

107  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" PLANEACION GENERAL DEL DESARROLLO -  
DE UN AEROPUERTO "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
IVETTE MADAI TOLEDO ROSAS



DIRECTOR: ING. FEDERICO DOVALI RAMOS

MEXICO, D.F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señorita  
**IVETTE MADAI TOLEDO ROSAS**  
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-122/95

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

**"PLANEACION GENERAL DEL DESARROLLO DE UN AEROPUERTO"**

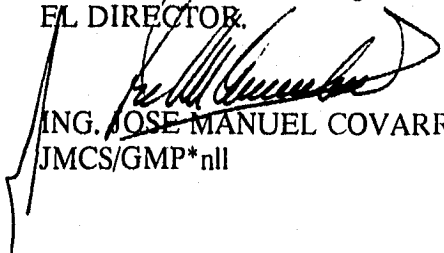
**INTRODUCCION**

- I. PLANEACION**
  - II. ESTUDIOS DE ESPACIOS AEREOS Y RADIOAYUDAS**
  - III. AYUDAS VISUALES LUMINOSAS**
  - IV. CALCULO DE LONGITUD DE PISTA**
  - V. CALLES DE RODAJE Y CONCEPTOS DE CAPACIDAD**
  - VI. ANALISIS DE PAVIMENTOS**
  - VII. PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y DESARROLLO POR ETAPAS**
- 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, 15 de agosto de 1995  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*nlI

***DOY GRACIAS A DIOS***

***A MIS PAPAS, POR SU AMOR Y CONFIANZA.***

***HAGO EXTENSIVO ESE AGRADECIMIENTO,  
A MI QUERIDA MAMA LUPE.***

***AL CARIÑO INCONDICIONAL DE TOÑO.***

***A MI TIA ROCIO POR SU INVALUABLE APOYO.***

**CON TODO CARIÑO PARA MI TIO RAUL Y A TODA  
MI FAMILIA.**

**A MIS AMIGOS J. IGNACIO, LIZBETH, MARICELA,  
NAHOMI, TATIANA, ROBERTO, TONY, CARLOS,  
ANALaura, ODETH, PATY, CLAUDIA, MARCOS  
Y MARINA.**

**ALA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO, PRINCIPALMENTE A LA FACULTAD  
DE INGENIERIA.**

***MI ADMIRACION Y AGRADECIMIENTO MAS SINCERO AL ING. FEDERICO DOVALI RAMOS,  
POR SU INVALUABLE AYUDA, APOYO ACCESIBILIDAD Y CONFIANZA DURANTE MI  
PREPARACION ACADEMICA Y EN EL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACION.***

# INDICE

	PAG.
<b>CAPITULO I. PLANEACION.</b>	<b>3</b>
1. Plan Maestro .....	3
1.1 Análisis de Demanda .....	5
1.2 Entorno económico de la demanda .....	5
1.3 Modelos de demanda .....	6
1.4 Análisis de demanda/capacidad .....	8
1.5 Selección del sitio .....	8
1.6 La distribución del aeropuerto .....	9
1.7 Uso del suelo .....	11
1.8 Edificio de pasajeros .....	11
1.9 Desarrollo por etapas .....	12
1.10 Evaluación financiera .....	16
<b>CAPITULO II. ESTUDIOS DE ESPACIOS AEREOS Y RADIOAYUDAS.</b>	<b>18</b>
2.1 Radioayudas para la navegación .....	20
2.2 Restricción y eliminación de obstáculos .....	23
<b>CAPITULO III. AYUDAS VISUALES LUMINOSAS.</b>	<b>26</b>
3.2 Sistemas de luces de aproximación de precisión.....	28
3.3 Características de las señales luminosas .....	29
3.4 Sistema visual indicador de pendiente de aproximación .....	30
3.5 Sistema de luces de pista .....	32
3.6 Luces de calle de rodaje .....	34
<b>CAPITULO IV. CALCULOS DE LONGITUD DE PISTA.</b>	<b>35</b>
4.1 Despegues .....	36
4.2 Métodos para calcular la longitud de despegue y longitud de pista.....	41
4.3 Aterrizajes .....	50
<b>CAPITULO V. CALLES DE RODAJE Y CONCEPTOS DE CAPACIDAD.</b>	<b>51</b>
5.1 Criterios para calcular las características físicas .....	55
5.2 Conceptos de capacidad de aeropuertos .....	57
<b>CAPITULO VI. ANALISIS DE PAVIMENTOS</b>	<b>64</b>
6.1 Generalidades de los pavimentos .....	64
6.1.1 Tipos de pavimentos .....	64
6.2 Pavimentos flexibles .....	64
6.3 Pavimentos rígidos .....	66
6.4 Elección del pavimento .....	68
6.5 Cálculo de pavimentos .....	68
<b>CAPITULO VII. PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y DESARROLLO POR ETAPAS.</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>84</b>

## INTRODUCCION

El transporte aéreo forma parte de los sistemas de transporte mundiales. Está íntimamente ligado con el comercio y ha constituido uno de los motores para la expansión de la economía de todos los países. Su rápido crecimiento ha rebasado la capacidad de muchos aeropuertos por lo que es necesario evaluar ciertos conceptos.

El propósito de este trabajo es analizar esos aspectos en forma amplia y general, tanto en aeropuertos existentes o por construir, tratando de conseguir las máximas ventajas de un buen proyecto con una inversión prudente con el fin de mejorar los niveles de calidad de los sistemas de transporte nacional y de las cadenas internacionales, lo cual constituye un reto al cual México no escapará.

En el sistema de transporte aéreo, se entiende por infraestructura a los aeropuertos, y a los servicios de navegación y control de tránsito aéreo. De acuerdo a los avances científicos y tecnológicos, se deriva la necesidad de conocer los requerimientos de los nuevos aviones para poder proyectar la geometría, los sistemas y diferentes equipos.

Los servicios de control de tránsito aéreo han avanzado en forma acelerada para adaptarse a los requisitos de navegación en cambio, en los aeropuertos no siempre ha sido posible aplicarles las modificaciones por los desarrollos tecnológicos; por esta razón son la parte más vulnerable del sistema. La situación actual en cuanto al rezago, se debe a diferentes causas como es la operación de nuevas aeronaves, cuestiones políticas, también se necesita tener más personal y más especializado, acceder a la tecnología disponible, aplicar métodos de gestión, mantenimiento preventivo, esquemas de ahorro de energía eficientes, así como homogeneizar los criterios de aplicación.

La justificación de un aeropuerto se deriva de la necesidad de transportar usuarios en forma eficiente, cómoda y segura, proporcionando la capacidad necesaria para los movimientos de aeronaves, pasajeros, mercancías y vehículos.

Una vez identificada la demanda en transporte aéreo y la determinación de sus características, se acepta al usuario principal como al pasajero y/o la carga. El usuario necesita transportarse, su objetivo no es viajar, sino llegar a su destino. Por la falta de una planeación integral se presentan aeropuertos vacíos o con cuellos de botella, bloqueando el flujo puerta a



puerta, máximo interés del usuario en optimizarlo, con el objeto de reducir el tiempo total de su viaje, contando con la capacidad para atender a la demanda.

Para poder planear un aeropuerto se debe realizar un Plan Maestro. En el primer capítulo se presenta un análisis de la manera de prepararlo, las reglas que hay que observar y los elementos que hay que tener en cuenta.

Entre los avances principales en la planeación, ha sido el de relacionar la demanda con la capacidad para atenderla. Es un proceso bastante complejo por lo tanto, se debe estudiar en detalle a la capacidad para efectos operacionales como para proyecto.

Además de las consideraciones anteriores, se menciona en el tercer capítulo la importancia de las ayudas visuales y los cálculos de longitud de pista. Las pistas y las calles de rodaje sirven de punto de partida para considerar el trazado del aeropuerto. Otro de los factores importantes es el análisis de pavimentos donde se hace referencia en el capítulo sexto a la determinación del espesor del pavimento y sus componentes.

Una vez organizadas las actividades de planeación y dispuesto el apoyo financiero necesario, se podrá empezar el proceso de proyecto y diseño, de construcción y el desarrollo por etapas.

Finalmente se presentan las conclusiones alcanzadas. Buscando presentar algunas dificultades que existen o se vislumbran en la planeación de aeropuertos.

## CAPITULO I. PLANEACION

### 1. PLAN MAESTRO

El plan maestro es la forma y tamaño que con los conocimientos actuales, el aeropuerto tendrá al final del horizonte de planeación. Este no se puede construir apresuradamente, por lo que se debe desarrollar en etapas, lo cual genera un plan de desarrollo.

El plan maestro debe fijar un lugar para cada elemento de acuerdo a las necesidades que se tengan y ubicarlas en la mejor situación de manera que constituyan un conjunto armónico y eficiente para su funcionamiento. Consta de varios documentos, normalmente se requiere de un plano general de todo el aeropuerto en donde figuran todos los elementos. También todas las explicaciones convenientes acerca de la revisión de la demanda, las cuales deben de incluir las operaciones de aeronaves, número de pasajeros, volumen de carga, correos, tránsito de vehículos, no solo sobre una base anual sino también para las horas más cargadas del día, Determinación de costos beneficios de las soluciones alternativas, posibilidades financieras y estudios del impacto ambiental.

El transporte aéreo vende velocidad y esta cuesta. Lo anterior se identifica a partir de la actividad económica. Ningún aeropuerto es igual a otro por condiciones de necesidad de una ciudad en particular.

Un aeropuerto no debiera construirse sin contar con un plan estudiado, sus premisas deben revisarse periódicamente, realizando los ajustes que procedan para adaptarlo a las condiciones reales que se presenten y en consecuencia, a nuevos horizontes de planeación.

En ocasiones cuando la demanda ha sobrepasado en exceso a la capacidad instalada, en consecuencia las inversiones requeridas se muestran como exageradas, son en realidad cuantiosas.

La carencia de una estructura previa a la planeación conduce a invertir en los puntos de mayor calma, reduciendo aparentemente el monto, dando lugar a la permanente carencia de fondos. A partir de esto se inicia el sostenimiento de un aeropuerto presionado, desbalanceado y con crecimientos desordenados que conducen a tener inversiones mayores con resultados menos efectivos, los cuales se hubieran evitado si se tiene una planeación adecuada. Un aeropuerto nunca se termina, si fuera lo contrario significaría que ya no tendría crecimiento, y su demanda decaería hasta su clausura.

El proceso de Plan Maestro consta de diferentes fases como son: Los requerimientos del aeropuerto, selección del sitio, distribución del aeropuerto y evaluación financiera.

En la fase de "Requerimientos del aeropuerto" durante el período de planeación son necesarias nuevas especificaciones o posibilidades de futuras, ampliaciones. Incluyendo pronósticos de la demanda, si excede la capacidad y cuales nuevos servicios serán necesarios, valiéndose de pronósticos detallados como es el número de pasajeros, aeronaves y el tipo de operaciones.

El primer paso en la planeación de un plan maestro de un aeropuerto en particular es recopilar todos los tipos de datos que pertenecen al área implicada, esto incluye un inventario de los servicios existentes del aeropuerto e información retrospectiva. Este análisis prevé información esencial para el desarrollo de pronósticos y servicios.

También es necesario identificar como es usado el espacio aéreo en la vecindad de cada aeropuerto, todas las ayudas de navegación aérea así como también obstrucciones naturales o estructurales que afectan el uso del espacio aéreo.

Las Pistas y Calles de rodaje también tienen efectos significativos en la localización futura del aeropuerto así como en la dimensión y configuración de la zona de control y áreas de transición.

Es necesario hacer un estudio preliminar acerca del uso del suelo en la vecindad del aeropuerto, de manera que, después en el proceso de planeación se determine que puede hacerse factible en la expansión y si es compatible con los alrededores.

El determinante principal de futuros sistemas requeridos en los aeropuertos es la cantidad de actividad aeronáutica que se genera en el área metropolitana. Es necesario para hacer un pronóstico de la actividad aérea, el tener registros estadísticos de la aviación actual; además de consideraciones de los datos de tránsito aéreo para cada elemento como son pasajeros, carga, maniobras de aeronaves etc. La evaluación de esas estadísticas, junto con consideraciones socioeconómicas, forman la base para pronosticar la actividad aeronáutica para la comunidad en estudio facilitando la planeación de necesidades y servicios futuros.

El análisis de datos socioeconómicos, ayuda a contestar preguntas de interés considerando el tipo, volumen, y concentración de centros de actividad de aviación actual y futura en la región. Como por ejemplo: ¿qué industrias necesitan el transporte aéreo?, ¿Si éstas

necesitan mejores servicios de transporte aéreo?, ¿cuánta gente usará estos servicios?, ¿quién posee los ingresos para hacer uso del servicio aéreo?, etc.

## 1.1 ANALISIS DE DEMANDA

Para la planeación aeroportuaria al igual que otros sistemas de la infraestructura del transporte, el concepto de demanda está relacionado con el de capacidad.

La predicción de la demanda requiere de suposiciones, por lo que mientras más lejano sea el horizonte, mayor será el grado de incertidumbre.

El nivel de la demanda potencial es diferente para cada uno de los sistemas del aeropuerto; por lo que el análisis, debe realizarse tomando en cuenta los factores que por separado influyen en cada elemento del aeropuerto.

Cada aeropuerto tiene diferentes requisitos en cuanto a: áreas de edificio, posiciones de plataforma, horas pico, composición de flota de aviones etc., a pesar de que pueda tener el mismo número anual de pasajeros.

## 1.2 ENTORNO ECONOMICO DE LA DEMANDA

El pronóstico anual de corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazos (20 años) es estimado con base en el desenvolvimiento de las variables económicas y financieras que se esperan tanto en la economía nacional como en la internacional, y que afectan de manera directa e indirecta la actividad aérea.

De esta manera, la demanda de transporte aéreo está influenciada por factores internos y externos que provocan variaciones en la misma. Estos factores que conforman el entorno de la demanda son de carácter demográfico, económico, social, turístico, financiero, ahorro en tiempo de viaje, así como la seguridad y comodidad, entre otros. Para tal fin, estos factores se interrelacionan, afectándose y condicionándose mutuamente en función de las variaciones de cada uno de ellos; por lo que permite prever el comportamiento de la demanda, a través del tiempo y de manera más confiable en el corto plazo.

Por consiguiente la demanda general se determina entre otros por las demandas particulares de:

- \* Número y tipo de compañías de aviación.
- \* Número y tipo de aviones (flota).
- \* Número de pasajeros (llegadas y salidas).
  - Nacionales, Internacionales.
  - Tránsito:
    - Nacional - Nacional.
    - Nacional - Internacional.
    - Internacional - Nacional
    - Internacional - Internacional.
- \* Número de visitantes.- acompañantes.
  - no acompañantes.
- \* Número de empleados.
- \* Número de maletas,
- \* Operaciones simultáneas
- \* Vehículos terrestres, taxis, automóviles, autobuses, etc.

### 1.3 MODELOS DE DEMANDA

En cuestión demográfica, el tamaño y la estructura de la población así como la velocidad de su crecimiento potencial, son factores básicos para producir demanda en los servicios de transporte aéreo, además de influir en su desarrollo. La población existente de acuerdo a su educación y a sus ocupaciones marcan un índice en la demanda.

En lo referente al factor económico, que involucra al poder adquisitivo, es viable para la población en algún período de tiempo el cual es un buen indicador del estándar de vida promedio y la disponibilidad económica para viajar. Si se cuenta con niveles elevados de población disponible para utilizar este medio de transporte, tendremos altos niveles de consumo. Por otra parte la actividad económica y la situación de la industria, involucra situaciones dentro del área de servicios del aeropuerto, generando cierta actividad en el negocio de la aviación y en el tráfico de carga aérea.

La distribución geográfica y las distancias entre poblaciones y comercios dentro del área de servicio de un aeropuerto, tiene una relación directa en el tipo de servicio del transporte requerido.

La demanda también depende de la capacidad presente y futura compitiendo con modos alternos de transporte, también con avances tecnológicos; además, de procesos industriales y mercadotecnia, las cuales crean demandas en el transporte aéreo.

Las rutas internacionales incrementan el volumen de tránsito de un aeropuerto, y los factores políticos tienen un gran peso en la determinación de la demanda por ejemplo: acciones gubernamentales como impuestos y otras cuotas.

Al elaborar un pronóstico a corto plazo, se basa fundamentalmente en modelos económicos que se interrelacionan con el movimiento aeroportuario. Algunos factores o variables consideradas en los modelos son los siguientes:

#### **Algunas Variables económicas**

- a) PIB Nacional
- b) PIB Sectorial (Extracción del petróleo y gas- Petroquímica y Química básica)
- c) PIB de Restaurantes y Hoteles.
- d) Índices de precios.

El Producto Interno Bruto (PIB), Global y de los Sectores, es una variable muy representativa del comportamiento de la aviación en el país.

#### **Variables Demográficas:**

- a) Población Total Nacional
- b) Población Regional
- c) Población local

#### **Variable financiera**

a) Comparación del peso respecto a otro tipo de moneda, por ejemplo al dólar estadounidense

#### **Variable Turística**

- a) Cuartos de hotel en la región de influencia del aeropuerto.

---

## **Variables de aviación comercial**

- a) Tarifas Aéreas (precio del boleto de transportación aérea).

### **1.4 ANALISIS DE DEMANDA/CAPACIDAD**

Después de haber sido determinada la demanda, el siguiente paso en el proceso de plan maestro es la evaluación de instalaciones requeridas. De la comparación de la demanda con la capacidad se obtiene información básica para determinar las dimensiones de las instalaciones y servicios necesarios.

El análisis de la Demanda/Capacidad es normalmente aplicada a corto, mediano y largo plazo, haciendo una aproximación de los servicios requeridos, sus costos y el ahorro que resultará al reducir demoras a los usuarios del aeropuerto, además de prever los ingresos futuros. De esta manera, este análisis dará estimaciones preliminares de el número y configuración de pistas, calles de rodaje, plataformas, configuración de estacionamiento de aeronaves, la capacidad del acceso a las instalaciones del aeropuerto, entre otras.

Estimaciones preliminares de la factibilidad económica pueden también ser obtenidas a partir de una base para desarrollar detalles de el plan maestro y para determinar si son factibles los diferentes requerimientos.

### **1.5 SELECCION DEL SITIO**

La fase de selección del sitio es muy importante en la construcción de un nuevo aeropuerto, en esta se hace un profundo análisis de opciones de sitios, observando estrechamente cada factor como por ejemplo: las características físicas del sitio, costo del terreno y su disponibilidad, etc.

En las principales áreas metropolitanas, no es raro para dos o más aeropuertos compartir el mismo espacio aéreo, por lo que se puede limitar la capacidad de alguno o todos.

Es también importante analizar los requerimientos y futuras necesidades de los aeropuertos existentes antes de considerar la construcción de sitios para un nuevo aeropuerto.

La consideración de la disponibilidad de servicios respecto a la energía eléctrica, teléfono, gas, agua, drenaje etc., deben ser ampliados para servir al sitio propuesto. El costo, espacios aéreos, mecánica de suelos, drenaje, accesos, y meteorología, son aspectos muy importantes en la selección.

Las condiciones meteorológicas también deben ser cuidadosamente investigadas como la niebla, las corrientes de viento, el smog etc. Para saber la influencia del viento predominante se hace un estudio de la dirección del viento en todo el año.

También se debe tomar en cuenta la conveniencia para la población, si es accesible en términos de tiempo, distancia y costo de transportación, un aeropuerto debe estar localizado a no más de 30 - 45 minutos para el mayor potencial de usuarios. Esta consideración es siempre dada por la proximidad de vías rápidas, carreteras u otros tipos de transporte.

La elección final de un sitio sobre otros es frecuentemente subjetiva, por ejemplo comparar las desventajas del incremento del ruido en algunas partes de la comunidad con las ventajas del desarrollo del servicio aéreo metropolitano. El ruido es la objeción predominante en la construcción de un nuevo aeropuerto o en su expansión. Actualmente se han hecho esfuerzos para reducir niveles de ruido producido por las aeronaves. La Federal Aviation Administration (FAA), y La Organización de Aviación Civil (OACI), entre otras organizaciones han establecido programas los cuales legislan los niveles del ruido para las nuevas aeronaves y el uso del suelo.

La elección "adecuada" depende en como tomar decisiones importantes con un amplio criterio.

## **1.6 LA DISTRIBUCION DEL AEROPUERTO**

Otra fase del plan maestro incluye tres componentes: La distribución del aeropuerto, uso del suelo y Edificio de pasajeros.

La distribución del aeropuerto en el plan maestro, es una representación gráfica de lo ya existente y propuestas de nuevas instalaciones, el uso del suelo, su localización, el espacio pertinente, zonas despejadas, áreas de aproximación e información de las dimensiones requeridas etc.



Algunas áreas pueden alquilarse y usarse para propósitos comerciales e industriales. El plan siempre es actualizado con cambios en el espacio como en configuración de pistas, calles de rodaje tamaño y localización de plataformas, edificios, estacionamientos, áreas de carga, ayudas de navegación, obstrucciones, etc.

El diseño de la distribución de cada aeropuerto es específico del lugar y los conceptos generales pueden ser trasladados de un lugar a otro, los aspectos individuales de cada sitio traen como consecuencia distribuciones ligeramente diferentes.

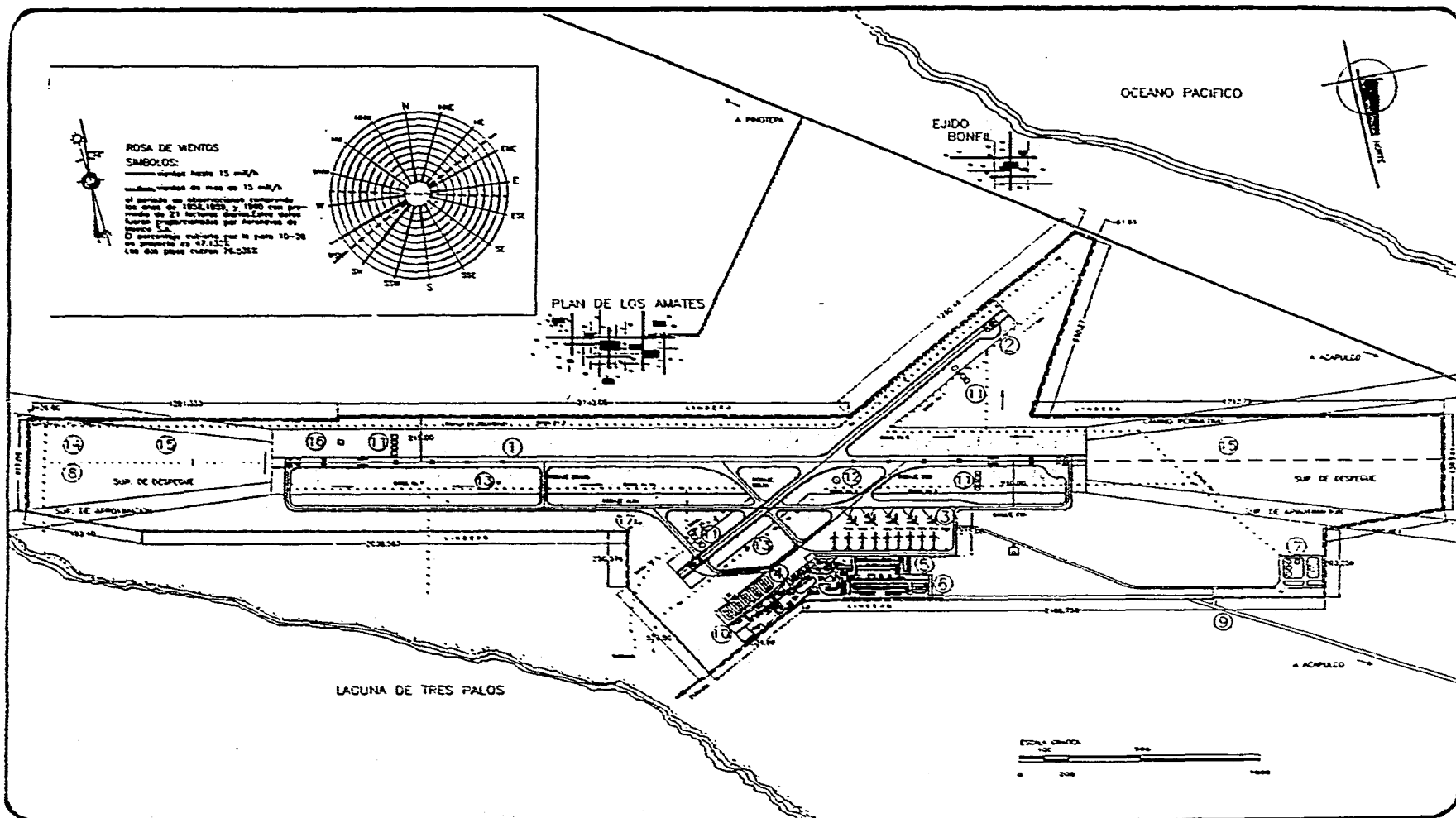
La distribución de un aeropuerto depende de varios factores, de los cuales los más importantes son:

- El área del terreno disponible y límites del aeropuerto.
- Topografía y características del suelo.
- Obstáculos para la navegación aérea.
- Usos del suelo.
- Meteorología.
- El número y orientación de las pistas.
- El número de calles de rodaje, ubicación y tipo.
- El tamaño y forma de plataformas y modo de estacionamiento.
- Tipo y tamaño de los edificios de pasajeros y de carga.
- Accesos

En la preparación del plan de distribución, es normal examinar el potencial de las propuestas y seleccionar la mejor opción para comparar soluciones.


Las instalaciones principales que son consideradas incluye

- Pistas.
- Calles de Rodaje.
- Edificios de pasajeros y plataformas.
- Edificios de Carga.
- Control de Tránsito Aéreo y radio ayudas.
- Mantenimiento de Aeronaves.
- Zonas de Almacenamiento de Combustible.
- Ayudas visuales
- Zonas de Almacenamiento de Combustible.



**SIMBOLOGIA**

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1.- PISTA 10-26 DE 3300X45             | 10.- ZONA DE HANGARES           |
| 2.- PISTA 06-24 DE 1700X35             | 11.- SISTEMA PAPI               |
| 3.- PLATAFORMA DE AV. COMERCIAL        | 12.- V.O.R.                     |
| 4.- PLATAFORMA DE AV. GENERAL          | 13.- CONO DE VIENTOS            |
| 5.- EDIFICIO TERMINAL DE AV. COMERCIAL | 14.- RADIO BALIZA (MM)          |
| 6.- ESTACIONAMIENTO                    | 15.- LOCALIZADOR (LLZ)          |
| 7.- ZONA DE COMBUSTIBLES               | 16.- TRAYECTORIA DE PLANEO (GP) |
| 8.- LUCES DE APROXIMACION              | 17.- RADAR                      |
| 9.- CAMINO DE ACCESO                   |                                 |

Aeropuertos y Servicios Auxiliares  Subdirección de Construcción y Conservación  
Gerencia de Proyectos

**AEROPUERTO INTERNACIONAL DE ACAPULCO, GUERRERO**

**ACA**

NOMBRE DEL PLANO:  
**PLANO GENERAL ESTADO ACTUAL**

ESCALA:  
1:25000

ACOTACION:  
METROS

CLAVE  
**EA-1**

 **INFORMATICA CONSTRUCCION ADMINISTRACION S.A. de C.V.**

FECHA:  
JUNIO/82

Fuente: Plan Maestro del aeropuerto de Acapulco. Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

- Edificio de Aviación General, Edificios de Apoyo.
- Subestaciones Eléctricas.
- Vallas de Seguridad y Puertas de Control.
- Vialidades, Estacionamientos.

## **1.7 USO DEL SUELO**

El plan de uso del suelo dentro de los límites del aeropuerto trata de prever áreas para el establecimiento del complejo del área de edificios, áreas de mantenimiento, edificios comerciales, sitios industriales, zonas de acceso al aeropuerto, sitios de recreación y otros posibles servicios que pueden ser apropiados para situaciones específicas del aeropuerto.

El plan de uso del suelo más allá de los límites del aeropuerto incluye las áreas que son afectadas por obstrucciones, y por factores del ruido etc.

El ruido es el problema más grande para la población en las áreas cercanas al aeropuerto, por lo que se tiene como responsabilidad minimizar el impacto de éste, así como otros problemas del medio ambiente para tener un mayor desarrollo.

La configuración de pistas, calles de rodaje y zonas de aproximación establecidas en un plan de distribución del aeropuerto prevé una base para el desarrollo del plan del uso del suelo. Este plan así como el de impacto ambiental es parte integral del programa de planeación general. La localización, sitio y configuración de las necesidades del aeropuerto son coordinadas dependiendo de la zonas aledañas y de otros principales usos del suelo en el área además de otros servicios de transporte.

Dentro del amplio sistema, la planeación de aeropuertos, políticas y programas deben ser coordinados con sus objetivos, para servir al plan maestro.

## **1.8 EDIFICIO DE PASAJEROS**

El objetivo principal del edificio de pasajeros es lograr un aceptable balance entre la comodidad de los usuarios, eficiencia operativa: seguridad, facilidades de ingresos, y estética.

Para el pasajero es donde realiza la transferencia entre los dos medios de transporte (aéreo y terrestre).

Un pasajero debe tener comodidad física y psicológica desde la acera hasta la aeronave y viceversa. Uno de los factores más importantes que le afectan es caminar grandes distancias, en consecuencia el proyectista debe planear para minimizar esta distancia, desarrollando convenientemente los estacionamientos, para tener una agilidad en el desplazamiento de pasajeros en todo el complejo así como contar con vehículos para brindar un servicio rápido y eficiente para el manejo de equipaje. Otro de los objetivos de esta área es desarrollar un complejo que suministre todos los servicios necesarios dentro de un gasto óptimo de fondos para diferentes inversiones de capital, mantenimiento y costos de operación, esto se toma en cuenta la flexibilidad y viabilidad para futuras expansiones.

El edificio de pasajeros da atención a los usuarios de los vuelos en itinerarios y cuando es necesario se da atención a los vuelos que están fuera de este (Charter). El edificio de Aviación General da servicio a pasajeros de aviación privada y pudiera incluso a compañías comerciales regionales con vuelos de corto alcance.

Las actividades aeronáuticas serán menos costosas y más eficientes si el edificio de pasajeros se ubica lo más cerca de las pistas, debido a que se reduce la distancia de rodaje y por consiguiente el consumo de combustible. Sin embargo, se tiene que preveer las posibilidades de expansión.

## 1.9 DESARROLLO POR ETAPAS

Debido a que un aeropuerto no necesariamente provoca o induce la aparición de tránsito aéreo es por lo que se debe analizar previamente las necesidades de transportación a corto y largo plazo; pudiéndose inclusive, llegando el caso, generar necesidades relativas al transporte aéreo.

La obra aeroportuaria en cuestión puede ser:

- \* La construcción de un aeropuerto donde no lo hay.
- \* Construcción de un aeropuerto nuevo cancelando el actual.
- \* La ampliación de uno ya existente.
- \* Construcción de un nuevo aeropuerto que funcione junto con el actual.

La construcción de un aeropuerto donde no lo hay, puede ser por:

IMTR

- Comunicar una comunidad incipiente. En este caso no hay plena seguridad de que se justifique la obra.

- Creación de un polo de desarrollo. Es el caso de una ciudad turística o industrial.

En la creación de un polo de desarrollo, los organismos encargados del desarrollo de la región deben haber estudiado el impacto de la construcción y por lo tanto, su repercusión sobre la población. Otro factor es la posible competencia con otros medios de transporte, se trata de que el aeropuerto complemente al sistema.

Cuando se requiera hacer la ampliación de un aeropuerto ya existente, debe hacerse una evaluación de la demanda presente y un pronóstico de la futura, así como de posibles problemas que se pueden presentar tales como la disposición de terrenos circundantes o la ubicación de la población.

El caso de construir por necesidad uno o más aeropuertos que funcionen junto con el existente, es precisamente una solución al aeropuerto de la Ciudad de México, ya que el número de vuelos y de pasajeros atendidos muestran la saturación existente del espacio aéreo y terrestre, aunado a otros problemas como es la contaminación atmosférica, ruido etc.; lo que obliga a plantear la opción de construir aeropuertos.

En el caso de construir un aeropuerto cancelando el actual, se debe a una saturación de capacidad en que no hay posibilidad de ampliar el aeropuerto, debido a problemas tales como la no disposición de terrenos, la incompatibilidad con nuevas aeronaves con las instalaciones, todo esto aunado a problemas de ubicación de la población, entre otros.

Se debe llevar una minuciosa investigación y un detallado análisis, realizado por las dependencias oficiales responsables; no pueden desarrollarse criterios para llegar a determinar el potencial aeronáutico de una comunidad y transformarlo a requisitos aeroportuarios. En otros términos, deberán estimarse las necesidades de comunicación de una comunidad y su posible integración al sistema nacional e internacional del transporte aéreo.

La planeación de un aeropuerto es un proceso tan complejo que el análisis de una de sus actividades, sin tener en cuenta la repercusión que puede tener en las demás pueden acarrear soluciones que no resulten aceptables.

Por su complejidad y gran inversión que resulta la construcción de un aeropuerto, se debe tener prioridad en los intereses de la comunidad en estudio.

Las obras de construcción deben llevarse a cabo cuando el aumento del tráfico y los pronósticos a corto plazo, que son menos susceptibles de errores importantes, demuestren que son necesarias. Por lo tanto, los pronósticos a largo plazo facilitan las directrices generales necesarias para la planeación general. Los pronósticos a corto plazo, como de tres a cuatro años facilitan las bases para el trabajo de desarrollo real, en tanto que los pronósticos a plazos intermedios (de 5 a 20 años) usualmente a intervalos quinquenales, por conveniencia, cubren las lagunas dejadas por los de largo plazo y facilitan información provisional sobre las bases subsecuentes probables de desarrollo.

El grado de precisión de los pronósticos, puede definirse con relación a los incrementos de la capacidad, para los que es posible establecer fases de desarrollo aeroportuario. Hasta cierto punto estas fases variarán para cada aeropuerto.

La viabilidad económica es un factor mucho más incierto que la precisión de los requisitos físicos. Los resultados económicos dependen del margen ante los ingresos totales y los costos totales que con el tiempo se acumulan. Un cambio relativamente pequeño en los pronósticos sobre el tráfico puede tener un efecto relativamente grande en la financiación.

La precisión de los pronósticos, en sí mismos está sujeta a un gran número de factores y es muy difícil estimar el momento y la magnitud de las necesidades futuras. Cuanto más largo sea el período abarcado por el pronóstico, mayor es la posibilidad de variación de los factores que afectan los resultados y mayor el riesgo económico resultante de un error.

La construcción de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno ya existente, exige grandes inversiones de capital y la ejecución de trabajos de gran envergadura. Para evitar que quede prematuramente anticuado y que no se derrochen valiosos recursos financieros y materiales, es importante que su vida útil sea lo más dilatada posible.

Ante valores de demanda y no a fechas fijas, se puede analizar cada uno de los componentes del aeropuerto, proyectando sus dimensiones y características para la capacidad y niveles de servicio que requiere la demanda.

La exposición de criterios y pronósticos a largo plazo proporciona una orientación general para determinar las instalaciones necesarias para satisfacer las futuras demandas del sistema de transporte aéreo.

Es necesario hacer consideraciones en cuanto al trazado del aeropuerto, a fin de llegar a una estructura que permita incluir las instalaciones principales requeridas e incluso prever su ampliación. Los planes para los aeropuertos se deben limitar a la fase óptima de desarrollo, con el fin de que no se incurra en grandes gastos adicionales.

Al tener capacidades individuales balanceadas con las demás se obtendrá una capacidad final del conjunto aeropuerto, de tal manera que sin tener capacidad excedente (inversión ociosa) o disminuida (inversión insuficiente mal aprovechada), el flujo de pasajeros desde el espacio aéreo hasta el transporte terrestre y viceversa se realice en los diferentes vehículos y procesamientos de una forma fluida y segura.

El que la demanda evolucione hasta los niveles previstos, puede que lleve a un período de tiempo mayor o menor que el pronosticado, pero esto no tiene gran importancia si se dispone de zonas de terreno apropiadas que permitan el desarrollo cuando sea necesario y que mientras tanto, pueden ser utilizadas provechosamente.

El plan maestro de un aeropuerto debe estar determinado a un valor de demanda tal que se convierta en el horizonte de planeación. Este no es conveniente realizarlo desde un principio debido a que no se puede predecir con exactitud el comportamiento de la demanda, por lo que debiera desarrollarse por etapas a valores predeterminados de demandas que se presentarán en el posible crecimiento del aeropuerto. (gráficas 1.1, 1.2) A su vez el horizonte de planeación escogido, deberá irse ajustando en cada etapa de desarrollo de tal suerte que el aeropuerto tenga posibilidades de expansión a largo plazo, evitando el deterioro de su capacidad futura, principalmente por el efecto circundante urbano.

No se puede confiar demasiado en los pronósticos de demanda, el cálculo puede ser errado tanto por exceso como por déficit.

El pronóstico relativo a la curva de demanda es muy difícil por lo que se plantea utilizando tres criterios de tendencia, una pendiente mayor llamada "Pronóstico optimista", otra de pendiente moderada "Pronóstico medio" y la tercera con menor pendiente o de "Pronóstico pesimista".

Existen dos puntos de vista para fijar el tiempo en que se deberá ampliar un aeropuerto.

1.- De acuerdo a estudios de tendencias. Fijar una fecha para el desarrollo por etapas. Este método tiene el inconveniente de que en la fecha fijada tal existen tres pronósticos de demanda de acuerdo al tipo de proyección tomada. (gráfica 1.3)

2.- Fijar las etapas para una determinada demanda no importa cuando se presente.

Desde el punto de vista planeación se comporta mejor el segundo método ya que se conoce desde un principio el tamaño del aeropuerto para una determinada demanda y por lo tanto las asignaciones económicas indispensables para llevar a cabo la ampliación (Primera etapa de desarrollo) (gráfica 1.4).

Una posible evolución de demanda a través del tiempo y del consecuente desarrollo del plan maestro al cabo de dos etapas puede ser como se muestra en la gráfica 1.5.

En la gráfica 1.6 se ilustran diferentes situaciones del funcionamiento de un aeropuerto de acuerdo a su relación Capacidad-demanda-tiempo. En este tipo de aeropuerto parte del tiempo se encontrará con holguras en su capacidad y parte se encontrará saturado, para optimar las holguras en cuanto a capacidad y tiempo debe buscarse reducir los retrasos de iniciación de obras de la siguiente etapa. Esto abate el costo de la solución.

El siguiente es un caso negativo en extremo. Disminuye al mínimo las holguras en cuanto a capacidad y su duración aumenta al máximo además el aeropuerto siempre está saturado, lo cual provoca elevación de los costos en todos los órdenes (gráfica 1.7).

La gráfica 1.8 es un caso ideal, donde la política de desarrollo permite la aplicación oportuna de recursos, por eso los tiempos de inicio de construcción de las etapas subsecuentes ocurren antes de alcanzar los puntos de saturación del servicio.

Las pistas, calles de rodaje, plataformas y edificios de pasajeros tienen diferentes etapas de desarrollo. También cabe señalar que el horizonte de planeación se debe ir corrigiendo amoldándose al comportamiento de la demanda.

Es importante señalar que las diferentes etapas de desarrollo se tendrán que ir realizando conforme al plan maestro seleccionado.

## 1.10 EVALUACION FINANCIERA

El objetivo primario del plan maestro es desarrollar un diseño de un determinado aeropuerto. Es también esencial examinar la factibilidad económica del plan para diferentes criterios en la operación del aeropuerto y otros servicios. La factibilidad económica dependerá en ocasiones de los usuarios del aeropuerto, ya que se implementan programas para producir ingresos, los cuales se requieren para cubrir costos anuales para administración, operación y mantenimiento. Esto se debe determinar para cada etapa del plan maestro. Esta consideración incluye el costo del capital para ser empleado en el financiamiento de ampliaciones, en los costos de operaciones de servicios anuales, e ingresos anuales esperados.

Para la determinación de Ingresos y Egresos, se debe tener una base de datos sobre el comportamiento de la demanda del servicio de pasajeros, operaciones de carga y demás conceptos complementarios, para dar la capacidad a las instalaciones y contacto con equipos

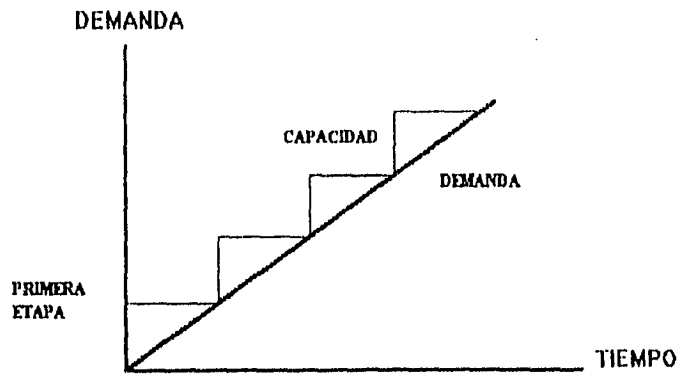


adecuados para satisfacer la demanda en la región de una manera eficiente y segura. Una vez que se cuenta con la información, se procede como primer paso a la cuantificación de los ingresos. Para poder estimar los ingresos que se obtienen debido a la operación de un aeropuerto, se identifican todas las fuentes de ingreso por ejemplo: Servicios Aeroportuarios por aterrizaje, Servicios Auxiliares (o de rampa) por ejemplo el uso de bandas para equipaje, revisión de pasajeros y su equipaje de mano etc. Venta directa de combustible, Derecho del uso del aeropuerto, Renta de concesiones, Recuperación de terrenos etc.

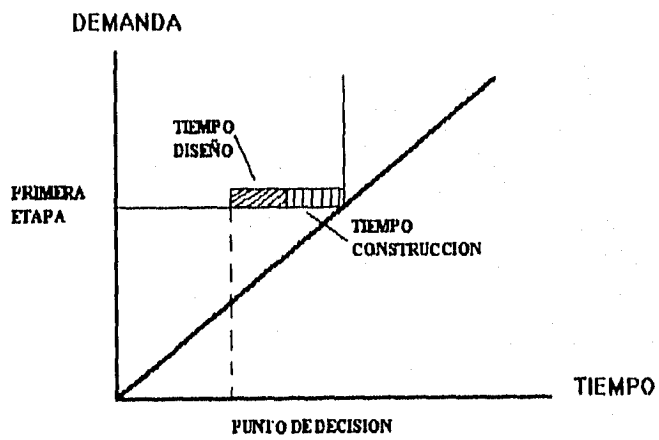
También es indispensable contar con todos los conceptos de demanda esperada durante todo el horizonte de estudio, es decir tener bien definidos términos como conocer el número de pasajeros y operaciones anuales de salida nacional, Internacional, Regional y de la Aviación General.

En México, las tasas que se utilizan para el cálculo de los ingresos, son las que autoriza la dirección General de Tarifas de la SCT, las cuales aparecen publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

Dentro de lo que es el Análisis Financiero, frecuentemente se desarrollan cálculos adicionales para complementar el flujo de egresos e ingresos y así contar con la mayor parte de los conceptos; por ejemplo, es importante desarrollar en análisis apropiado para conocer el tipo de aeronave utilizada en cada ruta, por cada uno de los diferentes tipos de aviación con lo que es posible determinar el consumo de combustible promedio por etapa para cada uno de los diferentes tipos de aeronaves, además de conocer las distancias promedio de la etapa de vuelo.

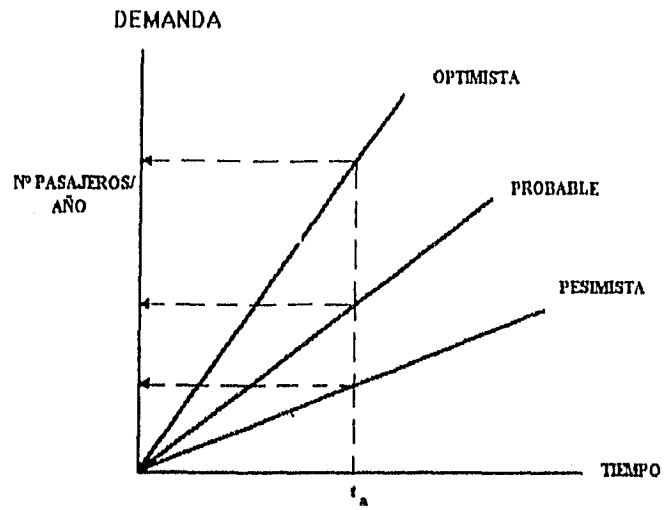


gráfica 1.1

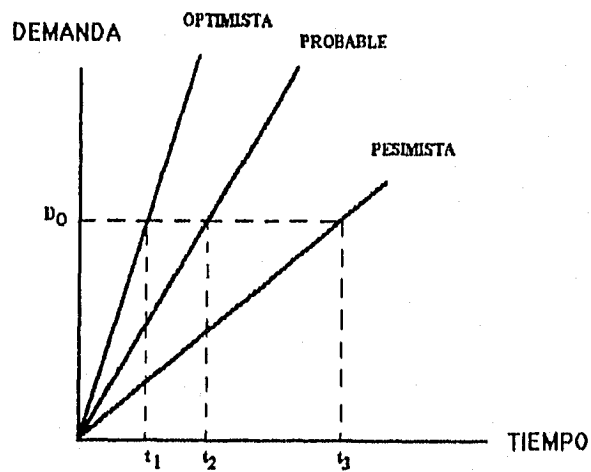


gráfica 1.2

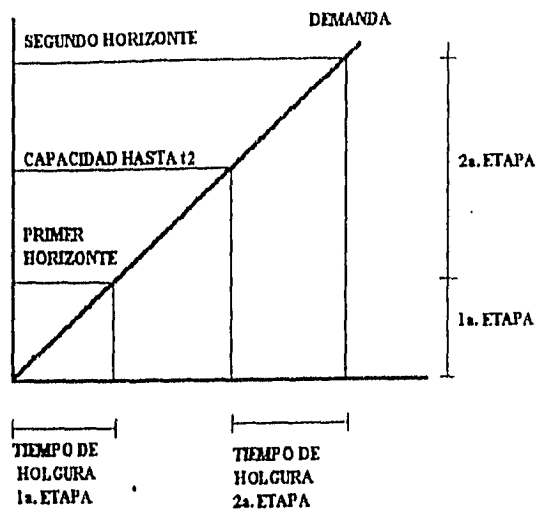
Fuente: Apuntes de la materia aeropuertos.



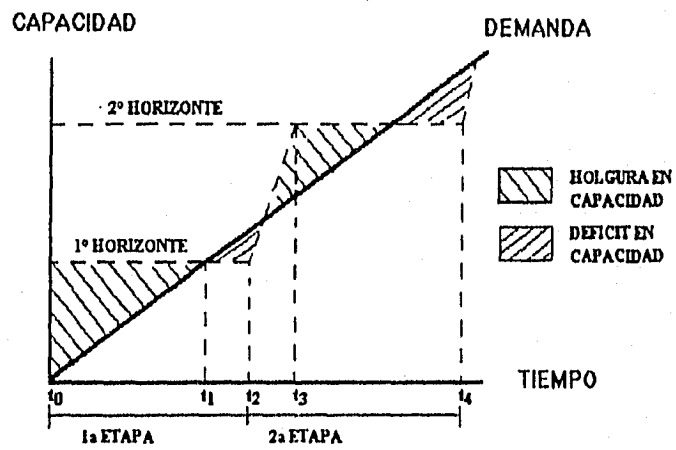
gráfica 1.3



gráfica 1.4

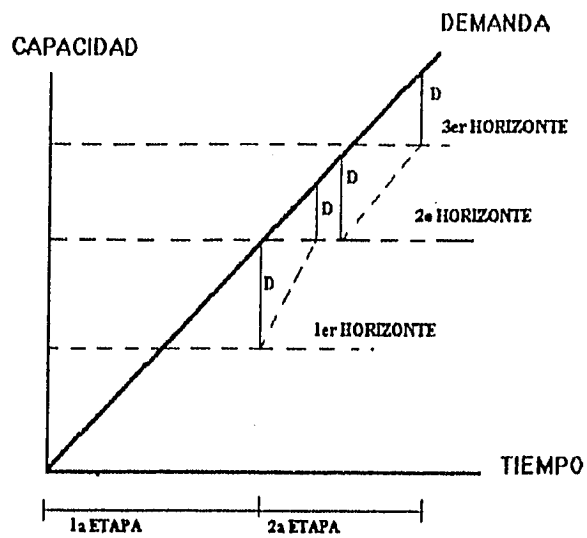


gráfica 1.5

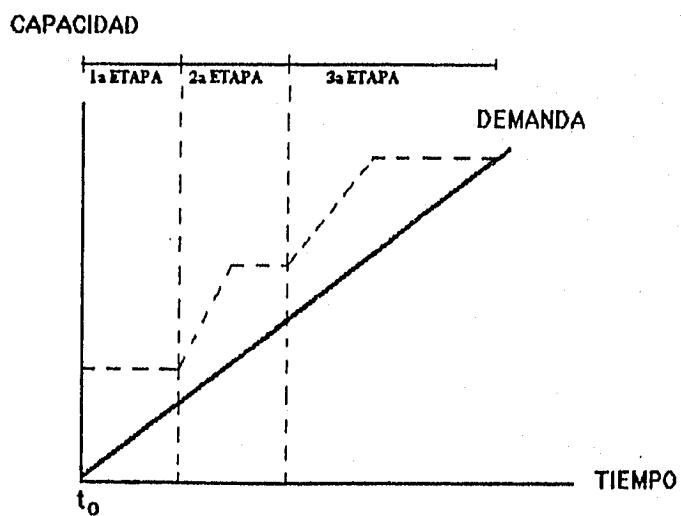


gráfica 1.6

Fuente: Apuntes del curso de aeropuertos.



gráfica 1.7



gráfica 1.8

Fuente: Apuntes de la materia de aeropuertos.

## CAPITULO II. ESTUDIOS DE ESPACIOS AEREOS Y RADIOAYUDAS.

La elección de un sitio para el aeropuerto, debe realizarse primordialmente con los estudios de espacios aéreos. El espacio aéreo debe cumplir múltiples condiciones para que pueda ser satisfactorio; estas condiciones han sido dictadas con objeto de que las operaciones aéreas futuras, se realicen con seguridad.

Las aeronaves tienen sus limitaciones en todas las operaciones que realizan y el espacio aéreo adecuado, será aquel en que dichas operaciones se puedan realizar satisfactoriamente; además de no interferir con las operaciones de otros aeropuertos o rutas aéreas.

Los espacios aéreos son zonas libres de obstáculos alrededor de los aeropuertos, lo cual permiten llevar a cabo con seguridad las maniobras que las aeronaves realizan, así como evitan que los aeropuertos puedan quedar inutilizados por obstáculos en sus alrededores.

La planeación de un aeropuerto entre otros aspectos, tiene que proveer instalaciones de apoyo del sistema de control de tránsito aéreo, ayudas de navegación para las aeronaves en su aproximación al aeropuerto.

Un mayor número de aviones significa mayores posibilidades de colisiones en el aire. El método básico de evitarlos es "ver y ser visto" pero muchos trágicos accidentes han demostrado que esto no es suficiente, por lo que se han ideado sistemas que adviertan a cada piloto la presencia próxima de otro avión.

Entre las necesidades y objetivos básicos del control del tránsito aéreo es el enunciar reglas e idear instrumentos para evitar que dos aviones intenten ocupar el mismo espacio al mismo tiempo, y para impedir que los aviones constituyan un peligro y una incomodidad para las personas y las propiedades en el suelo. Existe también la necesidad de conseguir un flujo continuo y eficiente del tránsito aéreo, de tal modo que se aprovechen al máximo las ventajas que ofrece el avión debido a su velocidad y a la posibilidad de utilizar las rutas más cortas. Estos objetivos imponen grandes responsabilidades tanto a los pilotos como a las agencias de control aéreo.

Cada nación tiene una agencia de control de tránsito aéreo en el territorio de soberanía y en aquel adicional que se le ha asignado internacionalmente para proporcionar el control. La

IMTR

mayoría de los acuerdos internacionales son promovidos y regulados por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

La OACI establece reglamentaciones, además formula recomendaciones a todos los Estados, miembros de la Organización, para facilitar el tránsito aéreo internacional.

El transporte aéreo debe ser capaz de operar con tanto en bueno como en mal tiempo. Como su medio es la atmósfera, debe enfrentarse a los fenómenos naturales que tienen lugar en ella, como nubes, lluvia, nieve y otras obstrucciones naturales de la vista.

Se cuenta con dos tipos básicos de reglas de vuelo para el tránsito aéreo. Se conocen como reglas para vuelo visual VFR (Visual Flight Rules) y reglas para el vuelo instrumental IFR (Instrument Flight Rules).

Cuando se mantienen la posición, rumbo y separación de otros aviones y del suelo mediante la observación del exterior por el piloto, se dice que el avión vuela de acuerdo con las reglas de vuelo visual (VFR)

Un piloto que realiza un vuelo en VFR no está obligado a seguir las aerovías o a emplear radioayudas de ningún tipo. Cada "aerovía" establece un camino en el aire, sobre una ruta determinada, conectando entre sí a radioayudas y los aeropuertos.

También encontramos a lo largo de un aerovía instalaciones de comunicaciones tierra-aire. Además los Centros de Control del Tránsito Aéreo, Los Centros de Información de Vuelo, Las Torres de Control, Las Ayudas de Radar a la Navegación y la Aproximación y Los Sistemas de Aproximación y Aterrizaje Instrumental. Todas ellas complementan las Ayudas de Navegación de las Rutas.

Para navegar por estas aerovías se emplean cartas de navegación, las cuales presentan la información correspondiente a las ayudas a la navegación.

Cuando se mantiene la navegación del avión mediante los instrumentos, el avión vuela en condiciones de vuelo instrumental (IFR).

Las reglas de vuelo instrumental han sido ideadas para reducir al mínimo las posibilidades de interferencia de las trayectorias de vuelo de unos aviones con las de otros, establecen la

preferencia de paso cuando dos aeronaves se aproximan una de otra, reducen los riesgos y molestias a las personas y propiedades del suelo y aseguran un flujo seguro y ordenado de tránsito y en las cercanías de los aeropuertos.

Las reglas de vuelo por instrumentos requieren que antes de la salida de un avión, el piloto de acuerdo con el centro de control de tránsito aéreo proponga un "plan de vuelo" en el que se indica el destino del avión, la ruta a seguir y las altitudes deseadas. Este plan de vuelo se actualiza continuamente a lo largo de la ruta seguida.

En las reglas de vuelo instrumental (IFR) se tienen dos posibilidades:

- \* VMC (Visual Metereological Conditions), en donde la aeronave vuela arriba de la capa de nubes, y.
- \* IMC (Instrument Metereological Conditions), la aeronave vuela dentro de la capa de nubes.

Debido al aumento de la velocidad de las aeronaves y la densidad del tránsito en el espacio aéreo, se han prescritos las reglas IFR en ciertas partes del espacio aéreo, lo que se conoce como "espacio aéreo controlado", abarcando el espacio donde se mueven los reactores de gran velocidad y el espacio en las proximidades de los aeropuertos.

## **2.1. RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACION**

Cuando la visibilidad es deficiente es importante tener instrumentos para mantener el control de un avión y volarlo con seguridad, así como tener los medios para determinar y mantener una ruta.

La electrónica se ha convertido en la base de la navegación aérea, especialmente cuando se ve dificultad por las condiciones meteorológicas.

Es posible que la mayoría de los aeropuertos más modernos tengan todas o algunas de las siguientes ayudas para la navegación:

- \* Sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS)/ Sistema de aterrizaje por microondas (MLS).



- \* Radiofaros omnidireccionales VHF(VOR).
- \* Instalaciones de equipo radiotelemétrico(DME) con emplazamiento común, por lo general, con el VOR o el ILS o el MLS.
- \* Radares de los tipos de aeropuerto y de vigilancia en su ruta.

En la planeación es muy importante analizar que tipo de radioayudas es la más adecuada, y se debe llevar a cabo la selección del emplazamiento. Si el terreno no reúne las características necesarias como son el que sea plano, con pocas obstrucciones , es necesario despejarlo y nivelarlo. Esto dependerá aparte de la naturaleza del terreno, de cuestiones como calidad, clase de ayuda para la navegación requerida y economía. Generalmente la mejor selección de las variantes en la configuración se determina por medio de la comprobación de vuelo.

Cabe señalar algunas características principales del funcionamiento de las ayudas de navegación. Sus acciones principales en el área del aeropuerto son las de aterrizaje de las aeronaves:

**a) Sistema de aterrizaje por instrumentos (Instrument Landing System, ILS) .**

Consta de dos transmisores de radio situados en el aeropuerto. Uno es el localizador y otro es el de la senda de planeo. El primero indica al piloto si se encuentra en la correcta alineación con la prolongación del eje de la pista de aterrizaje. La senda de planeo indica el ángulo correcto de descenso hacia la pista. También con el objeto de ayuda del piloto en su aproximación tipo ILS, se han instalado dos radiobalizas con el objeto que el piloto pueda conocer la distancia que le queda para llegar a la pista. Cada vez que el piloto sobrevuela una baliza, se enciende una luz indicándole la distancia, la primera radiobaliza se encuentra situada alrededor de 7 a 9 km. del umbral de la pista, se le denomina baliza exterior, la otra esta situada a unos 1000 m del umbral.

El localizador consta de una antena situada en la prolongación del eje de la pista a unos 300 m del final y también de una instalación para el transmisor situada a unos 90 m a uno de los lados de la pista. La instalación de la senda de planeo se coloca aproximadamente de 230 a 380 m. del umbral de la pista y ubicada a un lado del eje de la misma, a una distancia de 120 a 200 m. El funcionamiento del localizador y la senda de planeo pueden verse afectados por la proximidad de objetos en movimiento como por ejemplo vehículos o tráfico de aeronaves. Entre las principales limitantes del ILS es que solamente define un canal de entrada, restringiendo la capacidad del espacio aéreo.

En principio se ha contemplado que el ILS dejará de ser un sistema estándar de la OACI para el 1º de enero de 1998. Con todo sobre la base de acuerdos regionales, el ILS podrá seguir en servicio en los aeropuertos internacionales hasta el 1º de enero del 2000, después de esta fecha dejará definitivamente de ser un sistema estándar de la OACI. (ref. Manual de planificación de proyectos, OACI). Estas fechas se revisaran en función del sistema que los reemplace, bien el MLS o navegación de precisión por satélites.

**b) Sistema de aterrizaje por microondas (Microwave Landing System, MLS).** Este sistema ofrece varias sendas de planeo. En el plano horizontal ofrece todas las rutas deseadas, dentro de un área de 20 a 60 grados a cada lado del eje de la pista, por tanto la aeronave puede realizar una aproximación fuera del eje de la misma, esta es una ventaja sobre el ILS. También encontramos que es mucho menos susceptible de interferencia. El piloto puede optar la ruta que desee hacia la pista utilizando cualquier trayectoria de planeo dentro de la cobertura vertical del sistema. Este sistema plantea un volumen de espacio aéreo en la aproximación, eliminando la necesidad de que las aeronaves sigan una trayectoria de aproximación común hacia la pista de aterrizaje.

Para fines de planeación de un aeropuerto, una de las ventajas más significativas que ofrece este sistema es la reducción potencial del ruido, debido a que la aeronave puede mantenerse a gran altitud antes de hacer su descenso hacia el aeropuerto.

Entre sus desventajas encontramos su alto costo ya que en la aeronave, también se tendrá que tener abordo el equipo receptor ILS, debido a que la mayoría de los aeropuertos todavía trabajan con ese último.

**c) VOR (VERY HIGH FREQUENCY OMNI DIRECTIONAL RATIO).** El VOR es un sistema primario de navegación instrumental, y sus frecuencias evitan las interferencias meteorológicas, dan una presentación detallada y precisa de la posición del avión mediante instrumentos fáciles de interpretar.

El VOR opera en la banda de frecuencias VHF por lo que casi no se ve afectada por las condiciones meteorológicas, sus señales están limitadas al alcance visual, la distancia de utilización aumenta con la altura.

Cada estación VOR tiene una frecuencia determinada que el piloto puede seleccionar de tal manera que mantiene el rumbo de un VOR al siguiente.

Principio de su funcionamiento:

Se transmiten 2 señales VHF desde la misma instalación. Una de ellas está constantemente en fase a los 360° de azimut, y la otra es una señal de fase variable al rotar 1800 r.p.m. se combinan para crear una señal que varía uniformemente a lo largo de 360°. Las dos señales están justamente en fase cuando la emisión rotatoria está orientada al Norte magnético, de tal manera que cuando los receptores de abordaje reciben la señal y miden la diferencia de fase electrónicamente, están midiendo el ángulo de azimut por lo que pueden presentar de un modo visual en la cabina del piloto.

**d) DME(DISTANCE MEASURING EQUIPEMENT).** Para saber a que distancia se encuentra el avión del VOR se inventó en DME. Este equipo medidor de distancias proporciona al piloto información exacta de la distancia a la que se encuentra de la estación de tierra sintonizada en el receptor de abordaje.

El DME está sujeto a restricciones de la propagación en línea recta por onda directa igual que el VOR. La distancia que mide el DME es la distancia oblicua que es diferente de la distancia horizontal. La distancia oblicua es igual a la altura sobre la estación cuando el avión está directamente sobre la estación.

**e) RADAR (RADIO DETECTION AND RANGING).** El radar es un equipo pulsatorio que envía al espacio desde una antena energía electromagnética que se refleja en ciertos materiales, la misma antena u otra recoge la energía reflejada y es convertida en señales mediante los circuitos electrónicos y se presenta en una pantalla de rayos catódicos o en un osciloscopio en forma de un punto o varios puntos luminosos, cada uno de los cuales recibe el nombre de "blip". En la pantalla se puede medir la distancia y la marcación al reflector.

## 2.2. RESTRICCIÓN Y ELIMINACIÓN DE OBSTACULOS

Para proteger las maniobras que las aeronaves realizan, se requiere elaborar planos y superficies alrededor de los aeropuertos que limiten hasta donde los objetos pueden proyectarse en el espacio aéreo.

Entre las maniobras de las aeronaves encontramos:

\* Aproximación previa a un aterrizaje.

- Circulando (VFR).
- Directa (IFR/VFR).
- Fallida o frustrada.

\* Ascenso posterior a un despegue.

Los aeropuertos deben estar situados en áreas donde el espacio aéreo esté libre de obstáculos que puedan poner en peligro la operación de aeronaves en la vecindad del aeropuerto, en el despegue o en la trayectoria de aproximación. Además es necesario mantener el espacio aéreo circundante libre de obstáculos, previniendo el desarrollo y crecimiento de obstrucciones ajenas al aeropuerto e incluso del mismo aeropuerto.

La regulación en la protección del espacio aéreo en la vecindad del aeropuerto está fijada por superficies imaginarias, cualquier objeto que sobrepase estas superficies se considerará un obstáculo.

Las superficies imaginarias se establecen, con relación a cada una de las pistas principales.

El Anexo 14 de la OACI define un conjunto de superficies limitadoras de obstáculos que marcan los límites hasta donde los objetos puedan proyectarse en el espacio aéreo. La clasificación es la siguiente:

Superficie cónica.- Es la superficie de pendiente ascendente y hacia afuera que se extiende desde la periferia de la superficie horizontal interna.

Superficie horizontal interna.- Superficie situada en un plano horizontal del aeropuerto y sus alrededores.

Superficie de aproximación.- Es un plano inclinado o combinación de planos anteriores al umbral.

Superficie de aproximación interna.- Porción rectangular de la superficie de aproximación inmediatamente anterior al umbral.

Superficie de transición.- Superficie compleja que se extiende a lo largo del borde de la franja y aparte del borde de la superficie de aproximación, de pendiente ascendente y hacia afuera de la superficie horizontal interna.

Superficie de transición interna.- Tiene como finalidad servir de superficie limitadora de obstáculos para las ayudas a la navegación, las aeronaves y otros vehículos que deban hallarse en las proximidades de la pista. Es una superficie similar a la superficie de transición pero más próxima a la pista.

Superficie de aterrizaje interrumpido. Plano inclinado situada a una distancia especificada después del umbral, que se extiende entre las superficies de transición internas.

Superficie de ascenso en el despegue. Plano inclinado u otra superficie especificada situada más allá del extremo de una pista o zona libre de obstáculos.

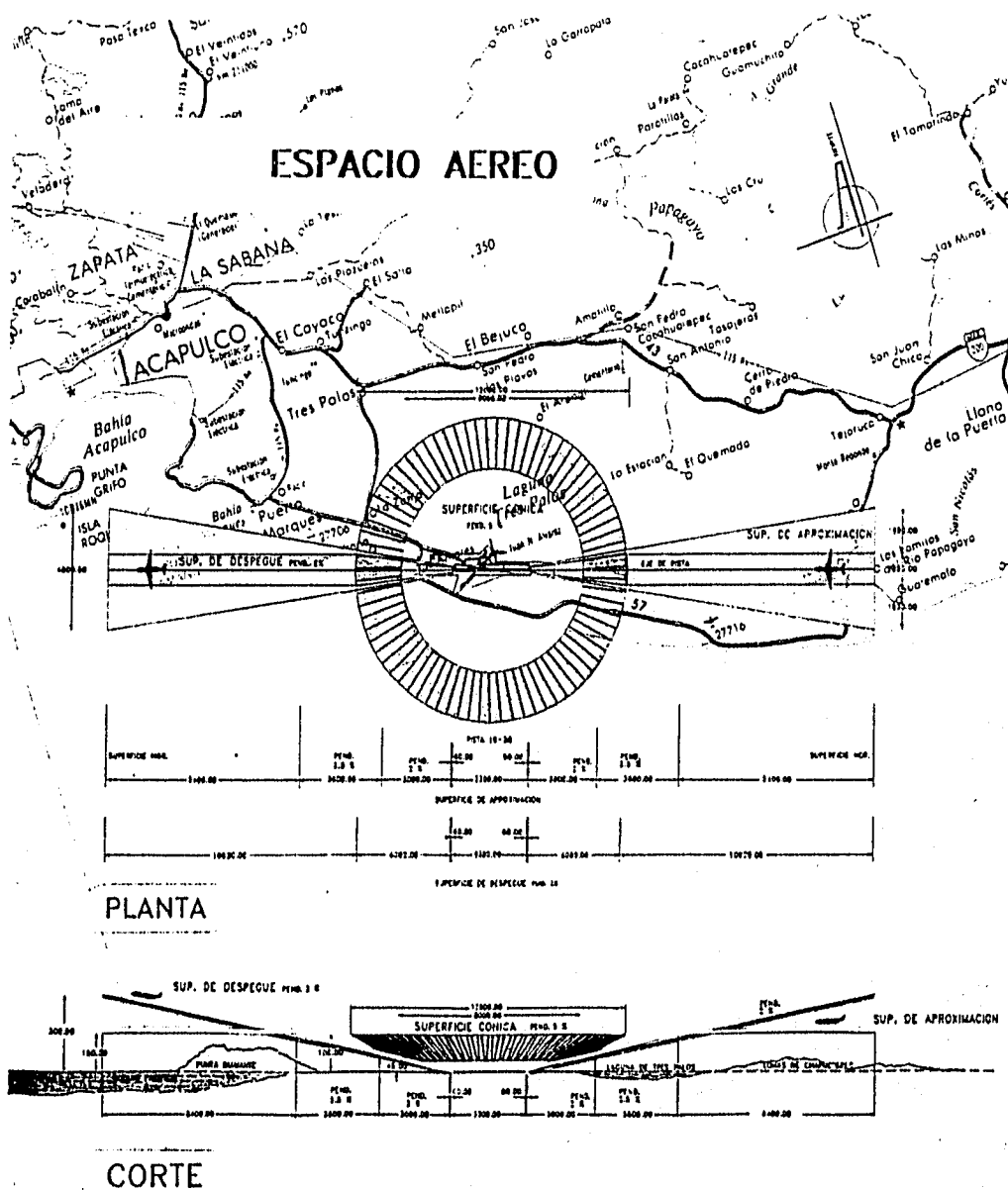
Todos los países miembros de la OACI como México, utilizan el Anexo 14 de forma obligatoria en los aeropuertos internacionales.

Con las nuevas tecnologías tanto de radioayudas como en las aeronaves, las superficies imaginarias podrán ir variando en el futuro con respecto a las actualmente dictadas; así por ejemplo con el sistema de ayuda para el aterrizaje MLS, las superficies de aproximación podrán variar.

Por lo expuesto anteriormente, se puede ver la importancia que tiene la selección del sitio en el análisis de espacios aéreos. Con el crecimiento de las ciudades y la extensión de las mismas en los alrededores de los aeropuertos, se hace cada vez más difícil la disponibilidad de sitios que cumplan los requisitos necesarios para un aeropuerto.

En ocasiones se cuenta con la extensión territorial suficiente pero los espacios aéreos hace que se descarte la posibilidad del aeropuerto. Así mismo, algunos sitios cumplen con los requisitos pero se encuentran a una gran distancia de los centros de demanda, causando un serio trastorno a los usuarios.

IMTR



Fuente: Plan Maestro del Aeropuerto de Acapulco Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

### CAPITULO III. AYUDAS VISUALES LUMINOSAS

La selección de las Ayudas Visuales que deben instalarse en un aeropuerto dependerá principalmente de las condiciones de visibilidad en las que se pretenda llevar a cabo las operaciones y de los tipos de aeronave que utilizarán en el aeropuerto que se este considerando.

Durante la planeación inicial debe determinarse el tipo de ayuda visual que se empleará, inicialmente y a futuro considerando ampliaciones, puesto que los requisitos de iluminación de aproximación pueden exigir la compra de terreno adicional para su instalación o quizá sea necesario eliminar obstáculos en el área de aproximación para mejorar la visibilidad en el aterrizaje.

Gran parte de las ayudas visuales en los aeropuertos consiste en la colocación de faros y balizas luminosas de señalización que proporcionan información visual a los pilotos por medio de configuraciones, color, potencia luminosa, y cobertura más que la iluminación de zonas y objetos. La otra gran parte está constituida por la iluminación de plataformas, áreas de trabajos y estacionamientos, caminos internos y el interior de las zonas de carga, hangares y edificios.

Las ayudas visuales luminosas se crearon por la necesidad de obtener de los aviones el mayor número posible de horas productivas, independientemente de las condiciones meteorológicas, además de la posibilidad de realizar operaciones nocturnas.

Las especificaciones del Anexo 14 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) indican para cada ayuda visual las condiciones operacionales en que deberán proporcionarse.

De acuerdo a lo anterior, es importante mencionar las características de las categorías de las pistas.

a) Pista de vuelo visual: Para operaciones de aeronaves que utilicen procedimientos visuales para la aproximación.

b) Pista de vuelo por instrumentos: Para la operación de aeronaves que usan ayudas no visuales (electrónicas) y ayudas visuales. (Utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos).

Estas pistas a su vez se dividen en:

- Pistas de aproximación por instrumentos que no son de precisión. Se siven de ayudas visuales y una no visual que proporciona por lo menos guía direccional adecuada para la aproximación.
- Pista para aproximación de precisión de categoría I. Se sive por ILS y ayudas visuales destinadas a operaciones hasta una altura de decisión de 60 m.(200ft) y un alcance visual en la pista de orden de 800 m.
- Pista para aproximación de precisión de categoría II. Se sive por ILS y ayudas visuales destinadas a operaciones hasta una altura de decisión de 30 m.(100ft) y un alcance visual en la pista de orden de 400 m.
- Pista para aproximación de precisión de Categoría III. Sus requisistos operacionales, desde el punto de vista de la configuración para la aproximación y el aterrizaje, son inferiores a la categoría II.

En general, las ayudas luminosas de pista y de aproximación guardan relación con el tipo de pista que se este considerando en la planeación del aeropuerto, es decir toma en cuenta si no está destinado a vuelo por instrumentos o si es para aproximación de precisión de las categorías I, II, III, lo anterior debe decidirse antes de que se lleve a cabo la planeación en relación a ayudas visuales.

Los cambios de los sistemas de iluminación puede tener repercusiones en otros sectores, esto puede evitarse si se toman precauciones en la etapa inicial de construcción. Un ejemplo de ello es la capacidad de los conductos subterráneos. Su instalación debe ser antes de construir los pavimentos con una mayor capacidad que la necesaria durante la construcción inicial, ya que si no fuera de esta forma repercutirla en el costo, se cerraría la zona afectada y a no ser que sea cuidadosamente realizada, dará lugar a desperfectos en la superficie del pavimento. Otro ejemplo es si se decide dotar una pista para la aproximación de precisión de categoría II o III, resultará más económico y conveniente habilitar los conductos para dichas luces en la fase inicial de la construcción del pavimento.

Existen diversas ayudas visuales usadas por un piloto para solucionar los problemas que se encuentra al ejecutar su aproximación a un aeropuerto seguida de un aterrizaje y un rodaje al punto de embarque o desembarque de la zona de plataforma.

De acuerdo a las condiciones metereológicas se puede planear las instalaciones de los aeropuertos.



### 3.2 SISTEMAS DE LUCES DE APROXIMACION DE PRECISION

Las luces deben proyectarse para proporcionar una guía tanto de día como de noche, en condiciones más desfavorables de visibilidad y luz ambiente, así como en lugares en los que la identificación del sistema sea difícil durante la noche debido a las luces circundantes por lo que se estima conveniente instalar luces de destello en secuencia lineal.

El sistema de luces de aproximación de alta intensidad es requisito para las pistas de aproximación de precisión. A continuación se presentan algunas características de los sistemas de luces de aproximación:

**a) Sistema convergente configuración "A" (CALVERT).** Este sistema de luces de aproximación tiene luces de eje en la prolongación del eje de la pista y cinco barras transversales cuya longitud se va haciendo gradualmente menor. Así mismo el número de luces a lo largo de la línea de eje disminuye de tres en el comienzo a una en los últimos 300 m. (1 000 ft). El sistema cuenta con una longitud de 900 m a partir del umbral (300 ft), con luces color blanco.

**b) Sistema estándar de 30 barretas configuración "B", categoría I.** Este sistema tiene una línea de eje que se compone de 30 barretas de cinco luces cada una y una barreta transversal de 30 m. de longitud formada por 3 barretas colocadas a 300 m (desde el umbral). Las luces serán fijas de color blanco variable.

Las barreras de línea de eje están generalmente equipadas con luces de descarga por condensador programadas de tal forma que proporcionan una secuencia de destello en dirección del umbral. Cada una de las luces del condensador emite dos destellos por segundo comenzando por la luz más alejada del sistema. El circuito eléctrico se concebirá de forma que estas luces funcionen independientemente de las demás luces del sistema de iluminación de aproximación.

**c) Sistema de iluminación de aproximación de precisión categorías II y III.** Al igual que los sistemas anteriores consiste en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de la pista con una longitud de 900 m a partir del umbral con la diferencia de que este sistema tiene dos filas laterales de luces que se extienden hasta 270 m a partir del umbral y dos barras transversales, una a 150 m y la otra a 300 m del umbral.

El sistema se compone de 30 barretas de color blanco variable estando cada barreta formada por cinco luces. En los primeros 300 m a partir del umbral se coloca una barreta

adicional compuesta de 8 luces ubicada a cada lado de la barreta central, con lo cual forman una sola barra de 30 m de longitud y otra a 150 m del umbral. Entre la barreta central y las barretas laterales que serán de color rojo se encuentra la barra de decisión.

**Las luces de destello en secuencia** se usan cuando se hace necesaria una identificación adicional de la pista. La identificación instantánea se suministra por medio de luces de descarga por condensador de lo cual se hace referencia anteriormente

### 3.3 CARACTERISTICAS DE LAS SEÑALES LUMINOSAS

El propósito de las luces de aproximación es que en condiciones meteorológicas restringidas a partir de una altura de 60 m (200 ft) de la categorías I, un piloto pueda hacer correcciones menores respecto a la prolongación del eje de la pista, en trayectoria de aproximación.

El sistema de aproximación debe tener: normalización, claridad, simplicidad y confiabilidad, presentando al piloto un cuadro que debe ser reconocido instantáneamente, debido a que la razón básica para la existencia de un sistema de luces de aproximación a la pista, es ayudar al piloto a decidir si puede efectuar o no un aterrizaje seguro.

Este sistema debe proporcionar la siguiente información al piloto:

- \* Información direccional. En este objeto, la línea de eje proporciona guía para alinearse con el de la pista.

- \* Información del plano horizontal. Las barras transversales del sistema proporcionan esta guía.

- \* Información de distancia al umbral. Es proporcionada por la longitud conocida del sistema y por la distancia también conocida desde la barra transversal al umbral o por el código de la línea de eje. Auxiliado con ayudas electrónicas, bien a distancias fijas(marcadores) o con información continua (DME).

Basados en estos principios se han desarrollado varios sistemas, pero solo unos pocos son reconocidos por la OACI, para satisfacer las normas internacionales.

Una aeronave en vuelo se puede gobernar de dos maneras ya sea por medios automáticos o bien manualmente. El piloto puede manejarlo manualmente sirviéndose del

tablero de instrumentos, realizando ciertas apreciaciones basándose en referencias visuales. Cuando se pilota un avión, lo mas difícil es juzgar la aproximación de la pista y efectuar maniobras de aterrizaje.

Durante la aproximación, a fin de seguir una trayectoria de vuelo correcta, es necesario vigilar la velocidad y hacer correcciones continuas en tres dimensiones. Se puede definir como la intersección de dos planos en ángulo recto, de los cuales el plano vertical contiene la prolongación del eje de la pista y el otro contiene la pendiente de aproximación.

### 3.4 SISTEMA VISUAL INDICADOR DE PENDIENTE DE APROXIMACION

La pendiente de aproximación será adecuada para el uso por los aviones que utilicen la aproximación

Para facilitar la aproximación de una pista, se instala un sistema visual que indica la pendiente de aproximación, el cual dispone o no de otras ayudas para aproximaciones visuales o no visuales, cuando existan una o más de las condiciones siguientes:

a) Cuando la pista sea utilizada por turborreactores u otros aviones con exigencias semejantes.

b) Si un piloto de avión llegara a tener dificultades para evaluar la aproximación, ya sea por una aproximación visual insuficiente, como por ejemplo la falta de luces no aeronáuticas en el área de aproximación o por información visual equívoca, debida a la configuración del terreno adyacente o a la pendiente de la pista

c) La presencia de objetos en el área de aproximación que pueden constituir un grave peligro si un avión desciende por debajo de la trayectoria normal de aproximación, especialmente si no se cuenta con una ayuda no visual u otras ayudas visuales que adviertan la existencia de tales objetos.

d) Las características físicas del terreno en cada extremo de la pista constituyen un grave peligro en el caso de que un avión efectúe un aterrizaje demasiado corto o largo.

e) Las condiciones predominantes del terreno o las meteorológicas, sean tales que el avión pueda estar sujeto a turbulencia anormal durante la aproximación.

**SISTEMA PAPI (Sistema indicador de la trayectoria de aproximación de precisión).** El sistema PAPI es un sistema de ayuda visual luminosa, para operación tanto diurna como nocturna. El equipo PAPI permite dar al piloto las indicaciones visuales necesarias para colocar un avión sobre la pendiente de aproximación óptima. Esta ayuda es utilizada con media o buena visibilidad sin necesidad de ningún instrumentos a bordo del avión, el sistema es operacional para todos los aviones desde el momento de su instalación.

El sistema PAPI consiste en una barra de ala con cuatro elementos luminosos dobles o múltiples (dos o tres lámparas en cada gabinete) de transición definida situados a intervalos iguales. El sistema generalmente se coloca del lado izquierdo de la pista o en ambos lados de la pista, en sentido de la aproximación y generalmente a 300 m del umbral. La barra es colocada perpendicular-ente a la pista instalando el primer gabinete a 15 m del borde de la misma, y manteniendo 9 m de separación entre cada uno de ellos. Cada unidad proyecta un haz de luz dividido blanco en su parte superior y rojo en su parte inferior. El haz abarca ángulo de 1°30' como mínimo por encima o por debajo de la media del sector de traslación tanto de día como de noche.

Su alcance visual durante el día es arriba de 10 km y durante la noche se incrementa arriba de 15 km con un haz divergente de 10° en azimut.

La intensidad luminosa debe controlarse para evitar deslumbramientos a los pilotos. Este sistema tiene gran resistencia a la corrosión con una temperatura ambiente de 25° a 55°C.

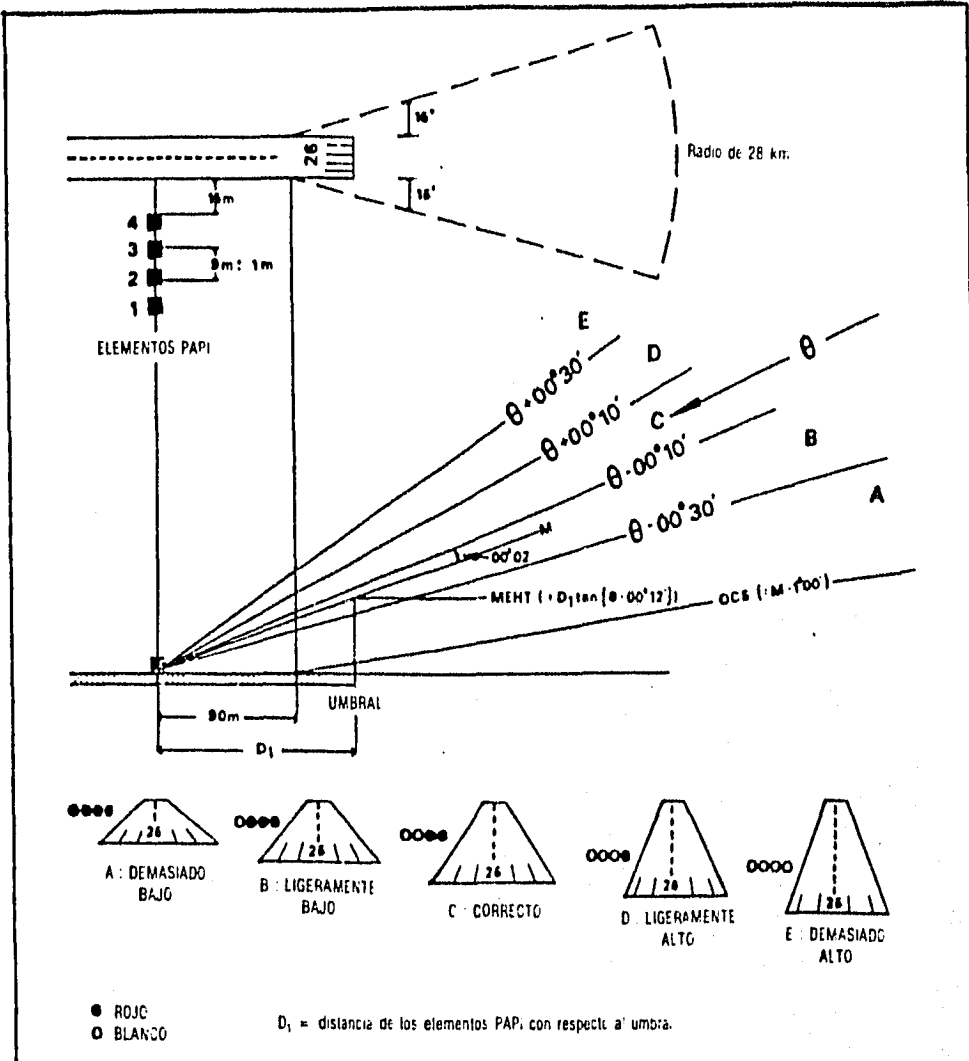
Una barra de ala está constituida de tal forma que el piloto que realiza la aproximación vea:

**PENDIENTE ALTA.-** Roja la luz más cercana a la pista  
Blancas las tres más alejadas

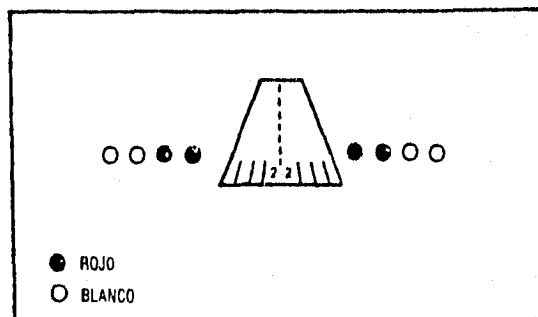
**PENDIENTE BAJA.-** Cuando se encuentra por debajo de la pendiente de aproximación.  
Roja las tres luces más cercanas a la pista y blanca la más alejada.

Quando se encuentra todavía más baja:  
Rojas todas las luces.

**APROXIMACION CORRECTA.-** Rojas las dos luces más cercanas a la pista.  
Blancas las dos más alejadas.



Distribución de los elementos del PAPI y presentación consiguiente



Elementos del PAPI a ambos lados de la pista

Fuente: Manual de proyecto de aerodromo  
Parte 4, Ayudas visuales.

Los elementos del PAPI están normalmente contenidos en espacios cerrados salvo los agujeros de drenaje, por lo que no pueden penetrar en ellos materias extrañas. Para evitar acumulación de hielo y la condensación en lentes de elementos luminosos se toman diferentes medidas por ejemplo instalar pequeños calentadores. Es indispensable que las bases de los elementos PAPI sean sólidas, por lo que es recomendable usar bases de hormigón.

La distancia del PAPI al umbral de la pista depende de varios aspectos:

- a) El necesitar una separación vertical adecuada entre las ruedas y el umbral para cualquier tipo de aeronaves que aterricen en la pista. Se adopta el más crítico.
- b) Del tramo de pista que se tiene para el aterrizaje de un aeronave.
- c) De consideraciones acerca del despeje de obstáculos en la aproximación.
- d) Del beneficio a nivel operacional que ofrece el PAPI al ser compatible con toda la trayectoria de planéo por instrumentos hasta las mínimas distancias y alturas posibles.
- e) De toda diferencia de elevación entre los elementos PAPI la franja de seguridad, el eje de la pista y el umbral de la pista.

### 3.5 SISTEMA DE LUCES DE PISTA.

El sistema de Luces de Pista se instalan para proporcionar una guía visual durante todas las fases de cualquier operación, ya sea aproximación, toma de contacto, rodaje o despegue. Este sistema se clasifica en:

- a) Luces de borde de pista.
- b) Luces de umbral de pista.
- c) Luces de fin de pista.
- d) Luces de barra de ala.
- e) Luces de eje de pista.
- f) Luces de zona de toma de contacto.
- g) Luces de barra de parada.

**a) Luces de borde de pista.** El propósito de estas luces es indicar los límites longitudinales de la pista a las aeronaves en la aproximación final o durante la carrera de aterrizaje o despegue.

Estas deben ser visibles desde todos los ángulos en azimut hacia el eje de la pista. Las luces del tipo rasante o elevado, se colocan en forma equidistante de eje de la pista a intervalos de no más de 60m (200ft) para las pistas de aproximación por instrumentos y de no más de 100 m (330 ft) para las pistas de operaciones visuales. El color de estas luces es blanco, excepto cuando el umbral está desplazado en este caso las luces son rojas, desde el inicio de la pista hasta el umbral

**b) Luces de umbral de la pista.** En el Anexo 14 se recomienda la instalación de dos lámparas blancas de destello en el umbral de las pistas de aproximación por instrumentos cuando es preciso hacerlo más visible o no es posible instalar otras luces auxiliares para la aproximación. Estas luces también pueden auxiliarse en otras pistas para facilitar el reconocimiento del umbral, principalmente en zonas en que hay mucha iluminación o si el terreno no tiene relieve.

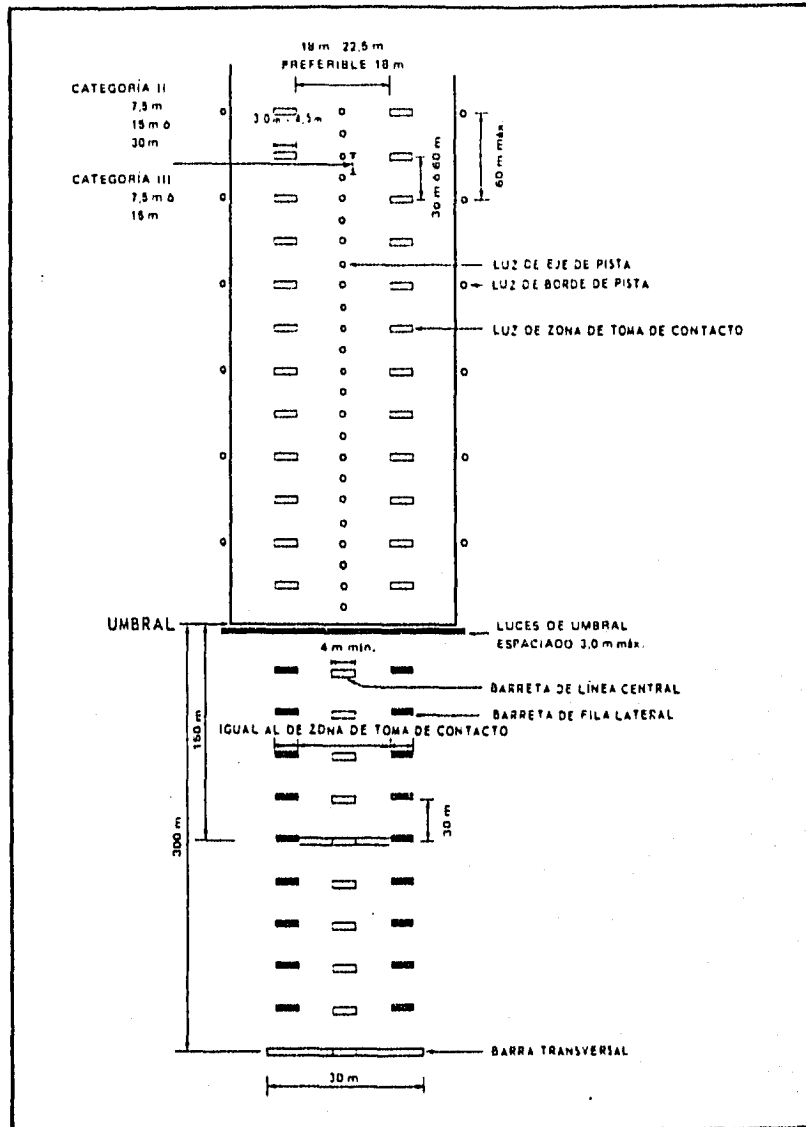
**c) Luces de fin de pista.** Estas luces son de color rojo tipo rasante, unidireccionales y se colocan en la línea del umbral, siendo visibles únicamente en el sentido de despegue. El número de unidades es de seis como mínimo. Con objeto de reducir el costo de señalamiento de umbral y de fin de pista (visto desde la aproximación y despegue), se usan lámparas bidireccionales con filtros verdes y rojos, respectivamente.

**d) Luces de barra de Ala.** Sirven para definir mejor la aproximación; se añaden luces verdes de barra de ala al señalamiento de umbral, a cada lado de la pista. Cada barra de ala estará formada por cinco luces como mínimo.

**e) Luces de eje de la pista.** Se instalan luces de eje de pista en todas las pistas para aproximaciones de precisión de Categorías II o III y es opcional en Categoría I. Estas luces de tipo rasante se instalan a lo largo del eje de la pista a intervalos de 7.5m, 15m ó 30m. El color de estas luces es blanco, codificando los últimos 900m en el sentido del aterrizaje y/o despegue, con luces blancas y rojas. Pueden ser unidireccionales o bidireccionales.

**f) Luces de toma de contacto.** Estas luces de tipo rasante unidireccional se instalarán en todas las pistas de aproximación de precisión, Categoría II y III, a ambos lados del eje de pista sobre los primeros 900 m de pista a partir del umbral hacia el centro. Estas luces se instalan según un patrón de filas transversales (barretas). Cada barreta consta de tres luces blancas como mínimo, con un espaciado entre las mismas no mayor de 1.5 m.

**g) Luces de zona de parada.** Se instalan luces de zona de parada en todas las zonas de parada (parte restringida de la pista o rodajes) previstas para uso nocturno. Estas luces serán fijas unidireccionales de color rojo, visibles en la dirección de la pista. Se colocan en línea transversal al eje del rodaje. Se instalan como mínimo seis luces.



Iluminación de pista y de los 300 m internos de la aproximación, en las pistas para aproximaciones de precisión de Categorías II y III

Fuente: Anexo 14, volumen I, Aerodromos 1a. ed. 1990  
OACI



### 3.6 LUCES DE CALLE DE RODAJE

Se proporciona indicación de la ruta de calles de rodaje con un sistema de luces de calle de rodaje, luces de borde de rodaje o una combinación de ambos sistemas.

- a) Luces de eje calles de rodaje.
- b) Luces de borde de rodaje.
- c) Placas señaladoras

**a) Luces de eje de calles de rodaje.** Se instalan luces de eje de calle de rodaje en las calles de salida de pista, calles de rodaje y plataformas destinadas a ser utilizadas en la gama de valores de alcance visual en la pista inferiores a 400 m, de manera que proporcionen una guía continua desde el eje de la pista hasta el punto de la plataforma donde las aeronaves comiencen las maniobras de estacionamiento. Pero no será necesario proporcionar dichas luces cuando el volumen de tránsito sea reducido y las luces de borde y las señales de eje de calle de rodaje proporcionen guía suficiente. Las luces de eje de una calle de rodaje que no sea calle de salida serán fijas de color verde. Estas luces uni-o-bidireccionales del tipo rasante suministran mejor guía para el rodaje que las luces de borde, en condiciones de baja visibilidad. Se recomienda un espaciamiento de 30 m que son en los tramos rectos de los rodajes.

**b) Luces de borde de rodaje.** Estas luces son normalmente de tipo elevado y emiten luz de color azul. Donde las luces elevadas interfieran con el movimiento de los aviones, se usan lámparas de tipo rasante. Las luces se localizan a no más de 3 m que son del borde de rodaje.

**c) Placas señaladoras.** Estas señales pueden ser de un material reflejante o iluminadas internamente o externamente usándose inscripciones en blanco sobre fondo rojo cuando indican instrucciones obligatorias; cuando son informativas pueden ser inscripciones en amarillo sobre fondo negro o viceversa, y cuando son señales convencionales se utilizan inscripciones blancas sobre fondo verde.

## CAPITULO IV. CALCULOS DE LONGITUD DE PISTA

### -DESPEGUES

### -ATERRIZAJE

Las longitudes de pistas están ligadas a las carreras de despegue y aterrizaje de los aviones, así como a las características de sus maniobras en las proximidades de los aeropuertos.

Se han realizado especificaciones en forma detallada del despegue y aterrizaje de los aviones, condiciones para ganar altura, forma de aproximarse para el aterrizaje y otras reglas, relativas a la estabilidad, mandos condiciones de equilibrio, maniobrabilidad, etc.

La longitud de pista se calcula con base en el avión crítico de acuerdo al plan maestro.

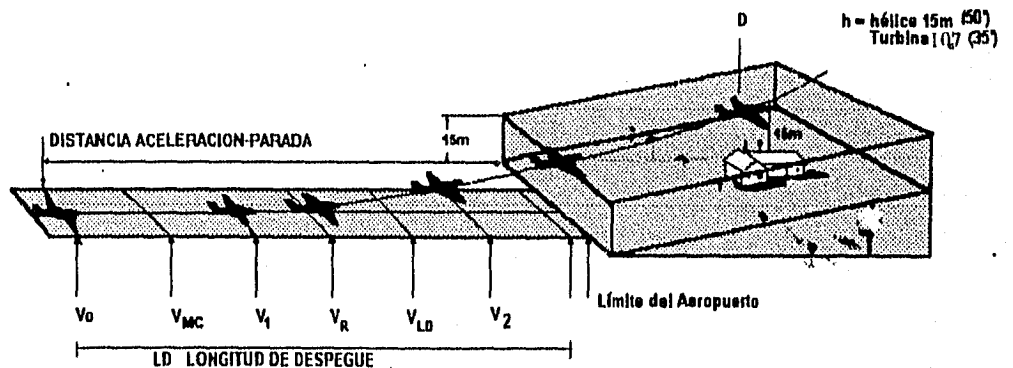
Entre los factores que influyen en el cálculo de la longitud de pista encontramos las características físicas y operacionales de los aviones a los que prestará servicio (tabla 4.1), las condiciones meteorológicas principalmente el viento y la temperatura en la superficie, ya que cuanto mayor sea el viento de frente que sopla en una pista, más corta será la longitud de pista que requerirá un avión para despegar o aterrizar; y a la inversa el viento de cola aumenta la longitud de pista requerida; cuanto más elevada sea la temperatura mayor es la longitud debido a que en las temperaturas elevadas se traducen en densidades menores de aire siendo un factor que reduce el empuje producido así como la sustentación. También influyen las características de la pista tales como pendiente y estado de la superficie, si un avión despegue en una pendiente ascendente requerirá una mayor longitud de pista. Otros factores importantes son los relacionados con el emplazamiento del aeropuerto como por ejemplo la elevación del aeropuerto, en el caso de que sea mayor, repercutirá en gran medida en la longitud de la pista requerida. Y limitaciones topográficas como montañas, el mar o valles

Al determinar la longitud de pista, es necesario considerar tanto los requisitos de despegue como de aterrizaje, así como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista, humedad y características de la superficie de la pista

### 4.1 DESPEGUES

Para disponer de una longitud suficiente para asegurar que después de iniciar el despegue pueda detenerse con seguridad el avión o concluir el despegue sin peligro, se han considerado para fines de cálculo una serie de parámetros. Situando el avión en un punto de partida  $V_0$ , con el peso de despegue, aletas en posición, todos los motores a su máxima potencia y recorriendo de esta manera hasta el punto  $V_1$ , llamada velocidad crítica o de decisión. En el proceso de despegue se puede presentar la falla de un motor; en este caso, el piloto se encuentra ante una alternativa, abandona el despegue o continúa; todo depende de su posición, si la falla se presenta antes de  $V_1$ , el piloto debe abandonar el despegue, si se presenta después de esta velocidad, debe continuarse el despegue. Si la falla sucede en  $V_1$ , la pista debe estar diseñada para optar cualquier decisión.

En la velocidad mínima de control ( $V_{MC}$ ) el aire empieza a generar respuesta en los controles del avión. Al llegar a la velocidad de rotación ( $V_R$ ), el piloto rota el avión elevando la nariz (tren de aterrizaje de proa) con lo que incrementa el coeficiente de sustentación. En la velocidad teórica de levantamiento ( $V_{LO}$ ) el peso es igual a la sustentación. Las siglas  $V_2$  indican la velocidad mínima de ascenso seguro.



## CARACTERISTICAS FISICAS Y OPERACIONALES DE LOS AVIONES

MODELOS	PESO MAX DE DESPEGUE	PESO MAX DE ATERRIZAJE	PESO BASICO DE OPERACION	PESO CERO COMBUSTIBLE	NUMERO DE PASAJEROS	PESO TOTAL DE PASAJEROS	PESO DE EXPRES Y CORREO	CARGA PAGABLE TOTAL	VELOCIDAD
	lb kg	lb kg	lb kg	lb kg	PAX	lb kg	lb kg	lb kg	NUDOS
Douglas DC-9-15	90 619 41 105	81 627 37 026	52350 23746	73 932 33 532	85	17 802 8 075	3 780 1 715	21 528 9 790	473
Douglas DC-9-32	108 000 48 989	98 100 44 498	60 800 27 579	87 000 39 463	115	24 085 10 925	2 115 959	26 206 11 884	473
Douglas DC-9-82	147 000 66 679	128 000 58 061	80 900 36 696	22 000 55 339	155	32 462 14 725	3 988 1 809	36 450 16 534	473
Boeing B-727-200	190 496 86 409	142 498 64 636	101 027 45 826	139 998 53 503	155	30 754 13 950	8 216 3 727	38 970 17 677	500
Douglas DC-8-51	285 998 129 729	199 499 90 493	141 417 64 147	173 498 75 699	153	30 357 13 770	1 724 782	32 081 14 552	473
Douglas DC-10	454 990 206 384	363 494 164 881	263 046 110 246	334 993 151 953	315	62 500 28 350	29 447 13 357	91 947 41 707	480
Douglas DC-10	554 990 251 744	402 993 182 798	264 109 119 800	367 993 166 922	301	65 040 28 595	40 844 18 527	103 884 47 122	477

## CARACTERISTICAS FISICAS Y OPERACIONALES DE LOS AVIONES

MODELOS	PESO MAX DE DESPEGUE	PESO MAX DE ATERRIZAJE	PESO BASICO DE OPERACION	PESO CERO COMBUSTIBLE	NUMERO DE PASAJEROS	PESO TOTAL DE PASAJEROS	PESO DE EXPRES Y CORREO	CARGA PAGABLE TOTAL	VELOCIDAD
	lb kg	lb kg	lb kg	lb kg	PAX	lb kg	lb kg	lb kg	NUDOS
Douglas DC-9-15	90 619 41 105	81 627 37 026	52350 23746	73 932 33 532	85	17 802 8 075	3 780 1 715	21 528 9 790	473
Douglas DC-9-32	108 000 48 989	98 100 44 498	60 800 27 579	87 000 39 463	115	24 085 10 925	2 115 959	26 206 11 884	473
Douglas DC-9-82	147 000 66 679	128 000 58 061	80 900 36 696	22 000 55 339	155	32 462 14 725	3 988 1 809	36 450 16 534	473
Boeing B-727-200	190 496 86 409	142 498 64 636	101 027 45 826	139 998 53 503	155	30 754 13 950	8 216 3 727	38 970 17 677	500
Douglas DC-8-51	285 998 129 729	199 499 90 493	141 417 64 147	173 498 75 699	153	30 357 13 770	1 724 782	32 081 14 552	473
Douglas DC-10	454 990 206 384	363 494 164 881	263 046 110 246	334 993 151 953	315	62 500 28 350	29 447 13 357	91 947 41 707	480
Douglas DC-10	554 990 251 744	402 993 182 798	264 109 119 800	367 993 166 922	301	65 040 28 595	40 844 18 527	103 884 47 122	477

La velocidad de decisión o crítica no es una velocidad fija para un avión, el piloto puede elegirla, normalmente se elige una velocidad de decisión mas alta cuando la distancia disponible de aceleración parada es más grande.

Para efectos de concepción de despegue, la longitud de despegue(LD) se considera hasta que el avión ha alcanzado una altura de 15m, para aviones de pistón y 12.5 para aviones de turbinas. A partir de ahí empieza lo que se llama ascenso. En otras palabras, la distancia de longitud de despegue, es la longitud del recorrido de despegue disponible mas la longitud de la zona libre de obstáculos\* si la hubiera, y la distancia de aceleración parada disponible es la longitud de recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona de parada\*\*si la hubiera

Pueden obtenerse diversas combinaciones de la distancia de aceleración- parada y distancia de despegue requeridas que se acomoden a un determinado avión, teniendo en cuenta la masa de despegue del avión, las características de la pista y las condiciones atmosféricas reinantes. Cada combinación requiere su correspondiente longitud de recorrido (la carrera de despegue es hasta que el avión despega de la pista).

El caso más común es aquel en que la velocidad de decisión es tal que la distancia de despegue requerida es igual a la distancia de aceleración-parada requerida, a este valor se le conoce como Pista balanceada.

$$LD = D + P$$

La longitud de pista balanceada se calculará para una determinada velocidad de decisión. La longitud de pista básica se calculará para el avión crítico de diseño y se establecerán distancias adicionales para aviones que no cumplan con los requerimientos operacionales de la condición balanceada.

\*Zona libre de obstáculos.- Area bajo control de autoridades competentes, designada o preparada como área adecuada sobre la cual un avión pueda efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada

\*\* Zona de parada.- Area rectangular definida en el terreno, situando el recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para poder pararse las aeronaves en caso de despegue interrumpido

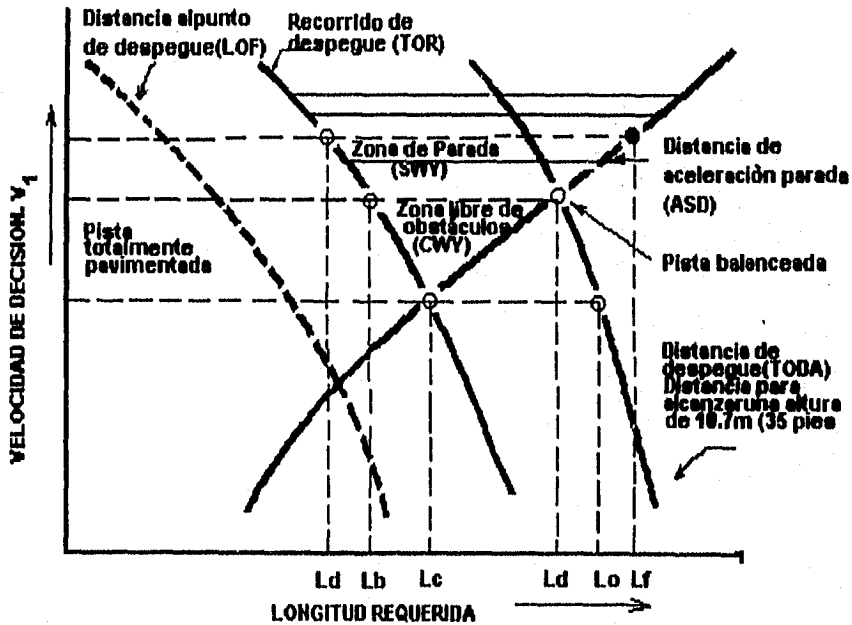
Fuente: Anexo 14, OACI

Al tener despegues en condiciones no balanceadas se tendrán los siguientes casos:

a) Si se tiene una velocidad de decisión menor a la que se tiene en una pista balanceada, la distancia de aceleración-parada será menor a la de la balanceada, pero la longitud de despegue será mayor que la longitud de despegue que se tiene en dicha pista balanceada, por lo que se necesita una zona libre de obstáculos.

b) Si se tiene una velocidad de decisión mayor a la que se tiene en una pista balanceada, la distancia de aceleración-parada será mayor a la de la balanceada, pero la longitud de despegue será menor que la longitud de despegue que se tiene en dicha pista balanceada, por lo que se requiere una zona de parada.

En la siguiente figura se ilustra las relaciones que pueden darse entre la distancia de aceleración-parada, la distancia de despegue y los recorridos de despegue con respecto a  $V_1$ , sin embargo no necesariamente un avión tiene que reunir esta gama de velocidades de decisión, más bien, en ciertas condiciones puede estar restringido dentro de una de las áreas indicadas en sentido horizontal de la gráfica.



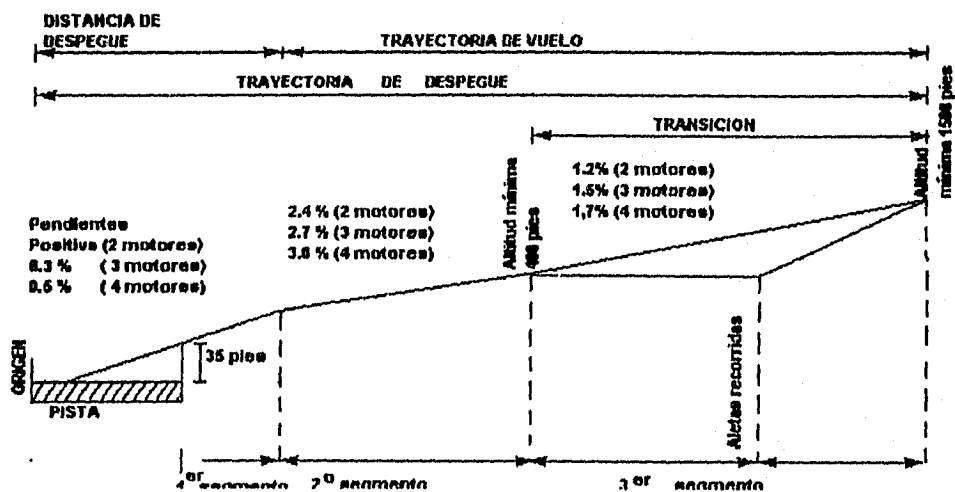
*Pista necesaria para despegues de aviones turboreactores con falla de un motor*

En determinadas circunstancias, la construcción de pistas con superficies tales como zonas de parada y zonas libres de obstáculos puede resultar con más ventajas que una convencional, la elección dependerá principalmente de cuestiones económicas.

En conclusión, la longitud de pista, se determina a partir de los diagramas de despegue, será mayor de:

La longitud de pista balanceada, es decir, la longitud de pista requerida cuando la distancia de despegue con un motor inactivo y la distancia de aceleración-parada sean equivalentes o bien el 115 % de la distancia de despegue con todos los motores en funcionamiento.

El proceso de ascenso inmediato al despegue consta de tres segmentos. El primer segmento sirve para modificar la actitud del avión, guardar el tren de aterrizaje así como inyectar el aire acondicionado, también se reduce la potencia y hay modificación de aletas, este segmento se inicia cuando la aeronave alcanza una altura de 10.7 m (35 pies) sobre el nivel de la pista. La pendiente en el segundo segmento se incrementa y es la parte crítica, puede haber falla y puede determinar el peso máximo de despegue, termina cuando el avión alcanza una altura de 122 m (400 pies). El tercer segmento comienza cuando se tiene una altura de 122 m(400) pies y termina cuando se alcanza una altura de 459 m(1500 pies), en este etapa se retraen las aletas. Es también conocido como período de transición.



Un motor inoperante---Pendientes de ascenso mínimos para aviones de turboreactores, sin considerar obstáculos en la trayectoria de vuelo



Las características del avión crítico, son proporcionados por los fabricantes de aeronaves y la OACI ha recopilado la información y ha estandarizado la forma de presentar estas especificaciones en gráficas.

El peso máximo de despegue limitado por el segundo segmento de ascenso, se calcula con nomogramas, tomando como base la temperatura de referencia, la elevación sobre el nivel del mar del lugar de proyecto y los diferentes grados de inclinación de las aletas que se consideran para cada tipo de avión en particular. Siendo las incógnitas el alcance máximo del avión y el peso máximo con el que se puede despegar.

El peso máximo de despegue es el resultado del peso básico de operación, que es el peso del avión incluyendo la tripulación y todos los aditamentos necesarios para el vuelo, pero sin incluir la carga pagable ni el combustible, a este peso se le puede adicionar el peso de los pasajeros incluyendo equipaje y la carga pagable adicional. Así como la suma del peso del combustible necesario para llegar al aeropuerto de destino, del utilizado para llegar al aeropuerto alterno, y del necesarios para efectuar una espera de 45 min.

Al ser comparado el peso máximo de despegue con el peso permisible limitado por el segundo segmento de ascenso, se obtiene una diferencia, en la que si el resultado es menor se utiliza el peso máximo de despegue para el cálculo de la longitud de pista utilizando las figuras y si es mayor, se utilizara el peso permisible, ya que este valor es el limite operacional de los aviones.

El exceso de peso es un porcentaje de restricción de la carga pagable total o de la carga de pasajeros incluyendo su equipaje, para contrarrestar esta situación se tienen que hacer reducciones de carga o pasajeros, lo cual depende de la rentabilidad de la operación.

PESO TOTAL DE COMBUSTIBLE	RODAJE	PESO EN PLATAFORMA
	PESO COMBUSTIBLE DE VUELO	PESO DE DESPEGUE
PESO DE LA CARGA DE PAGA	PESO COMBUSTIBLE DE RESERVA	PESO DE ATERRIZAJE
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PASAJEROS</li> <li>- EQUIPAJES</li> <li>- CARGA</li> <li>- CORREO</li> </ul>	PESO CERO COMBUSTIBLE
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRIPULACIONES</li> <li>- SERVICIO DE ABDRO</li> <li>- EQUIPO DE COCINA</li> </ul>	PESO DE OPERACION SECO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EQUIPO DE NAVEGACION</li> <li>- EQUIPOS DE VUELO</li> <li>- EQUIPO DE RESCATE</li> <li>- MANUALES DE VUELO</li> </ul>	PESO BASICO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ACEITES DE LOS MOTORES</li> </ul>	PESO VACIO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LUBRICANTES EXCEPTO ACEITE</li> <li>- FUSELAJE</li> <li>- ALAS</li> <li>- MOTORES</li> <li>- TREN DE ATERRIZAJE</li> <li>- TURBINAS</li> <li>- PESOS</li> <li>- SILLAS</li> </ul>	0

**FACTORES QUE DETERMINAN LOS PESOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE DE CADA TIPO DE AERONAVE**

## 4.2 METODOS PARA CALCULAR LA LONGITUD DE DESPEGUE Y LONGITUD DE LA PISTA

### METODO DE CORRECCIONES

Cuando no se conocen los datos sobre las características operacionales de los aviones para los que se destine la pista es necesario para determinar la longitud de toda la pista aplicar coeficientes de correcciones. Como primera medida debe elegirse una "longitud de campo de referencia", que permita atender los requisitos operacionales de los aviones para los que esté provista la pista, en condiciones correspondientes a la atmósfera estándar, a la elevación cero, con viento y pendiente de pista nulos.

La atmósfera estándar tiene una temperatura de 15° C y una presión barométrica de 1013 mbar. Al corregir por altitud la longitud básica de la pista debe aumentarse a razón de 7% por cada 300 m. Y por temperatura equivale a 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia exceda la temperatura atmósfera estándar.

La temperatura de referencia, para efectos de diseño busca calcular las condiciones más críticas promedio de ese sitio basándose en el mes que tiene el promedio más alto de temperaturas.

Se supone que el régimen de temperatura varía en atmósfera estándar:

$$\Delta t = 0.0065 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{metros de altitud}$$

La longitud corregida no debe exceder del 35% de la Longitud de campo de referencia ( $L_{CR}$ ), si esto sucediera el método no sirve y el avión no podría despegar con peso máximo por lo que se debe hacer un análisis particular.

La corrección por pendiente de la pista equivale al 10% por cada 1% de pendiente.

$$\text{pendiente efectiva} = \frac{\text{Cota A} - \text{Cota B}}{L}$$

donde:

- Cota A = Cota más alta
- Cota B = Cota más baja
- L = longitud de la pista

La longitud L se presupone y se convierte en un cálculo de aproximaciones sucesivas.

EJEMPLO:

Calcular la longitud de pista verdadera

datos:

Longitud de campo de referencia ( $L_{CR}$ ) de despegue = 1700 m

Altitud = 150 m

Temperatura de referencia = 24 °C

Pendiente efectiva = 0.5 %

1º Longitud de pista para despegue corregida por elevación:

$$L_{altitud} = L_{CR} + (L_{CR} \times 0.07 \frac{Altitud}{300})$$

$$L_{altitud} = 1700 + (1700 \times 0.07 \frac{150}{300}) = 1759.50 \text{ m}$$

2º Longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura.

Temperatura de atmósfera estándar

$$\Delta t = 0.0065^\circ C \times 150 = 0.98^\circ C$$

$$T_{at\ est} = 15^\circ C - 0.98^\circ C = 14.02^\circ C$$

$$L_{TEM} = L_{ALT} + (L_{ALT} \times 0.01 (TEMP.REF. - TEMP.AT. EST.))$$

$$L_{TEM} = 1759.5 + (1759.5 \times 0.01 [24 - 14.02])$$

$$L_{TEM} = 1935.10 \text{ m}$$

REVISION:

$$L_{TEM} \leq 1.35 L_{CR}$$

$$\frac{1935.10}{1700} = 1.138 < 1.35$$

3° Corrección por pendiente:

$$L_{pend} = L_{Temp} \times (L_{Temp} \times 0.1 \times Pend \%)$$

$$L_{pend} = 1935.10 + (1935.10 \times 0.1 \times 0.5)$$

$$L_{pend} = 2031.90 \text{ m}$$

Suponiendo que:

$$L_{CR} \text{ ATERRIZAJE} = 2100$$

Aquí solo se corrige por altitud y no por temperatura

$$L_{altitud} = L_{CR} \text{ aterrizaje} \times 0.07 \frac{alt}{300}$$

$$L_{altitud} = 2100 + (2100 \times 0.07 \frac{150}{300}) = 2173.50 \text{ m} > 2031.90$$

La longitud verdadera de la pista es **2173.50**

El siguiente método consiste en utilizar el uso de los manuales de vuelo.

Construido el avión los modelos se someten a pruebas para volar y verificar en realidad que las ecuaciones de diseño se corrijan o se confirmen.

Los vuelos de prueba se pueden llevar varios años y a través de ellas se obtienen gráficas del comportamiento real del avión.

Para utilizar los manuales se deben tomar en cuenta las siguientes precauciones:

1) La información debe provenir de los vuelos de prueba. El manual de vuelo debe estar verificado por la agencia aeronáutica del país constructor (ejem: FAA Certified USA). Los fabricantes de aviones pueden producir gráficas de tipo general y pueden no estar derivadas de los manuales de vuelo, por tanto, se debe conocer las limitaciones de las gráficas

2) Cada tipo de avión tiene varios modelos de aviones, por ejemplo el Boeing 747 con 4 series (100 - 200 - 300 - 400). Además las compañías de aviación pueden pedirlos con diversas modificaciones, motores, capacidad de carga y número de pasajeros, etc. Es por lo que, se deberá utilizar el tipo correcto de avión.

3) Calcular con el tipo de motor correcto. En los estudios de planeación se debe determinar cual es la flota de aviones que van a operar. En los manuales de vuelo se debe determinar las restricciones en el caso de despegue real; la falla de motor se presenta en el segundo segmento principalmente pero pueden existir otras como por ejemplo la velocidad de tránsito con peso muy alto o la restricción en el peso por velocidad de rotación de las llantas.

## EJEMPLO

### DATOS:

Tipo de avión. 747  
 Altitud del aeropuerto = 1220 m ( 4000' )  
 Temperatura de referencia = 20° C  
 Pendiente ascendente = 1%

### CALCULAR:

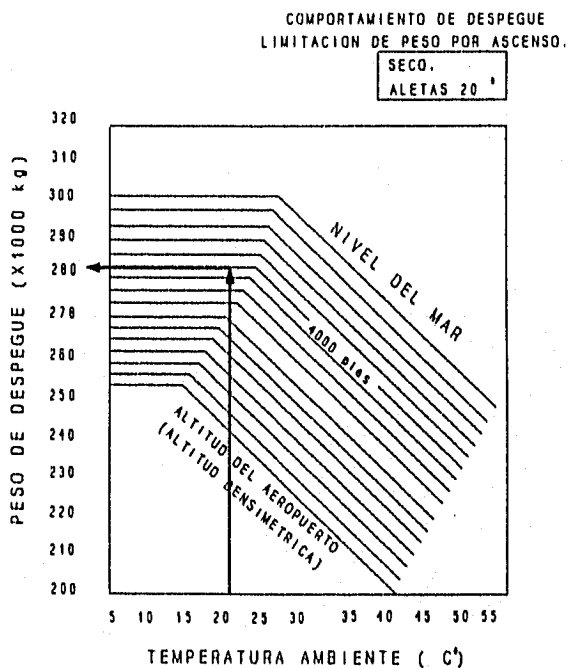
- 1) Pesos máximos autorizados.
- 2) Longitudes de pista a pesos máximos.
- 3) Peso real de despegue
- 4) Peso carga pagada.
- 5) Determinar si hay restricciones.
- 6) Longitudes de pista a peso real de despegue.

1) PESOS MAXIMOS AUTORIZADOS

	SECO	HUMEDO
10°	292	308
20°	280	294

La tabla anterior se determinó por medio de las gráficas 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4. Teniendo como datos la temperatura de referencia y la altitud, se localiza el peso de despegue como se muestra en la figura.

La oposición al aire que ofrecen las aletas determina la longitud de la pista, a menor grado de inclinación de las aletas, mayor longitud de pista y mayor peso de despegue. Por el contrario a mayor grado e inclinación, menor longitud de pista y menor peso de despegue



2) LONGITUDES DE PISTA A PESOS MAXIMOS

La siguiente tabla se obtiene utilizando los nomogramas 4.1.5, 4.1.6, 4.1.7, 4.1.8 Introducing los datos de la temperatura de referencia dada y los pesos máximos de despegue obtenidos, considerando el peso de despegue, viento calma, y la pendiente.

	SECO	HUMEDO
10°	3700	3950
20°	3050	3200

Longitud de la pista en m.

### CONSIDERACIONES

Peso de aterrizaje en destino = 220 000 kg

Peso de combustible de vuelo a destino = 65 000 kg

Peso de combustible al alterno más reserva = 5 000 kg

Peso de operación seco = 170 000 kg

### 3) PESO REAL DE DESPEGUE

Peso de aterrizaje (en destino) + Peso de Combustible de vuelo = Peso de despegue

$$220\ 000 + 65\ 000 = 285\ 000$$

### 4) PESO DE CARGA PAGADA

Peso de aterrizaje (en destino)

- Peso de combustible al alterno más reserva

- Peso de operación seco

---

Peso de carga pagada

Si en promedio se considera que:

Vuelos Nacionales = 70 kg por pasajero

Vuelos Internacionales = 90 kg por pasajero.

$$\begin{aligned} \text{Peso de carga pagada} &= 220\ 000 - 5\ 000 - 170\ 000 \\ &= 45\ 000\ \text{Kg} \end{aligned}$$



Para determinar el número de pasajeros consideramos el peso de carga pagada entre el peso promedio por pasajero (90 kg); dando como resultado 500 pasajeros. En el caso de que el avión solo cuente con 250 asientos, la carga de pasajeros serán los 250 por 90 kg dando como resultado 22 500 kg los cuales se le restan al peso de carga pagada.

#### 5) DETERMINAR SI HAY RESTRICCIONES

Comparando con pesos de despegue

$285\ 000 > 280\ 000$

Por lo que no se puede despegar con seco y aletas 20%

#### 6) LONGITUDES DE PISTA A PESO REAL DE DESPEGUE

	SECO	HUMEDO
10°	3450	3210
20°		2950

Esta tabla se realizó introduciendo como se muestra en las figuras 4.1.5, 4.1.6, 4.1.8 los valores correspondientes a la temperatura de referencia que en este caso es 20°; siguiendo como se muestra en los nomogramas encontramos la altitud correspondiente en el ejemplo de 4000 pies. De acuerdo al peso de despegue de 285,000 kg y considerando viento calma 0° y una pendiente 1° (ver nomogramas). Encontramos diferentes longitudes de pista para cada condición.

Ahora revisaremos la longitud de pista de un avión dado.

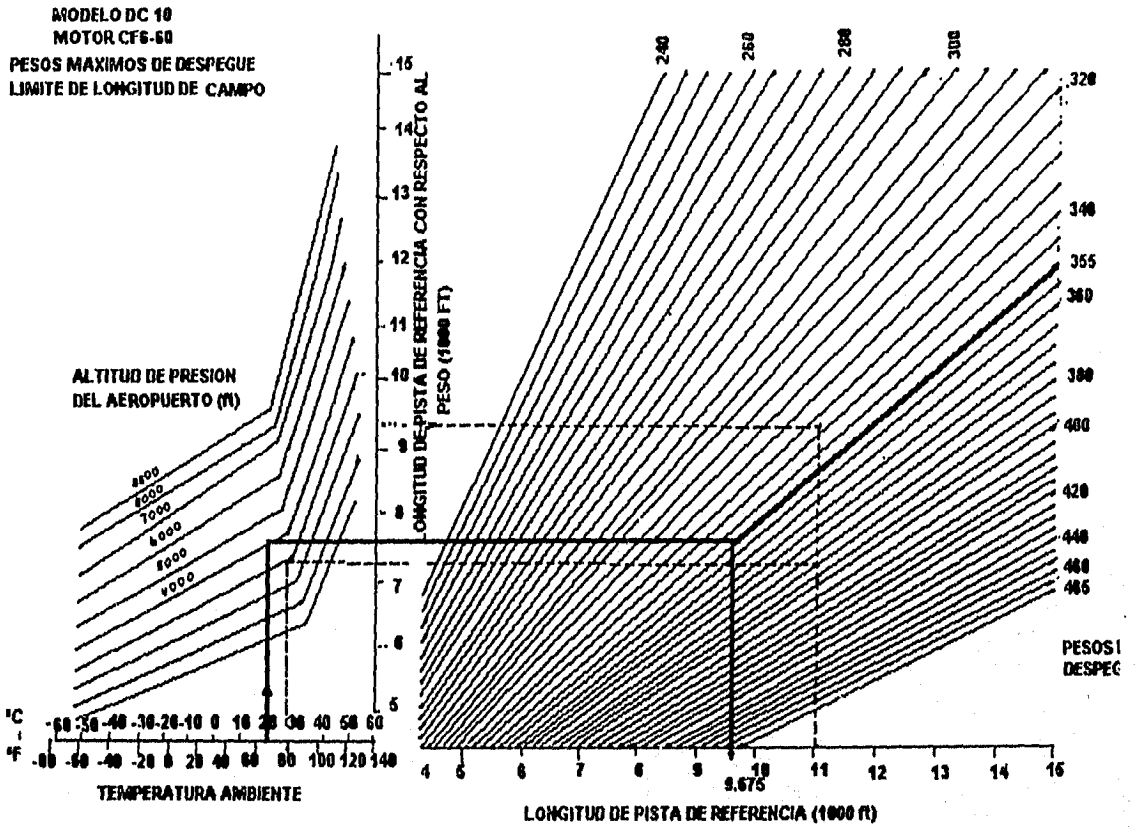
#### EJEMPLO:

Suponemos la menor longitud de pista y determinamos el peso de despegue posible para DC-10 con motores CF6-60

Para una longitud de 2950 m. (la menor) = 9678 ft

Por longitud de pista, obtenemos de la gráfica siguiente:

Peso de despegue = 355 000 lb  
161 170 kg

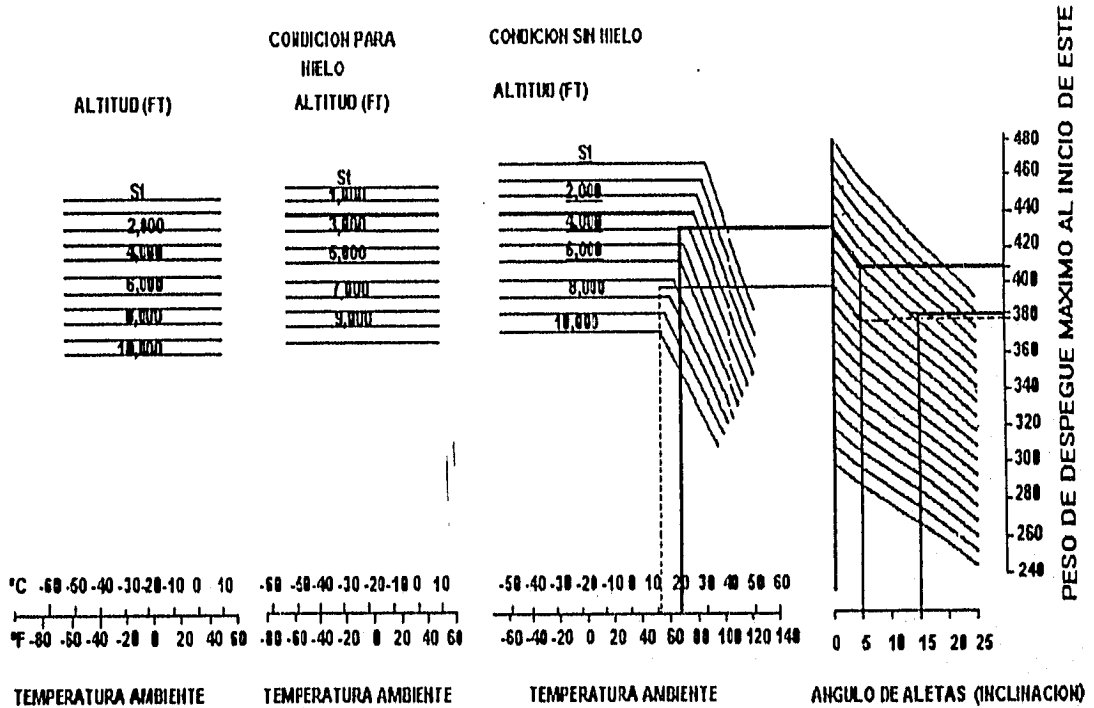


El motor DC-10 tiene 3 condiciones de uso, considerando desde 0° hasta 25° para las aletas de este avión. En este ejemplo consideraremos 5° y 15°. Como la temperatura es de 20°C no requerimos que esté prendida la acción contra el hielo

APROBADO POR FAA  
LIMITACIONES DE OPERACION

MODELO DC-10  
LIMITADO POR EL SEGUNDO SEGMENTO  
MOTORES CF6-80

LIMITACIONES PARA PESO MAXIMO



Introduciendo los datos nos da un peso de despegue:

5° = 408 000 lbs (menos resistencia al avance)

15° = 380 000 lbs

Con 2950m de pista el peso de despegue posible para el DC-10 es:

408 000 lbs > 355 000

380 000 lbs > 355 000

La longitud de pista máxima es de 3450 m = 11 319 ft

El peso real de despegue de 385 000 > 380 000 calculado para 15°. Por lo que el segundo segmento 15° es el que se restringe.

IMTR

COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
LIMITACION DE PESO POR ASCENSO.

SECO  
ALETAS 20°

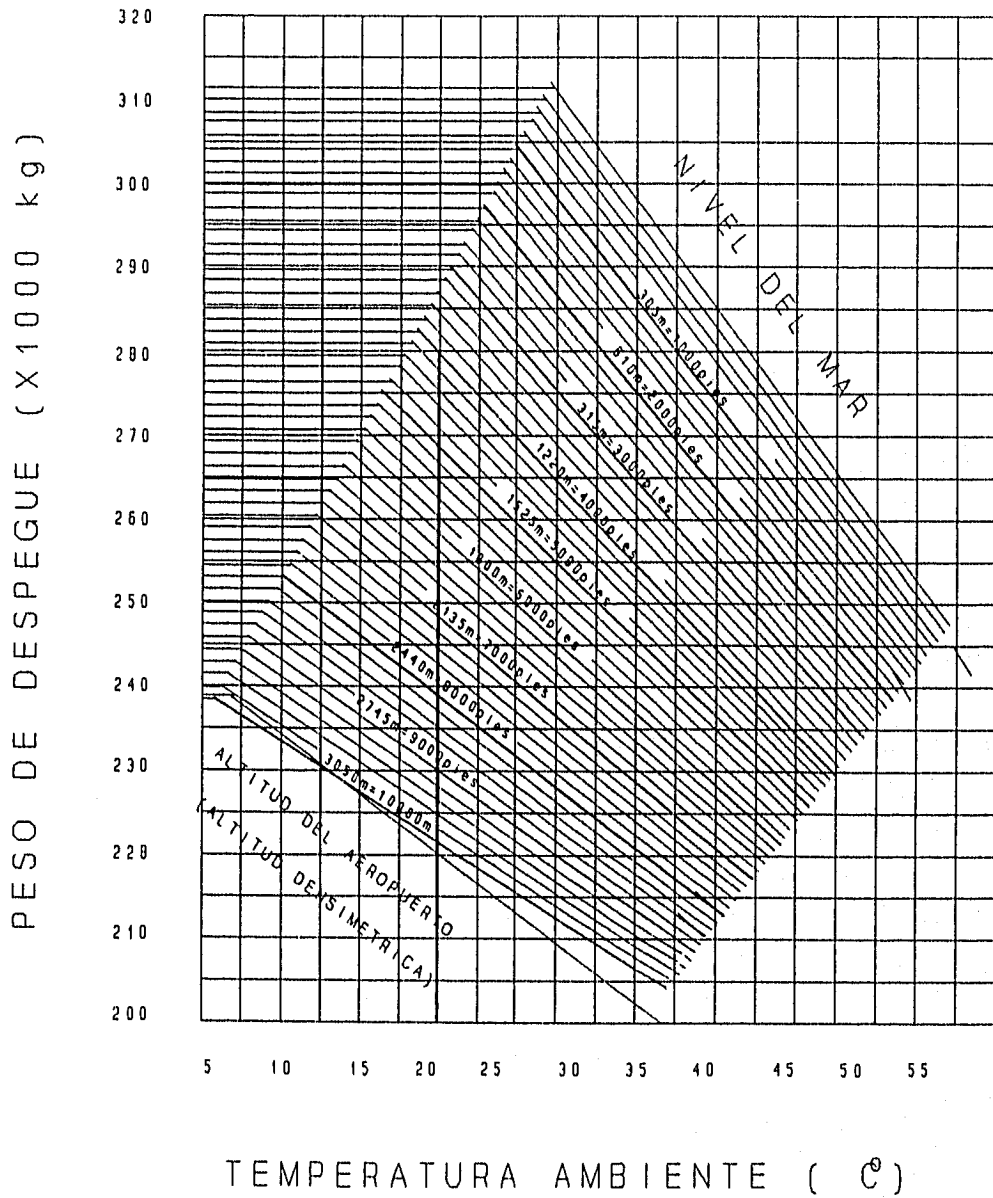


Fig. 4.1.1

COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
LIMITACION DE PESO POR ASCENSO.

SECO  
ALETAS 20°

BOEING 747

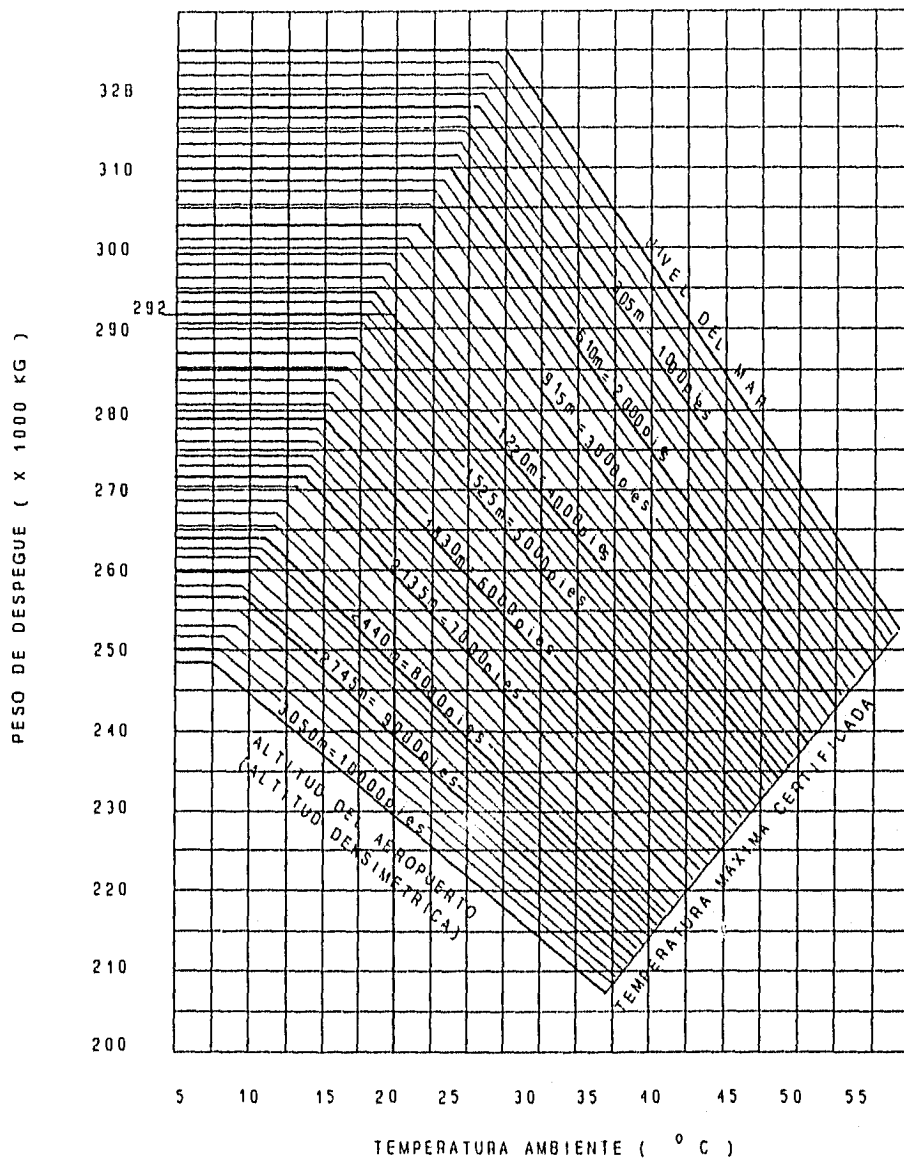
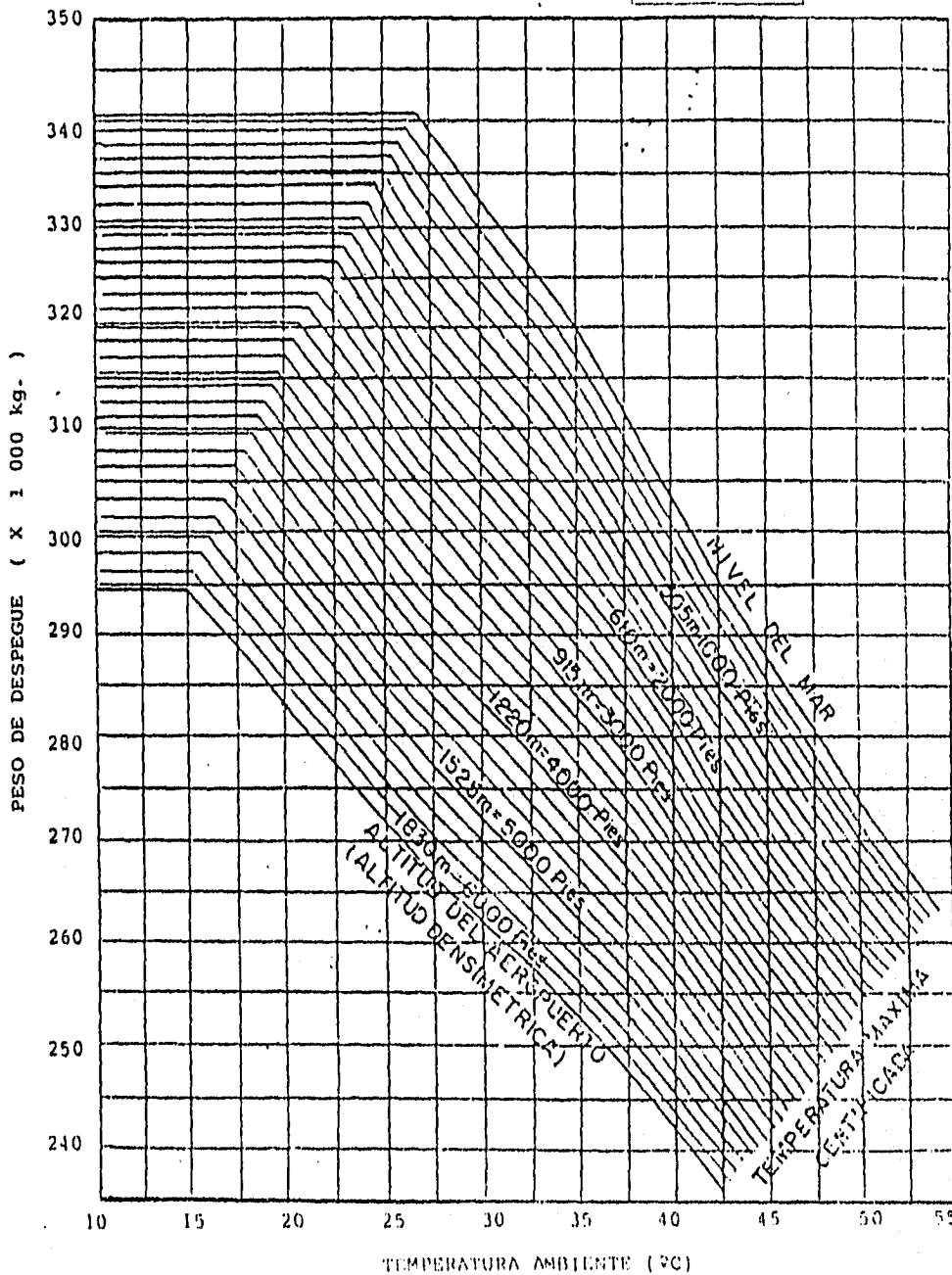


Fig. 4.1.2

BOEING - 747  
 MANUAL DE OPERACIONES

COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
 LIMITACION DE PESO POR ASCENSO.

HUMEDO  
 ALETAS 10°



S.O.P. D.G.A.

Fig. 4.1.1

OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

BOEING - 747  
 MANUAL DE OPERACIONES

COMPORTAMIENTO DE DESPEGUE  
 LIMITACION DE PESO POR ASCENSO.

HUMEDO  
 ALETAS 20°

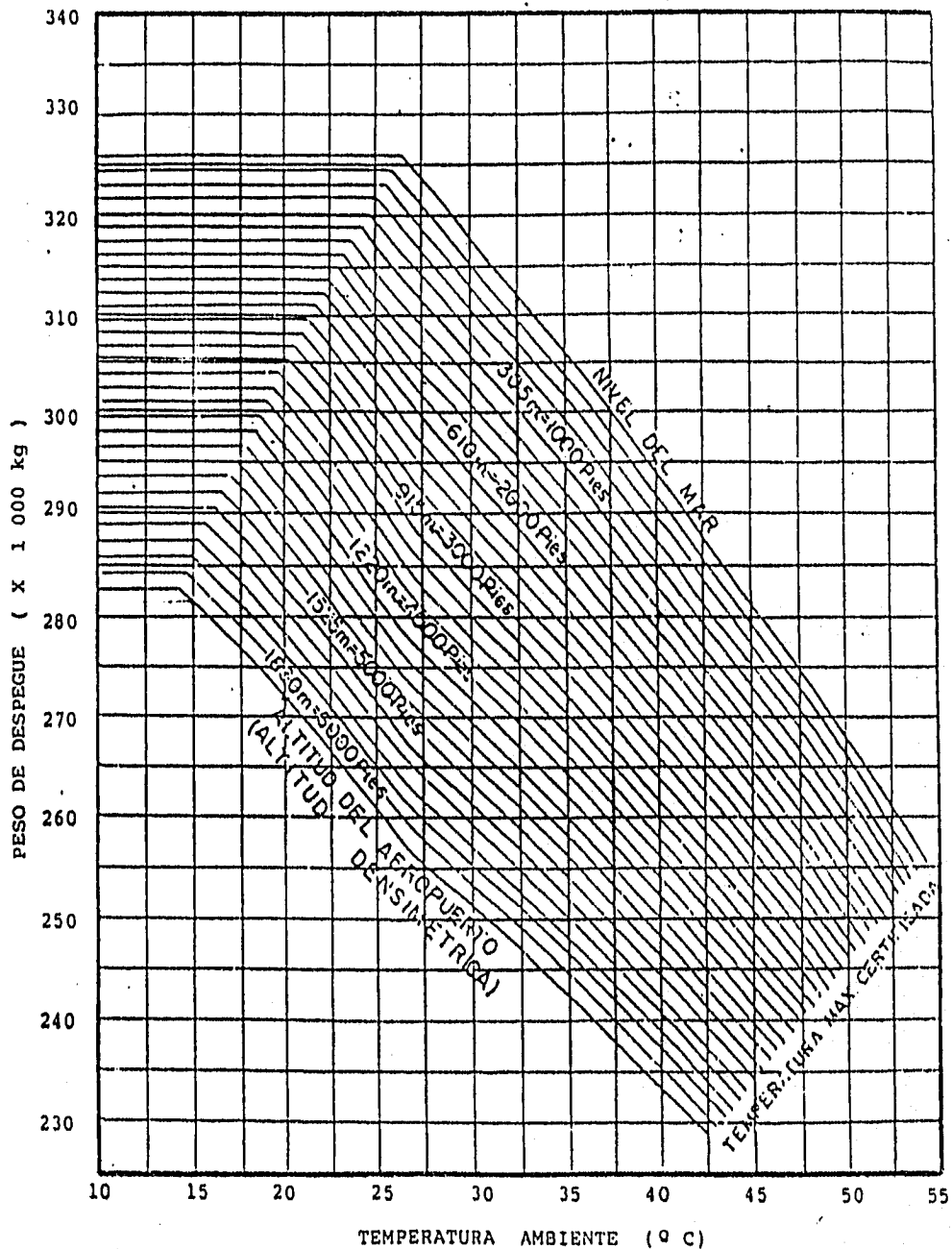


Fig. 4.1.4

OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

S.O.P D.G.A.

FIG 4.1.5

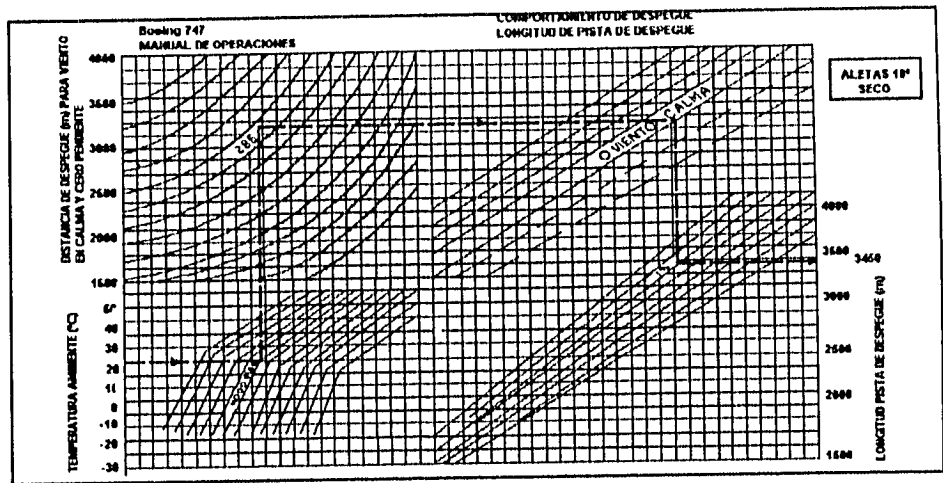


FIG 4.1.6

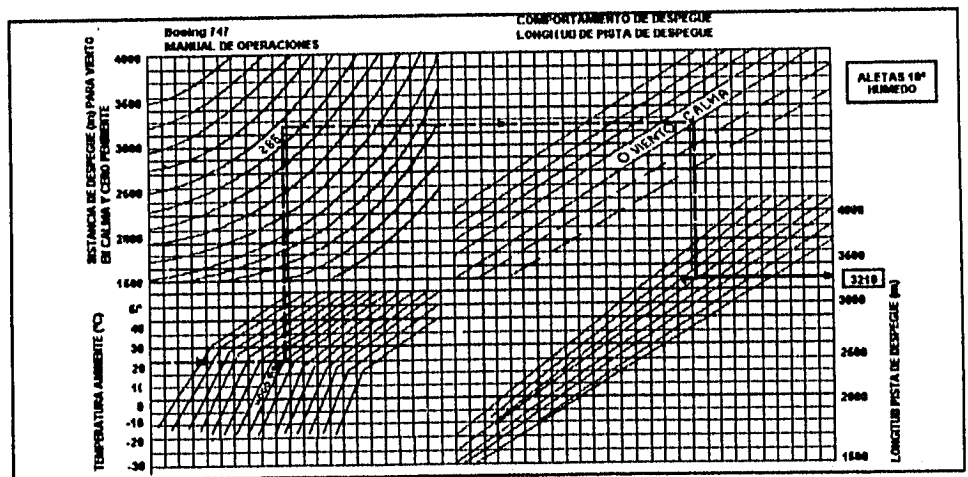
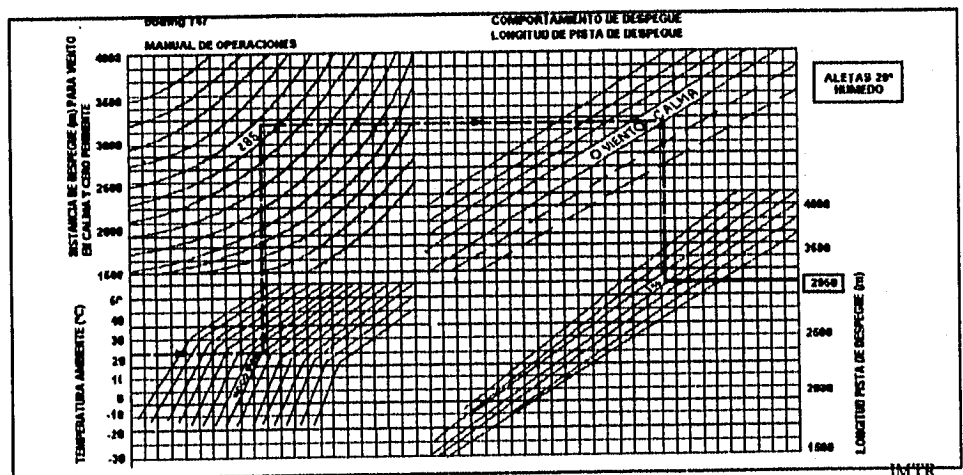


FIG 4.1.7



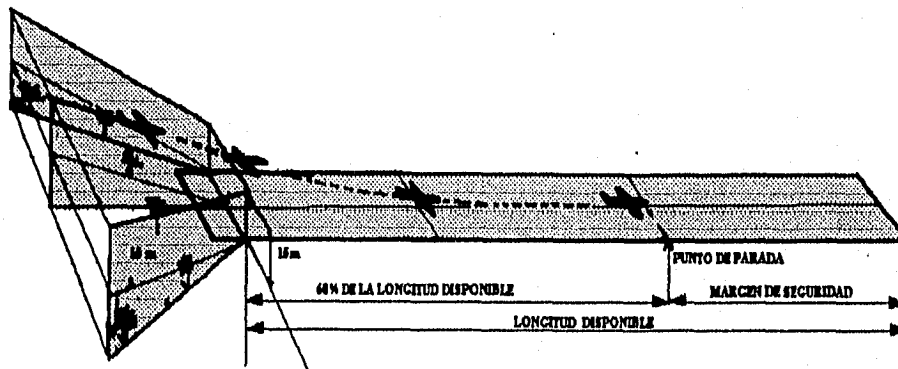


### 4.3 ATERRIZAJES

En el aterrizaje, la longitud de pista necesaria para aviones turboreactores es normalmente menor que la de despegue, debido a la diferencia de pesos al despegar y al aterrizar, por el combustible consumido para llegar al aeropuerto de destino.

Para calcular la longitud de pista para el aterrizaje, los datos obtenidos se refieren a una pista dura y seca, si la pista está húmeda se debe aumentar la longitud en un 15%.

En el caso de aterrizaje, la distancia al punto de parada que requiere cada aeronave deberá ser del 60% de la longitud de aterrizaje disponible en aeropuertos de destino. En aeropuertos alternos la distancia al punto de parada puede ser del 70% de la longitud de aterrizaje. Para los dos casos anteriores, el avión tendrá que pasar por encima del umbral de la pista a 15 m de altura.



## CAPITULO V. CALLES DE RODAJE Y CONCEPTOS DE CAPACIDAD

Las pistas y las calles de rodaje son los elementos menos flexibles de un aeropuerto por lo que deben tomarse en cuenta en primer lugar cuando se hace la planeación de éste. Haciéndose un pronóstico sobre las actividades futuras, se deben resaltar las variaciones en los movimientos de las aeronaves, la modalidad del tránsito, del tipo de aviones, así como de otros factores que intervengan en la disposición y dimensiones de los sistemas de pista y calles de rodaje. Se debe tener cuidado en plantear las necesidades futuras de ampliación del sistema de modo que cubra con las características necesarias para su funcionamiento.

Las rutas de las aeronaves en las calles de rodaje deben conectar diversos elementos de un aeropuerto utilizando las distancias más cortas a fin de reducir los costos y tiempos de rodaje, este recorrido debe ser lo más sencillo posible, procurando estar en línea recta con el objeto de evitar la necesidad de tener que dar instrucciones complicadas y originar confusiones con el piloto. Un rodaje innecesario prolonga el tiempo aumentando el consumo de combustible y el desgaste de la aeronave, ya que las distancias extremadamente largas pueden tener como consecuencia el aumento de temperatura de los neumáticos y frenos hasta un nivel peligroso.

El trazado de las calles de rodaje se debe planear de manera que las aeronaves de rodaje o los vehículos terrestres no causen interferencias en las ayudas de navegación.

Cuando los cambios de dirección son necesarios se facilitan curvas con radios adecuados y si es necesario, superficies de enlace o anchura suplementaria con el objeto de permitir el rodaje a la máxima velocidad que sea posible. Para reducir demoras importantes en el rodaje se debe tratar de evitar cruzar las pistas u otras calles de rodaje, así como tener tantos tramos unidireccionales como sea posible. Todo el sistema se debe planear de un modo que se logre la máxima duración en servicio de cada componente eliminando los posibles obstáculos.

La seguridad tanto de los pasajeros como de las aeronaves es de suma importancia por lo que las calles de rodaje deben evitar las áreas en las que el público pueda tener fácil

acceso a las aeronaves durante el rodaje. También se tiene una atención especial durante el rodaje, contra sabotaje o agresión armada.

Las Calles de Rodaje son enlaces entre las pistas y las plataformas. De acuerdo a su función pueden ser clasificadas en:

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

a) **Calles de rodaje de entrada a la pista.** Las calles de rodaje de entrada a la pista se usan para los despegues, comunicando a la plataforma con las cabeceras de las pista. Generalmente están formadas por una calle paralela a la pista, uniéndose después con un viraje de 90°. Por lo general, una sola entrada en cada extremo de la pista es suficiente para atender a los despegues; pero si el volumen del tráfico lo justifica, deberá considerarse la utilización de desviaciones, apartaderos de espera. Este tipo de calles también pueden servir de salida, dependiendo del sentido de rodaje de la pista.

b) **Calles de rodaje de salida de pista.** En los aeropuertos de gran tránsito, las calles de rodaje deben situarse en diferentes puntos a lo largo de las pistas, de tal manera que los aviones que aterrizan puedan abandonarlas tan rápidamente como sea posible para dejarlas libres al resto de los aviones que vayan a utilizarlas, conociéndose con el nombre de "Calles de Rodaje de Salida de Pista"

La función de la calle salida es reducir al mínimo el tiempo de ocupación de la pista por las aeronaves que aterrizan. Estas se sitúan basándose en la velocidad de aterrizaje y en la desaceleración de las aeronaves desde el punto de toma de contacto.

Se tienen tres tipos de salida:

- Salidas en ángulo recto. En este caso la aeronave desacelerará a velocidades muy bajas antes de que pueda efectuar el viraje de salida de la pista. El ángulo de deflexión es del orden entre 70° y 130°.  $V_s = V_o$
- Salidas anguladas. El ángulo de deflexión varía entre 35° y 60°.  
 $V_s = 45 \text{ mph} = 72.40 \text{ kph}$ .
- Salidas a alta velocidad, cuyo ángulo de deflexión oscila entre 20° y 30°.  
 $V_s = 60 \text{ mph} = 96.54 \text{ kph}$

Si una calle de salida esta en ángulo recto con la pista, la aeronave desacelerará a velocidades muy bajas, antes de que pueda efectuar el viraje de salida de la pista, mientras que en ángulo agudo permite a las aeronaves salir de la pista a altas velocidades, reduciendo así el tiempo necesario de ocupación de la pista y aumentando la capacidad de la misma.

La calle de salida debe permitir a una aeronave salir de la pista sin restricción alguna, permitiéndole entonces efectuar lo antes posible otra operación en la pista. La ubicación depende de la variedad de aeronaves, de las velocidades de aproximación, de la toma de contacto y de la velocidad de salida de régimen de desaceleración, todo esto, a su vez, depende del estado de la superficie del pavimento (mojado o seco) y del número de salidas existentes. La rapidez y la manera en que el control de tránsito aéreo pueda despachar las aeronaves de llegada, es un factor muy importante en la determinación de la ubicación de las calles de salida.

Si el tiempo de operación del servicio se reduce, el problema será el costo. Las salidas de alta velocidad son más caras por ser más largas. El estudio se hará en función de la demanda.

El colocar calles de salida de acuerdo a las características operacionales de aeronaves esta determinado por la desaceleración de las mismas luego de cruzar el umbral. Para determinar en forma sencilla la distancia desde el umbral, se toman en cuenta las siguientes condiciones:

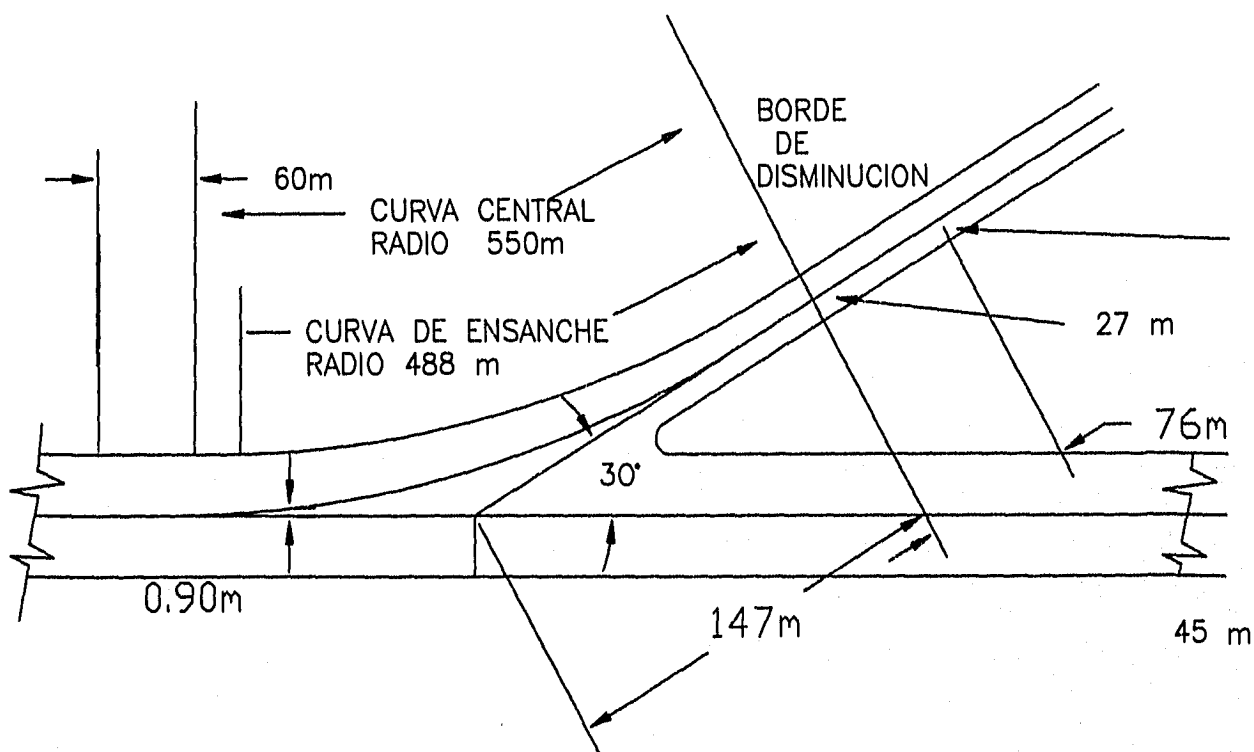
- a) Velocidad de toque de ruedas 3-4 nudos inferior a la velocidad sobre umbral;
- b) Velocidad de salida inicial o velocidad de viraje en el punto de tangencia de la curva central (de salida).
- c) Desaceleración entre el toque de ruedas y la salida
- d) Distancia entre el umbral y el punto de toque de ruedas.

Se puede agrupar a las aeronaves basándose en su velocidad sobre el umbral al nivel del mar, como se indica:

Grupo A - VTR menor de 169 km/h

Grupo B - VTR entre 169 km/h y 222 km/h

Grupo C - VTR entre 224 km/h y 259 km/h



TRAZADO DE LAS CALLES DE SALIDA RAPIDA  
(NUMERO DE CLAVE 3 o 4)

FUENTE: Manual de proyectos de aeródromos, parte 2  
calles de rodaje, plataformas y apartaderos  
de espera, OACI.

IMTR

Grupo D - VTR entre 261 km/h, aunque la velocidad máxima de cruce del umbral de las aeronaves actualmente en producción es 282 km/h.

Fuente: Manual de proyecto de Aeródromos. Parte 2

Un análisis de algunas de las aeronaves indica que pueden clasificarse en los grupos siguientes:

GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Convair 240	Convair 600	B-707	B-747
DC-3	DC-6	B-727	DC-8
DHC-7	Fokker F27	DC-8	DC-10
	Viscount 800	Trident	IL-62M
			L-1011
			TU-154

Fuente: Manual de Proyecto de Aeródromos, Calles de Rodaje. Parte 2

De estas consideraciones es evidente que el número de calles de salida depende del tipo y número de aeronave que maniobran durante el período punta. Por ejemplo, en un aeropuerto muy grande la mayoría de los aviones pertenecen probablemente a los grupos C o D. Por lo que se necesitan únicamente dos salidas; si contara con cuatro grupos de aeronaves puede necesitar cuatro salidas.

Tiene muchas ventajas el establecimiento de una norma mundial única para el cálculo de las calles de salida rápida esto ayuda a los pilotos los cuales se familiarizan con este tipo de configuraciones y pueden esperar conseguir los mismos resultados para aterrizar en cualquier aeropuerto que cuente con estas instalaciones.

La velocidad que los pilotos utilizan en las calles de salida rápida llega a ser de 90 km/h (60 mph) en pistas secas. Se decide proyectar y construir una calle de salida rápida por medio del análisis del tránsito existente.

El número de calles de entrada y de salida de una determinada pista debe satisfacer el tránsito de aeronaves que despeguen o aterricen en un momento dado. Anticipándose al

IMTR

número previsto en la utilización de las pistas, proyectándose y estableciéndose entradas y salidas suplementarias.

## 5.1 CRITERIOS PARA CALCULAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las velocidades de los aviones en las calles de rodaje son considerablemente menores que en las pistas, por lo cual los criterios en cuanto a sus dimensiones no son tan estrictos, como en el caso de las pistas. Por lo cual, las velocidades reducidas permiten que la anchura de las calles de rodaje sea menor que la de las pistas.

El propósito de la clave de referencia según la OACI en el anexo 14 es determinar normas relativas a los diversos tamaños de un aeropuerto y a sus diferentes funciones. Su finalidad es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones relativas a las características de los aeropuertos, de modo que sea posible lograr una serie de instalaciones aeroportuarias idóneas para la utilización de la pista. La base de estas claves es el campo de referencia, la envergadura y la anchura entre ruedas. La clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal.

La letra o número de la clave dentro de un elemento seleccionado para fines del proyecto, está relacionado con las características del avión crítico para el cual se proporciona la instalación.

La longitud del campo de referencia del avión se define como la longitud de campo mínima necesaria para que el avión despegue con el peso requerido al nivel del mar; en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero. (tabla 5.1.1)

Continuando con las características físicas cabe mencionar la importancia del margen, franja, curvas y distancias mínimas de separación de las calles de rodaje.

Un **margen** es una zona adyacente al borde de la superficie pavimentada de tal forma que proporciona una transición entre el pavimento y la superficie adyacente. Su fin principal

<b>ELEMENTO CLAVE 1</b>		<b>ELEMENTO CLAVE 2</b>		
<i>Numero de clave</i>	<i>Longitud del campo de referencia del avión</i>	<i>Letra clave</i>	<i>Envergadura</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m	Hasta 4,5 m
2	800 m hasta 1200 m	B	15 m hasta 24 m	4,5m hasta 6 m
3	1200 m hasta 1800 m	C	24 m hasta 36m	6 m hasta 9 m
4	1800 m y más	D	36 m hasta 52 m	9 m hasta 14 m
		E	52 m hasta 60 m	9 m hasta 14 m

Tabla 5.1.1.

Fuente: Manual de Proyecto de Aeródromos.  
Calles de Rodaje. Parte 2



es prevenir que los motores de reacción absorban piedras u otros objetos que puedan producir daños al motor así como la erosión del área adyacente al pavimento de la calle de rodaje. La necesidad de construirlas depende de la frecuencia de utilización de los aviones de reacción, del estado del suelo y del costo del mantenimiento de las áreas cubiertas de césped adyacentes a las calles de rodaje.

Se considera apropiado un margen de 10.5 m. de anchura a los dos lados de la calle de rodaje cuando la letra de clave de la pista más larga sea E, este requisito referente a la anchura del margen de la calle de rodaje se basa en la aeronave más crítica en servicio. Se considera que una anchura de 7.5 m. en ambos lados es apropiada para una pista con clave D.

**Una franja de calle de rodaje** es una zona que incluye una calle de rodaje destinada a proteger una aeronave que opere en ella y reducir el daño en caso de que accidentalmente se salga de ésta.

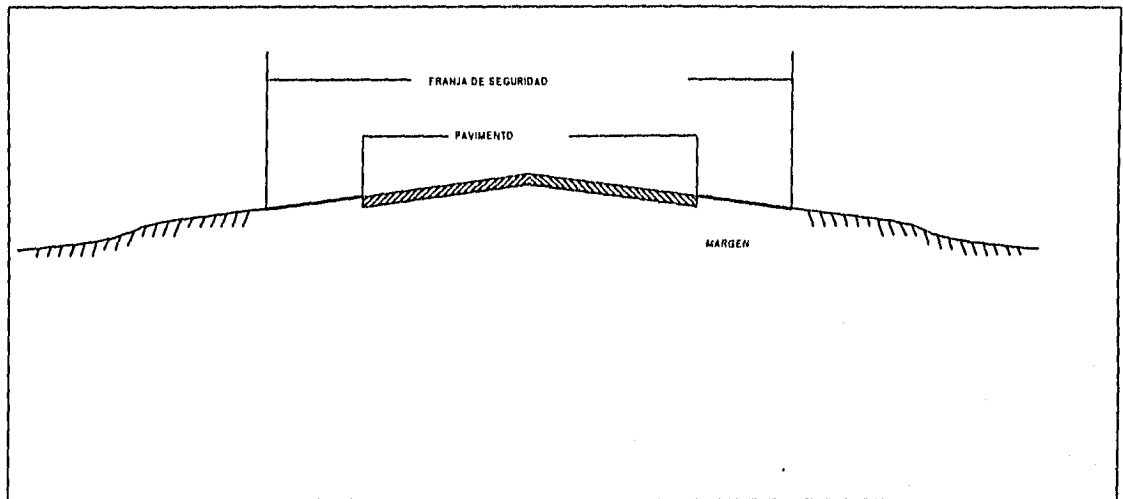
La superficie del margen debe estar nivelada con la superficie de la calle de rodaje. Y la superficie de franja debe estar nivelada con el borde de la calle de rodaje o el margen. No deben permitirse agujeros o zanjas dentro de la parte nivelada. Tampoco debe permitirse la existencia de obstáculos a los lados de la calle de rodaje, sin embargo, letreros y cualquier otro objeto que debido a sus funciones deben permanecer dentro de ella, estarán provistos de dispositivos frágiles.

**Curvas.** Los cambios de dirección de las calles de rodaje no deben ser muy numerosos ni pronunciados. Los radios de las curvas deben ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de los aviones. El diseño de una curva debe ser adecuada para el funcionamiento del pilotaje de un avión, permaneciendo así sobre las señales de eje de la calle de rodaje. La distancia de separación entre las ruedas principales exteriores y el borde de la calle de rodaje no tiene que ser inferior a las especificaciones dadas.

Si se diseñan curvas muy pronunciadas y su radio no es suficiente para impedir que las ruedas del avión en rodaje se salgan del pavimento, será necesario ensanchar la calle de rodaje a fin de conseguir las distancias especificadas. Se debe tener en cuenta que las curvas compuestas pueden reducir o eliminar la necesidad de una anchura suplementaria de calle de rodaje.

IMTR

Las distancias de separación de la calles de rodaje dependen de ciertos factores tales como si las operaciones se efectúan en VFR \*(para vuelo visual) o IFR (para vuelo por instrumentos) este último caso es para tener una capacidad de acomodación simultánea de llegadas o salidas y viceversa.



SECCION DE CALLE DE RODAJE

## 5.2 CONCEPTOS DE CAPACIDAD DE AEROPUERTOS

Los aeropuertos modernos son un conjunto de sistemas y subsistemas que unen al transporte aéreo y terrestre, estos deben garantizar al usuario seguridad, comodidad, optimizando los gastos de inversión y operación.

La posibilidad de procesar eficientemente la unidad de transporte que estemos analizando como pasajeros, operaciones, etc. es como podemos medir la efectividad de un sistema de transporte. Debido a su complejidad de interpretación es necesario referirla a los efectos que produce creando conceptos que ayudan a atenderla. Un efecto importante se deriva del concepto de la capacidad del sistema.

La capacidad es la posibilidad de atender a la demanda. Esta se prevé con inversión y adicionalmente con procedimientos operativos. A fin de optimizar los niveles de inversiones, la demanda tiene que contemplarse a futuro, por lo que la capacidad deberá adaptarse a sus cambios de tamaño y características. Esto representa algunos de los aspectos medulares en la planeación.

Para la zona aeronáutica, la Federal Aviation Administration (FAA) de EUA define "capacidad" como un índice de rendimiento, o sea el número máximo de operaciones que puede tener lugar en una hora.

Cualquier análisis de capacidad de aeropuertos debe tener en cuenta:

- \* La demanda esperada.
- \* El período durante el cual se pretenda satisfacerla.
- \* El nivel de calidad de servicio que se pretenda ofrecer al usuario, y
- \* El equilibrio entre capacidades de cada uno de los sistemas y subsistemas del aeropuerto.

Al evaluar la capacidad de un aeropuerto, se deben utilizar pronósticos a corto o mediano plazo para tener la certeza de hacer consideraciones apoyadas en elementos conocidos.

La capacidad está en función del nivel de servicio proporcionado y este se puede aceptar mayor o menor dependiendo del tiempo que dure la utilización. Por lo anterior la capacidad será función del valor, sus características, variaciones en el tiempo y la duración de los períodos en que se presenta la demanda.

La falta de capacidad provoca reducción del nivel de servicio, presentando retrasos, llogándose a condiciones que afectan no solo a la comodidad y economía del transporte, sino a los márgenes de seguridad e inclusive llegar a situaciones de riesgo.

Debido a que un aeropuerto es la liga entre dos medios de transporte, la capacidad del conjunto está determinada por el valor del sistema que tenga la menor capacidad, es decir el componente menos eficiente. Por tanto, si no se cuenta con antecedentes claros y complejos del proceso de transporte en su conjunto puede provocar interpretaciones erróneas debido a tomas de decisiones equivocadas, malas o insuficientes.

IMTR

La demanda aeronáutica, se puede definir como el número de aviones que usan un componente ya sea espacio aéreo, calles de rodaje, pistas, etc.; durante un intervalo de tiempo. Cuando la demanda excede por volumen y características a las posibilidades reales de ser atendida, se debe a que las instalaciones tuvieron una planeación, un proyecto o una operación insuficiente e inadecuada. Por lo tanto, para determinar la capacidad de una instalación, se debe relacionar con todas las características de las demandas actuales y futuras. La demanda es variable en el tiempo, no solo en tamaño sino en características.

Desde hace tiempo se han realizado estudios para poder interpretar la capacidad, tanto para efectos operacionales como para proyecto. Los estudios han sido enfocados principalmente a la zona aeronáutica (usada por los aviones, en el espacio aéreo como en tierra), detectando la mayoría de los factores que intervienen, los cuales han generado ecuaciones y modelos de simulación. Para la mayoría de las situaciones, se requiere asumir con experiencia ciertos supuestos que faciliten la solución de los problemas.

La interpretación de capacidad y los planteamientos matemáticos para determinar valores, son un reto para los investigadores, los resultados obtenidos permiten ya su utilización en aspectos de una planeación más formal y en consecuencia se han tenido mayores alcances.

De acuerdo a lo anterior, se deduce que el tiempo está estrechamente ligado a la capacidad, se debe atender el servicio requerido en mayor o menor grado en un cierto período de tiempo, evitando demoras, en la práctica se ha encontrado que a medida que la demanda aumenta, el valor promedio de los retrasos generados se incrementa exponencialmente. (fig. 1)

Por otra parte, el referir la capacidad en términos del retraso tiene grandes méritos ya que se presenta un análisis de base para comprender el fenómeno de la capacidad y su efecto inmediato en los costos directos, sin embargo esta definición no resuelve todas las situaciones variables que se presentan en los aeropuertos, debido a las características particulares de sus demandas que se presentan en las diferentes zonas aeronáuticas; por lo anterior se han contemplado otros enfoques como el de la a fig. 2 que contempla la capacidad máxima o de saturación, la cual se define como el número de operaciones que se pueden procesar durante un lapso específico, cuando la demanda es constante; siempre y cuando exista un avión listo para aterrizar o despegar. En este caso no se tiene relación con las

demoras consecuentemente no se tiene una medición de manera directa sobre el efecto y el costo de los retrasos.

En las figuras 3 y 4 a menos que la demanda sea muy baja, cuando se presenta en niveles próximos a la posibilidad de atenderla (capacidad) y el período es suficientemente largo, la oferta de atención se deteriora y la capacidad se reduce.

La demanda y consecuentemente la capacidad presentan varios factores que las afectan. Se pueden enumerar algunos, a título enunciativo:

- \* Separación en que los aviones se presentan en el despegue y en el aterrizaje.
- \* Condiciones meteorológicas.
- \* Características del viento.
- \* Los tipos de radioayudas existentes.
- \* La idoneidad y confiabilidad de los servicios de CTA.
- \* Estructura de rutas de llegada y salida, y en general del espacio aéreo.
- \* Procedimientos particulares de abatimiento de ruido.
- \* El número, geometría, orientación, ubicación y tipo de las pistas y calles de rodaje.
- \* Tiempo de ocupación real de la pista, tanto en aproximación y aterrizaje, como en despegue y ascenso
- \* Preparación del personal de vuelo, etc.

Los factores mencionados inciden principalmente en la capacidad horaria y su influencia dependerá de cada aeropuerto en particular. De su observación se puede considerar agruparlos en 5 rubros:

- \* Control de tránsito aéreo y radioayudas.
- \* Características de la demanda.
- \* Condiciones meteorológicas y particulares de operación.
- \* Capacitación de tripulantes de vuelo y controladores.
- \* Geometría de la zona aeronáutica del aeropuerto.

El identificar y reconocer factores que intervienen en esta clasificación significa que si bien la demanda aeronáutica es el número de aviones que usan un componente de la zona durante un período específico de tiempo, el propósito final será siempre balancear la demanda con la capacidad.

FIG. 1

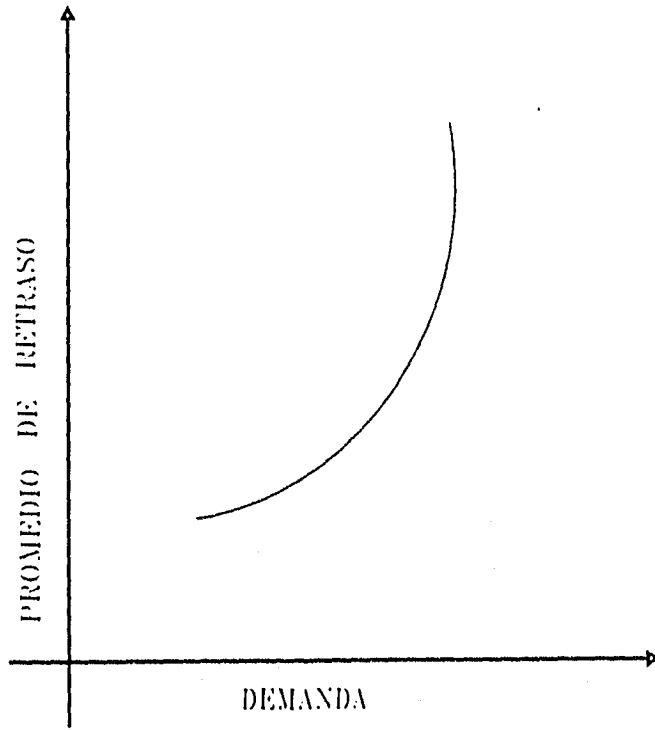
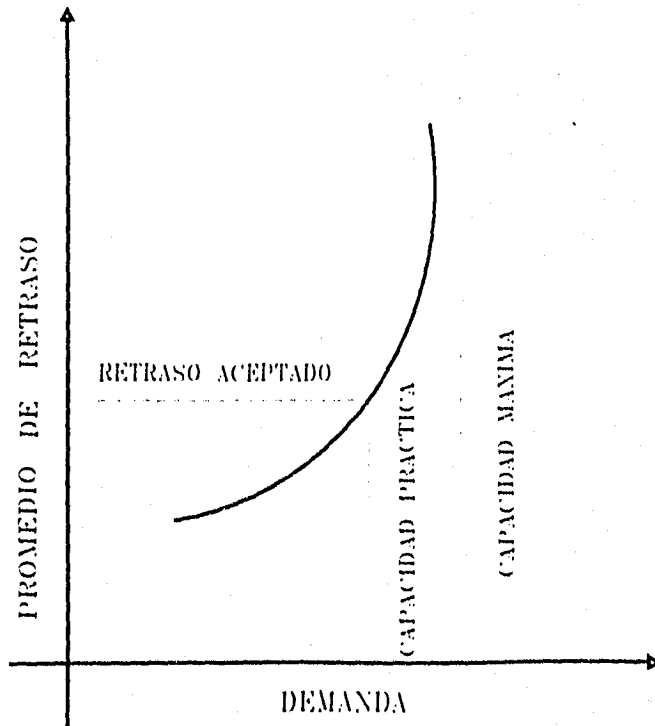


FIG. 2



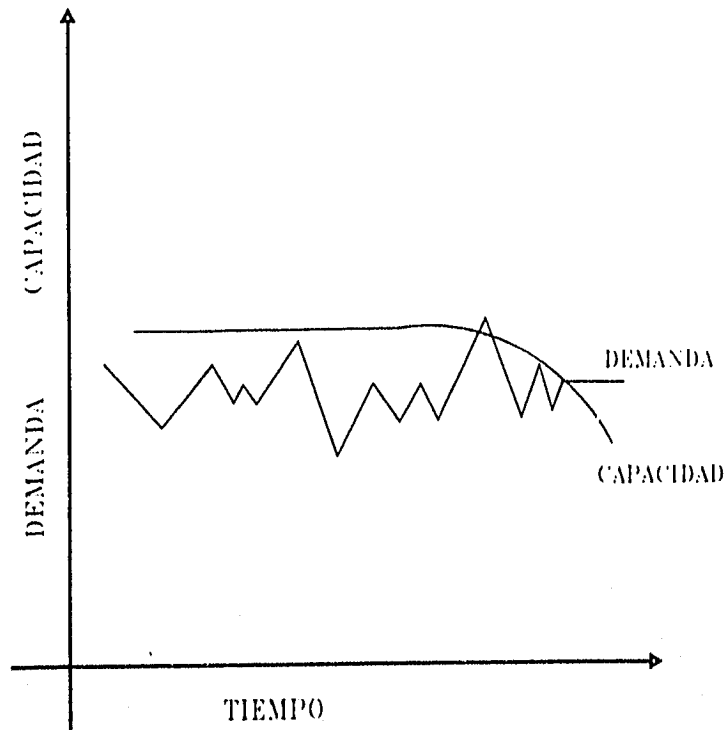


FIG.3

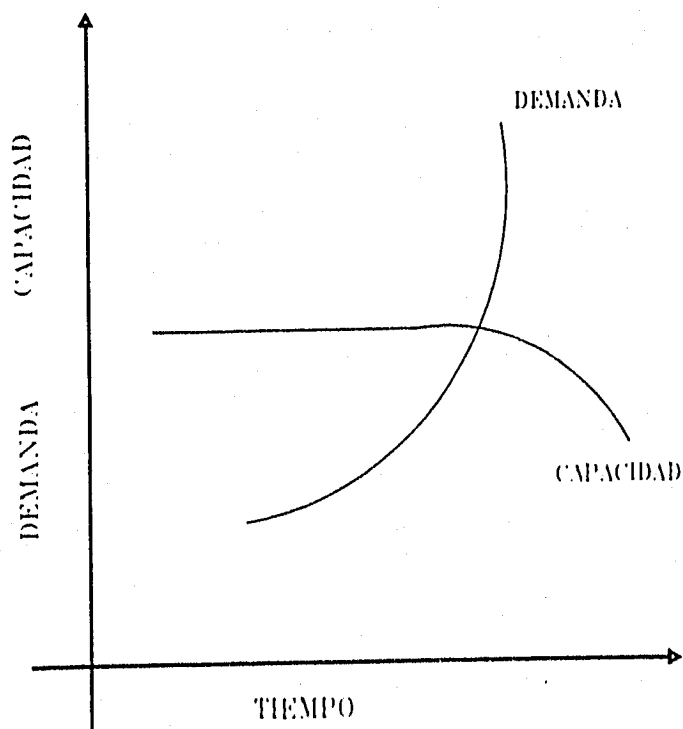


FIG.4

Las investigaciones sobre la interpretación de la capacidad, se deben considerar en la practica como esperanzas matemáticas, presuponiendo que los eventos se realicen bajo ciertas condiciones y comportamientos aceptables. Generalmente los análisis se han enfocado a calcular la capacidad no relacionada con los retrasos, última o máxima; y la más compleja en la cual se hacen intervenir estos. En el caso de analizar la capacidad con el retraso (capacidad práctica) se han aplicado modelos de flujo estático de la teoría de colas.

Los métodos que se han desarrollado para calcular los valores posibles de capacidad se pueden agrupar en cuatro grupos:

- 1.- Procedimientos empíricos.
- 2.- Procedimientos usando la teoría de colas.
- 3.- Procedimientos analíticos.
- 4.- Simulaciones en computadora.

**Procedimientos empíricos.**- Los procedimientos empíricos a pesar de ser sencillos, requieren de investigaciones basadas en el muestreo intensivo con lo que permite obtener resultados del aeropuerto en estudio.

**Teoría de colas.**-El apoyo que ha brindado la teoría de colas para el análisis de la capacidad de las pistas ha sido de gran ayuda, sin embargo presenta ciertas limitaciones debido a que se consideran sólo algunos factores del total que inciden en la capacidad y en los retrasos generados. En procedimientos usando la teoría de colas ha sido necesario hacer simplificaciones de los procesos de demanda. También se ha demostrado que para obtener regímenes estables, se requieren periodos largos de tiempo.

**Procedimientos analíticos.**- Los modelos requieren aceptar una reglamentación ordenada del tránsito. Con este tipo de modelos se puede llegar a calcular el número de aviones atendidos y el retraso probable.

**Simulaciones por computadora.**- Se han elaborado simulaciones que permitan identificar las vías que puedan seguir los aviones en el espacio y en el tiempo, a base de enlaces y nodos, pudiéndose de esta manera calcular la capacidad y los retrasos.



De acuerdo a las condiciones del aeropuerto se podrá determinar el procedimiento adecuado para obtener valores de la capacidad. Para operar un aeropuerto en forma balanceada se debe considerar todos los elementos que forman parte de el. En el caso de las calles de rodaje es necesario definir si este subsistema es compatible con la solicitud de servicios en aterrizajes y despegues, o si existen posiciones de estacionamiento en plataforma, en general las calles de rodaje no crean retrasos salvo que crucen las pistas o cuando se usan de salida y entrada, interfiriendo con operaciones subsecuentes inmediatas.

En el momento del análisis, la unidad de demanda y de capacidad en la zona aeronáutica son los aviones en número de operaciones (aterrizajes y despegues) en unidad de tiempo o estacionamientos simultáneos en plataforma; en el control de tránsito aéreo(CTA.) También hay que agregar los aviones en ruta que sobrevuelan la zona y que no aterrizan o despegan del aeropuerto de estudio. El CTA. fijará en gran medida la posibilidad real de una capacidad, pero cada componente de la zona aeronáutica y todo el aeropuerto tienen su propia capacidad, bajo condiciones óptimas normales de operación.

Se considera que el usuario principal de un aeropuerto es el pasajero; es posible contemplar que la última medida de capacidad de un aeropuerto serán pasajeros por unidad de tiempo.

El fenómeno de la capacidad referida a las operaciones aeronáuticas también se han analizado en el comportamiento de otros sistemas del aeropuerto, destacando por su impacto en todo el conjunto el proceso general de los pasajeros dentro de los edificios.

Por razonamiento y experimentalmente se pueden detectar diferencias importantes respecto a las operaciones aeronáuticas (retrasos, molestias, etc.), para atender los problemas se han desarrollado diversas teorías y procedimientos que permitan por un lado determinar cifras de demanda de diseño y por otro estimar características para proyectar la capacidad necesarias de las instalaciones.

Se ha observado, que como usuario, el comportamiento humano hacia la demora es diferente, depende de los efectos que esa demanda le genere, esto plantea algunas de las dificultades que se tienen para fijar conceptos de capacidad al atender pasajeros.

Para tratar de resolver el problema se han desarrollado diferentes metodologías aceptando como base que la demanda se asocia en el tiempo a las horas del día semana, mes

y año. Tomando en cuenta que aún los aeropuertos de mayor movimiento en el mundo, se tienen horas con demandas bajas y hasta nulas. Presentando variaciones importantes entre los periodos máximos y mínimos. Se busca proporcionar una capacidad menor a la máxima demanda, de manera que los efectos negativos sean ponderados, buscando un decremento aceptable en los niveles de servicio sin provocar molestias y falta de confort inadmisibles, incrementando costos en otros servicios de los sistemas.

Entre estos procedimientos de análisis encontramos:

- El rango normalizado de ocupación (Standard busy rate, SBR),.
- El rango de hora ocupada (Busy hour rate, BHR), y
- La hora típica máxima de pasajeros (Typical peak hour passengers, TPHP).

El primer método considera que la capacidad está sobrepasada 29 horas de operación por demandas mayores; con lo que las facilidades operan sólo 30 horas al año saturadas.

El segundo método, es una modificación del SBR, e implica que solo el 5% arriba del régimen horario normal puede ser atendido en la hora máxima; aunque tiene como inconveniente que en ocasiones el número de datos que se requieren pueden escapar a las posibilidades reales de los aeropuertos medianos y pequeños.

El tercer método ha tenido gran aceptación, ha sido desarrollado por la FAA(Federal Aviation Administration) y ayuda a proporcionar una medida del valor punta fijando valores fijos de conversión, valiéndose de las suposiciones que a medida que el número anual de pasajeros es mayor, el valor punta se hace menos agudo.

A nivel mundial, todavía no existe aceptación a utilizar un sólo método por lo que los países continúan apoyándose en diferentes y hasta combinaciones de ellos, esto depende del comportamiento de los pasajeros, del tamaño del aeropuerto y del análisis de las investigaciones. También hay que considerar la interpretación sobre los niveles de servicio que se proporcionan y en consecuencia la definición de capacidad es un extremo variable.

Recapitulando podemos decir que la capacidad se obtiene principalmente realizando inversiones en infraestructura y auxiliariamente modificando y perfeccionando manuales, procedimientos y en general administración. La realización de inversiones implica un proyecto, diseño, su ejecución, operación y mantenimiento.

---

## CAPITULOS VI. ANALISIS DE PAVIMENTOS

### 6.1 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS

#### 6.1.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

El objetivo de los pavimentos, es repartir las cargas originadas por las ruedas de los aviones de tal manera que las cargas unitarias en los terrenos no llegue a producir deformaciones excesivas o rotura.

Desde hace muchas décadas, se han hecho intentos de clasificar los diferentes tipos de pavimentos. Se usa para ello, el tipo de superficie de rodamiento y la forma en que los pavimentos distribuyen a la subrasante la carga recibida.

Los pavimentos se pueden clasificar en:

- a) Pavimentos flexibles*
- b) Pavimentos rígidos*

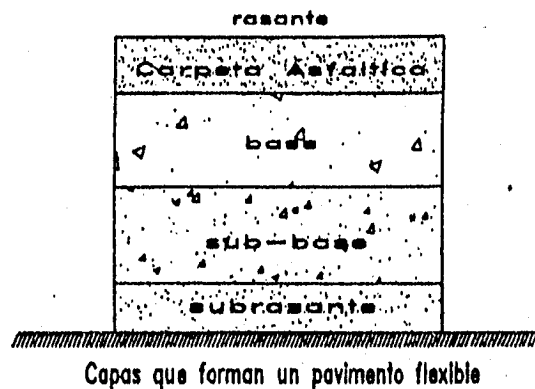
#### 6.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Se denominan pavimentos flexibles en general, a aquellos que pueden soportar deformaciones diferenciales relativamente grandes (superiores a 1 cm) sin producirse grietas, estos pavimentos transmiten las cargas al suelo de tal manera, que puede despreciarse la resistencia a flexión, por insignificante.

Para esto, el pavimento debe estar formado por la capa de rodadura o carpeta asfáltica, sobre la que apoya directamente la rueda, que además de ser estable, debe cumplir buenas condiciones para la rodadura, la base reparte las cargas sobre la subbase, la cual, a su vez, reparte todavía más la carga, hasta conseguir en el terreno natural, coeficientes de trabajo apropiados. Las tres capas de pavimento se apoyan sobre una superficie llamada subrasante.

La capa base debe resistir las condiciones ambientales y los efectos de las cargas, distribuyendolas sobre las capas adyacentes. Están constituidas por mezclas de piedra partida y de un aglomerante bituminoso o no (ejemplo: cemento Portland o asfalto) y tienen espesores comprendidos en general entre 10 y 30 cm, dependiendo estos, tanto de las cargas como del espesor de la cimentación, ya que todas las capas del pavimento no hacen más que sumar sus espesores para conseguir en el terreno natural, cargas menores de rotura.

Sub-base. En los casos en que los terrenos naturales no tengan las características necesarias, se construyen las capas de la sub-base con suelos estabilizados por mezclas, o bien, se recurre al empleo de capas de piedra partida.



Actualmente, con el gran volumen de tránsito y las fuertes cargas por rueda, algunos pavimentos flexibles requieren gruesas capas muy resistentes, que tienen un comportamiento muy rígido que no está de acuerdo con el criterio flexible original.

Los pavimentos flexibles pueden ser de los siguientes tipos:

(Solo se refiere a la carpeta)

- Mezclados en planta caliente (concreto asfáltico usando cemento asfáltico).
- Mezcla en planta en frío (asfaltos rebajados en planta o en lugar).
- Mezcla en sitio.

- Superficie de rodamiento de penetración
  - Riegos\*
  - Macadam (En las juntas se inyecta el producto asfáltico)
- Emulsión asfáltica
  - Catiónicas. Mezclas para carpetas (en frío, con agua)
  - Aniónicas.
- Adoquín. Usado en plataformas

Los asfaltos rebajados tienen solventes para hacerlos trabajables a temperatura ambiente.

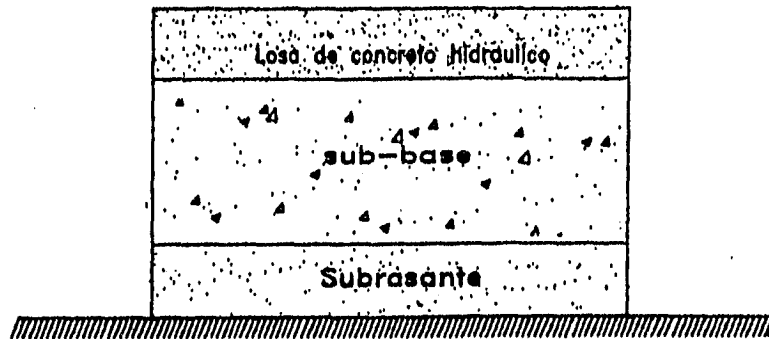
Asfaltos rebajados + solventes ligeros (gasolina) = fraguado rápido (FR)  
+ solventes medianos (diesel) = fraguado medio (FM)  
+ solventes semipesados (aceites ligeros) = fraguado lento (FL)

\* En este caso se aplica una película de asfalto rebajado FR- 3 pasando un rodillo liso. Este tipo está prohibido en los Aeropuertos debido a que las llantas pueden desprender el material a alta velocidad y como proyectiles dañan las turbinas, hélices etc.

Al momento de analizar un pavimento, no solo hay que poner atención en su resistencia, sino también hay que cuidar que no sean demasiado deformables, ya que éstos, pueden llegar a fallar por fatiga sin llegar a su esfuerzo máximo, antes de terminar su vida útil.

### 6.3 PAVIMENTOS RIGIDOS

Son aquellos que cuentan con una losa de concreto hidráulico de cemento Portland (también se le llama de hormigón), muy rígida y resistente en su parte superior, que distribuyen las cargas de las aeronaves, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas, tienden a absorber la carga recibida repartiéndola en una amplia área de la sub-base. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de sub-base para evitar que los finos sean enviados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la sub-base, que se construyen sobre la capa subrasante.



### Capas que forman un pavimento rígido

Tienen su principal aplicación en pistas, calles de rodaje, en zonas de estacionamiento de carga y descarga de combustible, de puesta en marcha de motores y zonas de espera por el defecto destructivo que causan los aviones con motores de reacción. Pero tienen el inconveniente de que es preciso construirlos con todo el espesor necesario a las cargas de futuros aviones, ya que no son susceptibles de aumentar su resistencia progresivamente y de manera económica, cosa que puede hacerse en todo momento con los pavimentos flexibles. Así como el espesor de los pavimentos flexibles está suficientemente estudiado, el análisis de los esfuerzos que se desarrollan en las placas de hormigón es enormemente complejo. Depende en primer lugar de las cargas de las ruedas y de las propiedades físicas de los suelos, que son en general variables, no solamente de un lugar a otro, sino también dentro del mismo aeropuerto y de la posición de las cargas, de los cambios de temperatura y del factor de seguridad que se tome.

## 6.4 ELECCION DEL PAVIMENTO

La elección del pavimento depende de varios aspectos como son las condiciones del terreno natural, la economía en la construcción, consideración de las cargas a soportar, la presión de los neumáticos, intensidad del tránsito, así como la climatología y efectos de heladas y de las condiciones técnicas, ya que en ocasiones hay que colocar un tipo de pavimento especial, como ocurre en las zonas de calentamiento de motores y de suministro de combustible.

Los pavimentos flexibles tienen la ventaja sobre los rígidos de la posibilidad de aumentar la capacidad de carga con el total aprovechamiento de la parte construida, y la de poder efectuar reparaciones y recargos, con relativa facilidad y economía.

Otra de las características principales en la selección de pavimentos, se refiere a la calidad de la superficie de rodaje. Los pavimentos de hormigón de cemento tienden a producir el desgaste prematuro de los neumáticos. También si la composición granulométrica superficial es demasiado fina habría resbalamientos en tiempo húmedo los cuales anularían la acción de frenos de ruedas.

Los dos tipos de pavimentos bien contruidos deben absorber cualquier tipo de carga por lo que no hay preferencia de tipo estructural sino mas bien se debe poner gran atención en el tipo de suelo por medio de un estudio de mecánica de suelos y en su costo.

## 6.5 CALCULO DE PAVIMENTOS

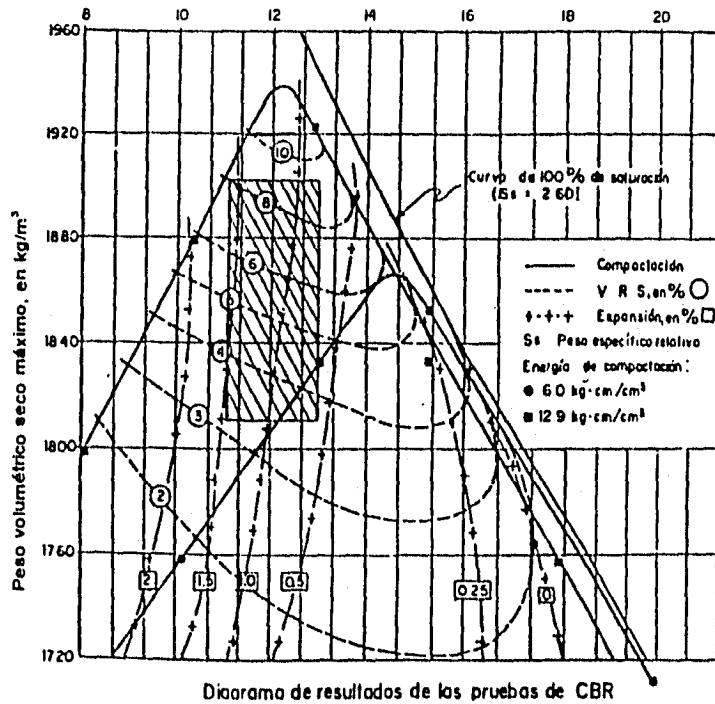
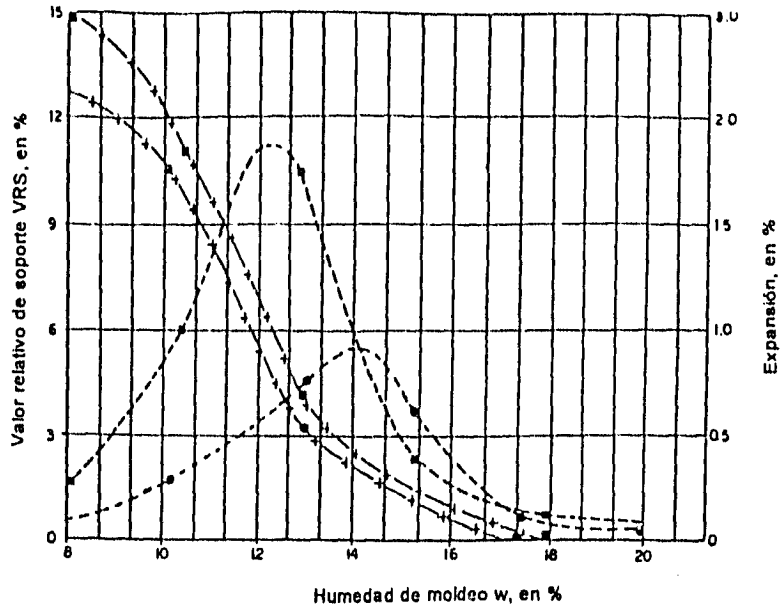
Existen varios métodos para proyectar los pavimentos de un aeropuerto aunque ninguno de ellos está aceptado de manera unánime por los diferentes organismos internacionales.

Las pruebas de diseño determinan el comportamiento mecánico de los diferentes materiales y definen los parámetros que hay que utilizarse de acuerdo con los métodos de diseño empleados.

En cuanto a pavimentos flexibles el más utilizado es el que se apoya en la prueba CBR (California Bearing Ratio) conocido en México como en el valor relativo de soporte (VRS) de los suelos, este ha sido difundido ampliamente teniendo su origen en California.

El ensayo CBR da un índice de resistencia al esfuerzo cortante del suelo por medio de

IMTR



Fuente: Ingeniería de aeropuertos.  
Módulo: Proyecto



la penetración. En esta prueba a los materiales se les agrega agua para aumentar el peso volumétrico y como lubricante, después se procede a compactar por medio de una varilla punta de bala, posteriormente se pesa y se gráfica el peso volumétrico contra agua. Las partículas entre más agua tengan aumenta el peso volumétrico, pero llega un momento en que el peso volumétrico se reduce, y de esta forma se obtiene la humedad óptima.

Para cada material se obtiene el peso volumétrico con humedad óptima para que ese material se compacte con la cantidad de agua necesaria.

A lo largo de varios años se han desarrollado relaciones empíricas entre el CBR y el espesor. Un ejemplo de ello son las curvas de origen del método que se muestran en la figura 6.5.1. La curva A indica el espesor en caso de condiciones de tráfico medio y es muy confiable ya que representa la carga de 9000 lb/rueda (4.050 kg) por rueda de camión de los cuales equivale a 12000 lb/rueda (5400 kg) en los aviones. Esta hipótesis se hizo tomando en cuenta que los neumáticos de un avión trabajan con mayores deformaciones que un camión y que el tráfico en una carretera está más canalizado. Por otra parte la curva B indica el espesor mínimo de pavimento para tráfico ligero.

Según aumentaban las dimensiones de los aviones, resultó necesario repartir la carga cada vez más, con el objeto de mantener el espesor del pavimento dentro de los límites tolerables por lo que se incrementó el número de ruedas de cada tren de aterrizaje. En la actualidad existen aeronaves con dos, tres o cuatro piernas en el tren de aterrizaje. Los arreglos de las llantas pueden ser de rueda simple, ruedas gemelas o de arreglo en bogie (Tándem)

El problema de la rueda equivalente surge cuando se tiene una deformación para diferentes profundidades. Aunque las deformaciones son las mismas los esfuerzos no lo son para una rueda equivalente. En todos casos los pavimentos fallaban debido a la repetición de cargas y por fatiga.

También se han desarrollado otros métodos como el LCN (Load Classification Number). Donde el pavimento se clasificaba por el LCN y se comparaba con el esfuerzo actuante producido por un avión LCN<sub>av</sub>. Así como el diseño de gráficas en función de CBR para obtener el LCN en diseño, pero con la desventaja de ser pruebas estáticas.

La OACI también desarrolló otra metodología para clasificar la resistencia cortante de los pavimentos. Obteniendo el ACN (Aircraft classification number)/PCN(Pavement Classification Number). Con este método no se puede diseñar solo es para evaluación para efectos de información pública.

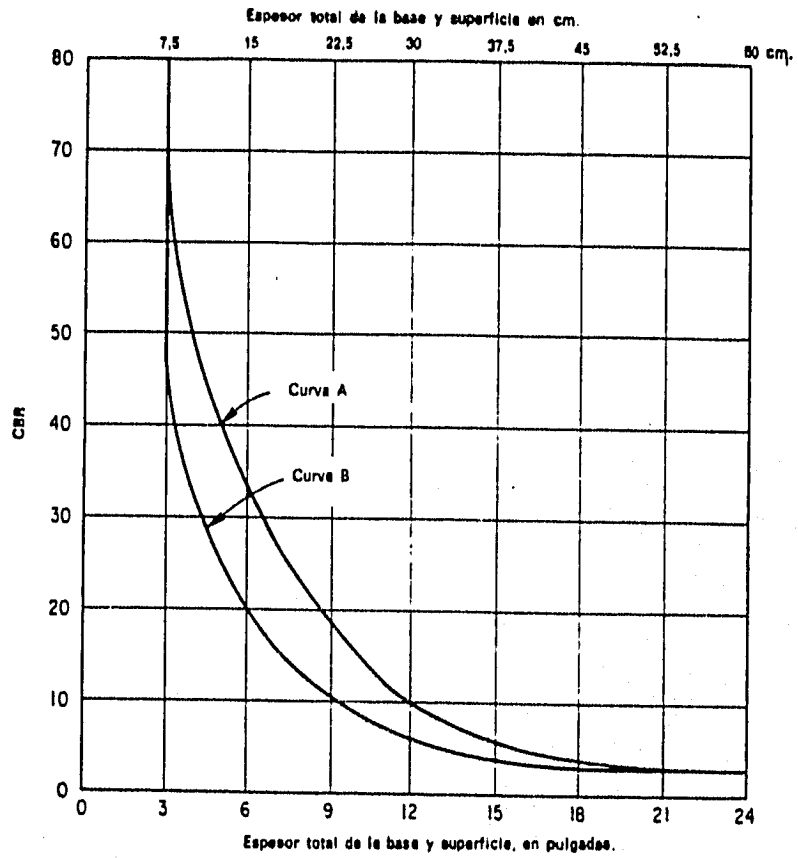


FIG. 6.5.1 *Espesor total de la base y superficie en relación con los valores CBR (Corps of Engineers)*

Fuente: Planeación y designación de aeropuertos  
Robert Horonjerif, 3a. ed.

La FAA ha tomado todas las experiencias anteriores y ha diseñado un método originado en la determinación del avión crítico de diseño, el cual se obtiene de una flota de aviones de acuerdo a la planeación, generalmente se selecciona en base a aquella que requiera el mayor espesor de pavimento, que normalmente es o la más pesada o la más frecuente.

El método de la FAA nos permite determinar la acumulación de frecuencias. aceptando el CBR y usando la ecuación siguiente:

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

donde:

- $R_1$  = Repeticiones equivalentes del avión en estudio convertidas en el avión de diseño
- $R_2$  = Repeticiones equivalentes del avión en estudio convertidas al tren de aterrizaje del avión de diseño
- $W_1$  = Carga sobre la rueda de la aeronave de diseño.
- $W_2$  = Carga sobre la rueda de la aeronave en estudio.

Como el volumen de tránsito está constituido por una mezcla de aeronaves diversas, con diferentes tipos de trenes de aterrizaje, con diversos pesos de llantas, la FAA recomienda en primer lugar homogenizar a un mismo tren, utilizando los factores de conversión

DE	A	MULTIPLICAR
Rueda sencilla	tren doble	0.8
Rueda sencilla	doble tándem	0.5
Tren doble	doble tándem	0.6
tren doble	rueda sencilla	2.0
Doble tándem	tren doble	1.7

20 AÑOS - Horizonte de planeación

IMTR

A continuación se presenta un ejemplo de este método.

**EJEMPLO:**

Proyectar de acuerdo al método de FAA un pavimento flexible que dure 20 años y que al final de ese tiempo vamos a tener la siguiente composición de aviones y los estudios de planeación dan los siguientes resultados.

TIPO DE AVIONES	DESPEGUES ESTIMADOS ANUALES	PESOS DE DESPEGUE
737 - 200	5300	49940 kg
727 - 200	7200	94000 kg
707 - 320	540	148500 kg
*747 - 200	630	351535 kg

Tipo de aviones	tipo de tren	Peso por rueda (kg por rueda)	Despegues en tren equivalente
737 - 200	doble	$\frac{49,940 \times 0.95}{4} = 11880$	5300
727 - 200	doble	$\frac{94000 \times 0.95}{4} = 22325$	7200
707 - 320	2 doble tándem	$\frac{148500 \times 0.95}{8} = 17634$	$540 \times 1.7 = 918$
747 - 200	4 doble tándem	$\frac{136200 \times 0.95}{8} = 16173$	$630 \times 1.7 = 1071$

IMTR

## CONSIDERACIONES

-Avión crítico de diseño 727-200

-Los aviones de fuselaje ancho ( se convierten en un doble tándem de 136,200 kg = 300,000 lb

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

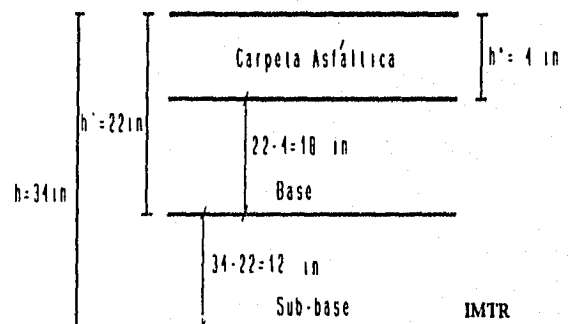
TIPO DE AVION	CALCULO DE REPETICIONES $\text{Log} R_1 = \text{Log} R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2}$
737 - 200	$\text{Log} R_1 = \text{Log} 5300 \times \left(\frac{11860}{22325}\right)^{(1/2)} ; R_1 = 518$
727 - 200	$\text{Log} R_1 = \text{Log} 7200 \times \left(\frac{22325}{22325}\right)^{(1/2)} ; R_1 = 7200$
707 - 320	$\text{Log} R_1 = \text{Log} 918 \times \left(\frac{17634}{22325}\right)^{(1/2)} ; R_1 = 429$
747 - 200	$\text{Log} R_1 = \text{Log} 1071 \times \left(\frac{16173}{22325}\right)^{(1/2)} ; R_1 = 379$
$\Sigma R_1 = 8526$	

Todos los aviones equivalen a 8526 despegues de 727-200

Especificaciones:

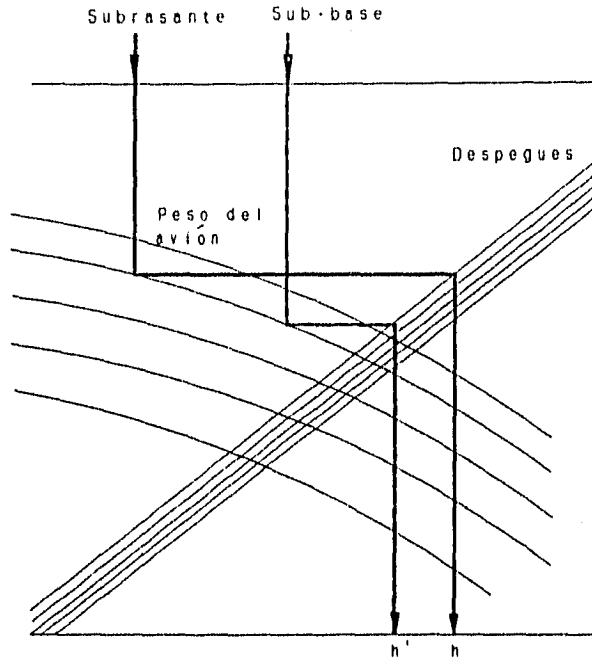
Con un CBR:           Subrasante 8  
                              Sub-base 15  
                              Base  $\geq 80$

Espesor mínimo = 14.1 < 18



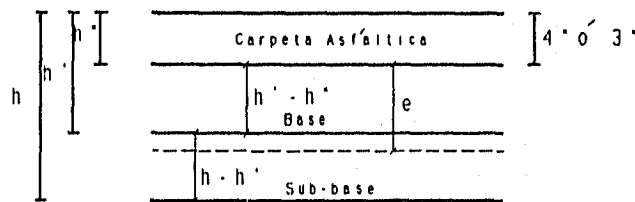
Para la determinación de los diferentes espesores se utilizó la gráfica de la figura 6.5.6. Para fines ilustrativos se muestra el siguiente esbozo.

CBR                  CBR



Espesores

Introduciendo los valores de la subrasante, sub-base y considerando un peso de despegue de un 727-200 que es de 94,000 kg = 207,048 lb, obtenemos los valores de h y h'



Para el cálculo del espesor de la base ocupamos la fig. 6.5.7, con los datos de la subrasante y h encontramos el espesor mínimo.

Posteriormente se compara el espesor mínimo con el calculado de  $h' - h''$ . En el caso:

- $h' - h'' \geq e$       quedaría el valor de  $h' - h''$   
 $h' - h'' < e$       el espesor de la base sería e

Repetiendo el cálculo suponiendo que el avión crítico es el 707 - 320. Obtenemos los siguientes resultados.

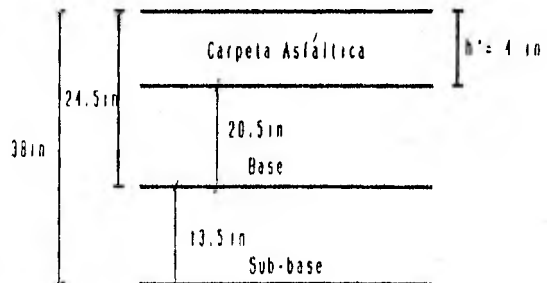
TIPO DE AVION	TIPO DE TREN	PESO DE DESPEGUE	CARGA POR RUEDA	DESPEGUES CONVERTIDOS	REPETICIONES
737-200	doble	49940	11860	$5300 \times 0.6 = 3180$	745.32
727-200	doble	94000	22325	$7200 \times 0.6 = 4320$	12318.50
<b>707-320</b>	<b>2 doble</b>	<b>148500</b>	<b>17634</b>	<b>540</b>	540
747-200	4 doble	136200	16173	630	479
					<b>14082.82</b>

CBR: Subrasante 8  
 Sub-base 15  
 Base > 80

Revisión del espesor mínimo de la base:

$$16 < 20.5$$

queda 20.5in



## ZONAS CRITICAS

Los materiales se estabilizan cuando se añade un aditivo para mejorar la capacidad de deformación de la base y subbase. Es recomendable para pesos de avión mayores a 45 500 kg; esto permite reducir el espesor, pero esta decisión estará en función del costo.

Factores de conversión para bases y subbases estabilizadas:

<b>BASES</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>FACTOR</b>
base bituminosa	1.2 - 1.6
base tratada con cemento	1.2 - 1.6
agregado triturado	1.0

<b>SUBBASES</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>FACTOR</b>
Base bituminosa	1.7 - 2.3
Suelo cemento	1.6 - 2.3
Suelo tratado con cemento	1.5 - 2.0
agregado triturado	1.4 - 2.0

## CALCULO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Como ya fue mencionado un pavimento rígido está formado de dos capas. En especial la losa funciona como principal elemento estructural y como superficie de rodamiento. Para la elección del espesor de una losa, generalmente los métodos se basan en la solución original de Westergard, el cual supone la losa del pavimento como una capa delgada, aislada, y como la carga es móvil se pueden considerar tres puntos críticos de aplicación de la carga, donde las tensiones de los pavimentos son mayores en los bordes de la juntas que en el interior de las losas.

Cada condición responde diferente, la más desfavorable es la carga en la esquina y la más favorable es la del centro. Si se unen por mecanismos la más crítica es la carga del centro ya que las losas al actuar en conjunto ayudan a transmitir la carga. La posición al centro es similar a una viga simplemente apoyada con la carga al centro donde las capas superiores de la losa trabajan a compresión y las inferiores a tensión.

En un pavimento el concreto trabaja a tensión pero no pura sino debida a la flexión.

F: resistencia a la tensión por flexión  $f_c$

C:  $f$  (agregados, cementos, fabricación)



El concreto empleado se diseña a tensión por flexión, determinando la resistencia y el espesor. Para aumentar la resistencia del concreto se aumenta la resistencia del cementante, reduciendo el espesor de la losa pero aumenta el costo por  $m^3$ , lo mismo pasa con la subrasante.

Para determinar la capacidad resistente de la base y subbase se usa un módulo de resistencia del material: K

La prueba se hace rellorando un molde con medidas establecidas distribuyendo tres capas, se satura la muestra, se seca y en lugar de colocar una placa ranurada como en el caso de los pavimentos flexibles, se tapa con una que no lo está, posteriormente se aplica una carga específica, se miden las deformaciones ocasionadas y se suspende a una deformación fija o a una carga fija.

La resistencia de la subbase varía en función de su espesor teniendo como incógnitas el espesor de la subbase y el de la losa, y como dato el valor de K.

Por lo que se resuelve con aproximaciones sucesivas.

Este tipo de pavimento tiene problemas en las juntas. Las pruebas de laboratorio y la práctica, indican que prácticamente todas las grietas producidas por carga se producen en el borde de la junta y se propagan hacia el interior de la losa, por lo que la base del diseño se modificó desde el interior hasta el borde de la junta.

Cuando la junta no se puede machihembrar, se hace una junta a tope y si se necesita que la junta se mueva sin perder la transmisión de carga se hace una junta de expansión.

Los pavimentos de concreto simple deben ser capaces de absorber los movimientos producidos por los cambios de temperatura. Estos movimientos, debidos a las dilaciones y contracciones, producen agrietamiento que obligan la construcción de juntas, con objeto de controlarlos

Las juntas deben proveer una adecuada transferencia de carga entre losa y losa para lograr un trabajo eficiente de conjunto. El dimensionamiento apropiado de las losas también propicia un buen comportamiento del pavimento, en lo referente a sus movimientos por dilatación y contracción.

En una junta se pueden introducir contaminantes, como en el caso del agua pluvial, la cual penetra en la junta y se deposita en la subbase, alterando la humedad óptima del material (subbase), perdiendo el suelo capacidad de soporte.

Las losas rara vez trabajan aisladas, si se piensa en una posible falla se colocan silletas para controlar solamente las juntas

En la intersección de una pista con una calle de rodaje, tienden a deformarse en sentido longitudinal.

Analizando estructuralmente la losa encontramos que las losas contiguas forman un cierto tipo de empotramiento, el momento máximo flexionante depende de la orientación y del tipo de tren de aterrizaje, este se puede presentar girando el tren de aterrizaje, presentándose generalmente en las salidas de las calles de rodaje.

## CAPITULO VII. PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y DESARROLLO POR ETAPAS

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

El objetivo primordial de construir un aeropuerto es el de llegar a integrar un sistema de infraestructura del transporte aéreo nacional, y que si se requiere pueda llegar a funcionar además en conexión con el sistema internacional.

Los aeropuertos por ser sistemas complejos y con instalaciones de dimensiones destacadas, llevan un estricto control en sus procesos de planeación y construcción.

Una vez preparados los esquemas del Plan Maestro, es necesario desarrollar las etapas en secuencia hasta llegar al desarrollo final. El esquema de la primera etapa se muestra para la puesta en operación, en tanto el esquema final muestra al aeropuerto en su máximo desarrollo. La planeación en el desarrollo, indica que todas las áreas pueden ser expandidas para aceptar la demanda creciente.

En el capítulo uno se hizo una descripción más detallada de estos conceptos, pero cabe recordar, que las etapas deben realizarse hasta que sea necesario, previendo los tiempos de estudio proyecto y ejecución de la etapa. No deben realizarse antes de que sea justificado, ya que puede conducir a gastos innecesarios (mantenimiento, obsolescencia, etc.). Cada etapa tendrá una variación con respecto a las anteriores, esto se debe a varios factores que influyen en la demanda y en el desarrollo (políticos, sociales, económicos, etc.) por lo que el Plan Maestro original debe irse ajustando para cada etapa en el posterior desarrollo.

Para ser ejecutado físicamente un proyecto de infraestructura aeroportuaria, debe haber pasado por diferentes fases o etapas de preparación, ya que cada proyecto es diferente, esto se debe tanto a sus características físicas y técnicas como por su complejidad y objetivos.

Las obras de construcción deben llevarse a cabo cuando el aumento del tránsito y los pronósticos a corto plazo, que son menos susceptibles de errores importantes, demuestren que son necesarios. Por lo tanto, los pronósticos a largo plazo facilitan las directrices generales necesarias para la planeación general.

Debido a las grandes inversiones de capital necesarias para la construcción o ampliación de aeropuertos, es importante que su vida útil sea lo más larga posible por lo

que los criterios de evaluación de los proyectos y selección de emplazamientos deben ofrecer la mejores condiciones y posibilidades de ampliación, seguridad y eficacia.

De acuerdo a la diversidad de elementos de instalaciones y de servicios, se hace necesaria su integración dentro del sistema de planeación ya que muchos de estos sistemas se encuentran integrados funcionalmente. El grado de precisión y de equilibrio del Plan Maestro varía con la magnitud de las actividades para las que se proyecta.

Es necesario una planeación de instalaciones y servicios que se integren al de una forma eficiente para proporcionar un mayor grado de flexibilidad y posibilidades de expansiones.

La construcción sólo debe llevarse a cabo cuando la demanda y la economía lo justifiquen; una vez evaluadas las necesidades prioritarias y alternativas para ser realizadas y llevar a la práctica las mejoras descritas en el Plan Maestro.

El trazado general debe permitir la máxima eficiencia, por tanto se tienen que analizar todos los factores que afectarían, fomentarían y obstaculizarían el desarrollo y utilización del aeropuerto.

Las principales fases de construcción en términos materiales y económicos, así como los tiempos y las fechas que se prevean necesarias, estarán en base de la capacidad, el tamaño de aeronaves, pasajeros, mercancías, vehículos en tierra, instalaciones, servicios. En cada etapa de planeación, deben constatarse los motivos en que se fundamentaron cada una de las decisiones.

Las particularidades del sitio de construcción pueden requerir revisar las premisas y conclusiones de planeación y los proyectos.

Asimismo, los problemas constructivos pueden indicar la conveniencia de modificar las etapas de cada sistema, ampliando o reduciendo sus valores particulares.

De acuerdo a lo anterior, cabe mencionar algunos ejemplos ilustrativos. Con los objetivos de la planeación general del aeropuerto, los proyectos de construcción del edificio de pasajeros deberían limitarse a estudios conceptuales y diseños. Estos no deberían ser demasiado detallados, de modo que impidan hacer los ajustes que puedan surgir más adelante en una planeación más detallada. Dichos cambios suelen surgir a medida que un proyecto de construcción de un aeropuerto ha sobrepasado la etapa de la planeación general para entrar en la de proyecto definitivo y en la construcción.

Otro ejemplo es cuando los cambios de los sistemas de iluminación puede tener repercusiones en otros sectores, lo que se puede evitar tomando precauciones en la etapa inicial de construcción. En el caso de la capacidad de los ductos subterráneos; en donde su instalación debe ser antes de construir los pavimentos con una mayor capacidad que la necesaria durante su construcción inicial, de no ser así repercutiría en su costo, se cerraría la zona afectada y a no ser que se haga cuidadosamente, dará lugar a desperfectos en la superficie del pavimento. Otro ejemplo es cuando se decide dotar a una pista la aproximación de precisión de categoría II o III, resultará más económico y conveniente habilitar los ductos para dichas luces en la fase inicial de la construcción del pavimento.

En el establecimiento del programa de obra se deben obtener todos los datos necesarios para lo cual es indispensable un inspección ocular del emplazamiento y de la región. Es importante comprobar las dimensiones del emplazamiento antes de empezar una obra, esto sirve para evitar errores que pueden llegar a retrasar la obra.

Para poder administrar efectivamente un proyecto, existen diversas herramientas. Entre los principales métodos están la Ruta Crítica y el PERT (Evaluación de Programas y Técnicas de Revisión). La finalidad de estos métodos es organizar el trabajo de tal forma que no tome ni más tiempo ni más dinero de lo estrictamente necesario y al mismo tiempo coordinar todas las actividades. Los principales puntos a desarrollar están en función del tiempo, costo de los recursos utilizados o de combinación de estos a base de diagramas o red de actividades.

El método de ruta crítica se determina a base de diagramas y modelos de red que describan específica y únicamente las características del proyecto de construcción en consideración, especificando en detalle la validez de los tiempos y recursos.

Antes del trazo de una red se deben decidir los métodos de construcción sin dejar la flexibilidad; entre las ventajas más significativas de una red es que obliga a una representación completa y precisa de todas las actividades del proyecto desde su inicio hasta su terminación. El orden de las actividades y su relación de unas con otras constituye el plan de construcción.

Es importante recordar que un aeropuerto constituye un sistema y que todas sus partes consisten en subsistemas por lo que cada componente de la obra no es independiente para poder ejecutarse, deberán haberse llevado a cabo otras de las demás partes y de esta forma integrar el todo. Desde el punto de vista del funcionamiento, las partes aisladas carecen de utilidad y solamente cuando han sido debidamente incorporadas al sistema aeropuerto prestarán el servicio para el que fueron concebidas.

Una vez analizando las partes que en conjunto formarán el aeropuerto, se pueden determinar todas las actividades que se necesitan para realizar el proyecto, considerando el volumen de obra para estimar el tiempo de cada actividad basándose en los recursos con los que se cuenta o que tipo de método se utilizará.

Ejemplos que se pueden considerar con sus respectivas actividades:

- Construcción de terracerías y pavimentación del camino de acceso al aeropuerto y caminos de servicio.
- Terracerías, franjas de seguridad.
- Construcción e instalaciones de edificios de pasajeros, carga y rescate.
- Construcción del pavimento en pistas, plataformas y calles de rodaje.
- Ayudas visuales.
- Radioayudas
- Construcción de la torre de control.
- Construcción e instalaciones en zona de combustible.
- Equipamiento
- Alumbrado
- Cercado de linderos, etc.

Existen actividades que por su volumen de obra se pueden dividir en etapas, ya que al llevar un cierto porcentaje en algunas de esas actividades pueden iniciarse otras, como por ejemplo esta el edificio de pasajeros, carga, torre de control, etc.

En la concepción de un aeropuerto se inicia desde los estudios de factibilidad hasta la edición del proyecto ejecutivo, que consta de planos y especificaciones de construcción, donde se establecen claramente las características y requisitos de los diferentes conceptos de obra. Generalmente las instalaciones relacionadas con el proyecto y la construcción tienen sus especificaciones que por ser uniformes reciben el nombre de "*especificaciones generales*", estas tienen como objetivo establecer los aspectos técnicos generales legales de la construcción, y la contratación, así como de las relaciones con los contratistas.

Debido a que cada proyecto es distinto obliga a crear normas técnicas para cada obra de acuerdo a sus particularidades, conociéndose como "*Especificaciones particulares o complementarias*". Las especificaciones anteriores (generales y particulares) constituyen las "Especificaciones de construcción" en donde se fijan metas a lograr, los criterios y lineamientos generales para verificar las metas alcanzadas.

Es durante la etapa de construcción donde habrá que observar y analizar los resultados obtenidos al aplicar los procedimientos constructivos para garantizar que se cumplan las especificaciones de construcción y en su caso corregir los procesos constructivos o adecuar el proyecto a las realidades de la obra.

Con respecto a la forma de adjudicarse los contratos de construcción, es desde hace mucho tiempo a base de licitaciones

En todo proceso constructivo se debe tener un sentido de organización para llevar a cabo una serie de actividades ordenadas y sistematizadas. Las solicitudes de ofertas informan a todos los contratistas de las exigencias de las dependencias, dando de esta forma la misma oportunidad de adjudicación del contrato. Este tipo de solicitud va precedida de un estudio técnico detallado del proyecto, normas y especificaciones de construcción, el programa probable de ejecución y en su caso el programa mínimo de suministro. Todo ello con la finalidad de que el proyecto satisfaga las necesidades y exigencias de la dependencia o entidad. Terminada la evaluación de proposiciones el contrato se otorgará a quien cumpla con las condiciones técnicas y económicas, así como también garantice el cumplimiento de las obligaciones respectivas.

El contrato para los servicios de construcción es el documento formal firmado por el licitante favorecido y la entidad o dependencia en virtud de la cual el licitante se compromete a ejecutar los trabajos escritos en los documentos del contrato por los montos indicados en el formulario de la licitación.

Una vez fijados un inicio, terminación y un costo, se debe saber también con relación al tiempo, cuales son los elementos constitutivos del programa de ejecución, para así valorarlos y estar en condiciones de saber cuáles son los elementos más importantes durante su desarrollo.

## CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se habla del proceso de planeación, de las técnicas y procedimientos relacionados primordialmente con los problemas urbanos y de la evaluación de las alternativas que crean esos procesos.

Se analizaron, algunos de los aspectos más destacados que influyen en el problema aeroportuario, lo cual conlleva a una planeación inadecuada.

La sola existencia de la infraestructura no garantiza que la demanda se presente, por lo que no se satisface. Se ha analizado que se tiene que desarrollar un plan objetivo y la estrategia en el tiempo, para alcanzarlo. A este plan se le llama "plan maestro" y a su estrategia "desarrollo por etapas".

También, se observó, que la falta de capacidad de un sistema o subsistema es el reflejo de una estructura insuficiente de planeación y consecuentemente de decisiones de inversiones oportunas, provocando reducción del nivel de servicio, generalmente representado por la presencia inmediata de retrasos, los cuales generarán incremento entre costos e incomodidad y molestias.

Cualquier modo de transporte, necesita estar justificado, debido a la inversión que representa y dada la situación actual, los recursos deben orientarse y optimizarse de la mejor forma.

Las metas específicas de una adecuada planeación de un aeropuerto, debe incluir la capacidad de proporcionar suficiente cupo, disponibilidad inmediata, un tiempo mínimo de puerta a puerta, confiabilidad, comodidad razonable, conveniencia y efectos adversos mínimos en las áreas vecinas y en el medio ambiente, todo ello a un costo razonable. Dichas metas no siempre se logran pero no es una razón válida para dejar de esforzarse para alcanzarlas.



## BIBLIOGRAFIA

ANEXO 14, VOLUMEN I, AERODROMOS 1A ED. 1990, OACI.

MANUAL DE PLANIFICACION DE AEROPUERTOS, PARTE I, PLANIFICACION DE AEROPUERTOS, PARTE I, PLANIFICACION GENERAL, 2A ED. 1987, OACI.

MANUAL DE PROYECTO DE AERODROMOS PARTE 2, CALLES DE RODAJE, PLATAFORMAS Y APARTADEROS DE ESPERA, 2A. ED. 1983, OACI.

MANUAL DE PROYECTO DE AERODROMOS, PARTE 1, PISTAS 2A. EDICION 1984, OACI.

MANUAL DE PROYECTO DE AERODROMOS, PARTE 3, PAVIMENTOS 2A. EDICION, 1983, OACI.

MANUAL DE PROYECTO DE AERODROMO, PARTE 4, AYUDAS VISUALES, 2A. ED. 1983, OACI

ROBERT HORONJEFF, "PLANING AND DESING OF AIRPORTS", 3A. EDICION.

ASHFORD AND WRIGHT, "AIRPORT ENGINEERING" JOHN WILEY AND SONS, INC; WILEY, INTERSCIENCE PUBLICATION, THIRD EDITION, 1992.

INGENIERIA DE AEROPUERTOS. MODULO: PLANIFICACION. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. SUBSECRETARIA DE: INFRAESTRUCTURA, DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS / UNAM. FI. MEXICO, 1986.

INGENIERIA DE AEROPUERTOS. MODULO: PROYECTO. SCT. SUBSECRETARIA DE: INFRAESTRUCTURA, DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS / UNAM. FI. MEXICO, 1986.

SISTEMA ESTADISTICO AEROPORTUARIO, 1994, AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES.

APUNTES DE LA MATERIA, AEROPUERTOS.