre partículas en ocasiones - están llenos por algún material que influye bastante en su - comportamiento mecánico y ello se refleja en la estructura - ción del material.

La estratigrafía deberá describirse indicando el - espesor de los estratos, y el tipo de material que constituye dichos estratos.

La compacidad se describirá usando los términos muy suelto, suelto, poco compacto, compacto y muy compacto.

Por lo que toca a la cementación, debe expresarse - con los términos: nula, ligera, media y alta.

Las condiciones de humedad deberán indicarse con - los términos: seco, poco húmedo, muy húmedo y saturado.

Las características de drenaje se refieren a la facilidad con las que un depósito de material puede drenarse - en el caso de que llegue a saturarse, éstas características -

se calificarán con los términos siguientes: nulas, malas, medias y buenas.

Los suelos altamente orgánicos tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt.

En lo que se refiere a la fracción gruesa denominada arenas y gravas, las cuales tienen como símbolos genéricos S y G respectivamente, diremos que un suelo pertenece al grupo genérico G si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla Nº 4 y es del grupo genérico S en caso contrario.

Las gravas y las arenas se dividen en cuatro grupos que son los siguientes:

1.- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado símbolo W. En combinación con los símbolos, se obtienen los grupos GW y SW.

2.- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado símbolo P. En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.

3.- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos símbolo M. En combinación con los símbolos genéri-

cos, da lugar a los grupos GM y SM.

4.- Material con cantidad apreciable de finos plásticos símbolo C. En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

Debemos señalar que tanto en los suelos finos como en los gruesos, existen casos de frontera, los cuales se denotan con símbolos dobles.

Por último, anexo a ésta información se encontrarán las tablas que en forma resumida utiliza la S.A.H.O.P., para clasificar los suelos (en pavimentos).

Pruebas para clasificación de suelos:

Con los conocimientos anteriores se logrará clasificar los materiales de tal modo que al colocarlos en el grupo que es a fin a sus características, se conocerá cualitativa - mente su comportamiento, lo que sirve al técnico para profundizar la investigación si le son útiles o representan algún - problema para la obra.

Cuando se pueden utilizar los materiales en la estructura del pavimento y además no se tienen problemas especiales de cimentación, se pueden emplear siempre que cumplan con condiciones que indican las pruebas de:

CUADRO QUE MUESTRA LA CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE LA S.A.H.O.P.

CUADRO N.º 1

Tip	Sub-Tipos	IDENTIFICACION	Grupo	Valores
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z	GRANDES Mayor de 10 m de ancho y menor de 10 m	Programa grande, con menos del 10% de arena fragmente y de coque	Pg	1-Grupos de la Programación de una programación... 2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...
		Programa grande suelta con fragmente mediano, predominantemente los grandes, con menos del 10% de fragmente chico y de coque	Pg	
		Programa grande suelta con fragmente chico, predominantemente los grandes, con menos del 10% de fragmente mediano y de coque	Pg	
		Programa grande suelta con fragmente mediano y grueso, predominantemente los grandes entre los medianos y otros entre los chicos, con menos del 10% de coque	Pg	
	MEDIANOS Mayor de 10 m de ancho y menor de 10 m	Programa mediano, con menos del 10% de arena fragmente y de coque	Pa	2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...
		Programa mediano suelta con fragmente chico, predominantemente los medianos entre los chicos, con menos del 10% de fragmente grande y de coque	Pa	
		Programa mediano suelta con fragmente mediano y grueso, predominantemente los medianos entre los chicos y otros entre los grandes, con menos del 10% de coque	Pa	
		Programa mediano suelta con fragmente grande y grueso, predominantemente los medianos entre los chicos y otros entre los grandes, con menos del 10% de coque	Pa	
	CHICOS Mayor de 7.5 m de ancho y menor de 10 m	Programa chico, con menos del 10% de arena fragmente y de coque	Pc	3-El desarrollo de suelos que son... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...
		Programa chico suelta con fragmente mediano, predominantemente los chicos, con menos del 10% de fragmente grande y de coque	Pc	
		Programa chico suelta con fragmente mediano y grueso, predominantemente los chicos entre los medianos y otros entre los grandes, con menos del 10% de coque	Pc	
		Programa chico suelta con fragmente grande y grueso, predominantemente los chicos entre los medianos y otros entre los grandes, con menos del 10% de coque	Pc	
DE PARTIDAS DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE	DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	1-Grupos de la Programación de una programación... 2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...
		Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava fina, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava fina, con arena y arena gruesa	GP	
	DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	1-Grupos de la Programación de una programación... 2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...
		Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava fina, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP	
		Grava fina, con arena y arena gruesa	GP	
DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	1-Grupos de la Programación de una programación... 2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...	
	Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava fina, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava fina, con arena y arena gruesa	GP		
DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE DEPARTAMENTO DE	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP	1-Grupos de la Programación de una programación... 2-El desarrollo de suelos que son... 3-Para los materiales de los suelos que... 4-El desarrollo de suelos que son... 5-Para los materiales de los suelos que...	
	Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava fina, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava gruesa, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava mediana, con arena y arena gruesa	GP		
	Grava fina, con arena y arena gruesa	GP		

Cuerpo de terraplén y sub-rasante

Pruebas de clasificación.	{ <ul style="list-style-type: none"> granulometría. límites de Atterberg Contracción lineal porter estandar { expansión <li style="padding-left: 1.5em;">V.R.S.
Pruebas de control.	{ <ul style="list-style-type: none"> Proctor S.A.H.O.P.; si - 10% retiene la malla # 4. AASHO modificado; si 20 % < retiene malla # 4 < 10%. Porter estandar; si + 20% retiene la malla # 4.
Pruebas V.R.S. de proyecto.	{ <ul style="list-style-type: none"> 100 % P.V.S.M. W_o. Zonas de buen drenaje y bajo régimen pluvio métrico. 95 % P.V.S.M. $W_o + 1.5 \%$. Zonas de regular drenaje y régimen pluvio métrico medio. 90 % P.V.S.M., $W_o + 3.0 \%$. Zonas de mal drenaje y alto régimen pluvio métrico.

Bases y sub-bases.

Granulometría.

Límites de Atterberg.

Contracción lineal.

**Porter estandar expansión
 V. R. S.**

Valor cementante.

Equivalente de arena

Estabilidad

Compactación

Prueba Marshall (P.V.M. estabilidad, flujo).

Forma de las partículas

Afinidad con asfalto

Prueba de desgaste

Contenido óptimo de asfalto

En los materiales asfálticos:

a) cementos asfálticos y rebajados

Viscosidad

Punto de inflamación

Punto de reblandecimiento

Ductilidad.

Penetración.

Destilación.

Residuo de la destilación.

Asentamiento en 5 días.

Con éstas pruebas se obtienen datos cualitativos - que nos permiten determinar el espesor y calidad de cada capa de la estructura del pavimento.

Clima:

El principal factor climático que afecta a los pavimentos, suele ser la precipitación pluvial, ya por su acción directa o por elevación de las aguas freáticas. Frecuentemente el proyectista se ve obligado al diseño y construcción de estructuras adicionales de drenaje, a parte del drenaje normal que nunca podrá faltar en la obra vial; por esta razón - se le dará más importancia a éste factor en lo subsecuente de éste estudio.

Las heladas en los climas rigurosos, pueden ser fuente de un gran número de problemas en pavimentos, en México, - sin embargo, esta condición no es crítica.

D r e n a j e :

Uno de los factores que más influye en el comportamiento de los pavimentos es el drenaje, tanto superficial como subterráneo, ya que de no estar resuelto adecuadamente, la vida útil se reduce en forma considerable, tal como lo consigna la investigación al respecto del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., en la que un pavimento sin saturar soporta más de un millón de repeticiones; sin embargo el mismo pavimento saturado apenas algunas decenas de repeticiones.

El drenaje en Aeropuertos, deberá proyectarse de tal manera que el agua de lluvia se aleje lo más pronto posible de la aeropista, para ello se proyectarán obras de carácter longitudinal o transversal como son: bombeo, cunetas y canales laterales, obras de arte y bordillos; en general puede decirse que el drenaje superficial se resuelve adecuadamente y que es el agua subterránea la que mayores problemas causa a los pavimentos, por lo que es necesario se de a este aspecto, mayor importancia en los estudios geotécnicos para detectar las zonas que requieren obras especiales como son: subdrenes, drenes laterales, capas rompedoras de capilaridad, que en general tienen la función de crear un gradiente hidráulico que haga fluir el agua hacia ellos; modificando así las fronteras indeseables de agua.

A este respecto es indudable que es de importancia el clima de la zona en cuanto a precipitación pluvial se re -

fiere, así como a la formación geológica de las zonas en que está situado el Aeropuerto, ya que los problemas serán diferentes debido a que se pueden tener rocas masivas fracturadas o suelos arcillosos.

Un aspecto que se debe contemplar en el proyecto de las terracerías es el nivel de aguas freáticas, cuando se tiene terraplenes bajos y más aún apelo de tierra, pues cuando este nivel es muy superficial el comportamiento del pavimento en general será inadecuado si no se toman las providencias necesarias para proyectarlo.

El proyectista de pavimentos, deberá percatarse de que el drenaje esté suficientemente resuelto y en caso contrario hará las recomendaciones adecuadas para que así sea.

De acuerdo con el drenaje en el país, se pueden tener las siguientes zonas:

- 1.- Zonas desérticas y de bajo régimen hidrológico.
- 2.- Zonas de lomerío ligeramente planas con buen drenaje, sin que se presenten flujos en los 3 metros debajo de la superficie.
- 3.- Zonas de alto régimen hidrológico de mal drenaje o con flujos de agua más o menos superficiales como acontece a menudo en las zonas montañosas y aún en lomerío. En este grupo deben considerarse aquellas regiones en las que el nivel

de aguas fráticas, es bastante superficial y con la rasante muy baja y aún a pelo de tierra.

FACTOR ECONOMICO.

Todas las obras de ingeniería las cuales formen parte de la infraestructura nacional, dentro de las que está la construcción de caminos ó aeropistas, deben ser lo más económicas posibles, entendiéndose como el de menor costo, aquel que incluye la construcción, mantenimiento y operación de la obra durante la vida útil para la cual fue proyectada.

Cuando se tiene suficiencia económica, el pavimento más adecuado es el de tipo rígido, pues la suma de los costos inicial, y de mantenimiento resulta menor comparándolo con lo que cuesta un pavimento flexible, el problema está en que el pavimento rígido requiere de una inversión inicial mayor que el flexible.

En general los países en desarrollo cuentan con pocos fondos para desarrollar su infraestructura; por lo tanto, al proyectar los pavimentos se deberá tomar en cuenta el costo inicial y los riesgos que se pueden tomar en su proyecto.

Para tomar en cuenta los riesgos que se pueden aceptar al construir una aeropista, compararemos estas obras -

con otros pavimentos como son los de una carretera, que en caso de que falle ésta última las pérdidas materiales y humanas no son comparables con las que se presentarían en una aeropista.

Las condiciones de operación que requieren las aeronaves no permiten que la superficie de rodamiento presente deformaciones considerables, ya que pueden ocasionar accidentes que costarían grandes pérdidas materiales y humanas; a diferencia de lo que sucede en una carretera, tales fallas no presentarían graves problemas debido a que las velocidades que se desarrollan son mucho menores, permitiendo incluso que los automóviles puedan ser reparados a orilla de la carretera, cosa que no sucede en aeropistas.

Por las anteriores razones, el proyecto de un pavimento en una aeropista requiere factores de seguridad mayores que la unidad, no así, en una carretera donde tales factores son menores, repercutiendo esto en la economía final de la obra.

Frecuentemente se encontrará conveniente construir una aeropista por etapas, en cuanto a su longitud, ancho y estructura de la sección refiere; lo anterior va ligado a las demandas del tráfico y peso de los aviones que la utilizan, esto es muy conveniente cuando los fondos de que se dispongan por el momento sean limitados.

Si se desea iniciar la construcción por etapas, debe tenerse cuidado en tener un detallado estudio del proyecto total; debe calcularse el pavimento completo antes de iniciar cualquier trabajo, y en cada una de las etapas se debe proporcionar una superficie que pueda ser utilizada de inmediato, - en tal forma, se logrará que cada una de ellas sirva a las - necesidades progresivas completando también, las obras auxiliares que se vayan necesitando.

Debemos mencionar que las condiciones del suelo de cimentación y la facilidad para obtener materiales de construcción, son los puntos más importantes que pueden afectar - el costo de construcción de un pavimento.

Estos costos están relacionados con la facilidad o dificultad para ejecutar las excavaciones, transportación, - tratamientos adecuados a los materiales para obtener las compactaciones deseadas, etc.

La reducción del costo de una obra depende en gran parte de la utilización de los materiales locales, sin embargo, frecuentemente, los materiales que se encuentran en el lugar no son los apropiados para la construcción de la obra de acuerdo a las especificaciones de construcción. En éste caso las propiedades físicas de los materiales no deseables en el lugar, pueden mejorarse mezclándolos con materiales de mejor calidad, estabilizándolos, o bien, cubriéndolos con aquellos-

de mejores características que puedan encontrarse cercanos a la zona de construcción.

MÉTODOS DE PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
EN AEROPUERTOS.

Método del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos:

El método del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que inicialmente fué desarrollado por la división de carreteras del estado de California (siendo O.J.-Porter el hombre más intimamente ligado en el desarrollo de éste método). Utiliza en el diseño de pavimentos el California Bearing Ratio (CBR) obtenido a partir de un espécimen preparado dinámicamente, a diferencia del utilizado por la división de carreteras el cual obtiene el CBR de un espécimen elaborado en forma estática.

El CBR (o valor relativo soporte)(VRS), como se le conoce en México, es la relación de la resistencia de un suelo a la penetración de una aguja estandar de 3 pulgadas cuadradas de área, entre la resistencia de una grava triturada - estandarizada a la misma penetración, lo que podemos expresar de la siguiente forma:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Resistencia de un suelo a la penetración.}}{\text{Resistencia de un material estandar a la misma penetración.}}$$

Una de las ventajas de éste método es la sencillez con la que el diseño puede ser llevado a cabo, ya que éste - está basado en correlaciones.

Además del CBR se requieren pruebas adicionales de laboratorio como son la de granulometría y la determinación de los límites de Atterberg.

El método del cuerpo de Ingenieros consideró razonable tomar como criterio de falla de un pavimento al esfuerzo crítico, siendo este el que imponga el avión de diseño, - para el cual se proyectará el pavimento.

El esfuerzo crítico se produce para una misma carga en la pierna del avión, cuando se tienen menos llantas, - ya que ésto trae como consecuencia la concentración de esfuerzos en poca área, observándose que una carga de ruedas sencillas ocasiona mayores esfuerzos y por lo tanto mayores deflexiones, que una carga de ruedas múltiples para la misma carga antes mencionada.

Para facilidades de cálculo se convierte la carga de ruedas múltiples a carga de rueda equivalente sencilla, -

utilizando la gráfica de la fig. N^o 3.10, que proporciona el cuerpo de Ingenieros, en la cual se obtienen los factores de deflexión que multiplicados por la carga de rueda sencilla se obtiene la carga de rueda equivalente.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, y los datos de secciones de prueba, el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos consideró que el criterio de diseño en base al CBR, para ruedas múltiples, podía ser expresado de la siguiente forma:

$$t = f \left(\frac{ESWL}{8.1 (CBR)} - \frac{A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ --- (a)}$$

donde:

t= espesor de pavimento en (pulgadas).

A= área de contacto (pulg.2).

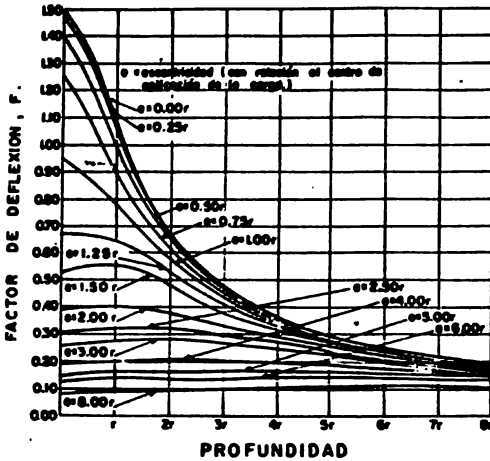
f= por ciento de espesor de diseño.

f= 0.23 log. C + 0.15.

ESWL= carga equivalente de rueda sencilla.

C= cubrimientos.

Donde el término cubrimiento, es utilizado por el cuerpo de Ingenieros para convertir el número de operaciones de aviones a número de repeticiones de esfuerzos máximos, un cubrimiento ocurre cuando cada punto de la superficie del pavimento ha sido sujeto a un esfuerzo crítico por el avión de-

Fig. 3.10

$$F = \frac{e^2 p^2}{E_m}$$

e = deflexión vertical (pulg.)

r = radio del arco circular de carga (pulg.)

E_m = módulo de elasticidad (lb./pulg.²)

F = factor de deflexión.

Z = profundidad (pulg.)

p = presión en la superficie de contacto (lb./pulg.²)

NOTA: Para puntos bajo el centro del área circular (excentricidad = 0.00r): $F = \frac{3r}{2Z^2 \cdot r^2}$

FACTORES DE DEFLEXION PARA UNA CARGA UNIFORME DE RADIO "r"
 RELACION DE POISSON=0.5. (Cuerpo de Ingenieros, Estacion experimental
 Waterways.)

proyecto, la expresión que nos determina los cubrimientos es:

$$C = D \left(\frac{0.75 Na}{T} \right)$$

Utilizándose ésta expresión para aviones con tren - de aterrizaje en triciclo y piernas con ruedas sencillas, dobles y en doble tandem; en donde:

C = cubrimientos.

D = número de operaciones a carga máxima.

N = número de ruedas por pierna del tren principal.

a = ancho del área de contacto de una llanta (pulg.)

T = ancho de tráfico (pies), se considera que el - 75 % de las operaciones queda incluido en éste - ancho se ha tomado.

T = 37.5 pies (11.4 m.) para pistas.

T = 7.5 pies (2.3 m.) para calles de rodaje (para - aviones con piernas de ruedas dobles y en doble tandem).

Es con éste procedimiento que han sido elaboradas - la mayoría de las gráficas de diseño de pavimentos para aviones comerciales.

Recientes estudios y pruebas de pavimentos efectuados con cargas representativas de trenes de aterrizaje comple

jos (por ejemplo el B-747) han indicado que para un gran número de repeticiones la ecuación (a), es algo conservadora - por tanto, la ecuación se ha modificado como sigue:

$$f = \alpha_i \sqrt{\frac{ESWL}{8.1 (CBR)^{-\frac{A}{\pi}}}}$$

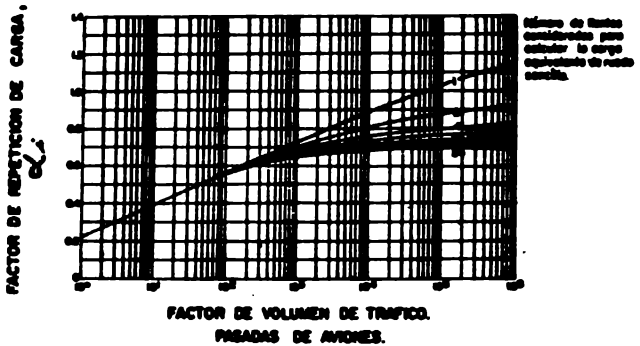
donde:

α_i = factor de repetición de carga, que depende - del número de ruedas del tren principal que se ha utilizado - para calcular la carga de rueda equivalente sencilla. Este factor está basado en pasadas de avión (una pasada es una operación de avión), con ésto se busca refinar la metodología, - haciendola más acorde con la realidad, ya que por lo menos el 85 % de las operaciones se realizan en la franja central de - la pista, no así en todo el pavimento como sucederfa para un cubrimiento, esto nos lleva a proyectar los pavimentos, únicamente para las operaciones que se esperan en la vida útil de la obra; los valores de α_i para el avión B-747, se obtienen de la fig. N^o 3.11.

Anexo a éste trabajo se encuentran gráficas de diseño de pavimentos para aviones comerciales, elaboradas por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU.

A las gráficas se entra con el CBR en el eje de las abscisas, subiendo una vertical desde donde se encontró el -

Fig. 3.11



FACTOR DE REPETICION DE CARGA CONTRA NUMERO DE PASADAS

(Cuerpo de Ingenieros. Estacion experimental Waterways)

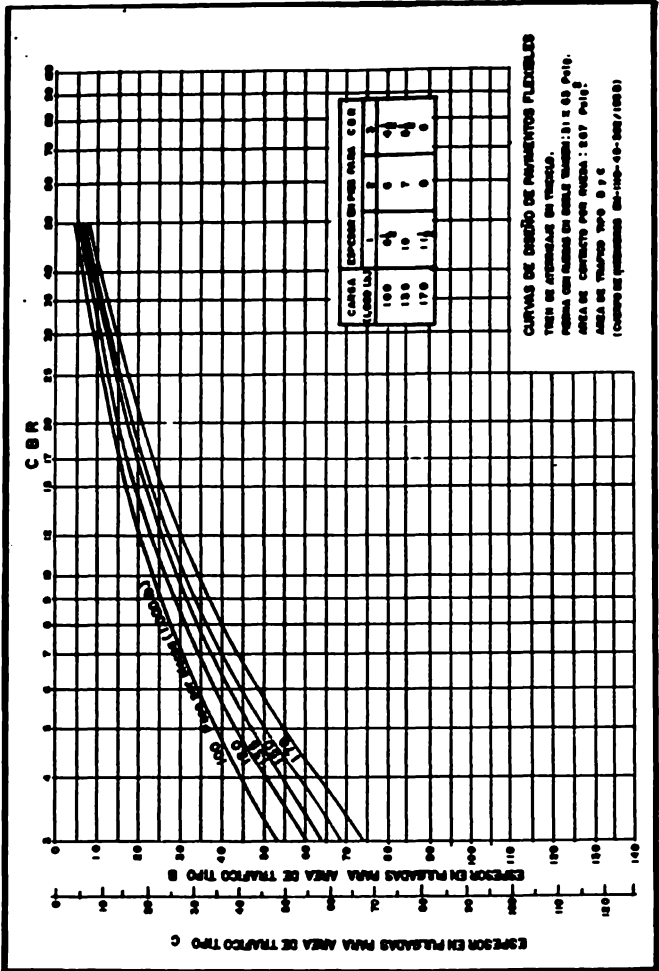


Fig. 3.12

8,000 CUBRIMENTOS

LLANTAS: 44 x 18"

PRESION DE INFLADO: 100 lb./pulg.²

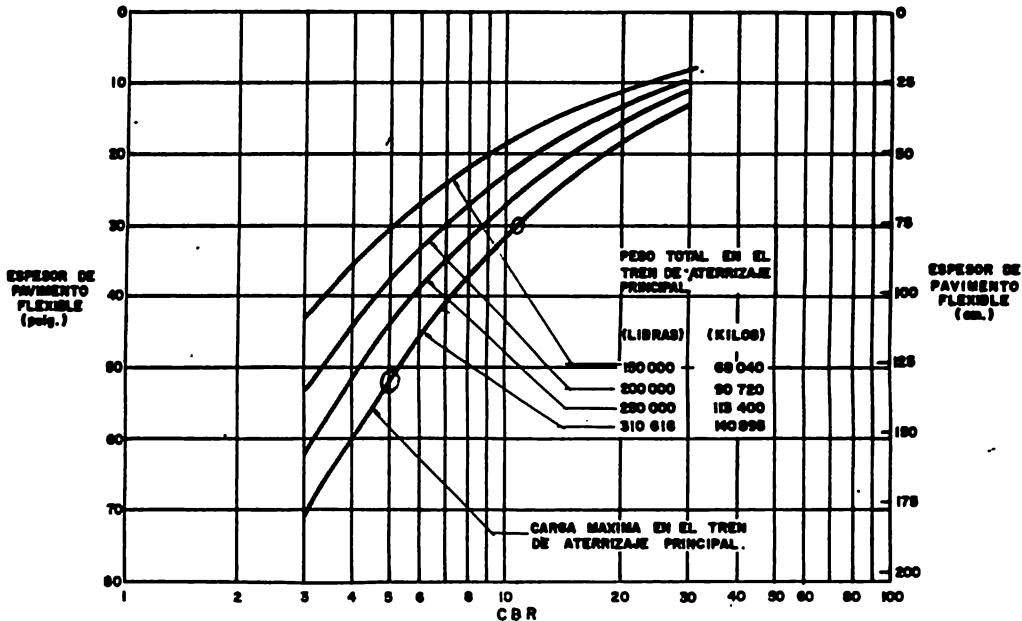


Fig.3-13 REQUERIMIENTOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO DE DISEÑO DEL CUERPO DE INGENIEROS. (SEFL 165A)
AVION DC-8-55 F.

(Douglas Aircraft Company, 1969)

Llaves: 49x17" (124.5x43.2cm). Presión de inflado: 158 lbs/pulg² (11.1 Kg/cm²).

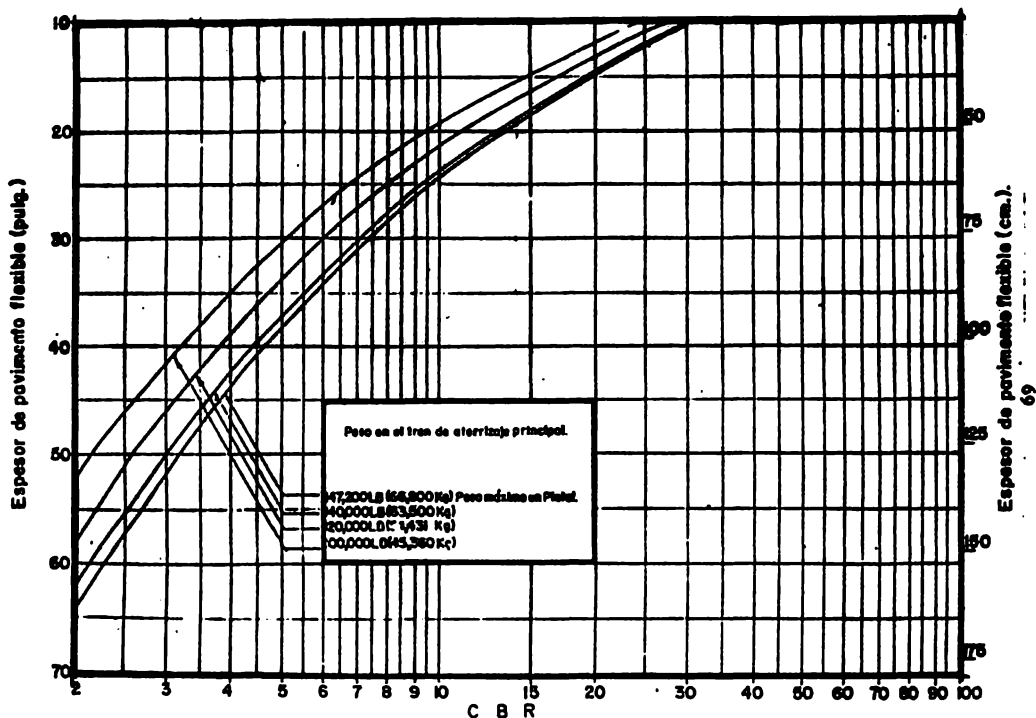


FIG. 3.14. Requerimientos de pavimento flexible. Método de diseño del cuerpo de Ingenieros modificado por SEFL 165 A
 Avion B-727-100 y 100 C
 (Boeing Company. 1972).

valor hasta intersectar la curva que comprende el peso máximo en el tren de aterrizaje principal, por tal punto de intersección, se traza una horizontal hasta llegar al eje de las ordenadas, donde se obtiene el espesor total del pavimento, éste espesor se estructurará de acuerdo a la calidad y costo de los materiales con que se cuenta.

En cuanto a las características de los materiales que componen las capas de la base, sub-base y capa de mejoramiento, el cuerpo de Ingenieros ha establecido con base en la experiencia, las especificaciones que se indican en las tablas 3.1 y 3.2, debido a que las pruebas de CBR en el Laboratorio, pueden no ser representativas para estos materiales se requiere complementar su conocimiento por medio de otras características, como son, para el caso de sub-base y capas de mejoramiento, la granulometría, el límite líquido y el índice plástico, además para bases, la clasificación del tipo de material.

En las tablas 3.3 y 3.4 se presentan los criterios de diseño de espesores en carpeta y base. Para cargas de rueda sencilla con presión de inflado de 100 lb/pulg.2 y área de contacto por rueda de 100 pulg.2.

Este método hace referencia al tipo de zona dependiendo de la intensidad de tráfico que se tenga, para ello se tiene la fig. N° 3.15. El cálculo de espesor del pavimento se obtiene en la fig. N° 3.12.

Tabla 3.1.

Selección del CBR de diseño para capas de mejoramiento y subases
(Cuerpo de Ingenieros)

Material.	Máximo CBR de diseño	Tamaño (Pulg.)	Valor máximo permisible			
			Requerimientos granulométricos.		Límite Líquido (LL)	Índice Plástico (IP)
			% que pase.			
N.º 10 (num.2)	N.º 200 (num.075)					
Subase	50	3	50	15	25	5
Subase	40	3	80	15	25	5
Subase	30	3	100	15	25	5
Capa de mejoramiento	20	3 ½	—	25 ½	35 ½	12 ½

* Límites sugeridos.

Tabla 3.2

Selección del CBR de diseño para bases
(Cuerpo de Ingenieros)

T I P O	CBR De diseño.
Agregado triturado graduado.	100
Macadam confinado en húmedo.	100
Macadam confinado en seco.	100
Capas asfálticas intermedias y superficiales, mezcla en planta en caliente.	100
R o c a C o l i z a	80
Agregado estabilizado	80

Tabla 3.3 Criterio de diseño de espesores de carpeta y base para cargas de rueda sencilla (Cuerpo de Ingenieros)

Rueda sencilla. Presión de inflado: 100 Lb./pulg.²

CARGA (1,000 LB.)	ESPESOR MINIMO (PULG.)					
	CBR : 80 (1)			CBR : 100		
	CARPETA	BASE	TOTAL	CARPETA	BASE	TOTAL
10	2	6	8	2	6	8
20	2	6	8	2	6	8
30	3	6	9	2	6	8
40	3	6	9	2	6	8
50	3	6	9	2	6	8
60	4	6	10	3	6	9
70	4	6	10	3	6	9

Tabla 3.4

Rueda sencilla. Area de contacto por rueda: 100 pulg.²

CARGA (1,000 LB.)	ESPESOR MINIMO (PULG.)					
	CBR : 80 (1)			CBR : 100		
	CARPETA	BASE	TOTAL	CARPETA	BASE	TOTAL
10	2	6	8	2	6	8
15	3	6	9	2	6	8
20	3	6	9	3	6	9
25	4	6	10	3	6	9
30	5	6	11	4	6	10

(1) SE PERMITE ROCA CALIZA O AGREGADO ESTABILIZADO.

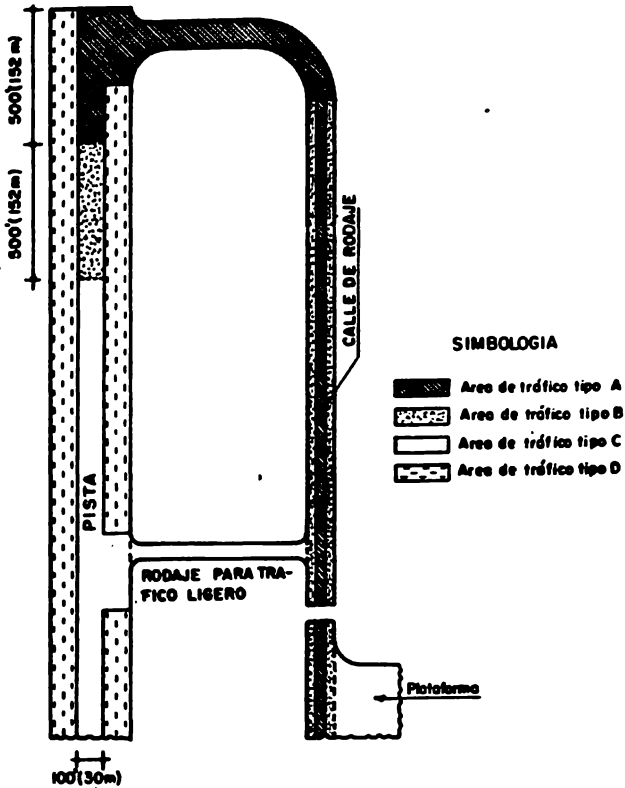


FIG. 3.15

Pavimentos Flexibles de Aeropuertos

ZONIFICACION TIPICA DE PAVIMENTOS PARA CARGAS PESADAS.

(Cuerpo de Ingenieros EM-1110 -45 -302/1958)

METODO DE LA ADMINISTRACION FEDERAL
DE AVIACION (F.A.A.)

Originalmente la F.A.A. desarrolló un método de diseño de pavimento que consistía en una comparación de las condiciones locales con análisis estadísticos de suelo, drenaje, heladas y condiciones de carga de una gran cantidad de muestreos efectuados en los Aeropuertos, en servicio. El método se basaba en una clasificación de suelos especialmente desarrollada por la F.A.A., la cual se efectuaba en función de la granulometría, del límite líquido y del índice plástico.

A partir de diciembre de 1978 la F.A.A., decidió adoptar nuevos métodos de diseño de pavimentos basados en métodos de análisis que han resultado de la experiencia y de recientes investigaciones, esto fue con la finalidad de aprovechar los avances en la tecnología de pavimentos.

El nuevo método de pavimentos flexibles adoptado por la F.A.A., (se basa también en el CBR) para lo cual ha realizado mucha investigación logrando desarrollar correlaciones confiables, no siendo posible llegar aún a soluciones matemáticas directas para definir los espesores.

Por esta razón la determinación de los espesores de pavimento deben basarse en; volumen de tráfico, concentración de tráfico en ciertas áreas, calidad de los suelos de las terracerías y de los materiales que constituyen la estructura - del pavimento, análisis de la distribución de cargas y de los datos obtenidos de pavimentos experimentales, así como de los pavimentos que actualmente están en servicio; las gráficas de diseño de pavimentos que se anexan, fueron desarrolladas por la F.A.A., con base en la correlación de los datos obtenidos de las fuentes mencionadas.

Para proceder al diseño del pavimento es necesario contar con el pronóstico de salidas o despegues de los diferentes tipos de aviones que operarán durante la vida útil del pavimento, la cual se considera de 20 años en este método. - El siguiente paso consiste en determinar el avión de diseño, - el cual se escoge dentro de los que están considerados en el pronóstico y será aquel que requiera mayor espesor de pavimento considerando el número de salidas que se hayan previstos - en el pronóstico para este tipo de avión.

Debido a que los pronósticos de tráfico incluyen - una gran variedad de tipos de aviones que tienen diferentes - configuraciones de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, - los efectos de todo el tráfico deben ser considerados en la - determinación del número de salidas equivalentes del avión de diseño.

Basados en lo anterior todos los aviones deben ser convertidos al mismo tiempo de pierna de tren de aterrizaje - del avión de diseño para lo cual se utilizan los siguientes - factores de conversión.

Para convertir de	a	multiplicar las salidas por:
Rueda sencilla	ruedas dobles	0.8
Rueda sencilla	doble tandem	0.5
Ruedas sobles	doble tandem	0.6
Dos doble tandem	doble tandem	1.0
doble tandem	rueda sencilla	2.0
Doble tandem	ruedas dobles	1.7
ruedas dobles	rueda sencilla	1.3
dos doble tandem	ruedas dobles	1.7

En seguida se efectúa la conversión a salidas equivalentes anuales del avión de diseño determinada por la fórmula:

$$\text{Log. } R_1 = (\text{Log. } R_2) \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde R_1 = número de salidas equivalentes anuales - del avión de diseño.

R_2 = número de salidas anuales de cualquier - avión expresadas en piernas del tren de - aterrizaje del avión de diseño.

W_1 = carga por rueda del avión de diseño.

W_2 = carga por rueda del avión en cuestión.

Para hacer uso de las gráficas de diseño de pavimentos flexibles se requiere el valor CBR de las terracerías, y el peso total, así como el número de salidas anuales del avión de diseño.

Anexo a éstos apuntes se presentan algunas gráficas que proporcionan el espesor total requerido de pavimento y el de carpeta.

A las gráficas se entra con el valor CBR de las terracerías, el peso total y el número de salidas por año del avión de diseño, el espesor se obtiene siguiendo la secuencia que indican las flechas en cada gráfica. El espesor así obtenido es el que corresponde a las áreas críticas (donde se tiene el mayor número de operaciones).

Los espesores en áreas no críticas y en orillas se determinan de acuerdo a lo indicado en la fig. N^o 3.19

En la fig. N^o 3.20 se proporciona el espesor mínimo de base para un espesor de pavimento ya definido y valor CBR dado.

Si un pavimento va a soportar más de 25000 salidas anuales el espesor total obtenido de la gráfica co -

respondiente debe ser incrementado de acuerdo a la tabla siguiente:

TABLA 3-2.4 ESPESOR DE PAVIMENTO PARA NUMERO ELEVADO DE SALIDAS EXPRESADO COMO POR CIENTO DEL ESPE-SOR CORRESPONDIENTE A 25,000 SALIDAS/AÑO.

<u>Salidas/Año</u>	<u>Por ciento del espesor con relación a 25,000 salidas.</u>
50,000	104
100,000	108
150,000	110
200,000	112

Los valores dados en la tabla 3.2.4 están basados en extrapolaciones de datos obtenidos por investigación y observaciones de pavimentos en servicio.

79
 (FAA-1978)
 CBR

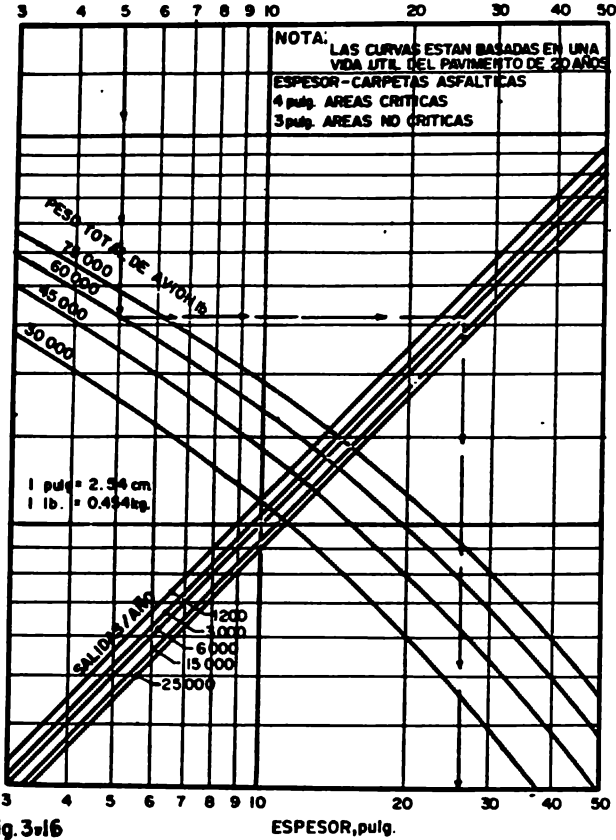
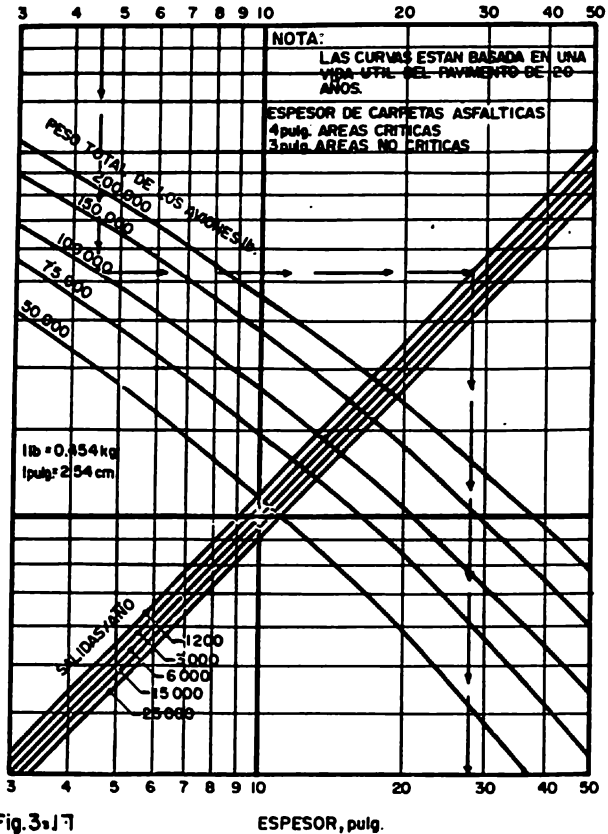


Fig. 3.v16

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA AREAS CRÍTICAS

TREN DE ATERRIZAJE DE RUEDA SIMPLE

CBR



CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA AREAS CRITICAS

TREN DE ATERRIZAJE DE RUEDAS DOBLES.

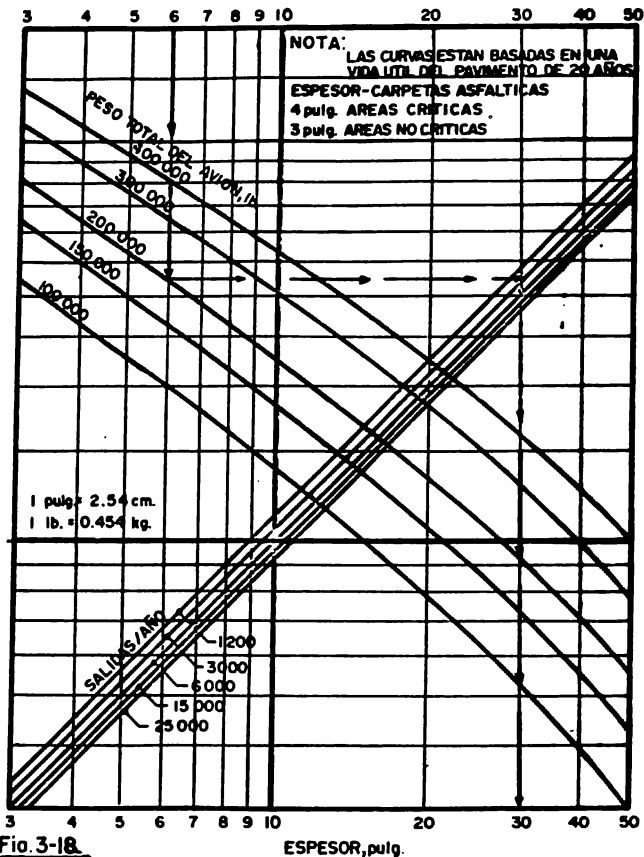
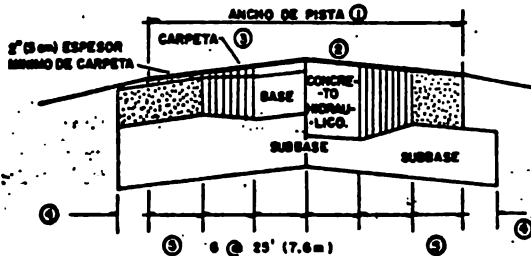
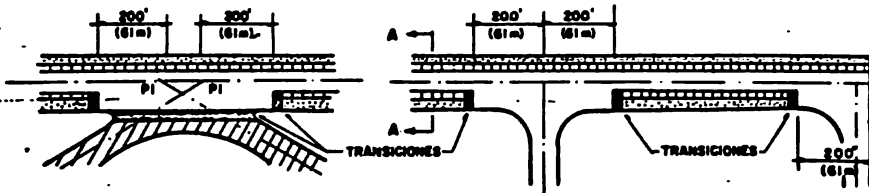


Fig. 3-18.

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA AREAS CRÍTICAS
TREN DE ATERRIZAJE EN DOBLE TANDEM

(FAA-1978)



SIMBOLOGIA

-  ESPESOR = T
-  ESPESOR VARIABLE = T → 0.7T
-  ESPESOR = 0.9T
-  ESPESOR = 0.7T

NOTAS

- ① ANCHO DE PISTA DE ACUERDO CON LA CIRCULAR DE CONSULTA APLICABLE
- ② PENDIENTES TRANSVERSALES DE ACUERDO CON LA CIRCULAR DE CONSULTA APLICABLE
- ③ ESPESOR DE CARPETA, BASE DE CONCRETO HIDRAULICO, ETC. COMO ESTA INDICADO EN LA CARTA DE DISEÑO
- ④ MÍNIMO 12" (30cm) HASTA 30" (90cm) ADMISIBLE
- ⑤ PARA PISTAS DE ANCHO MAYOR QUE 150' (46.7m) ESTA DIMENSION AUMENTARA.

Fig. 3-19

PLANTAS Y SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS DE PAVIMENTOS DE PISTAS

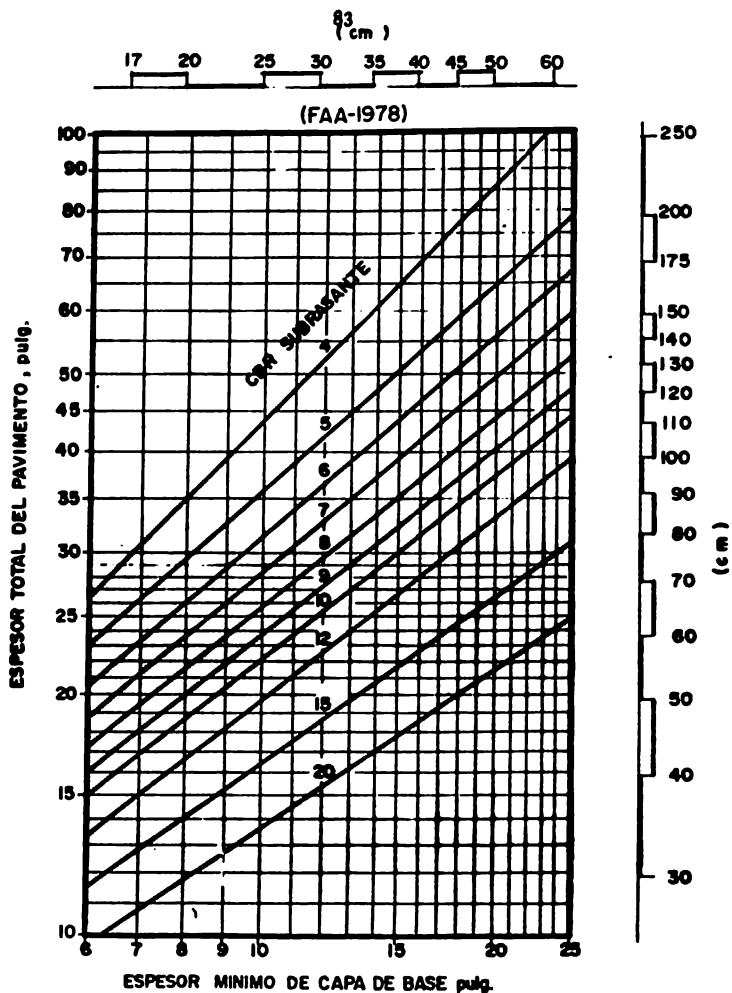


Fig.3-20



METODO DEL DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE
DE CANADA.

El método de diseño de pavimentos flexibles del Departamento de Transporte de Canada, es básicamente un método empírico desarrollado a partir de una exhaustiva investigación de la capacidad de las pistas Canadienses por medio de pruebas de placa. Adicionalmente se efectuaron otras pruebas como la de CBR, compresión triaxial, penetración y Viga - Benkelman y se correlacionaron entre sí, a partir de ésta investigación, dirigida por N. Mcleod se desarrolló la ecuación de diseño.

$$T = K \log. \frac{P}{S}$$

T = Espesor de la estructura de pavimento en términos de un espesor equivalente de una base granular (pulg.).

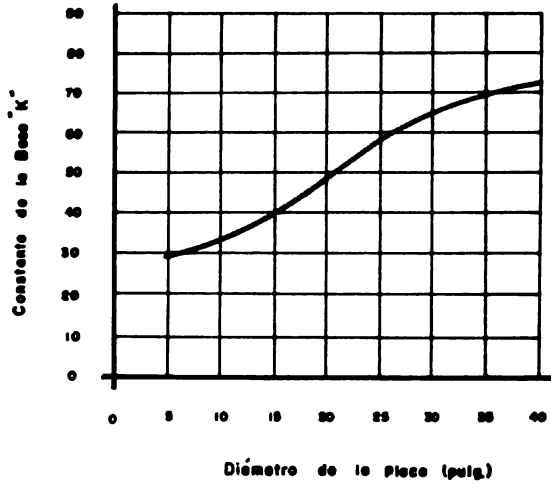
K = Constante de la base que depende de las dimensiones de la placa y de las propiedades de la base para distribuir la carga por espesor unitario.

P = Carga neta por rueda del avión de diseño.

S = Valor soporte de las terracerías.

El valor de la constante K varia según se muestra en la fig. N° 3.21

FIG. No. 3.21



Influencia del diámetro de la placa en el valor de K para

diseño de pavimentos flexibles con la ecuación $T = K \log \frac{P}{S}$

(de Mc. Leod 1956)

Los espesores obtenidos están en función de espesores equivalentes, es decir el espesor equivalente considera al pavimento formado por una sola capa de base granular. En las tablas de abajo, se indican las equivalencias de espesor de los diferentes materiales que pueden constituir un pavimento flexible y los espesores mínimos de carpeta y base

TABLA 3.5

(Departamento de Transporte de Canadá 1969)

<u>Material</u>	<u>Espesor equivalente de base granular.</u>
Concreto asfáltico de alta calidad.	2
Concreto asfáltico de pobre calidad.	1½
Base de macadam (hidráulica)	1½
Base de grava triturada o roca triturada.	1
Base granular	1

TABLA 3.6**Espesores mínimos recomendados.****(Departamento de Transporte de Canadá 1969)**

Material	Presión de neumáticos del avión de diseño (lb./pulg. ²)			
	Menos de 60	Menos de 100	100 a 149	170 a 199
Concreto asfáltico.	2 pulg.	2.5 pulg.	3.5 pulg.	4 pulg.
Base de- grava - tritura- da o ro- ca tritu- rada.	6 pulg.	9 pulg.	9 pulg.	12 pulg.

Para la estructuración del pavimento se utilizará - la tabla antes mencionada, empleando los factores equivalentes para cada material que se use.

Estudios adicionales necesarios cuando se tiene un terreno de cimentación blanco.

Se entiende por suelo blando áquel que está constituido por arcillas, limos y (o) turbas con altos contenidos -

de humedad reflejándose ello en los límites de plasticidad - muy altos, y en la resistencia a la compresión simple no confinada que acusa los siguientes valores obtenidos del libro - de Mecánica de Suelos, en la Ingeniería práctica de Karl Terzaghi y Ralph B. Peck.

Consistencia	Resistencia a la compresión simple en kg/Cm ²
muy blanda	menos de 0.25
blanda	0.25 - 0.5
medianamente compacta	0.5 - 1.0
compacta	1.0 - 2.0
muy compacta	2.0 - 4.0
dura	mayor de 4.0

En general, todos los depósitos de suelos blandos, tienen tres condiciones en común, son zonas planas, tienen - mal drenaje superficial y están formados por suelos finos u - orgánicos.

El primer requisito para superar los problemas que puede presentar un terreno de cimentación con suelos blandos para pavimentos, es naturalmente detectarlos y ello debe suceder en la etapa de proyecto, antes de que se produzcan costos daños a la vía terrestre, pudiéndose incluso estudiar - un cambio de lugar que lo aleje de la zona que se revele co -

mo crítica. Una vez que por cualquier razón se decida aceptar los peligros y altos costos que significa construir sobre una zona de suelos blandos u orgánicos, el Ingeniero debe comprender que casi todos los métodos de proyecto y construcción de que dispondrá requieren de un buen conocimiento de las características de compresibilidad y resistencia de los suelos sobre los que se construirá la vfa, así este es un caso que debe verse como especial en lo que se refiere a exploración de suelos y pruebas de laboratorio, en el que se justificará el uso de los métodos más delicados para obtener muestras inalteradas y el desarrollo de programas completos de pruebas de laboratorio que incluyan las de consolidación y triaxiales.

En la exploración se hará primero un muestreo preliminar, con procedimientos sencillos y económicos que proporcionen muestras alteradas para clasificación de suelos y, después se hace la investigación definitiva, con métodos de muestreo definitivo capaces de proporcionar muestras inalteradas, de las cuales la información que se obtenga deberá arrojar datos suficientes sobre: la capacidad de carga, deformación, permeabilidad y peso específico; que son las propiedades principales de los suelos blandos.

El comportamiento mecánico de los suelos finos está básicamente determinado por su estructura y su contenido de agua natural, relacionándose ésto con los límites de consistencia del suelo.

Quizá el problema más grave que entraña un suelo de cimentación blando, es el que se refiere a los asentamientos que en el pueden producirse al recibir la sobrecarga producto de las terracerfas, estructura del pavimento y el tránsito de vehículos. Dichos asentamientos causan:

1.- Pérdida del bombeo, pues existe una concentración mayor de esfuerzos al centro de la sección que en los hombros de ésta.

2.- Aparición de asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal, por heterogeneidades en la cedencia del terreno de cimentación; produciéndose perjuicios en la funcionalidad de la obra.

3.- Hundimiento excesivo de la superficie de rodamiento con respecto al terreno natural, bajando el nivel al grado que puede haber inundaciones en el pavimento al tener un escurrimiento hacia la obra.

4.- Perjuicios en el comportamiento de obras de drenaje menor, que adquieren una conformación hidráulica inconveniente y se agrietan al hundirse más en el centro que en los extremos.

5.- Agrietamientos en la superficie de rodamiento.

6.- Húndimiento de los materiales de la estructura del pavimento, lo que origina la pérdida de continuidad de las capas llevando con ello a la falla del pavimento.

7.- lecturas erróneas de los instrumentos en los aviones.

Resulta difícil estimar cual puede ser el orden de asentamiento permisible que se deba considerar en una vía terrestre construída sobre suelos blandos; siendo el Ingeniero-quién deberá definir los valores admisibles en cada caso particular, partiendo de la importancia del problema y de cualquier consideración particular del caso. En primer lugar, hay que tener en cuenta que asentamientos totales pueden no tener excesiva importancia (excepto en ciertos casos, tales como terraplenes de acceso a estructuras rígidas que no asienten ó en zonas inundables), en comparación con los asentamientos diferenciales. Por la naturaleza de su tránsito en un Aeropuerto, los requisitos en cuanto a niveles de la superficie de rodamiento se refiere, son muy rígidas, pues los asentamientos diferenciales, al hacer vibrar las aeronaves, impiden una lectura conveniente de los instrumentos de que depende el piloto; además se producen encharcamientos peligrosos tras las lluvias que ponen en peligro las operaciones de los aviones. Es por éstas razones que cuando se tienen terrenos de cimentación blandos, deben hacerse los estudios antes mencionados para con ello tener las bases suficientes para la -

elaboración de un buen proyecto que solucione en forma satisfactoria el problema.

CAPITULO Nº 4

TECNICAS EN LOS PAVIMENTOS SOBRE TERRENOS LACUSTRES

Pavimentos empleados en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

Los pavimentos empleados en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, son; para las pistas y rodajes, pavimento flexible; a partir de 1962, para las plataformas de pernocta pavimento rígido; a continuación mencionaremos la evolución de los pavimentos en las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, y con ello los pavimentos utilizados hasta la fecha, ésto nos lleva a recordar los comienzos de la Aviación para nuestro País.

Empezaremos diciendo que el desarrollo de las técnicas que se utilizan en pavimentos para Aeropuertos va ligado al avance de la Aviación, a los materiales y a los medios constructivos que se tengan en el momento; así tenemos que cuando se inició la Aviación en México, solo se usaba una llanura llamada campo de Aviación, para que los aeroplanos pudieran realizar sus maniobras de aterrizaje y despegue, no efectuándose ningún estudio topográfico ni de vientos,

únicamente se buscaba que la superficie fuera plana y sin depresiones; para 1920 la Aviación de aficionados inició formalmente sus prácticas.

En 1922 se habían determinado ya empíricamente la dirección de los vientos dominantes, lo que originó la construcción de dos pistas, que se localizaban en donde actualmente están, las 10-28 y 051-23D, con una longitud de 800 metros aproximadamente; dado el peso de las máquinas de aquel entonces el pavimento era de tierra, únicamente conformado.

Para 1929 se inició la construcción de los caminos en México por lo que fue posible revisar, definir, prolongar y asfaltar con los materiales y procedimientos de construcción de aquel entonces las dos pistas existentes, quedando terminados los trabajos para el año 1932 (fig. N^o 4.1).

De entonces en adelante se fueron transformando gradualmente los pavimentos, para satisfacer las necesidades cada vez mayores, motivadas por las constantes innovaciones en los tipos de aeronaves y el incremento de operaciones, para lo cual se fue requiriendo más longitud, espesor y ancho en las pistas, como se ilustra en la fig. N^o 4.1

Además de las necesidades anteriores, existe un factor muy importante que también contribuye a las transformaciones antes mencionadas; éste factor es: el terreno de cimentación.

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, se encuentra ubicado en la zona denominada, como zona del lago de Texcoco, que se caracteriza por su notable compresibilidad aún abajo pequeños incrementos de presión, por lo que la evolución que ha venido experimentando la estructura de los pavimentos al ir sobreponiendo las capas de refuerzo, se debe a que al colocar dichas capas éstas actúan como una sobrecarga hasta originar asentamientos diferenciales que deforman la superficie de rodamiento y obligan a su vez a la construcción de capas de renivelación periódicas (cada dos ó tres años) que al mismo tiempo actúan como capas de refuerzo.

Cabe aclarar que ésto último no es extensivo al caso particular de las zonas pavimentadas a partir de 1962, año en el cual se adoptó un nuevo tipo de sección estructural para la construcción de la prolongación de la pista 05 Izq. la cual se basa en la aplicación del principio de compensación que permitió prácticamente anular el incremento de presión al subsuelo debido al peso del pavimento, mediante el empleo de materiales ligeros (tezontle) y la correspondiente excavación del terreno natural.

Así mismo para la construcción de la plataforma de pernocta se introdujo la modalidad de emplear pavimento de concreto hidráulico y en el cual se diseñó un sistema de drenaje superficial que ha permitido contrarrestar los asenta-

mientos, sin recurrir a capas de nivelación.

La estructura de los pavimentos hasta el año de 1962, estaba constituida aproximadamente, en el primer tercio de la longitud de las pistas 051 y 05D, para una base telford a la cual suprayacen en forma sucesiva capas de macadam asfáltico, grava controlada y finalmente concreto asfáltico.

En los dos tercios restantes la estructura se reduce a una base de grava controlada sobre la cual se apoyan capas sucesivas de concreto asfáltico, por último la prolongación de las pistas 05 Izq. y 05 Der. y Rodaje Alfa, están construidas con la sección compensada.

Es así como las pistas se han tenido que reacondicionar de acuerdo con las exigencias cada vez mayores de la Aviación; por lo que se han hecho reformas en distintas épocas; las técnicas y materiales de construcción se han utilizado de acuerdo con los adelantos que se han tenido en los aspectos constructivos, es por ello que las pistas muestran una estructura heterogénea.

El proyecto de la sección del pavimento utilizado en los inicios del Aeropuerto, es totalmente empírico, ya que para áquel entónces no se contaba con una tecnología que hubiera estudiado los efectos de tránsito de los aviones; únicamente se hacían comparaciones con lo que ya existía definién-

dose así la estructura de éste tipo de obras.

La estructura inicial como se observa en la fig. -
Nº 4.1, está constituida por 30 cms. de base telford, 15 cms.
de material basáltico triturado y 5 cms. de Macadam asfáltico
como superficie de rodamiento.

En la construcción de éste pavimento la excavación
del cajón se hizo a mano, debido a que el terreno muy blando
no permite usar alguna máquina. Una vez que se obtuvo el ni-
vel de desplante se colocó la base telford que consiste en el
acomodo a mano de bloques de piedra en toda la sección, con -
un espesor de 30 cms. sobre ésta base se colocó una capa de -
15 cms. de material basáltico triturado y finalmente los 5 -
cms. de Macadam asfáltico.

Los 15 cms. de material basáltico tienen la finali-
dad de rellenar los huecos que quedan en la parte superior -
de la base, lo que nos sirve para transmitir lo más uniforme-
mente posible los esfuerzos a los materiales subyacentes; -
además de la función anterior éste material sirve para propor-
cionar una superficie uniforme para colocar el Macadam.

Actualmente sabemos que el Macadam asfáltico no es
recomendable para aeropistas, ya que la superficie obtenida -
no es tan densa como la de una carpeta de concreto asfáltico-
lo que origina que el agregado superficial se disgregue --

fácilmente constituyendo un peligro para las operaciones de los aviones.

Los principales pasos en la construcción del Macadam asfáltico, son los siguientes:

1.- Preparar la capa inmediatamente inferior, ésta preparación puede consistir en un riego de material asfáltico, ya sea para impregnar o para ligar.

2.- Extensión de la primera capa de materiales pétreos constituidos por grava de tamaño uniforme apizonándola en seco hasta que quede perfectamente acomodada con un rodillo de peso medio (12 a 15 tons.) ó con compactadores vibratorios.

3.- Cuando la piedra está acomodada se procede a hacer el riego del material asfáltico, cuidando para ello que la piedra del firme esté completamente seca y a una temperatura no menor de 10° C.

4.- Efectuado el riego, se cubre el firme con una capa de gravilla de 10 a 20 mm. de tal modo que se rellenen los huecos que quedaron entre las piedras, el acomodo se realiza con un cilindro de 12 a 15 toneladas, y ayudando con cepillos a que la gravilla penetre por los intersticios del Macadam; cuando el revestimiento ya no admite más gravilla, se-

limpia perfectamente la superficie, quitando todo el material que no haya quedado bien compactado.

5.- Una vez que se tiene la superficie anterior, se aplica otro riego de asfalto y se cubre con una gravilla fina, compactándola con un cilindro de 10 a 15 toneladas, terminando ésto el firme puede abrirse inmediatamente al tráfico.

Al ser transitadas las pistas por aviones cada vez más pesados, han sufrido diversas fallas, las que en general se pueden clasificar en dos tipos: las causadas por el subsuelo y las originadas en la estructura del pavimento, por el tránsito de los aviones de mayor peso, antes mencionados.

Al principiar a funcionar el Aeropuerto, los aviones que existían eran muy ligeros, los cuales eran soportados satisfactoriamente por el pavimento constituido de base telford (teyolote). El cual distribuía las modestas cargas a las terracerías en forma aceptable.

Al aumentar el peso de los aviones, aparecieron las primeras fallas, pues la base telford, incapaz de lograr una mayor distribución de esfuerzos, produjo concentraciones que ocasionaron la incrustación de éste en el suelo y presión hidrostática en las terracerías que originó un flujo ascendente. En estas condiciones la arcilla del suelo contaminó el pavimento y con frecuencia hasta la carpeta de tres riegos -

que tenían las pistas; la variación de humedad provocó cambios volumétricos del material que constituía el pavimento y éstos a su vez dieron origen a grietas que precipitaron la falla al permitir la introducción del agua de las lluvias.

Para tener una idea más completa de estas primeras fallas, diremos que el teyolote incrustado en la terracería no solo es incapaz de lograr una mayor distribución de esfuerzos, si no que debido a la arcilla que se introdujo entre el material granular reduce la fricción entre las piedras, las cuales al recibir la carga no la distribuye ya en una superficie mayor, y por lo tanto existe la concentración de esfuerzos llevándonos con ello a mayores deformaciones en los lugares donde se efectúa tal concentración.

Al ir apareciendo nuevos tipos de aviones más pesados fue necesario reforzar el pavimento de las pistas y plataformas, ya que por su mayor peso se produjeron grietas longitudinales y bufamientos que llegaron a inutilizar algunas pistas. Inicialmente se reforzó el pavimento para recibir una operación ilimitada de aviones DC-3, sin embargo, al terminarse esta reforma, eran ya frecuentes los vuelos de tetramotores, que por ser más pesados causaron nuevas fallas. Ha sido así como los pavimentos y en general el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México ha ido mejorándose constantemente a base de las exigencias impuestas por los nuevos tipos de aviones.

Para ilustrar la evolución de los pavimentos en las pistas, se tienen las diferentes secciones estructurales en la fig. N^o 4.1; también se mencionan a continuación algunos tipos de aviones que las han ido transitando con sus respectivos pesos, hasta el año 1958 cuando apareció el avión con el cual fue diseñada la sección compensada, avión más crítico que los actuales al concentrar más las cargas al tener menos llantas en las piernas del tren de aterrizaje.

<u>A Ñ O :</u>	<u>TIPO DE AVION</u>	<u>PESO TOTAL EN Kgs.</u> <u>(CON CARGA)</u>
1935	Lockheed "Electra".....	1,762
1935	De Havilland "Dragón Rapido". "Domine".....	2,517
1936	Noorduyn "Norseman".....	3,356
1938	Douglas DC-3 "Dakota".....	13,000
1938	Consolidated "Catalina".....	13,834
1940	Douglas DC-4 o "Skymaster"...	33,112
1941	Consolidated "Libertador".....	27,215
1941	Curtis "Comando".....	20,411
1945	Lockheed "Constellation".....	47,627
1947	Convair 240.....	19,277
1947	Douglas DC-6.....	42,274
1947	Fiat G-12.....	15,000
1950	Vickers "Viscount".....	21,772
1951	De Havilland "Comet serie 1"...	49,895
1951	De Havilland "Dove".....	2,948

101
EVOLUCION DE LA ESTRUCTURA DE LOS
PAVIMENTOS FLEXIBLES—

FIGURA N. 4.1

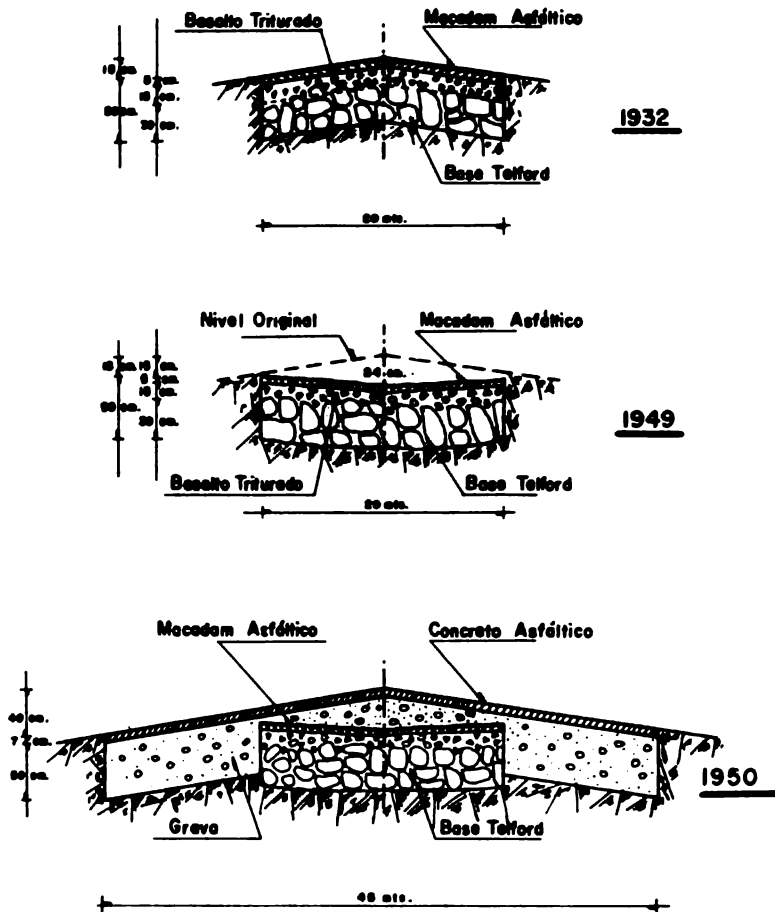


FIGURA No. 4.1

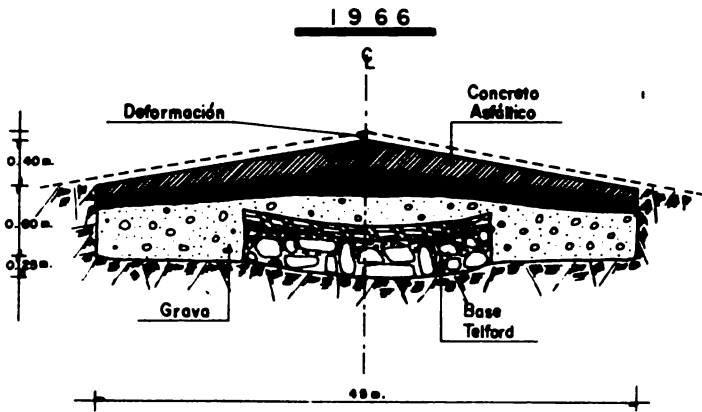
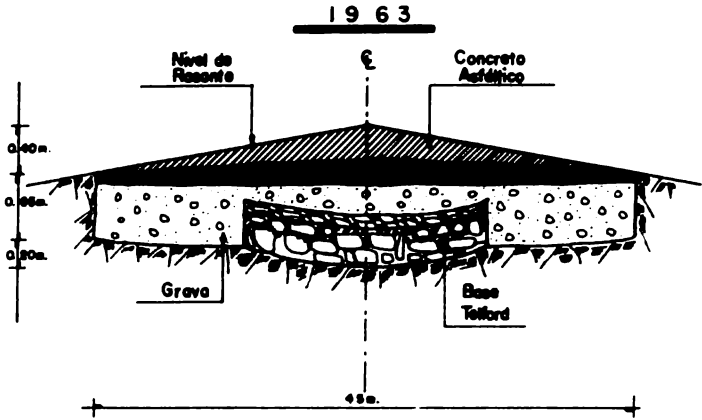
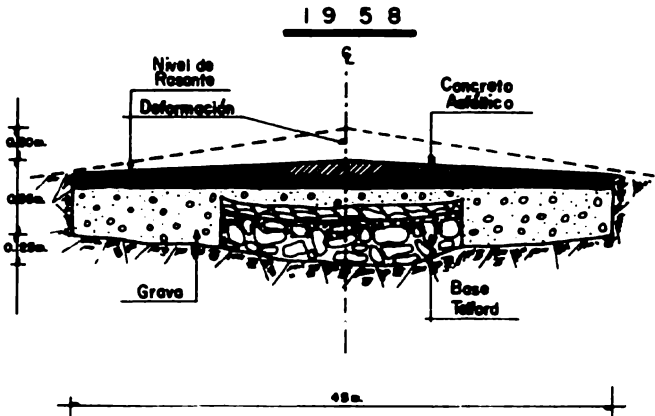
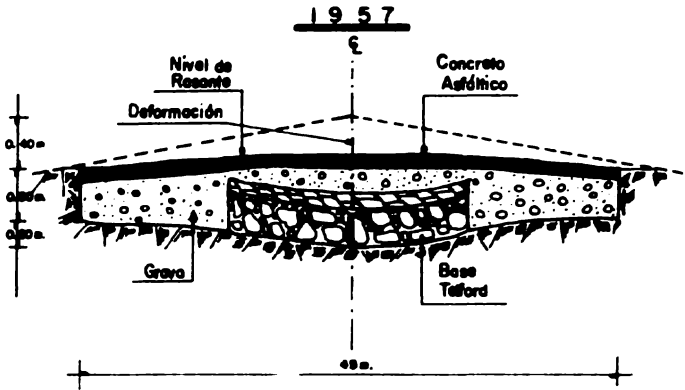


FIGURA No. 4.1



<u>AÑO:</u>	<u>TIPO DE AVION</u>	<u>PESO TOTAL EN Kgs.</u> <u>(CON CARGA)</u>
1952	Handley Page "Marathon".....	8,164
1955	Douglas DC-7.....	63,230
1955	Briston "Britannia" 300.....	70,300
1958	Boeing B-707-320.....	133,800
1958	De Havilland "Comet" serie 1V....	69,170
1958	Douglas DC-8.....	140,000

Las fallas del subsuelo se presentan en dos formas asentamientos y grietas.

Los asentamientos se acusan en el perfil de las pistas, generalmente haciendo que se pierda el bombeo de las mismas e incluso dándoles contrapendiente; también se presentan asentamientos longitudinales, dando lugar a deformaciones que hacen peligrosa la operación de los aviones (plano N^o 4).

Los asentamientos producen encharcamientos de agua los cuales favorecen su infiltración para producir la falla del pavimento al bajar su poder soporte y por ello es indispensable evitarlos.

Para evitar los asentamientos se pensó en emplear materiales ligeros para lo cual se usó una mezcla de tezontle y tepetate lo que arrojó como resultado la sección que se -

mostrará más adelante.

En lo que se refiere a las grietas, éstas se producen por la contracción del suelo al perder humedad, su forma y profundidad no tienen relación directa con las pistas, considerando que no es posible evitarlas, se ha tratado de controlarlas por medio de una zanja de 2 m. de profundidad paralela a las pistas a una distancia de 5 metros de la orilla, con una longitud de 2 km. en la zona donde era más notable la aparición de grietas; ésta zanja se relleno con pedra brza. Con esta construcción se logro controlar las grietas del sub-suelo para que no afectaran al pavimento.

Hasta el año de 1962, la construcción de pavimentos en las ampliaciones y las nivelaciones son un conjunto de soluciones que no proporcionan una superficie de rodamiento capaz de soportar las exigencias del tráfico aéreo en un tiempo de vida útil normal. Es por esto que la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, se dio a la tarea de buscar la estructura necesaria que cumpla con las necesidades antes mencionadas, tomando en cuenta las siguientes características del terreno de cimentación.

De acuerdo con las exploraciones efectuadas, se encontró que el subsuelo está constituido por un estrato superficial preconsolidado de limo de mediana a alta plasticidad de aproximadamente 2.5 mts. de espesor, al cual subyace un

estrato de arcilla de alta plasticidad de 35 mts. de espesor en estado normalmente consolidado y muy compresible; el nivel freático se localizó aproximadamente a 1.5 mts. bajo el terreno natural, la humedad de la capa de arcilla es del orden de 300 % con valores máximos de 600 %, el límite líquido es del orden de 250 % y el límite plástico de 80 %, la resistencia a la compresión simple es de 2.07 t/M² en promedio para los 10 metros superiores.

Para el diseño de la sección, se obtuvieron del estudio del suelo y del tráfico aéreo, los siguientes datos:

Avión de diseño.....DC-8
 Peso máximo.....140 Ton.
 Presión de inflado.....186 lb/pulg.2
 Cubrimientos.....5000
 Valor relativo soporte del terreno de cimentación
 4 %.
 Profundidad del nivel de aguas freáticas 1.5 m.
 Método de proyecto utilizado: Método del cuerpo de
 Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

Con estos datos y la curva de diseño correspondiente (que se anexa), se determinó un espesor total de 150 cms.- (fig. N^o 3.13).

El construir este pavimento con métodos convencionales implica colocar una sobrecarga que provocará asentamiento -

tos relativamente grandes que lo harían inoperante.

Con el objeto de reducir los asentamientos, es necesario señalar que estos son inducidos por el peso mismo del pavimento y el de los aviones; si es el peso del pavimento lo que provoca el incremento de presión en el terreno, así como el peso de los aviones será necesario estructurar el pavimento de tal forma que el peso que se le suministre por los efectos antes mencionados provoque un incremento de carga mínimo.

Para lograr esto se empleó el principio de la compensación, de tal forma que se extraiga un determinado volumen de material y su correspondiente peso sustituirlo por el pavimento, cuyo peso sea aproximadamente igual al del material excavado.

Para lograr tal compensación, es necesario efectuar una excavación de tal manera que se tenga un cajón, el cual aloje al pavimento; tomando en cuenta las características del terreno y la presencia del nivel freático muy cerca del fondo de la excavación; se necesita crear una superficie de trabajo, la cual se obtiene a través de una plantilla de arena que cumple también con la función de una capa filtrante y que disminuye la ascensión capilar al pavimento.

Para evitar asentamientos diferenciales, es necesari-

ria una distribución de cargas uniformes sobre el terreno de cimentación, lo que hará que las posibles deformaciones sean parejas; se requiere entonces que parte de la sección tenga cierta rigidez para lograr ésto se puede pensar en una losa de concreto pobre con resistencia de 125 Kg/Cm². colocada encima de la plantilla de arena, además de la función anterior sirve para que el material subyacente no se incruste en la arcilla.

Una vez obtenida una superficie firme sobre la que se puede trabajar se pensó en el diseño de la siguiente capa del pavimento, la cual forma parte de la sub-base.

Tomando en cuenta que para nivelar los posibles asentamientos en el centro de la sección y en los hombros que por efectos de distribución de esfuerzos en suelos arcillosos es mayor al centro de la sección que en los extremos, por lo que es necesario colocar un material ligero al centro y un material pesado en las orillas; para el material del centro de la sección se recomendó utilizar tezontle por su bajo peso volumétrico, es factor indispensable la homogeneidad de el tezontle, por lo que debe tomarse del mismo banco, como material pesado en las franjas de la sección se debe utilizar grava andesítica de la misma granulometría del tezontle, esta grava debe ser limpia para que junto con el tezontle cumplan con la función drenante de la sub-base y poder desalojar así el agua que se pueda filtrar en el pavimento.

Es necesario lograr una distribución uniforme de esfuerzos tanto en la grava como en el tezontle, por lo que es necesaria una capa que permita tal función, utilizándose para ello tezontle cementado sobre el espesor total del tezontle limpio y de la grava andesítica. Proporcionando así un confinamiento a los materiales granulares que es indispensable para el correcto funcionamiento de éstos.

Conforme se va llegando a la superficie de rodamiento es indispensable que los materiales sean de mayor calidad para soportar los esfuerzos a los que estarán sometidos, pero con una paulatina transición hasta llegar a la carpeta asfáltica que es la de mejor calidad, por lo que se deberá colocar sobre el tezontle cementado una base, para apoyar directamente sobre ésta base la carpeta que cumple con los requisitos de; soportar y transmitir los esfuerzos adecuadamente, servir de superficie de rodamiento y desgaste, impermeabilizar el pavimento y ser resistente al intemperismo.

El pavimento va a estar situado en un material con un alto contenido de agua y muy cerca del nivel freático, para poder garantizar que la estructura del pavimento estará libre de cualquier infiltración de agua; se interceptará cualquier flujo hacia el interior del mismo ya sea por el fondo de la excavación o por los lados colocando una capa de material filtrante adosada a los lados del pavimento y en el fondo de este; la descarga se hará al sistema de drenaje longi -

tudinal de la pista.

Se deben construir acotamientos en los lados del - pavimento, los cuales estén constituidos por una capa de grava cementada, sobre esta base se colocará un riego de impregnación con asfalto, para evitar la erosión de los acotamientos por las turbinas de los aviones.

DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION.

Para estructurar la sección definitiva tomaremos en cuenta que se ha determinado el espesor total de 150 cms. de acuerdo con el criterio señalado anteriormente.

Para este tipo de pavimentos se recomienda que el - espesor de la carpeta no sea menor de 10 cms. (Especificación S.A.H.O.P.), por lo que el espesor será de 10 cms., el espesor equivalente de la carpeta corresponde a 20 cms. reduciéndose así el espesor del pavimento en 10 cms.

Como el objeto de la base asfáltica es la de reducir los esfuerzos cercanos a la rasante del pavimento, sus características son muy semejantes a las de carpeta asfáltica, por lo que se le asignó un espesor de 10 cms. con lo cual será - reducida en 7 cms. más el espesor total del pavimento, ya que el factor de equivalencia vale 1.7.

Al espesor de la sub-base de tezontle se le asignó un espesor de 15 cms. el cual al tener un factor de equivalencia de 1.2 se tiene que el espesor se verá reducido en 3 cms. más, tenemos que se ha disminuído 20 cms. en total el espesor original de 150 cms. por lo que se está hablando de una sección de 130 cms.

La plantilla de arena al fondo de la sección se le asignó un espesor de 10 cms. ya que estos son suficientes para que la plantilla cumpla con sus funciones filtrantes y desear la plantilla de trabajo.

Sobre la plantilla se colocan las losas de concreto simple, un espesor demasiado delgado haría muy frágil las losas y un espesor demasiado grueso haría incosteable el pavimento y aumentaría por otro lado el peso del pavimento, por lo que se le asignó un espesor de 15 cms. para la losa de concreto hidráulico.

Los 70 cms. restantes serán completados con material friccionante ligero en el centro de la sección y pesado en las franjas laterales, la franja central de material ligero, deberá tener un ancho de 20 mts, fijados por el ancho de la pista empleada por los aviones en sus operaciones de despegue y aterrizaje.

Una vez determinadas las dimensiones de la sección,

es necesario conocer, las obras auxiliares como es el subdrenaje, el cual va a lo largo de los hombros de la pista, y está constituido por un filtro a base de grava y arena dentro del cual, hasta abajo del nivel de la plantilla de arena se coloca una tubería perforada.

El objeto del tubo es proporcionar una fácil y rápida conducción del agua, y el de las perforaciones es permitir el acceso de ésta al interior del tubo.

No conviene perforar la parte superior del tubo, - pues ello favorecería la entrada de partículas finas de material de filtro; tampoco conviene colocar perforaciones en la parte más baja del tubo, pues se provocaría la salida de agua captada cuando su velocidad disminuye, o cuando se tenga un gasto bajo.

Conviene colocar en la instalación del subdrenaje, - tubería de 10 a 20 cms. de diámetro y las perforaciones deben tener diámetro del orden de 5 a 10 mm., la zanja que albergará esta tubería tendrá un espesor suficiente para lo cual se recomienda sea de 40 cms. (la sección se puede observar en el plano N^o 1).

El agua captada es recogida por el sistema de drenaje longitudinal de la pista y llevado finalmente a los colectores principales.

En lo que se refiere a asentamientos el cálculo de éstos se haría empleando la fórmula $\Delta H = Nv \Delta PH$, en el cual el incremento del esfuerzo vertical deberá calcularse con la teoría de Boussinesq, suponiendo una carga rectangular de longitud semi-infinita, obviamente el efectuar el cálculo con el refinamiento que esto implica resulta para nuestro caso inútil ya que según información recibida en la Dirección General de Aeropuertos, basados en experiencias previas en terrenos del Lago de Texcoco, demuestran que los asentamientos reales son muy distintos a los asentamientos teóricos, siendo éstos del orden del 38 % de los últimos. Esto obedece a que se está extrayendo el agua del subsuelo de la Ciudad de México, lo que obliga a que se consolide más rápidamente el terreno, razón por la cual los asentamientos teóricos difieren bastante de la realidad, además de que sabemos que las consideraciones teóricas con las que se ataca el problema de consolidación, están apartados de las condiciones reales del suelo.

CALCULO DE COMPENSACION DE PESOS.

Esquemáticamente la sección se presenta en la fig. del plano N^o 1, de donde la magnitud de la compensación de pesos está dada por el siguiente cálculo:

Peso del material excavado:

Dimensión de la sección.

Ancho.....45.00 m.
Profundidad..... 1.30 m.

Longitud.....1.00 m.
 Volumen = 45 m. x 1.30 m. x 1.0 m.=.....58.50 M3.
 Peso volumétrico del material excavado..... 1.375 Ton/M3
 Peso total excavado= 58.5 M3. x 1.375 ton/M3.....80.44 Ton.

Peso de la sección:

Plantilla de arena.

Ancho.....45.00 m.
 Profundidad.....0.10 m.
 Longitud.....1.00 m.
 Volumen = 45 m. x 0.10 m. x 1.00 m. =.....4.50 M3.
 Peso volumétrico..... 1.720 Ton/M3.
 Peso de la plantilla de arena = 4.5 M3. x 1.720-
 Ton/M3.....7.74 Ton.

Plantilla de concreto hidráulico:

Ancho.....45.00 m.
 Profundidad.....0.15 m.
 Longitud.....1.00 m.
 Volumen = 45 m. x 0.15 m. x 1.00 m.=.....6.75 M3.
 Peso volumétrico.....2.1 Ton/M3.
 Peso de la plantilla de concreto =6.75 M3.x2.1 -
 Ton/M3.....14.17 Ton.

Sub-base de tezontle:

Ancho.....20.00 m.
 Profundidad.....0.70 m.
 Longitud.....1.00 m.
 Volumen= 20 m. x 0.70 m. x 1.0 m.=.....14.00 M3.
 Peso volumétrico.....0.9 Ton/M3.

Peso de la sub-base de tezontle = $14 \text{ M}^3. \times 0.9 -$
 Ton/m³.....12.6 Ton.

Sub-base de grava:

Ancho.....25.0 m.
 Profundidad..... 0.70 m.
 Longitud.....1.00 m.
 Volumen = $25 \text{ m.} \times 0.70 \text{ m.} \times 1.00 \text{ m.}$17.5 M³.
 Peso volumétrico.....1.7 Ton/M³
 Peso de la sub-base de grava = $17.5 \text{ M}^3. \times 1.7 \text{ Ton/M}^3.$ 29.75 Ton

Sub-base de tezontle cementado:

Ancho.....45.00 m.
 Profundidad.....0.15 m.
 Longitud.....1.00 m.
 Volumen = $45 \text{ m.} \times 0.15 \text{ m.} \times 1.0 \text{ m.}$6.75 M³.
 Peso volumétrico.....1.57 Ton/M³
 Peso de sub-base de tezontle cementado = $6.75 \text{ M}^3. \times$
 $1.57 \text{ ton/M}^3.$10.59 Ton.

Base de concreto asfáltico:

Ancho.....45.00 m.
 Profundidad.....0.10 m.
 Longitud.....1.00 m.

Volumen = 45 m. x 0.10 m. x 1.00 m..... 4.5 M3.
 Peso volumétrico..... 1.69 Ton/M3.
 Peso de la base de concreto asfáltico = 4.5 M3. x
 1.69 Ton./M3..... 7.6 Ton.

Carpeta de concreto asfáltico:

Ancho.....45.00 m.
 Profundidad..... 0.10 m.
 Longitud.....1.00 m.
 volumen = 45 m. x 0.10 m. x 1.0 m..... 4.5 M3.
 Peso volumétrico..... 2.2 Ton/M3
 Peso de la carpeta = 4.5 M3. x 2.2 Ton/M3..... 9.9 Ton/M3

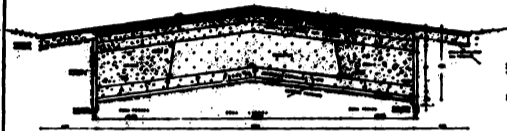
Peso total de la sección:

Plantilla de arena..... 7.74 Ton.
 Plantilla de concreto hidráulico.....14.17 Ton.
 Sub-base de tezontle.....12.6 Ton.
 Sub-base de grava.....29.75 Ton.
 Sub-base de tezontle cementado.....10.50 Ton.
 Base de concreto asfáltico..... 7.60 Ton.
 Carpeta de concreto asfáltico..... 9.90 Ton.
 Peso total de la sección.....92.26 Ton.

El incremento de peso que se colocará sobre el terreno de cimentación, será la diferencia entre el peso de la sección (92.26 Ton), y el peso del material excavado ----- (80.44 ton), lo que dá 11.82 Tons; por lo que se - -

PISTA 001-23 D (paving)

SECCION A-A

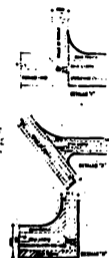


CALLE DE RODAJE (paving)

SECCION B-B



DESCRIPCION DEL DISEÑO
MATERIALS
CONCRETO
AGREGADO
CIMENTOS
ACEROS
PINTURAS
OTROS



ESCALA DE 1:50
LADO DE TENDIDO
LADO DE CARRERA

AEROPUERTO INTERNACIONAL
DE LA CIUDAD DE MEXICO
PROYECTO DE PAVIMENTACION
PLANO No. 1
Escala: 1:50

deduce que la compensación es del orden del 87 % obteniéndose entónces una semicomensación y con ello un incremento de carga en el terreno aceptable bajo.

PAVIMENTO SOBRE OTRO TIPO DE SUELO BLANDO

Sección mixta en el Aeropuerto de la Ciudad de Villahermosa Tabasco:

El tema que nos ocupa son los pavimentos sobre suelos blandos, estudiaremos el correspondiente al del Aeropuerto de Villahermosa, Tabasco; ya que está ubicado en una zona de terreno que tiene un suelo con características que concierne a este trabajo.

La zona donde está ubicado el nuevo Aeropuerto, se encuentra aproximadamente a 10 km. al oriente de la Ciudad de Villahermosa y está constituida por un lomerío muy suave inmediato a la zona de inundación del Rfo Grijalva.

Con el fin de conocer la estratigrafía en el eje de la pista, calles de rodaje y plataformas; se efectuaron 45 sondeos a cielo abierto y 10 con posteadora, a profundidades que variaron de 12 a 19 m. Se encontró que toda la zona tiene en general la misma estratigrafía.

De 0.0 a 0.50 m. se define una capa de arcilla gris - oscuro, blanda, de mediana a alta plasticidad (CH). De 0.5 a

8 m. aparece un estrato de arcilla café claro, poco arenosa, de mediana plasticidad. El contenido natural de agua es del 30 %; los límites líquido y plástico son del orden de 40 % y 20 % respectivamente, la resistencia a la compresión simple es de 8.0 T/M²., subyaciendo al estrato anterior y hasta la profundidad explorada, se localiza un manto potente de arena fina a media, uniforme y muy compacta (SP) siendo la resistencia mínima de 50 golpes. El nivel freático se detectó a las profundidades mínima de 0.50 m., máxima de 2.0 metros.

Con estas características consideramos que se trata de un suelo blando, ya que el contenido natural de agua está cercano al límite líquido su resistencia a la compresión simple es menor de 10 T/M²; y se trata además de materiales arcillosos de mediana a alta plasticidad, por lo que aunados a estos factores se pueden presentar problemas de capacidad de carga y deformabilidad; llevándonos con ello a tratarse como lo que se mencionó un suelo blando.

E S T R U C T U R A C I O N .

Inicialmente se proyectó un pavimento de tipo flexible para la Pista 08-26, pero como el estudio inicial de suelos se efectuó superficialmente, no se detectaron problemas en la compactación de terracerías que cuando se estaba construyendo la sección original se presentaron; los problemas -

que surgieron fueron los siguientes: el primero, en algunas zonas de corte las cuales al estar muy inundadas no se podía obtener el grado de compactación deseado en las terracerías del nivel de desplante, por lo que se empleó cal para reducir la humedad y con ello levantar la compactación del material.- El segundo problema consistió en un rebote elástico del material cuando se empezaron también a compactar las terracerías en el nivel de desplante de la sección para otras zonas diferentes que las enunciadas en el inciso anterior, no alcanzándose así la compactación requerida por el efecto antes mencionado. Este último problema trajo como consecuencia un rediseño de la sección estructural del pavimento, pensándose en la sección mixta que actualmente tiene; la idea era evitar en lo posible que llegaran grandes esfuerzos a las terracerías, para que no se presentara el rebote elástico; por lo que se optó por colocar en las zonas críticas concreto hidráulico, el cual al distribuir mejor los esfuerzos, aliviaba el problema del rebote elástico. En las franjas laterales se vio que no era necesario colocar el concreto debido a que la canalización del tránsito en la Aeropiata es en el centro de ésta, - siendo mucho menores los esfuerzos en las franjas mencionadas, por lo que se utiliza pavimento flexible. Los datos de proyecto que se utilizaron fueron los siguientes:

- 1.- Tipos de aeronaves para el diseño del pavimento
Boeing 727 con peso total de 64 toneladas.
- 2.- Valor relativo soporte.

En las terracerías 5 %.

En la capa subrasante 10 %.

En la capa subrasante mejorada 15 %.

3.- Módulo de reacción del terreno 5.5. Kg/Cm³.

4.- Módulo de resistencia a la tensión por flexión-
del concreto hidráulico a la edad de 28 días 45
Kg/Cm².

PAVIMENTO FLEXIBLE

Para la definición de esta estructura, se utilizó el método del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. La gráfica de diseño se muestra en la fig. - Nº 3.12 calculándose el espesor para zonas de tráfico tipo B.

Estructuración del pavimento flexible:

La gráfica de diseño usada, se muestra en la - fig. Nº 3.12, calculándose el espesor para zonas de tráfico - B. En la gráfica se tiene en el eje de las abscisas el valor relativo de soporte y en las ordenadas los espesores del pavimento, para este caso el peso de la pierna del avión es 30.5 toneladas (95 % de peso en el tren de aterrizaje principal), - se entra a la gráfica con este valor y el VRS de 10, encontrándose un espesor necesario de $21'' = 53.34$ cms.

La estructuración se llevó a cabo de la siguiente forma: 7 cms. de carpeta de concreto asfáltico. El espesor equivalente de la carpeta, corresponde a 14 cms. reduciéndose así el espesor del pavimento en 7 cms. subyaciendo a la carpeta se colocó una capa de 7 cms. de base negra a la cual se le dió un factor de equivalencia de 2, debido a que sus características son semejantes a las de la carpeta; por lo que el espesor se verá reducido en 7 cms. más.

Por último se propusieron 30 cms. de base hidráulica la cual, tiene un factor de equivalencia de 1.5 reduciéndose el espesor en 15 cms. más, por lo que estaremos hablando ahora de un espesor real de 44 cms., cumpliéndose además el de 54 cms. necesario para soportar las exigencias que marca el proyecto.

Este pavimento se apoya en una capa subrasante de 50 cms. de espesor compactada al 100 % de su P.V.S.M. de la cual los 15 cms. superiores están constituidos por una mezcla de arena-arcilla en proporción 30-70 en volumen, lo que reduce en un aumento de su V.R.S. (plano N° 2).

ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO RIGIDO.

La determinación de la estructura se llevó a cabo mediante el método de la Asociación del cemento Portland (PCA), que es el utilizado por la S.A.H.O.P., los datos nece-

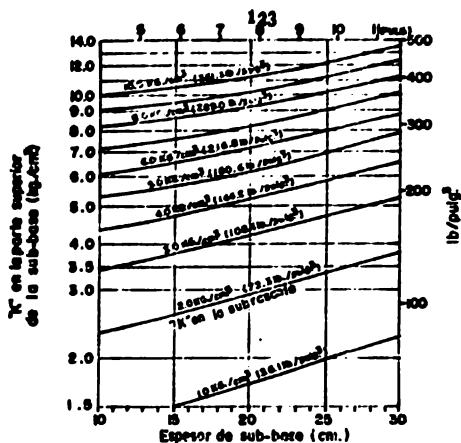
arios son:

Peso por pierna del avión =	31,000 Kgs.
Tipo de tráfico =	A
Módulo de reacción =	5.5 Kg/Cm ³ .
Módulo de resistencia a la tensión por flexión del concreto hidráulico a los 28 días =	45 Kg/Cm ² .
Factor de seguridad de carga	1.4

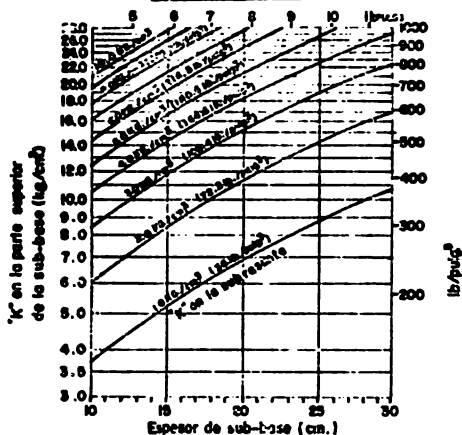
Se propusieron 17 cms. de sub-base hidráulica, por lo que se determinará el nuevo valor de el módulo de reacción influenciado por este material, de la gráfica de la fig. N^o - 4.2 con el espesor de sub-base de 20 localizado en el eje de las abscisas se sube una vertical en ese punto hasta intersectar la curva del valor de K de proyecto, se traza una horizontal por el punto de intersección hasta llevarlo al eje de las ordenadas, donde se encuentra el valor de K modificado con un valor de 6.8 Kg/Cm³.

El siguiente paso es aplicar el factor de seguridad de carga al peso por pierna, lo que nos da un valor de 43.4 - toneladas.

Con estos valores y el módulo de ruptura del concreto se entra a la gráfica N^o 4.3 que es para aviones Boeing - 727, en el cual está implícito el N^o de repeticiones para el-



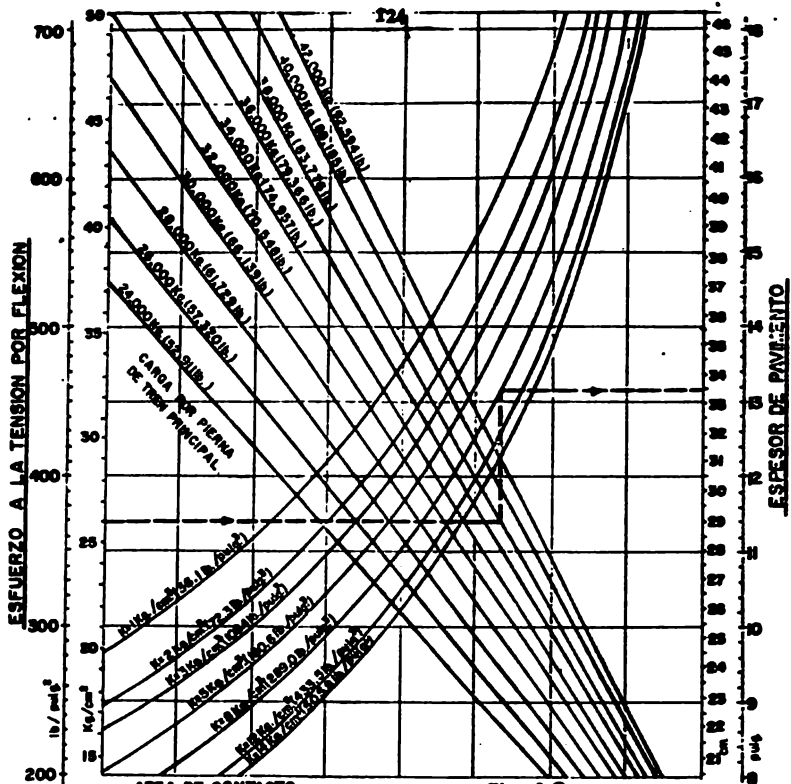
A) EFFECTO DE LA SUPERFICIE HIDRAULICA EN LOS VALORES DE "K"



B) EFFECTO DE LA SUPERFICIE ESTANDARIZADA CON CEMENTO EN LOS VALORES DE "K"

FUENTE:
PORTLAND CEMENT
ASSOCIATION 1973

Fig. 4.2



AREA DE CONTACTO
POR LLANTA: 1,320 cm²
(237 pulg²)

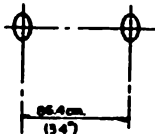


Fig. 4.3

AVION: BOEING B-727

GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS
DE CONCRETO HIDRAULICO DE
AEROPUERTOS.

Pierna tren principal: Ruedas dobles.

FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
(1973)

Gráfico para ser utilizado por personal
profesional competente, que conozca su
significado y limitaciones.

cual se diseña y que vienen expresados en la tabla N^o 4.1 - afectado también por el efecto de temperatura que se presenta en el lugar y que este caso se tiene una variación que se indica en la tabla N^o 4.2; la obtención del espesor de la losa necesario, se obtiene siguiendo la secuencia de las flechas - que se indican en la gráfica que se utiliza para éste caso.

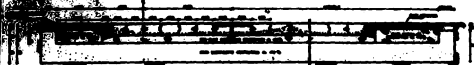
El espesor obtenido siguiendo las instrucciones antes mencionadas fue de 27 cms. que es con el que está construido el pavimento de la pista que nos ocupa (plano N^o 2).

TERRACERIAS.

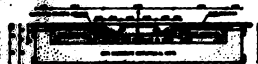
El proyecto indica secciones en corte, en balcón y en terraplén. En las zonas de corte se abrió una caja de 50-cms. de espesor para alojar la capa subrasante, descubierto - el nivel de desplante se compactó al 95 % de su P.V.S.M. en un espesor mínimo de 15 cms. para las secciones en balcón y en terraplén una vez que se obtuvo el nivel de desplante se compactó al mismo grado que el mencionado anteriormente.

Las terracerias de la capa subrasante, están integradas en los primeros 35 cms. por una arcilla de mediana - plasticidad café claro compactadas al 100 % de su P.V.S.M. en capas de 17 cms., los últimos 15 cms. están formados por una mezcla de arena-arcilla en proporción aproximada 30-70 en volumen compactada al mismo grado que la anterior.

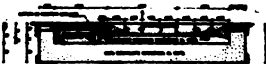
PROYECTO DE FERROCARRIL



SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES



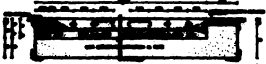
SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES DE PASAJEROS



SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES DE PASAJEROS



SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES



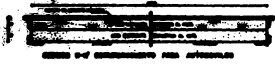
SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES



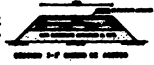
SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES



SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES

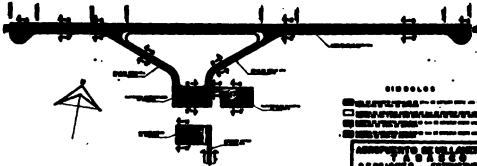


SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES



SECCION 1-1 DE UNO DE LOS VAGONES

PROYECTO DE FERROCARRIL



PROYECTO DE FERROCARRIL

LEGENDA

- MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE LOS VAGONES
- MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE LOS VAGONES
- MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE LOS VAGONES
- MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE LOS VAGONES

PROYECTO DE FERROCARRIL PLANO N. 10	
NOVIEMBRE 1901	PUERTO-RICANOS

TABLA - 4.1

NUMERO DE REPETICIONES DE AVION CRITICO EQUIVALENTE	FACTOR DE SEGURIDAD RECOMENDADO PARA AREAS CRITICAS		
	Diferencia de temperatura ambiente entre la madrugada y el medio dfa.		
	MENOS DE 10°C	DE 10 a 14°	MAS DE 14°C (*)
Hasta 6,000	1.40	1.44	1.49
10,000	1.42	1.46	1.53
15,000	1.44	1.48	1.56
22,000	1.46	1.50	1.59
30,000	1.48	1.525	1.62
45,000	1.50	1.55	1.65
60,000	1.52	1.575	1.68
90,000	1.54	1.60	1.71
140,000	1.56	1.625	1.75
200,000	1.58	1.65	1.795
300,0000	1.60	1.68	1.84
700,000	1.65	1.75	1.94
1'600,000	1.70	1.82	2.00
3'000,000	1.75	1.87	2.00
7'000,000	1.80	1.96	2.00

(*) VALORES TENTATIVOS.

FUENTE:

DEPARTAMENTO TECNICO

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS.

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.

TABLA - 4.2

**GRADIENTES MAXIMOS DE TEMPERATURA
(Promedio mensual)**

L O C A L I D A D	GRADIENTE PROM. EN EL MES DE - MAYOR VARIACION DE TEMP. (°C)	M E S
ACAPULCO, GRO.	8.7	FEBRERO
CAMPECHE, CAMP.	8.9	MARZO Y ABRIL
COZUMEL, Q.R.	9.6	MARZO Y ABRIL
CHIHUAHUA, CHIH.	16.8	MARZO
GUADALAJARA, JAL.	18.7	MARZO
HERMOSILLO, SON	18.1	MAYO
JUAREZ, CHIH.	19.2	MAYO
LA PAZ, B.C.	15.8	MAYO
MAZATLAN, SIN.	6.2	ABRIL
MERIDA, YUC.	12.1	ABRIL
MEXICALI, B.C.	20.2	JUNIO
MEXICO, (TEXCOCO)	20.9	FEBRERO
MONTERREY N.L.	12.5	MARZO
OAXACA, OAX.	19.9	FEBRERO
PUERTO VALLARTA, JAL.	13.2	FEBRERO, MARZO Y ABRIL
REYNOSA, TAMPS.	12.7	FEBRERO
SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	18.0	ABRIL
TAMPICO, TAMPS.	8.5	DIC. Y ENERO
TAPACHULA, CHIS.	14.9	FEBRERO
TIJUANA, B.C.	14.0	DICIEMBRE
TORREON, COAH.	22.8	MAYO
VERACRUZ, VER.	7.0	AGOSTO
VILLA HERMOSA, TAB.	13.1	MAYO

FUENTE:

DEPARTAMENTO TECNICO

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS

Construcción pavimento flexible.

Una vez terminada la terracería, se procedió a la colocación del material de base hidráulica, compactándose en capas de 15 cms. con rodillo neumático pesado de 40 toneladas, alcanzándose un grado de compactación del 100 % de su P.V.S.M., el mayor tamaño de este material fue de $1\frac{1}{2}$ " con granulometría alojada en la zona dos de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. para bases.

Sobre la base hidráulica terminada, se dió un riego de impregnación utilizando un producto asfáltico del tipo FM-1 (fraguado medio) a razón de 1.3 lts./M2. aproximadamente una vez que ha penetrado el asfalto, se dió a la superficie un riego de liga utilizando un producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 0.4 lts./M2 aproximadamente. El paso siguiente es la construcción de la base negra, la cual se elaboró mediante el sistema de mezcla en planta en caliente con cemento asfáltico; la proporción la dió el Laboratorio de Campo, razón por la cual se desconocen estos datos.

En el material pétreo el tamaño máximo fue de 1" con granulometría alojada dentro de la zona dos de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. para bases. La mezcla se compactó en una sola capa de 7 cms. hasta alcanzar un grado de compactación mínimo del 95 % de su peso volumétrico máximo; sobre ésta capa totalmente terminada, se dió un riego de liga utilizando el producto asfáltico FR-3 a razón de 0.4 lts./M2 aproximadamente.

Por último se construye la carpeta asfáltica, la -

cual también fue elaborada en planta en caliente, utilizando cemento asfáltico N^o 6, agregados pétreos con tamaño máximo de 3/4" con granulometría comprendida dentro de la zona que marcan las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. para concretos asfálticos y con una dosificación de asfalto aproximada de 100 Kg/M³ de material pétreo seco y suelto. La compactación alcanzó un valor mínimo de 95 % de su peso volumétrico máximo.

Construcción del pavimento rígido:

La sub-base del pavimento rígido, llenó los requisitos de la base del pavimento flexible.

Previamente a la construcción de las losas, se dió sobre la sub-base un riego de impregnación con un producto asfáltico del tipo FM-1 a razón de 1.3 lts/M². aproximadamente.

Antes de iniciar cualquier colado, se hicieron riegos de agua sobre la superficie de la sub-base, esto es con la finalidad de que durante el proceso de fraguado del concreto la sub-base no haga perder agua al concreto.

Los materiales que se emplearon en la elaboración del concreto hidráulico se sujetaron a las siguientes Especificaciones.

El agregado grueso, deberá tener una sucesión uniforme de tamaños, siendo el máximo de 50.8 mm. (2"), también debe cumplir con lo dispuesto en los incisos del (100-6.12) -

al (100-6.14), de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P.

El agregado fino, su densidad no deberá exceder el valor de 2.5, su contenido en polvo no mayor del 3% cumpliéndose además lo que indican los incisos (100-6.2) al (100-6.5) y del (100-6.7) al (100-6.11) de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción S.A.H.O.P.

Para el cemento portland, se empleó cemento normal-tipo 1, que debe satisfacer los requisitos establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P.

El agua que se empleó en la fabricación del concreto, deberá cumplir con lo dispuesto en la Cláusula (100-9) - de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P.; de éstas Especificaciones no se - cumplió con la granulometría del material pétreo ya que se - utilizó grava limosa con fragmentos chicos de material pro - ducto de depósitos de río, los cuales se trituraron parcial- mente para obtener un tamaño máximo de 2" con extracción del material 3E de tamaño 3/8" y separación de arena para dosifi - car correctamente el material.

Se empleó un aditivo inclusor de aire a fin de dar mayor plasticidad al concreto. La inclusión de aire varió en

tre el 3% y 5%. El aditivo se agregó al concreto en el agua-de mezclado, para lo cual diariamente se preparó una solución con la concentración adecuada; al terminar el día se desechó-la solución sobrante lavándose el recipiente para evitar en -lo futuro concentraciones mayores en la solución por usar.

El concreto hidráulico dió un revenimiento entre 3 y 5 cms. su módulo de resistencia a la tensión por flexión - fue de 45 Kg/Cm². a los 28 días.

La dosificación del concreto se hizo en peso, em -pleando únicamente procedimientos mecánicos que cumplieran - con lo dispuesto en los incisos (24-04.9) y (24-04.11) de las Especificaciones Generales de Construcción, parte cuarta, de - la S.A.H.O.P.

Colocación, se utilizó cimbra metálica perfectamen -te limpia, desprovista de polvo y engrasada con aceite mine -ral, cumpliendo además lo indicado en el inciso (59-04.6) - parte cuarta de las Especificaciones Generales de Construc - ción de la S.A.H.O.P., los requisitos empleados para la colo -cación del concreto, cumplieron con los requisitos que marcan los incisos (59-04.13) y (59-04.14) de la parte cuarta de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. -

La compactación del concreto se hizo mediante el - empleo de baterías de vibradores de inmersión y vibradores de

regla, el vibrado comprendió dos etapas: la primera se hizo inmediatamente después de su colocación empleando la batería de vibradores de inmersión, el tiempo necesario para producir un concreto denso y compacto, en el cual no fluya mortero y agua en exceso; la segunda etapa del vibrado se hizo mediante el empleo de vibrador de regla, después que se terminó el vibrado inicial.

El curado se hizo inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empezó a perder su brillo superficial, no interrumpiéndose durante los 14 días siguientes a la fecha del colado, esta operación se efectuó aplicando a la superficie una capa gruesa consistente y uniforme de una membrana impermeable de la cual desconocemos el nombre, la función de esta membrana es la de impedir la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto.

La resistencia del concreto se midió por el módulo de resistencia a la tensión por flexión en base a las pruebas que se efectuaron de acuerdo con lo dispuesto en la cláusula (118-14) de la parte novena de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P., el número de especímenes que se tomaron para el control fueron 2 por cada 50 M³. 6 fracción del colado de cada tramo, efectuado en un mismo día.

Tipos de juntas entre las losas de concreto hidráulico.

Juntas de contracción: estas juntas se construyeron por el sistema de aserrado, ya que es el procedimiento que - ha resultado más satisfactorio, el momento adecuado para el aserrado se puede reconocer cuando el corte provoque un ligero desmoronamiento del concreto, ya que constituye un índice para la correcta iniciación del aserrado. Por otra parte, - si no existe ningún desprendimiento, es señal de que el concreto ha endurecido demasiado y probablemente se formen grietas delante de la sierra. Cuando se observe agrietamiento - adelante del corte este será índice de que se está retardando el aserrado. Si éste es el caso, se suspenderá el corte de la junta de que se trate, debiéndose cortar el pavimento en tramos más grandes, y después se procede a cortar las juntas intermedias; a fin de que éste defecto no vuelva a presentarse deberá disminuirse el tiempo de aserrado. Por estas razones el tiempo en que debe iniciarse el aserrado de las juntas está sujeto a variaciones amplias en cada lugar, - por lo que se recomendó hacer la determinación de ese tiempo de acuerdo con el resultado de pruebas experimentales que se lleven a efecto por medio de la sierra circular en el sitio.

La separación de las juntas fué de 5 mts. determinado en base a las indicaciones que da el método de la P.C.-A., las cuales indican que la separación de estas juntas, debe estar entre 4.57 mts. y 6.09 para losas de espesor de 20- a 30 cms., la junta puede observarse en el plano N^o 3.

Tipos de juntas entre las losas de concreto hidráulico.

Juntas de contracción: estas juntas se construyeron por el sistema de aserrado, ya que es el procedimiento que - ha resultado más satisfactorio, el momento adecuado para el aserrado se puede reconocer cuando el corte provoque un ligero desmoronamiento del concreto, ya que constituye un índice para la correcta iniciación del aserrado. Por otra parte, - si no existe ningún desprendimiento, es señal de que el concreto ha endurecido demasiado y probablemente se formen grietas delante de la sierra. Cuando se observe agrietamiento - adelante del corte este será índice de que se está retardando el aserrado. Si éste es el caso, se suspenderá el corte de la junta de que se trate, debiéndose cortar el pavimento en tramos más grandes, y después se procede a cortar las juntas intermedias; a fin de que éste defecto no vuelva a presentarse deberá disminuirse el tiempo de aserrado. Por estas razones el tiempo en que debe iniciarse el aserrado de las juntas está sujeto a variaciones amplias en cada lugar, - por lo que se recomendó hacer la determinación de ese tiempo de acuerdo con el resultado de pruebas experimentales que se lleven a efecto por medio de la sierra circular en el sitio.

La separación de las juntas fué de 5 mts. determinado en base a las indicaciones que da el método de la P.C.-A., las cuales indican que la separación de estas juntas, debe estar entre 4.57 mts. y 6.09 para losas de espesor de 20- a 30 cms., la junta puede observarse en el plano N^o 3.

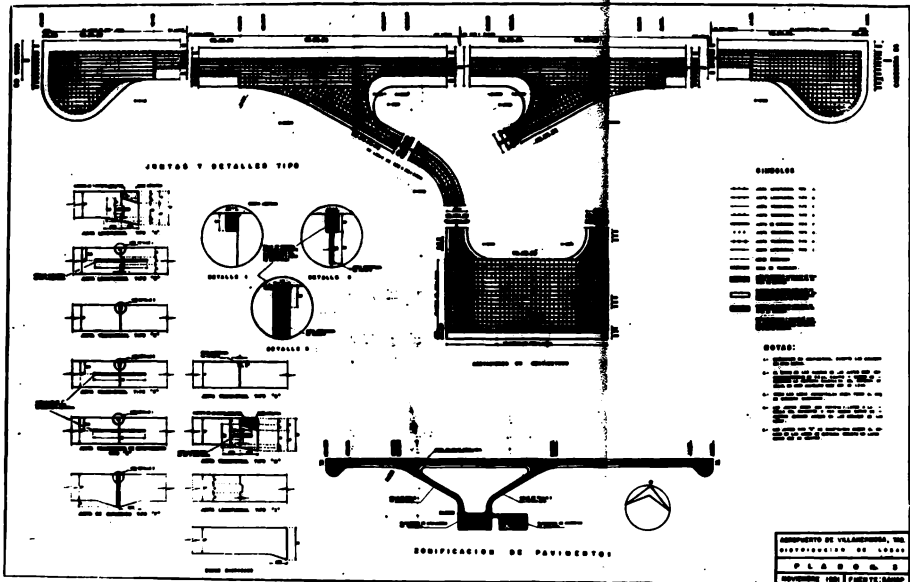
La transferencia de cargas en las juntas de contracción transversales se obtiene por la trabazón del agregado entre las caras fracturadas abajo de la ranura, pero solo si las juntas se mantienen bastante apretadas, las varillas u otros dispositivos para la transmisión de carga, no se requieren en la mayor parte de las juntas transversales sin embargo, estas varillas deben colocarse a través de las juntas de construcción y en las que se encuentren cerca de los bordes libres del pavimento y cerca de cualquier junta de expansión. Las observaciones han demostrado que en una distancia de aproximadamente 30 metros antes de cada extremo libre y 18 mts, atrás de cada junta de dilatación, la abertura en las de contracción se va abriendo gradualmente al punto que la trabazón en el agregado ya no puede ser efectiva, por lo que es necesario colocar varillas en estas juntas para asegurar la transferencia de carga; por esta razón se tienen este tipo de juntas en las cabeceras de la pista y en los bordes de las intersecciones entre pista y rodaje, así como en la plataforma; esto permite la transmisión de las cargas en caso de que haya deslizamientos.

Las varillas van colocadas a cada 30 cms., lo cual concuerda con las Especificaciones que marca el Reglamento del concreto cuando se tienen las características de espesor, ancho y largo de la losa que nos ocupa; con tal separación se logra la transmisión de cargas de una losa a otra y por lo tanto una mejor distribución de esfuerzos.

Juntas de dilatación: las juntas de dilatación, sirven para dar libertad de movimiento entre las losas cuando estas aumentan de volumen debido a las variaciones muy marcadas en la temperatura del lugar; al no colocarse estas juntas se llegan a tener grandes esfuerzos en el concreto que fracturarían las losas al tener contacto unas con otras, o con algún otro objeto fijo que impida el libre movimiento, por esta razón deben dejarse juntas de dilatación de $3/4"$ a $1\frac{1}{2}"$ entre los pavimentos de concreto y los edificios, así como construcciones fijas del Aeropuerto; además son necesarias en intersecciones de pistas, pistas de rodaje y plataformas. Este tipo de juntas se hacen con varillas o se aumentan los espesores en los bordes como sucede en las juntas que se emplearon en el pavimento que tratamos observándose en el plano N^o 3.; la colocación en la pista sigue las indicaciones antes mencionadas (véase plano N^o 3), la construcción se hizo por medio de cimbra entre una junta y otra.

Las juntas longitudinales, son de construcción, que van a lo largo de los bordes entre franjas, la forma que tienen son del tipo caja y espiga conocidas más comunmente como de bisagra, su función es la transferencia de carga de las losas de una franja a las losas de las franjas contiguas.

Cuando se prevea un tráfico pesado se aconseja además de la junta de caja y espiga colocar varillas en todas las juntas longitudinales de las pistas; así en las pistas de



rodaje angostas (23 mts. o menores) se deben unir las juntas de construcción longitudinales con barras corrugadas para evitar la abertura excesiva y la reducción de la transferencia de carga. Para el caso que nos ocupa, se utilizaron juntas de caja y espiga en las zonas donde se garantizaba que las losas no se desplazarían por el confinamiento lateral que brindaban las losas contiguas.

En las franjas de la orilla, se utilizó la junta de caja y espiga con varilla corrugada para evitar la abertura de las losas, ya que lateralmente se tiene el pavimento flexible que permitía el desplazamiento de estas y con ello, abertura en las juntas; por lo tanto una mala transmisión de esfuerzos. La distribución de el acero y tamaño de cada varilla se muestra en el plano N° 3, la cual, obedece a las indicaciones de la P.C.A.

Las varillas corrugadas se apoyaron en dispositivos que evitaron los movimientos excesivos (monturas o silletas de alambón de $\frac{1}{4}$ " y éstas a su vez se anclaron firmemente a la sub-base) durante el colado y compactación del concreto.

PROBLEMAS QUE SE HAN PRESENTADO.

La construcción de este pavimento, se terminó el año pasado no presentándose aún fallas estructurales, aunque debemos mencionar que se han tenido brotes de agua en las

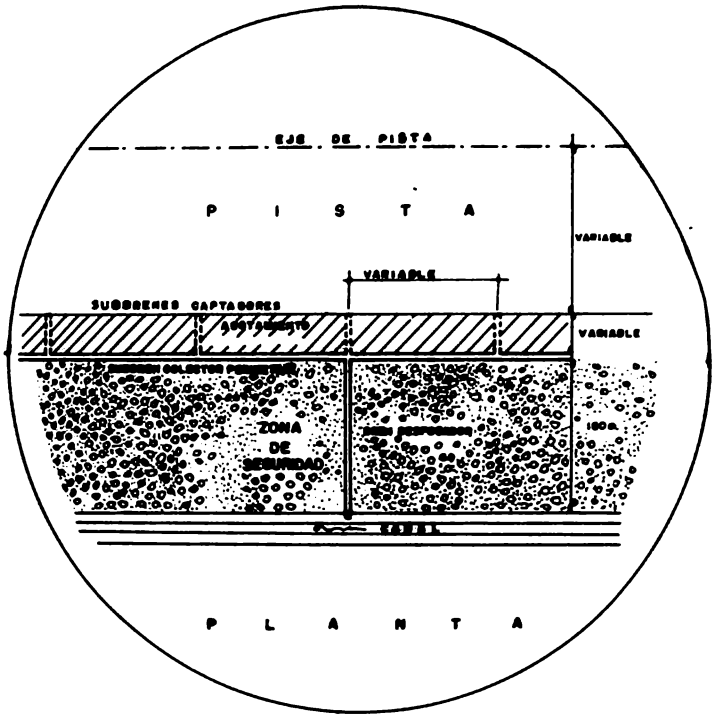
orillas del pavimento rígido; lo que indica que las capas subyacentes a la losa están saturadas pudiendo tener una disminución en la resistencia de los materiales lo que puede llevar en un futuro a la falla del pavimento, el estudio que se hizo para determinar las causas y con ello las soluciones arrojó los datos siguientes:

1.- La presencia del agua es debida a las filtraciones de la lluvia a través de las juntas del pavimento rígido, y de la unión de pavimento rígido a flexible. Dichas filtraciones escurren entre la capa de la base impregnada y la losa, esta agua se acumula debido a que no tiene salida por estar el pavimento confinado lateralmente por terracerías impermeables, el afloramiento de agua se presenta en la orilla del pavimento en los sitios de menor elevación.

2.- Se consideró conveniente la construcción de un sistema de sub-drenaje que permita el desalojo del agua en forma adecuada.

3.- Se propuso la construcción de un sub-drén simple, sin tubo, en una línea desde el acotamiento hasta la franja de seguridad, ubicado en cada zona de brote de agua; el número de líneas de sub-drén simple podrán aumentarse según los requerimientos de sub-drenaje (ver fig. N^o 4.4)

4.- La postura anterior, se tomó en cuenta debido a



que en otros Aeropuertos con pavimento rígido se han manifestado zonas por donde fluye hacia las orillas el agua que recoge el pavimento a través de grietas y ranuras, situaciones - que se han solucionado en forma similar a la propuesta anterior, sin que a la fecha hayan presentado mayor problema.

CAPITULO_ 5

EMPLEO DEL PAVIMENTO TIPO SECCION COMPENSADA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Proceso constructivo:

Una vez proyectada la sección del pavimento, viene el proceso de la construcción, que es una etapa muy importante que se deberá llevar a cabo con suficiente apego al proyecto, para llevar a la realidad todas aquellas consideraciones que se tomaron en cuenta en el diseño.

La obra en que se empleó este pavimento, es en la prolongación de las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, las cuales son:

- 1.- Pista 05D-231 del km. 3+300 al km. 3+900.
- 2.- Pista 051-23D del km. 2+700 al km. 3+200.
- 3.- Rodaje Alfa del km. 1+790 al km. 3+620

Para fines de nuestro estudio se seleccionó el pavimento de la Pista 051-23D, ya que fue la primera obra construi

da con la sección compensada, la cual nos permite observar me
jorar el comportamiento por el mayor tiempo de servicio; de
bemos mencionar que el proceso de construcción, seguido en esta -
pista es el mismo que se ha empleado para las prolongaciones-
de las otras pistas mencionadas, llevándose el siguiente pro-
ceso:

Trazo, se prolonga el eje de la pista, definiéndose
estaciones a cada 20 metros con una longitud de 500 mts. defi
nido tal eje, se marcó el ancho de la sección procediéndose a
la excavación.

Excavación; de acuerdo con el proyecto, para alojar
la sección, es necesario abrir un cajón evitando hacer altera
ciones en la estructura del suelo, ya que la escasa resisten-
cia de este tipo de suelos depende de su estructura y de su -
contenido de agua, por esta razón se ejecutó la excavación -
con todo cuidado utilizando equipo ligero (retroexcavadora -
Poclain LC 80) y recurriendo a herramienta en los últimos 30
cms. de la excavación. Para el acarreo se utilizaron camio -
nes con capacidad de 4-6 M3., y con carretilla de mano deposi
tado a 20 mts. de la caja para los últimos 30 cms.; posterior
mente era retirado este material.

La excavación se llevó a cabo abriendo el cajón por
franjas con un ancho de 4.00 mts., el proceso seguido consis-
tió en abrir una franja y dejar otra, sobre la cual transita-
rá el camión de carga, esta operación hace que el avance en -

el frente sea rápido, debido a que facilita la construcción - de las plantillas tanto de arena como de concreto. Un inconveniente que se presenta al abrir el cajón completo, es la - pérdida del talud puesto en la sección de proyecto del mate - rial en el tezontle y la grava, aunque se consideró que se - podía aceptar, ya que tal pérdida de inclinación no es de - gran magnitud para que afecte el proyecto.

Plantilla de arena:

Una vez obtenido el nivel de desplante, de inmedia- to se cubrió con la plantilla de arena para evitar la pérdida de humedad, que en estos casos es de suma importancia ya que al resecarse el terreno de cimentación, se provocarán grietas por efecto de contracción, alterándose con ello la estructura del suelo.

La arena se compactó con rodillo metálico liso lige- ro con peso máximo de 4 toneladas, esto es con el objeto de - que el terreno se altere lo menos posible y a la vez permita- ejecutar el colado, y el tránsito de los trabajadores y el - equipo ligero estrictamente necesario. El número de pasadas fue de 3 a 4 con el equipo especificado.

Colado de la losa de concreto hidráulico:

Previamente al colado de la losa, la plantilla de - arena se saturó con 5 hrs. de anticipación, proporcionando un

riego de agua adicional minutos antes del colado sin permitir encharcamientos; todo esto es con la finalidad de que durante el proceso del fraguado del concreto la plantilla de arena no le haga perder agua.

El concreto hidráulico dió un revenimiento de 5 cms. y alcanzó una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c=125 \text{ Kg/Cm}^2$, colándose franjas alternadas en el sentido transversal con un ancho de 3.00 mts.

La colocación se efectuó por medio de canalones y bomba de concreto, la compactación se llevó a cabo con equipo vibratorio de inmersión y vibradores de regla, el acabado se ejecutó con regla dejándose la huella muy marcada en ésta para evitar que el tezontle tuviera desplazamientos, por último el colado se hizo con curacreto inmediatamente después del acabado final, ya que este material impide la pérdida de agua por evaporación, debido a que está hecho a base de parafinas.

Capa de material ligero:

A los 28 días de ejecutado el colado de la plantilla de concreto hidráulico, se procedió a la construcción de la capa de tezontle en el núcleo central de la pista con un ancho de 20.00 mts. y 70 cms. de espesor, colocándose de la siguiente forma: en dos capas de 35 cms. c/u, observándose que la primera capa fue colocada con carretillas de mano cir-

culando sobre la plantilla de concreto, y al construir la segunda capa ya circularon vehículos con capacidad de 4-6 M3., - compactándose cada capa primero con rodillo vibratorio de dos mil kgs. de peso aproximadamente y con frecuencia de 3000 a - 3600 revoluciones por minuto, dando a cada capa de 6 a 8 pasadas, al último se dió de 2 a 4 pasadas con una aplanadora - de 3 ruedas con un peso de 10 toneladas.

El tezontle utilizado presentó la siguiente granulometría:

<u>MALLA Nº</u>	<u>% QUE PASA:</u>	<u>MALLA Nº</u>	<u>% QUE PASA:</u>
3"	100 - 95	3/4"	25 - 35
2"	75 - 65	3/8"	8 - 15
1½"	60 - 50	1/4"	0 - 5

Las fajas laterales de sub-base de grava limpia se tendieron en dos capas de 35 cms. cada una, colocándose y compactándose en la forma similar a la sub-base de tezontle. La granulometría se ajustó a la del tezontle.

Construcción de la capa de 15 cms. de tezontle cementado:

Una vez que quedan al mismo nivel las franjas laterales de grava, y la central de tezontle, se procedió a construir la capa de 15 cms. compactos, de tezontle cementado con tepeta

te, en una proporción aproximada de 75 % - 25 % en volumen - respectivamente; estos porcentajes se ajustaron durante la - construcción por parte del laboratorio de campo. La compacta - ción de esta capa se efectuó utilizando un rodillo neumático - pesado de 40 toneladas, lográndose un grado de compactación - de 95 %. La mezcla se hizo fuera de la sección de construc - ción con la finalidad de hacer más expedita la misma, y de no - aflojar el material granular del tezontle y la grava andesíti - ca acomodado en la etapa anterior.

Aplicación de los riegos de impregnación y liga:

Compactada la base de tezontle cementado a su grado especificado y completamente seco, se procedió a dar un barrido a la superficie, hasta dejarla libre de polvo inmediatamente después se aplicó el riego asfáltico de impregnación del - tipo FM-1 (fraguado medio), cuya cantidad de riego se aplicó - de acuerdo a la textura de la superficie variando de 1-2 lts. de asfalto por metro cuadrado, posteriormente se dejó pene - trar durante 72 horas antes de aplicar un riego asfáltico de - liga de tipo FR-3 (fraguado rápido), que no excedió de $\frac{1}{2}$ lt. - de asfalto por metro cuadrado, esto con la finalidad de ligar la capa subsecuente.

Construcción de la base negra (asfáltica):

La base asfáltica se elaboró mediante el sistema de

mezcla en planta en caliente, empleándose material basáltico-triturado con tamaño máximo de 38 mm. ($1\frac{1}{2}$ ") y cemento asfáltico N^o 6, con un consumo aproximado de 85 Kg/M³. de material - pétreo seco y suelto (110 Kg/M³. del material pétreo seco y - compacto); la mezcla asfáltica se compactó hasta alcanzar el 95 % respecto al peso volúmetrico máximo, en dos capas de 5 - cms. cada una, la curva granulométrica del material pétreo - cumplió con las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. quedando alojada en la parte media de la zona 1 de la gráfica para bases asfálticas.

Carpeta asfáltica:

Sobre la base asfáltica terminada se dió un riego - de liga utilizando un producto asfáltico del tipo FR-3 a ra - zón de 0.40 lts/M² aproximadamente, como es muy poco el pro - ducto asfáltico por regar las espesas de la petrolizadora no - alcanzan a extenderlo sobre toda la superficie, para uniformi - zar éste riego se utilizó el rodillo liso neumático, haciéndo - lo transitar sobre la superficie regada.

La carpeta está hecha de concreto asfáltico elabora - do en planta en caliente, utilizando basalto triturado a tama - ño máximo de 19 mm. ($\frac{3}{4}$ ") y cemento asfáltico N^o 6, con un - consumo aproximado de 100 Kg/M³ del material pétreo seco y - suelto (125 Kg/M³ del material pétreo seco y compacto). El - grado de compactación mínimo que se obtuvo fue del 95 % res -

pecto al peso volumétrico obtenido mediante la prueba Marshall, compactándose la carpeta en dos capas de 5 cms. cada una. La granulometría cumplió con las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. para concreto asfáltico.

OBRAS AUXILIARES

Construcción de sub-drenes:

Los sub-drenes van adosados al material de grava en ambos lados del pavimento longitudinalmente como se observa - en el corte que marca el plano N^o 1.

Cuando se hicieron las excavaciones de los últimos- 30 cms. de la caja en que se alojó el pavimento, se efectua - ron también las excavaciones para el sub-drén.

Al fondo de ésta excavación se colocó una cama de-- arena de 10 cms. de espesor, la cual se acomodó con pisón de mano, sobre esta cama se colocó el tubo de barro vitificado- con 15 cms. de diámetro y perforaciones de 3/8" a cada 10 cms. en tres bolillo.

Posteriormente se rellenó la zanja con material - filtrante paralelo a la construcción del pavimento. El acomodo de este material se hizo cuidadosamente con pisón de mano- para evitar desperfectos en la tubería hasta alcanzar el ni -

vel superior de la grava, a partir del cual se construyó la -
capa del acotamiento.

Después de terminada la base de acotamiento, se pro-
cedió a la construcción de los registros para los sub-drenes-
hechos con concreto armado y con dimensiones de 1.10 m. x -
1.10 m. x 1.50m. cubiertos con rejilla irving y tapa de lámina
antiderrapante de $\frac{1}{4}$ " de espesor.

Acotamientos:

En la construcción de los acotamientos se ejecuta -
ron excavaciones de 30 cms. de espesor, cortando con una moto
conformadora y acamellorando el material a los lados de las -
fajas de seguridad y sacándose posteriormente el material con
camiones de volteo con capacidad de 4-6 M3.

Como relleno se utilizó una capa de base hidráulica
de 25 cms. de espesor constituida por tezontle y tepetate en-
proporción 75 % - 25 % en volumen respectivamente. La mezcla
se elaboró fuera de la zona de trabajo, tendiéndose en dos -
capas y compactándose al 95 % de su P.V.S.M.

Sobre esta capa se construyó una carpeta asfáltica-
de 5 cms. de espesor compactándola al 95 % de su P.V.M.

Por último se hizo limpieza general del área adya -

cente a la zona de trabajo.

Comportamiento del pavimento durante su vida útil:

El comportamiento del pavimento denominado sección-compensada en términos generales ha sido satisfactorio, pues de 1962 a 1979 que son 17 años, en el tramo de la pista 05 - Izquierda 23 Derecha de estación 2+700 a 3+200, en donde se empleó la sección que nos ocupa, solo una sola vez se le han colocado 7 cms. promedio de carpeta en 1973, ello debido a que se tuvo que dar continuidad a la rasante de estaciones anteriores, ya que en la superficie de rodamiento del tramo en que se empleó este pavimento el hundimiento fue uniforme no requiriendo renivelación, pero se debía cumplir con la continuación de la rasante para no tener un cambio brusco de pendiente, lo que obligó a colocar el espesor antes mencionado.

El hundimiento que ha sufrido el pavimento en el tramo donde se construyó esta sección va aparejado al hundimiento regional del valle, por lo que podemos decir que la sobrecarga impuesta por el pavimento, ha sido distribuida correctamente al terreno el cual con su capacidad de carga la ha soportado adecuadamente ya que tal hundimiento como se mencionó anteriormente es el correspondiente a la región.

Este comportamiento se acusa en los perfiles que cada 2 años se levantan, por medio de una nivelación en toda la

longitud de la pista a estaciones de cada 20 mts., los cuales se anexan en el plano N^o 4, en el que podemos ver la rasante del tramo que nos ocupa, como también las deformaciones que ha tenido la pista en las estaciones anteriores a este tramo.

Las diferencias en el comportamiento de los tramos en la pista son debidas a que, como ya se ha hecho referencia los enfoques de proyecto que se tuvieron no fueron los mismos ya que los primeros tramos se concibieron para tránsito mucho menores que los actuales, pero al pasar el tiempo, éste ha aumentado en forma importante y también, afortunadamente, la teoría se ha ido desarrollando con un mejor conocimiento del terreno natural, hasta lograr definir la sección compensada que se ha comportado satisfactoriamente en la última década.

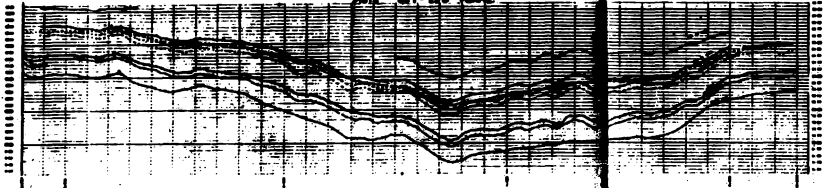
CAPITULO N^o 6

C O M P A R A C I O N E S

En el perfil de la Pista 05 Derecha 23 Izquierda (plano N^o 4) se observa la heterogenidad de pavimentos, la cual es producto de las necesidades crecientes de tráfico; así tenemos que durante su longitud se han utilizado varias secciones que se denotan en los tramos siguientes:

De la estación 0+000 a la estación 1+700, se tiene la primera estructura utilizada teniendo como cimiento una base telford y sobre esta macadam asfáltico. La sección tie-

DATA 01-20-1959



Scale: 1 inch = 100 feet

Legend:
 - SANDSTONE
 - LIMESTONE
 - SHALE

Scale: 1 inch = 100 feet

Legend:
 - SANDSTONE
 - LIMESTONE
 - SHALE

Scale: 1 inch = 100 feet

Scale: 1 inch = 100 feet

ne un espesor de 50 cms. construída para aviones con peso máx -
imo de 13 ton. y para un tráfico ilimitado de este tipo de -
aeronaves, al pasar el tiempo fueron apareciendo oviones que -
originaban mayores esfuerzos, por lo que fue necesario reforzar
el pavimento para que pudiera distribuir los nuevos es -
fuerzos que imprimieran estas aeronaves, el refuerzo hecho al
pavimento consistió en colocar concreto asfáltico material -
muy pesado que lejos de dar una solución agudizó más el pro -
blema por el exceso de peso, presentándose mayores asentamientos
los que ocasionan la pérdida, tanto de pendiente longitudi -
nal como la transversal, y con ello deformaciones que entorpe-
cen las operaciones de los aviones.

Es en este tramo en donde se tienen los mayores -
asentamientos, por una parte debido a que tienen más tiempo -
de servicio y por lo tanto han sufrido mayores esfuerzos, por
otra a las sobrecargas producto de las constantes renivelaciones
para poder presentar una superficie de rodamiento adecua -
da al tránsito, el mayor asentamiento total que ha sufrido -
este tramo es de 2.77 metros a partir del año de 1964 a 1979,
los espesores de concreto asfáltico que se han utilizado en -
las renivelaciones y refuerzos es de 1.35 mts.

Para los nuevos tipos de aviones fué necesario pro -
longar la pista de la estación 1+700 a 2+700, empleándose -
otro tipo de sección para el pavimento siendo ésta a base de -
grava cementada, este proyecto tampoco toma en cuenta los di -

versos factores que influyen en la determinación de la sección cuando se tiene un terreno de cimentación constituido por suelos blandos, lo que trajo como consecuencia que al transitar los aviones se produjeran deformaciones en la superficie de rodamiento, no superándose el problema; esto hace necesario también constantes renivelaciones a base de concreto asfáltico, para uniformizar la rasante y poder permitir el tránsito. Es así como en este tramo se han tenido problemas de asentamientos por efecto de las sobrecargas que representan las renivelaciones, el mayor asentamiento total registrado para este tramo fué de 2.30 metros en un tiempo de 15 años. El concreto asfáltico utilizado en las renivelaciones alcanza un espesor de 0.90 metros para el mismo tiempo en un tiempo antes.

Con el desarrollo de la aviación surgió otro tipo de aeronave que transmitía mayores esfuerzos que los anteriores, por lo que hubo necesidad primero, de prolongar nuevamente la pista para satisfacer su longitud de despegue y aterrizaje, segundo proporcionar un tipo de pavimento que pudiera soportar los nuevos esfuerzos y transmitirlos al terreno lo más adecuadamente distribuidos; por lo que se proyectó la sección denominada compensada pensando ya en los problemas que presenta un suelo de cimentación blando.

Lo que se ha logrado con éste último tipo de pavimento se observa en el perfil de la Pista de la estación ---

2+700 a la estación 3+200, en donde podemos ver que los asentamientos que se han presentado han sido uniformes al hundimiento regional del valle, no presentándose asentamientos diferenciales que pongan en peligro el tránsito ya que tal hundimiento, ha sido parejo en toda la sección no alterándose la pendiente longitudinal ni transversal. (véase plano N° 4).

El mayor asentamiento general que se ha presentado en este tramo es de 2.0 mts. en un período de tiempo que va - del año 1964 a 1979, la única renivelación se ha hecho únicamente para lograr dar continuidad a la pendiente de toda la - pista, la cual no puede interrumpirse bruscamente.

En el perfil también se observa que en algunas intersecciones de la Pista con rodajes u otras pistas, se presentan también grandes deformaciones debido a que en esas zonas, la carga es crítica ya que se circula a velocidades bajas, permaneciendo más tiempo el avión en estas áreas.

En lo que respecta a los hundimientos diferenciales en los tres tramos antes mencionados, se observa en el perfil de la pista, que de la estación 0+000 a la estación 1+700 se presentan dos pendientes de signo contrario; lo cual se refleja en las ondulaciones perceptibles a la vista en el campo, - las cuales se solucionan por medio de las renivelaciones concreto asfáltico.

Con respecto a la pendiente transversal de información obtenida en la Residencia de campo, se tienen mayores asentamientos en el centro de la sección que en los hombros los mismos que para el tramo de la estación 1+700 a 2+700, llegándose a presentar deformaciones de la magnitud que se enuncia abajo en un tiempo de 3 años.

Tramo: Hundimiento del eje con respecto a los hombros de la pista en algunas estaciones de la longitud que se enuncia.

0+000 a 1+700	45 cms.
1+700 a 2+700	40 cms.

Este tipo de asentamientos diferenciales es el problema que más afecta a las operaciones de los aviones como al pavimento, debido a que al existir pendientes negativas hacia el eje de la pista, se producen encharcamientos que por una parte afectan el frenaje y la velocidad del avión, y por otra parte ocasionan infiltraciones de agua hacia el pavimento lo que puede llegar a bajar la capacidad de soporte de este. Además estas deformaciones producen vibraciones en el tren de aterrizaje reflejándose ésto en la maniobrabilidad de la aeronave, y por lo tanto en la seguridad de los pasajeros.

Para el segundo tramo comprendido entre el km. -

1+700 a 2+700, se presentan dos pendientes longitudinales con la misma dirección y otra de sentido contrario a las anteriores, estas pendientes contrarias ocasionan las ondulaciones - que también se presentan en este tramo; las cuales se solucionan de igual manera que la mencionada en el párrafo anterior, recordando los factores de operación, sabemos que no deben - presentarse este tipo de deformaciones, ya que ello ocasiona - despegues falsos en el tren de aterrizaje que al regresar al - pavimento en las cimas, produce impactos de más de 100 % de - la carga estática que producen mayores esfuerzos al pavimento

Por último, el tramo en donde se empleó la sección - denominada compensada, la superficie de rodamiento no ha su - frido cambios bruscos de pendiente longitudinal o transversal que requieran renivelaciones, ya que las deformaciones que se han presentado son como se observa en el perfil que se presenta del orden de 8 cms. en una distancia de 80 metros, lo que - dá una pendiente de 0.1 %, lo cual es imperceptible en la - distancia antes mencionada. Estas deformaciones se han pre - sentado en un tiempo de 15 años, por lo que se considera que - el comportamiento de este tramo ha sido satisfactorio al no - necesitar las constantes renivelaciones (cada 3 años), ya que los asentamientos que se han presentado, han sido uniformes - al hundimiento regional del valle.

CAPITULO Nº 7C O N C L U S I O N E S

Actualmente, la tecnología de pavimentos involucra un conjunto de factores que deben estudiarse profundamente para lograr llegar a soluciones eficientes; algunas veces se llegan a obtener soluciones que no satisfacen las necesidades principales del problema en cuestión, lo cual es debido a que en el proyecto no se revisaron cuidadosamente todas las variables que intervienen, haciéndose crítica ésta situación en algunos casos cuando se pretende construir un pavimento sobre un suelo blando, por lo que en este caso resulta indispensable hacer un estudio más detallado de las variables que interviene en el problema.

Para poder estar concientes de las condiciones que van a determinar la alternativa de pavimentación a que se debe llegar, es indispensable que se realice un estudio geotécnico adecuado, ese estudio deberá ser realizado por Ingenieros especializados, ya que de los resultados que se obtengan de ese estudio dependerá el éxito en el funcionamiento del pavimento, además de que se podrán lograr mejores soluciones.

Conforme se ha ido prolongando la Pista 05 Izq. 23-Derecha en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se han tenido diversas soluciones de pavimentación, pero solo la utilizada en el tramo comprendido entre la estación 2+700-

a 3+200 se ha comportado satisfactoriamente para las condiciones actuales del tráfico aéreo, no así los pavimentos empleados antes ya que al ser diseñados para otro tráfico menos pesado e intenso se han tenido problemas de deformación que son solucionados por medio de renivelaciones, las cuales también sirven para poder dar continuidad a la pendiente entre un tramo y otro; ésta solución implica altos costos que además de no superar el problema lo agudiza más al estar colocando mayores sobrecargas al terreno.

La distribución de esfuerzos se efectúa más adecuadamente al terreno cuando se tiene un espesor más grande de pavimento, tomando en cuenta ésto, podemos pensar que a la pista antes mencionada, mientras más se le coloque concreto - asfáltico mejor podría ser la distribución de cargas, pero no sucede así ya que al tener un terreno de cimentación blando - se agudiza más el problema por las sobrecargas del peso muerto (estructura del pavimento) generándose mayores asentamientos, basados en esto; se debe tomar en cuenta que la eficiencia de los pavimentos sobre suelos blandos va a estar en función del esfuerzo que se obtenga en la subrasante, tanto por cargas de tránsito como por peso propio de la estructura, por ésta razón, el pavimento debe ser lo más ligero posible, sin alterar con ello su resistencia estructural.

Las diferentes secciones del pavimento a lo largo de las pistas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de -

México, han cumplido correctamente para las necesidades que fueron proyectadas, ya que como se mencionó cada sección obedece a ciertas condiciones, las cuales han sido superadas - llegando con ello a elevados costos de mantenimiento al que - rer mantenerlas en servicio.

El proyecto de los pavimentos va ligado al desarrollo de la Aviación y de las técnicas que para los primeros se tengan en el momento, es por ésta razón que se tiene una heterogeneidad en las secciones estructurales a lo largo de las - pistas.

Producto de lo anterior es la sección compensada, - la cual no cumple con el principio de compensación total como se demostró en el contenido de éste estudio, constituyendo - por lo tanto una sección del tipo semicompensada; los factores e innovaciones logradas al considerar las nuevas necesidades de la Aviación, las características del terreno, el avance en las técnicas de pavimentación y construcción son las - siguientes:

1.- El proyecto se hizo para una densidad de tráfico más pesado que los pavimentos de las estaciones anteriores al tramo comprendido entre el km. 2+700 a 3+200.

2.- En la determinación de la sección compensada, - ya se consideró que el terreno de cimentación estaba consti -

tudo por un suelo blando, cosa que no sucedió con las secciones empleadas antes.

3.- El avance en las técnicas de pavimentos y construcción, estaban más desarrolladas cuando se definió la sección compensada que cuando proyectaron los pavimentos que presentan continuos asentamientos diferenciales.

4.- Al considerar que se tenía un suelo blando, se tomó en cuenta que cuando se tienen éste tipo de suelos, los asentamientos son mayores al centro de la sección, producto de la concentración de esfuerzos al tener una reacción uniforme del terreno.

5.- Como se trata de un suelo blando, se tomó en cuenta que los asentamientos están en función de la sobrecarga que se le adicione al suelo por lo que, se tomó en cuenta el principio de semicompensación de pesos.

6.- El alto contenido de agua en el suelo así como la presencia del nivel de aguas freáticas, hizo necesaria la utilización de las técnicas de subdrenaje, así como del empleo de capas rompedoras de capilaridad.

7.- Para uniformizar los esfuerzos en la mayor medida posible, se utiliza una capa rígida, en la parte inferior de la sección.

Todos estos factores hacen del pavimento tipo semi-compensado, una solución que ha dado resultados bastante satisfactorios ya que en el período de tiempo que tienen en servicio (19 años) las renivelaciones han sido necesarias solo por la condición de continuar con una pendiente, ya que ésta no puede cambiarse bruscamente por las razones que se mencionaron en el contenido de este estudio.

En lo que respecta al Aeropuerto de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; basados en la información que se mencionó en el desarrollo de esta Tesis, podemos pensar que en el proyecto del pavimento para la Pista 08-26, no se revisaron correctamente los diferentes factores que determinan la estructura de la sección, en especial lo referente al conocimiento de las características del terreno de cimentación, pues como se mencionó, el proyecto definitivo se modificó cuando se presentó el problema de rebote elástico en la compactación de las terracerías de las secciones en corte del proyecto original, además no se consideró que se podrían tener problemas con el nivel de aguas freáticas debido a que en la zona donde se construyó el Aeropuerto, es bastante superficial; ésto, es producto de no estudiarse correctamente el drenaje en la etapa de proyecto, lo que lleva a elevar el costo de la obra, ya que construido el pavimento se pretende resolver el subdrenaje.

Por los aspectos antes enunciados, deducimos que -

no existe un control preciso del proyecto, ya que los problemas que se pueden presentar, se detectan hasta la etapa de construcción y mantenimiento, no tomando en cuenta las experiencias obtenidas por lo menos en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México; por lo que se propone la creación de un cuerpo de Ingenieros, quizá a nivel de Subsecretaría ó cuando menos de Dirección en las Secretarías de Estado, que construyen obras públicas, la cual se encargue del control de calidad supervisando cada etapa de la obra con mucha rigidez y al mismo tiempo, obtener datos para un archivo eficiente de el proyecto, construcción y mantenimiento de las obras que pueda servir en lo sucesivo al desarrollo de las técnicas de proyecto, procedimientos de construcción y elaboración de especificaciones, así como provocar el avance tecnológico de los pavimentos y en general de cualquier tipo de obra.

B I B L I O G R A F I A

ARCHIVO DE PAVIMENTOS DEL DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE LA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS, DEPENDIENTE DE LA SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS - PUBLICAS.

ARCHIVO DE PAVIMENTOS DEL DEPARTAMENTO DE OBRAS DE LA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS, DEPENDIENTE DE LA SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.

ARCHIVO DE LA COMPAÑIA GEOSOL, S.A.

INFORMACION DE LA RESIDENCIA MEXICO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO, DEPENDIENTE DE LA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS S.A.H.O.P.

TECNOLOGIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (PORTER MODIFICADA)

M. EN ING. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.

**PROYECTO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS
M. EN ING. FCO. FERNANDO RODARTE LAZO.**

**ADAPTACION DE LAS PISTAS DEL AEROPUERTO CENTRAL -
PARA CAPACITARLAS A RECIBIR AERONAVES DE RETROPRO-
PULSION.**

C. ING. ALFONSO OLIVERA BUSTAMANTE.

PAVIMENTOS PARA AEROPISTAS.

CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION

TRADUCCION DE: ING. JESUS GONZALEZ HERMOSILLO

E ING. JORGE PEREZ HARPER.

**ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE LA -
SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLI-
CAS.**

PARTES CONSULTADAS: CUARTA, OCTAVA Y NOVENA.

**NORMAS Y METODOS RECOMENDADOS INTERNACIONALES
AERODROMOS**

**ANEXO 14 AL CONVENIO SOBRE AVIACION CIVIL INTERNA-
CIONAL, ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIO-
NAL.**

**LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
ALFONSO RICO - HERMILO DEL CASTILLO
VOLUMEN 1 Y VOLUMEN 2.**

**MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA PRACTICA.
KARL TERZAGHI - RALPH B. PECK.**

**MECANICA DE SUELOS TOMO 1 y 2.
JUAREZ BADILLO - RICO RODRIGUEZ.**

- - - - -