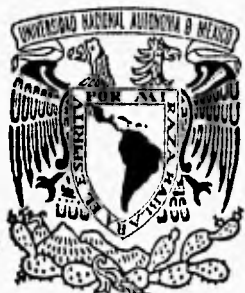


31
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS
DE AEROPUERTOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

EDGAR EDUARDO GALLARDO GARCIA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO DOVALI RAMOS



MEXICO, D. F.
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OCTUBRE DE 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-056/95

Señor
EDGAR EDUARDO GALLARDO GARCIA
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. FEDERICO DOVALI RAMOS**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.


"ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS"

- I. SISTEMAS DEL AEROPUERTO
- II. DESCRIPCION DE LA ZONA AERONAUTICA TERRESTRE
- III. ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS AERONAUTICOS
- IV. EVALUACION Y MANTENIMIENTO
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 24 de abril de 1995.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nlI

Con cariño y admiración a mi mamá la Señora María Guadalupe García de Gallardo, por sus grandes esfuerzos que hasta ahora comienzan a fructificar.

A la memoria de mi papá el señor Efraín Gallardo González, tu ejemplo y cariño siempre me llevarán adelante.

Con cariño a mi hermano Efraín Antonio Gallardo García, quien siempre ha sido un gran ejemplo a seguir.

A mis abuelitos Juan Antonio García Pacheco y María Guadalupe Torres de García, por su apoyo a lo largo de toda mi formación profesional.

•
•

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y poder contribuir en un futuro con el desarrollo de la sociedad.

A el Ing. Federico Dovañ Ramos quien con su amplio conocimiento y gran paciencia, contribuyo en la realización de este trabajo.

A todos los profesores que contribuyeron con sus conocimientos a mi formación profesional.

•
•

**ASPECTOS
GENERALES DE
LOS
PAVIMENTOS DE
AEROPUERTOS.**

"ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS."

INDICE.

	PAG.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I : SISTEMAS DEL AEROPUERTO.	3
I.1 Semblanza Histórica.	3
I.2 Definición General de Sistema.	5
I.3 Características Generales de un Sistema y Análisis.	6
I.4 Componentes del Sistema Aeroportuario.	9
I.4.1 Zona Aérea	12
I.4.2 Zona Terrestre.	20
I.4.3 Edificio.	22
I.4.4 Distribución de Combustible y Zonas de Almacenamiento.	29
I.4.5 Instalaciones Complementarias.	32
CAPITULO II : DESCRIPCION DE LA ZONA AERONAUTICA TERRESTRE	34
II.1 Pistas	34
II.1.1 Componentes de una Pista.	35
II.1.2 Identificación y Orientación de una Pista	36
II.1.3 Configuración.	39

II.2 Calles de Rodaje	42
II.2.1 Tipos de Calles de Rodaje de Salida.	43
II.3 Plataformas	45
II.3.1 Formas de Estacionamiento de los Aviones.	46
II.3.2 Tipos de Plataformas.	50
II.4 Sistemas de Drenaje.	53
II.5 Ayudas Visuales.	60
II.5.1 Sistemas de Iluminación de Aproximación y de Umbral de Pista	61
II.5.2 Sistemas de Iluminación en Pistas y Calles de Rodaje.	67
II.5.3 Señalización de Pistas y Calles de Rodaje.	76
CAPITULO III : ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS AERONAUTICOS	82
III.1 Tipos de Pavimentos.	82
III.1.1 Pavimentos Flexibles.	85
III.1.2 Pavimentos Rígidos	91
III.1.3 Pavimentos Mixtos	97
III.2 Métodos más Usuales de Diseño.	100
III.2.1 Principales Aspectos de las Teorías de Diseño.	101
III.2.2 Práctica de Canadá.	109
III.2.3 Práctica de Francia	112
III.2.4 Práctica del Reino Unido.	117
III.2.5 Práctica de los Estados Unidos	119
III.2.6 Ejemplo Ilustrativo	135
III.2.7 Principales Consideraciones para el Diseño de Mezclas	140
III.3 Construcción.	146
III.3.1 Desmonte y Excavación.	146
III.3.2 Construcción de Terraplenes	152

III.3.3 Construcción de Pavimentos Flexibles	157
III.3.4 Construcción de Pavimentos Rígidos	166
III.4 Efectos Provocados por las Operaciones y Condiciones Climatológicas	176
III.4.1 Velocidad e Intensidad de Tránsito	176
III.4.2 Escape de Reactores y Derrame de Combustible	178
III.4.3 Precipitación Pluvial	180
III.4.4 Acción de las Heladas	182
CAPITULO IV : EVALUACION Y MANTENIMIENTO.	186
IV.1 Evaluación.	186
IV.1.1 Tipos de Evaluaciones de Pavimentos.	186
IV.1.2 Métodos de Evaluación Cualitativa	187
IV.1.3 Métodos de Evaluación Cuantitativa.	192
IV.1.4 Finalidad de la Evaluación de Pavimentos.	196
IV.2 Mantenimiento.	197
IV.2.1 Tipos de Mantenimiento de Pavimentos.	197
IV.2.2 Inspección y Supervisión.	199
IV.2.3 Mantenimiento de Pavimentos Flexibles.	200
IV.2.4 Mantenimiento de Pavimentos Rígidos	205
CAPITULO V : CONCLUSIONES.	210
BIBLIOGRAFIA.	214

INTRODUCCION.

A partir de la evolución que se ha llevado a cabo en el transporte aéreo a lo largo de los últimos 30 años, ha sido posible consolidar a este medio de transporte como uno de los más rápidos, eficientes y seguros dentro del sistema de transporte actual. Por ello para lograr mantener los niveles de calidad en el servicio es necesario contar con un amplio conocimiento de cada una de las partes que conforman este modo de transporte, pues su correcto funcionamiento es el resultado de que cada componente desempeñe sus actividades a la perfección, ya que de lo contrario no se contaría con una relación adecuada que por lo general se revertiría en un servicio deficiente y poco seguro para el usuario.

De esta manera y a partir de que se tenga un amplio conocimiento del transporte aéreo, es posible implementar en el momento en que se requiera, medidas pertinentes cuya finalidad será mantener los niveles y calidad del servicio a la altura deseada.

Dentro de este medio de transporte, los elementos que cuentan con una especial importancia en la infraestructura aeroportuaria son las zonas aéreas y aeronáutica terrestre, las cuales permiten que se lleven a cabo las actividades de traslado tanto de personas como de mercancías por vía aérea, y sobre las cuales hay que tener especial atención.

En base a los comentarios anteriores, en el presente trabajo **Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos**, nos enfocaremos a estudiar los principales elementos que intervienen en la zona aeronáutica terrestre, con la finalidad de tener un mejor conocimiento de está y así en determinado momento poder contribuir a plantear soluciones a problemas de diseño, mantenimiento y operación de está área específica.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Para tal efecto este trabajo se estructura de la siguiente forma:

El capítulo I **Sistemas del Aeropuerto**, nos presenta una visión general de los elementos que constituyen el sistema aeroportuario, principalmente de las zonas aérea, urbana y partes específicas de la zona aeronáutica terrestre como son: el edificio, las zonas de almacenamiento y distribución de combustible y las instalaciones complementarias del aeropuerto.

El capítulo II **Descripción de la Zona Aeronáutica Terrestre**, aborda con mayor detalle los elementos que constituyen dicha zona, además nos proporciona información específica acerca de algunos elementos que sin lugar a duda, son parte importante para la adecuada y segura operación del transporte aéreo.

El capítulo III **Análisis de los Pavimentos Aeronáuticos**, presenta una visión general de los principales tipos de pavimentos empleados en la Infraestructura aeroportuaria, sus métodos más usuales de diseño, forma de construcción, principales efectos que provocan tanto las operaciones que se realizan como las condiciones climatológicas que se presenta en los sitios de estudio.

El capítulo IV **Evaluación y Mantenimiento**, menciona los principales tipos y métodos de evaluación y mantenimiento de los pavimentos aeronáuticos, así como las medidas pertinentes para resolver algunos problemas que se llegan a presentar en estos, debido a las operaciones y al paso del tiempo.

El capítulo V **Conclusiones**, proporciona los comentarios y puntos de vista que surgieron durante la realización y término del presente trabajo.

CAPITULO I: SISTEMAS DEL AEROPUERTO.

I.1 SEMBLANZA HISTORICA .

Desde la más remota antigüedad, el hombre ha intentado imitar al pájaro, abandonar el suelo y elevarse al aire. En la mitología el hombre antiguo mostraba una fascinación por volar, por los dioses que tenían la capacidad de volar y figuras semihumanas con alas.

Así es preciso llegar a finales del siglo XV y a los trabajos de Leonardo Da Vinci para asistir a verdaderos progresos. En efecto, el sabio y artista italiano enunció con claridad los principios fundamentales de vuelo a partir de un estudio metódico del desplazamiento aéreo de los pájaros y de los insectos. Leonardo comprendió que se podría volar imitando la forma de las alas de los pájaros y aumentando la fuerza muscular del hombre mediante algún mecanismo. Los científicos de los siglos posteriores siguieron investigando en la misma dirección, mientras que por toda Europa se hacían numerosas tentativas de vuelo planeado.

De esta forma inspirándose en el principio de Arquímedes el cual nos menciona que "Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del fluido que desaloja", determinados inventores concibieron la idea de un gran recipiente vacío de aire, que podría elevarse y flotar en el espacio. El proyecto se hizo factible cuando los químicos cayeron en la cuenta de que existían gases más ligeros que el aire. Los primeros experimentos tuvieron lugar a partir de 1782. Después de comprobar que el aire pierde densidad a medida que se calienta, los hermanos Montgolfier construyeron una esfera de tejido en la que el aire caliente se renovaba continuamente con ayuda de una gran fogata encendida en la barquilla. A tales globos se les llamó "Montgolfieros".

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

También se utilizó el hidrógeno para inflar aeróstatos, el primero de los cuales lo construyó y puso en funcionamiento en 1783, un físico francés conocido como el profesor Charles. Después de esto, los aeronautas buscaron el modo de dotar a los globos de medios independientes de propulsión y de dirección con lo que surgieron los dirigibles.

En el siglo XIX y a principios del XX los dirigibles conocieron importantes progresos, pues al poseer medios propios de propulsión podían transportar hombres y mercancías; pero no alcanzaron una verdadera revolución en los desplazamientos aéreos y su utilización desembocó en un callejón sin salida. Dado que tampoco se logró una evolución de las técnicas de vuelo ni se aportó ningún tipo de solución a los problemas del transporte aéreo se desvió la atención de los posibles objetos voladores más pesados que el aire.

A pesar de los éxitos alcanzados por los globos y dirigibles, los investigadores continuaron fabricando con obstinación aparatos voladores más pesados que el aire, pero provistos de alas. El inglés George Cayley considerado el padre de la aerodinámica, trató de lograr que un cuerpo se soportara con la ayuda de el aire, que recordemos también es un fluido, lo cual se pudo demostrar en el año de 1903, con una serie de experimentos efectuados sobre elementos sometidos a corrientes de viento, los cuales se podían sustentar por la acción de dicho fluido.

De esta manera la idea del vuelo muscular a imitación de los pájaros iba dando paso poco a poco, a la del planeador. Más tarde, de la conjunción del motor y del planeador nació el avión, nombre que se deriva del latín Avis pájaro asignado por Clément Ader, así de esta forma, se logró dar el impulso inicial para que en el futuro se logrará un desarrollo en la aviación y su infraestructura.

I.2 DEFINICION GENERAL DE SISTEMA.

Proporcionar una definición general de sistema es algo complejo dado que un sistema es aplicable a miles de actividades que se desempeñan en nuestra vida cotidiana y por tanto generan un sin número de posibles definiciones.

En forma general un sistema es un conjunto de objetos en un cierto orden e interdependencia que constituyen un todo organizado. Se aplica el nombre de sistema a ciertas filosofías que ofrecen una consideración global del mundo, hombre, conocimiento, etc; expresada por una explicación estructurada en la que los conceptos se orientan hacia una idea que actúa como centro atractivo y matriz de todos ellos.

De esta manera y como ya mencioné pueden existir distintas definiciones que se apegan a cada sistema en particular por ejemplo, para la Astronomía, el sistema es el conjunto de planetas, satélites, cometas y sol que constituyen el sistema solar; en Economía, el sistema es el conjunto coherente de instituciones jurídicas y sociales en el seno de las que se ponen en práctica, para seguir el equilibrio económico de ciertos medios técnicos organizados. Así podemos visualizar la gran gama de definiciones específicas que pueden presentarse, según la actividad a considerar pero que en general tienen la misma estructura ideológica.

I.3 CARACTERISTICAS GENERALES DE UN SISTEMA Y ANALISIS.

La característica principal de un sistema, es que esta compuesto de partes que interactúan y que a su vez, tiene cada una determinada interdependencia. Sin interacciones, el estudio de los sistemas sería mucho menos interesante dado que éstas son las que proporcionan mayor riqueza al comportamiento de los sistemas y hacen que su análisis sea bastante complejo.

Cada parte de un sistema esta compuesto de subpartes por tal motivo, se dice que los sistemas exhiben su estructura jerárquica por poseer partes dentro de si mismos. Los componentes de un sistema se unen por infinidad de interfases, las cuales pueden tomar la forma de entrada o de salida en forma física, material, de energía o de información. Los componentes transforman sus entradas en salidas; presumiblemente, contribuyendo a conseguir los objetivos del sistema.

Quizá las transformaciones sean excesivamente complejas para algunos componentes, por lo que será menester dividirlo en subcomponentes, para entenderlo mucho mejor.

En muchos sistemas las entradas y salidas son normalmente físicas, teniendo la información únicamente como un medio de coordinación. Por otro lado hay sistemas que utilizan solamente la información, como son por ejemplo los de información administrativa.

Se dice que un componente queda totalmente definido, cuando se conoce la forma en que transforma las entradas en salidas, sin embargo debido a las interacciones entre los componentes, el conocer el comportamiento individual de todos y cada uno, no implica que se puede predecir el comportamiento del sistema.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

La descripción completa del comportamiento del sistema, requiere del conocimiento de las interacciones entre sus componentes así como del comportamiento de cada uno de ellos.

Las fronteras de un sistema son en esencia arbitrarias; se pueden tomar los componentes de un sistema como sistema en sí, por ejemplo, un avión se puede considerar como un sistema, por tener sus subsistemas de control, sustentación, propulsión, etc. y a su vez este avión puede formar parte de una flota de una línea aérea, que junto a otras, forma la red de transporte aéreo de un país. Así sucesivamente, este proceso de construir sistemas grandes a partir de otros más pequeños, puede continuar casi indefinidamente, y se detendrá dependiendo de nuestros intereses y puntos de vista.

Los niveles más bajos o terminales en la jerarquía del sistema son también, esencialmente arbitrarios; se pueden seguir encontrando los componentes de un avión por ejemplo, llegando a sus partes eléctricas, o inclusive, podríamos llegar a su nivel molecular. Sin embargo, se llega al punto donde nos deja de interesar la estructura de un componente por lo que se implementa el trato de "caja negra". Así, de las cajas negras, sólo interesaría que transforman las entradas en ciertas salidas o productos, pero de las cuales no se estudia su estructura interna.

Todo lo que se encuentra fuera de las fronteras del sistema se llama ambiente. Investigadores como McMillan y González definen el ambiente como el conjunto de entidades que al cambiar, afectan al sistema y también lo pueden modificar de alguna forma.

La designación de fronteras arbitrarias tiene el peligro de que algunas interacciones de importancia no sean consideradas, induciéndonos a una suboptimización del sistema. La estructura interna del sistema como las fronteras pueden considerarse arbitrarias. Normalmente, existe un gran número de formas en que los componentes se puedan unir lo que permite acercarnos a los objetivos deseados.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

El análisis de los sistemas, tiene como propósitos principales la descripción y explicación de su comportamiento. Dicha descripción es el primer paso el cual, nos llevará a generar conjeturas acerca de cómo se estructura un sistema. El segundo paso, es la explicación del comportamiento del sistema y se tiene que responder los cómo y los porqués de su comportamiento para esto, habrá que hacer suficientes observaciones para dar validez a nuestras hipótesis y aún así nos tendremos que preguntar si son útiles, para predecir el comportamiento del sistema a futuro.

I.4 COMPONENTES DEL SISTEMA AEROPORTUARIO.

El sistema aeroportuario está constituido por una amplia gama de actividades que presentan distintas necesidades; además, dichas actividades son interdependientes y por ello cualquiera de éstas puede limitar la capacidad del complejo total.

El sistema aeroportuario está conformado principalmente por dos componentes, la "Zona Aeronáutica y Zona Terrestre", donde los edificios de pasajeros y de carga establecen la frontera entre estos dos componentes. De ésta manera, visualizando esquemáticamente se tendría; observar la figura 1.

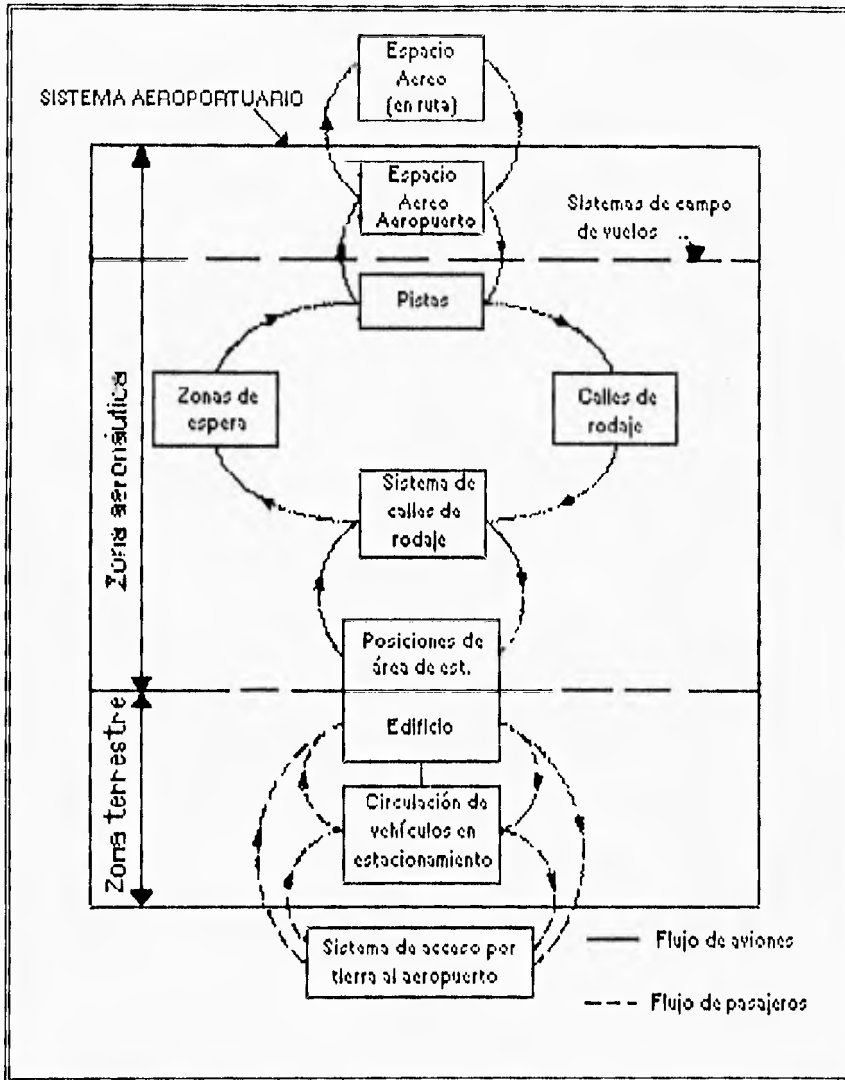


FIG. 1.

Componentes del Sistema Aeroportuario.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Ahora bien para el análisis de cada uno de los componentes tenemos que mencionar que la Zona Aeronáutica se divide en:

- Zona Aérea.
- Zona Terrestre.

De esta manera se comentarán los componentes de dichas zonas hablando en primer término de la Zona Aérea. La descripción de la Zona Aeronáutica terrestre se mencionará en el siguiente capítulo de este trabajo.

I.4.1 ZONA AEREA.

Dicha zona se encuentra conformada por los espacios aéreos, los cuales se integran de la siguiente forma:

- Rutas.
- Patrones de espera.
- Zonas de aproximación y ascenso.
- Zonas de restricción de obstáculos.

RUTAS.

Son corredores perfectamente definidos en el espacio las cuales comunican importantes puntos geográficos, asignados. En los corredores se tienen alturas y anchos variables, con limitaciones de altitud con el objeto de evitar cualquier obstáculo.

PATRONES DE ESPERA.

Son áreas próximas a los aeropuertos claramente definidas, y cuya finalidad es de mantener a los aviones en vuelo dentro de una zona segura y en espera de turno para aterrizar.

ZONAS DE APROXIMACION Y ASCENSO.

Son zona en las cuales no se permiten obstáculos alrededor de los aeropuertos, las cuales ayudan en las maniobras de los aviones en sus zonas de vuelo inmediatas. Las maniobras a proteger son:

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- Aproximación, previa a un aterrizaje.
- Ascenso, posterior a un despegue.

Los espacios aéreos, intervienen en la planeación, localización y operación de un aeropuerto por tal motivo, se debe de tener muy en cuenta que si presentan cambios en el futuro en cuanto a la infraestructura del aeropuerto, como ampliación del número de pistas, se debe de modificar su diseño y operación de tal forma, que estos sigan siendo eficientes.

ZONAS DE RESTRICCIÓN DE OBSTACULOS.

Son aquellos lugares que se tienen que mantener libres de obstáculos para que las maniobras de aterrizaje y despegue se lleven a cabo con seguridad y eficiencia, contamos con cuatro zonas de restricción:

Zona superficial y de aproximación.

Se considera como un plano inclinado de forma trapezoidal o combinaciones, cuya proyección en el plano horizontal se conoce con el nombre de área de despegue o de aproximación según sea el caso; la base menor de la superficie de despegue, se encuentra en el plano horizontal que pasa por el eje a una cierta distancia del extremo de la pista.

Zona Superficial de transición.

Son planos con pendientes hacia afuera de los bordes de las franjas de seguridad, cuyos límites inferiores coinciden con las orillas de las superficies de aproximación y de despegue que se extienden hasta cortar la superficie horizontal.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Zona de Superficie Horizontal

Dicha zona se considera como un círculo con un radio de 4000m, que se encuentra situado a una altura mínima de 45m y cuyo centro coincide con el centro geométrico de las pistas.

Zona de Superficie Cónica

Es el área de un cono truncado invertido, cuya parte inferior corresponde a la superficie horizontal, la base mayor es otro círculo cuya altura varía dependiendo del tipo de aeropuerto, la pendiente de dicho cono es de 1:20

De esta manera tenemos que para el buen funcionamiento de los espacios aéreos se debe de tener un estricto control de todas las áreas mencionadas, además de contar con ayudas para la navegación las cuales hacen más segura su operación.

Las Ayudas a la Navegación punto importante en los espacios aéreos y vuelo de aeronaves, pueden clasificarse de una manera amplia en dos grupos:

Ayudas Exteriores a las aeronaves.

- Sobre Tierra, ya sea en ruta o en área terminal.
- Sobre Agua, en ruta.

Ayudas Internas en las aeronaves.

- Sobre Tierra, ya sea en ruta o en área terminal
- Sobre Agua, en ruta

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Un tipo de ayudas va dirigido principalmente al vuelo transoceánico, otro al vuelo sobre grandes extensiones de tierra y finalmente otro sirve para vuelo sobre océano o sobre tierra; algunas ayudas solo se utilizan en ruta mientras que otras son necesarias en áreas terminales.

AYUDAS EXTERIORES

Sobre Tierra y en Ruta

Radio faro omnidireccional de muy alta frecuencia: Este tipo de equipos más corrientemente conocidos con el nombre de VOR envía señales de radio en todas direcciones y cada señal puede considerarse como una ruta la cual está relacionada con un radial que puede seguir un avión. Considerando intervalos de 1°, existen 360 radiales o rutas y que se irradian desde una estación VOR desde los 0° situados en el norte magnético y aumentando en el sentido de las manecillas del reloj hasta los 360°.

Equipo radiotelemétrico. Este equipo conocido como DME se encuentra instalado en casi todas las estaciones VOR y sirve para dar a conocer al piloto la distancia aérea que existe entre el avión y la estación VOR en particular.

TACAN: Este tipo de ayuda es empleada para la navegación táctica, combina la medición del azimut y la distancia en un solo elemento en vez de dos y opera en banda de ultra frecuencia.

Radar de seguimiento en ruta: Este tipo de radar tiene como función principal suministrar a los controladores de tránsito aéreo una imagen visual de la posición de cada avión, del tal manera que puedan regular y controlar los distanciamientos, e intervenir cuando sea necesario.

Sobre Tierra y en Aproximación.

Sistema de aterrizaje por instrumentos; El sistema de aterrizaje por instrumentos más empleado es el ILS, el cual consta de dos transmisores de radio localizados en el aeropuerto; un haz de uno de los transmisores es el localizador y el otro es la sonda de planeo; dicho sistema lo podemos observar en la figura 2.

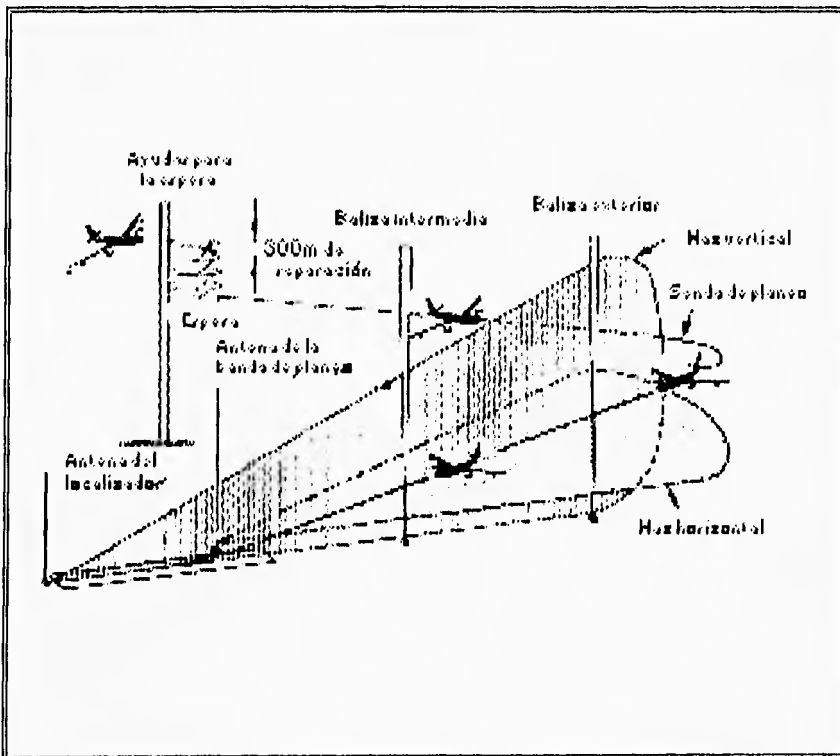


FIG. 2.

Elementos que intervienen en el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS).

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Radar de precisión de aproximación: Este tipo de radar da al controlador una imagen del avión que desciende tanto en planta como en alzado, debido a ello puede determinarse si un avión está en alineación correcta.

Radar de vigilancia en el aeropuerto: Este tipo de radar proporciona al controlador información de todo el espacio aéreo que rodea la terminal, gira los 360° y su información aparece sobre una pantalla en la torre de control, se diferencia del radar de ruta por su alcance.

Sobre Agua y en Ruta

LORAN. Esta constituido por una serie de estaciones localizadas en tierra cuyo funcionamiento es a base de una estación central y otra secundaria ; la estación principal envía señales de radio al espacio y al mismo tiempo una de las señales se dirige a la estación secundaria donde se retarda una cantidad de tiempo específico y luego se envía al espacio de esta forma se realiza la operación en otras estaciones configurandose de está manera una línea ; la intersección entre dos lineas establece una posición en el espacio lo que nos permite situar alguna aeronave en particular.

Otro aparato más y sobre el cual no se comentará es el DECCA Navigator, el cual desempeña básicamente las mismas funciones de los otros sistemas de navegación.

AYUDAS INTERIORES

Sobre Agua y en Ruta

Existen dos tipo de ayuda a la navegación que se utilizan para vuelo sobre el agua y en tierra . El sistema de navegación Doppler y el sistema de navegación inercial.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Sistema de navegación Doppler.

Se trata de un sistema que suministra al piloto la siguiente información:

- Velocidad respecto a tierra.
- Angulo que forma el eje del avión con relación al curso deseado conocido también como ángulo de deriva.
- Distancia del avión, tanto a la derecha como a la izquierda con la trayectoria deseada.
- Distancia al destino o al punto de recorrido.

Sistema de Navegación Inercial.

Está es la ayuda de navegación más utilizada para vuelos de largo alcance sobre el agua y tierra, proporciona la misma información que el sistema Doppler pero además nos indica:

- La velocidad y dirección del viento (deriva).
- La latitud y longitud del avión en cualquier instante.
- Tiempo en que llegará al próximo punto del recorrido.

Sobre Tierra y en Ruta.

En este tipo de ayudas se cuenta principalmente con el sistema Doppler y el de navegación inercial ya mencionados.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Sobre Tierra y en Area Terminal.

Los tipos de navegación aérea utilizados para la navegación en ruta pueden utilizarse también para las áreas terminales.

I.4.2 ZONA TERRESTRE.

Esta zona se encuentra integrada por los estacionamientos, liga vial y vías de acceso las cuales comentaremos a continuación.

ESTACIONAMIENTOS , LIGA VIAL Y VIAS DE ACCESO.

Estacionamientos.

La forma más común de transportarse al aeropuerto es por medio de taxi o del automóvil propio, ganando de esta forma al uso de autobuses, o algún otro tipo de transporte colectivo; por tal motivo se tienen que crear los espacios suficientes para poder estacionar los automóviles de tal manera que se encuentren lo más cerca posible a la terminal.

Los usuarios más comunes de un aeropuerto, se pueden considerar como sigue:

- Pasajeros.
- Visitantes que acompañan a los pasajeros.
- Empleados del mismo aeropuerto.

De esta manera tenemos que dar prioridad tanto a los pasajeros como a otras personas pues estas son las que hacen uso del edificio y ocupan los cajones de estacionamiento. Cabe mencionar que lo ideal sería que los usuarios de los edificios ocuparan los transportes colectivos para poder llegar y salir de la terminal, pues con ello se podría descongestionar los flujos de automóviles y espacios necesarios para su alojamiento con lo que se maximizaría la eficiencia del sistema.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Liga vial.

Se encuentra constituida principalmente por una red de calles y avenidas, cuya finalidad principal es la de permitir circular rápidamente a los usuarios hacia las instalaciones aeroportuarias y vías de acceso sin complicaciones.

Vías de acceso.

Las vías de acceso a el aeropuerto son de gran importancia para su óptima operación, esto se debe a que el viaje por transporte aéreo se considera dividido en tres fases; dos de las cuales son terrestres y una aérea, es decir, traslado hacia el aeropuerto, tiempo de vuelo y traslado hacia el destino deseado.

El objetivo principal de los accesos es el de no producir demoras al pasajero debido a congestionamientos pues en muchas ocasiones el tiempo de acceso en tierra excede el tiempo de transportación aérea, por lo tanto estos factores son de suma importancia para la planeación del aeropuerto.

1.4.3 EDIFICIO.

El Edificio como ya se mencionó es la frontera entre la zona aeronáutica y la zona terrestre. Su función principal es la de servir de enlace entre los medios de transporte terrestre y aéreos, dentro de sus funciones están la documentación de pasajeros, equipaje y carga, así mismo aspectos aduanales.

Al planear la construcción de un edificio, se tiene que tomar en cuenta su costo ya que este implica un alto porcentaje del costo total de la construcción del aeropuerto. Dentro de la propia construcción se tendrán que diseñar áreas de circulación que tengan las capacidades adecuadas para satisfacer las distintas demandas que se presenten, considerando los mínimos recorridos para los pasajeros y la carga; se tiene que tener especial énfasis para la ubicación y dimensionamiento de las siguientes zonas:

- Vestibulo.
- Andenes de llegada.
- Salas de espera.
- Zonas de manejo de carga.
- Zonas de manejo de equipaje.
- Areas para las oficinas de las líneas aérea
- Areas para oficinas gubernamentales.
- Areas para oficinas administrativas del aeropuerto.
- Zonas comerciales.

Ahora bien, dentro del edificio existen diversas formas posibles de ordenamiento físico de las instalaciones para el sistema de tratamiento de pasajeros y de desarrollar las diferentes actividades del mismo. Existe un término llamado "Proceso Centralizado" en donde las instalaciones del sistema

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

están albergadas en un solo edificio y se emplean para procesar a todos los pasajeros que utilizan el mismo. Por otra parte el "Proceso Descentralizador", significa que las instalaciones para tratamiento de pasajeros se agrupan en unidades modulares que se repiten en uno o más edificios. Cada una de estas unidades funciona junto a una o más puertas de salida y sirven a esos pasajeros que utilizan esas puertas. Existen cinco conceptos sobre tratamiento de pasajeros, cada uno de los cuales puede utilizarse con diferentes grados de centralización los cuales son:

- Llegada hasta la puerta.
- Muelle en forma de dedo.
- Satélite.
- Satélite Lejano.
- Estacionamiento remoto.

LLEGADA HASTA LA PUERTA.

Se trata de un concepto de tramitación descentralizado que intenta llegar al automóvil lo más cerca posible del avión, el edificio se sitúa de una manera lineal, de tal forma, que las instalaciones del lado terrestre queden próximas a las posiciones de estacionamiento de los aviones, reduciéndose por tanto las distancias que han de recorrer los pasajeros.

MUELLE EN FORMA DE DEDO.

Es un concepto de proceso centralizado que quizás sea, el sistema más comúnmente empleado en los aeropuertos de hoy. Con este tipo de sistema lo que ocurre es que las instalaciones quedan albergadas en un solo edificio que puede no tener el parámetro suficiente para acomodar el número correspondiente de posiciones de estacionamiento de aviones ; por ello es que se le añade un andén

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

al edificio para darle más parámetro, sin incrementar de forma notable la superficie total de la planta.

SATELITE.

Está se considera como una modificación del concepto anterior, los aviones se estacionan alrededor de una rotonda (la cual no necesariamente es circular) al final del andén en vez de hacerlo a lo largo del mismo, la ventaja que ofrece esta disposición es la de llegar a disponer de más espacio, lo que permite una mayor facilidad de reunir a los pasajeros, al igual que una mayor facilidad de expedición de boletaje en las salidas de los aviones.

SATELITE LEJANO.

En este sistema, los aviones están estacionados alrededor de unidades llamadas satélites que se encuentran separadas por completo del edificio, dicho sistema permite una descentralización parcial de las actividades de tramitación así como la libre circulación de los aviones alrededor de los satélites. El transporte de pasajeros entre el edificio y los satélites se efectúa mediante autobuses.

Este tipo de satélite puede estar conectado por medio de un andén o a través de un túnel, aunque este tipo en sí no existe.

ESTACIONAMIENTO REMOTO.

En este sistema los aviones se encuentran situados en grupo y a lo lejos del edificio por lo que se requiere de autobuses que permiten llevar y traer a los pasajeros al edificio. La principal característica está en la independencia entre las operaciones del avión y las actividades de los pasajeros en el edificio.

De esta manera gráficamente podemos ver cada uno de los conceptos de tratamiento de pasajeros antes comentados en las figuras 3 y 4.

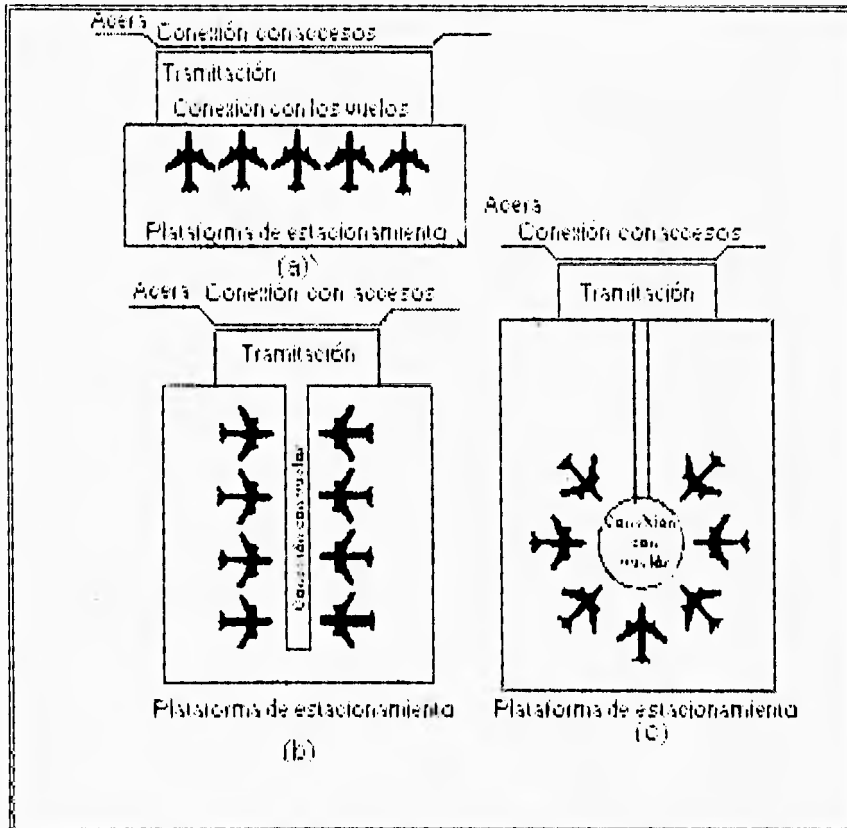


FIG. 3.

Tipo de tratamiento de pasajeros:

(a) lineal.

(b) muelle en forma de dedo.

(c) satélite.

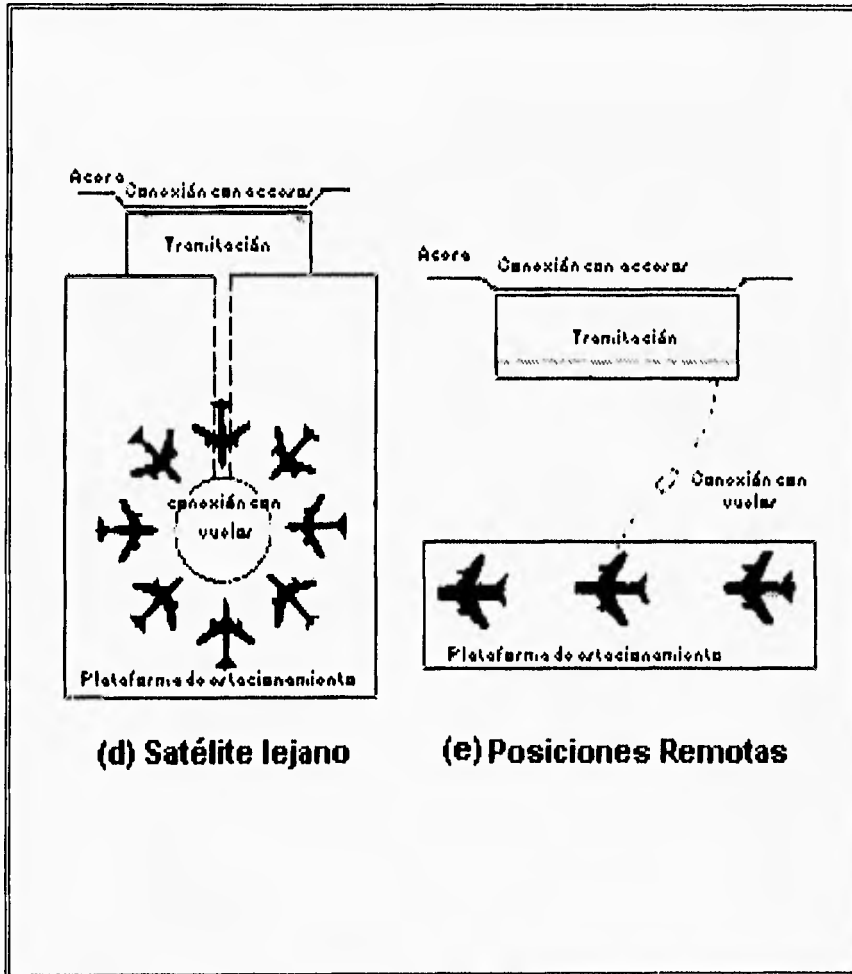


FIG. 4.

Tipo de tratamiento de pasajeros:

(d) satélite lejano.

(e) posiciones remotas.

Existe un concepto de distribución vertical cuya razón para distribuir las actividades principales del proceso en un edificio de pasajeros de varios niveles, es la de separar los flujos de los pasajeros de llegada de los de salida. La decisión sobre cuantos niveles debe tener una instalación depende principalmente del volumen de pasajeros, tráfico como en el caso de considerar tanto vuelos nacionales como internacionales.

Utilizando el sistema de nivel único, todo el proceso tanto de pasajeros como de equipajes tiene lugar al nivel de estacionamiento por lo que la separación tanto de flujos de llegada y de salida se consigue horizontalmente.

Con este sistema, se utilizan las escaleras para que los pasajeros suban al avión por lo que es un sistema económico y aconsejable con pequeños volúmenes de pasajeros, los cuales no excedan del millón o dos millones al año; este se puede observar en la figura 5.

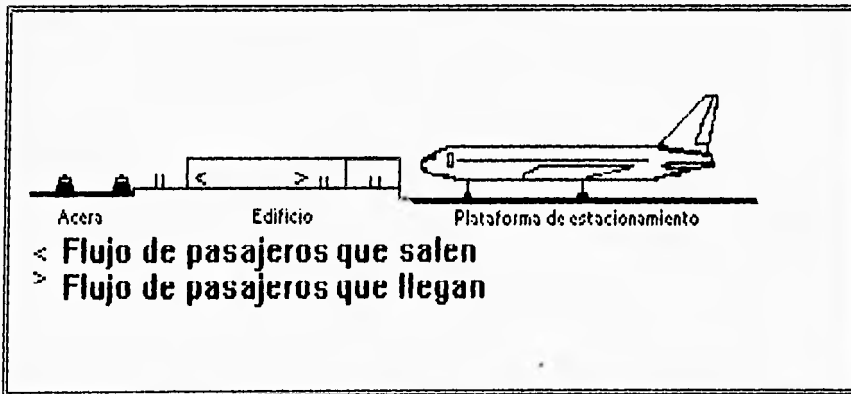


FIG. 5.

Sistema de tratamiento de pasajeros en un solo nivel.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Los sistemas de dos niveles se utilizan para separar el área de tratamiento de pasajeros y la de mantenimiento de equipajes. Por lo tanto, las actividades de tratamiento incluyendo devolución de equipajes, se lleva a cabo en el nivel superior; mientras que las actividades de las aerolíneas y manipulación de equipajes se efectúan al nivel del estacionamiento de los aviones. Las ventajas que ofrece el tratamiento de los pasajeros en un nivel superior, es la de la capacidad con las alturas del umbral de las puertas de las aeronaves, lo cual permite un adecuado enlace con el avión, este sistema lo podemos observar en la figura 6.

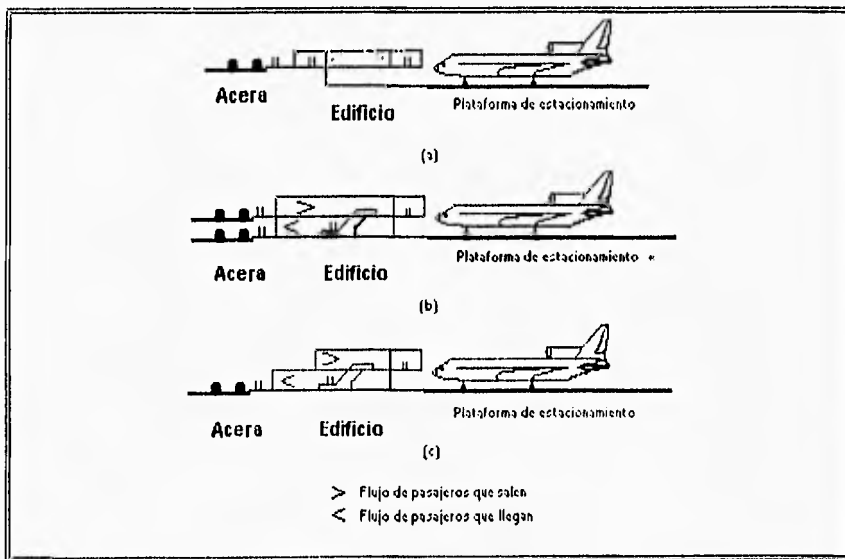


FIG. 6.

Sistema de tratamiento de pasajeros en dos niveles:

(a) simple.

(b) con separación de llegadas y salidas.

(c) con separación de llegadas en nivel y medio.

I.4.4 DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE Y ZONAS DE ALMACENAMIENTO.

El suministro de combustible a los aviones en la plataforma de estacionamiento se puede realizar de tres formas las que son:

- Camiones cisternas.
- Depósitos de combustible.
- Sistemas de hidrantes

En los aeropuertos pequeños e incluso en los grandes, prevalece el uso de camiones cisterna, aunque las tendencias se inclinan por el uso de sistemas de hidrantes; sobre todo en los aeropuertos que requieren grandes cantidades de combustible.

CAMIONES CISTERNAS.

La ventaja principal que ofrece este tipo de sistema es su flexibilidad ya que los aviones pueden permanecer en cualquier lugar de la plataforma de estacionamiento; el número de unidades de camiones de cisternas puede aumentar o disminuir según las necesidades lo que lo hace un sistema flexible desde el punto de vista de la gerencia del aeropuerto y de las compañías aéreas; a pesar de esto existen una serie de desventajas que van asociadas con el empleo de los camiones cisterna. Las cisternas transportan una cantidad considerable de combustible, lo que constituye un peligro potencial de incendio, cuando estos camiones se trasladan en la plataforma de estacionamiento donde realizan sus actividades, además de su gran tamaño lo que hace que éstas ocupen grandes espacios en el área y generen altos costos de operación.

El estacionamiento de las cisternas debe ser un lugar específico pues debido a que estos vehículos

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

son de grandes dimensiones y altamente peligrosos, se debe evitar su mala operación situación que pueda generar accidentes.

DEPOSITOS DE COMBUSTIBLE.

En este sistema se instalan tuberías que salgan del área central de almacenaje de combustible situado en las proximidades del campo de vuelo, las cuales deben llegar a los depósitos enterrados en las posiciones de la plataforma de estacionamiento, el combustible se transfiere a los depósitos mediante bombas situadas en los tanques de almacenamiento; los depósitos deben de localizarse relativamente cerca de las tomas de combustible en las alas de los aviones.

SISTEMA DE HIDRANTES.

El sistema de hidrantes cumple los mismos objetivos que los depósitos, pero es mucho más sencillo en cuanto a instalación se refiere. Por esta razón, es mucho más corriente su empleo. En esencia el sistema de hidrantes consta de los mismos elementos que el de depósito de combustible, excepto que el depósito se reemplaza por una válvula especial la cual esta enrasada a la superficie de pavimento como observamos en la figura 7.

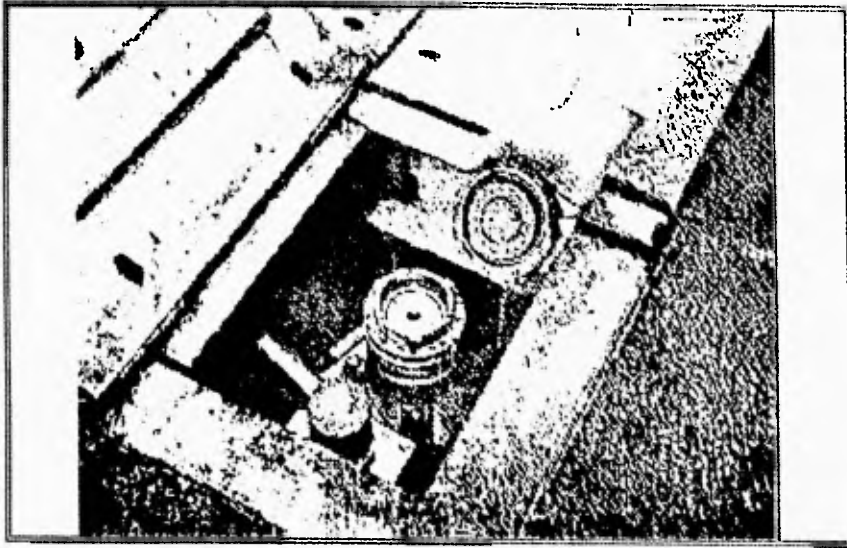


FIG. 7.

Válvula de hidrante.

Las ventajas principales de este sistema, son las mismas que las del sistema de depósito ; pero además hay que añadir, la eliminación de repetir equipos que antes se necesitaban para cada depósito, se elimina la necesidad de mantenimiento que tenían éstos y se mejora la flexibilidad de situación de aviones. El inconveniente principal reside en que no desaparecen por completo los vehículos de la plataforma de estacionamiento.

Las cantidades de combustible que se requieren en muchos aeropuertos, son tan grandes, que aún sin tener en cuenta el tipo de sistema de aprovisionamiento que se utilice, es necesario disponer de un área central de almacenamiento de combustible en las proximidades del campo de vuelo. Si se utiliza el sistema de depósito o el de hidrantes, hay que prever una instalación de tuberías desde el área de almacenamiento hasta la plataforma de estacionamiento

1.4.5 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS.

Dentro de las instalaciones complementarias podemos mencionar que se tienen las siguientes:

ALMACENES DE CARGA.

Estos almacenes son edificios donde se resguarda y maneja carga, por lo que su diseño esta en función del volumen estimado a manejar en determinado momento, del equipo que se utilizara en las operaciones y del tipo de carga del almacén.

CASAS DE MAQUINAS.

Estos lugares es donde se ubican tanto plantas de energía eléctrica, aire acondicionado, bombeo, y de emergencia de energía.

HANGARES PARA MANTENIMIENTO.

Se constituyen en:

- Hangar de mantenimiento Mayor.
- Hangar de mantenimiento Medio.
- Hangar de mantenimiento Menor.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

SERVICIOS DE DOTACION DE AGUA.

Son los que se refieren al suministro para servicios sanitarios, servicios de agua potable, servicios generales y contra incendio.

CUERPOS DE RESCATE Y EXTINCION DE INCENDIOS (C.R.E.I.).

Cuerpo encargado de brindar ayuda a aviones en caso de siniestro, así como de auxilio a todas las instalaciones que conforman el aeropuerto.

SISTEMAS DE ELIMINACION DE AGUAS PLUVIALES.

Este sistema se tratara con detalle en el capitulo siguiente.

CAPITULO II : DESCRIPCION DE LA ZONA AERONAUTICA TERRESTRE.

Como ya se mencionó con anterioridad la Zona Aeronáutica Terrestre es una parte de los componentes del sistema aeroportuario, y los elementos que la integran son:

- Pistas.
- Calles de Rodaje.
- Plataformas.
- Sistemas de Drenaje.
- Ayudas visuales.

II.1 PISTAS.

Una pista es aquella área destinada para el despegue y aterrizaje de las aeronaves, por lo general debe de disponerse de forma que cumpla con las siguientes expectativas:

- Proporcionar una adecuada separación en la configuración del tránsito aéreo.
- Causar la menor interferencia y demora en el aterrizaje, rodaje y en las operaciones de despegue.
- Proporcionar el menor recorrido posible desde la plataforma hasta las cabeceras de las pistas.
- Contar con adecuadas calles de rodaje de tal forma que el avión que aterriza pueda abandonar las pistas lo más rápido posible y recorrer la menor distancia posible hasta llegar a la plataforma.

II.1.1 COMPONENTES DE UNA PISTA.

Los componentes que integran una pista generalmente son los siguientes:

- El pavimento que soporta la carga del avión.
- Las márgenes laterales adyacentes al pavimento y que están proyectadas para resistir la erosión del chorro de los motores y para permitir el paso de los equipos de mantenimiento y vigilancia.
- La franja de seguridad la cual incluye el pavimento, las márgenes laterales y un área despejada, drenada y nivelada. Esta franja es capaz de soportar el fuego, aterrizajes violentos y el equipo de mantenimiento en condiciones normales, al igual que servir de soporte en caso que un avión salga fuera del pavimento por una razón u otra.
- La zona resistente al chorro, área diseñada para prevenir la erosión de las superficies adyacentes a los finales de pista, que están expuestas a sufrir los repetidos chorros de los reactores; esta área puede estar pavimentada o acondicionada con césped. La experiencia ha demostrado que las longitudes de estas zonas resistentes al chorro para los aeropuertos de transporte aéreo, deberán ser del orden de los 60m, excepto para los aviones de fuselaje ancho, en cuyo caso la distancia necesaria puede llegar hasta los 120m de longitud. Los elementos que se utilizan para reducir las velocidades de estela hasta límites permitidos se denominan "barreras antichorro".
- El área complementaria de seguridad la cual es una prolongación de la franja de seguridad, ésta se dispone siempre que sea posible para reducir los accidentes de los aterrizajes cortos o de rebases de pistas. Sería deseable disponer de una franja de mayor longitud hasta 240m más allá de la franja de seguridad normal pero las condiciones económicas no siempre lo permiten.

II.1.2 IDENTIFICACION Y ORIENTACION DE UNA PISTA.

Una pista se identifica de acuerdo a su azimut magnético, el cual se redondea a los 10° más próximos por arriba o por debajo de él, con objeto de tener un número cerrado y facilitar su manejo. Para un azimut menor de 100° se lee solo el número de la derecha y se añade un cero a la izquierda de la cifra redondeada, para azimut mayores de 100° se elimina el último cero de la cifra redondeada y se leen solamente las dos cifras restantes. Para aclarar esto tenemos:

Suponiendo una pista con azimut de 48°, redondeamos a los 10° más próximos teniendo 50° pero debido a que este azimut es menor de 100° la pista se denominara 05. Para una pista de azimut 227° se redondea a los 10° más próximos teniendo 230°, y debido a que este azimut pasa de 100° se elimina el último cero de la cifra redondeada, denominando de esta forma a la pista 23.

Dicha identificación se señala en las cabeceras de las pistas y debe ser visible desde el avión que se aproxima a cierta distancia de ella. Cuando hay más de una pista en una misma dirección a los números azimutales, se añaden las letras que las identifican entre sí:

Dos pistas paralelas.	I, D
Tres pistas paralelas.	I, C, D
Cuatro pistas paralelas.	I, D I, D
Cinco pistas paralelas.	I, C, D, I, D

Ahora bien dentro de las marcas con que debe contar principalmente las pistas de vuelo tenemos:

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- Pista visual; su número y eje respectivo.
- Pista de no precisión; su número, eje y umbral en respectivas orillas.
- Pista de precisión; su número, eje, umbral, zona de contacto en las orillas y distancia fija respectiva.

Cabe mencionar que la señalización de la distancia fija se lleva a cabo en todas las pistas con 1200m o más y que sean utilizadas por aviones con motor de turbina. Las marcas que se emplean constan de dos bandas situadas a 300m del umbral; en la figura 8 podemos apreciar la señalización típica de las pistas de vuelo.

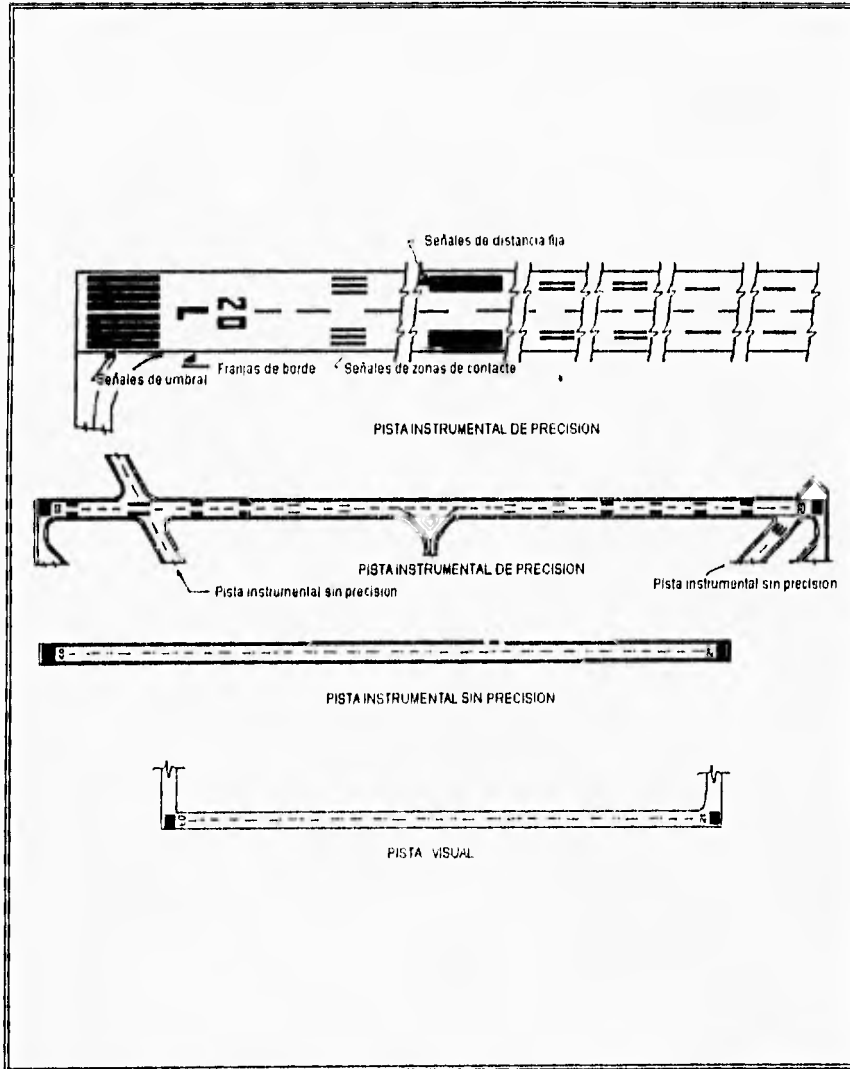


FIG.8.

Señalización típica de pistas.

II.1.3 CONFIGURACION.

Se cuenta con un sin número de configuraciones de pistas; la mayoría de éstas son combinaciones de configuraciones básicas entre las que tenemos las siguientes:

- Pista única.
- Pistas separadas.
- Pistas paralelas próximas.
- Pistas que se cortan.
- Pistas en V.

PISTA UNICA.

Esta configuración es la más simple que existe, su capacidad horaria en condiciones visuales de vuelo VFR, se encuentra entre las 45 y 100 operaciones por hora, mientras que en condiciones de vuelo por instrumentos IFR, la capacidad se reduce a 45 ó 50 operaciones.

PISTAS SEPARADAS.

Las capacidades de éste tipo de configuración depende en gran parte del número de pistas y de la separación entre si; es común encontrarnos con el conjunto de dos y cuatro pistas paralelas; de ésta manera las capacidades horarias de las pistas paralelas con separaciones próximas, Intermedias o alejadas puede variar dependiendo de las condiciones de vuelo; para VFR se presentan entre 100 a 200 operaciones , para condiciones IFR la capacidad varia en función de la separación: pistas con pequeña separación entre 50 y 60 operaciones, separaciones intermedias entre 70 y 80 operaciones y para pistas alejadas entre 85 y 105 operaciones por hora.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

PISTAS PARALELAS PROXIMAS

Este tipo de configuración consta de dos pistas paralelas próximas con las apropiadas calles de salida de pistas, su capacidad en condiciones VFR es aproximadamente 70% más que para una pista única, y para condiciones IFR del orden de 60%.

PISTAS QUE SE CORTAN.

Este tipo de pistas es necesaria cuando soplan vientos relativamente fuertes desde más de una dirección, ya que se producen excesivos vientos cruzados que pueden provocar accidentes en las maniobras de aterrizaje o despegue. La capacidad de dos pistas que se cortan depende en gran parte de la situación del punto de intersección y de la forma en que las pistas son utilizadas. Se obtiene una mayor capacidad cuando la intersección está cerca de la cabecera de la pista para el despegue y del umbral de entrada.

PISTAS EN V

Este tipo de configuración se da a pistas en direcciones divergentes y que no se cruzan, al igual que las pistas que se cortan, las pistas en V se reducen a una pista única cuando los vientos en una dirección son demasiado fuertes, sin embargo, cuando los vientos son ligeros se pueden utilizar en forma simultánea. La estrategia que ofrece la mayor capacidad es aquella en la que las operaciones se efectúan saliendo del vértice de la V.

A continuación observaremos en la figura 9 las configuraciones antes mencionadas.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

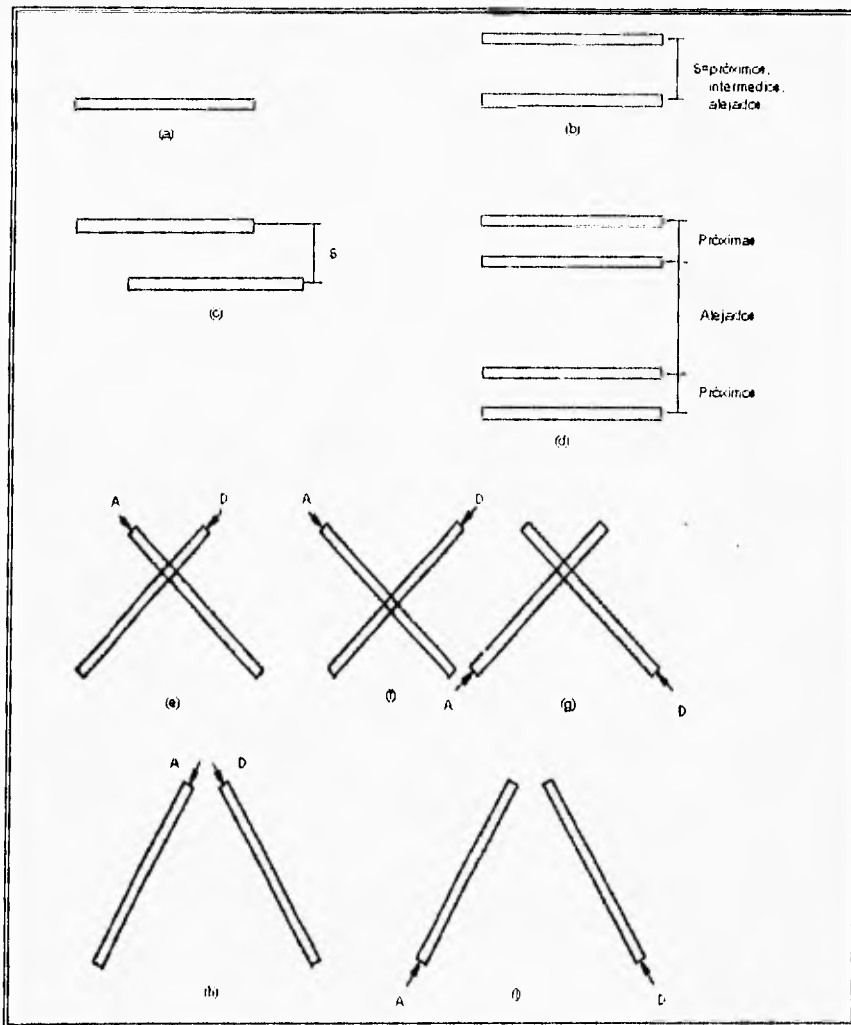


FIG.9.

En esta figura observamos las configuraciones típicas de pistas: (a) Pista única; (b) Dos pistas paralelas; (c) Dos pistas paralelas con umbrales desplazados; (d) Cuatro pistas paralelas; (e),(f),(g) Pistas que se cortan en distintos puntos de las pistas; (h) Pistas en V abierta; (i) Pista en V abierta con mayor separación.

II.2 CALLES DE RODAJE.

Las calles de rodaje son caminos que permiten comunicar a las pistas con las plataformas y viceversa por lo que se presenta una clasificación general de estas:

- Calles de rodaje de entrada a la pista.
- Calles de rodaje de salida a la pista.

Las calles de rodaje de entrada deben de proporcionar bajos tiempos de recorridos desde la plataforma hasta las cabeceras de las pistas de despegue, mientras que las calles de rodaje de salida, deben permitir desalojar de la forma más rápida posible las pistas con el propósito de que los aviones que acaban de aterrizar, no interfieran con otros aviones que van a realizar la misma maniobra o con aquellos que se encuentran en rodaje y van a despegar. Tenemos que mencionar que siempre que sea posible, las calles de rodaje deberán estar proyectadas de tal manera que no se crucen con pistas abiertas al tránsito con el objeto de evitar retrasos en las operaciones y en casos extremos hasta accidentes.

II.2.1 TIPOS DE CALLES DE RODAJE DE SALIDA.

Su diseño depende de la velocidad de salida de los aviones por tal motivo se cuenta con tres tipos de calles de rodaje de salida:

- Salidas en ángulo recto.
- Salidas anguladas.
- Salidas de alta velocidad.

SALIDAS EN ANGULO RECTO.

Este tipo de salida presenta una deflexión entre 70° y 130° a partir del eje de la pista, aunque la más usual es la de 90° .

SALIDAS ANGULADAS.

Este tipo de salida presenta una deflexión entre 35° y 60° a partir del eje de la pista, su velocidad de salida es aproximadamente 72 Km/hr.

SALIDAS DE ALTA VELOCIDAD.

Este tipo de salida presenta una deflexión entre 20° y 30° a partir del eje de la pista, su velocidad de salida es aproximadamente 96 Km/hr.

Dentro del diseño de las calles de rodaje existen dos aspectos fundamentales que determinan su geometría: su ancho y los radios de curvatura en las intersecciones.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Tenemos que recordar que las velocidades de los aviones en las calles de rodaje son mucho menores que en las pistas de vuelo, por lo tanto los criterios que rigen en cuanto a las pendientes longitudinales, las curvas verticales y la distancia visibles no son tan exigentes como las de las pistas; incluso las pequeñas velocidades permiten que la anchura de las calles de rodaje sea menor que las pistas de vuelo, de esta forma su ancho y pendiente dependen de la clasificación del avión que se empleara para su diseño. A continuación observamos una sección de una calle de rodaje en la figura 10.

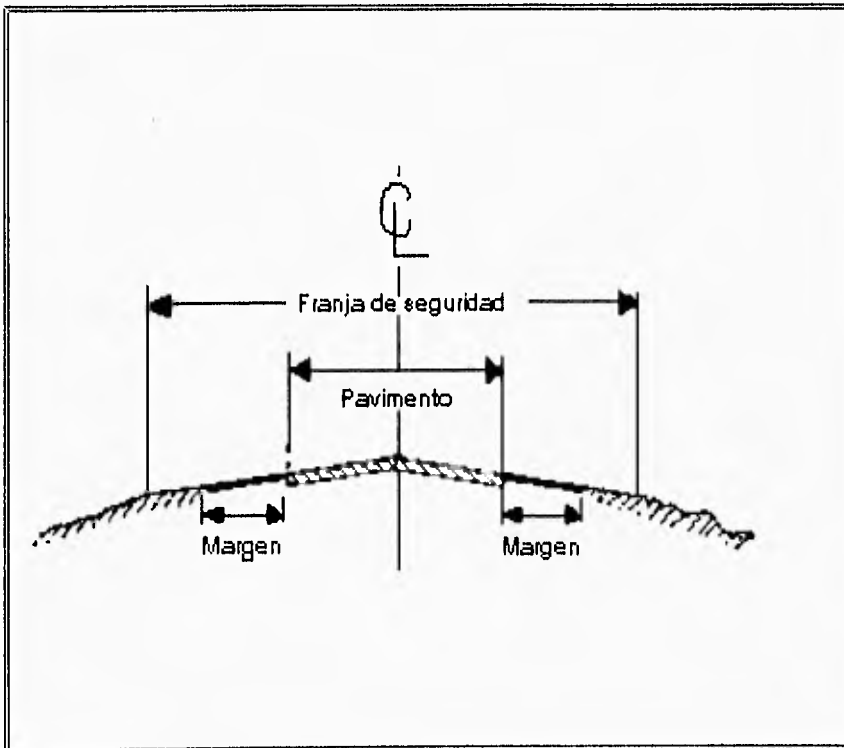


FIG.10

Sección típica de una calle de rodaje.

II.3 PLATAFORMAS.

Una plataforma es aquella área donde se estacionan los aviones con el propósito de embarcar o desembarcar pasajeros, correo, equipaje, carga, así como aprovisionamiento de combustible, agua, víveres, y proporcionarles mantenimiento.

El diseño de una plataforma va íntimamente ligado al diseño del edificio de pasajeros, esto se debe a que sus dimensiones y forma dependen del número de aeronaves, forma de estacionarse y sus requerimientos de espacio para los movimientos de cada avión en particular.

II.3.1 FORMAS DE ESTACIONAMIENTO DE LOS AVIONES.

Las formas de estacionamiento de los aviones se refieren a las maneras en que el avión se coloca con respecto al edificio de pasajeros o de carga y a las formas en que el avión maniobra para entrar y salir de las posiciones. Estas toman un factor importante que afecta a las dimensiones de la posición de estacionamiento y por lo tanto, al área de la plataforma. Los aviones pueden situarse según ángulos diferentes con respecto a la alineación del edificio terminal y pueden entrar y salir de la posición o bien utilizando sus motores o con la ayuda de un equipo de arrastre. Con el arrastre del avión, resulta posible reducir las dimensiones de las posiciones de estacionamiento. Es aconsejable que a la hora de escoger entre diferentes opciones de estacionamiento, se consulte con las compañías, ya que éstas tienen distintas preferencias por los sistemas a utilizar. Al adoptar una forma de estacionamiento, también es necesario tener en consideración las protecciones al pasajero contra los elementos adversos de ruido, escapes de los motores y condiciones atmosféricas. Ahora bien las formas de estacionamiento que se han usado satisfactoriamente en diversos aeropuertos son las siguientes:

- Estacionamiento con la proa hacia dentro.
- Estacionamiento en ángulo con la proa hacia adentro.
- Estacionamiento en ángulo con la proa hacia afuera.
- Estacionamiento en paralelo.

ESTACIONAMIENTO CON LA PROA HACIA DENTRO.

En esta configuración, el avión queda estacionado perpendicularmente a la alineación del edificio, con la proa tan cerca de éste como sea posible. El avión realiza su entrada a la posición de estacionamiento con sus propios motores. A la hora de abandonar la posición, el avión tiene que ser remolcado hacia afuera la distancia suficiente para permitirle que pueda seguir con sus propios motores. Las ventajas que presenta esta configuración son las siguientes:

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- Necesita la mínima superficie para un avión dado.
- Origina niveles de ruido muy bajos, ya que no existe movimiento en el área del edificio.
- No se proyecta hacia el edificio, el chorro de los motores al hacer la maniobra de estacionamiento.
- La proa se encuentra cerca del edificio terminal, lo que facilita el embarque y desembarque de los pasajeros mediante puentes.

Las desventajas que presenta esta forma de estacionamiento son las siguientes:

- Se necesita el equipo de remolque.
- Las puertas traseras del avión se encuentran lejos del edificio y no pueden utilizarse de manera efectiva para el embarque y desembarque de pasajeros.
- Las maniobras de arrastre hacia afuera pueden durar varios minutos, durante los cuales, el acceso a la posición para otros aviones que lleguen se hace imposible.

ESTACIONAMIENTO CON LA PROA HACIA DENTRO.

En esta configuración el avión no está estacionado perpendicularmente al edificio. La configuración ofrece la ventaja de que el avión puede entrar y salir de la posición con sus propios motores. Sin embargo, requiere una posición de mayor área que la forma anterior y origina un mayor nivel de ruido.

ESTACIONAMIENTO CON LA PROA HACIA FUERA.

Aquí el avión queda estacionado con la proa apuntando hacia fuera del edificio terminal, ofrece la ventaja de permitir maniobrar el avión para entrar y salir de su posición sin necesidad de ser remolcado. Necesita una posición de mayor área que en el caso perpendicular al edificio es igual. Una de las desventajas que presenta esta configuración, es que el chorro de los motores y el ruido apuntan hacia el edificio cuando el avión comienza a rodar hacia afuera.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

ESTACIONAMIENTO EN PARALELO.

Esta configuración es la más fácil de conseguir desde el punto de vista de maniobra de los aviones, sin embargo, la posición de estacionamiento requiere de una gran superficie a lo largo de la fachada del edificio. Otras ventajas que presenta esta configuración es que tanto las puertas delanteras como las traseras del avión pueden utilizarse para el embarque y desembarque de pasajeros, aunque en este caso casi nunca se usan puentes pero sí escaleras.

A continuación se observan en la figura 11 las distintas formas de estacionamiento comentadas.

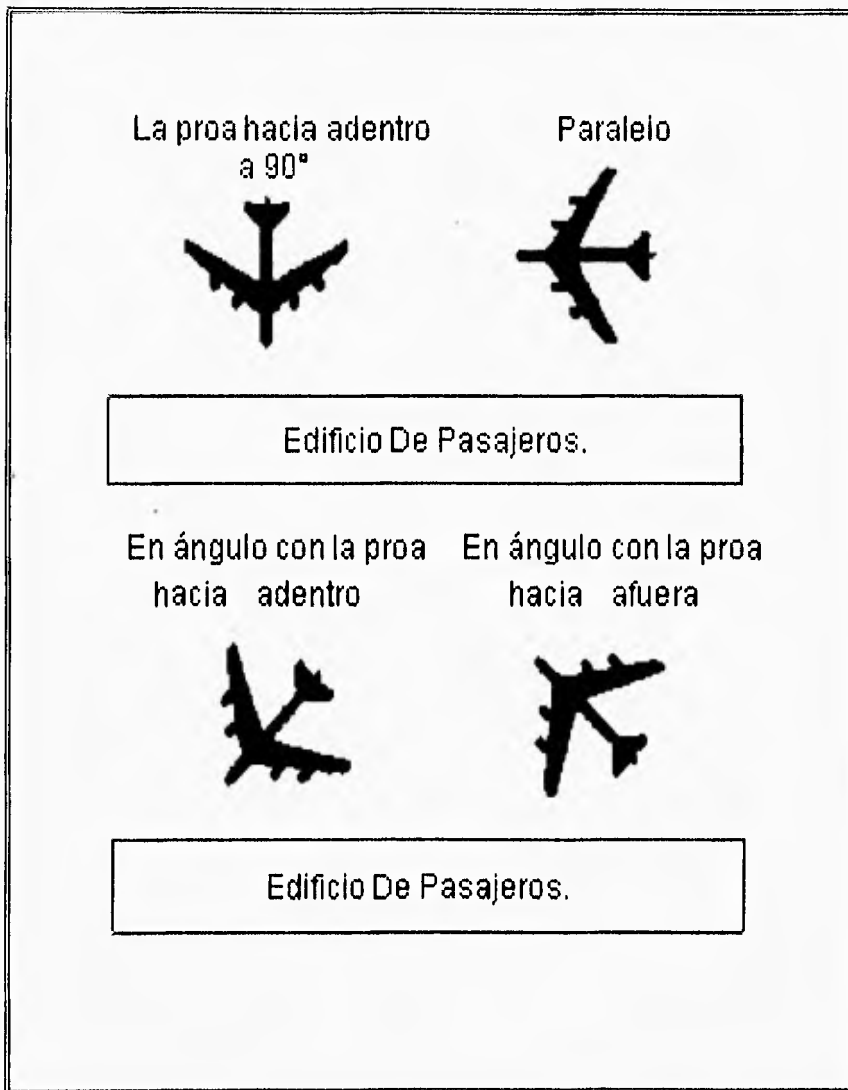


FIG. 11.

Tipos de estacionamiento de los aviones en los edificios terminales.

II.3.2 TIPOS DE PLATAFORMAS.

El tipo de plataforma depende directamente del modo en que se encuentran agrupadas las posiciones de estacionamiento de los aviones con respecto a los edificios y a los modos de circulación, calles de rodaje y el campo de vuelo, de esta manera se presentan los siguientes tipos de plataformas:

- Plataforma abierta.
- Plataforma de dedos.
- Plataforma lineal.
- Plataforma satélite.
- Plataforma de pernocta.
- Plataforma de mantenimiento.

PLATAFORMA ABIERTA.

Esta plataforma permite estacionar los aviones libremente y relativamente cerca del edificio pero no adyacente a él, requiere de el transporte de pasajeros desde el edificio terminal hasta el avión y se utiliza frecuentemente en aeropuertos de pequeño volumen en los que el número de posiciones de estacionamiento es reducido.

PLATAFORMA DE DEDOS.

Este tipo de plataforma utiliza el concepto de tratamiento con muelles denominados dedos. Permite la ampliación del número de posiciones sin incrementar la magnitud del sistema, además que permite el uso de instalaciones para el embarque y desembarque de pasajeros por medio de pasarelas.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

PLATAFORMA LINEAL

En esta plataforma se estacionan los aviones en línea con el edificio terminal y lo más cerca posible del mismo. se encuentra en aeropuertos de volúmenes no muy grandes y con pocas posiciones de estacionamiento.

PLATAFORMA SATELITE

Esta plataforma permite estacionar los aviones en grupos alrededor de pequeñas unidades auxiliares que funcionan como satélites del edificio central, lo que genera la posibilidad de tener grandes espacios para realizar maniobras y rodajes sencillos; ésta plataforma requiere de grandes áreas y diversos sistemas de acceso de pasajeros y carga en general, sin embargo, permite aumentar la capacidad de alojó de aviones en la plataforma.

PLATAFORMA DE PERNOCTA

Este tipo de plataforma se utiliza para alojar a los aviones que requieran de lapsos largos de estancia; en algunos casos es utilizada como plataforma remota.

PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO

La plataforma de mantenimiento es de suma importancia dentro de la infraestructura del aeropuerto pues es en este lugar donde las compañías proporcionan mantenimiento a sus flotas de aviones y en distintos aeropuertos en que operan.

A continuación se observan en la figura 12 los principales tipos de plataformas que se manejan dentro de la infraestructura aérea.

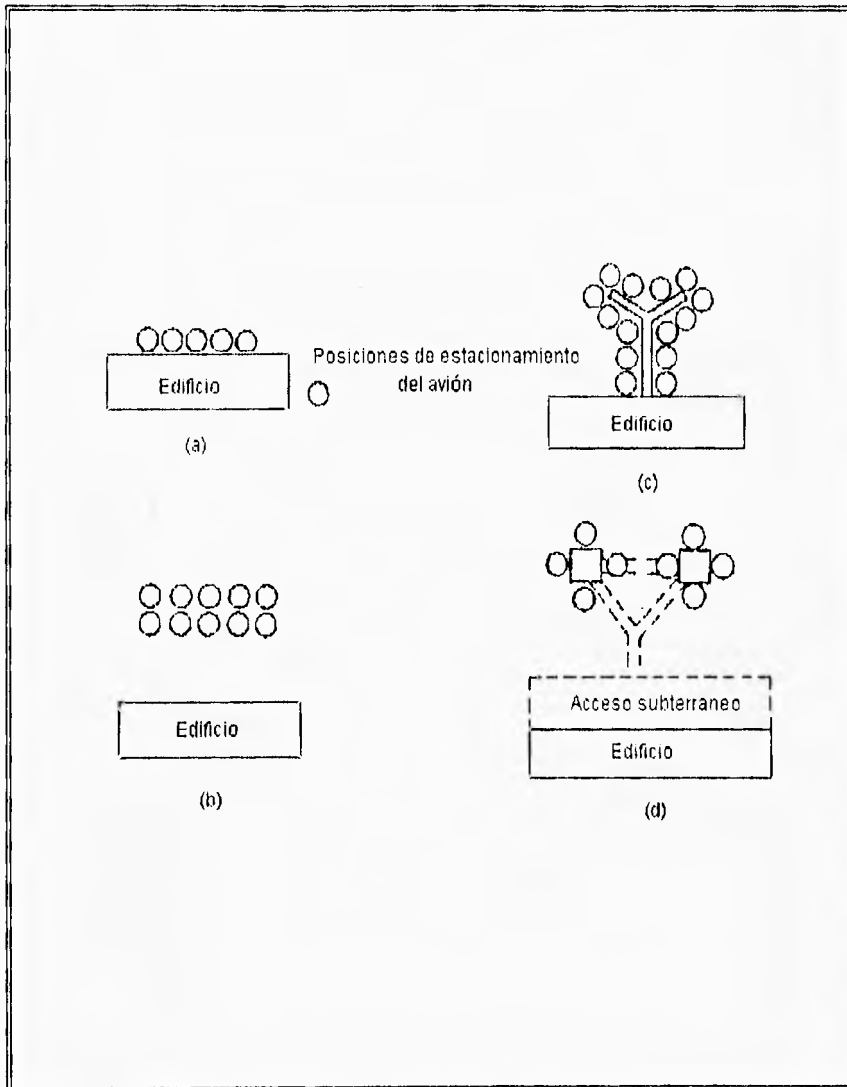


FIG. 12.

En esta figura apreciamos los siguientes tipos de plataformas: (a)Plataforma Lineal;(b)Plataforma abierta;(c) Plataforma en dedos;(d) Plataforma satélite.

II.4 SISTEMAS DE DRENAJE.

Los sistemas de drenaje son uno de los aspectos fundamentales dentro de la infraestructura de un aeropuerto pues gracias a estos se puede eliminar tanto el agua superficial como subterránea que se llega a presentar, la existencia de estos sistemas de drenaje permiten conservar los pavimentos de las pistas lo que proporciona una mejor operación del aeropuerto.

Dentro de las principales funciones que presenta un sistema de drenaje de un aeropuerto tenemos:

- Intercepción y desviación de las corrientes de agua superficiales y en su caso las subterráneas, que se originan en los terrenos con influencia en el aeropuerto.
- Evacuación del agua superficial en los aeropuertos.
- Evacuación del agua subterránea en los mismos.

Debido a que en muy pocas ocasiones el drenaje natural con que cuentan los terrenos puede cumplir con estas funciones, es necesario contar con un sistema de drenaje artificial que ayude a cumplir con tales fines. Tenemos que tomar en cuenta la importancia que representa el diseño de este tipo de obras, pues su correcto funcionamiento se ve reflejado en la seguridad de los aviones y en la vida de los pavimentos.

El diseño de los sistemas de drenaje se encuentran íntimamente ligados con las intensidades, duraciones y períodos de retorno de la lluvia que se presentan en el lugar, por tal motivo se llevan a cabo estudios detallados que nos permiten tener información sobre éstas y así poder realizar los diseños de manera eficiente y acertada. La intensidad de la lluvia a la que debe acomodarse el sistema de drenaje implica consideraciones económicas debido a que pueden ocurrir precipitaciones de gran importancia pero con muy poca frecuencia, lo que implicaría contar con un sistema bastante complejo pero casi ineficientes en cuanto a su operación diaria, y por el contrario contar con un sistema muy

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

limitado y llegar a presentarse lluvias de gran intensidad regularmente.

La determinación de la cantidad de agua a evacuar que pueda esperarse en el lugar de emplazamiento del aeropuerto, es el primer paso a seguir para proyectar un sistema de drenaje. Su intensidad se expresa en milímetros de altura por hora para las diferentes duraciones de una precipitación particular. También es un factor importante, la frecuencia prevista para esta precipitación con lo que se puede comenzar a diseñar el sistema elegido.

De esta manera se cuenta con dos tipos de sistemas de drenaje que se manejan en los aeropuertos:

- Sistema de drenaje superficial.
- Sistema de drenaje subterráneo.

SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL.

Este tipo de drenaje tiene como función principal eliminar el agua que se pueda acumular en las superficies de los pavimentos de pistas, calles de rodaje y plataformas, con el objeto de mantenerlas siempre limpias de espejos de agua que en determinado momento impliquen riesgos al realizar las operaciones.

Para un buen diseño del sistema de drenaje superficial, es necesario disponer de un plano completo en el que se indique las pendientes en las zonas próximas a las pistas, calles de rodaje y zonas de estacionamiento, ya que pueden resultar necesarios algunas aproximaciones preliminares antes de seleccionar el sistema más económico. Las pendientes de los drenes deberán ser tales que permitan mantener una velocidad media mínima del orden de 0.75 m/seg., con objeto de ejercer un acción de purga; de tal forma, que los depósitos de tierra no obstruyan las conducciones. Con objeto de mantener una sección de tubería adecuada para que el agua corra a lo largo de ella en todo momento, el

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

diámetro de la tubería no deberá ser inferior a 30cm (12 pulgadas).

El agua que proviene de una zona tributaria se recoge en la tubería de drenaje por medio de los imbornales; su estructura consiste en una caja de hormigón cuya tapa superior es una rejilla de hierro fundido, de acero o de hormigón armado; este tipo de elementos no se coloca en pistas ni calles de rodaje. Las rejillas deben resistir el paso de las ruedas de los aviones y además deberán estar diseñadas para soportar las cargas del avión de diseño del aeropuerto, siempre y cuando se encuentren en zonas pavimentadas de baja velocidad e intensidad de tránsito. Para que no existan grandes distancias entre imbornales, éstos se sitúan a distancias que varían de 60 a 120m. El emplazamiento de los mismos depende de la configuración del aeropuerto y de la del terreno. Normalmente, si hay una calle de rodaje paralela a la pista, los imbornales se instalan en la vaguada que existe entre ambos. Si no existe calle de rodaje paralelo, los drenes se sitúan paralelos al borde del pavimento de la pista o en la parte inferior del área en cuestión.

En las plataformas de estacionamientos, los imbornales se colocan en el mismo pavimento. Es la única forma de que la amplia zona de estacionamiento quede drenada. Todas las rejillas deberán estar bien sujetas a sus armazones, con objeto de que no se aflojen por vibración debida al paso del tráfico y además estar enterradas a una profundidad adecuada con objeto de que puedan soportar las cargas debidas al tráfico. Las secciones que más se manejan en este tipo de sistema son las siguientes :

Obsérvese las figuras 13 y 14.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

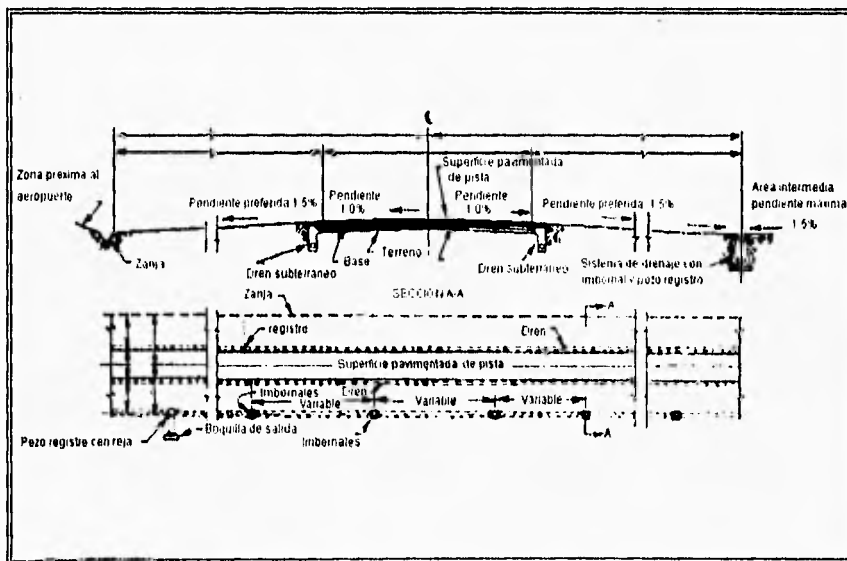
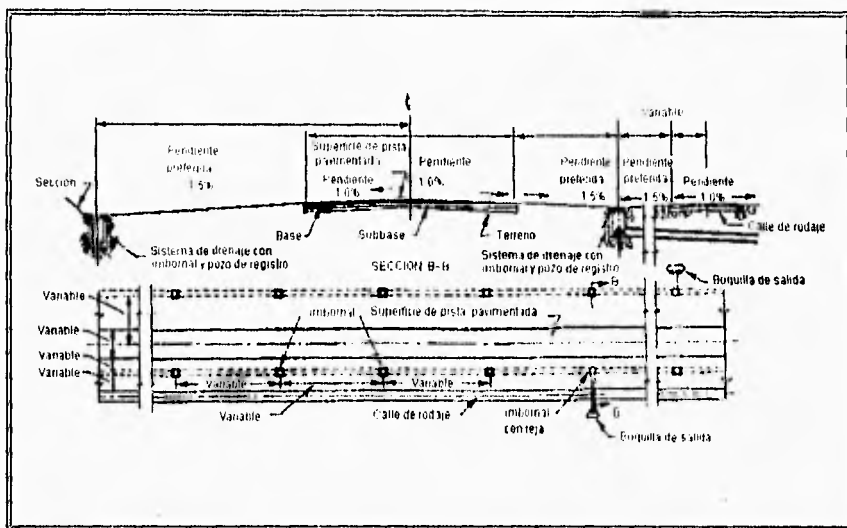


FIG. 13 Y 14.

Secciones típicas de drenaje superficial.

SISTEMA DE DRENAJE SUBTERRANEO.

Este tipo de drenaje tiene como funciones principales evacuar el agua de la capa base y subbase, del pavimento, interceptar recoger y evacuar el agua que fluya de los manantiales o de los estratos permeables con el objeto de evitar problemas en las superficies de rodamiento que lleguen a poner en peligro a los aviones al efectuar las operaciones. Básicamente este sistema se integra por tres tipos de drenaje :

- El drenaje de la base.
- El drenaje del terreno.
- El drenaje de interceptación.

Drenaje de la base

El drenaje de la base de los pavimentos es necesario cuando la acción de las heladas y el cambio de humedad repercuten en el suelo inmediatamente debajo de estos, situación que afecta la capacidad de soporte del pavimento. Cuando se espera que el agua pueda alcanzar el nivel de la capa base y cuando el pavimento está sujeto a frecuentes inundaciones se puede decir que tenemos un terreno muy permeable.

Las capas bases generalmente se drenan instalando drenes subterráneos adyacentes y paralelamente a los bordes del pavimento. El material permeable de la zanja se extenderá a la parte inferior de la capa base. El centro de la tubería de drenaje, deberá colocarse como mínimo a 30cm por debajo de la parte inferior de la capa base.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Drenaje del terreno.

El drenaje del terreno es conveniente en aquellos emplazamientos en que el agua pueda ascender por debajo del pavimento a menos de 30cm también por debajo de la capa base

Drenaje de Interceptación.

El drenaje de interceptación es muy conveniente cuando se sabe que las aguas freáticas de las áreas adyacentes, se filtran hacia las capas inferiores del pavimento lo que puede resultar contraproducente para su desempeño. Este tipo de drenaje se puede llevar a cabo mediante zanjas a cielo abierto situadas lejos de las áreas pavimentadas, de no ser posible se pueden utilizar subdrenes que realicen la operación.

Los tipos de tubería que generalmente se emplean para subdrenes y cuya selección esta en función de los recursos disponibles son los siguientes:

- Tuberías de metal perforado, de hormigón o de arcilla vitrificada (Gres).
- Tuberías de espiga y mordaza.
- Tubería de hormigón poroso.
- Tuberías realizadas en arcilla vitrificada y en fundición.
- Tuberías de barro o de hormigón con los bordes ligeramente separados para permitir la entrada del agua.

Cabe mencionar que es posible implementar para este tipo de drenaje, drenes con geotextil.

A continuación observamos un detalle de un drenaje subterráneo en la figura 15.

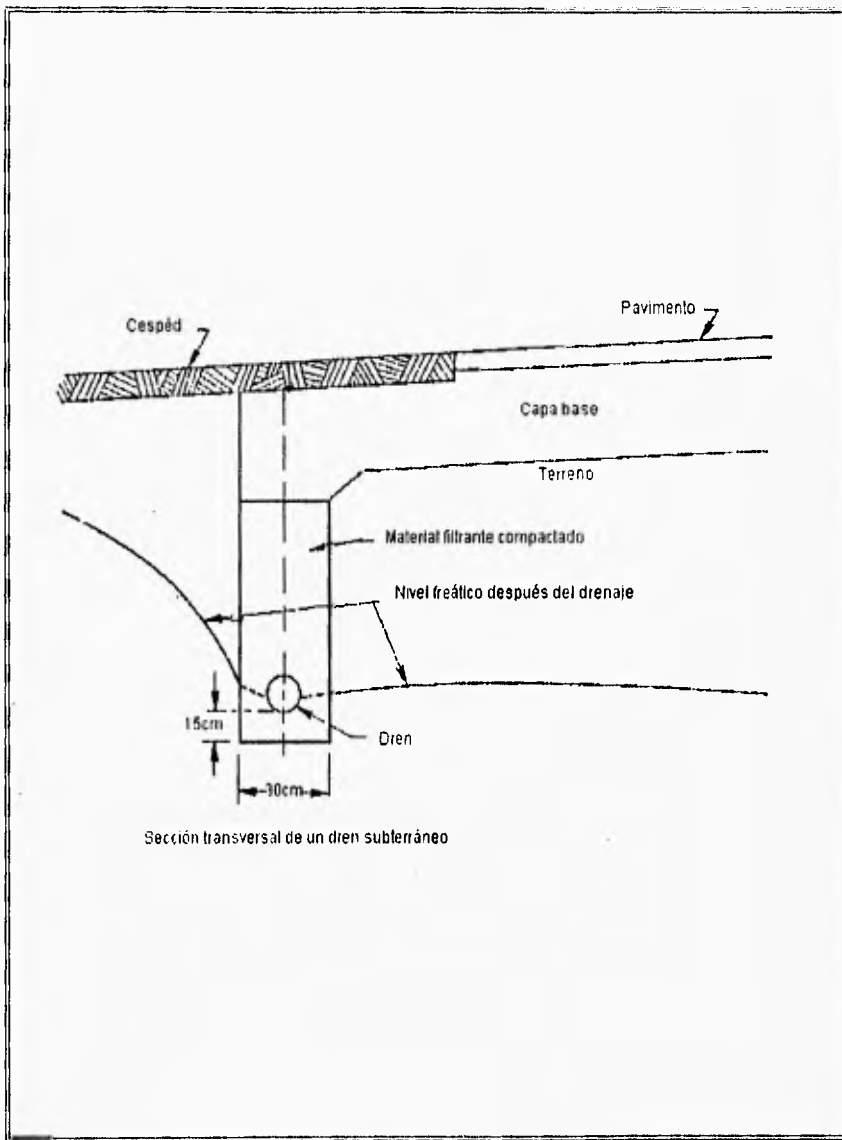


FIG. 15.

Detalle del drenaje subterráneo

II.5 AYUDAS VISUALES.

Las ayudas visuales son un conjunto de instalaciones y señalizaciones que permiten realizar las operaciones de despegue, aterrizaje así como maniobras en plataformas y calles de rodaje con la suficiente información que requiere el piloto para su ejecución en forma segura y eficiente. Tenemos que tener en cuenta que los pilotos necesitan de ayudas visuales tanto con buen tiempo como con malo y a la luz del día o por la noche.

Durante el día, debido a la luz solar, no suele necesitarse luz artificial; lo que sí es necesario, disponer de un cierto contraste dentro del campo de visión y de suficiente luminosidad; de tal manera, que los obstáculos más representativos del aeropuerto puedan ser identificados desde el aire, a fin de que el piloto conozca su posición en el espacio con respecto a los mismos. Estas condiciones se cumplen a la luz del día cuando éste es claro. La pista, para los aviones convencionales, aparece siempre como una larga y estrecha banda, con los bordes rectos y libres de obstáculos; por tanto, puede fácilmente identificarse a distancia o cuando se vuela sobre el campo. Los pilotos utilizan la perspectiva de la pista y otras señales de referencia para orientarse cuando se acercan al aeropuerto para aterrizar. La experiencia ha demostrado que los elementos más importantes que un piloto debe ver son: el horizonte, los bordes de la pista, su umbral y eje.

A continuación hablaremos de las ayudas visuales más usuales que se manejan en la infraestructura aeroportuaria.

II.5.1 SISTEMAS DE ILUMINACION DE APROXIMACION Y DE UMBRAL DE PISTA.

Este tipo de sistemas de iluminación son de vital importancia pues proporcionan la información necesaria al piloto en cuanto a la ubicación de la pista y área próxima a ésta en los instantes de realizar maniobras de aproximación y aterrizaje.

La iluminación de aproximación proporciona información visual al piloto en cuanto a su alineación, distancia y altura aproximada al eje de la pista, mientras que la iluminación del umbral le permite tener referencia de su ubicación en la pista para en determinado momento abortar un aterrizaje o un despegue.

ILUMINACION DE APROXIMACION.

Este tipo de luces debe reunir condiciones fotogramétricas distintas a las luces del umbral de pista pues el alcance visual oblicuo que tienen es mucho mayor. En general, se requiere mucho mayor intensidad en el sistema de iluminación de aproximación y especialmente en las unidades luminosas situadas más hacia el exterior. Igualmente, debe garantizarse una identificación especial, como son las luces de destellos de alta intensidad en aquellos lugares donde la visibilidad es deficiente. Las configuraciones que se han adoptado son básicamente el sistema "CALVERT" desarrollado por E. S. Calvert en la Gran Bretaña, es ampliamente utilizado en Europa y otras partes del mundo, y el sistema de eje denominado "CONFIGURACION A" adoptado en los Estados Unidos. Ambos sistemas son iguales en longitud (900 m). La diferencia esencial entre ellos es el número de barras transversales. En el sistema "Calvert" existen seis filas transversales de longitudes variables de luces y espaciadas 150m; en el sistema utilizado en los Estados Unidos, existe una barra transversal a 300m del umbral de la pista. En el sistema "Calvert" el guiado de guiñada se consigue gracias a las luces transversales; en el sistema Norte Americano, esta guía se consigue mediante barras de 4.2m de longitud situadas a distancias de 30m en la prolongación del eje de la pista y de una barra única

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

a 300m del umbral y que sirve para indicar la distancia desde el mismo. Las barras de 4.2m constan de cinco luces muy juntas, para dar la impresión de una barra continua de luz .

Para realizar operaciones con muy poca visibilidad, categoría II o menor , existe el sistema denominado "OACI", formulado por la Organización Internacional de Aviación Civil, y que es aceptado a nivel internacional. Este tipo de sistema se aplica solamente a luces del sistema situadas a 300m del umbral de la pista. Las luces del sistema que se encuentran en los restantes 600m no se ven afectadas y, por lo tanto, puede utilizarse el sistema Calvert, el Norte Americano u otro. El sistema "OACI" consta de dos barras de luces rojas a cada lado del eje de la pista y que se extienden a 300m del umbral. Además de la barra situada a 300m existe otra de luz blanca situada a 150m del umbral.

En los pequeños aeropuertos, en los que no se necesita aproximaciones de precisión, se puede disponer de un sistema de iluminación medio para la aproximación denominado "MALS". Este sistema tiene tan sólo 420m de longitud, comparado con el sistema de aproximación de precisión que tiene 900m. Por lo tanto, es mucho más económico, factor muy importante en los pequeños aeropuertos.

A continuación tenemos una visión general de los sistemas de iluminación de aproximación mencionados.

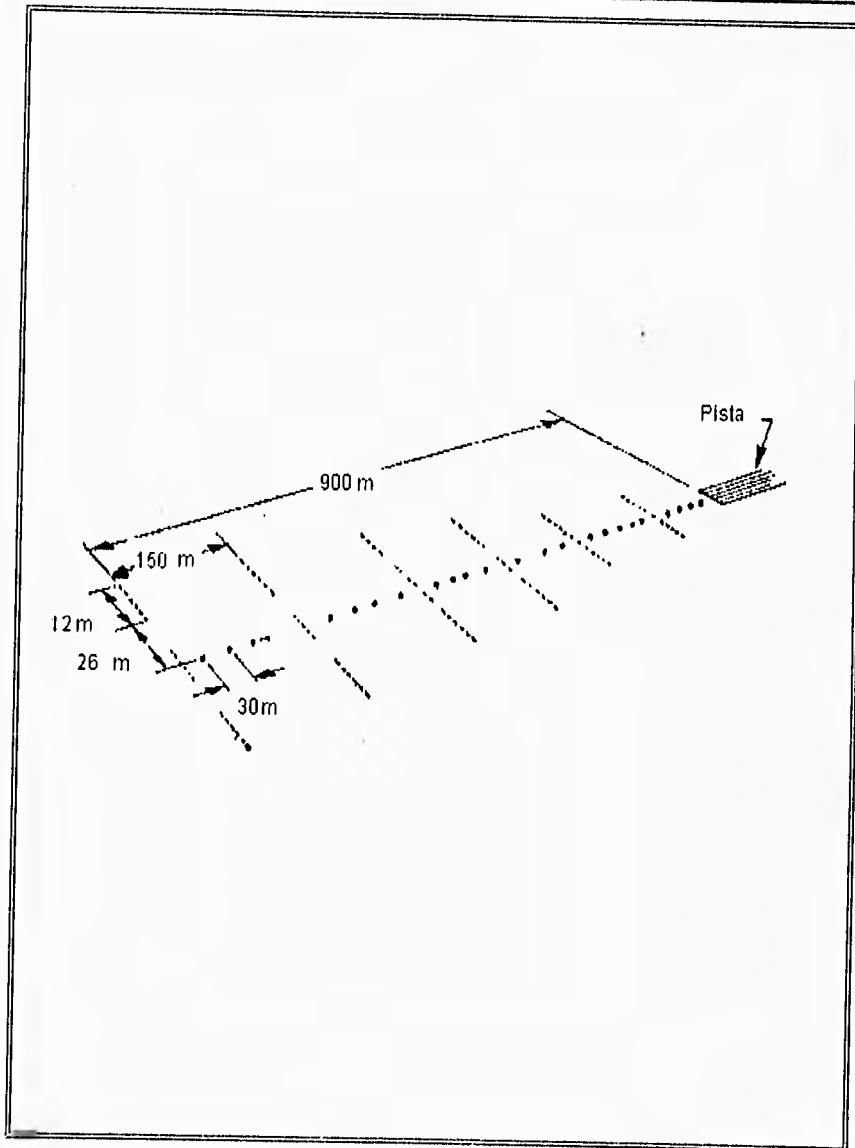


FIG. 16.

En esta figura se observa la disposición de el sistema de iluminación de aproximación Calvert.

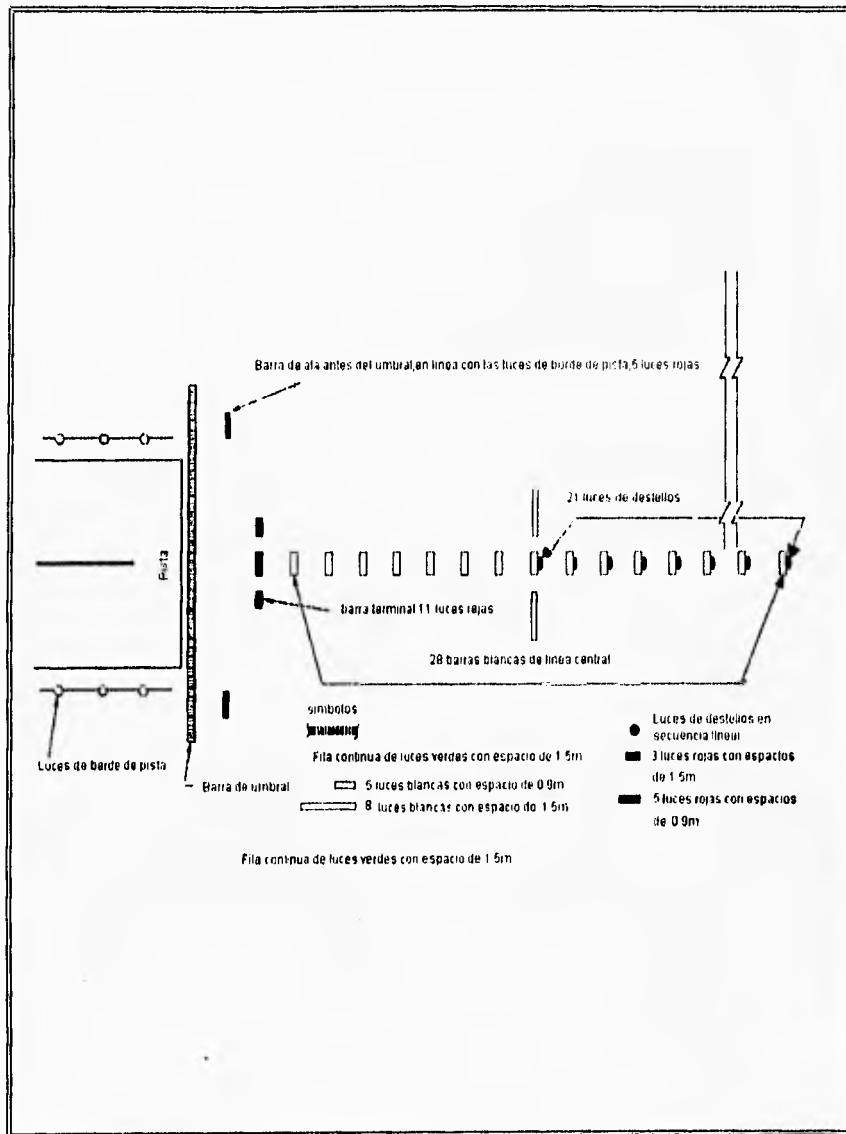


FIG. 17.

En esta figura observamos el sistema de iluminación de aproximación configuración A.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

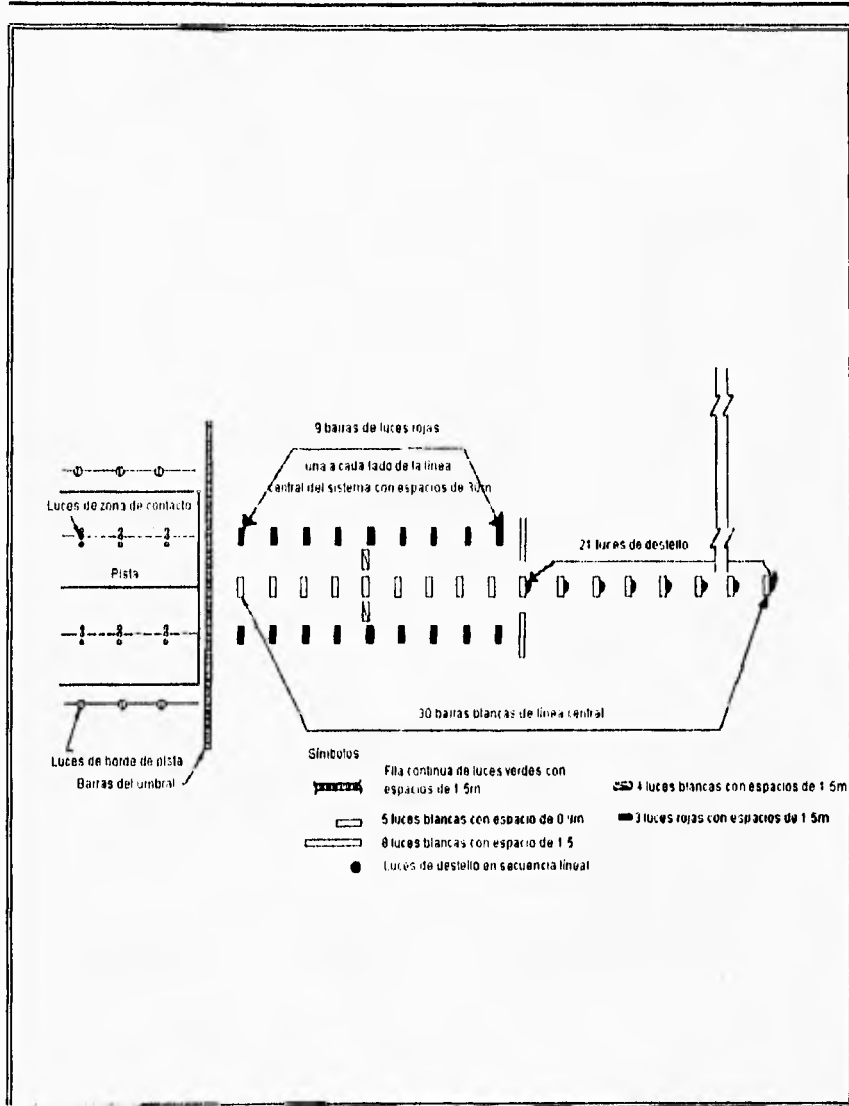


FIG. 18.

Características del sistema de iluminación de aproximación Categoría II.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

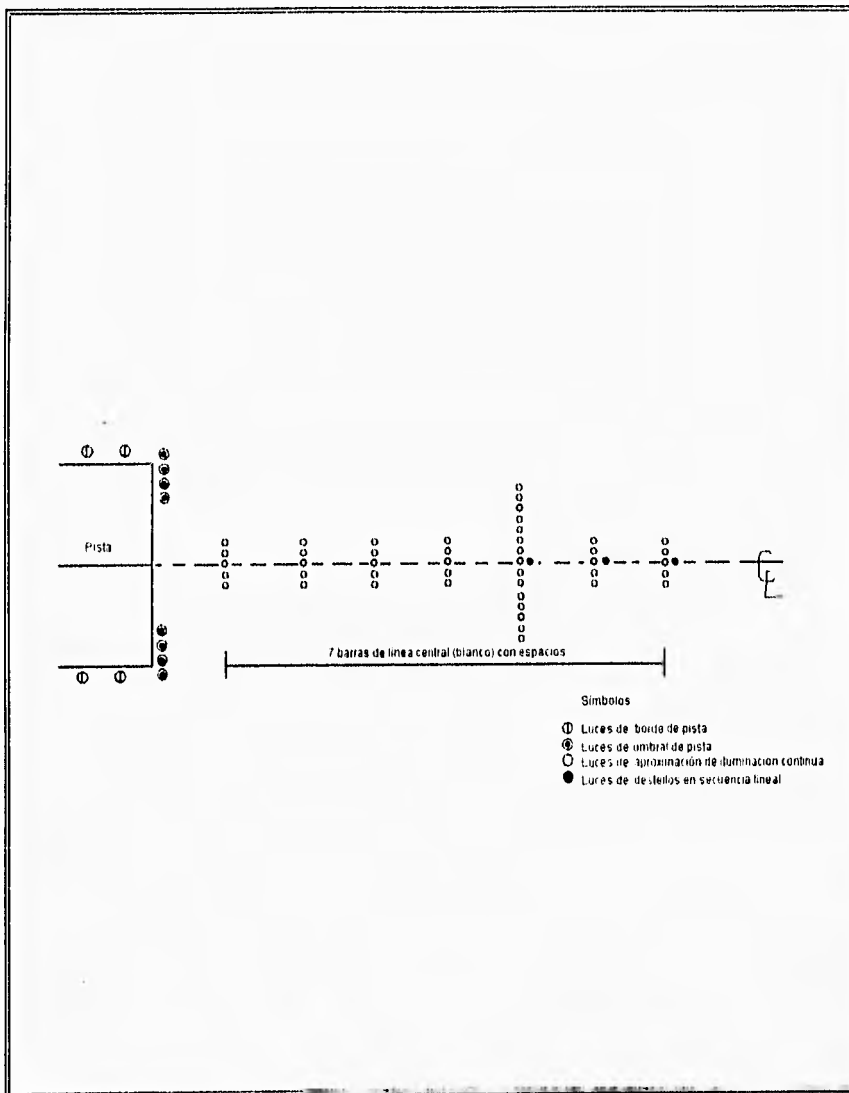


FIG.19.

Distribución y simbología del sistema de iluminación medio MALS (omitiendo señales de destello en secuencia).

II.5.2 SISTEMAS DE ILUMINACION EN PISTAS Y EN CALLES DE RODAJE.

Este tipo de sistemas de iluminación son tan importantes ya que permiten realizar las maniobras de aterrizaje, circulación y despegue de los aviones en condiciones de falta de luz natural; Este sistema además proporcionar al piloto la información necesaria de su ubicación en pistas y calles de rodaje, lo que le permite desempeñar de forma más segura y eficiente su trabajo.

ILUMINACION DEL UMBRAL DE PISTA.

Esta zona es de gran importancia pues su identificación permite al piloto tomar la decisión de aterrizar o abortar la maniobra en alguna situación de emergencia. La iluminación del umbral de la pista puede realizarse de dos formas distintas: asociando la iluminación a las luces de borde de pista, en donde se disponen de luces a cada lado del umbral de la pista; y la iluminación asociada a las luces de aproximación, en donde las luces se extienden a través del ancho total de la pista. Ambos tipos de iluminación contemplan el color verde para la dirección de aterrizajes y rojo para el sentido opuesto, con lo que se indica el final de la pista.

ILUMINACION DE PISTAS.

La iluminación de las pistas permite al piloto obtener información sobre su alineación, desplazamiento lateral, guiñada y distancia una vez que toma contacto con el pavimento y rueda sobre la pista, este tipo de iluminación debe de situarse de tal forma que los pilotos puedan interpretar las luces fácilmente y sin contratiempos, de esta manera nos encontramos con que existen dos tipos de luces que se emplean en la pista las cuales son:

- Luces de bordes de pista.
- Luces de eje de pista y zonas de contacto.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Luces de bordes de pista.

Este tipo de luces delimitan perimetralmente el área de la pista lo que permite al piloto obtener la información de sus dimensiones en cuanto a su ancho y longitud disponible. Las luces de borde se encuentran normalmente elevadas, sin embargo, se permiten luces semiempotradas. Cada unidad dispone de una lente especialmente diseñada que proyecta dos rayos de luz principales hacia la pista. Las luces elevadas de pista van montadas sobre accesorios frágiles y proyectan su luz a no más de 75cm por encima de la superficie sobre las que van instaladas y están situadas a lo largo del borde de pista a una distancia máxima de 3m del borde del pavimento. La separación entre dos consecutivas es menor de 60m. Las luces de borde de pista son blancas, excepto los últimos 600m en dirección de frente al piloto, en una pista con aterrizaje instrumental, es de color amarillo para indicar zona de precaución. Si en determinado momento se desplaza el umbral de la pista, pero el área desplazada es utilizable para despegues y rodajes de aviones, las luces de borde de pista en el área desplazada en la dirección del aterrizaje son rojas.

Los comentarios anteriores los podemos apreciar en las figuras 20 y 21 respectivamente.

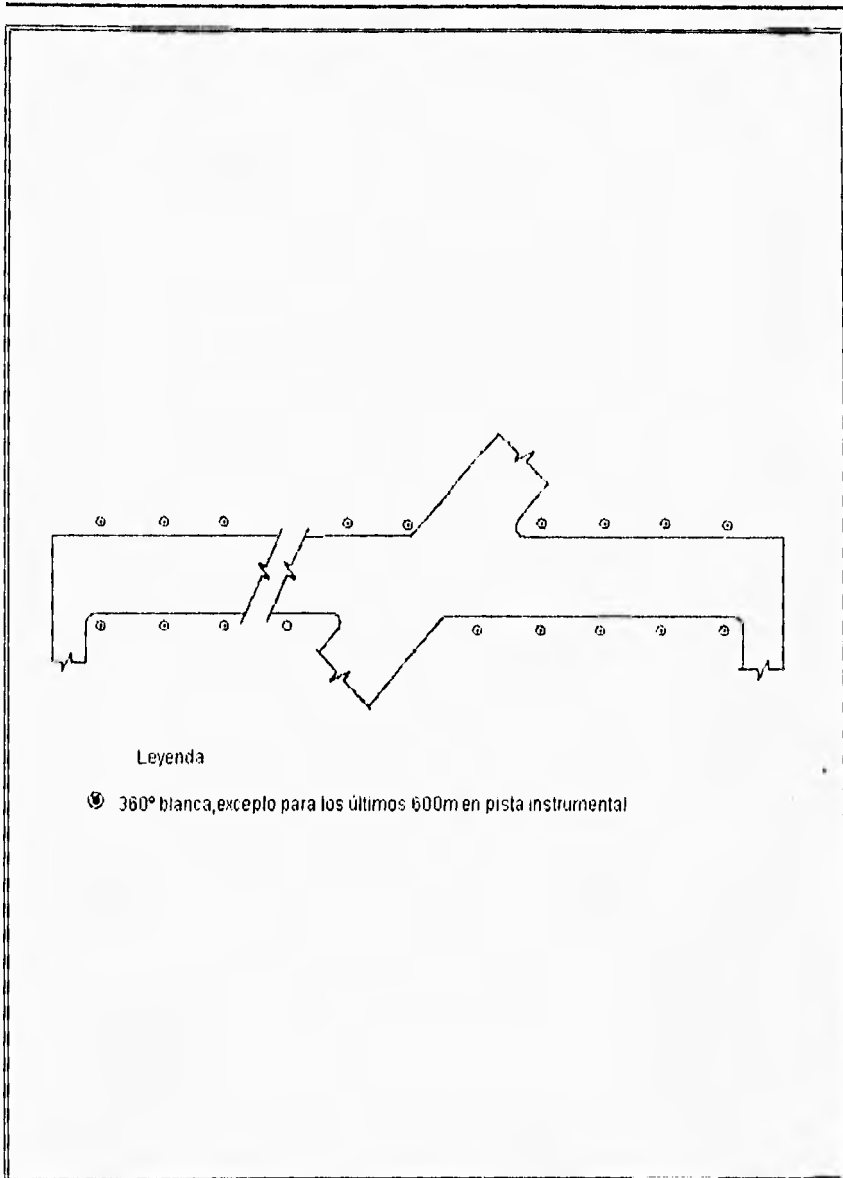


FIG. 20.

Características de las luces de borde de pista.

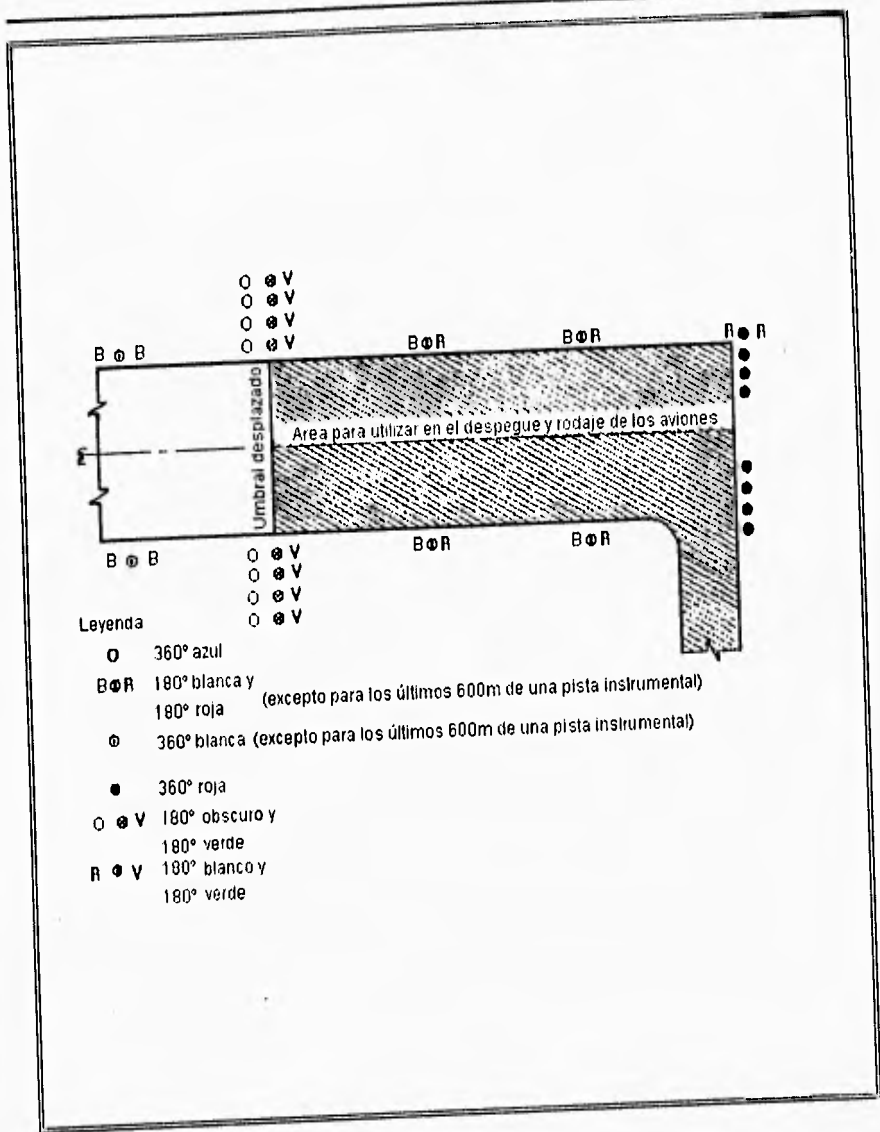


FIG. 21.

Características de las luces de borde de pista.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Luces de eje de pista y zonas de contacto.

Este tipo de luces se instalan solamente en aquellos aeropuertos que están acondicionados para realizar operaciones de categoría II y III, en donde el piloto en el momento de la aproximación, se encuentra situado en el eje de la pista, situación por la cual las luces de borde, pierden su máxima utilidad. Las luces de las zonas de contacto son blancas y se extienden a lo largo de 900m desde el umbral de la pista, van espaciadas a intervalos de 30m y están situadas a 18m a cada lado del eje, mientras que las de eje de pista están espaciadas a intervalos de 15m y normalmente van descentradas 0.5m con respecto a la línea de centros, para evitar la línea de pintura y que el tren de proa del avión no ruede sobre los accesorios de las luces. Estas luces son blancas, excepto en los últimos 900m de pista cara al piloto, que son de color decodificado. Los últimos 300m son rojas y los siguientes 600m son alternativamente rojas y blancas. Tenemos que mencionar que en el caso de existir umbrales desplazados, se prescinde de las luces del eje y zonas de contacto situadas en dirección del aterrizaje.

En las figuras 22 y 23 podemos apreciar algunos de los aspectos comentados en el texto anterior.

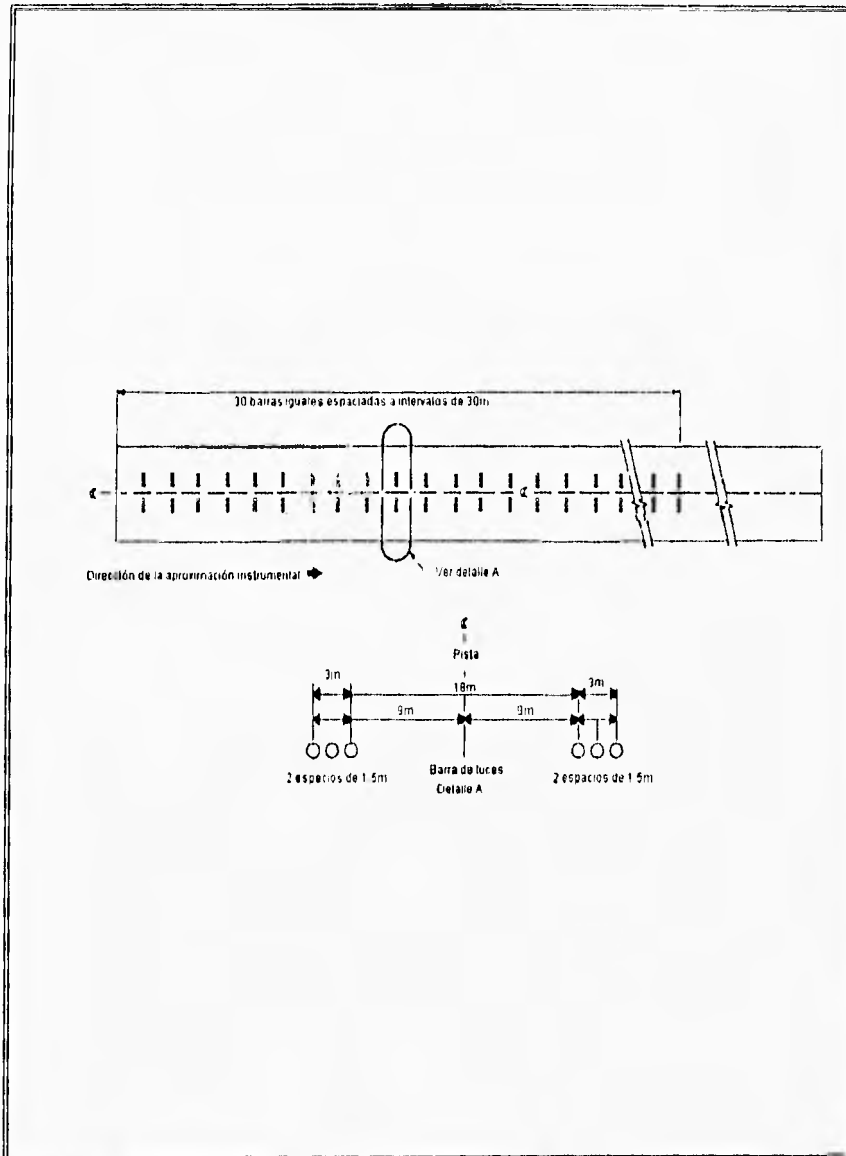


FIG. 22.

Características y detalle de las luces de eje de pista y zonas de contacto.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

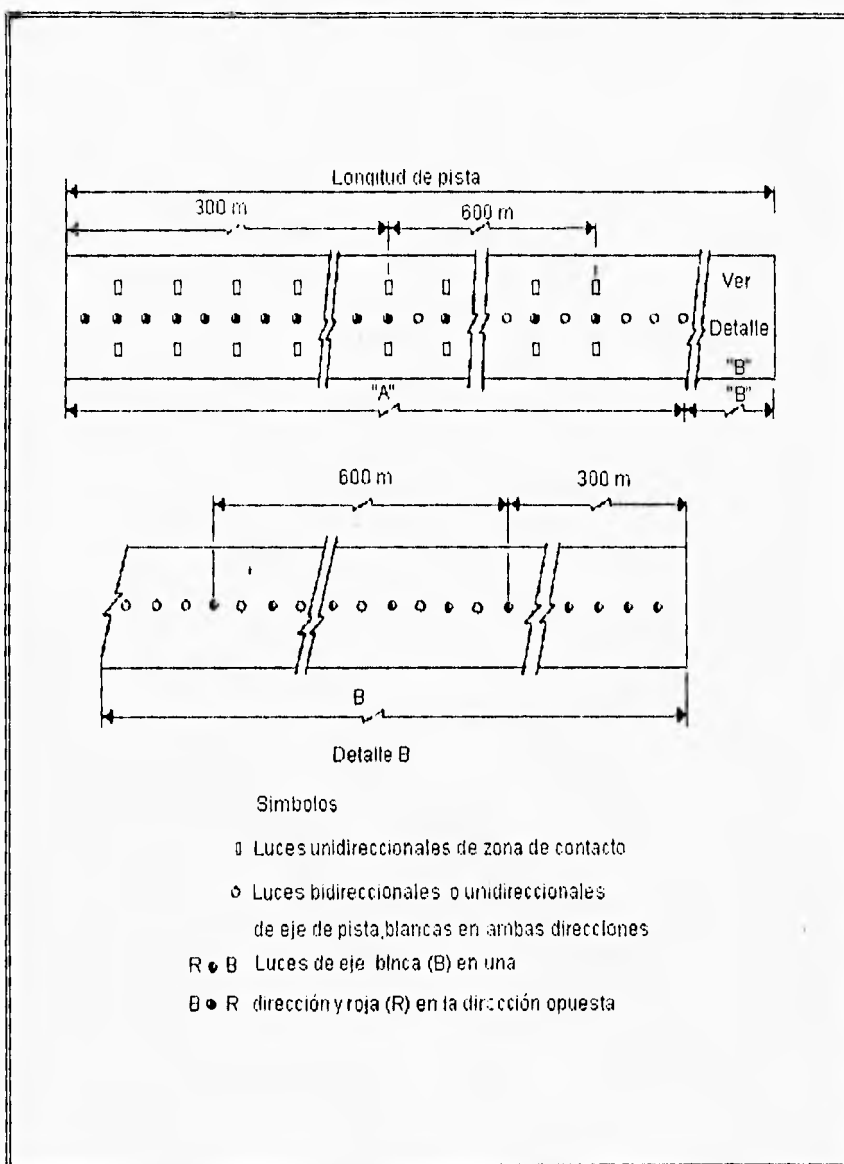


FIG. 23.

Características y detalle de las luces de eje de pista y zonas de contacto.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

ILUMINACION DE LAS CALLES DE RODAJE.

Los sistemas de iluminación de las calles de rodaje son de suma importancia al igual que la iluminación en las pistas, pues deben de proporcionar a los pilotos las ayudas visuales necesarias para poder circular durante la noche y durante el día, con poca visibilidad. Existen una serie de criterios que se aplican a las ayudas visuales de las calles de rodaje, las cuales son:

- Las calles de rodaje deberán identificarse claramente, de tal manera que no puedan confundirse con las pistas de vuelo.
- Deben de identificarse con facilidad las salidas de las pistas y especialmente las de alta velocidad, ya que el piloto debe ser capaz de localizar la salida a unos 360 ó 450m antes del punto de giro.
- Las calles de rodaje deberán tener una guía adecuada.
- Las calles de rodaje específicas deberán ser fácilmente identificables por los pilotos.
- Las intersecciones entre las calles de rodaje y las pistas deberán estar claramente señaladas.
- El camino completo desde la pista de vuelo hasta la zona de aparcamiento deberá ser fácilmente identificable.

En base a los criterios antes mencionados, se ha contemplado una clasificación para la iluminación de las calles de rodaje:

- Iluminación en los bordes de las calles de rodaje.
- Iluminación del eje de las calles de rodaje.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Iluminación en los bordes de las calles de rodaje.

Este tipo de iluminación está conformada por luces que se sitúan a intervalos de menos de 60m a cada lado de la calle de rodaje ; dicha separación puede variar dependiendo de la configuración que se tenga. Los accesorios de este tipo de luces van situados a no más de 3m de los bordes del pavimento, y no pueden sobrepasar más de 75cm por encima de éste. Dentro de las desventajas que presentan éste tipo de luces, tenemos que no proporcionan una adecuada información al piloto sobre el desplazamiento lateral del avión con respecto al eje de la calle de rodaje, además de verse constantemente dañadas por el chorro de los aviones que circulan cerca de ellas. El color característico de estas luces es el azul.

Iluminación del eje de las calles de rodaje.

Este tipo de luces ofrecen una mejor referencia a los pilotos que las luces anteriores, especialmente en condiciones de poca visibilidad. Básicamente para salidas corrientes, las luces del eje acaban en el borde de la pista y en las intersecciones, las luces continúan a través de la intersección. Para salidas a gran velocidad y que presentan un gran radio , las luces de las calles de rodaje se extienden por la pista de vuelo, desde un punto situado 60m antes del comienzo de la curva de la calle de rodaje. Las separaciones de este tipo de luces es 15m con desfase del eje de la calle de rodaje de 0.5m , su color característico es el verde.

En los puntos de intersección de las calles de rodaje con la pista de vuelo y en los lugares en los que los aviones tienen que detenerse brevemente antes de entrar a la pista, se colocan luces amarillas, separadas en intervalos de 1.5m y dispuestas transversalmente a la calle de rodaje.

II.5.3 SEÑALIZACION DE PISTAS Y CALLES DE RODAJE.

Con objeto de ayudar a los pilotos que dirigen su avión hacia las pistas de vuelo y calles de rodaje, los pavimentos se han marcado con líneas y números. Estas marcas son de utilidad durante los períodos diurnos y el crepúsculo, durante la noche se utilizan los sistemas de iluminación ya comentados en este capítulo. Los principales colores que se utilizan para la señalización son el blanco para las pistas de vuelo, y el amarillo para las calles de rodaje y zonas de estacionamiento.

SEÑALIZACION DE PISTAS.

La señalización que debe tener una pista dependiendo de su clasificación (principal, instrumental con precisión e instrumental sin precisión), es la siguiente:

- Número de pista.
- Eje de la pista.
- Umbral de la pista.
- Zona de contacto.
- Distancia fija.

La señalización de la distancia fija se realiza en todas las pistas con 1200m o más y que sean utilizadas por aviones con motor de turbina. Las marcas que se emplean para señalarla son dos bandas situadas a 300m del umbral de la pista.

La señalización típica de las pistas de vuelo la podemos apreciar en la figura 8 en páginas anteriores de este capítulo.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

SEÑALIZACIÓN DE LAS CALLES DE RODAJE.

La señalización de las calles de rodaje es la siguiente:

- Una banda amarilla continua de 15cm para marcar el eje de la calle de rodaje.
- En las intersecciones de las calles de rodaje con los finales de las pistas, la banda del eje de la calle de rodaje termina en el borde de la pista.
- En todas las demás intersecciones de las calles de rodaje con las pistas, el eje de las primeras llega hasta el eje de las pistas.
- En aquellas zonas en las que no resulta fácilmente visible el borde del pavimento resistente de una calle de rodaje, tal borde se marca con dos bandas continuas de color amarillo, de 0.15cm de ancho y con una separación de 0.15cm.
- En las calles de rodaje que conducen a las cabeceras de pista, se coloca una señal de punto de espera, situada a través de la calle de rodaje.
- Si la margen de la calle de rodaje ofrece el mismo aspecto externo que el pavimento resistente, hay que marcarlo de tal forma que no se confunda con el.

Tenemos que tener en cuenta que si es necesario cerrar una pista o calle de rodaje en el aeropuerto, la señalización respectiva será una serie de cruces sobre vías de color amarillo que indique la restricción de acceso a dichas zonas.

A continuación se muestra la señalización de calles de rodaje y algunos detalles de estas en la figura 24.

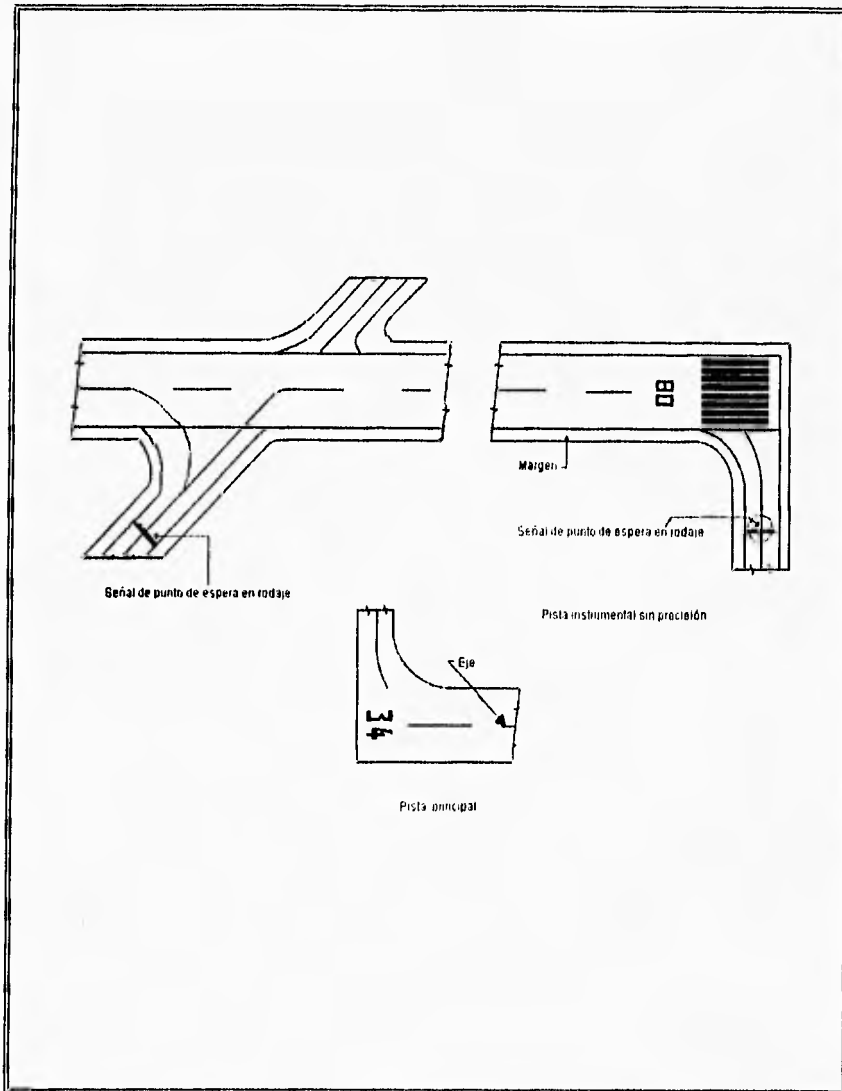


FIG.24.

Señalización básica de las calles de rodaje.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Un aspecto muy importante dentro de los sistemas de señalización es contar con ayudas para el rodaje de los aviones, por lo que se ha implementado un sistema de señales para el rodaje.

El fin principal de estas señales es el de ayudar a los pilotos en las zonas de rodaje del aeropuerto. En los aeropuertos con servicio de control, las señales suplementan las instrucciones del controlador y ayudan al piloto a cumplirlas. Este sistema de señales es de gran ayuda para el controlador de tráfico, ya que simplifica las instrucciones en cuanto a despegues en las calles de rodaje, el rodaje en sí y a la espera de las aeronaves. En aquellos lugares que no están servidos por la torre de control del aeropuerto o para aviones sin radio, el sistema de señales suministra al piloto una guía para conseguir llegar a su destino dentro del aeropuerto.

El sistema consta de dos tipos básicos de señales: "destino", que indica la dirección hacia un punto determinado e "intersección", que identifica la intersección de calles.

Las señales de destino representan la dirección en forma simbólica y utilizan una flecha para indicar la dirección del rodaje. Los símbolos siguientes se utilizan para identificar las diferentes zonas:

Estacionamiento general, servicios y área de carga .	RAMP.
Áreas específicas para estacionamiento de aeronaves.	PARK.
Áreas de aprovisionamiento de combustibles o de servicios.	FUEL.
Posición de estacionamiento en la que el avión se carga o descarga.	GATE.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Areas para aviones en tránsito.	VSTR.
Areas para aviones militares.	MIL.
Areas para manipulación de carga.	CRGO.
Areas para manipulación de vuelos internacionales.	INTL.
Hangar o zona de hangares.	HGR.

Las señales de salida corrientemente designan la dirección hacia una cabecera determinada. Las señales de intersección identifican el cruce de pistas, de calles de rodaje entre ambos tipos y calles de rodaje con plataformas de estacionamiento. Las calles de rodaje se designan corrientemente con letras mayúsculas.

A continuación se muestra una visión general de dicho sistema en la figura 25.

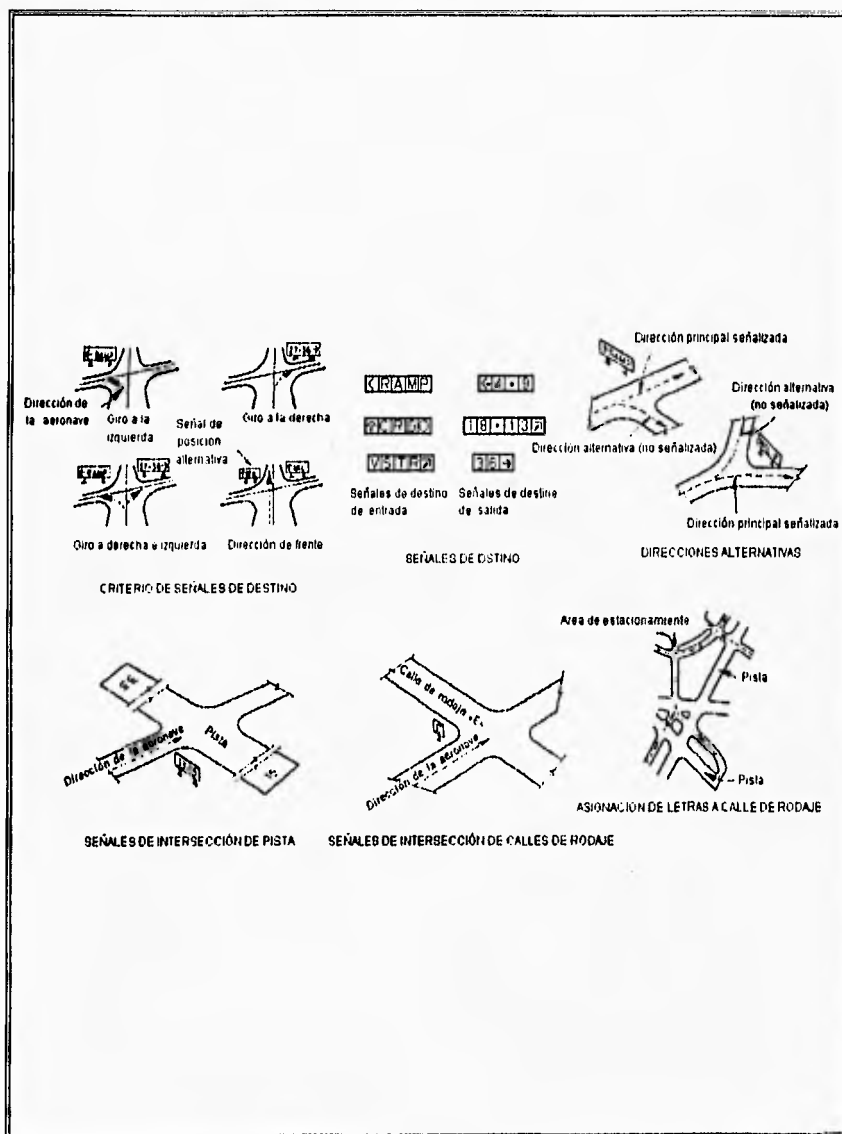


FIG. 25.

Señales típicas utilizadas para el rodaje de los aviones en pistas y calles de rodaje.

CAPITULO III : ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS AERONAUTICOS.

III.1 TIPOS DE PAVIMENTOS.

Los pavimentos de un aeropuerto son estructuras construidas a base de productos cementantes y agregados, que tienen como fin principal repartir las grandes cargas originadas por las ruedas de los aviones en superficies tales que la carga unitaria en los terrenos no llegue a producir su deformación o fractura. La estructura que los conforma consta en general de dos y tres partes que desempeñan funciones distintas; a continuación observaremos en la figura.26 su estructura general.

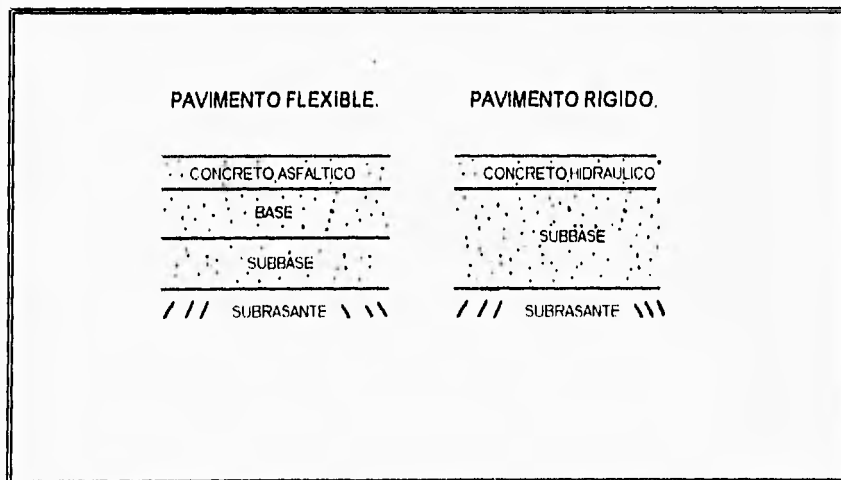


FIG.26.

Estructura básica de un pavimento.

De la figura anterior tenemos que para los pavimentos flexibles, la primera capa esta constituida por una carpeta de concreto asfáltico, sobre la cual se apoyan directamente las ruedas de los aviones. Esta capa debe cumplir con condiciones de estabilidad así como de buena calidad para que los aviones transiten sin dificultad; la segunda capa, o base, tiene por misión repartir las cargas sobre la tercer capa, denominada subbase. Esta, a su vez, reparte todavía más la carga, hasta conseguir en el terreno natural, coeficientes de trabajo apropiados. Para los pavimentos rígidos, la primera capa la constituye una losa de concreto hidráulico sobre la cual se apoyan las ruedas de los aviones; al igual que para los pavimentos flexibles, dicha capa debe cumplir con las condiciones de estabilidad y buena calidad para garantizar la seguridad y correcto funcionamiento; la segunda capa o subbase, transmite las cargas absorbidas por las losas de concreto hacia la subrasante o terreno natural, hasta conseguir coeficientes de trabajo aceptables.

En base a su estructura particular los pavimentos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Pavimentos Flexibles.
- Pavimentos Rígidos.
- Pavimentos Mixtos.

Los Pavimentos Flexibles, se componen de una o varias capas de material granular, construidas a partir del terreno, en las cuales, los productos naturales pueden mezclarse o no, con materiales bituminosos para obtener mayores resistencias y mejores superficies de rodaje.

Los Pavimentos Rígidos, consisten en una losa de concreto de cemento portland, que descansa sobre el terreno bien directamente o a través de una capa de material granular denominado subbase. El espesor depende, de la capacidad del concreto para absorber las cargas y repartirlas en la superficie

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

del suelo.

Los Pavimentos Mixtos básicamente se derivan de la combinación de los dos pavimentos ya mencionados.

Los tres tipos de pavimentos se comentaran más ampliamente en el presente capítulo.

III.1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los dos principales componentes de un pavimento flexible y sobre los que se basa la construcción de los mismos, son los agregados y los ligantes.

AGREGADOS.

Los diferentes tipos de agregados empleados normalmente en la construcción de pavimentos, pueden ser clasificados en: arenas, gravas naturales, piedra partida, escoria y polvo rellenor.

Las arenas pueden ser de diferentes tipos, según su origen, encontrándose como principales las siguientes:

- Arenas de minas.
- Arenas de río.
- Arenas artificiales.
- Arenas de duna.

En cuanto a las gravas naturales, estas se originan en la desintegración natural de las rocas, y son de forma redondeada, más o menos mezcladas con productos de tamaños inferiores.

La piedra partida, se obtiene por la trituración artificial de las rocas naturales, en cualquier tamaño y con las composiciones granulométricas convenientes. Estos elementos, son en general de forma poliédrica, pero en algunas ocasiones se rompen en lascas alargadas por lo que en este caso no se recomiendan para uso en la construcción de pavimentos de aeropuertos.

La escoria, es un subproducto de altos hornos, compuesto de mezclas de diferentes silicatos, aluminosilicatos y otras bases. Es un material excelente para pavimentación y se utiliza triturado al tamaño que se desee.

El polvo rellenedor, se emplea para el relleno de pequeños huecos en aglomerados bituminosos de alta compacidad, como los concretos asfálticos. En general se obtiene, como subproducto de trituración de rocas en su graduación más fina.

LIGANTES

Los ligantes empleados en este tipo de pavimento son generalmente bituminosos, los materiales que se emplean son conocidos con los nombres de betunes o asfaltos, alquitranes y emulsiones asfálticas o de alquitrán; cabe mencionar que los alquitranes son de empleo reducido.

Estos materiales se clasifican por su estado, en líquidos, semisólidos y sólidos. Los más fluidos, pueden utilizarse a la temperatura ambiente en tanto que los más viscosos necesitan para adquirir la fluidez necesaria para su utilización, bien calentarlos a temperatura conveniente o bien mezclarlos con solventes como ocurre con los tipos de betunes sólidos en polvo.

La consistencia o fluidez de los materiales bituminosos, se mide en los líquidos por la viscosidad, en los semisólidos por las pruebas de flotación o penetración y, en los materiales sólidos por la penetración.

Los betunes son el resultado de la destilación de los petróleos y pueden dividirse en dos grupos: asfaltos de petróleo y asfaltos naturales. Los primeros se obtienen como subproductos de la destilación por vapor del petróleo crudo en estado semisólido y sólido, y son completamente solubles en el sulfuro

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

de carbono, mientras que los segundos formados en la naturaleza por destilación debida al calor, se encuentran en estado general y contienen gran cantidad de materias no bituminosas, que los hacen tan duros que hay necesidad de fluidificarlos con solventes de petróleo para que puedan ser utilizados. También pueden ser obtenidos los asfaltos de petróleo por destilación por medio de aire, alcanzándose así los asfaltos oxidados de escasa aplicación en los pavimentos.

Existen también en la naturaleza, rocas calizas y areniscas, impregnadas de productos bituminosos en cantidades aproximadas del 2 al 15%, lo que generalmente no basta para poder emplearlas en los pavimentos, siendo necesario agregar betunes, con lo que resultan los pavimentos de roca asfáltica.

Los alquitranes son productos de destilaciones a altas temperaturas de materias orgánicas, siendo los más corrientes los obtenidos de carbones y petróleos. La denominación de los alquitranes está generalmente basada en el tipo de material del que se extraen y del proceso del que se derivan, así por ejemplo, están los alquitranes de coke, de gas de agua, etc.; los cuales se emplean generalmente fluidificados con aceites.

En general los pavimentos flexibles son aquellos que pueden soportar deformaciones relativamente grandes sin llegar a producirse grietas en su estructura. Estos pavimentos transmiten las cargas al suelo de tal manera, que pueden desprejarse la resistencia a la flexión, por ser insignificante.

Están incluidos en ellos los suelos naturales estabilizados, los aglomerados de piedra partida y los bituminosos.

En cuanto a la base, cuyo objeto es preservar a los cimientos de los agentes atmosféricos y repartir las cargas en los mismos, están constituidas por mezclas de piedra partida y de un aglomerante, bituminoso o no, y tienen espesores comprendidos en general entre 10 y 30cm, dependiendo estas,

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

tanto de las cargas como del espesor de la subbase, ya que todas las capas del pavimento no hacen más que sumar sus espesores para conseguir en el terreno natural, cargas menores de las de rotura. Si se construyen de diferente modo es exclusivamente por razones de orden económico.

La subbase se encuentra constituida por el terreno natural cuando éste es suficientemente estable no solo por su composición granulométrica y sus constantes físicas, sino también por sus condiciones de drenaje y efecto de las heladas. En los casos en que los terrenos naturales no tengan las características necesarias, se construyen subbases con suelos estabilizados por mezclas, o bien, se recurre al empleo de capas de piedra partida.

Los espesores de la subbase que en algunos casos son mayores de 1m, dependen de la calidad del terreno que las soporta, y pueden ser calculadas por diferentes métodos que se comentarán en apartados próximos.

Los pavimentos flexibles pueden ser de los siguientes tipos:

--De productos naturales estabilizados.

--De piedra partida ligada con tierra o asfalto.

--De piedra partida o grava ligada con productos bituminosos.

PAVIMENTOS FLEXIBLES DE PRODUCTOS NATURALES ESTABILIZADOS.

Estos pavimentos están constituidos por bases formadas por productos naturales, existentes en el aeropuerto o de aportación exterior, y superficies de rodaje de hierba. Rara vez, se emplean en todo su espesor debido a que sólo se aplican en aeropuertos de poco tránsito y equipo de vuelo ligero.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En los pavimentos naturales, las capas base y subbase se confunden en una sola, constituida por el suelo, y únicamente la superficie de rodamiento, puede ser de diferente construcción, por la necesidad de sembrarla para formar una superficie de césped, o por emplear una capa de material bituminoso.

La posibilidad de construir estos pavimentos hay que deducirla de los análisis correspondientes del terreno, con las cuales se llega al conocimiento de las cargas que pueden soportar y de las características de estabilidad. Las primeras pueden ser muy variables, aun en terrenos estables, y deben estar de acuerdo con las presiones producidas por los aviones. Las segundas, no dependen de las cargas a soportar y tienen en todos los casos que estar comprendidas entre unos límites muy definidos.

Los terrenos de estabilización mecánica, única que se emplea en estos pavimentos, están compuestos en general por gravas y arenas naturales. La calidad de los aglomerantes que se emplean en este tipo de pavimento, debe ser tal que comunique al suelo una cierta cohesión que, aparte de la fricción entre partículas de grava y arena, es la característica principal que necesitan los suelos para soportar cargas. Es evidente que si este aglomerante es arcilla, y no se encuentra finamente pulverizada y mezclada, pueden comunicar al suelo malas características en climas lluviosos lo que puede generar problemas para el soporte de cargas.

PAVIMENTOS FLEXIBLES DE PIEDRA PARTIDA LIGADA CON TIERRA O ASFALTO.

El empleo de estos pavimentos se limita a los aeropuertos de poca importancia y eventuales por producirse en la superficie polvo y barro. En cambio, tienen gran aplicación como bases si no se encuentran productos naturales más económicos, utilizando en estos casos superficies de rodamiento constituidas con productos bituminosos. Los materiales que forman estas bases son piedra triturada,

y tierras que actúan de elemento de unión y apoyo.

- Las piedras que constituyen este tipo de pavimentos deben ser de alta resistencia para soportar tanto el desgaste por fricción de unos elementos con otros, como el desgaste superficial y los esfuerzos de compresión. En este tipo de pavimento el tamaño de la piedra varía normalmente entre 3 y 7cm, no debiendo pasar nunca de 1/3 del espesor de la capa base, ni ser inferior a 2cm.

PAVIMENTOS FLEXIBLES DE PIEDRA PARTIDA O GRAVA LIGADA CON PRODUCTOS BITUMINOSOS.

En esta variedad de pavimento se utilizan los tratamientos superficiales para consolidar, mejorar e impermeabilizar en lo posible la capa base, constituyéndose así una buena capa de apoyo para soportar la carpeta de rodamiento de material bituminoso, y transmitir las cargas a la subrasante o terreno natural.

La conservación de este tipo pavimento es más económica y de mayor facilidad su mantenimiento. Básicamente los tratamientos superficiales pueden realizarse con betunes, alquitranes y emulsiones.

Por último mencionaremos que la forma de trabajo de los pavimentos flexibles, es transmitir las cargas generadas por los aviones a las capas subyacentes a la carpeta, ya que esta última no tiene una gran resistencia pero sí una gran flexibilidad para soportar deformaciones. En base a estas consideraciones, es por lo cual que se considera para el diseño de este tipo de Infraestructura, tres capas de apoyo que repartan gradualmente las cargas presentes, y de las cuales se comentará más adelante.

III.1.2 PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los pavimentos rígidos son aquellos que se encuentran constituidos por una losa de concreto hidráulico también conocida como losa de concreto de cemento portland, la cual descansa sobre el terreno por medio de una capa intermedia de material granular conocida con el nombre de subbase. En la losa los principales elementos y materiales la que constituyen son:

- El Agua.
- Agregados.
- Cemento portland.

EL AGUA.

El agua a emplear en los concretos de este tipo de pavimento, basta con que no lleven impurezas del tipo magnésicas y selenitosas las cuales atacan a los cementos. Cualquier agua potable es buena, aunque las muy puras presentan el peligro de disolver las sales cálcicas que lleva la mezcla de concreto, situación que se refleja en un deficiente comportamiento estructura de este tipo de pavimento.

AGREGADOS.

Estos están compuestos de mezclas de arena y gravas, en proporción conveniente para obtener la máxima compactación del concreto. Tanto unas como otras deben estar limpias y ser de productos materiales duros, de calidad uniforme, con superficies rugosas para la máxima adherencia y exentas de agujas y materiales vegetales.

Las arenas de mejor calidad son las silíceas de granos angulosos y gran proporción de tamaños gruesos. En cuanto a las gravas, pueden emplearse piedras obtenidas por trituración.

CEMENTO PORTLAND.

Los aglomerantes que se emplean en este tipo de pavimentos son el cemento portland artificial, obtenido por klinkerización y pulverización de mezclas de arcilla y calizas; en muy pocos casos se han empleado mezclados con cementos naturales al objeto de aprovechar en parte sus características y disminuir la retracción del fraguado.

Parte muy importante dentro de los pavimentos rígidos la constituyen las juntas y dispositivos de unión de placas las cuales permiten transferir las cargas de los aviones en forma uniforme hacia las losas contiguas y hacia la subbase del pavimento. Básicamente las juntas cumplen tres funciones en los pavimentos de concreto:

- Las de dilatación, que permiten la expansión del pavimento, e impiden los grandes esfuerzos de compresión, originados por aumentos de temperatura que pueden dar lugar a la rotura de las losas por pandeo.
- Las de contracción, que disminuyen los esfuerzos de extensión que se originan por la disminución de temperatura y por retracción del fraguado.
- Las de atabeo, que creando secciones de mínima resistencia, facilitan las flexiones de las placas originadas por las diferencias de temperatura en sus caras

De esta manera los tipos de juntas en base a las funciones que realizan son las siguientes:

Juntas de dilatación.

Este tipo de junta se sitúa convenientemente para absorber las variaciones posibles de temperatura y al mismo tiempo para tener en cuenta posibles cambios de humedad, así como las obstrucciones que se originan por las tierras que se introducen en las juntas. Se acostumbra a construir de 2 a 3cm de anchura y se rellenan con material muy plástico que no impida la dilatación de las losas. Este tipo de junta ha caído en desuso en las zonas pavimentadas tanto transversales como longitudinales, pero en cambio son totalmente necesarias en las líneas de contacto del pavimento, con otras áreas de construcción.

Juntas de contracción.

Este tipo de junta al igual que la de dilatación absorbe las posibles variaciones de temperatura que se presentan en el material; se colocan longitudinalmente cuando la anchura de faja es superior a 5m y transversalmente de forma sistemática a intervalos regulares.

Juntas de alabeo.

Este tipo de juntas tienen la finalidad de crear líneas de mínima resistencia por donde se fracture la losa impidiendo así mayores esfuerzos, no son necesarias en todo el espesor de la losa.

Juntas de construcción.

Este tipo de juntas es necesaria para facilitar la construcción de las losas de concreto, su separación esta obligada por la anchura de las máquinas pavimentadoras y por el espesor del pavimento.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En los casos que se tengan placas de espesores inferiores a 30cm, son necesarias juntas intermedias a las longitudinales de construcción, para evitar la formación de roturas que puedan producirse por alabeo. Las juntas longitudinales de construcción se efectúan en todos los casos machimbradas, al objeto de puedan efectuarse convenientemente la transmisión de las cargas producidas por los aviones.

Existen aparte de las juntas longitudinales de construcción, juntas transversales que tienen como finalidad evitar tensiones por disminución de volumen y alabeo. Este tipo de juntas son necesarias al fin de cada jornada, o cada período de trabajo en que exista un intervalo de parada superior a 30 minutos. Si esta junta coincide con una junta transversal de construcción o está próxima a ella, debe emplearse el mismo tipo con pasador, y si no coincide de emplearse un tipo de junta machimbrada con una barra de anclaje. A continuación en la figura 27 podemos observar los principales tipos de juntas y algunas de sus características.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

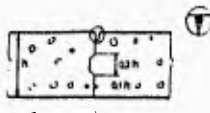
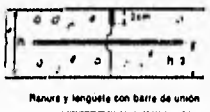
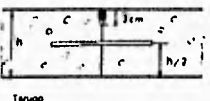

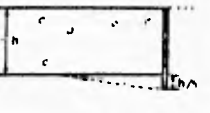
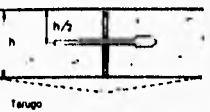
TIPO DE JUNTA	DIAGRAMA	L. Emplazamiento C. Condiciones de utilización
CONSTRUCCIÓN	 <p>Ranura y lengüeta simple</p>	<p>L. Longitudinalmente al final de las fajas Transversalmente cuando el hormigón se encuentre interrumpido a lo largo de la faja</p> <p>C. Lengüeta y ranura únicamente para losas de espesores superiores a 20 cm</p> <p>se recomiendan los tarugos para pavimentos que soportan tráfico pesado de aviones de fuselaje ancho o en los terrenos relativamente flojos</p> <p>la barra de unión se utiliza únicamente en las juntas longitudinales; la anchura del enlace no debe ser superior a 25 m</p>
	 <p>Ranura y lengüeta con barra de unión</p>	
	 <p>Tarugo</p>	
CONTRACCIÓN	 <p>Corta de sierra</p> <p>Compuesto sellador para la junta</p>	<p>L. Longitudinalmente cuando la anchura de la faja sea superior a 3 m</p> <p>transversalmente: instalación sistemática a intervalos regulares</p>
DILATACIÓN		<p>L. en la unión de las obras vieja y nueva</p> <ul style="list-style-type: none"> - entre pistas y calles de rodaje - en el perímetro de las subestructuras - a lo largo del drenamiento <p>C. utilizado para evitar tensiones excesivas</p>
	 <p>Tarugo</p>	

FIG.27.

Tipos de juntas para pavimentos rígidos.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Por último la forma de trabajo de los pavimentos rígidos, es absorber en gran medida las cargas aplicadas por los aviones con el concreto de las losas de apoyo, las cuales trabajan dependientes unas de las otras, resistiendo esfuerzos de tensión generados por una carga de compresión (carga de los trenes de aterrizaje). En base a estas consideraciones, es que solamente se contempla para el diseño de esta infraestructura una sola capa de apoyo para la losa, claro esta de gran calidad y resistencia para poder transmitir los esfuerzos restantes de las losas al terreno natural o subrasante.

III.1.3 PAVIMENTOS MIXTOS.

Los pavimentos Mixtos son un tipo de pavimento resultado de incrementar la vida útil de pavimentos ya existente, tanto flexibles como rígidos lo que permite en determinado momento contar con un ahorro en cuestiones de reconstrucción de infraestructura ya existente.

Estudios realizados han encontrado que el reafirmado de pavimentos antiguos e inadecuados, con concreto, es el método más práctico y económico de convertirlos en modernos y eficientes pavimentos para los aeropuertos.

Básicamente en pavimentos donde los niveles originales y el alineamiento es adecuado, las capas de rodamiento pueden ser utilizadas como cimiento para asegurar un soporte firme a las nuevas capas y mediante esto lograr los máximos valores de recuperación del antiguo pavimento.

Los factores primarios en la imperante necesidad de rehabilitar los pavimentos son el incremento en el volumen de aviones y en el peso de los mismos.

En solución a los problemas que presentan las pesadas cargas y las altas velocidades de tránsito que demanda el transporte aéreo actual, el reafirmado de pavimentos rígidos es aplicable en dos casos principalmente:

- 1) El primero consiste en el reforzamiento de losas relativamente delgadas que tuvieron un comportamiento adecuado en su época, pero que en la actualidad no satisfacen los requisitos contemplados por las especificaciones que se tengan.
- 2) El segundo consiste en reafirmar pavimentos que tienen una base sana, pero la cual por diversos

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

factores se ha puesto áspera y se ve en la necesidad de contar con una nueva carpeta para un adecuado rodamiento, situación que se refleja en la seguridad en las operaciones.

El resultado de ambos casos es el mismo, es decir, contar con un pavimento liso, resistente, durable y sobre todo económico

El método de rescate de pavimentos viejos no es nuevo; existen en la actualidad reafirmados de concreto que fueron construidos hace varios años por lo que se ha comprobado que son de gran aplicación.

La distinción entre el reafirmado y la reconstrucción no está bien definida, especialmente cuando los proyectos de reafirmado son de grandes proporciones. Un proyecto de reafirmado es aquel en donde se hace el intento de utilizar al máximo posible el pavimento original y rehabilitarlo, en lugar de retirarlo y construirlo nuevamente. La situación que nos lleva a utilizar los pavimentos ya existente y solo rehabilitarlos es la economía de los mismos.

El reafirmado con concreto provee las grandes ventajas que solo se obtienen mediante pavimentos de concreto, tales como: lo nivelado de la superficie de rodamiento y un aceptable desalojo de la lluvia; tenemos que mencionar que aunque se presenten condiciones húmedas o secas, la textura de los concretos asegura una alta resistencia al drenaje. Este tipo de reafirmado aumenta la visibilidad nocturna y su alta reflectancia permite contar con un ahorro en los costos de iluminación, de esta manera se puede ahorrar tanto en costos de operación como en costos de mantenimiento.

El reafirmado de pavimentos flexibles se realiza principalmente incrementando los espesores de los materiales bituminosos con que ya se cuenta, lo que en realidad mantiene relativamente constantes los costos de mantenimiento.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Por último tenemos que mencionar que se puede realizar un reafirmado en el cual se tenga una capa de concreto la cual se utiliza como base y sobre la que se extiende una capa de rodamiento asfáltica, este procedimiento de rehabilitado depende de las condiciones particulares del caso en estudio pero también presenta resultados adecuados para las operaciones.

III.2 METODOS MAS USUALES DE DISEÑO.

Los métodos de diseño para pavimentos flexibles se pueden catalogar de tres formas. Primero por consideraciones teóricas y semiteóricas utilizando valores de correlación; segundo por procedimientos científicos basados en pruebas arbitrarias, las cuales han sido correlacionadas con el comportamiento del pavimento; y tercero por el diseño basado en la clasificación de suelos y otros factores tales como el clima.

En cuanto a los métodos de diseño para pavimentos rígidos, estos se encuentran basados en teorías que contemplan el estudio de los esfuerzos para las losas de concreto. La magnitud de estos esfuerzos dependen en gran medida de condiciones como la repartición de carga, intensidad de la misma, presión de inflado y zona en la que se realizará el diseño, es decir, plataformas, pistas y calles de rodaje.

Tenemos que tener muy en cuenta que para el diseño de los pavimentos las cargas móviles lentas provocan mayores esfuerzos que las cargas móviles rápidas. A continuación se mencionaran los principales aspectos de las teorías sobre las cuales se basa el diseño de los dos primordiales tipos de pavimentos utilizados.

III.2.1 PRINCIPALES ASPECTOS DE LAS TEORIAS DE DISEÑO.

PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las teorías que se manejan como base para el diseño de los pavimentos flexibles básicamente son:

- El método de Valor Relativo de Soporte (VRS).
- La teoría elástica de capas.

Método de Valor Relativo de Soporte (VRS).

El método del valor relativo de soporte VRS fue preparado por el Departamento de Carreteras del Estado de California, y se basa en la prueba del mismo nombre que a continuación mencionaré.

La prueba del VRS proporciona un Índice de resistencia al esfuerzo cortante, esta consiste en compactar unos 4.5 Kg de suelo dentro de un molde de 15cm de diámetro, al cual se le coloca una sobre carga en la superficie de la muestra, para posteriormente sumergirla en agua por espacio de cuatro días; la muestra humedecida se penetra por medio de un émbolo de acero de 5cm aproximadamente de diámetro con una intensidad de carga determinada. La resistencia del suelo a esta penetración, expresada en tanto por ciento de la resistencia para la piedra triturada tipo, es el VRS del suelo. Por lo tanto, un VRS 50 significa, que el esfuerzo necesario para que el pistón penetre en la muestra de suelo una distancia específica, es la mitad del requerido para que el pistón penetrara la misma distancia en la piedra triturada tipo. Esta relación se basa corrientemente en la penetración de 2.5mm del pistón con una sobrecarga de 72 Kg/cm², utilizada como el esfuerzo requerido para conseguir una penetración de 2.5mm en la piedra triturada tipo.¹

REF. 1 PLANNING AND DESIGN OF AIRPORTS HORONJEFF AND MCKELVEY ED MC GRAW-HILL 1986

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En base a investigaciones y desarrollos empíricos a lo largo de los años, se han obtenido gráficas que relacionan espesores de pavimentos para ciertas intensidades de tránsito con VRS, observándose que se presentan mayores deformaciones conforme aumenta el peso de los aviones.

Estudios preliminares efectuados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos en relación con el VRS, mencionan que este organismo ha adoptado considerar las presiones de las ruedas de los aviones, debido a que estas influyen en la aplicación de la carga. En base a tales consideraciones, se desarrollaron gráficas que relacionan la presión de inflado con el esfuerzo necesario para cierto VRS, contemplando una rueda simple.

Es importante mencionar que en todas las investigaciones efectuadas en este método, se considera a la estructura del pavimento como una masa homogénea en la que la distribución de esfuerzos es mayor conforme se aumenta la profundidad del pavimento. A continuación en la figura 28 podemos observar tal distribución.

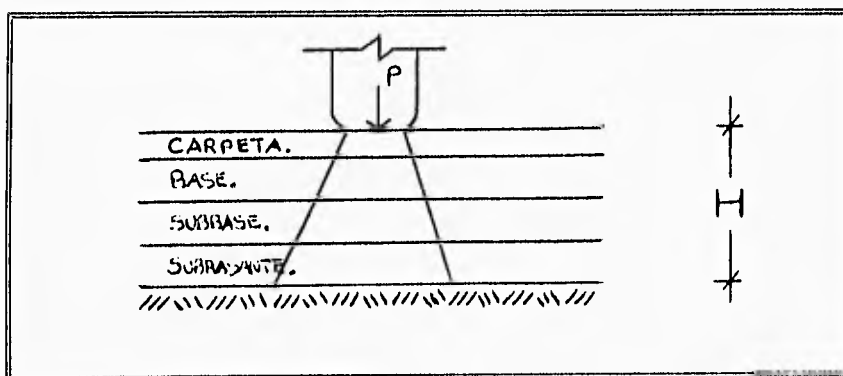


FIG.28.

Distribución de esfuerzos en pavimentos flexibles.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Dado que el peso de los aviones tiende a incrementarse, los pavimentos diseñados en base a tales consideraciones comenzaron a fallar, la razón fue que el procedimiento solo consideraba cargas estáticas verticales sin contemplar esfuerzos tangenciales en las carpetas, por ello se decidió implementar en las teorías de investigación el tren doble.

Independientemente de tales consideraciones, se observó que para VRS altos se tenían valores conservadores para los espesores de diseño; por otra parte era evidente que el suelo no identificaba separaciones entre las ruedas de los aviones, situación por la cual se tuvo que considerar para tal efecto la rueda equivalente.

Por último, cabe mencionar que es más factible establecer un análisis más específico según el tipo de rueda ha considerar, con la finalidad de obtener resultados más precisos que relacionen el VRS con la configuración del tren de aterrizaje seleccionado.

Teoría elástica de capas.

Este tipo de teoría se basa en suposición de que no existe dependencia en los materiales que constituyen el pavimento, en cuanto a las características de los materiales y las deformaciones de los mismos; por otra parte contempla que todas las deformaciones que se generan son recuperables además que la distribución de esfuerzos se realiza en dos direcciones (horizontal y vertical).

La teoría elástica de capas, se utiliza en la aplicación del método del VRS para calcular la carga equivalente por rueda simple (ESWL) para cualquier tipo de tren de aterrizaje, en donde se supone que la estructura del pavimento es un medio sólido elástico y semi-infinito.

Recientemente se han desarrollado una serie de procedimientos de cálculo para los pavimentos

flexibles, en los que su sección se ha definido como un sólido elástico de capas múltiples. A continuación en la figura 29 se observa una representación esquemática general de esta teoría.

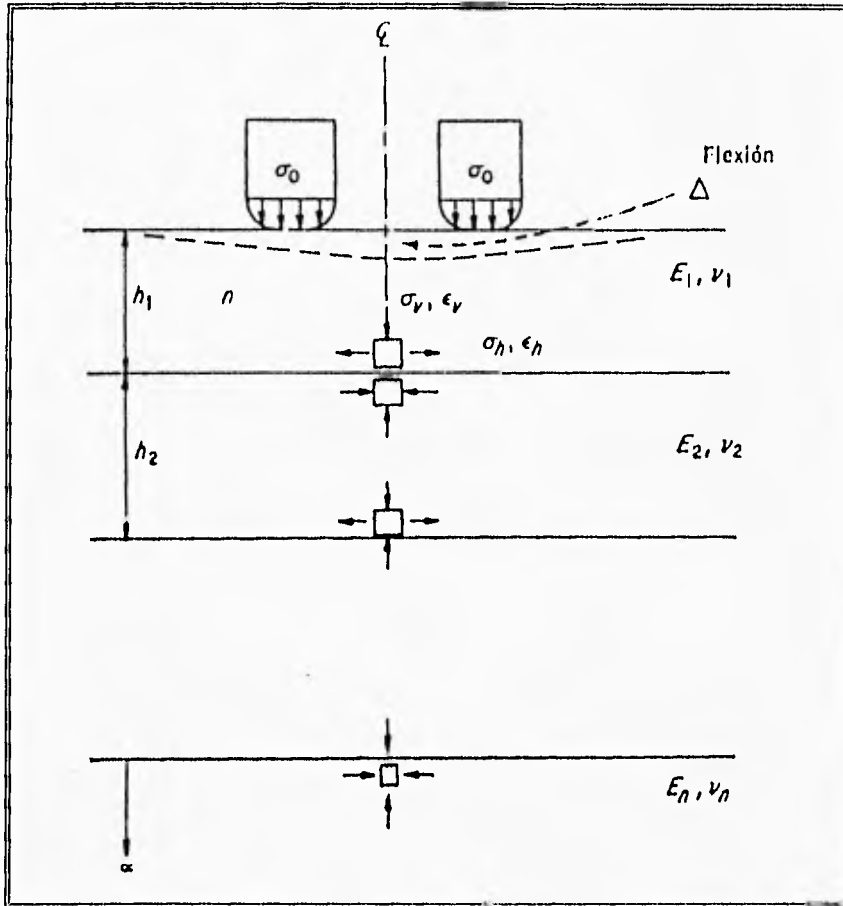


FIG.29.

Sección de un pavimento flexible considerando la teoría elástica de capas.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En la actualidad la teoría elástica de capas es utilizada por el Instituto del Asfalto y por la compañía de aceites Shell. A continuación mencionaremos las principales consideraciones de diseño para cada una de estas instituciones en sus respectivos métodos.

Método del Instituto del Asfalto.

El diseño por parte de Instituto del Asfalto se limita a pavimentos flexibles colocados en contacto directo con el terreno natural o subrasante, el dimensionamiento de su espesor se basa en las siguientes limitantes:

- La deformación horizontal en la capa inferior de la carpeta asfáltica debe ser mínima para evitar la fatiga de la misma.
- La deformación vertical por compresión en la superficie del terreno debe ser mínima para evitar depresiones en la superficie de rodamiento.

Método de Shell.

El método de Shell es aplicable al diseño de pavimentos flexibles con una estructura representada por un sistema elástico, la cual esta formada por tres capas de apoyo en donde las condiciones críticas de diseño son las mismas que para el método del Instituto del Asfalto.

PAVIMENTOS RIGIDOS.

El diseño de pavimentos rígidos se basa en la determinación de las tensiones que se presentan en las losas de concreto hidráulico, para ello la teoría que más se utiliza para el análisis de este problema es la de Westergaard, la cual comentaremos a continuación.

Análisis de Westergaard.

El análisis de Westergaard supone la losa del pavimento como una placa delgada descansando sobre un terreno especial, que se considera elástico solamente en dirección vertical. Es decir, la reacción es proporcional a la flexión del terreno conocida con el nombre de "modulo de reacción del terreno". Otras hipótesis, son las de que la losa de concreto es un sólido homogéneo, isótropo y elástico y que la carga de la rueda del avión se distribuye según un área elíptica².

El análisis de Westergaard puede utilizarse para valorar los esfuerzos en una losa y la flexión de la misma, sin embargo no es aplicable a la determinación de esfuerzos y flexiones en el material de cimentación.

Westergaard desarrolló para los aeropuertos una serie de fórmulas de esfuerzos y flexiones con la finalidad de efectuar un análisis más detallado. Los casos ha considerar en el desarrollo de tales fórmulas son:

- Carga aplicada al centro de una losa.
- Carga aplicada en el borde de una losa.
- Carga aplicada en la esquina de una losa.

REF. 2 PLANNING AND DESIGN OF AIRPORTS HORONJEFF AND MCKELVEY ED MC GRAW-HILL 1986

Carga aplicada al centro de una losa.

Para el caso de la carga aplicada al centro de la losa, se supone que la distribución de esfuerzos se lleva a cabo uniformemente sobre un área elíptica, en donde el esfuerzo máximo se encuentra localizado en la base de la losa bajo el centro de la carga.

Carga aplicada en el borde de una losa.

En el caso de la carga aplicada en el borde de la losa, se observa que se presenta mayor esfuerzo producido por estas, debido a que la losa no distribuye en toda su área los esfuerzos generados por las mismas; en este caso el esfuerzo máximo se encuentra localizado a lo largo del borde de la losa, directamente debajo del punto donde se aplica la carga.

Carga aplicada en la esquina de una losa.

Para el caso de la carga aplicada en la esquina de la losa, se tiene que la distribución de esfuerzos es variable ya que la superficie de la misma en este punto no siempre está en contacto con el suelo, situación por la cual la cuantificación del esfuerzo es algo complejo.

En los tres casos mencionados, el módulo de reacción del terreno K se obtiene dividiendo el esfuerzo en el punto considerado, entre la deformación que sufre el terreno; dicho análisis se puede llevar a cabo en laboratorios efectuando una prueba de placa con las condiciones de carga y tipo de suelo a simular, para así determinar los esfuerzos, cargas y módulo de reacción del terreno contemplados para el diseño.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En base a los análisis y pruebas efectuadas por Westergaard, es importante mencionar que la condición más crítica para el cálculo de esfuerzos, tensiones y reacción de terreno, se encuentran contempladas para la condición de carga aplicada al centro de la losa, ya que estas no trabajan en forma independiente sino que lo hacen de manera conjunta.

En base a las teorías antes mencionadas, a continuación comentaremos las principales prácticas empleadas a nivel mundial para la determinación de los espesores de diseño de este tipo de infraestructura aeroportuaria.

- Práctica de Canadá.
- Práctica de Francia.
- Práctica del Reino Unido.
- Práctica de los Estados Unidos.

Cabe mencionar que se realizará un comentario más detallado de la práctica de los Estados Unidos, por ser una de las más utilizadas a nivel mundial así como un ejemplo ilustrativo de la misma.

III.2.2 PRACTICA DE CANADA.

La práctica Canadiense para el diseño de pavimentos de aeropuertos se basa en el concepto de la relación de sobrecarga, el cual es un criterio de la carga impuesta por el avión con respecto a la resistencia del pavimento. A continuación mencionaremos el procedimiento de diseño para los dos tipos de pavimentos que se emplean dentro de la práctica de este país.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

El diseño de pavimentos flexibles se basa en el conocimiento de la resistencia del terreno empleado para la subrasante, la cual de forma general se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$S = (ESWL)(C_1^{10} \cdot C_2^t)$$

Donde:

S = Resistencia de la subrasante en KN.

ESWL = Carga equivalente de la rueda simple del avión analizado en KN.

t = Espesor granular equivalente del pavimento en cm.

C₁ y C₂ = Factores en función del área de contacto de la ESWL.

Es importante mencionar que debido a la existencia de una gran variedad de tipos y modelos de aviones, es necesario contemplar en primer punto un coeficiente de carga (ALR), que es equivalente a la carga del tren típico de los aviones que efectúan el mayor número de operaciones a considerar en el diseño de este tipo de infraestructura. de esta forma para determinar el ALR se tiene que llevar a cabo una serie de estudios en función de las proyecciones de tránsito que se van a presentar; una

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

vez realizados estos estudios, se procede a determinar la resistencia de la subrasante a través del conocimiento del tipo de material a implementar en la construcción o utilizando la fórmula planteada anteriormente.

En el caso de contar con un pavimento ya establecido, los estudios necesarios se realizan en base a los materiales de la infraestructura ya existente.

Conociendo la resistencia de la subrasante se procede a obtener el espesor granular equivalente, que es el espesor total de la estructura que conforma el pavimento. De esta manera conociendo el valor del espesor granular equivalente, se determina el espesor de cada una de las capas que constituyen la estratigrafía del pavimento, esto se realiza multiplicando un factor de equivalencia granular por el espesor correspondiente a cada capa, dicho factor se obtiene en función de la presión de inflado de las ruedas del avión analizado.

Una vez que se conocen los espesores de toda la estratigrafía del pavimento, se compara el espesor granular equivalente con el espesor mínimo requerido para la protección parcial de las heladas, el cual se obtiene en función de las temperaturas mínimas registradas en el lugar seleccionado, a lo largo de 10 años como mínimo

PAVIMENTOS RIGIDOS.

En lo que se refiere a los pavimentos rígidos, el diseño se basa en la determinación del módulo de resistencia del material sobre el cual se apoya la losa de concreto. El espesor de losa necesario para soportar las cargas del avión de diseño, se basa en la limitación a 2.75 MPa de tensión a la flexión, la cual se presenta en la parte interior de la losa directamente debajo del centro de una rueda del tren de aterrizaje del avión. Es importante mencionar que los cálculos de tensión, se realizan de acuerdo

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

con el análisis de Westergaard para las condiciones interiores de carga de la losa. A continuación se comentarán los pasos a seguir para efectuar el diseño de este tipo de pavimento.

- a) Determinación del coeficiente de carga ALR para el avión analizado en base a estudios y proyecciones de tránsito.
- b) Determinación del espesor mínimo requerido para la protección parcial de las heladas.
- c) Estimación de un espesor de losa de concreto como primera iteración.
- d) Determinación del espesor de la subbase requerido mediante la resta del espesor de losa, al espesor total del pavimento estimado.
- e) Determinación del módulo de resistencia del material que se considera para la subbase del pavimento, en función del tipo de material seleccionado y del espesor total estimado en la primera iteración.
- f) Determinación del espesor de losa de concreto para el módulo de resistencia estimado en e).
 - g) Utilizando el espesor de losa determinado en f) como una nueva iteración, y repitiendo los pasos c) a f), igualar los espesores de losa determinados en tales incisos.

Es importante comentar que al igual que en los pavimentos flexibles, el espesor de diseño será el de mayores dimensiones al compararlo con el espesor mínimo requerido para la protección parcial de las heladas.

III.2.3 PRACTICA DE FRANCIA.

La práctica de Francia para el diseño de pavimentos se basa en la aplicación de dos métodos de diseño, el método de cálculo optimizado y el método de cálculo general; tales métodos consideran las resistencias de los terrenos implementados para las capas de apoyo base y subbase, intensidad de tránsito, cargas aplicadas, valores relativos de soporte (VRS) (Terminado utilizado en México.), vida útil, entre otras. A continuación se comentara cada método para cada tipo de pavimento analizado en esta práctica.

PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Método de Cálculo Optimizado.

El método de cálculo optimizado permite calcular un pavimento teniendo en cuenta varios tipos de aviones. Este método tiene la ventaja de que los movimientos reales de cada carga real que se considera puede convertirse en movimientos equivalentes de la misma carga de referencia. En consecuencia, es posible comparar el efecto relativo de los diferentes aviones. Por lo tanto, en la práctica el método de cálculo optimizado se utiliza cuando hay que considerar diferentes tipos de aviones que producen aproximadamente las mismas tensiones en el pavimento, y cuando se dispone de pronósticos de tránsito suficientemente confiables y precisos para la vida útil prevista del mismo.

A continuación mencionaremos los principales datos que se requieren para el diseño del espesor de este tipo de pavimentos:

-- Pronósticos de tránsito

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

-- Valor relativo de soporte del terreno que se empleara como subrasante.

La forma de cálculo consiste en aplicar un "método iterativo" que permite verificar la integridad estructural bajo el tránsito previsto, con respecto a los valores de espesores sucesivos:

ETAPA 1.

Se establece un espesor inicial.

ETAPA 2.

Se calcula el tránsito equivalente del tránsito real previsto, igual a un número de movimientos equivalentes de la carga inicial admisible de la estructura que se ensaya.

ETAPA 3.

Las etapas 1 y 2 se repiten con un espesor menor o mayor, si el resultado fuera inferior o superior a 36 500 movimientos equivalentes, respectivamente, hasta encontrar un espesor en que el tránsito equivalente sea igual o lo más cercano posible a los 36 500 movimientos equivalentes.

De este modo se puede calcular para cada avión considerado como el más crítico, el espesor requerido para su peso máximo teniendo en cuenta el número de movimientos reales con este peso, y suponiendo que será el único avión que utilice el pavimento que se estudia.

Es importante mencionar que el espesor de cada capa se obtendrá de la misma forma, además de que su espesor real será obtenido al dividir el espesor estimado por su factor de equivalencia, situación que se profundiza con mayor detalle en el siguiente método.

Método de Cálculo General.

Este método permite calcular un pavimento en función de una carga de referencia que el pavimento debe soportar. En la práctica, este método de diseño se utiliza principalmente al nivel de los estudios preliminares o a falta de datos precisos. La carga de referencia se evalúa en términos de la utilización prevista del aeropuerto, de las características de los aviones en servicio o etapa de planificación y del papel concreto que ha de desempeñar el pavimento en cuestión.

El proyecto de diseño de pavimentos por este método se basa en las condiciones normales de tránsito, o sea 10 movimientos por día a lo largo de 10 años con la carga nominal. Sin embargo, cuando el tránsito real sea evidentemente diferente de esta hipótesis básica, es posible aplicar un factor de corrección para tener en cuenta la intensidad de tránsito real.

A continuación se mencionaran los principales datos requeridos para el diseño del espesor de pavimento:

-- Carga normal de cálculo.

-- Valor relativo de soporte del terreno a emplear como subrasante.

La forma de diseño se lleva a cabo, por medio de la implementación de gráficas específicas para cierto tipo de tren de aterrizaje, o bien para un avión en especial.

A partir de la utilización de tales gráficas, es posible calcular el espesor equivalente para el VRS del material analizado, de esta forma es posible obtener el espesor total del pavimento sumando los espesores equivalentes de cada capa considerada

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Es importante mencionar que el espesor real de cada capa, se obtiene dividiendo el espesor equivalente calculado entre su correspondiente coeficiente de equivalencia. De esta manera el espesor total de diseño será igual a la suma de los espesores reales de cada una de las capas que constituyen la estratigrafía del pavimento.

PAVIMENTOS RIGIDOS

Para el diseño de los pavimentos rígidos, la práctica de Francia contempla los mismos métodos analizados para los pavimentos flexibles, claro esta, con algunas consideraciones que a continuación mencionaremos.

El criterio de cálculo para pavimentos rígidos no es la presión máxima a nivel del terreno natural o la subrasante, sino el momento admisible de flexión de la losa de concreto y en cuanto a cada método tenemos:

Método de Cálculo Optimizado.

Los principios del método son los mismos que para los pavimentos flexibles, simplemente se debe contemplar como datos necesarios para el diseño, el módulo de reacción de terreno K sobre el cual se soportara la losa de concreto y la tensión admisible de la misma. El procedimiento de cálculo es idéntico al visto en el caso de los pavimentos flexibles

Método de Cálculo General.

El principio es igual al implementado en los pavimentos flexibles de esta práctica, simplemente que se considera en el diseño el módulo de reacción de terreno K sobre el cual se apoya la losa de concreto, así como la tensión admisible de la misma. Básicamente el diseño se efectúa a través de la implementación de gráficas en las que se contempla el tipo de tren de aterrizaje, las cargas estimadas, y los módulos de reacción de terreno sobre el cual se apoyan las losas de concreto.

El espesor de la subbase se estima como mínimo con un espesor de 15cm., con lo que se garantiza un uso eficaz del material a utilizar; de esta forma el espesor total de diseño será igual a la suma del espesor de la subbase más el espesor de la losa de concreto para el avión analizado.

Es importante mencionar que el método de cálculo general, es más eficiente que el optimizado para el diseño de pavimentos rígidos.

III.2.4 PRACTICA DEL REINO UNIDO.

La práctica del Reino Unido para el diseño de pavimentos de aeropuertos, se basa en la consideración del uso ilimitado de un avión de diseño, tomando en cuenta la carga resultante de la interacción del conjunto de ruedas del tren de aterrizaje con el pavimento.

Al igual que las practicas antes mencionadas dentro de este apartado, en el Reino Unido se consideran dos tipos de pavimentos que se pueden adoptar dentro de la infraestructura aeroportuaria; los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles los cuales comentaremos a continuación.

PAVIMENTOS RIGIDOS.

Para el diseño de los pavimentos rígidos, las consideraciones que se contemplan son adoptar un modelo simple para la estratigrafía del pavimento, es decir, dos capas de soporte losa de concreto y subbase, cuya finalidad es transmitir las cargas generadas por el peso de los aviones, hasta el terreno natural o la subrasante; la forma de establecer un espesor de diseño se realiza mediante el análisis del modelo adoptado según la teoría de Westergaard, en donde se tiene muy en cuenta el efecto de los conjuntos de ruedas adyacentes del tren de aterrizaje, hasta tres veces el radio de su rigidez relativa; cabe mencionar que este análisis es esencial debido a que en la actualidad, la flota mundial de aviones tiene mayores dimensiones, pesos y disposiciones de los trenes de aterrizaje, situación por la cual los estudios deben realizarse más detalladamente.

PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En cuanto al diseño de pavimentos flexibles, se sigue un modelo semejante al de los pavimentos rígidos, con la variante de que se consideran tres capas dentro de la estratigrafía del pavimento, capa

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

de concreto asfáltico, base y subbase, las cuales se apoyan sobre la subrasante o el terreno natural. Dentro del diseño de este tipo de pavimentos se implementa el uso de VRS, preparado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América; asimismo se comprende los factores de deflexión de Bussinesq y se tiene en cuenta la interacción entre los conjuntos de ruedas del tren de aterrizaje adyacentes, hasta una distancia de 20 radios.

Todos los problemas prácticos de cálculo dentro de estos métodos de diseño, se resuelven utilizando factores de equivalencia para relacionar los materiales y espesores de las capas con los modelos teóricos, los cuales son base de evaluación para los espesores de construcción de este tipo de infraestructura aeroportuaria.

III.2.5 PRACTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS.

La práctica de los Estados Unidos para el diseño de pavimentos de aeropuertos, se encuentra basada en la aplicación de los nuevos métodos establecidos en 1978 por la Administración Federal de Aviación (FAA); dichas consideraciones se ven enfocadas a la adopción del método del valor relativo de soporte (VRS) para el cálculo de pavimentos flexibles, y para el caso de pavimentos rígidos, establecer la hipótesis de carga sobre los bordes de las losas de concreto, es importante mencionar que ahora se establece un sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), lo que permite realizar cálculos más detallados y eficientes conforme a las exigencias que se presenten en cada caso a realizar.

El cambio presentado por la FAA al sistema unificado de clasificación de suelos, se baso en resultados de investigaciones en donde se compararon varios métodos de clasificación; tales investigaciones permitieron obtener conclusiones de que el sistema unificado de clasificación de suelos; tales investigaciones permitieron obtener conclusiones de que el sistema unificado de clasificación de suelos, es superior para revelar las propiedades de los terrenos analizados para la construcción de pavimentos, ya que clasifica los materiales a base del tamaño del grano, y establece posteriormente subgrupos sobre las constantes de plasticidad con lo que se obtiene información más exacta y confiable. A continuación presentaremos una tabla de clasificación de terrenos para la aplicación de pavimentos de aeropuertos, según el sistema unificado de clasificación de suelos.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

DIVISIONES PRINCIPALES.			Símbolo de grupos.	
Suelos de grano grueso; más del 50% retenido en la malla No. 200.	Grava 50% o más de la fracción gruesa retenida en la malla No. 4.	Grava limpia	GW. GP.	
		Grava con finos.	GM. GC.	
	Arena menos del 50% de la fracción gruesa retenida en la malla No. 4.	Arena limpia	SW. SP.	
		Arena con finos.	SM. SC.	
	Suelos de grano fino; 50% o menos retenido en la malla No. 200.	Limos y arcillas. Límite líquido 50% o menos.		ML. CL. OL.
		Limos y arcillas. Límite líquido superior al 50%.		MH. CH. OH.
Suelos muy orgánicos.		PT.		

A continuación se presenta la nomenclatura de la tabla anterior:

GW - gravas homogéneas y mezclas gravas-arenas, con poco o ningún fino.

GP - grava no homogénea y mezclas grava-arena, con poco o ningún fino.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

GM - arcilla limosa, mezclas grava-arena-limo.

GC - grava arcillosa, mezclas grava-arena-arcilla.

SW - arenas homogéneas y arenas con grava, poco o ningún fino.

SP - arenas no homogéneas y arenas con grava, poco o ningún fino.

SM - arena limosa, mezclas arena-limo.

SC - arena arcillosa, mezclas arena-arcilla.

ML - limo inorgánico, arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa.

CL - arcilla inorgánica de plasticidad baja a mediana, arcilla con grava, arcilla limosa, arcilla pobre.

OL - limo orgánico y arcilla limosa orgánica de baja plasticidad.

MH - limo inorgánico, arena fina micácea o diatomácea o limo, limo plástico.

CH - arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcilla grasa.

OH - arcilla orgánica de plasticidad media a alta.

PT - turba, barro y otros suelos muy orgánicos.

Para la determinación de los requisitos de espesores, se consideran un gran número de variables interrelacionadas que con frecuencia son difícil de cuantificar, por tal motivo la determinación de espesores, debe basarse en análisis teóricos de distribución de cargas sobre los pavimentos, así como en estudios sobre las condiciones reales de operación y tránsito.

Los métodos de cálculo establecidos por la FAA, en la actualidad contemplan que el diseño debe realizarse previendo el peso máximo de despegue de los aviones, situación por la cual supone que el 95% del peso bruto del avión, es soportado por los trenes de aterrizaje principales, y que el 5% restante lo soporta el tren de nariz. Es importante mencionar que se considera el peso máximo con el objeto de proporcionar cierto grado de seguridad al cálculo de este tipo de infraestructura aeroportuaria.

Debido a la gran variedad de tipo y modelos de aviones, es necesario establecer tipos y geometrías

de trenes de aterrizaje con la finalidad de reducir el número de variables dentro del diseño de pavimentos, por tal motivo dentro del cálculo se contemplan las siguientes configuraciones de trenes de aterrizaje:

- Rueda simple.
- Rueda doble.
- Tren en tandem.
- Tren en doble tandem.

Una vez establecidos los tipos de configuración de tren de aterrizaje, se contempla para el diseño del pavimento el tipo de avión que efectuara el mayor número de operaciones, y en base a ello se selecciona el tren a implementar calculando el número de salidas anuales equivalentes, con la finalidad de considerar al máximo la intensidad de tránsito que se presentara en este tipo de infraestructura, cabe mencionar, que el avión de diseño no siempre es el de mayores dimensiones y peso, sino el que requiere de mayor espesor.

Dado que el pronóstico de tránsito es una mezcla de diferentes aviones que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tránsito en lo que respecta al avión de diseño. En primer lugar deben convertirse todos los aviones al mismo tipo de tren de aterrizaje que el avión de diseño, para lo cual se contemplan los siguientes factores de conversión.

PARA CONVERTIR DE	A	MULTIPLIQUESE LAS SALIDAS POR.
Rueda simple	Ruedas dobles	0.8
Rueda simple	Tandem.	0.5
Ruedas dobles	Tandem.	0.6
Tandem doble	Tandem.	1.0
Tandem	Rueda simple	2.0
Tandem.	Ruedas dobles	1.7
Ruedas dobles	Rueda simple	1.3
Tandem doble	Ruedas dobles.	1.7

En segundo lugar, una vez que se han agrupado los aviones en la misma configuración de tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes de el avión de diseño. se determinan según la fórmula siguiente:

$$\log R_1 = \log R_2 \times (W_2 / W_1)^{1/2}$$

Donde:

R_1 = Salidas anuales equivalentes del avión de diseño

R_2 = Salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje del avión de diseño.

W_1 = Carga sobre la rueda de el avión de diseño

W_2 = Carga sobre la rueda de el avión en cuestión

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Para este cálculo se supone que el 95% del peso bruto del avión ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal. En este cálculo, los aviones de fuselaje ancho requieren una atención especial la cual se lleva a cabo tratando cada fuselaje ancho como un avión con tandem de cuatro ruedas, de 300 000 lb (136 100 Kg), al calcular las salidas anuales equivalentes.

En el caso de contar con una intensidad de tránsito superior a 25 000 salidas anuales equivalentes, se debe implementar una corrección en el espesor de diseño debido a que este se someterá a condiciones más severas de trabajo, y en consecuencia se tendrán períodos menores de tiempo para poder proporcionar el mantenimiento pertinente.

El incremento del espesor se basa en investigaciones y observaciones de pavimentos en servicio, para lo cual se supuso una relación logarítmica entre el porcentaje de espesor y las salidas anuales equivalentes de los aviones. A continuación se muestra una tabla en la que ya se ha contemplado dicha relación y con la cual podemos calcular el espesor de diseño para ocasiones en que se exceda el número de salidas ya mencionadas.

Nivel Anual de Salidas.	Porcentaje de Espesor de 25 000 salidas.
50 000	104
100 000	108
150 000	110
200 000	122

Es importante mencionar que en el caso de los pavimentos flexibles, el espesor de la carpeta de concreto asfáltico se aumenta en 1 pulgada (3.0cm) independientemente del incremento contemplado.

A continuación mencionaremos las consideraciones que supone la práctica de los Estados Unidos para el diseño de los pavimentos flexibles y rígidos con mayor detalle.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

Dentro de esta práctica se considera que este tipo de pavimentos se encuentran constituidos por una capa superior de concreto asfáltico; una capa intermedia denominada base, y una capa inferior llamada subbase, las cuales se apoyan en el terreno natural o la subrasante a implementar en la construcción.

El procedimiento de diseño se lleva a cabo considerando los siguientes datos:

- Peso bruto del avión de diseño.
- Valor relativo de soporte del material a considerar.
- Número de salidas anuales equivalentes.
- Tipo de tren de aterrizaje.

Es importante mencionar que dentro de esta forma de diseño, se estima un espesor de 3 a 4 pulgadas para las superficies de concreto asfáltico, el cual depende del tipo de zona a considerar (Zonas críticas, fajas centrales de la pista y plataformas con factor 1.0; y Zonas no críticas, orillas de las pistas y calles de rodaje de salida con factor 0.7 y 0.9 respectivamente); y de las cuales se comentara más adelante.

El espesor de cada una de las capas, se determina a través de gráficas especiales para cada tipo de configuración de tren de aterrizaje. A continuación observaremos una gráfica representativa para el diseño de pavimentos flexibles y sobre la cual se basará la solución del ejemplo ilustrativo

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

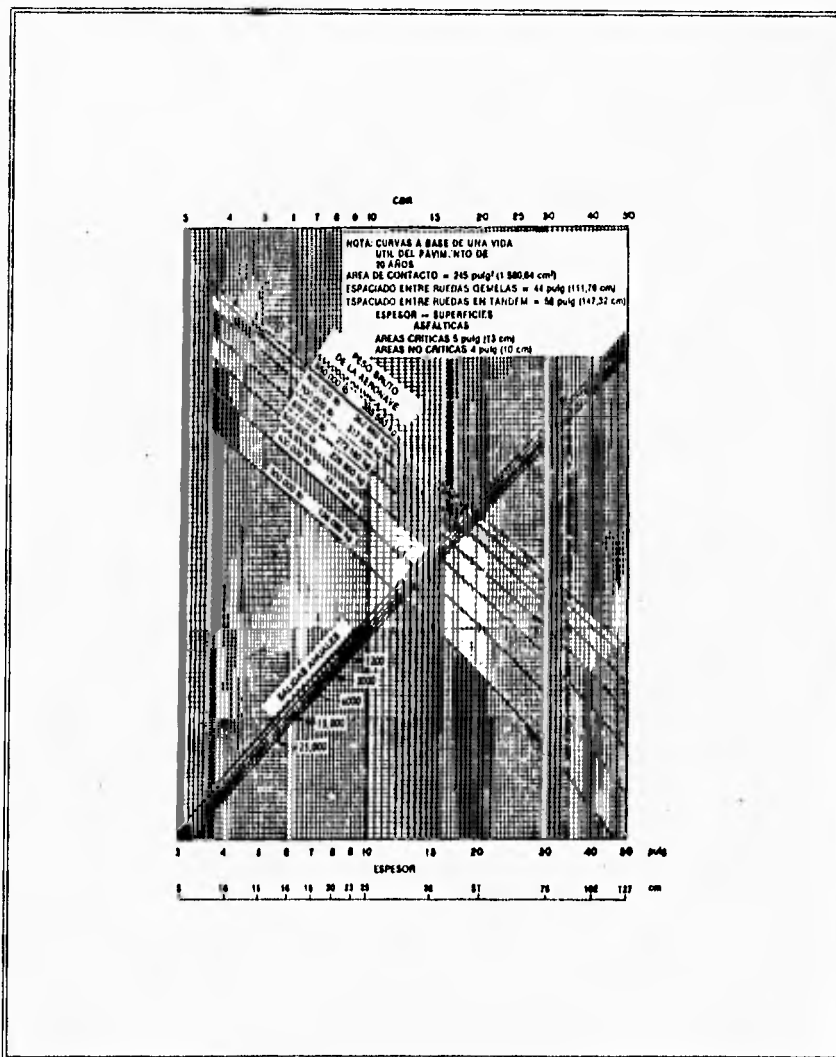


FIG.30.

Curvas de diseño para pavimentos flexibles para áreas críticas, B-747-100, SR, 200 B, C, F.

El espesor total del pavimento, se obtiene sumando el espesor de cada una de las capas que constituyen al pavimento. El espesor de la capa de concreto asfáltico se obtiene de forma directa de las gráficas dependiendo del tipo de zona; el espesor de la base será la resta del espesor total obtenido para el VRS de dicho material en gráficas, menos el espesor de la carpeta asfáltica; y el espesor de la subbase es la resta del espesor total para el VRS de la subbase en gráficas, menos la suma de espesores de carpeta y base respectivos.

Para visualizar mejor el punto anterior, veamos en la figura 31 los espesores respectivos y el espesor total del pavimento

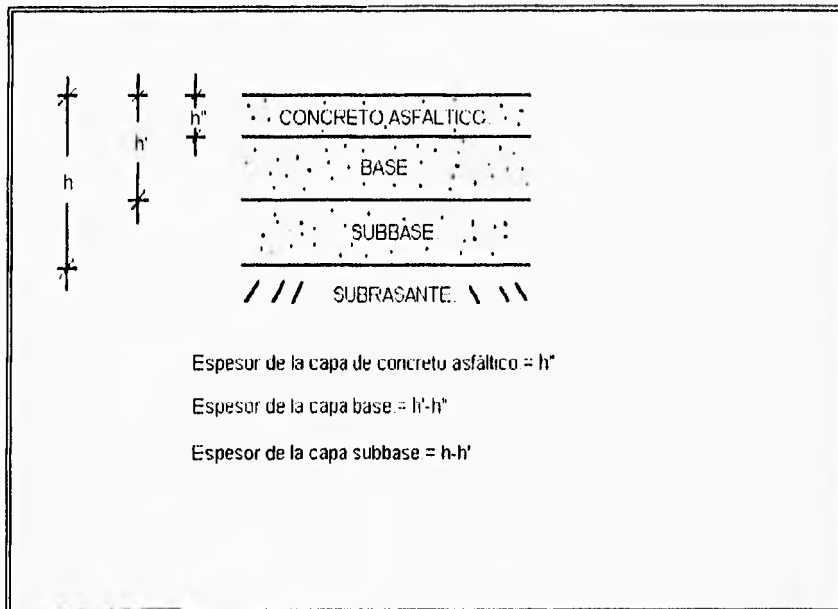


FIG.31.

Esquema de espesores de pavimentos flexibles.

Es importante mencionar que si $h' - h''$ es mayor igual que el espesor mínimo requerido de la base, y el cual se obtiene de la gráfica de la figura 37, se queda como espesor de diseño para esta capa el calculado, en el caso de que $h' - h''$ sea menor que el espesor mínimo requerido, se opta por este último realizando las reducciones correspondientes. A continuación observamos la figura 32.

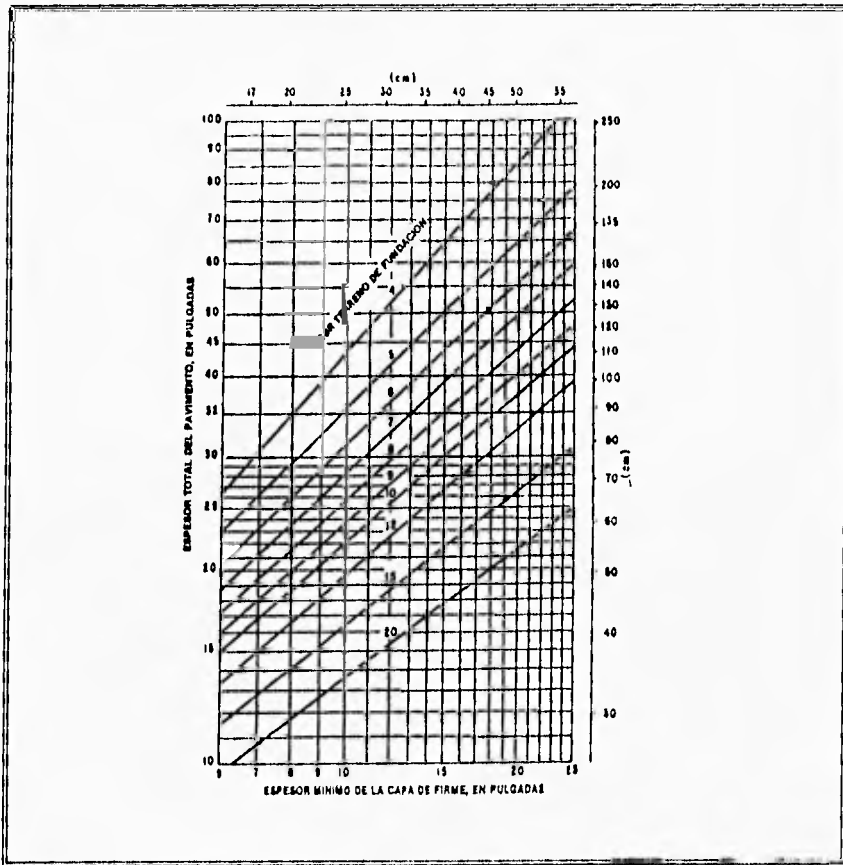


FIG.32.

Requisitos mínimos de espesor de la capa base.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

En cuanto a las zonas críticas y no críticas de las que se había comentado con anterioridad, se tienen las siguientes consideraciones:

Primera.

Las calles de rodaje de salida son zonas no críticas, solo las hay en las plataformas, pistas y resto de las calles de rodaje del aeropuerto.

Segunda.

Las zonas críticas y no críticas dependen de la velocidad del avión y de la carga ejercida sobre el pavimento.

Tercera.

Las estructuras calculadas como zonas no críticas y críticas quedan a juicio del proyectista, el cual estima la posibilidad de falla del material del pavimento; ante tal situación se implementan materiales tanto de bases como de subbases estabilizados, es decir, con algún tipo de aditivo o cementante el cual de alguna manera mejora las condiciones del pavimento. A continuación en las tablas siguientes se presentan los factores de equivalencia para bases y subbases estabilizadas, los cuales se dividen por los espesores respectivos.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

MATERIAL.	VALORES DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA.
Capa de rodamiento asfáltica.	1.7-2.3
Capa de base asfáltica.	1.7-2.3
Capa de base asfáltica aplicada en frío.	1.5-1.7
Capa de base mezclada en le lugar.	1.5-1.7
Capa de base tratada con cemento.	1.6-2.3
Capa de base de cemento sobre el terreno.	1.5-2.0
Capa de base con agregados triturados	1.4-2.0
Capa de subbase de grava.	1.0

Factores de equivalencia recomendados para la subrasante estabilizada.

MATERIAL.	VALORES DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA.
Capa de rodamiento asfáltica.	1.2-1.6
Capa de base asfáltica.	1.2-1.6
Capa de base asfáltica aplicada en frío.	1.0-1.2
Capa de base mezclada en le lugar.	1.0-1.2
Capa de base tratada con cemento.	1.2-1.6
Capa de base de cemento sobre el terreno.	no se aplica.
Capa de base con agregados triturados	1.0
Capa de subbase de grava.	no se aplica.

Factores de equivalencia recomendados para la subrasante estabilizada.

La aplicación de estos valores sólo se puede efectuar en el caso de tener VRS menores de 80 en las bases y VRS menores de 20 en las subbases.

PAVIMENTOS RIGIDOS.

El diseño de pavimentos rígidos, se basa en el análisis de Westergaard de una losa de concreto cargada en el borde de una junta, la cual se apoya sobre una capa de material resistente denominado subbase. Tal suposición se sustenta en investigaciones que revelan que las grietas producidas por la carga se generan en el borde de la junta y se propagan hacia el interior de la losa de concreto, por tal motivo la base de diseño se modificó desde el interior hasta el borde de la junta.

Al igual que para los pavimentos flexibles se han preparado gráficas que contemplan los siguientes parámetros: Resistencia del concreto a la flexión, módulo de reacción del terreno empleado como subrasante, peso bruto del avión, salidas anuales equivalentes y tipo de tren de aterrizaje; cabe mencionar que las gráficas de diseño sólo proporcionan el espesor de la losa de concreto, los espesores de las demás capas e determinan por separado y el espesor total del pavimento es la suma de dichas capas.

El espesor requerido de concreto está relacionado con la resistencia del mismo, es por ello que esta resistencia se evalúa por medio del método de resistencia a la flexión, ya que el trabajo primario de las losas de concreto es a la flexión; sin embargo, cabe mencionar que para el diseño del concreto, este se calcula para que trabaje a tensión provocada por una flexión y no a tensión pura.

En cuanto a el módulo de resistencia del terreno K , este se considera como constante elástica del material que soporta el pavimento rígido y una indicación del valor de resistencia del material de apoyo; su determinación es en base a suposiciones de un cierto espesor estimado (mínimo 4 pulgadas), y

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

a resultados de laboratorio del material de subrasante ($K_{\text{subrasante}}$). A continuación observaremos en la figura 33 la gráfica que nos permite determinar el módulo de reacción del terreno de subrasante para pavimentos rígidos.

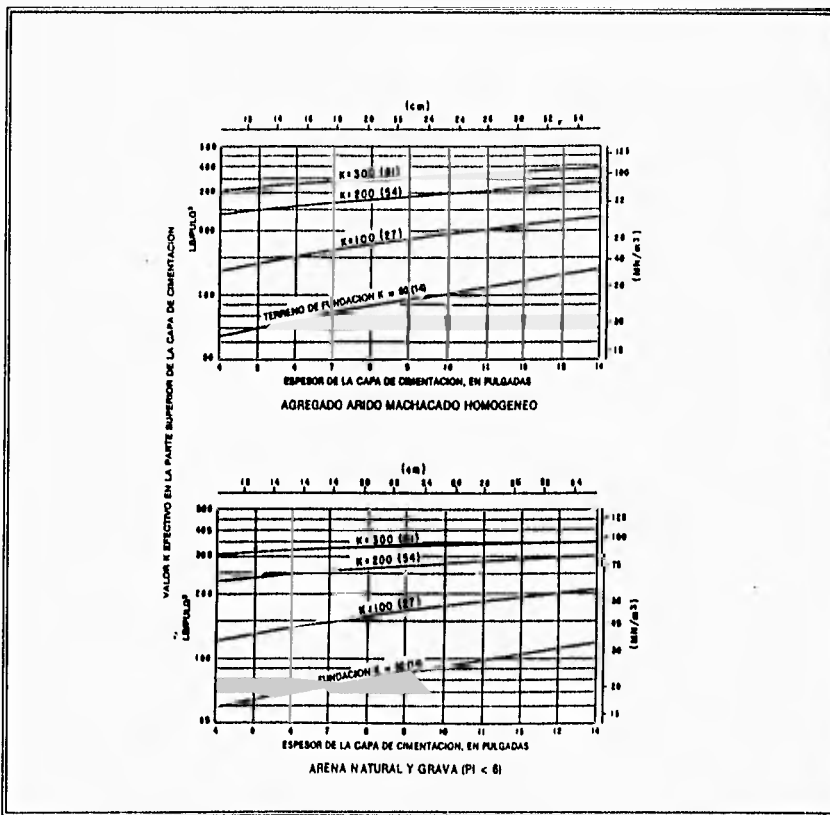


FIG.33.

Curvas para determinar el módulo de reacción del terreno de la subbase en función de la K de la subrasante.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Las consideraciones del peso bruto del avión y salidas anuales equivalentes, se realizan de la misma forma que para el caso de pavimentos flexibles de esta práctica.

Por último al igual que en los pavimento flexibles, se consideran zonas críticas y no críticas dentro del diseño de los pavimentos; las zonas críticas serán las fajas centrales de las pistas y plataformas las cuales no tendrán factor de reducción; en cuanto a las zonas no críticas calles de rodaje de salida y orillas de las pistas, estas tendrán un factor de reducción de 0.9 en su espesor establecido en el diseño. A continuación observaremos una de las gráficas principales para el diseño de este tipo de pavimentos y al igual que para los pavimentos flexibles sobre la cual se basará la solución del ejemplo ilustrativo.

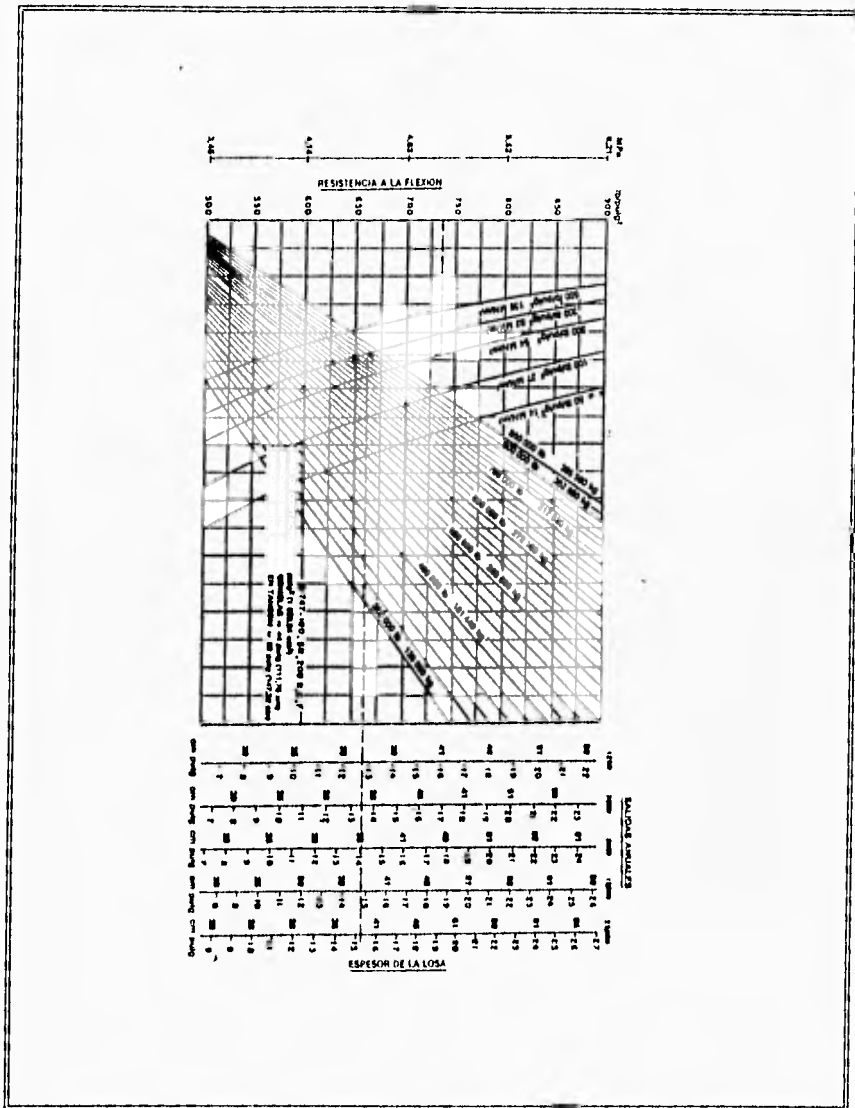


FIG.34.

Curvas de diseño de pavimentos rígidos, B-747-100, SR, 200 B, C, F.

III.2.6 EJEMPLO ILUSTRATIVO.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

Calcular por medio de la práctica de los EUA el espesor de diseño para una flota de horizonte específico, en donde el avión de diseño será un B 747-100, se presupone que la vida útil del pavimento será de 20 años.

TIPO DE AVION	DESPEGUES ESTIMADOS ANUALES	PESO DE DESPEGUE (Kg)	TIPO DE TREN DE ATERRIZAJE
737-200	5300	49 940	Doble
727-200	7200	94 000	Doble
707-320	540	148 500	2xDoble-Tandem
747-100	630	351 000	4xDoble-Tandem
DESPEGUES CONVERTIDOS AL AVION DE DISEÑO	CARGA POR RUEDA (Kg).	SALIDAS ANUALES EQUIVALENTES	
5300(0.6)=3180	49 940(0.95)/4=11 861	Log R _i = Log 3180(11 861/16 162) ^{1/2} =1001	
7200(0.6)=4320	94 000(0.95)/4=22 325	Log R _i = Log 4320(22 325/16 162) ^{1/2} =18 740	
540	148 500(0.95)/4=17 634	Log R _i = Log 540(17 634/16 162) ^{1/2} =715	
630	351 000(0.95)/4=16 162	Log R _i = Log 630(16 162/16 162) ^{1/2} =630	
		----- 21066	

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Cabe mencionar que el avión de diseño B 747-100 se consideró con tren en doble tandem de 136 000Kg debido a que es de fuselaje ancho.

Suponiendo de estudios de mecánica de suelos los siguientes datos para el VRS tenemos:

- VRS Subrasante 8.
- VRS Subbase 15.
- VRS Base 80.

En la gráfica de la figura 30 con un peso de 351 500Kg= 774 229lbs y tomando como valor para la lectura 800 000lbs tenemos:

Para VRS= 8, $W= 800\ 000\text{lbs}$ y Salidas Anuales Equivalentes= 21 086; $h= 38''$

Para VRS= 15, $W= 800\ 000\text{lbs}$ y Salidas Anuales Equivalentes= 21 086; $h'= 24''$

Por recomendación para este tipo de avión $h''= 5''$ en zonas críticas y $h''= 4''$ en zonas no críticas.

Ahora bien revisando el espesor mínimo de base, para un espesor total de 38" y VRS de la subrasante= 8; el espesor mínimo de base es de 16.20" el cual se obtuvo de la gráfica de la figura 32. Dado que el espesor de base obtenido $h''= 24-5= 19''$ es mayor que 16.20", por lo tanto se queda el espesor calculado y no se corrige.

De esta manera esquemáticamente podemos visualizar los resultados obtenidos, tanto para zonas críticas como no críticas en la figura 35

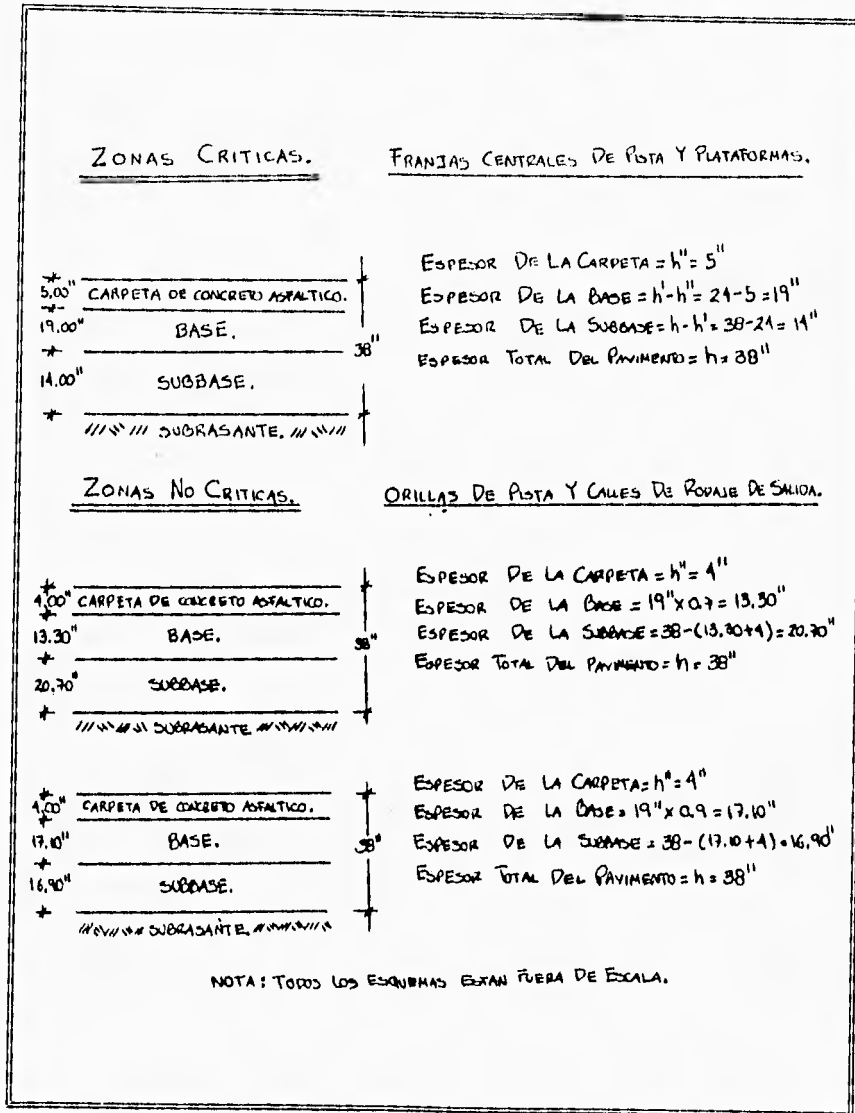


FIG.35.

Secciones de pavimentos Flexibles para zonas criticas y no criticas.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

PAVIMENTOS RIGIDOS.

El diseño se realizará para el mismo tipo de avión del punto anterior y con algunos datos ya obtenidos.

Considerando los siguientes datos tenemos:

-- Resistencia a la flexión de concreto $f_r = 650 \text{ lb/in}^2 = 45.64 \text{ Kg/cm}^2$.

-- $K_{\text{subrasante}} = 100 \text{ lb/in}^3$.

-- Espesor de la subbase 14".

Por medio de la gráfica de la figura 33 obtenemos el modulo de reacción del terreno para el diseño, el cual será $K = 225$; ahora bien:

Para $f_r = 650 \text{ lb/in}^2 = 45.64 \text{ Kg/cm}^2$, $K = 225$, $W = 800\,000 \text{ lbs}$ y Salidas Anuales Equivalentes = 21 086 en la gráfica de la figura 34 obtenemos los espesores de losa de concreto hidráulico siguientes:

$$h_{15\,000} = 15.9''$$

$$h_{25\,000} = 16.4''$$

Interpolando entre ambos valores, el espesor para nuestras Salidas Anuales Equivalentes = 21 086 será:

$$h_{21\,086} = 16.20''$$

Visualizando esquemáticamente los resultados obtenidos tanto para las zonas críticas como las zonas no críticas, tenemos la figura 36 que a continuación se muestra.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Antiquitos

<u>ZONAS CRITICAS.</u>		<u>Formas Criticas de los Pavimentos Antiquitos.</u>	
1.0	<u>LOS DE DISEÑO NORMAL.</u>	+	Forma de la zona de transición (1, 10)
2.0	<u>SECCION</u>	30.25'	Forma de la zona (1)
3.0	<u>Forma de la zona de transición</u>	+	Forma de la zona de transición (1, 11)
<u>ZONAS CRITICAS.</u>		<u>Formas Criticas de los Pavimentos Antiquitos.</u>	
1.0	<u>LOS DE DISEÑO NORMAL.</u>	+	Forma de la zona de transición (1, 10)
2.0	<u>SECCION</u>	30.25'	Forma de la zona (1)
3.0	<u>Forma de la zona de transición</u>	+	Forma de la zona de transición (1, 11)

III.2.7 PRINCIPALES CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.

MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Antes de comentar los procedimientos básicos para el diseño de mezclas asfálticas, es importante mencionar que existen tres tipos de estas:

- Mezclas elaboradas en caliente y en planta (alta calidad).
- Mezclas elaboradas en frío y en planta (menor calidad).
- Mezclas elaboradas en sitio (no recomendables para aeropuertos).

La elección del tipo de mezcla se realiza en base a las especificaciones consideradas para la construcción de la carpeta; por lo regular las mezclas elaboradas en caliente y en planta son las más convenientes para la construcción de carpetas de aeropuertos, ya que brindan mayor resistencia y presentan mejores coeficientes de trabajo.

La forma de diseño de las mezclas asfálticas, consiste en seleccionar un material pétreo en base a estudios de granulometría, contracción lineal, afinidad con el asfalto, desgaste, peso volumétrico, densidades, absorción, equivalente de arena y porcentaje de lajeo.

Una vez seleccionado el material pétreo adecuado para el proyecto, se elabora una curva granulométrica con ayuda de la prueba Marshall.

La prueba Marshall consiste en preparar especímenes de material pétreo con los siguientes contenidos de asfalto: uno con 0.5% menos que el contenido mínimo de cubrimiento total, otro con este contenido y cuatro con contenidos mayores cada uno en 0.5% a partir del contenido mínimo de asfalto

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

La elaboración de los especímenes se realiza utilizando un molde metálico de 10cm de diámetro y se usa una cantidad de material, que una vez compacto, tenga una altura de 6.4 ± 0.32 cm. La compactación del material a una temperatura de 100°C se realiza por medio de una placa que cubre toda la superficie del material y que recibe los impactos de un martillo de 4.5Kg que se deja caer desde una altura de 46cm. Se proporciona 75 golpes por la parte superior y luego se voltea el molde para darle otros 75 golpes por el otro lado; a cada espécimen se le calcula el peso volumétrico, su relación de vacíos y los del agregado mineral. Posteriormente y a una temperatura de 60°C , se llevan a la ruptura por medio de compresión lateral, confinada en forma parcial, lo que se hace colocando el espécimen entre 2 mordazas que lo cubren lateralmente pero dejando un espacio y se le da carga hasta la ruptura. Para cada espécimen se reporta la carga máxima denominada estabilidad y también la deformación en el momento de la ruptura o sea el flujo, el cual se mide por medio de un extensómetro que se coloca sobre las mordazas³.

En base a los datos obtenidos, estabilidad y flujo de deformación, se calcula el porcentaje de cemento asfáltico requerido para tales valores, lo cual se realiza a través de la implementación de gráficas que relacionan los dos aspectos ya mencionados así como el peso volumétrico y la relación de vacíos; conocido el porcentaje de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla, se selecciona el número con el cual se piensa trabajar, dicha numeración depende de las características de elasticidad, grado de dureza, temperatura de fusión y tiempo de fraguado; para cementos asfálticos del 1 al 4 se tiene fraguado lento, baja temperatura de fusión y gran elasticidad; para los del 5 al 8 todas las características son del tipo medio; y para los números del 9 al 12 se tiene un fraguado rápido, alta temperatura de fusión y alta dureza. En nuestro país se utiliza por lo general en el diseño de mezclas asfálticas, el cemento No. 6 lo cual caracteriza condiciones de tipo medio.

Por último es importante mencionar que los volúmenes de mezcla asfáltica se determinan en base a las dimensiones del espesor de la carpeta de concreto asfáltico, su ancho y su longitud independientemente de la variación de espesores que se tengan.

MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO.

El diseño de mezclas de concreto hidráulico se lleva a cabo dosificando los materiales que constituyen a este tipo de material según las especificaciones de proyecto; a continuación comentaremos en forma general dicha actividad.

Una vez que en el laboratorio se ha aprobado la calidad de los agregados, el agua y el cemento, y se ha elegido el aditivo a emplearse (salvo caso necesario), se procede a la dosificación del concreto.

Ordinariamente, los pavimentos de concreto hidráulico para aeropuertos se diseñan para una resistencia a la flexión de 45-50 Kg/cm² expresada como, $f_r = 45-50 \text{ Kg/cm}^2$.

Aunque ya se han desarrollado sistemas de cálculo para proporcionar los concretos de las mezclas, su difusión ha sido escasa, por tal motivo los métodos tradicionales de proporcionamiento para la resistencia son los basados en la compresión simple del concreto f_c , es por ello que se determina de forma más práctica la resistencia a la flexión, multiplicando el $(f_c)^{1/2}$ por un factor de aplicación C, cuyo valor oscila entre 7 y 15; de esta manera la resistencia a la flexión es $f_r = C (f_c)^{1/2}$.

El procedimiento de diseño se efectúa conociendo por medio de la resistencia de proyecto, la relación agua-cemento a través de gráficas ya preestablecidas; dicha relación es de vital importancia para el diseño de la mezcla ya que en base a esta, se determina la cantidad de cemento a implementar en el diseño.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Una vez determinada la cantidad de cemento, se procede a la selección del mismo; entre los principales tipos de cementos utilizados en el diseño de mezclas de concreto tenemos:

- Cemento Tipo I (NORMAL).
- Cemento Tipo II (ADICIONADO CON PUZZOLANAS).

Este tipo de cementos se utiliza por presentar características y propiedades normales de fraguado, situación que no repercute en las reacciones químicas de la mezcla.

La cantidad de agua para la dosificación de la mezcla, se determina en base al Tamaño Máximo del Agregado (TMA) ha considerar, y al revenimiento ya predeterminado. Existen un gran número de gráficas que relacionan los parámetros ya mencionados, y que nos permiten calcular las cantidades necesarias de agua (litros) para la dosificación de este elemento, este tipo de gráficas son editadas por el Instituto Americano del concreto ACI, y por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCyC en nuestro país.

En cuanto a los agregados se refiere, su dosificación se puede realizar de dos formas, en peso o en volumen.

La dosificación de agregados por volumen se lleva a cabo determinando la densidad aparente de estos, para lo cual se toma en cuenta una cantidad de material completamente seco, se pesa y se vuelve a pesar introducido en el agua; dicha relación entre el peso seco y la pérdida de peso al introducirlo en el agua dará a conocer la densidad aparente.

Por otra parte, es necesario pesar la unidad de volumen para conocer el tanto por ciento de huecos

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

por diferencia entre lo que pesaría si no existieran huecos, y lo que pesa por unidad de volumen existiendo los mismos.

De esta forma el volumen de agregados se obtiene multiplicando el volumen de mortero considerado, por el peso específico del material seleccionado y dividiendo dicho producto por el peso húmedo del material analizado.

En cuanto a la dosificación por peso, esta efectúa el mismo procedimiento que para el caso de la dosificación por volumen, salvo que no se divide el producto antes mencionado entre el peso húmedo del material seleccionado.

Debido a que estos procedimientos se vuelven algo complejos, existen gráficas en las cuales se obtienen los volúmenes necesarios en base al TMA y el % de huecos, situación que facilita la dosificación de los agregados.

En el diseño de las mezclas de concreto, se deben contemplar las condiciones climatológicas de trabajo, ya que estas tienen una estrecha relación en el comportamiento de la misma, por ejemplo, a extremas temperaturas las mezclas de concreto pierden altos porcentajes de humedad, lo que se refleja en una disminución de la relación agua-cemento y por consecuencia pérdida de la resistencia de la mezcla; en temperaturas bajas, las reacciones químicas de la mezcla se retardan volviendo la mezcla menos eficiente y poco trabajable.

Para contrarrestar los efectos mencionados y otros que pudieran presentarse, es necesario considerar en el diseño el uso de aditivos que contrarresten algunos de estos problemas, entre los principales aditivos se tienen los retardantes, fluidificantes, acelerantes, entre otros.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Por último es importante mencionar que los volúmenes de mezcla de concreto se determinan en base a las dimensiones del espesor de la carpeta, su ancho y su longitud independientemente de la variación de espesores que se tengan.

III.3 CONSTRUCCION.

III.3.1 DESMONTE Y EXCAVACION.

La primera labor a efectuar para la construcción de un aeropuerto y por consecuencia de sus pavimentos es la preparación del terreno, por lo general existe la necesidad de derribar árboles, arbustos, derruir edificaciones, etc. lo cual puede realizarse por medio de maquinaria especial que más adelante comentaremos.

La segunda labor, consiste en el despalle, llamándose así a la remoción de la capa vegetal que generalmente contiene raíces, humus y demás materiales. Esta materia no es generalmente aprovechable por carecer de estabilidad suficiente para poder mezclarla con terraplenes, y por tal razón se amontona en algunos sitios de las proximidades, bien para desecharla, vertiéndola en los alrededores del campo, bien para extenderla en una delgada capa sobre la superficie del aeropuerto, formando así un terreno capaz de hacer crecer rápidamente el césped y demás plantas estabilizadoras de la superficie.

La tercera labor consiste en efectuar las actividades pertinentes para establecer las terracerías sobre las cuales se iniciara la construcción del pavimento seleccionado

Una vez realizadas estas tres labores se procede a la excavación del terreno de forma variable, según la maquinaria de que se disponga, básicamente las formas de excavación son las siguientes:

- Excavación a mano o con arados.
- Excavación con palas.

- Excavación con traillas.
- Excavación con explosivos (rara vez implementada).

EXCAVACION A MANO O CON ARADOS.

En el caso de emplear estos medios, la manera más conveniente de comenzar es por medio del ataque lateral, excavando un volumen dado y estableciendo la carga paralela al frente de ataque a desalojar, para posteriormente continuar con volúmenes subsecuentes hasta terminar la labor.

EXCAVACION CON PALAS.

En este caso se puede emplear el procedimiento anterior, pero las palas necesitan cambiar frecuentemente de sitio en el caso de tener un número reducido de ellas, y en caso de disponer de bastante material hay que hacer el ataque del terreno por dos frentes en forma simultanea con el objeto de maximizar las operaciones.

EXCAVACION CON TRAILLAS.

El empleo de estos medios en la excavación de desmontes es la de mayor rendimiento de todas las formas que se utilizan. El trabajo se establece de tal manera que el arranque y carga de material se efectúa en pendiente, con lo que se obtiene mayor carga para la misma potencia tractora, y al mismo tiempo se mezclan los materiales de los diferentes estratos, consiguiéndose así mayor uniformidad y estabilidad del terreno en los terraplenes.

EXCAVACION CON EXPLOSIVOS.

Este tipo de excavación empleada rara vez es necesaria en zonas rocosas, y en las que son propicias para la obtención de áridos para los pavimentos. Las rocas se fracturan por voladura y se extraen por medio de palas u otros medios mecánicos.

A continuación en las figuras 37 a 42, observamos maquinas empleadas para realizar estas labores.

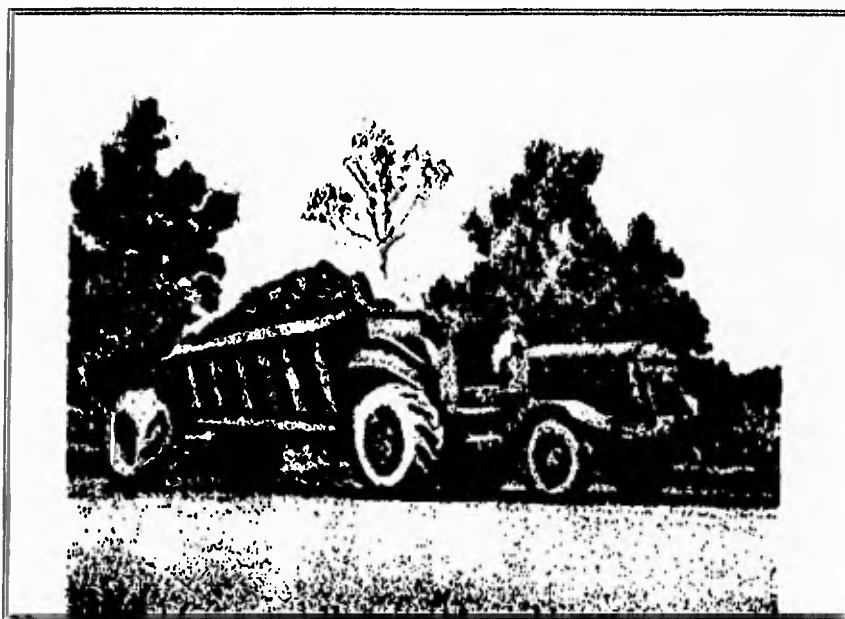


FIG. 37.

Remolque montado sobre ruedas.

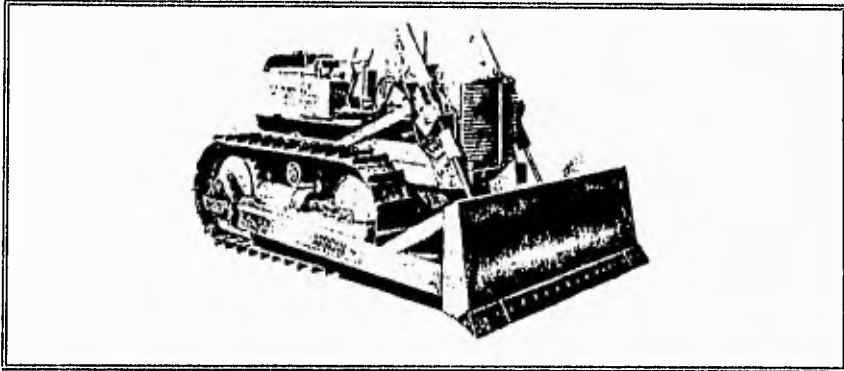


FIG. 38.

Cargador frontal sobre orugas o dozer.

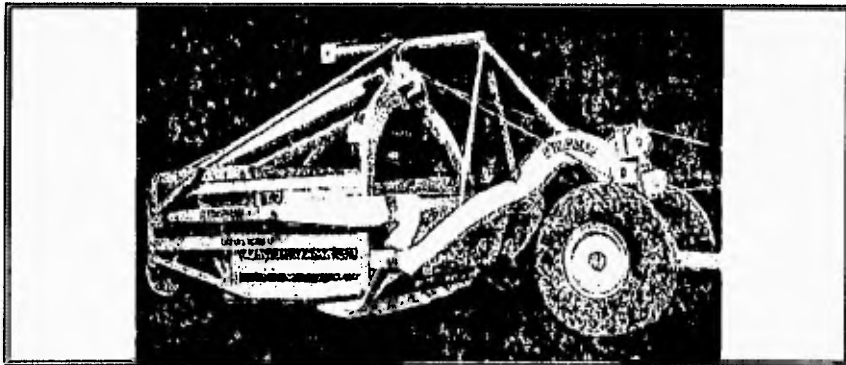


FIG. 39.

Trailla arrastrada por tractores orugas.

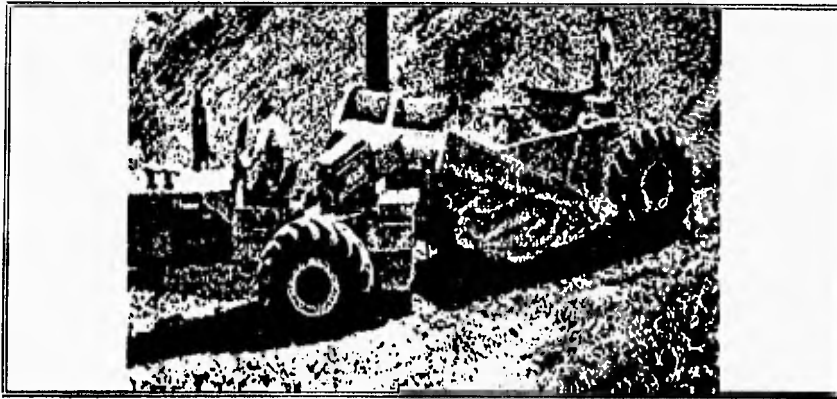


FIG. 40.

Tralla motorizada.

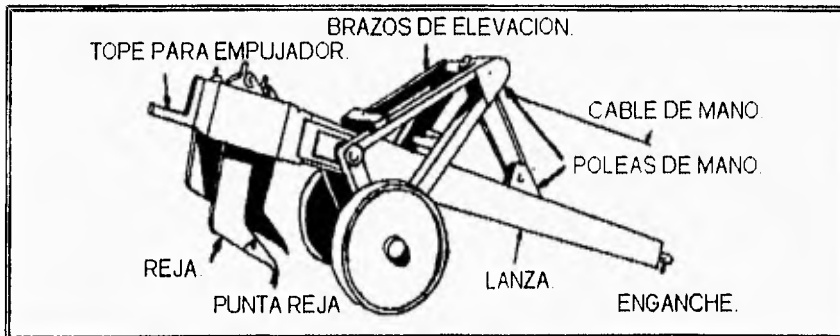


FIG. 41.

Escarificador o routers.

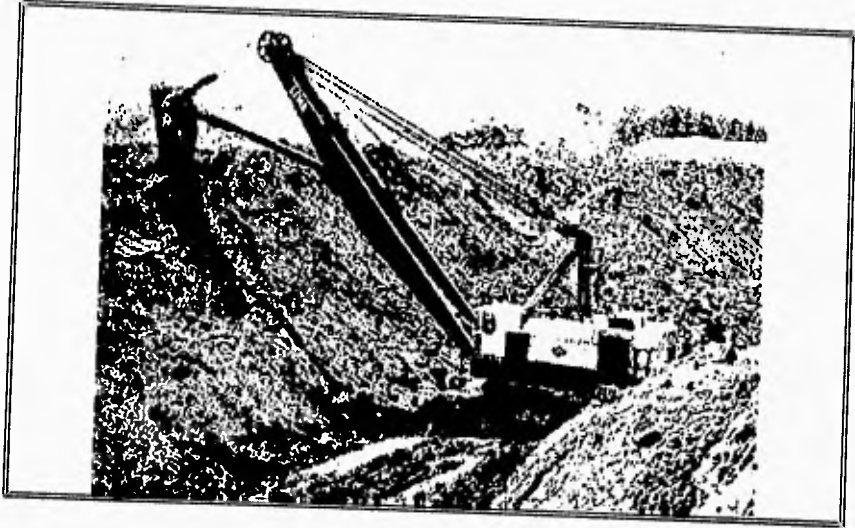


FIG. 42.

Pala mecánica montada sobre orugas.

III.3.2 CONSTRUCCION DE TERRAPLENES.

La construcción de terraplenes es una labor de suma importancia para el correcto funcionamiento de la infraestructura aeroportuaria, de esta forma es vital desempeñar todas las actividades de la mejor manera posible con el objeto de evitar problemas subsecuentes en las operaciones.

La preparación de una zona sobre la que va a construirse un terraplén, contempla la posibilidad de escarificar el terreno mediante arados en toda la superficie. Con esto se conseguirá la unión y trabado de los nuevos materiales con los antiguos, extrayendo al mismo tiempo, raíces y piedras que puedan perjudicar la compactación.

La ejecución de los terraplenes debe hacerse, extendiendo en primer lugar una capa de material que se compactan con la base escarificada, a continuación, se efectúa el resto del vertido de éste apasionándolo en capas sucesivas de 15 a 30cm de espesor aproximado. Es importante mencionar que la manera más conveniente de ejecución de terraplenes es por medio de capas sucesivas, que en el caso de ejecutarlos con dozers, el material extendido se va compactando en parte por las orugas de la maquinaria.

Para terminar la compactación, es necesario en primer lugar, regar con agua para obtener el grado de humedad conveniente, debiéndose entender que con este grado de humedad, es con el que más económicamente se obtiene la compacidad debida, por necesitar menor compresión en la parte alta. Es evidente, que si el exceso o falta de agua es exagerado, se hace imposible obtener los resultados deseados.

Los medios empleados en la compactación de terraplenes básicamente son los siguientes:

- Rodillos pata de cabra
- Rodillos neumáticos
- Maquinas vibradoras.

RODILLOS PATA DE CABRA.

Este consiste en un tambor cilíndrico con salientes metálicas en la superficie, las cuales tienen la finalidad de penetrar el terreno y compactar a gran profundidad; se emplean en grupos generalmente arrastrados por tractores. En las figuras 43 y 44 podemos observarlos.

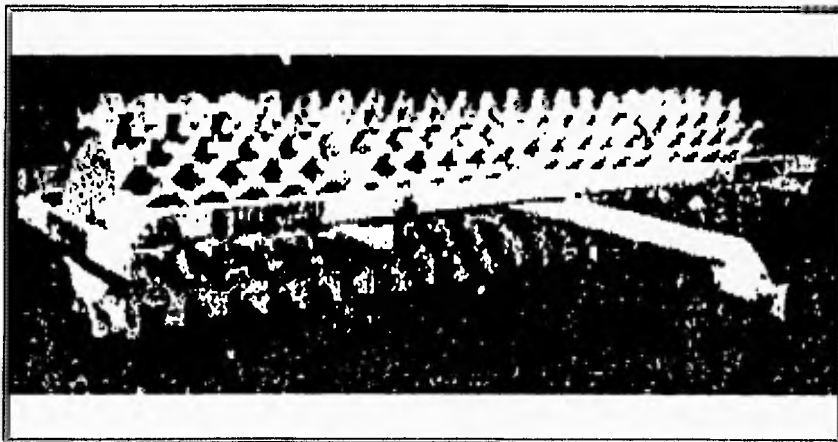


FIG. 43.

Rodillos pata de cabra.

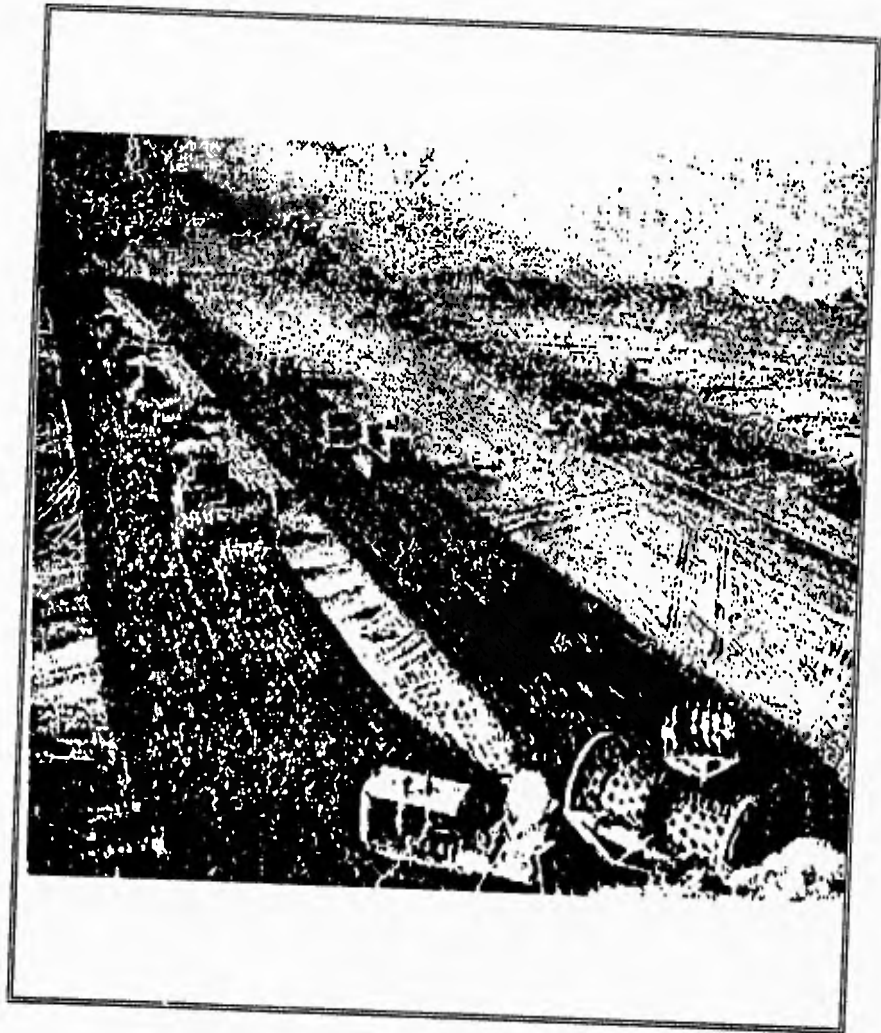


FIG. 44.

Grupo de rodillos pata de cabra arrastrados por tractores sobre orugas.

RODILLOS NEUMATICOS.

Constan básicamente de una caja metálica que admite carga de arena u otros agregados, y va montada sobre un número variable de ruedas, este tipo de rodillos, tiene excelente aplicación en todos los terrenos, situación por la cual se hacen imprescindibles en cualquier tipo de obra. En la figura 45 podemos apreciar este tipo de rodillos.

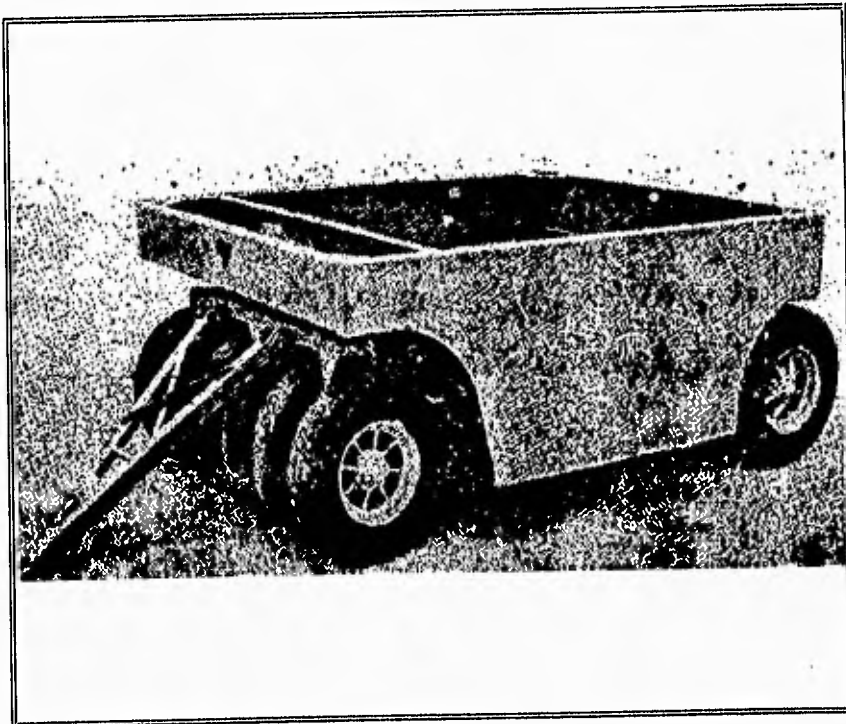


FIG. 45.

Rodillo neumático.

MAQUINAS VIBRADORAS.

Estas consisten en un conjunto de cinco o seis vibradores eléctricos o neumáticos, montados en un chasis que se acopla a un tractor. Tienen su mejor aplicación en los terrenos arenosos o de arenas francas, que no pueden compactarse con los rodillos de pata de cabra o neumáticos, y dan un resultado tan excelente que se construyen rodillos neumáticos metálicos dotados de vibradores, con lo que se obtiene gran economía en el trabajo. A continuación en la figura 46 apreciamos una maquina de este tipo.

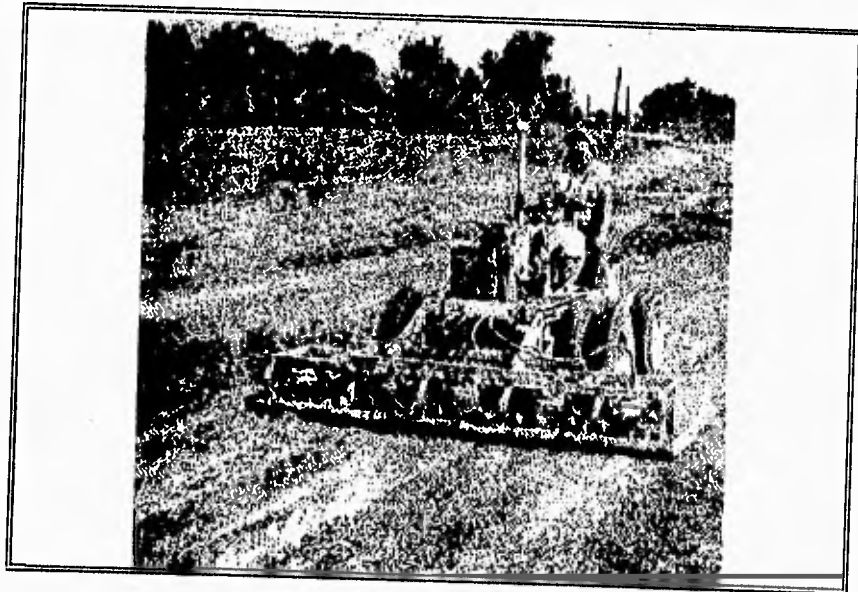


FIG. 46.

Máquina vibradora.

III.3.3 CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

La construcción de pavimentos flexibles básicamente es una tarea dividida en dos aspectos importantes:

- Construcción de subbases.
- Construcción de bases.
- Construcción de carpetas.

CONSTRUCCION DE SUBBASES.

La construcción de las subbases es una actividad en la que generalmente se requiere de la aportación de materiales exteriores a la obra; dicha actividad comienza en algunas ocasiones con la construcción de una capa de mampostería en estado seco la cual se denomina cimient "Telford", la cual esta compuesta por piedras con diferente granulometría.

En la actualidad para la construcción de las subbases, se emplean mezclas de mejores composiciones granulométricas así como productos que deben estar exentos de materia vegetal, terrones de arcilla u otras sustancias inestables, constituyendo así una mezcla uniforme de materiales granulares duros, arenas, limos o arcillas.

La Administración Federal de Aviación (F.A.A.), recomienda las siguientes composición para la construcción de subbases.

1° En los lugares en que la formación de hielo tiene una profundidad superior de 25cm, el tamaño de los agregados será inferior de 75cm, no pasando por la malla número 40 más del 70% del producto.

Por otra parte, la fracción que pasa por la malla número 10 deberá tener la siguiente composición.

NUMERO DE LA MALLA	% DE MATERIAL QUE PASA.
10	100
40	25-70
200	00-15

Se tendrá en cuenta que si la cantidad de material que queda retenida en la malla no. 10 es superior al 45%, puede admitirse que el porcentaje inferior a la malla no. 200 alcance el 25% de lo que pasa por la no. 10.

2° En los lugares donde la penetración de hielo es menor de 25cm, la composición granulométrica deberá ser la misma que en el caso anterior, con la excepción de que los inferiores a la malla no. 200 podrán llegar al 35% de la cantidad que pasa por la malla no. 10.

La construcción de la subbase por estabilización mecánica se lleva a cabo removiendo el terreno con arados, gradas de discos o mezcladoras rotativas, las cuales se encargan de revolver los diferentes materiales para que tengan una adecuada composición granulométrica y buena travazón; además de esto se deben observar las siguientes recomendaciones:

- a) La subbase se construirá por capas sucesivas.
- b) El material no se extenderá nunca sobre superficies fangosas o congeladas.
- c) La compactación comenzará a efectuarse por los bordes del pavimento, terminando en el centro.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- d) La compactación a alcanzar en esta capa, será como mínimo la correspondiente al 95% de la densidad conseguida en el ensayo de la prueba Proctor modificada⁴.
- e) Cuando en el compactado de una capa se produzca un movimiento ondulatorio por la blandura del terreno, se deberá suspender la operación, levantar la capa, extraer el terreno blando y sustituirlo por material de mejor calidad.
- f) En los lugares inaccesibles a los rodillos de las compactadoras o rodillos neumáticos se compactará el cimientado mediante otros procedimientos más viables.
- g) El mantenimiento del material en condiciones óptimas de humedad es imprescindible.
- h) La superficie terminada, se debe comprobar con una regla de 5m no debiendo existir variaciones superiores aproximadamente de 12mm.
- i) En el espesor de la capa se limitará el error posible a 12mm aproximadamente en cualquier punto, debiendo ser el error medio en la misma, inferior a la mitad del estimado.

REF. 4 MECANICA DE SUELOS TOMO I. FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS. JUAREZ BADILLO Y ALFONSO RICO. ED. LIMUSA 1974.

Prueba que consiste en compactar el suelo en cuestión en cinco capas, dentro de un molde de dimensiones y forma especificados, por 25 golpes de un pisón de 45 Kg, el cual se deja caer libremente desde una altura de 45.7cm. Dicha prueba permite conocer el peso específico del material con la humedad óptima para obtener mejores resultados en la compactación

CONSTRUCCION DE BASES.

En lo que respecta a la construcción de bases las condiciones que deben cumplir los productos naturales, para que mediante estabilización mecánica puedan emplearse como tales, son principalmente las generales de compacidad y estabilidad.

La resistencia de las base debe ser superior a la de los pavimentos construidos para pequeñas cargas y a las de la subbase, siendo recomendables cualquiera de los siguientes tipos que a continuación mencionaré

Tipo I.- Compuestas de piedras o gravas, mezcladas con residuos de piedras y con pocas arcillas o sin ellas. Los elementos gruesos serán duros, estables y exentos de polvo así como de partes descompuestas.

Tipo II.- Compuestas de elementos de piedra, arenas y arcillas en proporción más elevada que los otros materiales.

Tipo III.- Compuestas de arenas, residuos de piedras, escorias o mezclas de ellas uniformemente gravadas de grueso a fino, con poca arcilla o sin nada de ella.

Tipo IV.- Compuestas de arcillas arenosas, o mezcladas de arcillas con granito desintegrado y margas de composición uniforme y sin exceso de material aglomerante.

Los materiales gruesos, deberán ser duros y con gran resistencia al desgaste. La construcción por estabilización mecánica se lleva a cabo de la misma manera que para las subbases anteriormente mencionadas, pero anexando las siguientes recomendaciones

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- a) El material se extenderá en capas de espesor uniforme por medio de maquinas repartidoras u otros medios más convenientes. debiéndose prohibirse el vertido en montones que da lugar a un deterioro en las superficies construidas.
- b) La base se construirán por medio de capas sucesivas.
- c) La compactación comenzará a realizarse por los bordes del pavimento terminado en el centro.
- d) Las maquinas compactadoras a emplear en cada capa, serán de un peso aproximado de 10 ton. y en la capa superior de 8 ton.
- e) Los rodillos neumáticos que se utilizan deberán contar con un ancho de rodaje de 1.5m. aproximadamente.
- f) Se deberá alcanzar una compactación mínima del 95% de la obtenida en el ensayo de la prueba proctor modificada o hasta el 100% si así se requiere.
- g) Se continuará la compactación hasta que el material esté bien asentado, y hasta que el movimiento del material delante de las maquinas no sea visible.
- h) En los lugares donde sea inaccesible el ingreso de los compactadores normales se utilizarán compactadores portátiles.
- i) El mantenimiento del material en condiciones óptimas de humedad será indispensable para la construcción.
- j) La superficie terminada se comprobará por medio de regla de 3m de longitud

Por último tenemos que mencionar que existe una variedad de construcción de bases, las cuales se realizan por medio de mezclas con otros productos naturales.

La construcción de estas bases debe efectuarse por bandas de 10 a 12m de ancho, paralelas a las direcciones del tránsito, y una vez dividido el terreno en estas bandas se procede a las siguientes operaciones:

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- a) Se efectúa en primer lugar la adecuación del terreno verificando que no existan irregularidades en la superficie de la subbase.
- b) Se extraen los materiales no deseados y se amontonan al borde del terreno.
- c) Se estabiliza la superficie de la subbase.
- d) Los materiales granulares y aglomerantes, se sitúan en las proximidades de la caja y se pulverizan convenientemente con gradas de disco o mezcladoras rotativas.
- e) Se extienden los materiales por capas, estudiando primero el terreno natural y a continuación se extienden los materiales granulares y el aglomerante en la proporción conveniente, precediéndose entonces al paso de mezcladoras rotativas, escarificadoras, gradas de disco o niveladoras que hagan la mezcla lo más efectiva posible.
- f) Se riega la mezcla con la cantidad de agua necesaria para tener una buena compacidad del material.
- g) Se nivela la capa de los materiales bien mezclados y con el grado de humedad conveniente
- h) Se procede a la compactación con rodillo de pata de cabra y cilindros neumáticos o metálicos.
- i) La terminación de la base se efectúa construyendo las demás capas hasta obtener el espesor requerido y una vez hecho esto, se perfila la superficie.

A continuación en la figura 47 se muestran muy esquemáticamente las operaciones antes mencionadas.

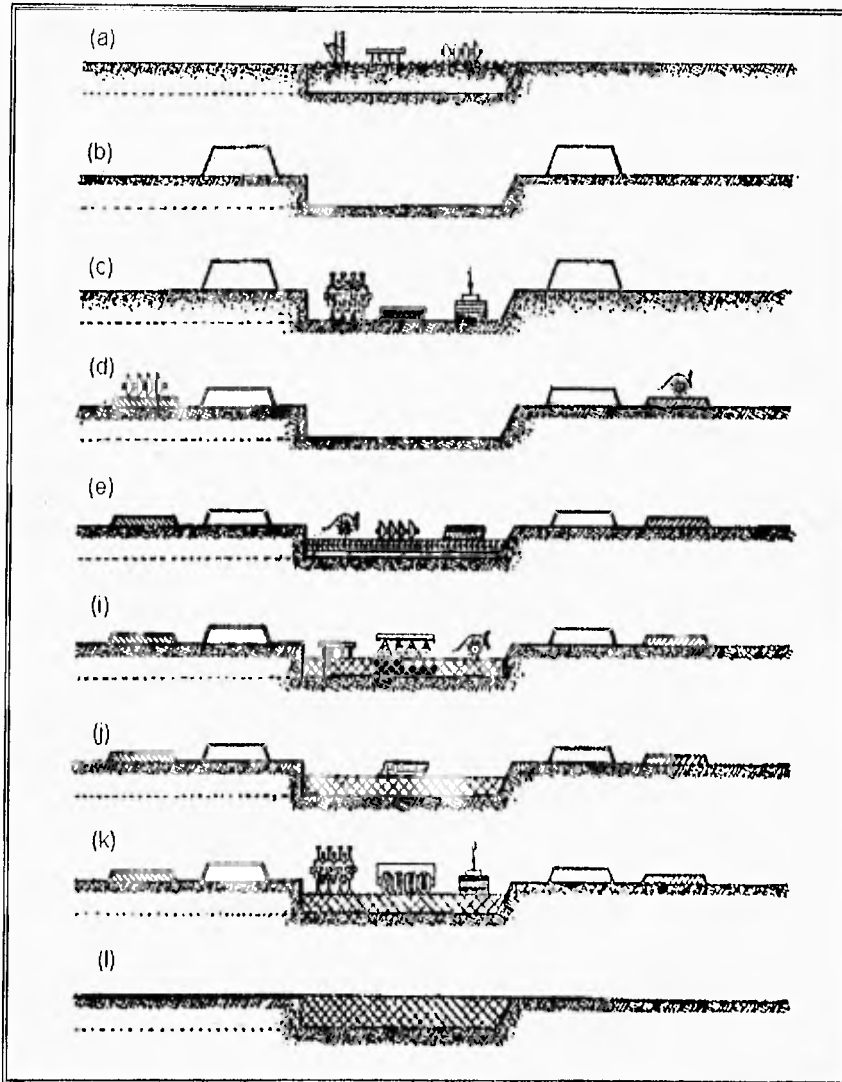


FIG. 47.

Operaciones para la construcción de bases.

CONSTRUCCION DE CARPETAS.

La construcción de carpetas de concreto asfáltico, es un conjunto de actividades que deben efectuarse con todo cuidado y bajo un estricto control de calidad, dichas actividades comienzan con la fabricación de la mezcla asfáltica, la cual puede ser fabricada en caliente o en frío (en planta), o bien en sitio (poco recomendable en aeropuertos debido a su baja resistencia).

Una vez que se ha procedido con el diseño de la mezcla se lleva a cabo el tendido de la misma, para lo cual se implementa el uso de maquinaria especializada denominadas terminadoras o finisher, las cuales tienden el material a lo largo de las franjas de trabajo cuyo ancho es igual al de las máquinas mismas.

Las máquinas terminadoras reciben al frente la mezcla enviada desde la planta, y mediante un transportador de cadena remiten la mezcla a la parte posterior de la misma en donde un gusano sin fin la distribuye a todo lo ancho; una placa que se mantiene calentada mediante quemadores de aceite diesel, la enraza y, mediante vibración, la acomoda uniformemente produciendo, además, una primera compactación superficial.

Una vez tendido el material y disminuida la temperatura de la mezcla, se procede a la compactación inicial, empleando una aplanadora con rodillos en tandem. Si la temperatura es aún elevada (115°C), se observará que se forma un bordo adelante del rodillo frontal (la carpeta se recorre); si es baja (70°C), la huella de los rodillos resulta apenas visible. Siendo correcta la temperatura, no hay presencia de bordos y la huella dejada por las orillas de los rodillos se borra al pasar suavemente el compactador.

La aplanadora se moverá siempre de una orilla de la franja hacia la otra. Si se trata de la segunda franja, la primera pasada montará la mitad del rodillo sobre la franja anterior y a otra sobre la nueva.

a fin de garantizar que la zona de unión quede adecuadamente compactada. La aplanadora, una vez que ha terminado de cubrir la franja reiniciará el proceso, para, al menos dar dos pasadas " a media huella " :o sea, montando el centro de los rodillos sobre la línea del borde de la pasada anterior.

Terminada la compactación inicial, se procede a realizar una compactación en sentido transversal con el objeto de garantizar la uniformidad de la superficie.

Por último, se procede a colocar un riego de sello cuya finalidad es mantener en la medida de lo posible, la impermeabilidad de la superficie de rodamiento.

III.3.4 CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

La construcción de pavimentos rígidos involucra realizar las siguientes operaciones:

- a) Construcción de la capa subbase.
- b) Dosificación del concreto.
- c) Mezcla en revolvedoras.
- d) Colocación de encofrados y carriles guías.
- e) Colocación de elementos de juntas.
- f) Colocación del concreto en obra.
- g) Compactaciones o vibración de la mezcla de concreto.
- h) Terminación de la superficie.
- i) Terminación de juntas.
- j) Curado del concreto.
- k) Desencofrado.
- l) Construcción de laterales de la pista.

A continuación mencionaremos aspectos de importancia de los puntos anteriores.

El material que se utiliza como cimentación para apoyar un pavimento rígido se conoce con el nombre de subbase, ya que su calidad, en la mayor parte de los casos, no necesita ser tan alta como una capa base en un pavimento flexible. El material de préstamo, tanto natural como tratado, se coloca sobre el suelo original, con objeto de que cumpla una o varias de las siguientes funciones.

- 1.- Prevenir o reducir el bombeo.
- 2.- Prevenir el efecto de heladas.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- 3.- Prevenir la acción destructora debida al esponjamiento y contracción de los suelos de altas variaciones de volumen.
- 4.- Mejorar la capacidad resistente del suelo original.
- 5.- Conseguir una plataforma estable y uniforme durante la construcción

Cuando los suelos de terrenos de grano fino están saturados, las repetidas flexiones del pavimento originan la salida por las juntas y fisuras, de una mezcla de agregados y agua. Este hecho se conoce con el nombre de "bombeo". Para que exista este efecto de bombeo deben darse tres circunstancias:

- Existencia de agua.
- Agregado en suspensión.
- Tránsito.

La mejor forma de minimizar el bombeo, es la de disponer de una subbase tratada con cemento o asfalto, particularmente en pavimentos de aeropuertos de tránsito pesado.

Las subbases estabilizadas ofrecen una serie de ventajas además de prevenir el bombeo, básicamente proporcionan un apoyo impermeable, uniforme y resistente a éste; eliminan las influencias de la compactación por causa del tránsito en el material que se encuentra directamente bajo la losa; mejoran la distribución de la carga en las juntas; facilitan la construcción, ya que la capa estabilizada minimiza las interrupciones debidas a las adversidades atmosféricas y por último proporcionan un apoyo firme a las pavimentadoras de encofrado deslizante o fijo, contribuyendo por lo tanto a la construcción de pavimentos uniformes.

En lo que se refiere a la construcción de la subbase, esta se lleva a cabo de la misma manera que en otros tipos de pavimentos, debiendo estar uniformemente compactada y con los perfiles necesarios

al espesor de diseño.

Si la subbase está formada por piedra, se cubre con otras capas de material arenosos, las cuales se compactan perfectamente antes de proceder al colado del concreto. Es necesario que la superficie de la subbase esté bastante húmeda con el objeto de que no absorba agua del concreto durante el fraguado. En la práctica común siempre se satura de agua esta capa unas 6hrs. aproximadamente, antes del colado del concreto.

La dosificación de los agregados se efectúa clasificando estos en 3 tamaños: Uno correspondiente a las arenas, y los otros dos que corresponden a los tamaños de gravas gruesas y finas. En la extracción de los agregados, en algunos casos es necesario clasificar mayor número de tamaños para obtener por mezclas las composiciones granulométricas requeridas. Al pie de las plantas de agregados generalmente se instalan tolvas divididas en compartimientos, para posteriormente hacer la carga en los camiones de transporte a las revolvedoras por medio de dosificadoras en peso que instaladas en el fondo de las tolvas descargan la cantidad necesaria de cada uno de los tamaños del agregado.

La dosificación del cemento se hace del mismo modo, por medio de silos con dosificadores en peso; estos silos se instalan en las proximidades de los almacenes de cemento desde donde se conduce a la tolva por medio de bandas transportadoras y/o por cangilones. Una vez transportados los agregados y el cemento, se vierte y se procede a efectuar la mezcla con el agua, las revolvedoras pueden ser fijas o móviles, conviniendo estas últimas con grúa de descarga por su mayor rendimiento.

El colado del concreto se efectúa por bandas a lo largo de la pista, las cuales se limitan lateralmente por medio de encofrados de las medidas deseadas

En la implementación de máquinas pavimentadoras, los encofrados son generalmente metálicos y

en forma de carril para que sirvan de guía a las pavimentadoras. Colocados estos y convenientemente anclados para evitar cualquier movimiento, se sitúan y fijan todos los elementos correspondientes a las juntas.

El vertido del concreto se efectúa mediante volteo si se emplean revolvedoras fijas, debiendo estar éstas divididas en varios compartimientos si son de mucho volumen para evitar en lo posible la separación de los diferentes elementos que componen el concreto. Este procedimiento tiene el inconveniente de que al rodar los vehículos por la superficie causan irregularidades en el mismo, lo cual perjudica la uniformidad de la subrasante. Cuando las revolvedoras son móviles, van provistas de grúas y ruedas que permiten el desplazamiento a lo largo de los carriles del encofrado, situando el concreto en el lugar indicado.

Para el extendido se emplean trenes mecánicos de vibrado de 3600 a 4000 vibraciones por minuto, que originan una compactación perfecta en la mezcla, consiguiéndose mejorar la resistencia de los concretos normales en un 15%. Estas máquinas constan de un repartidor ajustable que reparte el concreto en el lugar deseado, al mismo tiempo empuja hacia adelante de la máquina el exceso de la mezcla de concreto.

La terminación de la superficie puede efectuarse a mano mediante reglas armadas de madera, manejadas por dos hombres y guiadas por los encofrados laterales. La superficie debe quedar lo suficientemente lisa para que no existan resaltes superiores a los 3mm. Algunas veces cuando el concreto está algo endurecido, se pasan cepillos de la anchura de la banda con el objeto de regular la superficie; generalmente se efectúa esta operación con máquinas laminadoras que llevan una maestra delantera que efectúa la nivelación exacta de la superficie del pavimento, y una maestra de acabado que completa la operación. El empleo de estas máquinas se realiza a continuación de las máquinas extendedoras

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Al mismo tiempo que se realiza la terminación de la superficie del pavimento debe llevarse a cabo la ejecución, el repaso y la terminación de las juntas. En las juntas longitudinales de construcción se deben aplicar en primer lugar vibradoras a mano, con el objeto de compactar esas zonas a la que difícilmente alcanzan las máquinas de dimensiones normales.

Las juntas longitudinales y transversales centrales pueden efectuarse mediante terrajas maquinas que al mismo tiempo que separan la junta, compactan la superficie; éstas juntas también pueden llevarse a cabo con el concreto fraguado, por medio de máquinas provistas de dientes o sierras que producen el corte seleccionado de la placa en el espesor conveniente.

Inmediatamente después de las operaciones de terminación de las superficies del pavimento, se procede al curado del concreto, operación que debe llevarse a cabo con el máximo cuidado ya que de ella depende en muchas ocasiones el adecuado funcionamiento.

El curado del concreto puede efectuarse extendiendo encima de la superficie, líquidos impermeables que se aplican a presión; tales líquidos permiten mantener una película que tiene como finalidad principal evitar la evaporación del agua.

A continuación observaremos en las figuras 48 a 55, partes de los procesos mencionados y algunas máquinas empleadas para realizarlos.



FIG. 48.

Colocación del concreto mediante revolvedora móvil con grúa de descarga.

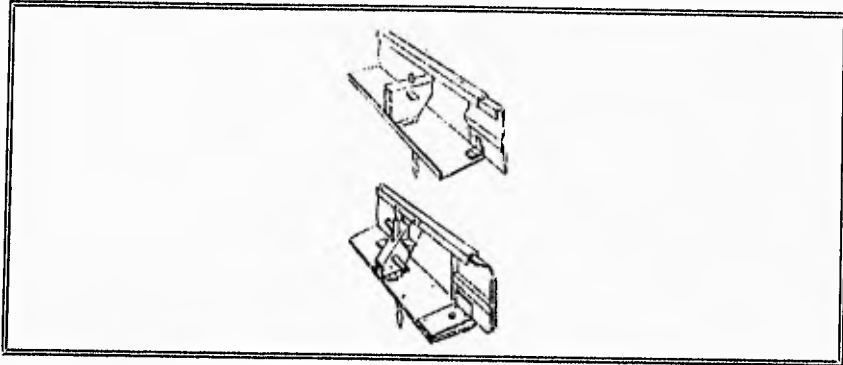


FIG. 49.

Encofrados metálicos en forma de carril utilizados para limitar las bandas donde se colocara el concreto.

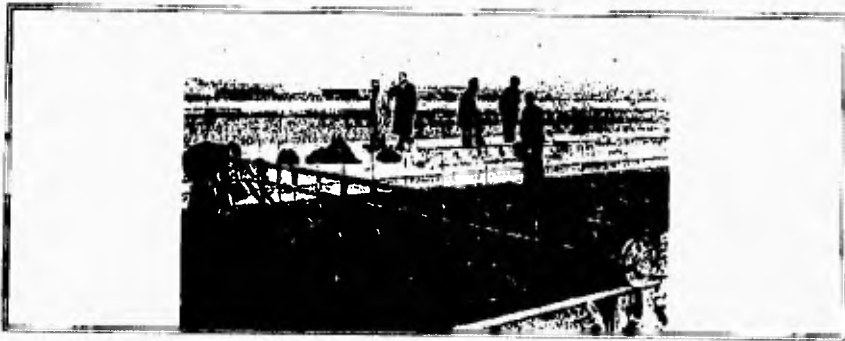


FIG. 50.

Colocación de los encofrados para la formación de bandas longitudinales en pistas.



FIG. 51.

Vertido del concreto en las bandas encofradas con revoledoras fijas.

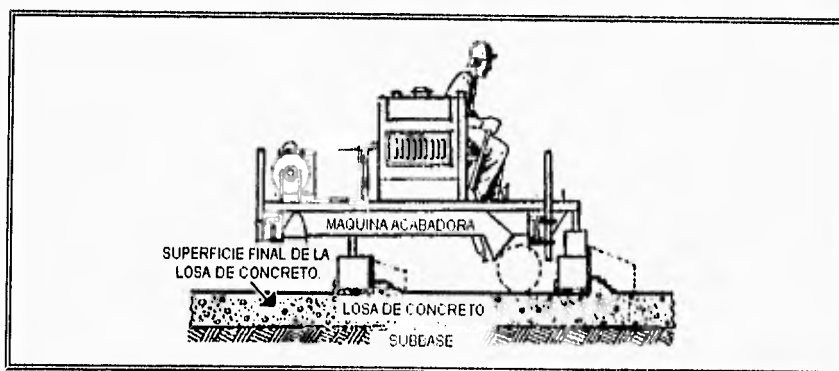


FIG. 52.

Máquina de acabado de losas de concreto.

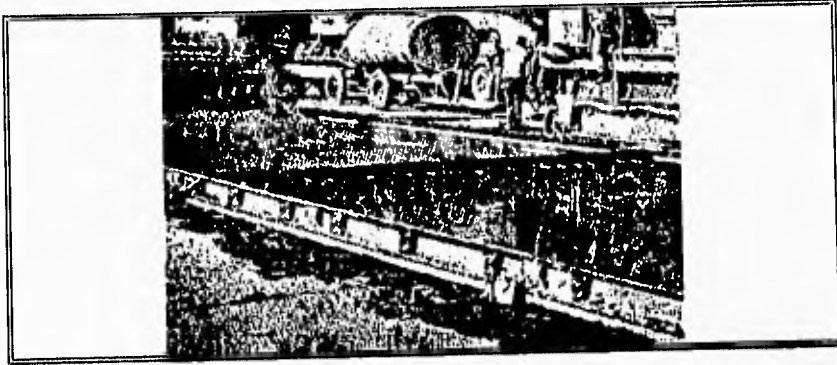


FIG. 51.

Vertido del concreto en las bandas encofradas con revoledoras fijas.

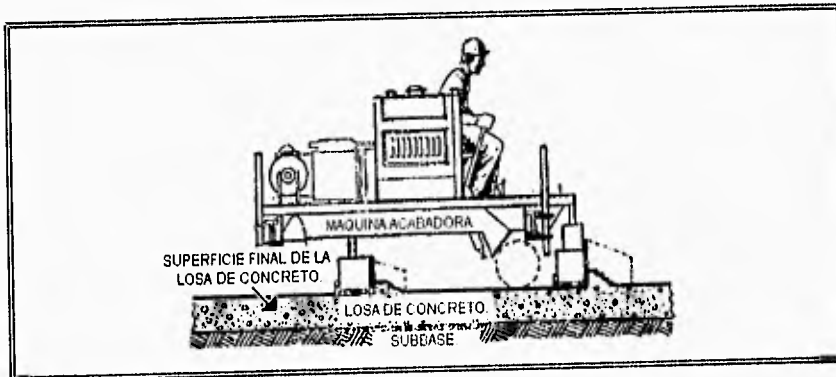


FIG. 52.

Máquina de acabado de losas de concreto.



FIG. 53.

Terminación manual de juntas longitudinales y transversales en losas de concreto.



FIG. 54.

Retiro de encofrados de las losas de concreto en los extremos de las pistas.

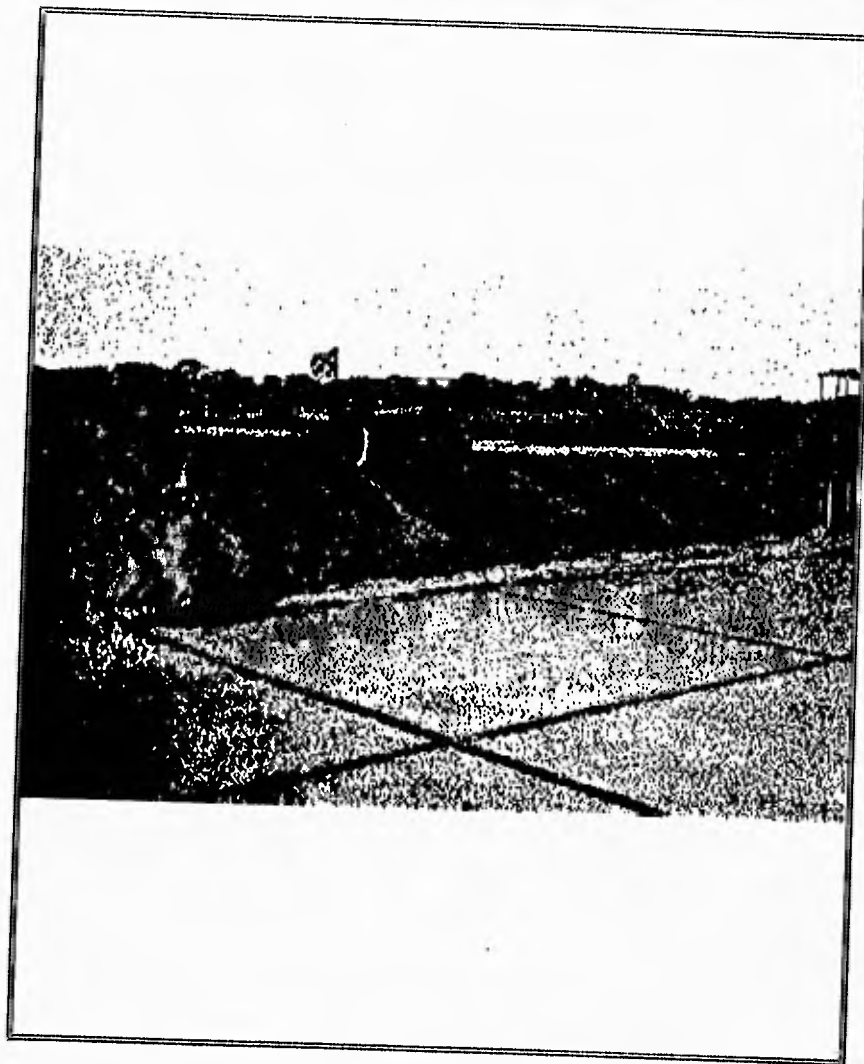


FIG. 55.

Aspecto final de las losas de concreto en un pavimento rígido.

III.4 EFECTOS PROVOCADOS POR LAS OPERACIONES Y CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.

III.4.1 VELOCIDAD E INTENSIDAD DE TRÁNSITO.

La velocidad e intensidad de tránsito son causas que en determinado momento pueden provocar problemas en los pavimentos de las instalaciones aeroportuarias; Básicamente estas dos causas acarrearán complicaciones a problemas que comúnmente se presentan, como son fracturas o roturas en los pavimentos debido a la repetición de esfuerzos que se generan sobre las superficies de rodamiento; es decir, fenómenos de fatiga en los materiales.

Tenemos que mencionar que la infraestructura que se ve más afectada por la velocidad e intensidad de tránsito, la constituyen las plataformas, calles de rodaje de entrada y tramo central de pista, las cuales se fracturan con más frecuencia debido no solamente a la menor velocidad de los aviones, sino también, a que el pavimento soporta enteramente la carga.

De ensayos efectuados sobre el fenómeno de fatiga, se ha concluido que un pavimento resistirá indefinidamente si soporta 6000 pasadas aproximadamente; entendiendo como pasada al conjunto de cuatro operaciones de un avión de 180Ton. De ésta manera al soportar dichas pasadas, el pavimento se considera permanente y con una vida aproximada en 25 años como mínimo. En el caso de contar con pavimentos que no cumplan con el espesor de diseño, la vida útil de estos se reduce considerablemente⁵.

REF. 5 LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES VOL II R. RODRIGUEZ Y A. HERMILIO ED. LIMUSA 1982.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Existen otras causas aún no bien conocidas, que se refieren a la velocidad de propagación de esfuerzos. Estudios realizados han revelado que la propagación de esfuerzos al subsuelo no se producen en toda su intensidad por las cargas móviles de actuación rápida, porque las deformaciones se localizan en la superficie. Como comprobación de estos puntos, se han efectuado ensayos de carga sobre los pavimentos, obteniéndose que, con cargas móviles se alcanzaban en los cimientos, esfuerzos menores entre un 30% y un 35% o los originados por las cargas estáticas con los motores en marcha⁶.

En el capítulo siguiente se comentaran las formas de evaluación de pavimentos que se encuentran relacionadas con los fenómenos de velocidad e intensidad de tránsito.

III.4.2 ESCAPE DE REACTORES Y DERRAME DE COMBUSTIBLE.

Al igual que las causas mencionadas en el punto anterior, el escape de los reactores y el derrame de combustible son problemas que deterioran a los pavimentos de los aeropuertos.

Estudios realizados con el escape de los reactores de distintos tipos de aviones, han revelado que los gases que se expulsan, pueden provocar daños sobre la superficie de los pavimentos, ya sean estos flexibles o rígidos. Tales daños dependen del ángulo de inclinación de los escapes de los aviones; se ha demostrado en experimentos efectuados en EUA que a 0.90m por debajo de los ejes de las turbinas y a 7.50m de distancia, las temperaturas que se alcanzan llegan a 370°C en cuyo caso resulta peligroso, pudiéndose provocar baches o fisuras sobre la superficie de rodamiento lo cual afecta las operaciones del aeropuerto. Cabe mencionar que en el caso de que el ángulo de inclinación del escape con relación a la horizontal, es menor de 2°, y la altura del orificio de escape con relación al pavimento, es superior a cuatro veces el diámetro del orificio, los efectos por temperatura no repercuten en la superficie del pavimento.

En cuanto a los efectos de combustible derramado sobre el pavimento, las áreas donde son más probables tener este tipo de problema las constituyen las zonas de suministro de los mismos, zonas de estacionamiento y extremos de las pistas. La razón por la cual los combustibles empleados en los aviones de reacción pueden afectar a los pavimentos, es la de que se evaporan muy lentamente, cosa que no ocurre con las gasolinas empleadas en los motores alternativos.

Como resumen puede decirse, que para prevenir posibles efectos de calor de escape de reactores y derrame de combustible, y hasta que se estudien otros materiales más aptos para soportar estos efectos, se debe contemplar las siguientes recomendaciones:

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

- El empleo de pavimentos rígidos o protecciones superficiales en las zonas de carga de combustibles.
- El empleo de productos químicos resistentes a el combustible y al calor excesivo como son:
emulsiones de alquitrán de hulla al caucho (poco implementado), epoxies y asfalto, adiciones de latex entre las más importantes.
- Proteger con un pavimento ligero los laterales de las calles de rodaje y cabeceras de las pistas.

Es importante mencionar que la forma más rápida de limpiar los derrames de combustible, es a través de la aplicación de agua en el lugar afectado o bien por medio de rodillos, almohadillas o materiales granulares que absorban el combustible derramado.

III.4.3 PRECIPITACION PLUVIAL.

El efecto de las lluvias sobre los pavimento, ha recibido tanta atención como el fenómeno de las heladas. De esta manera y puesto que la capacidad de carga de un pavimento se determina en gran parte por la resistencia de la subrasante, el incremento en el contenido de humedad, debido a la precipitación pluvial o a condiciones inadecuadas de drenaje, puede resultar en la falla del pavimento. Existe cierto grado de interrelación entre la precipitación pluvial y la acción de las heladas. Así, los efectos perjudiciales debidos a la acción de las heladas, en particular la pérdida de resistencia durante el período de deshielo, son determinados por la precipitación pluvial al igual que por las bajas temperaturas. Si la subrasante se mantiene seca durante todo el año y las condiciones negativas de humedad se mantienen a un mínimo, el problema de la acción de las heladas es insignificante.

Debido a la complejidad del problema, no es posible por ahora, diseñar un pavimento que prevenga completamente la acción de la lluvia, excepto en una forma cualitativa. La lluvia tiene un efecto inmediato en el bombeo de pavimentos rígidos y se le atribuye la infiltración superficial por su severidad. Asimismo, el contenido de humedad abajo de los pavimentos flexibles está influenciado por la cantidad de lluvia; de está manera tenemos que cuando aumenta el contenido de humedad en un pavimento flexible y no se cuenta con un adecuado sistema de drenaje para desalojar el agua inmediatamente, se pueden presentar las siguientes fallas:

Asentamientos y deformaciones en la superficie.

Estas se deben a que al saturarse el material de la base pierde algo de su resistencia a la compresión, por lo que falla al ser cargado.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Baches.

Estos pueden iniciarse por una irregularidad de la base, provocada por un exceso de humedad, como resultado de falta de un sistema adecuado de drenaje.

Corrugaciones.

Cuando el espesor de la carpeta es uniforme y en las ondulaciones de la misma aparecen grietas paralelas, es probable que esto se deba a un exceso de humedad en la base o bien a falta de estabilidad en la mezcla.

Ondulamientos.

Estos pueden presentarse debido a deformaciones de mayor o menor grado en la base del pavimento, estas deformaciones se producen al debilitarse la base por el agua que se llega a infiltrar a través de la carpeta asfáltica o por los bordes del pavimento.

Desintegración completa de la carpeta.

Este defecto también se debe directamente a un exceso de humedad en la base e indirectamente a un mal sistema de drenaje.

III.4.4 ACCION DE LAS HELADAS.

La acción de las heladas es un factor climatológico de suma importancia que influye en el comportamiento de los pavimentos, básicamente tenemos que considerar dos aspectos a estudiar:

- El levantamiento por congelación.
- El deshielo

EL LEVANTAMIENTO POR CONGELACIÓN.

Consiste en que una porción del pavimento se levanta como resultado directo de la formación de cristales de hielo en una subrasante o base susceptible a las heladas, sobre todo si son severas. El fenómeno del levantamiento por congelación es extremadamente complicado e incluye muchos factores que deben presentarse simultáneamente como son:

- Un suelo susceptible a las heladas.
- Temperaturas bajas.
- Existencia de agua.

Si cualquiera de estos elementos no se presenta, no se producirá un verdadero levantamiento por congelación.

Cuando el agua se congela, se expande aproximadamente en un 9% de su volumen original. Por consiguiente la expansión del agua del suelo, durante el proceso de congelamiento, no es lo suficientemente grande para explicar el levantamiento de algunos milímetros hasta varios centímetros.

Para entender mejor este fenómeno analicemos una prueba de laboratorio.

Si en una prueba de laboratorio se aplican temperaturas bajas en la parte superior de un espécimen de suelo y el calor es gradualmente removido, el agua en los poros del suelo se enfriará hasta que ocurra el congelamiento. Posteriormente el hielo y el agua restante tendrán una afinidad muy fuerte, por lo que el agua es atraída por los cristales que se formaron inicialmente. Además, si el suelo es altamente susceptible a la acción de la capilaridad, los cristales de hielo continuarán creciendo hasta que empiecen a formar lentes de hielo; estos por su lado crecerán hasta producir el fenómeno de levantamiento por congelación.

El problema potencial más grande, relacionado con el levantamiento por congelación, existe cuando el nivel de aguas freáticas está relativamente cerca de la superficie y justamente abajo de la zona de congelación. En estas condiciones, los lentes de hielo crecerán hasta magnitudes considerables si el suelo está sujeto a una capilaridad potencialmente alta.

La infiltración superficial, particularmente en los borde del pavimento, es otra fuente potencial de agua para el levantamiento por congelación. Sin embargo, cuando el congelamiento empieza y una capa de hielo existe debajo del pavimento, el abastecimiento de agua será detenido por dicha capa. En este sentido, un drenaje superficial adecuado debe reconocerse como un requisito para prevenir el daño debido a la acción de las heladas. En la figura 56 observamos partes de los elementos que intervienen en el fenómeno de levantamiento por congelación.

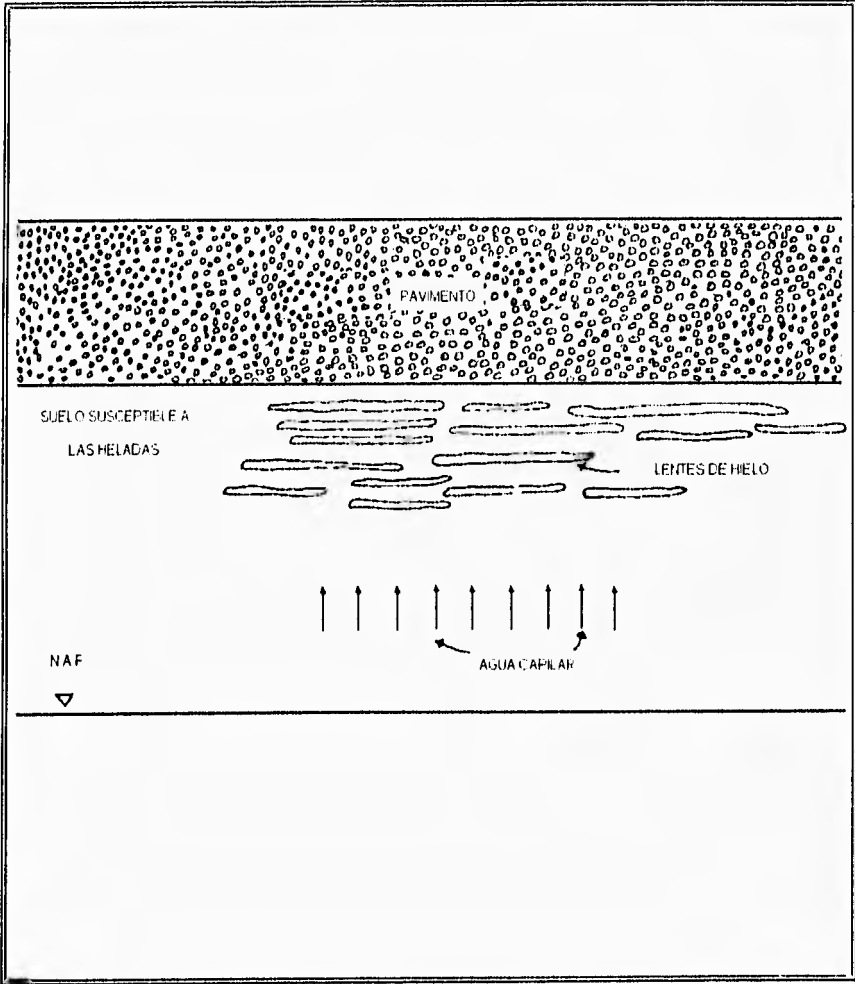


FIG. 56.

Esquema general del fenómeno de levantamiento por congelación.

EL DESHIELO.

La pérdida en la capacidad de soporte de la subrasante durante el periodo de deshielo, cuando los cristales de hielo empiezan a derretirse y el agua no puede drenarse a través del suelo que aún permanece helado a mayor profundidad, se conoce con el nombre de deshielo. El daño estructural a un pavimento, durante el deshielo, puede resultar en un costo de mantenimiento muy alto, y en algunos casos, puede ser de tal magnitud que se haga necesario interrumpir el tránsito de los aviones durante el período crítico, con la consecuente pérdida económica. Este fenómeno se produce con cierta frecuencia después de un rápido deshielo durante la primavera. En esta situación, la subrasante se descongelará de arriba abajo, con el resultado de que una capa de material blando derretido se origina inmediatamente abajo del pavimento. En consecuencia, la capacidad de soporte del pavimento se reduce. Los factores que acentúan un severo deshielo incluyen grandes períodos de precipitación pluvial durante el otoño y el invierno, que resultan en altos grados de saturación de la subrasante, y aún más críticamente, los períodos de precipitación durante la época de deshielo.

La pérdida de soporte de la subrasante puede ser considerable y prolongarse por períodos de tiempo relativamente grandes después que haya ocurrido el deshielo. La pérdida de resistencia aparece sobretodo en áreas donde ocurren alternadamente la congelación y el deshielo durante los meses de invierno. Cada vez que el suelo se congela se produce una pérdida en su densidad. Esto, a su vez, aumenta la capacidad de absorción de humedad. Después de varios ciclos de congelación y deshielo, una porción bastante grande de la capacidad de soporte del suelo se puede perder lo que sin lugar a dudas se refleja en la eficiencia de los pavimentos

CAPITULO IV : EVALUACION Y MANTENIMIENTO.

IV.1 EVALUACION.

IV.1.1 TIPOS DE EVALUACIONES DE PAVIMENTOS.

La evaluación de pavimentos de aeropuertos, es una actividad que nos permite estimar el estado que guardan este tipo de obras en relación a una serie de parámetros ya establecidos, y a partir de los cuales, obtener la información suficiente para generar conclusiones sobre las condiciones en que estos se encuentran, y la forma en que afectan las operaciones.

Básicamente existen dos tipos de evaluación; la cualitativa y la cuantitativa. La primera consiste en efectuar análisis superficiales mediante observaciones o a través de aparatos especiales, con lo que es posible realizar diagnósticos preliminares; la segunda implica efectuar análisis más exhaustivos de las características que conforman la obra en estudio, pues mediante otro tipo de pruebas más específicas, se llegan a determinar las causas que originan las fallas, y por consecuencia se generan diagnósticos definitivos.

IV.1.2 METODOS DE EVALUACION CUALITATIVA.

Los métodos de evaluación cualitativa, consisten en efectuar apreciaciones subjetivas del estado en que se encuentra la superficie de rodamiento del pavimento, por medio de mediciones con instrumentos o a través de observaciones directas en el sitio en estudio. A partir de estas evaluaciones se obtienen diagnósticos preliminares de las características superficiales del pavimento analizado, con lo que es posible tomar las medidas pertinentes para su respectivo mantenimiento y adecuada operación.

Las mediciones que se llevan a cabo se enfocan entre otras cosas a conocer los efectos que tiene la fricción en la superficie de los pavimentos, dichas mediciones se realizan por medio de aparatos electromecánicos de alta precisión, entre los que podemos mencionar el MU-METER, el esquema general de este tipo de aparato lo podemos observar en la figura 57.

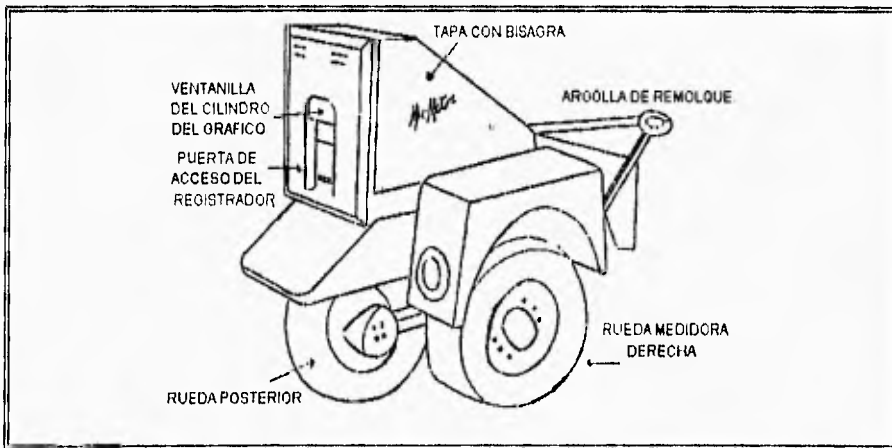


FIG. 57.

Aparato utilizado para registrar el valor del coeficiente de fricción, denominado **MU-METER**.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Otros aparatos utilizados para llevar a cabo estas mediciones son:

- Vehículo de frenado en diagonal (DBV)
- Remolque LPC.
- Deslizómetro.
- Stradógrafo.

El proceso de medición con el MU-METER, se realiza remolcándolo por medio de un vehículo a una velocidad de 65 Km / hr a lo largo de la superficie del pavimento en estudio, en donde las ruedas exteriores se abren desarrollando una fricción entre la superficie del pavimento y los neumáticos mencionados. Las fuerzas de fricción desarrolladas, se transmiten a la estructura principal del aparato y son registradas en una celda de presión para convertirse, previa calibración, a valores del coeficiente de rozamiento (MU). El valor de "MU" es la constante física que representa la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal de la superficie del pavimento.

Toda la información del coeficiente de fricción de la superficie del pavimento, obtenida por mediciones efectuadas periódicamente y en condiciones de pavimento mojado, resultan de gran utilidad tanto para los pilotos de los aviones, como para las autoridades responsables del mantenimiento del pavimento, ya que los mantiene al tanto de las condiciones en que estos se encuentran para operar en forma adecuada y segura.

La experiencia adquirida con este tipo de mediciones, indica que cuando el coeficiente de fricción promedio resulta menor de 0.5 existe el peligro potencial del fenómeno de acuaplaneo, es decir, pérdida de área de apoyo y fuerza de fricción entre el neumático y el pavimento bajo condiciones de la superficie de rodamiento mojada.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Las medidas correctivas aconsejables para las zonas con coeficientes de fricción bajo, suelen consistir en el ranurado transversal con discos diamantados, cuya finalidad es básicamente poder desalojar los contaminantes que se presenten en la superficie de rodamiento; además en la remoción del caucho adherido al pavimento por medio de chorros de agua a alta presión o por medio de solventes, cuando la causa del problema esté directamente relacionada con la existencia de ese material en la zona de contacto de los aviones con la superficie del pavimento.

Para evaluar las condiciones superficiales de las pistas, en cuanto a las irregularidades que presenten en su perfil longitudinal, y que puedan afectar la correcta operación de los aviones durante los recorridos de despegue y el aterrizaje, se llevan a cabo estudios del Índice de Perfil, los cuales sirven para determinar las zonas de la pista en que se presentan tales problemas. El objetivo primordial de estos estudios es el de tener conocimiento del estado actual de la superficie de rodamiento para que en el momento preciso se proporcione el mantenimiento adecuado.

El estudio de índice de Perfil consiste en efectuar mediciones con aparatos de alta precisión como el Perfilógrafo California tipo Hveem, el cual consta de una estructura de aluminio de 7.6m de longitud, una rueda de bicicleta que detecta las ondulaciones de la superficie del pavimento y un mecanismo graficador; éste aparato permite trazar ejes longitudinales en la franja de rodamiento de las pistas, con el objeto de obtener con las mediciones realizadas perfilogramas de los tramos analizados. Dichos perfilogramas obtenidos en campo, se procesan en gabinete para determinar los valores del Índice de Perfil por tramos de pista y así evaluar las posibles irregularidades que se presenten para adoptar las medidas correspondientes de mantenimiento. A continuación tenemos en la figura 58 un esquema general de este tipo de aparato.

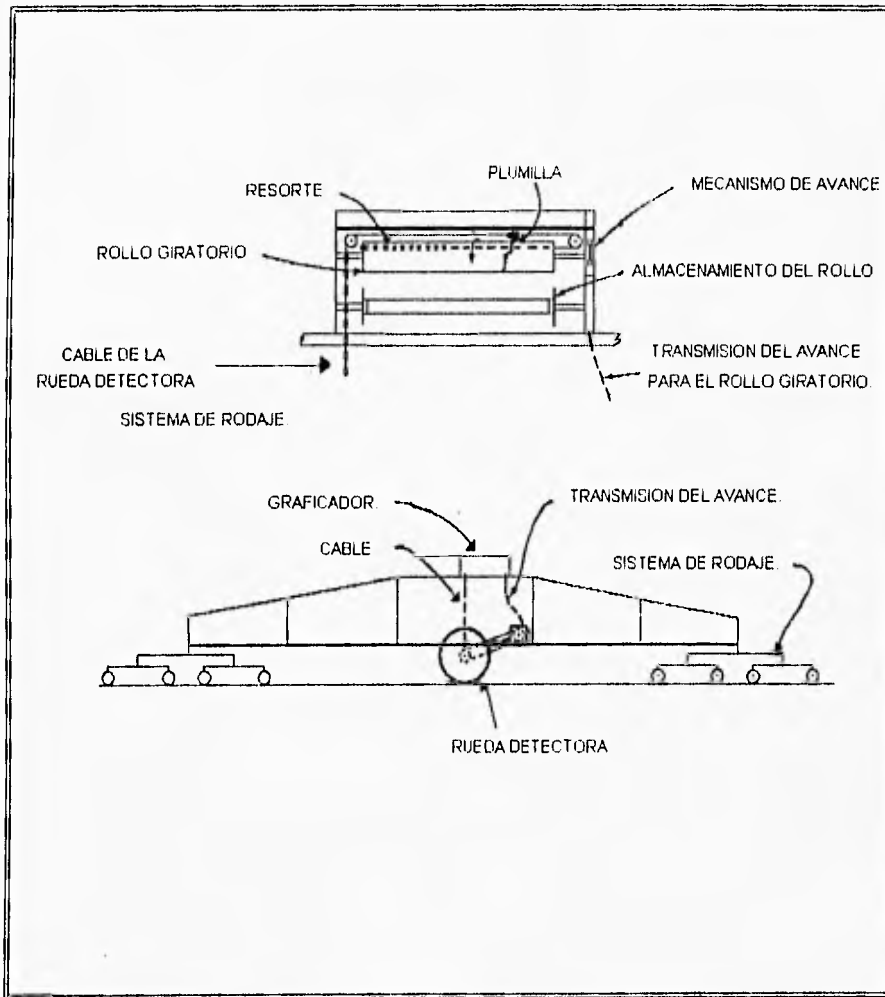


FIG. 58.

Perfilógrafo California tipo Hveem.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Por último tenemos que mencionar que parte de los métodos de evaluación cualitativa, se llevan a cabo por medio de la observación directa, para lo cual es necesario contar con un grupo de técnicos experimentados que inspeccionen en forma visual los pavimentos, y que realicen levantamientos de todos los deterioros observados en la superficie de rodamiento; la finalidad primordial al igual que en los estudios antes mencionados, es proporcionar en el momento preciso el mantenimiento que brinde a las operaciones seguridad y eficiencia. Los métodos de observación directa se emplean en aeropuertos de tránsito muy reducido, pues tal labor podría ser interminable en aeropuertos de gran volumen de operaciones.

IV.1.3 METODOS DE EVALUACION CUANTITATIVA.

Los métodos de evaluación cuantitativa permiten llevar a cabo análisis detallados del estado de los pavimentos, tienen la finalidad de obtener diagnósticos definitivos de las condiciones que estos guardan para de esta manera, determinar las medidas pertinentes para su mantenimiento y correcto funcionamiento en las operaciones.

Básicamente se cuenta con dos métodos de análisis:

- Métodos no destructivos.
- Métodos destructivos.

Estos métodos se comentarán en forma general a continuación.

METODOS NO DESTRUCTIVOS.

Los métodos no destructivos son aquellos en los que no es necesario hacer calas para determinar las propiedades mecánicas de las distintas capas que constituyen la sección estructural del pavimento. Estos métodos contemplan en su análisis tres grupos distintos de mediciones a efectuar:

- Medida de la reacción o respuesta de un pavimento a una carga estática o a una sola aplicación en movimiento lento.
- Medida de la reacción o respuesta de un pavimento a la aplicación de cargas dinámicas.
- Medida de la reacción del pavimento a radiación de una fuente controlada, para conocer la densidad de los materiales subyacentes.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Para determinar las respuestas del pavimento a las distintas condiciones de carga antes mencionadas, es imperante conocer la resistencia estructural del pavimento en estudio, para lo cual es necesario emplear métodos como el LCN (en pavimentos flexibles y rígidos), viga Benkelman (pavimentos flexibles), los cuales nos ayudan a resolver el problema.

A continuación comentaremos los métodos para evaluar la resistencia estructural de los pavimentos flexibles y rígidos.

Método LCN para Pavimentos Flexibles y Rígidos.

Este método consiste en efectuar pruebas de placa sobre el pavimento en estudio y por medio del análisis de dichas pruebas, determinar la capacidad estructural de éste en valores LCN (Número de clasificación de Carga).

El equipo utilizado para transmitir la carga al pavimento consiste esencialmente en una plataforma lastrada a 100 toneladas métricas, la cual esta remolcada por un tracto-camión (para proporcionar movilidad y autonomía al equipo de prueba), un gato hidráulico, que colocado entre una placa de 45 cm de diámetro sobre el pavimento y el aditamento especial de la plataforma, transmite las cargas al pavimento al ir levantando paulatinamente la plataforma.

El equipo de medición empleado consiste en tres micrómetros colocados sobre la placa y espaciados 120° entre sí, los cuales miden las deformaciones producidas en el pavimento por las cargas aplicadas.

Método de la Viga Benkelman para Pavimentos Flexibles.

Este método consiste en la determinación de la deflexión recuperada, cuando se remueve una carga estandarizada del pavimento flexible en estudio, para que en base a los datos obtenidos determinar si el pavimento cumple o no con las especificaciones de resistencia. La utilización de este método está limitada a pavimentos flexibles con espesores inferiores a 50 cm, ya que en mayores espesores pierde aproximación, situación por la cual es poco usado en aeropuertos e implementado principalmente en carreteras.

El equipo de prueba consiste en una Viga Benkelman y un camión lastrado cuyo eje trasero pesa 8.2 ton. aproximadamente, distribuido uniformemente en dos pares de ruedas las cuales deberán tener una separación mínima de 5 cm ; las llantas deben estar infladas con una presión de 5.6 Kg / cm².

La Viga Benkelman consiste en una parte fija y una viga móvil. La parte fija descansa en el pavimento apoyada en tres patas ajustables. La viga móvil se acopla a la parte fija por medio de un gozne; uno de sus extremos (punta de pruebas) permanece en contacto con el pavimento en el punto por analizar; el otro extremo está en contacto con un micrómetro que señala cualquier movimiento vertical del punto analizado.

En cuanto a la forma de evaluar la resistencia estructural para pavimentos rígidos tenemos el Método LCN., que mencionaremos a continuación.

METODOS DESTRUCTIVOS

Este tipo de métodos se emplean cuando se desea conocer con exactitud donde está ocurriendo una falla y cuáles son las causas probables que la generan, así como para identificar los materiales que constituyen el cuerpo de determinado pavimento. El método consiste básicamente en la realización de sondeos, trincheras, calas o extracción de corazones, de donde se obtiene la información necesaria para realizar los diagnósticos deseados; con la realización de estas pruebas se ve afectada parcialmente la estructura del pavimento por lo que solo se deben emplear en casos específicos.

Mediante los métodos destructivos se puede obtener la siguiente información del pavimento:

- Espesor de cada una de las capas que integran el cuerpo del pavimento (Estratigrafía.)
- Grado de compactación de las capas que lo forman.
- Propiedades mecánicas de los materiales obtenidas mediante pruebas de laboratorio.
- Determinación de la dureza, resistencia y grado de adherencia con el material asfáltico, de los materiales que constituyen la carpeta.

Cada una de las características y propiedades obtenidas en este método, se comparan con las especificaciones que deben cumplir los pavimentos, y a partir de dicha comparación, se determina si el estado que guarda el pavimento es adecuado, si los materiales son los apropiados y si las capas que lo constituyen son las necesarias; para que en determinado momento se efectúen las modificaciones pertinentes, que devuelvan al pavimento sus condiciones de operatividad y seguridad originales.

IV.1.4 FINALIDAD DE LA EVALUACION DE PAVIMENTOS.

Los estudios de evaluación de pavimentos, representan un aspecto de vital importancia para las fases de conservación y administración de este tipo de infraestructura; para realizar tales estudios es necesario tomar en cuenta factores como la seguridad, capacidad estructural, condiciones de drenaje, subdrenaje, deterioros, vibraciones al rodamiento entre otros; los cuales nos sirven para realizar diagnósticos y poder plantear soluciones.

La evaluación del pavimento se lleva a cabo observando la evolución de cada uno de los factores mencionados con respecto al tiempo, para que de esta manera se pueda determinar el momento en que el pavimento llega al punto mínimo aceptable y requiera una rehabilitación o reconstrucción en su estructura general.

En general, se puede decir que la finalidad de la evaluación, ya sea por métodos cualitativos o cuantitativos, es determinar el estado en que se encuentra un pavimento, con el objeto de realizar los programas de inversión que permitan llevar a cabo la conservación o rehabilitación respectiva, y así brindar a este medio de transporte seguridad y eficiencia en las operaciones en tierra.

IV.2 MANTENIMIENTO.

IV.2.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS.

El mantenimiento de los pavimentos pretende que el nivel de servicio de esta infraestructura se mantenga constante y aún en ocasiones llegue a mejorarse, todo ello con la finalidad de brindar seguridad y confort en las operaciones y preservar las inversiones efectuadas en la construcción de tales obras.

De esta manera básicamente se cuenta con dos tipos de mantenimiento a realizar:

- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Correctivo.

Los cuales comentaremos a continuación.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El mantenimiento preventivo, es aquel que nos brinda la oportunidad de implementar en la operación de la infraestructura aeroportuaria, programas de conservación y rehabilitación menor, cuya finalidad es incrementar la vida útil de la infraestructura en condiciones de operatividad adecuadas y seguras.

Este tipo de mantenimiento, refleja incrementos cuantiosos de capital que se hacen necesarios y que debe destinar el aeropuerto para desempeñar tales labores, es por ello que se pueden presentar aumentos en tarifas, servicios, alquileres entre otras actividades. que afectan directamente a las compañías aéreas

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

que desempeñan sus servicios en el aeropuerto. Ante tal situación las compañías tendrán por objetivo recavar mayor capital tanto para sufragar sus gastos, como para pagar los servicios utilizados en el aeropuerto.

Tenemos que tener presente que a pesar de las cuantiosas inversiones destinadas para cumplir con estas labores, los resultados obtenidos a cambio, permiten disminuir las erogaciones en reconstrucciones de infraestructura que sin lugar a duda son mucho más elevadas.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

El mantenimiento correctivo es aquel en donde se tienen que realizar reestructuraciones completas de la infraestructura, ya sea por falta de un adecuado mantenimiento preventivo o por problemas de otra índole. Este tipo de mantenimiento afecta considerablemente los tiempos de servicio, pues se realiza por lo general a gran escala y con amplios períodos de ejecución.

Los costos para realizar este tipo de mantenimiento, pueden en determinado momento ser mucho mayores que los destinados a implementar programas de mantenimiento preventivo, de esta manera es de vital importancia contar con un adecuado programa de rehabilitación y conservación que permita a las instalaciones aeroportuarias, tener una vida útil aceptable y con las menores inversiones posibles en su operación.

IV.2.2 INSPECCION Y SUPERVISION.

La inspección es una actividad que se encuentra encaminada a verificar que todas las instalaciones que conforman un aeropuerto, estén en condiciones adecuadas para operar eficientemente y con seguridad, es por ello que para la realización de tales actividades, se cuente con un programa que contemple cada parte de la infraestructura aeroportuaria, ya sean desde las instalaciones de mayor importancia, hasta las que revisten menor grado de atención.

En cuanto a la supervisión, tenemos que decir que esta es una actividad completamente relacionada a la antes mencionada, ya que en base a los reportes generados por las inspecciones, se llevan a cabo las labores de supervisión, las que por lo general, se enfocan a programas de conservación y rehabilitación de la infraestructura existente.

De esta forma la adecuada relación entre las actividades las de inspección y supervisión, permiten que se lleve a cabo una correcta operación de la infraestructura aeroportuaria; cabe resaltar que estas actividades no son las mismas en cada aeropuerto pero tienen por lo general gran similitud en su realización.

Por ultimo, contar con personal altamente calificado y de gran experiencia en el ramo, trae como consecuencia una adecuada realización de las actividades, lo que reditúa en brindar servicios de gran calidad para los usuarios de este medio de transporte.

IV.2.3 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El mantenimiento en los pavimentos flexibles se ve enfocado principalmente a realizar actividades en las cuales se mantenga la superficie de rodamiento en condiciones óptimas y seguras para el desempeño de las operaciones; tales actividades permiten mantener un nivel de servicio constante la mayor parte del tiempo.

Dentro de los principales problemas sobre los que hay que tener cuidado, y de los cuales tenemos que proporcionar el mantenimiento adecuado, se tiene entre otros:

- Erosiones en el pavimento.
- Afloramientos de asfalto.
- Corrugaciones de la superficie de rodamiento.
- Hundimientos o depresiones.
- Grietas de contracción.
- Agrietamientos longitudinales.
- Agrietamiento general tipo piel de cocodrilo.
- Disgregaciones.
- Corrimientos de la carpeta
- Corrimientos circulares.
- Oxidaciones de asfalto.
- Erosión eólica.
- Agujeros
- Crecimiento de yerba en la carpeta.
- Afloramiento de agua a través de la carpeta, entre otros.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

A continuación se presentara una tabla con los problemas antes mencionados, las posibles causas y las recomendaciones a seguir en el mantenimiento a proporcionar.

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES		
CONCEPTO.	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA.	RECOMENDACIONES A TOMAR.
Erosión del pavimento.	Chorro de las turbinas, paso de las ruedas, derrame de combustible y lubricantes.	Proteger con un riego de mortero asfáltico (Slurry Seal) Si la falla está muy avanzada, utilizar mezcla asfáltica. Las áreas susceptibles de derrame de combustible y lubricantes, se pueden proteger con un producto antikeroseno. Para el caso de derrame de combustible, lavar de inmediato el área afectada.
Afloramientos de asfalto.	Exceso de asfalto en la mezcla	Raspar el exceso de asfalto aflorado y proteger con mortero asfáltico (Slurry Seal.)

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

<p>Corrugaciones de la superficie de rodamiento.</p>	<p>Exceso de asfalto en la mezcla, defecto en la granulometría, en los agregados, falta de compactación de las capas inferiores, subdrenaje defectuoso; falta de estabilidad de la mezcla.</p>	<p>Remover el material dañado y reponerlo, eliminando previamente la causa del problema. Como solución temporal, renivelar utilizando concreto asfáltico.</p>
<p>Hundimientos o depresiones.</p>	<p>Falta de compactación de las capas inferiores; subdrenaje defectuoso; capas inferiores contaminadas.</p>	<p>Si la causa es sólo falta de compactación, únicamente se requiere un reencarpetao de nivelación. En los demás casos es necesario remover el material afectado y restituirlo por material en condiciones óptimas.</p>
<p>Grietas de contracción.</p>	<p>Defecto de la mezcla.</p>	<p>Si las grietas son escasas sellarlas adecuadamente; si las grietas son abundantes pero ligeras, cubrir con mortero asfáltico (Slurry Seal) o una ligera sobrecarpeta.</p>

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Agrietamientos Longitudinales	Falta de soporte lateral del pavimentos; defecto de compactación; subdrenaje defectuoso.	Abrir caja y reponer material
Agrietamiento general tipo piel de cocodrilo.	Material de la carpeta fatigado; asfalto oxidado; deformación de las capas inferiores.	Colocar sobre carpeta.
Disgregaciones	Avance excesivo de la falla anterior	Colocar sobre carpeta.
Corrimientos de la carpeta.	Falta de adherencia entre la carpeta y la capa contigua. Falta de estabilidad de la mezcla.	Remover el tramo afectado y reemplazar cuidando de corregir el defecto de liga.
Corrimientos circulares.	Provocados por las ruedas de los aviones al efectuar giros.	Si la grieta es sólo superficial, sellarla adecuadamente y efectuar riego de sello en el área involucrada. Si el efecto es más profundo, abrir caja y reponer el material.
Oxidaciones de asfalto	Intemperismo y humedad.	Efectuar un riego superficial de protección. Corregir fuente de humedad.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Erosión eólica en las inmediaciones de las cabeceras, orillas de pista y calles de rodaje.	Provocado por el escape de las turbinas principalmente.	Proteger el terraplén con un riego de impregnación o con una ligera carpeta de mezcla en el lugar.
Agujeros.	Defectos parciales de la carpeta.	Rellenar el agujero con mezcla asfáltica.
Crecimiento de yerba en la carpeta	Carpeta con textura demasiado abierta, grietas no tratadas.	Eliminar la yerba y proporcionar un riego asfáltico sin agregado pétreo en la zona interesada.
Afloramiento de agua a través de la carpeta.	Subdrenaje defectuoso.	Corregir el subdrenaje.

IV.2.4 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

El mantenimiento de los pavimentos rígidos se enfoca a realizar actividades en las cuales se busca mantener la superficie de rodamiento en condiciones adecuadas, con el objeto de realizar las operaciones aéreas de forma segura y eficiente; este tipo de mantenimiento al igual que el de los pavimentos flexibles, permite mantener los niveles de servicio el mayor tiempo posible lo que reditúa en un mejor servicio.

De esta forma se tiene que tener una especial atención en los siguientes problemas:

- Grietas sin sellar.
- Falta de sello en las juntas.
- Desintegración del concreto.
- Superficies lajeadas o costrosas.
- Astillamientos.
- Hundimientos.
- Losas que se botan.
- Irregularidades en la superficie.

El mantenimiento de los pavimentos rígidos realiza reparaciones de suma importancia que pueden catalogarse en tres grupos:

- a) Reemplazamiento del pavimento que ha sido cortado totalmente, para colocar o reparar tuberías u otros trabajos.
- b) Reparación de depresiones causadas ya sea por falla originada por la construcción, o por el efecto normal de desgaste

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

c) Reparaciones a lo largo de las juntas de expansión o de las grietas formadas por si solas, en el pavimento.

A continuación se presentara una tabla con los principales problemas que afectan la operatividad de los pavimentos rígidos, dentro de ésta, se mencionan las posibles causas y las recomendaciones a seguir en el mantenimiento a proporcionar.

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.		
CONCEPTO.	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA.	RECOMENDACIONES.
Sellado de juntas	Falta de limpieza de las caras de las juntas al llenarlas originalmente; temperatura inadecuada al aplicar el sello; falta de calidad en los materiales.	Quitar el material viejo defectuoso, limpiar las juntas y sellar debidamente. Durante el verano debido a las altas temperaturas puede aflorar material sellante sobre el borde de la junta, si esto sucede deberá eliminarse el material.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Desintegración del concreto	Materiales poco durables, condiciones climaticas.	Si el deterioro es excesivo, reponer el tramo defectuoso Sellar las grietas con resinas epóxicas o con mezclas asfálticas si el deterioro no es muy grande.
Superficies lajeadas o costrosas.	Impurezas en los agregados; uso de productos quimicos en la superficie, acabado excesivo de la superficie.	Parchar con mortero de cemento y resinas epóxicas o con mezcla asfáltica. Si no hay agujeros profundos puede usarse mortero asfáltico (Slurry Seal).
Grietas longitudinales y transversales , en el cuerpo de la losa.	Alabeos: por contracción o falla estructural.	Sellar las grietas con material bituminoso o algún producto especial flexible, para evitar la entrada de agua a la subbase.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

<p>Cuerpos astillados</p>	<p>Infiltración de materiales no compresibles en la junta, impedimento de movimiento de los pasajuntas; acabado excesivo en las juntas.</p>	<p>Reponer el concreto entre la parte sana y la junta eliminando previamente la causa del problema. Utilizar resinas epóxicas. Como solución alterna puede usarse concreto asfáltico en el parchado.</p>
<p>Grietas en esquina.</p>	<p>Falla estructural del concreto; defecto de soporte de la subbase o mala transmisión de las cargas a la losa.</p>	<p>Reponer el concreto entre la parte sana y la junta eliminando previamente la causa del problema. Utilizar resinas epóxicas. Como solución alterna puede usarse concreto asfáltico en el parchado.</p>
<p>Agrietamientos acompañados de hundimientos.</p>	<p>Inestabilidad de la subbase y subrasante. Drenaje defectuoso de la subrasante, bombeo</p>	<p>Reponer el tramo defectuoso. Utilizar aditivos y resinas epóxicas si se requiere. Eliminar previamente las causas del problema.</p>

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Losas que se botan	Material no compresible en las juntas, lo que impide que las losas se expandan.	Reparar las losas que se botan. Limpiar y resellar las juntas.
Irregularidades en la superficie.	Poca supervisión en la realización de los trabajos.	Parchar las áreas defectuosas o repavimentar si el área no es muy extensa.

CAPITULO V: CONCLUSIONES.

Como hemos visto a lo largo del presente trabajo, la infraestructura aeroportuaria contempla un sin número de aspectos que en su conjunto, permiten al transporte aéreo desempeñar sus actividades de traslado de pasajeros y mercancías, de manera eficiente y segura; para tal efecto, este modo de transporte debe contar con especialistas en la materia que permitan plantear soluciones a problemas que en determinado momento se presenten, y afecten el correcto funcionamiento de este complejo sistema de transporte.

Por otro lado, es importante contemplar dentro del desarrollo de la infraestructura aeroportuaria, factores que de manera directa o indirecta, se ven involucrados en la planeación, construcción y operación de tal infraestructura. Entre estos factores podemos destacar a los siguientes: Factores económicos, los cuales sin lugar a duda representan un papel de suma importancia dentro de cualquier obra de ingeniería civil; Factores geográficos, que nos permiten adquirir conocimientos acerca de los lugares seleccionados para establecer la infraestructura aeroportuaria; Factores sociales, los cuales reflejan los posibles beneficios dentro de las comunidades en donde se implementa este tipo de obras.

De esta manera y enfocándonos a la zona aeronáutica terrestre, debemos tener presente que su adecuada operación es el resultado de la suma de las decisiones tomadas, desde los factores económicos para la implementación de la infraestructura, hasta los factores sociales donde se busca el bienestar de la población.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Es por ello que la selección de la infraestructura a contemplar debe realizarse cuidadosamente, con la finalidad de evitar inversiones infructuosas que en determinado momento, conviertan las obras realizadas en proyectos inoperantes, funcional y económicamente.

Los pavimentos de aeropuertos como elemento primordial de la zona aeronáutica terrestre, son sin lugar a duda un aspecto que debe estudiarse a detalle, pues su correcta selección influirá en el desempeño de las actividades cotidianas de este medio de transporte, y en las cuales se ve reflejada la calidad del servicio.

Así, es importante sugerir que para la selección de los pavimentos de aeropuertos se contemplen los siguientes aspectos:

- Las condiciones del terreno en las cuales se construirán los pavimentos.
- Las condiciones económicas de la obra.
- La función social que desempeñara el aeropuerto.
- La intensidad de tránsito.
- Las condiciones climatológicas.
- Las perspectivas de desarrollo a futuro.

De esta forma la selección del tipo de pavimento, podemos realizarla adecuadamente, y a partir de información complementaria efectuar la elección más conveniente.

A continuación comento algunos aspectos que considero relevantes, dentro de los tipos de pavimentos seleccionables para cualquier proyecto aeroportuario.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Los Pavimentos Flexibles son los apropiados para construirse en suelos granulares como arenas y gravas, generalmente de alta capacidad de carga, situación que permite reducir los espesores de diseño los cuales en determinado momento pueden ser incrementados aprovechando la infraestructura ya existente; este tipo de pavimento contempla costos de construcción no muy altos, pero en contraparte su mantenimiento es muy costoso y constante.

Los Pavimentos Rígidos son los apropiados para construirse en suelos arcillosos de baja constitución estructural, que generalmente presentan cambios en su contenido de humedad, tal situación permite que se puedan contemplar grandes cargas de diseño, las cuales por efecto mismo del suelo, pueden ser repartidas en grandes extensiones de terreno; este tipo de pavimento por lo general requiere de mayores inversiones en su construcción, pero sus costos y períodos de mantenimiento son reducidos y con menor frecuencia en su ejecución.

Así, la selección de la infraestructura aeroportuaria ha implementar, ya sea desde la más pequeña, hasta la que revierta mayor importancia, debe ser analizada detalladamente, pues en ciertas ocasiones los costos generados por cuestiones de mantenimiento, rebasan considerablemente los costos efectuados en las inversiones iniciales, situación que se vuelve contraproducente en las elecciones efectuadas.

En consecuencia tenemos que tener presente que el transporte aéreo, basa su eficacia y calidad de los servicios que presta, en una adecuada relación entre todos los componentes del sistema aeroportuario, por tal motivo es imperante que siempre se mantenga a un nivel óptimo la infraestructura existente, con una adecuada supervisión y con los programas pertinentes de mantenimiento; situación que en todo momento repercute en las operaciones que se realizan en este modo de transporte.

Aspectos Generales de los Pavimentos de Aeropuertos.

Por último implementar tecnología de punta e innovaciones técnicas, permitirá que el transporte aéreo contribuya no solamente al traslado de pasajeros y mercancías, sino que haga posible incrementar los flujos comerciales y de otra índole a nivel mundial.

BIBLIOGRAFIA.

- Ashford and Wright, Airport Engineering. E.U.A. Ed. Wiley Interscience 1991.
- Curso Proyectos de Aeropuertos. Parte I y II. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1985.
- Curso Mantenimiento y Operación de Aeropuertos. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1985.
- Curso Construcción de Aeropuertos. División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1985.
- Enciclopedia Salvat. Tomo II. México. Ed. Salvat 1983.
- Enciclopedia Universal Quid. Tomo I Aeronáutica. México. Ed. Promexa 1983.
- Fernando Rivera Bustamante, Estructuración de las Vías Terrestres. México Ed. CECSA 1994.
- Horonjeff and Mckelvey, Planning and Design of Airports. E.U.A. Ed. Mc Graw-Hill 1986.
- Juárez Badillo y Alfonso Rico, Mecánica de Suelos Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México. Ed. Limusa 1974.
- Manual de Aeródromos. Parte III. Pavimentos. Organización de Aviación Civil Internacional-Montreal 1957 Doc. 9157 2a. Edición. 1983.
- Portland Cement Association (P.C.A.), Design of Concrete Airport Pavement. E.U.A. 1955.
- Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol. I y II. México. Ed. Limusa 1982.
- Rodarte Lozano Francisco. Conservación de Aeropuertos Sistema Aeronáutico Terrestre. 1978.
- Yoder. E. J. Principles of Pavement Design. E.U.A. Ed. John Wiley and Sons 1975.