

127

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



PLANEACION Y CONSTRUCCION DE  
AEROPUERTOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
RUIZ LUIS GABRIEL

2001 5003

DIRECTOR DE TESIS. ING. FEDERICO DOVALI RAMOS



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/056/01

Señor  
**GABRIEL RUIZ LUIS**  
Presente

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

**"PLANEACION Y CONSTRUCCIÓN DE AEROPUERTOS"**

- INTRODUCCION**
- I. PLANEACIÓN DE AEROPUERTOS Y OBJETIVOS**
  - II. LOCALIZACIÓN Y PLAN MAESTRO**
  - III. DRENAJE Y PAVIMENTOS**
  - IV. EDIFICIO DE PASAJEROS**
  - V. PROYECTO EJECUTIVO**
  - VI. 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 13 de marzo de 2001  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GPB/GMP/mstrg

## Agradecimientos:

Quiero agradecer a quienes me heredaron el tesoro más valioso que pueda darse a un hijo, a quienes han sacrificado una gran parte de su vida que me han formado y educado, a quienes la ilusión de su existencia ha sido educarme para convertirme en una persona de provecho, a los seres universalmente más queridos, a mis amados padres:

Pablo Ruiz Flores y Sabina Luis Morales.

A mis hermanos y hermanas, por las grandes pruebas de la vida, de grandes necesidades, de increíbles alegrías, de juegos y trabajos, por la comprensión y apoyo brindado durante la realización de mis estudios.

Gracias al Ingeniero Federico Dovali Ramos, por todo el apoyo que me ha brindado, por su confianza, por el tiempo tomado para las correcciones y por su gentileza durante la realización del trabajo.

A mis amigos incondicionales, los compañeros de estudios, de prácticas y trabajos, de fiestas y convivencias, todos aquellos que contribuyeron para poder seguir adelante con la única meta de ser mejores siempre.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería y a sus profesores, por haberme brindado la oportunidad de convertirme en una persona con profesión, por transmitirme sus invaluable conocimientos, por sus excelentes laboratorios.

Gracias, mil gracias.

## INDICE

	pags.
Introducción	
Capitulo I:Planeación de Aeropuertos y Objetivos.	
I.1 Objetivos de la Planeación-----	1
I.2.-Tipos de Planeación-----	1
I.3.-Planeación de un Aeropuerto-----	5
I.4.-Clasificación y Tipo de Aeropuertos-----	12
Capitulo II.- Localización y Plan Maestro.	
II.1.-Localización-----	15
II.2.-El Plan Maestro-----	17
II.3.-Pista-----	21
II.4.-Calles de Rodaje-----	32
II.5.-Plataformas y Edificio de Pasajeros-----	34
Capitulo III.- Drenaje y Pavimentos	
III.1.-Análisis Lluvia - Esguimiento-----	36
III.2.-Sistemas de Drenaje-----	39
III.3.-Pavimentos Flexibles-----	50
III.4.-Pavimentos Rígidos-----	58
III.5.-Ejercicio de Diseño de Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos-----	71
Capitulo IV: Edificio de pasajeros	
IV.1.-El Proyecto Geométrico del Edificio de Pasajeros-----	75
IV.2.-Distribución de las Instalaciones-----	79
IV.3.-Sistema de Tratamiento de Pasajeros para Vuelos Comerciales-----	82
IV.4.-Sistema de Manejo de Equipajes para Vuelos Comerciales--	83
Capitulo V: Proyecto Ejecutivo	
V.1.-Proyecto General de Geometría-----	88
V.2.-Proyecto Arquitectónico-----	99
V.3.-Proyecto de Instalaciones-----	102
V.4.-Proyecto de Obra Civil-----	105
Anexo "A".....	110
Anexo "B".....	116
Conclusiones.....	120
Bibliografía.....	122

## INTRODUCCION

En los inicios de la aviación civil los aeropuertos eran generalmente propiedad de las autoridades locales o de organizaciones privadas. El incremento masivo del volumen de pasajeros, requirió de la ampliación de los edificios de pasajeros, al propio tiempo, el aumento del peso y la complicación de las aeronaves exigieron mayores inversiones para la ampliación de las pistas de vuelo, calles de rodaje y las plataformas de estacionamiento; paralelamente fueron necesarias ayudas a la navegación y sistemas de aterrizaje. Estas exigencias estuvieron, por lo general, fuera de la capacidad de financiación privada, por lo que la propiedad privada de los aeropuertos tendió a desaparecer, excepto en los pequeños aeropuertos. En los países en desarrollo, como México, los aeropuertos son propiedad del estado y se explotan por organismos centralizados que pertenecen a la estructura de gobierno de la nación.

A partir del momento en que la aviación sufre un acelerado desarrollo, se han requerido más instalaciones para dar solución a los requerimientos de las demandas que estos establecen, tanto en la zona aeronáutica como en las zonas no aeronáuticas, se han incrementado los esfuerzos por añadir otras etapas de estudios más profundos para proyectar un aeropuerto más completo en la distribución de sus capacidades y servicios. Para ello resulta de esencial importancia contar con una gama de especialidades de la ingeniería capaces de enfrentar y resolver las necesidades presentes. Necesidades como el requerimiento de un aeropuerto en una comunidad, la ubicación, los espacios aéreos, la topografía del lugar, la meteorología, análisis de impacto ambiental. Previsión de demandas de pasajeros, la capacidad del complejo aeroportuario, el sistema de transporte que día con día aumenta, etc.

Por lo tanto, el proyecto de un aeropuerto se contempla en los estudios llamados de planeación como una respuesta a los niveles generales de cambio y necesidades que tendrá una zona o región donde se ubicará, los métodos empleados para obtener las demandas comprende la opinión, encuestas a futuro, y predicción por tendencias. La predicción por tendencias es simplista, dado que la técnica se basa en la experiencia del pasado y trata de continuar la curva de la demanda según los pronósticos generales de las condiciones dadas. El crecimiento de la demanda del transporte aéreo en un principio tendió a una curva exponencial durante períodos cortos que llevaron rápidamente a niveles de demanda inalcanzables, pero a largo plazo el crecimiento del transporte aéreo tiende a una curva logística el cual refleja las tasas de crecimiento de la demanda en el punto en que se introduce una nueva tecnología.

Con estos datos y junto con otros estudios de la planeación se plantean las instalaciones y servicios de un aeropuerto por lo que se hace necesario conocer las características generales de los aviones que lo van a servir tales como: El peso de un avión para poder determinar la longitud de pista y el espesor de los pavimentos para pistas, calles de rodaje y de las plataformas de estacionamiento. La envergadura y la longitud de fuselaje influyen en las dimensiones de las plataformas de estacionamiento, que a su vez influyen en la ubicación y configuración del edificio de pasajeros. El tamaño del avión también condiciona la anchura de las pistas y de las calles de rodaje, así como las distancias que deben existir entre ellas. La capacidad de pasajeros condiciona las dimensiones interiores y adyacentes al edificio de pasajeros y la importancia de la longitud de pista consisten en que influye sobre el área de terreno que se necesita para desarrollar un aeropuerto.

En este trabajo se define la capacidad del aeropuerto, se establecen algunos factores que influyen en la misma y se describen los métodos para llevar a cabo el análisis de la capacidad aeroportuaria.

También se incluyen algunos métodos y procedimientos usuales para el diseño y construcción de los elementos que estructuran la unidad de el aeropuerto

Evidentemente, los requisitos de diseño para un aeropuerto dado deben reflejar el número, tipo y características operacionales de las aeronaves que va atender. La elección de la longitud de pista es una de las decisiones más importantes que ha de tomar el proyectista ya que en gran medida la longitud de la pista determina el tamaño y costo del aeropuerto y fija el tipo de aeronaves que atenderá.

La OACI refiere las dimensiones de la pista y las distancias a un código de referencia. Éste código tiene en cuenta las dimensiones clave de la aeronave de diseño, así como la longitud de pista necesaria para su despegue.

Las características de los aviones que utilizan un aeropuerto tienen un gran efecto en la capacidad de las pistas, calles de rodaje, de las plataformas de instalación de servicio, así como en las instalaciones del edificio de pasajeros, esto nos permite establecer porque el esquema del desarrollo de un aeropuerto no es tan fácil. Por lo tanto el efecto de la configuración cobra importancia, dado que los problemas de capacidad son posibles de resolver mediante un procedimiento flexible de diseño. El análisis de la capacidad, permite al proyectista del aeropuerto determinar el número de pistas necesarias para contemplar las posibles configuraciones y para comparar las diferentes soluciones. Debe tenerse en cuenta también que los congestionamientos y las demoras son consecuencia del mal servicio de cualquiera de los componentes del aeropuerto tanto del lado air como del lado tierra.

El proyecto del edificio de pasajeros requiere para su desarrollo una análisis del sistema de tratamiento de pasajeros y equipajes, así como de las áreas de servicio para las compañías aéreas y las instalaciones requeridas para el buen funcionamiento del aeropuerto. Los criterios de diseño del mismo deben tener muy en cuenta que existen varios tipos de usuarios que utilizan el aeropuerto, de esta forma podrá configurarse las instalaciones y el número de niveles que tendrá el edificio, este tema se extiende un poco más en el capítulo IV correspondiente a edificio de pasajeros.

El fenomenal crecimiento del tránsito aéreo ha incrementado la probabilidad de una reacción desfavorable de la comunidad, la evolución experimentada por las aeronaves ha causado un profundo efecto en cuanto a relaciones aeropuerto - comunidad. El tamaño y velocidad de aquéllos ha dado como resultado el incremento de las necesidades en las aproximaciones y en las pistas, mientras que la potencia de los motores ha originado casi inevitable incremento de ruido. De cara a estos problemas, el proyecto de un aeropuerto debe hacer frente a los que se derivan de asegurar el suficiente espacio aéreo para el acceso por aire, el suficiente terreno para las actividades en tierra y al mismo tiempo, el adecuado acceso a las poblaciones o región que ha de servir.

Otro de los puntos importantes que se deben considerar en el proyecto, son los estudios de impacto ambiental, ya que es uno de los factores que más afectan la ecología del lugar durante la primera etapa de construcción, y durante la operación del mismo, puesto que los daños se presentan con la exhalación de gases por medio de los motores en las operaciones de despegue, aterrizaje, pruebas y la contaminación provocada por el ruido de las turbinas. Dicho estudios se documentan dándose a conocer con el nombre de "manifiesto de impacto ambiental" el cual contempla todos los efectos negativos y positivos que se generarían con la construcción del aeropuerto, determinando de esta forma si es factible ubicarlo en el lugar o región con todas las ventajas y desventajas que generaría.

Por lo tanto la construcción o ampliación de un aeropuerto debe estar proyectado no sólo en un enfoque regional sino que también a nivel nacional o internacional dado que las características geográficas de un aeropuerto permitirán el flujo del tráfico aéreo internacional en forma de

conexión entre diferentes rutas. Cabe mencionar que las obras públicas, así como en los aeropuertos, la rentabilidad sólo se manifiesta a largo plazo ya que el desarrollo del mismo se tiene contemplado por etapas y hasta que no se termine este proceso de desarrollo por etapas se podrá permitir la observación de las utilidades.

También, es indispensable que durante la construcción de un aeropuerto se tenga previsto la optimización de los recursos disponibles y minimizar los costos de las operaciones, tomando en cuenta los factores económicos, políticos, sociales y de población de la zona geográfica, permitiendo de esta manera la rentabilidad del aeropuerto



## CAPITULO I: PLANEACION DE AEROPUERTOS Y OBJETIVOS

### I.1.- Objetivos de la Planeación

Planeación.- Es el proceso que consiste en un análisis documentado, sistemático y tan cuantitativo como sea posible, previo al mejoramiento de una situación o a los cambios que se van a realizar en un determinado lugar, como es el caso de la proyección de una obra civil.

Esta definición establece que para cambiar cualquier situación, previamente habrá que conocer tan ampliamente como sea posible la situación actual. No se podrá planear nada, si antes no se conoce el estado actual que guarda el problema por resolver. Por lo tanto:

Los objetivos de la planeación consisten en identificar y entender los problemas presentes , su propósito es plantear y definir las posibles soluciones así como la elaboración de los programas y diseños requeridos para pasar a la fase de ejecución . El plan o programa estará sujeto a ajustes o replanteamientos al detectar errores y variaciones en la estructuración de actividades.

### I.2.- Tipos de Planeación

La planeación en cuanto a su aplicación se puede clasificar en :

- I) Indicativa
- II) Imperativa

La planeación indicativa.- es aquella que se lleva a cabo en los llamados países occidentales, en el cual se deja actuar libremente la economía de mercado ( oferta y demanda ), indicando por medio de medidas de tipo fiscal la conveniencia de que los empresarios inviertan en una cierta zona, en cierto sector y en un determinado tiempo.

Por ejemplo, si tratamos la desconcentración industrial, para limitar el crecimiento de fabricas en la zona metropolitana de la ciudad de México, se indicará a los inversionistas la inconveniencia de instalarse mediante el pago de elevados impuestos, y por otro lado se les darán facilidades para instalarse en alguna ciudad industrial en las zonas en que se le requiera.

La planeación imperativa.- tiene lugar en los países socialistas, en los que las actividades productivas se llevan a cabo por total impulso y dirección del Estado. En este caso el gobierno central es el dueño de todos los medios de producción y por lo tanto no tiene que pedir opinión del capital, instala factorías y ordena el territorio de acuerdo a directrices centrales.

Por lo que respecta al área de acción la planeación se puede clasificar en:

- I) Global
- II) Sectorial

La global.- como su nombre lo indica es aquella que abarca todos los sectores de la economía, agropecuario, industrial y servicios. Necesariamente se contemplará desde un punto de vista macroeconómico.

La sectorial.- se ocupará solo de un sector de la economía , así por ejemplo se planeará el sector industrial, sin tomar necesariamente en cuenta a otros sectores.

En cuanto al tiempo la planeación se puede clasificar en:

- I) Corto plazo
- II) Mediano plazo
- III) Largo plazo

La primera abarcará periodos menores a 5 años; la segunda, periodos de entre 5 y 10 años; la tercera, periodos entre 10 y 20 años.

Frecuentemente, suelen usarse los conceptos de planeación, plan y programa, existiendo como se verá una marcada diferencia entre ellos.

Planeación.- El concepto de planeación involucra la necesidad de cambiar la situación actual por otra que se supone mejor, y para ello se generan "n" opciones de solución, éstas se evaluarán o sea se compararán entre si, para conocer sus ventajas y desventajas y posteriormente se implementará la mejor.

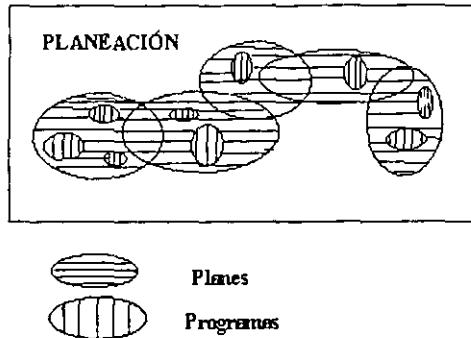
Plan.- Es el conjunto coherente de políticas, estrategias y metas. El plan constituye el marco general y formas de acción, deberá definir las prácticas a seguir y el marco en el que se desarrollarán las actividades. El plan será, en otras palabras los procedimientos a seguir.

Programa.- Es la ordenación en el tiempo y el espacio en que se ejecutarán las actividades del plan.

De lo anterior podemos afirmar, haciendo una analogía con la teoría de conjuntos fig 1.1, que la planeación es el universo de las acciones, y necesariamente tendrá uno o varios subconjuntos y estos serán los diferentes planes y cada plan tendrá un programa específico de cumplir.

Como ejemplo si tomamos el plan global de desarrollo, este es un plan macroeconómico que cubre todos los sectores económicos del país. Cada sector tendrá uno o varios planes, por ejemplo: el plan nacional hidráulico, el plan nacional de desarrollo urbano, el plan nacional de educación, el plan de energía, etc. Cada uno de éstos planes marcará la ruta o procedimientos para alcanzar metas sectoriales, pero todas ellas estarán congruentes con los lineamientos del plan global de desarrollo, todos por ejemplo, contribuirán al incremento sostenido del PIB, a lograr mejores niveles de bienestar etc, por lo tanto los planes pueden en muchos , y en ciertos casos intersectarse fig1.1.

Cada plan a su vez tendrá un programa que se deberá de cumplir, este programa indicará el inicio, duración y lugar en el que se deberán realizar los eventos ( construcción o implementación).



**Fig. 1.1. Planeación**

Una vez que se conocen estos conceptos básicos, se realiza la parte operativa del proceso de planeación, o sea los pasos que habrá de seguirse para poder planear adecuadamente la solución de diversos proyectos, y son los siguientes:

- a).- El conocimiento del proyecto
- b).- La necesidad y el interés por parte de la población de realizar el proyecto y su proyección a futuro, lo que implica la definición de un plan.
- c).- Un proyecto que sea la expresión concreta del deseo de la población.
- d).- Un estudio que valore las consecuencias del proyecto.
- e).- Un programa que ordene en el tiempo y el espacio el desarrollo de el proyecto.

Estos pasos se tratarán en la parte correspondiente a planeación de aeropuertos y en el plan maestro.

Existen algunos tipos de planeación usados como métodos de apoyo para la toma de decisiones, los cuales han sido manejados por diferentes enfoques como son:

**Planeación determinística** .- En este enfoque se dispone de un modelo de la realidad a cambiar, el cual se emplea bajo una función matemática  $Y = F ( X )$ , en donde las variables de entrada ( X ) están bajo control o son controlables. En este método, a cada valor de las variables de entrada, corresponden un solo valor de las variables del futuro determinado (Y).

Las ventajas que ofrece este método es que podemos conocer un futuro muy exacto matemáticamente si realizamos los estudios de requerimiento adecuados pero, existe la desventaja

de que el futuro deseado no siempre es en forma cuantitativo, en forma lineal como lo indica la función, si no que también puede ser en forma cualitativo y a esta forma se le asocian errores muy grandes.

Planeación probabilística.- consiste en que la selección del futuro deseado se basa en un riesgo calculado sobre bases probabilísticas, su desventaja es que son difícilmente cuantificables y mucho menos determinables

Planeación estratégica.- Ésta tratará de seleccionar un futuro, analizando los futuros factibles con la realidad actual contra el futuro diseñado deseado.

Este futuro seleccionado tratará de representarse en un modelo y de éste se obtendrán las políticas, estrategias, metodología y planes, para cada etapa de toma de decisiones, considerados de corto plazo.

En la planeación a mediano y largo plazo, el grado de incertidumbre es más amplio, mientras más variables se contemplen y el periodo de tiempo sea mayor; por lo tanto, en la toma de decisiones se tiende a disfrazar o posponer en la mayoría de los casos, por el temor natural al fracaso, y la planeación sin toma de decisiones oportunas no sirve de nada.

Planeación prospectiva o normativa.- Este sistema se basa en la premisa de que el futuro no se puede predecir, pero sí se puede diseñar.

La planeación normativa concibe el futuro no solo como resultado de las condiciones del presente y tendencias del pasado, sino también como objeto de diseño y por tanto elegible dentro de cierto rango.

Esta posición se debe sustentar con una buena investigación de la realidad, ya que de lo contrario se corre el riesgo de caer en utopías o de desviar la investigación sobre el futuro y olvidar las deficiencias que como requisito se deben salvar en el presente. Estas medidas tienen que ver con los ajustes necesarios para mejorar el funcionamiento del sistema. Al conjunto de las manifestaciones se le denominará problemática y problema al planteamiento global, debidamente fundado de la serie de deficiencias existentes.

La planeación normativa se inicia con los lineamientos hacia el futuro seleccionado, establece metas y secuencias (planes), desarrolla procedimientos y sistematización (metodologías), para todo ello establecerlo en programas, que serán implementados y operados. Cada etapa tendrá su subsistema de control (incluye los elementos de normatividad y la evaluación) para permitir la continua y oportuna toma de decisiones.

Este sistema esta integrado por tres subsistemas que son:

A).- Formulación del problema.- Tiene como función identificar los problemas presentes y los previsibles para el futuro, además de dar una razón de causa. Se subdivide en:

- A.1).- planteamiento del problema
- A.2).- Investigación de lo real
- A.3).- Formulación de lo deseado
- A.4).- Evaluación y diagnóstico

B).- Identificación y diseño de soluciones.- Su propósito es plantear y evaluar opciones, así como evaluar programas y diseños requeridos para la fase de ejecución. Se subdivide de la siguiente forma:

- B.1).- Generación y Evaluación de opciones
- B.2).- Formulación de bases estratégicas
- B.3).- Desarrollo de la solución

C).- Control de resultados.- Es el que reajusta los planteamientos al detectar errores en actividades y cambios en el entorno y se subdivide así:

- C.1).- Planeación de control
- C.2).- Evaluación de resultados

Planeación Inferencial.- Los procesos de planeación inferencial, aunque son metodológicos, no consideran directamente las leyes o patrones de conducta que se supone gobiernan la realidad, sino que obtienen indicadores indirectamente, a través de conceptos vivenciales de tomadores de decisión (experiencia), que influyen en los desarrollos o en las restricciones del futuro.

Todos estos métodos, en forma única o combinados, permiten el desarrollo de modelos de soluciones posibles que serán de mucha ayuda para los planeadores al generar en cualesquiera de estos métodos, gran cantidad de información que les proporcionan los horizontes de planeación futuros, posibles y deseables. Estos horizontes son líneas que determinan caminos y que nos indican hasta donde se puede ver, por lo tanto, debemos tomar los métodos de planeación como herramientas que pueden y deben ser usadas únicamente como marcos de referencia para resolver un problema predeterminado.

### **1.3.- Planeación de un Aeropuerto**

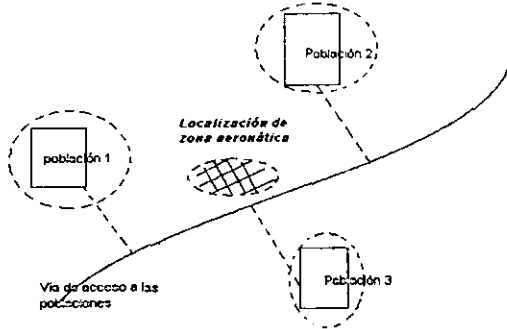
La planeación de un aeropuerto lleva consigo una amplia gama de actividades interdependientes entre sí, que representan diferentes necesidades para el funcionamiento del complejo. La falta de atención y análisis de tan solo una de esas actividades interdependientes, representará una limitante en la capacidad del complejo total.

El desarrollo de un proyecto aeroportuario requiere una serie de análisis de la demanda del transporte aéreo lo cual nos permite canalizar las posibilidades de: construir un aeropuerto donde no lo hay, ampliar uno ya existente, construir uno nuevo y cancelar el aeropuerto existente, o construir un aeropuerto nuevo sin cancelar el existente.

En el proceso de planeación se realizan estudios básicos para determinar las características físicas de la región (fig 1.2) y las necesidades propias del problema a resolver, basándose en el número de usuarios a los cuales va a servir el aeropuerto, su nivel socioeconómico, y las principales actividades económicas de la región.

Dentro de la planeación de un aeropuerto se realizan los siguientes estudios: espacios aéreos, meteorológicos, técnicos, hidrológicos, abastecimiento de servicios, efectos ecológicos etc.

**Fig.1.2: Estudios de planeación de un aeropuerto para una población**



**Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos**

### Estudios de espacios aéreo:

El objetivo de los espacios aéreos es delimitar superficies aéreas de obstáculos cercanas al aeropuerto, para permitir la operación con seguridad a las aeronaves que han de aterrizar o despegar en el lugar.

Cuando se estudia la región para localizar un aeropuerto nuevo o cuando se va a ampliar uno ya existente, debe de tenerse en cuenta la presencia de otros aeropuertos en el área. Los aeropuertos deben de situarse a una suficiente distancia uno de otro, para prevenir que los aviones que estén realizando operaciones de aterrizaje o despegue en un aeropuerto no interfieran con las operaciones de las aeronaves de los otros aeropuertos.

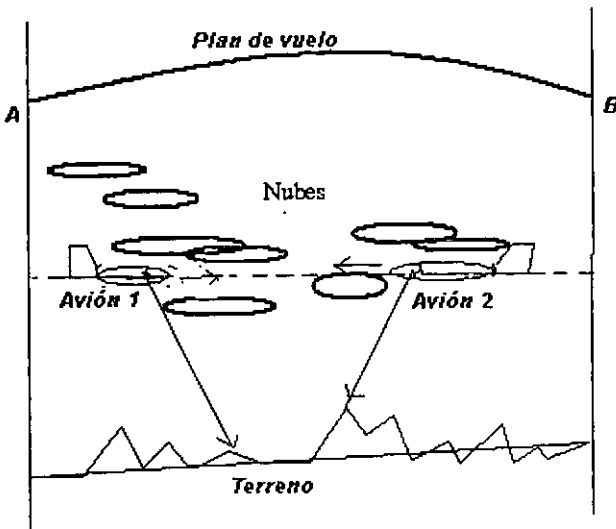
La disposición de varios aeropuertos en una área metropolitana puede tener gran influencia en sus respectivas capacidades . Si están situados muy cerca uno de otro pueden estorbarse entre ellos hasta el punto de que dos aeropuertos pueden llegar a no tener más capacidad , en condiciones IFR, que la que tuviera uno solo. Estos estudios deben presentar la posibilidad de que al final del desarrollo las instalaciones estén libres de obstáculos o puedan despejarse en el caso que existan.

La operación de las aeronaves se realiza mediante dos reglas, una en condiciones VFR (Reglas de vuelo visual ) y la otra en condiciones IFR ( reglas de vuelo instrumental )

El VFR opera en condiciones donde el piloto es dueño absoluto de las maniobras de la ruta que sigue, basándose en puntos de referencia visual en el terreno o en el cielo, y de ver y ser visto por otros aviones que tienen la misma ruta, misma altitud pero en sentido contrario, donde las nubes suelen ser o no un obstáculo.

En condiciones IFR el piloto se apoya en el control de tránsito aéreo y en las radio ayudas que le permiten una mayor seguridad tanto en el plan de vuelo como en las aproximaciones al aeropuerto, a su vez puede operarse en condiciones V.M.C e I.M.C.

V.M.C. (condiciones meteorológicas visuales), en donde el piloto no puede ver el terreno, pero si otro avión en sentido contrario. I.M.C (condiciones meteorológicas por instrumentos), se emplea cuando se encuentra en medio de capas de nubes donde no se ve el terreno ni otro avión ( Fig.1.3).



**Fig: 1.3: Reglas de vuelo VFR**

**Fuente: Apuntes de la materia de Aeropuertos**

## Meteorológicos

Los estudios meteorológicos son estudios climatológicos que incluyen fenómenos como los que se indican:

### Niebla

La niebla no presenta ningún peligro, o casi ninguno, durante el vuelo de crucero. Sin embargo la niebla es un peligro durante los despegues y aterrizajes, porque restringe la visibilidad cerca de la superficie de la tierra.

### Viento

La planeación de un vuelo eficiente, seguro y económico exige el conocimiento de los vientos en altura para calcular la velocidad sobre el suelo y el combustible que se consumirá.

Los vientos en superficie afectan las dimensiones de la longitud de pista de despegue y aterrizaje ya que la sustentación de las aeronaves es proporcional a la densidad del aire y ésta decrece al aumentar la altitud o la temperatura del aeropuerto por lo que las velocidades de despegue y aterrizaje han de aumentarse lo que supone una mayor longitud de pista.

### Tormentas

Generalmente todas las tormentas tienen las mismas características físicas. Pero naturalmente se diferencian en intensidad, grado de desarrollo y fenómenos meteorológicos asociados, tales como granizo, turbulencia o actividad eléctrica. Las de consideración son las tormentas eléctricas, ya que estas pueden causar accidentes o que los sistemas de ayuda a la navegación aérea sufran problemas de recepción y el granizo puede generar fallas en los motores o daños en las superficies aerodinámicas.

**Estudios técnicos.-** Estos estudios incluyen como son:

**Geotécnica y la mecánica de suelos.-** que determina el tipo de suelo, propiedades físicas e índices para determinar la capacidad de carga del suelo, asentamientos, deformaciones, bancos de materiales a emplear y sus tratamientos.

**Hidrológicos,** que se encarga de establecer los niveles de precipitación de la región, el régimen de los cauces existentes, así como la posibilidad de realizar cambios en su curso. Los registros de la precipitación se establecen a través de curvas de intensidad- duración, con los cuales se pueden obtener datos para la realización del análisis del sistema de drenajes. Los datos sobre la intensidad de precipitación en la zona pueden ser muy importantes en cuanto a que son un factor que afecta la visibilidad de la zona aeronáutica a la hora de realizar operaciones con las aeronaves.

**Abastecimiento de servicios.-** Estos estudios se realizan para conocer el nivel de recursos con que cuenta la región ya que la construcción de un aeropuerto, particularmente si es de grandes dimensiones, necesita de grandes cantidades de agua, energía eléctrica, sistemas de telecomunicación para control de tráfico aéreo, combustible para las aeronaves, etc.

La mayor parte de estos suministros llegan al aeropuerto mediante cables, camión, ferrocarril, barco o tuberías. Otro factor que debe tomarse en cuenta es el sistema de alcantarillado ya que debido a las distancias a las poblaciones no permiten que la descarga se realice al alcantarillado municipal, por lo cual se debe prever la construcción de una planta de tratamiento de las aguas residuales.



En el caso de la energía eléctrica, la mayor parte de los grandes aeropuertos deben de proveerse de sus plantas de generación de energía para casos de emergencia cuando el suministro de energía proveniente de alguna población cercana falte por uno u otro motivo.

El suministro de agua puede resolverse captándola por medio de fuentes como son ríos y lagos con un sistema de conducción de tuberías o a través de pozos sustrayendo el líquido de los mantos acuíferos pero, apoyados en base a unos estudios geohidrológicos.

Los accesos a los aeropuertos no sólo son necesarios para los pasajeros de las líneas aéreas, sino también para otros usuarios; tales como empleados, visitantes, transportes de mercancías y personas que tienen relaciones comerciales con el aeropuerto. Deben de considerarse todos los medios de acceso al aeropuerto, al igual que las posibles estaciones de transporte terrestre ubicadas en las poblaciones. Para ello resulta necesario tener una previsión de la distribución diaria de la demanda de pasajeros en cuanto a embarque y desembarque de los mismos, por lo menos en las horas críticas del día. Se debe canalizar el tránsito de vehículos y con ayuda de las normas de construcción de carreteras, definir la velocidad y el número de vías de acceso que se requieran.

Se debe prever el crecimiento del transporte aéreo porque el volumen de pasajeros puede llegar a ser tan grande que sería necesario tener en cuenta medios especiales de transporte para desplazar a los pasajeros al aeropuerto como sería el caso por ejemplo de trenes.

### **Socioeconómicos**

Estos estudios analizan las dimensiones que deben tener los terrenos para el desarrollo del aeropuerto, se deben tener en cuenta los costo de adquisición de terrenos ya sean expropiados o adquiridos y los efectos de población desplazada.

Disponibilidad de terrenos.- En un campo tan dinámico como lo es la aviación, resulta necesario adquirir o llegar a poder adquirir en el futuro el suficiente terreno para que el aeropuerto pueda extenderse o desarrollarse en sus diferentes etapas de desarrollo según lo marque la demanda del tráfico aéreo y las dimensiones de las aeronaves.

Se deben hacer estudios de los efectos de población desplazada para poder disponer de los terrenos del aeropuerto, ya que un proyecto de esta magnitud genera grandes beneficios y empleos en gran escala y debido a los efectos de la distancia de vivienda a la zona de trabajo la gente se asienta en las zonas cercanas al aeropuerto. La incompatibilidad del aeropuerto con la gente proviene principalmente de las objeciones ante los ruidos de las aeronaves, por lo tanto el análisis debe tomar en cuenta el nivel de ruido que se ha de generar en un futuro. Que las actividades industriales y comerciales no interfieran con las maniobras de las aeronaves, como por ejemplo generen perturbaciones electrónicas, podrían interferir con los equipos de navegación o de comunicación de las naves con el control de tráfico aéreo. El humo debilita la visibilidad, los terrenos de uso agrícola son apropiados siempre y cuando no atraigan pájaros que imposibiliten los despegues o aterrizajes.

### **Efectos ecológicos**

Se deben realizar estudios sobre las consecuencias que la construcción y funcionamiento de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno ya existente puedan producir en cuanto a la obtención de niveles aceptables de calidad de aire, agua, ruido, procesos ecológicos, de tal forma que puedan desarrollarse las actividades del aeropuerto de la forma más completa. El ruido es uno de los factores más fuertes a considerar ya que son los generalmente generan problemas con la población,

para lo cual se buscan formas para mitigar el ruido como construir motores de aviones que generen menor ruido, y hasta modificar los procedimientos de vuelo.

La contaminación del aire resulta ser nocivo para la salud de las personas, provocando enfermedades, reduce los niveles de visibilidad cuando se realizan operaciones, y genera efectos adversos en plantas y animales.

Los principales problemas que se deben considerar durante el proceso de construcción son los que van a presentarse en las diferentes etapas del desarrollo del proyecto, generalmente son del tipo como la erosión del suelo, el ruido provocado por la obra, desplazamiento de viviendas, la contaminación que genera la continua operación de las plantas para procesamientos como: trituración, obtención de productos de asfalto, cemento, etc. Y lo anterior se justifica considerando las dimensiones de dicha obra y los beneficios que a largo corto y largo plazo ha de proporcionar a la población.

Los resultados de los estudios ecológicos son presentados mediante un documento llamado "manifestación de impacto ambiental" en el cual se dan a conocer los impactos ambientales que se han de generar con la magnitud del proyecto así como sus posibles soluciones.

Dentro del documento se consideran los siguientes renglones:

- La magnitud del impacto que genera el proyecto
- Cualquier efecto adverso que no pueda evitarse en caso de realizarse el proyecto
- Posibles opciones del proyecto propuesto
- Consecuencias debido al crecimiento del aeropuerto
- Medidas para reducir al mínimo posible el impacto producido por el crecimiento.

Se debe hacer conocer también los desplazamientos urbanos y las consecuentes alteraciones ecológicas que se producirán en la zona y de producir cualquier efecto en áreas de cierto interés y de belleza panorámica.

Este proceso de planeación se inicia junto con los estudios mencionados en este apartado, con la recogida de datos sobre instalaciones y servicios existentes en otros aeropuertos y los datos necesarios para saber el número de usuarios que ha de servir el aeropuerto en base a los cuales se diseñará. Se deben establecer previsiones a corto y largo plazo para estimar las dimensiones que ha de tener el aeropuerto conforme la demanda aumente.

Las técnicas más sencillas de previsión de basan en las tendencias de volúmenes transportados en el pasado en otros aeropuertos. Las más complejas relacionan una demanda con un número de factores de aspecto social, económico y tecnológico, que influyen sobre la necesidad del transporte aéreo.

Se debe establecer un modelo de demanda que relacione las variables sociales, tecnológicas y económicas por una parte, y las de transporte aéreo por otra, lo cual puede basarse en características como de las tendencias pasadas y actuales de la demanda del transporte, historia de las variaciones de los factores económicos, sociales y tecnológicos sobre la demanda del transporte aéreo, hacer una relación de estos factores y proyectar la demanda a futuro

Convencionalmente, los métodos usados en la predicción pueden incluir datos de opinión y encuestas, así como predicciones por tendencias.

La opinión es una predicción juiciosa de un pronosticador que en condiciones de crecimiento reducido es efectivo, pero las posibilidades de éxito disminuyen conforme aumenta la complejidad de la situación si se requiere una predicción a largo plazo. Las encuestas se utilizan para conocer las tendencias de las poblaciones a utilizar un sistema de transporte aéreo, en base a su nivel socioeconómico y dentro de un amplio campo de intereses.

Las predicciones por tendencias resulta ser un método simplista, dado que la técnica se basa en la experiencia del pasado y trata de continuar una curva de la demanda según los pronósticos generales de las condiciones observadas. En tiempos pasados, el transporte aéreo mostraba un crecimiento exponencial con cifras de crecimiento de un 10% aproximadamente, el crecimiento exponencial continuó claramente durante un corto periodo, pero a largo plazo es más razonable esperar que el crecimiento en el transporte aéreo se asemeje más a una curva logística fig.(1.4), que es la curva históricamente convencional para una nueva tecnología. La curva exponencial lleva muy rápidamente a niveles inalcanzables de demanda, pero la curva logística refleja, las rápidas tasas de crecimiento de la demanda en el punto en que se introduce una nueva tecnología.

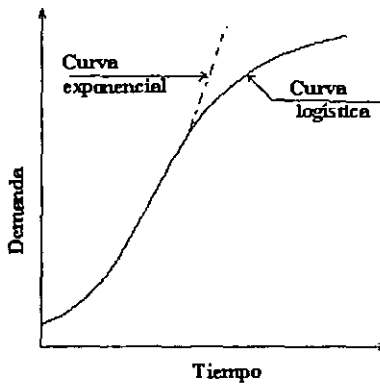


Fig 1.4 Curva logística

## I.4.- Clasificación y Tipos de Aeropuertos

### Clasificación de Aeropuertos

En cuanto a sus normas de trazado geométrico la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) y entre otras organizaciones gubernamentales como la Administración Federal de Aviación de E.U.A. (FAA) los clasifican en base a una clave de referencia de la zona operacional del aeropuerto utilizando diferentes criterios. En el caso de la OACI sus normas se publican en su Anexo 14 (Aeródromos ). Esta organización es producto de una conferencia entre 52 países en Chicago, E.U.A. en el año de 1944, con el objeto de regular los asuntos de transporte aéreo.

En el anexo 14, la OACI se ha ocupado en realizar los estudios de espacios aéreos y publicarlos para los efectos de proximidad a un aeropuerto. Estos estudios deben ser aceptados por los países miembros de la organización, donde las dimensiones de los aeropuertos dependen de la clave de referencia del aeródromo o zona operacional del aeropuerto lo cual esta en función del tipo y tamaño de avión de diseño que ha de operar en él, en el cual se le asigna una letra clave en función de la longitud de campo de referencia del avión, el cual es la longitud de pista que requiere dicho avión para despegar a nivel del mar, a peso máximo en atmósfera tipo, con viento y pendientes considerados nulos; y un número para clasificarlo en base a la envergadura de las alas y el ancho exterior entre ruedas del tren principal de aterrizaje

Tabla I.1: claves de referencia del aeródromo (OACI)

Elemento 1		Elemento 2		
No. De clave	Longitud de campo de referencia (m)	Letra clave	Envergadura (m)	Ancho exterior entre ruedas del tren de aterrizaje (m)
1	$L < 800$	A	$E < 15$	$Ac < 4.5$
2	$800 \leq L < 1200$	B	$15 \leq E < 24$	$4.5 \leq Ac < 6$
3	$1200 \leq L < 1800$	C	$24 \leq E < 36$	$6 \leq Ac < 9$
4	$L > 1800$	D	$36 \leq E < 52$	$9 \leq Ac < 14$
	>	E	$52 \leq E < 65$	$9 \leq E < 14$
	>	F	$65 \leq E < 80$	$14 \leq E < 16$

Fuente: Anexo 14 (Aeródromo) OACI

Por su parte la FAA para el diseño geométrico, clasifica a los aeropuertos de acuerdo a la actividad que desarrolla en aviación comercial y aviación general que a su vez se clasifica como:

Aviación general:

- Utilitario.- Como utilitario básico categoría I, utilitario básico categoría II, utilitario general.
- Transporte básico.
- Transporte general.

Los aeropuertos utilitarios la FAA los define como aquellos que son utilizados por aviones con un peso menor a 5700 kg. Un aeropuerto de transporte básico es aquel que puede acomodar aviones de turbina con un peso bruto de hasta 27300 kg.

Los aeropuertos dedicados al transporte aéreo comercial no tienen una clasificación específica. Los documentos de trazado geométrico se basan en las dimensiones físicas de la aeronave tales como la envergadura, la anchura del tren de aterrizaje y la distancia entre ejes, fig ( 1.5 ).

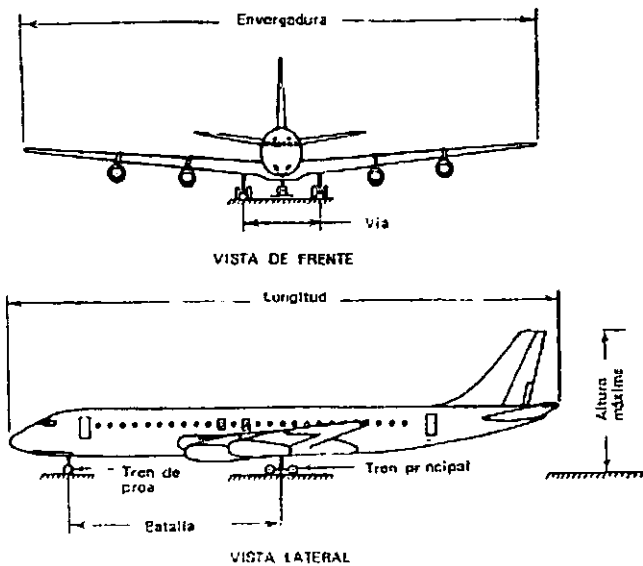


Fig. 1.5. Características físicas de un avión

## Tipos de aeropuertos

Una de las ventajas del transporte aéreo consiste en que el pasajero puede realizar viajes de tránsito en conexión dependiendo de la ruta que el tenga en origen y destino. La comunidad de acuerdo a su régimen socioeconómico es quien determina el número de pasajeros que han de utilizar el transporte aéreo, y las aerolíneas determinan la capacidad de vuelos para conectar al pasajero a otra dirección, conocidos como vuelos en conexión, permitiéndose una cobertura más amplia del transporte aéreo.

Por lo tanto, la comunidad determina de acuerdo su régimen económico, el tipo de aeropuerto que se tendrá en la región o zona y pueden ser:

- a) Turístico.
- b) Negocios industriales
- c) Negocios agropecuarios
- d) Integración, política(fronterizos), económico, social, étnico, etc.

**Aeropuertos turísticos.-** son los que reportan el incremento mayor anual de demanda, por lo que representan un gran impacto económico en las comunidades ya que están muy ligados con la cantidad de servicios disponibles al turismo como son: hoteles, centros comerciales, centros recreativos, zonas panorámicas, restaurantes y muchas otras atracciones propias de la zona.

En estos aeropuertos la mayoría de los pasajeros son personas que visitan el lugar y que influyen de una forma muy importante en el diseño y planeación del edificio de pasajeros, es por esto que el ingeniero proyectista debe tener una información bastante clara de lo que será un aeropuerto durante su etapa de desarrollo y de su vida útil.

**Aeropuertos industriales y agropecuarios.-** Generalmente este tipo de aeropuertos se ubican cerca de los centros industriales ya que los visitantes o pasajeros viajan a ellos con el único fin de realizar negocios, por lo tanto solo son gente de paso que no utiliza mucho equipaje

**Aeropuertos de integración, política(fronterizos), económico, social, étnico.-** La generalidad de estos aeropuertos es que su fin principal es la de unir las entidades que se encuentran muy alejadas de la región, permitiendo que los estados y el país se encuentre estables políticamente y económicamente.

La importancia de tener un aeropuerto en una zona donde se es requerido, permite que la comunidad tenga un sistema de vida más adecuado en cuanto a nivel social, económico, cultural y político.

## CAPITULO II: LOCALIZACION Y PLAN MAESTRO

### II.1.- Localización

El área de influencia de un aeropuerto depende en gran parte del interés del usuario reflejado en el tiempo y la distancia de transporte avión, por lo que en este capítulo se menciona el tipo de transporte que se podría usar, en función de la distancia de viaje (Tabla II.1).

Tabla II.1: distancia y tipo de transporte

Distancia (km)	Tipo preferente posible de transporte a usar
0-200	Transporte terrestre
200-700	Transporte terrestre o Transporte aéreo
700-1200	Transporte aéreo
D >1200	Transporte aéreo prácticamente único
Transcontinental ó Intercontinental	Transporte aéreo único

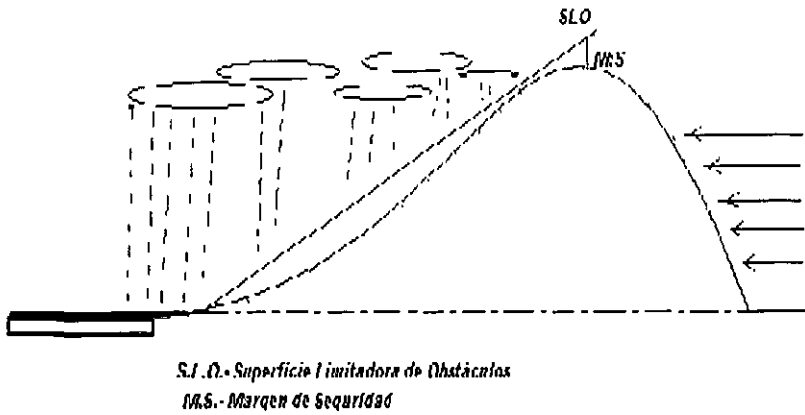
La selección de la zona conveniente para establecer un nuevo aeropuerto dentro de una misma región establece una serie de estudios básicos que servirán de guía a la hora de determinar la exacta localización y sus dimensiones.

Para localizar un aeropuerto en una población se analiza cada uno de los elementos de los estudios de planeación mencionados en el capítulo I.3 y se realiza un balance de ventajas y desventajas en cada zona o población, y se determina en que población o zona es factible ubicar la construcción de un Aeropuerto.

La localización de un aeropuerto debe de estar armonizada con la configuración del tránsito de sus aerovías si se desea que no se dé lugar a conflictos en las operaciones del tránsito aéreo.

La ubicación de un aeropuerto debe de seleccionarse de tal manera que las aproximaciones y ascensos en las pistas para su desarrollo final, estén libres de obstáculos o puedan despejarse en el caso de que existan. La disposición y protección de unas aproximaciones adecuadas al aeropuerto necesitaran restricciones de alturas en los alrededores del mismo y en línea con las pistas fig. (2.1).

En base a estos factores se debe dar mayor importancia a aquella localización en la que la construcción resulte más económica. La ubicación que se sitúa sobre terrenos con topografía muy accidentada ofrece más dificultades para construir sobre ellos y al mismo tiempo, la construcción resulta más costosa ya que necesitan mucho mas nivelación que los terrenos planos.



**Fig.2.1: Localización de un aeropuerto**  
Fuente: Apuntes de la materia de Aeropuertos

Las necesidades de construir pistas, calles de rodaje, plataformas de estacionamiento, edificio de pasajeros, caminos de acceso y estacionamientos, se originan a partir de un análisis de demanda y capacidad que pueda tener el aeropuerto.

De la capacidad requerida se obtiene el número, longitud y configuración de las pistas, ubicación de calles de rodaje, el número de posición de las aeronaves en las plataformas de estacionamiento, el tamaño del edificio de pasajeros, almacenes e instalaciones y servicios.

Como ejemplo de localización de un aeropuerto, en el plano de la fig.(2.2) se observa una opción de la zona de ubicación de un nuevo aeropuerto. Esta localización como se ha mencionado implicó un análisis muy detallado de los estudios de planeación y de las políticas existentes en la región, se consideraron las ventajas y desventajas de una serie de opciones y finalmente se elige la más factible. Los trazos de todas las alternativas posibles de accesos que puedan comunicar el aeropuerto, las dimensiones totales de terreno que ocupara el complejo, así como las comunidades que ha de servir y las zonas ecológicas existentes son reflejadas en el plano.





**Figura 2.2: Localización de un aeropuerto**  
 Fuente: Planos de localización de un aeropuerto

## II.2.- El Plan Maestro

El Plan maestro del aeropuerto es un concepto que explica el desarrollo total de la construcción de un aeropuerto predeterminado, incluye tanto la zona aeronáutica como la zona terrestre.

**Zona aeronáutica.-** Esta integrada por los elementos esenciales del aeropuerto como: las pistas, las calles de rodaje, las plataformas, torre de control, hangares, zonas de combustibles, etc.

**Zona terrestre.-** Se integra con todas aquellas instalaciones que forman parte del aeropuerto pero que no están ligadas directamente con las áreas de operación, son los edificios de pasajero y de carga, caminos de acceso, estacionamientos, etc.

El objetivo del plan maestro es establecer los elementos necesarios para la construcción del aeropuerto previendo la demanda de servicios y vuelos para el futuro, lo cual refleja la capacidad que debe tener el complejo durante los períodos de máxima demanda.

Por lo tanto el plan maestro es una guía que debe:

- a).- Desarrollar las instalaciones y servicios de un aeropuerto.
- b).- Desarrollar los terrenos del aeropuerto y del entorno del mismo
- c).- Determinar los efectos ambientales de la construcción del aeropuerto y de sus actividades

- d).- Establecer las necesidades de acceso.
- e).- Establecer la factibilidad económica y financiera de las actividades que se proponen.
- f).- Establecer un orden de prioridad y fases de desarrollo para todos los puntos que se insertan en el plan.

En las etapas del plan maestro, éste debe considerar en los sistemas básicos del aeropuerto los siguientes:

- espacios aéreos
- pistas plataformas y calles de rodaje
- edificio de pasajeros
- caminos de acceso
- almacenamiento y distribución de combustibles

Además el aeropuerto debe operarse como una empresa de tal manera que sea económicamente autosuficiente al generar ingresos mayores o iguales a los egresos, es decir debe ser autosuficiente. En la consideración de los ingresos, se deben contemplar los ingresos aeronáuticos y los no aeronáuticos. Los ingresos aeronáuticos son los que se derivan por la operación de los aviones como el uso de pistas y plataformas, servicio de combustibles, ayudas visuales, etc. Los ingresos no aeronáuticos son aquellos que se contemplan dentro o fuera del edificio de pasajeros como cafeterías, tiendas de autoservicio, los estacionamientos, etc.

La preparación del plan maestro se desarrolla con los datos obtenidos de los estudios básicos de planeación de la zona ya seleccionada para la ubicación del aeropuerto. Es muy conveniente consultar a las autoridades estatales y regionales para obtener toda la información referente a transporte, vías de comunicación, y otros servicios ya que son fuentes elementales para que funcione adecuadamente el complejo, y para evitar oposiciones al proyecto.

Para proyectar las instalaciones el planeador tiene que predecir el número de pasajeros, así como el número de operaciones y los volúmenes de carga, tanto anuales como en horas punta.

También, el conocimiento del número de movimientos anuales es necesario para estimar la magnitud de los ingresos que puede proporcionar la instalación.

#### Análisis de la Demanda – Capacidad

Bajo la predicción de la demanda para la construcción de un aeropuerto predeterminado que se sustenta para su desarrollo en diferentes fases, el ingeniero proyectista debe analizar una serie de opciones para el desarrollo, enfocado al análisis de una demanda -- capacidad.

El análisis de la demanda debe ser amplio y cubrir todas las áreas de operación, con detalle suficiente para permitir una estimación de las dimensiones de la instalación.

Algunas de las predicciones sobre las cuales se sustenta la demanda son:

- El número de operaciones ante la capacidad del control de espacios aéreos.
- Operaciones de aeronaves frente a la capacidad de los elementos que componen al aeropuerto.

- El movimiento de pasajeros para el desarrollo del edificio de pasajeros.
- El volumen de carga aérea frente a la capacidad del edificio de carga.
- Flujos del tránsito vehicular en los caminos de acceso

El análisis de la capacidad de un aeropuerto se lleva a cabo con dos finalidades 1) medir un forma objetiva la capacidad de los diferentes componentes de un aeropuerto atendiendo a los flujos de pasajeros y aeronaves previstos, y 2) evaluar las eventuales demoras que cabería esperar en el aeropuerto según los diferentes niveles de demanda.

Este análisis de la capacidad permite al proyectista determinar las posibles configuraciones que rigen la capacidad de un aeropuerto y comparar las diferentes opciones factibles.

La capacidad en la zona aeronáutica depende de una serie de condiciones existentes, tales como techo de las nubes y la visibilidad, control de tránsito aéreo, tipos de aeronaves, tipos de operaciones por hora, longitud de la pista, ubicación y tipos de calles de rodaje, y plataformas.

Conforme la demanda aérea tiende acercarse a la capacidad de la zona aeronáutica, la demora de los aviones crece de una forma importante, debido al congestionamiento que se genera por el desalojo de los mismos en las pistas o estacionamientos, dando lugar así a las llamadas demoras.

Por lo tanto la capacidad máxima es el número de operaciones que la zona aeronáutica puede aceptar durante un intervalo de tiempo específico cuando existe una demanda continua de servicio, sea pista, calles de rodaje y plataformas.

La demora de una aeronave se define como la diferencia entre el tiempo necesario para que un avión opere en un aeropuerto o en una parte de él, y el tiempo normal que requeriría para operar sin interferencias con otras aeronaves, caso específico de la pista de vuelo. Éste criterio es aplicable también al edificio de pasajeros.

El factor más importante y que afecta la capacidad de la pista de aterrizaje es la separación entre los aviones sucesivos, y que dependen a su vez de las apropiadas reglas de tránsito aéreo.

El proyectista dentro del plan maestro, debe situar todas las instalaciones y servicios del aeropuerto, como utilizarlos y establecer las demandas dentro y fuera del mismo. Debe establecer la forma de cómo se ha de utilizarse el espacio aéreo, la disponibilidad de ayudas a la navegación, y los medios de comunicación que han de servir al aeropuerto.

El plan maestro debe formularse en base a las previsiones a futuro. De esas previsiones de las demandas, se pueden establecer períodos de planeación a corto, mediano y a largo plazos.

El proyectista debe contemplar los tipos de aeronaves o aviones que operarán en el complejo, panorama que le permitirá establecer un horizonte de planeación que le definirá la forma y dimensiones de la pista, las calles de rodaje, plataformas, capacidad estructural de los pavimentos, la distribución de combustible y la ubicación del edificio de pasajeros.

También se deben considerar los efectos del desarrollo de la región ya que una obra de esta magnitud generará importantes actividades económicas.

Con estos datos el Ingeniero proyectista puede dar comienzo al diseño de geometría y distribución de los elementos que formarán en su conjunto la configuración del aeropuerto y en base a esta configuración generar un programa de obra civil que incluye a los proyectos arquitectónicos.

Con independencia del método usado, todo plan maestro debe estar basado en hipótesis y predicciones fundadas sobre una base de datos.

## Estructura de la memoria del plan maestro

La presentación se hace en forma de memoria en la que se describe:

### Demanda

- Predicción del número de pasajeros.
- Predicción del volumen de mercancías.
- Predicción del movimiento de aeronaves.
- Predicción de los movimientos de la aviación general y militar.
- Tránsito de vehículos en superficie por modos públicos y privados.

### Capacidad

Establecimiento secuencial y por etapas para adecuación de la capacidad al progreso de la demanda.

Lado aire: pistas de aterrizaje, calles de rodaje, plataformas, áreas de espera.

Edificio de pasajeros y de carga.

Lado tierra: formas de acceso y de estacionamiento.

En esta parte de la memoria se justifica la solución elegida para la configuración del lado aire y las razones para la ubicación de las instalaciones más importantes del aeropuerto.

### Presupuesto

Pistas de vuelo, calles de rodaje, plataformas y áreas de espera.

Edificio de pasajeros y de carga.

Ayudas a la navegación y torre de control.

Equipos e instalaciones auxiliares ( Combustibles, meteorológicos, contra- incendios, etc.).

Carreteras, estacionamientos y otras infraestructuras de acceso.

Instalaciones para la aviación general.

Areas de mantenimiento.

Se anexan planos como los siguientes:

Plano de localización

Plano de orientación

Plano de entorno con zonificación de uso

Plano regional con zonificación de uso

Plano definitivo de usos del terreno del aeropuerto.

Plano definitivo del aeropuerto

Planos de instalaciones de acceso

Planos de drenajes

Planos de proyectos y diseños

etc.

### II.3.- Pista

La pista se define como un área rectangular de un aeropuerto terrestre preparada y diseñada para el aterrizaje y despegue de aeronaves. Para la fase de construcción el plan maestro contempla elementos como número, orientación y dimensión de la pista. Para determinar estos elementos se requiere conocer los factores que permitirán localizar el mejor lugar para ubicar la pista, factores como viento, nubes, niebla, topografía, tipos de aviones que operaran en el aeropuerto y las características de los mismos incluyendo el ruido, previamente mencionados en el capítulo I.3.

El número de pistas se obtiene analizando el desalojo del tránsito aéreo en las horas críticas u horas pico, considerando el número de llegadas y salidas, tipo y número de aviones y el número de operaciones que se desarrollaran en el aeropuerto. La orientación se obtiene utilizando el llamado método de la rosa de los vientos cruzados, el cual proporciona datos como velocidades del viento y la dirección de éstos, además entre tiempos de alteraciones que ocurren con los cambios climáticos, el conocimiento adecuado de los vientos permitirá que la pista este lo mejor orientada.

El método de la rosa de vientos es un método gráfico que contiene los registros meteorológicos de cuando menos de un periodo de cinco años, en ésta gráfica las velocidades se registran con incrementos de 22.5 grados y las direcciones se referencian con respecto al norte magnético o norte verdadero.

Por regla general las pistas y las calles de rodaje se disponen de tal manera que proporcionen una adecuada configuración del tránsito aéreo, causen la menor interferencia y demora en el aterrizaje, rodaje y en las operaciones de despegue, proporcionen el menor recorrido entre el edificio de pasajeros y las pistas

#### Los principales elementos de una pista son:

- a) El pavimento que soporta los esfuerzos transmitidos por las ruedas del avión.
- b) Las márgenes laterales adyacentes al pavimento y que se proyectan para resistir la erosión del chorro de los motores y permiten el paso a los equipos de mantenimiento y vigilancia.
- c) La franja de seguridad de la pista.- Incluye el pavimento, las márgenes laterales y un área despejada, drenada y nivelada. Esta franja deberá servir de soporte en caso de que un avión se salga fuera del pavimento por una razón u otra.
- d) La zona resistente al chorro.- es un área diseñada para prevenir la erosión de la superficies adyacentes a los finales de pista, que están expuestos a sufrir los repetidos chorros de reactores, ésta área debe estar pavimentada. Se recomiendan longitudes del orden de los 60 metros y para aviones de fuselaje ancho la longitud puede llegar hasta los 120 metros.
- e) Área complementaria de seguridad.- es una prolongación de la franja de seguridad, la cual se dispone siempre que sea posible para reducir los accidentes de los aterrizajes cortos o de rebases de pista. La longitud deseable recomendada es de hasta 240 metros más allá de la franja de seguridad normal.

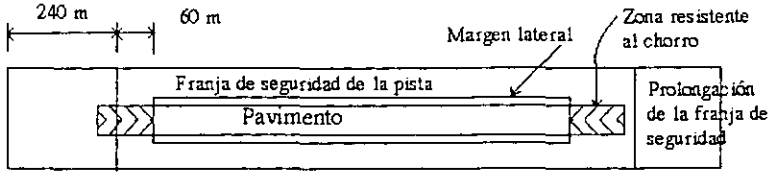


Fig. 2.4. Vista en planta elementos de una pista

Fuente: Planeación y Diseño de aeropuertos. Robert HoranJeff.

La FAA desarrolló dos modelos para estimar la capacidad práctica de las pistas, los modelos se basan en la teoría de colas en régimen permanente. Uno de los modelos estima para pistas que sirven solo para llegadas o salidas y el otro para las pistas que sirven para operaciones mixtas.

Para las pistas utilizadas exclusivamente para llegadas o salidas, el modelo es el de una cola única originada según una distribución de Poisson con la norma: "primero que llega, primero que se sirve". Para operaciones mixtas (pistas que se utilizan tanto para despegues como para aterrizajes), el proceso es más complicado y se desarrolló un modelo de "intervalos predeterminados de llegadas". En este modelo las llegadas tienen prioridad sobre las salidas para la utilización de las pistas.

Para definir la capacidad se utilizan dos intervalos de tiempo: horas y años. El primero se define como capacidad práctica horaria (PHOCAP) y el segundo como capacidad práctica anual (PANCAP). Tal como se indica en la figura (2.5), la PHOCAP se define como el número de movimientos de aviones que las pistas pueden acoger correspondiendo a un nivel aceptable de demora.

Para los modelos se considera que existen varios niveles de demora aceptables:

1.- Para aviones que despegan, en condiciones VFR (Reglas de vuelo visual), en pistas de operaciones mixtas y cuando más del 10% de los aviones son reactores de las clases A y B (Tabla II.2). Cuatro minutos.

2.- Para aviones que despegan, en condiciones VFR, en pista de operaciones mixtas y cuando el 10% o menos de los aviones son reactores de la clase A y B, tres minutos.

3.- Para aviones que despegan, en condiciones VFR, en pista de operaciones mixtas y cuando menos del 1% son reactores de la clase A y B, dos minutos.

4.- Para aviones que despegan, en condiciones IFR (reglas de vuelo con instrumentos), en pista de operaciones mixtas y sin tener en cuenta el tipo de avión, cuatro minutos.

5.- Para aviones que aterrizan, en condiciones IFR, en pistas de operaciones mixtas y sin tener en cuenta el tipo de avión, cuatro minutos.

6.- Para todas las llegadas en condiciones VFR, un minuto.

Algunos aviones se retrasan más de los niveles establecidos y otros menos.

Al aplicar los modelos, los aviones se clasifican tal como se muestra en la tabla II.2.

PANCAP es una ampliación del concepto PHOCAP y permite que el campo de vuelos se vea "sobrecargado" por cortos periodos de tiempo a lo largo del año. Una sobre carga se define como el periodo de tiempo en el que la demanda excede a la capacidad PHOCAP.

En los momentos en que se desarrollo la capacidad PANCAP, ésta se definió como el nivel de operaciones anuales en el que la sobre carga ocurre, para un 10% de las operaciones de las aeronaves o para un 5% del tiempo, tomándose el que produce el número más bajo de operaciones anuales. La demora media durante los periodos de sobre carga no puede exceder de ocho minutos.

La determinación de una capacidad PANCAP se muestra gráficamente en la figura 2.6. La capacidad queda establecida por el menor de los dos valores del número de movimientos anual de aviones que corresponde a  $PHO \times ADO = 40$  o  $POM \times ADO = 80$ .

El término ADO es la demora media durante las horas de sobre carga y no puede exceder los ocho minutos. POH es el porcentaje total de horas del año en el que la demora media excede la capacidad PHOCAP; POM es el porcentaje del total de movimientos de aviones en el año, que ocurren en las horas sobrecargadas.

Por lo tanto de acuerdo a la definición de capacidad anual  $PHO \times ADO = 5 \times 8 = 40$  y  $POM \times ADO = 10 \times 8 = 80$

TABLA II-2

Clase	Tipo de avión
A	Boeing, series 707,747,720 Douglas series DC-8 y DC-10 Lockheed, series L-1011.
B	Boeing, series 727 y 737; Douglas, series DC-9; BAC-111. Todos los grandes aviones comerciales de émbolo y turbo hélices.
C	Pequeños aviones comerciales de hélice como el Fairchild F-27 y reactores de negocios.
D	Aviones de aviación general con dos motores de hélice general y algunos modelos grandes de un solo motor.
E	Aviones de aviación general con un solo motor y de hélice.

Fuente: Planeación y Diseño de aeropuertos. Robert. Horonjeff

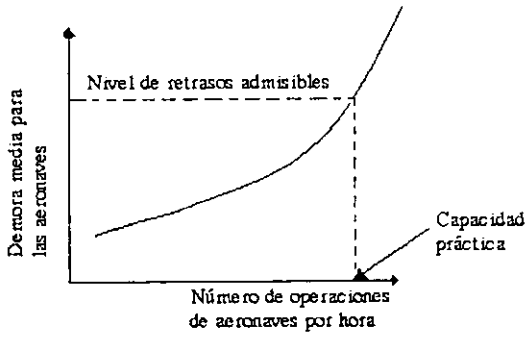


Fig. 2.5 Número de operaciones de aeronaves por hora.  
Fuente: Planeación y Diseño de Aeropuertos. Robert Horonjeff

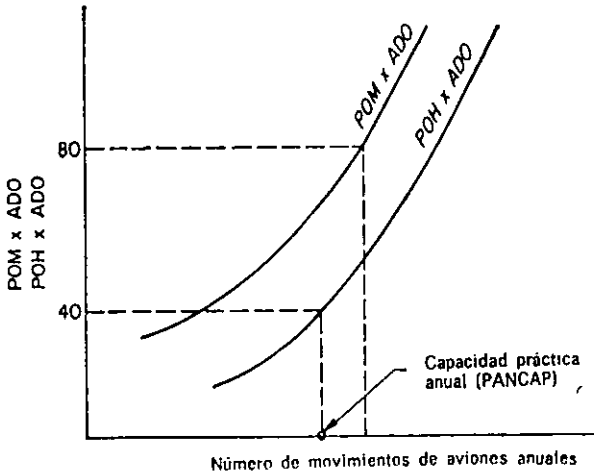


Figura 2.6: numero de movimientos de aviones anuales  
Fuente: Planeación y Diseño de Aeropuertos, R. Horonjeff



### Cálculo de longitud de pista:

Algunos datos adicionales de las aeronaves para el cálculo de la longitud de pista proporcionados por los manuales de vuelo del avión son:

- a) Peso total: En función de éste y de la configuración del tren de aterrizaje, se calcula la longitud real de la pista y se diseña el pavimento.
- b) Peso básico o vacío: es el peso propio de la aeronave sin sobrecarga alguna.
- c) Peso de operación: peso básico más peso de equipo fijo de vuelo, más tripulación, más combustible.
- d) Peso carga de paga: es lo que se requiere de un pago para su transportación y comprende a los pasajeros, mercancía, correo, etc.
- e) Carga útil: carga que paga, más combustible, más tripulación.
- f) Peso máximo de despegue: es con el que puede el avión efectuar con toda seguridad esta operación y es mayor que el de aterrizaje.
- g) Peso máximo de aterrizaje: es menor que el peso máximo de despegue, en una cantidad que depende del valor medio de combustible que se consume durante el vuelo. De este modo, el tren de aterrizaje puede diseñarse para soportar menores cargas de aterrizaje.
- h) Combustible requerido: se divide en combustible necesario para cubrir la ruta y combustible de reserva.

- Combustible para cubrir la ruta: Es la cantidad de combustible necesario para que el avión se traslade del aeropuerto de origen al de destino, y se da en función de la distancia, características de los motores, peso, altitud del vuelo, etc.;
- Combustible de reserva: Es una cantidad adicional con que se abastece el avión, con el objeto de que se traslade al aeropuerto alterno, cuando por cualquier motivo el de destino no pueda recibirlo. Se incluye lo necesario para cubrir además un tiempo máximo de 45 minutos de vuelo a cierta altitud.

**Aeropuerto alterno:** Es o son los aeropuertos que se asignan en el plan de vuelo y que tienen por objeto recibir a las aeronaves por cualquier motivo o circunstancia, cuando el aeropuerto de destino no pueda recibirlos.

Una vez conocidas las características de los aviones se utilizan métodos numéricos para calcular las longitudes de pista, métodos como:

#### 1. Método de corrección.

El método parte de la longitud del campo de referencia, según el anexo 14 de la OACI, que es la longitud de pista básica que el avión necesita a nivel del mar (Tabla 1.1). Las condiciones del método son: 1) a nivel del mar, 2) Viento en calma y 3) atmósfera standard dada por  $T = 15^{\circ}\text{C}$  o  $59^{\circ}\text{F}$  y una presión barométrica  $p_b = 1013 \text{ mb} \pm 760 \text{ mm hg}$ . Este método considera que en función de la clase y tipo de avión de diseño, se tiene una longitud básica sujeta a correcciones tomando en cuenta las condiciones locales como temperatura, altitud, y pendiente longitudinal.

**a) Corrección por altitud ( elevación).**

A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, la presión y la densidad del aire disminuyen lo cual afecta los motores debido a una reducción de potencia y eficiencia de la hélice, y disminuye la sustentación de las aeronaves por lo que se requiere mas tiempo para alcanzar la velocidad necesaria, con el consecuente aumento de la longitud de la pista. Por tanto se requiere un aumento de la longitud de campo de referencia de la pista a razón de 7% por cada 300 m de altitud sobre el nivel del mar, lo que se expresa mediante la ecuación :

Primera corrección: longitud por altitud

$$L \text{ Altitud} - L \text{ desp. Ref.} + (L \text{ desp. Ref.} \times 0.07 \times H / 300) \text{ en metros.}$$

Donde:

L Altitud: Despegue corregida de longitud por altitud.

L desp. Ref. : Longitud de campo de referencia.

H: elevación del aeropuerto.

**b) Corrección por temperatura**

Se logra mediante una corrección a razón de 1% por cada grado centígrado que la temperatura de referencia excede de la temperatura de atmósfera estándar.

La temperatura de referencia es la que se usa para el proyecto de aeropuertos y se obtiene del promedio de los estudios realizados durante un periodo aproximado de 5 años; es una temperatura crítica la cual afecta la densidad del aire y los motores.

$$L \text{ Temp.} = L \text{ Altitud} + (L \text{ Altitud} \times 0.01 (L \text{ desp. Ref} - \text{Temp. Atm. estándar} ))$$

Donde:

$$\text{Temp. Standard} = 15^\circ - (\Delta \text{Temp} \times H)$$

H : elevación del aeropuerto

$\Delta \text{Temp}$  : incremento de temperatura.

L Temp: longitud corregida por temperatura

Este método sólo podrá ser válido cuando las correcciones por temperatura sean menor del 35%.

Si la corrección es mayor o igual a 35% se hace una corrección en el peso de despegue y en la longitud de pista y se hace un estudio de los manuales de vuelo ya que en este caso se encuentra en la restricción por peso de despegue que se marca por segundo segmento.

El segundo segmento, condiciona el peso de despegue por la velocidad de rotación de las llantas puesto que su capacidad estructural puede fallar por las condiciones de la pista. La única manera de proteger las llantas es bajando la velocidad de la llanta ello implica bajar el peso de despegue condicionado por segundo segmento.

**c) corrección por pendiente longitudinal**

esta corrección se realiza a la proporción del 10% por cada 1% de pendiente efectivo.

$$L \text{ pend.} = L \text{ Temp.} + (L \text{ Temp} \times (0.1 \times \text{Se})) \text{ en, metros.}$$

Donde:

L pend: longitud corregida por pendiente longitudinal.  
 Se: pendiente efectiva.

La pendiente efectiva se define como la relación que existe entre la diferencia de cotas máximas y mínimas sobre la longitud total de la pista, entre la longitud total de la pista.

Ejemplo: de aplicación del método.

Datos

Longitud del campo de referencia de despegue :	1700 m
Longitud de campo de referencia para aterrizaje	2100 m
Elevación del aeropuerto	150 m
Temperatura de referencia	24°C
Pendiente de la pista	0.5%
$\Delta$ Temperatura	-0.0065°C / metro.
Viento en calma	0.0

Solución:

- **corrección por altitud o elevación.**

$$L \text{ Altitud} = 1700 + (1700 \times 0.07 \times 150 / 300) = 1759.5 \text{ m}$$

- **corrección por temperatura**

$$\text{Temp. atm. estándar} = 15^\circ\text{C} - (0.0065 \times 150) = 14.025^\circ\text{C}$$

$$L \text{ Temp.} = 1759 + (1759 \times 0.01 \times (24 - 14.025)) = 1935.01 \text{ m.}$$

$$\text{Revisión} = 1935 / 1700 = 1.14$$

Esto significa que 14% < 35% por lo tanto es válido la corrección ya que es menor al 35% .

- **Corrección por pendiente longitudinal**

$$L \text{ pend.} = 1935 + (1935 \times 0.1 \times (0.5)) = 2.031 \text{ m}$$

- **corrección por longitud de aterrizaje se corrige solamente por altitud .**

La corrección se realiza con la misma formula usada para corregir la longitud de despegue por lo que tenemos:

$$L \text{ aterrizaje} = 2100 + (2100 \times 0.07 \times 150/300) = 2173 \text{ m}$$

La longitud verdadera será la mayor entre la longitud corregida por despegue y la longitud corregida por aterrizaje.

Longitud verdadera  $2173 > 2031$  m

**La longitud verdadera es : 2173 m.**

2. Método exacto para calcular la longitud de pista requerida basándose en el peso máximo de operación.

Este método se considera como el más exacto para determinar la longitud en el despegue y esta basado principalmente en el funcionamiento del avión de diseño. Para llevar a cabo el calculo es necesario contar con las gráficas del manual de vuelo de la aeronave (Anexo "A"), peso de despegue o aterrizaje, grados de aletas seleccionadas, pendiente de la pista, dirección de la velocidad del viento, el peso de despegue depende a la vez de estos factores como son: elevación y temperatura del aeropuerto, temperatura ambiente o de referencia.

Para cuestiones de proyecto al no existir la pista, la temperatura usada debe ser la media máxima mensual y la pendiente y los vientos deben considerarse de magnitud igual a cero.

El cálculo inicia con la obtención del peso máximo de despegue por medio de las gráficas Anexo "A", el cual estará en función de la temperatura del aeropuerto y de la elevación y que varia de acuerdo al grado de aletas seleccionadas. A continuación se calcula el peso real del avión que debe despegar, que no necesariamente debe ser igual al calculado por segundo segmento o al máximo estructural, sino el necesario para cubrir la etapa bajo las condiciones de cargas deseadas. Acto seguido, se procede a seleccionar el grado de aletas más apropiadas para el despegue, para esto se busca en los pesos limitados por segundo segmento, aquel que sobre pone el peso total calculado anteriormente y ese grado de aletas será el seleccionado. Si el peso limitado por segundo segmento correspondiente a otros grados de aletas, también sobre pasan el peso total del avión, se tomará entre estos al que tenga mayor grado de aleta, puesto que es el de menos longitud de pista necesita. Con el peso total del avión y el grado de aletas seleccionado, finalmente se procede a utilizar gráficas correspondientes para el cálculo de la longitud de pista necesaria para el despegue.

Para el cálculo de la longitud de pista para aterrizaje, se obtiene a partir de la gráfica correspondiente que se supone como una superficie de pavimento seco, se determina a partir del peso de aterrizaje, altitud del aeropuerto y viento. A la longitud obtenida se le agrega un 15% para considerar el caso de superficie húmeda.

La extinta Dirección General de Aeropuertos (D.G.A) elaboró una tabla para el cálculo de la longitud de pista, en la cual por su metodología seguida facilita la aplicación del método, en esa tabla se exponen las características físicas del lugar, como las del avión crítico a estudiar, como descripción se mencionan los siguientes:

- 1) se anota el sitio del aeropuerto
- 2) se anota la elevación en pies y en metros.
- 3) Su temperatura en grados celsius o fahrenheit
- 4) Distancia del aeropuerto de destino en km o mn.

- 5) Nombre y distancia del aeropuerto alterno, esta ultima no debe exceder de 200 millas náuticas (mn), ya que hay que tomar en cuenta que la nave sólo tiene combustible de reserva por 45 minutos más de vuelo.
- 6) Modelo del avión crítico, sabiendo que compañía operará en el aeropuerto.
- 7) Velocidad de éste, obtenida ya sea del manual de vuelo o con la compañía que lo operará, en nudos.
- 8) Consumo de combustible que es dato obtenido también del manual de vuelo, ya sea en km/hr. o lb/hr.
- 9) El peso de pasajeros es el numero para el cual fue diseñado dicho avión, ya sea de 95 kg aproximadamente o 205 lb, este numero de pasajeros puede ser variable.
- 10) Peso de carga express y de correo .- es el peso descable que la compañía quiere en dicho itinerario y ésta se obtiene de la resta del pasajero y del peso total de carga pagable estipulado en el fabricante.
- 11) Peso total de carga pagable.- es el total de la suma de pasajeros más carga express y correo.
- 12) Peso máximo de aterrizaje (estructural) se forma del peso vacío, el peso de la tripulación , peso de combustible.
- 13) Peso máximo de despegue (estructural) .- es el peso que el fabricante fijó en el manual.
- 14) Peso básico de operación.- se obtiene del manual de operación.
- 15) El peso máximo de despegue (segundo segmento) limitado por elevación y temperatura se obtiene de las gráficas con los cuales se opera mediante los siguientes datos: temperatura, altitud en pies para obtener el peso con el que pueda operar dicho avión.
- 16) El peso básico de operación mas pasajeros se obtiene de la suma de ambos.
- 17) El peso de combustible de etapa- se obtiene de una regla de tres, en donde se divide la distancia del itinerario de destino entre la velocidad de operación y este resultado se multiplica por el consumo de combustible.
- 18) Peso de combustible de espera, se obtiene de multiplicar el consumo por hora, por un factor de 0.75 que no es mas que los 45 minutos estipulados por el fabricante.
- 19) El peso de combustible alterno, se obtiene igual que el de por etapa, pero utilizando la distancia de itinerario alterno.
- 20) El peso total se obtiene de la suma de los puntos 16, 17, 18, y 19. Y es el peso con el cual se obtiene la longitud de pista satisfactorio para que pueda operar el avión crítico, pero si este peso es mayor que el permitido por segundo segmento se procederá a seleccionar el más próximo en libras y a partir de éste se obtendrá la longitud de pista y el 90% de restricción para operar.
- 21) Las longitudes necesarias para cada grado de aletas (10° o 20° ) se obtiene a partir de las gráficas de longitud de pista para despegue. entrando con la temperatura de referencia, altitud del aeropuerto, el peso total al inicio del despegue y con las condiciones de viento y pendientes de la pista.

Como **aplicación del método** se tiene el siguiente ejemplo donde se pide:

Calcular las longitudes de pista utilizando el manual de vuelo para un avión B-747 con los siguientes datos:

- Elevación: 4000'
- Temperatura de referencia 20°C
- Viento en calma 0
- Pendiente longitudinal 1%
- Peso de aterrizaje 220,000 kg.
- Peso de combustible vuelo o destino 65,000 kg.
- Peso de combustible de reserva 5,000 kg.
- Peso de operación 170,000 kg.
- Suponiendo un avión con capacidad de 300 kg , un factor de ocupación de 80% y un peso por pasajero de 90 kg.

Con los datos descritos y haciendo uso de los manuales de vuelo del avión de diseño B-747 ( Anexo "A" ), con inyección de agua en los motores, inclinación de aletas 10°C y 20°C y suponiendo un despegue con falla en los motores.

Con la ayuda de el manual de vuelo se obtienen los siguientes datos a partir de gráficas (Anexo "A"):

- Pesos máximos autorizados:

T°C	seco	húmedo
20	283 ton	296 ton
10	295 ton	312 ton

- Longitudes de pista a pesos máximos autorizados:

T°C	seco	húmedo
20	3160 m	3200 m
10	3780 m	4018 m

- Peso real de despegue

Peso de despegue = Peso de aterrizaje + peso de combustible

$$P \text{ desp.} = 220.000 + 65000 = 285.000 \text{ kg.}$$

$$P. r. D. = 285.000 \text{ kg}$$

- Peso de carga de paga

P.c.p = Peso rel de despegue - peso de operación

Pc.p = 220,000 - ( 5000 + 170000) = 45,000 kg

Suponiendo un avión con capacidad de 300 kg y un factor de ocupación de 80% y un peso por pasajero de 90 kg.

$300 * 0.8 = 21,600 \text{ kg.}$

Peso de carga general = 45,000 - 21,600

Peso de carga general = 23,400 kg

- Restricciones:

Haciendo una comparación del peso real de despegue y los pesos máximos permisibles o autorizados se tiene que el peso real de despegue es mayor que el máximo autorizado por lo que por segundo segmento no podría despegar.

285 ton > 283 ton, concluyendo que no se puede despegar con aletas con 20° de inclinación en seco.

- Longitud de pista a peso real de despegue ( se obtiene con el peso real de despegue igual a 285,000 kg)

T°C	seco	húmedo
20		28970 m
10	3900 m	3250 m

## II.4- Calles de Rodaje

### Calles de entrada y salida

La principal función de las calles de rodaje es la de suministrar acceso desde las pistas hasta las plataformas y servicio de hangares y viceversa, éstas calles de rodaje deben disponerse de tal manera que la aeronave que acaba de aterrizar no interfiera con el avión que este en rodaje o va a despegar. Las calles de rodaje deben disponerse en diferentes puntos a lo largo de las pistas, deben de ser proyectadas para que no se crucen con pistas abiertas al tráfico de tal manera que los aviones que aterrizan puedan abandonar tan rápidamente como sea posible la pista.

Para lograr la máxima capacidad en las pistas y calles de rodaje es necesario proyectar las calles de rodaje de manera que asegure que las aeronaves puedan abandonar las pistas después del aterrizaje sin demora, y entrar a la pista para despegar con el ritmo que permita mantener las operaciones en las pistas con las mínimas distancias de separación.

En el proyecto de las calles de rodaje se aplican los siguientes principios generales:

- a) El camino recorrido por las aeronaves en las calles de rodaje deberá ser lo mas directo y sencillo posible, para evitar la necesidad de dar instrucciones complicadas y ahorrar tiempo y dinero reduciendo las distancias de rodaje.
- b) Siempre que sea posible, deberán trazarse recorridos en línea recta y los cambios de dirección deberán ser lo más pequeño y el menor número posible.
- c) Deberá construirse suficientes calles de entrada y salida para cada pista a fin de acelerar el movimiento de las aeronaves que entran y salen de las mismas.
- d) Se deberá evitar la construcción de calles que cruzan las pistas u otras calles de rodaje para evitar interrupciones en las operaciones de las aeronaves.
- e) Deben trazarse de tal forma que no obstruyan en las operaciones de ayudas a la navegación.
- f) Deben ser visibles desde la torre de control.

### Estacionamientos de espera y puntos de espera en rodajes

En los aeropuertos que la actividad sea muy elevada y debido a que es difícil hacer que las aeronaves abandonen las plataformas de tal forma que lleguen al final de la pista a la secuencia requerida por el servicio de tránsito aéreo, es indispensable disponer de estacionamientos de espera y otras calles de desviación que permitan:

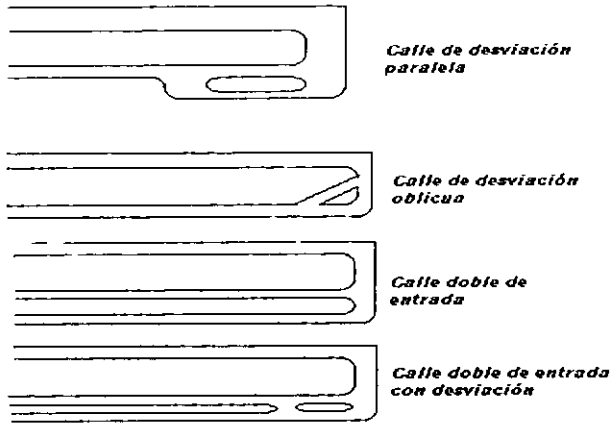
- a) Demorar la salida de otras aeronaves debido a circunstancias imprevistas sin imponer retrasos a las aeronaves que las siguen.
- b) Que las aeronaves realicen verificaciones de altímetro antes del vuelo, del ajuste y programación de los sistemas de navegación inercial cuando esto no sea posible en las plataformas.
- c) Efectuar pruebas de motores en los casos de aeronaves de motor de embolo o utilizarlos como punto de verificación del VOR (Radio ayudas de verificación de frecuencias de altura).

En general, las calles de rodaje que permiten que una aeronave pueda adelantarse a otra que la sigue pueden dividirse en tres tipos:

- a) Apartaderos de espera, la cual es el área en la que puede detenerse una aeronave para esperar o dejar pasar a otras. Si se hace uso de estos apartaderos de espera las aeronaves pueden despegar basándose en sus prioridades para el despegue. La disponibilidad de un apartadero de espera, permite que salgan y que entren independientemente del sentido de tránsito de salida.

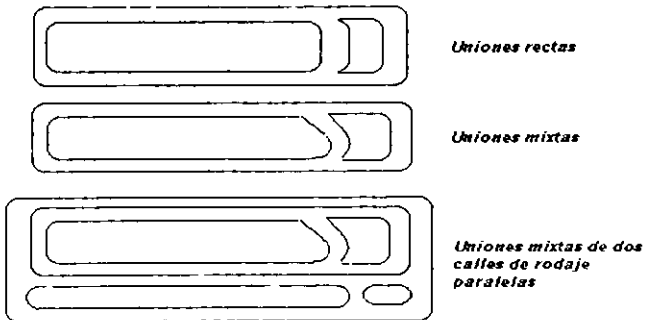


- b) Calles de rodajes dobles, es una segunda calle de rodaje paralela normal, dividen el sentido de tr3nsito en dos partes. su utilizaci3n se justifica en aeropuertos de mucha actividad. estas pueden tener la siguiente configuraci3n:



Figs. 2.7 . calles de rodaje dobles

- c) entrada doble de pistas, son muy parecidas a las calles de rodaje doble, su configuraci3n puede ser como las siguientes:



Figs. 2.8. entrada doble de pistas.

### Calles de salida

Durante los periodos de demanda punta, cuando existe una operación continua en las pistas, la capacidad de las mismas dependerá de la rapidez de desalojo, cuando la salida es lenta se construyen calles de rodaje que forman ángulos rectos, donde el avión desacelera para llegar con baja velocidad antes de girar, y una calle proyectada para permitir altas velocidades antes del girar, reduce el tiempo de ocupación de pista para una aeronave que aterriza.

La ubicación de las calles de salida depende en gran parte de:

- a) La combinación de aviones
- b) Las velocidades de aproximación y contacto con el suelo
- c) La velocidad de salida
- d) La estimación de la desaceleración, que a su vez durante el giro depende del estado de la superficie del pavimento sea seco o húmedo.

La rapidez y el modo en que el control de tránsito aéreo pueda precisar las llegadas, es un factor de máxima importancia a la hora de establecer la ubicación de las calles de salida de las pistas, que también depende de la disposición de las pistas con respecto al edificio de pasajeros.

### II.5. Plataformas y Edificio de Pasajeros

La ubicación del edificio de pasajeros, de las plataformas de estacionamiento y de las zonas de combustible dependen en gran medida de la configuración y orientación adoptada de las pista

Las plataformas son las zonas del aeropuerto en las cuales se detienen las aeronaves con el objeto de llevar a cabo las maniobras de carga y descarga, así como carga de combustible y mantenimientos. Las plataformas tendrán dimensiones tales que permitan el estacionamiento de las aeronaves a una distancia mayor a tres metros en cualquier punto de ellos y cualquier obstáculo fijo o móvil y con cualquiera de sus ruedas a más de tres metros del borde de la plataforma.

#### Clasificación:

Las plataformas se clasifican de acuerdo a su posición y al servicio que prestan, pueden ser:

1. Comercial o terminal, este es un área para maniobras de aeronaves, almacenamiento de combustible y mantenimiento ligero de aeronaves, embarque y desembarque de pasajeros, carga y equipaje.
2. Plataformas de carga, es un área donde las aeronaves que solo transportan carga y correo puedan estar separadas de las demás plataformas o del edificio pasajeros.
3. Plataformas para estacionamientos, se necesitan para el servicio y el mantenimiento ordinario de las aeronaves que temporalmente están fuera de servicio.
4. Plataformas de servicio y de hangares, se emplea para realizar operaciones de mantenimiento.

La planeación del aeropuerto debe prever para las plataformas:

- a) Sitios que exigen un mínimo de circulación terrestre entre las pistas y los lugares para plataformas.
- b) Cierta libertad para el movimiento de las aeronaves y que permitan los mínimos periodos de retraso para el ingreso a las cabeceras de pista
- c) Suficiente espacio de estacionamiento para el numero de operaciones previstas .
- d) Medios de embarque y desembarque para los pasajeros

- e) Medios de carga y descarga para la carga aérea.
- f) Instalaciones para mantenimiento y abastecimiento de combustible.

### Características de una plataforma

El proyecto de plataformas establece las características que debe presentar una plataforma como son:

- Seguridad, donde se establecen las distancias de separación entre aeronaves, para que estas puedan desplazarse con seguridad, se deben tener en cuenta los medios de suministro de combustible para evitar riesgos, así como proporcionar las pendiente adecuadas para drenar lluvia y cualquier vertido de combustible y evitar una propagación.
- Eficacia, se logra al disponer adecuadamente las posiciones de las plataformas, así como sus instalaciones de servicios a las aeronaves.
- Configuración geométrica, depende de la extensión del terreno disponible para el propósito y de acuerdo a esto es como se plantea la eficacia que debe tener.
- Flexibilidad, considera los aspectos de variabilidad en los tamaños de las aeronaves para las posibles ampliaciones futuras.

### Edificio de pasajeros

El edificio de pasajeros constituye uno de los elementos principales del costo de infraestructura de un aeropuerto. Muchos edificios se han construido como monumentos arquitectónicos al progreso de la aviación nacional o regional, y los pasajeros se han acostumbrado a una sustentación suntuaria del diseño que poco tiene que ver con las funciones que se pretende que desempeñe el edificio. El diseño funcional puede basarse de las consideraciones del diseño arquitectónico sólo a costa del funcionamiento de las deferentes partes que lo componen . El edificio de pasajeros cumple tres funciones principales:

1. Cambio de modo.- Por su origen los viajes aéreos son multimodales, con accesos por superficie que enlazan, bien sea al principio o al final, con el viaje aéreo. Al cambiar de uno a otro modo de transporte, el viajero circula físicamente a través del edificio de pasajeros siguiendo unos itinerarios ya preestablecidos. Estos itinerarios tienen lugar en las áreas de circulación.
2. El edificio de pasajeros es el lugar adecuado para llevar a cabo ciertos trámites asociados al viaje aéreo. Entre ellos se incluye: boletos, presentación de los pasajeros, sus equipajes, controles de seguridad y formalidades gubernamentales. Esta función requiere un espacio para la tramitación.
3. Cambio de tipo de movimiento.- Aunque el avión traslade pasajeros en grupos reducidos, lo que se denomina movimiento por tandas, los mismos pasajeros acceden de forma casi continua, en grupos pequeños, principalmente en autobús, coche, taxi, microbús. El edificio funciona, por tanto, en el área de salidas, como un depósito al que llegan los pasajeros continuamente y los despacha en grupos. El área de llegada funciona al revés. Para cumplir esta función, el edificio ha de proporcionar espacios para el tránsito, los trámites, uso de servicios y la espera de pasajeros.

## CAPITULO III: DRENAJE Y PAVIMENTOS

### III.1.- Análisis Lluvia - Esguerrimiento

Debido a la vital importancia que tiene la precipitación pluvial en el diseño de cualquier obra de drenaje, En este apartado se pretende describir brevemente la forma en que se analiza el fenómeno lluvia - esguerrimiento.

Se considera a la precipitación (lluvia) como el agua que proviene de la atmósfera, que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico. Para que se origine la precipitación es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta condensarse y caer en forma de gotas de agua en la superficie del suelo. Solo parte del agua que cae en una cuenca corre como agua libre. Parte del agua se evapora, parte de ella es retenida por la vegetación, y la otra parte puede filtrarse en el terreno o depositarse en pequeñas depresiones o irregularidades de la superficie del mismo. El fenómeno que se debe considerar de gran importancia es la infiltración dado que, genera efectos adversos en el subsuelo cuando no se tiene un adecuado estudio de mecánica de suelos, provocando fallas en las subestructuras.

#### Características de la infiltración:

Infiltración, es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo, y después por exceso pasa a formar parte de la corriente superficial. La infiltración se considera como una secuencia de tres pasos: entrada en la superficie, transmisión a través del suelo y agotamiento de la capacidad de almacenaje del suelo, provocando que el nivel de aguas freáticas suba a nivel superficial en zonas planas del aeropuerto.

La infiltración, puede destruir, por el lavado o arrastre de finos, las estructuras de los pavimentos provocando el fenómeno de tubificación, que consiste en el arrastre de finos y minerales que forman partes de los cuerpos de terracerías. El tipo de suelo y la cubierta vegetal tienen una marcada influencia en el potencial de esguerrimiento, por lo tanto, se ha optado por expresar lo anterior en función de valores numéricos que representan o expliquen la diferencia de volumen entre precipitación y esguerrimiento.

La estimación del esguerrimiento se realiza para diferentes periodos conocidos como periodos de retorno, en los cuales es necesario conocer el régimen de lluvia, esta información nos permitirá estimar el valor del esguerrimiento máximo probable que se tendrá, y se obtienen los registros de gastos máximos probables que resultan ser los datos necesarios para el diseño del sistema de drenaje que se ha de utilizar en dicho aeropuerto.

Estos registros se obtienen a través de curvas intensidad- duración- periodos de retorno de las lluvias (figura 3.1). Estas curvas se realizan haciendo uso de un pluviógrafo con el que se conoce la intensidad de la lluvia que se define como, la altura de precipitación entre el tiempo en que se originó la lluvia expresado generalmente en mm/hora. el periodo de retorno o frecuencia se define como el intervalo promedio de tiempo en que ocurre un evento de magnitud dada y la duración es el tiempo en que se origina la lluvia dada en horas.

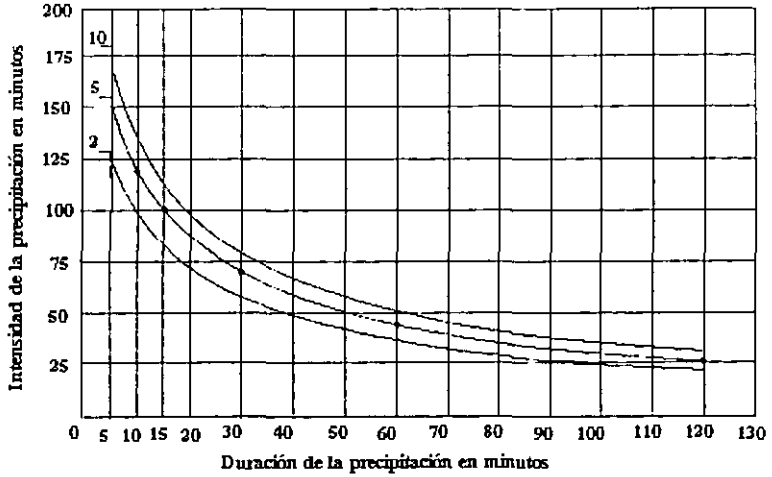


Figura 3.1: Curvas intensidad- duración para lluvias  
 Fuente : Aeropuertos, N. Ashford

Los caudales para los que deben diseñarse los colectores y estructuras de drenaje son los correspondientes a la precipitación, menos las pérdidas que tienen lugar.

La mayor parte de los procedimientos para el diseño de los sistemas de drenaje recurren al uso de coeficientes de escorrentía, factor a tener en cuenta en la naturaleza hidrológica del área a drenar. El factor de escorrentía empleado con el método racional es la relación entre la cantidad de agua a evacuar y la cantidad de agua recogida,

En la siguiente tabla III.1, se dan algunos valores aconsejables del coeficiente de escorrentía "C" para su empleo en la fórmula racional. Si el área a drenar se compone de zonas de diferente uso y con diferentes coeficientes de escorrentía, puede considerarse un solo coeficiente ponderado para la totalidad del área, a partir de los coeficientes de las áreas parciales.

Por ejemplo, si la cuenca a drenar es de 2 ha. de superficie pavimentada con hormigón , con un coeficiente de escorrentía de 0.8, y 5 ha. de terreno impermeable con césped con un coeficiente de escorrentía de 0.4, el coeficiente medio ponderado para el área total será:

$$(2 \times 0.8 + 5 \times 0.4) / (2 + 5) \approx 0.51$$

Tabla 3.1: valores del factor C

Tipo de superficie	Factor C
Cubiertas impermeables de edificios	0.75 - 0.95
Pistas con pavimento asfáltico	0.8 - 0.95
Pistas con pavimento de hormigón	0.70-0.90
Pavimento de macadam o grava	0.35-0.70
Suelos altamente impermeables <sup>a</sup>	0.40-0.65
Suelos impermeables con césped <sup>a</sup>	0.30-0.55
Suelos ligeramente permeables	0.15-0.40
Suelos ligeramente permeables con césped <sup>a</sup>	0.10-0.30
Suelos moderadamente permeables <sup>a</sup>	0.05-0.20
Suelos moderadamente permeables con césped <sup>a</sup>	0.00-0.10

<sup>a</sup> con pendientes del 1 al 2%.

Fuente: Aeropuertos, N. Ashford

Para el cálculo de un sistema de drenaje se toma una duración del aguacero igual al tiempo de concentración. El tiempo de concentración es el lapso requerido para que una gota de agua llegue hasta el punto más remoto, es decir el punto desde el cual el tiempo de recorrido es el mayor, del área a drenar al punto que se este considerando. Se compone de dos partes: el tiempo de recorrido en la cuenca o tiempo de recorrido a ciclo abierto y el tiempo de recorrido dentro del sistema estructural del drenaje.

El tiempo de recorrido a cielo abierto varia con la pendiente del terreno, tipo de superficie, forma y tamaño del área a drenar y con otras características de la cuenca.

En la figura (3.2) se presentan las curvas que se obtienen mediante la expresión recomendada por la Administración Federal de Aeropuertos ( FAA ) de U.S.A.

Donde:  $T = ( 3.26 (1.1-C)D^{1/2} ) / S^{1/3}$

- Siendo T: tiempo de recorrido en superficie, en minutos
- C: Coeficiente de escorrentía
- S: Pendiente (%)
- D: Distancia desde el punto más remoto, en m.

La formula se usa sólo para distancias mayores a 250 m.

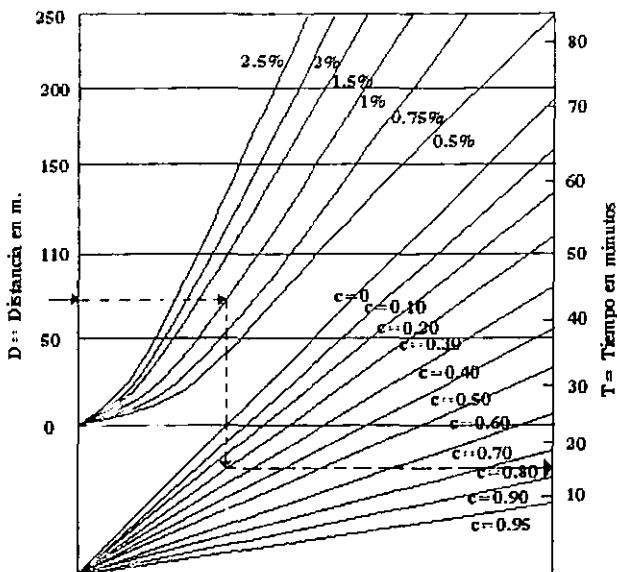


Fig. 3.2. Curvas de tiempos de concentración de corrientes periciales.  
Fuente. Drenaje de aeropuertos. N. Ashford

### III.2.- Sistemas de Drenaje

En el proyecto de un aeropuerto, el drenaje es uno de los elementos más importantes que se pueden observar, pues de este depende en gran parte el buen funcionamiento de las instalaciones del aeropuerto en su conjunto. Al escoger la localización del aeropuerto se debe buscar que dicha zona drene libremente, por gravedad, con el propósito de reducir y facilitar las obras de drenaje que influyen de una manera muy importante en el costo. Sin embargo, con frecuencia la localización abarca terrenos inestables que requieren drenaje adecuado tanto a nivel superficial como a nivel subterráneo. El Sistema de drenaje que se utilizará debe ser resistente, ya que algunas secciones estarán sujetas a presiones y cargas transmitidas por el movimiento y aterrizajes de los aviones. El diseño debe prever los efectos que puede provocar la acumulación excesiva de agua en los pavimentos, saturación de las sub-bases y bases, provocando un rápido deterioro de las superficies de rodamiento dando como resultado final efectos adversos en el tránsito aéreo.

Para poder proyectar un sistema de drenaje adecuado en un aeropuerto es necesario contar con la siguiente información:

- Plano topográfico del lugar y de las zonas que lo circundan.
- Plano de perfiles y secciones transversales a lo largo del eje de las pistas, calles de rodaje y plataformas.
- Plano de curvas de nivel a 0.50 m de equidistancia.

- Datos de precipitación pluvial en la zona y condiciones climáticas.
- Estudio de las características de los materiales que forman el subsuelo de la zona.

Tomando en cuenta lo anterior, es importante coordinar los planos de nivelación con los de drenaje. Los planos de nivelación consisten en los perfiles de las pistas, calles de rodajes, plataformas, franjas de seguridad y márgenes en sus ejes y secciones transversales que muestran las áreas de corte y relleno. Debe incluirse a los estacionamientos, liga vial y caminos de servicio. Las secciones transversales de las pistas y rodajes deben tener pendiente transversal a cada lado del eje, para proporcionar el drenaje de la superficie. Las pendientes diseñadas en forma adecuada pueden propiciar áreas bajas que pueden usarse para retener temporalmente el escurrimiento de las tormentas, con objeto de tener un sistema de drenaje que sea más económico.

El sistema de drenaje de un aeropuerto tiene como objetivo principal, tanto los escurrimientos superficiales aportados por las lluvias, como el agua del subsuelo provenientes de los subdrenes, darles salida hacia el exterior del aeropuerto.

### **Tipos de drenaje**

Las aguas a eliminar en un aeropuerto pueden provenir: de las lluvias en la superficie del mismo, del agua que asciende del subsuelo por efectos capilares o por aumento del nivel de aguas freáticas (NAF), de las corrientes de agua que pueden fluir hacia el aeropuerto originadas por lluvias en las zonas colindantes del mismo

Por lo tanto la red de drenaje puede dividirse en los siguientes de acuerdo al servicio que se van a destinar:

- 1). Drenaje pluvial o superficial
- 2). Drenaje subterráneo o bajo superficie

### **Drenaje pluvial o superficial**

Son todas las obras hidráulicas que se realizan dentro y fuera de los límites del aeropuerto, esto es cuando las corrientes naturales concurren hacia la zona aeronáutica y de las zonas de acceso al aeropuerto.

En las superficies sensiblemente planas con pendientes muy reducidas, lluvias normales y terrenos con cierta permeabilidad, el drenaje se resuelve comúnmente con canales abiertos, ductos, tuberías, alcantarillas, losas de concreto armado sobre estribos de mampostería o cajones de concreto.

En terrenos ondulados donde se presenta varias formas de aportación de agua en el aeropuerto se impone la necesidad de un sistema de defensa para interceptar los aportes laterales de agua, por medio de canales o que se haga una desviación a lugares más bajos para evitar daños en las instalaciones del aeropuerto

En el drenaje de las pistas es más común utilizar zanjas o canales de intercepción paralelos a ambos lados de ellas, estos canales conducen las aguas fuera del aeropuerto, con pendientes longitudinales



que se adaptan al terreno natural y a veces interceptando calles de rodaje o a las propias pistas, donde se hace imprescindible el uso de alcantarillas.

### **Drenaje subterráneo o bajo superficie**

El drenaje subterráneo tiene por objeto captar, coleccionar y desalojar el agua del subsuelo, para así estabilizarlo y que su resistencia al esfuerzo cortante no se reduzca. Los subdrenes más comunes son: los longitudinales, en zanjas y capas permeables. Otros subdrenes que se usan con frecuencia son: subdrenes transversales, trincheras estabilizadoras, pozos de alivio y galerías filtrantes.

El drenaje se obtiene haciendo uso de drenes interceptores y una capa de base permeable, en forma semejante a como se drenan las autopistas, algunas áreas a través de pasto se drenan por medio de una red de subdrenes que cubren el área entera. En los aeropuertos con pistas pavimentadas, los subdrenes están colocados normalmente a los lados de los bordes de las pistas, en donde las condiciones del suelo indican que es necesario el drenaje para hacer descender el nivel de agua del terreno. Generalmente se utiliza un sistema de tubos subterráneos para llevar el escurrimiento desde las tomas y drenes a las salidas de las vías.

Como es natural en las zonas en que se presenta una alta precipitación se presentan condiciones críticas, ya que al escurrir por la superficie y llegar a la zona aeronáutica se pueden presentar grandes almacenamientos, entonces se deberá tomar muy en cuenta los estudios de geotécnica y de mecánica de suelos ya que las aguas almacenadas se pueden infiltrar a través del suelo produciendo en este la saturación de sus materiales, provocando el fenómeno de tubificación y lixiviación, amenazando el buen comportamiento de las estructuras de terracería y la cimentación, por lo tanto disminuyen la resistencia al esfuerzo cortante, propiciando la deformación y asentamientos en las subestructuras.

El sistema de drenes debe ser resistente al aplastamiento, la vibración y la dislocación. Un buen drenaje permite que no se incrementen los gastos mejorando los ingresos comerciales de un aeropuerto, así como la eficiencia de un campo militar o privado, también proporciona mayor seguridad debido a una subrasante firme y seca. Un suelo bien drenado ofrece un soporte más uniforme para las pistas y las cargas directas de las ruedas de los aviones, conservando así la superficie de rodamiento en condiciones perfectas.

### **Drenaje sanitario**

Otro de los sistemas que interesan dentro del drenaje del aeropuerto, es el que evacua las aguas negras e industriales, por lo cual es importante tomar en cuenta el drenaje sanitario. La principal finalidad del drenaje sanitario es, conducir las aguas negras lo más lejos posible del aeropuerto, para que los malos olores que despiden no molesten a los usuarios. Otras de sus funciones es la de conducir las aguas negras hacia los cárcamos de bombeo o directamente a las plantas de tratamiento.

El sistema deberá proyectarse para servir a cada edificio que esté construido, o que probablemente se construya en el futuro. El trazo para los edificios que vayan a construirse debe estar proyectado y marcado en los planos, pero los ramales que han de servir las áreas futuras, no tienen que ser construidos hasta que se necesiten. El sistema debe proyectarse de modo que la expansión sea simple y pueda llevarse a cabo con un costo razonable.

En la mayoría de las ocasiones el drenaje pluvial de los edificios e instalaciones se integra o descargan directamente al drenaje sanitario, lo cual produce un ahorro en los costos de

construcción ya que no se tendrá que realizar el diseño para cada uno de los sistemas (drenaje pluvial y drenaje sanitario).

### Descarga del drenaje

Puede considerarse que un aeropuerto representa un centro de población flotante, que debe manejarse en forma independiente, por lo tanto, necesita buscar soluciones adecuadas a sus propias necesidades; aunque muchas veces los aeropuertos se encuentran tan cerca de las poblaciones que tarde o temprano llegan a formar parte de ellas. Afortunadamente el plan maestro contempla, tanto para el aeropuerto como para los centros de población, la localización a distancias prudentes de las poblaciones a las que dará servicio. Esto resuelve determinados problemas técnicos y económicos, pero se generan otros tales como abastecimiento de agua potable, energía eléctrica, transporte adecuado, y disposición de aguas residuales.

Considerando que la mayor parte de los aeropuertos en la república mexicana se encuentran a una distancia considerable de los centros de población, se hace indispensable, desde en punto de vista económico, un sistema autónomo de disposición de aguas residuales ya que al conectarse al sistema de drenaje municipal resultaría sumamente costoso.

Algunas soluciones a este problema consisten en:

1. Instalar un sistema de fosas sépticas que descarguen a un pozo de absorción .
2. Descargar hacia algún barranco o fisura en la superficie .
3. Descargar hacia un río o laguna cercana.
4. Instalar una planta de tratamiento
5. Conectarse al sistema de drenaje municipal

En los tres primeros casos, no es recomendable porque no se contempla ningún tratamiento previo de las aguas negras, el cuarto caso, constituye un tratamiento adecuado a las aguas negras para evitar la contaminación de medio ambiente con descarga a: 1) campos de sembrado donde los alimentos no son de consumo directo, 2) centros de recreación, 3) lagunas de conservación ecológica, etc., en el quinto caso, el aeropuerto se deslinda de cualquier responsabilidad de contaminar el medio ambiente, aunque puede resultar muy costoso.

En cualquier caso, por normas ambientales las fuentes de agua sean del tipo superficiales ( ríos, lagunas ) o manto acuífero no deben ser afectados por la descarga de aguas contaminadas, y/o por exceso que generen inundaciones.

Los sistemas de drenaje que poseen los aeropuertos en su mayoría, son a base de baterías de fosas sépticas, los cuales no cuentan con registros de acceso para su limpieza o mantenimiento , y que descargan a uno o varios pozos de absorción, ya sea en batería o en serie, o a un peine de absorción. En la mayoría de los casos, los pozos de absorción que se construyen son insuficientes y se desbordan con facilidad, lo que los convierte en prácticamente en pozos de decantación y no retienen en agua el tiempo suficiente para su oxidación, lo que implica que los elementos contaminantes puedan salir al medio ambiente.

Para el drenaje subterráneo se pueden utilizar los siguientes tipos de material:

- a) Tubería de metal perforado, de concreto o de arcilla vitrificado, donde las juntas se realizan con sellos. Las perforaciones normalmente se extienden aproximadamente a lo largo de un

tercio de la circunferencia de la tubería y esta área perforada va generalmente colocada adyacente al suelo.

- b) Las tuberías de espiga o mordaza se colocan con las juntas abiertas, los materiales empleados para la fabricación de estas tuberías son la arcilla vitrificada, fundición y concreto en masa.
- c) Tubería de concreto poroso, recoge el agua debido a la filtración de la misma a través de las paredes de la tubería, este tipo de material se coloca con las juntas selladas.

### Diseño de drenaje

Para diseñar el sistema de drenaje se necesita un plano topográfico sobre el cual se indica el diseño propuesto de pistas, calles de rodajes, plataformas y área del edificio de pasajeros. Las pendientes propuestas para la superficie de esos elementos se muestra por medio de curvas de nivel. Se indica la localización de tomas, subdrenes tuberías de drenaje de agua pluvial, diseñados para recolectar la descarga. El sistema debe ser directo lo mejor posible para evitar las longitudes excesivas de tuberías, los cambios frecuentes de dirección deben evitarse, además debe procurarse minimizar los cruces de tuberías bajo la pista.

El cálculo hidráulico de la red de recogida y evacuación de aguas superficiales se puede llevar a cabo según se trate:

1. Diseño de la red de drenaje
2. Cálculo de la red subterráneo de colectores
3. Cálculo de canales a cielo abierto
4. Cálculo de imbornales, registros y otros.

### Diseño de la red de drenaje

La primera operación en el diseño y cálculo de la red de drenaje, es la de conseguir levantar un plano topográfico general con curvas de nivel a 50 cm de equidistancia. En este plano han de representarse todos los accidentes naturales o artificiales que pudieran afectar por el esquema general y el diseño de la red de drenaje ( por ejemplo, cauces de ríos existentes, canales, acequias de riego, estructuras de drenaje, ferrocarriles, carreteras, etc.). En el plano puede deslindarse cada área tributaria particular, y representarse las dimensiones y longitudes de los conductos y sus pendientes.

Los planos detallados permiten escoger la ubicación adecuada de las vaguadas de drenaje, imbornales y arquetas de registro. Los imbornales de aguas pluviales se sitúan en los puntos bajos y a distancias comprendidas entre 60 y 125 m.

Las bocas de registro han de permitir la inspección y mantenimiento de la red de drenaje. Normalmente las arquetas de registro se colocan en todos los cambios de dirección, de pendiente, o de tamaño de conducto y aproximadamente cada 100 m o 150 m en tramos rectilíneos.

### Diseño de la red subterránea de colectores

Los conductos subterráneos se calculan para desaguar a canales a cielo abierto, y por ser los conductos de sección grande, se puede suponer que la corriente es uniforme.

La ecuación de Manning es la fórmula más conocida para la determinación de las características de la corriente en tuberías. Fórmula recomendada para el cálculo de la red subterránea de colectores de drenaje de un aeropuerto:

$$Q = A/n \times (R^{2.3} \times S^{1.2})$$

- Donde :
- Q: descarga en m<sup>3</sup>/s.
  - A: sección en m<sup>2</sup>
  - R: radio hidráulico en m.
  - s: pendiente de la línea de agua.
  - n coeficiente de rugosidad de la tubería

Es importante conseguir velocidades suficientes de la corriente para impedir la sedimentación o acumulación de materia sólida en el interior del tubo. Se hace una recomendación de una velocidad media de diseño de 0.75 m/s, lo cual es suficiente para evitar el depósito de materias en suspensión en los tubos. Los colectores y sus pendientes deben diseñarse, siempre que sea posible y cuando las condiciones topográficas lo permitan, de forma que la velocidad de la corriente aumente progresivamente o se mantenga desde los imbornales hasta los desagües.

Ejemplo: considerando el fragmento de aeropuerto representado en la figura 3.3. Con los datos que se dan a continuación, determinar : el diámetro , capacidad y pendiente de la tubería y la cota de la línea de agua en el extremo exterior del tramo 13-9. Las 8.7 ha. Del área a drenar ( de la que aproximadamente un 9% esta pavimentada y el resto esta cubierto de césped) tiene un coeficiente de escorrentía medio ponderada de 0.35. Las distancias desde el imbornal hasta el punto más remoto ( evaluadas gráficamente en el dibujo) son:

Área	Distancia	Pendiente
Pavimentada	33 m	1
Sin pavimento	350 m	0.6

De las curvas de la fig.3.1 , usando una curva de 5 años para la determinación de la intensidad del aguacero y suponiendo un coeficiente de rugosidad de manning n = 0.015. La cota de la línea de agua en el imbornal es de 530.38m.

Solución:

El tiempo de recorrido superficial es la suma del tiempo de recorrido sobre el pavimento, obtenido de las curvas de tiempos de concentración de corrientes superficiales, mas 4 minutos invertidos en el recorrido sobre el césped.

$$T = ( 3.26 ( 1.1-0.35 ) 350^{1.2} ) / 0.6^{1.1} = 58 \text{ min}$$

Tiempo total de recorrido = 58 + 4 = 62 min.

Puesto que el imbornal está en el extremo superior de la conducción del drenaje, el tiempo de recorrido es el tiempo de concentración. De las curvas de la fig. 3.1, con una duración de 62 min, la intensidad de la lluvia es de 46 l/s.

Por lo tanto aplicando el método racional se obtiene el caudal recogido en el aeropuerto :

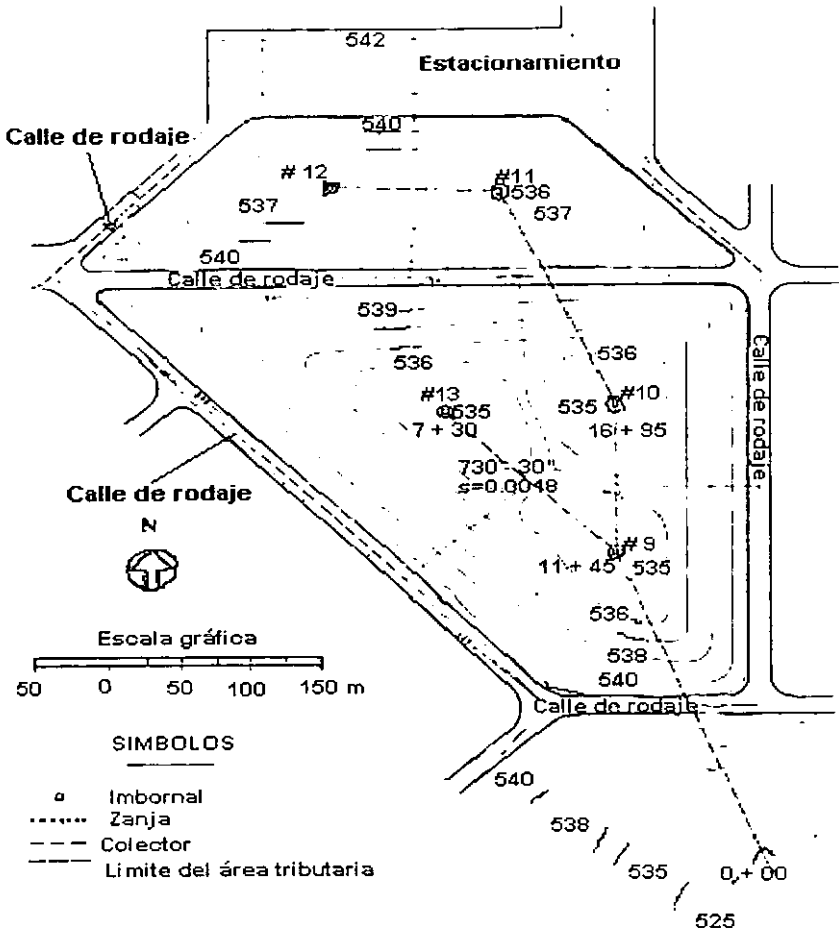


Fig. 3.3: fragmento de un aeropuerto con indicación del diseño del drenaje  
 ( Fuente: Airport Drainage, FAA Advisory circular AC 150/5320-5B, July 1970)

$$Q = (C.I.A.) / 360$$

Donde: Q: caudal en m<sup>3</sup>/s

C: Coef. De escorrentía

I: intensidad de la lluvia. En mm/hora.

A: superficie a drenar, ha, el área puede determinarse mediante levantamientos topográficos, planos o fotografías aéreas.

$$Q = (0.35 \times 46 \times 8.7) / 360 = 0.380 \text{ m}^3/\text{s}$$

Mediante la fig.(3.4) se obtiene que un tubo de 75 cm sería suficiente, si se da una pendiente de 0.18%, se obtiene una velocidad media de 0.95 m/s. La descarga de la tubería obtenida con la ecuación de manning sería de 400 litros . Y la cota de la línea en el extremo inferior del tramo 13-9 sera:

$$530.38 - 0.0018 \times 225 = 529.975 \text{ m}$$

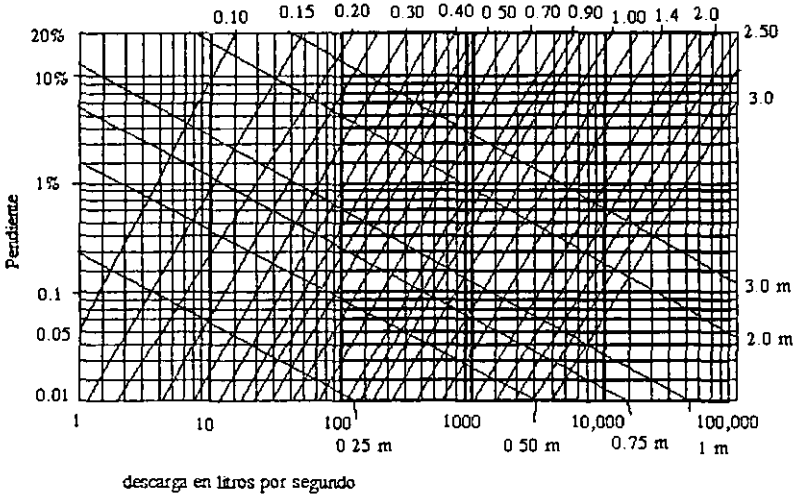


Fig 3.4 Diagrama para corriente uniforme Descarga a sección llena

Fuente Aeropuertos N Ashford

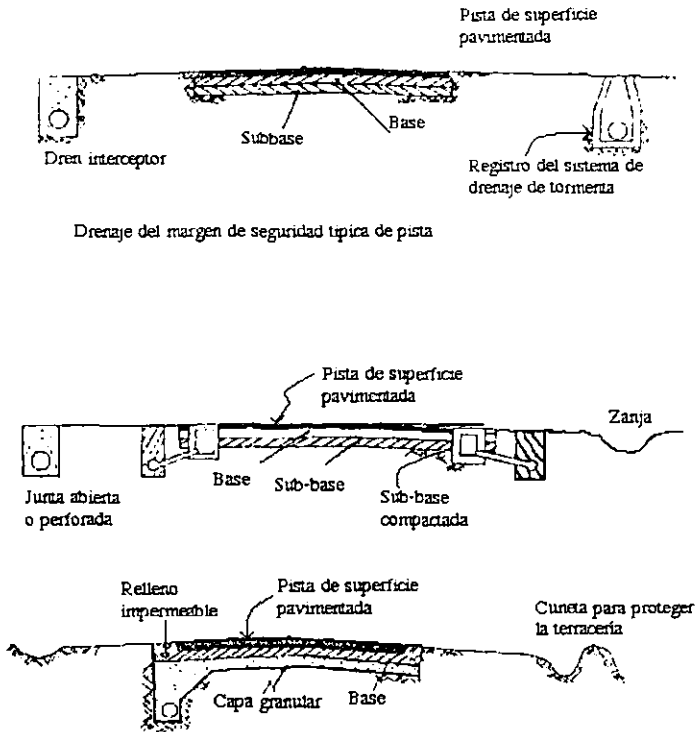


Fig. 3.5. Drenaje del margen de seguridad típica de pista □  
 Fuente: Airport Drainage, FAA

**Cálculo de canales a cielo abierto.**- la red de drenaje de un aeropuerto esta constituida, en gran parte, por vaguadas o cunetas. El tamaño, sección, y pendiente de éstas debe calcularse de tal manera que se eviten efectos como desbordamientos, inundaciones, erosiones, y sedimentación. El diseño de canales nos permite considerar un flujo uniforme, por lo que se puede hacer uso de la fórmula de Manning, en la corriente uniforme se considera que existe un equilibrio entre la pérdida de energía debido a la fricción y el incremento de energía cinética debido a la pendiente.

Para aplicar la fórmula de Manning es necesario diseñar la sección transversal óptima, la pendiente, y las características constructivas del canal. Generalmente son preferibles los canales a cielo abierto poco profundos, anchos y redondeados, para facilitar la limpieza y mantenimiento y para mejor la seguridad y aspecto del aeropuerto.

### Diseño de canales

Los canales se clasifican en canales prismáticos (artificiales) y canales no prismáticos (ríos). Los canales artificiales son aquellos que se pueden construir con una sección regular, pendiente constante, no hay arrastre de sedimentos y se pueden considerar de flujo uniforme porque el cambio de volumen con respecto a la distancia no varía

El diseño de canales revestidos en las obras de drenaje del aeropuerto requiere de dos factores: 1) económico, el cual requiere de áreas y perímetros mínimos, 2) hidráulico, que nos permite el diseño de la forma más fácil con la fórmula de Manning.

#### Sección óptima de un canal

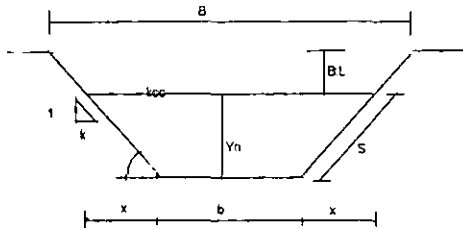


Fig.(3.6). sección transversal óptima de un canal

**Cálculo de imbornales.-** cuando se aceptan cotas muy altas de la carga hidráulica, la capacidad de la rejilla de un imbornal se puede calcular con la fórmula del orificio:

$$Q = c A (2gh)^{1/2}$$

Donde:

- Q: descarga, en m<sup>3</sup>/s.
- c: coeficiente de descarga igual a 0.6.
- A: Apertura de la rejilla (m<sup>2</sup>).
- g: Aceleración de la gravedad (m/ s<sup>2</sup>).
- h: carga hidráulica (m)

Para cargas reducidas, la descarga se realiza de acuerdo con la ecuación del vertedero de sección rectangular:

$$Q = CLH^{3/2}$$

Donde :

$$C = 1.7 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$



L= perímetro exterior de la parte abierta de la rejilla, despreciando los travesaños (m)  
 H: sobrecarga hidráulica (m)

Con esas ecuaciones puede determinarse fácilmente el número y tamaño de las rejillas para absorber un caudal dado con una sobrecarga permisible. La formula general de vertedero debe aplicarse en los estacionamientos de aviones y en aquellas otras áreas en las que es inaceptable el encharcamiento. La formula de orificio es aplicable a los imbornales situados en las zonas verdes. Al emplear esas formulas la FAA recomienda el uso de un coeficiente de seguridad de 1.25 para áreas pavimentadas y de 1.5 a 2 para zonas verdes, a fin de tener en cuenta la obstrucción parcial de la rejilla por materiales sueltos. Los coeficientes de FAA se basan en los ensayos sobre modelos de rejillas análogos con una relación 2:3 entre el ancho neto de apertura de la rejilla al ancho total.

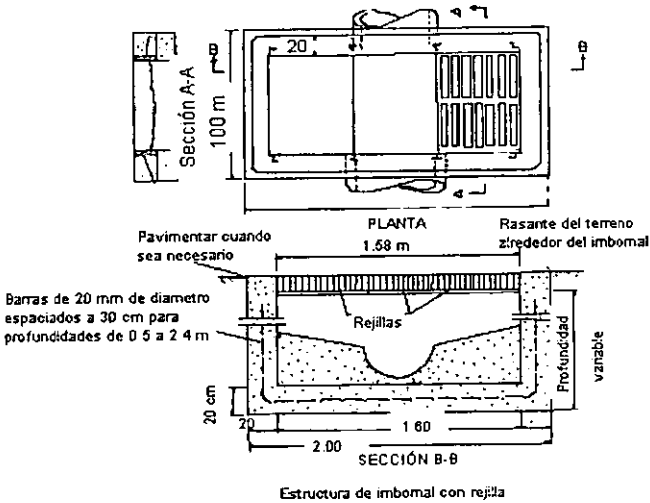


Fig. 3.7. Estructura de imbornal con rejilla.  
 Fuente: Aeropuertos, N ashford.

### III.2.- Pavimentos Flexibles

#### Pavimentos

##### Definición:

Son estructuras que nos permiten transmitir el peso de los aviones a través de las llantas al terreno natural y esto se realiza por esfuerzos, otra de sus funciones es la de proporcionar una superficie de rodamiento adecuado a las ruedas y velocidades en un aeropuerto.

En forma general se define como pavimento a la estructura consistente en una o más capas de materiales apropiados, cuya finalidad principal es la de proporcionar una superficie de rodamiento adecuado a las ruedas de los vehículos, distribuyendo de una forma uniforme las cargas concentradas a las capas inferiores, de tal manera que la capacidad de soporte de las mismas no se exceda.

#### Pavimentos flexibles

Se consideran dentro de este grupo los pavimentos formados por varias capas de materiales pétreos ( sub-base y base) cubiertos por una carpeta que generalmente es de material asfáltico. La transmisión de esfuerzos se hace de una capa a otra, y el comportamiento del sistema dependerá básicamente de la forma en que cada una responda ante las cargas y la acción del clima.

La transmisión de las cargas hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

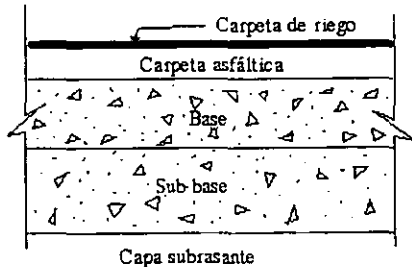


Figura 3.8 : Capas que forman en general un pavimento flexible

El pavimento siempre deberá estar apoyado sobre una capa que se denomina capa subrasante, la cual se desplanta sobre las camas de corte o terraplén, formando el cuerpo de terracerías ( fig. 3.8).

Existe una diversidad de criterios para determinar el tipo de pavimento que se requiere en un aeropuerto. Debemos tener presente que un pavimento debe cumplir con una serie de condiciones que lo hagan óptimo desde el punto de vista de la ingeniería.

Las condiciones fundamentales que debe cumplir una estructura de pavimentos es:

- a) Resistencia estructural
- b) Deformabilidad
- c) Durabilidad
- d) Economía
- e) Requerimientos de conservación
- f) Comodidad, que en el caso de las pistas de rodaje se traduce en seguridad.

Resistencia estructural.- es la primera condición que debe cumplir el pavimento al soportar las cargas impuestas por el tránsito, que transmite esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. Además de éstos, en los pavimentos actúan esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de las aeronaves, y esfuerzos de tensión ocasionados por la deformación que a su vez producen las cargas verticales al flexionar la estructura.

Cuando se construye un camino o una pista se hace referencia a los pavimentos y a las terracerías. En el medio de las vías terrestres no se acostumbra separar estas partes, ya que las terracerías y el pavimento no funcionan de forma independiente, sino más bien, el funcionamiento de cada una de estas partes, además de depender entre sí, también está en función del comportamiento del terreno natural o de cimentación.

De aquí que es necesario introducir un concepto, que es el de sección estructural, como su nombre lo indica, implica considerar el pavimento ( sub-base, base y carpeta), las terracerías o subrasante, capas subyacente y el terreno natural como una estructura total.

#### **Cuerpo de terraplén.**

Las terracerías generalmente comprenden el cuerpo de terraplén y a la capa subyacente; el cuerpo de terraplén debe construirse con material apropiado que tenga pocos cambios volumétricos, bajo variación de humedad y sirva para elevar el nivel hasta el adecuado para alcanzar el nivel de rasante del proyecto.

Para el cuerpo de terraplén, las normas que rigen actualmente establecen que se puede usar ciertos materiales de baja calidad relativa ( arcillas hasta con un  $LL \leq 100\%$  y  $VRS_{em} \geq 10\%$  ) y de cualquier tamaño, de acuerdo a las normas para la construcción, instalación y normas de calidad de los materiales.

Es conocido el efecto que tienen los materiales finos plásticos al dárseles una compactación, como es el aumentar su fuerza de expansión o su deformabilidad, por lo tanto, es necesario evitar emplear estos materiales en la construcción del cuerpo de terraplén.

Cuando los caminos o pista se encuentren al nivel del terreno natural o en sección de corte o terraplén, y el terreno sobre el cual se va apoyar es de muy mala calidad, se utiliza una capa de mejoramiento llamada capa subyacente. Con objeto de reducir los efectos perjudiciales de este suelo natural como son deformaciones y expansiones, esta capa generalmente se construye sobre del cuerpo de terraplén o del terreno natural.

## Capa subyacente

La capa subyacente, es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo de terraplén y el pavimento. Cuando el material del terreno natural es de buena calidad, y cumple con las normas de especificación de proyecto, únicamente se conforma y se compacta, usándose como capa subyacente. En el caso de que el terreno natural sea roca, se usa la capa para absorber las irregularidades que resultan al efectuar un corte

Las finalidades de la capa son:

- a) Resistir los esfuerzos que le transmita la superficie de rodamiento debido al paso de los vehículos.
- b) Tomar los esfuerzos que le transmita el pavimento, hacerlos llegar a las terracerías o terreno natural de tal forma que éstas lo resistan fácilmente, es decir, sin deformarse plásticamente.
- c) Servir como capa de transición entre el pavimento y las terracerías, esto es, debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías o el terreno natural.
- d) Reducir espesores en las capas del pavimento, con el ahorro que esto implica, sobre todo si se trata de terracerías de baja calidad y/o mal drenaje y subdrenaje.
- e) Uniformizar los espesores requeridos del pavimento, al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

En estudios realizados en el Laboratorio "Fernando Espinosa", del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se observó que la capa tiene primordial importancia, aun cuando el pavimento sea de muy buena calidad y del espesor adecuado, pues en general los factores de daño a la profundidad a la que se localiza la capa subyacente pueden ser mayores.

## Sub-base y base

Se colocan sobre la capa subyacente que se convierte en la subrasante, son capas sucesivas de materiales seleccionados cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías distribuyéndolas de tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ésta.

### Sub-base

Es una capa de transición entre la capa de base y la subrasante a la que se atribuye una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consiguiente mayor costo; aun a costa de incrementar espesores, aumenta el volumen del material y por consiguiente, los acarrees, si la distancia de acarreo es grande, los costos pueden aumentar considerablemente.

La sub-base puede servir también como colchón que absorbe las deformaciones de la terracería, debidas a cambios volumétricos por efectos de humedad y efectos de rebote elástico.

Otras de las funciones que puede tener, es desalojar el agua que se infiltre en el pavimento o impedir la ascensión del agua procedente de las terracerías por el fenómeno de capilaridad. También se le conoce como capa rompedora de calidad.

El material que se use en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo con lo que suscriban las especificaciones de cada proyecto o las normas para construcción e instalación de la S.C.T. en México

## Base

Es una capa constituida con material seleccionado, de mejor graduación y resistencia que la de la capa sub-base. Tiene entre otras las siguientes funciones: La primera y la más importante, es la de soportar las cargas que le transmita la carpeta y abatir los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que lleguen a las capas subyacentes con la intensidad de que estas lo resistan. El incremento en su resistencia se debe a la trabazón que existe entre las partículas originada por la forma, en general, angulosa de las mismas.

Otra función de esta capa puede ser la de drenar el agua que se infiltre por la superficie de rodamiento e impedir la ascensión capilar del nivel freático funcionando como capa rompedora de capilaridad. Por ultimo, tiene también fines económicos, pues al aumentar el espesor de esta capa se puede reducir espesores en la carpeta o concreto hidráulico, que es lo más caro, lo que reditúa en un ahorro considerable.

Cuando el material del que se pueda disponer de alguna de las capas mencionadas anteriormente no cuente con la calidad requerida, suele mejorarse con aditivos tales como cemento o cal hidratada y otros productos, entonces el pavimento pasa a ser del tipo mejorable.

## Superficie de rodamiento para los pavimentos flexibles

Los requisitos que debe cumplir la superficie de rodamiento son los siguientes:

- 1.- Ser estables ante los agentes del intemperismo
- 2.- Ser resistente a los esfuerzos verticales y tangenciales producidos por el tránsito
- 3.- Ser durable
- 4.- Tener condiciones adecuadas de permeabilidad
- 5.- Tener textura y color apropiados
- 6.- Ser económico

Para conseguir estos objetivos se debe contemplar lo siguiente:

- a) La utilización de capas de rodamiento suficientemente gruesas y de muy alto costo, como es el caso de los pavimentos rígidos.
- b) El empleo de sistemas multicapas, que transmiten las cargas al terreno de cimentación, como es el caso de los pavimentos flexibles.

En este tipo de pavimentos, el número de capas dependerá de la calidad del terreno de cimentación. Lo cual nos da la posibilidad de reducir el número de los mismos dentro de ciertos límites, representando un decremento en los costos.

En la planeación, diseño, construcción y administración de un pavimento, se debe tomar en cuenta los siguientes costos adicionales a los de construcción o de inversión inicial:

- Costos de conservación
- Costos de operación
- Costos de accidentes

No se debe pensar que ante una limitación de los recursos financieros, se deben abatir los costos de construcción o inversión inicial sacrificando la calidad de los materiales que formarán la sección estructural, pues a futuro, los gastos de conservación se incrementarán más allá de lo normal, así como, los gastos de operación que se produzcan en exceso por los deterioros que presente la superficie de rodamiento, propiciando un costo mayor de los bienes y servicios que se transportarán por esa vía terrestre.

Por tal motivo para una sección estructural, se deben seleccionar los materiales que ofrezcan una adecuada resistencia al esfuerzo cortante y que sufran los menores cambios volumétricos y/o deformaciones posibles.

Podemos decir que ahorrar en los materiales de construcción de las terracerías empleando materiales plásticos en aras de tener una inversión inicial pequeña es una idea errónea, pues aun para la inversión inicial los espesores de pavimento son mayores y por lo tanto se propicia un mayor costo y no se garantiza el comportamiento adecuado de la estructura a través de su vida útil, pues un material plástico es deformable y tiene variaciones volumétricas de consideración, caso de las arcillas expansivas, que cuando es tiempo de avenidas se expanden y cuando es tiempo de estiajes se contraen, lo cual no es conveniente para la estabilidad de la estructura del pavimento porque permite deformaciones muy grandes.

Inicialmente se puede tener un costo bajo de inversión pero, a medida que transcurre el tiempo, se tienen que considerar los costos provocados por una conservación normal y aquellos originados por reconstrucciones periódicas debidas a fallas estructurales.

Con el fin de garantizar un correcto uso de los materiales pétreos, resulta necesario conocer ciertas características y propiedades físicas de estos y poder de esta manera cumplir con las especificaciones de proyecto y son los siguientes:

**Granulometría.-** la composición granulométrica representa numéricamente la distribución de los tamaños de las partículas que componen un material.

**El valor cementante del material.-** es importante en el caso de la construcción de bases y sub-bases, que se abren al tránsito sin protección.

**Absorción.-** de esta manera podemos determinar la cantidad óptima de agua necesaria para compactar con el menor esfuerzo o para que se facilite la adherencia con el asfalto.

**La prueba equivalente de arena.-** determina la presencia o ausencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que puedan ser perjudiciales.

**Contracción lineal.-** Es importante conocer la plasticidad de un material, así como su susceptibilidad a los cambios de volumen al cambiar su contenido de agua. La contracción lineal es la medida de reducción en una sola dirección, expresada como un porcentaje de la dimensión original.

**Valor relativo de soporte (V.R.S.) -** Se utiliza con el fin de garantizar la resistencia de los materiales a la penetración y al desgaste, se utiliza actualmente para dimensionar los pavimentos que se construyen y entre otras pruebas.

### Especificaciones de construcción

Las especificaciones de construcción en pistas de rodaje son muy semejantes a las de carreteras, sin embargo en el control de calidad existen especificaciones más estrictas, tanto en los procedimientos como en la ubicación de puntos de verificación.

#### Bases y sub-bases:

El procedimiento que debe seguirse una vez que la capa anterior esté totalmente terminada, es el siguiente:

- Mezclado del material
- Tendido en capas de 15 cm.
- Compactado de cada capa al 95%, superponiéndolas hasta alcanzar el espesor de proyecto. Esta superposición de capas debe realizarse de modo que las capas queden perfectamente ligadas, por lo que es importante tener bien limpia la superficie de la capa anterior y agregarle agua antes de tender la siguiente capa.

- La compactación se debe hacer añadiendo agua con el fin de compensar la pérdida de humedad por evaporación.

Esta compactación deberá iniciarse de las orillas hacia el centro en tramos rectos, y de la parte interior hacia la exterior en curvas.

#### Estabilizaciones:

Cuando se quiere modificar algunas de las propiedades físicas de un material con el fin de mejorarlo, ya sea éste para sub-rasante, base o sub-base, se realiza una estabilización.

La estabilización consiste en incorporar determinados productos a los materiales que se quieren modificar para mejorar el comportamiento de las capas.

Cuando las estabilizaciones se hace con cemento portland, cal hidratada o puzolanas, el procedimiento a seguir es el siguiente:

Se mezclaran los materiales con el estabilizante de acuerdo a las proporciones fijadas en el proyecto, y se tenderá la mezcla húmeda compactándola a un 95%

### Carpeta de asfalto

Es uno de los materiales que se utilizan para proporcionar una superficie de rodamiento a las ruedas de los vehículos. Sus funciones son las de soportar los efectos del tránsito y contar con la textura y color apropiados, ( debe ser antiderrapante y antideslumbrante ), tener resistencia estructural y debe ser flexible.

El asfalto en forma industrial, forma parte importante de muchos petróleos crudos que al refinarlos y separar las fracciones volátiles mediante un cierto proceso produce el asfalto oxidado que al procesarlo nuevamente se obtienen los llamados cementos asfálticos y si a estos se les agrega un solvente se obtienen los llamados asfaltos rebajados.

Además de que el asfalto actúa como cementante, es impermeable, durable y resistente a los álcalis, ácidos y sales. El asfalto al calentarse y ser licuado, se puede disolver en los derivados del petróleo o ser emulsificado con agua.

### Tipos de construcción de las carpetas asfálticas

1.- De mezclas en el lugar.- Son las que se construyen en las carreteras, autopistas o plataformas de trabajo mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos y un material asfáltico. El material asfáltico consiste en rebajes de fraguado rápido medio o emulsiones de rompimiento medio o lento.

En la construcción de carpetas por el sistema de mezclas en el lugar, no deberá regarse el material asfáltico cuando la humedad de los pétreos sea superior a la de absorción, o cuando estos tengan agua superficial, excepto cuando se trate de una emulsión asfáltica.

Una vez curada la mezcla asfáltica, se ventilará esta con el fin de hacerle perder parte de los disolventes que contiene para darle una viscosidad adecuada y posteriormente se tenderá con equipo adecuado de acuerdo al ancho y espesor fijados en el proyecto.

La compactación será inicialmente con un rodillo liso tipo tandem, adecuado para dar un acomodo inicial a la mezcla, posteriormente con compactadores de neumáticos hasta alcanzar un 95% de compactación, finalmente con una plancha lisa adecuada para borrar las huellas de los compactadores de neumáticos, esta operación se recomienda realizarla cuando la temperatura ambiente lo facilite.

El rodillo liso o compactador de neumáticos deberá moverse paralelamente al eje de la carretera o de la pista de rodaje. En el caso de los aeropuertos, la compactación debe realizarse en sentido transversal y oblicuo al eje de la pista o calle de rodaje, al finalizar esta operación se recomienda un riego de sello para disminuir la permeabilidad de la superficie.

2.- Carpetas de concreto asfáltico.- Son las que se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos.

De ser posible únicamente se deben utilizar en la construcción de pavimentos aeronáuticos, ya que generalmente las carpetas asfálticas por el sistema de mezclas en el lugar, requieren de un mantenimiento más intensivo debido a la calidad que se obtiene, resultado del aglutinamiento asfáltico y de las dificultades de control de calidad durante la elaboración. Estas se elaboran a base de mezclas en caliente elaboradas en planta estacionaria mediante cementos asfálticos.

Las plantas de elaboración del concreto asfáltico deben de contar con un sistema de secado, de clasificación y de almacenamiento del material pétreo, así como con dispositivos de dosificación de los materiales y de calentamiento de asfaltos, debe proporcionar una mezcladora adecuada con control de tiempo de mezclado, recolector de polvos y un sistema que permita el agregado de finos.

El material pétreo debe ser calentado y secado hasta que la humedad que contiene sea inferior al 1% para poder introducirlo a la mezcladora a una temperatura de entre 120 y 160°C. Al salir de la planta de elaboración la temperatura de la mezcla deberá estar comprendida entre 120 y 160°C.

El concreto asfáltico deberá transportarse en vehículos cubiertos para protegerlo del polvo y de la pérdida de calor y de tenderse por medio de maquinas especiales que repartan uniformemente la mezcla y le den el espesor y el ancho requeridos.

El concreto asfáltico debe tenderse a una temperatura mínima de 110°C. Y debe compactarse del mismo modo que en el caso de las carpetas a base de mezclas en frío

. La compactación deberá iniciarse a una temperatura de 100 a 110°C y terminarse a una temperatura mínima de 70°C. No deberá tenderse sobre una base húmeda o en condiciones de lluvia y se sellará cuando se juzgue necesario.



Juntas de construcción:

Juntas longitudinales.- En caso de que el tendido se haga en dos o más capas con un intervalo de más de un día entre capa y capa, deben impregnarse con un material asfáltico de fraguado rápido, antes de tender la siguiente capa.

Juntas transversales.- Se deben recortar aproximadamente a 45° antes de tender el siguiente tramo y también deben impregnarse con un material asfáltico de fraguado rápido.

Para dar por terminada la construcción de la sub-base, de la base y carpeta, así como de las capas estabilizadas, se verificarán el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado de acuerdo con la fijado en le proyecto.

### **Evaluación y conservación de pavimentos flexibles**

El objetivo de la conservación es:

- Corregir los deterioros existentes en la estructura del pavimento
- Prevenir deterioros futuros
- Adaptar el pavimento a las exigencias del tránsito futuro.

Los procedimientos comúnmente utilizados en la rehabilitación y conservación de pavimentos son los siguientes:

- a) Tratamientos superficiales.- con el fin de proporcionar una adecuada calidad de rodamiento, así como un superficie antiderrapante.
- b) Sobre carpetas.- La cual proporciona la capacidad estructural adicional que soporta el tránsito futuro.
- c) Ampliaciones.- Para mejorar las condiciones geométricas del uso al que estén destinadas

Es importante observar que los requerimientos que se establezcan respecto a la resistencia y la estabilidad de los materiales utilizados en la construcción de pistas de rodaje se respeten ya que de estas características depende el buen funcionamiento del pavimento y por lo tanto la seguridad y la eficiencia del aeropuerto.

Es importante hacer notar que la política de inversiones en México nos lleva muchas veces a la realización de obras cuya inversión inicial es baja, aunque los gastos de mantenimiento sean elevados, este es el caso de los pavimentos flexibles que se han utilizado en la infraestructura del país.

### III.4. Pavimentos Rígidos

Se componen de losas, las cuales serán capaces de distribuir las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de apoyo.

Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Las capas de sub-base son necesarios para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquinas o de orilla en la losa.

#### Capas que constituyen el pavimento rígido

- a) Losas de concreto hidráulico.- sus funciones principales son:
- Proveer una adecuada superficie de rodamiento
  - Distribuir adecuadamente las cargas concentradas de tal manera que la capacidad de soporte de la subrasante no se exceda.
  - Resistir los efectos abrasivos del tránsito
  - Impedir al máximo la penetración del agua superficial a las capas de apoyo
- b) Sub-base del pavimento rígido: sus principales funciones son:
- Prevenir el fenómeno de bombeo, actuando como capa drenante.
  - Proteger al pavimento contra la acción de las heladas
  - Proporcionar a la losa una superficie de apoyo más resistente
  - Facilitar la construcción de la losa

Es conveniente resaltar que un pavimento está constituido por toda la estructura que se encuentra colocada sobre el terreno natural, cualquiera que sea el número de capas que forman dicha estructura (fig.3.9).

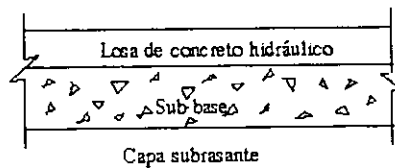


Fig. 3.9: Capas que forman un pavimento rígido

A diferencia de los pavimentos flexibles, en los rígidos no se pueden aceptar deformaciones de las capas inferiores sin que provoquen falla estructural.

Este tipo de pavimentos tienen un mayor costo inicial, pero su vida útil es más larga y requieren de menor mantenimiento. Aunque las especificaciones de pavimentos sean generales para todo tipo de vías, realmente existe una gran diferencia entre lo que es el diseño de pavimentos en aeropuertos y el de carreteras. Debido a los distintos factores que se consideran

## Construcción de pavimentos rígidos

La utilización del concreto hidráulico para pavimentos está muy extendido en todas las ramas de la construcción, ya sea caminos, aeropuertos, fabricas, obras portuarias, obras hidráulicas, urbanizaciones, etc.

El pavimento de concreto hidráulico puede soportar excelentemente todas las condiciones de tránsito pesado e intenso, materiales químicos corrosivos y dañinos en relación a otros tipos de pavimentos, sin afectar su calidad y durabilidad. Sin embargo como el concreto hidráulico es de sencillo manejo muchos constructores abusan de los procedimientos de colocación obteniendo como resultado pavimentos de mala calidad y de poca durabilidad.

Un pavimento de concreto hidráulico que se ha construido respetando y cumpliendo con las especificaciones, prácticamente no tendrá costos adicionales de conservación o de mantenimiento durante su vida de proyecto.

Preparación de la sub-base.

- a) Deberá ajustarse a los reglamentos y especificaciones de sub-base para pavimentos. Antes de iniciar el trabajo de colocación de losas de concreto deberán hacerse los ajustes en niveles de la sub-base ya sea recorte o adicionar material, reconstruir zonas defectuosas para quedar dentro de especificaciones.

En caso de usar equipos de tendido con cimbras deslizantes se deberá dejar el ancho de la sub-base 80 cm mayor en cada lado del ancho de proyecto del pavimento.

- b) Cuando se usen formas de cimbra fija en la operación de pavimentación, el ajuste a los niveles de la sub-base puede hacerse montando el equipo de recorte sobre las formas que han sido alineadas y niveladas previamente o hacerlo manualmente. En caso de usar equipo de nivel automático guiado sobre un cable previamente nivelado puede caminar sobre la sub-base.

Para ajustar niveles finales en la sub-base de suelo cemento se tendrá que hacer la operación de afinado antes que se produzca el endurecimiento inicial o sea 3 o 4 después de colado.

- c) Como operación final se deberán checar los niveles de proyecto, así como las compactaciones en zonas que se vieron afectadas por recortes o rellenos.

Cuando se permite el tránsito de vehículos sobre la sub-base, se hará con mucha precaución para no dañarla, si se altera la superficie de la sub-base se compactará antes de colocar el concreto del pavimento.

Materiales:

Es necesario hacer una revisión cuidadosa de la existencia y calidad de los materiales, deberán tenerse en suficiente cantidad para no sufrir interrupciones en el proceso del colado, debido al suministro por falla en producción, lluvias y otras eventualidades.

Laboratorio:

Es indispensable contar con un laboratorio con instalaciones suficientes para controlar la calidad de los materiales y concretos colados. Esto permite hacer los ajustes a los concretos en caso de requerirlo y tener certeza de cumplir con las especificaciones.

**Equipo:**

Deberá verificarse que el equipo de colado, tendido, compactado, acabado, aserrado, curado y alumbrado, este en perfectas condiciones de trabajo para garantizar jornadas completas sin interrupciones.

**Personal:**

Se deben establecer los turnos de trabajo e integración de las cuadrillas necesarias para cada turno de trabajo, en caso de existir más de dos turnos, que estén equipados con las herramientas de trabajo para que puedan desempeñar eficientemente su trabajo. Para dar los niveles y el alineamiento de las formas de cimbra se deberá contar con una cuadrilla de topografía.

En este sub-capitulo se hace una breve descripción de los equipos que intervienen en la fabricación y colocación de concretos hidráulicas en pavimentos como son:

**1.- Equipo de fabricación:**

Para la fabricación del concreto hidráulico es recomendable usar plantas de concreto integradas con silo para cemento y compartimentos separados para cada tamaño de agregados. En caso de usar cemento envasado, se deberá de disponerse de bodegas para almacenarlo en cantidades suficientes para garantizar una producción de concreto continuo sin interrupciones. Además debe tener un sistema de alimentación para el cemento envasado.

Es indispensable un el equipo de dosificación que incluye tolvas pesadoras, básculas y controles de dosificación. El cemento se debe pasar en tolva separada y no en forma acumulativa con los agregados. Además dispondrá de dispositivos de controles electrónicos. También es necesario contar con un sistema de alimentación de agua, base de hidrómetro para se exacta dosificación.

**2. Equipo de transporte:**

Para transportar el concreto al sitio de colado se necesitan equipos que garanticen la entrega del concreto de buena calidad, sin segregación y sin pérdida de humedad. Podemos distinguir dos tipos de transporte según la distancia de acarreo:

Para distancia de hasta de 3 kilómetros y en caminos parejos podemos usar camiones de volteo de 5 a 6 m<sup>3</sup> que tengan caja en buen estado, en este tipo de vehículos resulta conveniente cubrir la caja con una lona para evitar la evaporación del agua del concreto. Normalmente no existe problema de segregación para esta distancia debido al bajo revenimiento del concreto que se utiliza en los pavimentos.

Para distancias mayores conviene usar equipos especializados en el acarreo del concreto, básicamente en un camión con caja en forma de media pera que pueda estar equipado con un agitador dentro de la caja y vacía la caja mediante volteo ( Dumpcrete ).

Con frecuencia se usan las ollas revoledoras montadas en camión ( Motorevolvedora ) para el transporte del concreto. Sin embargo este procedimiento no es recomendable ya que este equipo maneja concretos con revenimiento mayores al recomendado en pavimentos de concreto hidráulico

Los equipos de Colocación, Compactación y Terminación usados en la construcción de este tipo de pavimentos pueden dividirse en :

- a.- Equipos con cimbra deslizable.
- b.- Equipos con cimbra estacionaria.

**Equipos con cimbra deslizante:**

El uso de pavimentadoras con cimbra deslizante se recomienda en la construcción de pavimentos para carreteras y aeropuertos. La operación del equipo con cimbres deslizantes es más económico que aquel de cimbra fija removible, se ahorra mano de obra y en equipos adicionales, se trabaja en zonas más compactas facilitando la supervisión y calidad del trabajo.

Algunas de las ventajas que presenta este tipo de cimbra son: la capacidad de ajustarse a una gran gama de dimensiones, con lo cual se han realizado construcciones de losas de concreto de pavimentos de espesores variables desde 15 cm hasta 30 cm y ancho desde 3 m a 15 m, en losas con o sin refuerzo, otra ventajas es el factor inversión – producción. Donde en producciones masivas es más económica la utilización de este equipo, en comparación al de cimbra fija.

**Equipos con cimbra estacionaria:**

Este sistema tiene una gran ventaja sobre el sistema con cimbra deslizante de poder garantizar mejor los niveles de la rasante y no tiene desplomes en los hombros. La cimbra se coloca previamente alineándola y nivelándola, y luego sirve de apoyo al equipo de colocación y vibrado y terminación final.

Para aeropuertos es preferible usar equipo de pavimentadoras apoyadas en cimbra estacionaria dado que este sistema garantiza mejor la obtención de los niveles que exijan las especificaciones

El colado, compactación y curado del concreto hidráulico se puede desarrollar de la siguiente forma:

**Colado del concreto.-** En trabajos que requieren el movimiento de grandes volúmenes de concreto se utilizan máquinas equipadas con dispositivos de distribución y colocación del concreto en forma mecánica, tales como cajones de recepción y para su distribución pueden contar con cualquiera de los siguientes elementos: banda, gusano, remo, cajones, abanico, etc. Cualquiera de estos dispositivos distribuye en concreto a todo el ancho de la losa con los espesores adecuados si dañar la sub-base, además manejando el concreto con un mínimo de segregación.

**.Compactación.-** Se logra mediante el uso de vibradores de alta frecuencia 10,000 rpm, se colocan sobre una barra con separación de 75 cm centro a centro a todo lo ancho de la losa de concreto. En algunas máquinas se cuenta con vibradores de tubos colocados en la esquina de avance de la plancha de conformación.

**Curado.-** Una vez que desapareció la película de humedad sobre el pavimento fresco, la superficie deberá se cubierta con una membrana de curado, ésta puede aplicarse con aspersores de tipo manual o mecánicos del tipo que se usan para aplicar insecticidas, también hay máquinas especializadas cuando se trata de grandes volúmenes.

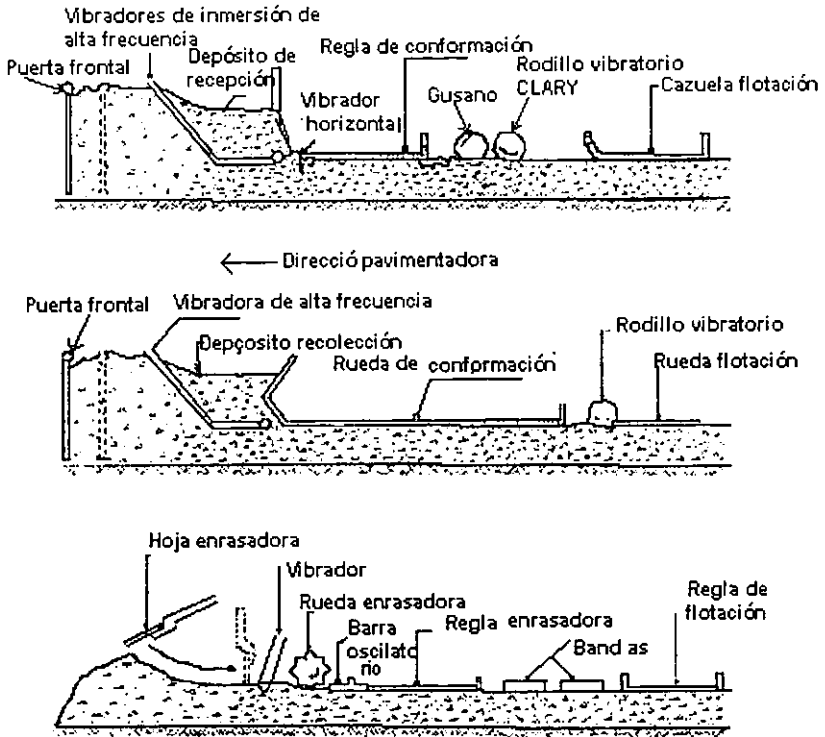


Fig.3.10.- Equipos para colocación, compactación y terminado con cimbra deslizante  
Fuente "construcción de estructuras de concreto" ACI.

**Juntas de construcción:**

Las juntas son esenciales en los pavimentos de concreto hidráulico a fin de reducir los esfuerzos de tensión, compresión y flexión en las losas. Los tipos de juntas son los siguientes:

**1. Juntas de expansión**

Su función principal es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del concreto cuando se dilata y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daño en el mismo.

Normalmente son juntas de construcción que se utilizan cuando la dirección del pavimento cambia, como pudiera ser el caso de entronque de las calles de rodaje con pistas y plataformas de operación.

## 2. Juntas de contracción

Tienen por objeto limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Esta junta debe estar en libertad de abrirse, básicamente existen varios tipos de juntas de contracción. Una de estas juntas son las juntas de ranura las cuales se construyen formando una ranura en la superficie del pavimento utilizando alguno de los siguientes procedimientos:

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

## 3. Juntas de alabeo o de articulación

Se refiere a cualquier tipo de junta que permita un cierto giro sin una separación entre las losas adjuntas, actúa simplemente como una articulación. Su función principal es absorber los esfuerzos por alabeos. A diferencia de las juntas de expansión y contracción, se colocan barras de sujeción a través de la junta para prevenir separaciones considerables en la junta.

Se construyen entre las dos losas extremas de un pavimento. Al ir colando la penúltima línea del pavimento se colocan varillas corrugadas de diámetro y separación, según marca el diseño al centro del peralte de la losa. Una vez colado el concreto se introducen por la perforación la varilla, la mitad de su longitud. Cuando se cuele la última línea del pavimento quedará la otra mitad de la varilla en esa losa. Así tendremos una sujeción perfecta entre las dos losas extremas del pavimento. Este procedimiento se aplica tanto en aeropuertos para pista, calles de rodaje y plataformas de operación como en carreteras u otros pavimentos.

## 4. Juntas de construcción transversal

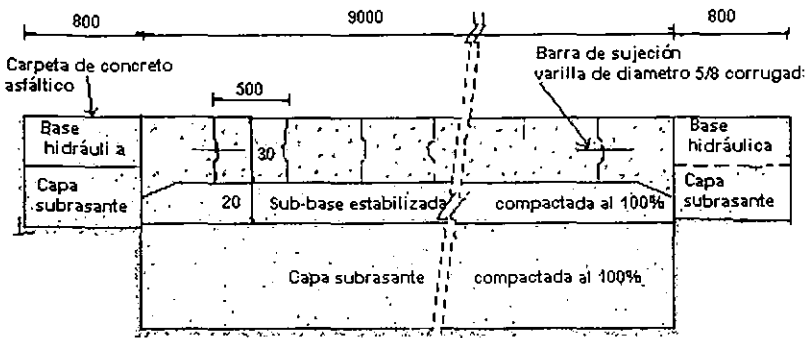
Este tipo de junta se construye para fin de jornada o alguna interrupción imprevista y se procede como sigue:

Se prepara una forma cimbra para fin de jornada o de tapón, se dejan perforaciones y apoyos para colocar las varillas de transmisión de carga. La separación será de acuerdo con el proyecto y se ubicarán al centro del peralte de la losa, se fija y nivela la cimbra tapón y se cuelan las barras de acero, bien en engrasados y se termina el colado.

## 5. Juntas longitudinales

Son las juntas que normalmente quedan a tope, una y otra losa a lo largo del pavimento. Su construcción es la unión de una losa colada con otra.

El fin primordial del diseño de éstas juntas es la de controlar los agrietamientos producidos por los movimientos de dilatación y contracción de las losas.



**SECCIÓN PLATAFORMAS DE OPERACIÓN**

**Acot en cm**

Fig 3.11. Detalles recomendadas de diseño de juntas longitudinales para aeropistas  
Fuente, "construcción de estructuras de concreto" ACI.

**Diseño de pavimentos**

Existen varios métodos que nos son de mucha ayuda para diseñar los tipos de pavimentos ya mencionados dependiendo del número de las variables que intervienen y a la evaluación de las cargas actuantes, pero en este trabajo solo se especificará uno de ellos que es el método de la FAA para diseño de pavimentos tanto flexibles como rígidos, aunque se definirán algunos de los métodos que a continuación se mencionan:

**Método del Valor Relativo de Soporte**

Fue originalmente desarrollado en el estado de California , EUA, es el más utilizado por los diseñadores de pavimento en todo el mundo. Es un procedimiento empírico que mide la resistencia de un suelo a la penetración. Fue originalmente utilizado en el diseño de carreteras pero posteriormente fue modificado para diseños en aeropuertos, actualmente cuenta con gráficas que relacionan los espesores de pavimentos para diferentes tipos de aeronaves y pesos.

**Método del Instituto del Asfalto**

Este método considera en un punto cualquiera del pavimento dos deformaciones críticas, una de tensión en la parte inferior de la carpeta y otra de compresión en la de la parte superior de la subrasante. Convierte las deformaciones provocadas por los diferentes aviones en su equivalente provocado por un avión de diseño.

**Método de la Marina**

Está basado en la teoría de boussinesq , considera un sistema de capas y se complementa con un análisis de deformaciones basados en pruebas de placa.



**Método de Canadá**

Resuelve el sistema multicapa en uno equivalente formado por dos capas, y considera que la deformación esta en función de la resistencia del sistema.

**Método de la FAA**

A medida que los aviones crecen en tamaño y con el objeto de mantener los mismos espesores de pavimentos fue necesario dotar de más ruedas a los trenes de aterrizaje con el objeto de dividir la carga total entre el numero de ruedas del tren principal, de esta manera se logra que la carga se distribuya entre los neumáticos transmitiéndola de forma uniforme al pavimento, con la ventaja de que los esfuerzos serán menores con el incremento de ruedas.

Este método relaciona mediante gráficas los datos obtenidos del avión de diseño relacionándolo con el espesor de diseño del pavimento. Para aplicar el método de debe tener el pronóstico de los despegues anuales para todas las aeronaves que hacen uso del aeropuerto, indicando también la configuración de las ruedas y el peso de despegue de cada uno, tomando en cuenta que las mayores condiciones de carga se presentan durante el despegue y no del aterrizaje.

En base a estos datos se determina el avión de diseño, siendo éste el que más operaciones realice. Partiendo del peso de la aeronave de diseño y de la configuración de las ruedas del tren de aterrizaje principal, se determina la carga por rueda, considerando que el 95% del peso total lo absorbe el tren principal. El numero de ruedas varía según la configuración.

Debido a que las aeronaves presentan diferentes configuraciones de ruedas, se hace necesario convertir los despegues anuales de cada aeronave en términos de la configuración de ruedas del avión de diseño, obteniendo finalmente con la suma de estos valores el numero de despegues anuales equivalentes para el avión de diseño. Para lo cual se utiliza la siguiente formula:

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

- Donde:  $R_1$  = Despegues anuales equivalentes al avión de diseño.
- $R_2$  = Despegue anuales del avión a convertir afectados previamente por la corrección por configuración de ruedas.
- $W_1$  = Carga por rueda del avión de diseño.
- $W_2$  = Carga por rueda del avión a convertir.

La corrección por configuración de ruedas se presenta en la tabla III.2

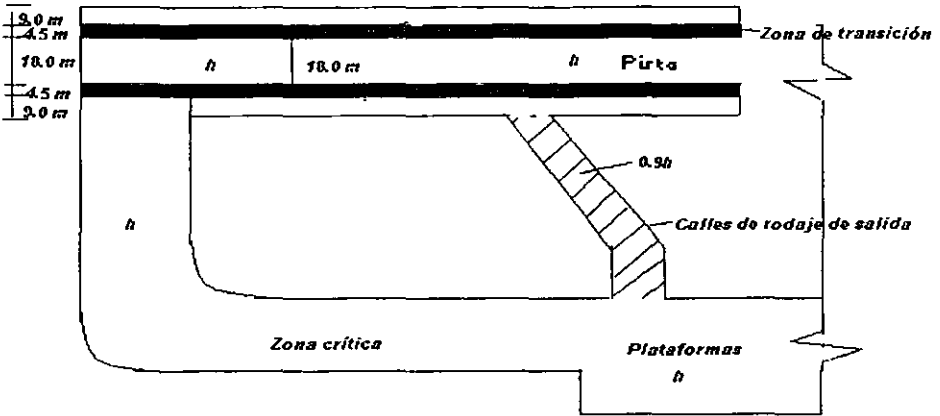
Tabla III.2: Corrección por configuración de ruedas.

Configuración de ruedas de la aeronave	Configuración de ruedas del avión de diseño	Multiplicar para obtener los despegues equivalentes
Para convertir :	A:	Multiplicar por:
Rueda sencilla	Doble	0.8
Rueda sencilla	Tandem doble	0.5
Doble	Rueda sencilla	1.3
Doble	Tandem doble	0.6
Tandem doble	Rueda sencilla	2.0
Tandem doble	Doble	1.7

Doble tandem doble	Doble Tandem doble	1.7
Doble tandem doble		1.0

Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos

Como la canalización del tránsito es mayor al centro de la pista de rodaje, esto permite para los dos tipos de pavimentos reducir el espesor de la base o de la losa de concreto en un 90% del espesor total para las calles de salida y para las partes adyacentes al centro de la pista. También se permite



utilizar el 70% del espesor total de base o losa de concreto para zonas donde el tránsito aéreo es poco probable, como las orillas de pista y calles de rodaje Figuras 3.12 (a) y 3.12(b).  
fig.a)

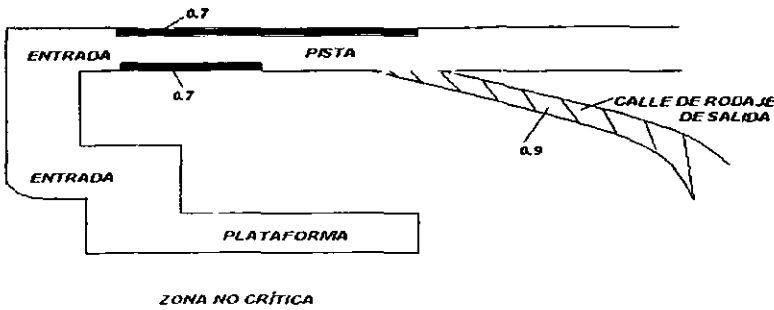


Fig. b)

Fig 3.12 (a) y (b) Zonas crítica y zonas no crítica  
Fuente: Apuntes de la materia de Aeropuertos

Para el caso de diseño de los pavimentos flexibles la mecánica de suelos nos proporciona información del CBR de los materiales que conformarán el pavimento como son el CBR de la capa sub-rasante, CBR de la sub-base y el CBR de la base con los cuales junto con el número de despegues de diseño se entra por gráficas "anexo B" y se encuentra el espesor total del pavimento.

Para el caso de los pavimentos rígidos : se proporcionan datos como:

- La resistencia del concreto a la flexión ( $f_c$ )
- Modulo de resistencia para la sub.rasante ( K )
- Espesor de la sub-base.

Cuando se requieren bases y sub-bases estabilizadas para diferentes materiales de construcción se utilizan los siguientes factores de conversión.

Tabla III.3

Sub-base		Base	
Material	Factor	Material	Factor
Base asfáltica	1.7 - 2.3	Mezcla asfáltica	1.2 - 1.6
Base mezclada in situ	1.5 - 1.7	Base mezclada in situ	1.0 - 1.2
Suelo cemento	1.5 - 2.0	Suelo cemento	N0

Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos

Es importante resaltar que con un peso mayor de 30,000 kilogramos se hace necesario la utilización de bases- y sub-bases estabilizadas.

Con estos datos y junto con las gráficas de ayuda para el diseño se obtiene el espesor del pavimento total.

Con el objeto de facilitar el estudio de los pavimentos utilizados en aeropuertos, es conveniente establecer las diferencias de operación que existe entre estos y los de carreteras.

- a) canalización del tránsito
- b) intensidad de las cargas

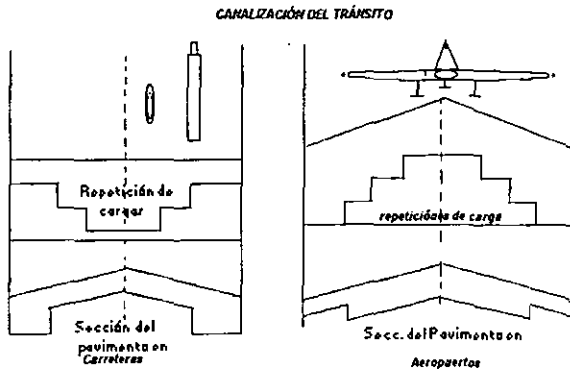


Fig. 3.13 : Canalización del tránsito  
Fuente: Apuntes de la materia de Aeropuertos

- c) Repetición de las cargas
- d) Efectos del acuaplaneo

Canalización de cargas.- En carreteras, debido a la legislación existente, el tránsito pesado se canaliza hacia a la derecha del camino. Esto hace que las carga mayores se concentren en las orillas de la carretera. En el caso de los aeropuertos, la canalización del tránsito se hace dentro de una franja de 16 a 18 m, en el centro de las pistas y calles de rodaje. Esto permite por razones de economía, a secciones variables en el sentido transversal.

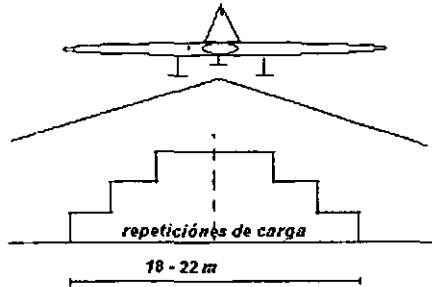


Figura 3.14- : Repetición de cargas.  
Fuente: apuntes de la materia de Aeropuertos

Intensidad de las cargas.- Los mayores pesos de los vehículos que soporta el pavimento son de hasta de 50 a 60 toneladas, pero son de mayor frecuencia, y en el aeropuerto llegan a ser de hasta 340 a 380 toneladas pero, con menor frecuencia.

Repeticiones de carga.- El número de repeticiones de carga es mayor en carreteras, donde puede alcanzar intervalos de tiempo de hasta 30 segundos entre cada vehículo y otro. En aeropuerto las especificaciones de seguridad para el control de tráfico aéreo determinan la mínima separación entre aviones, que no puede ser inferior a la distancia entre el umbral de la pista y el lugar en que ésta es desocupada por el avión precedente. Esta distancia mínima se incrementa a 3 millas náuticas en condiciones de operación con instrumentos, aunque generalmente es mayor. Es por esta causa que la repetición de cargas en un aeropuerto es mucho menor que en una carretera.

El mayor número de repetición de cargas se produce al centro de las áreas pavimentadas de los aeropuertos, es muy importante considerar que el diseño del pavimento se realiza con el peso de los aviones y los esfuerzos transmitidos por los neumáticos.

Algunos de los factores que hacen esta diferencia se refieren en primer lugar, a que las cargas máximas de los aviones son mucho mayores que las de los vehículos que transitan por carretera, la variabilidad en la posición de los vehículos es baja en carreteras por lo que las carreteras pueden tener la misma estructura de pavimento por varios kilómetros, mientras que en aeropuertos las plataformas, las cabeceras de pista, el cuerpo de éstas y las calles de rodaje pueden tener diferente estructuración, pues las dos primeras reciben los mayores esfuerzos y, por lo tanto, podrán construirse con mayores espesores y hasta con otro tipo de pavimento; así, las plataformas y las cabeceras pueden ser de pavimento rígido y el resto de tipo mixto.

Factores que influyen en la longitud de la pista y el espesor de los pavimentos; el peso de los aviones aumenta el peso en los neumáticos que distribuyen a su vez las cargas al pavimento. Por lo tanto, una de las variables más significativas en el diseño estructural de las pistas, calles de rodajes y las plataformas, es el tránsito aéreo, dentro de lo cual se deben recabar los siguientes datos:

- a) peso total de las aeronaves  
se utilizan para fines de diseño de espesores y para determinar el tipo de pavimento.
- b) Carga por rueda  
Para el cálculo de la carga aplicada por las ruedas de los trenes principales de aterrizaje, se supone del 95% de la carga total del avión se aplica de forma uniforme sobre los trenes principales y el 5% restante en el tren de proa.
- c) Numero y arreglo de las ruedas  
La importancia de conocer el número de ruedas, es para poder estudiar la magnitud de los esfuerzos en la estructura vial y la manera en que se distribuyen

Actualmente existen aviones con el tren de aterrizaje en doble tandems (dos ruedas), doble tandems ( cuatro ruedas ), triple tandems (tres o seis ruedas), etc. ,

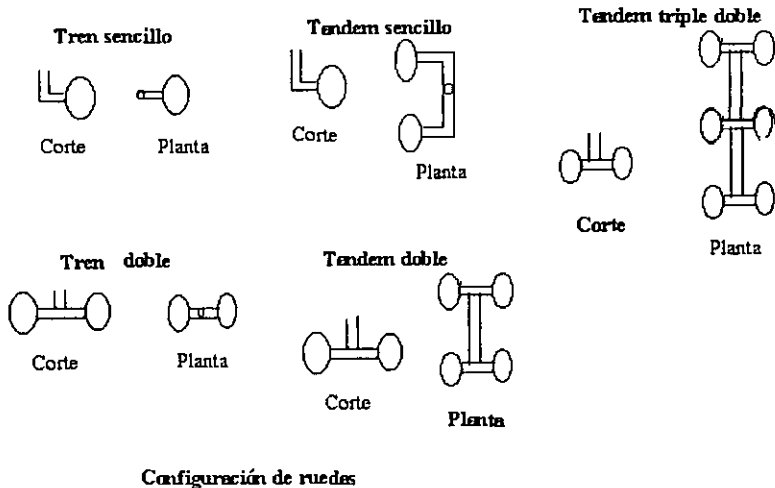


Fig. 3.15 . Configuración de ruedas  
Fuente: apuntes de la materia de Aeropuertos

- d) Presión de contacto  
Se define como el esfuerzo normal máximo provocado por las llantas en la superficie del pavimento. Para fines de diseño, se supone que dicha presión es idéntica a la presión de inflado de las llantas.
- e) Número de repeticiones de la carga  
En base a estas se determina el periodo de vida que tendrá el pavimento, basado en el desgaste de la superficie de rodamiento.

f) Mezcla de los diferentes tipos de aeronaves

Conocer los tipos de aeronaves que utilizarán el aeropuerto, nos permite determinar el avión crítico de diseño el cual es el que requiere los espesores mayores en función de las repeticiones esperadas

g) Tasa de crecimiento

Se deben considerar las previsiones del tránsito aéreo para poder diseñar un pavimento que puede admitir el número de despegues en el futuro analizado.

Efectos del acuaplaneo.- El fenómeno de acuaplaneo reduce la fuerza de fricción entre el pavimento y las llantas.

Cuando el líquido contaminante ejerce sobre la huella de la llanta se generan fuerzas aerodinámicas y por consiguiente las llantas patinan teniendo cero esfuerzo de fricción ( $w = 0$ ). Estos contaminantes pueden ser agua, hielo, lodo, etc. Para desalojar el contaminante de las llantas se ponen canales en las llantas en forma de grietas. En el caso de carreteras se hacen ranuras en dirección longitudinal para desalojar el contaminante y funciona mejor, en aeropuertos se hacen en el sentido transversal.

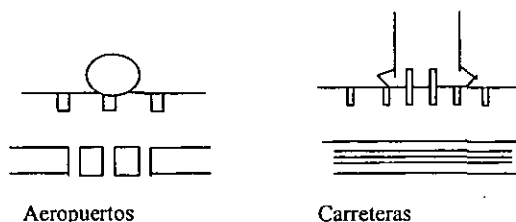


Figura 3.16:- efectos de acuaplaneo  
Fuente: Apuntes de la materia de Aeropuertos

Condiciones de operación.- En una carretera, los trabajos de mantenimiento y reparación son relativamente más fáciles, ya que puede modificarse la velocidad de los vehículos o desviarlos mientras se realizan dichos trabajos. En un aeropuerto, esto es prácticamente imposible de realizar, ya que no puede reducirse la velocidad de operación de los aviones, razón por lo cual, los trabajos de mantenimiento o de reparación en las pistas, requiere de un cierre total de las pistas en reparación.

**III.5.- Ejercicio:**

Utilizando el método de la FAA diseñar el espesor de pavimento flexible y rígido en zonas críticas y no críticas para pistas, calles de rodaje y plataformas considerando al 727-200 como el avión crítico de diseño, y los siguientes datos :

Tipo de avión	Despegues estimados anuales	Tipo de tren	Peso de despegue ( kg)
737-200	5300	Doble	49.940
<b>727-200</b>	<b>7200</b>	<b>Doble</b>	<b>82,000</b>
707-320	540	2 por doble tandem	148,500
*747-200	630	2 por doble tandem	136,200

- avión de fuselaje ancho

Considerando para pavimento flexible los valores obtenidos in situ de:  
CBR:

- Sub-rasante 6
- Sub-base 15
- Basc  $\geq 80$

Usar mezcla in situ en bases y sub-bases.

Para pavimentos rígidos utilizar los siguientes datos de mecánica suelos:

- $F_r = 650 \text{ lb/ m}^2$
- K sub-rasante =  $650 \text{ lb/ in}^2$
- K sub-base =  $250 \text{ lb/ in}^2$

La **solución** del problema es el siguiente:

Primero se hacen las conversiones 1) de despegues anuales equivalentes a las ruedas del avión de diseño, 2) Cargas por rueda, y 3) se obtienen los números de repeticiones de despegues anuales. Como se muestra en la siguiente tabla:

Despegues convertidos	Carga por rueda ( kg )	Repeticiones
5300	$49,940 \times .95/4 = 11,860$	806
<b>7200</b>	<b><math>82,000 \times 0.95/4 = 19,475</math></b>	<b>7200 Avión de diseño</b>
$540 \times 1.7 = 918$	$148,500 \times 0.95/8 = 117,634$	659.66
$630 \times 1.7 = 1071$	$136,200 \times 0.95/8 = 16,173$	576.78
suma		9242

Para calcular la carga por rueda se considera que el tren de proa absorbe el 5% del peso total y el otro 95% el tren principal dividido entre el número de ruedas del tren de aterrizaje. Las repeticiones se obtuvieron de la siguiente forma:

$$\text{Log } R_1 = \text{Log}(5300) (11,860 / 19,475) = 806$$

$$\text{Log } R_1 = \text{Log}(7200) (19,475/ 19,475) = 7200$$

$$\text{Log } R_1 = \text{Log}(918) (117,634/ 19,475) = 659.66$$

$$\text{Log } R_1 = \text{Log}(1071) (16,173/ 19,475) = 576.78$$

La suma total de los números de repeticiones convertidos con esta flota de aviones son **9242**, equivalentes al numero de despegues del avión de diseño.

Para el **diseño del pavimento flexible** tenemos:

Con el numero de repeticiones de **9242** y el peso del avión de **82,000 kg ó 180,779 lbs.** y CBR:

Sub-rasante	6
Sub-base	15
Base	> 80

Junto con las gráficas de la figura: 3.3.1 ( "anexo B ") y la CBR de 6 y 15 se obtienen los espesores :

$E_6 = 37$  in : espesor total del pavimento

$E_{15} = 21$  in : espesor de la base y carpeta

El espesor de la sub-base se obtiene haciendo la diferencia de  $37 - 21 = 16$  in.

Usar: para sub-base, base mezcla in situ con factor de 1.65

Para base, mezcla asfáltica con factor de 1.38.

Con estos datos se obtienen los siguientes espesores en **zonas críticas**:

Capa de:	Zona Critica	
	No estabilizadas	Estabilizadas
Carpeta	4"	4"
Base	17"	$17/1.38 = 12.32"$
Sub-base	16"	$16/1.65 = 10.00"$
	-----	-----
Espesor total	37"	26.32"

El método nos permite revisar si el espesor obtenido es correcto con un CBR de 20, con lo cual se entra de nuevo a las gráficas de la figura 3.3.1 y se obtiene  $E_{20} = 18$  in.

Como  $18" < 26.32"$  se concluye que el espesor total del pavimento estabilizado en zona critica es correcto. Si el espesor de 26.32 hubiera sido menor que 18" el restante (faltante) se aumenta a la sub-base.



Para zonas no críticas se tienen los siguientes espesores calculados:

Capa de:	Zonas no críticas	
	Orillas de pista	Calles de rodaje de salida
Carpeta	3"	3"
Base	$12.32 * 0.7 = 8.62"$	$12.32 * 0.9 = 11.10"$
Base sub-base	$26.32 - (8.62 + 3) = 14.7"$	$26.32 - (11.1 + 3) = 12.22"$
Espesor total	26.32"	26.32"

Al estabilizar un pavimento se reduce la posibilidad de deformaciones en el pavimento ya que se utilizan mejores materiales.

Los anchos de construcción dependen del equipo de construcción. Si la máquina extendidora mide 4.5 m de ancho el perfil del pavimento será como se observa en la siguiente figura 3.17.

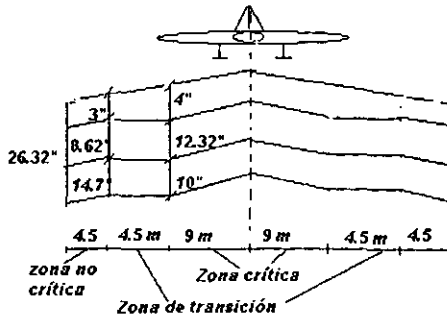


Figura 3.17: perfil del Pavimento flexible.

**Diseño del espesor de pavimento rígido:**

La resistencia del concreto se mide a flexión ya que no esta al aire sino apoyada sobre el suelo y se calculan sin acero, el espesor de la sub-base determina si se deforma más o menos la losa : los datos a considerar son:

- Avión crítico 727-200
- Despegues 9242
- Peso de despegue 180,779 lbs.

$F_i$  650 lb/ m<sup>2</sup>

$K_{\text{sub-rasante}} = 650 \text{ lb/in}^2$   
 Espesor de la sub-base = 8 in  
 $K_{\text{sub-base}} = 250 \text{ lb/in}^2$

Con el espesor de la sub-base  $K_{\text{sub-rasante}}$  y se entra a las gráficas de la figura 3.4.1(anexo B) y se obtiene  $K_{\text{sub-base}} = 250 \text{ lb/in}^2$

Con  $F_r$ ,  $K_{\text{sub-base}}$ , peso de diseño y el número de repeticiones se entra a las gráficas de la figura 3.4.2 (anexo B) y se obtiene el espesor total de la losa de concreto hidráulico. Se obtienen dos valores para interpolar:

$E_{6,000} = 14.8 \text{ in}$   
 $E_{15,000} = 15.5 \text{ in}$  interpolando se obtiene  
 $E_{9242} = 15.05 \text{ in}$

Siendo el espesor total del pavimento rígido calculado para zonas críticas y no críticas los siguientes:

Capas de:	Zonas críticas	Zonas no críticas	
	Pistas, calles de rodaje y plataformas	Orillas de pista	Calles de salida
Concreto hidráulico	15.05"	$15.05 * 0.7 = 10.54"$	$15.05 * 0.9 = 13.55"$
Sub-base	8"	8"	8"
Espesor total	23.03"	18.54"	21.55"

Estos espesores se pueden observar en el perfil de la sección transversal que se muestra en la figura 3.18:

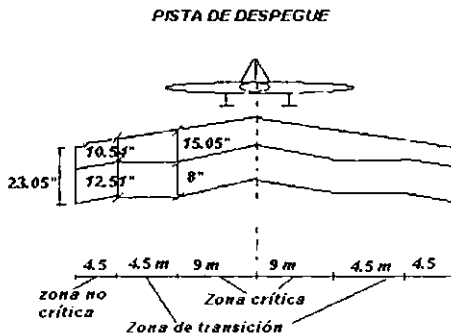


Fig 3.18. Perfil de pavimento rígido

## CAPITULO IV: EDIFICIO DE PASAJEROS

### IV.1.- El Proyecto geométrico del edificio de pasajeros

El proyecto del edificio de pasajeros, es la instalación principal para uso público dentro de un aeropuerto, incluye un sistema de tratamiento de pasajeros, áreas de tratamiento de equipajes y las instalaciones de las compañías aéreas y actividades propias del aeropuerto.

Al desarrollar el proyecto de un edificio de pasajeros, es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de usuarios para los que se proyecta, éstos usuarios son los pasajeros, visitantes, compañías aéreas, funcionarios del aeropuerto y concesionarios. Debido a ello, al proyectar, se da cabida a diferentes objetivos y consecuentemente diferentes criterios, que dependen de los diferentes usuarios.

Los pasajeros por lo regular siempre llevan acompañantes que los conducen al aeropuerto o que los traen, también existe gente que por alguna razón visitan el aeropuerto, por tal motivo se consideran un factor importante en el análisis para el diseño de las instalaciones.

Al proyectar el edificio de pasajeros, se utilizan dos conjuntos de criterios. Uno es, el conjunto de criterios generales para la evaluación de proyectos preliminares y selección de entre las diferentes soluciones alternativas.

El otro es, un conjunto de criterios específicos de diseño, que se utiliza para desarrollar un proyecto determinado y seleccionado por los análisis preliminares. Los criterios de evaluación se basan correspondientemente a la experiencia y en el estudio de los sistemas existentes y no requieren de mucho análisis, por otra parte, los criterios para el desarrollo de proyectos, requieren el uso de una serie de técnicas analíticas para su generación.

Los criterios generales más importantes para la evaluación conceptual de la planeación de un edificio de pasajeros son:

- Posibilidad de atender la demanda prevista.
- Compatibilidad con los tipos de aeronaves previstas
- Flexibilidad para el crecimiento y respuesta a los cambios tecnológicos.
- Compatibilidad con los modos de acceso por tierra
- Compatibilidad con la totalidad del plan maestro
- Previsión para las demoras
- Posibilidades financieras y económicas

Los criterios de diseño más específicos que deben de considerarse son:

- Tratamiento del costo por pasajero
- Distancia de recorrido según los diferentes tipos de pasajeros
- Demora de los pasajeros en la fase de tratamiento.
- Niveles de ocupación de salas de espera y pasillos

- Demoras debido a las operaciones de la aeronaves y los costos correspondientes
- Costos de construcción
- Costos de operación y mantenimiento
- Ingresos posibles de las concesiones.

Estos criterios deben de utilizarse como características medibles para la evaluación de cualquier alternativa de diseño en particular.

Para determinar las necesidades de espacio en el edificio se consideran los volúmenes de pasajeros que pueden obtenerse de las previsiones hechas al mismo tiempo en que se hacían los estudios de planeación del aeropuerto. Por lo que se utilizan dos tipos de volúmenes como son: 1) el volumen anual de pasajeros y que se utiliza para un dimensionamiento preliminar del edificio de pasajeros. 2) el volumen de hora punta de pasajeros que sirve de referencia para el desarrollo del proyecto.

Los tipos de pasajeros se identifican de acuerdo con las siguientes características: internacionales, nacionales; llegadas, salidas o transferencia; con o sin equipaje facturado; modo de acceso al aeropuerto; vuelos regulares o vuelos charter etc.

Considerando las proporciones de los volúmenes de los diferentes tipos de pasajeros, es posible obtener las estimaciones de los volúmenes necesarios para el proyecto de las diversas instalaciones.

La ordenación física de las instalaciones para el movimiento de pasajeros y el desarrollo de las propias instalaciones se determina bajo el criterio de si ha de ser un sistema centralizado o un sistema descentralizado. El sistema centralizado significa que todas las instalaciones del sistema están albergadas en un edificio y se utilizan para procesar a todos los pasajeros que utilizan el mismo. En el sistema descentralizado, las instalaciones se agrupan en unidades modulares que se ubican en uno o mas edificios. Cada una de estas unidades funciona junto a una o más puertas de salida y sirven a los pasajeros que utilizan esas puertas.

En aeropuertos pequeños, los flujos de pasajeros y equipajes pueden albergarse en un solo nivel. Cuando los flujos de pasajeros son relativamente pequeños y hay pocos pasajeros en tránsito, la complejidad y los costos de las instalaciones de un edificio de pasajeros de varios niveles es injustificable. Sin embargo, los edificios de un solo nivel pueden ser de más difícil ampliación de cara hacia el crecimiento de la demanda de pasajeros, y la interferencia entre los flujos crecientes de embarques, desembarques y tránsito presentará problemas importantes.

La solución comúnmente adoptada para separar los flujos es la operación de dos niveles, la disposición típica de flujos separa el embarque de pasajeros en el nivel superior del desembarque de pasajeros, entrando estos por el nivel superior y descendiendo por el nivel inferior para pasar las formalidades gubernamentales, cuando sea necesario, y para la recogida de equipajes. Generalmente las llegadas y salidas están separadas en tierra, con dos niveles de accesos para tomar y dejar los autobuses y coches. La operación de dos niveles tiene la ventaja de una mayor utilización del terreno y proporciona buenas características de flujo con un mínimo de interferencia propio de altos volúmenes de tráfico.

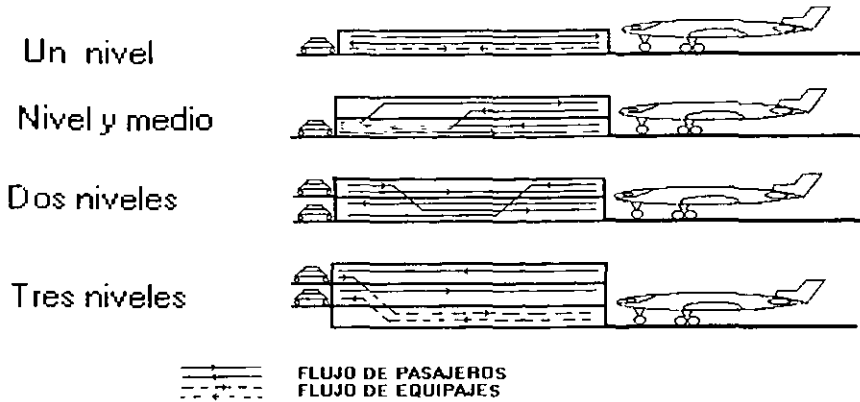


figura 4.1: Edificio de pasajeros según los niveles de flujo.

Fuente: Planificación y diseño de Aeropuertos. Robert horonjeff

Una variable del diseño de dos niveles, es la operación a nivel medio, esta forma de diseño ofrece las ventajas de operación a dos niveles del lado aire, pero los pasajeros cambian de nivel después de entrar en el edificio. Esta solución da mejores resultados que el diseño de un nivel, pero crea grandes conflictos de tráfico en el nivel común del lado tierra.

La solución a medio nivel es satisfactorio en aeropuertos de poco tráfico dado que los pasajeros que salen requieren menos instalaciones que los que llegan. Muchos diseños para tráfico domestico sitúan el nivel inferior las áreas de llegada y las instalaciones de equipajes, y el área de salida en el nivel superior.

También se utilizan edificios de tres niveles. La forma más común de separación es salidas, llegadas y equipajes; otra separación menos empleada es en vuelos internacionales, nacionales y equipajes. La disposición anterior parece que es la mejor separación para evitar las interferencias de los flujos, pero el costo de las operaciones en el tercer nivel no se compensa incluso con flujos relativamente altos.

Conociendo como es el funcionamiento de un edificio de pasajeros, a continuación se puede observar en la figura 4.2, algunos tipos de soluciones geométricas que pueden servirnos como una referencia, aplicables para ciertas categorías de aeropuertos, de los cuales de acuerdo a su geometría y la capacidad de demanda que pueden servir, se puede contemplar las ventajas y desventajas que pueden presentar, como se describen a continuación.

Edificio con estacionamiento en forma lineal.- donde los pasajeros pueden acceder al avión a través del estacionamiento o por conexión directo al edificio de pasajeros. Las operaciones pueden realizarse con o sin asignación previa de muelles permanentes a cada línea aérea.

Edificio con espigones.- las operaciones en los edificios centralizados pueden desarrollarse, cuando se requieren muchos muelles, incrementando el perímetro del lado aire de edificio, construyendo espigones. La construcción de este tipo de diseño puede ser económica, pero puede tener el

inconveniente de obligar a los pasajeros a recorrer distancias desde el área de facturación a la puerta de acceso al muelle.

**Edificio con satélites en espigones.**- En el diseño más sencillo, los satélites sirven simplemente de áreas de espera de pasajeros, adyacentes a los muelles, como es una modificación de los muelles de espigón, tiene problemas similares en lo que se refiere a las distancias de recorrido. Conforme se van aumentando las instalaciones en los satélites, van desapareciendo las economías del proyecto, y el sistema tiende a operar en gran medida como si fuera una serie de edificios independientes.

**Edificio terminal con satélites remotos.**- Los satélites remotos se conectan con el edificio principal por sistemas mecanizados de transporte sobre el estacionamiento o bajo el estacionamiento; en este caso no hay interferencia en superficie por la conexión con el edificio principal y las puertas de acceso a las aeronaves pueden distribuirse a lo largo de todo el satélite.

**Edificio con estacionamiento remoto con transferidor o transportador.**- Las ventajas principales derivadas de la separación del estacionamiento de los muelles de servicio de estacionamiento, es la de dar una mayor flexibilidad al lado aire frente a los cambios de tamaño y maniobrabilidad de las aeronaves; además los tiempos recorridos en tierra son menores. Los principales inconvenientes parecen ser los bajos niveles de servicio que proporcionan las salas móviles y los autobuses que retrasan a los pasajeros en las operaciones de embarque y desembarque.

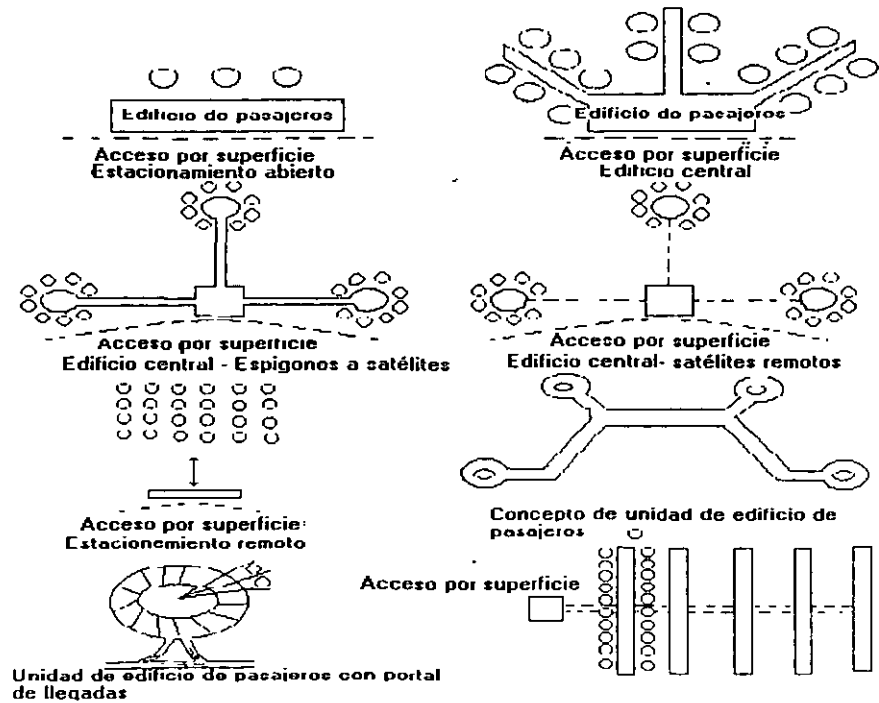


figura 4.2: Tipos de Edificio de pasajeros.

Fuente: Aeropuertos. N. Ashford.

Edificio central con espigones remotos.- una innovación reciente en el diseño de edificios de pasajeros es la de un edificio central enlazado con espigones remotos bajo el estacionamiento, este es un buen diseño para aeropuertos de gran volumen, especialmente cuando hay gran cantidad de transbordo y enlaces de vuelos nacionales.

El uso eficaz del estacionamiento se logra disponiendo los espigones paralelamente, el corredor bajo el estacionamiento que enlaza el edificio y lo espigones, es adecuado para el transporte automatizado de pasajeros y de equipajes.

#### IV.2.- Distribución de las instalaciones

Las áreas de las instalaciones individuales que constituyen las diversas partes del edificio deben proyectarse para albergar el nivel y el tipo de volumen de pasajeros que se espera recibir.

Este proceso requiere seguir los siguientes pasos:

- Determinación del diseño en base a la demanda en la hora punta.
- Clasificación por tipos de tráfico de pasajeros
- Determinación de los volúmenes de las instalaciones individuales.
- Cálculo de los espacios necesarios.

##### Determinación del diseño en base a la demanda en la hora punta:

La demanda que tiene lugar en las horas punta es la que determina el tamaño de la instalación. La que más ampliamente se atiene a los parámetros de diseño es la hora punta de pasajeros típica (TPHP), usado por la FAA. Esta no es la demanda punta absoluta que puede registrarse, sino una cifra que puede extenderse solamente en periodos muy cortos.

##### Clasificación por tipos del tráfico de pasajeros:

Los estudios sobre los movimientos de los pasajeros en los edificios de los aeropuertos ponen de manifiesto que los diferentes tipos de pasajeros plantean diferente demanda de las instalaciones, expresadas en superficie necesaria. Por lo cual es deseable clasificar las horas punta de pasajeros según el tipo de vuelo, las motivaciones de viaje, las estimaciones del volumen de pasajeros podrían clasificarse en nacionales e internacionales, regulares o no regulares, transferencia o de tránsito, negocio o turismo, intercontinentales o de corto alcance, y por modo de acceso.

##### Determinación de los volúmenes de las instalaciones individuales:

El movimiento de las distintas clase de pasajeros a través del edificio identifica el nivel de uso que tienen las diversas instalaciones en la hora punta. Basándose en el número de pasajeros atendidos en cada instalación, pueden calcularse las áreas en las que deben ofrecerse niveles de servicio razonables.

##### Cálculo de los espacios razonables:

La FAA ha establecido directrices relacionadas con las cifras de la hora punta de pasajeros típica (TPHP), basándose en ellas se lograron niveles de servicio adecuados y cómodos para los usuarios del edificio. En la tabla IV.1 se observan los diseños de los espacios de un edificio de pasajeros.

Tabla IV.1: diseños de los espacios de un edificio de pasajeros.

Espacios en el edificio de pasajeros	Espacio necesario para 1000 pasajeros en hora punta normal (100 m <sup>2</sup> )
Despacho de boletos	1.0
Compañías aéreas	5.0
Recogida de equipajes	1.0
Salas de espera	2.0
Inmigración	1.0
Aduanas	3.0
Esparcimientos	2.0
Otras concesiones	0.5
Sanitarios	0.3
Circulación, instalaciones y mantenimiento	11,6
<b>Total</b>	<b>27.4</b>

Fuente: Aeropuertos, N. Ashford

Como se entenderá el edificio de pasajeros actúa como el lugar de transferencia entre el aire y la tierra en el multimodal viaje aéreo que efectúan los viajeros.

De esta manera las instalaciones pueden clasificarse como: accesos (incluyendo el enlace de tierra), áreas de tramitación de pasajeros, áreas de espera de pasajeros, circulaciones interiores y enlaces al aire, líneas aéreas y áreas de apoyo.

#### Accesos y enlaces de tierra:

Dentro del área de edificio de pasajeros, las instalaciones de acceso deberán facilitar el tránsito de los pasajeros desde los modos de acceso hacia, desde y a través del propio edificio y viceversa. Entre estas instalaciones se incluye la carga y descarga al borde de la acera, servicios de estacionamientos para autos, áreas de carga y descarga para autobuses, taxis, microbuses y transportes rápidos de superficie.

Tanto para los pasajeros como para la carga, los viajes comienzan y terminan fuera del aeropuerto. Los transportes que comunican un aeropuerto con los diferentes puntos de la región, pueden tener una incidencia profunda sobre el diseño de éste y su sistema de operación. Como el pasajero que utiliza el transporte aéreo lo hace por cuestiones de rapidez, le interesa primordialmente el tiempo de transporte puerta a puerta. Por tal motivo en la planeación se deben determinar los volúmenes de tránsito en los caminos de acceso, para ello es necesario conocer la composición del flujo vehicular y sus destinos.

Durante el período de operación de cualquier aeropuerto, siempre habrá usuarios que desearán utilizar vehículos particulares y transportes por carretera, por lo que es indispensable integrar al aeropuerto a la red de carreteras de la región a la que pertenece, como se observa en la figura 2.2, del capítulo II.



Para el servicio interno de los aeropuertos, es necesario establecer la configuración de una red carretera interna, para lo cual existen criterios muy particulares para su diseño, sin embargo deben estar diseñados de modo que se facilite el acceso directo a las instalaciones. Una vez establecida la configuración general, es importante considerar que esta red carretera debe cumplir con las necesidades de conexión con las zonas donde los servicios son requeridos.

#### Presentación:

Se han de proyectar áreas para las instalaciones asociadas con la presentación de pasajeros. Las instalaciones usuales incluyen la expedición de boletos, la presentación de los pasajeros, la facturación del equipaje, la elección del asiento, la presentación en la puerta de salida, aduana de entrada y salida, control de inmigración, control sanitario, áreas de control de seguridad y recogida de equipajes.

#### Áreas de espera:

En estas áreas de espera es donde se genera una parte importante de los ingresos del aeropuerto ( ingresos no aeronáuticos ). La consideración hacia esta fuente de ingresos y la preocupación por el nivel de servicio proporcionado por estas instalaciones imprescindibles obligan al cuidadoso diseño de las áreas de espera. Entre las instalaciones necesarias están las siguientes:

1. Salas de pasajeros.- General, salidas y salas de puertas de embarque.
2. Áreas al servicio de pasajeros.- sanitarios, teléfonos públicos, oficinas de correos, información, primeros auxilios, etc.
3. Concesiones.- Bares, restaurantes, puestos de periódicos, tiendas libres de impuestos, reservas de hoteles, bancos y cambio de moneda, alquiler de autos, etc.
4. Miradores y salas de visitantes.

#### Circulación interna:

Los pasajeros se trasladan a lo largo del edificio utilizando los sistemas de transporte interior. La circulación interna se realiza por pasillos, bandas transportadoras de personas, cintas transportadoras y tranvías. El enlace con el lado aire necesita instalaciones de carga, como pasarelas telescópicas y salas móviles. En las instalaciones internacionales se necesitan salas para pasajeros en tránsito.

#### Líneas aéreas y actividades de apoyo:

Aunque los edificios de las líneas aéreas están proyectados principalmente para los pasajeros, la mayor parte de los cuales desconocen lo que les rodea, el proyecto debe satisfacer también las necesidades de los empleados de las líneas aéreas del aeropuerto y de las instalaciones de apoyo que trabajan en el área de edificio de pasajeros.

Frecuentemente se dispone de las siguientes instalaciones:

- a) Oficinas de las líneas aéreas, dependencias para el despacho de pasajeros y equipaje, telecomunicaciones, oficina de planes de vuelo, instalaciones para el descanso de tripulaciones, área administrativa de la línea aérea, aseos de directivos y tripulaciones, áreas de descanso y restaurantes.
- b) oficinas de dirección del aeropuerto y oficinas para el personal de seguridad.
- c) oficinas gubernamentales y áreas de apoyo para el personal que trabaja en aduanas, inmigración, control de tráfico aéreo.
- d) Sistemas de señalización para el público, indicadores, signos, información de vuelos, etc.
- e) Áreas para las oficinas del personal de mantenimiento y almacén de equipos de mantenimiento.

### IV.3.- Sistema de Tratamiento de Pasajeros para Vuelos Comerciales

La conexión principal entre el acceso al aeropuerto y el avión es el sistema de tratamiento de pasajeros, su propósito es: establecer enlace con el modo de acceso del pasajero al aeropuerto, acoger al pasajero que inicia o termina un viaje aéreo y transportarlo desde o hacia el avión.

Este sistema se compone de tres partes principales:

- Conexión con los accesos.- Es por donde el pasajero llega al aeropuerto hasta la componente de tramitación. Las actividades que se realizan en esta fase son: circulación, estacionamiento, subida y bajada de pasajeros que provienen del viaje terrestre.
- Tramitación.- En este componente el pasajero realiza los trámites necesarios para iniciar o terminar un vuelo. Las actividades que se realizan en esta fase son: expedición de boletos, facturación y recogida de equipaje, control de inmigración, aduana y seguridad.
- Conexión con el vuelo.- Una vez realizados los trámites, el pasajero pasa a una fase de: concentración, traslado desde o hacia el avión, embarque o desembarque.

Las áreas requeridas para estas fases se dan en el punto dos de este capítulo.

El éxito del proyecto de las instalaciones de un edificio de pasajeros se basa en el cumplimiento de las necesidades de quien lo va a utilizar. El edificio de pasajeros tiene tres tipos de usuarios: el pasajero y sus acompañantes, las líneas aéreas y la autoridad aeroportuaria.

La mayor parte de los proyectos de un edificio de pasajeros se preocupa principalmente de las necesidades del pasajero ya que al pasajero se le considera como una fuente de ingresos durante el tiempo en que éste está en el edificio. Por lo que el proyectista debe conocer los diferentes flujos de pasajeros y equipajes en el edificio, en la figura 4.3. se puede observar el diagrama de flujo de pasajeros y equipajes en un aeropuerto que atiende indistintamente vuelos nacionales e internacionales, el itinerario es mucho más sencillo, dado que puede prescindirse de las aduanas, inmigración y del control sanitario, y los pasajeros en tránsito pasan de un vuelo a otro sin equipaje y sin ser molestados por los controles gubernamentales.

El proceso usual del embarque de pasajeros es atravesar el vestíbulo general hasta el área de facturación de las compañías aéreas, desde aquí y ya separados del equipaje, los pasajeros se dirigen hacia la sala de espera y finalmente a la sala de pre-embarque. En los vuelos internacionales, la entrada en la sala de espera va precedida del control aduanero, si el control de seguridad no esta centralizado, los pasajeros han de pasar por un filtro de control antes de embarcar en el avión. Los pasajeros que llegan en vuelos nacionales se dirigen directamente al área de recogida de equipajes y siguen hasta el vestíbulo principal; las llegadas de vuelo internacional han de pasar primero por los controles de sanidad e inmigración, dirigiéndose a través de la inspección aduanera, hacia el vestíbulo principal.

Los vuelos internacionales que van en tránsito hacia un tercer país, pasan normalmente a una sala de espera en tránsito, sin entrar oficialmente en el país de tránsito, por lo que no son sometidos a los controles de inmigración ni a las formalidades aduaneras y su equipaje se transfiere directamente al vuelo de salida siguiente, sin pasar por la recogida de equipajes ni por la aduana. Los pasajeros procedentes de vuelos internacionales que enlazan con vuelos nacionales han de pasar por todos los controles gubernamentales y reexpedir el equipaje para el vuelo nacional.

El diseño del edificio ideal debe tener en cuenta anticipadamente los cambios de volumen del flujo de pasajeros resultantes de los incrementos a largo plazo, y de las fluctuaciones a corto plazo, y a lo largo del año debido a los periodos punta de vacaciones. Estas consideraciones conducen al concepto de diseño modular y flexible. La modulación permite la adición de secciones al edificio conforme se incremente la demanda de transporte o su reducción durante los periodos no punta o crítico. La flexibilidad del diseño permite un fácil cambio del uso de la superficie construida existente conforme cambien las necesidades del flujo de pasajeros.

Ambos encarecen , a menudo, los costos iniciales de construcción, pero a largo plazo pueden resultar extremadamente efectivos, en una industria en la que la modificación del edificio puede ser necesario cada 5 años.

Al analizar los sistemas de tratamiento de pasajeros se estima la magnitud y el alcance de las instalaciones para conseguir un nivel de conveniencia al pasajero a un costo razonable. En este proceso existen varias técnicas de análisis que nos determinan cual puede ser el sistema mas adecuado. Entre los que existen están: los modelos de redes, los modelos de colas y los modelos de simulación.

Modelos de redes.- Son útiles para representar las interrelaciones entre los diferentes componentes de un sistema de tratamiento de pasajeros o equipajes. Esta representación permite estimar la demoras de los pasajeros en las diferentes instalaciones del edificio. Un ejemplo de la utilización de la red es el uso de la ruta crítica, que se utiliza para coordinar las diferentes actividades que tienen lugar en el sistema.

#### **IV.4.- Sistema de Manejo de Equipajes para Vuelos Comerciales**

En el transporte aéreo se acostumbra separar a los pasajeros de sus equipajes durante el tiempo de vuelo lo cual complica seriamente el diseño del edificio de pasajeros, dado que es esencial que la separación y reencuentro del pasajero y de su equipaje se lleve a cabo con la máxima eficacia y a un nivel de confiabilidad extremadamente alto.

En los pequeños aeropuerto, en los que solo se despacha un avión a la vez, los equipajes van directamente desde la facturación al área de equipajes, generalmente en una cinta transportadora, allí se descargan manualmente hasta los carritos, que son remolcados por un tractor hasta el muelle del avión de estacionamiento. Cuando se despachan simultáneamente varios vuelos, el equipaje puede clasificarse manualmente desde un carrusel en el vestíbulo de equipajes. Cuando existe un gran flujo de pasajeros la clasificación manual del equipaje se hace difícil por lo que se recurre a una clasificación mecánica, donde los equipajes llegan mediante una cinta transportadora hasta el área de clasificación donde el clasificador lee la etiqueta de destino y clasifica el equipaje, este por medio mecánico es llevado al mismo avión para su almacenaje manual o se coloca directamente en contenedores de equipajes los cuales pueden cargarse o descargarse del avión mecánicamente .

El tratamiento de llegada es más sencillo, donde el avión descarga manual o mecánicamente, el equipaje se lleva a la zona de equipajes donde se descarga sobre el sistema de entrega a los pasajeros por medio de mostradores.

Es importante al tener presente al diseñar la sala de recogida de equipajes, que no solamente se trata del área total de la instalación adecuada para hacer frente a los flujos de la hora punta de diseño.

La planeación de las necesidades para la manipulación de los equipajes, debe de hacerse con el objetivo de conseguir que el diseño cumpla con la capacidad requerida, las instalaciones deben permitir que el transporte del equipaje llegue a los pasajeros sin demora. Para la realización de las diferentes manipulaciones se han desarrollado una serie de sistemas mecanizados, el tipo de equipo a usar depende del volumen de equipaje que se ha de manejar simultáneamente, por tal motivo en los grandes aeropuertos se utilizan sistemas de clasificación electrónica controlada; mientras que en los pequeños aeropuertos la clasificación del equipaje se realiza manualmente.

El transporte del equipaje hacia el avión, se efectúa por medio de contenedores, cargados por un tren de carretones, que es remolcado hasta la posición de la aeronave y las instalaciones de devolución del equipaje varían dependiendo de la magnitud de los volúmenes de pasajeros y carga que han de manejarse; por ejemplo en los pequeños aeropuertos se manejan simples mostradores para transportar el equipaje desde la zona de estacionamiento del avión hasta los mostradores de entrega. En los grandes aeropuertos se manejan carruseles, donde el carrusel se alimenta mediante una cinta transportadora que accede a él por la parte superior. Otros aparatos de recogida de equipajes son los llamados "Maxi Claim", "Jet Claim", y "Race Track", entre otros.

En algunos aeropuertos, se han dispuesto instalaciones que permiten a los pasajeros facturar sus equipajes en lugares diferentes a los edificios; tales como zonas de estacionamientos y aceras fuera del edificio de pasajeros y terminales en la ciudad fuera de los aeropuertos, esto permite que los pasajeros no tengan que transportar sus equipajes largas distancias, éstas instalaciones requieren sistemas automáticos para el transporte del equipaje con objeto de que estos lleguen a la zona de clasificación sin demora.

### Configuraciones del estacionamiento

La zona de estacionamiento sirve de conexión entre el edificio de pasajeros y la zona aeronáutica. La configuración de esta zona depende de tres factores como: el número de posiciones de estacionamiento, las dimensiones de estas posiciones y las formas de colocación del avión en cada posición.

Número de posiciones del estacionamiento.- Al igual que las demás instalaciones de un aeropuerto, el número de posiciones de estacionamiento se determina de tal manera que pueda acomodarse un predeterminado flujo horario de aviones.

Por lo que el número de posiciones que se requieren depende del número de aviones que se vayan a manejar durante la hora de referencia y de la cantidad de tiempo que cada aeronave ocupa una posición, éste número de aviones es función del volumen de tránsito que tendrá el aeropuerto. Con objeto de conseguir un diseño equilibrado el volumen estimado en horas punta no deberá exceder la capacidad de la pista y el tiempo de ocupación del avión depende de las dimensiones de la aeronave y del tipo de operación que realiza, por ejemplo el cambio de vuelo, etc.

El avión estacionado permite el embarque y desembarque de pasaje, ser atendidos sus servicios y ser preparado para el vuelo. Generalmente los grandes aviones ocupan las posiciones, debido a que requieren de más tiempo para la limpieza de su cabina y para recargar combustible, lo que determina el tiempo de ocupación de una posición.

Dimensiones de la posición de estacionamiento.- Las dimensiones dependen del tamaño y tipo de avión que se ha de acomodar en el estacionamiento. El tamaño del avión determina el espacio necesario para estacionar y para maniobrar, además determina el alcance y tamaño del equipo de servicio que ha de atenderlo.

Aunque el proyecto requiere de diagramas para el desarrollo detallado de las posiciones como el de la figura( 4.4 ), una primera planeación permite adoptar dimensiones uniformes entre los centros de posición y utilizarlas para dimensionar el área de plataformas de estacionamiento.

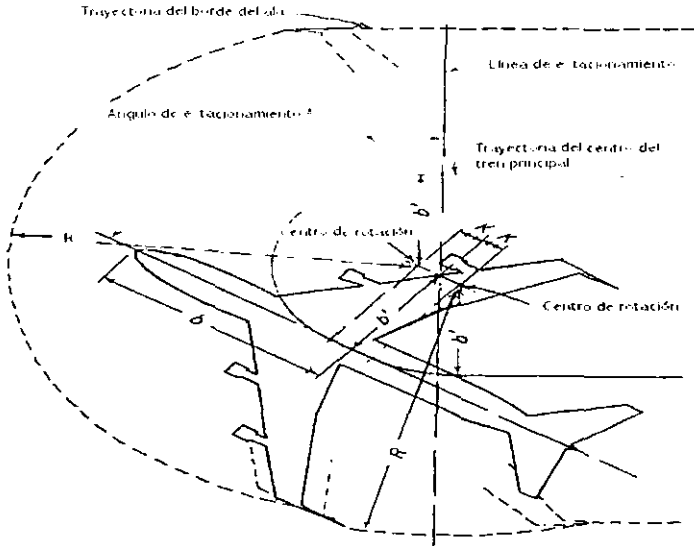


figura 4.4: Maniobras de Estacionamiento.  
Fuente: Planeación y diseño de Aeropuertos, R.Horonjeff.

Formas de estacionamiento de los aviones.- Se refiere a las maneras en que el avión se coloca con respecto al edificio de pasajeros y a la manera en que el avión maniobra para entrar y salir de las posiciones.

Los aeronaves pueden colocarse en ángulos diferentes con respecto a la alineación del edificio de pasajeros y salir de la posición usando motores o con la ayuda de un equipo de arrastre, cabe mencionar que con el arrastre se logra reducir las dimensiones de las posiciones de estacionamiento.

Al realizar los estudios de planeación se deben analizar las diferentes configuraciones de estacionamientos existentes en otros aeropuertos para saber cual es el más conveniente para el caso específico; en este apartado se mencionan algunos tipos de formas de estacionamiento:

Estacionamiento con el morro (frente) hacia adentro.- en esta configuración el avión queda perpendicularmente con respecto al edificio de pasajeros; en esta posición el avión entra al estacionamiento con los motores en funcionamiento desde donde es arrastrado hasta el edificio. Algunas de sus ventajas son: que necesita una mínima de superficie de estacionamiento, los niveles de ruido que produce son menos, no existen giros y las operaciones de embarque y desembarque son a través de puentes. Sus desventajas son: en que necesita equipo y maniobra de arrastre durante esta operación no pueden acceder otros aviones.

En ángulo con el morro (frente) hacia el edificio.- La configuración ofrece la ventaja de que el avión puede entrar y salir de la posición con sus propios motores. Sin embargo esta operación necesita de más área para maniobrar y el nivel de ruido que se produce es grande.

En ángulo con el morro (frente) hacia fuera del edificio.- Es similar que el caso anterior en cuanto a las ventajas pero con la diferencia de que requiere de menos área para maniobrar. Una de sus desventajas es que el chorro y el ruido de los motores apuntan hacia el edificio de pasajeros.

Estacionamiento en paralelo.- Desde el punto de vista de maniobras es la más fácil, el ruido se minimiza, no realiza maniobras de giros. Sin embargo necesita de una superficie grande a lo largo del edificio para estacionarse

Modelos de colas.- Permite obtener la estimación de las demoras y longitudes de las filas de espera en la utilización de las instalaciones ( Venta de boletos, salas de salida ) bajo unos niveles específicos de demanda. Esta teoría ofrece estimaciones sobre demoras de pasajeros, costos de funcionamiento y área necesaria de una instalación.

Modelos de simulación.- Se utilizan cuando se requiere hacer un análisis del funcionamiento del sistema de tratamiento de pasajeros con un cierto nivel de detalle o cuando se desea analizar el funcionamiento del sistema en conjunto durante largos períodos de tiempo. Son útiles cuando algunos de los datos importantes que se desea analizar son prácticamente imposibles de obtener; como por ejemplo para estimar los futuros vuelos regulares se recurre al cálculo simulado por computadora para analizar el sistema con datos obtenidos aleatoriamente

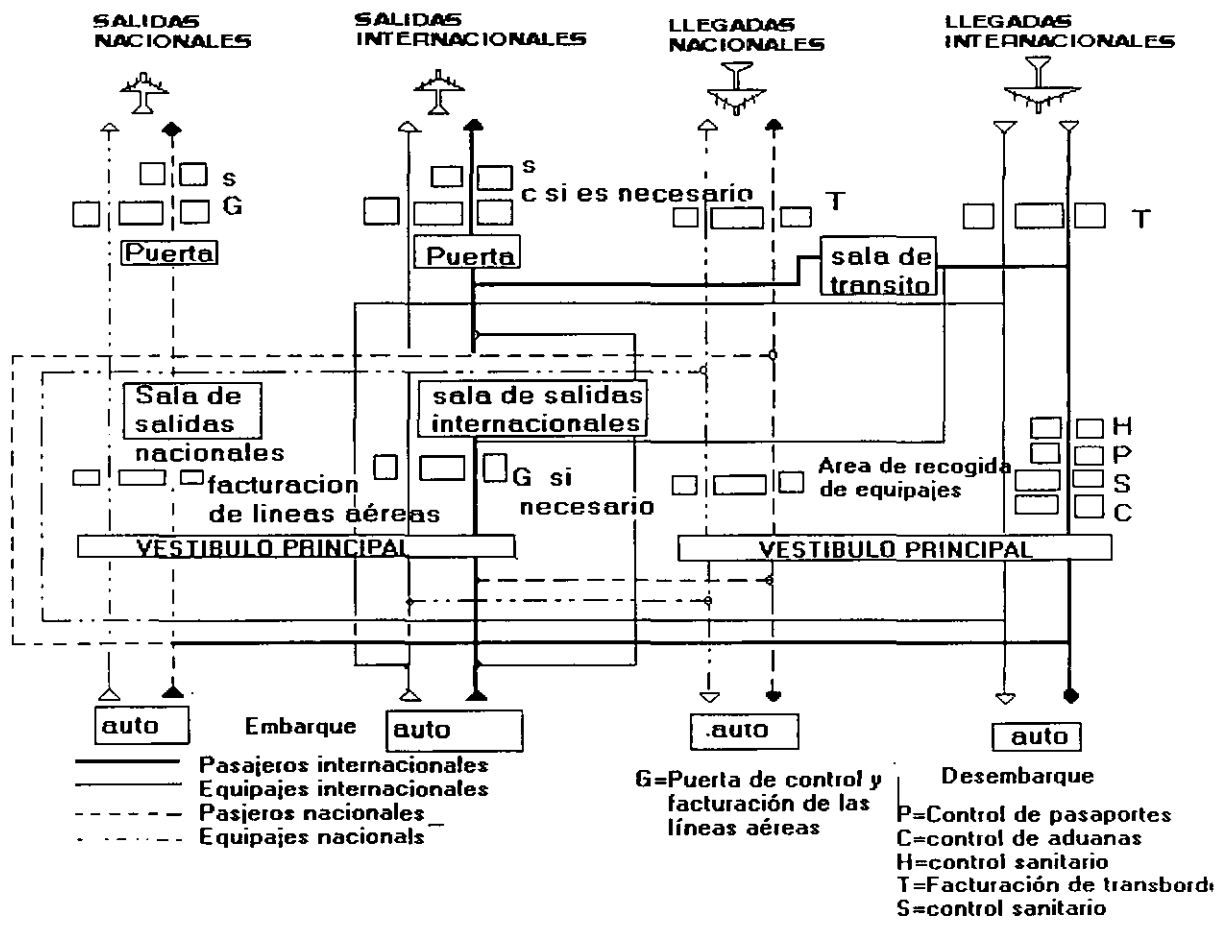


Fig.4.3: Flujo de Pasajeros y Equipajes  
Fuente: Planificación y Diseño de Aeropuertos. R. Horonjeff

## CAPITULO V: PROYECTO EJECUTIVO

La configuración del aeropuerto no es otra cosa que la disposición general de las diferentes partes o componentes del conjunto aeroportuario en base del cual se determina su capacidad y el diseño del mismo.

El esquema de un aeropuerto debe ser adecuado a la forma y superficie del terreno disponible. Debe tener pistas en número suficiente para satisfacer la demanda del tránsito aéreo, y éstas deben quedar suficientemente separadas para garantizar la seguridad de las operaciones. Las pistas deben orientarse para aprovechar los vientos dominantes y deben alejarse de los obstáculos a la navegación aérea.

El esquema de un aeropuerto debe ofrecer áreas de estacionamiento suficientes para las aeronaves y para los automóviles, así como espacio para el manejo de cargas y equipajes, almacenes, mantenimiento de aeronaves y servicios. La configuración debe permitir el movimiento seguro y rápido de las aeronaves y de los vehículos de transporte de superficie.

### V.1. Proyecto General de Geometría

El término "Proyecto general de geometría" abarca todos los aspectos del proyecto de un aeropuerto bajo el punto de vista de la ingeniería. El proyecto de geometría comprende el diseño de las dimensiones de los elementos del aeropuerto, tanto la ingeniería de detalle como la ingeniería estructural.

Considerándolo en su aspecto tecnológico el proyecto de geometría trata de las formas que son las expresiones de las características y requisitos que deben tener los elementos que formarán el complejo aeroportuario, los cuales dentro de las limitaciones económicas, deberán satisfacer las demandas de las capacidades requeridas.

Para el proyecto general de geometría algunos de los datos fundamentales que se deben considerar son la topografía, los terrenos adyacentes, los materiales disponibles, estudios de mecánica de suelos, y el aspecto económico para el usuario. El tránsito indica la medida de capacidad que las pistas, calles de rodaje y plataformas pueden proporcionar y afecta los detalles geométricos como el ancho, alineamientos y pendientes.

La realización del proyecto general de geometría requiere conocer los elementos como los perfiles o secciones transversales de la obra, después se estudia la forma de cómo llevar a cabo el proyecto, esto es, su metodología.

### Configuración de las pistas

En los aeropuertos existe una gran diversidad de configuración de pistas que dependen de las necesidades de cada aeropuerto, muchas se derivan de la combinación de pistas llamadas básicas como son: pista sencilla, pistas paralelas, pistas en "V" abiertas. Dependiendo de la configuración adoptada será la ubicación del edificio de pasajeros y de las plataformas de estacionamiento y las zonas de combustible.



La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) crea normas en la cual recomienda las anchuras del pavimento, franja de seguridad, pendientes longitudinal y transversal, para levantar un perfil longitudinal de las pistas, además de otros factores a considerar tales como distancia visible, y las distancias mínimas permisibles entre curvas verticales.

Con respecto a la distancia visible la OACI exige una línea de visión sin obstáculos desde un punto a cierta altura por encima de la pista, dirigido al resto de los puntos situados a la misma altura sobre la pista, dentro de una distancia de por lo menos la mitad de la longitud de la pista cuando ésta pertenece a las diferentes categorías A.B.C.D y E, mencionados en la tabla V.1.

Y con respecto al perfil longitudinal resulta conveniente minimizar los cambios de pendiente longitudinal lo más posible, pero no es posible por razones económicas. Por ello la OACI permite los cambios de pendiente pero limita su número y dimensiones, estos cambios de pendientes se llevan a cabo por medio de curvas verticales, la longitud de estas curvas viene determinada por la longitud del cambio de pendientes, y el máximo cambio de pendiente permisible por cada 300 metros de pista. Estas curvas no son necesarias si el cambio de pendiente es de 0.4%.

El número de cambios de pendiente viene limitado por las siguientes reglas referidas a la fig. (5.1) (perfil de una pista). La OACI exige que la distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas no deberá ser menor que la suma de los valores numéricos absolutos de los cambios de pendiente multiplicado por el número apropiado y que es de 30,000 metros para las pistas de categoría A y B, 15,000 metros para pistas de categoría "C" y 4950 metros para pistas de categoría D y E. Para los aeropuertos que sirven a los aviones comerciales se exige 30,000 metros los cuales se especifican en la categoría "A".

Tabla V.1

Categoría de pista	Long. De campo de referencia. (m)
A	$L < 800$
B	$800 \leq L < 1200$
C	$1200 \leq L < 1800$
D	$L > 1800$
E	$L > 1800$
F	$L > 1800$

Como ejemplo de aplicación del criterio de la FAA para un aeropuerto comercial, basándonos en la figura 5.1, donde existen dos cambios de pendiente, uno del 1% y el otro de 1.5%, se requiere obtener la distancia mínimo entre los dos puntos de intersección (PI) de las dos curvas verticales. Se suman los cambios de pendiente en valor absoluto  $/0.010 + 0.015/ = 0.025$ , multiplicando esta suma por 30,000, valor que corresponde a los aviones comerciales, se obtiene  $0.025 * 30,000 = 750$  metros, distancia entre los cambios de pendiente.

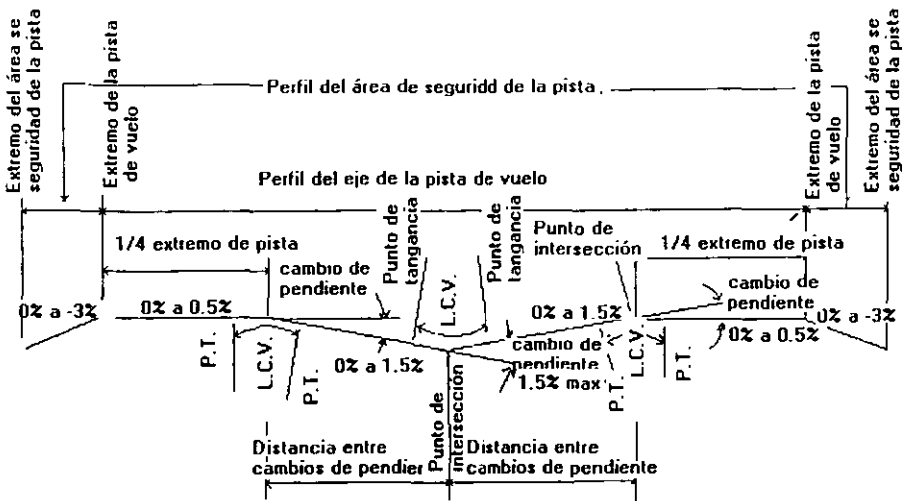


Figura 5.1 perfil de una pista  
Fuente: Aeropuertos, N. Ashford

### Longitud de pista

La longitud de pista no puede realizarse hasta no contar con un análisis detallado de las previsiones del tránsito aéreo para el aeropuerto en estudio, esas previsiones deberán informarnos sobre los diferentes aviones que han de operar en el lugar, a través de un análisis de destinos y de compañías aéreas se podrá elegir el avión crítico de diseño.

Para un avión crítico de diseño dado se tienen dos longitudes de pista a considerar:

- Longitud de pista necesaria para el despegue
- Longitud de pista necesaria para el aterrizaje

Para determinar la longitud de la pista es necesario considerar las condiciones exigidas para despegue, ya que cada tipo de avión posee una velocidad de seguridad al despegue ( $V_2$ ) que varía en función de los factores que influye en la longitud de la pista, como: peso de despegue, Condiciones meteorológicas como viento y temperatura, características de la pista como pendiente longitudinal, la elevación del aeropuerto y las limitaciones topográficas.

Debido a las características de los aviones estos requieren que se disponga de una longitud lo suficientemente grande como para asegurar que, después de iniciar el despegue, pueda detenerse con seguridad el avión o concluir el despegue sin peligro. Por lo tanto, en esas circunstancias, para cada despegue hay una velocidad llamada de decisión ( $V_1$ ): Por debajo de esta velocidad debe interrumpirse el despegue si falla un motor, mientras que por encima de esa velocidad debe continuarse el despegue.

Por otro lado si un motor fallará después de haberse alcanzado la velocidad de decisión, el avión tendría la velocidad y potencias suficientes para concluir el despegue con seguridad en la distancia de despegue disponible restante.

De un avión de diseño dado se exige la determinación de la longitud de pista necesaria en los siguientes casos:

- Realizar el despegue hasta 10.5 m de altura con todos los motores operando.
- Realizar un despegue hasta 10.5 m de altura con un fallo de motor en un punto crítico.
- Pararse tras abortar el despegue por fallo del motor en el punto crítico.
- Detenerse tras un aterrizaje desde una altura de 15 m.

Por ello a cada aeronave clasificada se le asigna una longitud de pista necesaria, por la combinación de peso, altitud y temperatura, y esta información se publica en los manuales oficiales de vuelo de la aeronave (Manual de Aeródromos de OACI).

La longitud de una pista deberá ser igual por lo menos:

- A la distancia aceleración parada (DAP) correspondiente a los aviones más críticos, susceptibles de despegar en la pista considerada.
- A la longitud de rodamiento al despegue en el caso que un motor falle una vez alcanzada la velocidad (V1).
- Y a 115% de la distancia necesaria para alcanzar la velocidad de seguridad al despegue V2 (manual del avión), con todos los motores en funcionamiento.

También se considera una distancia llamada "longitud de despegue", que es la longitud contada desde el momento en que se sueltan los frenos para que el aparato alcance una altitud íntima de 15 metros en el caso de que un motor se descomponga después de haber alcanzado la velocidad V1 Fig.(5.3), esa distancia es superior a la mayor de ambas distancias antes citadas. Este suplemento de distancia llamada "zona libre de obstáculos", puede no estar revestido, únicamente es indispensable que no exista ningún obstáculo saliente por encima de la superficie del suelo. Estas condiciones se pueden observar en las

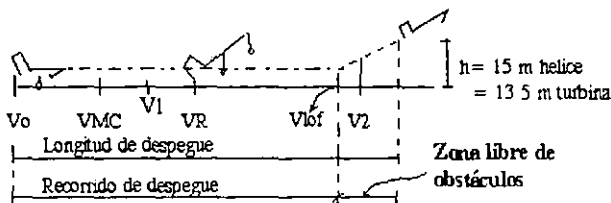


Fig. (5.2) Despegue con todos los motores funcionando

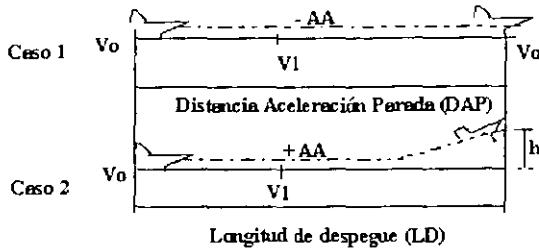


Fig. (5.3). Despegue con falla de motor en  $V_1$   
Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos

$V_0$  - velocidad inicial de cabecera

$V_{mc}$  - Vel. Mínima de control, con el cual el aire comienza a generar flujos aerodinámicos sobre el avión.

$V_1$  - Velocidad crítica. En la cual el piloto deberá tomar la decisión si continua el despegue o lo frustra por alguna causa.

$V_R$  - Vel. De rotación: Velocidad menor que la velocidad de despegue, donde empieza a existir sustentación.

$V_{lof}$  - Es donde el peso del avión es igual a la sustentación en el cual el avión puede iniciar el despegue.

$V_2$  - Vel. Mínima de ascenso seguro, lo puede encontrar en la tierra o inmediatamente después que despegue. Después el avión tiene que librar un obstáculo imaginario de entre 15 m (50') de hélice o 13.5 m (35') turbina.

Para el caso de despegue, considerando falla de motores, cuando la pista cumple con la condición de:

$DAP + LD$  se llama "pista balanceada" porque alcanza a frenar el avión sin aplicar motores de reversa para frenos. LD es la longitud de despegue y Dap es la longitud aceleración parada cuando existe falla de motor.

Respecto al aterrizaje, se trata de la longitud de pista que el avión utilizará con el peso máximo autorizado para aterrizaje, después de haber sobrevolado el umbral de la pista a una altura de 15 metros ( Umbral de barrera imaginaria ), y poniendo en funcionamiento sus frenos Fig (5.4). Para tomar la impresión y la mayor o menor eficacia de los medios de frenado, debe preverse una longitud revestida de la pista por lo menos de  $1/0.6$  de la distancia al punto de parada.

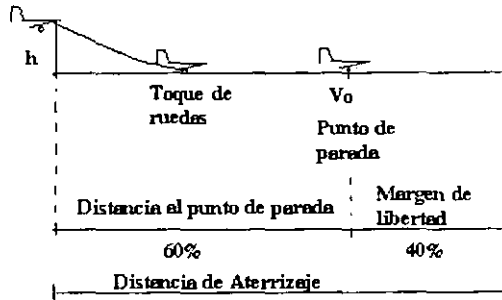


Fig.(5.4). Longitud de aterrizaje  
Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos

### Calles de rodaje

El proceso de aterrizaje se describe se la siguiente forma, se considera que el avión cruza el umbral de la pista y desacelera en el aire hasta que el tren de aterrizaje principal toca la superficie del pavimento, en este punto el tren de proa todavía no a tomado contacto con la pista, pueden transcurrir tres segundos hasta que esto ocurra. No puede aplicarse ninguna forma de frenado hasta que el tren de proa haga contacto con el pavimento, cundo lo haga, se utiliza la técnica de frenado por retroempuje, por frenado de las ruedas o ambas. Para reducir la velocidad de avance hasta llegar a la velocidad de salida, la desaceleración media de los aviones comerciales en pista es alrededor de los 1.5 m/s<sup>2</sup>

En lugar de calcular la distancia desde el umbral hasta la zona de contacto con el pavimento se suponen valores fijo para ciertos tipos de aviones. A estas distancias hay que sumarles las distancias de desaceleración hasta llegar a la velocidad de salida.

Para el diseño de las calles de rodaje se utilizan análisis y modelos que nos permiten conocer las características del sistema de aterrizajes, lo cual nos arrojará información para poder calcular la distancia a la cual debe ubicarse la calle de rodaje de salida.

En los aeropuertos con predominio de la aviación comercial, el control de tránsito aéreo, solicita a las aeronave de aviación general incrementar sus velocidades por encima de lo normal, con objeto de reducir la diferencia de velocidades entre éstas y las aeronaves de aviación comercial. Se supone que las distancias de toma de contacto son de 450 m para aviones comerciales y 300 m para aviación general. Utilizando estas distancias, una velocidad de salida de 95 km/h y 24 km/h, se obtienen las ubicaciones de la siguiente tabla:

Tabla V.2

Tipo de avión	95 km/h	24 km/h
Aviación general, bimotor	840 m	1050 m
DC-9, 727, 737	1440 m	1680 m
707, DC-8, DC-10,L-1011, 747	1920 m	3130 m

Fuente: Planación y diseño de Aeropuertos, Robert Horonjeff

Los 95 km/h corresponden a salidas a gran velocidad y los 24 km/h para una salida a 90°. Los emplazamientos se obtienen usando condiciones tipo a nivel del mar. La altitud y temperatura pueden afectar la ubicación de las calles de salida de las pistas, la altitud incrementa la distancia del orden de 3% por cada 300 m por encima del nivel del mar y la temperatura la incrementa en un 1.5% por cada 5.5°C por encima de los 15°C.

Los resultados arrojados de ensayos practicados sobre pavimentos de hormigón y asfaltos húmedos y secos realizados por la Airways modernization board , practicado tanto en aviones militares y civiles dieron como objeto la relación existente entre la velocidad, los radios de curvatura y la configuración general de las calles de rodaje. Con estos ensayos se determinó que a velocidades altas, resultaba necesario la implantación de una curva compuesta con varios centros para minimizar el desgaste del neumático del tren de proa. De esta forma la curva se aproxima a una espiral, además de ser relativamente fácil de replantear. Con estas curvas los aviones de transporte y militar pueden salir de las pistas de vuelo con seguridad y cómodamente a velocidades del orden de 95 a 105 km/h sobre pavimentos húmedos y secos, en estas calles el factor más significativo que afecta el radio de giro es la velocidad y no el ángulo total de giro, en la entrada de la calle se requiere que sea preferiblemente un poco mas ancha (30m) que gradualmente se reducirá hasta alcanzar el ancho normal de la calle de rodaje. La mayor anchura en la entrada da al piloto más seguridad en el uso de estas salidas.

Los ensayos demuestran que pueden usarse satisfactoriamente los ángulos totales de giro desde 30° y 45 °, donde resulta preferible la utilización de los ángulos pequeños, ya que se reduce la distancia de recorrido y se mejora la distancia visible y se necesita menos concentración por parte del piloto.

La relación de radio de giro con respecto a la velocidad es:

$$R_2 = V^2 / 128 \times f$$

donde :

V: vel. en km/h, hará que se consiga un giro más suave y más cómodo.

f: es un factor que equivale a 0.13

R<sub>2</sub>: irá precedida de R<sub>1</sub> para altas velocidades de giro del orden de 80 a 95 km/h, la curva de mayor grado se requiere para llegar a conseguir una transición gradual entre una alineación recta y una alineación curva.

La longitud de la curva de transición puede aproximarse con la siguiente ecuación:

$$L_1 = V^3 / (0.3 \times C \times R_2)$$

donde:

V: vel. en m/s

R<sub>2</sub> : en metros

C : es un factor que equivale a 1.3, valor experimental.

En la figura ( 5.5 ) puede observarse la relación entre la velocidad de salida y los radios R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> y la longitud de la curva de transición (L<sub>1</sub>).

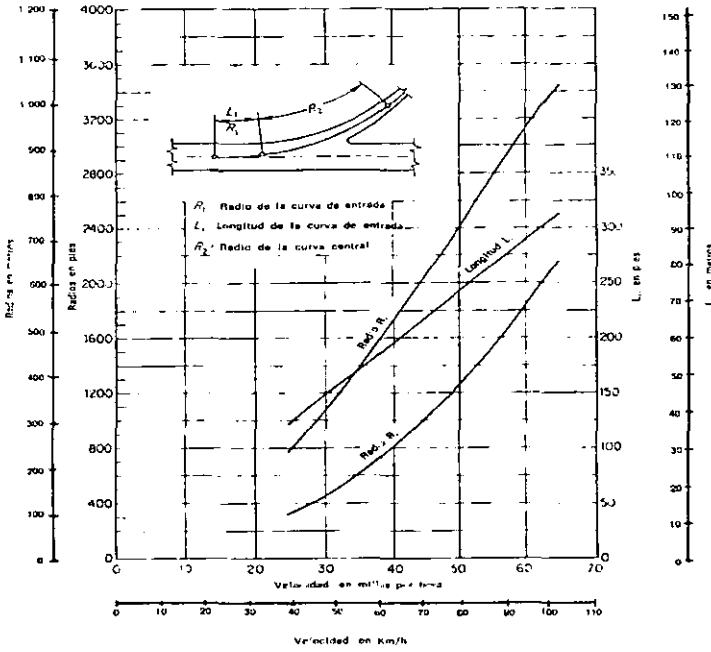


Fig. (5.5). Radios de curvatura para pistas de rodaje.  
Fuente: Planeación y diseño de Aeropuertos, Robert Horonjeff

En la figura (5.6a) se muestra una configuración de salida de pista para una velocidad de 95 km/h y un ángulo de 30°.

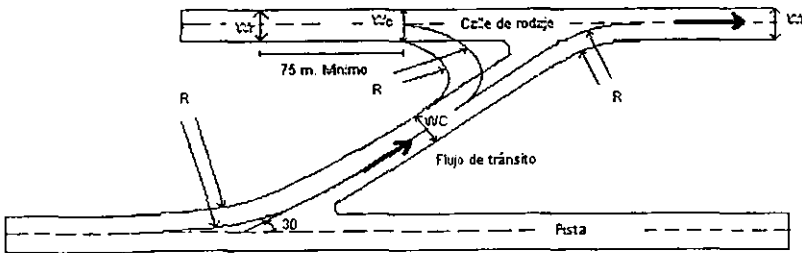
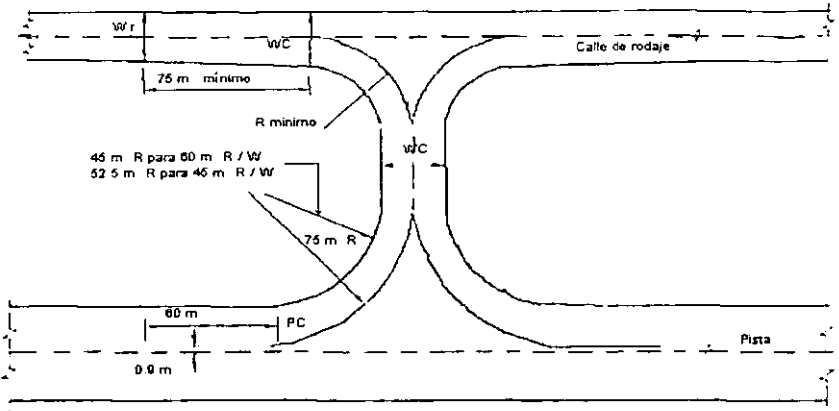


Fig. (a)  
Fuente: Planeación y diseño de Aeropuertos, Robert Horonjeff



Fig(b)

Fuente: Planeación y diseño de Aeropuertos, Robert Horonjeff

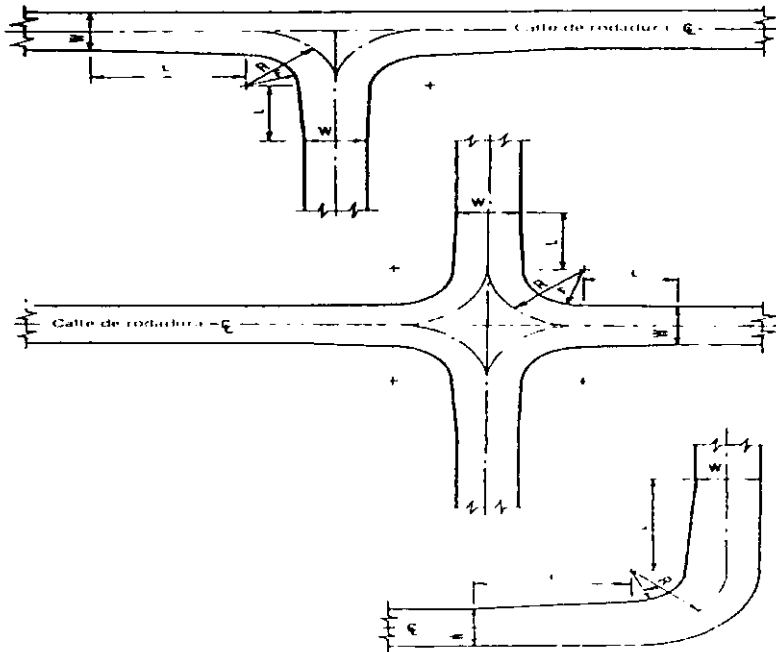


Fig (c)

Figura (5.6). a) Calle de salida de pista a alta velocidad 30°, b) Calle de salida a 90°, c) Detalles de intersección de las calles de rodaje.

Fuente: Planeación y diseño de Aeropuertos, Robert Horonjeff



Ancho y radio	Grupo de diseño avión / Calle de rodaje		
	I	II	III
Wy	15	23	23
Wc	20	27	27
R	30	45	45

### Superficie de las plataformas

El área requerida para plataformas y maniobras de las aeronaves depende de:

- Tipo de estacionamiento
- Del ángulo de estacionamiento
- del tipo de maniobra que pueden ser : autónoma (propia del avión) y arrastrado por tractor ( con ayuda de vehículo motorizado en tierra).
- De la forma del área que puede ser: rectangular, circular y semicircular.

Cada uno de estos estacionamientos cuentan con diversas ventajas y desventajas relacionadas con las maniobras del avión, el ruido que proporcionan y la posición con respecto al edificio de pasajeros. En base de estas ventajas se determina el tipo de estacionamientos.

Las dimensiones de plataformas se establecen en base al área que cada avión necesita para poder realizar óptimamente todas sus operaciones, con la mayor seguridad posible. De las áreas que se deben tomar en cuenta se distinguen las siguientes:

- a) Área requerida para maniobra del avión
- b) Área de seguridad con respecto a las operaciones de otros aviones.
- c) Área de seguridad con respecto al edificio de pasajeros
- d) Área de circulación de los pasajeros a plataforma.
- e) Área de evolución de los equipos en tierra
- f) Área de seguridad respecto al soplo
- g) área ocupada por el avión

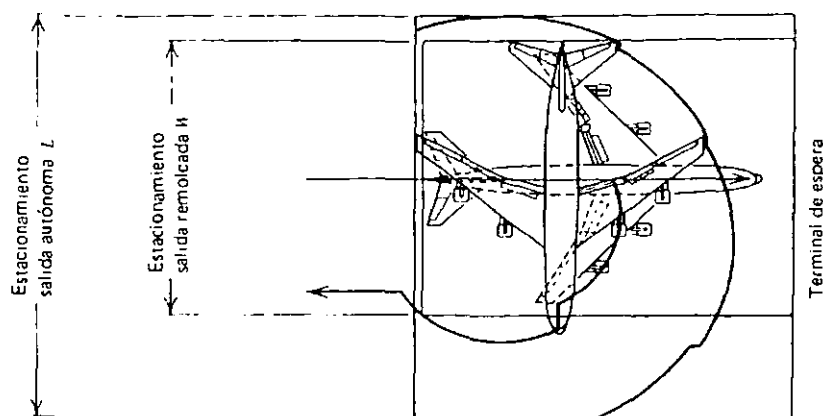


Fig. 5.7. Área requerida para maniobras del avión  
Fuente: aeropuertos, N. Ashford

La configuración del edificio de pasajeros como se ha mencionado en el capítulo correspondiente, se configura de acuerdo al análisis del flujo de pasajeros para determinar la distribución de las instalaciones y los niveles que a de tener el edificio para proporcionar el servicio adecuado sin saturar la capacidad del mismo en las horas pico. Este esquema deberá especificar claramente el movimiento del flujo de pasajeros y de equipajes, señalando las instalaciones de servicio al público así como los edificios que darán servicios como de rescate, el CREI, Torre de control, etc. estableciendo las áreas que ocuparan y la ubicación de las mismas.

### Embarque de pasajeros

Los métodos que se utilizan en el embarque de pasajeros son:

- pasarela estacionaria.- esta va a una salida del edificio. La aeronave se estaciona con la proa hacia adentro, a lo largo de la citada saliente, deteniéndose con la puerta delantera frente a la pasarela, la cual se alarga hacia la aeronave, existiendo un pequeño escalón entre la altura de la cabina principal de la aeronave y el piso del edificio.
- Pasarela extensible.- uno de los extremos de la pasarela telescópica va unida al edificio terminal, mediante articulación y el otro se sostiene sobre dos ruedas gemelas orientables accionadas por un motor. La pasarela se orienta hacia la aeronave y se alarga, hasta alcanzar las puerta de la misma.
- Escalera móvil.- la escalera se lleva hasta la aeronave y se ajusta para que coincida con el nivel de la plataforma.
- Transbordadores.- Los pasajeros suben a autobuses o a un transbordador especialmente para ese uso en el edificio de pasajeros y son conducidos a un lugar de estacionamiento de aeronaves.

- Aeronaves con escalerilla propia.- este procedimiento es similar al de la escalera móvil, una vez parados los motores, la tripulación despliega la escalerilla y los pasajeros se van a pie o son conducidos a pie a lo largo de la plataforma.
- Salas móviles.- con las salas móviles, las distancias que los pasajeros deben recorrer andando se reduce al mínimo el pasajero esta totalmente protegido de ruidos. El embarque de los pasajeros del edificio de pasajeros a la aeronave se efectúa al mismo nivel.

### III.2. Proyecto Arquitectónico

El proyecto arquitectónico define las áreas necesarias y mínimas a utilizar en el aeropuerto de acuerdo a la demanda de pasajeros y operaciones que se prevcan. Este dimensionamiento se debe hacer por etapas, en un período aproximado de 20 años para su desarrollo total, de tal forma que se adapten las necesidades presentes y futuras del aeropuerto. El análisis requiere datos de actividades que propician el crecimiento de las operaciones y de pasajeros, actividades como de comercio, turismo y transporte, el resultado de estos factores refleja cambios en el movimiento aeroportuario, por lo que resulta necesario la expansión del aeropuerto. Por lo tanto el proyecto arquitectónico debe considerar ciertos puntos para poder realizar un crecimiento armónico, que no afecte en su funcionalidad hasta el período de servicio completo considerado. Estos puntos se resumen de la siguiente forma:

- a) Analizar los principales sistemas y soluciones existentes que puedan satisfacer las necesidades de operación, funcionamiento e imagen, evaluando las ventajas y desventajas que cada solución pueda presentar.
- b) Diseñar considerando la evolución del aeropuerto, para lo cual se deben prever los crecimientos por etapas constructivas y por inversión programada para el horizonte en que se tenga planeado su máximo desarrollo.
- c) Proyectar las instalaciones con imagen adecuada, sin que pierda su funcionalidad y resulte estética, dado que algunos aeropuertos son puertas de entrada al país.

En la etapa de puesta de servicio el aeropuerto debe contar con ciertas instalaciones básicas para su funcionamiento, a partir de las cuales se planea su desarrollo. Dentro de este capítulo se mencionan algunas características relacionadas a estas instalaciones como son:  
Edificio de pasajeros, Torre de control, CREI, y zonas de mantenimiento, etc.

El proyecto arquitectónico consiste en los estudios de campo y gabinete necesarios para producir los planos definitivos. los volúmenes de obra y sus presupuestos.

Con los datos obtenidos de la topografía del lugar se trazan las líneas definitivas, lo cual se puede llevar a cabo por diferentes métodos como el de la distancia y el de coordenadas rectangulares o polares, entre otros. La línea definitiva así trazada se dibuja en gabinete a escala o de ser necesario se realizan correcciones de coordenadas. Se calcan en planta con los datos necesarios y los dibujos en perfil, se hacen en papel milimétrico y estos serán los planos definitivos.

## Planos del aeropuerto

- 1.- Plano de configuración del aeropuerto.- indica la configuración, ubicación y tamaño de todas las instalaciones físicas.
- 2.- Plano de uso del terreno.- detalla el uso del terreno dentro de los límites de propiedad del aeropuerto y muestra el de las áreas exteriores al aeropuerto afectadas por su ubicación.
- 3.- Plano del edificio de pasajeros.- muestran el tamaño y ubicación de los diferentes edificios y áreas de actividad dentro del edificio de pasajeros.
- 4.- Planos de acceso al aeropuerto.- muestran los itinerarios propuestos para los diferentes sistemas de acceso de la infraestructura de transporte de la región.

Las instalaciones que se proyectan se presentan en sus diferentes niveles de desarrollo. Los dibujos dan por anticipado la magnitud del desarrollo total, incluyendo las dimensiones y distancias necesarias.

Los planos de configuración representan la disposición de pistas de vuelo, calles de rodaje y estacionamiento, la ubicación y tamaño de las instalaciones y las áreas de aproximación a las pista de vuelo.

Planos para el uso del suelo.- estos planos deben ser una clara exposición de la forma en que ha sido ubicado y diseñado el aeropuerto, no solamente de acuerdo con los planos locales del uso del suelo, sino como parte integrante de la planeación. Debe existir una coordinación no sólo con los usos del suelo actuales y futuros, sino también con los reglamentos y planes de ordenación a nivel local y regional. Generalmente el plan maestro incluye un plano de uso del suelo para el área del aeropuerto. Dentro de los límites del aeropuerto se da un plano detallado del uso del suelo y fuera del aeropuerto se da solamente en forma general.

Planos del edificio de pasajeros.- La ubicación y disposición de las instalaciones en el área del edificio de pasajeros deben indicarse en planos conceptuales más que de detalle, para representar la distribución de pasajeros, equipaje, carga y flujo de vehículos.

El edificio de pasajeros comprende aquellas áreas destinadas o que se pretende destinar a instalaciones tales como restaurantes, garajes y estaciones de servicios relacionados con el aeropuerto, así como carreteras de acceso y servicio de uso público dentro de los límites del edificio.

Planos de acceso al aeropuerto.- El plano debe representar de forma explícita la red de accesos al aeropuerto y hacia los distritos comerciales centrales en las ciudades y cualquier otra zona generadora de tráfico aéreo, también deben indicarse los puntos de enlace con la red de transporte regional o nacional existente

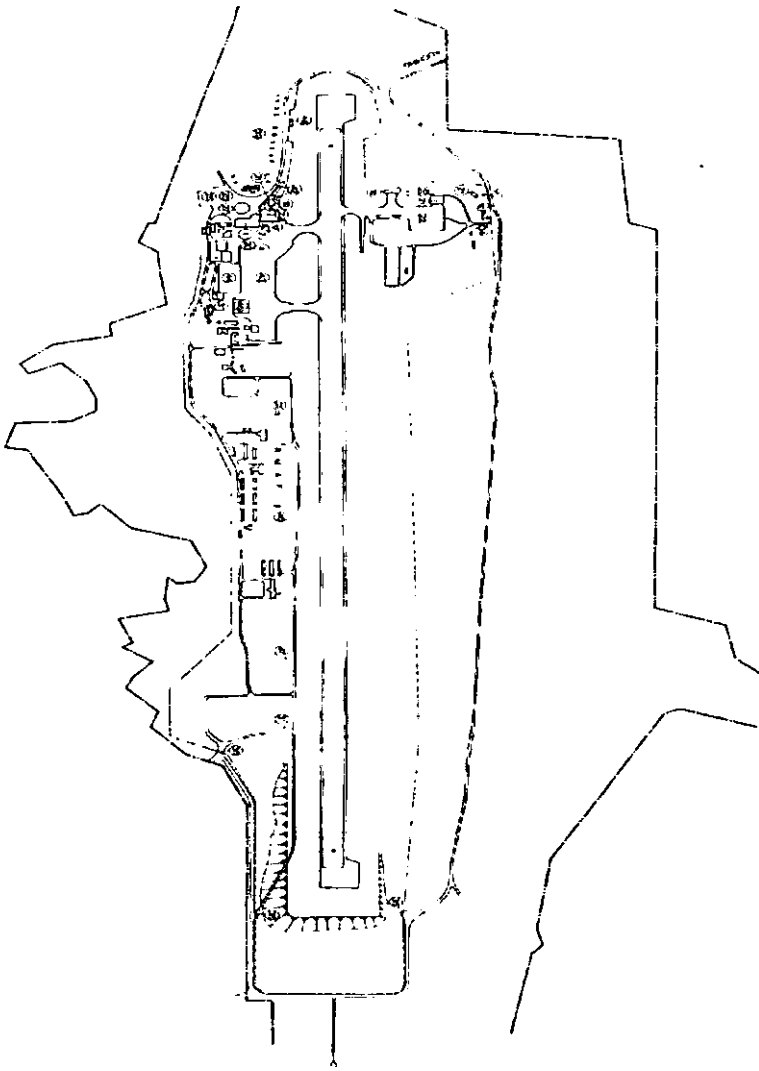


Fig. 5.7. Plano de configuración del aeropuerto.  
Fuente: Aeropuertos, N. Ashford

### V.3.- Proyecto de Instalaciones

Dentro del proyecto aeroportuario, existe una serie de instalaciones que requieren de un estudio particular y detallado. En el presente trabajo se agrupan de manera general las instalaciones que lo integran, considerando los factores que influyen para su diseño y la importancia que tienen dentro del proyecto de aeropuertos.

#### Zona de salvamento y extinción de incendios

Esta formado por el cuerpo de rescate y extinción de incendios (CREI), donde su objetivo es salvar vidas humanas, en casos de accidentes o incendios de aviación, siendo los casos más expuestos los momentos de despegue, aterrizaje, estacionamiento, recabastecimiento de combustible, o dentro de las mismas maniobras de salvamento.

Tal importancia nos obliga a disponer de medios para hacer frente a los accidentes de aviación que ocurran en el aeropuerto o en sus cercanías, puesto que es precisamente dentro de esta zona donde existen las mayores posibilidades de salvar vidas humanas. Es recomendable que el proyecto del edificio del CREI se encuentre dentro del aeropuerto y podrá estar coordinado con los servicios municipales locales tales como: estación de bomberos, seguridad policial, hospitales, etc.

Se deberán proporcionar planos de servicios detallados, configurados y que contengan los trazos de todos los caminos de acceso y las zonas posibles de accidentes para una respuesta rápida y eficiente de los servicios involucrados.

El material de que dispone el CREI incluye vehículos y maquinas de intervención, material ligero de intervención como gas carbónico, material pesado a base de espuma, cisternas de agua, ambulancias y socorro a heridos, por lo que el diseño de las instalaciones necesarias deben prever la capacidad para albergar todo el sistema manejado por este servicio. En aeropuertos donde las condiciones topográficas permitan la construcción, se deben prever caminos de acceso de emergencia para reducir el tiempo de respuesta de los equipos de auxilio, o bien, pueden utilizarse los caminos de servicio del aeropuerto.

#### Instalaciones eléctricas

Se deben proyectar elementos estructurales para albergar dispositivos que darán servicio de energía eléctrica al aeropuerto, tales como estaciones eléctricas de suministro de la C.F.E. (solo en México), y una planta secundaria generadora de energía para casos de emergencia.

Las instalaciones en general se establecen en base a las actividades que corresponden a ciertas necesidades, que con el tiempo pueden aumentar y conducen, por lo tanto, a una extensión de las mismas. El aeropuerto debe contar con dos tipos de redes conectadas como son:

- Red prioritaria.- Esta red se encarga de alimentar a las ayudas de aterrizaje como: el balizaje y a las ayudas de navegación ( ILS, VOR, Torre de control, Radiobaliza, Meteorología, etc.). Esta red es por medio de un sistema subterráneo, a través de ductos, que debe garantizar un suministro seguro y confiable.
- Red general.- Es la que alimenta las exigencias de las instalaciones de infraestructura como son: Edificio de pasajeros, hangares, calles de acceso, plataformas de estacionamientos, etc.

La red puede estar auxiliada por una planta generadora e intervenir rápida y automáticamente ya que la falta de energía en la zona aeronáutica y en las ayudas a la navegación es riesgo de accidentes. Las partes de la instalación auxiliadas por ejemplo son, edificio y la iluminación exterior y la recepción de pasajeros, por lo tanto una planta de auxilio para la red general debe estar prevista en la central eléctrica del aeropuerto

### **Instalación de Servicio Telefónico**

El servicio telefónico en un aeropuerto depende esencialmente de la importancia del aeropuerto y de la capacidad de la red pública existente. A veces por la distancia de localización, la poca importancia de la red pública o la gran extensión del aeropuerto, llevan a construir una estación central telefónica en el aeropuerto. Debido a que las inversiones del aeropuerto están limitadas, en un principio se consideran únicamente algunos enlaces llamados prioritarios. Se trata de líneas necesarias a las comunicaciones encargadas de la seguridad del área, en particular:

- Los enlaces torre de control, meteorología, etc.
- Los enlaces torre de control, CREI.
- Los enlaces con los centros de socorro de urgencia.

### **Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias**

Los aeropuertos están dotados de un gran número de redes que aseguran la comunicación entre las diferentes instalaciones y contribuyen a la operación de cada una de ellas. dentro de las instalaciones hidráulicas se debe considerar un :

- Sistema de abastecimiento de agua potable
- Sistema de evacuación de aguas pluviales y sanitarias

En este apartado sólo se mencionará el aspecto relacionado con el sistema de abastecimiento de agua potable, ya que el sistema de evacuación de aguas pluviales y sanitarias se trataron en el capítulo correspondiente a drenaje.

Sistema de abastecimiento de agua potable:

Dentro de este tema es primordial determinar las necesidades de suministro de éste servicio y luego las instalaciones destinadas de asegurar dichas necesidades. En un aeropuerto el agua esta destinada para los siguientes usos:

- Consumo para el personal que reside en el aeropuerto, así como los servicios de restaurantes, autoservicios, etc.
- Instalaciones sanitarias
- Limpieza de instalaciones
- Lavado de instalaciones de mantenimiento ( hangares, talleres ).
- Lavado de vehículos, aeronaves, maquinarias, etc.
- Riego de césped
- Protección contra incendios

La captación puede ser desde un río, un lago o pozos de bombeo y el sistema de conducción puede ser por medio de tuberías hasta un sistema de regularización de sistemas en el aeropuerto. La distribución será efectuada de preferencia desde tanques elevados, suministrados por un sistema de

bombeo, colocados de tal forma que no constituyan un obstáculo en las zonas de maniobra. Los tanques de regularización tienen la finalidad de constituir una reserva de agua, susceptible de hacer frente a las necesidades y requerimientos de los servicios de socorro en casos de accidentes o incendios.

La capacidad de los tanques de distribución debe ser tal que cubra las necesidades previstas en el diseño, en base a la población, clima y dotación que se establezca en el proyecto.

### **Instalaciones para Combustible**

Las zonas de combustible tienen gran importancia dentro del proyecto aeroportuario, de manera general éste se refiere a las instalaciones de suministro de combustible y la ubicación de las mismas. Para poder determinar las instalaciones de combustible, es necesario saber que tipo de combustible utilizarán las aeronaves y la cantidad de éste.

Los combustibles que se utilizan en los aeropuertos pertenecen a dos categorías: Las gasolinas y los carburantes para reactores. Para determinar la capacidad de los depósitos se estiman en base a pronósticos, teniendo en cuenta:

- a) Tipos de aeronaves que utilizarán el aeropuerto.
- b) Frecuencia de vuelos o bien intensidad del tránsito.
- c) Cantidad de combustible requerido por aeronave.

Con estos datos se obtiene la duración del almacenamiento, ésta duración varía según el tipo y frecuencia con que se puedan abastecer los depósitos a través de las refinerías, pero, esta no debe ser inferior a tres días de consumo, en casos de que sea difícil abastecer con regularidad los tanques de almacenamiento deberán tener capacidad para 15 días o más.

Teniendo en cuenta la duración del almacenamiento y conociendo el consumo diario a partir del número y distribución de los aviones que frecuentan el aeropuerto, se obtiene la capacidad del depósito de almacenamiento.

Se debe procurar que los depósitos se instalen tan cerca como sea posible de los lugares de abastecimiento de combustible para aeronaves, sin que esto provoque un obstáculo para las operaciones del aeropuerto.

### **Instalaciones de Carga**

Las instalaciones de carga tienen por objeto recolectar las mercancías, almacenarlas, acondicionarlas, cargarlas a bordo de los aviones y tratar los procedimientos documentales; descarga, almacenamiento y entrega a destinatario. Por lo tanto es necesario, para realizar estas funciones es indispensable determinar las superficies necesarias para esas instalaciones.

Un edificio de carga es esencialmente un hangar, considerado de alguna manera un depósito, donde se almacenan las mercancías y esperan a que los dueños los reclamen. Para definir las instalaciones de carga es necesario considerar cómo se transporta ésta. Cuando es transportada en los aviones de pasajeros, las instalaciones de carga conviene tenerlas en el edificio de pasajeros, puesto que los aviones se estacionan muy cerca de él.

En el caso en que la carga se transporte en aviones especiales, llamados "aviones carga", las instalaciones de carga no sería posible tenerlas dentro del edificio de pasajeros debido a las áreas que requieren y por la necesidad de áreas propias para el mantenimiento de las aeronaves.



En aeropuertos importantes esta zona puede ser prevista desde el inicio de su creación, ubicándola en un sitio más apropiado para zonas de carga. Por último, es conveniente considerar que al lograr un gran desarrollo en las instalaciones, éstas deben contar con medios mecánicos de carga rápida y estandarizada, empleo de contenedores, sistema electrónico para la identificación, almacenamiento de mercancías y de paquetes, así como las necesidades de áreas para poder instalar los equipos, oficinas para poder realizar las operaciones de aduanas requeridas.

#### V.4.- Proyecto de Obra Civil

A partir de la necesidad de una comunicación más rápida y eficiente ha surgido la concepción de los aeropuertos, los cuales para llevarlos a su etapa de construcción, es indispensable haber concluido y aprobado las fases anteriores. Estas fases como se recordará se iniciaron desde los estudios previos de planeación, con lo cual queda justificado la construcción de un aeropuerto.

Toda la información recabada aportó los parámetros necesarios para identificar el tipo de avión que servirá como base para proponer el diseño de los elementos fundamentales como las pistas, calles de rodaje, las plataformas, el edificio de pasajeros, almacenamiento de combustibles y las ayudas visuales.

Una vez terminados los planos de diseños preparados con sus especificaciones, que son el lenguaje con que relacionan el diseño y el campo de la construcción, este último se encarga de la realización física de la obra.

Dentro de la construcción de un aeropuerto, así como en otro tipo de obras, los aspectos técnicos que se presentan, obligan al constructor a tener una preparación más completa en todas las ramas de la ingeniería civil; de acuerdo a la complejidad de la obra tendrá, frecuentemente que formar parte de equipos interdisciplinarios.

Dentro del área de la construcción, el ingeniero civil debe desempeñar diversas actividades dentro de las cuales se encuentran:

- La planeación de la construcción, que consiste en elaborar presupuestos, selección de procedimientos de construcción y de equipo, elaboración de programas de obra, etc.
- Ejecución, en base a planos y especificaciones y de acuerdo a la planeación establecida, organiza los recursos fijando actividades a realizar.
- Control, establece y organiza los mecanismos necesarios para mantener la calidad dentro de lo especificado en proyecto, vigila la realización del trabajo dentro de un programa de ejecución y realiza programas financieros de la obra.

El primer punto a tratar son los procedimientos constructivos del área de maniobras, donde se deben realizar trabajos preliminares de limpieza y nivelación, y posteriormente como lo marca la planeación de la construcción, se seguirá un programa de ejecución.

Cuando se lleva a cabo la ejecución de una obra civil, los planos definitivos reflejen el área final del terreno necesarios para construir, conservar y en su caso ampliar la obra. Con los planos definitivos se procede a la implantación geométrica de los elementos en el campo y se realizan los siguientes :

- Estudios de movimiento de tierra
- Procedimientos constructivos
- Proyectos de drenaje artificial

- Proyectos de pavimentos
- Proyecto de edificio de pasajeros
- Proyectos de caminos de acceso
- Análisis de calidad de materiales para la construcción de los elementos del aeropuerto
- Cuantificación de volúmenes de obra
- presupuestos.

De la misma forma en el inciso de construcción de instalaciones se señalan elementos importantes a considerar en el procedimiento constructivo de almacenamientos de combustible, de ayudas visuales, así como de instalaciones electromecánicas, sanitarias, eléctricas para los edificios.

Por ultimo, y como parte muy importante dentro de la construcción, se presenta lo relacionado a control de obra y control de calidad, debido a que dentro de las obras de ingeniería civil, la construcción de cualquier tipo de obra estos puntos siempre deben estar presentes para lograr que la obra se realice de acuerdo a los programas establecidos y conforme a las especificaciones y normas de construcción establecidas.

En este apartado se presentan los procedimientos constructivos preliminares en áreas de maniobra, es decir en pistas, calles de rodaje y plataformas, desde los trabajos de terracerías hasta la construcción de los pavimentos, así como la construcción del edificio de pasajeros.

Para la construcción de cualquier obra de ingeniería se debe contar siempre con un equipo de supervisión, ya que se debe dar observación a las normas de especificación de los proyectos. Como se ha mencionado, la construcción de una pista no es igual al de una carretera por lo que deben construirse con criterios especiales. Cuando el proyecto da inicio la supervisión se instala y junto con el ingeniero constructor se hacen los recorridos necesarios para constatar que la información marcada en los planos coincida con las condiciones reales del lugar.

#### Trabajos preliminares:

Para empezar con estos trabajos será necesario construir un camino de acceso provisional para los vehículos y equipos de construcción. También será necesario construir instalaciones provisionales, fácilmente desmontables al término de su utilidad, para alojar oficinas de campo, laboratorio de control de calidad, talleres, etc. Mientras estas labores se desarrollan se deben iniciar los trabajos de construcción propiamente dicho, una vez que los equipos de construcción estén en el sitio de obra.

#### Trabajos preliminares como:

- a) Desmonte.- Que se entiende como la acción de tala, derribo o corte de especies vegetales existentes utilizando herramientas mecánicas.
- b) Despalme.- Consiste en el corte, extracción y acarreo a otro lugar de la capa de subsuelo vegetal existente en la superficie.
- c) Cortes someros.- La presencia de capas de arcilla delgadas, de alta compresibilidad bajo los pavimentos, puede provocar deformaciones, en estos casos es conveniente eliminarlas mediante estos cortes.

#### Terracerías:

seco máximo (P.V.S.M.), etc. El proceso constructivo para sub-base y bases tanto en pavimentos flexibles como en pavimentos rígidos es el mismo y consta de las siguientes etapas:

- Desmonte y despalme del banco de materiales
- Remoción, extracción y carga de material.
- Acarreo del material al lugar de la pista
- Descarga
- Mezclado, incorporación de humedad.
- Revoltura, tendido, compactación.

En aeropuertos donde se requiere una superficie de rodamiento casi perfecto, la compactación adquiere aun más importancia. Los materiales que se tienen generalmente en las sub-bases y bases son materiales granulares, como la arena y la grava, y ocasionalmente arcillas. El equipo de compactación debe entonces elegirse en función de estos tipos de materiales y el grado de compactación deseado.

La construcción de las superficies ya sean carpeta o concreto hidráulico se especifican así como la sub-base y base en el capítulo correspondiente a pavimentos.

#### Construcción edificios:

Después de analizar los procedimientos de construcción de la zona aeronáutica, se presentarán los puntos más importantes que deben tomarse en cuenta en la construcción de los edificios que componen el aeropuerto, edificios como :

- Edificio de pasajeros, que es generalmente el edificio identificador del aeropuerto.
- Edificio anexo de oficinas, que es el elemento de control de las áreas exteriores y despachos de vuelo.
- Edificio anexo de máquinas, que es el elemento donde van alojadas todas las instalaciones eléctricas y de ayudas del aeropuerto.
- torre de control, que constituye propiamente el elemento de control del espacio aéreo.
- Edificio del CREI, para el alojamiento del personal y del equipo de rescate.

#### Edificio de pasajeros:

Los proyectos del edificio de pasajeros son generalmente complicados, ya que se trata de un elemento representativo del aeropuerto. El proyectista trabaja en base a grandes espacios que complican el proceso constructivo y obligan al constructor al análisis de diferentes alternativas de construcción para cubrir adecuadamente los trabajos de excavación, relleno, cimentación, superestructura, albañilería, acabados e instalaciones. Debido a esto cada aeropuerto presenta una solución distinta para el edificio de pasajeros, pero, existen otros edificios cuyo proyecto puede ser utilizado repetidamente en diferentes aeropuertos. Estos edificios son: los anexos para oficinas, casas de máquinas, el CREI y la torre de control.

#### Edificios anexos:

La concepción más sencilla y conveniente para su construcción, son las naves industriales comunes a base de marcos estructurales, cimentados en zapatas corridas, ligadas con traveses de rigidización tanto en la cimentación como en la superestructura. La techumbre se apoyará en el conjunto de marcos rígidos que se levantarán en número suficiente para dar las dimensiones deseadas al edificio. Los muros que se requieran tanto para exterior como para interiores, serán de relleno y no de carga, lo que facilita su construcción y permite la elección de materiales económicos. Los acabados interiores y exteriores, instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, y sistemas de control de ambiente, podrán diseñarse tan sencillo o complejo como se quiera.

#### Edificio del CREI:

Consiste generalmente de dos cuerpos constructivos, uno para alojar el personal en dos plantas y el otro, un cobertizo para el estacionamiento de los vehículos de emergencia. El cuerpo de alojamiento de personal puede ser un sistema constructivo a base de estructuras de concreto armado en sus dos plantas. El cobertizo puede ser un elemento tipo industrial donde en su interior no deben existir obstáculos como columnas, techumbre adecuada para grandes claros y salida totalmente abierta para la salida de los vehículos de emergencia.

#### Torre de control:

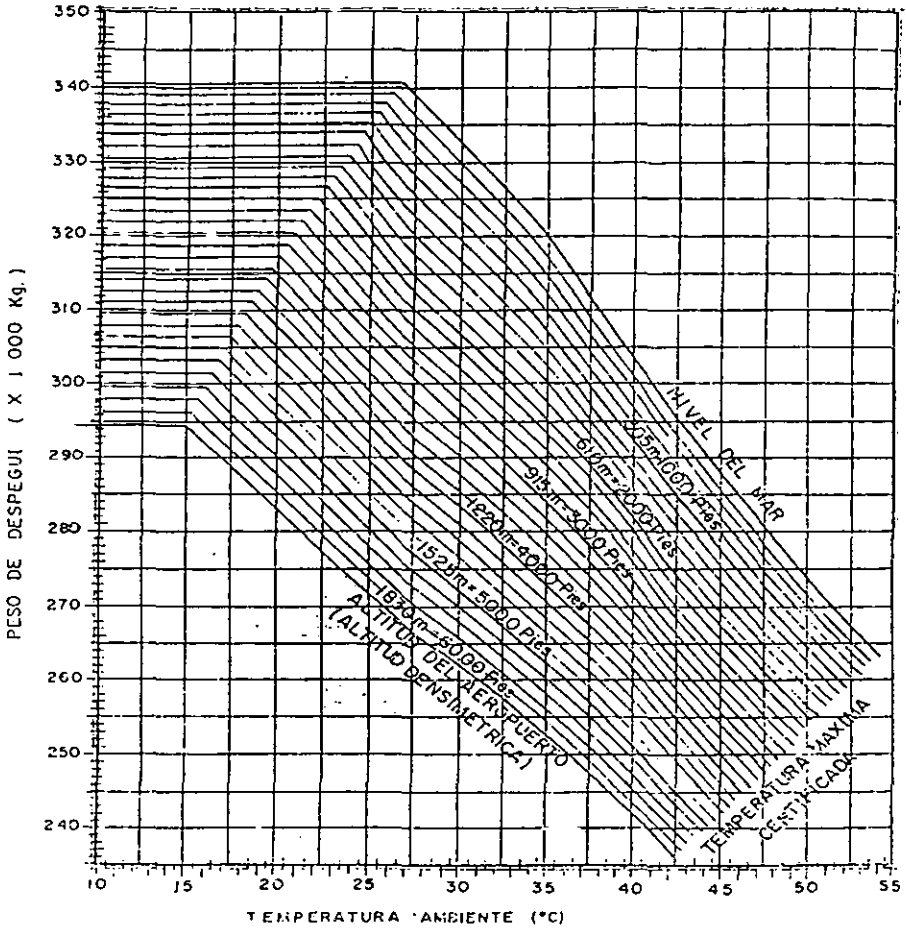
Esta constituida principalmente por la parte inferior de la torre llamada atalaya y la parte superior formada por el fuste, sub-cabina y cabina de control.

La atalaya puede ser en forma rectangular, pentágono, hexágono, circular, etc. Por razones de rapidez , el proceso constructivo de la atalaya, su colado es a base de cimbra deslizante lo que permitirá su construcción en tiempos cortos. el área del fuste se localizan el elevador así como una escalera de caracol.

ANEXO "A"

BOEING-747  
MANUAL DE OPERACIONES

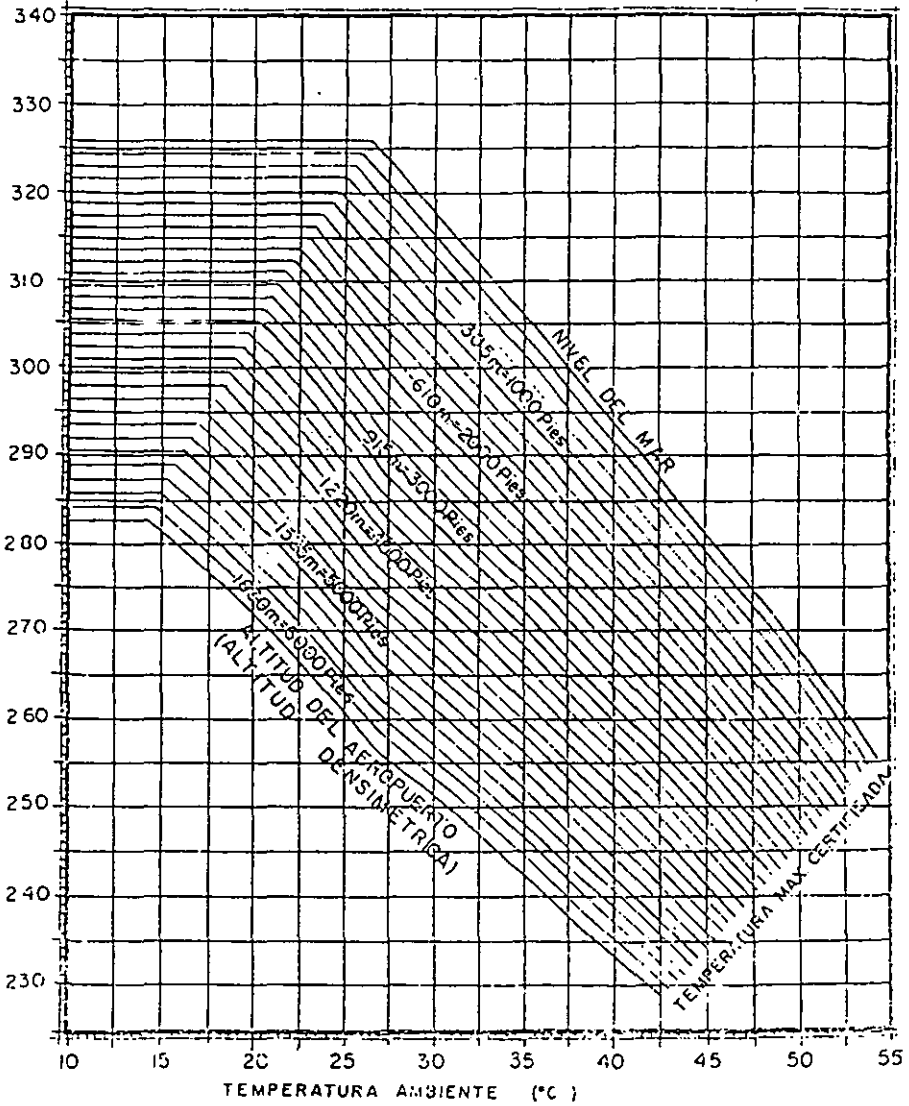
COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
LIMITACION DE PESO POR ASCENSO  
HUMEDO  
ALETAS 10°

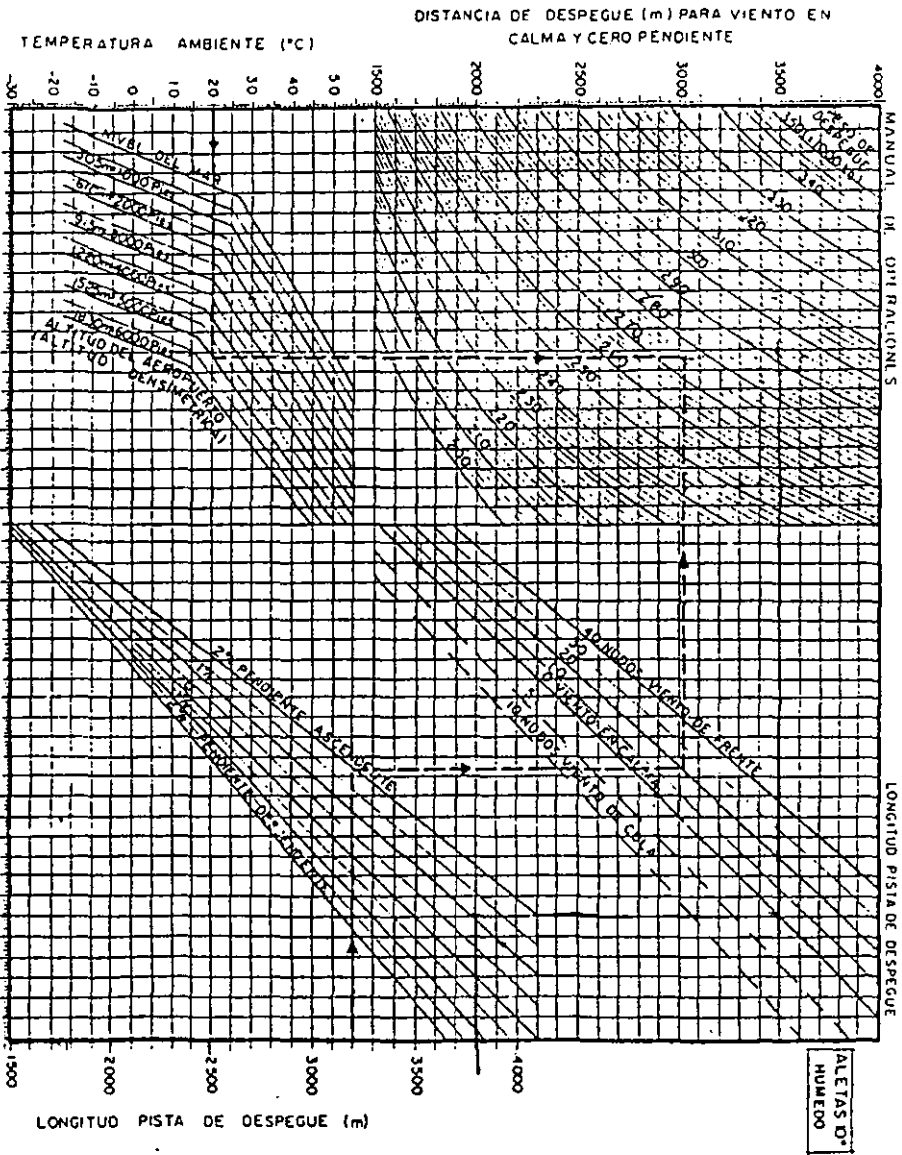


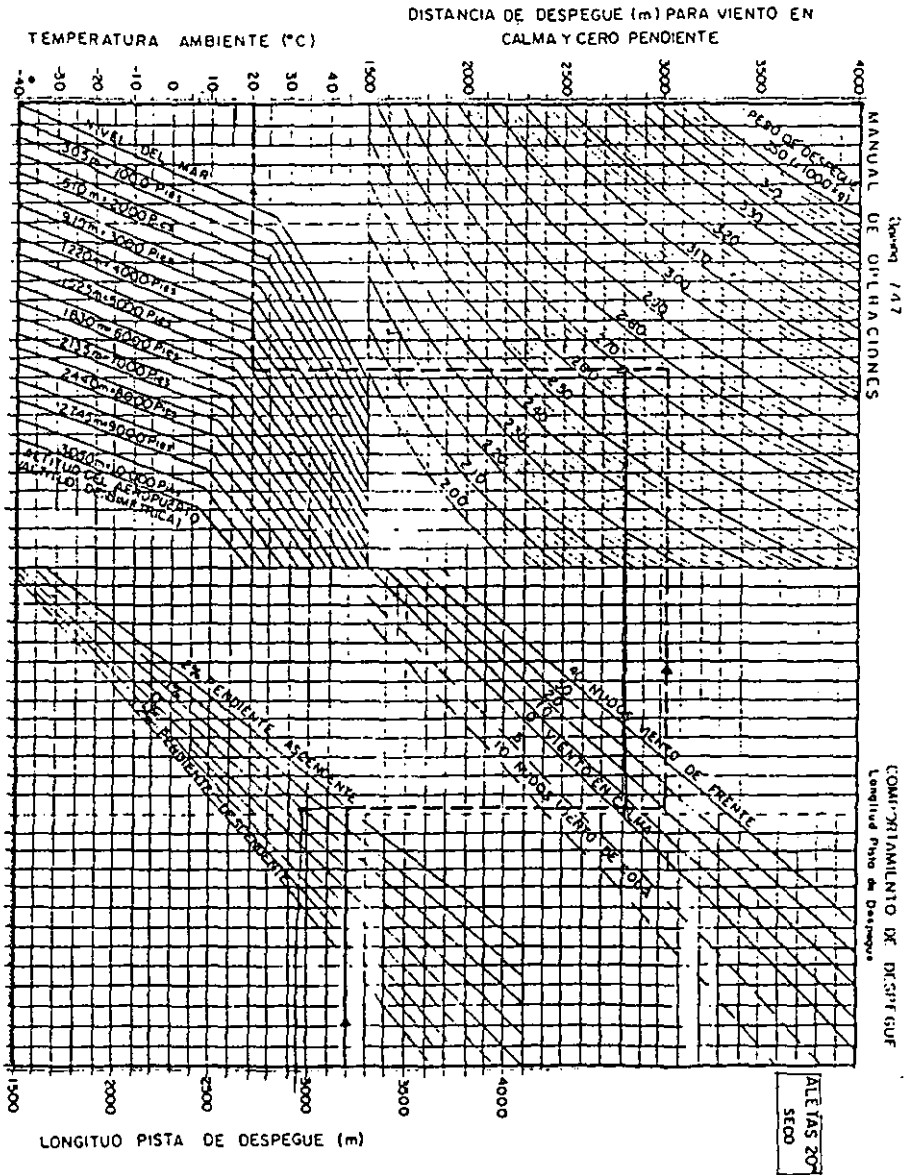
BOEING -747  
MANUAL DE OPERACIONES

COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
LIMITACION DE PESO POR ASCENSO

HUMEDO  
ALETAS 20°



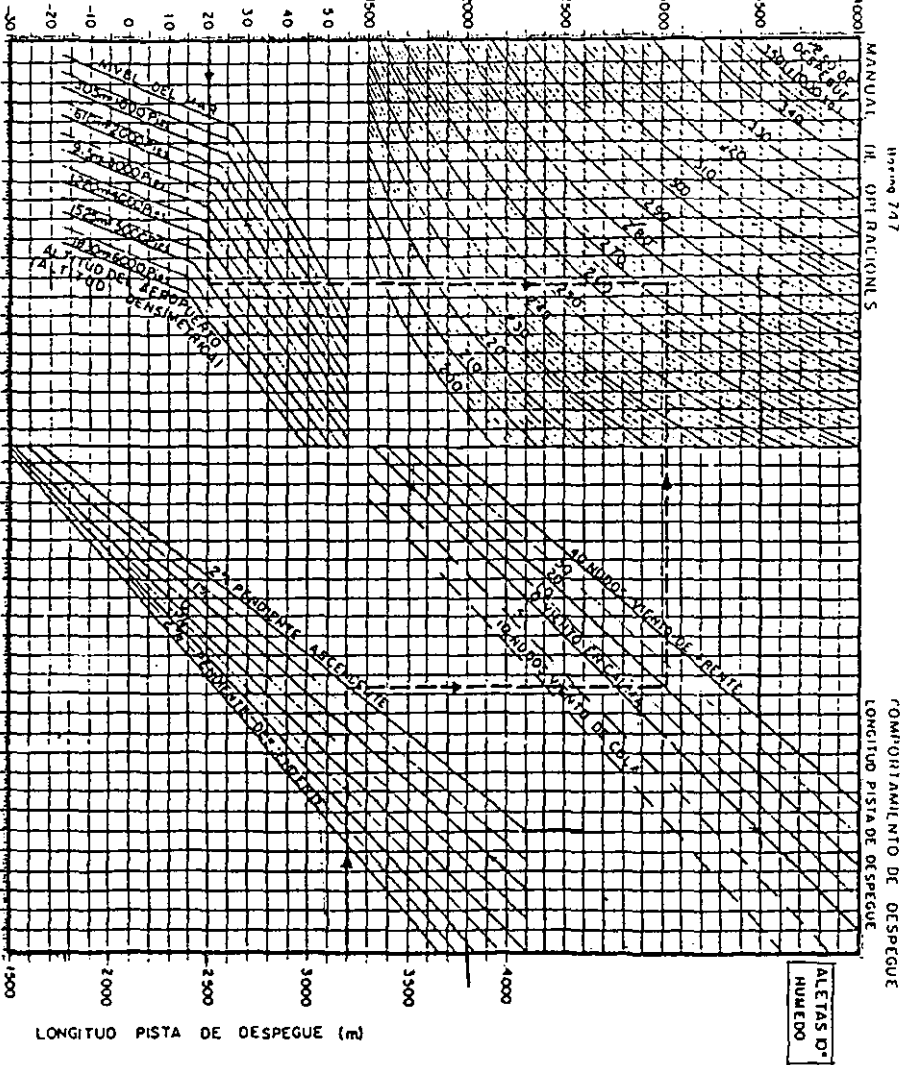


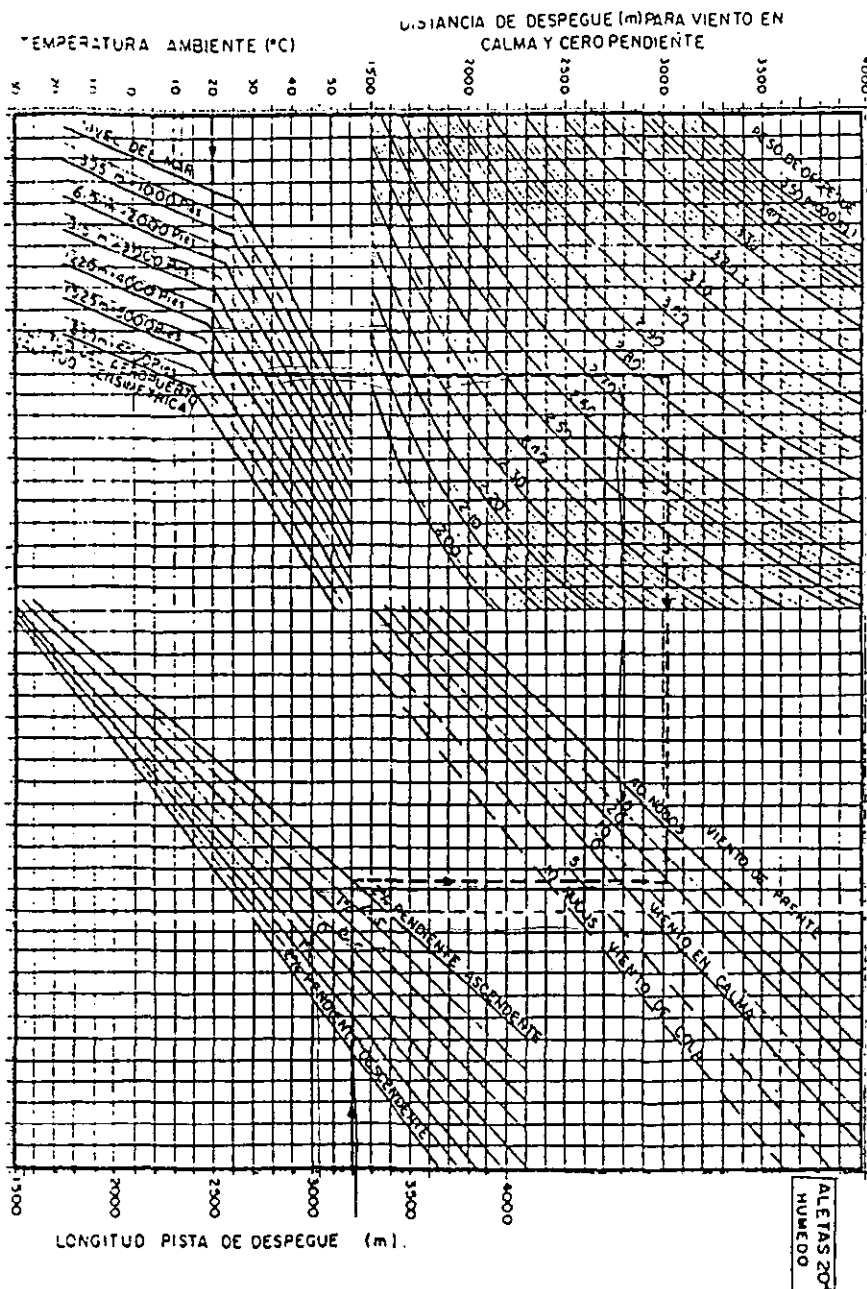




DISTANCIA DE DESPEGUE (m) PARA VIENTO EN CALMA Y CERO PENDIENTE

TEMPERATURA AMBIENTE (°C)





ANEXO "B"

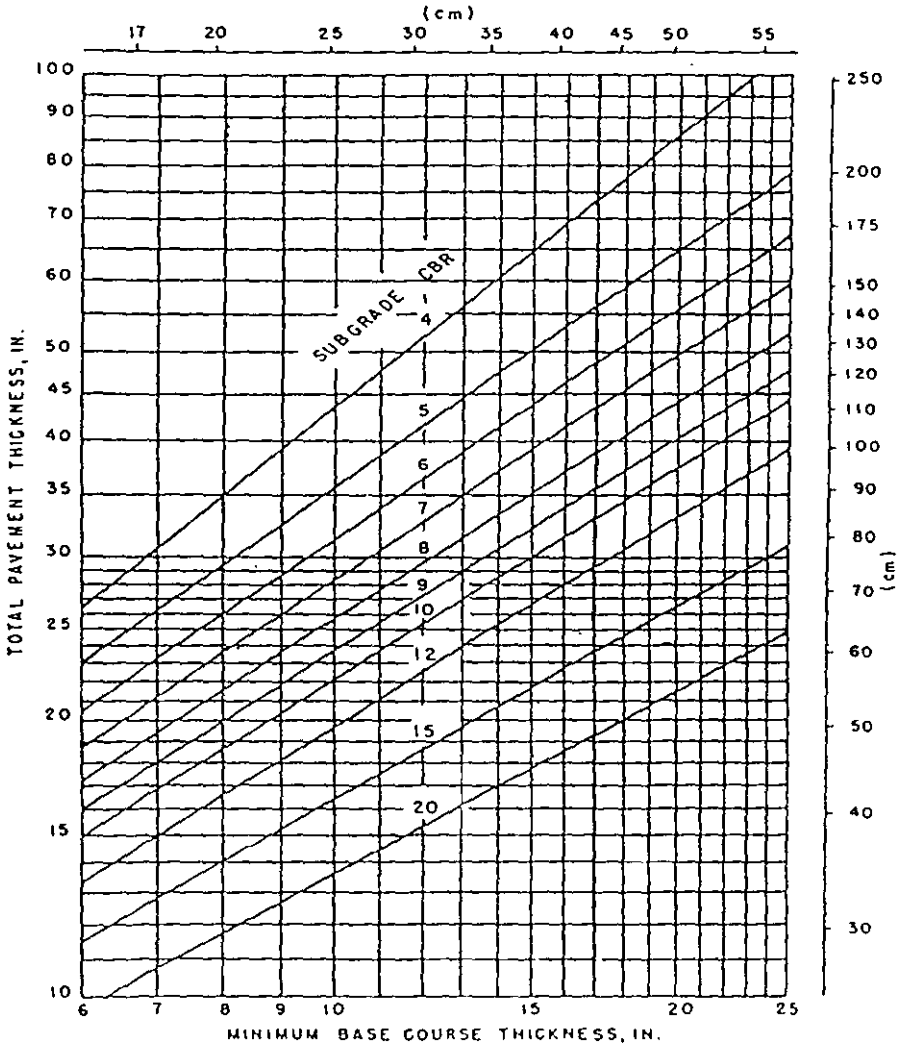


fig.3.3.1: Cálculo de los espesores de pavimento flexible

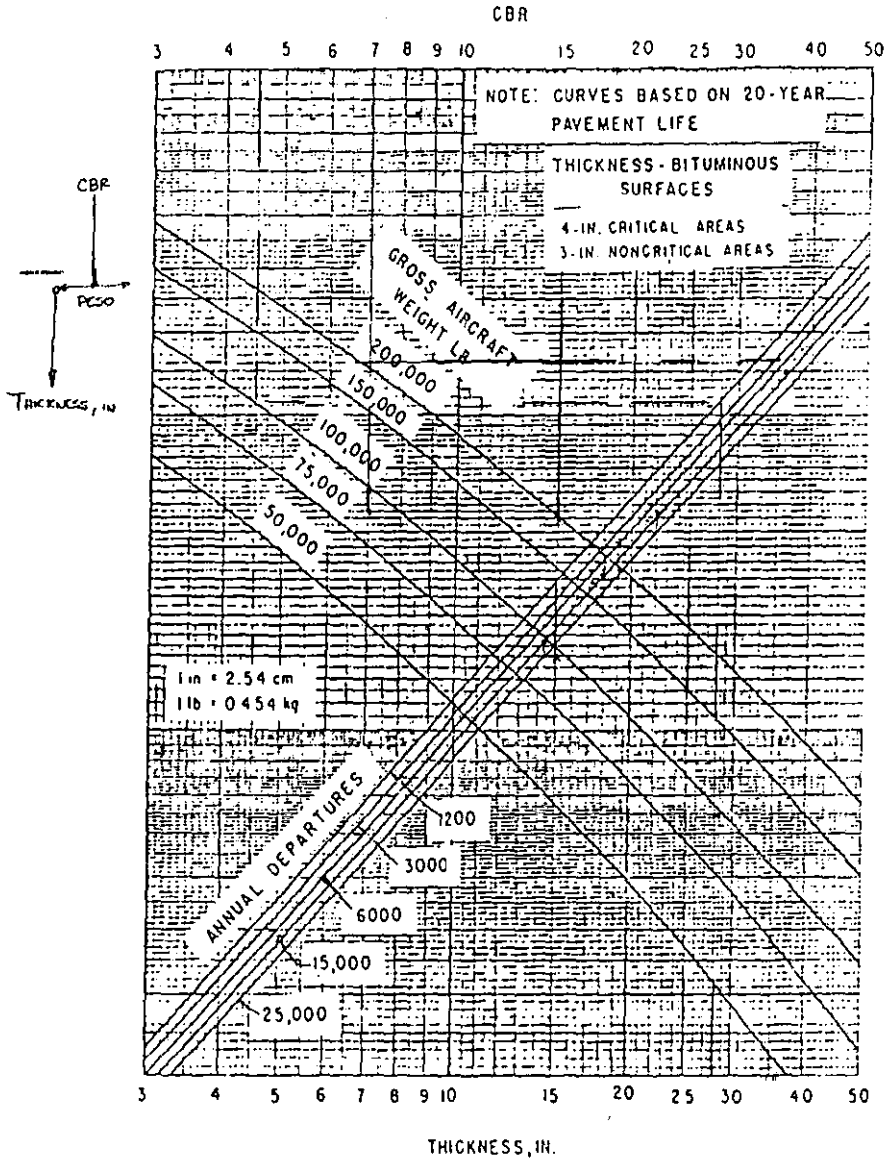


fig. 3.3.2: cálculo de los espesores de pavimento flexible

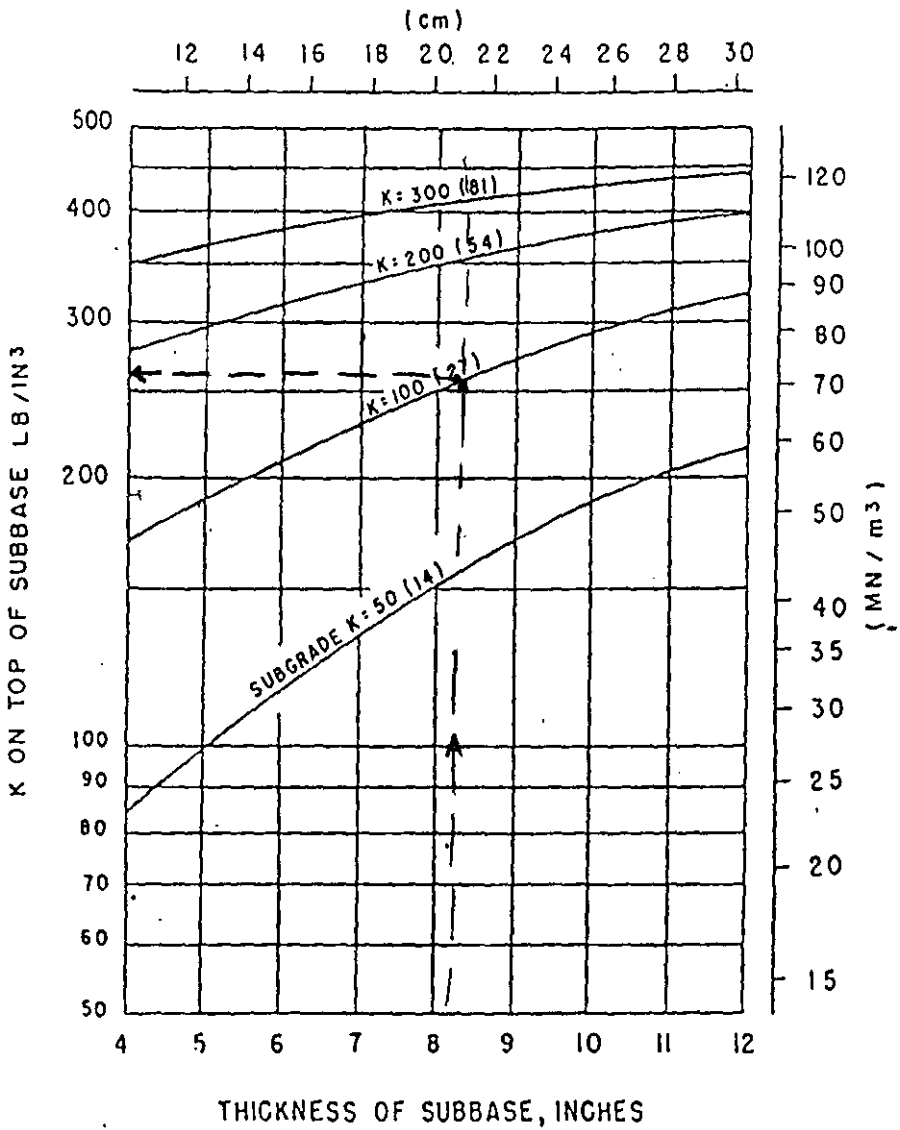


fig. 3.4.1: Cálculo de los espesores de sub-base

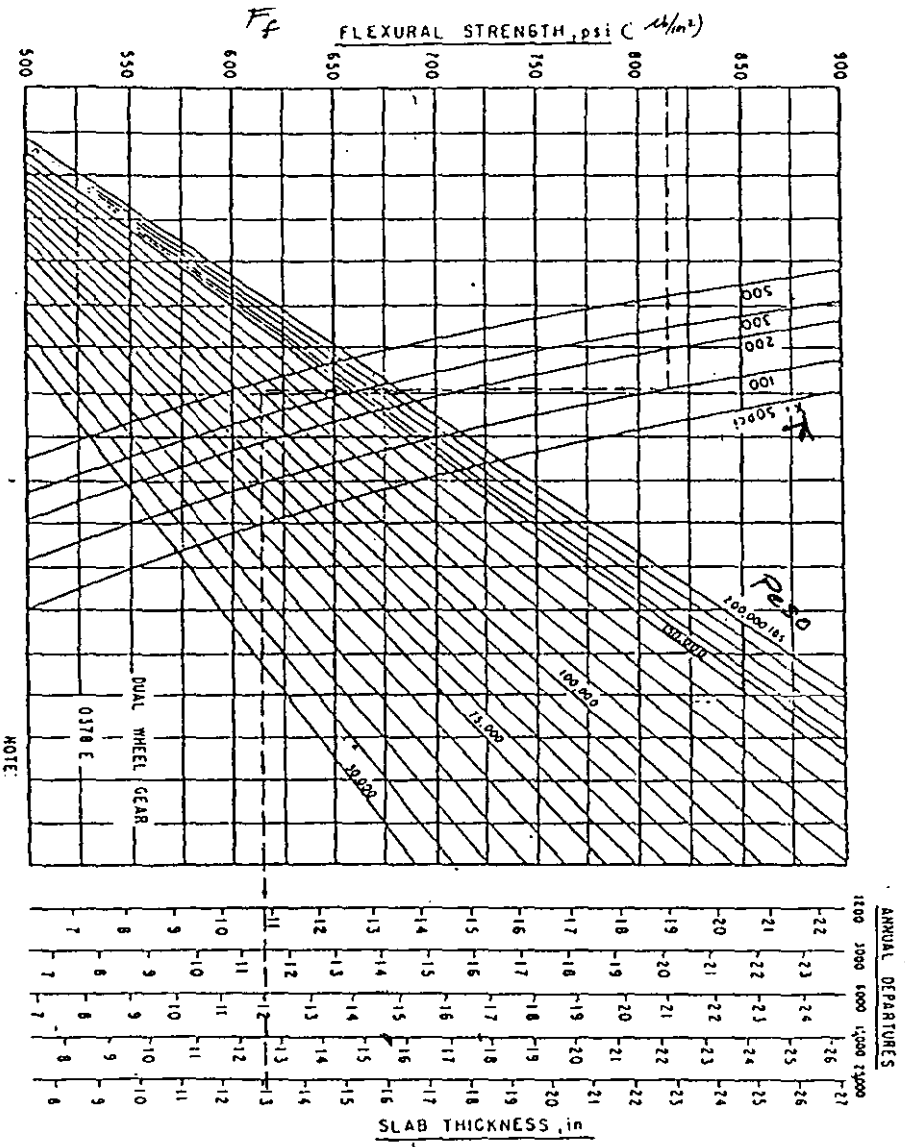


fig. 4.3.2 Cálculo de los espesores de pavimento rígido

### Conclusiones:

El funcionamiento y desempeño del conjunto de sistemas que conforman un aeropuerto durante su etapa operativa es el resultado de los estudios realizados durante la fase de planeación y proyecto, por lo que las decisiones que se tomen se verán reflejadas en la eficiencia del conjunto.

En muchas ocasiones, cuando se tienen proyectos de grandes magnitudes, donde una comunidad entera o parte de ella se verá afectada y en la cual se involucran grandes cantidades de dinero, generalmente de fondos gubernamentales, la decisión de llevar a cabo la construcción del proyecto no sólo depende de estudios de ingeniería, sino también de conveniencias políticas.

Por este motivo se debe definir con precisión la comunidad que necesita de este tipo de transporte, pues el progreso de la economía local y regional se ven íntimamente ligadas a ello.

Dentro de la etapa de planeación de un aeropuerto, se toma en cuenta la distancia que habrá entre la comunidad y el complejo aeroportuario, de modo que se puede prever el tipo de transporte que se utilizará conforme la demanda crece de acuerdo al horizonte de planeación del mismo.

Como se menciona en este trabajo es muy importante considerar los estudios de vientos cruzados porque repercuten directamente en el costo del proyecto, considerando que se requiere de otras pistas, estas deberán contar con la orientación adecuada y de los terrenos disponibles para poder desarrollarse.

Como se mencionó la localización y ubicación de un aeropuerto debe realizarse en base a unos estudios de planeación los cuales toman en cuenta los factores que más favorezcan la zona, haciendo una comparativa de ventajas y desventajas, entre los factores que establecen estas diferencias se encuentran las vías de acceso, la cercanía de las comunidades, terrenos disponibles, topografía y las condiciones meteorológicas del lugar, los espacios aéreos y el impacto ambiental que ocasionaría en la zona.

Entre todos estos aspectos el que más toma importancia es el estudio de impacto ambiental ya que el desarrollo de un proyecto de esta magnitud cambiaría totalmente la ecología del lugar, por lo que este estudio se presenta ante las autoridades competentes dándose a conocer los problemas que se ocasionarían y las probables soluciones de las mismas así, como las ventajas que se obtendrían con el desarrollo de un proyecto de tal magnitud.

El elemento esencial y del cual toman partida los dimensionamientos de los demás sistemas del aeropuerto son las pistas, éstas son el punto de partida para el diseño de los espacios aéreos, las calles de rodaje, las plataformas y el edificio de pasajeros.

El número de pistas estará en función de los estudios de vientos cruzados como se mencionó y de la demanda de servicios.

Las calles de rodaje se emplean para comunicar a las pistas con las plataformas y el edificio de pasajeros, los cuales deben estar bien diseñados de acuerdo al tamaño y funciones del aeropuerto para optimizar los tiempos e interferencias con las pistas.

El edificio de pasajeros debe contar con las dimensiones necesarias para proporcionar comodidad a los usuarios y tener la capacidad funcional ante las demandas de operaciones en las horas crítica o punta.

Las plataformas de estacionamiento representan la conexión entre el transporte terrestre y el transporte aéreo y viceversa, los cuales por situaciones económicas deberán ubicarse en zonas cercanas al edificio de pasajeros.

Teniendo bien definidos estos elementos se procede a la etapa de construcción de pavimentos , en el cual se determina el tipo de pavimento y espesor a emplear con base en distintos factores de lugar como: la capacidad de resistencia y de carga del suelo, para soportar las cargas en horas punta y los costos iniciales y de mantenimientos, cuando esté en operación.

Como se puede observar, resulta de primordial importancia proyectar los pavimentos tomando en cuenta estos factores y otros mas, puesto que de lo contrario se tendrán resultados negativos, lo que se traduce en pérdidas económicas al tenerse mayor inversión durante su vida útil por mantenimientos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Planificación y diseño de aeropuertos  
Robert horonjefft
2. Airport Drainage  
FAA Advisory circular AC 150/ 5320-5B, july 1970
3. Aeropuertos  
N. Ashford
4. Diseño de pavimentos de concreto para aeropuertos  
Pórtland Cement Asociation  
Mex., Limusa, 1977
5. Compactación en carreteras y aeropuertos/ vs española de  
Luis Valero, barcelona, 1972
6. Ingeniería de carreteras y aeropuertos  
Legault, Adrian R.
7. Anteproyecto general de aeropuertos  
Tesis licenciatura, FI, UNAM.
8. Conceptos de planeación de aeropuertos para efectos constructivos.  
Tesis de licenciatura, FI, UNAM.
9. Estudio de drenaje y eliminación de aguas residuales en aeropuertos  
Tesis profesional, FI, UNAM.
10. Drenaje de aeropuertos  
Tesis profesional, FI, UNAM
11. Proyecto ejecutivo de aeropuertos  
Tesis profesional, ENEP Aragon, UNAM.
12. Apuntes de planeación FI, UNAM
13. Apuntes dela materia de planeación
14. Fascículos de planeación FI, UNAM
- 15.
16. Apuntes de pavimentos FI, UNAM.