

65  
229

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**EFFECTOS DE LOS ESTUDIOS DE PLANEACION EN  
UN PROYECTO AEROPORTUARIO**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A  
JORGE GUILLERMO MUSALEM RUBEN**

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-072/96

Señor  
**JORGE GUILLERMO MUSALEM RUBEN**  
Presente.

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**.

**"EFECTOS DE LOS ESTUDIOS DE PLANEACION EN UN PROYECTO  
AEROPORTUARIO"**

- INTRODUCCION**  
**I. PLANEACION**  
**II. PROYECTO**  
**III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 13 de mayo de 1996.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

MCS/GMP\*jbr

**"EFECTOS DE LOS ESTUDIOS DE  
PLANEACIÓN EN UN PROYECTO  
AEROPORTUARIO"**

A MI PADRE

*Gracias Pa, por haber sacrificado parte de tu carrera profesional por Erik y por mí, por siempre estar ahí, por ser mi consejero, mi amigo, mi soporte y sobre todas las cosas, gracias por haber hecho posible el estudiar una carrera universitaria.*

A MI MADRE

*Gracias Ma, por preocuparte siempre por todo lo que hago, por tratar de que todo esté en orden, por tu entusiasmo y entrega y sobre todo, por todo el cariño y el tiempo que nos has dedicado.*

A MI HERMANO

*Gracias Erik, por ser siempre auténtico y servirme de ejemplo, por ser un excelente apoyo, por tener tan buenos sentimientos y ser el mejor hermano de todos.*

*Gracias a todas las personas que siempre estuvieron cerca de mí brindándome su apoyo y amistad. Grace y Jordi, gracias por ser como dos hermanos más para mí. A mis amigos del Ciudad y del Fut. A Squadra. A mis amigos del Club. A los otros 14. A usted Carmen Reyes, por que con su ayuda fue posible estudiar en la mejor Facultad de Ingeniería y muy en especial al Ingeniero que hizo posible este trabajo, Ing. Federico Dovall Ramos.*

# **INDICE**

## **I. INTRODUCCIÓN**

## **II. PLANEACIÓN**

### **2.1. Análisis Socioeconómico de la región**

- 2.1.1. Características necesarias de la zona de desarrollo
  - 2.1.1.1. Tipo de Aeropuerto por las actividades económicas regionales.

### **2.2. Enlace con otros sistemas de transporte**

- 2.2.1. Vías de acceso
- 2.2.2. Áreas de desalojo

### **2.3. Plan Maestro**

- 2.3.1. Horizonte de planeación

### **2.4. Autosuficiencia del aeropuerto**

- 2.4.1. Formas de emprendimiento del proyecto
- 2.4.2. Ingresos y Egresos

### **2.5. Análisis Financiero del proyecto**

- 2.5.1. Ubicación del análisis financiero en la planeación.
- 2.5.2. Elementos del análisis financiero
- 2.5.3. Indicadores financieros
  - 2.5.3.1. Tasa interna de retorno, valor presente neto y período de recuperación de la inversión (TIR, VPN y PRI).

### **2.6. Opciones de financiamiento**

- 2.6.1. Aportación de Capital
  - 2.6.1.1. Créditos y capital propio

### **III. PROYECTO**

#### **3.1. Estudios Preliminares**

#### **3.2. Espacios Aéreos**

##### **3.2.1. Topografía**

##### **3.2.2. Meteorología**

###### **3.2.2.1. Hidrología**

###### **3.2.2.2. Anemometría**

##### **3.2.3. Geotecnia**

###### **3.2.3.1. Mecánica de Suelos y Geología del Sitio**

##### **3.2.4. Impacto Ambiental**

###### **3.2.4.1. Ruido e Impacto del Proyecto**

#### **3.3. Pistas, Calles de Rodaje y Plataformas**

##### **3.3.1. Dimensionamiento**

#### **3.4. Edificio**

##### **3.4.1. Distribución**

# **LINTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

Los constantes cambios que se viven en esta época en la economía mundial requieren de profesionales capaces de visualizar las diferentes oportunidades que se presentan en el terreno. En el caso de la Ingeniería Civil, se necesita de ingenieros que puedan analizar las opciones viables de un proyecto de infraestructura. Particularizando, en los proyectos de sistemas de transporte, se necesita llevar a cabo una planeación estratégica, no sólo para economizar todo el capital posible en su realización, sino para optimizar el proceso logístico que involucra movimientos<sup>1</sup>, distribución<sup>2</sup> y enlace con el exterior, para así hacer el sistema más eficiente y poder competir a cualquier nivel.

Los proyectos aeroportuarios representan una inversión considerable y por ello, se buscan fuentes de financiamiento diferentes y sistemas de concesión para poder obtener los ingresos necesarios para hacerlo autosuficiente. Desde el punto de vista de la ingeniería, estos proyectos son muy completos ya que involucran todas las ramas de la Ingeniería, como son:

- Estructuras y Mecánica de Suelos: para el análisis y diseño estructural de las edificaciones y sus cimentaciones. Estudios de mecánica de suelos para la construcción de las pistas, plataformas y calles de rodaje<sup>3</sup>. Diseño de pavimentos y obra civil en general, así como el mantenimiento mayor y menor.
- Hidráulica y Sanitaria: para el diseño de las instalaciones generales como son el abastecimiento de agua potable, alcantarillado, líneas de gas, etc.
- Sistemas y Edificación: para el diseño y construcción de sistemas de aire acondicionado, iluminación, comunicación. Mantenimiento mayor y menor.

Un aeropuerto es un conjunto de sistemas entrelazados para ligar dos sistemas de transporte, el aéreo con el terrestre (o viceversa), de tal manera que se produzca una secuencia de eventos, cuya finalidad se sintetiza en una simple oración: Ayudar a llegar a una persona de un lugar a otro.

---

<sup>1</sup> Se refiere a los movimientos internos del sistema como traslado hacia almacenes, áreas de entrega y recepción, etc.

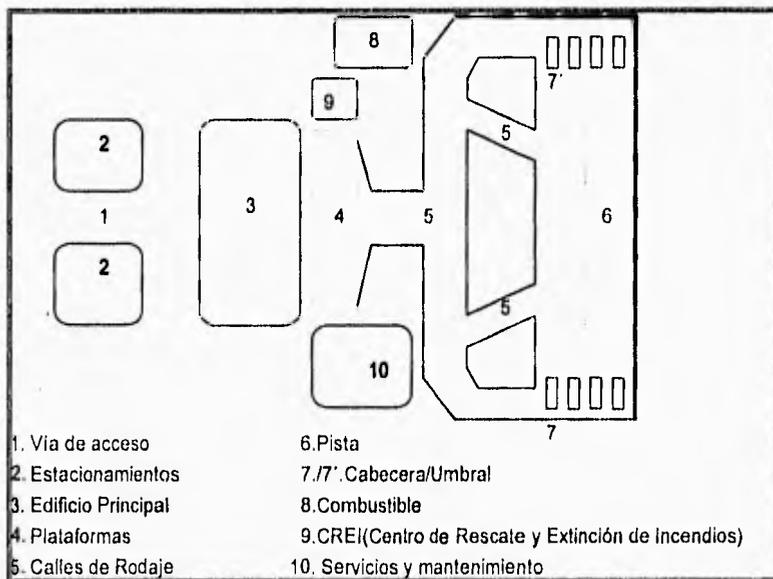
<sup>2</sup> Se refiere a la distribución arquitectónica de las diferentes áreas de servicio y operación

<sup>3</sup> Más adelante se ilustran los elementos que conforman un aeropuerto.

La capacidad del conjunto de sistemas que forman un aeropuerto no es la suma de las capacidades de cada sistema. No, la capacidad de un aeropuerto estará determinada por la menor capacidad de uno de los sistemas que lo forman.

Cuando se menciona la palabra capacidad se refiere a la posibilidad de atender una demanda, y esta capacidad se adquiere con 2 factores: inversión y operación. Entonces, el objetivo principal cuando se proyecta un aeropuerto es el de diseñar sistemas con la misma capacidad, para no tener una inversión ociosa. Para hacer una similitud con otro proyecto de infraestructura, sería un error construir un edificio de 20 pisos con un solo elevador para 5 personas.

Los elementos que conforman un proyecto aeroportuario son los siguientes:



De esta forma, se analizarán cada uno de los sistemas que conforman un aeropuerto para lograr el objetivo de este trabajo, que es el de analizar los efectos que tiene la planeación estratégica en el desarrollo y operación de un proyecto de esta magnitud.

## II. PLANEACIÓN

# **PLANEACIÓN**

## **2.1. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA REGIÓN**

### **2.1.1. Características necesarias de la zona de desarrollo**

Para la realización de cualquier tipo de proyecto de transporte, debe existir, antes que nada, la necesidad de una comunidad de transportarse de un lugar a otro, ya sea con fines recreativos o de intercambio económico (debemos determinar las relaciones entre comunidades). En otras palabras, debe existir una demanda.

Los aspectos fundamentales de los estudios socioeconómicos son:

- \*Nivel socioeconómico de la población
- \*Nivel de competencia con otros medios de transporte en la región (viajes locales)
- \*Suministro de servicios y análisis de los existentes: Agua, Electricidad, Telecomunicaciones.

Los casos generales de tipo de proyecto aeroportuario que se pueden desarrollar son los siguientes:

- Construir un aeropuerto donde no lo hay
- Ampliar un aeropuerto existente
- Construir y cancelar el existente
- Construir sin cancelar el existente

De tal manera, y enfocándonos al transporte aéreo, la región en donde se puede ubicar un aeropuerto necesita presentar una demanda de este servicio, provocada por la actividad económica existente de esta región, para la cual se tiene que proyectar un tipo de aeropuerto en particular.

#### **2.1.1.1. Tipo de aeropuerto por actividad económica**

Los tipos de aeropuertos existentes de acuerdo a la actividad económica pueden ser:

### -Turístico:

Este tipo de aeropuertos tienen una importancia económica, ya que el 70% del turismo mundial se mueve por transporte aéreo. En términos generales, son receptores de pasaje y debido al potencial de demanda, están ligados a la oferta de servicios turísticos, es decir, mientras más hoteles, atracciones y sitios de interés tenga la terminal turística, mayor demanda existirá.

El número de maletas por pasajero es menor a 3, ya que los tiempos de estancia son los más largos a comparación de los demás tipos de aeropuertos (Las promociones turísticas ofrecen comúnmente paquetes de 3, 4 ó 7 días). La tasa de crecimiento es del 10% y la relación de pasajeros-visitantes es baja<sup>4</sup>. Ejemplo típico de aeropuertos turísticos son Cancún y Acapulco.

### - De Negocios Industriales y agropecuarios:

Este tipo de aeropuertos son receptores y generadores de pasaje. Generalmente el pasajero arriva por la mañana y regresa por la noche del mismo día, ya que las actividades a realizar no le llevarán más tiempo. Por consiguiente, el número de maletas por pasajero es menor a 1. La relación visitante-pasajero es media, ya que en el ambiente de negocios suele haber alguien esperando al pasajero para trasladarlo a su destino terrestre. La tasa de crecimiento es del 5 al 8%. Un ejemplo típico de este tipo de aeropuerto es Monterrey.

### - De Integración:

Este tipo de aeropuertos tienen una importancia política, ya que el gobierno necesita "integrar" o incorporar a todas las comunidades del país a las actividades económicas, sociales y culturales del país, por medio de un sistema de transporte. Dentro de toda la red de aeropuertos de un país, los de integración son los que poseen, como proyecto, un índice de rentabilidad menor, ya que su fin principal no es el económico sino el político. La tasa de crecimiento generalmente es del 2%.

Cabe mencionar que dependiendo del tipo de actividad económica de la zona y de la superficie en donde se desarrollará el proyecto, se elegirán características de diseño del aeropuerto y su operación:

---

<sup>4</sup> Usualmente nadie recoge a los pasajeros ni los va a dejar, usan transporte local

1. Avión de diseño (DC-9, DC-10, B727, B747, etc)
2. Características del edificio<sup>5</sup> (Distribución, número de niveles, etc)
3. Demanda por rutas

Podemos mencionar algunos de los estudios que se realizan para determinar las características anteriores, como son el análisis de las llamadas telefónicas y el estudio de la demanda del transporte terrestre entre comunidades.

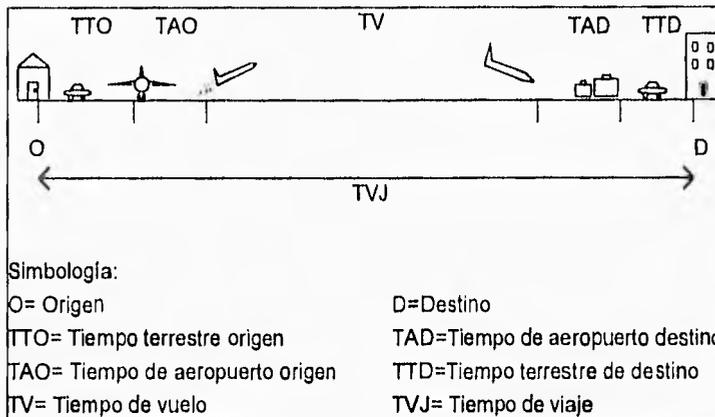
De tal forma, los estudios de tipo socioeconómico que se realizan para determinar el tipo de población, las relaciones que existen entre comunidades y el tipo de proyecto a desarrollar son de suma importancia, ya que nos aportan elementos muy valiosos para fijar la proyección de la demanda.

---

<sup>5</sup> notando que siempre se deberá cumplir con los mínimos por especificación.

## 2.2.ENLACE CON OTROS SISTEMAS DE TRANSPORTE

Un aspecto importante a considerar es el de las vías de acceso al aeropuerto, como carreteras o caminos, para así llevar a cabo el enlace entre los dos sistemas de transporte (aéreo y terrestre). Para obtener el tiempo de viaje total se tendrá que tomar muy en cuenta el tiempo puerta-aeropuerto. (Ver figura)



También hay que poner atención en las salidas y entradas al aeropuerto, estacionamientos, áreas para transporte público, etc. Cabe enfatizar que las características de ambas obras de infraestructura están directamente ligadas con las dimensiones que alcanzará el aeropuerto en su horizonte de planeación (se hablará de este tema más adelante).

### **2.2.1.Vías de Acceso:**

Usualmente se trata de caminos pavimentados, de preferencia que pasen por todo el frente del edificio principal del aeropuerto. Habrá que tomar en cuenta el dejar espacios destinados tanto a la ampliación del edificio como del propio camino, ya que al ir aumentando la demanda de transporte, el edificio y el camino tendrán que aumentar su capacidad. Se puede presentar el caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, donde hay varias formas de llegar a él, pero en el acceso inmediato a los edificios, en horas pico, se presenta un congestionamiento de automóviles, repercutiendo directamente en el tiempo de viaje. Por ejemplo, por eso no se hacen vuelos México-Cuernavaca (Ver figura parte superior).

### **2.2.2. Áreas de Acceso y Desalojo:**

Para evitar aglomeraciones dentro del edificio se tendrán que separar las áreas de salidas y llegadas de vuelos. El edificio principal se divide en dos zonas principales: la zona pública y la zona de sólo pasajeros. Se toma en cuenta que en el área pública se utiliza más tiempo de estancia cuando el pasajero sale de viaje, ya que se tienen que efectuar los trámites de mostrador, principalmente. Por el contrario, cuando se llega de viaje, se utiliza más tiempo el área de sólo pasajeros, ya que se espera el equipaje y se pasa por aduanas en caso de ser un vuelo internacional.

Por tal motivo, también se separan las zonas de salida y llegada de pasajeros. En las zonas de llegada, suelen ubicarse servicios como el de información y transporte público terrestre para trasladar al pasajero que arribó a su destino final. En las zonas de salida suelen ubicarse restaurantes, bares y tiendas de servicios para el pasajero que espera abordar su vuelo.

Así, observamos que el dimensionamiento de la infraestructura necesaria para tener acceso al aeropuerto, como la distribución interna de éste, son importantes para que el proyecto funcione de la manera más eficiente para enlazar dos sistemas de transporte.

### **2.3. PLAN MAESTRO**

El objetivo fundamental de la planeación es el de determinar si el aeropuerto se justifica<sup>6</sup> y cuáles deben ser sus dimensiones. Pero antes de construir una infraestructura de esta magnitud se necesita estudiar la demanda de transporte aéreo existente. Esto queda plasmado en un documento por definir llamado Plan Maestro. Para esto, hay que determinar las relaciones entre las comunidades involucradas y si el medio de transporte tiene cabida en las necesidades. La manera de determinar esto depende de la necesidad del intercambio de servicios entre comunidades (que origina el transporte). El transporte aéreo proporciona una mayor velocidad, que cuesta.

Si se cumplen estas condiciones, entonces se necesita la infraestructura; una parte es el aeropuerto y la otra es el CTA y las radioayudas<sup>7</sup>.

Veamos la siguiente tabla que ilustra el transporte dominante en función de la distancia por recorrer, en términos generales, si es que se presentan condiciones adecuadas<sup>8</sup>:

<b>Distancia (km)</b>	<b>Transporte dominante</b>
0-200	Terrestre
200-1000	El terrestre se complementa con el aéreo
1000-en adelante	Aéreo

Esto se debe a que en distancias largas, el tiempo de vuelo representa la mayoría del tiempo de viaje (Ver gráfica pág.11).

#### **2.3.1. Horizonte de planeación:**

El Plan Maestro es la forma y tamaño que, con los conocimientos actuales, tendrá el aeropuerto al final del horizonte de planeación, que es la fecha para la cual se proyecta. En otras palabras, es el documento en donde se determinan los alcances del aeropuerto.

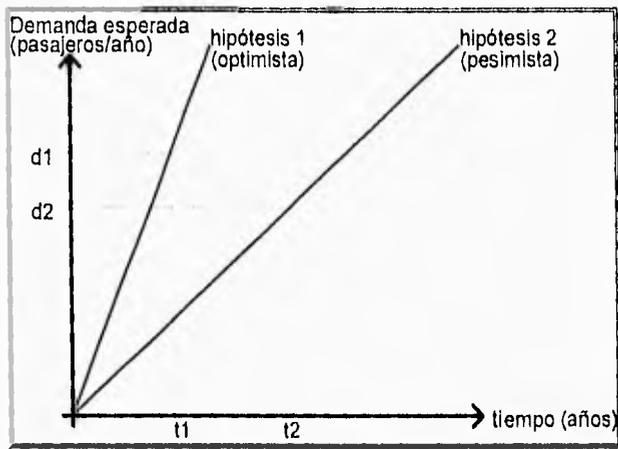
<sup>6</sup> Se refiere a si debe ser construido o no, muchas veces enfocándose a si es económicamente viable

<sup>7</sup> CTA=Control de tránsito aéreo. Las radioayudas son instrumentos colocados sobre la traza que sigue la aerovía para auxiliar a los aviones a mantener su rumbo

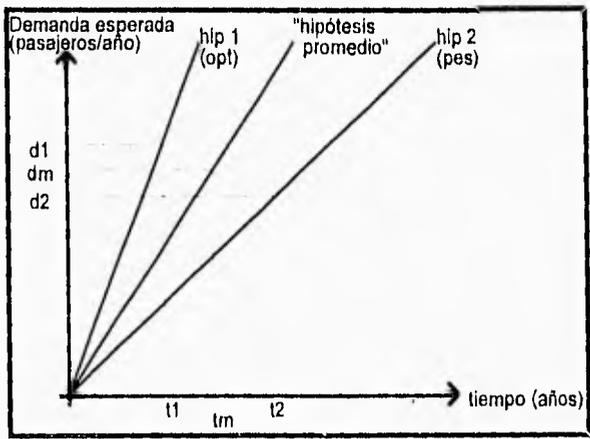
<sup>8</sup> Por ejemplo, puede que dos comunidades estén muy cerca una de otra, pero que estén divididas por un barranco ( el tiempo de vuelo sería muy corto, mientras que el terrestre sería muy largo)

Esto implica suponer cómo se comportará la demanda en el futuro. La estructura de la demanda, por lo tanto, habrá que fijarla respecto al tiempo, y en base a eso, pronosticar con variables que se pueden presentar o no en el futuro.

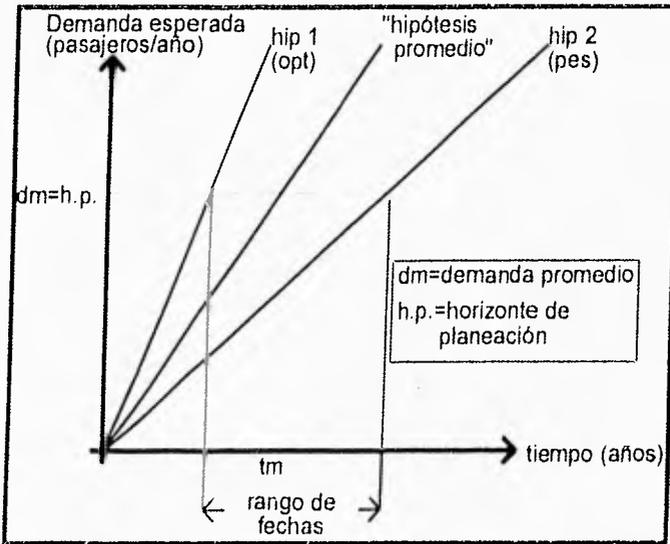
Se plantean dos hipótesis de demanda esperada, una optimista y otra pesimista. En la primera, para un tiempo 1 se tendrá una demanda 1 (hipótesis optimista). Igualmente, para la segunda se tendrá para un tiempo 2 una demanda 2 (menor que la demanda 1) (hipótesis pesimista).



La diferencia entre las dos demandas crea una banda de desconianza; si se hace una media entre las dos hipótesis se tendrá lo siguiente:



Se tiene una demanda media a un tiempo dado (medio). El horizonte de planeación es la demanda media esperada, y se tendrá que alcanzar en el rango de fechas formado por la intersección del horizonte y las dos hipótesis iniciales. Por ejemplo, si el horizonte de planeación es de 10'000,000 de pasajeros para el año 2005, se podrá llegar a él entre 2004 (optimista) y 2006 (pesimista). Por lo tanto, un aeropuerto se proyecta para una demanda dada<sup>9</sup>



Entonces, el aplicar el plan maestro (que es un objetivo)<sup>10</sup> implica un desarrollo por etapas, con el fin de aumentar la capacidad para atender a la demanda; esta capacidad se alcanza mediante 2 factores:

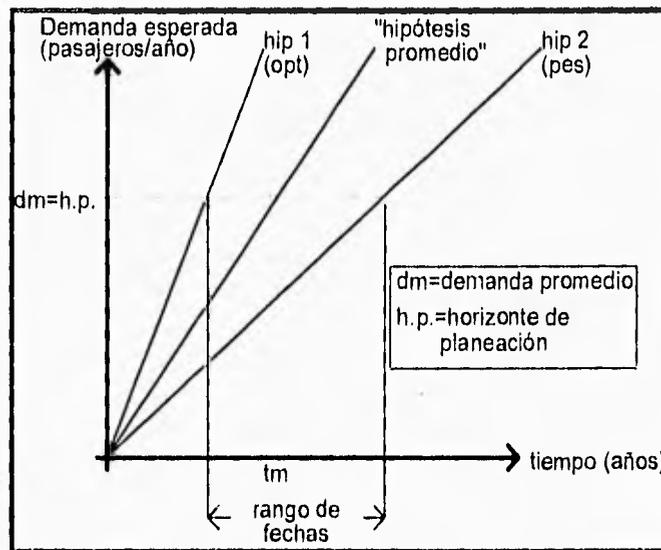
1. Inversión
2. Procedimientos administrativos y operacionales

Observemos los posibles comportamientos de la hipótesis promedio y los efectos que producen la presencia o carencia de estos dos últimos factores, en el desarrollo por etapas:

<sup>9</sup> generalmente expresada en No. de pasajeros/año.

<sup>10</sup> Nuevamente, el plan maestro es el tamaño que tendrá el aeropuerto al final del horizonte de planeación.

Se tiene una demanda media a un tiempo dado (medio). El horizonte de planeación es la demanda media esperada, y se tendrá que alcanzar en el rango de fechas formado por la intersección del horizonte y las dos hipótesis iniciales. Por ejemplo, si el horizonte de planeación es de 10'000,000 de pasajeros para el año 2005, se podrá llegar a él entre 2004 (optimista) y 2006 (pesimista). Por lo tanto, un aeropuerto se proyecta para una demanda dada<sup>9</sup>.



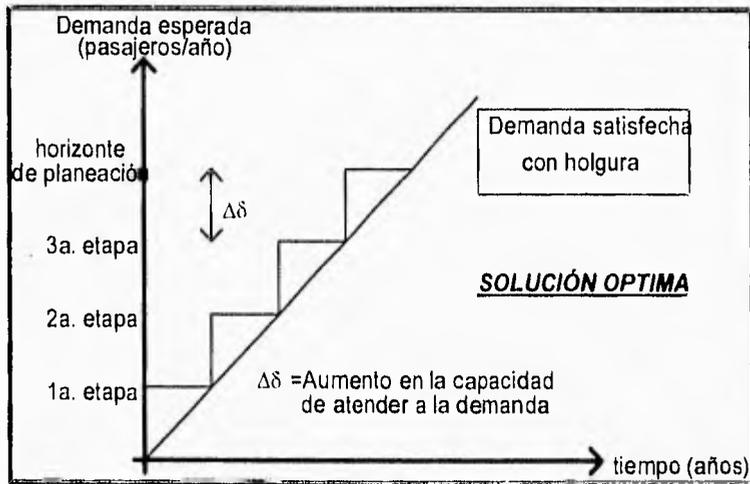
Entonces, el aplicar el plan maestro (que es un objetivo)<sup>10</sup> implica un desarrollo por etapas, con el fin de aumentar la capacidad para atender a la demanda; esta capacidad se alcanza mediante 2 factores:

1. Inversión
2. Procedimientos administrativos y operacionales

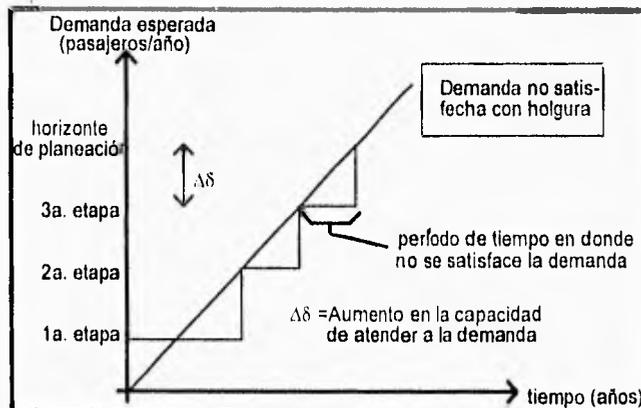
Observemos los posibles comportamientos de la hipótesis promedio y los efectos que producen la presencia o carencia de estos dos últimos factores, en el desarrollo por etapas:

<sup>9</sup> generalmente expresada en No. de pasajeros /año.

<sup>10</sup> Nuevamente, el plan maestro es el tamaño que tendrá el aeropuerto al final del horizonte de planeación.

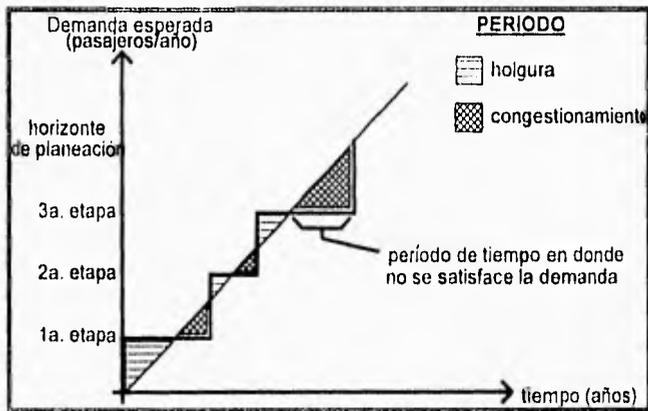


Un poco antes de llegar a la demanda prevista en el tiempo preestablecido, se inyecta capital y se amplía la infraestructura necesaria. Esto se traduce en un aumento en la capacidad para atender a la demanda, y así siempre la capacidad estará por encima de la demanda esperada.

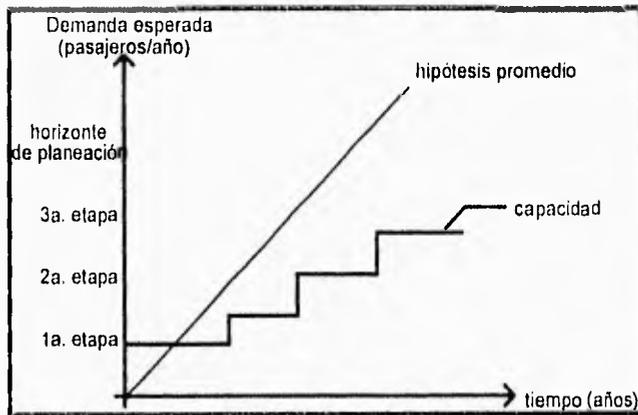


El retraso en la inversión para aumentar la capacidad ocasiona que la demanda esperada siempre esté por arriba de la capacidad ofrecida. Sólo en los instantes cuando se concluyen los trabajos de ampliación, la demanda será satisfecha, pero como la demanda sigue avanzando respecto al tiempo, la capacidad volverá a ser insuficiente. La forma de solucionar este problema es aportar la inversión y los procedimientos de dos etapas en una sola, para que así la capacidad vuelva a ser mayor a la demanda. Esto ocasiona dos problemas:

1. Se presentarán etapas de congestionamiento y holgura
2. El análisis financiero realizado para la solución óptima cambiará, debido a que se aplican recursos financieros en diferente tiempo del establecido<sup>11</sup>.



Por último, el peor de los casos es cuando la capacidad siempre es menor a la demanda esperada debido a la aplicación de montos insuficientes o de procedimientos operativos deficientes.

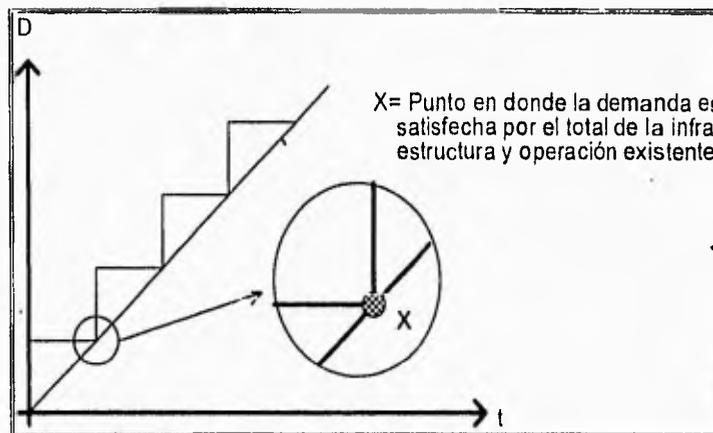


<sup>11</sup> más adelante se profundiza más sobre el análisis financiero del proyecto.

La falta de capacidad reflejada en el congestionamiento ocasiona retrasos y/o incomodidades para el usuario, que se traducen en pérdidas económicas. Cuando estas pérdidas (costo de falta de capacidad) son superiores al costo de tener capacidad, la inversión se justifica.

Estudieemos más a fondo la solución óptima anterior:

Se mencionó que se debe ampliar la infraestructura necesaria "un poco antes" de llegar a la demanda prevista en el tiempo preestablecido. La pregunta entonces es ¿cuánto es un poco antes? Para contestarla, veamos el siguiente punto de la gráfica Demanda vs. tiempo:



El ampliar la capacidad implica una etapa de estudios, un proyecto y una construcción, por lo que ese "poco antes" será el tiempo necesario para realizar un proyecto de ampliación y mejoras operativas, así como para realizar las modificaciones constructivas correspondientes. El instante en donde la demanda es satisfecha por el total de la infraestructura y operación existente debe coincidir con la puesta en marcha de las nuevas áreas y/o procedimientos operativos.

Conforme se va presentando la demanda, se va corrigiendo la hipótesis media inicial en la cual se basó el desarrollo por etapas, para así poder tener una aproximación más real de cómo se presentará el fenómeno. Después de un período razonable de operación (digamos unos 5 años), se puede ajustar toda la secuencia de demandas a una sola, para así afinar más el pronóstico.

Para poder cumplir con el horizonte de planeación<sup>12</sup>, la única manera de proteger el proyecto aeroportuario es cercar los terrenos de reserva destinados a la expansión.

Cabe mencionar que cuando se está en la última fase del desarrollo por etapas del Plan Maestro, es decir, antes de llegar al horizonte de planeación, se debe tener un proyecto alternativo que contempla tres de las posibilidades ya mencionadas:

1. Construir un nuevo aeropuerto y cancelar el existente ó
2. Construir un nuevo aeropuerto sin cancelar el existente.
3. Ampliar el aeropuerto existente

Observamos que para plantear el Plan Maestro es fundamental conocer la realidad económica del país y de la zona en donde se construirá el aeropuerto, para que el desarrollo por etapas de este plan pueda ser ejecutado con la flexibilidad que implica la incertidumbre relativa de las hipótesis y no hagan falta los factores para alcanzar la capacidad<sup>13</sup>.

En otras palabras, es indispensable para el buen funcionamiento de un aeropuerto, una hipótesis que esté dentro de las posibilidades de crecimiento de la zona de desarrollo.

Entonces, llegamos a la conclusión de que ningún aeropuerto es exportable, cada uno es solución particular de la zona en donde se construirá.

Por ello, es conveniente mencionar los procedimientos que se siguen para hacer estimaciones y plantear una hipótesis. Algunos de ellos son:

1. Procedimiento mecánico
2. Procedimientos analíticos.

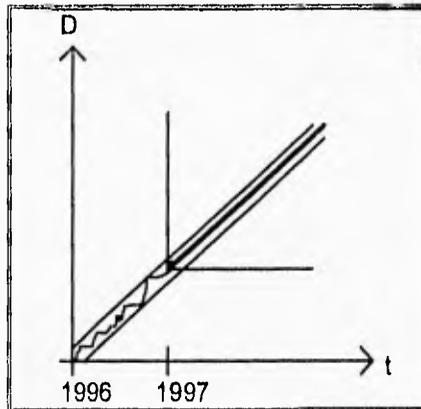
El procedimiento mecánico toma como principio que el futuro es consecuencia del pasado. Al tener una curva estadística de datos reales, se obtiene un pronóstico correlacionando los datos y ajustando una recta a la curva.

Este procedimiento se utiliza después de que el aeropuerto se pone en marcha (y se tienen datos de su comportamiento), como se ve en la figura siguiente:

---

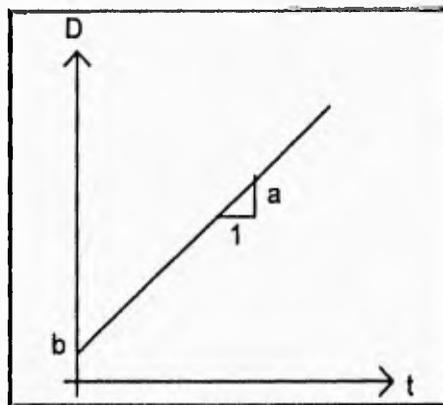
<sup>12</sup> Usualmente, se plantean horizontes de planeación de hasta 50 años

<sup>13</sup> Inversión y procedimientos administrativos y operativos.



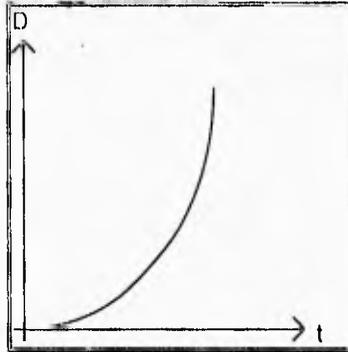
Los procedimientos analíticos se pueden auxiliar de varios factores que relacionan a 2 comunidades, como llamadas telefónicas, zonas generadoras, centros de negocios, etc., pero fundamentalmente se apoyan en tres patrones de comportamiento:

I. Patrón lineal: permite hacer aproximaciones sencillas, ya que es una relación constante (línea recta). Se utiliza a corto plazo (3 a 5 años):



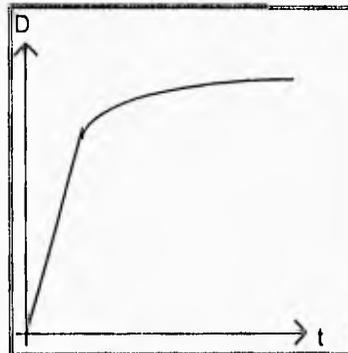
$$D = at + b$$

II. Patrón exponencial: representa un crecimiento constante en porcentaje y se utiliza a mediano plazo (10 a 20 años), ya que presenta como defecto que a largo plazo su crecimiento es infinito:



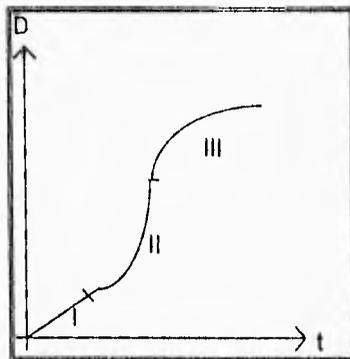
$$D = ba^t$$

III. Patrón asintótico: implica el crecimiento sostenido hasta cierto nivel, a partir del cual, el régimen de crecimiento tiene una disminución gradual; por ello se utiliza a largo plazo:



$$D = kb^{at}$$

Como cada patrón es útil para un período de tiempo determinado, se hace una combinación de los tres, dando como resultado una curva parecida a la campana de Gauss<sup>14</sup> en su rama ascendente, implicando entonces un crecimiento de la demanda siguiendo una distribución normal.



$$D = f(t)$$

Los parámetros a, b y k de las ecuaciones en los patrones son delimitados por el tipo de actividad económica, en función del nivel de desarrollo de la región. A continuación se muestra una tabla con la tasa de crecimiento de los diferentes tipos de aeropuerto:

<b>Tipo de Aeropuerto</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
Turístico	10%
Negocios Industriales	8%
Negocios agropecuarios	4-6%
Integración	2%

Hasta el momento sólo se ha relacionado a la demanda con el número de pasajeros por año, pero eso sólo arroja la capacidad de un subsistema dentro del aeropuerto pero en realidad, las demandas a calcular para diseñar los demás subsistemas son muchas más. Las demandas a calcular son en términos generales:

<sup>14</sup> curva característica de la distribución normal

**1. Número de pasajeros<sup>15</sup> : (Nacionales e internacionales)**

- i) De salida
- ii) De llegada
- iii) En tránsito

**2. Número y tipo de Cia. de aviación:**

- i) Flota de aviones
  - a) Comercial
  - b) Privada
  - c) Oficial

**3. Número de operaciones<sup>14</sup>:**

- i) Despegues
- ii) Aterrizajes
- iii) Adiestramientos
- iv) Sobrevuelos

**4. Transporte terrestre:**

- i) Automóviles
  - a) particulares
  - b) renta
- ii) Metro
- iii) Autobuses
- iv) Taxis
- v) Trenes

**5. Número de empleados:**

- i) Compañías de aviación
- ii) Concesiones

**6. Número y tipo de posiciones simultáneas en plataforma.**

**7. Número de maletas por pasajero**

**8. Número de visitantes**

---

<sup>15</sup> El cálculo de la demanda para el número de pasajeros y el número de operaciones se debe de calcular anual, mensual, semanal, diario y horario.

Todo esto nos lleva a concluir que la parte fundamental de la etapa de planeación de un proyecto de estas características es el planteamiento de los alcances del aeropuerto, entendiéndose por ello, la capacidad que tendrá al final del horizonte de planeación.

No obstante, es necesario mencionar que se tiene que seguir el proceso de expansión de la demanda (o contracción si es el caso) para que se vayan realizando los ajustes pertinentes al pronóstico de la demanda, con el objeto de que la demanda esté siempre satisfecha con holgura.

## **2.4. AUTOSUFICIENCIA DEL AEROPUERTO**

### **2.4.1. Formas de emprendimiento del proyecto:**

Dejando a un lado a los factores políticos o sociales por los cuales un aeropuerto es justificable, como pueden ser la integración territorial o satisfacer una demanda de transporte, un aeropuerto es un proyecto muy atractivo desde el punto de vista de la rentabilidad, en donde se pueden obtener los ingresos suficientes para que financieramente hablando arroje un superávit de operación y una TIR favorable<sup>16</sup>.

Por ello, a últimas fechas, este tipo de proyectos de infraestructura de gran magnitud ha buscado mecanismos para poder ser autosuficientes económicamente, ya que los costos de explotación se han incrementado de manera considerable, mientras que las tarifas que se pueden cobrar tanto a los pasajeros como a las compañías de aviación no se han incrementado de la misma forma. Estos mecanismos se refieren principalmente a la forma de emprendimiento de los proyectos y pueden ser por ejemplo:

- BOT (Build, Operate, and Transfere) ☒ Sistema de concesión
- Key Turn ☒ Proyecto Llave en mano
- BLT (Build, Leasing, and Transfere) ☒ Sistema de arrendamiento

Los primeros dos son sistemas de concesión en donde después de una licitación, el ganador de ésta construye y opera el proyecto por un periodo de tiempo que se especifica en su oferta; después de esto, el proyecto pasa a manos del dueño de la tierra (usualmente el gobierno). Estas concesiones se otorgan principalmente por dos factores: la cotización más económica y el tiempo de devolución de la infraestructura.

### **2.4.2. Ingresos y egresos:**

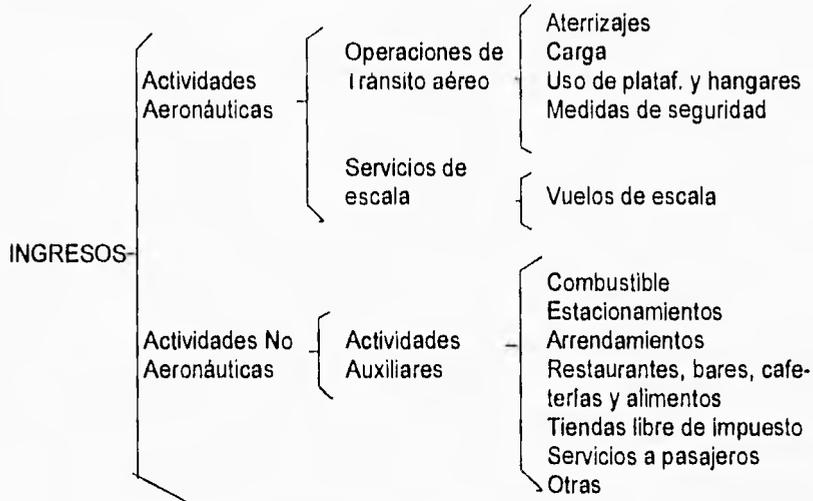
Hablando de las formas en las que el aeropuerto puede ser autosuficiente internamente, es decir, cómo puede obtener ingresos que solventen sus gastos, podemos decir lo siguiente: los ingresos obtenidos en un aeropuerto se pueden dividir en dos ramas:

1. Los que provienen de actividades directamente ligadas con procedimientos aeronáuticos y,
2. Los que provienen de actividades relacionados con aspectos no aeronáuticos.

---

<sup>16</sup> Más adelante se profundiza sobre la TIR.

Veamos el siguiente cuadro que contiene las actividades por las cuales se obtienen los ingresos de un aeropuerto en términos generales:



Analicemos más a detalle el concepto de estos ingresos; con referencia a las actividades aeronáuticas tenemos:

**Operaciones de tránsito aéreo:**

- **Derechos de aterrizaje:** Esta partida comprende los derechos percibidos en concepto de utilización de las pistas, calles de rodaje y plataformas, incluyendo la iluminación correspondiente, así como el suministro de control de aproximación<sup>17</sup> y de aeródromo.
- **Derechos de carga:** Incluye los derechos de carga por el uso de instalaciones y zonas del aeropuerto destinados a la tramitación del despacho de carga.
- **Derechos de estacionamiento y hangar:** Derechos recaudados por los explotadores de aeronaves por el estacionamiento de las mismas (cuando no estén incluidos en los derechos de aterrizaje) y por guarecerlas en hangares

<sup>17</sup> En el capítulo siguiente se indican los diferentes controles para las operaciones.

propiedad del aeropuerto, incluyendo cualquier ingreso por arrendamiento de hangares y derechos de remolque.

- Derechos en concepto de medidas de seguridad: Esta partida incluye derechos y gravámenes recaudados por el aeropuerto por la prestación de servicios de seguridad para protección de los pasajeros y otras personas en el aeropuerto, las aeronaves y otros bienes.

*Derechos por servicios de escala:*

- Derechos por vuelos de escala: Son aquellos recaudados por los explotadores de aeronaves por el uso de las instalaciones como pistas y plataformas. Los servicios facilitados por el aeropuerto para atender a las aeronaves pueden ser o no particulares; usualmente, los servicios de escala están a cargo de una o más líneas aéreas.

En cuanto a los actividades no relacionadas con la aeronáutica tenemos:

*Actividades auxiliares:*

- (2) Concesiones de combustible y lubricantes de aviación: Se refieren a los gravámenes de las concesiones en concepto de servicio de suministro de combustible, pagados por las compañías petroleras u otras entidades por el derecho de vender combustible y lubricantes dentro del aeropuerto.
- (2) Restaurantes, bares, cafeterías y servicios de provisión de alimentos: Esto incluye gravámenes y derechos que les corresponde pagar a las empresas comerciales o a otras entidades por el derecho de explotar estos negocios, incluyendo los servicios de provisión de alimentos a las aeronaves.
- (2) Tiendas libres de impuestos: Se refiere también a los gravámenes y derechos que deben pagar las empresas comerciales que tienen este tipo de negocio.
- (2) Estacionamiento de automóviles: Por la explotación de instalaciones de estacionamiento dentro del aeropuerto.
- (2) Arrendamientos: Se refiere a los derechos que pagan los establecimientos comerciales y otras entidades por el uso de locales, terrenos o equipos propiedad del aeropuerto; se incluyen los pagados por el uso de locales e instalaciones de compañías de aviación como mostradores de presentación y

establecimientos dentro del aeropuerto poseen una ventaja comercial llamada clientela perpetua.

1) Derechos por servicios a pasajeros: Incluye derechos por servicios a los pasajeros en concepto de la utilización de la terminal de pasajeros y de otras instalaciones para la tramitación del despacho de pasajeros (embarques y desembarques).

2) Otras: Incluyen lo que les corresponde pagar a las empresas comerciales que venden productos y servicios como alquiler de automóviles, casas de cambio y bancos, así como cualquier derecho de admisión al público cobrado por la entrada a áreas de especial interés como visitas guiadas, exposiciones, etc.

Estos ingresos obtenidos por las diferentes actividades no deben ser sólo para solventar los gastos que se tienen, deben ser mayores para que a lo largo del tiempo se recupere la inversión inicial y además se obtenga una utilidad, aunque esto no siempre sucede por las diferentes razones por las cuales también puede ser construido el proyecto. Cabe mencionar que rara vez un aeropuerto se hará con fines lucrativos. Su justificación siempre será otra y se busca que sea autosuficiente.

Hablando de los gastos que se tienen que solventar, es conveniente establecer un sistema de contabilidad basado en gastos por partida, que deben contener las cuentas individuales que se presentan en este tipo de proyectos. Algunos de estos gastos pueden ser, por ejemplo:



Analicemos de igual forma los gastos que se tienen más a fondo:

#### *Gastos de explotación y mantenimiento:*

- **Costos relativos al personal:** Esta partida incluye las remuneraciones directas al personal de operaciones y mantenimiento, así como los gastos de seguridad social y seguro médico, pensiones, remuneraciones en especie (alojamiento y alimentación), capacitación y otros relacionados con el perfeccionamiento de los empleados.
- **Suministros:** Esta partida incluye los costos de repuestos, materiales fungibles y suministro de energía, incluyendo combustibles y electricidad, que el aeropuerto mismo incorpora y utiliza en explotar y mantener instalaciones y servicios. También se incluyen mobiliario, accesorios, herramientas y equipos durables tales como vehículos y maquinaria, cuando no se consideran como activo depreciable, así como los costos de calefacción, aire acondicionado, iluminación, agua, sanidad y materiales de oficina. Así mismo deben incluirse aquí los costos de los ensayos para la verificación de las radioayudas para la navegación y los radares utilizados en funciones aeroportuarias.
- **Servicios contratados:** Esto se refiere a las sumas que se pagan a terceros para el suministro de instalaciones y servicios, incluyendo los arrendamientos pagados por locales y el equipo utilizado para fines operacionales o de mantenimiento: reparación, verificación y ensayo de equipo; así mismo todo pago correspondiente a funciones tales como control de tránsito aéreo, información meteorológica y provisión de servicios de seguridad, los cuales deberían identificarse por separado en las cuentas.

#### *Gastos generales de administración:*

Estos gastos se refieren principalmente a las sumas pagadas al personal encargado de funciones meramente administrativas, incluyendo las de planificación técnica y operacional, administrativos y otros, así como los gastos de explotación y mantenimiento de los locales y equipo utilizado con fines administrativos o comunes, como oficinas, computadoras, proyectores, pizarrones, etc.

#### *Gastos de Capital:*

- **Depreciación y amortización:** Es el monto de la disminución del valor del activo del aeropuerto durante el año, debido al deterioro físico, a la obsolescencia y a

otros factores que limitan su vida útil. También deben incluirse las sumas correspondientes a los activos intangibles amortizados en libros.

- Intereses: Esto se refiere a los intereses relativos a préstamos correspondientes al ejercicio financiero, que se hayan abonado o no.
  
- Impuestos y otros pagos similares a los gobiernos: se refiere a los derechos que debe pagar el aeropuerto al gobierno del país donde se encuentre, como el impuesto sobre la propiedad y la renta.

*Otros gastos:*

Es conveniente crear una clasificación de cuentas subsidiarias agrupando costos que se tienen por actividad realizada o servicio prestado; Generalmente, todos estos gastos se refieren a los gastos de explotación y mantenimiento de estas áreas y servicios; algunos de estos pueden ser:

- Áreas de movimiento de aeronaves (pistas, calles de rodaje, plataformas)
- Instalaciones terminales de pasajeros y de carga
- Áreas de hangar y mantenimiento
- Servicios de extinción de incendios y ambulancia
- Control de tránsito aéreo y servicios meteorológicos

Todos estos conceptos no son más que una base general de los elementos que se deben tomar en cuenta para saber a dónde se va destinar la inversión y de dónde se intentará recuperarla. Es importante mencionar que los conceptos analizados se plasman en el análisis financiero.

## 2.5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO:

### *2.5.1. Ubicación del análisis financiero en la planeación*

En general, un proyecto de Ingeniería se lleva a cabo en cuatro etapas: Planeación, diseño, construcción, y operación y mantenimiento. Cada una de estas etapas tiene una importancia en particular; por ejemplo, en la construcción se destina cerca del 90% del total de la inversión inicial, mientras que en la planeación se toman las decisiones más importantes financieramente hablando y no se destina tanto capital. Cabe mencionar que la importancia en la toma de decisiones es inversa a la importancia de montos en la inversión. Para observar mejor esto, veamos la siguiente tabla:

<b>FASE</b>	<b>Planeación</b>	<b>Diseño</b>	<b>Construcción</b>	<b>Operación y mantenimiento</b>
<b>DECISIONES</b>	Trascendentes	Importantes	Progresivas	Rutinarias
<b>ETAPAS</b>	~De gran visión ~Anteproyecto ~Factibilidad	~Prediseño ~Proyecto definitivo	~Cimentación/ Terracerías ~Superestructura ~Instalaciones y acabados	~Puesta en marcha ~Revisión y mantenimiento periódico
<b>Monto Destinado</b>	±5 %	±8 %	±80 %	±7% <sup>18</sup>

La etapa de planeación comprende a su vez tres etapas donde se toman decisiones de diferente trascendencia y con un grado de aproximación distinto. Veamos el siguiente cuadro:

<b>PLANEACIÓN</b>			
<b>ETAPAS</b>	<b>De gran Visión</b>	<b>Prefactibilidad</b>	<b>Factibilidad</b>
<b>Grado de Aproximación</b>	±30-45%	±20-30%	±5%
<b>Número de Proyectos Análizados</b>	±5	2 ó 3	1 ó 2

La etapa de factibilidad del proyecto es donde se incluye el análisis financiero; los estudios que se llevan a cabo son los siguientes:

<sup>18</sup> De la inversión inicial en construcción

1. Estudios socioeconómicos

- Población que necesita el satisfactor
- Tipo de actividad en la zona
- Tendencias de crecimiento de las necesidades
- Características de la vida en la zona (clima, costumbres, etc.)
- Ingresos probables

2. Recursos potenciales (no financieros) para satisfacer la necesidad:

- Fuentes de suministro (proveedores, costos, distancias, volúmenes)

3. Análisis técnico o tecnológico

- Proyecto y diseño
- Costos de producción
- Materias primas
- garantías
- Tiempo de suministro de refacciones
- Programa de obra
- Recursos humanos (mano de obra)

4. Localización física del proyecto

- Ubicación y topografía del lugar
- Suministro de materia prima y mano de obra
- Impacto ambiental
- Impacto económico en la región
- Desplazamiento de la población existente, indemnizaciones, etc.

5. Organización del proyecto (Recursos humanos para operar el proyecto)

- Supervisión
- Organigrama
- Nóminas

6. Análisis Económico

- Ingresos, gastos, inversiones
- Presupuestos de Ingeniería, mercadotecnia y administración

7. Análisis Financiero ó evaluación económica

- Rentabilidad (VPN, TIR, PRI<sup>19</sup>)
- Plan de recursos financieros (Financiamiento)

---

<sup>19</sup> VPN=Valor Presente Neto; TIR= Tasa Interna de Retorno; PRI= Período de recuperación de la inversión

### **2.5.2.Elementos del análisis financiero**

Un análisis financiero completo debe incluir por lo menos los siguientes elementos:

1. Una Introducción en donde se engloben los aspectos generales del proyecto.
2. Las bases de la evaluación financiera, es decir, los aspectos particulares considerados para la evaluación básica, como pueden ser la estructura deuda capital<sup>20</sup>, condiciones de créditos, términos legales del contrato (si es una concesión se habla del tiempo de concesión), predicciones del volumen de tránsito, períodos de amortización y depreciación, programa de obra, organigrama, tarifas, costos, etc.
3. La evaluación básica (corrida básica) que da como resultados el flujo de caja y así la tasa interna de retorno<sup>21</sup> y el período de recuperación de la inversión.
4. Los análisis de sensibilidad, con los cuales nos podemos dar cuenta qué tan sensible es el proyecto a las variables controlables como son las condiciones del crédito, la estructura deuda capital, el periodo de amortización, las tarifas, tiempo de construcción, etc.
5. Los análisis de riesgo, que nos indican que riesgo podemos correr si alguna de las variables no controlables involucradas en la evaluación inicial cambia.
6. En base a lo anterior se anexan una serie de recomendaciones y conclusiones que citan las expectativas y carencias del proyecto, así como si resulta rentable y confiable de acuerdo a estos resultados.

Los elementos financieros que deben existir en toda evaluación financiera son llamados "Estados Financieros Proforma":

- A. Estado proforma de fuentes y uso de recursos y flujo de caja (Estado de origen y aplicaciones de fondos).- Este estado tiene un fin financiero que es definir el flujo de efectivo para recuperar la inversión.
- B. Estado de pérdidas y ganancias (o de resultados).-Meramente, tiene un objetivo fiscal que es, ¿cuánto hay que pagar al fisco?

---

<sup>20</sup> Se habla en el siguiente capítulo acerca de esta estructura.

<sup>21</sup> Más adelante en este capítulo se habla del cálculo de la tasa interna de retorno.

C. Estado del balance (Estado de cambio en la situación financiera).-El objetivo de este estado es el contable, para determinar como funciona el proyecto contablemente hablando (¿qué se tiene, qué se debe y qué se nos debe?).

Hablemos de cada uno de estos estados para desglosar los elementos que conforman a cada uno de ellos:

Estado proforma de fuentes y uso de fondos y flujo de caja:

Este estado se divide en cuatro partes: una donde se incluyen todas las fuentes de recursos, otra donde se anotan todas las aplicaciones de esos recursos (inversiones), otra donde se lleva el flujo de caja de cada período y finalmente una en donde se lleva el flujo de caja acumulado. Veamos un desglose de los elementos que podrían formar este estado en un proyecto aeroportuario:

**1. FUENTES**

- 1.1. Superávit de operación
- 1.2. Aportación de capital
  - 1.2.1. Propio
  - 1.2.2. Créditos
    - 1.2.2.1. Gobierno
    - 1.2.2.2. Iniciativa Privada
- 1.3. Bonos
- 1.4. Aceptaciones
- 1.5. Depreciaciones y amortizaciones

**2. USOS (aplicaciones)**

- 2.1. Inversiones Preoperativas
  - 2.1.1. Adquisición de bases del proyecto
  - 2.1.2. Cálculo del costo del proyecto
  - 2.1.3. Diseño de conceptos adicionales
  - 2.1.4. Compromiso financiero
  - 2.1.5. Constitución de la empresa
- 2.2. Construcción
  - 2.2.1. Terracerías
  - 2.2.2. Obras de drenaje
  - 2.2.3. Pavimentos
  - 2.2.4. Edificio
    - 2.2.4.1. Cimentación
    - 2.2.4.2. Albañilería
    - 2.2.4.3. Instalaciones

- 2.2.4.4. Acabados
- 2.3 Intereses durante la construcción
- 2.4. Inversiones en equipo de mantenimiento
- 2.5. Capital de trabajo
- 2.6 Amortización del principal
- 2.7 Comisión sobre saldos no aplicados
- 2.8 Mantenimiento mayor

### **3. FLUJO DE CAJA**

### **4. FLUJO DE CAJA ACUMULADO**

El flujo de caja se obtiene restando los usos de las fuentes y siempre debe cumplir con dos condiciones:

1. En la etapa de diseño y/o construcción siempre vale cero
2. En la etapa de operación tiene que ser cero ó positivo ( excepto cuando el flujo de caja acumulado permita tenerlo negativo).

La manera en que se debe equilibrar si es que llega a ser negativo es aportando capital.

#### **Estado proforma de pérdidas y ganancias (de resultados):**

La intención de este estado es la de reflejar el estado financiero del proyecto, o en otras palabras, ir mostrando período a período cuanto se gana o se pierde para poder deducir los impuestos y el reparto de utilidades a pagar. Consta de dos partes principales que nos arrojan cuatro resultados: las partes son ingresos y egresos, y los resultados son: utilidad bruta, impuestos, reparto de utilidades y superávit de operación.

### **1. INGRESOS**

#### **1.1. Derechos**

- 1.1.1. Operaciones de tránsito aéreo
  - 1.1.1.1. Aterrizajes
  - 1.1.1.2. Servicios a pasajeros
  - 1.1.1.3. Carga
  - 1.1.1.4. Estacionamiento y hangar
  - 1.1.1.5. Medidas de seguridad
- 1.1.2. Servicios de escala
  - 1.1.2.1. Vuelos de escala

- 1.1.3. Actividades auxiliares
  - 1.1.3.1. Combustibles y lubricantes
  - 1.1.3.2. Restaurantes/bares
  - 1.1.3.3. Tiendas libres de impuestos
  - 1.1.3.4. Arrendamientos
    - 1.1.3.4.1. De locales comerciales
    - 1.1.3.4.2. De oficinas administrativas
  - 1.1.3.5. estacionamiento de autos

- 1.2. Otras concesiones
  - 1.2.1. Alquiler de autos
  - 1.2.2. Sitio de taxis

- 1.3. Productos financieros
  - 1.3.1. Intereses del banco

## **2. EGRESOS**

- 2.1. De explotación y mantenimiento
  - 2.1.1. Sueldos y salarios
  - 2.1.2. Suministros
  - 2.1.3. Servicios contratados
- 2.2. Generales de administración
  - 2.2.1. Sueldos y salarios
- 2.3. Costos de venta
  - 2.3.1. Publicidad
- 2.4. Gasto financiero
  - 2.4.1. Intereses durante la operación
- 2.5. Depreciaciones
  - 2.5.1. De inversión en obra
  - 2.5.2. De equipo
- 2.6. Amortizaciones
  - 2.6.1. De inversión preoperativa
  - 2.6.2. De intereses durante la construcción

## **3. UTILIDAD BRUTA**

## **4. IMPUESTOS**

## 5. REPARTO DE UTILIDADES

## 6. SUPERÁVIT DE OPERACIÓN

La utilidad bruta se obtiene restando los egresos de los ingresos; los impuestos se obtienen multiplicando la utilidad bruta por un porcentaje (dependiendo de cada país); el reparto de utilidades es un porcentaje de la utilidad bruta después de impuestos y el superávit de operación es el restante de la utilidad bruta después de pagar impuestos y repartir utilidades.

Cabe mencionar que el superávit de operación obtenido del estado de resultados pasa directamente como dato al estado de fuentes y usos en el renglón de fuentes.

### Estado del balance

Como ya se mencionó, este estado tiene como fin reflejar la situación contable del proyecto. Podemos esquematizarlo para observar sus componentes:

ACTIVO	PASIVO
Activo fijo	Pasivo circulante
Activo circulante	Pasivo a largo plazo
	<b>CAPITAL CONTABLE</b> (suscrito y pagado)
	Aportación de capital

$$\text{Activo} = \text{Pasivo} + \text{Capital}$$

En la siguiente página se muestra una esquematización completa de los dos primeros estados proforma<sup>22</sup>; después se procederá a hablar de los indicadores financieros arrojados por el flujo de caja.

<sup>22</sup> El elemento que debe explicarse por ser el que puede representar más dificultad es el del cálculo de intereses. En el capítulo de financiamiento se hace un ejemplo al respecto.

ESTADO DE FUENTES Y USOS Y FLUJO DE CAJA						
<b>1. FUENTES</b>						
1.1. Superávit de operación						
1.2. Aportación de capital						
1.2.1. Propia						
1.2.2. Créditos						
1.2.2.1. Gobierno						
1.2.2.2. Iniciativa Privada						
1.3. Bancos						
1.4. Aceptaciones						
1.5. Depreciaciones y amortizaciones						
<b>2. USOS (aplicaciones)</b>						
2.1. Inversiones Preoperativas						
2.2. Construcción						
<b>2.3. Intereses durante la construcción</b>						
2.4. Inversiones en equipo de mantenimiento						
2.5. Capital de trabajo						
2.6. Amortización del principal						
2.7. Comisión sobre saldos no aplicados						
2.8. Mantenimiento mayor						
<b>3. FLUJO DE CAJA</b>						
<b>4. FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>						
ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS O DE RESULTADOS						
<b>1. INGRESOS</b>						
1.1. Derechos						
1.1.1. Operaciones de tránsito aéreo						
1.1.2. Servicios de escala						
1.1.3. Actividades auxiliares						
1.2. Otras concesiones						
1.2.1. Alquiler de autos						
1.2.2. Sitio de taxis						
1.3. Productos financieros						
1.3.1. Intereses del banco						
<b>2. EGRESOS</b>						
2.1. De explotación y mantenimiento						
2.1.1. Sueldos y salarios						
2.1.2. Suministros						
2.1.3. Servicios contratados						
2.2. Generales de administración						
2.2.1. Sueldos y salarios						
2.3. Costos de venta						
2.3.1. Publicidad						
2.4. Gasto financiero						
2.4.1. Intereses durante la operación						
<b>2.5. Depreciaciones</b>						
2.5.1. De inversión en obra						
2.5.2. De equipo						
2.6. Amortizaciones						
2.6.1. De inversión preoperativa						
2.6.2. De intereses durante la construcción						
<b>3. UTILIDAD BRUTA</b>						
<b>4. IMPUESTOS</b>						
<b>5. REPARTO DE UTILIDADES</b>						
<b>6. SUPERÁVIT DE OPERACIÓN</b>						

### 2.5.3. Indicadores Financieros

Los indicadores financieros en el análisis tienen como objetivo fundamental el de decirnos que tan rentable es el proyecto y en cuánto tiempo se recuperará la inversión. Hablemos entonces a detalle de cada uno de ellos:

#### 2.5.3.1. Tasa Interna de Retorno, Valor Presente Neto y Período de Recuperación de la Inversión

Definiciones:

Valor Presente Neto (VPN): Cantidad que se ganaría ó se perdería a una tasa de retorno preestablecida. En otras palabras, es el valor real de la inversión en un momento dado en el tiempo cualquiera. Usualmente, el momento en el que se realiza el análisis.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Tasa de rendimiento en la cual los flujos de caja negativos (aportaciones) son iguales a los flujos de caja positivos que da el proyecto, o en otras palabras, tasa de rendimiento a la cual el VPN=0.

Período de Recuperación de la Inversión (PRI): Período de tiempo en el cual los flujos de caja positivos llegan a igualar los flujos de caja negativos debidos a las inversiones, o en otras palabras, período de tiempo en el que recupero la inversión original.

Para poder explicar mejor estos conceptos habrá que mencionar que el dinero va cambiando su valor con el tiempo, debido a la inflación y a la ley de oferta y demanda. La fórmula con la que se calcula el valor del dinero en el tiempo es la siguiente:

$$V_f = V_p(1+i)^n$$

en donde:

V<sub>f</sub>= Valor futuro del dinero

V<sub>p</sub>= Valor presente del dinero

i= Tasa de interés anual

n= período de tiempo (años)

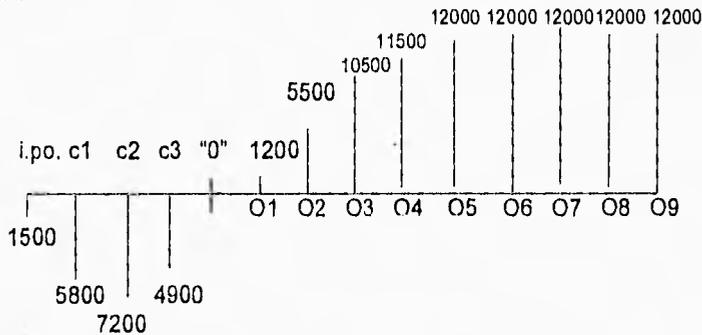
De esta forma podemos decir por ejemplo, que en 3 años, una suma de \$50,000 a una tasa de interés del 25% anual tendrá un valor de:

$$V_f = 50,000(1+0.25)^3 = 97,656.25$$

Para poder obtener los indicadores de un flujo de caja, tenemos que llevar todas las a un momento en el tiempo determinado, por ejemplo, el inicio de la operación del proyecto. Para traer los valores futuros a un valor presente dado basta con despejar la fórmula anterior obteniendo la siguiente:

$$Vp = \frac{Vf}{(1+i)^n}$$

Hagamos un ejemplo a partir del siguiente flujo de caja para entenderlo mejor:



Periodo	Flujo de caja
Inversión preoperativa	-1,500
construcción 1	-5,800
construcción 2	-7,200
construcción 3	-4,900
operativo 1	1,200
operativo 2	5,500
operativo 3	10,500
operativo 4	11,500
operativo 5	12,000
operativo 6	12,000
operativo 7	12,000
operativo 8	12,000
operativo 9	12,000

Suma: 69,300





El VPN de 69.300 se presenta cuando la tasa de rendimiento es cero. En otras palabras, es la suma de los valores del flujo de caja

Podemos concluir entonces que mientras el valor presente neto de nuestro flujo de caja sea mayor, el proyecto será menos rentable, ya que el tasa de rendimiento<sup>23</sup> será menor.

Después de observar todo lo que es el análisis financiero del proyecto a grandes rasgos, podemos concluir que es una parte de nuestro objetivo para prever el comportamiento financiero que tendrá el aeropuerto cuando esté operando. Cabe repetir que los aeropuertos no tienen como objetivo fundamental el arrojar ganancias, sino como ya se mencionó, tener un sistema de rutas de transporte

El VPN de 69,300 se presenta cuando la tasa de rendimiento es cero. En otras palabras, es la suma de los valores del flujo de caja.

Podemos concluir entonces que mientras el valor presente neto de nuestro flujo de caja sea mayor, el proyecto será menos rentable, ya que la tasa de rendimiento<sup>23</sup> será menor.

Después de observar todo lo que es el análisis financiero del proyecto a grandes rasgos, podemos concluir que es una parte de mucha relevancia para prever el comportamiento financiero que tendrá el aeropuerto cuando esté operando. Cabe repetir que los aeropuertos no tienen como objetivo fundamental el arrojar ganancias, sino como ya se mencionó, brindar un servicio de enlace de transporte.

---

<sup>23</sup> La mayor tasa de rendimiento posible es la tasa interna de retorno.

## **2.6. OPCIONES DE FINANCIAMIENTO**

Antes de emprender un proyecto de inversión aeroportuaria y de obtener los fondos necesarios para llevarlo a cabo, es necesario recopilar diferentes datos y tener nociones aproximadas sobre los costos del proyecto y el tráfico anual.

Deberán determinarse las posibles fuentes de financiamiento, así como las fuentes de ingresos para hacer frente posteriormente a las obligaciones contraídas por el préstamo, y así, una vez que se da luz verde sobre la elaboración del proyecto, es preciso elaborar un plan financiero que contenga la siguiente información básica:

- a) estimaciones del costo de los componentes de cada parte del proyecto, es decir, materiales, mano de obra y equipo.
- b) Fondos que se necesitan desembolsar en las diversas etapas del proyecto.
- c) Divisas en que se deben hacer los pagos
- d) Fuentes de financiamiento
  - i) Aportación de capital propio
  - ii) Créditos

Los tres primeros incisos están directamente ligados con el análisis financiero de la manera siguiente:

Estimaciones y fondos a lo largo del proyecto: Estado de usos y fuentes

Divisas en que se hacen los pagos: Análisis de riesgo

Veamos entonces los aspectos fundamentales del inciso d:

### **2.6.1. Aportación de Capital**

#### **2.6.1.1. Créditos y capital propio**

Antes de hacer algún compromiso financiero con alguna institución pública o privada hay que saber con cuánto dinero se cuenta para invertir en la infraestructura aeroportuaria, para así evitar en lo posible el pago de intereses. Mientras más socios existan en el proyecto, más rentable podrá ser debido a la disminución del gasto financiero<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Un poco más adelante se muestra un ejemplo del cálculo de intereses.

Cuando se hace el compromiso financiero, se establece una relación entre el capital aportado por los inversionistas y el crédito otorgado por la institución financiera. A esta relación se le conoce como estructura deuda capital. En ella se establece el porcentaje del préstamo en relación al monto total de la inversión. Veamos un ejemplo de como afecta a largo plazo una estructura deuda capital más grande que otra.

Estructura Deuda - Capital: 60-40  
Monto total de la inversión: \$ 1, 000, 000  
tasa de interés : 20%

∴ Aportación de capital propio: \$ 400, 000  
Crédito: \$ 600, 000

Cálculo de los intereses:

$600,000 \times 0.20 = 120,000$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 120, 000  
(propio:  $1\ 120\ 000 \times 0.40 = 448,000$ ; crédito:  $1\ 120\ 000 \times 0.60 = 672,000$ )

$672,000 \times 0.20 = 134,400$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 134, 400  
(propio:  $1\ 134\ 400 \times 0.40 = 453,760$ ; crédito:  $1\ 134\ 400 \times 0.60 = 680,640$ )

$680,640 \times 0.20 = 136,128$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 136, 128  
(propio:  $1\ 136\ 128 \times 0.40 = 454,451$ ; crédito:  $1\ 136\ 128 \times 0.60 = 681,677$ )

$681,677 \times 0.20 = 136,335$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 136, 335  
(propio:  $1\ 136\ 335 \times 0.40 = 454,534$ ; crédito:  $1\ 136\ 335 \times 0.60 = 681,801$ )

$681,801 \times 0.20 = 136,360$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 136, 360  
(propio:  $1\ 136\ 360 \times 0.40 = 454,544$ ; crédito:  $1\ 136\ 360 \times 0.60 = 681,816$ )

$681,816 \times 0.20 = 136,363$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 136, 363  
(propio:  $1\ 136\ 128 \times 0.40 = 454,545$ ; crédito:  $1\ 136\ 128 \times 0.60 = 681,818$ )

$681,818 \times 0.20 = 136,363$

En ese momento ya no aumentan los intereses, por lo que el total de la inversión inicial es de 1, 136, 363 para poder cubrir los intereses.

Veamos ahora que sucede con una estructura deuda capital de 50-50:

Estructura Deuda - Capital: 50-50  
Monto total de la inversión: \$ 1, 000, 000  
tasa de interés : 20%

∴ Aportación de capital propio: \$ 500, 000  
Crédito: \$ 500, 000

Cálculo de los intereses:

$500\,000 \times 0.20 = 100,000$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 100, 000  
(propio y créditos:  $1\,100\,000 \times 0.50 = 550,000$  )

$550,000 \times 0.20 = 110,000$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 110, 000  
(propio y créditos:  $1\,110\,000 \times 0.50 = 555,000$  )

$555\,000 \times 0.20 = 111,000$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 111, 000  
(propio y créditos:  $1\,111\,000 \times 0.50 = 555,500$  )

$555\,500 \times 0.20 = 111,100$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 111, 100  
(propio y créditos:  $1\,111\,100 \times 0.50 = 555,550$  )

$555\,550 \times 0.20 = 111,110$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 111, 110  
(propio y créditos:  $1\,111\,110 \times 0.50 = 555,555$  )

$555\,555 \times 0.20 = 111,111$   
Nuevo monto de la inversión: \$1, 111, 111  
(propio y créditos:  $1\,111\,111 \times 0.50 = 555,555$  )

$136\,363 / 120\,000 = 1.136358$  >  $111,111 / 100,000 = 1.1111$

Por lo tanto, como era de esperarse, conviene más tener una estructura capital más baja para disminuir el pago de intereses.

Podemos decir entonces que lo más conveniente en un proyecto de este tipo es evitar al máximo la solicitud de préstamos para estar exento en la medida de lo posible del pago de intereses. De tal forma, habrá que buscar socios capitalistas que asuman también el riesgo de la inversión buscando dividendos

Podemos decir entonces que lo más conveniente en un proyecto de este tipo es evitar al máximo la solicitud de préstamos para estar exento en la medida de lo posible del pago de intereses. De tal forma, habrá que buscar socios capitalistas que asuman también el riesgo de la inversión buscando dividendos.

### **III. PROYECTO**

## **PROYECTO**

### **3.1. ESTUDIOS PRELIMINARES:**

Una vez concluidos los estudios de planeación se inicia el proyecto ejecutivo, en donde se ven reflejadas las decisiones que se llevaron a cabo en la etapa anterior.

Vale la pena recordar que un aeropuerto es un conjunto de sistemas entrelazados, en donde si uno falla, falla el conjunto y que la capacidad del conjunto no es la suma de capacidades de los sistemas, sino la menor capacidad de los sistemas. Por eso, la capacidad de los sistemas se debe planear de manera que cada uno justifique las necesidades del conjunto para que no exista una inversión ociosa (se tratan de diseñar sistemas con la misma capacidad). Se pueden identificar los siguientes sistemas:

- Espacios Aéreos
- Pistas, Calles de Rodaje y Plataformas
- Edificio de Pasajeros

Lo primero que se realiza son los estudios preliminares, que comprenden varias áreas de la ingeniería, como son la topografía, las condiciones meteorológicas y geotécnicas del sitio y los estudios de impacto ambiental, todos ellos aplicados para determinar el dimensionamiento del proyecto de infraestructura aeroportuaria.

Todos estos estudios tienen una especial importancia para determinar la factibilidad de que se realice el proyecto en el sitio de estudio.

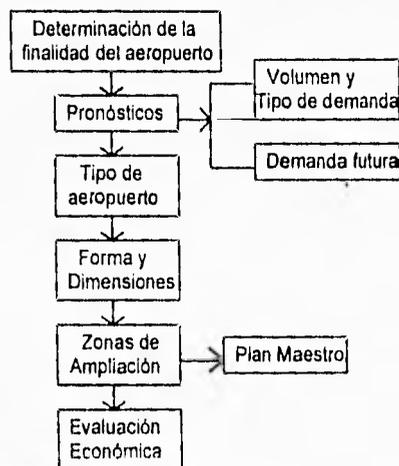
### 3.2. ESPACIOS AÉREOS:

Para evitar que un proyecto aeroportuario se vuelva obsoleto prematuramente es importante que su vida útil sea lo más larga posible. Por ello, deberá contarse con suficiente espacio disponible para llevar a cabo las ampliaciones consideradas en el plan maestro<sup>25</sup> en el horizonte de planeación.

A fin de que la inversión rinda los máximos beneficios es igualmente necesario velar por la seguridad de las operaciones aeronáuticas y evitar peligros y/o molestias a poblaciones vecinas, sin coartar el crecimiento y la eficacia del aeropuerto. Por ello, el proyecto deberá ubicarse en terrenos que ofrezcan las máximas posibilidades de ampliación a largo plazo y las mínimas cargas financieras y sociales.

Los espacios aéreos son el espacio requerido para las maniobras que realizan las aeronaves. Por cuestiones meramente físicas y de operación, una aeronave necesita de espacio para maniobrar en su ascenso o en su aproximación. El anexo 14 de la Organización de Aviación Civil Internacional indica los límites permisibles de los parámetros físicos que deben existir en la zona donde se desarrollará el aeropuerto.

Pero antes de entrar de lleno a las características físicas del sitio, debemos determinar el sitio en donde debe ubicarse el aeropuerto. Para esto tenemos que establecer la secuencia lógica en como se van a dar las etapas de desarrollo. Para entenderlo mejor, veamos el siguiente diagrama:



<sup>25</sup> El Plan Maestro fue estudiado en el capítulo anterior.

Una vez elegida la opción más viable, se procede a determinar la extensión precisa del terreno necesario. Esto tiene como limitantes la topografía del sitio y los espacios aéreos requeridos.

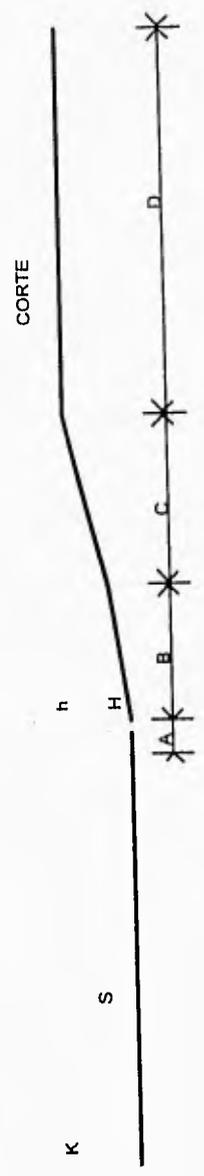
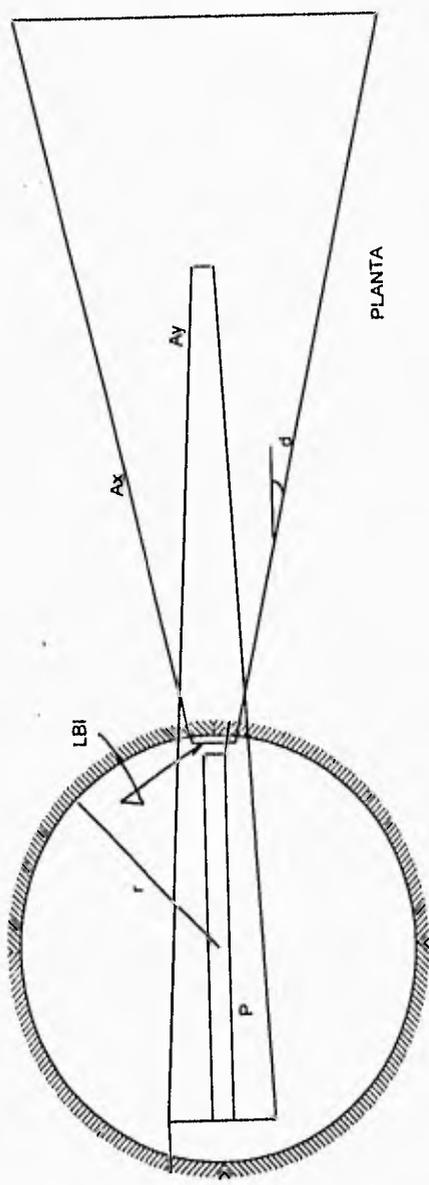
### **3.2.1. Topografía**

Las condiciones topográficas mínimas necesarias para la realización de un proyecto aeroportuario se señalan en el Anexo 14 de la OACI<sup>26</sup>. Usualmente, los terrenos en donde se planea construir la infraestructura suelen ser planos y sin obstáculos considerables, como cerros ó árboles de gran tamaño, para que los gastos en terracerías no sean elevados. La manera de ubicar estos terrenos es con un estudio de fotogrametría, donde se obtienen las curvas de nivel para poder determinar la configuración del sitio (pendientes). A continuación, se muestra un dibujo donde se intentan representar las condiciones expuestas por el anexo 14 del manual de la OACI, para aproximaciones de precisión para aeropuertos de categoría II ó III y de tipo 3 ó 4.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Anexo 14 de la OACI: documento creado en la convención de Chicago que se refiere a las especificaciones de las características físicas de los aeropuertos y en especial de los aeródromos.

<sup>27</sup> Después del dibujo se aclaran estos términos



Simbología:

A= Distancia desde el umbral

B= Primera sección

C= Segunda sección

D= Sección horizontal

d= Divergencia a cada lado

K= Cónica

Ax= Superficie de aproximación

P= Pista

LBI= Longitud de borde interior

r= radio

h= altura de cónica

H= altura de superficie

S= Superficie horizontal interna

Ay= Superficie de aterrizaje

SUPERFICIE	Dimensión	unidades
<i>Horizontal Interna</i>		
Radio	4000	m
Altura	45	m
<i>Cónica</i>		
Pendiente	5	%
Altura	100	m
<i>De Aproximación</i>		
Longitud Borde Interior	300	m
Distancia desde el umbral	60	m
Divergencia a cada lado	15	%
<i>Primera sección</i>		
Longitud	3000	m
Pendiente	2	%
<i>Segunda sección</i>		
Longitud	3600	m
Pendiente	2.5	%
<i>Sección Horizontal</i>		
Longitud	8400	m
<i>Longitud Total</i>		
	15000	m
<i>Transición</i>		
Pendiente	14.3	%
<i>Superficie de aterrizaje interrumpido</i>		
Longitud Borde Interior	120	m
Distancia desde el umbral	1800	m
Divergencia a cada lado	10	%
Pendiente	3.33	%

La categoría de un aeropuerto II ó III se refiere a la categoría de ILS<sup>28</sup> de la que forma parte el aeropuerto. Mientras más elevado sea el número, se podrá maniobrar con condiciones meteorológicas más adversas, lo que obviamente representa un incremento de costos: (el cambio de ILS II a ILS IIIA representa aproximadamente un gasto del 50 % más de lo que cuesta el ILS II).

Categorías de ILS				
Categoría	Techo		Visibilidad	
	(pies)	(m)	(pies)	(m)
I	200	60	2600	800
II	100	30	1200	400
III A	0	0	700	200
III B	0	0	150	50
III C	0	0	0	0

Techo: Altura a la cual se encuentra la base de las nubes en la zona aeronáutica.

Visibilidad: Distancia horizontal a la que cualquier objeto es distinguible.

El cambiar de categoría de ILS implica un gasto extra. El trabajo a realizar dentro de la planeación consiste en averiguar cuántas operaciones al año se afectan por estar en una categoría determinada. Si el costo de la instalación es menor al costo de no realizar las operaciones, entonces se justifica invertir para aumentar de categoría de ILS.

El anexo 14 clasifica a los aeropuertos en base a dos parámetros:

1. Aerodinámico ( Longitud de pista o de campo de referencia<sup>29</sup> )
2. Capacidad de recibir aviones ( características geométricas de aviones<sup>30</sup> )

El tipo 3 ó 4 al que nos referimos para los datos del dibujo se puede observar en la siguiente tabla de características geométricas:

<sup>28</sup> ILS= Instrument Landing System. Es el sistema de datos que sirven al piloto para aterrizar la aeronave por instrumentos. La categoría se refiere a las condiciones meteorológicas en que se pueden realizar maniobras de ascenso o aproximación.

<sup>29</sup> Longitud de campo de referencia: Longitud de pista requerida para despegar a nivel de mar en condiciones de atmósfera estándar.

<sup>30</sup> Envergadura: Distancia de un extremo de un ala al otro.

caract	AERODINÁMICAS		GEOMÉTRICAS	
# clave	Longitud de campo de referencia	Letra clave	Envergadura	Ancho exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal
1	$L < 800$ m	A	$E < 15$ m	$A < 4.5$ m
2	$800 \leq L < 1200$ m	B	$15 \leq E < 24$ m	$4.5 \leq A < 6.0$ m
3	$1200 \leq L < 1800$ m	C	$24 \leq E < 36$ m	$6.0 \leq A < 9.0$ m
4	$L \geq 1800$ m	D	$36 \leq E < 52$ m	$9.0 \leq A < 14.0$ m
		E	$52 \leq E < 65$ m	$9.0 \leq A < 14.0$ m

Así, podemos decir que los estudios topográficos son determinantes para la ubicar el sitio donde será construido el aeropuerto; no sólo por las características físicas del lugar, que sirven para evaluar cuánto dinero se invertirá en el movimiento de tierras, sino también para determinar la facilidad de acceso a la infraestructura.

### **3.2.2. Meteorología:**

Después de realizar los estudios topográficos se procede a estudiar las cuestiones meteorológicas y consiste en analizar los datos estadísticos de los fenómenos atmosféricos ocurridos en el lugar de estudio como son el viento, el techo de nubes, visibilidad, temperatura, lluvia y humedad (hidrología del lugar y la anemometría). Estos dos factores son de suma importancia, ya que dependiendo de la precipitación, la visibilidad y el techo de nubes se decidirá si es viable construir el proyecto en ese sitio y, de la temperatura de la zona y dirección predominante de los vientos se orientarán y dimensionarán las pistas. Se profundizará en estos aspectos en los siguientes subcapítulos.

#### **3.2.2.1. Hidrología**

Para determinar si es viable construir un aeropuerto en un sitio determinado (que forma parte de una cuenca) y para diseñar el sistema de drenaje, habrá que consultar los registros pluviométricos ubicados en esa zona, obtenidos de pluviómetros y pluviógrafos. Con estos datos se obtiene la altura de precipitación media de la zona, expresada en mm de agua por año (tirante). Los diferentes tipos de precipitación son:

- \* Rocío<sup>31</sup>
- \* Escarcha<sup>32</sup>
- \* Llovizna
- \* Lluvia
- \* Nevada
- \* Granizo

Los que más nos preocupan son las lluvias intensas así como las nevadas y el granizo debido a la falta de visibilidad y a que las aeronaves no pueden aterrizar ni despegar ya que pueden derrapar en la pista.

Por ello también habrá que tomar en cuenta otros elementos climatológicos, no sólo la precipitación, sino también la temperatura, la velocidad y dirección del viento y la humedad atmosférica.

#### **3.2.2.2. Anemometría**

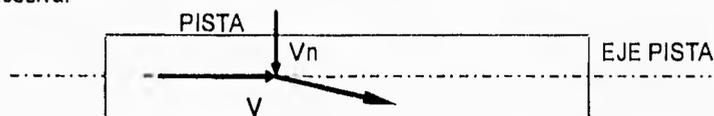
Los estudios de anemometría se realizan precisamente para determinar la velocidad y dirección del viento que ocurren la mayor parte del tiempo para saber cómo orientar las pistas.

<sup>31</sup> Condensación local del vapor de agua

<sup>32</sup> fenómeno de rocío con temperaturas bajo cero

En términos generales, las pistas deben estar orientadas de manera que las aeronaves no tengan que pasar sobre zonas pobladas y eviten los obstáculos (dispongan de espacios aéreos). Siempre que todos los demás factores no varíen, deberían estar orientadas, en la mayor medida posible, en la dirección del viento predominante, en el caso de que este sople persistentemente en una dirección.

Durante el aterrizaje y el despegue, las aeronaves pueden maniobrar en una pista siempre que la componente del viento transversal (o normal) no sea excesiva.



*Efecto del viento transversal:* Si la velocidad del viento normal ( $V_n$ ) es excesiva, puede provocar desplazamiento y pérdida de la sustentación.

El viento transversal máximo permisible no depende solamente del tamaño de la nave, sino también de la configuración alar y del estado de la superficie pavimentada<sup>33</sup>. Las aeronaves de transporte pueden maniobrar en vientos transversales de hasta 56 km/h (30 nudos), pero es bastante difícil hacerlo, por lo que en la planificación de aeropuertos se utilizan valores inferiores indicados en la siguiente tabla:

Componente de viento transversal	Longitud de campo de referencia del avión
37 km/h (20 nudos)	más de 1500 m
24 km/h (13 nudos)	1200 - 1500 m
19 km/h (10 nudos)	menos de 1200 m

El anexo 14 del manual de la OACI especifica que la orientación de las pistas debería ser tal que el 95% del tiempo la velocidad normal del viento sea menor a la que corresponde a la longitud de campo de referencia del aeropuerto en cuestión, indicada en la tabla anterior. Esto significa que el aeropuerto puede quedar cerrado un 5% del tiempo por viento.

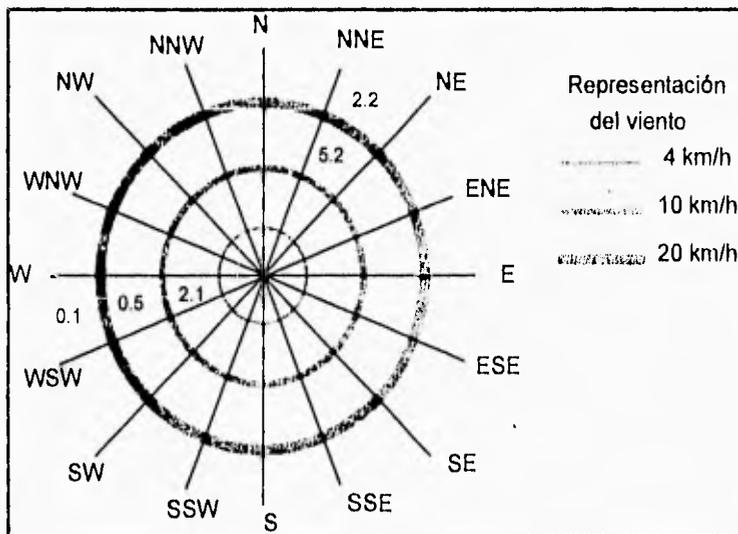
Para poder determinar la orientación de la pista se ejecuta el siguiente procedimiento llamado Rosa de Vientos cruzada, explicado a continuación.

<sup>33</sup> las condiciones variables pueden ser la longitud del campo de referencia (de pista) y el coeficiente de fricción considerado para el frenado.

A partir de datos anemométricos obtenidos en campo<sup>34</sup> se hace una tabla relacionando la dirección del viento y su velocidad:

		Dirección del viento														
Veloc	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4																
4-10												2.1				
10-20		5.2										0.5				
20-30		2.1										0.1				
>30		0.1														
km/h																

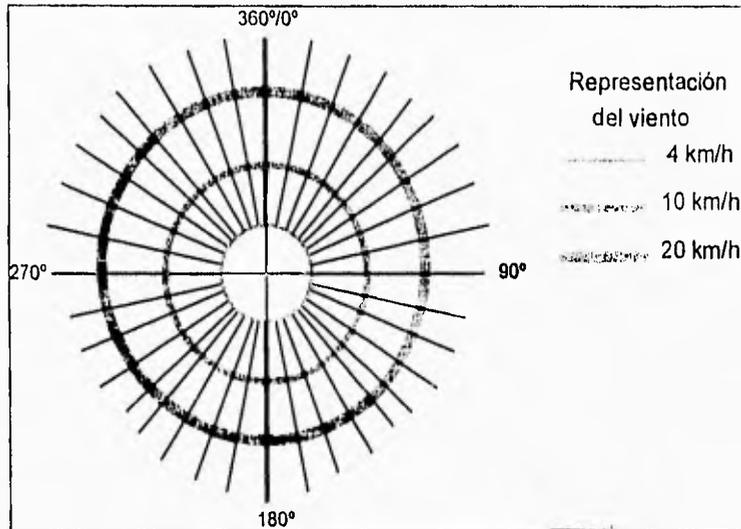
Cada lectura o dato obtenida del anemómetro se marca en la tabla y se interpreta como un porcentaje del total de lecturas, dando la suma el 100%. Después, hay que representar las lecturas en porcentaje en una gráfica como la siguiente:



<sup>34</sup> Los datos anemométricos se toman de la siguiente manera: Se toman lecturas de anemómetros, por ejemplo, cada 10 minutos de donde se obtienen la velocidad y dirección del viento. Esto se hace por un periodo de tiempo largo, digamos 1 año. Como cada hora se obtienen 6 lecturas, se tendrán 52560 lecturas.

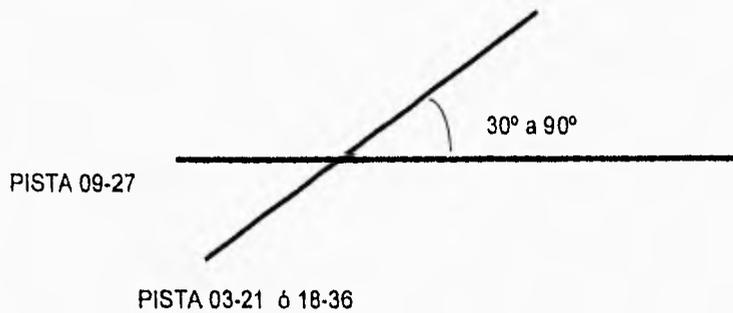
Con el objeto de designar las pistas, esta figura se divide de manera similar a cada 10°; como cada dirección abarca 22.5° se tendrá que realizar una repartición gráfica para que la distribución de vientos a cada 10° sea equitativa.

La figura anterior entonces queda como sigue:



Después se sobrepone un acetato con 3 líneas verticales con una separación a escala del viento transversal con el que se va a diseñar encima de la rosa. Vamos girando el acetato alineando la línea central sobre la dirección en la cual queremos saber el porcentaje de los vientos a lo largo del período de tiempo y sumamos los datos de cada rango, obteniendo así las direcciones posibles en las que se puede orientar la pista (aquellas que tengan más del 95% de los vientos en su dirección).

Si ninguna orientación suma el 95%, se necesita construir dos pistas cruzadas con un ángulo de divergencia entre ellas de 30 a 90° para que se opere en donde el viento sea favorable. Claro, si la demanda no es tan grande para que se necesiten dos pistas, el viento influirá de manera muy significativa en el costo del aeropuerto, de tal manera, es más conveniente buscar otro sitio donde el viento si corra el 95% del tiempo para que no se tenga una inversión ociosa, o elegir otro criterio de orientación que no sea el del 95%.



De esta forma podemos decir que los estudios de meteorología nos arrojan las limitantes que tendrá la elección del terreno debido a los fenómenos naturales que se presentan en el sitio de estudio.

En algunas ocasiones llegan a ser el factor determinante para que el proyecto no se realice en el lugar de estudio, porque para poder cumplir con las especificaciones mínimas se tiene que aumentar de categoría ILS, repercutiendo negativamente en la inversión, ya que aumenta sin ser justificada.

### 3.2.3. Geotecnia:

Desde el punto de vista de los costos, la clasificación de los suelos naturales de los posibles emplazamientos es importante. Es preciso proceder a un reconocimiento general del suelo y obtener muestras para confeccionar un plano de los diversos tipos de suelo y localizar los depósitos rocosos extensos. Asimismo, es importante localizar las fuentes de abastecimiento de agua, ya que su abundancia y la distancia a la que tengan que transportarse repercutirá en el costo de la construcción.

#### 3.2.3.1. Mecánica de suelos y geología del sitio

La aplicación fundamental de la mecánica de suelos en este tipo de proyectos es el diseño de pavimentos.

Por definición, un pavimento es la infraestructura construida para transmitir cargas al terreno natural de manera uniforme. Existiendo dos tipos básicos de pavimento:

- pavimento rígido
- pavimento flexible.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto, con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (grava y arena). Los concretos utilizados son de resistencia relativamente alta, generalmente arriba de los 210 kg/cm<sup>2</sup> y hasta 350 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días. A continuación se muestra un corte típico de este tipo de pavimento:



La diferencia de costo entre los dos tipos de pavimentos se debe a la diferencia en el costo de mantenimiento y el costo de construcción. El costo de construcción de un pavimento rígido es mayor que el de un pavimento flexible, pero el costo de mantenimiento de un pavimento rígido es menor que el de un pavimento flexible. Por lo tanto, el costo total de un pavimento rígido puede ser menor que el de un pavimento flexible, dependiendo de la vida útil de cada uno.



Debido a los diferentes métodos utilizados en los dos tipos de pavimentos, la elección del tipo de pavimento deberá depender del costo de cada opción, sin descuidar lo contemplado en el presupuesto de planeación. Veamos el siguiente cuadro para entenderlo mejor.

TIPO DE PAVIMENTO	Costo Inicial	Costo de Mantenimiento
RIGIDO	Alto	Bajo
FLEXIBLE	Bajo	Alto

Cada uno de los pavimentos tiene el costo inicial más bajo, pero el costo de mantenimiento es más alto que el del otro. Según se indica en el siguiente gráfico.



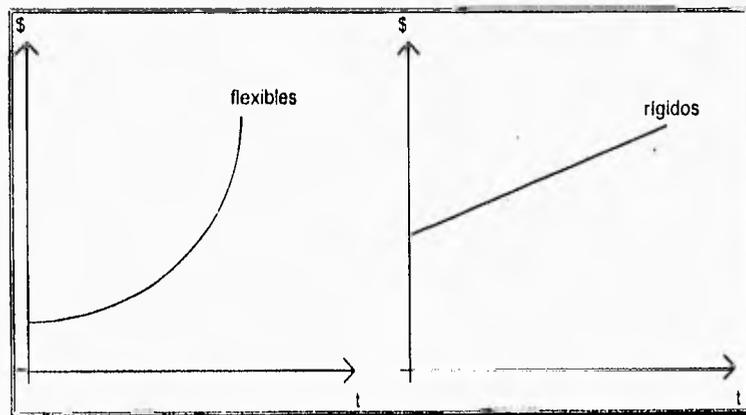
Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa (generalmente asfalto) sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. La calidad de estas capas es descendente hacia abajo. A continuación se muestra un corte típico de este tipo de pavimento:



Debido a los diferentes materiales utilizados en los dos tipos de pavimentos, la elección del tipo de pavimento estará directamente ligada al costo de cada opción, sin descuidar lo contemplado en el horizonte de planeación. Veamos el siguiente cuadro para entenderlo mejor:

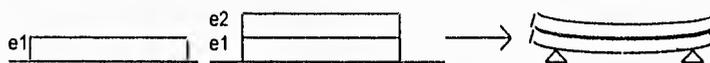
TIPO DE PAVIMENTO	Costo Inicial	Costo de Mantenimiento
RIGIDO	Mayor	Menor
FLEXIBLE	Menor	Mayor

Cada uno de los pavimentos tiene un comportamiento económico a lo largo del tiempo, según lo indican las siguientes gráficas:

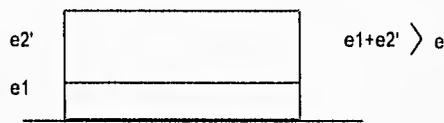


Los elementos considerados en el horizonte de planeación para la elección del tipo de pavimento son básicamente el tipo y el volumen de la demanda, por ejemplo, si cambia la flota de aviones (aumenta el peso y las repeticiones de carga (frecuencia)) debemos contemplar la posibilidad de reforzar el pavimento.

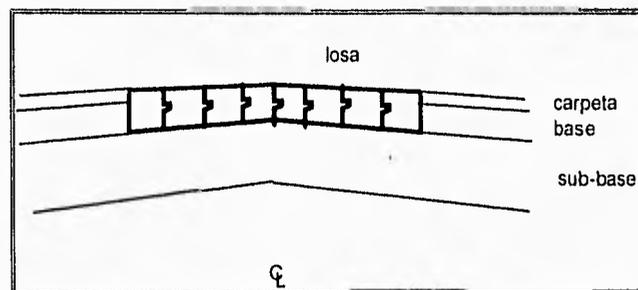
En ese caso, es más conveniente usar pavimento flexible, ya que sobre la carpeta existente, se colocan carpetas adicionales. En cambio, en el pavimento rígido, el refuerzo se complica:



Si sólo sobreponemos una capa sobre otra del mismo espesor, se presenta un cortante, por lo que el espesor de la capa sobrepuesta debe ser mayor:



Dos factores que afectan el diseño son el clima y el tránsito; por eso, en el caso que se tengan dudas sobre la demanda, se debe elegir un pavimento flexible. Por otro lado y hablando directamente de la repercusión económica, conviene colocar pavimento de menor calidad en las orillas para disminuir el costo<sup>35</sup>, muchas veces usándose losa en el centro de la pista y colocando carpeta en las orillas:



<sup>35</sup> Se hablará con más detalle en el dimensionamiento de las áreas aeronáuticas

En cuanto a la geología, es importante contar con buenos muestreos granulares cerca del sitio para poder conformar los capas bituminosas de los pavimentos, ya que uno de los factores que afectan el diseño de estos son las características de los materiales que constituyen la base y la capa subrasante. de tal manera, es necesario realizar un estudio geológico en la zona para saber las propiedades de los materiales con que se cuenta para entonces determinar el método en que serán explotados y evaluar los costos que ello implica en cuestión de distancias, volúmenes útiles, construcción de caminos de acceso a bancos, etc.

En términos generales, el tipo de suelo es el factor que influye más en los costos de construcción de la pista. Mientras el suelo sea de mejores propiedades (alta resistencia y baja compresibilidad), la extensión de los muestreos y pavimentos será menor debido a que el espesor requerido será menor.

En cuanto a la geología, es importante contar con buenos materiales granulares cerca del sitio para poder conformar las capas inferiores de los pavimentos, ya que uno de los factores que afectan el diseño de éstos son las características de los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante. de tal manera, se necesita realizar un estudio geológico en la zona para saber las propiedades de los materiales con que se cuenta, para entonces determinar el método en que serán explotados y evaluar los costos que ello implica en cuestión de distancias, volúmenes útiles, construcción de caminos de acceso a bancos, etc.

En términos generales, el tipo de suelo es el factor que repercute más en los costos de construcción de la pista. Mientras el suelo sea de mejores propiedades (alta resistencia y baja compresibilidad), la inversión en terracerías y pavimentos será menor debido a que el espesor requerido será menor.

### **3.2.4. Impacto Ambiental:**

Entre los factores que deben considerarse al proyectarse un aeropuerto se cuentan, por ejemplo: la medición y descripción del ruido producido por las aeronaves, la reglamentación de la utilización de los terrenos, los procedimientos para atenuar el ruido de los motores en tierra y en vuelo, la tolerancia humana al ruido y el efecto que tiene en la vecindad de los aeropuertos el aumento del tráfico. Todos estos factores se toman en cuenta y se especifican en los estudios de impacto ambiental.

#### **3.2.4.1. Ruido e impacto del proyecto:**

Con la aparición de los aviones de reacción la intensidad del ruido en los alrededores de los aeropuertos incrementó notablemente. La población en la vecindad de terminales aéreas no sólo resintió molestias ocasionales, sino que en exposición severa y prolongada de los altos niveles de ruido, llegó a experimentar daño físico. Por tal motivo, se han desarrollado estudios de ruido para disminuir los efectos nocivos. Algunos estudios de ruido son:

- Clasificación de ruido compuesto (CNR, Composite Noise Rating)
- Pronósticos de exposición al ruido (NEF, Noise Exposure Forecast)
- Nivel de sonidos diurnos-nocturnos (LDN, Day-Night Average Sound Level)

El impacto por ruido debe ser examinado cuando el proyecto involucra la localización del aeropuerto, localización de la pista y su extensión. El efectuar los estudios de ruido lleva a restringir el uso de suelo en la vecindad inmediata de las actividades del aeropuerto.

El primer paso en la evaluación del impacto por ruido es hacer un inventario del ruido ambiental existente, para después implementar medidas de mitigación como ampliar la zona de amortiguamiento entre el proyecto y el vecindario. Los niveles sonoros emitidos por la fuente (en este caso, la aeronave), se disipan rápidamente con la distancia, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$NPA_2 = NPA_1 - 20 \log \frac{D_2}{D_1}$$

donde:

$NPA_2$  es el nivel de presión acústica recibida a la distancia  $D_2$  a partir de la fuente.  
 $NPA_1$  es el nivel de presión acústica recibida a la distancia  $D_1$  a partir de la fuente.

Otras medidas de mitigación incluyen el uso de equipo silenciador y levantamiento de barreras acústicas.

En los últimos años, los estudios de impacto ambiental han cobrado una especial importancia debido a que se ha creado una conciencia ecológica en pro del medio ambiente. Este aspecto debe ser cuidado no sólo en proyectos donde interviene el desarrollo de una infraestructura, sino también en todos aquellos que tengan elementos capaces de crear un desequilibrio ecológico (por ejemplo: transporte: emisión de gases; industrias: emisión de sustancias tóxicas contaminantes, etc).

### **3.3. PISTAS, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS:**

Dependiendo de los resultados de los estudios preliminares realizados, se inicia el dimensionamiento de los 3 elementos principales del aeropuerto como enlace entre sistemas de transporte: las pistas, las calles de rodaje y las plataformas.

Debido a las grandes extensiones de terreno que requieren y a su relación con los grandes espacios aéreos necesarios para las operaciones de las aeronaves, las pistas y las calles de rodaje son el punto de partida para considerar el trazado del aeropuerto. Sin embargo, tienen que proyectarse en relación con los otros elementos principales de operación, tales como las zonas de pasajeros y carga, incluyendo plataformas y edificios, estacionamiento de vehículos, acceso por tierra y servicios de tránsito aéreo, etc., con objeto de mantener todas las partes del sistema equilibradas.

Este es un proceso que requiere continuas revisiones y ajustes, a fin de obtener una configuración de aeropuerto que ofrezca la máxima eficiencia general. Dado que las pistas y las calles de rodaje son los elementos menos flexibles, son las que han de considerarse en primer lugar. Después se diseñan las plataformas (que generalmente se encuentran anexas al edificio) así como el edificio, y por último se diseñan las áreas anexas y auxiliares.

#### **3.3.1. Dimensionamiento:**

En general, los criterios de dimensionamiento de estos elementos ha sido contemplado por la OACI en el anexo 14<sup>36</sup>, en donde se consideran las amplias variaciones en el comportamiento de las aeronaves y las condiciones meteorológicas. Veamos entonces las características de los tres elementos principales:

#### ***Pistas***

Las pistas son la parte medular de la zona aeronáutica de un aeropuerto donde los aviones aterrizan o despegan. Éstas se identifican normalmente mediante los siguientes elementos principales:

- Pavimento estructural que soporta el peso
- Márgenes adyacentes para resistir la erosión del chorro

---

<sup>36</sup> Se refiere al anexo 14 de la OACI

- Franja de pista para trabajos de auxilio
- Área de seguridad del extremo de pista
- Zona libre de obstáculos no pavimentada

Con el fin de determinar las normas relativas a los diversos tamaños de aeropuerto y a las funciones a las que se destinan, se han ideado claves de referencia con el objeto de interrelacionar las especificaciones del proyecto. La base esas claves es la longitud básica de la pista, la envergadura y la anchura entre ruedas, indicadas en la tabla de características geométricas del tema de topografía en el sub-capítulo de espacios aéreos.

Veamos las siguientes tablas que indican las especificaciones de las pistas y las franjas:

<b>Anchura de Pista<sup>37</sup> (m)</b>				
Letra/Número	1	2	3	4
A	18	23	30	-
B	18	23	30	-
C	23	30	30	45
D	-	-	45	45

<b>PISTA</b>				
característica (%)	1	2	3	4
<i>Pendiente longitudinal máxima</i>	1.50	1.50	1.25	1.25
<i>Gradiente máximo efectivo</i>	2.00	2.00	1.00	1.00
<i>Cambio máximo longitudinal de la rasante</i>	2.00	2.00	1.50	1.50
<i>Pendiente transversal máxima</i>	2.00	2.00	1.50	1.50

<b>FRANJA</b>				
característica (%)	1	2	3	4
<i>Pendiente longitudinal máxima</i>	2.00	2.00	1.75	1.50
<i>Pendiente transversal máxima</i>	3.00	3.00	2.50	2.50

<b>ANCHURA DE LA FRANJA (m)</b>				
característica (%)	1	2	3	4
<i>Pista de precisión</i>	150	150	300	300
<i>Pista de vuelo visual</i>	60	80	150	150

<sup>37</sup> La anchura de las pistas clave D incluyen márgenes extra que no sobrepasan los 60 m.

Una vez que se establecen las características físicas anteriores ( que no representan un costo severo) se procede a dimensionar las dos características físicas que representan la mayoría de la inversión en un proyecto aeroportuario: la longitud de pista y el pavimento.

### **Longitud de Pista**

Físicamente, la característica del avión de diseño que influye para la determinación de la longitud de una pista, así como del espesor de pavimento, es el peso del avión, con el cual se obtiene la distancia que necesita la aeronave para adquirir sustentación o aterrizar y la carga por rueda que va a desplantar el tren de aterrizaje sobre el pavimento.

Esto debe estar sujeto a un análisis económico más detallado. Por ejemplo, supongamos que un avión necesita 2500m de pista para operar y otro avión necesita 3500m. A primera vista, diseñaríamos para el segundo, pero tenemos que comparar la frecuencia de operación de cada avión para ver cuánto dinero se obtiene de cada uno. Veamos el siguiente cuadro para explicarlo mejor:

Tipo de Avión	Número de Asientos	Longitud de Pista necesaria	Operaciones por semana
DC8-73	250	2500 m	30
B747-300	550	3500 m	0.5

Obviamente, como el segundo opera muy poco (1 vez cada dos semanas), no resulta económico construir 1000m. más de pista.

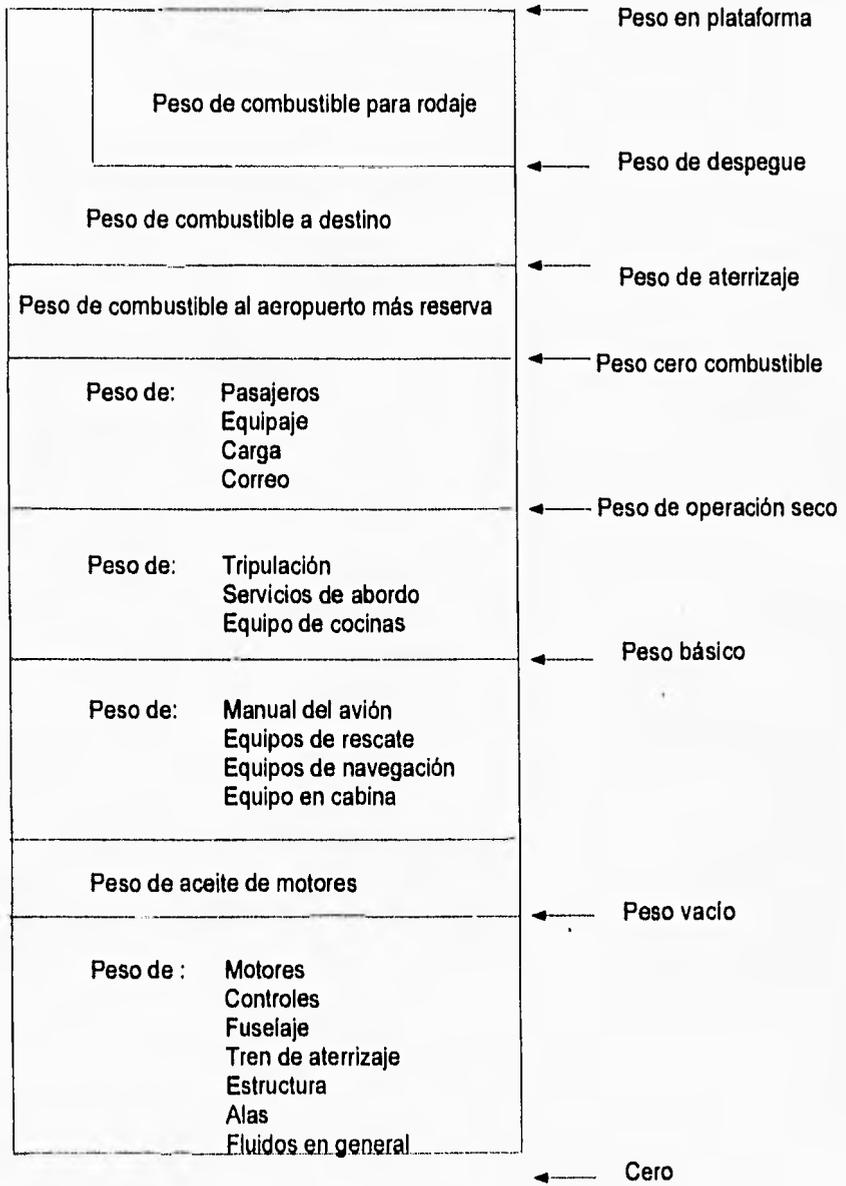
A partir de consideraciones de este tipo, surge el análisis del peso de un avión, para determinar el alcance máximo (en distancia) del avión de diseño, comparándolo con los ingresos, teniendo así las siguientes relaciones:

$$\text{Peso de despegue} = \text{Peso de aterrizaje} + \text{Peso de combustible a destino} = \\ = \text{Peso de operación} + \text{Peso de carga pagada.}$$

$$\text{Peso cero combustible} = \text{Peso de operación seco} + \text{Peso de carga pagada}$$

$$\text{Peso de Aterrizaje} = \text{Peso cero combustible} + \text{Peso combustible reserva}$$

$$\text{Peso de operación} = \text{Peso de operación seco} + \text{Peso de combustible}$$



**FALTA PAGINA**

**No. 71**



$$\log R_1 = \log R_2 \times \sqrt{\frac{W_2}{W_1}}$$

donde:

R<sub>1</sub>= Repeticiones del avión de diseño

R<sub>2</sub>= Repeticiones del avión en estudio

W<sub>1</sub>= Carga por rueda del avión de diseño

W<sub>2</sub>= Carga por rueda del avión en estudio

Como cada avión posee un tren de aterrizaje de diferente configuración, en donde el peso se distribuye distinto, hay que convertir cada tren en su equivalente al tren de aterrizaje del avión de diseño, por medio de los siguientes factores:

FACTORES DE CONVERSIÓN DE TRENES DE ATERRIZAJE		
Para convertir	A	Multiplicar por
Rueda simple	Doble	0.8
Rueda simple	Doble tandem	0.5
Doble	Doble tandem	0.6
Doble tandem	simple	2.0
Doble tandem	doble	1.7
Doble	simple	1.3

#### CONFIGURACIÓN DE TRENES DE ATERRIZAJE



Sencillo



Doble



Doble tandem

Hagamos el siguiente ejemplo: Calcular las repeticiones de la siguiente flota de aviones así como el espesor de pavimento flexible:

<b>Flota de Aviones</b>			
<i>Tipo de Avión</i>	<i>Despegues Estimados Anuales</i>	<i>Tipo de Tren</i>	<i>Peso de Despegue</i>
B737-200	530	doble	49940 kg
B727-200	720	doble	85000 kg
B707-320	54	doble tandem (2 trenes principales)	148500 kg
B747-200	63	doble tandem (4 trenes principales)	136100 kg

Suponemos como avión crítico o de diseño al Boeing 727-200; por lo tanto, todos los aviones los convertiremos a 727-200 y el pavimento se diseñará para él:

Tipo de Avión	Despegues estimados anuales	Despegues convertidos a tren de diseño	Tipo de Tren	Peso de despegue	Carga por rueda	Número de Repeticiones
737-200	5300	5300	Doble	49940	11860.8	715.6
727-200	7200	7200	Doble	85000	20187.5	7200.0
707-320	540	918	Doble Idem	148500	17634.4	587.7
747-200	630	1071	Doble Idem	136100	16161.9	514.0
SUMA	13870					9017.3

Significa que la suma de los despegues de los 4 aviones convertidos al tren de diseño significan 9017 depegues de 727 - 200.

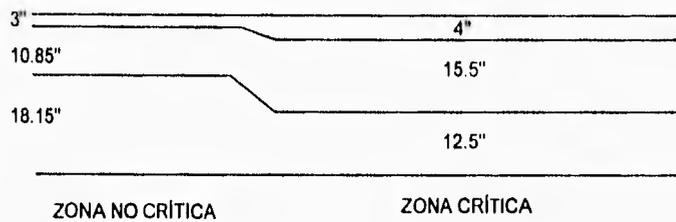
Ahora, hay que calcular los espesores de pavimento para zonas críticas y no críticas (Se supone que no se requieren bases y subbase estabilizadas). Los valores relativos de soporte son:

<b>Capa</b>	<b>CBR<sup>39</sup></b>
Subrasante	8
Subbase	15
Base	≥80

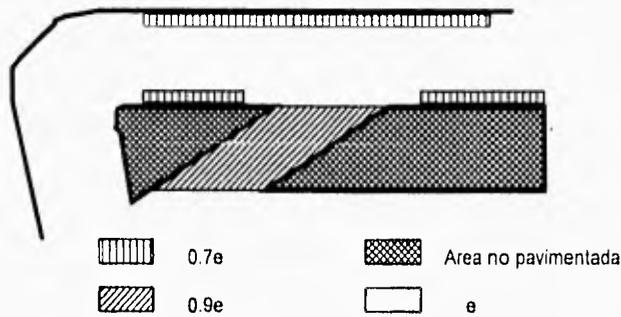
Entramos a nomogramas que relacionan los valores relativos de soporte con el espesor de cada capa y determinamos el valor del espesor de la carpeta, quedando como sigue:

<sup>39</sup> CBR=California Bearing Ratio= Valor relativo de soporte

Capa	Espesor (pul)	
	Zona Crítica	Zona NO crítica
Carpeta	4	3
Base	15.5	10.85
Subbase	12.5	18.15



Veamos en planta un esquema de las zonas críticas y no críticas<sup>40</sup>



Las orillas de la pista tienen el 70% del espesor calculado para el centro de la pista, mientras que en las calles de rodaje de salida se maneja el 90% del espesor.

De tal manera, vemos que la elección del avión de diseño implica un análisis minucioso de todos los factores vistos anteriormente, debido a que los pavimentos y las terracerías representan aproximadamente del 30 al 40 % de la inversión total.

<sup>40</sup> Se refiere al área de la pista. En el centro se concentra la mayor cantidad de carga y en los extremos u orillas se utiliza un espesor de pavimento menor.

En tres palabras y simplemente así lo vamos a decir, la pista es el elemento más importante por varias razones, es aquí de donde se desprenden los recursos que se necesitan para atender la demanda, lleva a diseñar el aeropuerto, la longitud de pista; de esta forma, son el elemento de la zona aeroportuaria en la cual al cual se diseña todo el aeropuerto, ya que todas las decisiones se toman con el pronóstico de la demanda.

En otras palabras y simplificando todo lo anterior, las pistas son de suma importancia por varias razones; el avión de diseño, que es determinado por la capacidad para atender la demanda, lleva a diseñar el espesor del pavimento y la longitud de pista; de esta forma, son el elemento de la zona aeronáutica en base al cual se diseña todo el aeropuerto, ya que están directamente ligadas con el pronóstico de la demanda.

### Calles de Rodaje

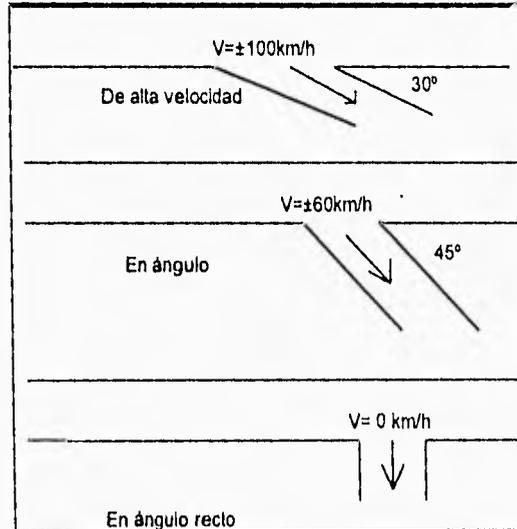
Las calles de rodaje son las vías de conexión entre las pistas y las plataformas y se diseñan en base al tiempo de ocupación de las aeronaves en la pista y de la frecuencia de las operaciones en el aeropuerto.

Dado que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son considerablemente menores que en las pistas, los criterios en cuanto a sus dimensiones no son tan estrictos, como en el caso de las pistas. Además, las velocidades reducidas permiten que la anchura de las calles de rodaje sea menor que la de las pistas.

La función de las calles de rodaje de salida es reducir al mínimo el tiempo de ocupación de las pistas de las aeronaves que aterrizan. Mientras mayor sea el la velocidad de salida de los aviones, el ángulo de salida con respecto a la pista, tendrá que ser menor, teniendo la siguiente clasificación:

CALLES DE RODAJE		
Tipo de Calle	Ángulo respecto a la pista	Velocidad aprox. de salida
En ángulo recto	90-130°	0 km/h
En ángulo	40-50°	±60 km/h
De alta velocidad	30-35°	±100km/h

Para aeropuertos donde la demanda sea grande, conviene diseñar calles de rodaje de alta velocidad.



El despegue de una aeronave ocupa menos tiempo la pista; por ello, mientras más despegues se tengan, el aeropuerto tendrá mayor capacidad.

Las restricciones que se toman en cuenta para el tiempo de ocupación son las siguientes:

1. En una pista no puede haber más de un avión
2. Los aterrizajes tienen prioridad sobre los despegues.

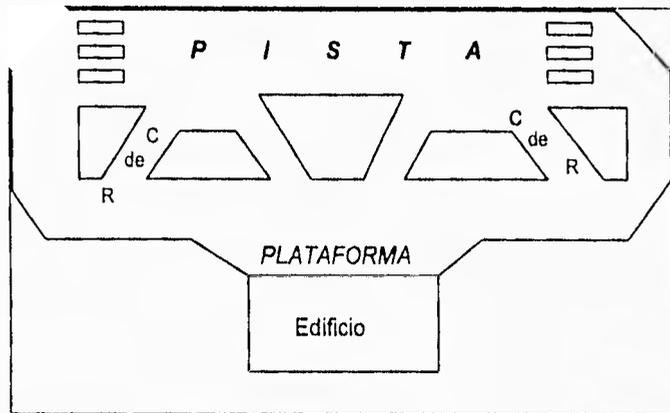
En base a estas restricciones se determina la separación entre aviones:

<b>Separación entre aviones (Millas Náuticas)</b>				
1	AVION	<i>Pesado</i>	<i>Grande</i>	<i>Pequeño</i>
	<i>Pesado</i>	4	3	3
	<i>Grande</i>	5	3	3
	<i>Pequeño</i>	6	4	3

<b>Separación entre aviones (segundos)</b>					
Condición	Avión	Despegue		Aterrizaje	
	1 / 2	Pesados	Otros	Pesados	Otros
Despegue	Pesados	125	72	80	50
	Otros	125	72	80	50
Aterrizaje	Pesados	100	100	120	100
	Otros	100	100	175	100

Finalmente, habrá que estudiar las especificaciones de descenso como velocidad de aproximación, régimen de aproximación, etc. para determinar la ubicación de las calles de rodaje a lo largo de la pista para la salida eficaz de los aviones, ya que si su velocidad es mayor a la velocidad de salida tendrán que tomar la siguiente salida, prolongando su estancia dentro de la pista.

En sí, las calles de rodaje son un elemento de la zona aeronáutica que pueden llegar a influir mucho en la eficiencia de las operaciones realizadas en el aeropuerto, sobre todo en horas pico.



### ***Plataformas***

La plataforma se define como una zona de la parte aeronáutica de un aeropuerto cuyo propósito es recibir aeronaves para carga y descarga de pasajeros, correspondencia o mercancías, reabastecimiento, estacionamiento o mantenimiento. Pueden clasificarse de acuerdo con su objetivo y función principal.

Las plataformas están relacionadas con el edificio de pasajeros y/o carga, por lo cual se les debe planificar en conexión con los edificios para que representen una solución óptima en los siguientes puntos:

- Proporcionar distancias de rodaje mínimas entre pistas y puestos de estacionamiento ( ahorro de combustible, tiempo y mantenimiento).
- Prever libertad de movimiento con el propósito de evitar demoras innecesarias (puntualidad en los horarios).
- Reservar extensión suficiente para la ampliación futura, así como lograr un rendimiento y seguridad operacional para los usuarios.

Los parámetros básicos que se consideran para ubicar las plataformas son: (para el presente y en el futuro):

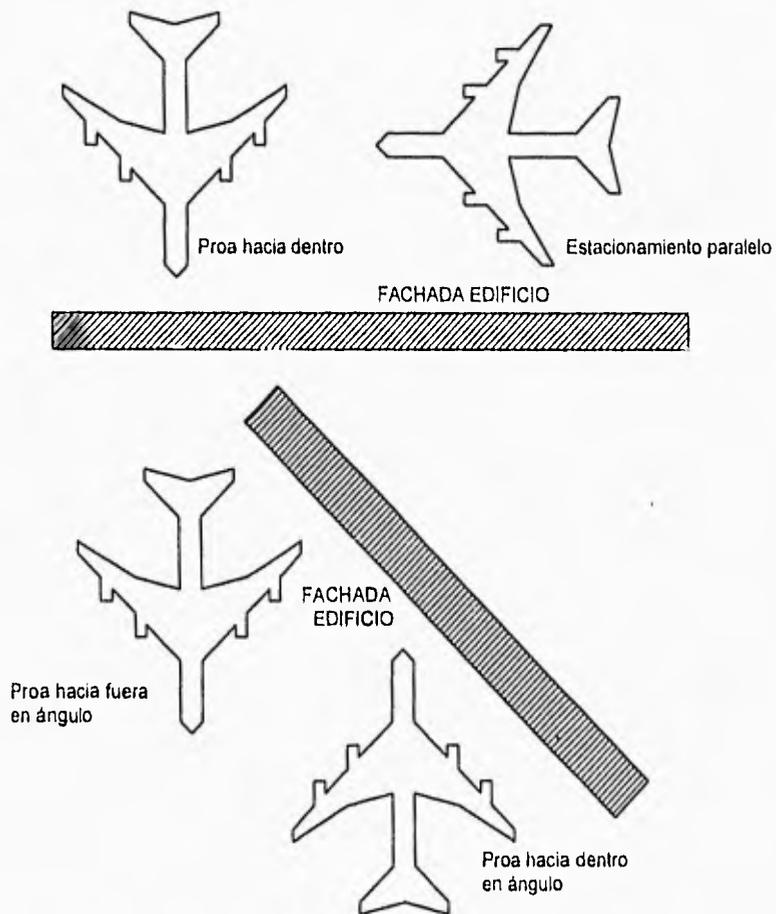
1. Número de puestos de aeronave requeridos
2. Tipo de Aeronaves
3. Dimensiones de aeronaves y capacidad de maniobra
4. Configuración de estacionamiento
5. Especificaciones de espaciado

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

6. Requisito de servicios terrestres

7. Método de guía de la aeronave al puesto de estacionamiento

Por profundizar en alguno de estos parámetros, veamos las configuraciones de estacionamiento así como sus ventajas y desventajas<sup>41</sup>.



<sup>41</sup> Se refiere a las necesidades físicas como equipo y áreas de servicio para las diferentes formas de estacionarse.

**COMPARACIÓN DE DIFERENTES CONFIGURACIONES DE AERONAVES**

	<i>Proa hacia adentro (tracción y empuje con tractor)</i>	<i>Proa hacia adentro en ángulo (entrada y salida con la propia potencia)</i>	<i>Proa hacia afuera en ángulo (entrada y salida con la propia potencia)</i>	<i>En paralelo (entrada y salida con la propia potencia)</i>
<b>Ventajas</b>	<p>Requiere una zona menor para una aeronave dada</p> <p>Los efectos del chorro de los reactores sobre el personal, el equipo y la terminal son menores</p> <p>Reduce el tiempo de servicio de la aeronave, ya que el equipo terrestre puede emplazarse antes de la llegada de la aeronave; menores requisitos de movimiento de equipo en la salida de la aeronave</p> <p>Pasarela de embarque de pasajeros fácil de emplear</p>	No es necesario el tractor	No es necesario el tractor	<p>Facilidad de maniobra para entrada y salida de la aeronave</p> <p>No es necesario el tractor</p>
<b>Desventajas</b>	<p>Es necesario el tractor para el empuje</p> <p>La operación de empuje requiere tiempo y un operador hábil</p>	<p>Requiere una zona de plataforma más grande que para la configuración de proa hacia adentro</p> <p>Chorro del motor y ruido relativamente intenso en dirección a la terminal.</p>	<p>Requiere una zona de plataforma más grande que para la configuración de proa hacia adentro en ángulo</p> <p>Chorro de gases y ruido del motor en dirección a la terminal.</p>	<p>Requiere una zona de plataforma amplia para una aeronave dada</p> <p>Limita la actividad de servicio de aeronaves en la plataforma vecina, cuando entra y sale</p>

En el caso de una plataforma de pasajeros, una configuración con proa hacia adentro, combinada con pasarelas de embarque, proporciona las siguientes ventajas:

- a) Se requiere de una zona más reducida (evitando usar más terreno)
- b) Menor tiempo de la aeronave en tierra
  - \* movimiento eficaz de los pasajeros
  - \* equipo de servicios en tierra emplazados con mayor eficiencia
- c) la ruta de servicio puede trazarse con el propósito de disminuir la necesidad de manejar sobre la plataforma
- d) mayor seguridad para los pasajeros
- e) reducción de los efectos del ruido del escape de las aeronaves y del humo de los motores hacia la terminal

El número de puestos para las aeronaves en una plataforma de pasajeros, depende de los movimientos de las aeronaves de pasajeros, desglosado por tipo de aeronave, durante la hora pico y el tiempo de ocupación de los puestos de embarque. Como el número de puestos determina el tamaño de la plataforma, y con frecuencia también la configuración de la terminal, este aspecto resulta uno de los más importantes en la planificación. Como los demás elementos, el número necesario de puestos debe estimarse a corto, mediano y largo plazo, preparando un plan de ampliación ordenado y oportuno. Si la estimación hecha no contempla la ampliación del edificio, debe recurrirse a plataformas remotas, donde se reduce la eficiencia del sistema, puesto que los pasajeros tienen que ser transportados al edificio terminal por otro medio de transporte (camiones).

El número requerido de plataformas en una terminal de pasajeros puede estimarse mediante la siguiente fórmula:

$$S = \sum \left( \frac{T_i}{60} \times N_i \right) + \alpha$$

donde:

S = Número requerido de plataformas

T<sub>i</sub> = tiempo de ocupación del puesto de embarque en minutos de grupo de aeronaves i

N<sub>i</sub> = Número de aeronaves que llegan, grupo y durante la hora pico

α = número de plataformas extra de reserva

**Tiempo típico de ocupación en puestos (minutos)**

<i>Aeronave</i>	<i>Nacional</i>		<i>Internacional</i>
	<i>Vuelo sin regreso</i>	<i>Vuelo con regreso</i>	<i>Vuelo con regreso</i>
B-737, DC-9, F-28	25	45	-
B707, B-757	45	50	60
A300, DC-10, L-101	45-60	60	120
B-747	-	60	120-180

De tal forma, volvemos a decir que la estimación de la demanda será fundamental para dimensionar este tipo de elemento en la zona aeronáutica, ya que es indispensable no tener problemas de capacidad para que cualquier aeronave programada cumpla con sus horarios establecidos y así no se tengan inversiones ociosas<sup>42</sup>. En otras palabras, el aeropuerto nunca debe presentar una saturación para que cualquier avión que llegue siempre tenga una posición libre para estacionarse, tomando siempre en cuenta que se evite al máximo tener inversiones ociosas y así, mantener el equilibrio del sistema.

---

<sup>42</sup> Cualquier aeronave que llegue debe tener un lugar para estacionarse para continuar con su itinerario y su programa de vuelo preestablecido.

### **3.4. EDIFICIO:**

Al planificar el edificio de pasajeros, es necesario pensar en muchas cuestiones de logística, como son medios para que los pasajeros entren o salgan de los vehículos de transporte terrestre, estacionamiento de automóviles, lugares donde los explotadores de aeronaves (líneas aéreas) puedan despachar a los pasajeros, donde las autoridades estatales puedan ejercer sus controles y donde puedan ubicarse todas las instalaciones y servicios necesarios para comodidad y asistencia de los pasajeros.

Las actividades aeronáuticas serán menos costosas y más eficientes si el edificio de pasajeros se sitúa lo más cerca posible de las pistas, ya que se reducen las distancias de rodaje y el consumo de combustible, contribuye a evitar la congestión reduciendo el tiempo en que las aeronaves se encuentran en movimiento en tierra.

Sin embargo, debe tenerse cuidado a fin de evitar que se vean comprometidas las posibilidades de expansión futura y la flexibilidad de utilización. Por eso, la localización de las instalaciones y servicios de pasajeros constituye una parte inseparable de la planificación de la disposición general de las pistas y de todo el plan del aeropuerto.

#### **3.4.1. Distribución**

Uno de los objetivos más importantes para la concepción de un edificio de pasajeros es el prever todos los servicios necesarios para los pasajeros a un costo óptimo, sin dejar a un lado la necesidad de conseguir cierto grado de flexibilidad, la posibilidad de expansión futura y el costo de futuras ampliaciones.

La función principal del edificio de pasajeros es servir como enlace entre el transporte terrestre y el transporte aéreo, tratando que este enlace sea cómodo, adecuado y rápido, a un costo efectivo mínimo, y que pueda aceptar, sin grandes modificaciones, el aumento de la demanda.

La clave para lograr los objetivos de planificación es la sencillez. Esto significa rutas de circulación sencillas y obvias dentro del edificio. El plan de circulación de pasajeros debería ser lo primero que se considere. Algunos de los principios de circulación que han de considerarse con respecto a los pasajeros son:

- Las rutas deben ser cortas, directas y sin necesidad de explicaciones
- Los cambios de nivel en las rutas deben evitarse en lo posible
- Los pasajeros que embarcan deberían poder presentar sus equipajes en el puesto más cercano posible
- Los pasajeros no deberían tener que pasar por el mismo tipo de control más de una vez.
- El último control<sup>43</sup> que debe pasar el pasajero es el de seguridad (cabe mencionar que después de pasar por el control de seguridad se diseña una zona estéril<sup>44</sup>).

Para lograr esta sencillez, se construyen edificios que trabajan en forma independiente (sistema descentralizado). Esto implica una duplicidad de servicios que es justificable si la demanda lo amerita. Para ser candidato a este sistema descentralizado el volumen de pasajeros anual debe fluctuar de 12 a 14 millones pasajeros/año.

Como mencionamos en el tema de las plataformas, nunca debe haber una saturación en ellas, y mucho menos en el edificio, ya que esto podría causar retrasos y que los mismos pasajeros perdieran vuelos.

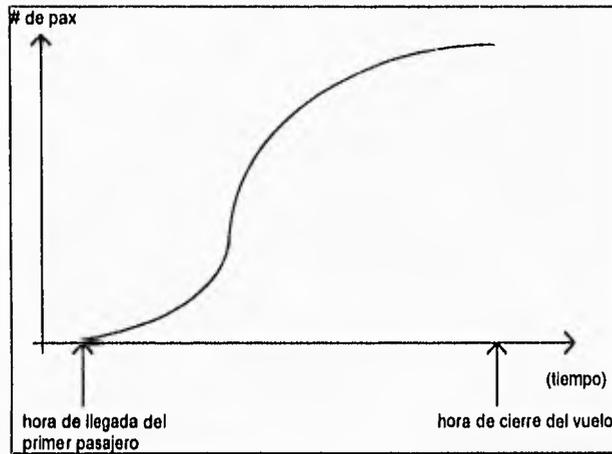
La distribución de los mostradores del edificio se diseña con el fin de interceptar a los pasajeros de salida, ya que estos llevan prisa por tener toda su documentación completa y listos para volar. No obstante, estos pasajeros, después de documentarse, disponen de mucho tiempo, y por ello, usan mucho los servicios que ofrece el aeropuerto.

La forma en como los pasajeros llegan a un mostrador sigue una distribución normal y tiene las siguientes características:

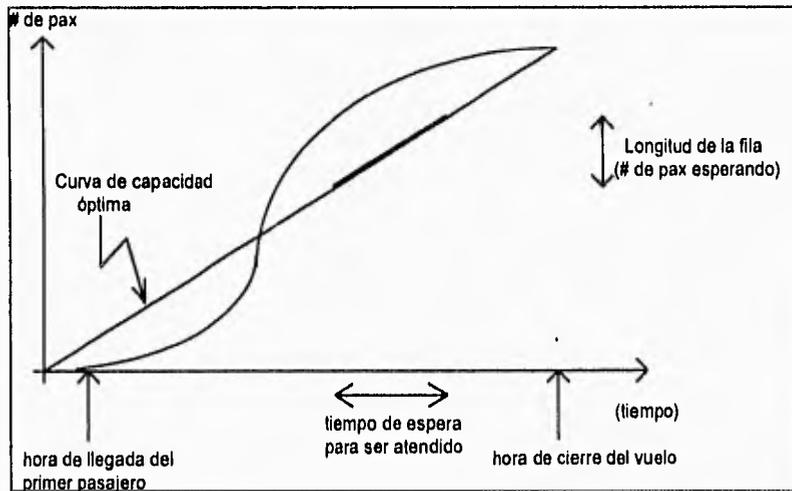
---

<sup>43</sup> En algunas ocasiones, cuando se trata de edificios donde llegan pasajeros internacionales, el último control puede ser migración.

<sup>44</sup> Zona ubicada entre el punto de control de seguridad y la aeronave.



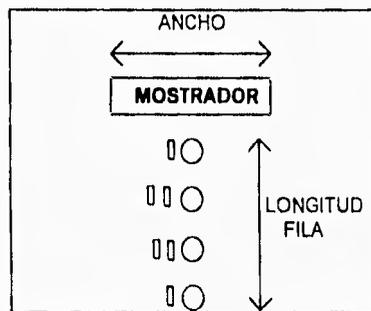
Como generalmente el empleado que trabaja en el mostrador, tiene un rendimiento uniforme, es decir, la capacidad para atender pasajeros sigue un patrón lineal, habrá cierto tiempo en que el mostrador este vacío y otro en que estará lleno (saturado). La curva de pasajeros de salida adopta la siguiente forma:



Cabe mencionar que después de la hora de cierre de vuelo, hay un lapso de tiempo para que se cierren las puertas del vuelo. Ese período se considera como el tiempo de trayecto del último pasajero.

Si la curva de capacidad de un empleado no alcanza a cubrir la demanda de todos los pasajeros, se tendrá que usar a un número de empleados suficientes para cubrir la demanda.

A partir de este tipo de análisis se diseñan las longitudes de mostrador, es decir, el espacio que tendrán que tener disponible para atender al usuario así como el espacio dentro del mostrador:

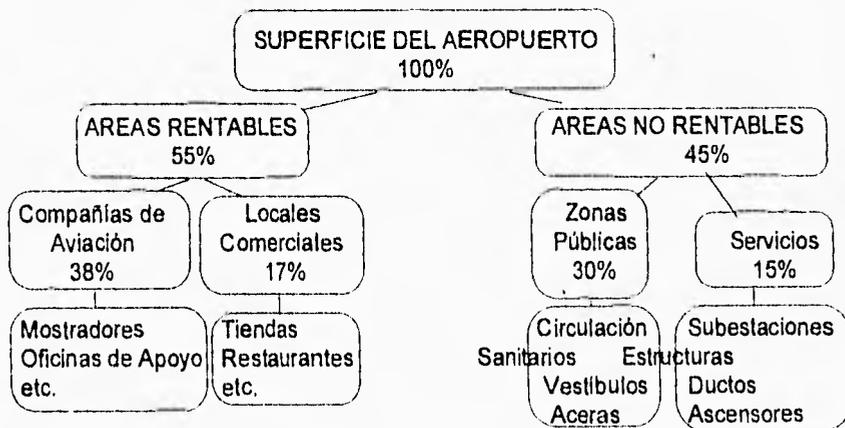


Así, se tienen que calcular una serie de demandas con el objetivo de hacer la distribución del edificio y conocer la superficie necesaria del aeropuerto:

PASAJEROS DE SALIDA			
ELEMENTO	Calcular	Para determinar	Objetivo
Zona de Mostradores	# de días # de vuelos por Cla.	Long. mostrador Long. de cola	Ancho de edificio entre mostrador y fachada terrestre
Zona Pública	# de pax en hora pico # de visitantes # de empleados	# de concesiones Ancho y largo del edificio	Dimensionar la zona pública y la zona estéril.
Seguridad	# de pax en hora pico	# de mostradores # de empleados	
Migración	# de pax en hora pico	# de mostradores # de empleados	
Concesiones	# de pax	# de locales	
Salas de espera	# de pax en hora pico	Ancho y largo de sala	Dimensionar
Servicios	# de pax	# de sanitarios Andadores	Dimensionar

PASAJEROS DE LLEGADA			
ELEMENTO	Calcular	Para determinar	Objetivo
Entrega de Equipaje	# de pax en hora pico	# de Bandas transportadoras Long. de bandas	Dimensionar vestíbulo
Zona Pública	# de pax # de visitantes receptores	# de concesiones Ancho y largo del edificio	Dimensionar la zona pública
Aduana	# de pax	# de mostradores # de empleados	Dimensionar
Migración	# de pax en hora pico procedencia	# de mostradores # de empleados	Dimensionar
Concesiones	# de pax	# de locales	Dimensionar
Sanidad	# de pax en hora pico	# de mostradores # de empleados	Dimensionar
Servicios	# de pax	# de sanitarios Andadores	Dimensionar

Finalmente, veamos la distribución de un aeropuerto y el porcentaje aproximado que se destina a cada zona en términos generales:



Podemos mencionar entonces que el edificio de pasajeros tiene una especial relevancia para el enlace entre los dos sistemas de transporte, considerando que este enlace debe realizarse siempre de la manera más eficaz, buscando siempre la mejor distribución del edificio posible.

## **IV. CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES**

Después de haber analizado los diferentes elementos que se conjugan para dar como resultado un proyecto aeroportuario, podemos decir que el comportamiento general del proyecto en su etapa operativa es consecuencia del proceso de planeación. Es decir, las decisiones tomadas en la fase de planeación repercuten directamente en la eficiencia general del sistema.

Así, mencionamos las siguientes cuestiones de importancia que se desprenden de cada estudio, tanto en la etapa de planeación como en la realización del proyecto:

- Los estudios socioeconómicos se realizan para determinar el tipo de población, las relaciones entre comunidades y el tipo de proyecto a desarrollar. Nos ayudan a apoyan para fijar la proyección de la demanda.
- El principal objetivo de un aeropuerto es servir de enlace entre dos sistemas de transporte. Para efectuar este enlace de una manera óptima, habrá que dimensionar la infraestructura de dos maneras: la primera, dimensionarla externamente (para que el usuario tenga un acceso fácil) y segunda, dimensionarla internamente (para que el usuario tenga un camino secuencial para tener acceso al siguiente sistema de transporte).
- El objetivo medular de la etapa de planeación es el determinar la capacidad que tendrá el aeropuerto al final de su vida útil.
- Es conveniente que un proyecto de este tipo sea autosuficiente para que nunca se tenga que depender directamente de un subsidio.
- El estudio que nos indica el comportamiento económico que tendrá el aeropuerto es el análisis financiero.
- Para la realización del proyecto, debe evitarse en lo posible la solicitud de préstamos, para evitar el pago de intereses.
- Las características físicas y meteorológicas del sitio en estudio influyen directamente en la factibilidad de que el proyecto se realice, ya que mientras mejores condiciones existan, será más económico.

- Las pistas son el elemento de la zona aeronáutica en base al cual se diseña todo el aeropuerto.
- El diseño adecuado de las calles de rodaje influye directamente en los tiempos de operación de las aeronaves.
- El número de plataformas debe ser siempre el necesario para que el aeropuerto nunca esté saturado.
- La distribución del edificio de pasajeros determina la eficiencia en que se realiza el enlace entre los sistemas de transporte involucrados.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

Organización de Aviación Civil Internacional  
"Manual de Planificación de Aeropuertos; Parte I Planificación General"  
Documento 9184

Organización de Aviación Civil Internacional  
"Manual de Aspectos Económicos de los Aeropuertos"  
Documento 9562

Organización de Aviación Civil Internacional  
"Anexo 14"-Aeródromos

Horonjeff, R. y Mckelvey, F.X.  
"Planning and Design of Airports"  
Editorial McGraw - Hill

Ing. Federico Dovall Ramos  
Apuntes de la Materia de Aeropuertos  
1995

Vázquez, A.B. y César, E.  
"Impacto Ambiental"  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Facultad de Ingeniería  
1a. edición

Juárez B., E. y Rico R., A.  
"Mecánica de Suelos"  
Tomo II.- Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos  
Ed. Limusa  
2a. edición