

99



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“DRENAJE Y PAVIMENTOS EN
AEROPUERTOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CARLOS NARCIA MORALES



DIRECTOR: ING. JOSE ARTURO REYNA GALINDO

300232

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



VERDAD NACIONAL
AVANZAMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/118/96

Señor
CARLOS NARCIA MORALES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JOSE ARTURO REYNA GALINDO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

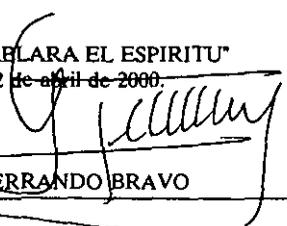
"DRENAJE Y PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS"

- INTRODUCCION**
- I. PAVIMENTOS Y CARGAS**
 - II. PAVIMENTOS FLEXIBLES**
 - III. PAVIMENTOS RIGIDOS**
 - IV. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE**
 - V. OBRAS HIDRAULICAS**
 - VI. RELACION PAVIMENTOS-OBRA DE DRENAJE**
 - VII. MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE Y PAVIMENTOS**
 - VIII. 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 12 de abril de 2000.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/OMT/mstg

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por permitirme compartir este momento con la gente que quiero y amo y que ha sido fundamental en la culminación de este trabajo.

A mis padres:

Sra. Faustina Morales Carbajal.

Por la ayuda incondicional que siempre me ha brindado y por los consejos que he recibido.

Sr. Antonio Narcia Martínez...(FINADO).

Para ti Papá, por todo el apoyo que siempre me diste y que nunca olvidaré. Este logro te lo debo a ti y es también tuyo.

A mi esposa:

Rocio Melgarejo de Narcia.

Por lo que ha significado en mi vida; además, de la ayuda que siempre me ha brindado y por los bellos momentos que he pasado a su lado.

A mi hermana:

Carolina Narcia Morales:

Por el estímulo y la motivación que me ha dado siempre.

A mi sobrinito:

Luis Eduardo Najera Narcia.

Por el cariño que se ha ganado desde su llegada a nuestras vidas y como un ejemplo a seguir el día de mañana cuando crezca.

Al ING. JOSE ARTURO REYNA GALINDO.

Por la asesoría y amistad que me ha brindado durante el desarrollo de este trabajo. *Sinceramente, gracias.*

A la FACULTAD DE INGENIERIA.

Por la formación que de ella he recibido a lo largo de la carrera.

A todos mis familiares, compañeros y amigos.

Por el apoyo y motivación que siempre he recibido.

A TODOS USTEDES, GRACIAS.

INDICE

Agradecimientos.
Indice.

INTRODUCCION	1
A. Ubicación del aeropuerto	2
B. Generalidades de las obras de drenaje y pavimentos	4
Capítulo I. PAVIMENTOS Y CARGAS	10
1.1. Estabilización de suelos	11
1.2. Tipos de pavimentos	22
1.3. Elección de pavimentos	23
1.4. Intensidad de tráfico y vibraciones	26
1.5. Rugosidad superficial	28
1.6. Resistencia en pavimentos	28
Capítulo II. PAVIMENTOS FLEXIBLES	31
2.1. Estructuración	32
2.2. Tipos de carpetas asfálticas	33
2.3. Tipos de fallas	37
2.4. Método de cálculo de espesores de pavimentos flexibles	45
2.4.1. Método de la Federal Aviation Administration (F.A.A)	46
2.5. Sistemas de clasificación de aeropuertos y aeronaves	61
Capítulo III. PAVIMENTOS RIGIDOS	67
3.1. Estructuración	68
3.2. Diseño de espesores de pavimentos rígidos	71
3.2.1. Método de la F.A.A.	71
3.3. Juntas y dispositivos de unión	79
3.4. Fallas más comunes en los pavimentos rígidos	85

Capítulo IV. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE	88
4.1. Estudio fotogramétrico	89
4.2. Estudio topográfico	91
4.3. Estudio geotécnico	93
4.4. Estudio hidrológico	96
Capítulo V. OBRAS HIDRAULICAS	108
a. Generalidades	109
b. Concepción del sistema de drenaje	110
5.1. Tuberías	117
5.2. Canales y Trincheras	117
5.3. Alcantarillas	119
5.3.1. Estructuras de entrada	125
5.3.2. Estructuras de salida	127
5.4. Rápidos	129
5.5. Zampeados	130
5.6. Cárcamos de bombeo	132
5.7. Badenes y zanjas	132
5.8. Diques	133
5.9. Bordillos, cunetas y lavaderos	135
5.10. Subdrenes	137
Capítulo VI. RELACION PAVIMENTOS - OBRAS DE DRENAJE	140
6.1. Generalidades	141
6.2. Aspectos relacionados con el drenaje para el diseño del pavimento	142
6.3. Factores que afectan el funcionamiento del pavimento	144
6.3.1. Efectos de las estaciones del año en respuesta al pavimento	144
6.3.2. Arcillas expansivas	148
6.3.3. Infiltración de agua superficial	151
6.3.4. Repartición de cargas	152
Capítulo VII. MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE Y PAVIMENTOS	155
7.1. Estudios especiales	156
7.2. Tipos de mantenimiento	158

7.2.1. Mantenimiento preventivo	159
7.2.2. Mantenimiento correctivo	160
7.3. Mantenimiento de las obras de drenaje	164
7.4. Control de calidad	164
7.4.1. Control de calidad en pavimentos	166
7.4.2. Control de calidad en las obras de drenaje	170
Capítulo VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
Bibliografía	176

DRENAJE Y PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS

OBJETIVO GENERAL.

Integrar los conocimientos de la Ingeniería Civil en aspectos esenciales del proyecto y diseño de las obras de drenaje y pavimentos en un aeropuerto; así como, la operación en su aspecto de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

A.- Ubicación del aeropuerto.

El primer paso a dar en la elaboración del proyecto de un aeropuerto es la búsqueda de los sitios apropiados para su localización y construcción. Dichos lugares deben cumplir con requisitos de seguridad que exigen las operaciones aeronáuticas; es decir, que no existan en sus cercanías obstáculos, naturales o artificiales, que afecten a las operaciones aéreas; o bien que si existen, ellos puedan ser eliminados. Para seleccionar el lugar más adecuado para el emplazamiento del aeropuerto es necesario estudiar:

- a) Su ubicación con relación al centro urbano.
- b) Las condiciones metereológicas del lugar.
- c) La economía en la construcción.

a) Situación del aeropuerto con respecto al centro urbano

El estudio de la Situación del aeropuerto con respecto al centro urbano involucra dos puntos principales:

- 1) Su distancia del mismo.
- 2) Su orientación con respecto a él.

Con relación a la distancia del aeropuerto del centro urbano, hay que tener en cuenta que ella se refiere no a la distancia física que los separa, sino el tiempo invertido en recorrer la separación geográfica, lo anterior debido a que un buen sistema de vías de comunicación puede transformar la lejanía de un aeropuerto, en preferencia de los usuarios sobre otro que se encuentre a menor distancia del centro urbano, pero que tenga malas comunicaciones con el aeropuerto.

Otro factor a tomar en cuenta es el ruido de los aviones puede ser muy molesto si el aeropuerto se encuentra muy cerca de la población, por lo que lo más recomendable es ubicar los aeropuertos en zonas no habitacionales o industriales.

b) Condiciones metereológicas

Las condiciones metereológicas que la localización posible un aeropuerto debe reunir se pueden clasificar en dos partes:

- a) Condiciones climáticas generales de toda la zona.
- b) Condiciones especiales del lugar elegido para el aeropuerto.

El estudio de los aspectos climáticos de toda la zona marca, las condiciones de utilización de los diferentes probables lugares de ubicación del aeropuerto dentro de la zona. Los datos son, generalmente, obtenidos del Observatorio Meteorológico más cercano y se refieren a intensidad, frecuencia de dirección y duración de los vientos, así como a temperaturas, lluvias, nieves en la zona y altura de las nubes.

Haciendo un estudio de las condiciones meteorológicas anteriores, se puede escoger el lugar más adecuado para el aeropuerto. De estas condiciones meteorológicas las más importantes, para el proyecto son, la anemometría y la pluviometría ya que servirán para la orientación de las pistas y para el estudio del drenaje respectivamente.

Las condiciones especiales del lugar elegido para la obra se refieren al hecho de tratar de evitar, hasta donde ello sea posible, el ubicarlo en terrenos que, por su relieve, puedan modificar en parte la meteorología común a toda la zona debido a cambios en las condiciones de las capas de aire más bajas. Este cambio puede producir corrientes ascendentes y descendentes así como variación en la dirección de los vientos, aspectos que tendrían que tomarse en cuenta en el proyecto, pues dichos movimientos en el aire así como la variación en la dirección de los vientos hacen peligrosas las operaciones de aterrizaje y despegue de los aviones.

c) Economía en la construcción

De las distintas alternativas que se tengan para el emplazamiento de un aeropuerto debe tomarse muy en cuenta aquella que resulte, entre otras, económicamente factible de realizarse.

La evaluación de una posibilidad económica requiere un análisis costo-beneficio. El criterio económico que se utiliza para evaluar una inversión aeronáutica es el resultado de considerar el costo total de las instalaciones comparado con el valor del incremento de efectividad considerado en términos de beneficios totales. Los costos incluyen la inversión del capital, administración, funcionamiento, mantenimiento y cualquier otro costo que pueda cuantificarse. Los beneficios incluyen una reducción en las demoras de los aviones, una mejora en las operaciones de las aeronaves y otros conceptos.

Otro factor importante a considerar en la economía en la construcción de un aeropuerto es la capacidad de soporte de cargas del terreno natural y la economía con que puedan obtenerse suelos de alto índice de resistencia, por ser el espesor del pavimento mucho mayor cuanto menor es ésta.

Entre los puntos a tratar en el estudio de la economía constructiva, se encuentran: la proximidad de los materiales, tanto naturales como artificiales a emplear en la construcción del aeropuerto, así como la facilidad de transporte y empleo de los mismos, sin olvidar el tipo de material encontrado como suelo de

cimentación, así como si el suelo escogido tenga o no facilidad para drenar solo, es decir, sin necesidad de un drenaje especial muy costoso.

Debido a las características topográficas exigidas por la navegación aérea los aeropuertos muy a menudo se localizan en mesetas formadas por estratos de sedimentación, de los cuales el primero es, generalmente, una arcilla plástica de bajo valor de soporte. La parte superior del primer estrato, ya sea monte o terreno de cultivo, contiene materia orgánica en cantidad perjudicial por lo que exige se quite. A menudo también se requiere que la capa superior de la terracería sea hecha con material de mejor calidad que el resto de la misma. Todo lo anterior hace que el costo total sea fundamental y por lo tanto es necesario tener mucho cuidado al elegir el sitio del mismo.

Por otra parte, conviene observar si existe algún problema que se presente y pueda influir de manera decisiva en el costo del emplazamiento, teniendo en cuenta los factores que puedan existir en la zona, por su situación con respecto al centro urbano.

B.- Generalidades de las obras de drenaje y pavimentos.

Uno de los principales problemas de un aeropuerto es la construcción de la red de drenaje, que tiene por objeto el rápido desalojo de las aguas pluviales de la zona operacional evitando los encharcamientos permanentes del campo, que pueden hacerlo impracticable en las épocas de lluvia.

En las zonas pavimentadas puede ocurrir por causa de la humedad, el reblandecimiento del terreno en la base de los firmes, lo que origina la destrucción de los mismos.

Las obras de drenaje son un capítulo importante en el presupuesto de construcción de un aeropuerto, y uno de los de máxima atención para el ingeniero, por ser obras de gastos elevados y cuyos efectos repercuten en la operación aeroportuaria. Comparando con construcciones de otros tipos, puede decirse que un aeropuerto sin drenaje, es tan "inhabitable" como una población sin alcantarillado.

La existencia de un sistema adecuado de drenaje para la evacuación de las aguas resulta vital para la seguridad del avión y duración de los pavimentos.

Un pavimento se define como una estructura formada por capas de materiales elaborados, cuya función es proporcionar una superficie de rodadura uniforme y segura en todo tiempo, siendo el espesor de cada capa el adecuado para asegurar que las cargas que inciden sobre él no deterioren ni la capa superficial ni las subyacentes. Un drenaje inadecuado implica la formación de charcos en la superficie del pavimento, que pueden resultar peligrosos para el despegue y

aterrijaje de los aviones. Un mal drenaje también puede implicar una disminución de la vida útil de los pavimentos.

Cuando el suelo es muy poroso, es decir, cuando está constituido por gravas y arenas, la evacuación de las aguas puede hacerse por filtración natural en el terreno, y entonces, el gasto hidráulico es reducido; pero en los casos de terrenos compactos y en los que el nivel de aguas freáticas está cerca de la superficie, el gasto en el drenaje llega a cifras considerables. Por esta razón, es necesario efectuar estudios muy detallados sobre intensidades de lluvia, corrientes de agua, permeabilidad de suelo, variación del nivel de aguas subterráneas, etc. Una pequeña variación en la apreciación de estos datos, puede conducir a cifras de costo muy distintas.

Las aguas a eliminar en un aeropuerto, pueden provenir:

- a) de las lluvias en la superficie del mismo.
- b) del agua que asciende del subsuelo por efectos capilares, o por aumento de nivel de la capa freática de aguas.
- c) de las corrientes de agua que pueden irrumpir en el aeropuerto, originadas por lluvias en las zonas que rodean el mismo.

Puede por tanto clasificarse la red de drenaje en función de su fin en:

- a) Drenaje superficial.
- b) Drenaje subterráneo.
- c) Drenaje de circunvalación.

El **drenaje superficial**: es el destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o sobre la estructura; normalmente, estas aguas proceden directamente de las lluvias, aunque a veces tienen su origen en inundaciones o corrientes fluviales o en manantiales.

El **drenaje subterráneo**: consiste en general, en la construcción de subdrenes interceptores para captar el flujo subterráneo, para drenar capas saturadas y para controlar el contenido de agua de la sub-base y base del pavimento, así como en las terracerías y aún en la parte superior del terreno de cimentación.

El **drenaje de circunvalación**: Se efectúa siempre y cuando las condiciones del lugar lo permitan. Estas redes están constituidas por canales o zanjas que, rodeando al aeropuerto, evitan que penetren las aguas del exterior al mismo tiempo que recogen las aguas del drenaje superficial y del drenaje subterráneo.

Ocasionalmente las redes se construyen completamente independientes, pero la generalidad es que se acoplen en un sistema unitario que cumpla los tres fines.

La necesidad de construcción de las diferentes redes, depende exclusivamente de las características del suelo y de la topografía de los alrededores. El drenaje de circunvalación se construirá, si hay posibilidad de corrientes superficiales exteriores que puedan inundar el aeropuerto. En cuanto a las dos primeras pueden ocurrir varios casos; ver tabla A.

Tabla A

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Possible solución</i>
1. Suelos permeables y de constitución uniforme en gran profundidad.	Bastará en general dar pendientes adecuadas a la superficie del aeropuerto.
2. Suelos impermeable y de constitución uniforme en gran profundidad.	Es necesaria una red de drenaje superficial, pero es probable no se necesite la subterránea.
3. Suelo permeable y subsuelo impermeable	Bastará en la mayoría de los casos con la construcción de la red subterránea situada encima del estrato impermeable, a menos que, por estar muy profundo este estrato, no sea perjudicial la capa de agua que puede soportar, en cuyo caso no es necesaria tampoco la red subterránea.
4. Suelo impermeable y subsuelo permeable	Es necesaria la red de drenaje superficial.
5. Suelo y subsuelo constituidos por estratos irregulares, permeables e impermeables.	Se hace imprescindible el drenaje superficial, dependiendo del nivel de aguas freáticas la necesidad de construcción del subdren subterráneo.

Los datos necesarios para el proyecto de las diferentes redes son los siguientes:

1. Plano topográfico de los alrededores del lugar, que comprenda las cuencas de arroyos y corrientes de agua que pasan por el aeropuerto o por sus cercanías, con máximos caudales registrados en los mismos.
2. Datos pluviográficos que determinen las curvas duración-intensidad para 2,5,10 y 15 años.
3. Planos del aeropuerto, donde se especifiquen las pendientes del terreno.
4. Secciones del terreno, que indiquen tanto la composición de los diferentes estratos como los máximos niveles de aguas subterráneas.
5. Datos sobre permeabilidad de las diferentes capas.

A continuación veamos lo que se tratará brevemente en este trabajo:

En el capítulo I, titulado pavimentos y cargas, iniciamos hablando de los distintos tipos de estabilización de suelos más comunes a usarse con el fin de mejorar las propiedades del material existente, para hacerlo cumplir mejores requerimientos pensando que su utilización puede darse en la construcción de pavimentos. En seguida se mencionan, en términos generales, los tipos de pavimentos existentes y las diferencias que, agros modo, guardan entre ellos. Ello debido a que en capítulos posteriores nos dedicaremos a estudiarlos con más detalle y por separado. Posteriormente se sintetizan los criterios de selección entre pavimentos en dos grupos: el estructural y el de costos. Y se resume un listado de factores para su elección. Finalmente se habla de varios factores que ejercen influencia sobre el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos factores son la magnitud y el carácter de las cargas de la aeronave que han de soportarse, el volumen del tráfico y la calidad del terreno de fundación de los materiales que constituyen la estructura del pavimento buscando, con ello, una rugosidad superficial y una resistencia en el pavimento adecuada que garantice una vida útil larga y duradera.

En el segundo capítulo, llamado pavimentos flexibles, se habla de la estructuración de este tipo de pavimento y de las distintas funciones de cada una de sus capas que lo constituyen. Después se presentan los distintos tipos de carpetas asfálticas existentes y las características que guardan entre sí. También se tratan los tipos de falla que pueden presentarse, que las está originando y como se manifiestan en la superficie. Posteriormente se realiza el cálculo de espesores, empleando el método de la Federal Aviation Administration (F. A. A.). Se estudia el método y se presentan las consideraciones de diseño necesarias para su aplicación. Y para un mejor entendimiento, se presenta un ejemplo de diseño del pavimento aplicando el método en cuestión. Finalmente se presentan los sistemas de clasificación de aeropuertos y aeronaves: LCN y ACN/PCN empleados para determinar la resistencia estructural en un pavimento, ya sea flexible o rígido, y decidir si una aeronave, puede ó no, operar en el.

El tercer capítulo corresponde a pavimentos rígidos. Su desarrollo es un tanto análogo al descrito en el capítulo II, se inicia presentando su estructuración; es decir, los elementos que lo forman y las diversas funciones que cada uno de ellos debe cumplir; para que en conjunto, se tenga un pavimento adecuado. Después, se procede al diseño de espesores aplicando el método de la F. A. A. descrito en el capítulo anterior, resaltando algunas consideraciones de diseño aplicables para este caso. Con fines ilustrativos, se resuelve el mismo ejemplo de diseño de pavimentos del capítulo II, pero ahora proyectando un pavimento rígido. En seguida se habla de las juntas y dispositivos de unión empleados en este tipo de pavimentos; su uso se debe a los diversos esfuerzos a que es sometido el pavimento los cuales, pueden ocasionar agrietamientos y defectos varios que impiden se cumpla en forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera. Por último se presentan las fallas más comunes que pueden presentarse; es decir, como se manifiestan y a que se debe su causa.

Hasta este momento se ha tratado, principalmente, lo relacionado a la tecnología de pavimentos dejando pendiente lo referente a las obras de drenaje en los aeropuertos. En los siguientes dos capítulos se hablará con mayor detalle de estas estructuras vitales en un aeropuerto y fundamentales al propio pavimento.

El capítulo cuarto lleva por nombre estudios previos al diseño de las obras de drenaje, que como su nombre lo indica se busca conocer las condiciones y características del terreno; así como, los parámetros hidrológicos de la cuenca en que se ubicará el aeropuerto, los cuales, inciden en las obras de drenaje. Para ello se presentan los estudios fotogramétrico, topográfico, geotécnico e hidrológico a efectuar, poniendo mayor énfasis en el último de ellos pues será la base sobre la que se apoyará el proyecto del sistema de drenaje, ya que definirá el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto y por lo tanto la problemática que se generará al construirlo y que habrá de resolverse mediante el proyecto; es decir, las obras de drenaje. En éste último estudio se presenta el método Racional o de la F. A. A. para determinar el caudal de agua a evacuar originado por una precipitación pluvial.

El capítulo quinto trata de las distintas obras hidráulicas empleadas en el sistema de drenaje de un aeropuerto. Se presentan algunos esquemas de ellas, y se destacan sus características principales que nos pueden ser de interés. También se presenta un ejemplo de cálculo para evaluar el gasto que aporta la cuenca a una isleta aplicando el método de la F. A. A. visto en el capítulo anterior, para proceder posteriormente al diseño hidráulico de la alcantarilla (obra de drenaje), para su correcta evacuación.

En el sexto capítulo, se pretende mostrar la relación existente entre los pavimentos y las obras de drenaje; temas que se han estudiado por separado y, aunque de una forma indirecta, podemos intuir la relación entre ellas. Para ello, mencionamos algunos aspectos relacionados con el drenaje que influyen en el diseño del pavimento y repercuten en la vida útil del mismo. Se destaca la importancia de contar con un sistema de drenaje adecuado que garantice el aterrizaje o despegue de los aviones sin poner en riesgo a los usuarios ante fenómenos como el "acuaplano" que puede ser muy serio en aeropuertos. Además, se analizan otros factores como son las temperaturas ambientales, las arcillas expansivas, la repetición de cargas y la infiltración de agua superficial que afectan el funcionamiento del pavimento.

El séptimo capítulo titulado mantenimiento de las obras de drenaje y pavimentos, muestra las técnicas básicas para el mantenimiento de dichas obras, pues al estar en operación se van deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Esos deterioros, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra, que aceleran su falla, lo que obliga a un mantenimiento que garantice su vida útil. Además, se trata otro aspecto vital que garantiza su adecuado funcionamiento: el control de calidad. Este interviene de muy diversas maneras y se aplica en todas las etapas de la obra; en síntesis, puede resumirse como un conjunto de acciones, encaminadas para que un

elemento u obra cumplan con el propósito para el que fue programado al menor costo posible.

El octavo capítulo y último son las conclusiones y recomendaciones que se derivan de este trabajo, pretendiendo con ello, justificar el interés por desarrollar éste tema de tesis titulado **drenaje y pavimentos en aeropuertos**.

CAPÍTULO I

PAVIMENTOS Y CARGAS

CAPITULO I. PAVIMENTOS Y CARGAS

Objetivo. Conocer los aspectos básicos a considerarse para el proyecto de pavimentos.

1.1. Estabilización de suelos.

No es raro que el ingeniero encuentre no adecuados en algún sentido los suelos que ha de utilizar para un determinado fin, en un lugar específico. Lo que conduce a tomar una decisión:

- Aceptar el material tal como está, sin olvidar la calidad en que se encuentre.
- Eliminar el material insatisfactorio o prescindir de usarlo, substituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente, para hacerlo cumplir mejores requerimientos.

La última alternativa da lugar a las técnicas de estabilización de suelos. Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización.

La siguiente lista de tipos de procedimientos reúne los más comunes:

1. Estabilización por medios mecánicos.
2. Estabilización por drenaje.
3. Estabilización por medios eléctricos.
4. Estabilización por empleo de calor.
5. Estabilización por medios químicos.

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte sólo aplicable a un número limitado de tipos de ellos. El costo relativo de las alternativas determinara cuál es la más conveniente. Debemos de tener muy presente el conjunto de propiedades que se desee mejorar y la relación entre lo que se logrará al mejorarlas y el esfuerzo y dinero que en ello haya de invertirse. Sólo balanceando cuidadosamente estos factores podrá llegarse a un correcto empleo de la estabilización de suelos.

Las propiedades de los suelos que más frecuentemente se estudian en problemas de estabilización son:

- Estabilización volumétrica.
- Resistencia.
- Permeabilidad.

- Compresibilidad.
- Durabilidad.

Frecuentemente es posible utilizar tratamientos que mejoren simultáneamente varias de esas propiedades, pero también debe estarse preparado a encontrar evoluciones contradictorias en la lista, de manera que el mejoramiento de una propiedad signifique el deterioro de otra u otras. No debe verse a la estabilización solo como una medida correctiva; algunos de los mejores usos de estas técnicas representan más bien medidas preventivas contra condiciones adversas susceptibles de ulterior desarrollo. A continuación se insiste un poco sobre las propiedades de los suelos más susceptibles de ser mejoradas por estabilización.

Estabilidad volumétrica.

Se refiere por lo general a los problemas relacionados con los suelos expansivos por cambio de humedad, relacionado con variaciones estacionales o con la actividad del ingeniero. La estabilización suele ofrecer una alternativa de tratamiento para estos suelos, diferente del uso de cargas, capas permeables, introducción de agua, etc., que son usadas con mayor frecuencia. Se trata de transformar la masa de arcilla expansiva bien sea en una masa rígida o en una granulada, con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión. Esto se logra por tratamientos químicos o térmicos; la experiencia, muy orientada por factores económicos, ha demostrado que los tratamientos químicos son útiles sobre todo para arcillas ubicadas cerca de la superficie del terreno, en tanto que los tratamientos térmicos se han aplicado más bien a arcillas más profundas.

Resistencia.

Existen varios métodos de estabilización que son útiles para mejorar la resistencia de los suelos. Sin embargo, antes de profundizar más en este aspecto es importante decir que todos ellos parecen perder mucho de su poder en el momento en que se tienen importantes contenidos de materia orgánica, circunstancia desafortunada, dado que, muchos de los más graves problemas ocurren precisamente en suelos orgánicos.

La compactación es de hecho una forma de estabilización mecánica a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos, como uno de sus objetivos más comunes. Sin embargo, el empleo de mayores intensidades de compactación no siempre conduce a valores más altos de la resistencia, especialmente si se considera la necesidad de mantener dicho parámetro en valores razonables durante tiempos largos. Algunas de las formas de estabilización más usadas para aumentar la resistencia son las siguientes:

- Compactación.

- Precarga.
- Drenaje.
- Estabilización mecánica con mezcla de otros suelos.
- Estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos.

Permeabilidad.

No suele ser muy difícil modificar substancialmente la permeabilidad de deformaciones de suelo por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos, el uso de floculantes (por ejemplo, polifosfatos) puede reducir la permeabilidad significativamente; el uso de floculantes (muchas veces hidróxido de cal o yeso) aumenta el valor de la permeabilidad.

En la actualidad se va disponiendo de algunas sustancias que introducidas en el suelo en forma de emulsión pueden reducir mucho su permeabilidad, si bien el uso de estas sustancias deberá ser cuidadosamente analizado, pues no es raro que ejerzan efectos desfavorables en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

En términos generales, y eliminando la estabilización mecánica, los métodos de estabilización para influir en la permeabilidad de los suelos suelen estar bastante desligados de los métodos con los que se busca variar la estabilidad volumétrica o la resistencia.

Compresibilidad.

La compactación es una forma rutinaria de estabilización que modifica fuertemente la compresibilidad de los suelos. Sin embargo, no es la única forma de estabilización que influye en la compresibilidad y, de hecho, puede decirse que todos los métodos de estabilización mencionados tienen influencia en dicho concepto.

Durabilidad.

Con frecuencia se involucran en este concepto aquellos factores que se refieren a la resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico; de esta manera los problemas de durabilidad suelen estar muy asociados a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento. En rigor, estos problemas pueden afectar tanto a los suelos naturales como a los estabilizados, si bien en estos últimos los peores comportamientos suelen ser consecuencia de diseños inadecuados, tales como una mala elección del agente estabilizador o un serio error en su uso, tal como podría ser el caso cuando se ignora la bien conocida susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cemento a la presencia de sulfatos.

Establecer con seguridad cuál va a ser la durabilidad de un suelo estabilizado es un motivo que contribuye fuertemente a que el concepto durabilidad sea hoy de los más difíciles de analizar por lo menos cuantitativamente.

Veamos a continuación en que consisten, en terminos generales, algunos tipos de estabilización:

1. Estabilización por medios mecánicos.

La estabilización mecánica arregla, aumenta o quita partículas del suelo. El objetivo en general es modificar la densidad, el contenido de agua o la granulometría. Los métodos comunmente empleados son la compactación y las mezclas de suelos respectivamente.

Estabilización por compactación.

Cuando se compactan los suelos se aprietan los granos entre sí aumentando su fricción interna, lo que incrementa su poder soportante. Al densificarse la masa del suelo se reducen los vacíos del mismo y por lo tanto se reduce también la cantidad de agua que puede penetrar y afectar su resistencia al corte así como causar cambios volumétricos perjudiciales.

La **compactación** es el proceso de aumentar la densidad del suelo mediante acción mecánica, que remodela o cambia estructuralmente el suelo. En la obra, el equipo pesado compacta una capa delgada de suelo pasandose encima de él varias veces. Previamente, las pruebas de laboratorio determinan el contenido óptimo de agua que hay que utilizar durante la compactación, con el fin de obtener la densidad máxima del suelo.

El esfuerzo de compactación es el número de pasadas hechas con una máquina específica de peso dado y con una velocidad dada. Para un esfuerzo específico de compactación, la densidad varia con el contenido de humedad. Para un determinado contenido de humedad, el aumentar el esfuerzo de compactación aumenta la densidad y reduce la permeabilidad.

Estabilización por mezclas de suelos.

La estabilización mecánica depende de la cohesión y de la fricción interna que puedan desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Se sabe que los suelos de grano grueso poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas, como las arcillas, tienen escasa fricción interna.

Como la fricción interna sola no imparte toda la estabilidad que se necesita en una terracería, es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga

firmemente unidas a las partículas gruesas. Un ejemplo son los suelos arcillosos que poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites.

El problema consiste en determinar las cantidades a mezclar de cada material, con el objeto de que la mezcla resultante satisfaga las especificaciones requeridas. Una estabilización correcta implica el uso de equipo adecuado que garantice la uniformidad en la mezcla, además de una compactación efectiva y uniforme.

2. Estabilización por drenaje.

Es eficaz en la estabilización de los suelos porque la resistencia de un suelo generalmente disminuye cuando aumentan la cantidad y la presión del agua de los poros. Por lo tanto los flujos superficiales y subterráneos se deben interceptar y enviarse lejos de la zona de interés. El drenaje puede realizarse mediante gravedad, bombeo, congelación, etc.

Normalmente son suficientes los drenajes interceptores, colocados a lo largo de los contornos trabajando a gravedad, o por bombeo si las circunstancias así lo obligan además, es común el empleo de los pozos verticales para abatir las presiones artesianas; sin embargo, el empleo de la congelación de suelos es uno de los métodos más modernos y actuales.

Estabilización por congelamiento.

En este tipo de estabilización el agua de los poros se congela y el suelo se transforma en un conjunto rígido, de considerable resistencia. La congelación se logra haciendo circular substancias refrigerantes por redes de tubería colocadas en el subsuelo. Se debe tener especial cuidado de que el congelamiento no se extienda más allá del área que se va estabilizar y pueda causar daños a terceros.

3. Estabilización por medios eléctricos.

Adapta el principio de que el agua fluye a través de los poros del suelo bajo la acción de un gradiente potencial hidráulico; el método más conocido es el denominado **electrósmosis**. El método es aplicado en la estabilización de suelos blandos y saturados, además de ser útil en el desagüe de excavaciones. El sistema, en general, consiste en aplicar al suelo una corriente eléctrica que origina una serie de fenómenos de naturaleza físico-química y la acción de dispositivos de bombeo.

En la práctica el procedimiento consiste en excavar una serie de pozos de bombeo dentro de los cuales se colocan cátodos eléctricos. En el interior de la zona

se coloca una hilera paralela de barras que sirven a modo de ánodos. Se aplica un potencial eléctrico a los electrodos y entonces el agua se concentra hacia los pozos cátodos, de los cuales se extrae mediante bombas.

4. Estabilización por empleo de calor.

Se basa en la observación de cómo el calor convierte cualquier arcilla en un ladrillo resistente. A temperatura suficiente el proceso se vuelve irreversible y la resistencia adquirida no se pierde ni por inmersión; este efecto se logra con temperaturas del orden de 900° C, lo que representa una magnitud demasiado elevada para estabilizaciones en gran escala. En la práctica y para estos problemas resulta suficiente llegar a la temperatura en la que la rehidratación de la arcilla se torne imposible y esto ocurre con valores comprendidos entre los 200 y 400° C. Ya adelante de 100° C, el efecto en la resistencia puede ser muy importante, pero no irreversible.

El calor se aplica al suelo por llama directa provocada en la superficie o por circulación de gas calentado. El primer método se utilizó por vez primera en Rumania y suele aplicarse practicando en el suelo dos agujeros inclinados e intercomunicados en un punto en el que se provoca la combustión; el primer agujero acepta el combustible y el segundo permite salir a los gases de la combustión. El segundo método ha sido desarrollado por la técnica rusa y consiste en practicar un solo agujero en el suelo, al fondo del cual se establece la cámara de combustión, cuya temperatura se controla con sobrepresión; el calentamiento del suelo se efectúa por el paso del aire caliente comprimido a través de sus poros. El método ruso es más efectivo pero más complicado.

En ambos métodos, la influencia de un punto de calentamiento no se extiende mucho más allá de un par de metros en torno a él.

El calentamiento es particularmente útil para reducir el potencial de expansión de los suelos arcillosos.

5. Estabilización química.

Este tipo de estabilización se logra por la adición de agentes estabilizantes específicos, como el **cemento, la cal y el asfalto**, principalmente.

Estabilización con cemento.

También, se le conoce como estabilización suelo-cemento y es una de las más utilizadas actualmente.

Los fenómenos químicos que ocurren entre suelo y cemento, cuando ambos se mezclan con el apropiado contenido de agua, aún no son comprendidos del todo, pero básicamente parece que consisten en reacciones de cemento con los componentes silicosos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos. Además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio, muy ávidos de agua, que la toman de la que existe entre las laminillas de arcilla; el resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y la plasticidad del suelo arcilloso, así como el aumento en su resistencia y durabilidad.

La reacción favorable suelo-cemento se ve impedida o nulificada si el suelo presenta materia orgánica o sulfatos de calcio, de magnesio u otras sustancias ávidas de agua, pues privan a los aglomerantes de la humedad necesaria para su función. Sin embargo, si estos agentes no son excesivos el suelo se puede estabilizar; la única limitación estriba en lo difícil que pueda resultar un adecuado mezclado del cemento, lo que llega a ser muy difícil en arcillas suaves y húmedas o las que puedan surgir en suelos muy gruesos limpios, que no suelen requerir estabilización por tener propiedades suficientemente buenas y en las que el uso de cemento no conduce a mejoramientos substanciales de esas propiedades, pero puede, en cambio, introducir graves problemas de agrietamiento en los suelos tratados.

Todos los tipos de cemento son útiles para la estabilización de suelos, empleándose con mayor frecuencia los de fraguado y resistencias normales. Para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se produce y extiende a baja temperatura, pudieran convenir los de fraguado rápido o bien los que contienen, como aditivo, el cloruro de calcio.

La eficacia de una estabilización con cemento depende de tres factores:

- a) Contenido apropiado de cemento.
- b) Contenido apropiado de humedad.
- c) Compactación adecuada.

Para determinar el valor de estos factores, deben efectuarse pruebas de laboratorio siguiendo las recomendaciones pertinentes.

Las características mínimas que debe satisfacer un suelo para que su estabilización sea razonablemente económica son:

- a) Límite líquido menor de 50%
- b) Índice plástico menor de 18%
- c) El material que pase la malla No. 200 debe ser menor del 50%

El proporcionamiento de las mezclas de suelo-cemento viene a ser a fin de cuentas la cuestión fundamental, pues el cemento es el elemento más costoso y fijar

su proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización, a parte de que las propiedades que se logren para la mezcla dependen también esencialmente de la cantidad de cemento que se emplee.

Inicialmente, este procedimiento se hacía con base en una prueba de durabilidad. Se preparaban especímenes con diferentes cantidades de cemento, a los que se dejaba curar durante siete días, para sujetarlos después a doce ciclos de congelamiento y deshielo o de humedecimiento y secado. La pérdida de peso de dichos especímenes, después de cepillado su material suelto, se tomaba como una medida de la durabilidad que era de esperar. También se medía en esas pruebas el incremento de volúmen de los especímenes por expansión. Se seleccionaba la proporción de cemento que producía una pérdida de peso y un cambio volumétrico que fuesen considerados satisfactorios al caso, con base en la experiencia precedente y en el criterio del proyectista. Actualmente, se busca considerar a una capa de suelo tratado con cemento como algo que debe ser flexible, constituido por fragmentos de suelo-cemento entrelazados y trabados unos con otros. Para lograr este fin suelen proponerse resistencias a la compresión simple de las mezclas de suelo-cemento que no excedan de unos 55 Kg/cm^2 ; puesto que resistencias más altas producirían en la capa un comportamiento rígido.

Lo usual es dosificar las mezclas con base en un criterio de resistencia, generalmente realizando una prueba de compresión simple, aún cuando se complemente esa información con el análisis de durabilidad mencionada anteriormente.

En conclusión puede decirse que no existe en la actualidad un criterio específico y confiable para diseñar las mezclas en lo referente al contenido de cemento y que los criterios de que se auxilian los proyectistas quedan fuertemente sujetos a su propia experiencia e interpretación; para muchos, la inspección visual de los especímenes, combinada con criterios de tipo económico, sigue siendo un elemento importante de su juicio final.

En cuanto al agua, se necesita la cantidad suficiente para hidratar el cemento y, además, la necesaria para lograr la adecuada compactación del suelo. Como cierta parte del agua agregada al suelo se evapora y se pierde durante las operaciones de mezclado, es necesario incorporar al suelo alrededor de un 3% más de agua para que durante la compactación se encuentre con el contenido óptimo. Un procedimiento para controlar eficientemente la cantidad de agua, es el tomar un número suficiente de muestras del suelo y determinar los contenidos de humedad correspondientes en el momento de su compactación.

No hay ningún requisito específico para el agua que se utilice en la estabilización, excepto los que eliminan las aguas con alto contenido de materia orgánica, de sulfatos o cantidades excesivas de otras sales.

El cemento debe mezclarse íntimamente con el suelo para que su función estabilizante la lleve a cabo correctamente. Para ello conviene usar estabilizadoras

especiales, las cuales mezclan los materiales de una forma más rápida y uniforme, y bajo condiciones más adversas. Sin embargo, deben considerarse todos los factores que influyen en el costo de construcción antes de seleccionar el equipo a emplear con el fin de que el trabajo se realice en forma correcta lo más económicamente posible.

Una vez que se haya terminado la mezcla, el material debe extenderse, perfilarse y compactarse antes de que el cemento frague completamente.

Como el cemento debe contener la suficiente agua para que pueda endurecer, es necesario mantener el contenido de humedad de la mezcla durante la fase principal del endurecimiento, por lo tanto estas estabilizaciones deben curarse para que puedan desarrollar una resistencia satisfactoria.

Para efectuar el curado puede extenderse sobre la superficie cualquier material que retenga la humedad, como paja, aserrín, tierra, materiales asfálticos, productos químicos especiales, etc. Cuando se emplean productos asfálticos éstos pueden servir, además, como riego de impregnación.

Como los suelos estabilizados con cemento presentan poca resistencia al desgaste, es necesario protegerlos con cualquier tipo de carpeta flexible o rígida.

Estabilización con cal.

Las técnicas de estabilización con cal son bastante similares a las de la estabilización con cemento, pero hay dos aspectos que conviene aclarar. En primer lugar, su aplicación se extiende más hacia los materiales arcillosos y, en contrapartida, se extiende algo menos hacia el lado de los materiales granulares de naturaleza friccionante. En segundo lugar, su uso está destinado, normalmente, como un pre-tratamiento, lo que da una fisonomía especial a muchos de los usos de cal, pues en estos casos no necesariamente han de satisfacerse todos los requerimientos de una estabilización definitiva.

La forma más usual de la cal empleada en las estabilizaciones es la hidratada, óxidos o hidróxidos de calcio; su efecto básico es la constitución de silicatos de calcio que se forman por acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementadores.

La cal se prepara generalmente calentando carbonatos de calcio, muchas veces bajo la forma de calizas naturales, hasta que pierden su bióxido de carbono y devienen en óxidos de calcio; el material resultante es cal viva, muy inestable y ávida de agua, lo que hace difícil su manejo y almacenamiento, por lo que suele hidratarse de inmediato.

Hay dos tipos de reacciones químicas entre la cal y el suelo. La primera es inmediata e incluye una fuerte captación de iones de calcio por las partículas de

suelo. La segunda reacción es propiamente la reacción cementante; aunque no es completamente bien conocida, se atribuye a una interrelación entre los iones calcio de la cal y los componentes aluminicos y silicosos de los suelos.

La cal tiene poco efecto en suelos muy orgánicos o en suelos sin arcilla. Tiene su máximo efecto en las gravas-arcillosas, en las que puede producir mezclas inclusive más resistentes que las que se obtendrían con cemento.

Las arcillas que presentan alta plasticidad son difíciles de pulverizar, mezclar y compactar, y experimentan grandes cambios de volumen con las variaciones en su contenido de humedad. Agregándole a muchas de estas arcillas cierta cantidad de cal, reduce en ellas su índice plástico y su contracción lineal, haciéndolas más trabajables y fáciles de compactar. Al parecer esas variaciones se deben a que los iones de calcio reemplazan a ciertos iones metálicos que se encuentran en las películas de humedad que rodean a las partículas de arcilla y que son las responsables de los cambios de volumen de los suelos y que, además, influyen sobre la plasticidad.

El efecto de la cal en las arcillas es más rápido en las montmoriloníticas que en las caoliniticas, en las primeras la cal logra resultados mucho más espectaculares en el aumento de resistencia y, sobre todo, en la disminución de la plasticidad. En las arcillas, la cal tiene también un importante efecto en la consecución de estabilidad volumétrica ante el agua.

Como no todos los suelos-cohesivos reaccionan de la misma manera cuando se les adiciona cal, se debe disponer de métodos adecuados para identificar los tipos de arcillas que pueden ser estabilizados con cal.

En muchos casos la cal, además de cambiar las propiedades ya indicadas de los suelos, causa en ellos efectos aglutinantes y aumenta su resistencia; características que pueden variar según el tipo de suelo estabilizado.

En la estabilización con cal debe evitarse el uso de aguas ácidas. La cantidad de agua que se emplee está regida por los procedimientos de compactación, pero si se usa cal viva pudieran requerirse cantidades adicionales de agua en suelos con menos de 50% de contenido natural de dicho elemento.

Aunque la proporción de cal que deba emplearse en un determinado suelo depende de las características del mismo y debe ser determinada en un laboratorio de suelos, se puede dar como dato guía el que para suelos arcillosos la cantidad de cal varía del 2 al 5% con relación al peso seco del suelo. El procedimiento de construcción de las estabilizaciones con cal puede ser el mismo empleado en las estabilizaciones con cemento, y al igual que en el caso anterior, la superficie debe protegerse con una carpeta.

Estabilización con asfalto.

Son tres los tipos de producto que se han usado para este fin:

- Productos bituminosos, que son sistemas anhídridos de hidrocarburos totalmente solubles en bisulfuro de carbón.
- Productos asfálticos, procedentes de la destilación y refinamiento del petróleo o asfaltos naturales, más raramente.
- Productos residuo de la destilación destructiva de materiales orgánicos, tales como el carbón, ciertos aceites, turbas, madera (alquitranes), etc.

Los productos asfálticos y bituminosos en general, son normalmente demasiados viscosos para que se puedan incorporar directamente a los suelos; por ello han de usarse calentados, emulsificados en agua (emulsiones) o rebajados con un solvente, generalmente volátil, como la gasolina.

Las emulsiones y los asfaltos rebajados son los productos más usados en estabilizaciones de suelos, pero se usan también alquitranes calentados o rebajados.

Prácticamente todos los tipos de suelo responden a la estabilización con asfalto, incluyendo las arcillas más compresibles y activas, pero los mejores resultados se obtienen con arenas y con gravas arenosas, materiales a los que el asfalto da cohesión e impermeabilidad.

En arenas muy limpias puede haber problemas de adherencia entre el asfalto y los materiales silícicos, lo que conduce al desprendimiento del material estabilizante. Los suelos húmedos pueden presentar el inconveniente de que al añadirseles más líquido durante el proceso de estabilización, llegen a una consistencia que haga muy difíciles compactarlos.

Cualquier tipo de agua dulce es aceptable, tanto para la estabilización como para la compactación. La concentración de sales y la materia orgánica son contraindicadas, pues perjudican la adherencia entre el suelo y el asfalto.

Los efectos estabilizantes del asfalto ocurren a través de dos mecanismos. El primero es una liga establecida entre las partículas de suelo a través del asfalto, lo que da una cohesión al conjunto; el segundo es la protección del suelo contra la acción del agua. El primer mecanismo es importante sobre todo en suelos granulares, mientras que el segundo es más útil en los suelos cohesivos.

Es importante notar que, si los productos asfálticos que recubren las partículas de un suelo se encuentran en cantidades excesivas, pueden actuar como lubricantes disminuyendo la fricción interna y dando como resultado mezclas

esponjosas e inestables. De esto se deduce que es esencial el emplear la cantidad adecuada de producto asfáltico si se quieren obtener resultados satisfactorios.

Otro requisito importante es el efectuar un mezclado uniforme entre suelo y producto asfáltico para evitar que haya zonas debiles por exceso o por falta de producto asfáltico.

Cuando se vaya a realizar una estabilización con productos asfálticos, el tipo de suelo que exista influye en la elección del producto asfáltico y sobre el sistema de construcción a emplear, por lo que deben obtenerse datos completos sobre estos suelos tales como su granulometría, límites de consistencia y cambios de volúmen antes de planear el trabajo.

1.2. Tipos de pavimentos.

La función de los pavimentos es repartir las grandes cargas originadas por las ruedas de los aviones en superficies tales que la carga en los terrenos no llegue a producir su rotura.

Constan, en general de tres partes (figura. 1.1), con funciones distintas.

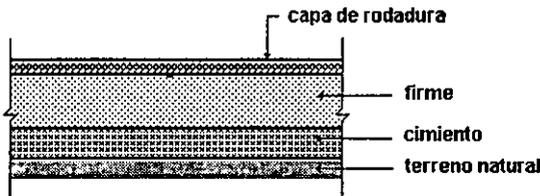


Fig. 1.1

La primera, o *capa de rodadura*, sobre ella se apoya directamente la rueda; debe ser estable y con características adecuadas para el rodamiento; la segunda, o *firme*, que debiendo ser también perfectamente estable, tiene por misión repartir las cargas sobre la tercera, *cimiento*. Esta, a su vez, reparte aún más la carga, hasta conseguir en el terreno natural, esfuerzos de trabajo apropiados.

Son básicamente dos los tipos de pavimentos que existen, y que en capítulos posteriores hablaré de ellos más detalladamente:

1. Pavimentos flexibles.
2. Pavimentos rígidos.

Los **pavimentos flexibles**, se componen de varias capas de material granular, construídas a partir del terreno, en las cuales, los productos naturales pueden estabilizarse o no, para obtener mayores resistencias y mejores superficies de rodaje. La capa de rodadura suele ser de un espesor considerable a fin de reducir las cargas en el suelo. Son más apropiados en suelos granulares, como arenas y gravas, y en general en terrenos de alta capacidad de carga por reducir mucho el espesor necesario.

Los **pavimentos rígidos**, consisten en losas de concreto, que descansan sobre el terreno bien directamente o a través de una capa de material granular. El espesor depende de la capacidad del concreto para absorber las cargas y repartirlas en las superficies del suelo. Se adaptan mejor a los terrenos arcillosos y flojos, por extender la carga en gran superficie y sobre todo, en lugares expuestos a considerables cambios en el contenido de humedad. En estos pavimentos tiene escasa influencia la naturaleza del suelo.

También se han desarrollado tipos de pavimentos mixtos, en los cuales, sobre una capa de concreto de cemento rígido, se extiende otra de material asfáltico que actúa como capa de rodaje.

1.3. Elección de pavimentos.

Tomando en cuenta los tipos de pavimentos que existen, el ingeniero proyectista se enfrenta con varias opciones dentro de las cuales seleccionará la alternativa óptima en función de múltiples factores o criterios de selección.

La diferencia principal entre estos pavimentos, es la forma en la cuál distribuyen las cargas sobre el terreno de soporte. Los **pavimentos rígidos**, a causa de su módulo de elasticidad alto y su rigidez tienden a distribuir la carga sobre un área del suelo signficante, por lo que gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto en sí misma. Por esta razón, variaciones menores en la resistencia del terreno de soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido. Por otro lado, los **pavimentos flexibles** funcionan con el principio del sistema de capas para obtener la capacidad estructural de soporte de cargas de los mismos, debiendo tener la capa más resistente y de más alta calidad en la superficie.

Los pavimentos de plataformas, calles de rodaje y pistas de un aeropuerto requieren de diseños óptimos que involucran estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tráfico a lo largo de su vida útil en todas las condiciones climatológicas. Como fase importante del diseño intervienen los criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles, por su gran trascendencia en costos y capacidad estructural entre otros, por lo que se definen dos grandes criterios que sintetizan la selección, el "estructural" y el de "costos" que agrupan los factores siguientes; ver tabla 1.1

Tabla 1.1

Criterios de selección	
Estructural	Costos
Capacidad de soporte	Financiamiento
Vida útil	Inversión inicial
Mantenimiento/Conservación	Mantenimiento/Reconstrucción/Largo plazo
Terreno de soporte	Resistencia a los agentes contaminantes
Factores regionales	Uso/Operación
Materiales	Limitaciones de construcción
	Seguridad y comodidad
	Materiales
	Expansión del sistema

Es importante hacer notar que los factores para decisión listados, pueden influir terminantemente con uno sólo (mandatorio por condiciones especiales) o normar el criterio por el conjunto de varios de ellos. También debe tomarse en cuenta la interacción que pudiera existir entre varios factores o entre grupos para un proyecto específico.

El criterio actual en el Sistema Aeroportuario Mexicano ha sido hasta la fecha en general el gobernado por factores de costos y con base a ello se tomaron decisiones de selección de pavimentos combinados, esto es, rígidos para plataformas de aviación comercial, flexibles para calles de rodaje, pistas y plataformas de aviación general y en algunos casos se ha optado por la combinación o mixtos en pistas (rígido en la franja de tránsito canalizado). En otros casos aislados, por condiciones del terreno natural de soporte el criterio de selección estructural fué el mandatorio, como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

En la tabla 1.2 se resume el listado de factores para la elección de pavimentos en función de conceptos fundamentales y su grado de prioridad y como estos factores intervienen en el "Análisis del Sistema" general del diseño de los pavimentos.

Tabla 1.2

Factores de decisión para la selección en el diseño de un pavimento rígido o flexible en aeropuertos		
<i>Factor</i>	<i>Función de</i>	<i>Prioridad</i>
Capacidad estructural del pavimento	Clasificación Demanda Pronósticos Canalización Maniobras Cargas	1
Financiamiento	Externo, Interno Monto, Intereses	2
Costos	Inversión inicial Mediano y largo plazo	3
Vida útil	Índice de servicio Proyecto	4
Mantenimiento/Conservación	Pronósticos operacionales Presupuestos disponibles Tipo de mantenimiento	5
Terreno natural de soporte	Tipo Resistencia Características/Propiedades Drenaje	6
Materiales	Estudio Clasificación Características	7
Factores regionales	Climáticos	8
Agentes contaminantes	Derrame de combustibles Vegetación	9
Uso/operación	Comercial Militar General Rural	10
Limitaciones de construcción	Bancos de materiales, disponibilidad Maquinaria y refacciones	11
Seguridad	Especificaciones internacionales y locales	12
Comodidad	Vibraciones Juntas Asentamientos	13
Expansión del sistema	Plan maestro Demanda Avión crítico Ampliaciones	14

1.4. Intensidad de tráfico y vibraciones.

El pavimento de un aeropuerto y las aeronaves que en él operan representan un sistema interrelacionado que puede reconocerse en el proceso de cálculo del pavimento. Con el fin de producir un diseño satisfactorio, hay que cumplir con las consideraciones de cálculo relacionadas tanto con la aeronave como con el pavimento. Se requerirá un control esmerado de la construcción y cierto grado de mantenimiento, para producir un pavimento que llegue a la vida útil nominal prevista. Los pavimentos se calculan para proporcionar una vida útil finita y se prevén las *fallas por fatiga*. Una construcción deficiente y una ausencia de mantenimiento preventivo con frecuencia tendrán como consecuencia que aún el pavimento mejor calculado presente un comportamiento decepcionante.

La rotura de los pavimentos ocurre muchas veces a causa de las vibraciones originadas por los motores, pero casi siempre por repetición de esfuerzos, es decir, por fatiga. Se deduce este hecho de que son las calles de rodaje las que se rompen con más frecuencia, debido no solamente a la menor velocidad de los aviones, sino también, a que el pavimento soporta enteramente la carga por no existir sustentación alguna. Por otra parte en estas pistas existe mayor concentración de tráfico.

La determinación de los requisitos de espesor del pavimento es un problema técnico complejo. Los pavimentos se encuentran sometidos a una amplia variedad de cargas y defectos climáticos. El proceso de cálculo comprende un gran número de variables interrelacionadas que con frecuencia resulta difícil cuantificar. Aunque se han llevado a cabo numerosas investigaciones, ha sido imposible llegar a una solución matemática directa de los requisitos relativos al espesor. Por esta razón, la determinación del espesor del pavimento debe basarse en el análisis teórico de distribución de las cargas por los pavimentos y los terrenos, en el análisis de los datos experimentales relativos al pavimento y en un estudio del comportamiento de los pavimentos en condiciones de servicio real.

El cálculo estructural de los pavimentos de los aeropuertos consiste en determinar tanto el espesor general del pavimento como el espesor de las partes componentes del mismo. Hay varios factores que ejercen influencia sobre el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos factores son la magnitud y el carácter de las cargas de la aeronave que han de soportarse, el volumen del tráfico en ciertas zonas y la calidad del terreno de fundación de los materiales que constituyen la estructura del pavimento.

Consideraciones relativas a la aeronave:

Carga.

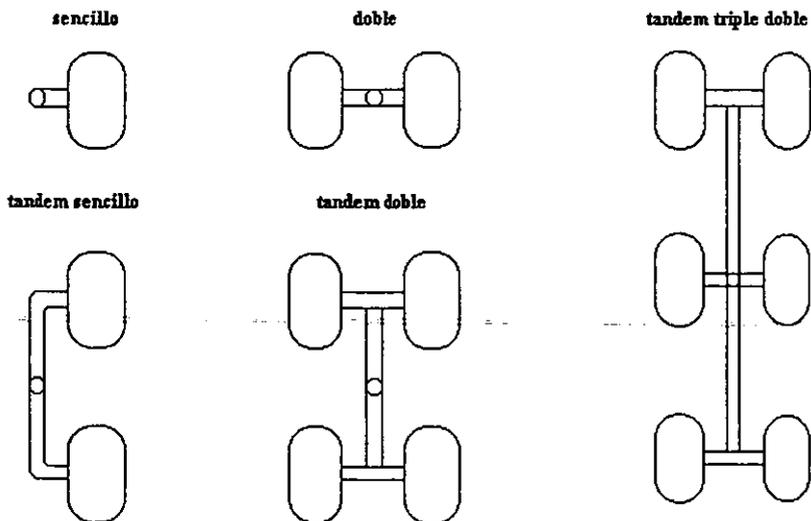
El método de cálculo del pavimento se basa en el peso bruto de la aeronave. Para fines de cálculo del pavimento, debe preverse el peso máximo de despegue de

la aeronave. El procedimiento de cálculo supone que el 95% del peso bruto es soportado por los trenes de aterrizaje principales y el 5% por el tren de nariz. Se recomienda utilizar el peso máximo de despegue para proporcionar cierto grado de prudencia en el cálculo, justificado por el hecho de que pueden presentarse cambios en el uso operacional y reconociendo el hecho de que el tráfico previsto es aproximado; sin olvidar, el tráfico de llegada.

Tipo y geometría del tren de aterrizaje.

El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y establecen la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave. El exámen de la configuración del tren, las zonas de contacto de los neumáticos y la presión de los mismos, indican que se sigue una tendencia determinada relacionada con el peso bruto de la aeronave.

La carga que soporta cada pierna se transmite al pavimento por una o varias ruedas provistas de neumáticos de caucho. En los trenes de aterrizaje de las aeronaves actualmente en servicio, se usan generalmente los siguientes sistemas de trenes principales:



1.5. Rugosidad superficial.

Una de las características principales en la selección de pavimentos, se refiere a la calidad de la superficie de rodaje. Los pavimentos de concreto de cemento tienden a producir el desgaste prematuro de los neumáticos, debido a las frecuentes diferencias de altura entre dos placas adyacentes y a la rugosidad de la superficie cuando se emplean áridos gruesos. Por el contrario, si la composición granulométrica superficial es demasiado fina. O con exceso de betún en pistas flexibles, se alcanzan resbalamientos en tiempo húmedo que anulan la acción de los frenos de ruedas. Debe por tanto aceptarse una composición granulométrica tal, que el coeficiente de rozamiento superficial con el neumático no baje de 0.50 estando la pista húmeda, lo cuál se consigue con áridos cuya composición granulométrica contenga el 50% de tamaños comprendidos entre 0.47 cm y 1.25 cm y el resto de arenas de inferior tamaño.

1.6. Resistencia en pavimentos.

La clasificación de los terrenos para fines técnicos proporciona un indicio del comportamiento probable del terreno como fundación para el pavimento. Sin embargo, esta indicación del comportamiento es aproximada. El comportamiento puede ser diferente del previsto debido a varias razones, tales como grado de compactación, grado de saturación, etc. La posibilidad de predecir incorrectamente el comportamiento del terreno de fundación puede eliminarse ampliamente midiendo la resistencia del terreno. La resistencia de los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos flexibles se mide según el Índice de penetración de California (CBR). Los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos rígidos se ensayan según el método de placa de carga. Ensayos que, en términos generales, se describen a continuación.

Índice de penetración California (VRS).

El ensayo VRS es básicamente un ensayo de penetración llevado a cabo con un régimen de tensión uniforme. La fuerza necesaria para producir una penetración dada en el material que se ensaya se compara con la fuerza requerida para producir la misma penetración en una caliza normalizada. El resultado se expresa como relación de las dos fuerzas. Por lo tanto, un material con un valor VRS de 15 significa que el material en cuestión ofrece un 15% de la resistencia a la penetración, comparada con la que ofrece la piedra normalizada.

El método del VRS fue preparado por el Departamento de Carreteras del Edo. de California, y se basa en la prueba del mismo nombre que a continuación se menciona:

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 15 cm de diámetro, al cual se le coloca una sobrecarga en la superficie de la muestra, para posteriormente sumergirla en agua por espacio de 4 días; la muestra humedecida se penetra por medio de un émbolo de acero de 5 cm 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 del suelo una distancia específica, es la mitad del requerido para que el pistón penetre la misma distancia en la piedra triturada tipo. Esta relación se basa corrientemente en la penetración de 2.5 mm del pistón con una sobrecarga de 72 kg/cm², utilizada como el esfuerzo requerido para conseguir una penetración de 2.5 mm en la piedra triturada tipo.

Ensayos con placa de carga.

Como el nombre indica, el ensayo con placa de carga mide la capacidad de resistencia del cimiento del pavimento. El resultado de este ensayo se expresa como un valor k con las unidades de presión sobre la longitud. El valor k puede considerarse como la presión requerida para producir una deformación unitaria de una placa de carga en el cimiento del pavimento.

Las características de aeronaves que afectan el cálculo de la resistencia del pavimento son: peso de la aeronave, porcentaje de carga sobre la rueda de proa, disposición de ruedas, carga sobre la pata principal, presión de neumáticos y área de contacto de cada uno.

Las cargas de los aviones se transmiten al pavimento a través del tren de aterrizaje, que normalmente consta de dos piernas principales y una auxiliar.

La parte de la carga impuesta por cada pierna depende de la posición del centro de gravedad respecto a los tres puntos de apoyo. La distribución estática de la carga entre las diferentes piernas se ilustra en la figura 1.2

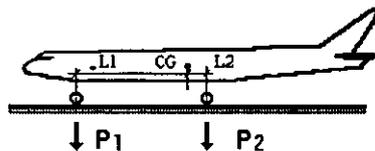


Fig. 1.2

donde W es el peso bruto del avión, P_1 la carga transmitida por la pata auxiliar, P_2 la carga transmitida por ambas patas principales, L_1 y L_2 la distancia, medida a lo largo del eje de simetría, desde el centro de gravedad hasta P_1 y P_2 respectivamente. Así:

$$W = P_1 + P_2 \quad , \quad P_1 L_1 = P_2 L_2 \quad , \quad P_2 = P_1 L_1 / L_2$$

Usualmente la relación L_1 / L_2 es aproximadamente 9, es decir la pierna auxiliar soporta alrededor del 10% del peso bruto del avión. Por lo tanto cada pierna principal impone una carga de un 45% de ese peso. Por lo anterior, las características de cada pata principal proporcionan suficiente información para evaluar los requisitos que en cuanto a resistencia deben satisfacer los pavimentos.

La carga que soporta cada pierna se transmite al pavimento por una o varias ruedas provistas de neumáticos.

La presión de los neumáticos varía entre 75 y 200 lb/in², en función de la configuración del tren y del peso bruto.

Volúmen de tráfico.

Es necesario disponer de pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave, para el diseño del pavimento. La información sobre las operaciones de aeronaves esta disponible en los planos principales de aeródromo, en los pronósticos de área terminal, en el plan nacional de sistema de aeropuertos, en las estadísticas de actividad aeroportuaria y en la actividad de tráfico aéreo de la FAA.

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de cálculo debería seleccionarse a base de la que requiera el mayor espesor de pavimento requerido, utilizando la curva de cálculo apropiada, con el número de pronósticos de salidas anuales para cada aeronave. El tipo de aeronave que determine el espesor mayor de pavimento, es la aeronave de cálculo. La aeronave de cálculo no es necesariamente la aeronave más pesada del pronóstico.

CAPÍTULO II

PAVIMENTOS FLEXIBLES

CAPITULO II. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Objetivo. Conocer los aspectos generales de los pavimentos flexibles y las técnicas usuales para su diseño.

2.1. Estructuración.

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base; la resistencia de estas capas decrece hacia abajo. En la figura 2.1 se muestra un corte típico de un pavimento flexible en terraplén.

En general, cualquier suelo natural es aprovechable para terracería; se exceptúan los suelos muy orgánicos o altamente arcillosos, pues producen deformaciones que pueden afectar a las capas superiores. Cuando el material de la terracería es de mala calidad puede hacerse necesario el empleo de una verdadera capa subrasante de material de mejor calidad que haga de transición entre él y el pavimento; cuando el material de terracerías es de mejor calidad, la capa subrasante está formada por el propio material de terracería con tratamiento constructivo algo mejor, sobre todo en lo referente a compactación.

Por subrasante se entiende la superficie de una terracería terminada, siendo ésta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

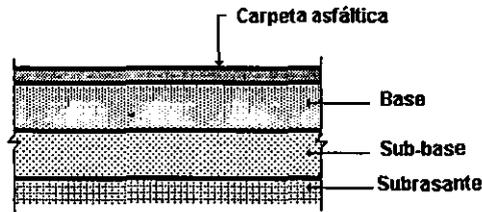


Fig. 2.1

Sub-base

Una de las principales funciones de la sub-base de un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una sub-base de menor calidad, aún cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues, naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

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

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

Otra función es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

Base

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la discutida para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta, más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta, así como impedir la ascensión capilar.

Carpeta

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

2.2. Tipos de carpetas asfálticas.

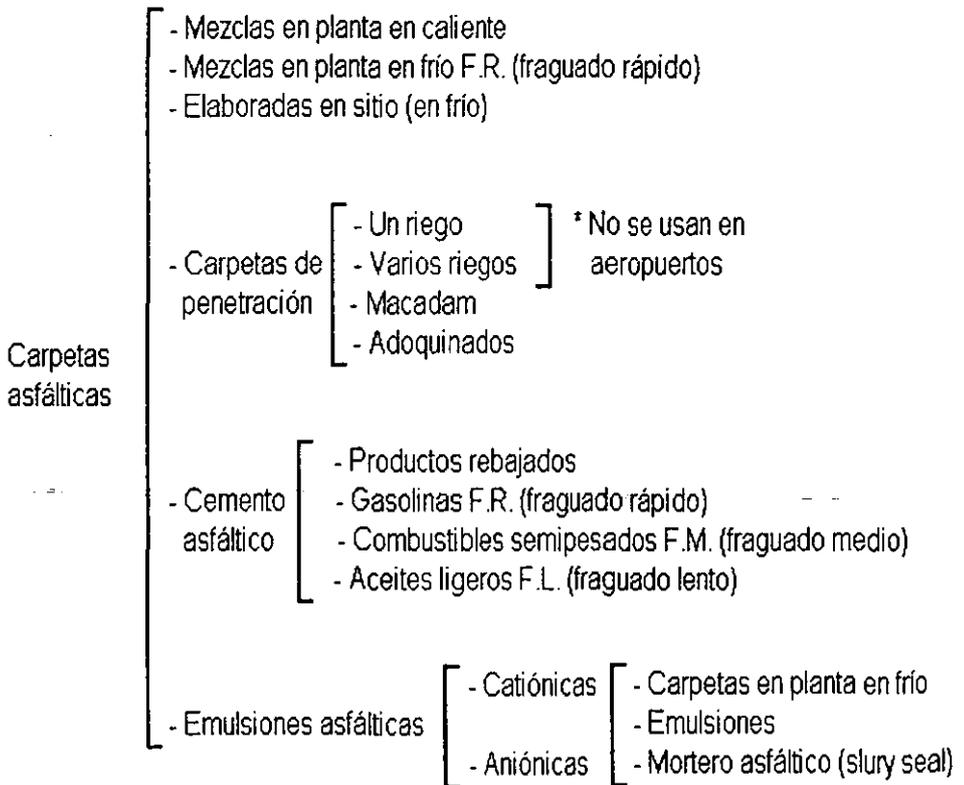
Se define como **carpeta asfáltica**, a la capa o capas, formadas de agregados pétreos y asfalto, colocadas sobre la capa base. Su función es proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos. Debe tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas. Debe ser antiderrapante y no deformable. A la carpeta la acompañan otros elementos asfálticos, como riego de sello, riego de liga y riego de impregnación.

Algunas definiciones importantes usadas por PEMEX y que son importantes mencionar son las siguientes:

Los materiales asfálticos pueden ser:

- a) **Asfaltos rebajados de fraguado rápido**, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
- b) **Asfaltos rebajados de fraguado medio**, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.
- c) **Asfaltos rebajados de fraguado lento**, que son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.

A continuación se muestran los distintos tipos de carpetas asfálticas que existen.



Carpetas de tratamientos o riegos superficiales

Consisten en dar un riego de asfalto FR-3 o alguna emulsión, sobre la base ya conformada, compacta e impregnada y cubrirla con un material pétreo.

La carpeta puede consistir de un riego o más. Cuando es de dos o tres riegos, en el primero se coloca el asfalto y se cubre con el agregado mayor, 25 mm (1") o 19 mm (3/4"). Después se vuelve a aplicar otro riego de asfalto y se cubre con el siguiente agregado y de nuevo se aplica otro riego de asfalto y el agregado menor. El espesor de esta carpeta varía de 10 a 25 mm, y es la de menor costo y calidad. Es sencilla de construir y con poco equipo, pero de poca calidad.

Debido a su proceso constructivo, no se recomienda usar este tipo de carpetas en aeropuertos, ya que originaría problemas serios de desgaste prematuro, lo cuál influiría en un alto costo de conservación y mantenimiento.

Esto se debe principalmente al considerar los efectos que producen los contactos de las ruedas de los aviones con el pavimento, las altas velocidades que se alcanzan al efectuar operaciones de aterrizaje y despegue; así como, las fuertes corrientes de aire que generan los motores y las altas temperaturas de los gases.

Carpetas de mezcla en el lugar

Las carpetas de mezcla en el lugar, se construyen acamellonando el agregado (de granulometría gruesa o fina) sobre el lugar y aplicándole con una petrolizadora la cantidad adecuada de asfalto (rebajado o emulsión), mezclándolos con motoconformadora o equipo especial de mezclado. Después de volatizar los solventes o el agua, se tiende y compacta la mezcla al espesor fijado. La cantidad de asfalto varía con la granulometría y puede variar de 3 a 6%. Estas carpetas pueden tener un espesor de 4 a 7 cm. Su calidad es superior a la de tratamientos superficiales.

Las carpetas de mezcla en el lugar deberán elaborarse con un asfalto rebajado o una emulsión asfáltica. La mezcla asfáltica deberá compactarse, al menos, al 95%. La permeabilidad de las carpetas de mezcla en el lugar deberá ser menor del 10%.

Carpetas de concreto asfáltico

Cuando el tránsito es intenso y pesado, la carpeta asfáltica se elabora con cemento asfáltico, llamándosele de concreto asfáltico. Si el espesor de la carpeta es de más de 5 cm, se reparte en espesor de carpeta y en espesor de capa ligante. La capa ligante se hace con agregados algo mayores que el de la carpeta, y un poco menos de asfalto.

La estabilidad de una carpeta de concreto asfáltico, depende de la granulometría del agregado, compactación y cantidad de asfalto en la mezcla.

Los agregados a emplearse en mezclas asfálticas deberán tener buena afinidad con los asfáltos usados.

Riego de sello

Las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de concreto asfáltico, deben recibir un riego de sello, para impermeabilizar o para vitalizar su superficie reseca y desgranada.

Los riegos de sello pueden ser de dos clases:

- a) De tratamiento superficial.
- b) De mortero asfáltico (slurry seal).

Los riegos de sello por **tratamiento superficial**, consisten en aplicar asfalto FR (2 o 3) o emulsión asfáltica y cubrirlo con agregado.

La cantidad de asfalto FR, varía de 1 a 2 lt/m^2 , y se aplica en caliente. La emulsión asfáltica se aplica en frío. El defecto de este riego de sello es la gran cantidad de agregado que no se liga con el asfalto, provocando mucho polvo y una textura poco uniforme.

Los riegos de sello con **mortero asfáltico**, son muy adecuados para pavimentos de calles y aeropuertos, y consisten en mezclar un agregado (arena), emulsión asfáltica, cemento portland o cal y agua, haciendo un "lodo asfáltico", el cual se coloca en frío sobre las carpetas.

El cemento y la cal pueden no ser necesarios, dependiendo de los fines del agregado.

En las **emulsiones asfálticas**, al evaporarse el agua agregada y la de la emulsión, el agregado queda cementado juntamente con el asfalto, produciendo una delgada capa sellante sobre la carpeta asfáltica. Al abrirla al tránsito, no se desprende el agregado, ya que al compactar ligeramente la capa, éste queda totalmente fijo, pero con salientes para dar una superficie antiderrapante.

Hoy se producen emulsiones asfálticas de tipo aniónico o catiónico (fraguado normal y rápido) muy estables, que permiten hacer un tendido continuo usando máquinas dosificadoras y mezcladoras montadas sobre un chasis de camión, que producen muchos metros cuadrados de sello por hora.

Los sellos de mortero asfáltico varían de acuerdo a la condición del pavimento (viejo o nuevo) o de la base en donde también pueden aplicarse como carpeta simple, todo en función de la textura y agrietamiento correspondiente.

El tipo y volumen del tránsito influyen en el tipo de mortero asfáltico y también las condiciones climatológicas del lugar.

2.3. Tipos de fallas.

Uno de los aspectos más importantes de los pavimentos es la falla existente en ellos.

Se reconocen dos tipos o familias de fallas:

- Fallas funcionales.
- Fallas estructurales.

Las **fallas funcionales** son leves, relativamente. Cuando un pavimento ha perdido su función inicial, se acepta que tiene falla funcional.

Generalmente está localizada en la capa superficial, ya sea carpeta asfáltica o losa de concreto. Si una carpeta asfáltica se coloca en un pavimento para que proporcione un tránsito cómodo y seguro, y resulta que esa carpeta después de un tiempo de uso, está arrugada, boluda o resbaladiza, entonces tiene falla funcional.

Estas fallas pueden ser progresivas o no. Además, no imposibilitan a los pavimentos para usarse. Simplemente perdieron su "cómoda tersura", que es muy importante, sobre todo en aeropuertos.

Las **fallas estructurales**, que pueden originarse o localizarse en una o varias capas, sí son graves. Consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de la subrasante, la sub-base, base o carpeta; también puede fallar estructuralmente el cuerpo de un terraplén o el suelo que lo soporta. Estas fallas sí imposibilitan al pavimento, cuando están muy avanzadas.

Para juzgar el tipo y lugar de una falla, tiene que hacerse un estudio de campo y laboratorio, dirigido por una persona competente. El ingeniero tiene que abrir la parte dañada de un pavimento y visualmente analizar el caso y ahí mismo hacer algunas mediciones y pruebas y ordenar un cuidadoso muestreo y su envío a un laboratorio de pavimentos para su ensayo. Después de reunir esa información, puede decir en dónde está la falla, si será progresiva y qué tipo de falla es.

En la tabla 2.1, se describen las principales fallas que existen, como se manifiestan y que las origina.

Tabla 2.1

Tipos de fallas	Se manifiesta como:
Distorsiones	<ul style="list-style-type: none"> - Baches. - Asentamientos. - Ondulaciones. - Corrugación de la carpeta. - Desplazamiento o corrimiento de la carpeta. - Levantamientos del pavimento. - Rodadas de llanta marcadas en la carpeta. - Surcos. - Depresiones en zanjas no bien rellenas.
Agrietamientos	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas longitudinales en las orillas o en el centro. - Grietas transversales por flexión o por contracción. - Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo. - Grietas por corrimientos de la carpeta. - Grietas parabólicas en la carpeta (zonas de desaceleración).
Desintegraciones	<ul style="list-style-type: none"> - Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello. - Desprendimientos de la película de asfalto del material pétreo. - Desprendimientos de la carpeta, como capa. - Rompimientos de las partículas del material pétreo, que propician su desprendimiento.
Defectos varios	<ul style="list-style-type: none"> - Superficies lisas o derrapantes (aflorescimientos de asfalto o materiales que se pulen fácilmente). - Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riegos o en riegos de sello (desprendimientos del material pétreo o ausencia original de éste). - Superficies "rayadas" en carpetas de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación de asfalto).

Algunas figuras ilustrando éstos tipos de fallas son las siguientes:

Distorsiones

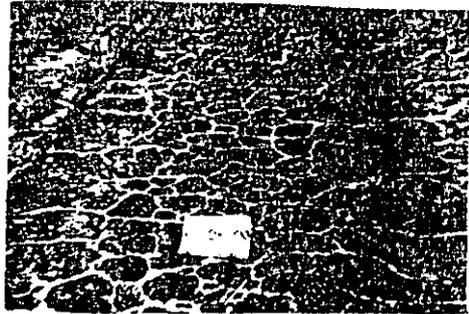


Deformación de la superficie de rodamiento

Agrietamientos

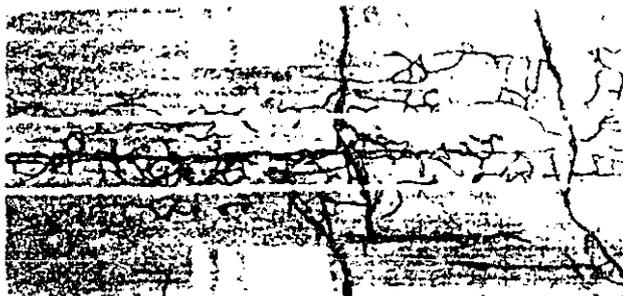


Grietas longitudinales



Agrietamiento en "piel de cocodrilo"

Defectos varios.



Agrietamiento estructural debido a la canalización del tránsito aéreo

Las causas que originan estas fallas se resumen en la tabla 2.2

Tabla 2.2

Capa en que se origina la falla	Motivo de la falla
1. Sub-base	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad del material utilizado. - Baja compactación. - Falta de espesor. - Contaminación con el material de terracerías. - Defectos de construcción y/o acabados.
2. Base	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad del material utilizado. - Baja compactación. - Falta de espesor. - Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación. - Falta de limpieza y/o barrido de la superficie de la base al momento de impregnar. - Defectos de construcción y/o acabados. - Defectos de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.

<p>3. Riego de impregnación</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto. - Cantidad excesiva de asfalto. - Cantidad escasa de asfalto. - Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto. - Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base. <p>Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).</p>
<p>4. Riego de liga en carpetas de mezclas asfálticas o de riegos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto. - Cantidad excesiva de asfalto. - Cantidad escasa de asfalto. - Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de tender la carpeta (de mezcla en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpetas de riegos). - Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador)

<p>5. Carpeta de riegos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad de los materiales pétreos empleados o granulometrías defectuosas de éstos. - Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto. - Cantidades escasas de los materiales pétreos. - Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación. - Transito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo. - Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas. - Defectos de construcción de la carpeta (falta de rastreos, planchado o barrido de los materiales pétreos, traslapes incorrectos de los riegos, distribución no uniforme de los materiales, etc.).
-----------------------------	---

<p>6. Carpeta de mezcla asfáltica en el lugar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría. - Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. - Exceso de asfalto en la mezcla. - Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. - Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto. - Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado. - Contenido elevado de agua y/o de solventes en la mezcla al momento de tender. - Falta de uniformidad en la incorporación del asfalto en la mezcla. - Baja temperatura del asfalto al aplicarlo al pétreo. - Escaso espesor de la capa. - Baja compactación de la mezcla. - Defectos de construcción en el tendido y/o de acabados. - Baja resistencia de la mezcla. - Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado. - Rigidez relativamente alta de la carpeta.
---	---

<p>7. Carpeta de mezcla en caliente (concreto asfáltico)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría. - Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. - Exceso de asfalto en la mezcla. - Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. - Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto. - Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado. - Temperatura excesiva de calentamiento del cemento asfáltico y/o del material pétreo al elaborar la mezcla. - Temperatura baja del asfalto y/o del material pétreo al elaborar la mezcla. - Defectos de tendido y/o de acabado de la mezcla. - Baja compactación de la mezcla. - Mezcla muy permeable, sin proteger con un tratamiento de sellado. - Rigidez relativamente alta de la carpeta.
--	---

<p>8. Riego de sello</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría. - Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. - Exceso o escasez de material pétreo y/o de asfalto. - Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación. - Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo. - Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas. - Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastros, planchado o barrido del material, traslapes incorrectos de los riegos, etc.). - Asfalto inadecuado o mala calidad del producto. - Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo.
--------------------------	--

2.4. Método de cálculo de espesores de pavimentos flexibles.

El cálculo estructural de los pavimentos de los aeropuertos consiste en determinar tanto el espesor general del pavimento como el espesor de las partes componentes del mismo. Hay varios factores que ejercen influencia sobre el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos factores son la magnitud y el carácter de las cargas de la aeronave que han de soportarse, el volumen del tráfico, la concentración del tráfico en ciertas zonas y la calidad del terreno de fundación de los materiales que constituyen la estructura del pavimento.

2.4.1. Método de la Federal Aviation Administration (F.A.A.).

La FAA recientemente cambio su método de diseño de pavimentos para incorporarlo al sistema unificado de clasificación de suelos, en lugar del sistema de clasificación usado anteriormente. Aquel sistema, en esencia, era el resultado de la comparación de las condiciones locales en relación con los análisis estadísticos del suelo, drenaje, heladas y condiciones de carga de otros aeropuertos en servicio. El método se basaba en una clasificación especial del suelo llevada a cabo por la FAA de acuerdo con un análisis de graduación del suelo, límite líquido e índice de plasticidad. Sin embargo, se encontró que ese sistema no era muy confiable o también conocido como el sistema unificado, y por lo tanto, se decidió el cambio.

Una identificación y evaluación exacta del suelo son la base esencial para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Una investigación del suelo consiste en inspeccionar el suelo para determinar el arreglo de los diferentes estratos que lo constituyen. Para ello, se obtienen muestras de esos estratos y se examinan para obtener propiedades de interés tales como tipo de suelo, graduación del tamaño de las partículas, límite líquido y plástico, índice de plasticidad, relación humedad-densidad, permeabilidad, contenido orgánico y propiedades de resistencia, incluyendo el CBR y el módulo de rigidez de la subrasante K; además, nos permite determinar la disponibilidad y conveniencia de los materiales locales a usarse en la construcción de la subrasante y el pavimento.

El sistema unificado es ideal para revelar las propiedades de los terrenos que afectan el funcionamiento de los pavimentos de los aeropuertos. El propósito principal en la determinación de la clasificación de los terrenos consiste en permitir al técnico predecir el comportamiento probable de los terrenos. Las constantes de los terrenos proporcionan asimismo, por sí solas, cierta guía en la cual se han de basar las predicciones sobre el funcionamiento. El sistema unificado clasifica los terrenos primeramente a base del tamaño del grano, y establece posteriormente subgrupos de terrenos sobre las constantes de plasticidad. En la tabla 2.3 se presenta la clasificación de los terrenos según el sistema unificado.

Como se indica en la tabla 2.3, la división inicial de terrenos se basa en la separación de terrenos de grano grueso y de grano fino y en terrenos de alto contenido orgánico. La distinción entre terrenos de grano grueso y de grano fino se determina según la cantidad de material retenido en la criba Núm. 200. Los terrenos de grano grueso se subdividen en grava y en arena, a base de la cantidad de material retenido en la criba Núm. 4. La grava y la arena se clasifican entonces de acuerdo con la presencia o ausencia de material fino. Los suelos de grano fino se subdividen en dos grupos, en función del límite líquido. Se establece una división aparte de suelos de alto contenido orgánico, para los materiales que generalmente no son adecuados para fines de construcción. En la clasificación final de los suelos el material se subdivide en 15 grupos diferentes. A continuación se indican los símbolos de los grupos y una breve descripción de cada uno de ellos:

- GW - gravas homogéneas y mezclas gravas-arena, con poco o ningún fino.
- GP - grava no homogénea y mezclas gravas-arena, con poco o ningún fino.
- 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 - arena no homogénea y arena 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.
- OH - arcilla orgánica de plasticidad media a alta.
- PT - turba, barro y otros suelos muy orgánicos.

Tabla 2.3

Divisiones principales			Símbolos de grupos
Suelos de grano grueso; más del 50% retenido en la criba Núm. 200 *	Grava 50% o más de la fracción gruesa retenida en la criba Núm. 4	Grava limpia	GW GP
		Grava con finos	GM GC
	Arena menos del 50% de la fracción gruesa retenida en la criba Núm. 4	Arena limpia	SW SP
		Arena con finos	SM SC
Suelos de grano fino: 50% o menos retenido en la criba Núm. 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 base del material que pasa por la criba de 3 pulg

La determinación del grupo de clasificación final requiere otros criterios aparte del indicado en la tabla 2.3. Estos criterios pueden consultarse en la referencia 6 incluida en la bibliografía de este trabajo, para un mayor entendimiento y comprensión del tema.

Consideraciones de diseño.

El diseño de pavimentos es un problema ingenieril complejo, que involucra la consideración de un gran número de variables. El diseño de pavimentos flexibles esta basado en el índice de penetración California (CBR Ó VRS), concepto ya discutido en su oportunidad en el capítulo I de éste trabajo, y la acumulación de frecuencia de cargas. El método de cálculo CBR es básicamente empírico; sin embargo, el método ha sido objeto de numerosas investigaciones y se han preparado correlaciones confiables. Los parámetros requeridos para el diseño de pavimentos incluyen el peso bruto de despegue de la nave aérea usado en el campo de aviación, la configuración del tren de aterrizaje y dimensiones, presión de las llantas y áreas de contacto y el volumen de tráfico. Las curvas de cálculo se presentan para distintas configuraciones de trenes de aterrizaje y proporcionan el espesor total requerido del pavimento flexible (superficie, firme y capa de cimentación) necesario para soportar un peso dado de aeronave sobre un terreno de fundación dado.

El primer paso del procedimiento es determinar el pronóstico de salidas anuales para cada tipo de aeronave que opere en el aeropuerto y el peso máximo de despegue de cada nave aérea.

Múltiples experiencias hechas con medidores de deformación, han llevado a la conclusión de que, la carga total de un avión, al aplicarse sobre el pavimento, se distribuye en forma diferente no sólo por la situación de las ruedas, sino conforme a la composición de su tren de aterrizaje.

El contacto de la mayoría de los aviones de hoy, con los pavimentos, se hace por medio de tres piernas: una delantera o de nariz y dos denominadas principales.

La distribución de la carga se acepta que se efectúe de la siguiente forma: la pierna delantera asume del 5 al 10% de la carga total del avión, mientras que el tren de aterrizaje principal le corresponde del 95 al 90% del peso restante del avión, según sea el caso.

Quiere decir que, si llamamos (P_b) la carga total de un avión con tren de aterrizaje doble en las piernas principales, la carga se distribuirá así:

Carga en la pierna delantera	0.10 P_b
Carga en el tren principal	0.90 P_b
Carga en cada pierna principal	0.45 P_b

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de diseño deberá seleccionarse en función de la que requiera el mayor espesor de pavimento. Debe verificarse cada tipo de aeronave del pronóstico para determinar el espesor de pavimento requerido, utilizando la curva de cálculo apropiada, con el número de pronósticos de salidas anuales para cada aeronave. El tipo de aeronave que determine el espesor mayor de pavimento, es la **aeronave de diseño**, y no necesariamente es la aeronave más pesada del pronóstico; normalmente es aquella que tiene el **mayor número de despegues anuales estimados o aquella que tenga la mayor carga por rueda**.

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tráfico con respecto a la aeronave de diseño.

En primer lugar deben convertirse todas las aeronaves al mismo tipo de tren de aterrizaje que la aeronave de diseño. Para ello deben usarse los siguientes factores de conversión:

Para convertir	A	Multiplicar los despegues por
Rueda sencilla	Doble	0.8
Rueda sencilla	Doble tandem	0.5
Doble	Sencilla	1.3
Doble	Doble tandem	0.6
Doble tandem	Sencilla	2.0
Doble Tandem	Doble	1.7

En segundo lugar, una vez que se han agrupado las aeronaves en la misma configuración de tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño, debe determinarse según la fórmula siguiente:

$$\text{Log } R_1 = (\text{log } R_2) \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{0.5}$$

donde:

R_1 = despegues anuales equivalentes del avión de diseño.

R_2 = despegues anuales expresados en el tren de aterrizaje del avión calculado.

W_2 = carga por rueda del avión calculado.

W_1 = carga por rueda del avión de diseño.

Para este cálculo se supone que el 95% del peso bruto de la aeronave ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal.

Una vez determinadas las salidas anuales equivalentes, el cálculo deberá proseguir utilizando la curva de cálculo apropiada para la aeronave de diseño.

Una investigación mostró que el tráfico en las naves aéreas se distribuye normalmente sobre un rango lateral en la superficie del pavimento durante las operaciones. Además, durante cierta porción de una operación en la pista de aterrizaje, las propiedades aerodinámicas de la aeronave disminuyen al actuar sobre el pavimento. Por lo tanto, la FAA permite que el espesor del pavimento se modifique en diferentes superficies; definiéndose así dos zonas que son: **zonas críticas** y **zonas no críticas**.

Las **zonas críticas** comprenden la plataforma, cabeceras de pista, faja central de pista y calles de rodaje de entrada, en ellas no se permite ninguna reducción en el espesor del pavimento; mientras que en las **zonas no críticas**, formadas por las calles de rodaje de salida y orillas de pista, si se permite una reducción en la carpeta y en la capa base de $0.9h$ y $0.7h$ respectivamente, pero el espesor del pavimento se mantiene constante.

En la figura 2.2 se ilustran estas áreas, así como el factor de reducción en la capa base en las zonas no críticas; además, se anexa una sección transversal para su mayor entendimiento.

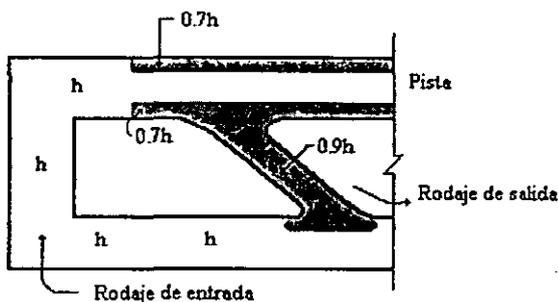
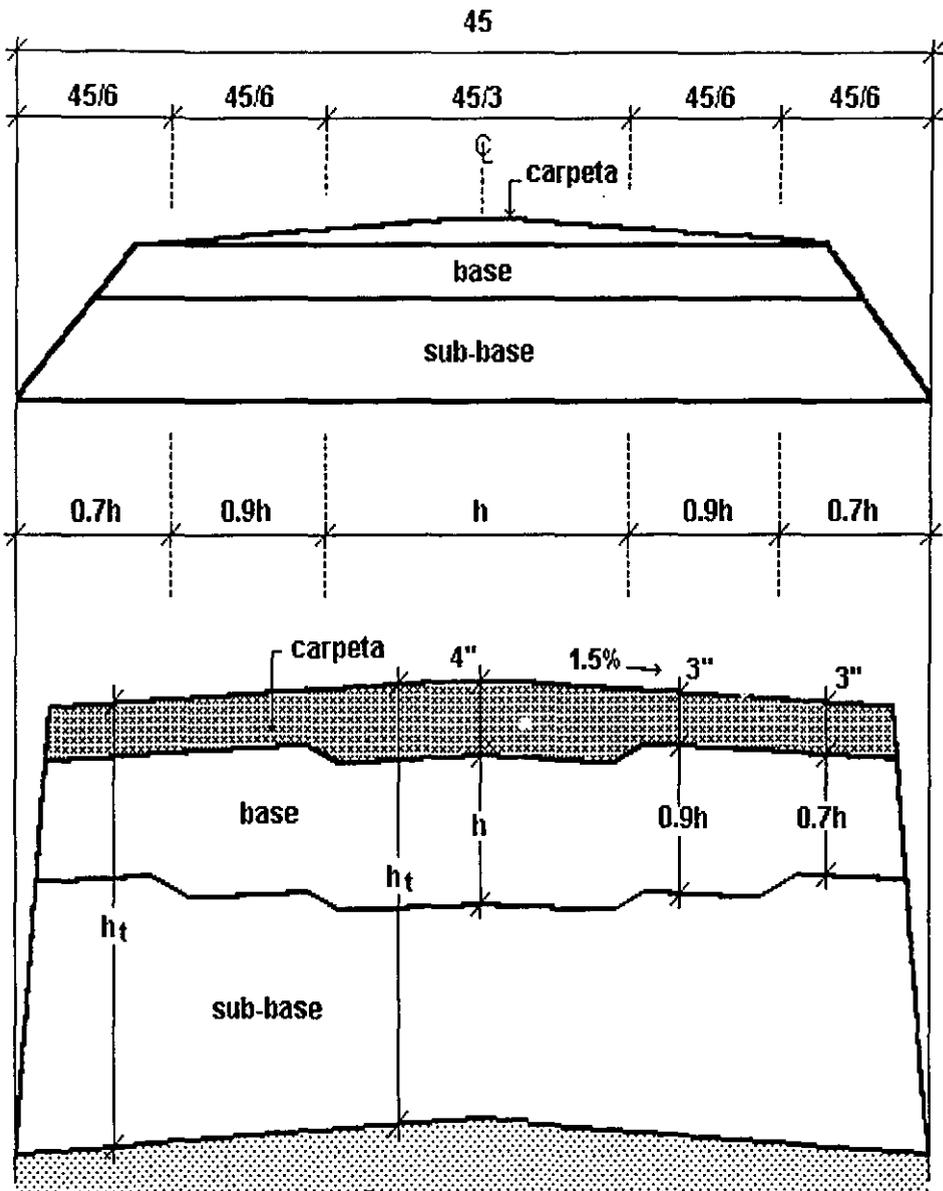


Fig. 2.2

Sección transversal.



h : espesor de la capa base
 h_t : espesor total del pavimento

El espesor de la carpeta asfáltica en las zonas críticas es de 4", en tanto que en las zonas no críticas, debe al menos ser de 3".

Para aeropuertos de mucho tráfico FAA indica que para un número de repeticiones mayor de 25 000 despegues equivalentes, el espesor del pavimento (tanto rígido como flexible) se incrementa en:

Despegues	Factor de corrección de h
50 000	1.04
100 000	1.08
150 000	1.10
200 000	1.12

El método de la FAA permite la estabilización y el tratamiento de materiales para subrasante, sub-base y base para mejorar el funcionamiento y la economía del pavimento. Las capas estabilizadas son necesarias para los nuevos pavimentos calculados para las aeronaves cuyo peso sea de 100 000 lb (45 350 Kg) o más, pues ofrecen ciertas ventajas estructurales para el pavimento flexible. Estas ventajas pueden expresarse en forma de factores de equivalencia que indican las relaciones del espesor de sustitución aplicable a las diferentes capas estabilizadas. El espesor del material estabilizado puede calcularse dividiendo el requisito de espesor de la capa de cimentación granular por el factor de equivalencia.

La FAA también especifica el grado de protección de helada requerido para el pavimento del aeropuerto basado en la uniformidad de las condiciones del suelo, la naturaleza del aeropuerto (grande, mediano o pequeño), y el elemento particular del pavimento (pista de aterrizaje, calles de rodaje, etc).

El cálculo de pavimentos en zonas sometidas al efecto de las heladas es un problema complejo que requiere un estudio detallado. El efecto perjudicial de las heladas puede manifestarse en el empuje o deformación de los terrenos o en la pérdida del apoyo del cimiento debido a la fusión del hielo.

El cálculo de pavimentos para condiciones de helada estacional puede llevarse a cabo de cuatro maneras diferentes:

1. El método de protección total comprende la eliminación del material susceptible de helarse hasta la profundidad de penetración de la helada y su remplazo por materiales no susceptibles de helarse.
2. El método de penetración limitada de la helada en el terreno de fundación permite que la helada penetre hasta cierta profundidad en el terreno de fundación susceptible de helarse. Este método limita las deformaciones a valores pequeños y aceptables.

3. El método de resistencia reducida del terreno de fundación usualmente permite un espesor de pavimento inferior a los dos métodos tratados anteriormente y debería aplicarse a los pavimentos en los cuales las velocidades de las aeronaves son bajas y los efectos de la deformación por las heladas son menos objetables. El objetivo principal de éste método consiste en proporcionar una capacidad estructural suficiente para el pavimento durante el periodo de deshielo. En este método, la deformación debida a la helada no es la consideración principal.
4. El método de protección reducida del terreno de fundación contra la helada proporciona al calculista un método de tratar estadísticamente el cálculo de la helada. Este método sólo debería utilizarse en los casos en que las velocidades de las aeronaves son bajas y puede tolerarse cierta deformación debida a la helada. El método estadístico permite que el calculista tenga más libertad que en los otros tres métodos tratados anteriormente.

Ejemplo: Diseñe el pavimento para áreas críticas y no críticas.

Equipo pronosticado (Tipo de carga)	Despegues anuales estimados	Tipo de tren	Peso de despegue (Kg)
B727-100	750	Doble	72 600
B727-200	500	Doble	86 500
B707-320B	200	Doble tandem	148 500
CV-880	150	Doble tandem	83 948
DC-9-32	550	Doble	49 500
A-320	530	Doble	61 500

Solución.

Se analizarán dos alternativas por separado; para ello se escogerá como avión de diseño:

1. Aquel que tenga el mayor número de despegues anuales estimados.
2. Aquel cuya carga por rueda sea mayor.

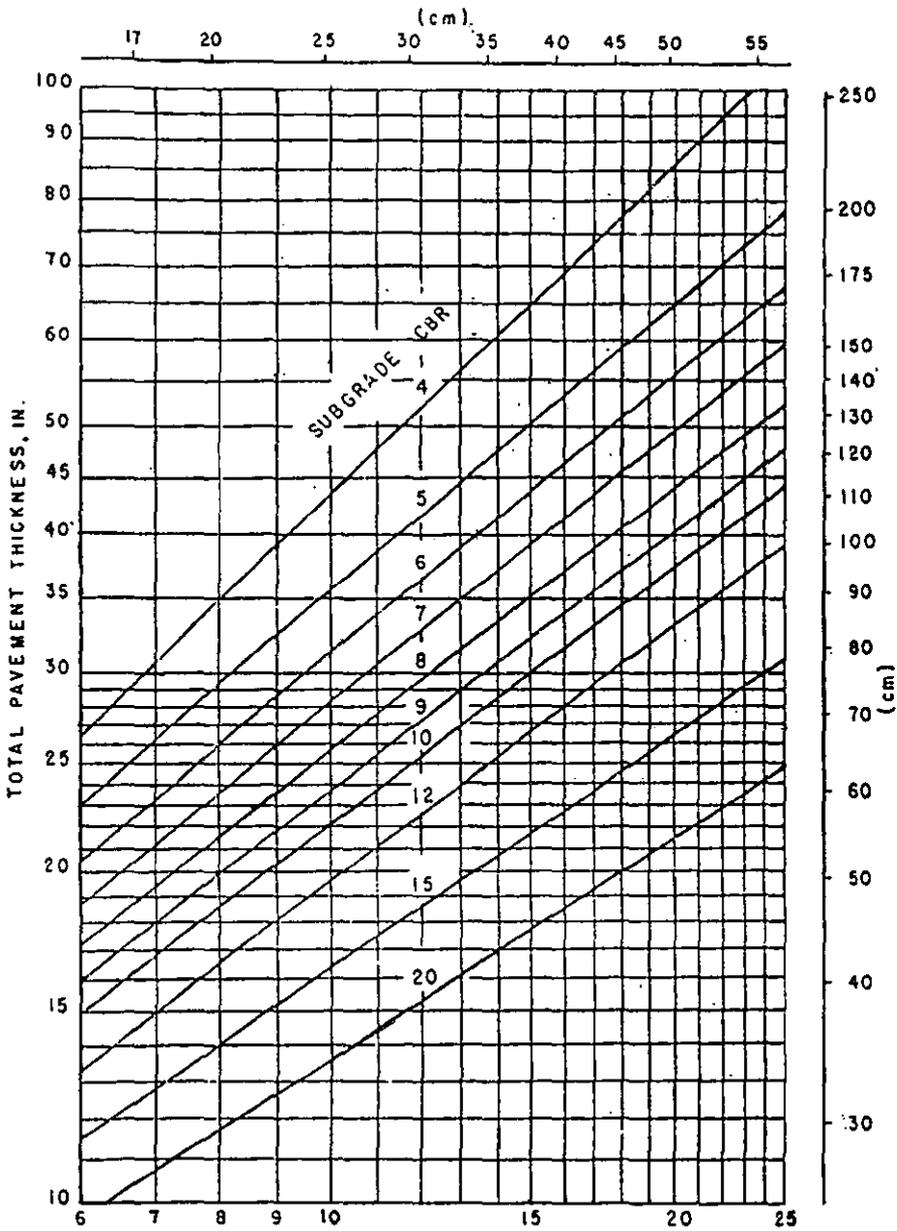


Fig. 2.4. Espesor mínimo de la capa base.

PRIMERA ALTERNATIVA.

El avión de diseño será el B727-100 por tener mayor número de despegues anuales estimados; tiene una configuración de tren de aterrizaje doble y un peso de despegue de 72 600 kg.

Cálculo del número de despegues equivalentes.

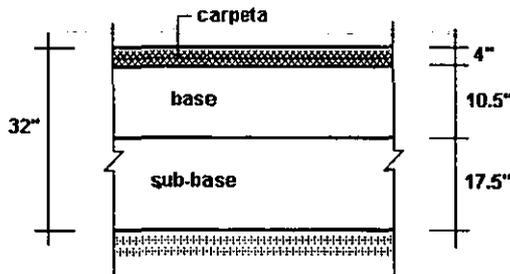
Equipo	Carga por rueda (Kg)	Despegues convertidos por tren de aterrizaje	Despegues equivalentes
* B727-100	17 242.5	750	750
B727-200	20 543.75	500	883
B707-320B	17 634.38	340	363
CV-880	9 968.83	255	68
DC-9-32	11 756.25	550	183
A-320	14 606.25	530	322
Suma			2 569

Hemos obtenido 2 569 despegues anuales de B727-100.

El material de la subrasante tiene un VRS = 6. El peso del B727-100 = 72 600 Kg = 159 912 lb

De la figura 2.3 se tiene, que el espesor total del pavimento $h = 32''$, y empleando la figura 2.4, el espesor mínimo de la base $h' = 10.5''$.

De tal forma que la sección del pavimento para **áreas críticas** quedaría así:



SEGUNDA ALTERNATIVA.

El avión de diseño sería el B727-200 por tener la mayor carga por rueda, con una configuración de tren de aterrizaje doble.

Cálculo del número de despegues equivalentes

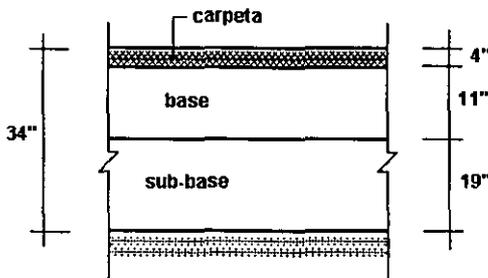
Equipo	Carga por rueda (Kg)	Despegues convertidos por tren de aterrizaje	Despegues equivalentes
B727-100	17 242.5	750	430
* B727-200	20 543.75	500	500
B707-320B	17 634.38	340	222
CV-880	9 968.83	255	47
DC-9-32	11 756.25	550	118
A-320	14 606.25	530	198
Suma			1 515

Hemos obtenido 1 515 despegues anuales del B727-200

El material de la subrasante tiene un VRS = 6. El peso del B727-200B = 86 500 Kg = 190 529 lb

De la figura 2.3 se tiene, que el espesor total del pavimento $h = 34"$, y empleando la figura 2.4, el espesor mínimo de la base $h' = 11"$

De tal forma que la sección para **áreas críticas** quedaría así:

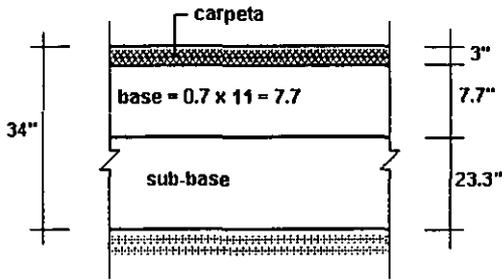


Conclusión.

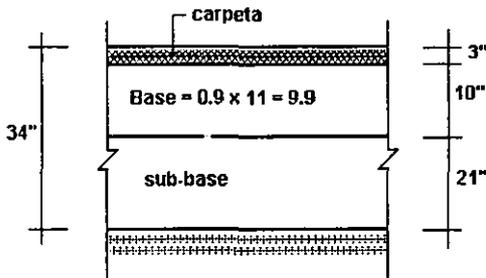
La segunda alternativa es la que requiere la mayor sección estructural del pavimento, y por lo tanto es la sección a construir.

De ésta forma, las secciones no críticas quedan definidas de la siguiente forma:

Areas no críticas:



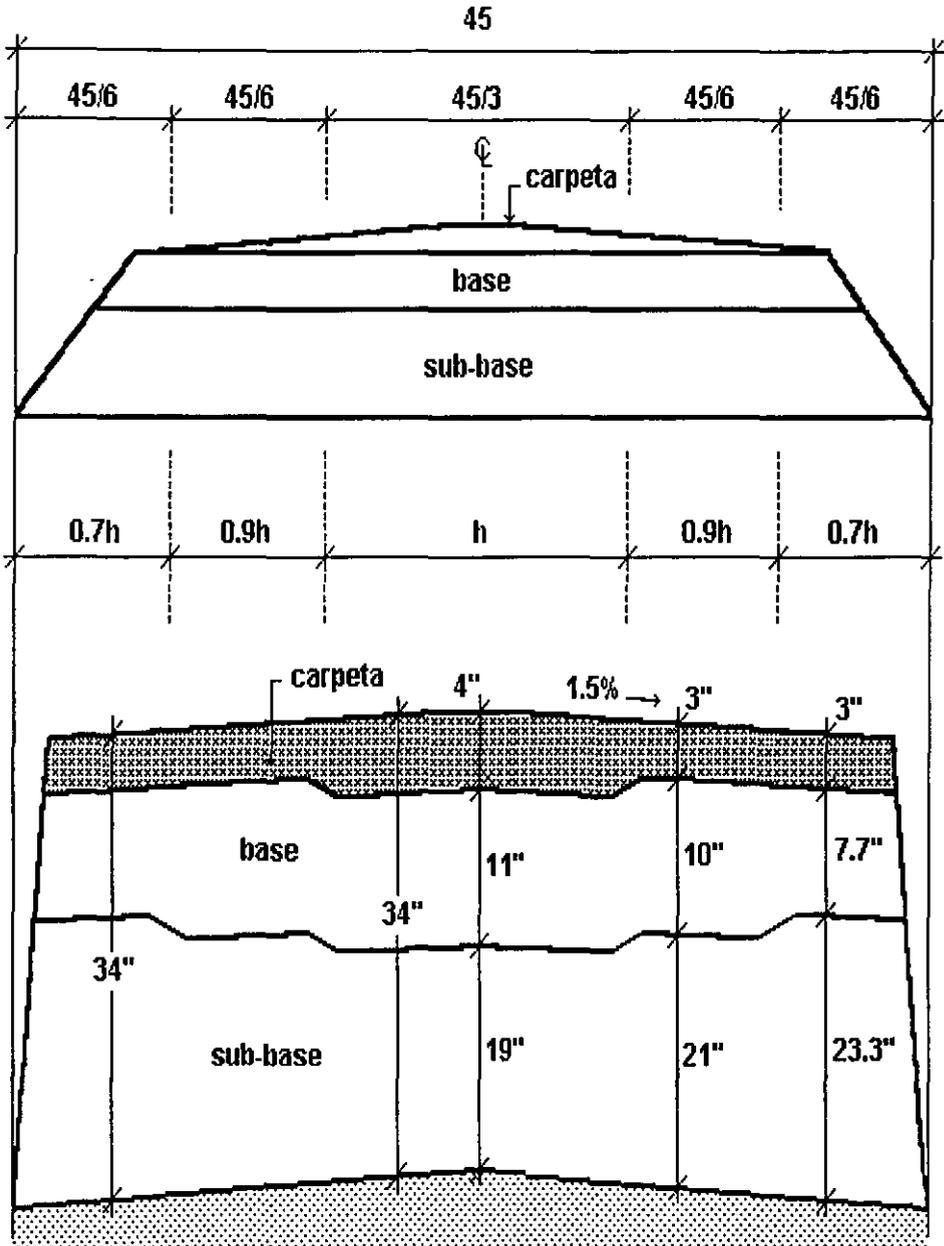
Orilla de pista



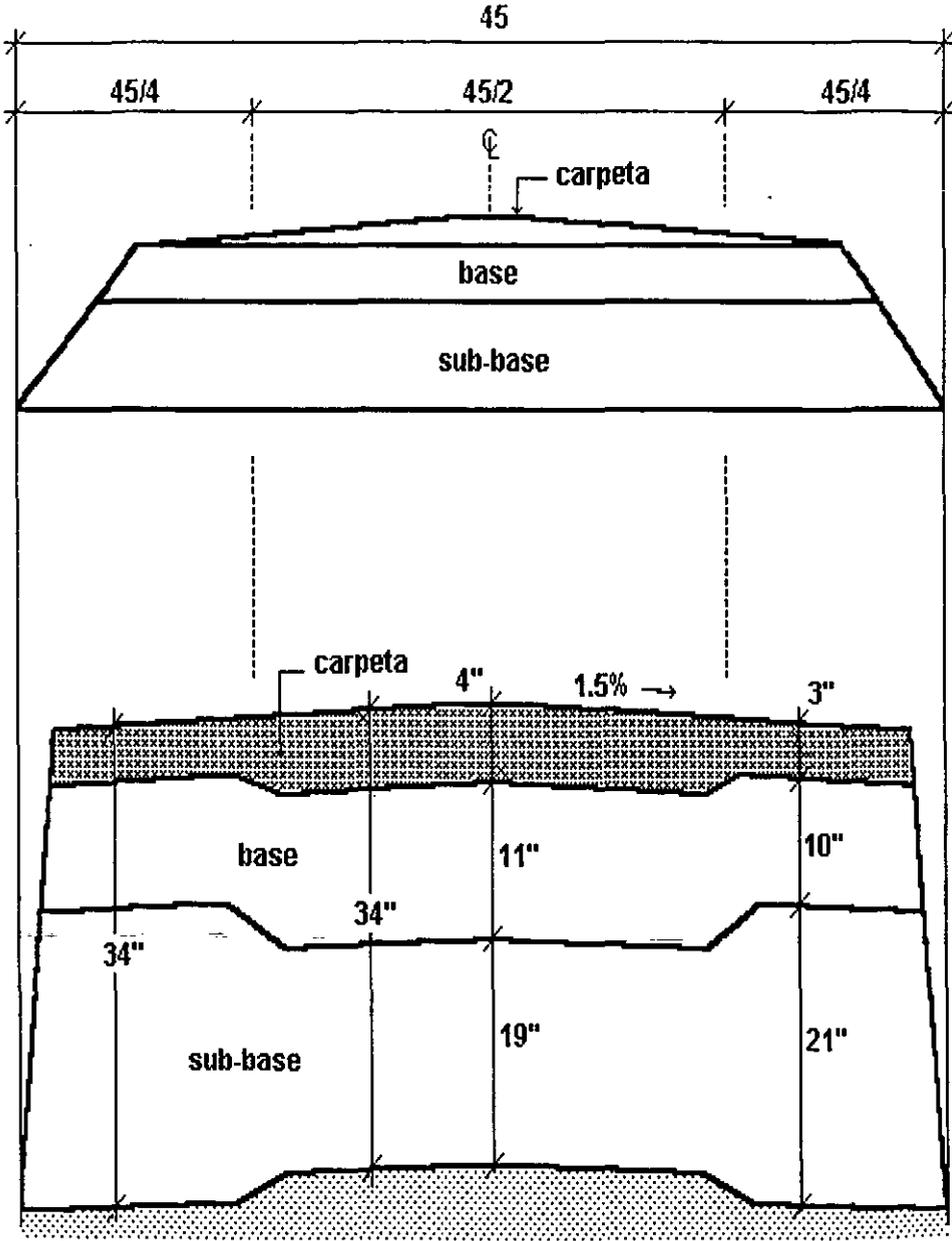
Rodaje de salida

A continuación se muestran los cortes de pista y rodaje para un ancho de 45 m y un bombeo lateral de 1.5%.

Corte de pista.



Corte de rodaje:



Las características de los materiales que conformarán la estructura del pavimento, para la pista y las calles de rodaje, se especifican a continuación:

- Tipo de pavimento flexible.
- Porcentaje de compactación de terracería 95%
- Porcentaje de compactación de subrasante 100%
- Porcentaje de compactación de sub-base 100%
- Porcentaje de compactación de base 100%
- VRS de subrasante 6.0
- La sub-base estará constituida por grava arenosa de graduación no uniforme con propiedades de compresibilidad y dilatación casi nulas.
- La base estará formada por arena con grava homogénea, con valores de compresibilidad y dilatación casi nulos.

2.5. Sistemas de clasificación de aeropuertos y aeronaves.

• Sistema LCN (Load Classification Number)

El método LCN de valoración de aeronaves y proyectos de pavimentos fue formulado y publicado primeramente por la Dirección General de Obras del Ministro del Aire del Reino Unido. Actualmente se ha incorporado al *Manual de Aeródromos* de OACI. En este procedimiento la capacidad resistente de un pavimento se expresa en términos de un número, denominado LCN. De igual manera, la carga equivalente de rueda simple (ESWL) de cualquier avión también puede expresarse en LCN. Este último número depende de la configuración del tren de aterrizaje, de la presión del neumático y de la composición y espesor del pavimento. Por lo tanto, si el LCN del pavimento de un aeropuerto es mayor que el LCN de una aeronave, ésta puede utilizar el pavimento con toda seguridad.

Obtención del valor de LCN de un pavimento flexible.

El valor LCN de un pavimento se obtiene llevando a cabo ensayos de placa sobre el pavimento existente. Se recomienda efectuar por lo menos 20 ensayos de manera repetitiva; es decir, aplicando la carga, retirándola, aplicándola de nuevo y así sucesivamente. La carga admisible del pavimento para cada lugar de ensayo, es

aquella que tras 10, 000 repeticiones, produce una flecha de 0.5 cm de exceso sobre la posición inicial. Suponiendo que tanto la flecha como el asiento del pavimento flexible, son proporcionales al logaritmo del número de aplicaciones de la carga; sólo es necesario repetir el ensayo 20 veces. La dimensión de la placa utilizada para estos ensayos viene fijada por la consideración del área de contacto del neumático (rueda principal) de la aeronave que utiliza el aeropuerto en cuestión. En los aeropuertos civiles se utiliza frecuentemente una placa de 45 cm de diámetro que cubre un área de contacto de 1, 600 cm², ya que ésta área concuerda bien con las áreas de contacto de los neumáticos de la mayoría de los aviones civiles.

Obtención del valor de LCN de un pavimento rígido

Los ensayos de placas se realizan en una esquina de losa. Primeramente, se aplica una carga de 2, 250 Kg para asentarla; luego se retira la carga. A continuación se aplican cargas de ensayo en sucesivos incrementos de aproximadamente 2, 250 Kg, midiéndose la flecha para cada carga. La acción de la carga continua hasta que el concreto se haya flechado por lo menos 0.5 cm y se fisura. Las curvas carga-deformación mostrarán un cambio brusco de pendiente en el momento del agrietamiento y la posición de dicha grieta puede determinarse observando el comportamiento de los indicadores exteriores; que según la separación adoptada se trasladarán, normalmente, más allá de la fisura. Se recomienda un total de 20 ensayos en diferentes puntos. La carga admisible del pavimento es la media de las cargas de rotura dividida por el coeficiente de seguridad 1.5.

Obtención del valor de LCN de la aeronave.

El valor LCN de un avión que tiene una rueda en cada tren de aterrizaje, viene fijado por la carga sobre el tren y por la presión del neumático. Para trenes de aterrizaje de ruedas múltiples, es necesario utilizar el valor de carga equivalente de rueda simple (ESWL). Con estos dos valores puede determinarse el LCN directamente, utilizando la figura 2.5.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Obtener el valor ESWL de la aeronave, en libras o toneladas, y ubicarlo en la escala izquierda de la figura.
2. Localizar en la escala derecha la presión de las llantas, en p.s.i. o Kg/cm².
3. Unir los puntos encontrados en 1 y 2 con una línea recta. Donde esta línea cruce la escala central se tendrá el LCN de la nave aérea.

Ejemplo:

ESWL de la nave aérea = 36 500 lb o 16.5 ton
Presión de las llantas = 70 psi o 4.9 Kg/cm²
La nave aérea tendrá un LCN = 32

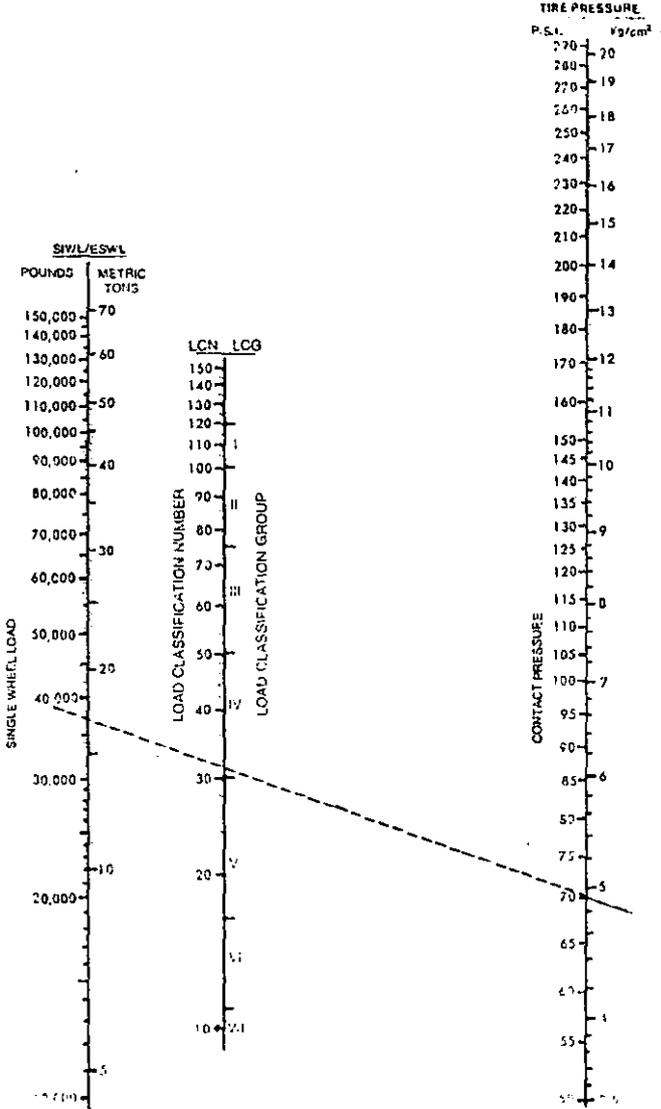


Fig. 2.5

- Sistema ACN/PCN

La FAA y la OACI han adoptado un sistema de clasificación del pavimento para informar la resistencia estructural del pavimento del aeropuerto llamado el número de clasificación nave aérea/pavimento. Este sistema presenta un **número de clasificación del pavimento (PCN)** único en su género, el cuál indica que una nave aérea con un **número de clasificación de aeronave (ACN)** igual o menor que el PCN puede hacer uso del pavimento sin ninguna limitación en la presión de sus llantas. El ACN es un número que expresa lo relativo a los efectos estructurales de una aeronave en cualquiera de los dos pavimentos, flexible o rígido, para una resistencia de subrasante específica en cuanto a una carga estándar de rueda simple. El PCN es un número que expresa lo relativo a la capacidad de transmitir carga del pavimento en cuanto a una carga estándar de rueda simple.

El soporte resistente del pavimento es presentado indicando el PCN, el tipo de pavimento usado para la determinación del PCN, la categoría de la subrasante, la máxima presión de las llantas permitida y los criterios para la evaluación. Pueden ser presentados diferentes PCNs si es que la resistencia del pavimento estuviera sujeta a variaciones en las estaciones del año debido a heladas u otras condiciones. Una nave aérea dada tendrá un ACN diferente dependiendo del pavimento en el cual opere, flexible (F) o rígido (R), y en la resistencia relativa de la subrasante. El ACN puede determinarse empleando las cartas de diseño del pavimento o ecuaciones analíticas.

Una de las principales ventajas de éste sistema es que es independiente de la técnica usada para evaluar la resistencia del pavimento y relaciona solamente el impacto de la nave aérea con el soporte de la subrasante. El PCN se reporta para aeronaves ligeras (con un peso máximo bruto de despegue menor de 5700 kg), en función del peso de la aeronave y la presión de sus llantas. Para aeronaves grandes, el sistema reporta el PCN como un ACN, el tipo de pavimento, la categoría de la subrasante, la presión en las llantas, y la evaluación del método usado para obtener el PCN.

El concepto de la carga de rueda simple se adopto para determinar el ACN de manera que la interacción entre el tren de aterrizaje y el pavimento pueden ser evaluados sin hacer mención al espesor del pavimento. Una porción entre el espesor del pavimento requerido para la aeronave y el que se requiere para una carga estándar de rueda simple de 500 Kg y una presión estándar en las llantas de 181 lb/in² definen el ACN.

El ACN para cualquier aeronave puede obtenerse por cualquier técnica establecida para diseño de pavimentos. La resistencia de la subrasante es clasificada como: alta (A), media (B), baja (C), o ultra-baja (D) basada en el CBR, si éste es mayor o igual que 13, 8, 4, o si es menor que 4, respectivamente, para pavimentos flexibles ó si el módulo de rigidez de la subrasante K es mayor o igual que 400, 200, 100, o menor que 100 lb/in³, respectivamente, para pavimentos

rígidos. La máxima presión en las llantas permitida para que una nave aérea opere se clasifica como alta (W) sin ningún límite, media (X) para un límite de 217 lb/in², baja (Y) con límite de 145 lb/in², y muy baja (Z) con un límite de 73 lb/in². Si la evaluación es conducida por una técnica específica de estudio de las características y comportamiento del pavimento, el método de evaluación es clasificado como técnico (T). Si la evaluación se basa en la experiencia de una pista de aterrizaje con una aeronave en particular, la técnica de evaluación es clasificada como (U). El ACN de algunas aeronaves típicas se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

Avión	Peso máximo de despegue (lb)	Presión en las llantas (lb/in ²)	ACN	
			Pav. rig.	Pav. flex.
Airbus A-300-B2	313 000	179	37	40
Airbus A-310-300	346 000	217	45	57
Airbus A-320-100	150 000	163	18	18
BAC 1-11-475	87 500	135	25	22
Boeing-727-200	173 000	167	46	41
Boeing-737-200	111 000	148	27	25
Boeing-737-400	143 000	210	41	35
Boeing-747-100	738 000	225	44	46
Boeing-747-200	823 000	210	49	52
Boeing-747-400	872 000	206	53	57
Boeing-757-200	241 000	171	27	29
Boeing-767-200	317 000	191	33	37
Concorde	408 000	183	61	65
DC-8-62	353 000	187	47	49
DC-9-51	122 000	170	35	31
DC-10-40	558 000	170	44	53
L-1011-500	498 000	184	50	60
MD-81	141 000	171	41	36
MD-87	150 000	185	45	39
MD-11	605 000	206	56	64

Como ejemplo, un PCN de 46/R/A/X/T indica que el pavimento puede ser usado para operaciones ilimitadas por toda aeronave con un ACN menor o igual que 46, en éste caso un Boeing 727-200 con un peso máximo de despegue de 173 000 lb, además, el pavimento es rígido (R) con un módulo de reacción de la subrasante (A) mayor o igual que 400 lb/in³ tal que la máxima presión en las llantas permitida (X) es de 217 lb/in². Este PCN se determinó a través de una evaluación técnica (T) de las características del pavimento.

La OACI permite algunas sobrecargas en el pavimento por aeronaves con ACNs escasamente más grandes que el PCN presentado. Esto permite a las

autoridades aeroportuarias evaluar un criterio óptimo de operación en los pavimentos, considerando factores tales como la demanda de tráfico y la vida útil del pavimento. Los operadores de las aeronaves suministran información esencial para el desarrollo de planes efectivos de operación relacionados con la flota aérea, red de ruta, y propiedades de resistencia de aeropuertos servidos; información que compete a los aeropuertos existentes.

CAPÍTULO III

PAVIMENTOS RÍGIDOS

CAPITULO III. PAVIMENTOS RIGIDOS

Objetivo. Conocer la estructuración de los pavimentos rígidos y los métodos de diseño comunmente empleados.

3.1. Estructuración.

Un pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto. Esta se apoya sobre una capa denominada sub-base, que a su vez es soportada por el suelo de apoyo (subrasante) (ver figura. 3.1); es importante destacar que si la subrasante del pavimento tiene una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella. Prescindiéndose así de una sub-base especial.

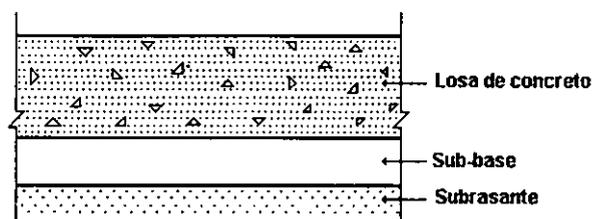


Fig. 3.1

La distinción entre sub-base, subrasante o la parte superior de una terracería es en buena parte, para este caso, un problema de nomenclatura. El objetivo es que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable para garantizar que no carezca de soporte; la forma de lograr esto y las capas de suelo que hay que proporcionar para ello depende de la calidad de los materiales que se estén utilizando, de los niveles de compactación que se empleen y de condiciones locales de clima y drenaje.

Suelo de apoyo

Los cambios volumétricos en el terreno de apoyo, causados por cambios en el contenido de agua, pueden ser causa importante para que las losas pierdan su apoyo uniforme, especialmente si se compactan, en el lado seco, materiales susceptibles a la expansión; a los mismos problemas puede llegarse si se permite que se sequen en exceso por evaporación antes de ser cubiertos por la losa materiales que hayan sido compactados con un contenido de agua conveniente. El colocar a los materiales factibles a la expansión con contenidos de agua demasiado

altos también puede conducir a problemas, pues la contracción posterior, cuando el exceso de agua se pierda, puede producir pérdidas locales de apoyo en las losas, especialmente en las zonas de borde. Probablemente la humedad de compactación idónea debe ser un valor comprendido entre el óptimo de campo y un mínimo de 1 ó 2% mayor, pero el valor preciso deberá fijarse en cada caso atendiendo a las condiciones climáticas y constructivas prevalecientes.

La propensión a la expansión deberá vigilarse también en los materiales de terracería, pues si éstos sufren fuertes cambios de volumen se tendrán deformaciones de importancia en la superficie de la sub-base, con los correspondientes problemas de pérdida de apoyo, aún si la subrasante y la propia sub-base están formadas con materiales no susceptibles.

El fenómeno de **bombeo** es un efecto especial de los pavimentos rígidos, sumamente indeseable, pero muy frecuente cuando no se toman precauciones especiales. Cuando la carga del tránsito pasa sobre una grieta o junta de la losa, ésta descende y transmite presión al material bajo ella. Si el suelo está muy húmedo o saturado, la mayor parte de esta presión la tomará el agua, que tenderá a escapar por la grieta o junta. Después de pasar la carga, la losa se recupera y levanta y este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío bajo la losa, que tiende a hacer que el fenómeno se acentúe; además, el remoldeo que este efecto produce al suelo hace que este forme un lodo o suspensión con el agua, con lo que el fenómeno se agudiza. El final del proceso es la ruptura de la losa bajo carga por falta de sustentación. Para que exista bombeo es preciso que el material de soporte de la losa sea muy fino y que esté muy humedecido o saturado y es condición indispensable que se produzca un gran número de repeticiones de carga; por eso el fenómeno es frecuente en caminos pero un poco raro en aeropistas. En la figura 3.2 se ilustra éste fenómeno.

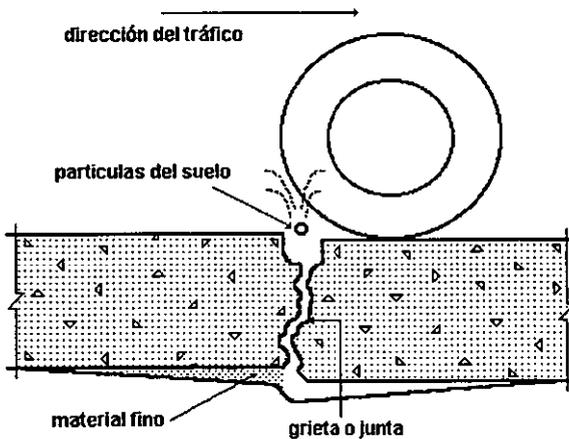


Fig. 3.2

Sub-base

El incremento de tráfico de vehículos pesados en las carreteras y la aparición de aviones más grandes y pesados en los aeropuertos, han puesto de manifiesto la necesidad de contar con un apoyo adecuado (sub-base) para las losas de concreto. Esta sub-base consiste de una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizados. Solamente si la subrasante cumple por sí misma con las características que se estiman deseables para la capa de sub-base podría evitarse construir esta última por separado.

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento rígido son las siguientes:

- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.
- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la subrasante.
- Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa subrasante. (En lugares con muy bajas temperaturas).
- Evitar el fenómeno de bombeo.

La lista de funciones que se ha proporcionado define como material óptimo uno granular, bien compactado, relativamente grueso y de granulometría más bien uniforme. Cuando tales materiales no estén disponibles, ha de tenerse en cuenta que la estabilización de materiales de peor calidad, sobre todo con cemento mejora mucho su comportamiento, especialmente en lo referente a bombeo y susceptibilidad a cambios volumétricos, además de permitir la conformación de una superficie de apoyo sin accidentes y garantizar una apropiada resistencia.

Losa

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son además de ser una superficie de rodamiento, soportar estructuralmente y transmitir a las capas inferiores los esfuerzos que se le apliquen debidamente distribuidos.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta a la compresión, generalmente comprendida entre 200 y 400 Kg/cm². Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado. Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas. El concreto pre-esforzado permite la

utilización de superficies continuas de área muy superior; este hecho, unido a los considerables ahorros de espesor que es posible lograr en este caso, induce una tendencia en favor del uso cada vez más frecuente del concreto pre-esforzado.

Los factores que afectan el espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

Debido a la rigidez y resistencia de la losa, los esfuerzos que se transmiten a la sub-base son pequeños. El correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento; un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde no haya cambios abruptos en la capacidad portante del terreno.

3.2. Diseño de espesores de pavimentos rígidos.

3.2.1. Método de la Federal Aviation Administration (F.A.A.)

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 sub-base. 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 del diseño se modificó desde el interior hasta el borde de la junta.

H. M. Westergaard, hizo el análisis teórico de las tensiones originadas por las cargas de acuerdo con las posiciones ocupadas por las llantas en la losa.

Son tres las posiciones estudiadas:

- 1) **En esquina.**- Una rueda cargada actuando íntegramente sobre la esquina rectangular de una losa, con la carga distribuida uniformemente sobre un área circular. El esfuerzo crítico es una tensión en la parte superior de la losa y la carga tiende a producir una ruptura de esquina.
- 2) **En el interior.**- Una rueda cargada actuando a considerable distancia de los bordes, con carga distribuida uniformemente en un área circular. El esfuerzo crítico es una tensión en la parte inferior de la losa debajo de la carga.
- 3) **En el borde.**- Una rueda actuando en el borde, pero a considerable distancia de cualquier esquina, con la carga distribuida uniformemente sobre un área semi-circular. El esfuerzo crítico es una tensión en la parte inferior de la losa, debajo de la carga.

En el estudio original de Westergaard, se supone que la losa de concreto actúa como un sólido homogéneo, isótropo y elástico en equilibrio y que las reacciones de la subrasante son verticales solamente y proporcionales a la deflexión de la losa.

Como conclusión de sus análisis teóricos, el Dr. Westergaard dedujo fórmulas semiempíricas para calcular el esfuerzo provocado por las cargas, y además, otra fórmula para calcular el esfuerzo causado por la diferencia de temperaturas.

Las fórmulas del Dr. Westergaard significaron un gran progreso, porque toma en cuenta el área de la distribución de las cargas de ruedas sobre un círculo cuya área es equivalente a la correspondiente de apoyo de las ruedas sobre el pavimento y, además, toma en cuenta la reacción de la subrasante.

Estas fórmulas fueron sometidas a una extensa verificación de carácter experimental, llevada a cabo por el Departamento de Caminos Públicos de los Estados Unidos de América en su campo experimental ubicado en Arlington, en donde se midieron los esfuerzos de las losas construidas especialmente y sometidas a la acción de cargas de rueda. Estos ensayos demostraron que los esfuerzos reales que se desarrollan en las esquinas de las losas cuando ésta está alabeada hacia arriba a causa de la diferencia de temperatura y humedad entre el fondo y la superficie, es decir, cuando no hay un contacto completo entre la losa y la subrasante, son más elevadas que las que se obtienen por la fórmula del Dr. Westergaard para el caso de la carga en esquina. Como consecuencia de esas y otras comprobaciones efectuadas en los ensayos de Arlington, se propusieron diversas modificaciones a la fórmula de Westergaard, fórmulas que toman en cuenta la condición indicada.

Al igual que para los pavimentos flexibles se han preparado gráficas de diseño para los pavimentos rígidos. Gráficas que están basadas en una condición de carga en el borde de una junta en la cuál la carga es tangente a la junta en el concreto. El uso de estas curvas de diseño es similar al usado en los pavimentos flexibles en que el peso bruto de despegue y las salidas anuales equivalentes del avión de diseño se requieren, además de la resistencia a la flexión del concreto y del módulo de reacción del terreno empleado como subrasante; factores que se tratarán más adelante. Estas gráficas de diseño sólo proporcionan el espesor de la losa de concreto, los espesores de las demás capas se determinan por separado y el espesor total del pavimento es la suma de dichas capas.

El procedimiento de diseño también permite una modificación en el espesor del pavimento determinado de las curvas de diseño para volúmenes altos de tráfico (mayor de 25 000 despegues equivalentes). El espesor del pavimento debe incrementarse en:

Despegues	Factor de corrección de h
50 000	1.04
100 000	1.08
150 000	1.10
200 000	1.12

A continuación se habla un poco más acerca de los factores a tomar en cuenta en el diseño de los pavimentos rígidos.

Resistencia del concreto a la flexión.

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

Módulo de reacción del terreno K.

El valor K 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 a resultados de laboratorio del material de subrasante ($K_{\text{subrasante}}$); sus unidades estan expresadas en lb/in^3 o Mn/m^3 . La figura 3.3 nos permite determinar el módulo de reacción del terreno de la sub-base en función de la K de la subrasante para pavimentos rígidos.

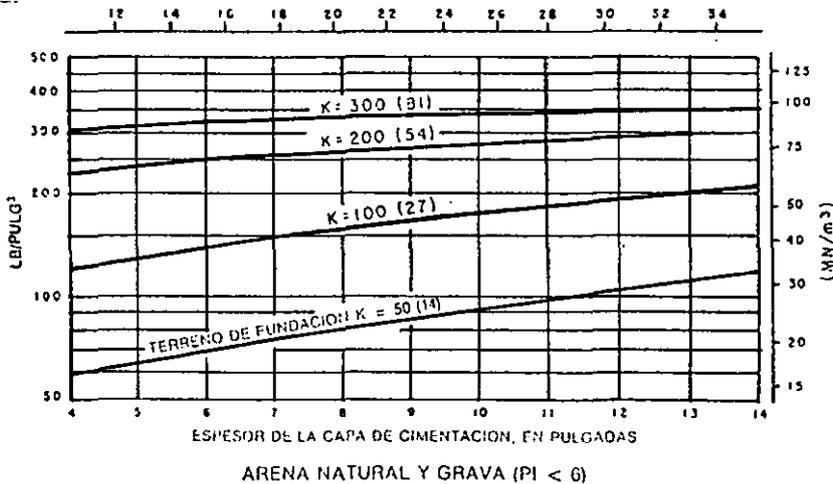


Fig. 3.3

Las consideraciones del peso bruto del avión, salidas anuales equivalentes y tipo de tren de aterrizaje, se realizan de la misma forma que para el caso de pavimentos flexibles descrito en el capítulo anterior.

Por último al igual que en los pavimentos flexibles, se tienen **zonas críticas y no críticas** dentro del diseño de los pavimentos; las zonas críticas no tienen factor de reducción; en tanto que en las zonas no críticas se usa un factor de reducción para el espesor de la losa de 0.9 y 0.7.

Ejemplo. Diseñe el pavimento rígido para el ejemplo visto en el capítulo anterior (pag. 53). Los datos son:

Equipo pronosticado (Tipo de carga)	Despegues anuales estimados	Tipo de tren	Peso de despegue (Kg)
B727-100	750	Doble	72 600
B727-200	500	Doble	86 500
B707-320B	200	Doble tandem	148 500
CV-880	150	Doble tandem	83 948
DC-9-32	550	Doble	49 500
A-320	530	Doble	61 500

La capa de cimentación esta constituida por arena natural y grava.

Resistencia a la flexión del concreto $f_r = 700 \text{ lb/in}^2$

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

Espesor de la sub-base 11"

Solución.

De igual forma que para los pavimentos flexibles se analizarán dos alternativas posibles de solución, para determinar cuál de ellas es la que rige.

- 1. El avión de diseño será aquel que tenga el mayor número de despegues anuales estimados.
2. El avión de diseño será aquel que tenga la mayor carga por rueda.

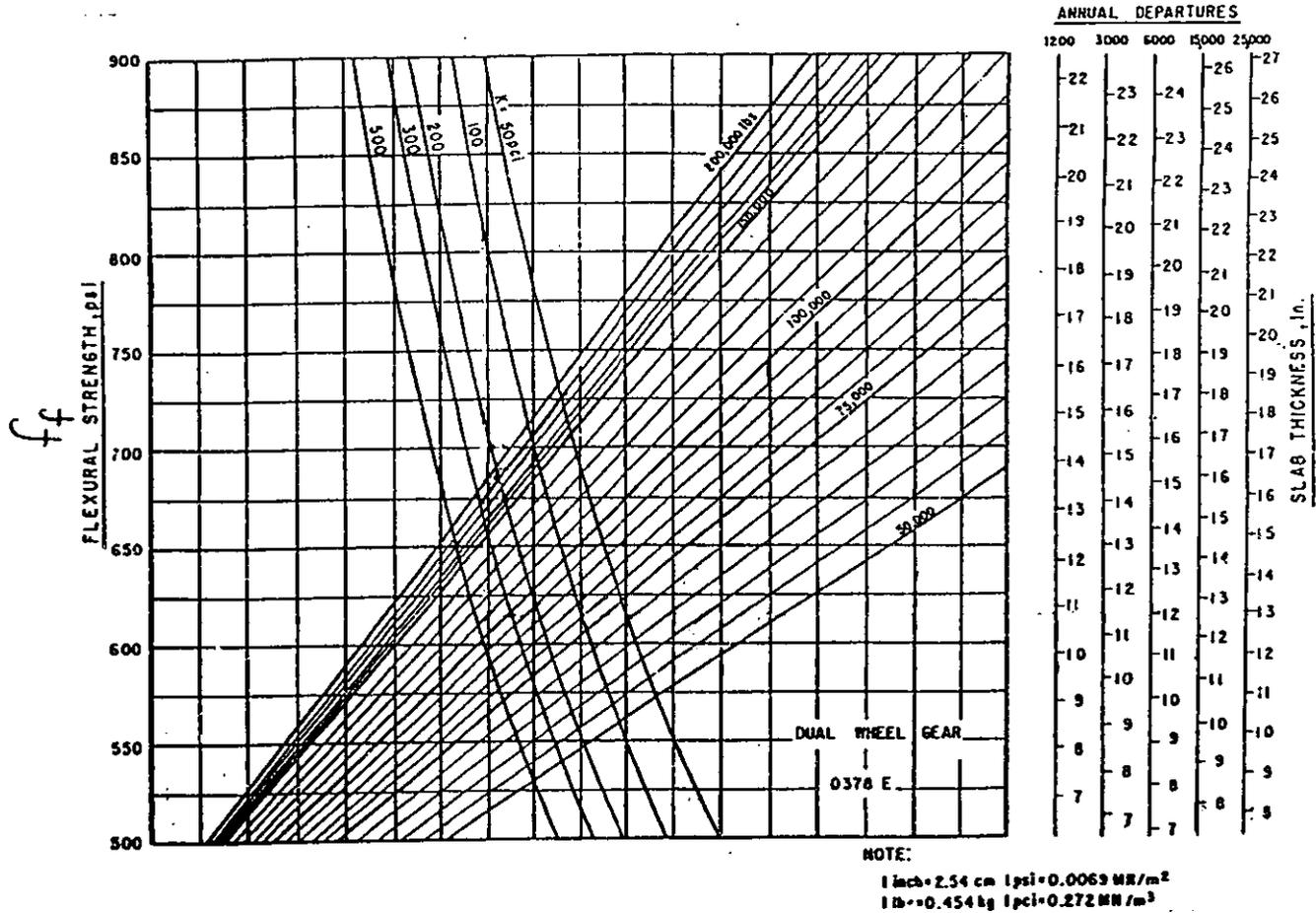


Fig. 3.4. Curvas de diseño para pavimento rígido, tren de aterrizaje doble rueda.

PRIMERA ALTERNATIVA.

El avión de diseño sería el B727-100 por tener mayor número de despegues anuales estimados, tiene una configuración de tren de aterrizaje doble y un peso de 72 600 kg.

En el capítulo anterior se determinaron 2 569 despegues anuales equivalentes para ésta aeronave.

Usando la gráfica de la figura 3.3, el módulo de reacción de la capa sub-base será $K = 180 \text{ lb/in}^3$.

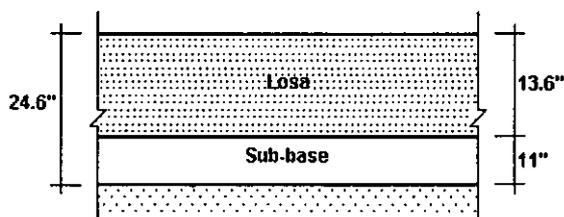
De la figura 3.4, se obtienen los espesores de carpeta siguientes:

$$h_{1200} = 13" \quad , \quad h_{3000} = 13.8"$$

Interpolando entre ambos valores, el espesor para nuestras salidas anuales equivalentes es de:

$$h_{2569} = 13.6"$$

De tal forma que la sección del pavimento para **áreas críticas** quedaría así:



SEGUNDA ALTERNATIVA.

El avión de diseño sería el B727-200 por tener la mayor carga por rueda (20 543.75 Kg), tiene una configuración de tren de aterrizaje doble y un peso de despegue de 86 500 Kg.

En el capítulo anterior se determinó un total de 1 515 despegues anuales equivalentes para ésta aeronave.

Usando la gráfica de la figura 3.3, el módulo de reacción de la capa sub-base será $K = 180 \text{ lb/in}^3$.

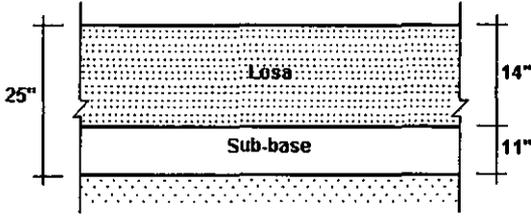
De la figura 3.4, se obtienen los espesores de carpeta siguientes:

$$h_{1200} = 13.9'' \quad , \quad h_{3000} = 14.8''$$

Interpolando entre ambos valores, el espesor para nuestras salidas anuales equivalentes es de:

$$h_{1515} = 14''$$

De tal forma que la sección del pavimento para *áreas críticas* quedaría así:

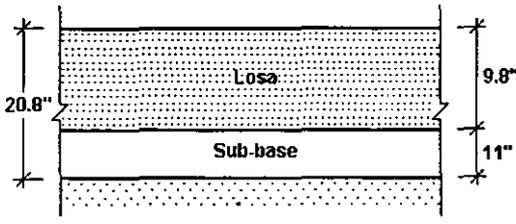
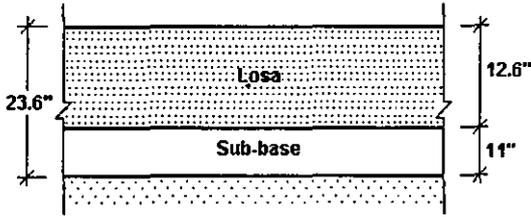


Conclusión.

La segunda alternativa es la que requiere la mayor sección estructural del pavimento, y por lo tanto es la sección a construir.

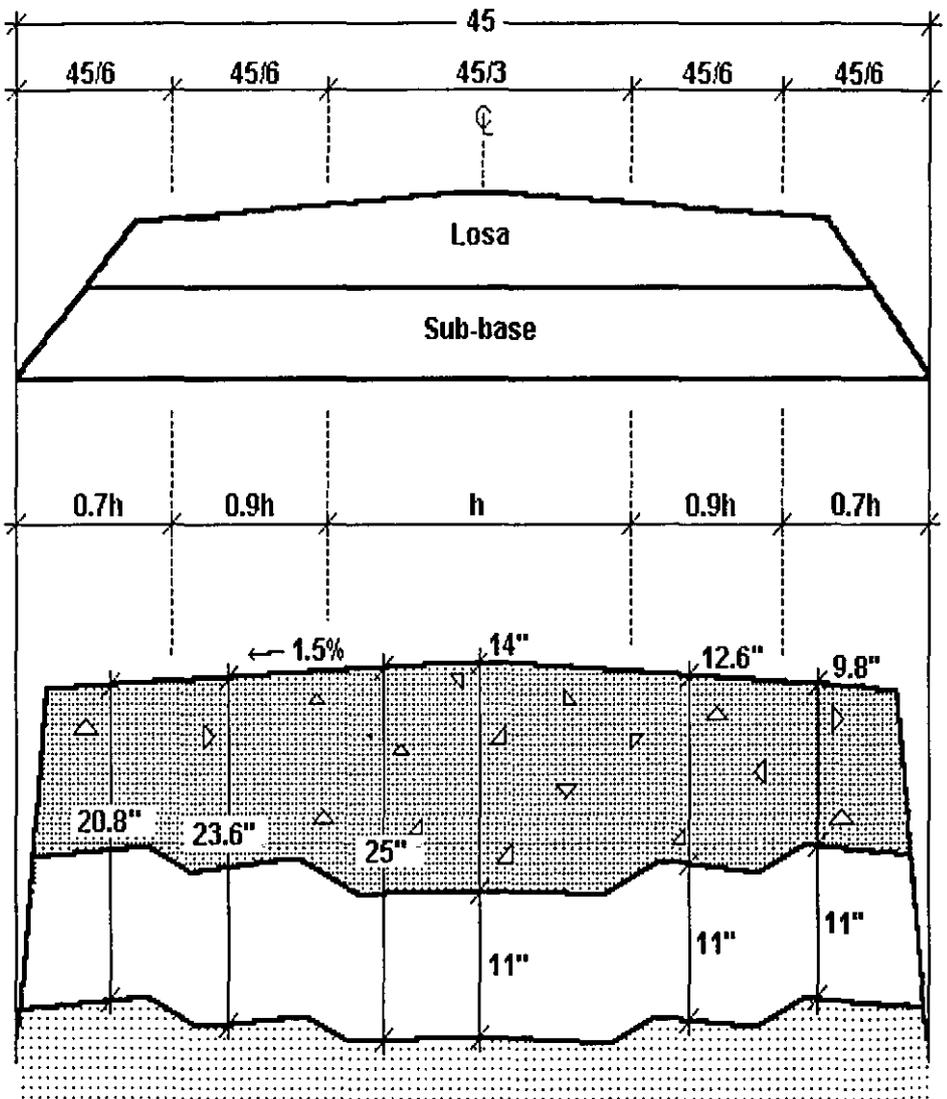
De ésta forma, las secciones *no críticas* quedan definidas de la siguiente forma:

Areas no críticas.



A continuación se muestran los cortes de pista y calles de rodaje para un ancho de 45 m y un bombeo lateral de 1.5%.

Corte de pista y de la calle de rodaje.



Las características de los materiales que conformarán la estructura del pavimento, para la pista y las calles de rodaje, se especifican a continuación:

- Tipo de pavimento rígido.
- Porcentaje de compactación de subrasante 100%
- Porcentaje de compactación de sub-base 100%
- La sub-base estará constituida por arena natural y grava de graduación no uniforme con propiedades de compresibilidad y dilatación casi nulas.
- La losa de concreto será de cemento portland, con una resistencia a la flexión $f_r = 700 \text{ lb/in}^3$.
- "K" subrasante 100 lb/in^3
- "K" sub-base 180 lb/in^3

3.3. Juntas y dispositivos de unión.

Los pavimentos rígidos están sujetos a los esfuerzos siguientes:

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

En virtud de ello, es notorio que para que estos pavimentos cumplan en forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera, es necesario que su proyecto esté basado en los factores siguientes:

- Volúmen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.

- valor relativo de soporte y características de la subrasante.
- Clima de la región.
- Resistencia y calidad el concreto a emplear.

La necesidad de construir juntas en los pavimentos de concreto hidráulico es obvia, ya que de no hacerlo se presentarían grietas a intervalos bastante regulares debido a los distintos esfuerzos, antes descritos, a que es sometido. Las juntas son, generalmente, puntos débiles de la superficie de rodamiento en los cuales pueden presentarse desperfectos al aumentar los pesos de los vehículos; pueden también, despostillarse por el efecto de elementos extraños en las mismas, tales como piedras, etc. Provocando, además, un aumento en los gastos de conservación, por lo que es conveniente tener mucho cuidado en su proyecto y construcción.

Las juntas pueden dividirse en cuatro grupos principales:

- Juntas de contracción.
- Juntas de expansión.
- Juntas de construcción.
- Juntas de alabeo o articulación.

Además las juntas suelen denominarse longitudinales o transversales, según el sentido en que esten dirigidas dentro de la aeropista.

Juntas de contracción.

Se disponen para limitar los esfuerzos de tensión causados por las contracciones del concreto a valores permisibles. Esta junta debe estar en libertad de abrirse, básicamente existen varios tipos de juntas de contracción, por ejemplo:

Juntas de ranura.- Se construyen formando una ranura en la superficie del pavimento utilizando alguno de los siguientes procedimientos:

- Introducir temporalmente en el concreto una tira metálica.
- Instalar una tira de material premoldeado de relleno para juntas a la profundidad requerida.
- Aserrar el pavimento después que el concreto haya endurecido.
- Juntas de tiras metálicas.

Juntas de expansión.

Este tipo de junta al igual que la de contracción absorbe las posibles variaciones de temperatura que se presenten en el material y al mismo tiempo toma en cuenta posibles cambios de humedad, así como las obstrucciones que se originan por las tierras que se introducen en las juntas. Su función principal es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del concreto y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daño en el mismo. Se acostumbra a construir de 2 a 3 cm de anchura y se rellenan con un material plástico que no impida la dilatación de las losas. Este tipo de junta, ya no es muy usual en las zonas pavimentadas tanto transversal como longitudinalmente, cuando las juntas longitudinales y las transversales de contracción, están espaciadas a distancias menores de 8 m ya que las retracciones de fraguado originan de por sí, anchuras de juntas suficientes para absorber las dilataciones; pero en cambio, son totalmente necesarias, en las líneas de contacto del pavimento con otras construcciones.

Juntas de construcción.

Este tipo de juntas son necesarias para facilitar la construcción de las losas de concreto, garantizando su continuidad estructural; su separación esta obligada por la anchura de las máquinas pavimentadoras y por el espesor del pavimento.

En los casos que se tengan placas de espesores inferiores a 30 cm, 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, con objeto de que se transmitan las cargas producidas por los aviones en una forma adecuada.

Además de las juntas longitudinales de construcción, existen juntas transversales cuya finalidad es evitar tensiones por disminución de volumen y alabeo. Este tipo de juntas son necesarias al término de cada jornada, o cada período de trabajo en que exista un intervalo de parada superior a los 30 minutos. Si esta junta coincide con una junta transversal de contracción o está próxima a ella, debe emplearse el mismo tipo con pasador, y si no coincide debe emplearse un tipo de junta machimbrada con una barra de anclaje.

Juntas de alabeo o articulación.

Se refiere a cualquier tipo de junta que permita un cierto giro sin una separación considerable entre las losas adjuntas. Su función principal es absorber los esfuerzos por alabeos, evitando los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos o en las líneas de unión de las diferentes hileras de losas que se producirían al elevarse sus bordes cuando la losa es cargada. Para ello se crean líneas de mínima resistencia por donde se fractura la losa impidiendo así mayores

CAPÍTULO IV

ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

CAPITULO IV. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

Objetivo. Conocer los estudios preliminares a tomarse en cuenta en el diseño de las obras de drenaje.

Para el diseño de las obras de drenaje que requiere el aeropuerto deben conocerse las condiciones y características del terreno; así como, los parámetros hidrológicos de la cuenca en que se ubicará dicha obra. Mucha de ésta información se obtiene a través de diversos estudios que se realizan para la elección del sitio probable en el que se construirá el aeropuerto. Es importante notar que la certeza de esa información dependerá, en gran medida, de la metodología empleada para su obtención; así como de la tecnología usada para el mismo fin.

Algunos de esos estudios, que para nuestro caso nos interesan, se mencionan a continuación.

4.1. Estudio fotogramétrico.

Para poder obtener una primera idea del terreno que más conviene para la construcción del aeropuerto, se realizan una serie de vuelos de reconocimiento sobre la zona donde se planea la construcción, observándose en dichos reconocimientos las características topográficas que más favorezcan a la realización de la obra. Uno de los objetivos más importantes de estos primeros vuelos es darse una idea de la magnitud del área de influencia que afectará el aeropuerto. Una vez fijado el sitio exacto se procede a realizar la toma de fotografías aéreas que nos proporcionarán información de mucha utilidad; a esto se le conoce comúnmente como *fotogrametría*.

La **fotogrametría** es la técnica orientada a obtener información relevante de diversos objetos físicos de la corteza terrestre y de su medio ambiente, a través de procesos de medición e interpretación de imágenes fotográficas, y de patrones de energía electromagnética radiante.

Actualmente las técnicas de la fotogrametría se consideran integradas a las de percepción remota y a las de fotointerpretación. Sin embargo, con el fin de definir el campo específico de la fotogrametría, diremos que ésta se concreta a la interpretación cuantitativa de fotografías aéreas y otros materiales aerofotográficos con el objetivo primordial de obtener *mapas*.

La Asociación Cartográfica Internacional (I.C.A.) define un mapa como "una representación gráfica convencional generalmente a escala y sobre un medio plano, de una superficie terrestre u otro cuerpo celeste".

El mapa puede adoptar diferentes modalidades, dependiendo básicamente de la información o contenido, así como de la escala con que se representa y la finalidad.

La calidad de los levantamientos fotogramétricos depende directamente de la altura de vuelo y de la claridad y localización de los puntos de control terrestre.

A un punto donde se obtienen sus tres coordenadas (X,Y,Z), se le denomina "punto de control terrestre".

Una vez establecidos y referenciados los puntos de control terrestre, se procede a realizar los vuelos para obtener las fotografías, de acuerdo con las especificaciones que se enlistan a continuación:

- Se deben tomar fotografías verticales con cámara equipada con lente gran angular libre de distorsiones.
- Los vuelos se hacen en direcciones N-S o E-W.
- La escala de vuelo se puede adaptar de acuerdo con las necesidades de cada proyecto.
- La sobreposición de las fotografías en el sentido del vuelo puede ser entre 55 y 70%, y la transversal debe tener como mínimo el 15%.
- Las fotografías deben estar libres de humo, manchas, brillo solar, nubes o cualquier obstáculo que le reste claridad.
- El recubrimiento del área por volar debe ser estereoscópico.

Las líneas que sirven para comprobar los trabajos fotogramétricos de restitución, consisten generalmente en poligonales que se llevan de preferencia a lo largo de las vías de comunicación o brechas ya existentes que estén convenientemente ubicadas.

Las líneas de comprobación deben cumplir en cada caso las tolerancias especificadas. Los valores usuales son los siguientes:

- Planimetría. La tolerancia será 0.5 mm para las dimensiones horizontales restituidas en planos a escala 1:2 000
- Altimetría. La tolerancia puede ser de $\pm 1/30$ el 30% de la equidistancia entre curvas de nivel.

El informe final se debe integrar con: los originales de todos los planos (plantas, perfiles y secciones), libretas de campo, álbum fotográfico, etc.

En lo relativo a fotogrametría se deben entregar los negativos, fotografías, procedimientos de cálculo e información sobre los apoyos terrestres.

4.2. Estudio topográfico.

Para el Ingeniero Civil la construcción es la culminación de los procesos de diseño y planeación; con ella se completa y termina un proyecto. Puede tratarse de un edificio, terminal ferroviaria, túnel, aeropuerto, puente, canal, carretera, presa, un complejo integrado por varios de estos proyectos, un parque industrial, o aun de una comunidad entera. El proyecto, elaborado con el propósito de utilizarlo para determinado fin y en un sitio particular, debe trazarse teniendo en cuenta el lugar especificado; alinearse correctamente con respecto a las estructuras adyacentes y la obra debe construirse de acuerdo con las dimensiones, formas y características requeridas. Para lograr todo esto hacemos uso de la *topografía*.

La **topografía** busca cómo determinar la localización espacial relativa de los puntos ubicados sobre la superficie terrestre o próximos a ella. Es el arte de medir las distancias horizontales y verticales entre objetos, de medir ángulos formados por líneas, de determinar la dirección de éstas y de establecer puntos por medio de mediciones angulares y lineales predeterminadas.

Conjuntamente con las mediciones reales están los cálculos matemáticos. Distancias, ángulos, direcciones, localizaciones, elevaciones, áreas y volúmenes se determinan a partir de los datos del levantamiento. Además, gran parte de la información de un levantamiento se registra gráficamente en los planos de construcción, perfiles, secciones transversales y diagramas.

Los estudios topográficos se clasifican de acuerdo a su precisión:

- **Levantamientos topográficos de baja precisión.** Son aquellos levantamientos cuya precisión es igual o menor a 1:1,000 y sirven como planos de reconocimiento para elaborar anteproyectos en zonas urbanas o proyectos en localidades rurales; el equipo empleado es esta clase de levantamiento es: teodolito con aproximación a $\oplus 1'$, brújula, nivel de mano y nivel fijo.

- **Levantamientos topográficos definitivos.** Son levantamientos con una precisión igual o mayor de 1:5,000. Este tipo de levantamientos se realiza con equipo de primer orden, como son: distanciometro, estación total y nivel electrónico.

Para la elaboración de los levantamientos topográficos, se debe recabar previamente la información cartográfica, fotogramétrica y topográfica existente sobre el área en estudio.

La información mínima que se debe recopilar es la cartografía, editada por las dependencias y entidades de la federación (INEGI, SEDENA, CNA, etc.) y gobiernos estatales.

De existir levantamientos topográficos anteriores de la zona en estudio, se analiza la información para determinar la posibilidad de utilizarlos, actualizarlos o complementarlos, según sea el caso.

Cuando exista topografía de áreas vecinas, se establecen los puntos de liga con respecto a la nueva área de estudio, los mismos que deben ser referenciados.

Para el caso de aeropuertos, que es el que nos ocupa, se puede decir lo siguiente:

Una vez seleccionado el lugar en que se localizará el aeropuerto se procede a realizar un estudio topográfico. De éste estudio, se puede obtener la mayor información posible sobre las condiciones del terreno en que se alojará el aeropuerto, como de los alrededores del mismo. Algunas condiciones podrían ser el tipo de terreno como son plano, lomerío y montañoso; además, del escurrimiento que tenga la zona. Datos que pueden ser de gran utilidad para el diseño de las obras de drenaje.

El estudio se realiza de la siguiente forma: con las fotografías aéreas; obtenidas de previo vuelo de reconocimiento, se van uniendo todas las posibles, en las cuales se pueda observar el área del aeropuerto así como su zona de influencia, a esto se le conoce como mosaico fotogramétrico. Después de haber terminado el mosaico, se puede dar una idea de la zona de influencia; la apreciación de la zona depende de la altura a que fueron tomadas las fotografías, así como de la precisión de los aparatos con que cuenta el avión utilizado para el trabajo.

También, se puede observar el uso que se le da al suelo, pudiendo ser: agrícola, ganadero, recreativo, industrial, habitacional, etc. Este dato puede ser de gran utilidad para el diseño de las obras de drenaje, ya que en base a ello, se tendrá una idea del posible comportamiento que puede tener el escurrimiento superficial.

Con esta representación del área de la cuenca se pasa al gabinete para elaborar en base a estas fotografías lo que se conoce como planos de restitución, o sea una serie de planos topográficos más detallados de la región propuesta debiendo expresarse en dichos planos la variación de las curvas de nivel a cada 10 metros. Por medio de esta representación se obtienen datos de tipo fisiográficos que son vitales para el diseño y buen funcionamiento posterior del sistema de drenaje.

El primero es el que se conoce como *parteaguas de la cuenca*, que no es otra cosa más que la línea que une a los puntos más elevados de la región

estudiada, de tal manera que proyectando horizontalmente a esta línea queda encerrada en ella el área de influencia de toda la zona.

Es evidente que para el diseño de las obras que nos interesa es necesario subdividir a esta área de influencia total en una serie de subáreas, por medio de pequeños parteaguas que determinarán la influencia de estas subáreas para el diseño de cada obra en particular. La ventaja de conocer el área total es que nos permite estudiar todas las corrientes que llegan o pueden llegar a afectar la zona de pistas al presentarse una tormenta, motivo por el cuál es sumamente importante conocer éste dato.

El segundo dato fisiográfico que se obtiene de ésta representación es *la pendiente de la cuenca*, misma que nos puede proporcionar una ligera idea de la magnitud del volumen de pérdidas que podemos tener en la región debido al fenómeno de infiltración de las aguas, lo cual puede comprenderse fácilmente, puesto que si la pendiente de la cuenca es muy fuerte se pueden esperar pocas pérdidas del volumen total de las lluvias, y si por el contrario la pendiente del terreno es suave es de esperarse como es lógico mayor volumen de pérdidas por el proceso de infiltración. Aunque intervienen otros factores además de este en la infiltración se puede tener una ligera idea del fenómeno teniendo como único dato la pendiente y el uso consuntivo de la tierra.

El tercer dato que podemos obtener es lo que se conoce como *red de drenaje*, que no son mas que las trayectorias o arreglos que siguen las corrientes y cauces dentro de la cuenca. Este dato adquiere importancia debido a que explica la eficiencia del sistema de drenaje natural en la zona y es otro factor por el cual se pueden predecir ciertas particularidades del tipo de suelo que se tiene; las características de la red de drenaje se pueden conocer y evaluar por cuatro factores importantes que son: orden de las corrientes, longitud de los tributarios, densidad de corrientes y densidad de drenaje.

Todos los datos de tipo fisiográfico que se pueden obtener a partir de las fotografías aéreas de la zona, son requeridos por ciertos criterios hidrológicos para la estimación del gasto de escurrimiento, siendo estos criterios sumamente elaborados como lo son los de tipo probabilístico, aunque puede no llegar a ser indispensable el conocer estas características fisiográficas para la aplicación de algún criterio que proporcione el gasto de escurrimiento, como es el caso de la aplicación de métodos que se basan en fórmulas empíricas.

4.3. Estudio geotécnico.

Es evidente la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra de que se trate, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está tratando. El conjunto de estos datos debe llevar al proyectista a adquirir una concepción razonablemente

exacta de las propiedades físicas del suelo que hayan de ser consideradas en sus análisis; para lograr esto hacemos uso de la geotécnia.

La ingeniería geotécnica se ocupa del análisis y comportamiento del suelo, del diseño y construcción de cimentaciones que son las partes que transmiten las cargas de la estructura al terreno. También incluye el tratamiento necesario de los materiales del subsuelo para asegurar la capacidad adecuada de carga sin deformaciones indeseables. Además, la ingeniería geotécnica trata las medidas necesarias para construir abajo o a nivel del suelo sin causar daños a las propiedades adyacentes o peligro a los trabajadores o a las personas que estén en los alrededores.

Los ingenieros geotécnicos deben tener un profundo conocimiento del suelo y su comportamiento -Geología y Mecánica de suelos-, la teoría estructural y de los materiales adecuados de infraestructura. La ingeniería geológica auxilia en la clasificación de los suelos y el entendimiento de las características de los mismos.

Es un gran reto al que se enfrenta la gente involucrada en ésta disciplina. Y es un reto, en el sentido de desafío, pues la geotécnia es materia principalmente vinculada a eventos naturales, y no siempre es tarea fácil la identificación o caracterización del problema objeto de estudio. Es un reto, también, la selección del o los métodos idóneos de análisis, habida cuenta de las limitaciones del conocimiento alcanzado en la materia. Y no menos importante, la ejecución misma del proyecto es un reto porque, por amplia que haya sido la exploración realizada con fines de identificación, puede plantear sorpresas que no debemos soslayar por razones de seguridad, dentro de un marco económico aceptable. Y tales retos están dirigidos al ingeniero civil, pues es el responsable del manejo global del proyecto.

Sabemos que todo proyecto se desarrolla por etapas, y que de estas, la de identificación es fundamental y punto de partida de las demás actividades por desarrollar. Este primer proceso de caracterización, además de los datos generales sobre el ambiente en que se va a desarrollar el proyecto, comprende a la exploración del terreno, labor que debe llevarse acabo en forma seriada con constante retroalimentación de los datos obtenidos. El objetivo es determinar las particularidades del caso, por ejemplo: en el diseño de cimentaciones, la estratigrafía del subsuelo, las propiedades índice y compacidad de los materiales componentes y la condición piezométrica del sitio.

A partir de ese conocimiento general del subsuelo, es posible analizar las características particulares del proyecto e iniciar la concepción de soluciones posibles, teniendo presente en cada una de ellas el procedimiento de construcción. En esta fase de concepción y análisis se programan los trabajos tendientes a proporcionar la información de laboratorio y de campo que se requieren para diseñar y evaluar las soluciones supuestamente comparables en cuanto a la seguridad de la obra, y decir cual es la más conveniente. Esta labor es realizada normalmente por la entidad pública o privada que tiene a su cargo los estudios de proyecto. Ella puede considerarse parte especializada de la geotécnia, por las características de los

trabajos, la disponibilidad de equipos, tanto de laboratorio como de campo, el entrenamiento del personal y la capacidad técnica de los responsables del estudio. El seguimiento de las diferentes actividades y la calificación de la información lograda, así como el juicio sobre la solución más conveniente, son acciones que incumben a la propietaria del proyecto.

El primer paso en la realización de un estudio geotécnico, es recopilar y analizar la información disponible en lo que respecta a las características geotécnicas de los sitios en estudio. Esta información debe incluir:

- Sismicidad en la región del proyecto.
- Cartas geológicas y topográficas.
- Levantamientos topográficos.
- Estudios geológicos.
- Estudios geohidrológicos.
- Aspectos climáticos.
- Hidrología superficial de la cuenca.

En seguida, se deben realizar visitas técnicas al sitio en estudio, que sirvan para programar las actividades de exploración y resolver en campo los problemas y dudas que se presenten durante el desarrollo del estudio geotécnico.

Después, se debe establecer el marco geológico regional, que contemple la definición de la estratigrafía (espesor, características y origen de las formaciones), levantamiento de discontinuidades, análisis geomorfológicos, revisión de las condiciones de estabilidad en cortes y taludes y evaluación de la factibilidad para utilizar los materiales como bancos de préstamo.

El estudio geotécnico de un sitio se debe realizar de acuerdo a la siguiente metodología:

- El reconocimiento geológico, permite interpretar el origen y formación de los suelos, ya que en este proceso se gestan sus características y propiedades.
- En la etapa de exploración y muestreo, se deben definir las condiciones estratigráficas del sitio, mediante mediciones de campo y sondeos exploratorios con muestreo alterado, que posteriormente permitan reprogramar la exploración con muestreo inalterado.
- Las pruebas de laboratorio deben conducir a la obtención de parámetros que determinen el comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos.
- Realizar un análisis geotécnico, para evaluar el comportamiento mecánico e hidráulico del subsuelo, ya sea de manera cualitativa o cuantitativa, ante sollicitaciones de carácter estático y transitorio y estimar el factor de seguridad a corto y largo plazo.

- Formación del procedimiento constructivo, que debe ser parte integrante del informe geotécnico y ser congruente con el comportamiento mecánico e hidráulico del subsuelo, para poder garantizar su seguridad.

4.4. Estudio hidrológico.

Existen varias definiciones de hidrología, pero la más completa es quizás la siguiente:

"Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos."

Aceptando esta definición, es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada, que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

El ingeniero que se ocupa de proyectar, construir o supervisar el funcionamiento de instalaciones hidráulicas debe resolver numerosos problemas prácticos de muy variado carácter. Por ejemplo, se encuentra con la necesidad de diseñar puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras y aeropistas y sistemas de abastecimiento de agua. Sin excepción, estos diseños requieren de análisis hidrológicos cuantitativos para la selección del evento de diseño necesario.

El objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de esos eventos, que son análogos a las cargas de diseño en el análisis estructural, por poner un ejemplo de la ingeniería civil.

Los resultados son normalmente sólo estimaciones, con aproximación limitada en muchos casos y burda en algunos otros, sin embargo, estas estimaciones rara vez son menos aproximadas que las cargas usadas en el análisis estructural o el volumen de tráfico en carreteras, por ejemplo.

El análisis hidrológico exhaustivo es, pues, el primer paso fundamental en la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos. En la fase de planeación y diseño, el análisis se dirige básicamente a fijar la capacidad y seguridad de estructuras hidráulicas. Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan, desde luego, de acuerdo con los volúmenes y gastos que se desean almacenar, controlar o transmitir. En este sentido, se requieren estudios hidrológicos para determinar la disponibilidad de fuentes naturales y para saber si el abastecimiento de la fuente es adecuado en todo tiempo,

o si se requerirá de otras estructuras para corregir las deficiencias o para disponer de los volúmenes excedentes de agua.

Es así que la hidrología, en cuanto trata con un aspecto importante y vital del medio ambiente, que es el agua, es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de defensa. Aunque esta ciencia está lejos de tener un desarrollo completo, existen varios métodos analíticos y estadísticos que son en mayor o menor grado aceptados en la profesión ingenieril.

Los procesos que estudia la hidrología involucran tantas variables que es difícil, si no imposible, prever si alguna vez se aproximará al *status* de ciencia exacta o, incluso, si alguna vez podrá llegar a ser completamente considerada como una ciencia independiente. Las ciencias en que se apoya la investigación hidrológica son básicamente la geografía física, la meteorología, la geología, la hidráulica, las matemáticas y la estadística, aunque también es fácil encontrar relaciones de la hidrología con disciplinas como la física, química, biología, investigación de operaciones y otras. Así como la hidrología es una ciencia muy amplia, interdisciplinaria porque requiere material de otras ciencias para su propia interpretación y uso, el ingeniero especializado en hidrología trabaja integrado a equipos en los que colaboran especialistas en la mayor parte de las disciplinas mencionadas, aunque con frecuencia representa el papel principal y ejerce la función de coordinador del proyecto en algunas de sus etapas.

La hidrología es una parte interesante de la ingeniería, pero en algunos aspectos resulta notablemente diferente de la mayoría de las disciplinas integrantes de ésta. Los fenómenos naturales con los cuales es relacionada no se prestan, al menos hasta ahora, a los análisis rigurosos de la mecánica; por esta razón existe una mayor variedad de métodos, mayor latitud para el criterio y una aparente falta de precisión en la solución de los problemas. A pesar de esto último, la precisión de las soluciones hidrológicas se compara favorablemente con otros tipos de cálculo en ingeniería, donde las incertidumbres se ocultan a menudo con el uso de factores de seguridad, o bien con los procedimientos referentes a la determinación de las propiedades de los materiales.

En México, los organismos encargados de la recolección y publicación de datos en forma de boletines hidrométricos y climatológicos son la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Internacional de Límites y Aguas México-Estados Unidos de América, además de algunos otros organismos de carácter local, como el Departamento del Distrito Federal. Es importante conocer la forma en que estos datos son recopilados y publicados, las limitaciones de precisión que tienen y los métodos propios para su interpretación y ajuste.

Con el propósito de lograr las mejores soluciones al problema de drenaje que presentará un nuevo aeropuerto, es preciso conocer detalladamente el funcionamiento hidráulico del área donde se construirá, no sólo dentro de los límites del predio para el aeropuerto, sino en forma regional, ya que no debe perderse de

vista que las obras de drenaje que se proyecten deben garantizar la eficiencia del sistema sin alterar el funcionamiento hidráulico fuera de sus límites, por lo que deben realizarse conexiones efectivas entre el drenaje interior y el exterior.

En ocasiones, los sitios donde se descargan los caudales del aeropuerto presentan condiciones que evitan el desalojo rápido del agua, haciéndose necesarias obras tales como cárcamos, plantas de bombeo, bordos de protección y estructuras especiales de control.

Si en el proyecto no se contempla el funcionamiento hidráulico de la región, pueden ocasionarse alteraciones que atenten contra la ecología local, dañen instalaciones y construcciones ajenas al aeropuerto, o pueden provocarse efectos nocivos en poblados vecinos.

Este funcionamiento hidráulico se obtendrá a través de un **estudio hidrológico**, que infiera las intensidades de las precipitaciones y los picos de escurrimiento para diferentes periodos de retorno, con el propósito de determinar los gastos máximos que han de considerarse en el proyecto.

El estudio hidrológico es la base sobre la que se apoyará el proyecto del sistema de drenaje, pues definirá el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto y por lo tanto la problemática que se generará al construirlo y que habrá de resolverse mediante el proyecto, de ahí la importancia que este estudio tiene para lograr las soluciones óptimas.

El estudio debe definir, en primer lugar, las características de las tormentas en la zona de interés, para inferir las alturas de precipitación totales al término de las tormentas en todas las cuencas que afecten al aeropuerto y estimar los valores representativos de cada cuenca; así mismo debe determinar la frecuencia y naturaleza de los escurrimientos superficiales, que serán de utilidad para el diseño del sistema.

Para lograr lo anterior, las tormentas deben estudiarse estadísticamente a partir de datos obtenidos en estaciones metereológicas, instaladas preferentemente dentro del predio donde se construirá el aeropuerto, pero puede emplearse información de estaciones ubicadas fuera, e incluso en cuencas diferentes a las interesadas directamente, siempre y cuando pertenezcan a la misma región climática y con las reservas del caso.

Procurando que las estimaciones que se hagan sobre las características de las tormentas, sean lo más realista posible, se requiere que la información a utilizar proceda de estaciones con más de 5 años de operación, pues datos más jóvenes pueden dar resultados muy diferentes a la realidad. De acuerdo a esto, lo ideal sería prever oportunamente la construcción del aeropuerto e instalar, por lo menos 5 años antes de la elaboración del proyecto, una estación metereológica en el interior del predio, que nos proporcione información confiable. No obstante, frecuentemente es imposible prever con tiempo la necesidad del aeropuerto, pues en muchas ocasiones

se determina dicha necesidad cuando ya es "urgente" su construcción, teniendo que utilizar información de estaciones con menor edad o ubicadas en zonas relativamente lejanas.

Por otra parte, la intensidad del aguacero a la que debe acomodarse el sistema de drenaje implica consideraciones económicas. Puede ocurrir, que se presente un aguacero de gran importancia y poco frecuente, que indudablemente causará daños si el sistema de drenaje está proyectado para precipitaciones de menos importancia. Sin embargo, si no se prevén interrupciones graves en el tráfico, no tendrá justificación económica un sistema de drenaje que recoja las mayores precipitaciones; por lo que el diseño tiene que conciliar el grado de protección con el costo de la obra.

Las características de las tormentas se establecen en términos de la intensidad de la lluvia, que es la relación entre la altura total de una precipitación ocurrida y el tiempo de duración de la tormenta que la generó, dicha intensidad suele expresarse como la altura de precipitación total al término de la duración de la tormenta, y se mide con un pluviógrafo que registra la variación en el tiempo de la altura de precipitación.

Dependiendo del tipo de información que se disponga, será el método de análisis que se utilice, así por ejemplo, el METODO DE PROMEDIOS PESADOS DE THIESSEN toma en cuenta la cantidad y la distribución de las estaciones que generan la información; el METODO DE LAS ISOYETAS permite incluir los efectos orográficos sobre la distribución de las lluvias, etc. Con estos métodos se obtiene un valor representativo de la precipitación que ha de considerarse uniforme en toda la cuenca para diferentes duraciones de tormentas.

Las características de las tormentas se resumen mediante gráficas que relacionan la intensidad con la duración de cada tormenta para diferentes periodos de retorno. La forma típica de estas gráficas que reciben el nombre de CURVAS DE INTENSIDAD - DURACION - PERIODO DE RETORNO, es la que se ilustra en la figura 4.1

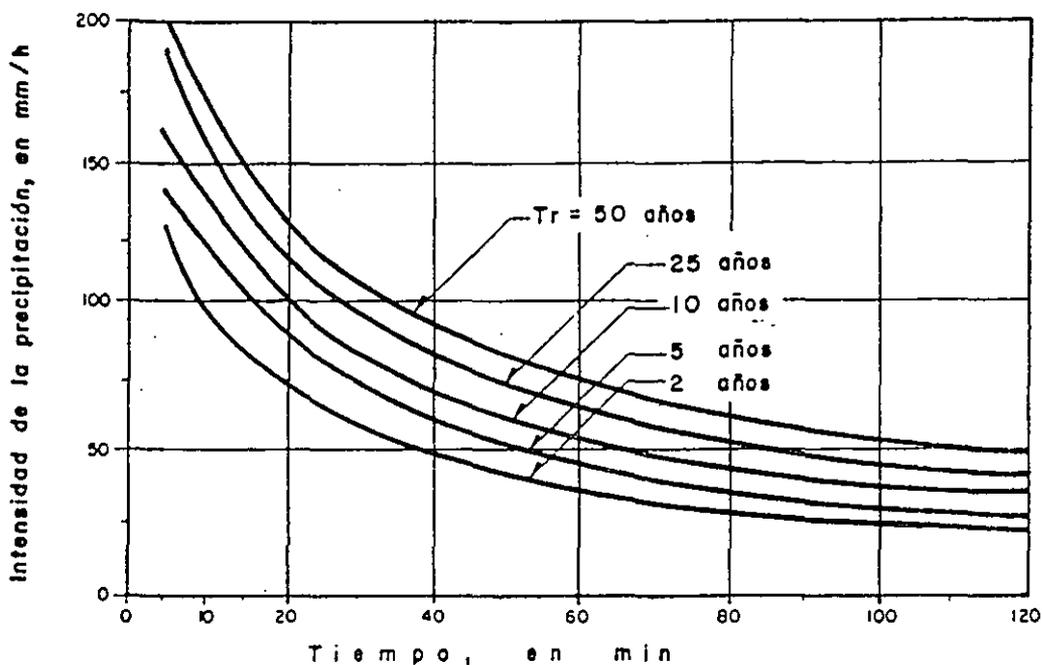


Fig. 4.1

Las curvas de intensidad - duración - periodo de retorno, se obtienen normalmente mediante el método de INTENSIDAD DE LLUVIA - PERIODO DE RETORNO, que ajusta para cada duración una función de distribución de probabilidad, de tipo GUMBEL, a los valores máximos. También pueden obtenerse con el método de CORRELACIÓN LINEAL MULTIPLE, ajustando a los valores de intensidad máximos anuales, según las duraciones de interés, una función del tipo:

$$i = K Tr^m / d^n$$

Donde:

i = Intensidad en mm/hr

d = Duración en horas

Tr = Periodo de retorno en años

K, m, n , son parámetros de ajuste para cada caso

De esta manera, se generan las curvas de intensidad - duración - periodo de retorno para la cuenca donde se construirá el aeropuerto en proyecto, y se establece

el periodo de retorno que ha de considerarse para garantizar la seguridad del aeropuerto según su importancia.

La OACI, recomienda que se utilice un periodo de retorno de 5 años, con lo que el aeropuerto quedaría protegido contra precipitaciones que tendrían ese periodo de ocurrencia, pero en algunos casos, la protección debe ser mayor por la importancia del aeropuerto y por la magnitud de su utilización, así por ejemplo, para el Aeropuerto de la Ciudad de México se consideró un periodo de retorno de 25 años.

En cualquier caso, para determinar el periodo de retorno que se usará, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- a) Importancia del aeropuerto por lo que respecta a su costo y al volumen del tránsito.
- b) Daños posibles a las instalaciones.
- c) Costos de mantenimiento.
- d) Costo de amortización de las estructuras de drenaje durante la vida de servicio.
- e) Inconveniencia del tránsito.
- f) Peligro de la vida humana.

Para la duración de la tormenta de proyecto y el periodo de retorno seleccionado, en las curvas intensidad - duración - periodo de retorno se determina la intensidad que se utilizará en el diseño, considerándola uniforme para toda la cuenca.

Con la intensidad así determinada, el estudio hidrológico debe inferir el escurrimiento superficial que producirá la precipitación. En estricto rigor, el escurrimiento se verá reducido por la evaporación y por la infiltración al suelo, pero estas reducciones son despreciables en la determinación de los escurrimientos internos del aeropuerto por tratarse de cuencas pequeñas.

La determinación de los escurrimientos requiere el conocimiento de las características de las cuencas de interés, pues la topografía; el tipo de suelo; el tipo de vegetación; el tamaño, la pendiente y la densidad del drenaje de la cuenca; así como el uso al que se destina la tierra y las condiciones de humedad del suelo, tienen gran influencia en la magnitud de los escurrimientos.

En la figura 4.2 se muestran las partes de una cuenca, que es limitada por el parteaguas y tiene un drenaje que se concentra en el cauce principal hasta la salida

de la cuenca. Si fuera necesario construir una obra de drenaje en ese punto, se tendría que determinar el GASTO PICO DE DISEÑO, que es el escurrimiento máximo que debe esperarse ocurra durante el periodo de retorno considerado. Este gasto esta en función del TIEMPO DE CONCENTRACION (T_c), que es el tiempo requerido para que el agua escurra desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida.

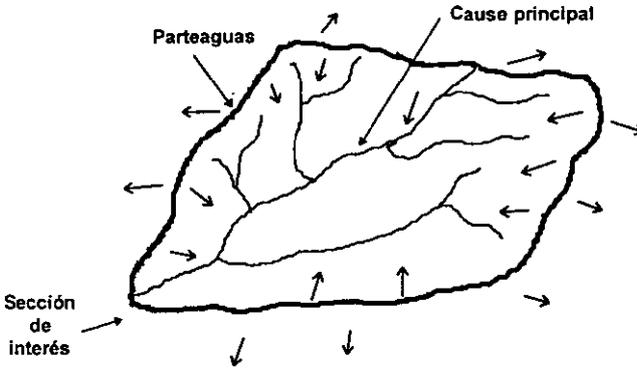


Fig. 4.2

La relación que existe entre la precipitación y el escurrimiento puede representarse con un hidrograma como el mostrado en la figura 4.3, cuya forma está determinada por las características de la cuenca, como son su área, pendiente y longitud del cauce.

Los principales parámetros del hidrograma son:

- Volumen de escurrimiento directo (área sombreada).
- Tiempo de concentración T_c .
- Tiempo pico T_p (tiempo desde que empieza el escurrimiento directo hasta el momento en que alcanza el valor máximo).

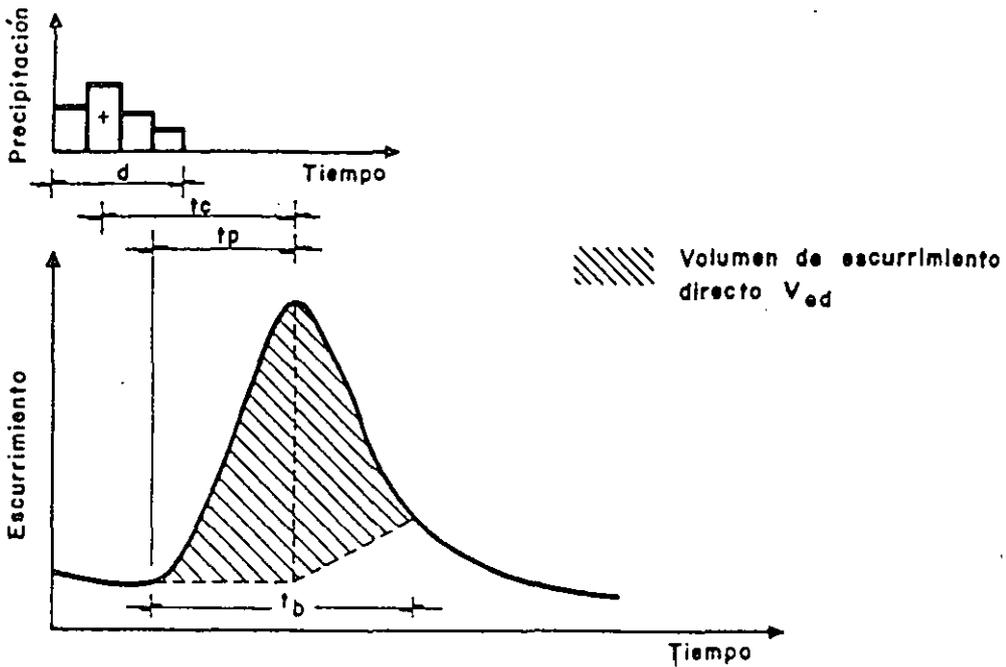


Fig. 4.3. Parámetros de un hidrograma

El gasto pico puede evaluarse mediante alguno de los siguientes procedimientos:

- **Métodos directos o empíricos.**

Consideran que las características principales del hidrograma producido por una tormenta dada, se calculan a partir de las características físicas promedio de la cuenca. Generalmente han sido calibrados utilizando mediciones efectuadas en cuencas muy diversas. A este grupo pertenecen el método racional, el de Burky-Ziegler y el gráfico alemán.

- **Métodos hidrológicos.**

Consideran que existe una relación funcional única (generalmente lineal) entre la distribución de las lluvias en el tiempo y el hidrograma a la salida de la cuenca. La relación funcional está basada en principios hidrológicos y puede ser calibrada mediante registros simultáneos de lluvias y escurrimientos en la cuenca que se estudia, sin considerar explícitamente sus características físicas. Ejemplos de este tipo de métodos son el del hidrograma unitario y el del Road Research Laboratory (RRL).

- **Métodos hidráulicos o semihidráulicos**

Estiman el hidrograma en las diferentes partes de la cuenca en estudio, haciendo uso de las ecuaciones de conservación de la masa y la cantidad de movimiento, considerando explícitamente las características físicas de la cuenca con diversos grados de simplificación. El método de Chicago corresponde a este grupo.

- **Método de envolventes.**

Se estima el gasto en función del área de la cuenca, relacionándola con la envolvente mundial propuesta por Creager, corregida por un factor C para la región donde se ubique el aeropuerto.

DETERMINACIÓN DEL AGUA A EVACUAR POR EL MÉTODO DE LA FAA (método racional).

El método racional es el que se emplea principalmente en México, además de ser usado también por la FAA, de los Estados Unidos. El método se basa en la fórmula empírica:

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots\dots\dots (4.1)$$

Donde:

Q.- es el gasto pico de diseño generado por el área de aportación "A", en m³/s.

C.- coeficiente de escurrimiento de la superficie "A".

I.- es la intensidad de lluvia. Cantidad de agua precipitada en la unidad de tiempo, la unidad convenida para expresarla es mm/hr.

A.- es el área a drenar en Ha.

360.- constante que uniformiza las unidades utilizadas para obtener el gasto en m³/s.

La intensidad (i) se obtiene de las curvas de INTENSIDAD - DURACIÓN - PERIODO DE RETORNO para el periodo de retorno considerado para el proyecto y en base al tiempo de concentración.

Tiempo de concentración (Tc).- Es el tiempo empleado por el agua para llegar a la entrada del elemento desde el punto más remoto del área tributaria. El punto más remoto se refiere, al punto desde el cual el tiempo de recorrido es mayor. El tiempo de concentración se calcula así:

$$T_c = T_e + T_s$$

Donde:

Tc.- Tiempo de concentración en min.

Te.- Tiempo de entrada al elemento sobre las áreas drenadas, desde el punto más alejado hasta el sitio de captación, en min.

Ts.- Tiempo de escurrimiento a lo largo del elemento, desde el sitio de captación hasta el punto de análisis, en min.

Los tiempos de entrada al elemento pueden obtenerse de la figura 4.4. En esta gráfica, obtenida de resultados empíricos, el tiempo de entrada al elemento depende de la distancia de recorrido del agua desde el punto sobre el parteaguas más alejado de la cuenca, al sitio de desfogue y del valor C elegido para la ecuación 4.1. La gráfica por utilizar se escoge de acuerdo al grado de encharcamiento que quiera tolerarse en las zonas del terreno que rodean a los elementos de operación terrestre.

El tiempo de escurrimiento a lo largo del elemento puede calcularse como sigue:

$$T_s = L / V$$

Donde:

L.- Longitud del tramo del elemento desde el punto de captación hasta el punto de análisis, en m.

V.- Velocidad del agua dentro del elemento, en m/min, estimada según el criterio de manning.

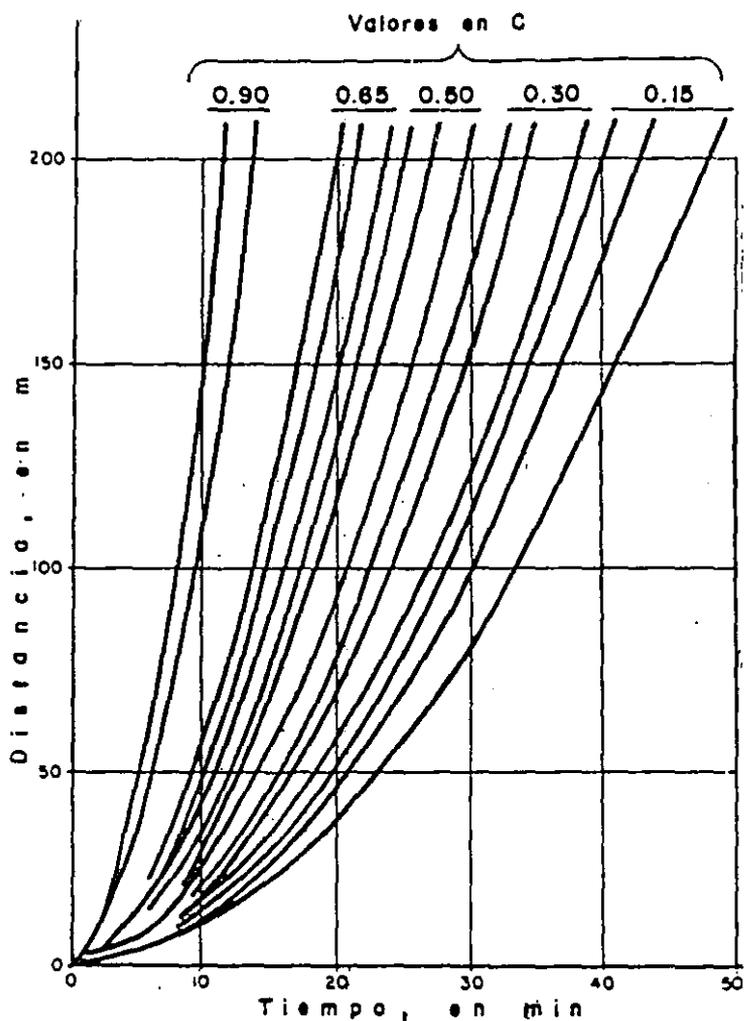


Fig. 4.4

Coefficiente de escurrimiento (C). No toda el agua que cae en una lluvia escurre por la superficie. Primeramente en los lugares donde hay vegetación, es detenida por las hojas, después se evapora de acuerdo a la temperatura ambiente. Enseguida se satura el suelo y por último escurrirá por la superficie. A esta parte de la lluvia se le llama lluvia en exceso y representa solamente una parte del total de lluvia que cae.

El coeficiente de escurrimiento es la relación que hay entre el volumen de agua que escurre por la superficie y el volumen llovido, y se le representa por la letra "C".

$$C = \text{Agua que escurre} / \text{Agua llovida}$$

Su valor esta en función de la precipitación, pendiente y tipo de terreno y extensión del área a drenar. Los valores sugeridos por la FAA, aparecen en la tabla 4.1

Tabla 4.1

Tipo de área por drenar.	Pendiente (%)	Valor "C"
Terreno arenoso plano	2	0.05 - 0.10
Terreno arenoso medio	2 a 7	0.10 - 0.15
Terreno arenoso empinado	7 o más	0.15 - 0.20
Terreno arcilloso plano	2 o menos	0.13 - 0.17
Terreno arcilloso medio	2 a 7	0.18 - 0.22
Terreno arcilloso empinado	7 o más	0.25 - 0.35
Pavimento asfáltico		0.70 - 0.95
Pavimento de concreto		0.80 - 0.95
Pavimento de adoquín		0.70 - 0.85
Estacionamientos		0.75 - 0.85
Parques		0.10 - 0.25
Zonas comerciales		0.50 - 0.70
Zonas industriales		0.50 - 0.80

Cuando la cuenca por drenar esta compuesta por diferentes tipos de superficies, el coeficiente de escurrimiento global se calcula con la formula:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^n (C_j) (A_j)}{\sum_{j=1}^n (A_j)}$$

Donde:

C_j .- Coeficiente de escurrimiento para la superficie j.

A_j .- Area de la superficie, en ha.

n.- Número de superficies de diferente tipo.

CAPÍTULO V

**OBRAS
HIDRÁULICAS**

CAPITULO V. OBRAS HIDRAULICAS

Objetivo. Conocer en términos generales las distintas obras empleadas en el sistema de drenaje de un aeropuerto.

a. Generalidades.

Puede decirse que:

El proyecto del sistema de drenaje de un aeropuerto es el diseño hidráulico, geométrico y estructural de todos los componentes del sistema, en base al funcionamiento hidrológico de la región y tomando en cuenta las características de los elementos del aeropuerto.

Al realizar el proyecto se buscará diseñar un sistema que funcione con un mínimo de mantenimiento, procurando que el monto de la inversión sea acorde a la protección que se desea proporcionar al aeropuerto y tomando en cuenta que el sistema debe ser adaptable a futuras ampliaciones, por lo que se tendrá que apoyar en el Plan Maestro correspondiente.

Para definir la problemática que se presentará al proyectar un aeropuerto, es necesario, entre otras cosas, lo siguiente:

1. Trazar en un plano topográfico de la región donde se construirá el aeropuerto, los escurrimientos superficiales, las zonas bajas y las canalizaciones que existan.
2. Delimitar en el mismo plano las cuencas hidrológicas que aporten caudales a los cauces o canalizaciones existentes, de interés para el proyecto.
3. Mediante el estudio hidrológico que se realice, determinar las intensidades de precipitación para cada cuenca y obtener los gastos máximos de cada cauce o canalización, para diferentes periodos de retorno.
4. Estimar los volúmenes de depósito o acumulación posibles en el área del aeropuerto y en sus cercanías.

Con esta información ya es posible determinar los tipos y las ubicaciones de las obras de drenaje que se requieran para el sistema en proyecto.

En la práctica mexicana, las estructuras de drenaje más usuales son los canales y las alcantarillas, que normalmente se ubican como se muestra en la figura

5.1. Pero existen muchas otras estructuras menos comunes que son necesarias para solucionar problemas específicos, tales como cárcamos de bombeo, bordos de protección y plantas de bombeo; así como, colectores, pozos de absorción, estructuras de control, sistemas de subdrenaje, etc. y obras complementarias como bordillos, cunetas, lavaderos, entre otros.

b. Concepción del sistema de drenaje.

Una vez que se tenga definido el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto, y conociendo las características geométricas de cada uno de sus elementos, se está en posibilidad de determinar el sistema de drenaje correspondiente.

El primer paso consiste en dibujar (“sembrar”) sobre un plano topográfico del área donde se construirá el aeropuerto, todos los elementos de operación terrestre que lo integrarán, con sus características geométricas, tanto en sus alineamientos horizontales como verticales, para determinar las zonas de corte y terraplén, así como los sitios donde se interceptarán o cruzarán los cauces naturales para estar en posibilidad de proponer los elementos de drenaje que se requieran.

El alineamiento vertical establecido en el proyecto geométrico de cada uno de los elementos de operación terrestre, que en México se expresa mediante los “Planos de Transiciones”, se diseña tomando en cuenta que el agua de lluvia que caiga sobre esos elementos debe desalojarse oportunamente, por lo que es común que sus ejes constituyan parteaguas, enviando el escurrimiento hacia afuera de dichos elementos. Si estos elementos se ubican en terraplén, el agua caerá hasta el terreno, abandonándolos rápidamente. Mientras que si se alojan en cortes, el agua escurrirá entre la orilla del elemento y los taludes del corte, pudiendo invadir las franjas de seguridad con los consecuentes daños a la estructura y riesgos en la operación, por lo que, para evitar esto, se requiere habilitar elementos que capten el agua y la conduzcan a zonas donde no se produzcan daños.

En la figura 5.2, se muestra un ejemplo del “sembrado” de un proyecto geométrico sobre el plano topográfico, donde gracias a las curvas de nivel, se pueden determinar las tendencias de los escurrimientos, haciendo posible la definición de los sitios donde se requiere algún elemento de drenaje. Así por ejemplo, en las zonas de corte se proponen canales; el cauce 1 debe interceptarse e incorporarse al canal 2 que capta también el flujo del canal 1 y descarga al cauce 2; por su parte, el cauce 2 debe cruzar la pista mediante la alcantarilla 1. El agua que se acumulará en la isleta que se forma entre la pista, la plataforma y los rodajes, debe recolectarse con un registro en el sitio más bajo y desalojarse con la alcantarilla 2. Para evitar que el escurrimiento de la plataforma invada el área de servicios, debe interceptarse mediante un colector con tapas de rejilla que conducirá el flujo hasta el canal 4, el que atravesará el camino de acceso mediante la alcantarilla 3.

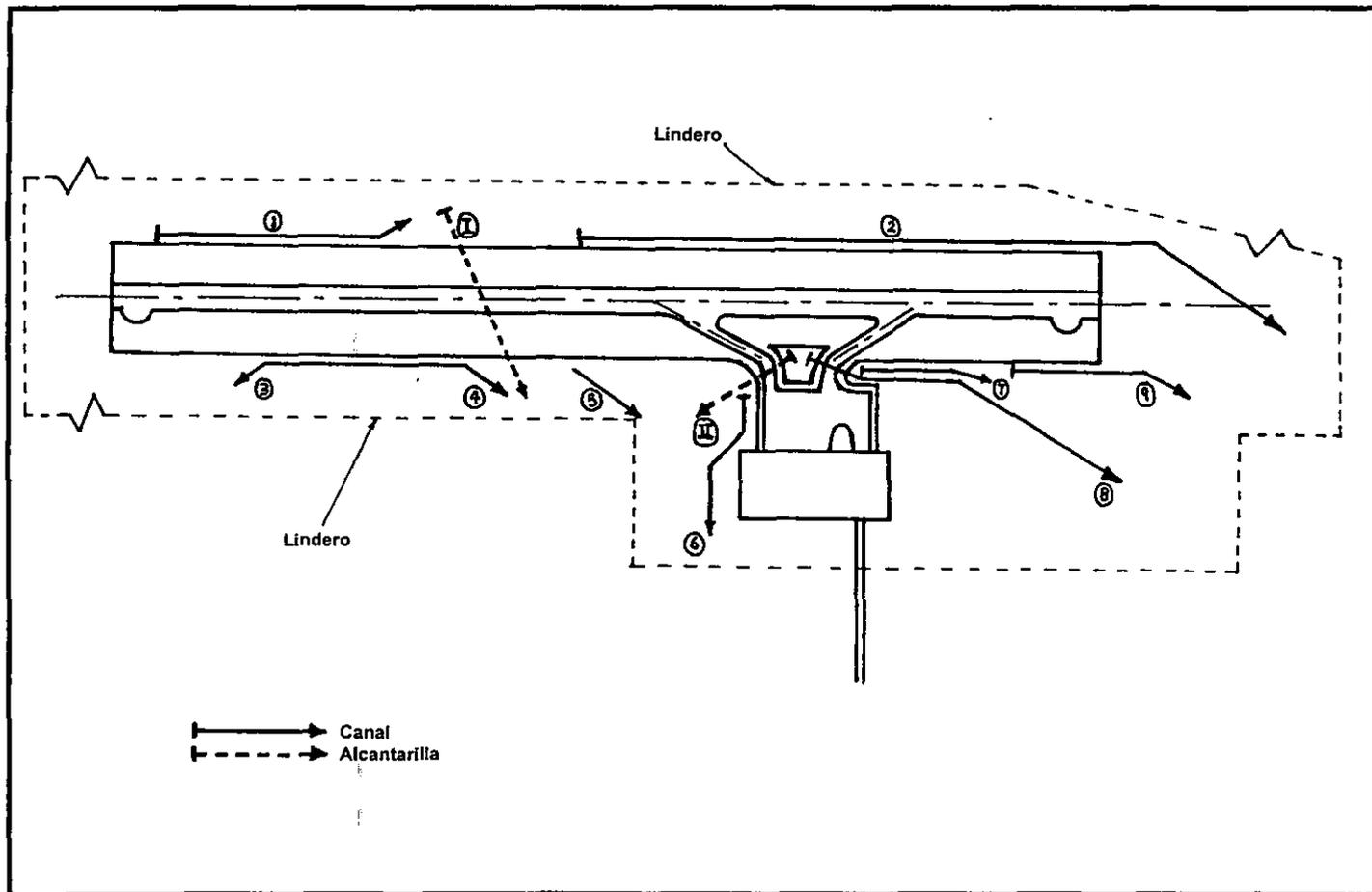


Fig. 5.1. Obras de drenaje típicas en un aeropuerto.

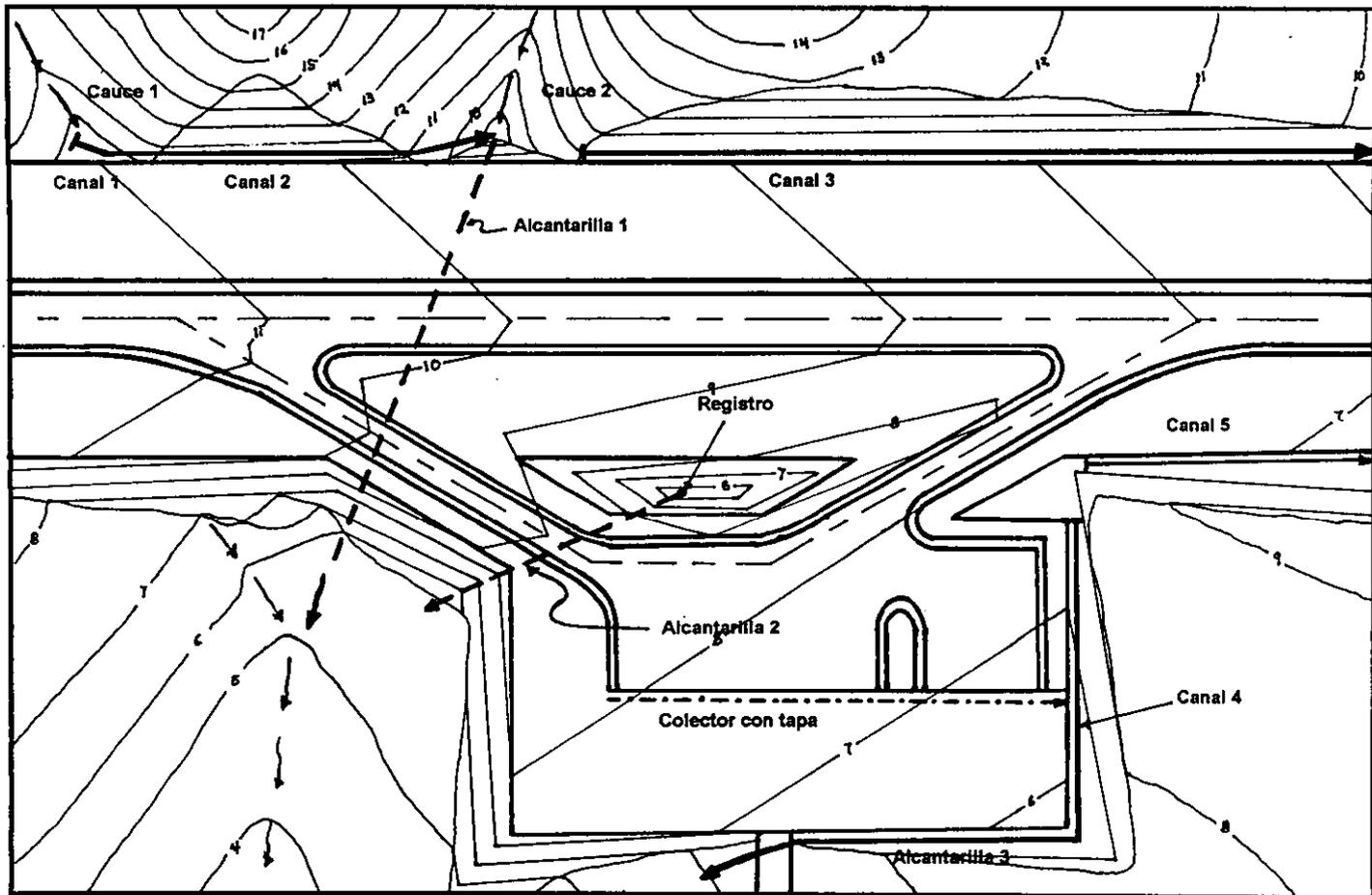


Fig. 5.2. Determinación de los elementos de drenaje.

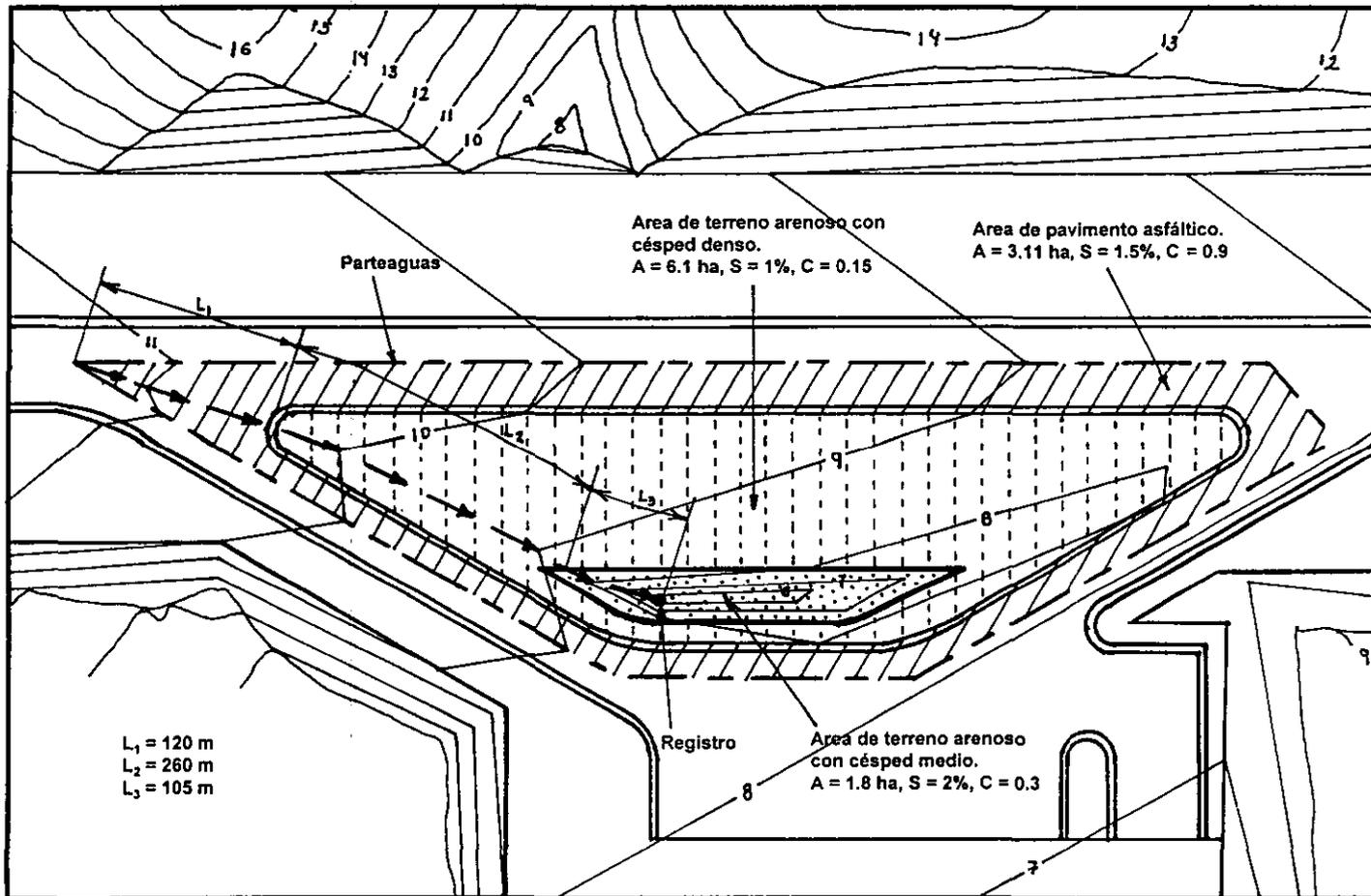


Fig. 5.3. Cuenca que aporta a la isleta.

De esta forma, quedan establecidos los elementos de drenaje que integrarán el sistema y puede realizarse el diseño hidráulico de cada uno, para lo que se requiere determinar las características y dimensiones de las cuencas que drenarán, dibujando los parteaguas correspondientes en el plano donde se “sembró” el proyecto.

La figura 5.3 muestra el detalle de la cuenca que aportará a la isleta de la figura anterior, incluyendo sus características; así como, las superficies sobre las que ocurrirá el escurrimiento.

Para diseñar la alcantarilla que drenará la isleta, se requiere determinar en primer lugar el gasto pico que aportará la cuenca correspondiente. Para ello se aplicará el método recomendado por la FAA descrito en el capítulo anterior.

Ejemplo. Calcular el gasto pico que aporta la cuenca a la isleta aplicando el método de la FAA.

De la figura 5.3 se obtienen las siguientes características:

Zona	Area (ha)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Coef. de esc. "C"
de pav. asf.	3.11	120	1.5	0.9
de césped denso	6.1	260	1.0	0.15
de césped medio	1.8	105	2.0	0.30
Total	11.01	485		

Solución:

El método de la FAA establece que:

$$Q_p = C i A / 360 \dots (m^3/s)$$

donde:

Q_p = Gasto pluvial, (m^3/s).

i = Intensidad media de la lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca, (mm / hr).

C = Coeficiente de escurrimiento para el tipo de suelo donde escurrirá el agua.

A = Area de la cuenca, (ha).

360 = constante que uniformiza las unidades en m^3/s .

El coeficiente de escurrimiento será:

$$C = (0.9 \times 3.11 + 0.15 \times 6.1 + 0.3 \times 1.8) / 11.01 = 0.39$$

El tiempo de concentración (t_c), para este caso, en el sitio de captación será:

$$t_c = t_e$$

donde:

t_e = tiempo de entrada.

Dicho tiempo puede calcularse empleando la siguiente fórmula:

$$t_e = (0.552 [1.8 (1.1 - C) L^{0.5}]) / S^{1/3}$$

donde:

t_e = tiempo de entrada, min.

C = Coeficiente de escurrimiento.

L = longitud total del cauce principal, m.

S = pendiente media del cauce principal, decimal.

Para ello:

$$L = \sum_{j=1}^n L_j \quad , \quad S = \left[\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{S_3}}} \right]^2$$

donde:

L_j = longitud del tramo j , m.

S_j = Pendiente del tramo j .

n = número de tramos.

$$L = 485 \text{ m} \quad , \quad S = \left[\frac{485}{\frac{120}{\sqrt{0.015}} + \frac{260}{\sqrt{0.01}} + \frac{105}{\sqrt{0.02}}} \right]^2 = 0.013$$

$$t_e = (0.552 [1.8 (1.1 - 0.39) 485^{0.5}]) / 0.013^{1/3} = 66.1 \text{ min} = t_c$$

La intensidad media de la lluvia se obtiene de la curva intensidad - duración - periodo de retorno (figura 5.4), para un periodo de retorno de 5 años y para un tiempo de concentración de 66.1 min.

De esa forma, $i = 42 \text{ mm / hr}$.

Así que : $Q_p = (0.39 \times 42 \times 11.01) / 360 = 0.501 \text{ m}^3/\text{s}$

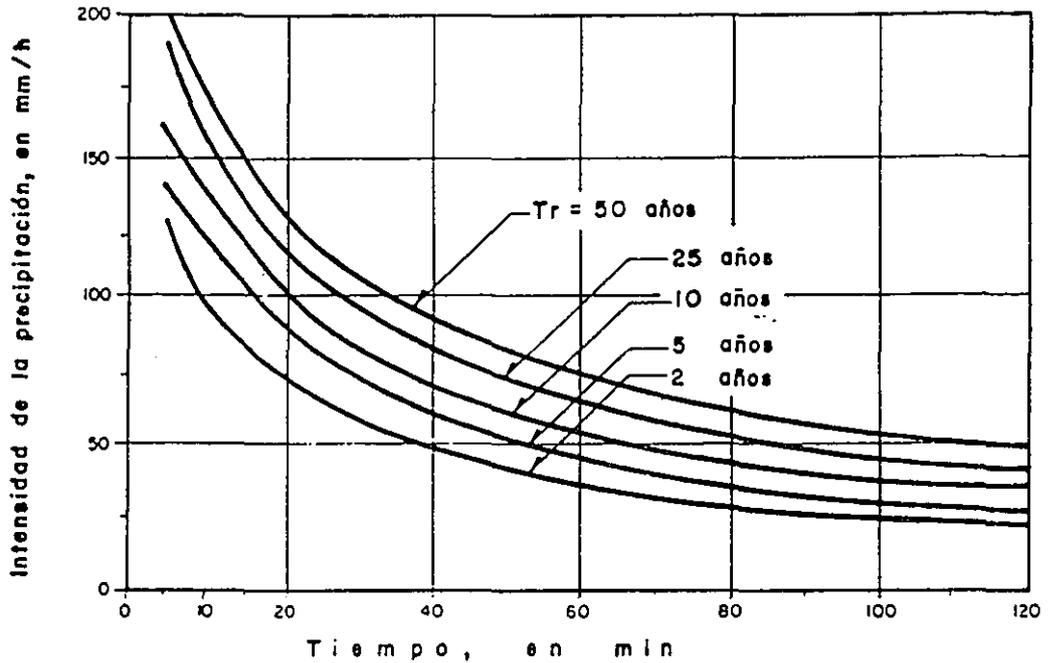


Fig. 5.4

Una vez calculado el gasto pico de diseño, el proyectista propone la pendiente y la sección transversal de la alcantarilla, tomando en cuenta los materiales con los que se pretenda construirla.

Prácticamente, la pendiente longitudinal esta obligada a la que tenga el terreno natural.

Con la pendiente y la sección propuesta se calcula el gasto que es capaz de conducir el tramo correspondiente utilizando la fórmula de MANNING.

El gasto calculado se compara con el gasto de diseño y si el primero resulta similar al segundo, la alcantarilla será correcta, pero si resulta mayor, estará sobrada y el proyectista podrá decidir si la acepta o la mejora reduciendo su sección y/o su pendiente. Si el gasto calculado es menor que el gasto de diseño, la alcantarilla propuesta es insuficiente, debiendo incrementar su sección y/o su pendiente.

Este diseño se incluye en esta tesis, después de explicar las alcantarillas.

5.1. Tuberías.

En el sistema de drenaje de un aeropuerto se emplean los siguientes tipos de tuberías:

- a) *Tubos de gress.*- De resultado excelente cuando no hay que temer la acción de cargas verticales, producidas por el rodaje de aviones. Por ser muy pequeña su resistencia, se limita su empleo a los sitios en que vayan a gran profundidad o no estén expuestos a cargas de rodadura. Hay que colocarlos en las zanjas, sobre lechos lo más uniformes posible, con el objeto de evitar asientos que produzcan la rotura de los tubos.
- b) *Tubos de concreto.*- De características análogas a las anteriores, pero con la ventaja sobre ellos de tener mayor resistencia a las cargas. Los tubos deben estar contruidos por centrifugación, con lo que se consiguen concretos de alta calidad.
- c) *Tubos de concreto armado.*- De excelentes características por su enorme resistencia, tanto a la acción de las cargas sobre el suelo, como a los asientos que se producen en los lechos. Por esta razón, pueden colocarse a menor profundidad que los anteriores, pero en los sitios expuestos a choques deben tener un recubrimiento suficiente para evitar el efecto de éstos, bajo cuya acción sufren bastantes roturas debidas a su gran rigidez.
- d) *Tubos de metal ondulado.*- Soportan perfectamente todos los esfuerzos producidos por asientos y choques, ya que su poca rigidez los hace deformarse sin romperse, bajo la acción de las cargas bruscas. Esto hace que sean las tuberías que pueden colocarse a menor profundidad.

Tienen el inconveniente de las oxidaciones por lo que, aunque estén galvanizadas, se deben pintar antes de colocarlas, con un material bituminoso.

Tanto en este tipo como en los demás, se construyen piezas especiales para cambios de dirección, encuentros, etc.

5.2. Canales y trincheras.

Los canales son los elementos de drenaje más comunes, y se utilizan para recolectar las aguas de lluvia y conducir las fuera del área por drenar, evitando que el agua escurra por superficies que puedan ser dañadas o que invada áreas de operación. También se emplean para desviar cauces naturales.

Los canales pueden revestirse o no, dependiendo de la susceptibilidad del suelo a la erosión. Los revestimientos pueden hacerse con concreto hidráulico o con mampostería.

En México, las secciones transversales más empleadas para los canales son la triangular y la trapecial, y en pocas ocasiones se utilizan secciones rectangulares.

Por su parte, las **trincheras** son canales de reducida sección rectangular, construidos con concreto hidráulico, que se ubican en zonas sujetas al tránsito de aviones o de vehículos terrestres, por lo que tienen tapas para permitir la circulación. En las áreas donde las trincheras captan el agua, las tapas deben contar con perforaciones que permitan la captación, o bien, pueden utilizarse rejillas metálicas para tapar las trincheras. En las zonas donde no se requiere captar el agua, lo mejor es emplear tapas "ciegas", para impedir el acceso a basuras y materiales extraños.

En la figura 5.5 se muestran esquemáticamente las secciones transversales más comunes de canales y trincheras.

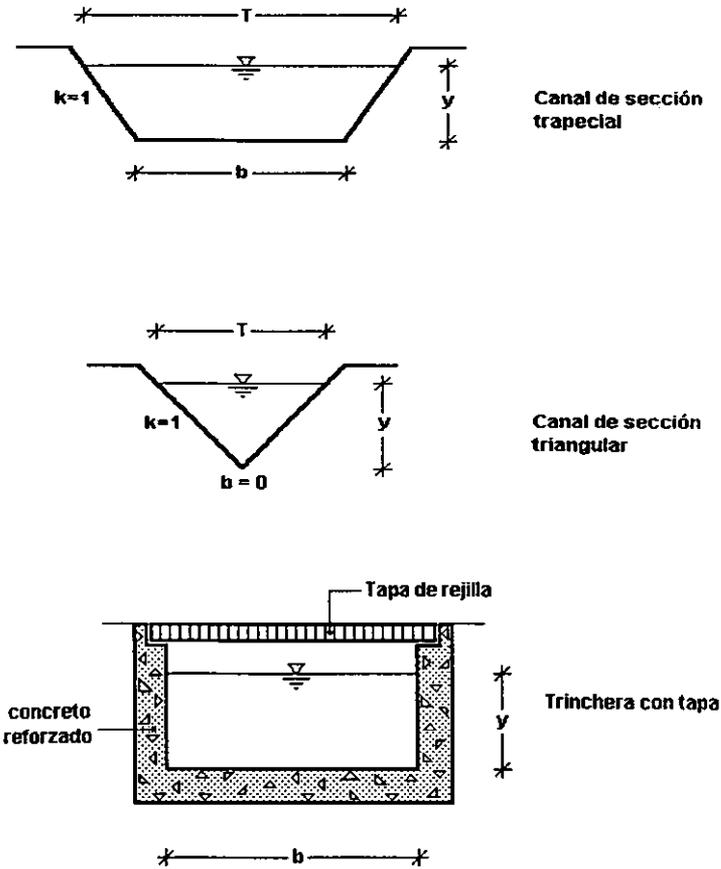


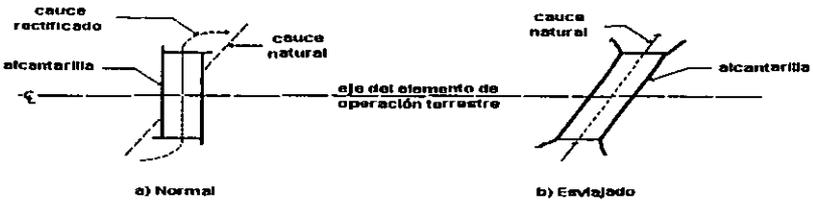
Fig. 5.5

5.3. Alcantarillas.

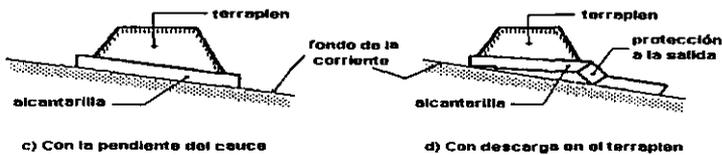
Las alcantarillas son los elementos de drenaje que se emplean para permitir que el caudal de un cauce natural o de un canal, cruce por debajo a un elemento de operación terrestre, como es una pista, un rodaje o un camino.

Normalmente, son conductos que pueden tener sección circular, abovedada o rectangular y que pueden construirse con acero, concreto hidráulico y/o mampostería. El tamaño de su sección transversal depende de la magnitud del gasto de diseño y su longitud esta en función del ancho del elemento por cruzar incluyendo sus respectivas franjas de seguridad y del ángulo de esviaje de su eje respecto del eje del elemento de operación. Desde el punto de vista económico, lo ideal es que la alcantarilla sea normal al eje del elemento, pues de esa manera se minimiza su longitud y por lo tanto se reduce su costo, aunque no siempre es posible lograr la perpendicularidad entre ambos ejes, pues es más importante procurar que la alcantarilla siga el alineamiento y la pendiente del cauce natural en línea recta, ya que cualquier cambio brusco de dirección en ambos extremos frenará la corriente teniéndose que incrementar la sección. La longitud de la alcantarilla puede reducirse elevando la salida arriba del fondo del cauce, pero en este caso, deben protegerse las terracerías aguas abajo.

En la figura 5.6 se muestra en planta la posible localización del eje de una alcantarilla respecto al de una pista, así como en relación a la sección transversal de las terracerías.



Localización de la alcantarilla respecto al eje del elemento de operación terrestre



Localización de la alcantarilla en relación a la sección transversal del terrapién

Fig. 5.6

La figura 5.7 ilustra los diferentes tipos de alcantarillas empleadas en México y que son, en términos generales, los siguientes:

A. Tubos

- a) De concreto hidráulico con sección circular
- b) De acero liso con sección circular
- c) De acero corrugado de sección circular
- d) Tubo arco de acero corrugado
- e) Arco de acero corrugado

B. Cajones de concreto hidráulico

- a) Cajón sencillo
- b) Doble cajón

C. Losas de concreto hidráulico

- a) Sobre estribos de concreto
- b) Sobre estribos de mampostería

D. Bóvedas

- a) De concreto hidráulico
- b) De mampostería

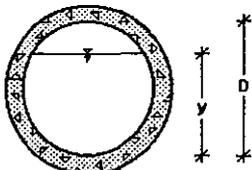
La selección del tipo de alcantarilla por emplear, depende del tamaño y del costo de su construcción y/o instalación. Así por ejemplo: si la alcantarilla es pequeña puede construirse con tubos de concreto precolado, de acero liso o corrugado, o bien con cajón de concreto colado en el sitio; si es de tamaño mediano, pueden usarse losas de concreto sobre estribos del mismo material o de mampostería; mientras que si es grande, pueden emplearse arcos de acero corrugado, construirse bóvedas de concreto o de mampostería.

Debido a que las alcantarillas en aeropuertos suelen ser de gran longitud, para su adecuado mantenimiento y limpieza, se recomienda que nunca se de diámetro menor de 90 cm. aunque hidráulicamente, en algunas ocasiones, queden sobradas. También se recomienda complementarlas con registros de visita, que permitan el acceso al interior de la alcantarilla para los trabajos de limpieza, procurando que dichos registros tengan una distancia entre ellos no mayor de 100 m. Estos registros no serán necesarios si la alcantarilla es de tal tamaño que permita el acceso del personal de mantenimiento desde sus extremos.

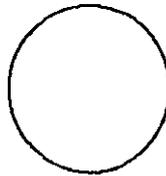
Además, para garantizar el buen funcionamiento del sistema y evitar posibles erosiones a las terracerías, las alcantarillas deben complementarse con estructuras de entrada y salida como los muros de cabeza y aleros. En algunos casos, también

se requieren dispositivos para protección contra materiales o basura que pudieran obturar la alcantarilla, así como estructuras en la salida para disminuir la energía del agua.

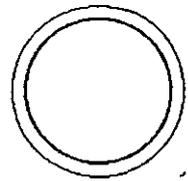
A. TUBOS



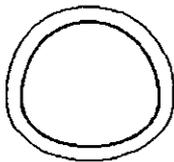
a) de concreto



b) de acero



c) de acero corrugado

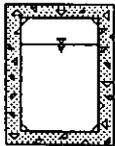


d) tubo arco de acero corrugado

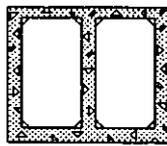


e) arco de acero corrugado

B. CAJONES DE CONCRETO REFORZADO

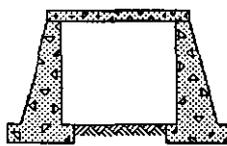


f) sencillo

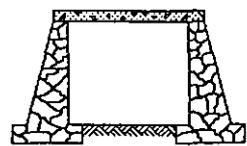


g) doble

C. LOSAS DE CONCRETO

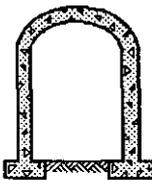


h) sobre estribos de concreto

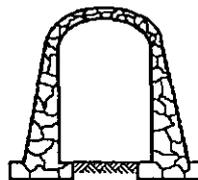


i) sobre estribos de mampostería

D. BOVEDAS



j) de concreto



k) de mampostería

Fig. 5.7

Diseño de la alcantarilla (sección y pendiente) de la isleta propuesta.

Los datos son:

Longitud del tramo A-B, igual a 60 m.

Tiempo de entrada, igual a 66.1 min. (hasta el sitio de captación "A").

Coefficiente de escurrimiento, igual a 0.39

Area de la cuenca, igual a 11.01 ha.

Solución.

En el pozo de visita "B", el tiempo de concentración es:

$$t_c = t_e + t_s \quad , \quad t_s = L / V$$

Suponemos $V = 1 \text{ m/s}$, $t_s = 60 / 1 = 60 \text{ s} = 1 \text{ min}$, $t_c = 66.1 + 1 = 67.1 \text{ min}$

De la figura 5.4, $i = 42 \text{ mm/hr}$.

Por lo tanto, el gasto pluvial será:

$$Q_p = CiA / 360 = 0.39 \times 42 \times 11.01 / 360 = 0.501 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pendiente del terreno (S_p).

Observando la figura 5.2, se puede notar que la pendiente del terreno en el tramo AB es prácticamente nula, pues las curvas de nivel en esos puntos son muy similares. Por lo tanto suponemos una pendiente de plantilla (S_p), igual a 17 milésimas.

Gasto de diseño (Q_D).

Para este caso, consideramos que el tirante de agua sólo ocupará el 75% del diámetro del tubo. Es decir:

$$y / D = 0.75$$

Con esta relación, del nomograma de Manning (figura 5.8) se tiene que:

$$Q_p / Q_D = 0.91 \quad , \quad Q_D = Q_p / 0.91 = 501 / 0.91 = 550.55 \text{ l/s}$$

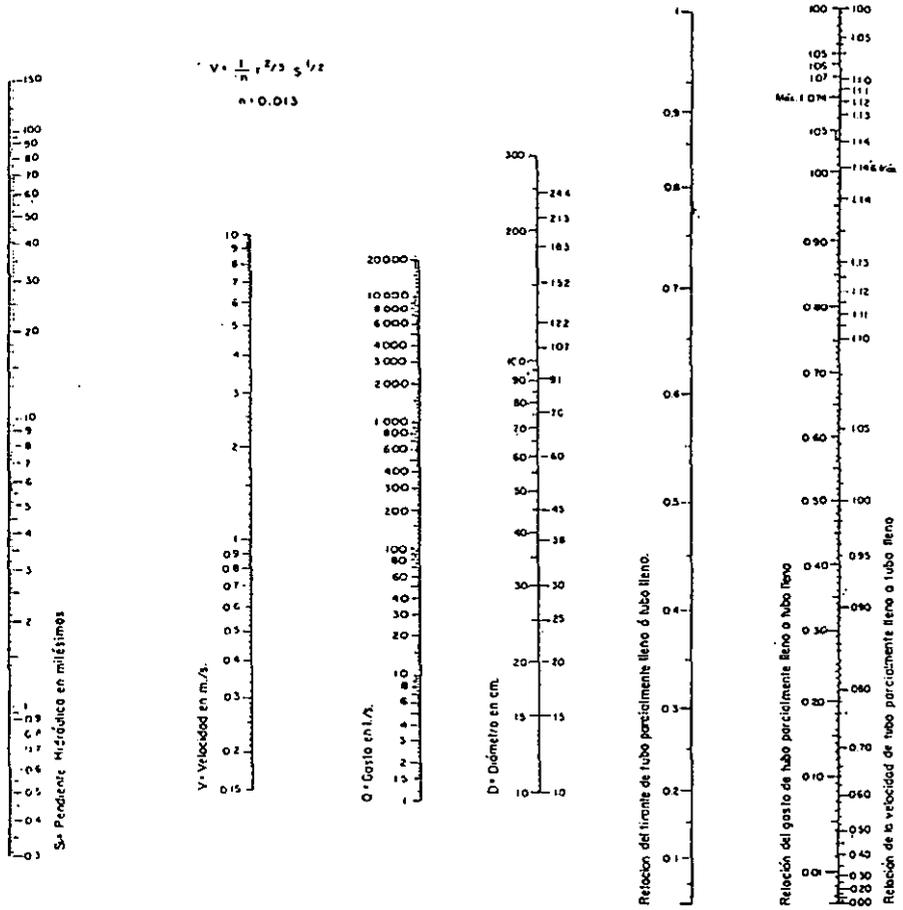


Fig. 5.8. Nomograma de Manning.

Diámetro comercial (D_c).

Con S_p y Q_D , se determina el diámetro teórico del tubo (D_t) y después se ajusta a su respectivo diámetro comercial. Para ello empleamos la figura 5.8, y se tiene lo siguiente:

$$D_t = 52 \text{ cm} \quad , \quad D_c = 61 \text{ cm}$$

Condiciones a tubo lleno.

Teniendo el diámetro y la pendiente de plantilla se obtienen las condiciones a tubo lleno:

$$V_{TLL} = R^{2/3} S^{1/2} / n = (D/4)^{2/3} S^{1/2} / n = (0.61 / 4)^{2/3} (0.017)^{1/2} / 0.013 = 2.86 \text{ m/s}$$

$$Q_{TLL} = AV = (\pi \times 0.61^2 / 4) \times 2.86 \times 1000 = 835.83 \text{ l/s}$$

Al comparar: $Q_{TLL} \gg Q_D$

Velocidad real en la tubería (V_r).

$$Q_p / Q_{TLL} = 501 / 835.83 = 0.6$$

Para 0.6, la relación de velocidades empleando el nomograma de Manning es:

$$V_r / V_{TLL} = 1.045 \quad , \quad V_r = 1.045 V_{TLL} = 1.045 \times 2.86 = 3 \text{ m/s}$$

Se compara la velocidad real con la velocidad supuesta: $1 \neq 3 \text{ m/s}$

y como no son iguales, se propone la velocidad real y se corrige lo siguiente:

$$t_s = 60 / 3 = 20 \text{ s} = 0.33 \text{ min} \quad , \quad t_c = 66.1 + 0.33 = 66.43 \text{ min}$$

$$i = 42 \text{ mm/hr} \quad , \quad Q_p = 501 \text{ l/s}$$

Nuevamente se revisa la velocidad real y se tiene que:

$$Q_p / Q_{TLL} = 501 / 835.83 = 0.6 \Rightarrow V_r / V_{TLL} = 1.045 \quad , \quad V_r = 1.045 \times 2.86 = 3 \text{ m/s}$$

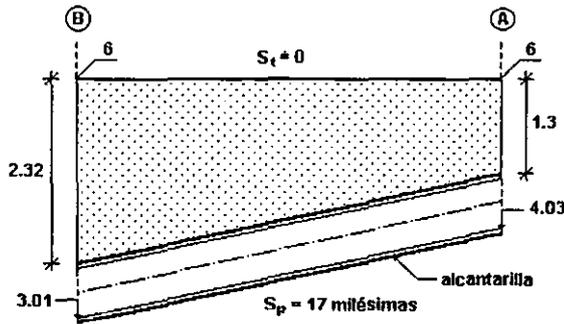
Ahora si, $V_r = V_{\text{supuesta}}$, por lo tanto el tiempo de concentración del tramo AB es de 66.43 min

Cotas de plantilla.

Los tubos de 61 cm de diámetro, tienen un espesor de 6 cm y un colchón mínimo de 1m; además, tienen una tolerancia de pendientes de 0.8 a 19 milésimas (referencia 11)

$$C_{PA} = \text{Cota de terreno} - \text{colchón} - \text{espesor} - \text{diámetro} = 6 - 1.3 - 0.06 - 0.61 = 4.03$$

$$C_{PB} = 4.03 - 0.017 \times 60 = 3.01$$



Diseño de transiciones.

Cuando se requiere un cambio de la sección de un canal, ya sea porque recibe otro canal afluente (ampliación), o porque desemboca a una alcantarilla (reducción), dicho cambio debe hacerse mediante una sección de transición, cuya geometría haga aceptables las alteraciones que se ocasionan en el perfil del flujo. Cuando el régimen es subcrítico, las transiciones deben reducir las pérdidas que significan aumentos de la altura del agua en el canal de aproximación. Si el régimen es supercrítico, además de las pérdidas de energía debe tomarse en cuenta el efecto de las ondas superficiales estacionarias producidas por los cambios de dirección.

Mientras más graduales sean los cambios geométricos en las transiciones, las pérdidas de energía serán menores y más atenuadas las ondas, pero la transición será más cara.

5.3.1. Estructuras de entrada.

Las boquillas de tubos y muros de frente son estructuras de entrada que tienen el propósito de proteger contra la erosión a las terracerías y de encauzar el agua al interior de las alcantarillas, pero se ha observado que la forma de estas estructuras tiene influencia en el propio funcionamiento de las alcantarillas, de allí la importancia que tiene el hecho de que la entrada sea de bordes redondeados o angulosos.

En la Figura 5.9 se ilustran los diferentes tipos de estructuras de entrada más usuales. Estas estructuras pueden ser muros rectos, en forma de "L", o con aleros.

El muro recto se emplea en alcantarillas pequeñas con pendientes bajas, cuando el eje de la corriente coincide con el de la alcantarilla. Si se tiene un cambio brusco en la dirección del flujo, se utiliza el muro en "L".

Cuando se tienen flujos grandes, y la alcantarilla funcionará parcialmente llena, la estructura con aleros admite mayor cantidad de agua, incrementando su capacidad y reduciendo el coeficiente de pérdida por entrada. El ángulo de inclinación del alero tiene poca importancia, pero siempre debe hacerse respecto al eje del escurrimiento, en lugar de hacerlo según el eje de la alcantarilla.

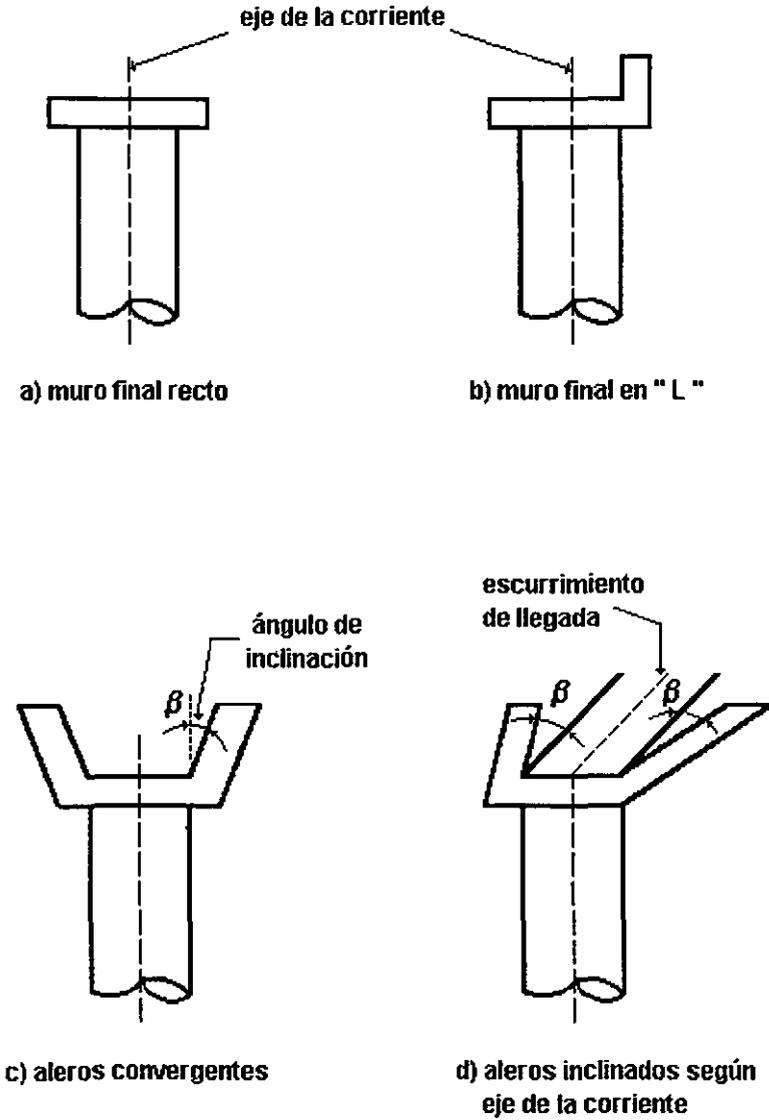


Fig. 5.9

5.3.2. Estructuras de salida.

El objetivo de las estructuras de salida es también, proteger contra la erosión a las terracerías y a la propia alcantarilla.

Sería ideal que la velocidad del flujo en la alcantarilla fuera igual a la del cauce antes de construirla, sin embargo esto no es siempre posible, por lo que la estructura de salida debe contribuir a controlar la velocidad del flujo a la descarga, lo que hace que no siempre sean iguales a las estructuras de entrada.

Cuando la alcantarilla es pequeña y la velocidad a la descarga es baja, pueden emplearse muros de cabeza rectos, aunque no constituyan buenas transiciones entre la alcantarilla y el canal. Si la velocidad es moderada, pueden usarse estructuras con aleros, que son una mejor transición.

Cuando se tienen velocidades de descarga grandes, pueden producirse remolinos en los extremos de las estructuras, particularmente cuando la alcantarilla es más angosta que el cauce a la salida. Si la velocidad de salida es mayor que la velocidad máxima del cauce, éste debe protegerse mediante un revestimiento inmediatamente aguas abajo de la descarga y en una distancia de cuando menos 6 m, con un dentellón en el extremo del revestimiento, a una profundidad tal que se evite la erosión del material bajo el revestimiento. Pero si la velocidad de descarga es muy grande, se requiere amortiguar la energía del flujo provocando un salto hidráulico al final de la descarga, para entregar el agua al caer con baja velocidad, para lo que se pueden construir umbrales o tanques amortiguadores como los mostrados en la figura 5.10.

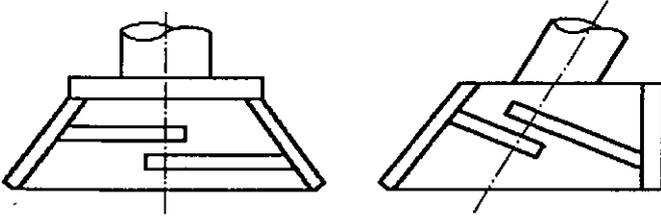
Los umbrales se deben localizar a la mitad del espacio comprendido entre los aleros y deben tener una altura no menor que la mitad de la altura de la alcantarilla. Se recomienda la construcción del revestimiento en el canal, inmediatamente después del umbral, con una longitud mínima de 3 m, y con su respectivo dentellón.

Los tanques amortiguadores se emplean cuando la velocidad de salida es mayor que 5.5 m/s, o cuando el material del canal es muy susceptible a la erosión. En estos casos, también puede construirse un delantal inclinado que contribuya a la formación de un salto hidráulico, o bien una salida de cucharón que arroje el chorro lo suficientemente lejos para evitar daños a las terracerías. Otra opción sería un tramo de tubería de mayor diámetro que la alcantarilla, para alejar la descarga de las terracerías, si es posible, conviene que el tramo de tubo tenga una sección que amplíe gradualmente su área.

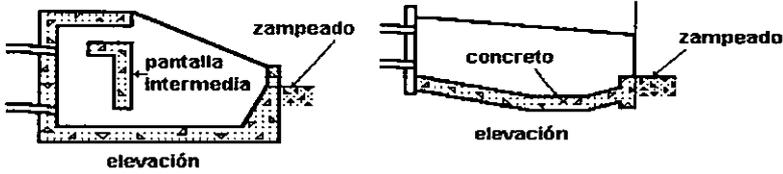
Un inconveniente que tiene el empleo de umbrales o de tanques amortiguadores, es que existe la posibilidad de azolvamiento, por lo que debe tenerse especial cuidado de mantener estas estructuras libres de sedimentos y basura.

En caso de que la alcantarilla descargue sobre roca o suelo muy resistente, posiblemente pueda prescindirse de la estructura de salida, pero en todo caso, deberán evaluarse los daños que se pudieran generar.

la altura del umbral debe ser por lo menos la mitad de la altura del conducto

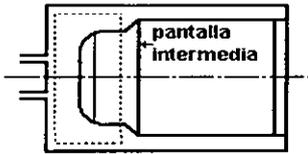


a) con umbrales de fondo

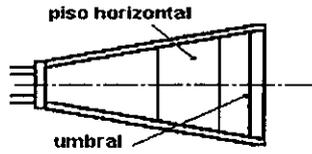


elevación

elevación



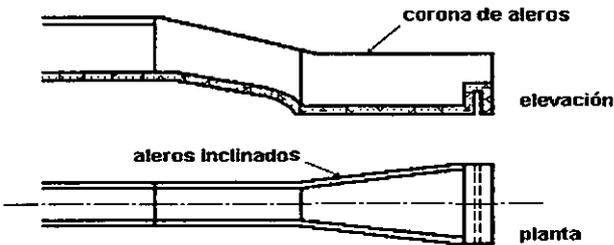
planta



planta

b) tanque de amortiguación por impacto

c) tanque de amortiguación estandar



elevación

planta

d) dissipador radial de energía

Fig. 5.10

- **Disipadores de energía.**

En algunas ocasiones es necesario abatir la energía del agua para lograr un funcionamiento hidráulico adecuado, como es la descarga con alta velocidad de una alcantarilla a un canal, comentada anteriormente para el caso de las estructuras de salida, sin embargo pueden existir situaciones diferentes, como podría ser el entronque entre dos canales que conducen caudales de diferente magnitud y velocidad, que al unirse pueden ocasionar trastornos que afecten a la estructura. Para evitar cualquier posible daño, se requiere abatir la energía del mayor caudal.

Existen varios tipos de disipadores de energía, como por ejemplo, el de impacto, desarrollado por E.E.U.U. El cuál consiste en una cámara de concreto reforzado en la que ingresa el flujo con alta velocidad, al que se le interpone un muro transversal que provoca la disipación de la energía por el impacto del agua contra el muro y por difusión turbulenta. Este tipo de difusor se recomienda para gastos menores de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y con velocidades inferiores a 15 m/s .

5.4. Rápidos.

Se construyen obras de este tipo (figura 5.11) para acomodar a un talud, el salto brusco de una corriente de agua.

Estas obras no deben construirse a menos de 200 m de los centros de pistas de despegue, porque pueden presentar un peligro en casos de emergencia.

En general se adaptan al talud, mediante un murete de coronación en el borde superior en forma de boquilla de entrada, con suficiente altura para impedir los desbordamientos de las aguas. La altura que se da a estos muretes es de vez y media la altura de la corriente.

Una gran solera pavimentada unida al murete, se hace necesaria para evitar la erosión en la entrada del rápido y para impedir las socavaciones. La experiencia enseña, que una solera sin pendiente alguna disminuye la erosión en la zona adyacente en la entrada, que se limpia de depósitos de arenas por el aumento de velocidad en la entrada del rápido.

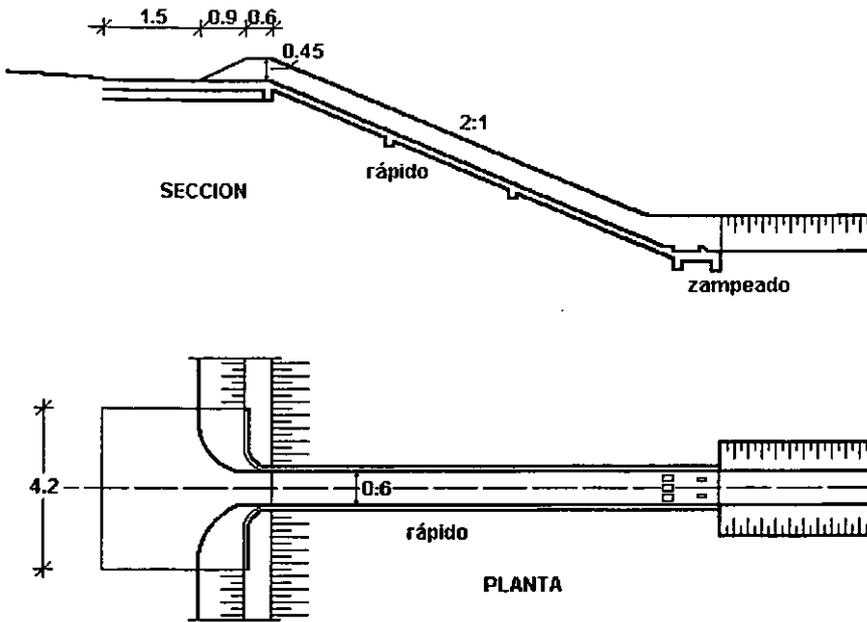


Fig. 5.11

En el estudio de estas obras, es importante fijar una altura de muros laterales conveniente. La práctica conduce a que esta altura debe ser de vez y media la altura de la corriente con un mínimo de 10 cm. La sección crítica se encuentra en este punto de entrada, que es donde ocurren la mayoría de los fallos de estas obras.

En la construcción debe ponerse especial cuidado para asegurar una superficie lisa y uniforme; las pequeñas irregularidades pueden causar el desbordamiento de las aguas y hasta la rotura de la obra.

En la parte inferior y para romper la energía de las aguas, se construyen zampeados de los tipos que se verán a continuación.

5.5. Zampeados.

Estas obras se construyen en todas las salidas y desagües, en que las corrientes tengan gran velocidad y turbulencia, con objeto de amortiguar la energía excesiva y proteger de la erosión al canal de salida.

Muchos de los desperfectos y socavones que se producen en las salidas de corrientes de aguas, tienen por causa eludir estas obras, como puede observarse en la figura 5.12

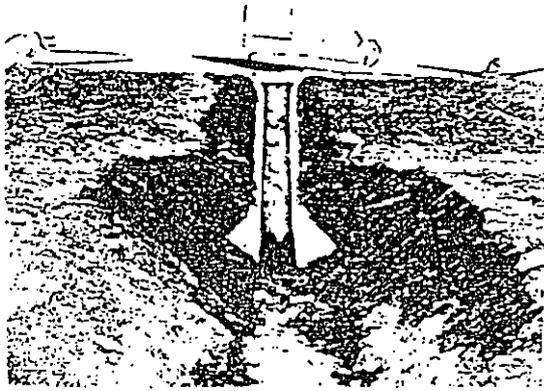


Fig. 5.12

En la figura 5.13 se presenta un modelo de estas obras, constituido en sus partes principales; por una solera con cuñas y redientes, un retallo de la solera de salida y unos muros laterales que evitan el derrame de las aguas. En la unión con el canal de salida se construye una boquilla con aletas.

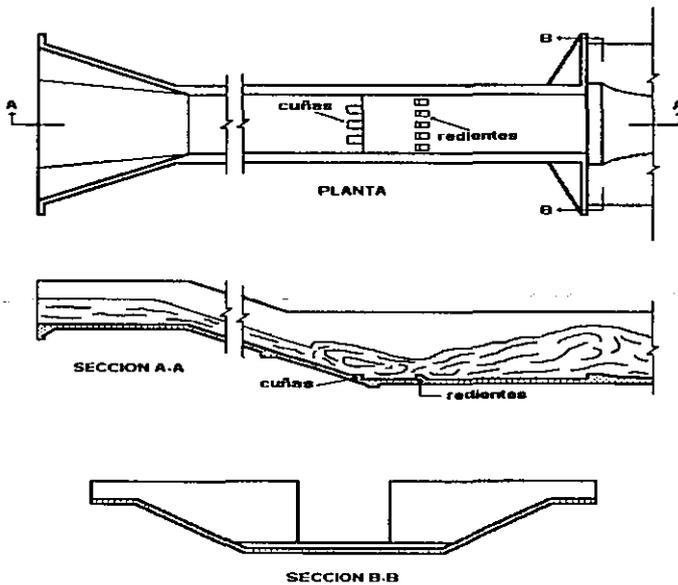


Fig. 5.13

5.6. Cárcamos de bombeo.

En el caso de que el gasto acumulado por el sistema de drenaje sea tan grande que no pueda desalojarse del aeropuerto en el momento en que se produce, es necesario almacenarlo en tanto se descarga, comúnmente mediante una planta de bombeo, de manera programada de acuerdo a las posibilidades que tenga el drenaje exterior de admitirlo. Dicho almacenamiento se efectúa en depósitos subterráneos. Llamados cárcamos que deben tener la capacidad de contener los volúmenes drenados por el sistema interior cuando ocurra la tormenta de diseño.

Las dimensiones de un cárcamo se determinan como si se tratara de un tanque de agua potable, de acuerdo a las leyes de entradas y de salidas, que pueden ser de tipo uniforme o variable y que usualmente se representan por medio de hidrogramas.

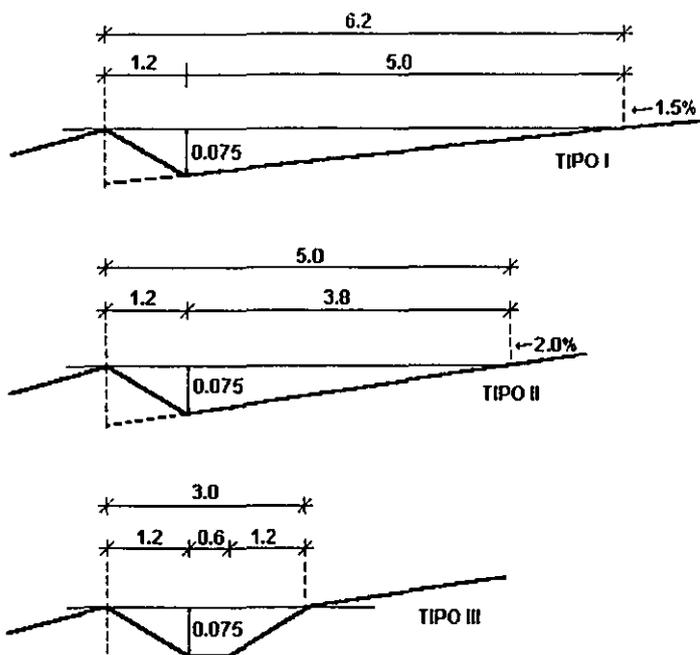
Este es el caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que cuenta con varios cárcamos que se descargan mediante plantas de bombeo, las que exigen un cuidadoso mantenimiento y que representan un alto costo de operación.

5.7. Badenes y zanjas.

El empleo de zanjas de poca profundidad paralelas a las pistas y zonas de estacionamiento, en sustitución de tuberías enterradas para el drenaje superficial, está siendo cada día más frecuente, por la economía que supone en la construcción de aeropuertos. Frecuentemente es necesario revestir estas zanjas, y pavimentarlas para proteger a los suelos de las erosiones, e impedir el reblandecimiento de las superficies de hierba ocasionado por el gran volumen de aguas que afluyen desde los pavimentos cercanos. Se forman así verdaderos badenes y zanjas, análogos a los de carreteras, cuyo pavimento y sistemas de acometidas dependen del grado de protección que se desee y de si la zanja corresponde al sistema principal de evacuación, o a uno secundario.

En la figura 5.14 se muestran tres secciones tipo, de obras de esta clase.

La seguridad de las aeronaves, obliga a exigir unas pendientes longitudinales en estas obras, muy próximas a las pendientes de las pistas, con la ventaja de que se disminuye también el peligro de las inundaciones. Por este motivo debe tenerse especial cuidado, en construir las acometidas, de dimensión conveniente para absorber totalmente el caudal de la zanja o badén; es decir que no pueden considerarse estas obras como inundables. En tales circunstancias los imbornales de salida, deben tener una anchura casi igual a la anchura de la corriente en la zanja.



ZANJAS Y BADENES TIPOS

Fig. 5.14

5.8. Diques.

Surge con frecuencia la erosión en las zanjas de poca profundidad, especialmente antes del establecimiento de una capa fuerte de césped. En muchos casos, si no se toman medidas adecuadas, llega a ser tan rápida la erosión que impide el establecimiento del césped y da lugar a formación de socavaciones. Una solución a este problema es el empleo de tepes y diques de madera, como se observa en la figura 5.15 que ha dado excelentes resultados, no solamente en zanjas sino en laderas de alguna pendiente.

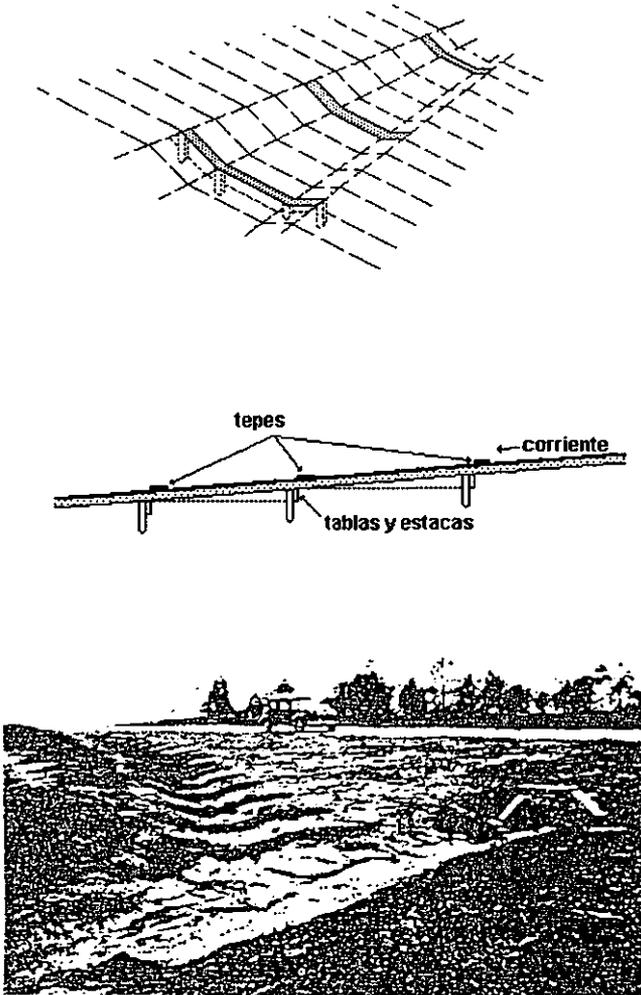


Fig. 5.15

Las características que es conveniente tener en cuenta en estas obras son las siguientes:

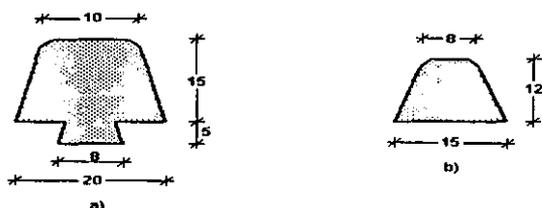
- a) La diferencia de nivel entre dos diques debe estar comprendida entre 0.15 y 0.3 m.
- b) La altura de las tablas de cada dique no debe ser menor que la diferencia de altura entre ellos, para impedir socavaciones.

- c) Debe tenerse cuidado en nivelar bien las tablas centrales, para impedir una distribución irregular de las aguas.
- d) Las tablas laterales deben llegar hasta la parte superior de las zanjas.

5.9. Bordillos, cunetas y lavaderos.

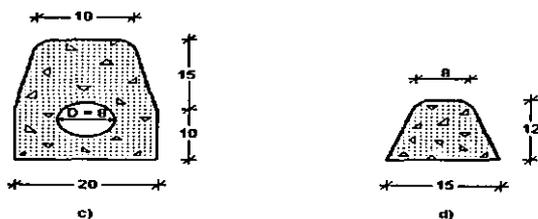
Los bordillos, cunetas y lavaderos, constituyen obras complementarias de drenaje, que tienen como principal objetivo, proteger a las terracerías en contra de la erosión. Es importante indicar que en aeropuertos no se permite su construcción en pistas y en calles de rodaje, pues resultarían peligrosas; sólo en algunos casos, se puede disponer de ellas en la plataforma.

Los **bordillos** son pequeños bordos de concreto hidráulico o asfáltico, que se colocan en los hombros de los terraplenes, con el propósito de evitar que el agua que escurre sobre las franjas de seguridad o sobre la corona del terraplén, escurra también sobre los taludes, cuando los materiales empleados en las terracerías son muy susceptibles a la erosión, y encauzan el flujo hacia bajadas construidas en sitios estratégicos sobre los taludes. La altura de los bordillos debe ser suficiente para no ser rebasados por el agua almacenada. En México se utilizan generalmente bordillos de sección trapecial, como los mostrados en la fig. 5.16



BORDILLO CON ANCLAJE

Bordillos de concreto asfáltico, elaborado con material pétreo de tamaño máximo de 3/4" y cemento asfáltico No. 6 en proporción aproximada de 100 kg/m² de material pétreo.



Bordillos de concreto hidráulico, con $f'c \approx 150 \text{ kg/cm}^2$

Fig. 5.16

Los *lavaderos*, por su parte, son pequeños canales de concreto hidráulico o mampostería, que se conectan a los bordillos y que bajan por los taludes, con el objetivo de conducir el agua de lluvia que escurre por la corona de los terraplenes, hasta lugares alejados de ellos, en donde ya sea inofensiva. Generalmente tienen pendientes muy fuertes. En los caminos se construyen sobre los terraplenes, sobre los lados de terraplén de cortes en balcón, generalmente a la entrada y a la salida del corte o en los lados interiores de curvas en terraplén. En los tramos de caminos en tangente o en los elementos de operación terrestre, se colocan cada 60 o 100 m, dependiendo de la pendiente longitudinal de la rasante y de la precipitación pluvial en la zona. En la figura 5.17, se muestra un lavadero típico de mampostería. La capacidad de los lavaderos depende de la separación entre ellos, del gasto total que escurre por los bordillos y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral de entrada.

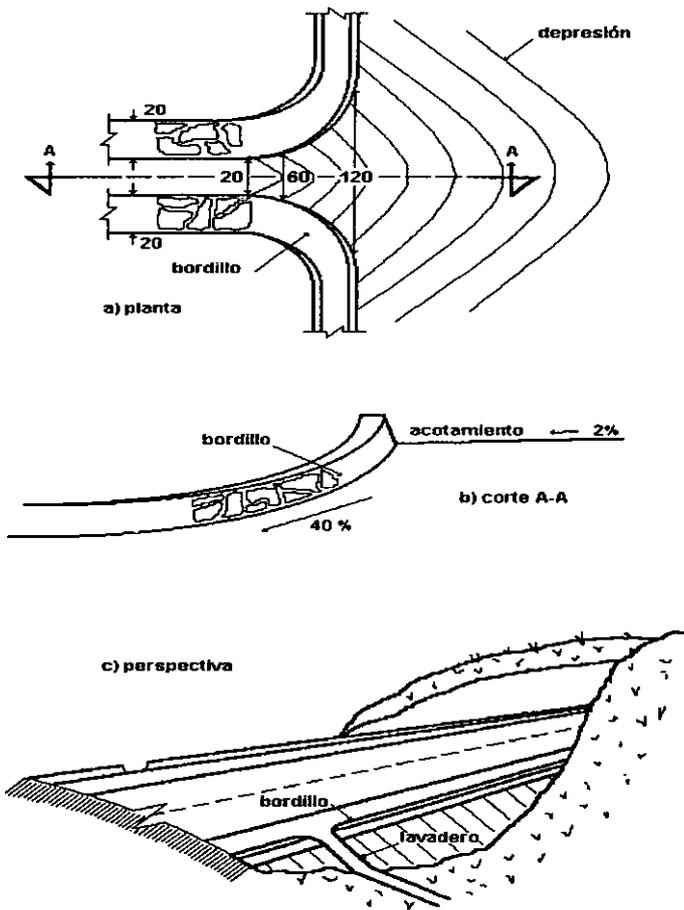


Fig. 5.17

Por otra parte, **las cunetas** son pequeños canales que se construyen, principalmente en los caminos, a los lados donde existan cortes, en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. y tienen el propósito de captar los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y del terreno natural aguas arriba del corte, así como los de la corona del camino si éste tiene una pendiente transversal hacia el corte, para encauzar el escurrimiento fuera de la zona de corte. En la figura 5.18 se muestra la geometría y la disposición más conveniente de la cuneta, respecto al pavimento.

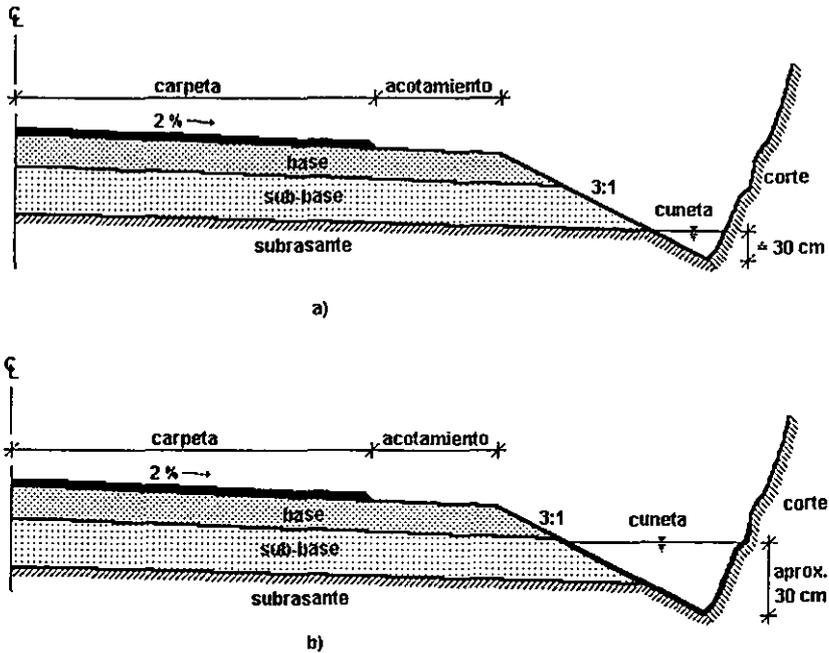


Fig. 5.18

5.10. Subdrenes.

Es frecuente que cuando se terminan de construir las terracerías de los elementos de operación terrestre, quede formada una caja donde se alojará el pavimento, en la que se propicia la acumulación del agua de lluvia sobre la subrasante durante la etapa de construcción o del agua que se infiltra durante la etapa de operación a través de las fisuras y/o grietas de la superficie de rodadura, con el consecuente peligro de saturar esa capa, disminuyendo sus características de resistencia e incrementando su deformabilidad, por lo que, si los materiales empleados en las terracerías y/o los del terreno natural no son lo suficientemente permeables, se proyecta un sistema de subdrenaje que permita la salida del agua.

Dicho sistema, consiste en colocar bajo la orilla de los pavimentos de los acotamientos y por abajo del nivel de desplante de la subrasante un subdren longitudinal, paralelo al eje del elemento de operación terrestre, que capte el agua atrapada en la caja del pavimento.

Como se muestra en la figura 5.19, el subdren normalmente se construye con tubos de concreto hidráulico de 15 cm de diámetro, que tiene perforaciones para permitir el acceso del agua a su interior, y que están embebidos en un material permeable que, para evitar el arrastre de las partículas del suelo, tiene características de filtro. En virtud de que las capas inferiores del pavimento y el material de filtro son más permeables que la subrasante, el agua escurrirá sobre esta última capa hacia los lados del elemento de operación terrestre hasta "caer" al subdren, donde escurrirá longitudinalmente hasta las salidas, que son tubos del mismo material pero sin perforaciones, que corren por abajo y transversalmente a las franjas de seguridad para descargar el agua en sitios bajos fuera de las terracerías.

Es conveniente que la unión del subdren con los tubos de salida se efectúe mediante registros que permitan la inspección y limpieza de los tubos. Asimismo, se recomienda colocar las salidas a cada 60 m, pero nunca a más de 100 m.

Cuando los tubos de salida descarguen sobre el talud de un terraplén y el flujo drenado sea importante o constante, es necesario construir pequeños lavaderos que bajen el agua desde la descarga del tubo hasta el pie del talud, con el propósito de evitar erosiones en el terraplén.

También puede requerirse de un sistema de subdrenaje para abatir el nivel de aguas freáticas, alejándolas de la estructura del pavimento, pero debido a que los subdrenes operan por gravedad, su construcción implica un desnivel entre ellos y la descarga de los tubos de salida. Cuando no es posible lograr dicho desnivel, no tienen sentido los subdrenes y entonces, el pavimento debe proyectarse tomando en cuenta que sus materiales tendrán que convivir con el agua freática o, en su caso, con el agua atrapada. Como es el caso de la ampliación de Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

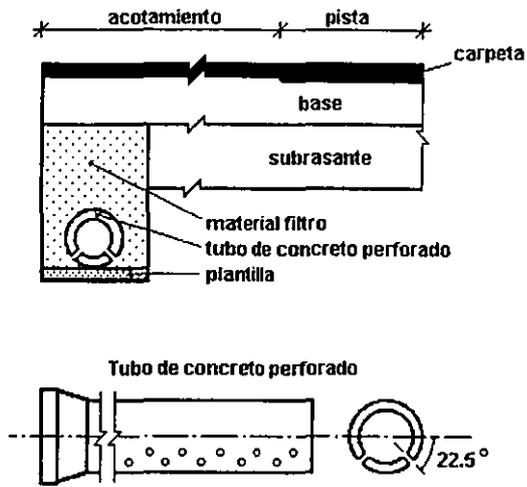


Fig. 5.19

CAPÍTULO VI

RELACIÓN PAVIMENTOS- OBRAS DE DRENAJE

CAPITULO VI. RELACION PAVIMENTOS - OBRAS DE DRENAJE

Objetivo. Conocer la influencia de las obras de drenaje en la vida útil del pavimento.

6.1. Generalidades.

Ya con anterioridad se ha insistido sobre la importancia de las técnicas destinadas a coleccionar, canalizar y eliminar el agua que perjudique de cualquier modo al pavimento en un aeropuerto. El agua procedente de la lluvia, se infiltra o escurre por la superficie del terreno, y amenaza a esta estructura de muy diversas maneras.

La existencia de un sistema adecuado de drenaje para la evacuación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, resulta vital para la seguridad del avión y duración de los pavimentos. Un drenaje inadecuado implica la formación de charcos en la superficie del pavimento, que pueden resultar peligrosos para el despegue y aterrizaje de los aviones. Un mal drenaje también puede implicar un deterioro rápido de los pavimentos. Las pendientes suaves, tanto en sentido longitudinal como en el transversal y las amplias superficies pavimentadas presentan, frecuentemente, dificultades para conseguir un buen drenaje en los aeropuertos.

En muy pocos casos será suficiente el drenaje natural para solventar estas situaciones; debiendo contar con un sistema de drenaje artificial.

Los problemas de drenaje superficial o subterráneo son de suma importancia en la construcción de pavimentos y se reflejan quizá más que cualquier otro en la duración y buen funcionamiento de estas estructuras, así como en los costos de su conservación.

La providencia de un drenaje adecuado es el capítulo fundamental a cuidar en el proyecto y construcción de una vía terrestre; pues una carretera o pista mal drenadas están, independientemente del cuidado puesto en las demás etapas de su diseño y construcción, condenadas a una rápida destrucción si han de estar bajo la acción de las aguas, aunque ésta no sea particularmente intensa y ello sin que importen consideraciones adicionales, tales como intensidad de tránsito u otras que, en cambio, producen deficiencias en otros aspectos de la construcción de esta estructura a tratar.

6.2. Aspectos relacionados con el drenaje para el diseño del pavimento.

El contar con un sistema de drenaje deficiente en un aeropuerto puede propiciar condiciones de operación tan inseguras que pueden poner en peligro la vida de los usuarios; o dañar, a veces en forma irreversibles, las instalaciones del aeropuerto. Algunas de las consecuencias que se presentan al no desalojar rápidamente las aguas son las siguientes:

- La existencia de encharcamientos sobre los pavimentos de los elementos de operación terrestre, pueden producir el “acuaplaneo” de los aviones al circular en alta velocidad, con el riesgo de que la tripulación pierda el control de la aeronave y provocar un accidente. Fenómeno que trataremos más adelante.
- La presencia prolongada del agua sobre los pavimentos asfálticos contribuye a acelerar el envejecimiento de la capa de rodamiento permitiendo la aparición de grietas y baches, o cuando menos alterando su textura superficial.
- Mientras el agua permanece más tiempo sobre los pavimentos, y/o existan más grietas o baches, se facilita la infiltración a las capas inferiores del pavimento, las que pueden saturarse y llegar a la falla estructural, manifestando de formaciones importantes en la superficie de rodamiento.
- Las alteraciones que el agua produzca en la capa de rodamiento por las dos consecuencias anteriores, hace que los aviones vibren demasiado al circular en alta velocidad, incomodando a los usuarios. Asimismo, esas alteraciones pueden llegar a dañar los neumáticos y hasta el mismo tren de aterrizaje de los aviones.
- La existencia de espejos de agua debidos a encharcamientos o inundaciones en las inmediaciones del aeropuerto, pueden producir reflejos indeseables o facilitar la formación de neblina, afectando la visibilidad de las tripulaciones. Dichos espejos también pueden atraer aves que pueden peligrar la operación de los aviones.

Las consecuencias referidas son sólo algunas de las más importantes y están íntimamente ligadas con el drenaje y repercuten en el diseño del pavimento, poniendo de manifiesto la influencia que un sistema de drenaje eficiente tiene en la seguridad del aeropuerto y en sus instalaciones.

Acuaplaneo.

Se conoce con este nombre a un fenómeno que tiene lugar cuando la pista está mojada o contaminada, y en el que las ruedas dejan de girar y simplemente deslizan, dejando de tener eficacia completamente la acción de frenado. El estudio del fenómeno es extremadamente complicado, interviniendo diversos parámetros como son: espesor de la capa de agua, propiedades elásticas de la goma, grado de contaminación de la pista, presión de inflado y geometría y rugosidad del neumático. Se suelen distinguir tres tipos de acuaplaneo: dinámico, viscoso y por revenido del caucho.

El acuaplaneo dinámico es quizá el más conocido y estudiado, y se produce cuando existe agua estancada sobre el pavimento. La capa de agua entre el pavimento y la rueda actúa como una cuña impidiendo el contacto entre ambas superficies. Esto llega a ocurrir cuando la presión del agua entre las dos superficies es tal, que la fuerza hidrodinámica originada por dicha presión, llega a igualar la carga total que soporta la rueda dejando ésta de girar y empezando a deslizar sobre el pavimento sin ninguna posibilidad de control ni de acción de frenado. Normalmente ocurre cuando la capa de agua tiene bastante espesor y el agua estacionada debajo de la rueda no se elimina con la rapidez suficiente para permitir que haya un contacto completo con el suelo. De ensayos realizados con aviones se ha encontrado que la velocidad a que empieza a ocurrir el fenómeno, depende sólo de la presión de inflado del neumático, y no del peso del avión ya que su valor lo único que hace es que la superficie de contacto rueda-pavimento sea mayor o menor.

Un factor de bastante influencia es el dibujo de las gomas de los neumáticos, sin dibujos o con dibujos muy gastados, puede producirse el fenómeno con un espesor de agua de 2 ó 3 mm, y con dibujos profundos se puede llegar a tener 5 ó 6 mm de agua sin que aparezca el acuaplaneo.

Este tipo de acuaplaneo, a pesar de ser el más estudiado, es quizá el que más difícil sea que se produzca, debido a que las condiciones para ello sean también más difíciles de encontrar.

El acuaplaneo viscoso, se produce cuando la viscosidad del agua se altera debido a la existencia de polvo, aceite u otras materias grasas, hecho que puede ser frecuente cuando caen los primeros chubascos sobre un pavimento seco. La mezcla del agua con estas substancias tiene una viscosidad elevada y es difícil su eliminación por las ruedas.

El acuaplaneo producido por el revenido de la goma de los neumáticos es un fenómeno poco conocido y que puede ser producido por el calor originado durante la fricción de las ruedas con el suelo, que daría lugar a un vapor sobrecalentado si la pista está parcialmente mojada (no hace falta que lo esté toda ella), este vapor quedaría entre la rueda y el suelo a una presión y temperatura

elevada, aislando uno del otro y produciendo un revenido de la goma que volvería a su estado de caucho sin curar.

Una vez que el fenómeno de acuaplaneo se ha manifestado, el método más efectivo para parar el avión es el uso de la reversa, aunque es necesario actuar con precaución, porque si existe viento cruzado el avión se comporta como una veleta respecto al viento relativo y habrá que reducir el empuje de reversa en los motores pertinentes.

Con el fin de intentar evitar la aparición del acuaplaneo, convendrá aterrizar con la mayor deflexión posible de flaps. También será conveniente la deflexión de los spoilers ya que aumentará la fuerza de las ruedas contra el suelo; en los aviones con dispositivo automático de deflexión de spoilers basado en el comienzo de rotación de las ruedas, existe la posibilidad de que si se produce el acuaplaneo, no giren las ruedas y por tanto sea necesario deflectar los spoilers manualmente. En general será conveniente una toma *no suave* para intentar evitar esta condición en el aterrizaje.

6.3. Factores que afectan el funcionamiento del pavimento.

6.3.1. Efectos de las estaciones del año en respuesta al pavimento.

El clima es un factor importante y decisivo en la vida útil del pavimento y debe ser tomado en cuenta desde su diseño, y más aún en su etapa de mantenimiento. En lo referente a las temperaturas se puede decir lo siguiente:

Las **temperaturas altas**, pueden afectar la estabilidad de las carpetas asfálticas (figura 6.1), pues cuando ésta no es suficiente, la superficie de rodamiento sufre deformaciones por el arriñonamiento o corrimiento de las carpetas, este defecto se puede evitar o corregir utilizando los asfaltos de mayor dureza que son menos sensibles a los cambios de temperatura, cuidando, en todo caso, que los módulos de elasticidad de la carpeta sean lo más aproximados posible.

En cuanto a las **temperaturas bajas (de congelamiento)**, se tienen que considerar, principalmente, dos aspectos a estudiar:

- El levantamiento por congelación.
- El deshielo.



Fig. 6.1

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 estas son severas. El fenómeno de levantamiento por congelación es sumamente complicado y depende de algunos factores que deben presentarse simultáneamente:

- 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.

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 el 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, debe tenerse un drenaje superficial adecuado para prevenir el daño debido a las temperaturas bajas.

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, por lo tanto, la capacidad de soporte del pavimento se reduce. Los factores que incrementan el deshielo incluyen períodos grandes de precipitación pluvial durante el otoño y el invierno, lo que resulta en altos grados de saturación de la subrasante, y aún más críticos, son los periodos de precipitación durante la época de deshielo.

La pérdida de soporte de la subrasante puede ser considerable y prolongarse por periodos de tiempo relativamente grandes después que haya ocurrido el deshielo. La pérdida de resistencia aparece sobre todo 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.

En las zonas en que se presenta este fenómeno se debe de evitar que en las capas superiores del pavimento se pueda tener agua capilar, para lo cual es necesario que en la profundidad que afecta dicho fenómeno se tenga una capa rompedora de capilaridad, es decir, material granular sin finos. En México se tienen muy pocas zonas con estos problemas, debiéndose poner especial cuidado en la Sierra Madre Occidental, entre los estados de Sinaloa, Durango, Sonora, y Chihuahua en donde con un espesor de grava-arena, aproximado a los 50 cm en la capa base, se puede tener la seguridad de que no se tendrán problemas de congelamiento.

Sin embargo, cuando en un país que no tenga problemas de congelamiento se quiera adoptar un método para la estructuración del pavimento de otro país, que sí tiene ese problema, deben hacerse los estudios necesarios para corregir los nomogramas o modelos matemáticos de proyecto pues, de otra manera, se corre el peligro de sobre diseñar la estructura.

Veamos enseguida como las temperaturas ambientales tambien afectan a los pavimentos rígidos, especialmente a las losas de concreto.

El concreto hidráulico es un producto que desde que se termina su mezclado y puesto en obra, está sujeto a agrietarse; al principio por la pérdida de agua por evaporación y por las reacciones químicas internas en esta etapa; estas anomalías pueden reducirse a un mínimo si se curan en forma adecuada, para lo cual, lo más efectivo es un esparcido superficial, inmediatamente después del tendido, de alguna sustancia de las que existen en el mercado que impiden la evaporación del agua de la mezcla. Además, debe tomarse en cuenta el clima, como es evitar el colado cuando haya vientos con alta velocidad o temperaturas muy altas (principalmente en las costas). Después del tercer día se deberá mantener húmeda la superficie por medio de riegos de agua.

De acuerdo con los programas de trabajo para la construcción de los pavimentos rígidos, en general se cuelean franjas de 200 m, 500 m o más. Una vez que ha endurecido la mezcla, tiende a expandirse o dilatarse y a acortarse o contraerse de acuerdo a los cambios de temperatura, lo cual, aunado a la fricción que tienen con la sub-base impregnada, que impide parcialmente su movimiento, hace que el concreto se agriete. Este agrietamiento se presentará de manera no uniforme, y su abertura puede ser de tal magnitud, que se pierda la interacción granular entre las diferentes partes, lo cual no debe tolerarse, sino al contrario, se deberá asegurar que las losas del pavimento trabajen conjuntamente al aplicárseles las cargas. En general, puede decirse que si las grietas no se abren más de 3 mm, se asegura que haya acción intergranular. Claro está que el que las grietas se abran más o menos es función del largo de las losas y también, en forma secundaria, de su ancho; asimismo, se debe obligar a que las grietas sean perpendiculares a la dirección del colado.

Una manifestación debida a la variación de temperatura, puede observarse en el alabeo de las losas de concreto hidráulico en los pavimentos rígidos.

Cuando el cambio de temperatura es igual en la parte superior e inferior de la losa, se presentan los fenómenos de dilatación y contracción, pero si se encuentra en forma simultánea a diferentes temperaturas, se tiene un gradiente que hace que se presenten alabeos. Si la temperatura de la superficie es menor que en la parte inferior, el alabeo es hacia arriba o sea que la superficie de rodamiento se torna cóncava; en el caso contrario el alabeo es hacia abajo (figura 6.2), o sea que la superficie de rodamiento es convexa.

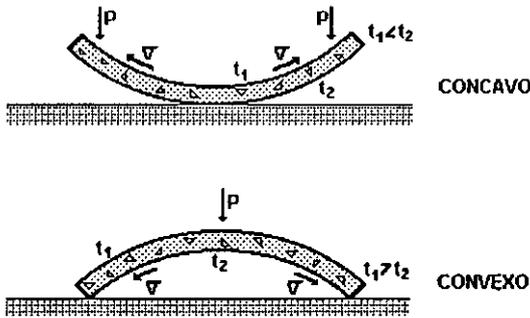


Fig. 6.2

En estos casos los esfuerzos producidos por la temperatura no son importantes, siempre que no se agriete la losa; sin embargo, los esfuerzos debidos al tránsito se modifican, ya que la losa no está apoyada en forma continua, apareciendo en el primer caso los esfuerzos de tensión en la parte superior y en el segundo caso en la parte inferior. Estos fenómenos de alabeo son alternados durante el día y la noche, por lo que se tienen las dos situaciones, y se ha visto que cuando se tiene la superficie de rodamiento cóncava, los esfuerzos se aumentan en 20% en relación de las losas apoyadas en forma continua y que en el caso contrario es menos crítico; también se ha encontrado que el efecto es mayor cuando la sub-base es más rígida.

6.3.2. Arcillas expansivas.

Muchos son los países del mundo que se ven afectados por el problema de las arcillas expansivas, y México no es la excepción. Entiéndase por suelo expansivo como aquel que es susceptible de sufrir cambios volumétricos por cambios de humedad y cambios en su resistencia al esfuerzo cortante, lo cual propicia que se desechen estos materiales, pues emplearlos en su forma natural para pavimentos provocaría fallas en su estructura. Este fenómeno se manifiesta en el suelo como contracciones en tiempo de estiaje y expansiones en tiempo de lluvias, en zonas cuyo clima es árido o semiárido. También es un hecho que los recursos naturales, como las gravas y arenas, cada día son más difíciles de encontrar pues muchos bancos, debido a la infraestructura que se ha construido, se han agotado y las distancias de acarreo son cada vez más grandes, lo que repercute en el costo del pavimento. Los suelos expansivos contienen minerales como la montmorilonita, el cual es particularmente sensible a los cambios de humedad.

Las variaciones de humedad se deben principalmente a los periodos de estiaje y de lluvias, a la evaporación, así como también a los movimientos del nivel de aguas freáticas. La combinación periódica de estos factores da como resultado

una "zona activa" que esta sujeta a variaciones de humedad y por tanto a expansiones y contracciones. Por supuesto, a mayor cambio de humedad, mayor expansión o contracción.

Al construirse alguna estructura o hacerse algún tipo de instalación, se modifican generalmente las condiciones de humedad originales. Por ejemplo, el riego de jardines y las fugas de agua en tuberías, alterarán las humedades del ambiente original. Así, la "zona Activa" será modificada hasta lograr otra condición de equilibrio donde se manifieste otra periodicidad en las variaciones del contenido de agua, la cual podrá repetirse anualmente, siempre que la nueva condición ambiental prevalezca con el tiempo.

Los daños que se tienen en las construcciones se generan como consecuencia de las expansiones y contracciones por los aumentos o pérdidas de humedad, al generar movimientos diferenciales, además de la influencia de las características de las cargas que transmiten las estructuras, que evidentemente puedan propiciar o evitar los movimientos en alguna medida.

Para poder hacer predicciones de los cambios volumétricos que pueden presentarse en un suelo expansivo, se hace necesario conocer los perfiles de succión del suelo para diferentes tiempos y la capa que esta sujeta a cambios de humedad. Esto es consecuencia de las condiciones ambientales prevalecientes y de la forma en que se distribuyen con el tiempo, es decir, los cambios estacionales.

En el análisis del comportamiento ante una construcción cualquiera, será necesario determinar el efecto que se provocará como resultado de los cambios en la evaporación de agua del suelo, la infiltración y las descargas de la superestructura en la cimentación, transmitidas al subsuelo. El tipo de cimentación y el efecto de diversos factores asociados a la intervención del hombre, algunos accidentales, habrán también de evaluarse.

Entre las soluciones que se han empleado para reducir a un mínimo los problemas de expansión en estructuras ligeras, pueden citarse los siguientes:

1. Puede sobre-excavarse la sección por excavar y rellenar el espacio generado con material granular en una cantidad suficiente como para impedir la expansión por el peso del relleno.
2. Pueden tomarse precauciones para impedir el aumento del contenido de agua en el terreno de soporte. Para ello se han usado, especialmente en canales y estructuras similares, recubrimientos plásticos y asfálticos entre las losas de concreto y el terreno, juntas flexibles impermeables, etc., pero en general es difícil poder confiar en que por mucha que sea la protección que se adopte para el suelo vaya éste a permanecer realmente protegido.

3. Pueden disminuirse mucho los malos efectos de la expansión de los suelos con el uso de elementos estructurales apropiados y flexibles que se adapten a los movimientos impuestos sin sufrir daños.
4. Puede tratarse al suelo con algún procedimiento que lo haga menos expansivo. El método más elemental consiste en remodelar el suelo hasta una cierta profundidad y volverlo a colocar compactado a humedad mayor que la anterior original y con un peso volumétrico menor que el que tenía antes en el lugar; el suelo resulta así ser menos expansivo. El procedimiento anterior requiere un estudio cuidadoso de las propiedades mecánicas del suelo así obtenido para verificar que la estructura no sufra asentamientos o que el propio suelo no pierda capacidad de carga o características de buen soporte, antes de que empiece a operar el mecanismo de la expansión.

Otros procedimientos comunes para restar expansividad al suelo consisten en la adición de cal o cemento en la proporción conveniente; el buen mezclado de suelo y aditivo suele ser el aspecto básico a cuidar en estos tratamientos, hoy facilitados por la puesta en uso de mezcladores mecánicos de excelente rendimiento.

Lo anterior incide en el costo de los pavimentos. La información que se tiene al respecto indica que se han abatido los costos de construcción de pavimentos empleando arcillas activas y/o limos arenosos o arenas limosas agregándoles aditivos, con el fin de producir materiales de igual o mejor calidad y resistencia que los utilizados usualmente, pero teniendo siempre cuidado de que el costo de explotación y producción sea menor; también se recomienda que en cada región se realicen las pruebas de laboratorio correspondientes, pues no es aconsejable extrapolar los resultados obtenidos. Esto ofrece al ingeniero otras alternativas de proyecto y construcción de pavimentos, lo que redundará en una mejor administración de los recursos que ofrece la naturaleza, sin embargo se deben hacer tramos de prueba para observar su comportamiento y verificar en el campo las dificultades que se pueden tener, con el equipo disponible en la República Mexicana, para hacer las mezclas y construir las secciones estructurales.

Si las cargas que transmite la estructura son de magnitud moderadamente importante, además de los cuatro procedimientos arriba descritos se ha hecho uso de los dos siguientes; los cuales no se aplican en pavimentos, sino en alguna otra estructura aeroportuaria.

1. Concentrar las cargas que envía la estructura al subsuelo en zapatas, que transmitan una presión tal, que impida su levantamiento por expansión.
2. Usar pilotes, pilas y cajones de cimentación apoyados en estratos no sujetos a fenómenos de expansión. En este caso deberá cuidarse la tensión que se producirá a lo largo del fuste de los elementos de cimentación cuando se expanda el manto arcilloso superior; para ello se ha

recurrido a ensanchar la base de los pilotes o pilas y a reforzar convenientemente sus conexiones con el resto de los elementos de cimentación.

En estructuras pesadas a veces no es necesario tomar medidas especiales para evitar expansiones, ya que la carga que se transmite al terreno pone a la estructura a cubierto de movimientos verticales ascendentes; sin embargo, deben siempre efectuarse pruebas de expansión bajo las cargas reales, para verificar que la cimentación diseñada no estará sujeta a levantamientos perjudiciales.

6.3.3. Infiltración de agua superficial.

El suelo, es un material con arreglo variable de sus partículas que dejan entre ellas una serie de poros conectados unos con otros para formar una compleja red de canales de diferentes magnitudes que se comunican tanto con la superficie del terreno como con las fisuras y grietas de la masa del mismo; de aquí que el agua que cae sobre el suelo parte escurre y parte se filtra por acción de la gravedad hasta estratos impermeables más profundos, formando la llamada *capa freática*. El límite superior de este manto acuoso se llama *nivel freático*.

La infiltración de agua superficial, puede perjudicar muy seriamente a los pavimentos y parte superior de las terracerías que hayan de construirse para el mismo fin. El agua puede llegar a estas capas por varios caminos, por ejemplo elevación del nivel freático, por filtraciones de agua de lluvia a través de la carpeta, etc., pero en cualquier caso su presencia es siempre indeseable. Siguiendo un principio bien conocido en la técnica de diseño de pavimentos, puede decirse que en estas estructuras se requiere cohesión en su superficie y fricción en las capas colocadas a mayor profundidad; esto es así porque en la carpeta es preciso contar con resistencia a la tensión y a los esfuerzos cortantes bajo presión normal nula (no hay suelo suprayacente); en las capas inferiores, en que se cuenta ya con confinamiento suficiente, podrán usarse en cambio materiales friccionantes, que ofrecen buena resistencia en estado natural, sin posteriores y costosos tratamientos con sustancias cementantes tales como asfaltos o cementos, obligados para lograr la necesaria cohesión de las capas superiores. Cuando una carga actúa sobre el pavimento transmite esfuerzos normales y cortantes a la base y sub-base. Si la base está seca y su humedad es baja, estos esfuerzos normales serán tomados directamente por la estructura granular del material y aumentará la resistencia al esfuerzo cortante a la vez que se generan los esfuerzos cortantes debidos a la carga; si, por el contrario, la base está húmeda en exceso (y aún peor si fuese de material poco permeable), los esfuerzos normales debidos a la carga serían tomados por el agua, no produciendo esfuerzos efectivos y no contribuyendo, por lo tanto, a la generación de resistencia al esfuerzo cortante durante la aplicación de la carga y así los esfuerzos cortantes actuantes tendrán que ser tomados sólo por la resistencia debida al peso propio de los suelos suprayacentes en el pavimento; esta es evidentemente una forma muy ineficiente de aprovechar las propiedades mecánicas

de los materiales, que conduciría a la falla en muchos casos. Por ello la necesidad de mantener relativamente poco húmedas las capas granulares inferiores de los pavimentos, por lo que ahora las obras de drenaje, explícitamente los subdrenes deben estar encaminados a garantizar este fin.

El humedecimiento de la parte superior de las terracerías disminuye su resistencia, propicia la deformación del pavimento sobre ella y causa la incrustación de los materiales granulares que suelen formar la sub-base. Así, el suelo de apoyo del pavimento tampoco deberá ser olvidado por el proyectista de las obras de drenaje.

6.3.4. Repartición de cargas.

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tráfico con respecto a la aeronave de diseño. Recordemos (como se vio en el segundo capítulo de este trabajo), que la aeronave de diseño es aquella que requiera el mayor espesor de pavimento, y no necesariamente es la aeronave más pesada del pronóstico.

Esto se debe a que ningún método de diseño en uso toma en cuenta la variabilidad del tránsito en forma completa; de hecho, como se recordará, es normal proyectar los pavimentos en el caso de aeropistas para un arreglo de llantas prefijado correspondientes al avión de diseño.

Las aplicaciones de las cargas del tránsito suelen referirse al concepto de repetición de carga. Se dice que un camino o aeropista ha tenido lugar una repetición, cuando ocurren dos pasadas sucesivas de una misma llanta por el mismo punto.

En el caso de las aeropistas es actualmente más utilizado el concepto de *cubrimiento* que el de repetición. Un cubrimiento es el número de pasadas de una rueda que es preciso efectuar para cubrir por completo el tercio central de la pista con trayectorias paralelas contiguas. Los cubrimientos se determinan a partir del número de pasadas de la carga, relacionando el ancho de la faja en consideración, el arreglo y disposición de las ruedas, el ancho del área de contacto de cada llanta y la distribución del tránsito.

Un aspecto de interés en la aplicación de las cargas del tránsito es su distribución dentro de la sección transversal del pavimento; múltiples experiencias hechas con medidores de deformación efectuadas en una pista en operación, han llevado a la conclusión de que, la carga total de un avión, al aplicarse sobre el pavimento, se distribuye en forma diferente no sólo por la situación de las ruedas, sino conforme a la composición de su tren de aterrizaje, siguiendo una distribución normal como la mostrada en la figura 6.3

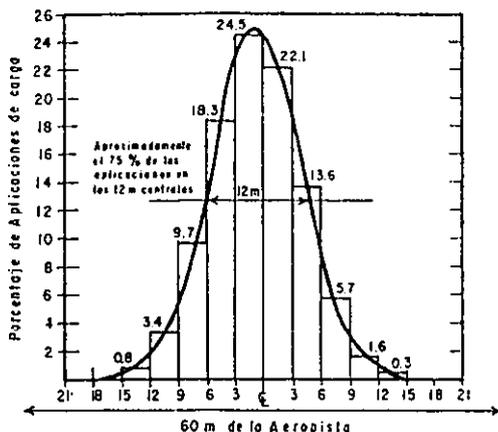


Fig. 6.3 Distribución de la aplicación de la carga en la sección transversal de una pista.

También la velocidad de las aeronaves está relacionada con la intensidad de las cargas, pues influye en el comportamiento de la sección estructural del pavimento. En general, las cargas estáticas o lentas producen mayor deterioro que las más rápidas, trayendo complicaciones a los 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.

Hay 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.

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 produce en toda su intensidad por las cargas móviles de actuación rápida, porque las deformaciones se localizan en la superficie. Como comprobación de ello, 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% a los originados por las cargas estáticas con los motores en marcha.

El arreglo de las llantas influye en la superposición de los esfuerzos inducidos y el área de contacto de las llantas depende de la presión de inflado y de la intensidad de las cargas. El área de contacto determina la profundidad a la que se transmiten los esfuerzos de la carga, la cuál aumenta con el área; a la vez, los arreglos de llanta con gran área de contacto suelen producir estados de esfuerzos más uniformes que los que tienen cargas más concentradas.

En la práctica esto conduce a que cuando sean de esperar aplicaciones de carga con grandes áreas de contacto puedan y deban utilizarse materiales de calidad relativamente uniforme en el perfil del pavimento, en tanto que cuando las cargas vayan a actuar a través de áreas de contacto pequeñas, se requerirá mucha mayor calidad en las capas superiores del pavimento que las inferiores.

CAPÍTULO VII

MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE Y PAVIMENTOS

CAPITULO VII: MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE Y PAVIMENTO.

Objetivo: Conocer las técnicas básicas para el mantenimiento de las obras de drenaje y pavimentos en aeropuertos.

Las obras, en este caso los pavimentos y las obras de drenaje, se planean y se construyen para que estén en servicio un determinado número de años (como mínimo), periodo al que se llama vida útil de la obra, al cabo del cual se abandonan, pudiendo tener algún valor de rescate, o se reconstruyen con el fin de aumentar su servicio por más tiempo, que es lo que en forma general sucede.

Al estar en operación, se van deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra, que aceleran su falla, por lo que, para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de *mantenimiento o conservación*, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

7.1. Estudios especiales.

Para el caso de pavimentos se puede decir lo siguiente:

La detección oportuna de una falla y su rápida reparación cuando apenas se inicia, es sin duda la labor más importante del personal de mantenimiento. Las grietas y otras fallas de la superficie, que en sus primeras etapas pueden pasar inadvertidas, pueden evolucionar en defectos de mucha consideración si no se reparan oportunamente. Por ello la importancia de efectuar inspecciones periódicas del pavimento, por personal calificado, para que el presupuesto destinado al mantenimiento tenga un rendimiento óptimo. La inspección no es recomendable hacerla sobre un vehículo en movimiento, pues de esta forma no se pueden detectar las fallas en sus inicios; lo mejor es caminar sobre el pavimento para poder efectuar una inspección detallada.

Al efectuar la inspección de las fallas de un pavimento, es de suma importancia determinar la causa de cada falla, para establecer, con base en dicho conocimiento el mantenimiento más adecuado a seguir. Su reparación deberá hacerse lo antes posible, más aún, si representan un peligro para la seguridad de las operaciones aeronáuticas.

Así mismo, es importante conocer la irregularidad superficial y el coeficiente de rozamiento de la superficie de desgaste de las pistas; conceptos que se tratarán a continuación.

Irregularidades superficiales.

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

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

En la Dirección General de Aeropuertos se utiliza además la técnica del Perfilógrafo para el control del acabado superficial de las pistas nuevas; este control se lleva a cabo incluyendo en los proyectos especificaciones que limitan las irregularidades a valores que no deben exceder cierto límite, mismo que se verifica con mediciones del Perfilógrafo al término de la construcción de la pista.

Las obras de reacondicionamiento para pistas excesivamente deformadas, debido a, irregularidades superficiales, pueden consistir en capas reniveladoras en pavimentos flexibles o el rebajado mecánico de las ondulaciones en pavimentos rígidos.

Coefficiente de rozamiento.

El coeficiente rozamiento de la superficie de desgaste de las pistas es una propiedad invaluable para los pilotos, dado que su conocimiento en condiciones de pavimento mojado permite estimar la eficiencia de frenado de la aeronave; además, su medición periódica permite al operador del aeropuerto detectar a tiempo el efecto dañino de la acumulación de caucho de las zonas de toque. Estas acumulaciones deben removerse con productos químicos ó con chorros de agua a alta presión. Dicho en otras palabras:

El coeficiente de rozamiento de la superficie de las pistas debe medirse para:

- a) Proporcionar calibraciones periódicas de la superficie del pavimento.
- b) Evaluar la resbalocidad de las pistas cuando están mojadas.
- c) Determinar el efecto del rozamiento cuando las características de drenaje son deficientes.

d) Detectar condiciones resbaladizas en circunstancias excepcionales.

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

Es preferible que se utilice un aparato de medición que proporcione una evaluación continua del coeficiente de rozamiento. Entre ellos, por citar algunos, tenemos los siguientes:

- Vehículo de frenado en diagonal.
- Remolque francés.
- Medidor del valor Mu (mu-meter)
- Deslizómetro.
- Stradografo.

Es importante para el operador del aeropuerto conocer en todo tiempo las características de rozamiento de la superficie de las pistas para poder decidir oportunamente cuando se realicen los trabajos de rehabilitación. Los cuales consisten, normalmente, en el ranurado transversal con máquina de discos.

El ranurado transversal, además de elevar el coeficiente de rozamiento, mejora la textura superficial al facilitar la expulsión instantánea del agua atrapada bajo la huella de los neumáticos. Esto es muy importante para evitar el fenómeno de "acuaplaneo", que puede ser causante de accidentes graves.

Las reparaciones en las áreas de maniobras a seguir, en cualquiera de los dos casos vistos anteriormente, deberán efectuarse en los periodos de tiempo en que el tráfico aéreo en el aeropuerto sea nulo, cuando el pavimento a reparar sea el de una pista única; o en los periodos de tráfico mínimo, cuando el pavimento a reparar sea el de un rodaje, de una plataforma o de una pista auxiliar, y que el tráfico de los aviones pueda ser canalizado por otro elemento del aeropuerto. En muchos casos será pues necesario efectuar los trabajos de mantenimiento durante la noche y habrá que proveer de un buen equipo de iluminación para su mejor realización.

7.2. Tipos de mantenimiento.

En México, se practican con dos tipos de mantenimiento principalmente: preventivo y correctivo.

7.2.1. Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo, es aquel que nos da 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. Sin olvidar, que los resultados obtenidos a cambio, permiten disminuir las erogaciones en reconstrucciones de infraestructura que sin lugar a dudas son mucho más costosas.

Ante esta situación, las compañías aéreas tendrán por objetivo recabar mayor capital tanto para sufragar sus gastos, como para pagar los servicios utilizados en el aeropuerto.

En México, se utilizan básicamente dos procedimientos en pavimentos asfálticos:

1. Aplicación de **riegos de emulsión asfáltica** para sellar y reactivar carpetas oxidadas y con leve presencia de desprendimiento de partículas.

Es una técnica confiable aunque en ocasiones se llegan a tener dificultades derivadas de variaciones en la calidad de los cementos asfálticos proporcionados por la empresa estatal Petróleos Mexicanos, afectando a la propia calidad de las emulsiones.

2. Aplicación de **morteros o lechadas asfálticas (slurry-seal)** en espesor desde 6 mm hasta 15 mm para restituir superficies que ya presentan desprendimiento generalizado o sellar pavimentos envejecidos con agrietamiento fino difuso.

Adicionalmente (y aun cuando no es precisamente un tratamiento preventivo) por el área que normalmente cubre y los efectos que tiene en el pavimento, debe considerarse el **repintado periódico de las marcas de norma sobre las pistas**.

Las pinturas para marcas de tránsito están fabricadas con hule clorado y solventes volátiles. Cuando se aplican sobre pavimentos asfálticos con cierto grado de oxidación, normalmente no se produce algún efecto nocivo.

En los aeropuertos, cuando se efectúa la colocación de una sobrecarpeta o un mortero asfáltico, la pintura de las diversas marcas que deben tener las pistas u otras áreas de operación aeronáutica ha de aplicarse en cuanto el trabajo se termina, sin dar tiempo a que la superficie se oxide.

La reacción que se produce entre la pintura y las mezclas asfálticas provoca pronto agrietamiento de la superficie, que se ve seguido del desprendimiento de costras formadas por la propia capa de pintura y el mortero sobre el que se aplica, lo que daña la textura del pavimento.

En otros países, se tiene conocimiento de que se están empleando pinturas acrílicas en suspensión acuosa.

En el caso de pavimentos rígidos, se limita al sellado de agrietamientos y juntas de losas utilizando productos termoplásticos.

Debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, es necesario que cuando menos cada 3 años se limpien extrayendo de ellos tanto el sellado anterior como cualquier material extraño que se encuentre; en seguida, se vuelve a sellar la junta con un producto nuevo que garantice su funcionalidad.

Otra actividad que también puede catalogarse como parte del mantenimiento preventivo, tanto en pavimentos flexibles como en pavimentos rígidos, es la **remoción de caucho en la superficie del pavimento.**

La acumulación de caucho en las zonas de toma de contacto de las pistas, es el resultado de las operaciones de aterrizaje de los aviones y requiere una labor de conservación.

Los trabajos de conservación para afrontar este problema se reducen a la aplicación de productos químicos, que se expenden en el mercado, en el área de interés y hacer pasar una barredora mecánica con cepillos de alambre, que remueve fácilmente el caucho adherido.

7.2.2. 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 para su operación.

En pavimentos asfálticos, los más importantes son:

- **Bacheo, superficial o profundo.**

El bacheo superficial es relativamente sencillo, ya que los materiales y procedimientos utilizados para éste fin no plantean ninguna problemática especial; sin embargo, cuando se trata de bacheo profundo, llegando a niveles por debajo de la subrasante se plantea un problema que podría interpretarse como exclusivo de las pistas de los aeropuertos: por lo general se dispone de un tiempo muy breve para realizar el trabajo y siempre existe la condicionante de que debe ser bien ejecutado pues los aviones rodarán sobre la zona reparada poco tiempo después de terminarlo.

Esta circunstancia provoca que para asegurar la calidad de la reparación se opte por sustituir las capas de terracerías por un sólo tipo de material fácilmente compactable que por lo general corresponde a una grava-arena con características de sub-base. El reemplazo de la base y las capas asfálticas se hace con materiales similares a los existentes.

Pero, la presencia de un cierto volumen de características distintas al de su entorno propicia que el comportamiento de la estructura se altere. Por lo general ocurre que al cabo de cierto tiempo, la superficie antes y después de la zona reparada presente deformaciones aparentemente propiciadas por la presencia de materiales más rígidos enclavados en un cuerpo más suave. Esto, a su vez genera la presencia de zonas que se dañan y deben ser reparadas en ambos extremos.

El problema anterior se anula cuando se coloca una sobrecarpeta encima de las áreas reparadas.

- **Rejuvenecimiento de carpetas envejecidas.**

Existen en el mercado productos que hacen posible revertir el proceso de envejecimiento del asfalto que contienen las carpetas. Por citar uno de ellos tenemos el denominado "reclamite" que es una emulsión especial de aceites de petróleo y resinas, es decir, es una emulsión catiónica de maltenos, que devuelve las cualidades originales al asfalto, rejuveneciéndolo y proporcionando al concreto asfáltico, flexibilidad, ductilidad y una apariencia de nuevo.

Este producto se aplica fácilmente con cualquier tipo de pipa, equipada con barra espaciadora. La proporción en que se recomienda aplicar el producto "reclamite" es de dos partes del producto por una parte de agua fría mezcladas perfectamente. La proporción a utilizar en un caso particular, dependerá de la pendiente del pavimento y de su grado de absorción.

El producto es de baja viscosidad, por lo que se puede emplear a cualquier temperatura superior a los 0° C, sin embargo, la temperatura ideal de aplicación es la de un clima templado y con pavimento seco. En pavimentos viejos se recomienda aplicar el producto, ya diluido, a razón de 0.45 a 0.95 lt/m². La necesidad de esta aplicación se hace patente cuando se observa la superficie del pavimento árida, con desintegraciones y/o con grietas de contracción, etc.

- **Renivelación de carpetas dañadas o deformadas.**

Las renivelaciones se deben hacer preferentemente cuando el clima sea templado (arriba de 10° C) y seco, ya que cuando una mezcla asfáltica se coloca sobre un pavimento frío, puede ser que la mezcla se enfríe, dificultando su compactación. El efecto de enfriamiento se incrementa si la mezcla se coloca en capas delgadas. Por otro lado, el asfalto y las mezclas asfálticas no ligan bien sobre superficies húmedas. Las mezclas que contienen asfaltos rebajados son lentas en curar cuando la humedad ambiente es elevada, debido a que el vapor de agua que contiene el aire no facilita la evaporación del solvente. También las bajas temperaturas retardan la evaporación del solvente.

En pavimentos rígidos:

- **Reparación de daños en borde o esquina de losas de concreto mediante morteros epóxicos.**

Para utilizar los morteros epóxicos se han seguido las recomendaciones de los fabricantes y se han ido asimilando las experiencias para preparar especificaciones particulares que han permitido definir:

- La geometría de las zonas por reparar.
- El tratamiento previo de la superficie.
- El efecto de la humedad ambiental en el proceso.
- El espesor mínimo para el tratamiento.
- El tiempo de fraguado requerido antes del paso del primer avión sobre la superficie reparada.

- **Reposición de fragmentos de losas mediante concreto hidráulico. Reposición de losas completas.**

Utilizando los resultados de pruebas de laboratorio para diseños teóricos de mezclas y las experiencias obtenidas se han elaborado especificaciones

particulares que permiten una formulación adecuada de mezclas de alta resistencia y rápido fraguado que combinan cemento Portland tipo III (de fraguado rápido), aditivos acelerantes y fibras metálicas (FIBERCON).

Considerando módulos de resistencia exigidos de 45 kg/cm^2 a la tensión por flexión, se logra, con estas mezclas, que a las tres horas de colocada la mezcla se obtengan valores del 30% y del 100% a las 72 horas, lo que permite que aún en el caso más crítico, que apenas entre 3 a 4 horas entre el colado y el paso de la primera aeronave se cuenta con dureza suficiente para que no se marque el dibujo de las llantas del tren de aterrizaje en la superficie reparada.

Tomando en cuenta el tiempo mínimo de fraguado, se han especificado en forma particular los tiempos mínimos que se requieren para una reposición completa de una fracción de losa o de todo un tablero, que no excede de 6 horas. En ese tiempo deben llevarse a cabo las operaciones de:

- Demolición de la losa.
- Limpieza de la superficie.
- Preparación y colado del concreto nuevo.
- Curado de la superficie mediante membrana impermeable.
- Limpieza del área de trabajo.

• **Refuerzo de pavimentos fallados utilizando sobrecarpetas asfálticas reforzadas con telas geotextiles.**

La idea de interponer geotextiles entre un pavimento rígido dañado y una sobrecarpeta, es seguramente evitar el reflejo de las grietas y juntas del pavimento original, ya sea provocando que las fisuras continúen su desarrollo en la interfase, lo que retardaría su desarrollo al seguir una trayectoria más larga, o bien, interponiendo una barrera que detenga la propagación vertical de las fisuras, ó inclusive, provocando la separación de la sobrecarpeta del pavimento antiguo mediante el geotextil.

Sin embargo, no se cuenta con normas suficientes para el control de calidad de los textiles, lo que ha traído como consecuencia la presencia de algunas fallas que se han traducido en un pronto reflejo de juntas de losas o agrietamientos de ellas en las carpetas, corta duración de las mismas y defectos en la adherencia de la capa sobre el geotextil.

Sin embargo, se han elaborado especificaciones particulares basadas en la experiencia, pero existe duda respecto a:

- El espesor adecuado de la capa total de refuerzo.
- El espesor de las capas parciales bajo y sobre la tela geotextil.
- La conveniencia o inconveniencia de ligas asfálticas sobre la tela geotextil.

7.3. Mantenimiento de las obras de drenaje.

El mantenimiento que se lleva a cabo en las obras de drenaje de un aeropuerto, no suele ser tan riguroso como en el caso de la estructuración del pavimento; debido a que es menos probable a que falle durante su vida útil, mientras que el pavimento esta sujeto a la acción de las cargas impuestas por las aeronaves y a la acción de diversos factores climáticos, entre otros.

Pensemos que sería muy difícil que una alcantarilla o quizás un subdren dentro del aeropuerto llegaran a obturarse por la presencia de un objeto de gran tamaño, como podría ocurrir en la red de drenaje de alguna colonia; más aún, sin olvidar que se dispone de rejillas de entrada en las alcantarillas y perforaciones tales en los subdrenes que impiden la entrada a cuerpos u objetos que llegaran a obturar estos conductos. Lo que origina que los trabajos de mantenimiento sean mínimos y principalmente consistan en:

- Aplicar periódicamente pintura vinílica a las rejillas para evitar su oxidación prematura debida a la presencia de agua y temperaturas extremas.
- Hacer revisiones esporádicas en los pozos de visita para observar el funcionamiento hidráulico en las alcantarillas y programar, si es necesario, labores de desazolvamiento para su correcto funcionamiento.
- Realizar trabajos de limpieza en zonas próximas a las rejillas. Es decir barrer, limpiar y/o cortar, basura o hierva que pudiera obstruir las perforaciones en las rejillas con el fin de facilitar la entrada del agua pluvial.
- Si es necesario, renivelar y/o cambiar las rejillas si se llevan a cabo trabajos de renivelación del pavimento durante su mantenimiento o reconstrucción.

La tarea más importante en las obras de drenaje es quizá en su etapa de construcción, la cual deberá apegarse conforme a proyecto, donde la supervisión juega un papel importante; especialmente en lo referente a su sección y pendiente, de los cuales dependerá, en gran medida, su buen funcionamiento a lo largo de su vida útil y garantizando un costo de mantenimiento mínimo.

7.4. Control de calidad.

El control de calidad se puede considerar como un conjunto de acciones, encaminadas para que un producto, elemento ú obra cumplan con el propósito para el que fue programado al menor costo posible.

Por ello, es lógico pensar que la calidad es el parámetro de aceptación que define si la obra, el elemento o producto está bien, está regular ó está mal construido, dentro de las variables establecidas.

Para que los resultados sean los esperados, la supervisión constante de la obra juega un papel importante para lograr la calidad buscada.

La supervisión es parte del proceso de control de calidad llevado por el contratista, o como procedimiento de aceptación por parte de la dependencia contratante.

El asegurar la calidad de un producto, puede entenderse como un sistema que va desde la planeación hasta la obtención del nivel deseado, por lo tanto se deben instrumentar procedimientos de control de calidad desde los departamentos de proyectos, precios unitarios, y obras, de tal forma que a su vez estos se retroalimenten entre si.

Pero, ¿Cómo saber si se ha alcanzado esa meta?. Para ello, se requiere un sistema de inspección, es decir un muestreo de materiales y pruebas dirigidos a los aspectos fundamentales de la obra, que permitan analizar las condiciones de la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos. Apegándose, desde luego, en las especificaciones que se manejen, pues fijan de un modo u otro las metas que se persiguen, los procedimientos de construcción, la forma de medición de los volúmenes de obra y la forma de verificar si se ha alcanzado lo que se desea (procedimientos de prueba y normas de calidad).

El control de calidad en aeropuertos interviene en todas las etapas de la obra, es decir, desde su proyecto y construcción hasta la operación y mantenimiento.

En la etapa de proyecto se deben hacer los estudios necesarios para saber con qué materiales se cuenta e indicar los tratamientos a los que deben estar sujetos para poder utilizarse en las diferentes partes de la estructura, es decir, la calidad influye en la cotización de materiales y por consiguiente en los Precios Unitarios. Cuando la obra esta en construcción se debe verificar que los materiales que lleguen a los diferentes frentes sean los adecuados, que se tengan los tratamientos y que se utilicen los procedimientos de construcción marcados en los proyectos; se deberá revisar la geometría horizontal, transversal y vertical, así como los espesores y posición de las capas. Cuando se presentan desviaciones se deberá informar de inmediato al ingeniero de obra para que se corrijan. Si se implementan estas acciones correctivas a tiempo será en beneficio de la obra, bien sea por parte de la empresa o por parte de la dependencia contratante.

En la conservación de las obras, el control de calidad interviene verificando el comportamiento que se vaya teniendo y recomendando las acciones que se deben desarrollar para que se tenga un funcionamiento adecuado, así como verificar la calidad de los materiales que se usen.

Debido a la gran variedad de datos que se tendrán en las distintas etapas de la obra, el control de calidad suele auxiliarse de la estadística, la cual puede aplicarse en el muestreo de materiales, programación de pruebas (tipo y número), en las etapas de diseño, en la evaluación de las obras durante la operación, en la formulación de las normas de calidad y en la aceptación de las obras.

Las especificaciones pueden hacerse con base en límites máximos o mínimos, a la desviación estándar o variabilidad de los resultados y frecuentemente se usan las tablas de aceptación estadística con base en valores medios y a desviaciones estándar, ya sea de las medias o de los valores de las muestras.

7.4.1. Control de calidad en pavimentos.

Se puede considerar el pavimento como la secuencia de las capas de sub-base, base y carpeta, las cuales son construidas sobre la subrasante.

Los materiales utilizados para su construcción pueden ser diversos, lo importante es que con ellos se logre una buena estabilidad.

Sub-base y base.

Una sub-base se diferencia de una base en su granulometría así como en los límites de Atterberg. Sin embargo, generalmente en la construcción de aeropuertos se utilizan materiales con características de base, para ello se utilizará material triturado parcial o triturado total con tamaño máximo de 38 mm (1 1/2").

Al pretender utilizar un material para base se deberá programar en el laboratorio de campo un muestreo y estudio de calidad correspondiente. A estas muestras se deberá analizar, entre otras cosas, lo siguiente:

- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Valor cementante.
- Equivalente de arena.
- Valor relativo de soporte.

Veamos a continuación como la variación de estas propiedades puede afectar a la capa base:

Una **granulometría** deficiente causada por falta de material fino, en principio va a tener problemas para poder armar la capa, tendrá bajo valor cementante y tenderá a desgregarse fácilmente. Por otro lado, cuando el material tiene faltantes en los tamaños gruesos inclusive intermedios se reflejará en la disminución del valor relativo de soporte.

Cuando existen estas deficiencias en la granulometría del material, lo conveniente es buscar materiales que den solución al problema. Algunos de los cuales son:

Los limos arenosos, que son buenos cuando faltan finos, las arenas gruesas, que se utilizan cuando faltan los materiales intermedios y cuando falta la porción gruesa se buscan gravas y en muchos de los casos se tendrán que someter a un proceso de trituración para cuidar el valor relativo de soporte que para aeropuertos en pavimentos flexibles es muy elevado.

Por lo que se refiere a la variación de los **límites líquido y plástico, el índice plástico y el equivalente de arena** se ve afectada por la presencia de arcillas, y la forma de mejorar estos valores es la introducción de un material fino inerte, como arena fina, cal, cemento, etc.

El valor cementante también se ve afectado por la falta de finos provocando con ello una baja consistencia en la capa erosionándose muy fácilmente si no se toman las medidas adecuadas.

Por lo que se refiere al **valor relativo de soporte**, ya se ha mencionado que una de las causas que provocan una variación de ésta propiedad es la granulometría. En la construcción de pistas se requiere utilizar materiales con resistencia a la penetración bastante altas. Por lo anterior se debe cuidar desde la selección de frentes de ataque en los bancos de material, así como, la apariencia y trituración del pétreo, que cumplan con los requisitos granulométricos requeridos.

Carpeta asfáltica.

Sabemos que la carpeta en un pavimento flexible está constituida por productos asfálticos, de los cuales se puede decir lo siguiente:

El laboratorio de campo deberá efectuar, principalmente, desde la localización de los bancos hasta el estudio de calidad de los pétreos localizados. Seleccionado el banco, se procederá a su explotación y trituración parcial o total del material. Durante esta etapa se programarán los estudios definitivos de las mezclas asfálticas.

A la muestra representativa del material pétreo se le someterá a los estudios de granulometría, contracción lineal, afinidad con el asfalto, desgaste, pesos volumétricos, densidades, absorción, etc.

Conocida su granulometría, se determina por algún procedimiento establecido, la cantidad de cemento asfáltico necesario para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Por citar uno de estos procedimientos, podemos mencionar el método Marshall que se aplica a mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria y en

caliente. El cual determina la "estabilidad", es decir la resistencia estructural de la mezcla compactada, que se ve afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado; se determina también el "flujo" que es la deformación que sufre la mezcla compactada hasta su fractura y es una indicación de la mezcla para alcanzar su condición plástica, y consecuentemente da la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por las aeronaves.

Una vez determinado el proyecto de la mezcla, este procedimiento Marshall puede ser usado para fines de control, es decir para seguir corroborando que con el porcentaje de cemento asfáltico determinado y con una granulometría dada se siguen obteniendo los valores de estabilidad y flujo esperados.

Carpeta rígida.

En las carpetas de concreto hidráulico es necesario controlar tanto la calidad de los materiales para su elaboración, como la ejecución de la obra; es decir, lo referente a dimensiones, recubrimientos y detalles constructivos. Teniendo especial cuidado en aquellos factores que pueden afectar la resistencia del concreto. Entre ellos podemos citar los siguientes:

- **Los agregados.**

La necesidad de contar con un control de calidad severo en la fabricación de concreto, hace indispensable conocer con detalle los agregados del mismo, ya que son el componente mayoritario y del cual dependen sus principales características. En obra resulta importante por lo tanto controlar tanto la calidad como la cantidad de los mismos.

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. El término agregado comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizada para preparar concreto.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado; por ello deben cumplir con ciertos requisitos como son: granulometría, impurezas orgánicas, reactividad con el cemento, resistencia al desgaste, pesos volumétricos, densidades, absorción con el agua, etc., para determinar su conveniencia en la fabricación de la mezcla.

De ahí la necesidad de contar con pruebas de laboratorio confiables, además de procesos que ayuden a mejorar la calidad de los agregados que no cumplen con las especificaciones deseadas.

Un aspecto importante que hay que mencionar es el correcto manejo y almacenamiento de los agregados pues ello nos conducirá a la creación de una buena mezcla. Para lograr esto se recomienda, entre otras cosas, lo siguiente:

- a) Tratar de hacer almacenes por tamaños.
- b) Evitar la contaminación de partículas extrañas tales como lodo, agua y escombros de la propia obra.
- c) Manejar a los agregados con el equipo adecuado.
- d) Cuando se hagan almacenes por montones se cuidará que se construyan por capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo.
- e) Cuidar de que no exista contaminación entre los almacenes.
- f) Cuando se descargue con banda transportadora y exista viento, se deberá colocar un deflector para evitar que este viento arrastre los agregados finos.

Al llevar a cabo estas recomendaciones, se tendrá la certeza de que se estarán utilizando materiales de una granulometría con un rango de variación estrecho; lo que conduce a un mejor control de calidad en la elaboración de la mezcla.

- **El cemento.**

El cemento, puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea sólo o en combinación con la arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer en virtud de que experimenta una reacción química con dicha agua; es por esto que se le denomina cemento hidráulico.

El cemento a usar es el cemento Portland, en el cual lo más importante es cuidar el almacén del mismo. Este almacenamiento se da en estructuras que estén protegidas contra la intemperie y con una ventilación apropiada que impidan la absorción de humedad. Si es a granel se debe hacer en los silos completamente aislados de humedad y con ciertas características de construcción; debiendo ser vaciados con frecuencia, preferentemente una vez por mes, impidiendo así la formación de costras de cemento. Si el cemento es envasado en sacos, se deberá apilar sobre plataformas con pasillos laterales, para permitir la circulación de aire. Para un período de almacenamiento de menos de 60 días, se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos de cemento, y para períodos mayores no deben

superponerse más de 7 sacos. Como precaución adicional, se recomienda que se utilice primero -hasta donde sea posible- el cemento más viejo.

Los agregados, su manejo y almacenamiento, así como el cemento, etc., introducen variaciones en el resultado de la resistencia del concreto hidráulico y estos resultados pueden ser reagrupados y estudiados estadísticamente, obteniendo con ello datos valiosos que permitirán lograr un mejor control en el proceso de elaboración de la mezcla citada.

Una vez elaborado el concreto hidráulico es sometido a las pruebas de revenimiento, compresión simple y/o tensión por flexión, principalmente, para conocer la calidad del concreto y ver si cumple o no con las especificaciones que marca el proyecto.

7.4.2. Control de calidad en las obras de drenaje.

Como se ha comentado, el control de calidad en aeropuertos se da en todas las etapas de la obra; pero para el caso que nos ocupa, que son las obras de drenaje, es en la etapa de construcción donde se acentúa con mayor fuerza.

En el capítulo V de este trabajo, se habló de las distintas obras hidráulicas empleadas en el sistema de drenaje en un aeropuerto; se hizo una breve descripción de ellas intentando resaltar lo más importante con el fin de conocerlas; de esa forma se estudiaron y conocimos sus características.

Hablar del control de calidad en ellas nos conduciría a hablar del control de calidad de cada obra en particular. Ese control iniciaría, al igual que en pavimentos, desde los materiales a usar para su construcción y culminaría en la etapa de mantenimiento, verificando que su funcionalidad sea la esperada y se mantenga constante a lo largo de su vida útil.

Es en la etapa de construcción donde la supervisión juega un papel sumamente importante respecto al control de calidad de estas obras. Por ejemplo, si la obra de drenaje se tratara de un cárcamo de bombeo de concreto reforzado, el control de calidad abarcaría desde el estudio de los materiales a usar para la elaboración del concreto, verificar que la calidad del concreto sea la especificada, supervisar que los detalles de armado sean los indicados, además de checar que las dimensiones del cárcamo sean las fijadas, etc.

Cabe destacar que la labor de un topógrafo, independientemente de la obra de drenaje de que se trate, se hace indispensable y vital para un control de calidad adecuado y eficaz. Pensemos, por ejemplo, en la construcción de un sistema de subdrenes bajo una pista, para abatir el nivel de agua freática existente en esa zona. El topógrafo supervisará que la pendiente del tramo en construcción, de dicho

sistema, corresponda a la indicada en el proyecto, además, verificará que su alineamiento sea el que se fijo en los planos.

Por lo tanto, podemos decir que es en la etapa de construcción donde se debe poner especial atención al construir estas obras; pues como sabemos, al diseñar un sistema de drenaje se busca que funcione con un costo de mantenimiento mínimo, y para lograrlo se requiere un control de calidad esmerado que garantice su funcionalidad.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del presente trabajo desarrollado como tema de tesis; me permito desglosar una serie de conclusiones, que a mi juicio, cabe señalar.

El ingeniero encargado en el proyecto de pavimentos se enfrentará a una gama de problemas que tendrá que afrontar y resolver, buscando las soluciones más adecuadas que permitan el logro de un fin común; es decir, proyectar y construir un pavimento que garantice su funcionalidad y operatividad dentro de un aeropuerto a lo largo de su vida útil.

Algunos de esos problemas van desde modificar las propiedades del material existente, para hacerlo cumplir mejores requerimientos y pueda así, ser utilizado para la estructuración del pavimento, hasta la misma elección del pavimento a construir; que como se vio, se auxilia de dos criterios de selección: el estructural y el de costos; sin perder de vista las ventajas y desventajas que guardan estos pavimentos, las cuales se resumen a continuación:

CONCEPTO	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO FLEXIBLE
1. Calidad de rodamiento	Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre losas suelen ser fuente permanente de problemas.	Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento.
2. Funcionalidad	Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser mas ventajoso. La falla mas común se manifiesta por agrietamientos, los cuales no suelen afectar la funcionalidad.	Cuando el tránsito es intenso suele ser común la formación de baches y roderas, que afectan seriamente la funcionalidad del pavimento.
3. Agrietamiento	Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas. Sin embargo, estas suelen ser de poca trascendencia.	El agrietamiento suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento.
4. Mantenimiento	En términos generales, los trabajos de mantenimiento en el pavimento rígido son mucho menores comparados a los existentes en los pavimentos flexibles.	
5. Oposición al derrape	En ambos tipos de pavimento se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial del pavimento rígido suele ser mas estable que la del flexible.	

6. Facilidad de reparación	Requiere alta especialización.	Es relativamente sencilla, sin embargo, en aeropuertos con mucho tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada.
7. Visibilidad	En general la visibilidad es mejor en el pavimento rígido que en el flexible.	
8. Durabilidad	Substancialmente mayor la del pavimento rígido que en el flexible.	
9. Construcción por etapas	No aplicable a este tipo de pavimento, a menos que se recurra a capas bituminosas.	Muy favorable.
10. Costos	Los costos de construcción inicial son mayores, siendo en cambio menores los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en cada caso.	Posibilidad de diferir inversiones al construir por etapas.
11. Confiabilidad	En condiciones críticas ó particularmente difíciles, el pavimento rígido ofrece mayores garantías que el flexible.	

Definido el tipo de pavimento a construir (flexible o rígido), se procede al diseño de espesores del mismo. Para ello, la F.A.A. proporciona un método de cálculo rápido y sencillo; mismo que se utilizó en la solución de los problemas de diseño de pavimentos planteados en este trabajo.

Una vez diseñado el pavimento, hay un aspecto que debemos cuidar y estudiar. Me refiero específicamente al agua procedente de diversas fuentes, que puede atacar muy severamente al pavimento condenándolo a una rápida destrucción; misma que debe ser evacuada a través del sistema de drenaje del aeropuerto ó de lo contrario se tendrá un costo elevado en su mantenimiento y/o reconstrucción.

Para prever esta situación, se efectúan una serie de estudios necesarios que aporten información suficiente que permita buscar una solución adecuada a este problema. Dentro de esos estudios, el estudio hidrológico es, sin duda, el más importante pues será la base sobre la que se apoyará el sistema de drenaje, ya que definirá el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto y por lo tanto la problemática que se generará al construirlo y que habrá de resolverse mediante el proyecto.

Conocida la cantidad de agua a evacuar a través del estudio hidrológico, se pasa al diseño de las distintas obras hidráulicas que formaran parte del sistema de drenaje del aeropuerto; auxiliándose, desde luego, de conceptos hidráulicos y métodos de diseño para su solución.

El contar con un buen sistema de drenaje garantiza una vida útil del pavimento tal como se planeo; además contribuye a la seguridad de los usuarios y a la operatividad de las aeronaves dentro del aeropuerto.

Sin embargo, estas obras al estar en operación, se van deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Esos deterioros, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra, que aceleran su falla; por lo que para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

En nuestro país se practican dos tipos de mantenimiento principalmente: preventivo y correctivo. El primero nos da la oportunidad de implementar en la operación de la infraestructura aeroportuaria programas de rehabilitación y conservación menor, cuya finalidad es incrementar la vida útil de la infraestructura en condiciones de operatividad adecuadas y seguras. El segundo es aquel en donde se tiene que realizar reestructuraciones completas de la infraestructura, ya sea por falta de un adecuado mantenimiento preventivo o por problemas de otra índole.

En el séptimo capítulo de esta tesis, se trató con mayor detalle las labores de mantenimiento a realizar tanto en los pavimentos como en las obras de drenaje; además de recomendaciones de carácter general que se hicieron en su oportunidad. Creo que es importante mencionar el papel fundamental que juega el control de calidad, pues de él, las obras en este caso el pavimento y las obras de drenaje, cumplirán con el propósito para el que fueron programadas; siendo la supervisión constante de la obra la clave principal para lograr la calidad buscada.

Finalmente quiero mencionar, que esta tesis pretende apoyar a los estudiantes de Ingeniería Civil que cursan materias afines a las Vías Terrestres, para que encuentren en ella, algunos conceptos que puedan resolver los problemas más comunes en el diseño de pavimentos.

En lo personal, considero esta tesis como un reto, ya que es el primer trabajo "profesional" que presento en espera de obtener el título de **Ingeniero Civil**.

BIBLIOGRAFIA.

- 1). Elizondo Ramírez Alfonso. **Proyecto de drenaje para aeropuertos.** México, 1997.
- 2). Carmona. **Aerodinámica y actuaciones del avión.** Ed. Paraninfo. España, 1996.
- 3). **Apuntes de la clase de aeropuertos.** Ing. José Arturo Reyna Galindo. Facultad de Ingeniería, 1996.
- 4). Tesis profesional: **Aspectos generales de los pavimentos de aeropuertos.** Edgar Eduardo Gallardo Garcia. Octubre de 1996.
- 5). Olivera Bustamante. **Estructuración de vías terrestres.** Ed. Limusa, 1995.
- 6). Juárez Badillo Eulalio. **Mecánica de suelos. Tomo I.** Ed. Limusa, 1995.
- 7). Tesis profesional: **Construcción y mantenimiento de pavimentos.** Martínez Rosete Edith. 1995.
- 8). Horonjeff. **Planning & design of airports.** Cuarta edición. Ed. Mc. Graw Hill, 1994.
- 9). Comisión Nacional del Agua. **Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario.** Segunda versión, octubre 1994.
- 10). Rico Alfonso. **La ingeniería de suelos. Volúmen 2.** Ed. Limusa, 1992.
- 11). Lara Gonzales Jorge Luis. **Alcantarillado.** Departamento de Ingeniería Sanitaria. México, 1991.
- 12). A. Jiménez Salas. Décima conferencia Nabor Carrillo. **"Suelos expansivos en la República Mexicana y el caso de la Ciudad de Querétaro"**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1990.
- 13). Juárez Badillo Eulalio - Rico Rodríguez Alfonso. **Mecánica de suelos. Tomo III. Flujo de agua en suelos.** Limusa, 1989.
- 14). Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. **Construcción especializada en geotécnia.** 1989.
- 15). Frederick S. Merrif. **Manual del Ingeniero Civil.** Ed. Mc. Graw Hill, 1988.
- 16). Anderson. **Introducción a la topografía.** Ed. Mc Graw Hill, 1988.

- 17). Tesis profesional: **Obras de drenaje**. Martínez Roseeth Ivet. 1988.
- 18). **XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Volúmen 2. Tema: empleo de fibras textiles en pavimentación**. Expositor: Carlos Fernández Loaiza. Mazatlán, 1988.
- 19). Bernard Herrera. **Elementos de fotogrametría**. Ed. Limusa, 1987.
- 20). Barry. **Topografía aplicada a la construcción**. Ed. Limusa, 1985.
- 21). **Mantenimiento y operación de aeropuertos**. Curso de la División de Educación Continua (C.D.E.C.). Tema: criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles. Expositor: Ing. Rodolfo Tellez. 1985.
- 22). **Mantenimiento y operación de aeropuertos**. C.D.E.C. Tema: Estudios especiales para la evaluación de la resistencia y de las condiciones superficiales de los pavimentos. Expositor: Ing. Eugenio Ramírez. Julio 1985.
- 23). **Ingeniería de aeropuertos**. C.D.E.C. Tema: Pavimentos flexibles. Expositor: Rosendo Roldan González. Junio 1985.
- 24). **Ingeniería de aeropuertos**. C.D.E.C. Tema: Control de calidad. Expositor: Rosendo Roldan González. Junio 1985.
- 25). **Proyecto de aeropuertos, parte 1**. C.D.E.C. Tema: proyecto de pavimentos rígidos y flexibles. Expositor: Ing. Francisco Jiménez Zuñiga. 1985.
- 26). Morales García Alfonso. **II Seminario de Ingeniería Sanitaria. Método del Road Research Laboratory**. 1983.
- 27). Crespo Villalaz Carlos. **Vías de comunicación**. Ed. Limusa, 1982.
- 28). Juárez Badillo Eulalio. **Mecánica de suelos. Tomo II**. Ed. Limusa, 1980.
- 29). Moncayo Jesús. **Manual de pavimentos**. Ed. Continental, 1980.
- 30). Horonjeff. **Planificación y diseño de aeropuertos**. Ed. Mc Graw Hill. 1976.
- 31). **Drenaje en carreteras y aeropuertos**. Publicación 315 del Instituto de Ingeniería. UNAM. México, 1973.
- 32). López Francisco- Pedraza Munera. **Aeropuertos**. 1957.