

26/179



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FACTORES DE ANALISIS EN LA PLANIFICACION DE AEROPUERTOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
SERGIO ARTURO SANCHEZ CABAÑAS

MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
GUATEMALA

Señor SERGIO ARTURO SANCHEZ CABAÑAS,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Federico Dovalí Ramos, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"FACTORES DE ANALISIS EN LA PLANIFICACION DE AEROPUERTOS"

Introducción.

1. Pronóstico de demanda.
2. Plan maestro.
3. Localización del aeropuerto.
4. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, a 13 de mayo de 1985

EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I .- Pronóstico de Demanda

1.1	Importancia de la elaboración de Pronósticos de Demanda	1
1.2	Tipos de Pronósticos	1
1.3	Técnicas para la obtención de pronósticos	2
1.3.1	Métodos convencionales	
1.3.2	Métodos econométricos	
1.3.3	Métodos indirectos	
1.4	Problemas de incertidumbre en la obtención de pronósticos	26
1.5	Obtención de los parámetros de planificación	27
1.6	Sujetos básicos de pronósticos	29
1.7	Presentación de pronósticos	29

CAPITULO II .- Plan Maestro

2.1	Concepto y Objetivos	35
2.2	Pistas	35
2.2.1	Generalidades	
2.2.2	Longitud de pista	
2.2.3	Ancho de pistas	
2.2.4	Partes constitutivas de las pistas; conceptos	
2.2.4.1.	Pavimento estructural	

2.2.4.2	Márgenes	
2.2.4.3	Franjas	
2.2.4.4	Sector contra chorros	
2.2.4.5	Area de seguridad en el extremo de la pista	
2.2.4.6	Zona de parada	
2.2.4.7.	Zona libre de obstáculos	
2.2.5	Distancias libres	
2.2.6	Orientación de pistas	
2.2.7	Capacidad de pistas	
2.2.7.1	Definición y generalidades	
2.2.7.2	Factores que afectan la capacidad de pistas	
2.2.7.3	Procedimiento para estimar la capacidad de un sistema de pistas	
2.3	Calles de rodaje	91
2.3.1	Generalidades	
2.3.2	Localización	
2.3.3	Dimensionamiento de las calles de rodaje	
2.3.4	Distancias libres	
2.3.5	Calles de rodaje de salida rápida	
2.3.6	Capacidad de las calles de rodaje y efecto en la capacidad de pistas	
2.4	Plataforma	105
2.4.1	Generalidades	
2.4.2	Requerimientos de espacio	
2.4.2.1	Tamaño de las posiciones de estacionamiento	

2.4.2.2.	Número de posiciones de estacionamiento	
2.4.2.3	Formas de estacionamiento de aeronaves	
2.4.2.4	Configuración de estacionamientos	
2.4.3	Márgenes de separación	
2.4.4	Circulación de plataforma	
2.4.5	Capacidad de las posiciones de estacionamiento.	
2.5	Edificio Terminal	124
2.5.1	Generalidades	
2.5.2	Instalaciones necesarias	
2.5.3	Clasificación con respecto al trazo	
2.5.4	Conexión entre el edificio terminal y las vías de acceso	
2.5.5	Requerimiento de espacio	
2.6	Camino de acceso	141
2.6.1	Introducción	
2.6.2	Modos de acceso	
2.6.3	Estimación del tránsito terrestre generado por la actividad aérea	
2.6.4	Estimaciones	
2.7	Almacenamiento y distribución de combustible	146

CAPITULO III .- Localización de Aeropuertos

3.1	Introducción	148
3.2	Análisis Básicos	148

3.2.1 Condiciones atmosféricas

3.2.2 Factores Ingenieriles

3.2.3 Espacios Aéreos

3.2.4 Factores del medio ambiente y sociales

3.3. Análisis complementarios

165

3.3.1 Disponibilidad de tierras para la expansión

3.3.2 Disponibilidad de servicios.

CONCLUSIONES

INTRODUCCION

Los aeropuertos se componen de una serie de instalaciones que posibilitan el cambio en la modalidad de transporte, de terrestre a aéreo y viceversa, y que debido al ágil desarrollo del transporte aéreo, la gran demanda colateral y la explosión demográfica sufre congestión en el aire, saturación en tierra y grandes problemas de acceso. Adicionalmente producen efectos nocivos en el medio ambiente debido al ruido y la contaminación.

El sistema aeropuerto se divide en diferentes subsistemas que son:

- a) Espacios Aéreos
- b) Pistas, Calles de Rodaje y Plataformas
- c) Zona Terminal
- d) Camino de Acceso
- e) Almacenamiento y distribución de combustible

Aunque en la presente tesis los temas se tratan por separado, debe aceptarse que existe una interacción entre sus diferentes componentes, y que los objetivos de uno en particular pueden rivalizar con los de otros.

El objetivo de la planificación de aeropuertos es el de coordinar los diferentes componentes de todo el sistema, para obtener de las instalaciones su funcionamiento óptimo en su horizonte de proyección, ya que son sumamente costosas y esto se logra mediante un proceso iterativo.

Los puntos a tratar en esta tesis son el de pronóstico de demanda, plan maestro e impacto de la construcción del aeropuerto en el medio ambiente.

CAPITULO I .- PRONOSTICO DE DEMANDA

CAPITULO I .- Pronostico de Demanda

1.1 Importancia de la Elaboración de Pronósticos de Demanda.

En la planificación Aeroportuaria al igual que en la planificación de otros sistemas de Transporte la demanda está relacionada con la capacidad del sistema, por ello es indispensable elaborar pronósticos que nos permitan tener una noción sobre la actividad aérea futura.

Los pronósticos son necesarios para definir las instalaciones que serán utilizadas, es decir, que con apoyo en ellos se podrán dimensionar y se podrá conocer en qué momento se necesitarán.

Por todo ésto los pronósticos tienen una repercusión económica muy grande ya que permitirán establecer criterios para la programación de inversiones de las instalaciones aeroportuarias.

El pronóstico de la demanda debe entenderse como una etapa necesaria en la planeación del sistema ya que sin un conocimiento, aunque sea aproximado, sobre la demanda futura, no se podrá diseñar el sistema aeroportuario.

1.2 Tipos de Pronósticos.

Los pronósticos de actividad aérea se clasifican según su alcance en función del tiempo de la siguiente manera:

- a) Pronósticos a corto plazo (hasta 5 años)
- b) Pronósticos a mediano plazo (hasta 10 años)
- c) Pronósticos a largo plazo (hasta 20 años)

La exactitud de los pronósticos decrece según aumente el plazo en el que se realicen; por esto no es recomendable efectuarlos a un horizonte mayor de 20 años.

Por otro lado debe establecerse una distinción entre el pronóstico que

se efectúe para un aeropuerto existente y aquél que se realice para un aeropuerto completamente nuevo.

Cuando haya la necesidad de efectuar pronósticos para un aeropuerto existente, estos pueden basarse en datos estadísticos.

En el caso de requerir pronósticos para un aeropuerto completamente nuevo el problema es totalmente diferente. Dentro de éste caso pueden ocurrir dos situaciones; una, que exista una población establecida en el sitio que sea el que vaya a generar la demanda, y otra, en la que a raíz de la construcción del aeropuerto se desarrolle una comunidad. De cualquier modo en el caso de un aeropuerto nuevo, la concurrencia de tránsito constituye un asunto más delicado que el mismo pronóstico.

Otra clasificación de los pronósticos es la que se efectúa en relación a la razón por la cual se ha decidido construir el aeropuerto, esto es básicamente si la población a la que va a servir es turística o no.

La clasificación de los diferentes pronósticos en relación a su alcance, su aplicación a una instalación nueva o existente y al hecho de ser turística o no, marcarán la pauta para el establecimiento de la técnica que habrá de emplearse para obtenerlos.

1.3 Técnicas para la obtención de pronósticos.

Existen muchas formas de obtener pronósticos de demanda. Los métodos son muy diferentes en su concepción, y algunos son más complicados que otros, pero todos tienen cierto grado de incertidumbre. Algunos métodos son más confiables en proyecciones a largo plazo y otros son utilizados con exclusividad para casos de aeropuertos nuevos.

En general los métodos de obtención de pronósticos pueden clasificarse en 3 grandes ramas:

- A) Métodos Convencionales
- B) Métodos Econométricos
- C) Métodos Indirectos

1.3.1 Métodos Convencionales.

Estos métodos se caracterizan porque toman la variación de la demanda como una respuesta a un cambio global de un número de variables sin analizar detalladamente el efecto de cada una.

Dentro de este grupo de técnicas tenemos las siguientes:

a) Método del Juicio.

Se basa en la intuición de la persona que obtenga el pronóstico, la cual debe conocer a fondo el problema y tener una gran experiencia. En general éste método es muy poco utilizado, pero tiene valor para pronósticos a corto plazo.

b) Métodos basados en diversas opiniones personales.

Para obtener pronósticos por medio de este método se seleccionan varias personas con la suficiente experiencia y capacidad para juzgar tendencias futuras. Estas deberán tener intereses diversos dentro de la industria del transporte aéreo.

Entonces se aplica un proceso iterativo dándoles una expectativa del futuro para que cada uno juzgue y estime en que período pudiera presentarse.

c) Extrapolación de Tendencias.

Este método ha sido muy usado y consiste en tratar de determinar

algunas formas de crecimiento que se ajusten al comportamiento o tendencia del tráfico aéreo en el pasado.

Cuando se utilice este método es imprescindible eliminar efectos de causas extraordinarias en el comportamiento pasado como pudiera ser la presencia de alguna huelga de larga duración.

Este método supone que el comportamiento de la actividad Aérea futura será un reflejo del pasado, pero esto no es necesariamente cierto, no obstante este método nos da una idea del rango dentro del cual se encontrará la demanda en un futuro.

Como puede observarse la obtención del pronóstico por el método de proyección de tendencias es muy útil en el caso de aeropuertos en funcionamiento, puesto que para llevarlo a cabo se requieren datos estadísticos.

Las formas de crecimiento que se utilizan mayormente para ajustarse al comportamiento del tránsito Aéreo son:

Aproximación a una Recta.

Cuando los datos estadísticos de años anteriores indiquen que la demanda varía en una forma relativamente constante con respecto al tiempo, la función que la represente será un línea recta de la forma $y = a + b x$ como se indica en la fig. 1.1

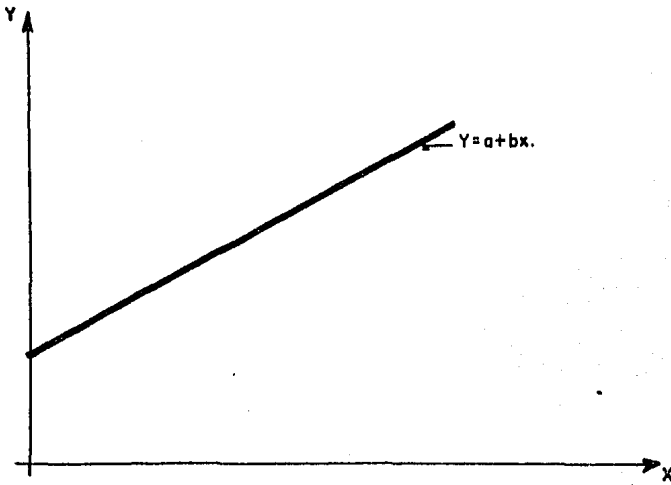


Fig.II. LINEA RECTA UTILIZADA EN EL METODO DE EXTRAPOLACION DE TENDENCIAS.

donde:

y = demanda

a,b = constante

x = tiempo

La tendencia de la demanda del transporte aéreo generalmente no sigue un patrón lineal a largo plazo, por lo que la aproximación a una línea recta se utiliza principalmente para proyecciones a un horizonte inmediato.

La obtención de las coeficientes de la recta se puede llevar a cabo por medio del método de mínimos cuadrados donde:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \cdot \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

y el coeficiente de correlación r^2 es:

$$r^2 = \frac{|n \Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)|}{|n \Sigma x^2 - (\Sigma x)| |n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2|}$$

El coeficiente de correlación es indicativo de la representatividad de la recta obtenida con respecto a los datos estadísticos, y ésta será mayor en cuanto que el valor de r sea más cercano a 1.

Aproximación a una función exponencial

Cuando los datos estadísticos tengan una variación como la que se muestra en la figura 1.2 la función que los represente será una ecuación exponencial de la forma $y = ab^x$

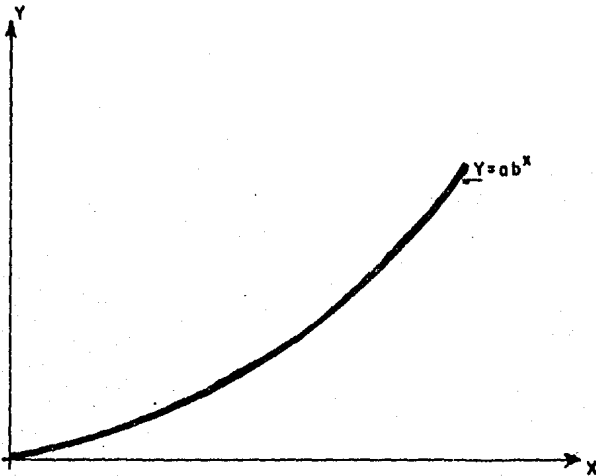


Fig.12. CURVA EXPONENCIAL UTILIZADA POR EL METODO DE EXTRAPOLACION DE TENDENCIAS.

donde:

y = demanda

a, b , = constantes

x = tiempo

Para obtener el valor de las coeficientes a y b es necesario obtener el logaritmo de la expresión $y = ab^x$, con lo cual obtenemos lo siguiente:

$$\log y = \log a + x \log b$$

si hacemos

$$\bar{y} = \log y, \bar{a} = \log a \text{ y } \bar{b} = \log b$$

obtenemos una función transformada de la forma $\bar{y} = \bar{a} + \bar{b}x$ que es la ecuación de la línea recta en un sistema logarítmico de ejes para cuyos coeficientes ya conocemos la expresión.

Este método se utiliza con más frecuencia cuando el horizonte de pronóstico está entre los 10 y los 12 años.

Aproximación a una curva asintótica.

Este caso considera que habrá un momento a partir del cual la variación de la demanda con respecto al tiempo disminuirá tendiendo a un valor constante. La forma gráfica de representar esta idea es como se muestra en la fig. 1.3

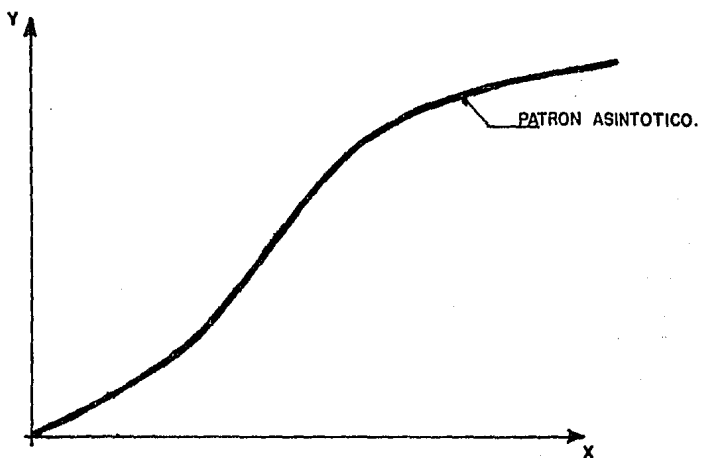


Fig. 1.3. CURVA DE PATRON ASINTOTICO UTILIZADA EN EL METODO DE EXTRAPOLACION DE TENDENCIAS.

Existen dos curvas de crecimiento que se acercan al patrón asintótico y son $y = k + ab^x$ y $y = k a^{bx}$ donde:

y = demanda

k, a y b - son constantes

x = tiempo

Para obtener las coeficientes k , a y b se utilizan 3 puntos P_1 , P_2 , y P_3 de los datos estadísticos con los que se cuenta, de tal forma que exista un periodo t de años igual entre P_1 y P_2 y entre P_2 y P_3 . Tomando en cuenta lo anterior, las expresiones que nos conducen a la obtención de los coeficientes de la curva logística son:

$$b^t = \frac{Q_3 - Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

$$a = \frac{Q_2 - Q_1}{bt - 1}$$

$$k = Q1 - a$$

siendo los valores de Q las ordenadas de los puntos P1, P2 y P3

Ejemplo de Cálculo

Dados los siguientes datos estadísticos del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México obtener las demandas esperadas para los años 1990, 1995 y 2000. Emplear los tres patrones utilizados por el método de proyección de tendencias.

n	AÑO	TOTAL DE OPERACIONES
1	1967	78,899
2	1968	91,169
3	1969	90,915
4	1970	99,552
5	1971	103,867
6	1972	126,171
7	1973	134,725
8	1974	142,248
9	1975	153,630
10	1976	212,653
11	1977	221,809
12	1978	206,972
13	1979	222,629
14	1980	230,328
15	1981	261,531

Patrón Lineal

$$y = a + bx$$

$$a = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} ; \quad b = \frac{n \cdot \sum XY - \sum X \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Para simplificar el cálculo se construye la siguiente tabla auxiliar

AÑO	(1) X	(2) Y	(3) XY	(4) X ²	(5) Y ²
1967	7	78,899	552,293	49	6'225,052
1968	8	91,169	729,352	64	8'311,787
1969	9	90,915	318,235	81	8'265,537
1970	10	99,52	995,520	100	9'910,601
1971	11	103,867	1'142,537	121	10'788,354
1972	12	126,171	1'514,052	144	15'919,121
1973	13	134,725	1'751,425	169	18'150,826
1974	14	142,248	1'991,472	196	20'234,494
1975	15	153,630	2'304,450	225	23'602,177
1976	16	212,653	3'402,448	256	45'221,298
1977	17	221,809	3'770,753	289	49'199,232
1978	18	206,972	3'725,496	324	42'837,409
1979	19	222,629	4'229,951	361	49'563,672
1980	20	230,328	4'606,560	400	53'050,988
1981	21	261,531	5'492,151	441	68'398,464
total	210	2'377,098	37'026,695	3220	429'579,011

$$a = \frac{(3,220)(2,377,098) - (210)(39,026,695)}{(15)(3,220) - (210)^2} = \frac{-121,350,390}{4200} = -28.893$$

$$b = \frac{(15)(37,026,695) - (210)(2,377,098)}{(15)(3,220) - (210)^2} = 13.383$$

$$r^2 = \left[\frac{(15)(37,026,695) - (210)(2,377,098)}{[(15)(3,220) - (210)^2] \times [(15)(429,679,011) - (2,377,098)^2]} \right]^2 = 0.947$$

Sustituyendo el valor de los coeficientes en la ecuación general de la recta tenemos:

$$y = -28.893 + 13.383x$$

Con la ecuación de la recta que se ajusta a los datos estadísticos de operación tenemos:

Para el año de 1990

$$x = 30$$

$$y = -28.893 + 13.383(30) = 372.597 \text{ miles de operaciones}$$

Para el año de 1995

$$x = 35$$

$$y = -28.893 + 13.383(35) = 439.512 \text{ miles de operaciones}$$

Para el año 2000

$$x = 40$$

$$y = -28.893 + 13.383(40) = 506.423 \text{ miles de operaciones}$$

Patron Exponencial

La forma general de la ecuación es $y = ab^x$. Obteniendo logaritmos

$$\log y = \log a + x \log b.$$

Si se sustituye $\hat{y} = \log y$, $\hat{a} = \log a$, $\hat{b} = \log b$ tenemos $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b} x$

$$a = \frac{\sum x^2 \cdot \sum \hat{y} - \sum x \cdot \sum x \hat{y}}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum x \cdot \hat{y} - \sum x \sum \hat{y}}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$r^2 = \left[\frac{n \sum x \hat{y} - (\sum x)(\sum \hat{y})}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum \hat{y}^2 - (\sum \hat{y})^2]}} \right]^2$$

Para facilitar el cálculo se construirá la siguiente tabla

AÑO	\hat{x}	\hat{y}	$x\hat{y}$	x^2	\hat{y}^2	
1967	7	1,897	13,279	49	3,599	P1
1968	8	1,960	15,680	64	3,842	
1969	9	1,959	17,631	81	3,838	
1970	10	1,998	19,990	100	3,992	
1971	11	2,016	22,170	121	4,064	
1972	12	2,101	25,212	144	4,414	P2
1973	13	2,129	27,677	169	4,533	
1974	14	2,153	30,142	196	4,635	
1975	15	2,186	32,790	225	4,779	
1976	16	2,328	37,248	256	5,420	
1977	17	2,346	39,882	289	5,504	
1978	18	2,316	41,688	324	5,364	
1979	19	2,348	44,612	361	5,513	
1980	20	2,362	47,240	400	5,579	
1981	21	2,418	50,778	441	5,847	
Totales	210	32.517	466.015	3220	70.921	

$$r^2 = \frac{[(15)(466.015) - (210)(32.517)]^2}{\sqrt{[(15)(3220) - (210)] [15(70.921) - (32.517)^2]}} = 0.963$$

$$b = \frac{(15)(466.015) - (210)(32.517)}{15(3220) - (210)^2} = 0.038 \text{ antilog } \hat{b} = 1.091 = b$$

$$\hat{a} = \frac{(3220)(32.517) - (210)(466.015)}{(15)(3220) - (210)^2} = 1,629 ; \text{ antilog } \hat{a} = 42.560 = a$$

Sustituyendo los valores de los coeficientes en la forma general del patrón exponencial.

$$y = 42.560 (1.091)^x$$

Para el año 1990

$$x = 30$$

$$y = 42.560(1.091)^{30} = 580,422 \text{ miles de operaciones}$$

Para el año de 1995

$$x = 35$$

$$y = 42.560(1.091)^{35} = 897,156 \text{ miles de operaciones}$$

Para el año 2000

$$X = 40$$

$$y = 42.500(1.091)^{40} = 1386,729 \text{ miles de operaciones}$$

Patrón Asintótico

Para facilitar el cálculo se requiere la construcción de la siguiente tabla:

AÑO	X	Y	
1967	0	78.899	
1968	1	91.169	P1
1969	2	90.915	
1970	3	99.552	
1971	4	103.867	
1972	5	126.171	
1973	6	134.725	P2
1974	7	142.248	
1975	8	153.630	
1976	9	212.653	
1977	10	221.809	
1978	11	206.972	P3
1979	12	222.629	
1980	13	230.328	
1981	14	261.531	

En este caso $b = 7$

$$b^7 = \frac{P3 - P2}{P2 - P1} = \frac{206,972 - 134,725}{134,725 - 91,169} = 1.659 \quad b = \sqrt[7]{1,659} = 1.075$$

$$a = \frac{P2 - P1}{b^7 - 1} = \frac{134,725 - 91,169}{1.659 - 1} = 66.094$$

$$k = P1 - \hat{a} = 91,169 - 66,094 = 25,075$$

Sustituyendo los valores en la ecuación general

$$y = 25.075 + 66.094 (1.075)^x$$

Evaluando la ecuación para los años en cuestión tenemos:

Para el año 1990

$$y = 25.075 + (66.094)(1.075)^{23} = 373.859 \text{ miles de operaciones}$$

Para el año 1995

$$y = 25.075 + (66.094)(1.075)^{28} = 525.800 \text{ miles de operaciones}$$

$$\text{Para el año 2000 } X=33$$
$$y = 25,075 + (66,094)(1,075)^{33} = 743,93 \text{ miles de operaciones}$$

d) Método que basa los pronósticos particulares en pronósticos obtenidos para toda la red.

Este método considera válido el hecho de que el comportamiento de un aeropuerto en particular seguirá un patrón de crecimiento igual al desarrollo de toda la red.

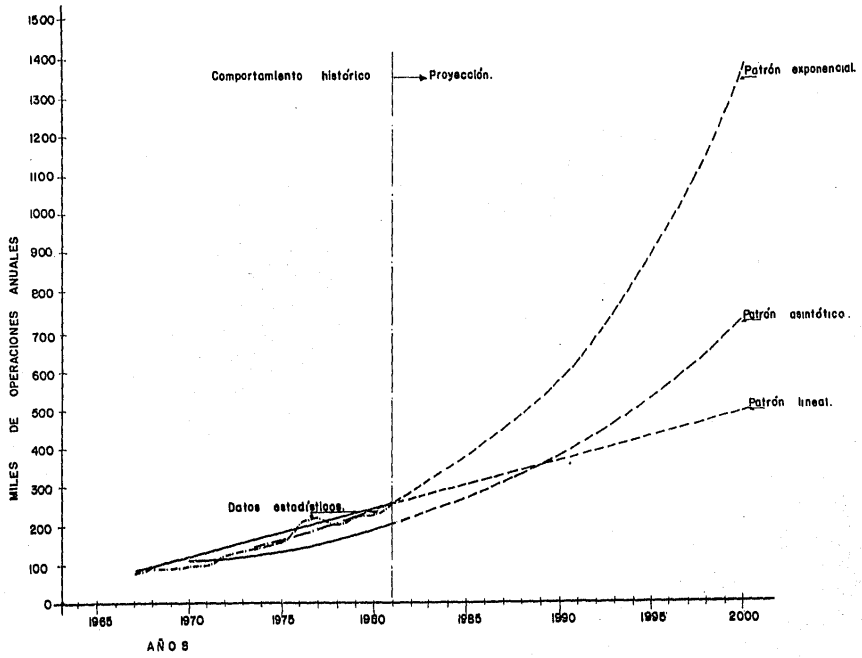


FIG. 1.5.

Lo anterior no es necesariamente cierto ya que la demanda de una ciudad puede variar significativamente de acuerdo a su desarrollo socioeconómico, sin embargo, en la mayoría de los casos en nuestro país este método es válido y es utilizado por la Dirección General de Aeropuertos (D.G.A.) .

e) Método basado en estudios de mercado.

Consiste en analizar las características del mercado del transporte aéreo obtenidas mediante encuestas para ver como es que la población lo utiliza. Estos resultados en combinación con pronósticos sobre la evolución de la sociedad dan una idea del volumen de la demanda futura en el uso del transporte aéreo.

1.3.2. Métodos Econométricos

Estos métodos intentan relacionar el nivel de tránsito aéreo en función de diferentes causas significativas a las que se les da un valor comparativo con respecto a las demás.

Estos métodos tienen el inconveniente de que ese valor comparativo es función de la intuición y experiencia de la persona que lleve a cabo el método.

La realización de la previsión econométrica incluye:

a) Determinación y selección de las causas significativas (variables independientes) que afectan al tráfico (variable dependiente) en base a la observación de tendencias en el pasado.

b) Establecimiento del modelo matemático que relacione la demanda aérea con los factores ya mencionados.

c) Comparación empírica del modelo matemático utilizando para ello datos estadísticos.

d) Obtener un pronóstico de los valores futuros de las variables independientes y, utilizando el modelo matemático, obtener el pronóstico de la demanda aérea.

Algunos de los factores que se han visto que alternan en mayor grado al tráfico y que han sido utilizados comúnmente en la previsión econométrica son, en el caso de tráfico de pasajeros, los siguientes:

Población, Producto Nacional Bruto, Gastos Personales de Consumo, Ingresos per Capita, Tarifas del Transporte Aéreo, tiempos de transporte entre el Aeropuerto y el lugar de origen del pasajero, número de servicios por unidad de tiempo, etc.

La lista anterior no significa que estos factores sean los únicos que afectan al transporte aéreo, y tampoco que sean válidos para cualquier estudio, ya que cada caso representará un problema diferente.

La previsión econométrica puede emplearse indistintamente para la planeación de aeropuertos nuevos o bien para aeropuertos que ya han operado por varios años, sin embargo se utiliza con más frecuencia en el caso de aeropuertos nuevos. Ya que la construcción del modelo requiere que sea probado, es práctica común el apoyarse en la tesis de que el comportamiento de un aeropuerto particular sigue la tendencia de toda la red.

Usualmente lo que se hace en los modelos econométricos es dejar constantes los coeficientes de afectación de cada variable independiente exceptuando una, la cual se va variando para dar idea de su participación en el modelo. Lo anterior se hace para cada variable y posteriormente se efectúan variaciones en todas ellas hasta conseguir un comportamiento del modelo que sea similar a la tendencia

de años anteriores.

Ya que el pronóstico por medio de métodos econométricos generalmente incluye una gran cantidad de variables independientes y el procedimiento de construcción del modelo es iterativo, es fácil llegar a la conclusión de que la utilización de la computadora en su elaboración constituye una herramienta muy importante.

Los métodos econométricos pueden dividirse en 2 grupos que son:

- 1) Métodos Direccionales que se refieren al tráfico en rutas determinadas.
- 2) Métodos no Direccionales que se refieren al volumen general de tráfico que se produce en un lugar.

La aplicación de los modelos direccionales y no direccionales pueden ser complementarios, por ejemplo, la previsión de los pasajeros generados en forma no direccional en un aeropuerto puede efectuarse partiendo de las previsiones de tránsito de las principales rutas en las que ese aeropuerto está involucrado.

Por otro lado el tránsito de una ruta puede suponerse que se desarrolla al mismo ritmo que el de toda la red.

Una técnica utilizada para la elaboración de modelos no direccionales es la del análisis de regresión múltiple cuya forma típica es:

$$t = a_0 + a_1 x_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n$$

donde:

t = El número de viajes generados

x_1, x_2, \dots, x_n = las variables independientes
 a_0, a_1, \dots, a_n = constantes

En lo que se refiere a los modelos direccionales, una de las técnicas que se utilizan es la del modelo gravitacional cuyo nombre debe a su semejanza con la ley de gravitación de Newton. Este modelo se basa en la hipótesis de que los viajes producidos en un origen y atraídos hacia un destino son directamente proporcionales a:

- . La producción total de viajes en el origen
- . Atracción total de viajes en el destino
- . Un factor socioeconómico de ajuste

La forma general del modelo gravitacional es:

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})}$$

donde:

T_{ij} = Viajes producidos en i y atraídos a j

P_i = Producción total de viajes en i

A_j = Atracción total de viajes en j

F_{ij} = Términos de Calibración para el intercambio i y j

k_{ij} = Factor socioeconómico de ajuste para el intercambio ij

i = El número de la zona de origen

n = Número de zona de origen

1.3.3. Métodos Indirectos

Estos métodos se utilizan cuando es necesario efectuar un pronóstico para un aeropuerto nuevo en un lugar donde no exista ningún dato

relacionado directamente con la actividad aérea, es decir donde no hay aeropuerto.

Cuando se trate de polos turísticos, en México la Dirección General de Aeropuerto (D.G.A.) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes utiliza un método que relaciona la demanda de transporte aéreo con el programa de construcción de la infraestructura hotelera.

Este método fue empleado para el pronóstico de la demanda del aeropuerto de Cancún que presentaba el problema de tener que contar con instalaciones para vuelos internacionales desde su primera etapa de construcción. Con la experiencia del aeropuerto de Puerto Vallarta en relación a que su nivel de demanda se estancó debido a la falta de hoteles que alojaran al Turista, y considerando en el caso de Cancún que casi la totalidad de estos llegan por avión ya que es un desarrollo Turístico pensado para turismo Internacional, se llegó a la conclusión de que la demanda aérea sería función de la infraestructura hotelera. Así mismo para llegar a ésta conclusión se emplearon estadísticas de FONATUR en cuanto a los tiempos promedios de utilización de las habitaciones de los hoteles.

Otro método indirecto para la obtención de pronósticos empleados en México por la D.G.A. se basa en modelos que correlacionan la actividad aérea con la actividad telefónica.

La explicación de éste método requiere previamente el conocimiento del concepto de Area de Influencia.

El Area de influencia es una zona alrededor de un aeropuerto dentro de cuyos límites se encuentra la clientela potencial para el uso del transporte aéreo (ver fig. 1.6.)

La Dirección General de Aeropuertos de la Secretaría de Comunica-

ciones y Transportes ha efectuado análisis estadísticos del lugar de origen o destino de los usuarios en algunos aeropuertos Mexicanos, obteniendo los siguientes resultados:

El 95% del tránsito del Aeropuerto proviene de lugares situados a menos de 40 min. de recorrido (zona 1).

El 5% restante proviene de lugares que se ubican a más tiempo y que convencionalmente se toma hasta 60min. (zona 2).

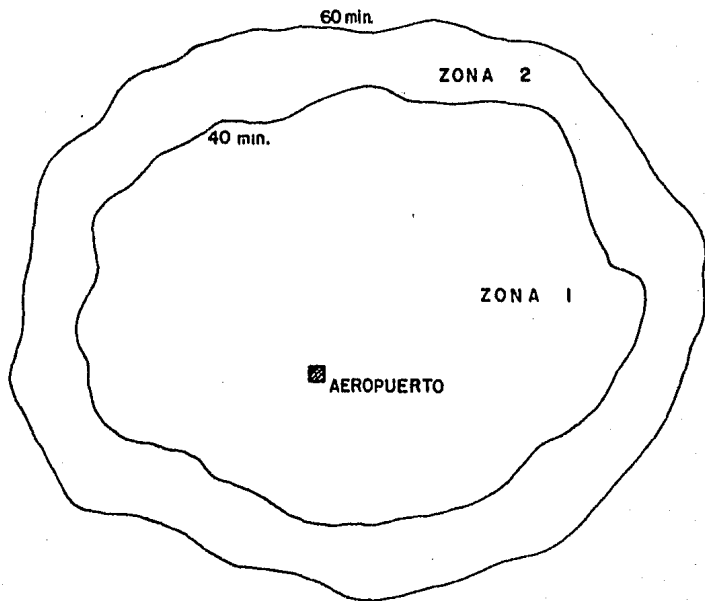


Fig. 1.6. CONCEPTO DEL AREA DE INFLUENCIA DE UN AEROPUERTO.

(Fuente: Referencia 5, Pag II-1)

El método llamadas Telefónicas se utiliza para casos de aeropuertos nuevos donde ya existe un área de influencia.

Mediante este método se determina la demanda anual de pasajeros aéreos que existiría si hubiera un aeropuerto en el lugar en cuestión, únicamente para el año de referencia, es decir, para el año más reciente del cual se disponga la información telefónica. Esta información será básica para pronosticar la demanda futura por cualquier otro método.

En la misma D.G.A. se sostiene que el recurso de la correlación Tránsito Telefónico/Tránsito Aéreo se justifica por la analogía que existe entre 2 efectos de una misma causa que es la necesidad de comunicación.

La elaboración del método se inicia con la determinación del Área de influencia del Aeropuerto en cuestión (AO). Posteriormente dentro de esa área de influencia se localizan todos los municipios mediante mapas que se obtienen de la Dirección General de Análisis de Inversión de la S.C.T. elaborando una lista. Inmediatamente después se solicita de Teléfonos de México información acerca de todos las centrales telefónicas que existan en los municipios de la lista preparada con anterioridad. Esta información es la relativa al número de llamadas telefónicas entre las centrales del Área de influencia del Aeropuerto de Origen (CO) y las centrales telefónicas del área de influencia del aeropuerto de destino (CD). Los aeropuertos de destino fueron predeterminados al establecer las rutas probables del aeropuerto de origen en base a su concepción, es decir, considerando cual fué el motivo por el cual se decidió su construcción.

En la fig. 1.7 se muestran diferentes relaciones entre centrales telefónicas. Las marcadas con letra A son las significativas para la correlación tránsito telefónico/tránsito aéreo, las marcadas con B

han sido eliminadas ya que las centrales de destino no se encuentran dentro del Area de influencia del algún aeropuerto y las marcadas con C corresponden a un recorrido por tierra entre ellas inferior a 120min, ya que en éste caso la demanda de transporte será cubierta por automóvil.

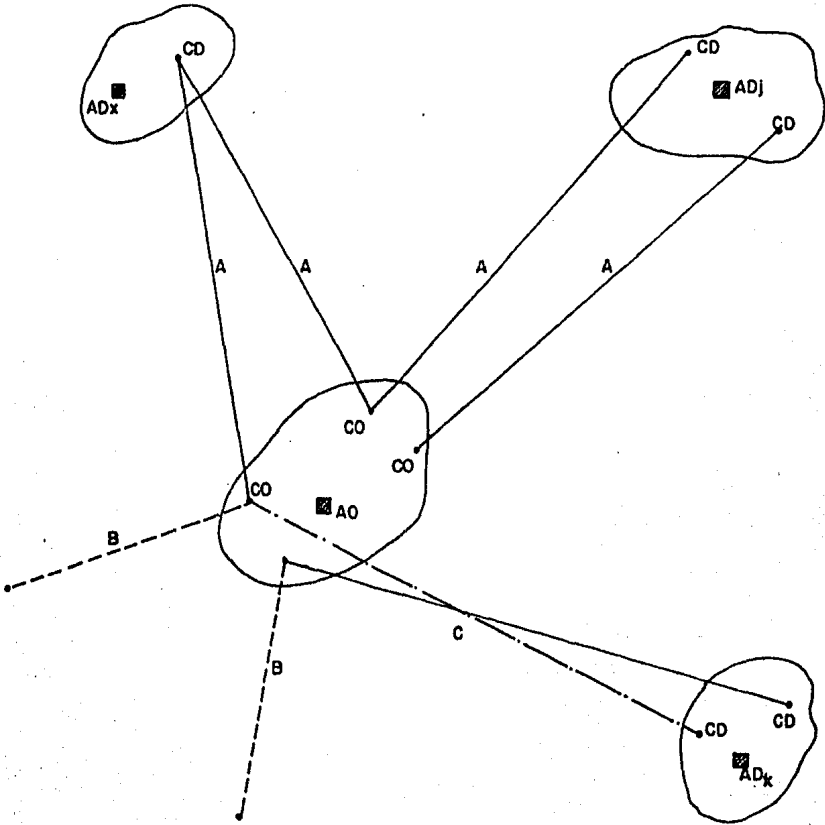


Fig. I.7. IDENTIFICACION DE LAS RELACIONES TELEFONICAS SIGNIFICATIVAS PARA LA CORRELACION TRANSITO TELEFONICO/TRANSITO AEREO.

(Fuente: Referencia 5, pag. II-1)

Por medio de éstas relaciones significativas se puede conocer el tránsito bruto al obtener los flujos telefónicos en sentido inverso mediante el promedio de las llamadas en los 2 sentidos.

Entonces se agrupan los tránsitos telefónicos brutos asociados a un origen/destino particular corrigiéndolos en función de la posición de las centrales telefónicas dentro de las áreas de influencia tanto del aeropuerto de origen como del aeropuerto de destino. Esta corrección o ponderación se efectúa multiplicando aquéllos que se encuentran dentro de la zona 1 por $C_1 = 1$ y los que se encuentran en la Zona 2 por $C_2 = 0.2$ obteniendo de ésta manera los tránsitos telefónicos totales corregidos que reflejan el tránsito aéreo de un Origen-Destino particular para el aeropuerto de origen (ver fig. 1.8).

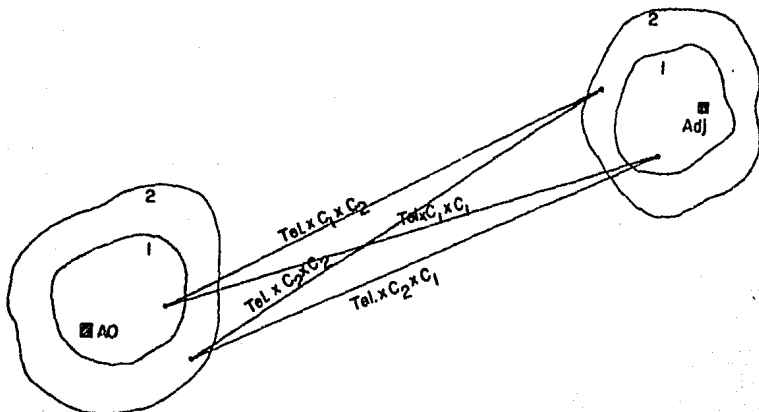


Fig.1.8. CORRECCION EN FUNCION DE LA POSICION DE LAS CENTRALES TELEFONICAS DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA DE LOS AEROPUERTOS DE ORIGEN (AO) Y DE DESTINO (AD).

(Fuente: Referencia 5, Pag. II-2)

En realidad ningún método para la obtención de pronósticos tienen una utilización universal, pues la elección de cada uno depende de las condiciones particulares del aeropuerto en cuestión, y frecuentemente se emplea una combinación de diferentes técnicas para la solución de un problema particular.

Un ejemplo de lo anterior es el aeropuerto de Cuautle que utilizó primero el método telefónico para obtener un valor aproximado que reflejara el tránsito para el año base, y a partir de éste dato se utilizaron las curvas de extrapolación de tendencias suponiendo un comportamiento similar al de la red.

1.4 Problemas de Incertidumbre en la obtención de pronósticos.

Debido al extenso número de factores que intervienen en la demanda de tránsito aéreo, es sumamente difícil obtener pronósticos de actividad aérea que sean exactos. Cuanto más largo sea el período que abarca el pronóstico mayor es la probabilidad de error debida a la variación de los factores que afectan los resultados.

Los errores en la elaboración de pronósticos pueden deberse a la mala elección del método de obtención, la consecución de datos básicos incorrectos, la estimación incorrecta tanto de los factores que pudieran afectar la demanda como de su participación en ella, etc.

Un factor que pudiera afectar significativamente la demanda de transporte aéreo es precisamente el cambio en las características de las aeronaves, ya que pueden aparecer vehículos más grandes o bien más rápidos que hagan más conveniente la transportación por éste medio; por esto es necesario estudiar especialmente las tendencias de dichas características para tomarlas en cuenta.

Por todo lo anterior es conveniente desarrollar pronósticos alternativos desde puntos de vista diferentes, y de ser posible que estén elaborados por distintas personas, ya que en la preparación de pronósticos intervienen en buen grado la opinión de quien los ejecuta, lo cual no garantiza resultados adecuados.

Por todos los problemas de incertidumbre en la elaboración de los pronósticos es necesario tener cierto factor de seguridad a la hora de preparar planes maestros de aeropuertos, es decir, habrá que hacerlo flexible y no rígido suponiendo que nuestros pronósticos de demanda serán perfectos.

1.5 Obtención de los parámetros de planificación

En general los pronósticos efectuados para la planificación de aeropuertos son anuales, sin embargo es la demanda en los periodos criticos la que marcará la pauta para dimensionar las instalaciones ya que es en esos momentos dificiles cuando se requiere mayor calidad en el servicio.

Con la finalidad de no planear instalaciones demasiado costosas para situaciones que se presentan solo ocasionalmente, ha surgido el concepto de "período pico típico", que es aquél cuya actividad corresponde a la 30^a ó 40^a de mayor a menor, y que en algunos casos se ha adoptado como alternativa para diseñar las instalaciones aeroportuarias. Los períodos punta típicos usuales son horas y días.

El número de pasajeros anuales que se mueve en un aeropuerto es la base de partida para el establecimiento de los parámetros de diseño, es decir de las "horas punta típica", y de otros datos que se requieran como pudieran ser las operaciones o la carga aérea anual por medio de la obtención de la relación de ocupación promedio de las aeronaves.

La conversión de los pronósticos de tránsito anual en parámetros de diseño es sumamente importante ya que si no se hace correctamente de nada serviría el esfuerzo realizado en la consecucion de modelos de calidad.

No existen métodos que pueden ser aplicados en forma general, sin embargo utilizando factores obtenidos de la experiencia en la planeación de un aeropuerto, los volúmenes anuales de pasajeros pronosticados pueden convertirse en volúmenes de pasajeros en el mes, día y hora pico, y estos a su vez convertidos en movimientos aéreos para una mezcla de aviones estimada. Lo anterior puede realizarse mediante el análisis de datos estadísticos.

Ejemplos de lo anterior son los modelos encontrados por la D.G.A. en base a análisis realizados en diferentes aeropuertos Mexicanos, que de ninguna manera son de utilización general pues han sido desarrollados en base a datos particulares en cada caso:

a) Para obtener las operación horarias comerciales en función de las operaciones anuales se usan las siguientes expresiones:

$$Y = 0.0142 x^{0.65}$$

que es una curva exponencial, donde

x = operaciones comerciales anuales

y = operaciones horarias comerciales

b) Para obtener las operaciones horarias totales (aviación comercial + aviación general) en función de las operaciones anuales totales.

$$Y = 0.0128 x^{0.7014}$$

que es una curva exponencial, donde

x = operaciones anuales totales

y = operaciones horarias totales

c) Para obtener los pasajeros comerciales por hora en función de los pasajeros comerciales por año.

$$Y = 0.16 x^{0.606}$$

que una curva exponencial, donde

x = pasajeros comerciales anuales

y = pasajeros comerciales horarios

d) Para encontrar los pasajeros horarios totales en función de los pasajeros por año.

$$y = 0.16 x^{0.606}$$

que es una curva exponencial, donde

x = pasajeros por año totales

y = pasajeros por hora totales

1.6 Sujetos básicos de pronóstico

Algunas de las cuestiones que frecuentemente requieren ser pronosticadas son:

Pasajeros anuales comerciales nacionales

Pasajeros anuales comerciales internacionales

Operaciones anuales comerciales nacionales

Operaciones anuales comerciales internacionales

Operaciones anuales de aviación general nacional

Operaciones anuales de aviación general internacional

Carga anual nacional

Carga anual internacional

Vehículos

Maletas

No. de empleados

No. de compañías

No. de hangares

No. de oficinas

Una vez obtenidos todos los sujetos básicos de pronósticos podremos ser capaces de saber las dimensiones y características de las instalaciones aeroportuarias.

1.7 Presentación de los Pronósticos

Para presentar los pronósticos es necesario utilizar registros claros y explícitos. Deben incluirse los datos a partir de los cuales se obtu-

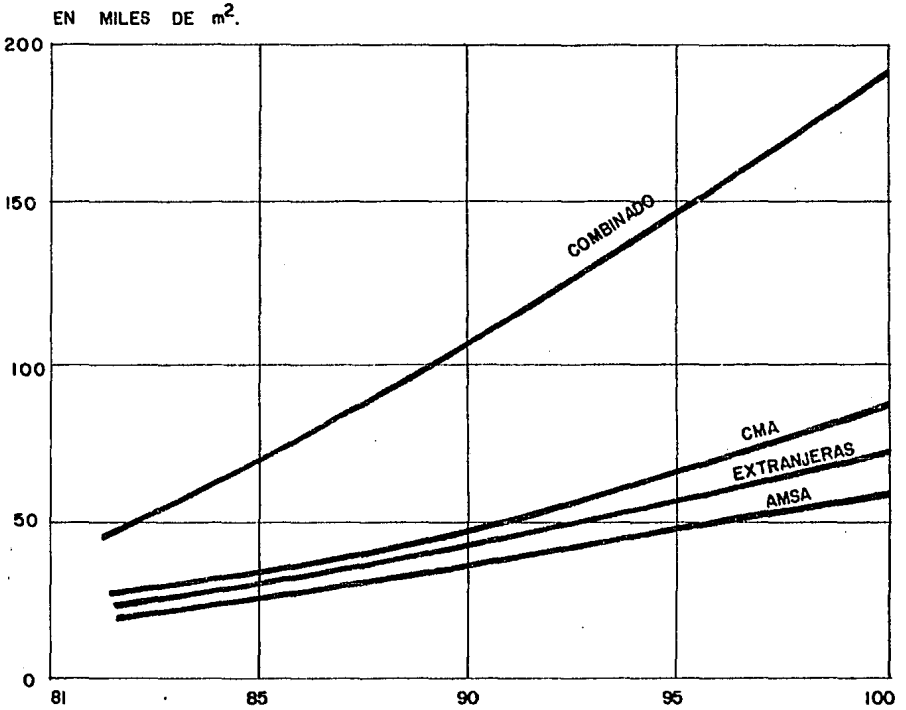
vieron los pronósticos, es decir los datos básicos, también deben enlistarse todas las suposiciones que se utilizaron así como la técnica que se empleó.

Un ejemplo de la presentación de pronósticos es el que se muestra en la tabla 1.2 que ha sido adoptado por la Dirección General de Aeropuerto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Otra forma usual de presentación de pronósticos es la que se presenta en las figuras 1.9, 1.10 y 1.11 que han sido obtenidas del Plan Maestro del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México publicado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares en Septiembre de 1982.

Es necesario mencionar que de ninguna manera estas gráficas y la tabla 1.2 sirven para pronósticar el movimiento aéreo, ya que solo son ilustrativas.

**EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS.
 AVIACION COMERCIAL REGULAR.**

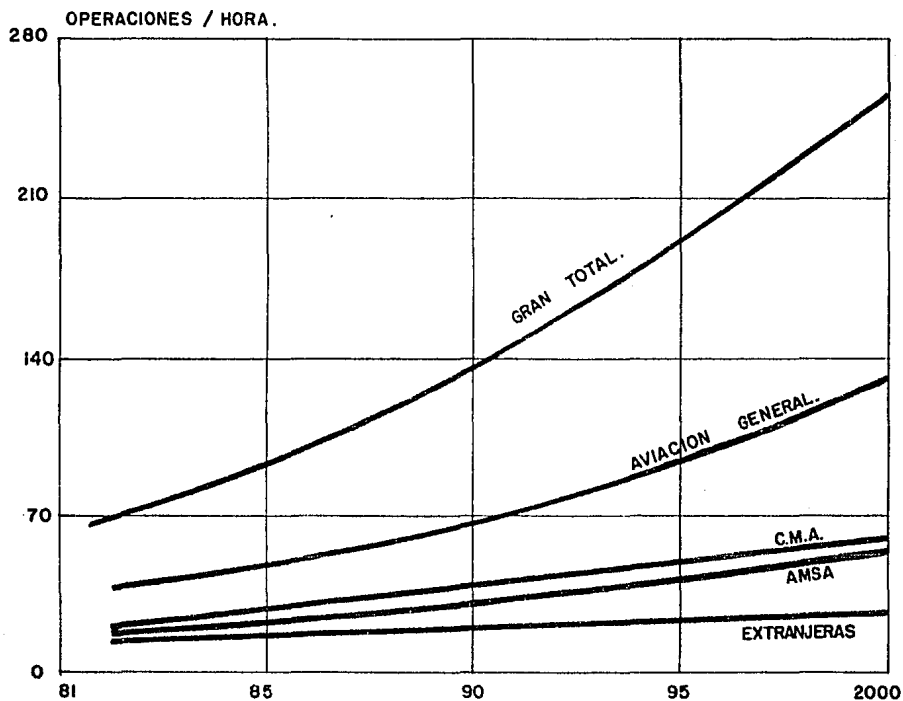


A Ñ O	A M S A	C M A	EXTRANJERAS	COMBINADO
1981	12,980	19,305	16,747	47,182
1985	20,350	29,700	25,575	72,610
1990	30,437	45,287	38,494	107,778
1995	41,800	62,788	52,519	146,891
2000	58,300	82,500	67,650	196,321

FIG. 1.9

(Fuente: Referencia 2, Pag. 46)

**PISTAS - RODAJÉS.
COMPOSICION DE LAS OPERACIONES
EN LA HORA CRITICA.**



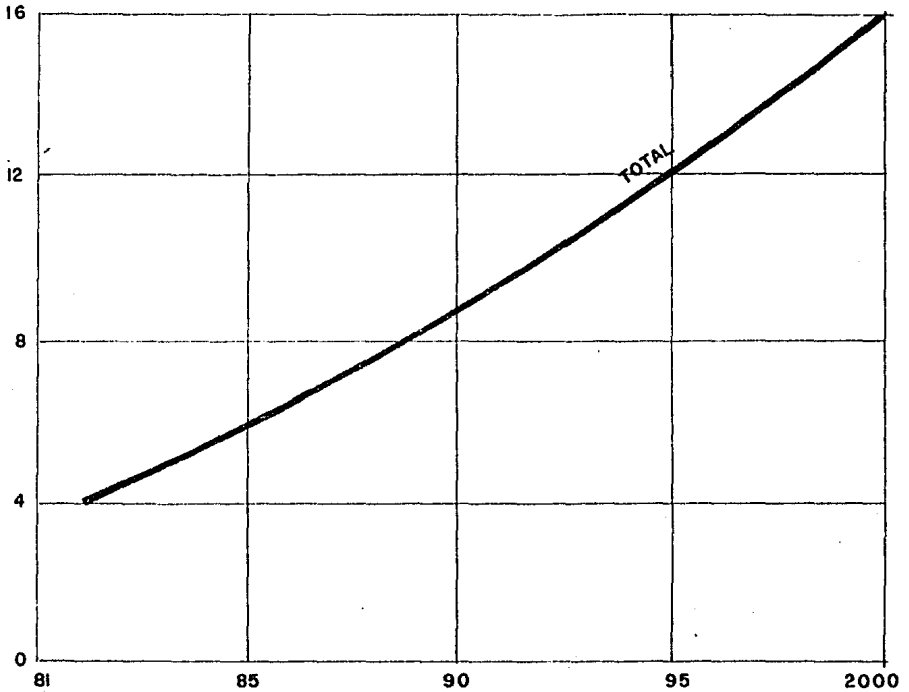
AÑO	AMSA	C.M.A.	EXTRANJERAS	AVIACION GENERAL.	GRAN TOTAL
1981	12	14	6	35	67
1985	18	21	9	45	93
1990	27	32	13	62	134
1995	35	42	18	85	180
2000	47	56	23	116	242

FIG. 1.10

(Fuente: Referencia 2, Pag. 45)

**OFICINAS DE AUTORIDADES AEROPORTUARIAS,
CON ACTIVIDAD DIRECTA A LA OPERACION.**

EN MILES DE m².



A Ñ O	A M S A	C M A	EXTRANJERAS	TOTAL.
1981	1,080	1,980	810	3,870
1985	1,800	3,000	960	5,760
1990	2,940	4,380	1,140	8,460
1995	4,440	5,880	1,320	11,640
2000	6,390	7,680	1,530	15,600

FIG. I.II

(Fuente: Ref. 2, Pag. 50)

ETAPAS

CONCEPTO	1985	1990	1995	2000	2005
<u>Movimientos Anuales</u>					
Pasajeros troncales	260,304	374,088	538451	775,765	1'118,040
Pasajeros regionales	2,075	2,982	4,293	6,185	8,915
Pasajeros aviación general	17,475	25,114	36,148	52,080	75,058
Pasajeros totales	279,854	402,184	578,892	834,030	1'202,013
Operaciones troncales	3,474	4,066	4,768	5,602	6,593
Operaciones regionales	876	1,259	1,813	2,612	3,765
Operaciones Aviación General	7,574	10,886	15,669	22,575	32,535
Operaciones totales	11,924	16,211	22,250	30,789	42,893
<u>Movimientos Horarios</u>					
Pasajeros (comerciales + regionales)	290	411	470	658	756
Pasajeros Aviación General	25	30	50	60	90
Pasajeros combinados	315	440	517	724	832
Operaciones comerciales	4	5	5	6	6
Operaciones Aviación General	5	6	9	12	17
Operaciones totales	9	11	13	16	20
Carga anual(ton)	1,500	2,300	3,600	5,600	8,600

Tabla 1.2 - Presentación típica de Pronosticos de Demanda utilizada por la Dirección General de Aeropuertos.

CAPITULO II .- PLAN MAESTRO

CAPITULO II .- Plan Maestro

2.1 Concepto y Objetivos

El Plan maestro es el concepto del desarrollo de un aeropuerto desde su puesta en marcha hasta su maximo crecimiento dentro del horizonte de proyección, el cual incluye superficies para usos aeronauticos y no aeronáuticos y la regularizacion del uso de tierra adyacente.

La función del plan maestro es guiar el desarrollo futuro del aeropuerto to el cual debe satisfacer la demanda y ser compatible con el medio y con el desarrollo de la comunidad.

Los planes maestros deben ser flexibles, es decir deben tener un sistema estructurado para la toma de decisiones y no un solo curso de acción previsto.

Debe fijar lugar para cada elemento como pistas, calles de rodaje, plataformas y zona terminal así como para instalaciones de apoyo del sistema de control de tráfico aéreo que se requieran en el presente o en un futuro.

El plan maestro requiere de un plano general donde figuren todos los elementos en sus diferentes etapas constructivas a lo largo del horizonte de proyección. Por otro lado requiere planos detallados de la zona terminal.

2.2.Pistas

2.2.1 Generalidades

Una pista es un área rectangular dentro de un aeropuerto la cual está proyectada para el aterrizaje y despegue de las aeronaves.

Previendo el crecimiento de la demanda aérea es necesario tener en cuenta que será menester ampliar las pistas o construir otras para lo cual se requerirá de un terreno lo suficientemente grande para no incurrir posteriormente en gastos exagerados.

En general las pistas deben ser de tal forma que causen la menor demora en las operaciones aéreas incluyendo rodajes, despegues y aterrizajes y proporcionen la separación adecuada en el patrón de tránsito aéreo.

2.2.2 Longitud de Pista

La longitud de las pistas es un factor de fuerte influencia en el tamaño del aeropuerto y por supuesto en su costo, por lo que es muy importante su análisis en la planificación.

Por otro lado la longitud de pista controla también el tipo de aeronaves a las que dará servicio y en cierta forma su alcance.

Los factores que influyen mayormente en la longitud de pista que un aeropuerto requiere son:

- a) El rendimiento de las aeronaves que utilice el aeropuerto
- b) Pesos brutos de despegue y aterrizaje
- c) Diseño de la aeronave
- d) Elevación y Temperatura del Aeropuerto
- e) Pendiente de la pista.

a) Efecto del Rendimiento de las Aeronaves en la longitud de Pista

Los requerimientos de la longitud de pista para cierto tipo de aeronaves se basan en su rendimiento durante las siguientes operaciones críticas especificadas:

- 1) Despegar y elevarse 10.5m. con todos los motores trabajando (ver. fig. 2.1.a)
- 2) Completar un despegue a una altura h con alguna falla en un motor en un punto crítico (ver fig. 2.1.b)
- 3) Parar después de un despegue frustrado con alguna falla en un motor en el mismo punto crítico (ver fig. 2.1.c)
- 4) Parar después de un aterrizaje cuando se pase a una altura H . (ver fig. 2.1.d).

Una explicación de esas operaciones críticas especificadas se da en la fig. 2.1 donde:

V_0 = Velocidad inicial cero

V_{mc} = Velocidad mínima de control. Es la velocidad a la cual el piloto por la velocidad relativa siente una reacción aerodinámica.

V_1 = Velocidad crítica o Velocidad de Decisión

V_R = Velocidad de Rotación. Consiste en que al llegar a cierta velocidad el piloto levanta la rueda nariz para aumentar el ángulo de ataque de las alas y por lo tanto mejora la sustentación.

V_{Lof} = Velocidad teórica en la cual la fuerza de sustentación es igual al peso del avión

V_2 = Velocidad mínima de ascenso seguro

h = 10.50m para aviones turbina y 15.00m para aviones de hélice

H = 15.m

Una pista recibe el nombre de balanceada cuando la longitud de despegue que se requiere en el caso de que se averíe un motor (fig.2.1.b) sea la misma que la distancia de aceleración - parada (fig. 2.1.c).

Un concepto operativo en relación a la longitud de pista es el de la pista desbalanceada que consiste en predeterminar la velocidad crítica ($V1$) diferente a la velocidad crítica para condiciones balanceada ($V1b$).

Si $V1 < V1b$ tenemos $DA-P < DA-Pb$, sin embargo $LD > LDb$ lo cual nos conduce a pensar en una zona de parada (ver 2.2.4.6) de menores dimensiones e incluso a prescindir de ella en el caso de escoger $V1$ de tal forma que $DA-P$ sea igual a la longitud del pavimento estructural de la pista. No obstante este caso nos conduce a requerir una zona libre de obstáculos (ver 2.2.4.7) de mayor longitud.

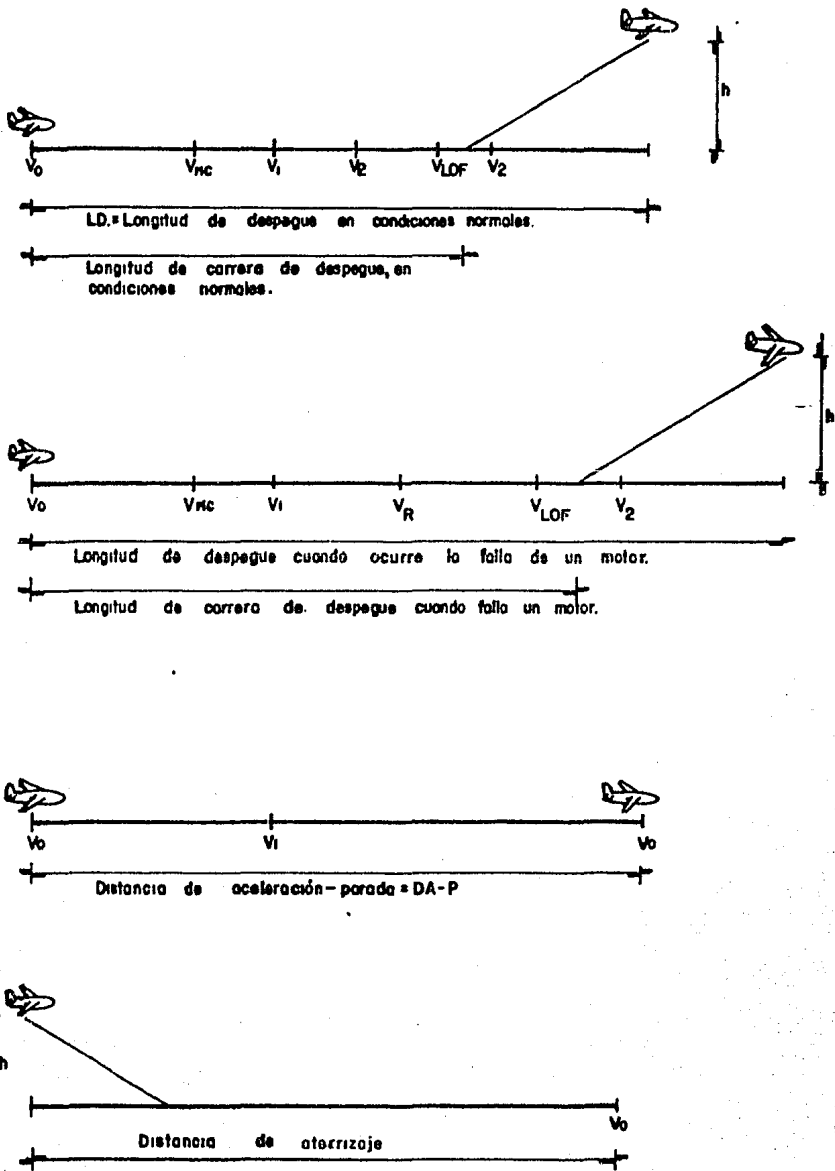


Fig. 2.I. FIGURA EXPLICATIVA DE LAS OPERACIONES CRITICAS ESPECIFICADAS POR LOS FABRICANTES EN RELACION CON LA LONGITUD DE PISTA REQUERIDA. (Fuente: Referencia 12)

Por el contrario si $V_1 > V_{1b}$ tenemos que $DA-P > DA-P_b$ por lo que se requiere el uso de una zona de parada y una longitud menor de la zona libre de obstáculos:

La figura 2.2 nos muestra la longitud de pista que se requiere para diferentes velocidades de decisión V_1 .

Es necesario comentar que estos conceptos son operativos ya que el diseño de la longitud de pista se efectúa para condiciones balanceadas.

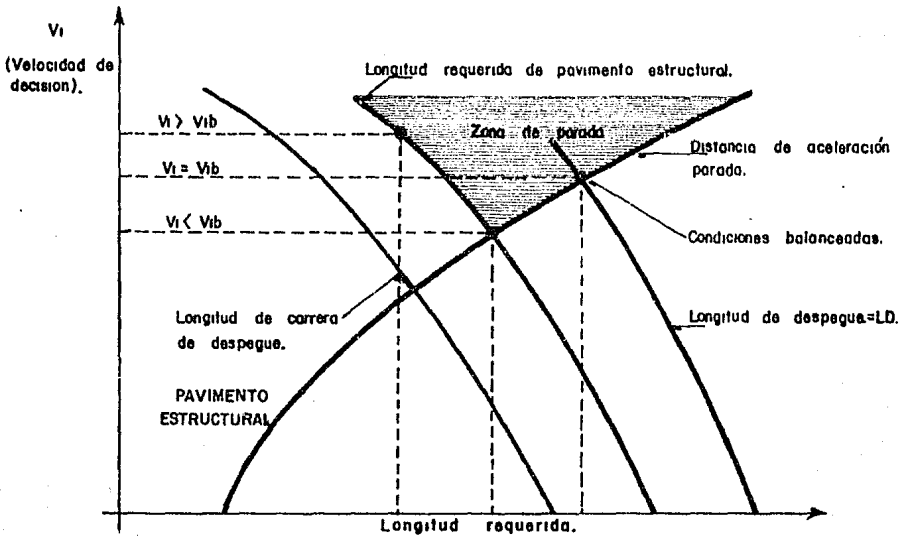


Fig. 2.2 (Fuente: Referencia 6, Pag. 71)

Longitud de pista zona de parada y zona libre de obstáculos requeridas para diferentes velocidades de decisión en caso de falla de algún motor.

b) Influencia de los pesos brutos de despegue y aterrizaje en la longitud de pista requerida.

El peso de las aeronaves es un factor que afecta significativamente la longitud de pista que requiere un aeropuerto.

Lo anterior se justifica en la figura 2.3 que es un diagrama de fuerzas verticales que actúan sobre un avión. En ésta figura, L es la sustentación y W es el peso de la Aeronave.



Fig. 2.3

Diagrama de fuerzas verticales en un avión

Se puede observar que para que el avión despegue debe cumplirse que $L > W$. Si aumentamos el peso de despegue de un avión, es necesario que la fuerza de sustentación requerida para vencer éste peso sea mayor también.

La siguiente expresión es la ecuación de sustentación

$$L = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (1)$$

donde:

L = Sustentación

C_L = Coeficiente de Sustentación

ρ = densidad del aire

V = Velocidad relativa del aeronave

A = Area total del ala

Si observamos detenidamente cada término de ésta ecuación se llega a la conclusión de que para un mismo avión, y en un mismo aeropuerto la única manera de aumentar la fuerza de sustentación es aumentando la velocidad del avión. Lo anterior nos lleva a deducir que para lograr una velocidad mayor, provocada en este caso por un incremento en el peso, es necesario contar con una longitud de pista mayor.

Una vez comprendida la importancia del peso de un avión, es necesario conocer sus componentes, los cuales se muestran en la fig 2.4. Por otro lado en la tabla 2.1 se muestran los diferentes pesos de los principales aviones comerciales del mundo.

Peso Total del Combustible	COMBUSTIBLE	Rodaje
	Combustible consumido en vuelo	
	Combustible de Reserva	
Carga Pagada	Correo Carga Pasajeros Equipaje	
Comisariato Tripulación Compartimientos		
Equipo Normal	Equipo de la cabina de vuelo Equipo de Rescate Manuales de Avión Equipo de Navegación	
Aceite, Motores		
Todos los fluidos excepto el aceite de motores Motores Fuselaje Alas Tres de Aterrizaje		

Peso máximo en Plataforma

Peso de despegue

Peso de Aterrizaje

Peso cero Combustible

Peso Operación Seco

Peso Básico

Peso Vacío

0

Fig. 2.4. Estructura del peso de un avión

AERONAVE	CONSTRUCTOR	PAIS DE ORIGEN	DE DESPEGUE (1b)	DE ATERRIZAJE (1b)	CERO COMBUSTIBLE (1b)	OPERACION SECO (1b)
DC-9-32	Douglas	E.U.A.	108,000	99,000	87,000	56,855
DC-9-50	Douglas	E.U.A.	120,000	110,000	98,000	63,328
DC-8-61	Douglas	E.U.A.	325,000	240,000	224,000	152,101
DC-8-62	Douglas	E.U.A.	350,000	240,000	195,000	143,255
DC-8-63	Douglas	E.U.A.	355,000	258,000	230,000	158,738
DC-10-10	Douglas	E.U.A.	430,000	363,000	335,000	234,664
DC-10-30	Douglas	E.U.A.	555,000	403,000	368,000	261,094
B-737-200	Boeing	E.U.A.	100,500	98,000	85,000	59,958
B-727-200	Boeing	E.U.A.	169,000	150,000	138,000	97,400
B-727-100	Boeing	E.U.A.	160,000	135,000	118,000	88,300
B-720-B	Boeing	E.U.A.	234,300	175,000	156,000	115,000
B-707-120-B	Boeing	E.U.A.	257,340	190,000	170,000	127,500
B-707-320-B	Boeing	E.U.A.	333,600	215,000	195,000	148,800
B-747-B	Boeing	E.U.A.	775,000	564,000	526,000	365,800
B-747-SP	Boeing	E.U.A.	650,000	450,000	410,000	308,400
L-1011	Lockhead	E.U.A.	430,000	358,000	325,000	240,000
Caravelle-B	Aerospatiale	Francia	123,460	109,130	87,080	66,260
Trident	Hanker Siddeley		143,500	113,000	100,000	73,200
BAC-111-200	BAC	Inglaterra	79,000	69,000	64,000	46,405
Super VC-10	BAC	Inglaterra	335,000	237,000	215,000	147,000
A-300	Airbus Industrial		302,000	281,100	256,830	186,810
Concorde	BAC Aerospatiale	Inglaterra- Francia	389,000	240,000	200,000	175,000
Mercuari	Dassault		114,640	108,030	99,200	57,022
Ilyushin-62	U.R.R.S.	U.R.R.S.	357,000	232,000	206,000	153,000
Tupolier-154	U.R.R.S.	U.R.R.S.	198,416	185,188	139,994	95,900

44 Tabla 2.1. Características del peso de las principales aeronaves comerciales.
(Fuente: referencia)

c) Influencia de Diseño de las Aeronaves en la longitud de la pista.

La influencia del diseño de las Aeronaves en la longitud de la pista estriba en su capacidad para proveer cargas alares máximas y ángulos de ataque óptimos.

Dentro de los factores que afectan la sustentación se encuentra el coeficiente de sustentación cuyo valor depende del ángulo de ataque (fig. 2.5) y el área de alas.

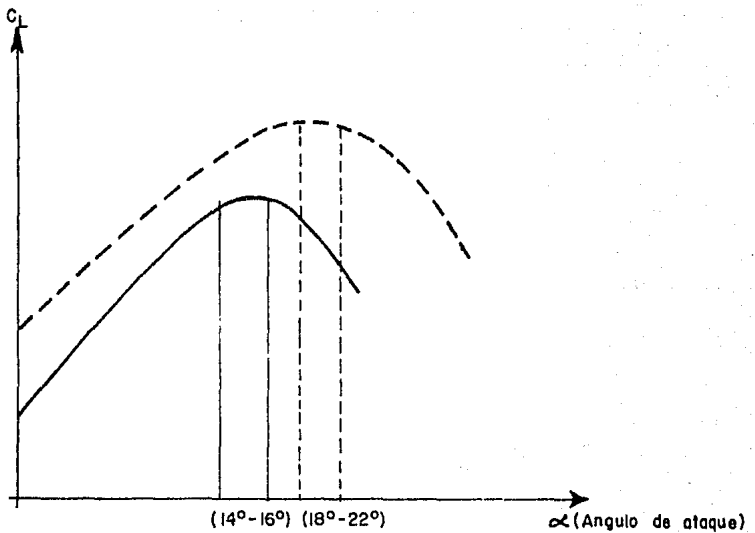


fig. 2.5

Variación del coeficiente de sustentación en relación al ángulo de ataque, (fuente: referencia 12)

Si es mediante un mejor diseño del avión y no por el aumento de velocidad como se logre un incremento en la sustentación, se requerirá una menor longitud de pista.

d) Elevación y temperatura del Aeropuerto como factores que afectan la longitud de pista requerida.

Su efecto es en relación a la sustentación y especialmente con respecto a la densidad del aire. Analizando la ecuación de sustentación, si la densidad del aire aumenta la sustentación aumenta, con lo cual se requiere de una pista con menor longitud.

A mayor temperatura menor densidad del aire, y a menor presión atmosférica menor densidad del aire.

- A mayor temperatura se requiere mayor longitud de pista.

- A mayor elevación se requiere mayor longitud de pista.

e) Pendiente de la Pista

Cuando un avión pretende despegar y la pendiente de la pista está a su favor alcanzará la velocidad de despegue más pronto, con lo cual requiere un pista de menor longitud.

Por otro lado si un avión aterriza y la pendiente de la pista está en la dirección de su movimiento requerirá de una longitud de pista mayor para poder detenerse.

Cálculo de la Longitud de Pista Requerida en un Aeropuerto.

Método propuesto por OACI

Cabe señalar que éste método ya no tiene aplicación práctica en la actualidad, sin embargo su explicación se debe a que aparece en algunos textos de la materia. Consiste en corregir la longitud básica de pista mediante un factor de elevación F_e , un factor de temperatura F_t y un factor que tome en cuenta la pendiente de la pista F_p .

El término longitud básica de pista se refiere a la longitud de pista que requiere un avión para operar en un sitio horizontal, al nivel del mar, en condiciones atmosféricas tipo y con viento en calma. La atmósfera tipo es aquella en la que el aire es un gas seco a 15°C de temperatura a nivel del mar y con una presión equivalente a 760mm. de mercurio. (29.92 Pulgadas de mercurio).

De ésta manera tenemos que:

Longitud de pista requerida = Longitud Básica x F_e x F_t x F_p .

Siendo:

$F_e = 1 + (0.07 \times \text{Elevación del Aeropuerto en miles de pies})$

$F_t = 0.01 | T - (15 - 1.956 E) | + 1$

donde :

$$T = t_1 + \frac{T_2 - T_1}{3} \quad \text{en grados centígrados.}$$

T = temperatura de referencia del Aeropuerto

T₁ = temperatura media del mes más caluroso

T₂ = temperatura media mensual de la temperatura diaria máxima del mismo mes

$$F_p = (0.10 P + 1)$$

donde:

P = pendiente efectuada de la pista en porcentaje

Ejemplo de Cálculo

Obtener la longitud de pista que requiere un B-727-200 en un lugar cuya altitud sobre el nivel del mar es de 500m, la temperatura media del mes más caluroso es de 21°C, el promedio de temperaturas máximas del mismo mes es de 30°C. La diferencia de alturas entre el punto más alto y el punto más bajo es de 10.70m.

Solución.

De la tabla 2.2 tenemos que

$$L \text{ básica} = 5600\text{ft} \times 0.3048\text{m} = 1707\text{m}.$$

a) Corrección por elevación

Primeramente convertiremos la elevación en metros sobre el nivel del mar a miles de pies sobre el nivel del mar

$$500\text{m} \times \frac{1\text{ft}}{0.3048\text{m}} \times \frac{1}{1000\text{ft}} = 1.640 \text{ miles de pies}$$

$$F_e = 1 + (0.07 \times 1.640) = 1.115$$

$$L \text{ Básica} \times F_e = 1707 \times 1.115 = 1904\text{m}.$$

b) Corrección por temperatura

$$T = T_1 \frac{T_2 - T_1}{3}$$

Sustituyendo:

$$T = 21 + \frac{30 - 21}{3} = 24^\circ \text{ C}$$

$$F_t = 0.01 [24^\circ \text{ C} - (15 - 1.956 \times 1.64)] + 1$$

$$F_t = 1.122$$

$$L \text{ Básica} \times F_e \times F_t = 1904\text{m} \times 1.122 = 2137\text{m.}$$

c) corrección por pendiente

La pendiente de la pista es:

$$P = 10.70 \div (L_b \times F_e \times F_t = 10.70 \div 2137 = 0.005 = 0.5\%$$

$$F_p = (0.10P + 1) = (0.10 \times 0.5 + 1) = 1.050$$

$$\text{Longitud verdadera} = L_b \times F_e \times F_t \times F_p = 2137 \times 1.05 = 2,244\text{m.}$$

AERONAVE	LONGITUD BASICA DE PISTA	
	(ft)	(m)
DC-9-32	7,500	2,286
DC-9-50	7,100	2,164
DC-8-61	11,000	3,353
DC-8-62	11,500	3,505
DC-8-63	11,900	3,627
DC-10-10	9,000	2,743
DC-10-30	11,000	3,353
B-737-200	5,600	1,707
B-727-200	8,600	2,621
B-720-B	6,100	1,859
B-707-120-B	7,500	2,286
B-707-320-B	11,500	3,505
B-747-B	11,000	3,353
B-747-SP	8,000	2,438
L-1011	7,500	2,286
CARAVELLE-B	6,850	2,088
TRIDENT-2E	7,500	2,286
BAC-III-200	6,850	2,088
SUPER VC-10	8,200	2,499
A-300	6,500	1,981
CONCORDE	11,250	3,429
MERCURE	6,500	1,981
ILYUSHIN-62	10,660	3,249
TOPOLEV-154	6,890	2,100

Tabla 2.2 (Fuente: Referencia 6, Pag. 47)

Longitudes Básicas de Pista de las principales aeronaves comerciales

Cálculo de la longitud de pista requerida utilizando manuales autorizados del avión.

Con respecto a éste caso el Manual de Planificación de Aeropuertos parte 1 de la Organización de Aviación Civil Internacional(OACI) proporciona la secuencia de cálculo de la longitud de pista de un Aeropuerto "A" en base a un vuelo del aeropuerto "A" al aeropuerto "B". Esta secuencia es como sigue:

- a) Obténgase el peso vacío de la aeronave
- b) Determínese la carga pagada
- c) Determínese la reserva de combustible
- d) Sume los pesos $a + b + c$. El resultado es el peso de aterrizaje de la aeronave en la ciudad B. Este peso no debe exceder el peso máximo estructural de aterrizaje de la aeronave.

- e) Calcúlese el combustible necesario para el ascenso a la altitud crucero y el descenso.

- f) El peso de despegue de la aeronave se obtiene sumando $e + d$. El total así obtenido no debe exceder del peso estructural máximo de despegue de la aeronave.

- g) Determínese la temperatura, el viento de superficie, la pendiente de la pista y la altitud del aeropuerto de salida.

- h) Con los datos señalados en los puntos f) y g), y utilizando el manual de vuelo aprobado para la aeronave en cuestión, determínese la longitud de pista.

Ejemplo de cálculo:

Obtener la longitud de pista requerida en el aeropuerto A para un

un Boeing 727-200 que viaja de A a B. La distancia de itinerario son 600 millas náuticas al destino y 200 al alterno.

El aeropuerto A se encuentra a una elevación de 1220 m.s.n.m, su temperatura es de 27° C (80.6° F) la pendiente de la pista es de 0.5% y la reserva de combustible es de 6,500lb.

SOLUCION

a) Obtención del peso de operación seco de la aeronave.

Peso operación seco = 88,300lb (ver tab. 2.1)

b) Determinación de la carga pagada

De la figura 2.7 obtenemos 29,700lb

c) Determinar la reserva de combustible

Como dato del problema tenemos 6,500lb

d) Suma

$$88,300 + 29,700 + 6,500 = 124,500\text{lb}$$

Este es el peso de aterrizaje en la ciudad B y no debe exceder el peso máximo estructural que es de 135,000lb

e) Calcular el peso del combustible requerido

Distancia destino + Distancia alterno = Distancia total

$$600 + 200 = 800 \text{ millas náuticas}$$

De la figura 2.7 obtenemos que la velocidad crucero del avión es de 500 nudos = 500 millas náuticas/hr.

El tiempo de vuelo es

$$V = \frac{d}{t} ; t = \frac{d}{V} = \frac{800\text{n.m.}}{500\text{n.m./hr}} = 1.6 \text{ hr}$$

Peso combustible = consumo/hr x tiempo

$$\text{Peso combustible} = 8,700\text{lb/hr} \times 1.6\text{hr} = 13,920\text{lb}$$

f) Obtención del peso de despegue

Sumando el resultado de los incisos e y f tenemos:

$$\text{Peso de despegue} = 124,500 + 13,920 = 138,420 \text{ lb}$$

Esta cifra no debe exceder al peso máximo de despegue especificado que es de 160,000 lb según la tabla 2.1.

g) Con estos datos se entra en la fig. 2.6a que representa al manual autorizado del avión para calcular la longitud requerida para el aterrizaje.

$$\text{Elevación del aeropuerto} = 1220 \text{ m.s.n.m.} \times 3,281 \frac{\text{ft}}{\text{m}} = 4003 \text{ ft.}$$

Según se muestra en la figura 2.6 a) $L = 5100 \text{ ft}$

En la fig. 2.6 b) que representa el manual autorizado del avión para calcular la longitud de pista requerida para el aterrizaje se entra en el eje horizontal en la parte izquierda en la temperatura del aeropuerto y se proyecta hacia arriba hasta cruzar la línea que marca la elevación del aeropuerto. A partir de este punto se traza una línea horizontal hasta alcanzar la línea de referencia (línea vertical)

Después se sigue paralelamente a las líneas inclinadas hasta que sucede una de las siguientes alternativas.

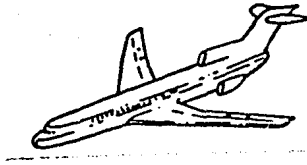
- 1.- Que interseccione la línea límite de elevación (líneas punteadas en la parte superior).
- 2.- Que alcance un punto en la escala que corresponda al peso de despegue.
- 3.- Que alcance un punto en la escala que corresponde a la distancia de vuelo.

En este caso secedió primero la alternativa 2 según se muestra en la fig. 2.6.b lo cual nos condujo a una longitud de 8,100 ft.

Se tomará como válido el mayor valor, que tendrá que ser corregido por pendiente.

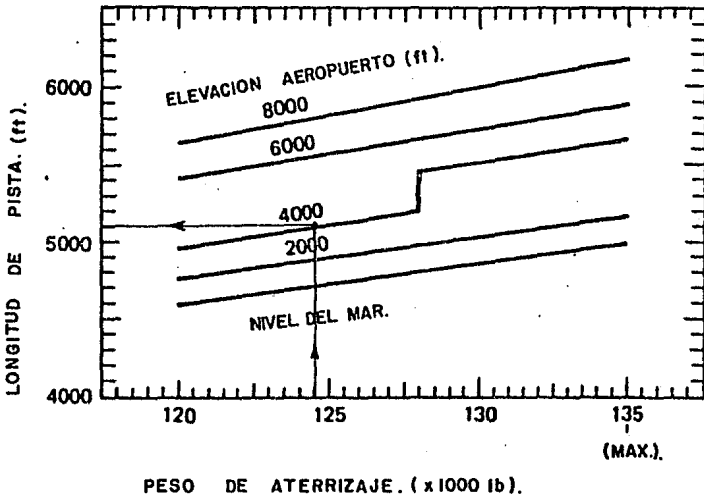
$$L = 8100 \times [1 + 0.1 \times 0.5] = 8,505 \text{ ft}$$

$$\text{Long. de pista} = 8,505 \times 0.3048 = 2,592 \text{ m}$$



BOEING 727-00
 PRATT & WHITNEY JT8D-1 MOTOR.

A) LONGITUD DE PISTA REQUERIDA PARA EL ATERRIZAJE.



CALCULO DE LA LONGITUD DE PISTA REQUERIDA
 UTILIZANDO LOS MANUALES AUTORIZADOS DEL AVION.

FIG. 26 A

(Fuente: Referencia 11, Pag. 196)

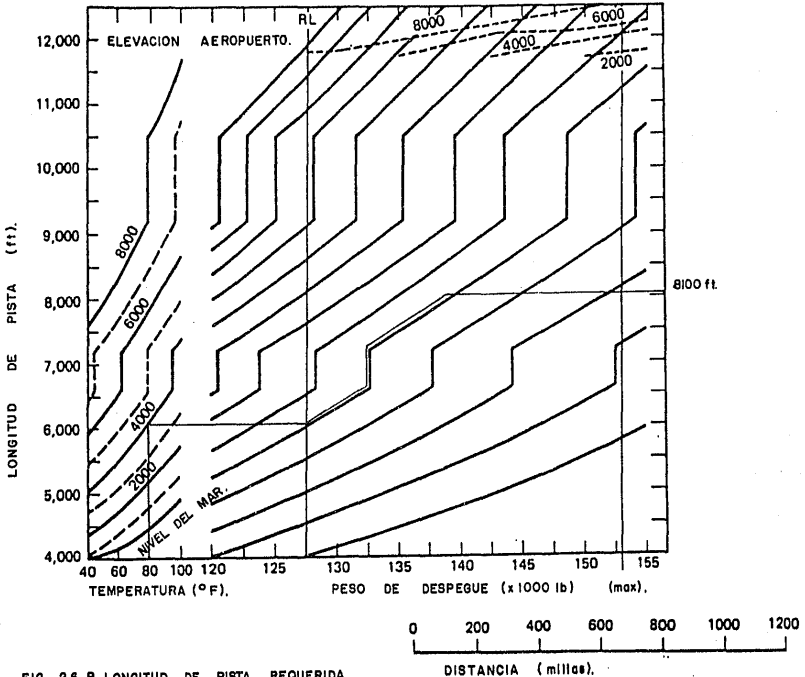


FIG. 2.6 B. LONGITUD DE PISTA REQUERIDA PARA EL DESPEGUE. (Fuente: Referencia 11, Pag. 197)

MODELO	Consumo de Combustible (lb/hr)	Velocidad(nudos)	Carga Pagada (lb)
BAC-III-400	4,440	345	21,140
Boeing-747	25,156	500	142,750
Boeing-727-200	12,128	500	40,638
Boeing-727	8,700	500	29,700
Boeing-707-A	16,000	500	47,400
Dc-3A	542	183	6,500
Dc-6-B	2,205	240	15,435
Dc-9-15	6,000	473	23,305
Dc-9-32	6,500	473	32,400
Dc-8-63	14,000	473	67,735
Dc-10-10	17,400	480	80,435
Dc-10-30	17,723	477	106,995

Fig. 2.7

Tabla de consumos horarios, velocidades y cargas pagadas de diferentes aviones comerciales.

(Fuente: Departamento de Planeación D.G.O.)

2.2.3 Ancho de Pistas

Observando la fig. 2.8 puede concluirse que el ancho de las pistas está en función del tamaño de las aeronaves a las que va a servir, en especial la distancia entre las ruedas exteriores del tren principal.

En la planificación de aeropuertos es preciso tener en cuenta la tendencia de las modificaciones en las características de tamaño de las aeronaves, para no incurrir en gastos innecesarios por un eventual requerimiento de un mayor ancho no previsto, que afecte a todo el sistema aeroportuario. La tabla 2.3 muestra la magnitud de las dimensiones de la fig. 2.8.

Por otro lado es necesario pensar que es imposible que los pilotos aterricen siempre en forma simétrica con respecto al eje de la pista, por lo que por seguridad se les da un buen margen en su ancho. La fig. 2.9 muestra la distribución de cargas producidas por los aviones con respecto al eje de la pista. Como puede observarse una gran cantidad ocurre dentro de los 10m. de distancia al eje de la pista.

AERONAVE	ENVERGADURA(m)	LONGITUD(m)	BASE DE RUEDAS(m)	DISTANCIA ENTRE LA PARTE EXTERIOR DE LAS RUEDAS DEL TREN PRINCIPAL.
DC-9-32	28.45	36.37	16.21	5.00
DC-9-50	28.45	40.23	18.57	5.00
DC-8-61	45.24	57.12	23.62	6.35
DC-8-62	45.24	46.18	18.54	6.35
DC-8-63	45.24	57.12	23.62	6.35
DC-10-10	47.35	55.55	22.07	10.67
DC-10-30	49.17	55.35	22.07	10.67
B-737-200	28.35	30.48	11.38	5.23
B-727-200	32.92	46.69	19.28	5.72
B-720-B	39.88	41.68	15.44	6.68
B-707-120-B	39.88	44.22	15.95	6.73
B-707-320-B	43.41	46.61	17.98	6.73
B-747-B	59.66	69.85	25.60	11.00
B-747-SP	59.66	53.82	20.52	11.00
L-1011	47.35	53.75	21.34	10.97
CARAVELLE-B	34.29	32.99	12.50	5.18
TRIDENT 2-E	29.87	34.98	13.41	5.82
BAC-III-200	26.97	28.19	10.08	4.34
SUPER-VC-10	42.67	52.32	22.00	6.53
A-300	44.83	53.62	18.62	9.60
CONCORDE	25.32	61.65	18.19	7.72
MERCURE	30.53	33.99	11.91	6.20
ILYUSHIN-62	43.21	53.11	24.49	6.78
TUPOLEV-154	37.54	47.90	18.92	11.51

Tabla 2.3
Valores de las dimensiones de las principales aeronaves comerciales (Fuente: Referencia 6, Pag. 46)

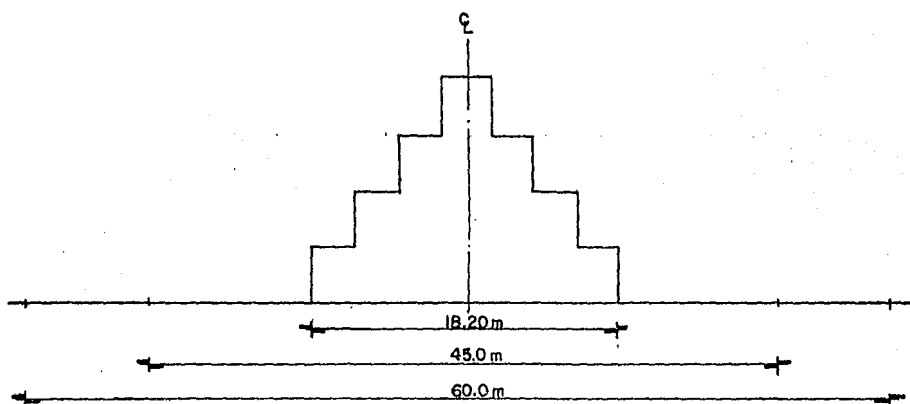


Fig. 2.9
Distribución de cargas en una pista

La Organización de Aviación Civil Internacional recomienda los siguientes anchos de pistas en función de 2 clasificaciones diferentes de Aeropuertos.

LETRA CLAVE

Número de clave	A	B	C	D	E
1a.	18m	18m	23m	-	-
2a.	23m	23m	30m	-	-
3a.	30 m	30m	30m	45m	-
4a.	-	-	45m	45m	45m

(Fuente: Referencia 7, Pag. 24)

CATEGORIA DE AEROPUERTO

	A	B	C	D	E
Ancho de la Pista	45m	45m	30m	23m	18m

(Fuente: Referencia 8, Pag. 1.65)

2.2.4 Partes Constitutivas de las Pistas. Conceptos.

2.2.4.1 Pavimento Estructural.

El pavimento estructural empleado en pistas es tanto rígido como flexible. El pavimento rígido es de concreto hidráulico y el pavimento flexible es de concreto asfáltico.

La resistencia del pavimento está en función de su espesor y de las características de la base y debe ser tal que soporte el peso de los aviones a los cuales va a servir.

En el caso de los pavimentos flexibles su cálculo se hace a través del valor relativo de soporte, y en el caso del pavimento rígido el cálculo de espesor se realiza a través de la fórmula de Westergaard.

La fig. 2.10 ubica el pavimento estructural y el resto de las partes constitutivas de las pistas.

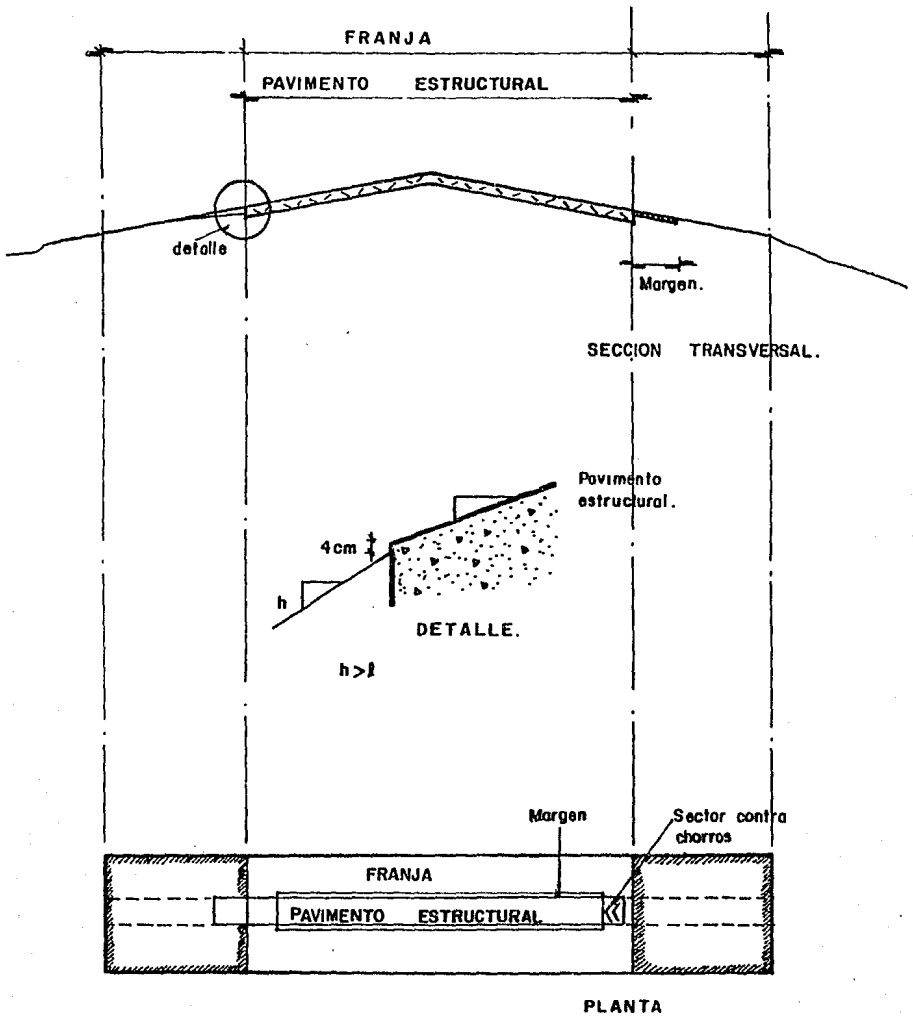


FIG. 2.10 PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS PISTAS. çfuente Ret.6 Pag 214)

2.2.4.2 Márgenes

Los márgenes bordean al pavimento estructural y sirven de transición entre éste y el terreno adyacente, debiendo estar a lo largo de toda la pista como lo indica la fig.2.10 y ser simétrica con respecto al eje de la pista.

Durante las maniobras que realiza una aeronave en una pista como pueden ser rodajes, despegues y aterrizajes puede darse el caso de que el avión salga del pavimento estructural por cualquier causa. Lo anterior es una de las razones de la existencia de los márgenes, otra es la distancia que hay entre el eje longitudinal de la aeronave y los motores (fig.2.8), lo cual justifica la protección que brinda contra el chorro de los jets.

El diseño de los márgenes no es tan riguroso como el del pavimento estructural, pues como ya indiqué únicamente tendrán que soportar cargas debidas al peso de los aviones en forma eventual.

La OACI especifica un ancho mínimo de márgenes de 7.5m. para aeropuertos de categoria A y B solamente, puesto que para las de categoriass C, D, y E no especifica nada, no considerando necesaria su utilización.

2.2.4.3 Franjas

Las franjas son superficies rectangulares dentro de las cuales está el pavimento estructural y los márgenes (ver fig. 2.10).

Su finalidad es proveer una superficie adicional en términos de seguridad para reducir el riesgo de daños a las aeronaves que eventualmente salgan de la pista.

No es necesario que toda la franja esté pavimentada, pero si debe estar nivelada, y sobre todo, tener la capacidad de soportar las cargas que pudieran presentarse en caso de que un avión saliese de la pista.

La Organización de Aviación Civil Internacional en su Anexo 14 especifica un ancho mínimo de franjas como sigue:

Número de Clave	Ancho Mínimo
1	75m
2	75m
3	150m
4	150m

2.2.4.4. Sector Contra Chorros

Es un área adyacente a los extremos de las pista donde el avión inicia su carrera de despegue.

El propósito de su construcción es como su nombre lo indica el proteger a éstas zonas adyacentes a las pistas del chorro provocado por los jets (fig. 2.10).

2.2.4.5. Area de Seguridad en el Extremo de la Pista

Es una ampliación de la franja de pista que se prolonga más allá de sus límites longitudinales (fig.2.10).

Su función al igual que en el caso de la franja es reducir el riesgo de daños a las aeronaves y sus ocupantes.

La Organización de Aviación Civil Internacional no establece diferencia entre el Area de Seguridad en el extremo de la pista y la franja, sino que las considera únicamente con el nombre de franja.

En lo referente a sus especificaciones el Anexo 14 señala con respecto a su longitud mínima lo siguiente:

Número de Clave	Longitud Mínima
1*	30m
1**	60m
2	60m
3	60m
4	60m

* Pista de vuelo visual

** Pista de vuelo por instrumentos

2.2.4.6. Zona de Parada

Es una longitud adicional de pavimento situada en la pista a continuación del recorrido de despegue disponible.

Aunque la frecuencia de fallas en los jets es muy baja existe la posibilidad de que se presente un despegue interrumpido, lo que justifica la existencia de la zona de parada (ver cap. 2.2.2)

La longitud de la zona de parada no está incluida en la longitud nominal de pista, sin embargo la administración aeroportuaria puede permitir que las aeronaves la utilicen para aumentar su peso de despegue. El aumento en el peso de despegue se logra utilizando la longitud de pista más la longitud de la zona de parada para calcular la longitud de pista que se requiere en caso de un despegue interrumpido,

en otras palabras, se pueden obtener diferentes combinaciones de la Distancia de Aceleración - Parada para cada avión en función de la masa de despegue del avión, las condiciones atmosféricas y las características de la pista (ver fig. 2.2. cap. 2.2.2).

2.2.4.7. Zona libre de Obstáculos

La zona libre de obstáculos es un área rectangular no pavimentada que se encuentra localizada después del extremo de la pista.

Como su nombre lo indica debe estar libre de obstáculos ya que será empleada para que los aviones efectúen una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.

Mediante ésta zona libre de obstáculos la aeronave puede aumentar su peso de despegue, lo cual puede lograrse modificando la velocidad de decisión al garantizar que en realidad no existirán obstáculos en esa zona. Lo anterior no es una práctica común ya que reduce los márgenes de seguridad, sin embargo bajo ciertas condiciones pueden constituir un método eficaz.

2.2.5 Distancias Libres.

Con la finalidad de proveer tanto una seguridad como una maniobrabilidad adecuada a los aviones que utiliza el aeropuerto, es necesario tomar en cuenta que deben existir distancias apropiadas entre pista y pista en el caso de que sean paralelas, entre pista y calles de rodaje y entre pista y edificios u otros obstáculos.

Para la planeación de aeropuertos es necesario tomar en cuenta la tendencia que observa el tamaño de las aeronaves, ya que principalmente en función de su longitud y envergadura están especificadas las distancias mínimas de espacio libre, lo cual es un factor en la determinación de las áreas que requiere cada parte del Aeropuerto.

El anexo 14 de la O.A.C.I. especifica lo siguiente:

Separación entre pistas paralelas

Número de Clave	Distancia mínima entre ejes
1	120m
2	150m
3	210m
4	210m

Distancias mínimas de separación entre pistas y calles de rodaje(m)

Letra Clave	Pista de Vuelo por Instrumentos				Pista de vuelos visual			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A	82.5	82.5	-	-	37.5	47.5	-	-
B	87	87	-	-	42	52	-	-
C	-	-	168	-	-	-	93	-
D	-	-	176	176	-	-	101	101
E	-	-	-	180	-	-	-	105

2.2.6 Orientación de Pistas

En general para orientar adecuadamente las pistas dentro del aeropuerto es necesario tomar en cuenta en términos de seguridad, la posibilidad de dirigir las pistas hacia zonas que no se encuentren pobladas, y en términos de no limitar su utilización por aeronaves, hacia zonas libres

de obstáculos.

Siempre que no exista alguna otra restricción, las pistas deben orientarse en la dirección del viento dominante. Con respecto a esto, la O.A.C.I., especifica que la orientación de las pistas debe ser tal que su coeficiente de utilización no sea inferior al 95% con componentes de viento transversal de 23 millas/hr. para pistas de categorías A y B de 15 millas/hr. para la categoría C y 11.5 millas/hr. para categorías C y D.

El coeficiente de utilización de una pista es el porcentaje de tiempo durante el cual su uso no está limitado por la componente transversal del viento, es decir el viento cuya dirección es perpendicular a su eje.

El razonamiento mediante el cual la dirección de las pistas deben ser en la dirección del viento dominante puede observarse en la ecuación de sustentación $L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 A$, en donde V es la velocidad relativa del ala con respecto al fluido que pasa por ella. Por esto es conveniente que el avión despegue y aterrice en la dirección contraria al viento.

Para ilustrar un método por medio del cual se puede obtener la dirección de una pista en función del viento se dan en la tabla 2.4 datos sobre direcciones y velocidades de viento. Supóngase para éste caso que la componente máxima permisible de viento transversal es de 24km/hr. (15 millas/hr.)

TABLA 2.4. DATOS METEOROLOGICOS PARA DETERMINAR LA DIRECCION DE PISTAS DE AEROPUERTOS

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC.
1	SW-10	Calma	SW-16	SW-25	SW-13	NW-8	SW-9	SW-16	SW-24	SW-13	SW-16	SW-24
2	SW-16	Calma	SW-18	SW-13	SW-16	Calma	SW-26	S-8	SW-24	SW-16	Calma	SW-18
3	SW-13	Calma	SW-18	SW-13	SW-16	Calma	SW-16	SE-23	SW-32	SW-16	SW-14	SW-13
4	SW-16	SW-10	SW-26	SW-19	Calma	SW-23	SW-22	SE-36	SE-16	Calma	SW-28	SW-16
5	SW-10	SW-13	Calma	SW-15	SW-16	SW-23	Calma	NE-8	SW-16	Calma	NE-14	SW-14
6	Calma	SW-13	Calma	SW-13	SW-18	NE-16	Calma	SW-16	SW-24	SW-24	SW-16	Calma
7	Calma	SW-10	SW-9	SW-13	SW-13	SE-13	Calma	SW-12	Calma	SW-24	W-10	calma
8	Calma	SW-6	SW-8	SW-20	Calma	SW-22	N-6	WSW-16	Calma	Calma	SW-16	SSW-12
9	SW-10	SW-22	SW-11	SW-16	Calma	SW-19	NE-8	SW-24	SW-8	N-8	SW-23	SSW-17
10	SW-10	SW-21	SW-13	SW-30	NE-6	SW-22	NE-22	SW-16	SSW-10	SW-13	SW-26	SW-23
11	SW-16	Calma	SW-15	SW-18	SW-8	SW-30	SE-35	SW-24	SW-8	SW-18	SW-26	SW-23
12	SW-10	Calma	SW-13	SW-18	Calma	N-6	SW-13	NW-8	NE-8	W-10	SSW-23	SW-21
13	SW-10	SW-16	SW-16	Calma	Calma	SSE-8	NE-6	N-8	NE-10	SW-12	SW-14	SW-17
14	SW-10	SW-10	SW-25	SW-8	SW-13	SW-13	S-10	SW-16	N-10	SW-15	SSW-20	SW-17
15	SW-13	Calma	SW-17	SW-8	SW-16	SSE-35	S-13	SW-12	SW-12	Calma	SW-16	SW-14
16	Calma	Calma	SW-16	SW-6	Calma	SSE-30	Calma	Calma	SW-8	Calma	SW-15	SW-16
17	SW-6	SW-13	SW-16	SW-20	Calma	NE-8	Calma	Calma	SSW-13	SSW-10	SW-18	SW-12
18	SW-22	SW-13	SW-10	SW-22	Calma	SW-16	SW-16	Calma	Calma	SW-8	SW-18	SSW-18
19	SW-22	SW-16	SW-16	SW-24	SW-6	NE-13	Calma	SSW-16	SW-16	SW-13	SW-16	SW-16
20	SW-16	SW-16	SW-12	SW-16	SW-8	SW-13	NE-16	NE-8	SW-13	SW-6	SW-17	SW-12
21	SW-16	SW-17	SW-25	SW-16	SW-13	SSE-23	NE-24	SW-10	SW-16	sw-15	SW-22	SW-10
22	SW-22	SW-15	SW-23	SW-10	SW-20	NE-14	NE-10	W-24	SW-13	SW-16	SW-10	SW-10
23	SW-26	SW-22	SW-24	SW-8	SW-8	SSE-30	W-32	Calma	SW-20	SW-24	SW-12	SW-16
24	NE-6	SW-22	SW-16	SW-8	Calma	SW-35	SW-16	SW-16	SW-12	SW-24	SW-12	SW-14
25	NE-8	SW-19	SW-16	NE-20	SW-8	SW-20	SW-16	NE-24	SW-12	SW-20	SW-10	SW-14
26	SW-10	SW-14	SW-28	SW-28	NW-30	SSW-30	SW-7	SW-20	SW-16	NE-14	SW-14	SW-16
27	SW-9	SW-15	SW-18	Calma	SW-6	SSW-30	SW-16	W-29	SW-18	NE-10	SW-14	SW-14
28	SW-10	SW-13	SW-20	SW-20	SW-8	SW-16	S-24	NE-8	SW-22	SW-16	SW-16	SW-10
29	SW-26	SW-18	SW-16	SW-20	Calma	SSE-35	SW-20	SW-16	SW-10	SW-18	SW-18	SW-12
30	SW-26		SW-30	SW-8	SW-25	Calma	SW-32	SW-13	SW-14	SW-18	SW-18	SW-12
31	SW-25		SW-10	SW-16	SW-16		SE-36	SW-18		SW-22		SW-10

A partir de estos datos se puede construir la tabla 2.5 en la que los datos de vientos se agrupan en rangos de direcciones de 22.5° y en porcentaje según el total de veces que se presenten.

Tabla 2.5 Agrupamiento de Vientos

Dirección del Viento	Porcentaje de Vientos que soplan en la dirección indicada con velocidad en km/hr de:		
	6 a 24	24 a 48	Total
N	1.4%	0.0	1.4
N. NE	0.0	0.0	0.0
NE	6.3	0.0	6.3
E-NE	0.0	0.0	0.0
E	0.0	0.0	0.0
E-SE	0.0	0.0	0.0
SE	0.8	1.1	1.9
S-SE	0.5	1.1	1.6
S	1.1	0.0	1.1
S-SW	2.5	0.0	2.5
SW	62.3	5.7	68.0
W-SW	0.8	0.0	0.8
W	1.4	0.5	1.9
W-NW	0.0	0.0	0.0
NW	0.5	0.3	0.8
N-NW	0.0	0.0	0.0
Calmas	13.7		13.7
Totales	91.3%	8.7%	100.0%

Ya con estos datos se puede construir una rosa de los vientos como se muestra en la fig. 2.11. El porcentaje de vientos que corresponde a una dirección dada y a un rango de velocidades se marca en el sector apropiado de la rosa de los vientos. Los círculos concéntricos marcan los límites superiores de los rangos de velocidad obtenidos en la tabla 2.5 y sus radios están trazados a escala.

La dirección deseada de la pista se obtiene utilizando un material transparente (plástico) en el cual se dibujan 3 líneas paralelas cuya distancia entre sí debe ser igual que la componente máxima permisible de los vientos cruzados a la que hice referencia anteriormente.

Esta distancia debe trazarse con la misma escala utilizada en el trazo de los círculos concéntricos. El plástico transparente debe girarse haciendo coincidir la línea central con el centro de la rosa de los vientos hasta que la suma de los porcentajes de vientos entre las 2 líneas exteriores sea un máximo. Finalmente la dirección de la pista estará dada por la dirección en la que esté dirigida la línea central del plástico transparente según marque la escala exterior de los vientos.

Si colocamos la línea central en la dirección W-E tenemos que los porcentajes entre las 2 líneas exteriores son:

a) Dentro del rango de velocidad 6-24 Km/hr.

Dirección	Porcentaje de Viento
N	1.4
NE	6.3
SE	0.8
SSE	0.5
S	1.1
SSW	2.5
SW	62.3
WSW	0.8
W	1.4
NW	0.5
Sub-Total	77.6%

b) Dentro del Rango de velocidades 24-48 km/hr

Dirección	1	2	Porcentaje de Viento
SE	1.1	0.4	0.44
SSE	1.1	0.1	0.11
SW	5.7	0.4	2.28
W	0.5	0.5	0.25
NW	0.3	0.4	0.12
		Sub-total	3.20%

En la columna 1 están las frecuencias de presentación de vientos dentro del rango de velocidad 24-48 km/hr en porcentaje, y en la columna 2 está el porcentaje del sector que está entre las 2 líneas, exteriores.

El porcentaje total que se encuentra entre las dos líneas exteriores del plástico transparente será:

$$77.6 + 3.20 + 13.7 \text{ (calmas)} = 94.7\%$$

Lo anterior significa que si se construyera la pista con su eje en dirección S-W, su coeficiente de utilización sería del 94.7% que es menor a lo especificado por la O.A.C.I.

Procediendo análogamente se puede demostrar que la dirección NE Sw nos conduce a un máximo de porcentaje de viento entre las 2 líneas exteriores (ver fig. 2.11)

a) Dentro del rango de velocidad 6-24km/hr

El resultado es de 77.6% igual que si la pista estuviera dirigida en la dirección W-E.

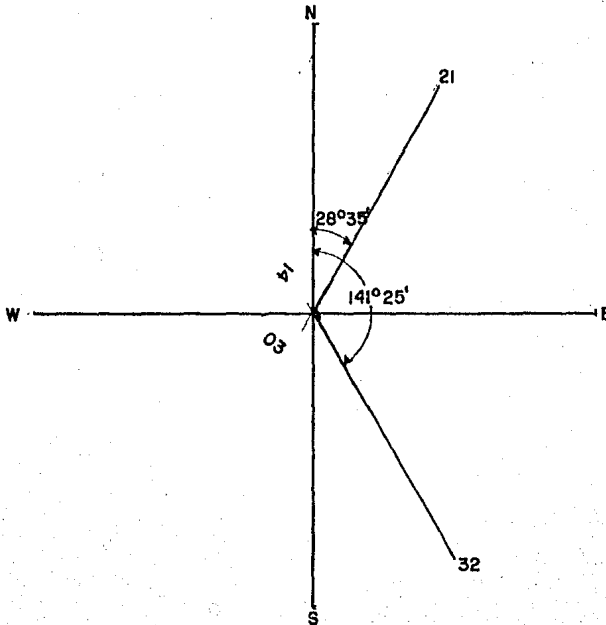
b) Dentro del rango de velocidades 24 - 48 km/hr

Dirección	1	2	Porcentaje de Viento
W	0.5	0.40	0.20
SW	5.7	1.00	5.70
		Sub-total	5.90%

En este caso el porcentaje total que se encuentra en las 2 líneas exteriores es:

$$77.6 + 5.9 + 13.7 \text{ (calmas)} = 97.2\%$$

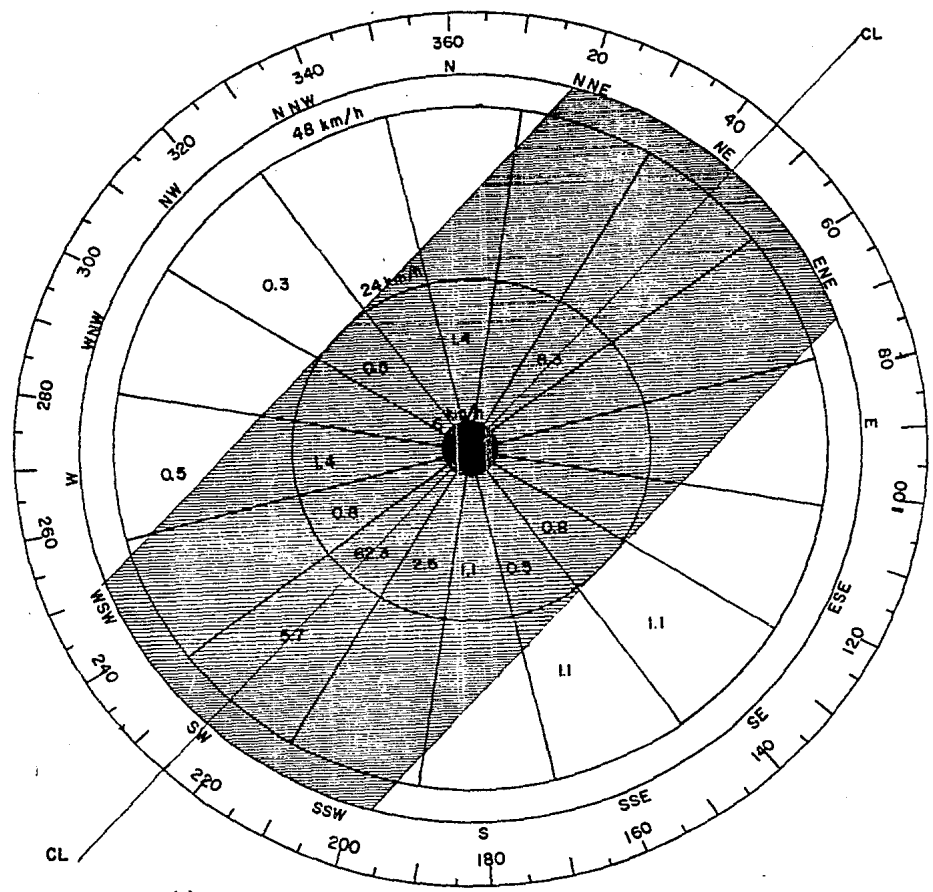
La organización de Aviación Civil Internacional utiliza una convención azimutal para designar la dirección de las pistas la cual se ilustra en la siguiente figura:



Esta convencion redondea a los 10 grados más proximos; de esta manera en la figura el azumut $141^{\circ}25'$ se redonde a 140° y como es mayor que 100° el cero de la derecha se suprime. En el caso del azimut $28^{\circ} 35'$ se redondea a 30° y como es menor de 100° el cero se cambia antes del 3.

Utilizando esta convención la pista del ejemplo de la rosa de los vientos sería la 05-23.

ROSA DE LOS VIENTOS.



75

FIGURA 2.11

● VIENTO EN CALMA (0-6 km/h).

2.2.7 Capacidad de Pistas

2.2.7.1. Definición y Generalidades

Existen dos definiciones de capacidad, las cuáles involucran conceptos diferentes. Una de ellas es la llamada "Capacidad Práctica" que es el "Número de operaciones durante un intervalo específico de tiempo que corresponde a un nivel tolerable de demora promedio". (ver fig. 2.12)

Esta definición admite el hecho de que afectando el patrón de demanda, la capacidad puede cambiar sin necesidad de aumentar una pista o construir otra. Esto es discutible ya que el afectar el patrón natural de demanda puede conducir a su disminución.

De acuerdo al Manual de Planificación de Aeropuertos de la O.A.C.I., el sistema de pistas de un aeropuerto ha alcanzado su capacidad práctica cuando la demora de salidas es de un promedio de 4 min., durante el período punta normal de dos horas consecutivas de la semana.

La "Capacidad de Saturación es el número de aviones al que puede servirse durante un período dado, bajo condiciones de demanda continua".

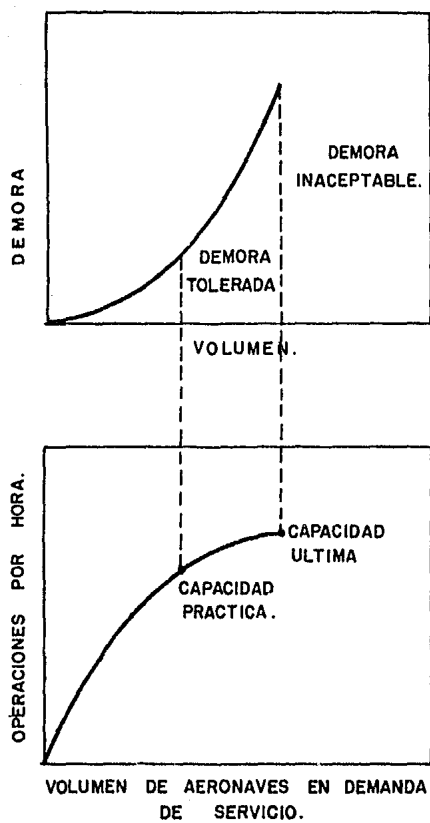


Fig. 2.12

RELACION ENTRE CAPACIDAD Y DEMORA.

Fuente: Referencia 3 pag. 150

Esta definición es discutible ya que no involucra la relación existente entre la capacidad y la demora.

El número de pistas que requiere un aeropuerto se determina mediante un estudio de demanda contra capacidad, es decir que para obtener la cantidad necesaria de pistas es indispensable conocer la capacidad de diferentes alternativas.

Para la planificación el objetivo debe ser que la capacidad cubra la demanda a lo largo de toda la vida del aeropuerto. Para su primer período de operación es recomendable tener una capacidad mayor a la demanda en el momento del inicio de sus funciones con lo cual se evitaría la construcción de la segunda etapa en un período muy corto.

La capacidad de pista es un punto muy importante dentro de la capacidad de los aeropuertos por lo cual es un tema que se trata con mayor profundidad dentro de la presente tesis, sin embargo debe estar integrada a las capacidades de el resto de los sistemas aeroportuarios para lograr un conjunto armónico.

2.2.7.2. Factores que afectan la capacidad de pistas.

Entre los factores más importantes que afectan la capacidad de un sistema de pistas se encuentran los siguientes:

- a) Control de tránsito Aereo
- b) Características de las aeronaves que utilicen el sistema
- c) Condiciones meteorológicas
- d) Configuración de todo el sistema.

- a) Control de tránsito Aéreo

Probablemente el más importante de los aspectos que afectan a la capacidad de

pistas concerniente a espacios aéreos es la separación de aeronaves sucesivas.

La O.A.C.I. especifica separaciones horizontales, verticales y laterales mínimas con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas que utilizan el transporte aéreo. Cerca de los aeropuertos la separación mínima permitida varía de 2 a 5 millas dependiendo del tamaño de la aeronave.

Lo anterior nos hace pensar que en términos de tiempo, la separación nos marca una limitante muy importante en la capacidad de pistas.

Otras medidas del Control de Tráfico aéreo que afectan la capacidad de un sistema de pistas son la complicación del sistema de ayudas a la navegación y la estrategia empleada por los controladores.

b) Características de las Aeronaves que utilicen el sistema

La capacidad de una pista depende de la velocidad, tamaño, maniobrabilidad y capacidad de frenado de avión.

El tamaño influye en la separación entre aviones debida a los vórtices de punta de ala que producen los aviones al volar, cuyo efecto es mayor si las aeronaves son más grandes.

La velocidad afecta las márgenes de seguridad que se tienen para garantizar los mínimos de separación longitudinal horizontal, y la maniobrabilidad y frenado influyen en el tiempo de ocupación de la pista, lo cual incide directamente en la capacidad del sist. de pistas.

c) Condiciones Meteorológicas

Las condiciones meteorológicas, y en especial la visibilidad afectan

la capacidad de un sistema de pistas, ya que las reglas de vuelo son diferentes para condiciones IFR (Reglas de vuelo por instrumentos) y VFR (Reglas de vuelo visual) y la capacidad es mayor en condiciones VFR.

d) Configuraciones de todo el Sistema

La capacidad de un sistema de pistas, se ve afectada por el número de elementos que lo compongan. Por otro lado la distancia entre ellas será un factor que también afecte la capacidad en el sentido de que pistas demasiado cercanas pueden interferir los procedimientos de operación de las aeronaves.

En cuanto a la longitud de pistas, cabe mencionar que afectan la capacidad del sistema en relación al tipo de avión que puede operar en ellos.

La orientación de pistas afecta la capacidad del sistema por la restricción que existe en relación a la componente transversal máxima de viento que debe existir para que puedan efectuarse operaciones aéreas.

Por último, un factor dentro de la configuración del sistema de pistas que puede afectar su capacidad es la cantidad y posición de las calles de rodaje.

2.2.7.3 Procedimiento para estimar la capacidad de un sistema de pistas.

Existe una gran variedad de métodos para la estimación de la capacidad de un sistema de pistas, sin embargo tres de los que se utilizan para propósitos de planificación se describen a continuación.

- Método preparado por la F.A.A. para obtener la Capacidad Anual Inicialmente se obtiene un valor llamado media ponderada capacidad horaria que está en función del volúmen de tráfico según la configuración de pistas que presente el aeropuerto en cuestión.

Como las demoras aumentan considerablemente con un pequeño incremento en el número de operaciones, al obtener la media ponderada de capacidad horaria es necesario dar un valor mayor a las capacidades menores como puede verse en la tabla 2.5

Porcentaje de la Capacidad Máxima	Peso
91 ó más	1
81 - 90	2
66 - 80	4
51 - 65	8
40 - 50	12

Tabla 2.5 Ponderación de la capacidad de pistas.

Para explicar el método se utilizará el siguiente ejemplo:

Supóngamos que la configuración de un sistema de pistas consiste en 2 pistas que se intersectan. Debido a vientos cruzados excesivos el 30% del tiempo sólo una pista puede ser utilizada tanto para aterrizajes como para despegues. Supongamos que en este caso la capacidad

VFR es de 54 movimientos y la capacidad IFR es de 35. Del 30% del tiempo un 3% las condiciones son IFR y el restante 27% son VFR.

Por otro lado, el 70% del tiempo restante una pista se utiliza para aterrizajes y otra para despegues. De éste 70% sólo un 4% corresponde a condiciones IFR y el restante 66% a condiciones VFR.

Supongamos que en este caso la capacidad es de 72 movimientos para condiciones VFR y 36 movimientos para condiciones IFR.

Las condiciones del ejemplo se puede tabular de la siguiente forma:

A	B	C	D
Porcentaje del tiempo en un año de las diferentes condiciones	Número de movimientos horarios que el sistema de pistas es capaz de manejar según las condiciones	% con respecto a la capac. mayor	Ponderación según tabla 2.5
3	35	$35/72 = 49\%$	12
27	54	$54/72 = 75\%$	4
4	36	$36/72 = 50\%$	12
66	72	$72/72 = 100\%$	1

La media ponderada de la capacidad horaria será:

$$\frac{\sum_i A B D}{\sum_i A D}$$

Sustituyendo

$$\frac{(0.03 \times 35 \times 12) + (0.27 \times 0.54 \times 4) + (0.04 \times 36 \times 12) + (0.66 \times 72 \times 1)}{(0.03 \times 12) + (0.27 \times 4) + (0.04 \times 12) + (0.66 \times 1)} = 53 \text{ mov/hr}$$

El valor de la media ponderada de la capacidad horaria debe ser utilizada para entrar en la gráfica de la fig. 2.14. Adicionalmente es necesario encontrar el factor de período punta que es:

$$\text{Factor de período punta} = \frac{\text{Núm de operaciones durante la hora punta}^*}{\text{Núm de operaciones durante todo el día}}$$

*Este valor es el promedio de las 2 horas punta consecutivas

De ésta manera puede encontrarse el valor de la capacidad anual en función de la capacidad horaria con apoyo en la gráfica de la fig. 2.14 que ha sido publicada por la Agencia Federal de Aviación (F.A.A.) de los Estados Unidos de América.

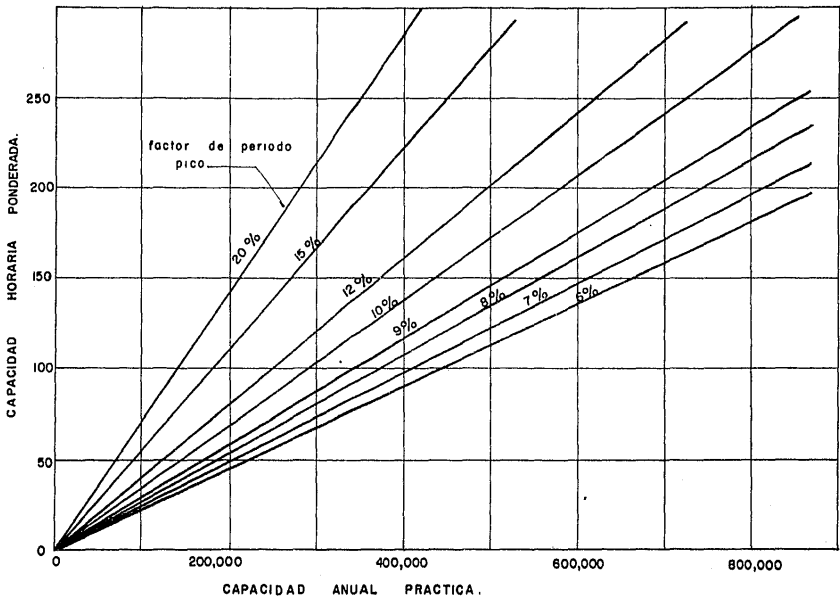


Fig. 2.14 CAPACIDAD HORARIA CONTRA CAPACIDAD ANUAL. (Referencia 6, Pag. 134)

Otro método publicado por la F.A.A. para obtener tanto la capacidad anual como la capacidad horaria para propósitos de planificación es el que utiliza la tabla 2.7, en donde existen valores aproximados de las capacidades de diferentes configuraciones típicas de pista en función a diferentes mezclas de aeronaves que se clasifican según la tabla 2.6.

Número	%A	%B	%C	%D
1	0	0	10	90
2	0	30	30	40
3	20	40	20	20
4	60	20	20	0

Donde A, B, C y D son los siguientes grupos de aviones:

- tipo A -Jets de 3 y 4 motores de gran envergadura
- tipo B -Jets de 2 y 3 motores, aviones de 4 motores de pistón
- tipo C -Jets ejecutivos y aviones de 2 motores de pistón
- tipo D -Aviones ligeros de 2 motores y 1 motor de pistón

Tabla .- 2.6 Clasificación de diferentes mezclas de aeronaves para la determinación de la capacidad de pistas.

Fuente: Referencia 3, Pag. 157

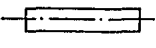
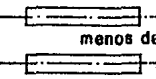
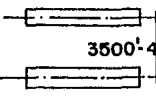
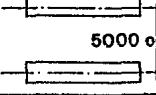
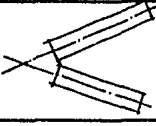
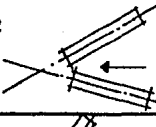

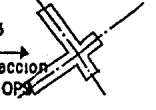
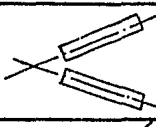
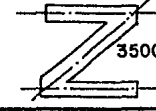
CAPACIDAD DE PISTAS PARA PROPOSITOS DE PLANEACION A LARGO PLAZO .					
Configuracion de pistas.		Mezcla	PANCAP	PHOCAP	
Forma	Descripcion			IFR	VFR
	PISTA UNICA (llegadas = salidas).	1	215,000	53	99
		2	195,000	52	76
		3	180,000	44	54
		4	170,000	42	45
	PARALELAS CERCANAS menos de 3500' (dependiente de las IFR)	1	385,000	64	198
		2	330,000	63	152
		3	295,000	55	108
		4	280,000	54	90
	PARALELAS. 3500' a 4999' (independiente de las IFR) llegadas y salidas.	1	425,000	79	198
		2	390,000	79	152
		3	355,000	79	108
		4	330,000	74	90
	Independiente de las IFR 5000' o mas. llegadas y salidas	1	430,000	106	198
		2	390,000	104	152
		3	360,000	88	108
		4	340,000	84	90
	EN V, DEPENDIENTES Operaciones desde la interseccion.	1	420,000	71	198
		2	335,000	70	136
		3	300,000	63	94
		4	295,000	60	84
	EN V, DEPENDIENTES Operaciones hacia la interseccion.	1	235,000	57	108
		2	220,000	56	86
		3	215,000	50	66
		4	200,000	50	53
	CON INTERSECCION CERCA DEL UMBRAL.	1	375,000	71	175
		2	310,000	70	125
		3	275,000	63	83
		4	255,000	60	69
	CON INTERSECCION LEJOS DEL UMBRAL	1	220,000	55	99
		2	195,000	54	76
		3	180,000	46	54
		4	175,000	42	57
	EN V, CON OPERA CIONES INDEPENDIEN TES.	1	425,000	79	198
		2	340,000	79	136
		3	310,000	76	94
		4	310,000	74	84
	EN Z, CON DOS 3500' a 4999' INTERSECCIONES.	1	465,000	87	217
		2	430,000	87	167
		3	390,000	87	118
		4	365,000	81	99

Tabla 2.7 Fuente: Referencia 3, Pag. 156.

La mezcla particular de un aeropuerto deberá compararse con las especificadas en la tabla 2.6. Ya que no necesariamente coincidirán, tal vez sea necesario interpolar para obtener la capacidad para la mezcla propia del aeropuerto.

Dentro de los aviones del tipo A tenemos el B-737, B707, DC-9, BAC-III, Caravelle, F28-2000, F-27-500, etc. Dentro de la categoría C se encuentran el Lear Jet 25, el Gulfstream II, Beech 58, Beech-Queen Air, Piper Arrow etc. Por último en la categoría D tenemos entre otros al Beech 58-Baron, al Beech B-80-Queen Air, Piper-Cherokee, etc.

La Dirección General de Aeropuertos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes utiliza un método muy similar para determinar la capacidad de pistas, sin embargo es más detallado ya que involucra el número y la localización de las calles de rodaje para cada configuración, así como la longitud de pista. Por esto es más conveniente su utilización para la planeación a corto plazo por ser más preciso.

También presenta una diferente clasificación de mezclas de aeronaves según la siguiente tabla:

Mezcla	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
M1	0%	30%	40%	30%
M2	0%	50%	30%	20%
M3	0%	70%	20%	10%
M4	20%	50%	20%	10%

Las categorías de las aeronaves se muestran en la tabla 2.8 y las diferentes configuraciones para una sola pista en la fig. 2.15.

Existe una gran cantidad de configuraciones y un gran número de variantes para cada una de ellas en función de la posición y cuantía

de las calles de rodaje. La tabla 2.9 muestra la capacidad de pistas para las diferentes configuraciones de la fig. 2.15 considerando el número de aterrizajes igual al número de despegues y el 50% de operaciones IFR.

Categoría de Aeronave	Descripción						
1	<p>Aparatos de gran envergadura creando turbulencias considerables</p> <p>B-747, DC-10, L-1011, A-300</p>						
2	<p>Aparatos de peso máximo de despegue superior a 40 ton.</p> <p>B-707, B-727, B737, DC-8, DC-9, Caravelle Bac III, L-100, Trident, Mercure</p>						
3	<p>Aparatos con turbo propulsores o con reactores de peso máximo al despegue menor de 40 ton.</p> <table border="0" data-bbox="451 884 909 978"> <tr> <td data-bbox="451 884 629 904">Mystere 20,30,40</td> <td data-bbox="736 884 809 904">HS 146</td> </tr> <tr> <td data-bbox="451 920 656 940">Fokker 27, 28, 614</td> <td data-bbox="736 920 909 940">Bréguet 736,765</td> </tr> <tr> <td data-bbox="451 956 567 976">Antonov 24</td> <td data-bbox="736 956 806 976">Yak 40</td> </tr> </table>	Mystere 20,30,40	HS 146	Fokker 27, 28, 614	Bréguet 736,765	Antonov 24	Yak 40
Mystere 20,30,40	HS 146						
Fokker 27, 28, 614	Bréguet 736,765						
Antonov 24	Yak 40						
4	<p>Aparatos con pistones volando con I.F.R. (comprendiendo Nord 262 y Beech 99)</p>						
5	<p>Aparatos para la aviación general volando V.F.R.</p>						

Tabla 2.8 Categoría de aeronaves empleadas para la determinación de la capacidad de pistas por la D.G.A.

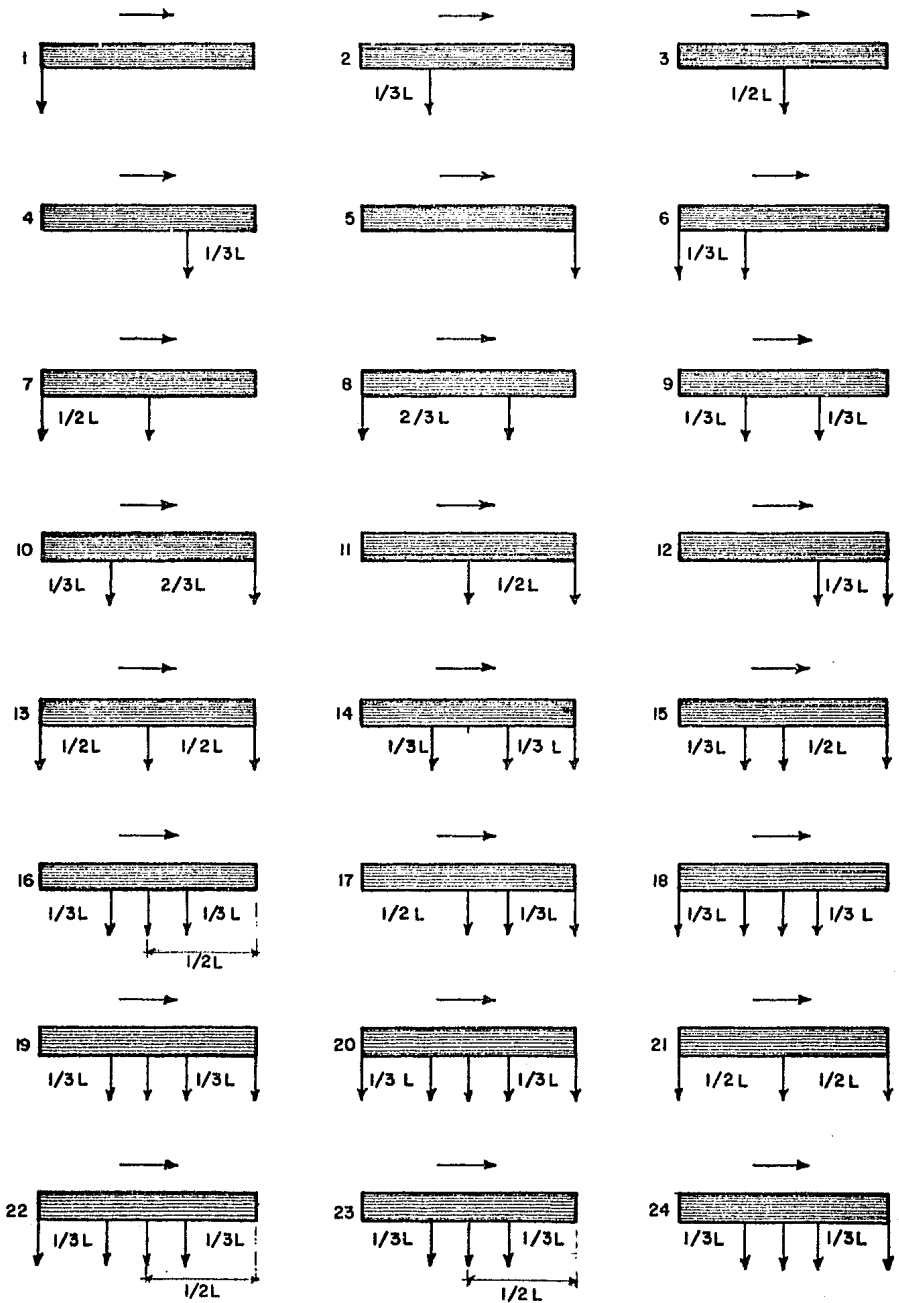


Fig.2.15 DIFERENTES CONFIGURACIONES DE PISTA SENCILLA - CALLES DE RODAJE (D.O.A.).

Configuración	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
1	9	8	7	7	9	9	8	8	10	9	9	8	10	10	9	
2	15	12	10	10	15	12	11	11	13	12	11	11	-	-	-	-
3	13	11	9	9	14	12	10	10	12	11	10	10	13	12	11	-
4	11	10	10	10	11	11	11	10	7	7	7	7	8	8	8	-
5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	-
6	20	17	14	14	18	17	15	15	18	17	15	15	-	-	-	-
7	15	14	12	12	16	15	13	13	14	14	14	14	15	-	15	-
8	28	28	29	28	29	29	30	25	25	22	20	20	27	24	22	-
9	22	19	17	17	23	20	18	16	18	16	14	14	-	-	-	-
10	21	18	16	16	22	19	17	17	19	18	17	17	-	-	-	-
11	23	19	16	16	24	20	17	17	22	20	18	18	20	19	18	-
12	11	10	10	10	11	11	11	11	8	8	7	7	9	9	9	-
13	30	29	29	29	31	31	30	30	32	32	32	31	33	33	33	-
14	30	30	30	30	32	32	32	27	27	23	21	21	-	-	-	-
15	22	19	16	16	23	20	17	17	19	18	17	17	-	-	-	-
16	23	20	17	17	24	21	18	16	18	16	14	14	-	-	-	-
17	15	14	13	13	16	15	14	14	14	14	14	14	-	-	-	-
18	33	33	33	32	34	34	34	29	28	24	21	22	-	-	-	-
19	23	20	17	17	24	21	18	18	20	19	18	18	-	-	-	-
20	33	33	33	32	34	34	34	33	35	34	34	34	-	-	-	-
21	32	32	32	31	34	34	33	33	35	35	35	34	36	36	37	-
22	25	22	19	19	27	23	20	20	23	21	20	20	-	-	-	-
23	36	36	36	36	38	37	37	-	30	26	23	23	-	-	-	-
24	36	36	36	36	38	37	37	37	38	38	37	37	-	-	-	-

Tabla 2.9

Cálculo de la capacidad de una pista sencilla para las configuraciones mostradas en la fig. 2.15

(capacidad práctica horaria) Fuente: Referencia D.G.A.

2.3 Calles de Rodaje

2.3.1 Generalidades

Las calles de rodaje son vías cuya función es enlazar las pistas con el edificio terminal y los hangares de servicio. Deben ser pensadas de tal forma que los aviones que aterricen no interfieran a los que están en operación de rodaje para despegar. Su trazo debe proporcionar distancias de rodaje mínimas, aumentando de ésta forma la eficiencia de todo el aeropuerto.

Las calles de rodaje son una parte muy importante dentro del sistema aeropuerto, ya que la capacidad de las pistas depende en buen grado de su número y ubicación.

Las calles de rodaje de salida pueden estar a 90° o a otro ángulo diferente con respecto al eje de la pista, pero cuando el orden es de 30° se llaman salidas de alta velocidad.

2.3.2 Localización

Las calles de rodaje deben localizarse en puntos estratégicos a lo largo de las pistas de tal forma que los aviones puedan abandonarlos rápidamente después de un aterrizaje, o bien permitirles iniciar su carrera de despegue tan pronto como sea posible.

En aeropuertos con mucho movimiento las calles de rodaje deberán localizarse en varios puntos a lo largo de las pistas, y en algunos casos deberán proveerse calles de rodaje paralelas.

En general la localización depende del tipo de aeronaves a las que se dará servicio, de las velocidades de aproximación y de aterrizaje, al grado de desaceleración de la aeronave, la velocidad a la cual tome la calle de rodaje y el número de salidas.

La distancia desde el umbral (D_s) a la cual debe ubicarse una calle de rodaje se puede obtener de la siguiente forma.

D_s = distancia de toque + distancia de desaceleración hasta llegar a la velocidad de salida.

La distancia de toque es la distancia desde el umbral hasta la pista, y en promedio se considera de 300 metros para aeronaves de aviación general y 450 metros para aeronaves comerciales.

En cuanto a las velocidades a las que la aeronave toma las calles de rodaje de salida se consideran 96 Km/hr. para calles de rodaje de salida rápida, y para calles de rodaje a 90° se consideran 25 km/hora.

Tomando en cuenta la información anterior tenemos que la distancia que requiere un avión para desacelerar hasta llegar a la velocidad de salida, es decir hasta llegar a la velocidad en que toma la calle de salida es la siguiente:

$$\frac{V_t^2 - V_s^2}{2a}$$

donde:

V_t = Velocidad de Toque

V_s = Velocidad de Salida

a = Desaceleración por el frenado del avión (1.5m/seg.^2 para Av. Comercial).

Las velocidades de toque para diferentes tipos de aviones son las siguientes:

Aeronave	Velocidad de toque
707, DC-8, DC-10, L-1011 747	260km/hr
DC-9, 727, 737	240Km/hr
Aviación general (2 motores)	167Km/hr
Aviación general (1 motor)	110Km/hr

Finalmente la distancia de salida (D_s) será:

$$D_s = \text{Distancia de toque} + \frac{V_t^2 - V_s^2}{2a}$$

2.3.3. Dimensionamiento de las Calles de Rodaje

El dimensionamiento de las calles de rodaje está influenciado principalmente por las características de las aeronaves, por lo que para efectos de planificación es necesario tomar en cuenta posibles cambios de dichas características. La razón por la cual es importante conocer las dimensiones de las calles de rodaje en la planificación de aeropuertos es entre otros casos porque el tamaño del terreno necesario para la construcción de instalaciones aeroportuarias está en parte en función de éstas. El ancho del pavimento estructural y de las márgenes adyacentes está principalmente en función del tamaño del avión crítico al que le dará servicio, siguiendo un criterio similar al que rige para las pistas. Por otra parte la velocidad y maniobrabilidad de las aeronaves es determinante para el trazo de las calles de rodaje, principalmente para determinar los radios de sus curvas ya que en las calles de rodaje las velocidades de las aeronaves son menores que en las pistas y por ello los criterios de dimensionamiento no son tan estrictos. En la

figura 2.16 se muestra un corte transversal de las calles de rodaje y en la tabla 2.9 sus principales especificaciones.

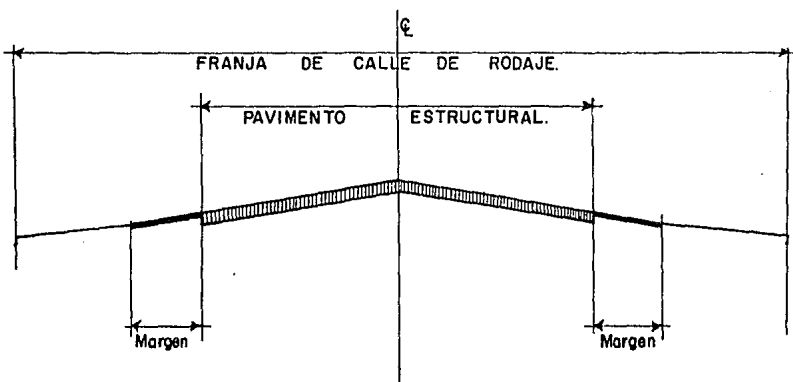


Fig. 2.16
Corte transversal de una calle de rodaje

Categoría del Aeropuerto	Anchura del pavimento estructural 24m	Ancho de los márgenes
A	24m	10m
B	24m	10m
C	16m	7.5 - 10m
D	10m	-
E	8m	-

Tabla 2.9
Principales especificaciones de las calles de rodaje proporcionadas por la O.A.C.I. (Fuente: Referencia 8, Pag. 66)

En la fig. 2.17 se muestra una calle de rodaje de salida de 90° y en la fig. 2.18 se muestran detalles de intersección de calles de rodaje publicados por la FAA. Para los valores de W_c , W_t y R definidos en ésta figura tenemos la siguiente tabla:

Ancho y Radio en(m)	Clasificación de Aeronaves		
	Grupo I	Grupo II	Grupo III
W_t	15	23	23
W_c	20	27	27
R	30	45	45

donde la clasificación de las aeronaves está en función de sus siguientes dimensiones

		Clasificación de Aeronaves		
		I	II	III
Envergadura	Hasta 37 m	De 37 a 50 m	De 50 a 61 m	
	Hasta 10 m	De 10 a 13 m	De 10 a 13 m	
Base de Ruedas	Hasta 18 m	De 18 a 27 m	De 18 a 27 m	

Dentro del Grupo I tenemos al B-727-100, y DC-9, en el grupo II tenemos al B-727-200, B-707, DC-8, DC-10 y L-1011, y en el grupo III tenemos al B-747.

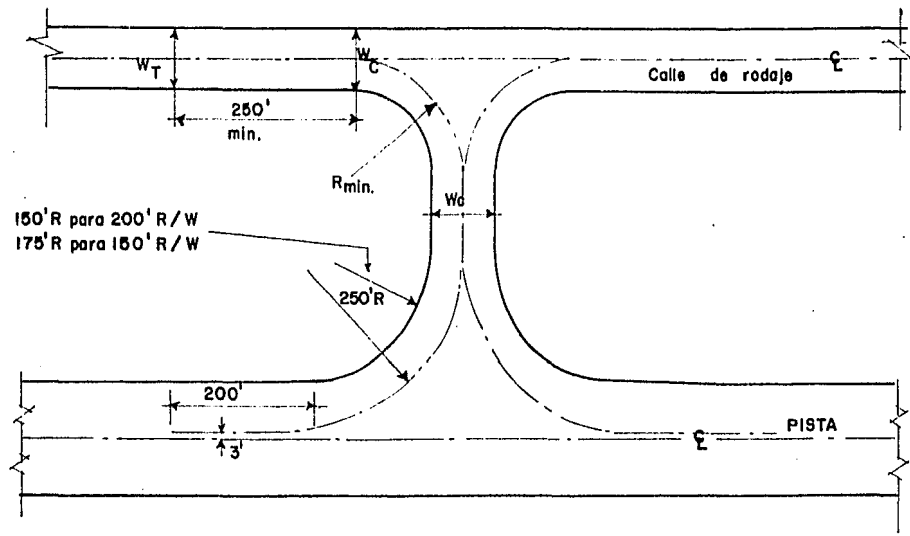


Fig.2.17 CALLE DE RODAJE DE SALIDA TIPICA. Fuente: Referencia 6 pag. 226

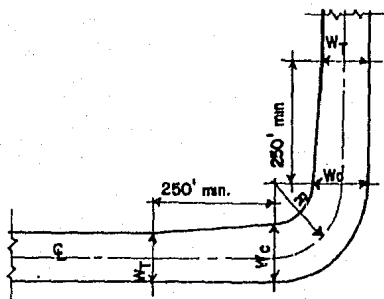
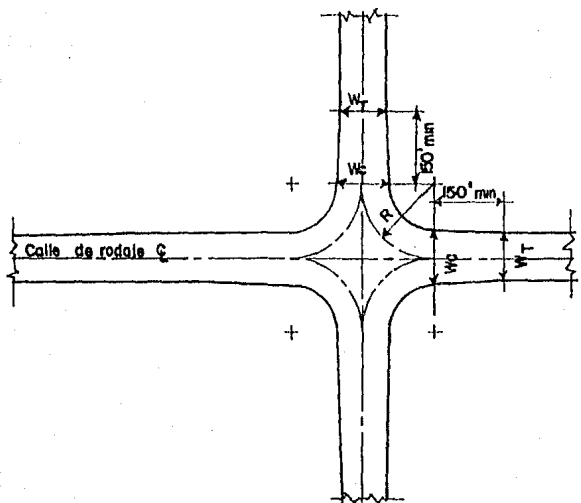
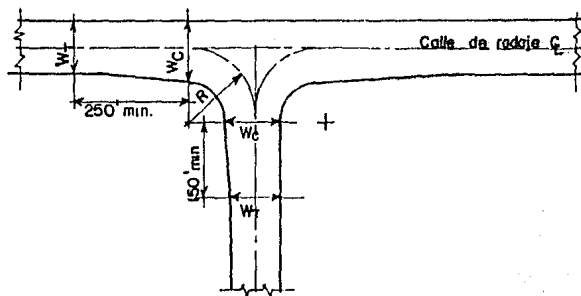


FIG. 2.16.- DETALLES DE INTERSECCION DE CALLES DE RODAJE.
 FUENTE_ Referencia 6, pag. 227.

2.3.4. Distancias Libres

Por razones de seguridad y para hacer posible que las aeronaves maniobren apropiadamente, deben existir separaciones adecuadas entre pistas y calles de rodaje y espacios libres amplios entre éstas y edificios u otros obstáculos. Por ésto la Organización de Aviación Civil Internacional (O.A.C.I.) ha establecido según se muestra en la tabla 2.10 las distancias minimas de separación de Calles de Rodaje.

Letra de Clave	Distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista (m)								Distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de otra calle de rodaje (m)	Distancia entre el eje de una calle de rodaje que no sea de acceso a un puesto de estacionamiento y un objeto (m)	Distancia entre el eje de la calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto (m)
	Pista de vuelo por Instrumentos				Pista vuelo visual						
	1	2	3	4	1	2	3	4			
A	82.5	82.5	-	-	37.5	47.5	-	-	21	13.5	12
B	87	87	-	-	42	52	-	-	31.5	19.5	16.5
C	-	-	168	-	-	-	93	-	46.5	28.5	24.5
D	-	-	176	176	-	-	101	101	68.5	42.5	36
E	-	-	-	180	-	-	-	105	76.5	46.5	40

Tabla 2.10 Distancia mínima de separación de las calles de rodaje

2.3.5. Calles de Rodaje

Las calles de rodaje de salida rápida como su nombre lo indica posibilitan a las aeronaves que aterrizan para desalojar las pistas cuando todavía tienen una velocidad relativamente alta de una forma rápida, y es por ésto que incrementan su capacidad; sin embargo requieren de una calle paralela a la pista como se puede ver en la fig. 2.19

Los ángulos permisibles para una calle de rodaje de salida rápida oscilan entre los 30° y 45°, sin embargo es más conveniente utilizar ángulos más cercanos a los 30° ya que de esta forma se reduce la longitud de su parte curva.

Como se observa en la fig. 2.20 la curva de las calles de rodaje de salida rápida está compuesta por dos partes de radios diferentes con la finalidad de evitar un desgaste exagerado de las llantas del tren principal. Experimentalmente los radios del primer sector que han resultado satisfactorios son:

Velocidad de la Aeronave (km/hr)	Radio R ₁ (m)
64	526
80	742
97	956

El radio de la segunda parte de la curva compuesta puede calcularse de la siguiente manera:

$$R = V^2/15f$$

donde:

R = valor del radio en pies

V = velocidad de entrada a la calle de rodaje en millas/hr

f = 0.13 (para una curva suave)

La longitud de la curva de transición (L_1) se puede calcular de la siguiente forma:

$$L_1 = V^3/CR_2$$

donde:

L_1 = longitud de la curva en pies

V = velocidad del avión en pies

C = constante cuyo valor experimental es aproximadamente 1.3

R_2 = radio de la segunda parte de la curva.

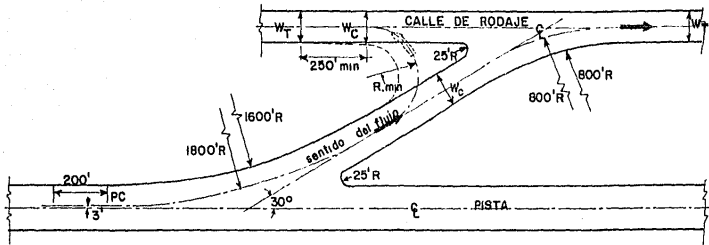


Fig. 2.19 CONFIGURACION TIPICA DE UNA CALLE DE RODAJE DE SALIDA RAPIDA.

Fuente: Ref. 6, pag.225

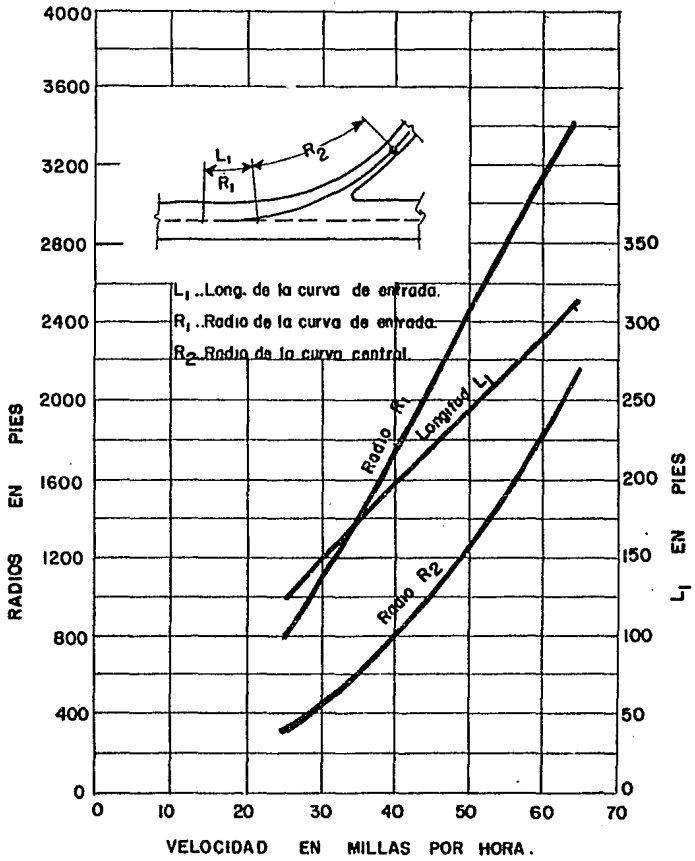


FIG. 2.20__ RADIOS DE CURVATURA PARA CALLES DE RODAJE

FUENTE ___ Referencia 6, pag. 224.

Utilizando la fig. 2.20 puede calcularse rápidamente el valor de los radios de la curva compuesta de la calle de rodaje de salida en función de la velocidad de la aeronave.

2.3.6. Capacidad de las Calles de Rodaje y su efecto en la capacidad de pistas.

"Se ha demostrado empíricamente en trabajos elaborados por la Agencia Federal de Aviación (F.A.A.) de los Estados Unidos, que la capacidad de las calles de rodaje excede a la de las pistas y posiciones de estacionamiento, por lo que no existen expresiones para calcular su valor" (fuente Ref. 4)

La importancia de las calles de rodaje está en el sistema pistas-calles de rodaje, ya que mediante su uso los aviones pueden abandonar las pistas más rápidamente reduciendo las demoras de los aviones que esperan utilizar la pista.

Otra forma en que las calles de rodaje influyen en la capacidad de las pistas es el tiempo de rodaje entre el edificio terminal y aquéllos.

Por lo anterior es imposible hablar de capacidad de pistas sin involucrar las calles de rodaje, y la práctica requiere por lo tanto configuraciones de pista-calles de rodaje para establecer valores que sean representativos de cada caso.

2.4 Plataforma

2.4.1. Generalidades

La Organización de Aviación Civil Internacional (O.A.C.I.) define una plataforma como un área destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correos o carga, reaprovisionamiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Las plataformas se sitúan junto al edificio terminal y son un punto importante en la eficiencia de un aeropuerto.

Para efectos de planificación en lo referente a la plataforma los objetivos deben ser el ubicarla de tal forma que las distancias de rodaje entre pista y puesto de estacionamiento sean mínimas, prever un número adecuado de posiciones de estacionamiento para satisfacer la demanda esperada, y proporcionar instalaciones de apoyo para el embarque y desembarque de pasajeros, así como instalaciones para el reabastecimiento de combustible y para la carga y descarga de mercancía.

El estudio de las plataformas requiere un conocimiento de las características físicas de los aviones, es decir de sus dimensiones y de sus formas de movimiento, con la finalidad de establecer los espacios necesarios para que las aeronaves maniobren en la forma adecuada.

2.4.2 Requerimientos de Espacio

En general el área total destinada para una plataforma debe ser tal que permita el movimiento rápido del tránsito de aeronaves en los períodos punta.

Básicamente existen tres factores que determinan el área necesaria

para una plataforma, y son los que se describen a continuación

2.4.2.1. Tamaño de las posiciones de estacionamiento

El tamaño de las posiciones de estacionamiento o rampas está en función de las dimensiones del aeronave y de su maniobrabilidad, de los espacios libres desde las puntas de ala y de la forma en que el avión se mueve o es movido para entrar o salir de ellas.

Para obtener las dimensiones de las principales aeronaves comerciales ver la tabla 2.3 y la fig. 2.8 del capítulo 2.2.3.

Para obtener las dimensiones de las principales aeronaves de aviación general ver la tabla 2.11 del presente capítulo.

Como fué mencionado anteriormente las características de movimiento de los aviones determina el área total de la plataforma ya que influye en la superficie que se requiere para cada posición de estacionamiento.

Generalmente los aviones entran rodando a la rampa, pero al salir, pueden hacerlo rodando o bien mediante el empuje proporcionado por tractores especiales.

Cuando el avión es jalado de su posición de estacionamiento hacia afuera es posible reducir el tamaño de estas ya que si lo hace rodando requiere de un mayor espacio como puede observarse en la fig. 2.8 del capítulo 2.2.3.

Este factor que debe tomarse en cuenta para dimensionamiento de las posiciones de estacionamiento es el referente a las áreas que requieren los vehículos que sirven al avión como se muestra en el caso de BAC-III en la fig. 2.21.

Las áreas necesarias para las posiciones de estacionamiento de los principales aviones comerciales incluyendo éstos requerimientos están dadas en la fig.2.22.

Aeronave	Envergadura(M)	Longitud(M)	Distancia entre ruedas externas del tren de aterrizaje principal(M)
Beech 23-Musketeer	9.98	7.62	3.61
Beech V35-Bonanza	10.19	8.03	2.92
Beech 58-Baron	11.53	9.07	3.35
Bellanca 260 C	10.41	6.99	2.74
Cessna 150	9.96	7.01	1.98
Cessna 1725 Skyhawk	10.90	8.20	2.18
Cessna 182 Skylane	10.92	8.53	2.41
Cessna T 310	11.25	8.99	3.66
Piper PA-23-250 Aztec	11.33	9.22	3.45
Piper PA-28-180 E Cherokee	9.14	7.16	3.05
Piper PA-28-200 R Arrow	9.14	7.37	3.20
Piper Twin Comanche C	10.97	7.67	2.97
Gulf-Stream II	20.98	24.36	4.17
Lear Jet 25	10.85	14.50	2.51
LockHeed Jet Star	16.59	18.42	3.73
North American			
Sabreliner-60	13.54	14.73	2.18
Dassault- Jet Falcon 20 T	16.54	18.29	3.73

Tabla 2.11

Dimensiones de las principales aeronaves de aviación general.

Fuente: Referencia 6 Pags. 46 - 47

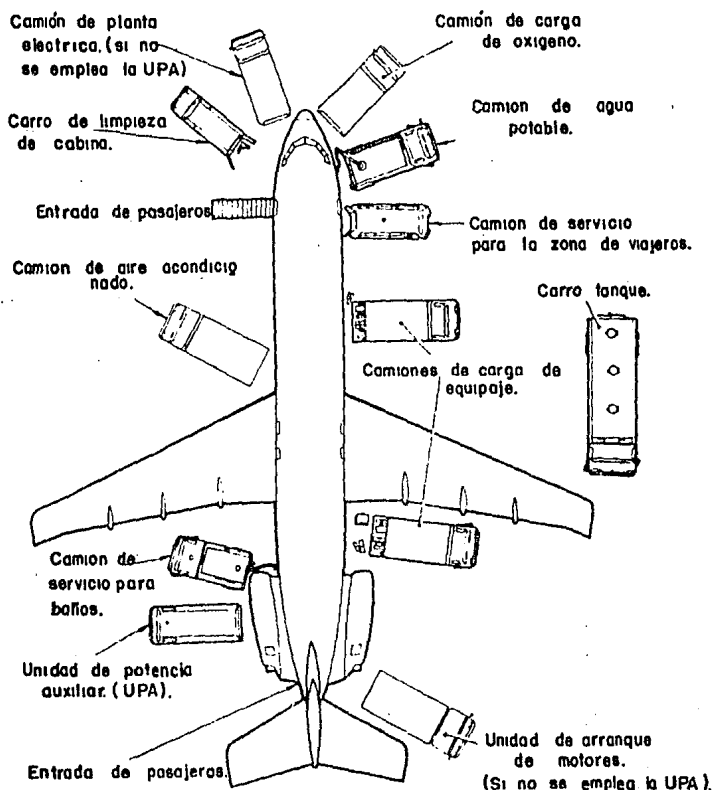
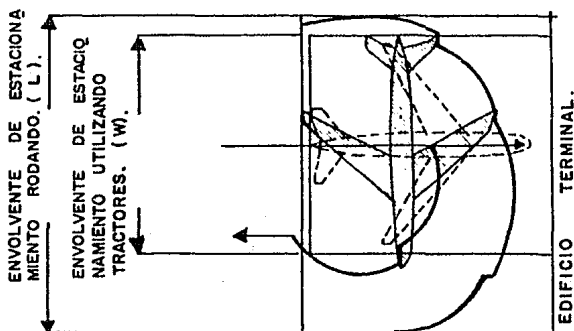


Fig. 2.21 Vehículos necesarios para el servicio en posición de estacionamiento (BAC-III) Fuente: Referencia 3

ENVOLVENTES DE ESTACIONAMIENTO..



L _ Longitud.

W _ Ancho.

GRUPO	Remolque para salida		AREA m ²	Rodaje de salida		AREA m ²
	L mts.	W		L mts.	W	
A. FH- 227	31.42	35.10	1103	45.36	42.72	1938
YS-11B	32.39	38.07	1233	52.12	45.69	2383
BAC-III	37.64	34.59	1302	39.62	42.21	1674
DC9-10	40.97	33.35	1367	45.47	40.97	1863
B. DC9-21, 30	45.52	34.54	1572	45.42	42.16	1915
727	52.78	39.01	2059	59.13	46.63	2758
737	36.58	34.44	1260	44.30	42.06	1863
C. B-707	52.71	50.52	2666	78.64	58.14	4572
B-720	47.78	45.97	2196	69.49	53.59	3724
D. DC-8-43, 51	52.04	49.50	2576	64.57	57.12	3688
DC-8-61, 63	63.22	51.33	3246	76.91	58.95	4534
E-L-1011	57.51	53.44	3074	80.31	61.06	4904
DC-10	58.60	56.49	3310	88.70	64.11	5686
F. B-747	93.71	65.74	4846	99.97	73.36	7334

FIG. 2.22_ AREAS REQUERIDAS PARA POSICIONES DE ESTACIONAMIENTO EN DIFERENTES AVIONES. FUENTE_ REFERENCIA 3, pag. 231.

2.4.2.2. Número de Posiciones de Estacionamiento

El número de posiciones de estacionamiento depende de dos factores principales que son:

- a) El número de aeronaves a las que se les dará servicio en el período pico.
- b) El tiempo de ocupación de la posición de estacionamiento.

Una forma propuesta para determinar el número de posiciones de estacionamiento (Fuente Ref. 4) es la siguiente:

$$n = \frac{v \ t}{M}$$

donde:

v = Número de operaciones aéreas/hr en el período punta

t = Tiempo promedio de ocupación

M = Factor de utilización (0.6 a 0.8) donde las posiciones son compartidas.

El tiempo mínimo de ocupación de las posiciones de estacionamiento para aeronaves comerciales representativas de diferentes grupos está dado por la tabla 2.12.

Aeronave	Tiempo de Ocupacion del puesto de Estacionamiento (min)
Boeing - 747	60
DC-10, L-1011	60
Boeing - 727	40
DC - 9	40

Tabla 2.12
Tiempo mínimo de ocupación de Posiciones de Estacionamiento.

Otra fórmula establecida para los países Europeos (Fuente Ref.3) es la siguiente:

$$n = m q t$$

donde:

m = Número de operaciones aéreas/hr en el período pico

q = Proporción de llegadas al total de movimientos

t = tiempo promedio de ocupación.

La técnica que utiliza la Dirección General de Aeropuertos para obtener el número de posiciones de estacionamiento en el caso de una ampliación se basa en las posiciones simultáneas suponiendo una permanencia de 45 min. para vuelos nacionales y 60 min. para vuelos internacionales.

Para obtener las posiciones simultáneas se utiliza una gráfica donde se colocan cada uno de los vuelos que salen del aeropuerto en cuestión en base a los itinerarios publicados por la compañías áreas (ver fig. 2.22).

En la fig. 2.22 se presenta un ejemplo.

2.4.2.3. Formas de Estacionamiento de Aeronaves

El término formas de estacionamiento de las aeronaves se refiere a la orientación del avión con relación al edificio terminal cuando se estaciona.

Existen varias formas de estacionamiento de las aeronaves, sin embargo pueden clasificarse en tres grupos que son:

- a) Estacionamiento con la proa hacia adentro.
- b) Estacionamiento con la proa hacia afuera.
- c) Estacionamiento paralelo.

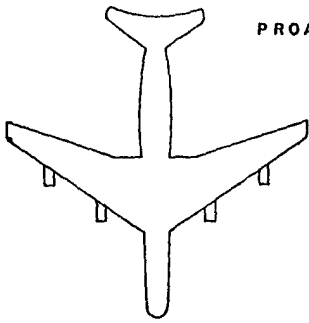
Dentro de los primeros 2 grupos puede existir la variante de estacionar se perpendicular u oblicuamente a la fachada del edificio terminal (ver fig. 2.23)

Todos éstos grupos tienen ventajas y desventajas con respecto a los demás, como puede ser el hecho de que el ruido y el chorro de los gases es menor si la posición relativa con respecto al avión es hacia la proa. En el caso del estacionamiento con la proa hacia adentro éstos efectos son menores cuando el avión se acerca al edificio, pero cuando se aleja son aún mayores ya que requiere de mayor potencia para moverse ya cargado.

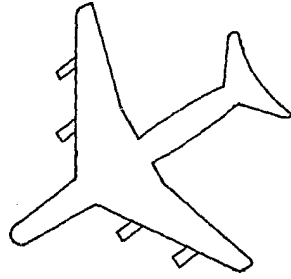
El estacionamiento paralelo es muy conveniente ya que reduce considerablemente los efectos de ruido y chorro de gases, y por otro lado mediante su uso los pasajeros circulan más fácilmente ya que los 2 accesos al avión quedan cerca del edificio, sin embargo su inconveniente principal estriba en que requiere un area mayor que los otros sistemas.

La forma más usual es el estacionamiento con la proa hacia adentro,

sin embargo para cada caso se debe hacer un análisis detallado en base a las ventajas y desventajas de cada tipo de estacionamiento descritas anteriormente.



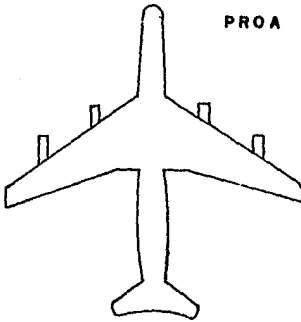
PROA HACIA ADETRON.



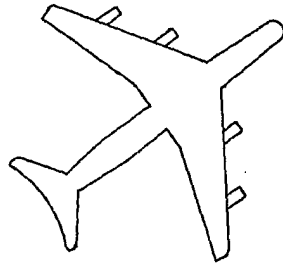
PERPENDICULAR

TERMINAL

EN ANGULO



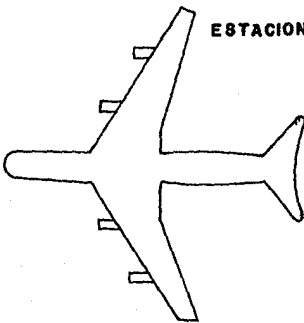
PROA HACIA AFUERA.



PERPENDICULAR

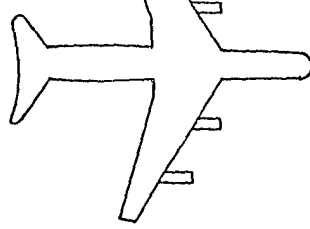
TERMINAL

EN ANGULO



ESTACIONAMIENTO

PARALELO



PARALELO

TERMINAL

PARALELO

FIG. 2.23 _ FORMAS USUALES DE ESTACIONAMIENTO.

FUENTE _ Referencia 3, pag. 266.

2.4.2.4. Configuración de Estacionamientos

La configuración de estacionamientos se refiere a las características de la plataforma en función al trazo del edificio terminal, es decir que son conceptos que están íntimamente ligados y la decisión de adoptar uno u otro se hará en base a considerarlos como un sólo sistema, tomando en cuenta el espacio requerido, el espacio disponible y las distancias de recorrido a pie que tuviesen que hacer los pasajeros.

Las configuraciones de estacionamientos se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Sistema frontal

En éste sistema las aeronaves se estacionan en una sola fila frente al edificio terminal, por lo que cuando se requieren muchas posiciones de estacionamiento es poco conveniente ya que la longitud de la fachada del edificio terminal tendría que ser muy grande.

b) Sistema de Muelles o espigones

Como su nombre lo indica ésta configuración involucra salientes tipo muelle con respecto al cuerpo principal de la zona terminal, sin embargo una limitante en cuanto a su longitud es la distancia de recorrido a pie que deberá hacerse para llegar a las posiciones de estacionamiento.

c) Sistema de Satélites

Este sistema fué ideado para liberar de obstrucciones a la plataforma, sin embargo tiene el inconveniente de un mayor recorrido a pie y de menos posiciones de estacionamiento en relación con la distancia recorrida.

Este sistema tiene un costo muy elevado puesto que su uso requiere la construcción de túneles sobre los cuales circulan aviones.

d) Sistema de Plataforma Abierta o Vehicular

En éste sistema las aeronaves se estacionan junto al edificio terminal en más de una fila. El acceso a los aviones se hace por medio de camiones provocando que además del tránsito de aeronaves exista un tráfico de vehículos de transporte de pasajeros y carga, lo cual puede ocasionar un accidente.

2.4.3 Márgenes de separación en plataformas.

El objetivo del establecimiento de las márgenes es el garantizar la seguridad de los pasajeros y de las aeronaves ya que una colisión aunque fuera a una velocidad muy baja podría ocasionar daños tanto a las personas como a los aviones.

Las especificaciones en relación a las distancias libres entre aeronaves o bien entre una aeronave y cualquier obstáculo están en función de la maniobrabilidad y del tamaño del avión. Con respecto a éste punto la Organización de Aviación Civil Internacional en su Anexo 14 establece los siguientes valores mínimos.

Letra Clave	Márgen
A	3m
B	3m
C	4.5m
D	7.5m
E	7.5m

El conocimiento de los requerimientos de márgenes de seguridad son muy importantes en la planificación de la plataforma y en general de todo el aeropuerto, ya que son áreas que deben considerarse tanto para el trazo de la zona terminal como para la cuantificación del terreno necesario para el desarrollo de las diferentes etapas de construcción de las instalaciones.

2.4.4 Circulación en Plataforma

En la planificación de la plataforma es necesario tomar en cuenta la necesidad de carriles de circulación que faciliten tanto el acceso como la salida de las posiciones de estacionamiento.

En el caso de un edificio terminal que utilice el sistema de muelles o espigones paralelos es necesario proporcionar una separación adecuada entre ellos para facilitar la circulación de las aeronaves, la cual estará en función de tamaño del avión, de la distancia libre y de la longitud del muelle.

Por ejemplo para el caso de una forma de estacionamiento de proa hacia adentro en una configuración de muelles paralelos el claro libre entre ellos estará dado por una de las siguientes expresiones (fuente ref.6)

$$2 L + 2 C + W \quad (1)$$

$$2 L + 2 C + 2 W \quad (2)$$

donde:

L = Longitud del avión

C = Distancia libre entre el avión y el edificio terminal

W = Ancho del carril (50 - 90m)

La primera de ellas es para el caso de un solo carril de rodaje, y la segunda para dos que se utilizan si entre los muelles se presentan seis posiciones simultáneas (ver fig. 2.24)

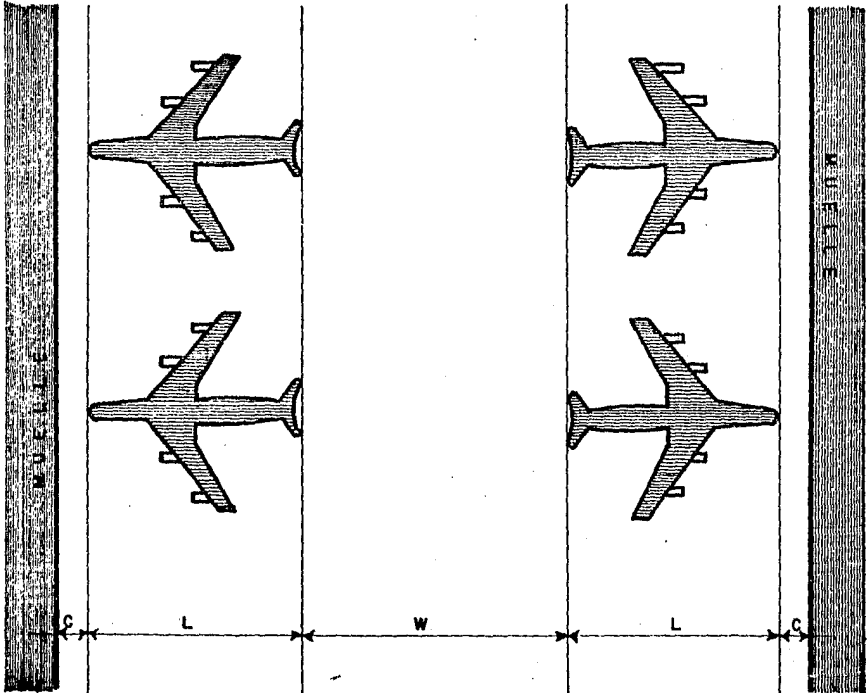


FIG. 2.24_ CARRIL DE CIRCULACION PARA UN EDIFICIO TERMINAL TIPO MUELLE.

FUENTE___Referencia 6, pag. 273.

2.4.5. Capacidad de las Posiciones de Estacionamiento

El estudio de la capacidad de las posiciones de estacionamiento es de suma importancia puesto que debe satisfacer la demanda presente y futura para poder establecer las diferentes etapas de construcción de la plataforma.

Los factores que afectan la capacidad de las posiciones de estacionamiento son:

- a) Número de posiciones
- b) Tipo de posiciones en relación al tamaño de la aeronave a la que pueden dar servicio
- c) Tiempos de ocupación (Ver tabla 2.12 en cap. 2.4.2.2.)
- d) Tipos de aeronaves a las que se dará servicio

Modelos para calcular la capacidad de rampas (fuente ref. 6) básicamente existen dos modelos, pero para calcular el segundo es necesario haber calculado previamente el primero.

- 1.- Suponer que todas las rampas de estacionamiento pueden dar servicio a todas las clases de aeronaves. A esta capacidad se le designa con la letra F.
- 2.- Supone que no todas las posiciones de estacionamiento pueden dar servicio a todas las clases de aeronaves y se designa con la letra C, siendo $C = FX$, es decir que es una fracción de la capacidad F.

Cálculo de la Capacidad F

El cálculo de la capacidad F está dado por la siguiente expresión:

$$F = \frac{G}{\sum MiTi}$$

donde:

i = Tamaño del avión según la clase, $i = 1$ es la mayor e $i = n$ la menor

n = Número de clases de aeronaves

G_i = Número de posiciones que pueden acomodar a un avión de clase i ;

$$G = \sum_{i=1}^n G_i$$

M_i = Proporción de aviones clase i con respecto al total ($\sum_{i=1}^n M_i = 1$)

T_i = Tiempo de ocupación de puesto de estacionamiento por una aeronave tipo i

$\sum_{i=1}^n M_i T_i$ = Media ponderada del tiempo de ocupación de todas las clases de aeronaves

F = Capacidad de todas las rampas disponibles asumiendo que cada una puede dar servicio a cada tipo de aeronave.

Cálculo de la Capacidad C

Está dada por la siguiente fórmula :

$$C = F X$$

donde:

X = Relación entre C y F

g_i = Fracción del total de rampas que pueden acomodar un avión de clase $i = G_i/G$

T_i = Fracción del total del tiempo de ocupación de las rampas por un avión de la clase $i = \frac{M_i T_i}{\sum_{i=1}^n M_i T_i}$

C = Capacidad de todas las rampas disponibles asumiendo que no todas pueden ser usadas por todos los tipos de aeronaves.

El valor X esta dado por la siguiente expresión

$$X = \frac{g1 + g2 + \dots + gn}{L1 + L2 + \dots + Tn}$$

El valor de X que se toma es el que corresponde a una X para (i = n) cuando es menor que X para (i = n + 1)

Ejemplo de Cálculo

Existen tres clases de Aeronaves i = 1 para Boeing 747, DC-10 y L-1011, i = 2 para Boeing 707, y DC-8, y clase i = 3 para Boeing 727, 737 y DC-9. Hay 10 rampas de estacionamiento de las cuales 5 pueden dar servicio a los aviones i = 1, 3 a aviones i = 2 y 2 a aviones clase i = 1. Existen un 30% de aviones clase i = 1, 50% de aviones i = 2 y 20% i = 3. Los tiempos de ocupacion de las rampas por los aviones son: T₁ = 60 min. para aviones clase i = 1, T₂ = 45 min. y T₃ = 30 min. Obtener las capacidades F y C.

SOLUCION

Datos

$$G = 10$$

$$M1 = 0.30$$

$$M2 = 0.50$$

$$M3 = 0.20$$

$$T1 = 1.00$$

$$T2 = 0.75$$

$$T3 = 0.50$$

Obtención de F

$$F = \frac{G}{\sum MiTi} = \frac{10}{(0.30 \times 1.00) + (0.50 \times 0.75) + (0.20 \times 0.50)} = 12.90$$

F = 13 aeronaves

Obtención de C

Datos

$$G_1 = 5$$

$$G_2 = 3$$

$$G_3 = 2$$

$$g_1 = \frac{G_1}{G} = \frac{5}{10} = 0.50; \quad g_2 = \frac{G_2}{G} = \frac{3}{10} = 0.30; \quad g_3 = \frac{G_3}{G} = \frac{2}{10} = 0.20$$

$$M_1T_1 = 0.30 \times 1.00 = 0.30; \quad M_2T_2 = 0.50 \times 0.75 = 0.38;$$

$$M_3T_3 = 0.20 \times 0.50 = 0.10$$

$$\sum_{i=1}^n M_iT_i = M_1T_1 + M_2T_2 + M_3T_3 = 0.30 + 0.38 + 0.10 = 0.78$$

$$T_1 = \frac{M_1T_1}{\sum_{i=1}^n M_iT_i} = \frac{0.30}{0.78} = 0.38; \quad T_2 = \frac{M_2T_2}{\sum_{i=1}^n M_iT_i} = \frac{0.38}{0.78} = 0.49$$

$$T_3 = \frac{M_3T_3}{\sum_{i=1}^n M_iT_i} = \frac{0.10}{0.78} = 0.13$$

$$\text{Para } i = 1 \quad \frac{g_1}{T_1} = \frac{0.50}{0.38} = 1.32$$

$$\text{Para } i = 2 \quad \frac{g_1 + g_2}{T_1 + T_2} = \frac{0.50 + 0.30}{0.38 + 0.49} = 0.92$$

1.32 > 0.92 Por lo que es necesario obtener el siguiente valor

$$\text{Para } i = 3 \quad \frac{g_1 + g_2 + g_3}{T_1 + T_2 + T_3} = \frac{0.50 + 0.30 + 0.20}{0.38 + 0.49 + 0.13} = 1.00$$

Como x para $i = 2 > x$ para $i = 3$ el valor definitivo de x será el de x para $i = 2$

$$x = 0.92$$

$$C = FX = 12.90 (0.92) = 11.87 = 12 \text{ aeronaves}$$

2.5 Edificio Terminal

2.5.1 Generalidades

La función principal del edificio de pasajeros es el cambio en la modalidad de transporte, es decir el cambio de vehículo terrestre a vehículo aéreo ó viceversa aunque puede darse el caso de que el cambio sea entre vehículo marino y vehículo aéreo

Otra función del edificio terminal es llevar a cabo el procesamiento inicial del viaje por avión el cual incluye la documentación de pasajeros, el manejo de equipaje y los requerimientos en lo referente a seguridad y controles gubernamentales, por lo que debe proporcionar instalaciones adecuadas para prestar todos estos servicios.

Tanto el cambio de modalidad del sistema de transporte como los procesamientos inicial y final de un viaje aéreo pueden visualizarse en la figura 2.25.

La planeación del edificio terminal debe suministrar un nivel alto de servicio en base al suministro de espacios adecuados en las áreas de procesamientos de datos y circulaciones, y en la reducción de la

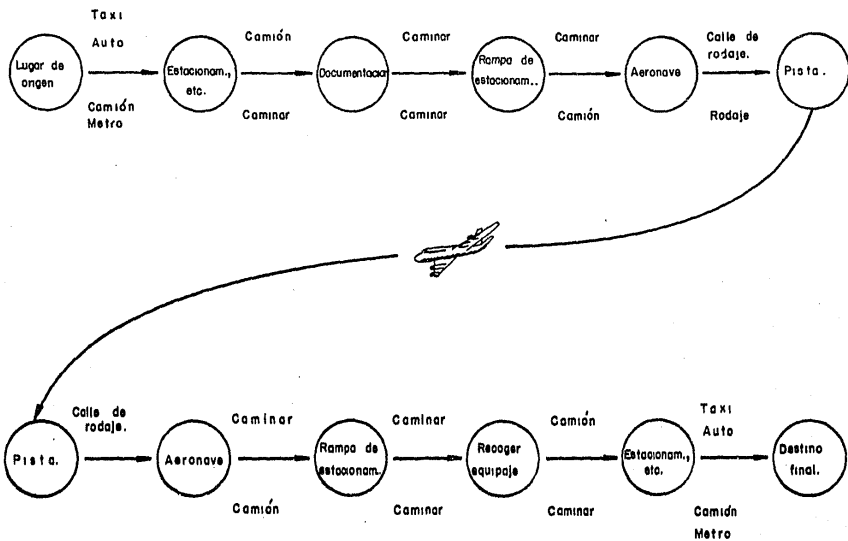


FIG. 2.25 - VIAJE AEREO TIPICO.

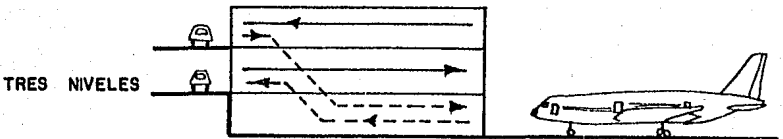
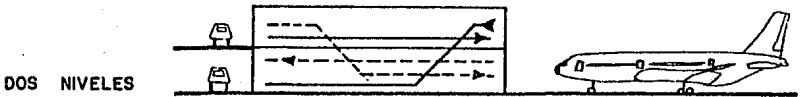
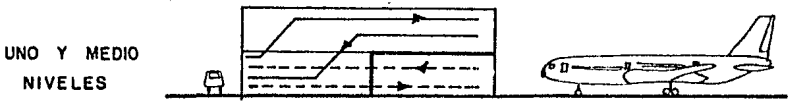
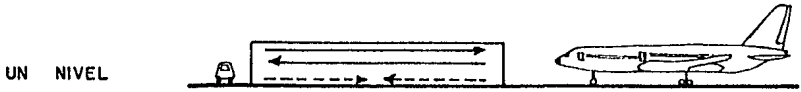
FUENTE.—Referencia 10, pag. 533.

distancia que el pasajero tiene que recorrer a pie hasta llegar al avión.

Por otro lado la planificación adecuada del edificio terminal es de vital importancia puesto que su costo constituye un porcentaje bastante alto del costo total del aeropuerto por lo que es imprescindible obtener de él su funcionamiento óptimo.

En general al efectuar la planificación de un aeropuerto deben separarse las áreas de servicio para evitar congestionamientos proporcionar en la medida de lo posible circulaciones que hagan fácil el movimiento de pasajeros y carga, para lo cual en ocasiones se emplean edificios de 2 niveles y hasta 3 niveles (ver fig.2.26)

FIG. 2.26 — SEPARACIONES VERTICALES TIPICAS DE LA CIRCULACION DE PASAJEROS Y EQUIPAJE.



→ RECORRIDO PASAJEROS
←

→ RECORRIDO EQUIPAJE
←

2.5.2 Instalaciones Necesarias

El edificio terminal debe tener espacio para las funciones relativas al servicio de pasajeros, controles, instalaciones adicionales para comodidad del pasajero, operación del aeropuerto y operación y mantenimiento de aeronaves.

- a) Servicios que requieren instalaciones en cuanto a las necesidades de los pasajeros. (ver fig. 2.27)

Pasajeros de Salida

En general las instalaciones que se requieren con respecto a éste punto son la sala general, mostradores de presentación, salas de espera y salas de última espera.

La sala general se encuentra entre la entrada al edificio terminal y los mostradores de presentación, por lo que es necesario que sea un área libre de obstáculos para que el pasajero los localice rápidamente.

Instalaciones como oficinas de ventas de boletos, baños e información de vuelos se encuentran en ésta sala, pero deben situarse de tal forma que permitan una circulación rápida al pasajero.

En los mostradores de presentación el pasajero efectúa su documentación y el registro de su equipaje, y a partir de éste momento se separa de él.

Después de acudir a los mostradores de presentación el pasajero espera en la sala general hasta que su vuelo es anunciado, entonces se dirige a la sala de espera y posteriormente a la sala de última espera (si existe) antes de abordar el avión.

El equipo que el pasajero dejó en el mostrador de presentación es conducido a una sala si es vuelo nacional y a otra si es vuelo internacional, aquí es clasificado según el avión y destino en el que vaya a salir y posteriormente es llevada a la posición de estacionamiento para ser cargada dentro de la aeronave.

Pasajeros de llegada

Al salir del avión el pasajero va directamente a la sala de reclamo de equipaje para posteriormente abandonar el aeropuerto.

Si es un pasajero en tránsito o transferencia será conducido a la sala de última espera o a una sala de espera, que en algunas ocasiones se construye con éste único fin.

El equipaje es conducido a una sala donde es clasificado para ver cual debe ser transferido o otro avión o bien llevado a la zona de recogida.

b) Controles

Durante la circulación de pasajeros es frecuente la necesidad de establecer puestos de control de inmigración, aduana, seguridad y salud según se muestra en la fig. 2.27, por lo que es necesario prever espacio para alojarlos.

c) Instalaciones Adicionales para comodidad del pasajero

Son muy útiles ya que son una de las formas de generar beneficios monetarios para el Aeropuerto.

Dentro de esta instalaciones se encuentran los puestos de periódico, libros, tiendas de regalos, restaurantes, cafeterías, bares, compañías de seguros, arrendamiento de automóviles, bancos, peluquerías, y

muchos otros.

Es importante la localización adecuada de éstas instalaciones anexas a las salas de espera para no interferir la circulación de los pasajeros.

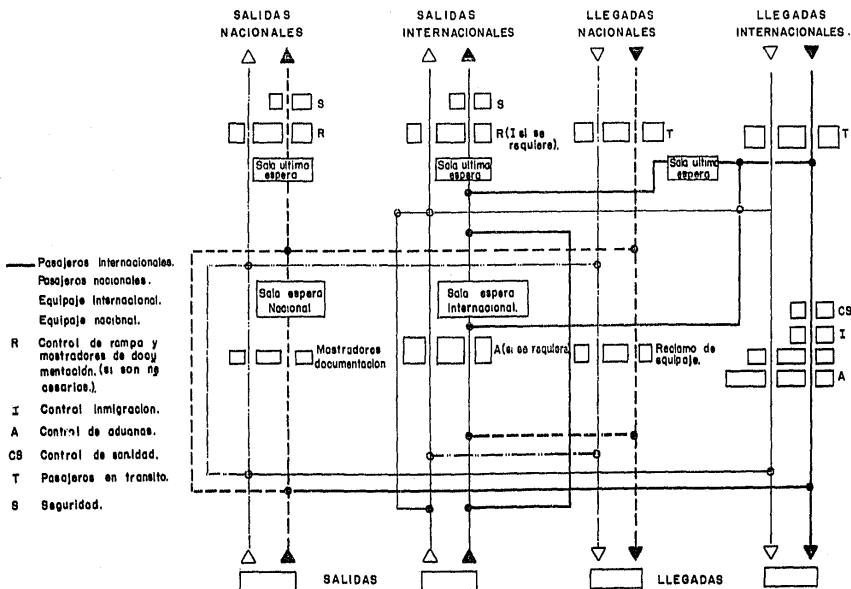


FIG. 2.27 — DIAGRAMA DE CIRCULACION DE PASAJEROS Y EQUIPAJE.

FUENTE — Referencia 3, pag. 239.

d) Operación de Aeronaves

Las aerolíneas requieren de instalaciones para coordinar los vuelos que realizan. Estas son centro de comunicaciones, salas para personal de tierra y aire, sala de operaciones para tripulación, etc., por lo que es necesario la previsión de áreas destinadas con ésta finalidad.

e) Operación y Mantenimiento del Aeropuerto.

Dependiendo de la magnitud del aeropuerto, puede ser necesaria la construcción de edificios especiales para algunas de las siguientes funciones:

Control de tránsito Aéreo, Administración del Aeropuerto, Mantenimiento del Aeropuerto, Bomberos, Comedores para empleados y Servicios.

2.5.3. Clasificación con respecto al trazo.

Con la finalidad de conseguir diversos objetivos se han llegado a construir diferentes tipos de edificios terminales dentro de los cuales tenemos:

1) Terminal Lineal

Este tipo de trazo de edificio terminal se muestra en la fig. 2.28. Presenta la ventaja de un fácil embarco y desembarco de los vehículos de acceso, además de que una ampliación no afectaría mayormente a la operación de la parte ya construida. Su desventaja principal es la gran distancia de recorrido del pasajero.

2) Terminal Tipo, Espigón o Muelle.

Este trazo se muestra en la fig. 2.29 y consiste básicamente en agregar corredores con puestos de embarque, salas de espera y pasarelas de carga a las aeronaves.

3) Terminal tipo Satélite

Este tipo de trazo de edificio terminal se muestra en la fig. 2.30. se caracteriza por ser un edificio central único conectado por túneles a una o más estructuras satélites. Su ventaja es que proporciona una circulación más libre en plataforma que el sistema tipo muelle, sin embargo su costo es más elevado y la distancia de recorrido a pie del pasajero es larga.

4) Terminal tipo plataforma abierta o vehicular

Se caracteriza por el uso de camiones o vehículos espaciales para transportar a los pasajeros del edificio terminal a las posiciones de estacionamiento. Es una solución relativamente más económica pero tiene el inconveniente de una circulación muy grande de vehículos terrestres en plataforma la cual puede ocasionar accidentes (ver. fig. 2.31)

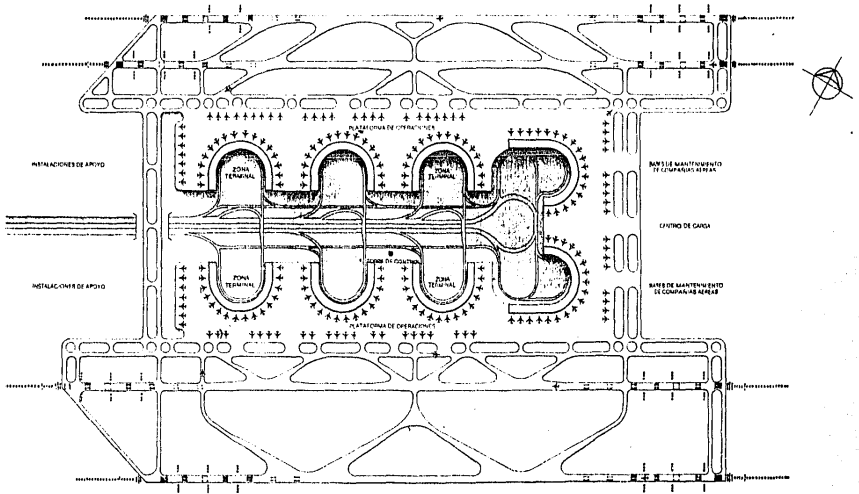


FIG. 2.28_ TERMINAL TIPO FRONTAL.

FUENTE — Referencia 2, pag. 82-83.

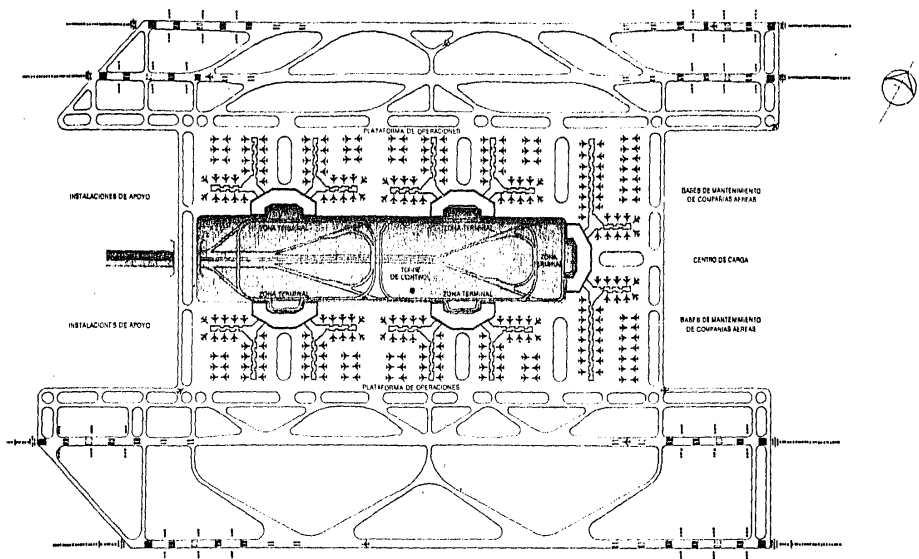


FIG. 2.29 _ TERMINAL TIPO MUELLE.

FUENTE _ Referencia 2, pag. 82-83.

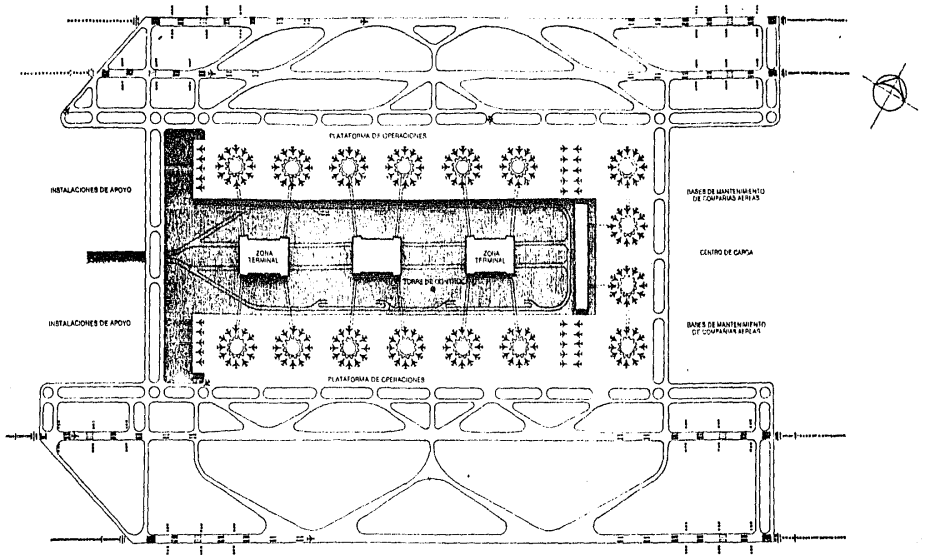


FIG. 2.30. TERMINAL TIPO SATELITE.

FUENTE_ Referencia 2, pag. 82- 83.

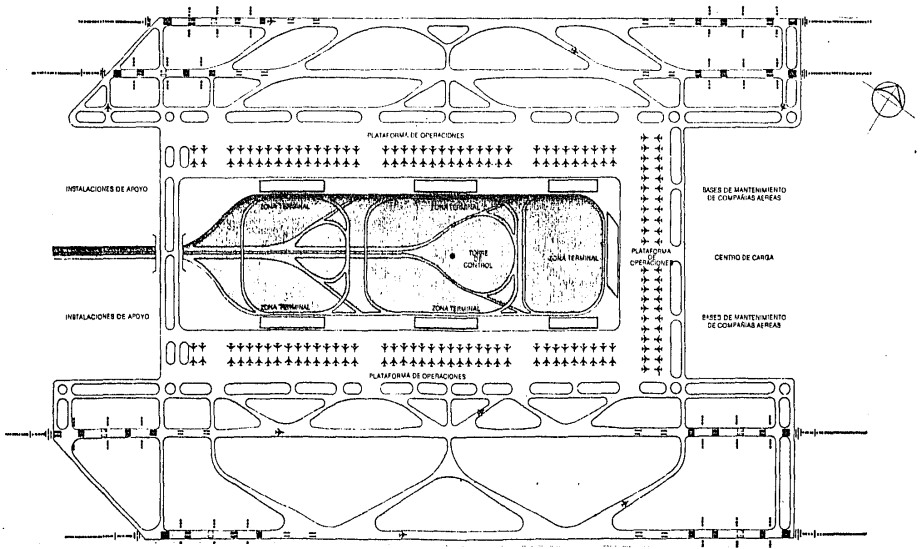


FIG. 2.31... TERMINAL TIPO PLATAFORMA ABIERTA O VEHICULAR.

FUENTE — Referencia 2, pag.82-83.

2.5.4. Conexión entre el edificio terminal y las vías de Acceso

Una correcta planificación de las entradas, salidas y aceras del edificio terminal es básica para su correcto funcionamiento.

La utilización de señales al llegar el pasajero son muy usuales para establecer vías de circulación adecuadas y por otro lado la provisión de espacio suficiente en aceras para la carga/descarga de automóviles es un punto vital en la planeación de la zona terminal.

Otros temas que requieren consideración en la planificación de la conexión entre el edificio terminal y las vías de acceso son lo pasos de peatones desde estacionamientos elevados y la correcta ubicación y provisión de entradas y salidas al edificio terminal.

Con la correcta utilización de éstas instalaciones se obtendrá una integración de los sistemas del aeropuerto para lograr en ellas un funcionamiento armónico y complementario.

2.5.5. Requerimientos de Espacio

En general para fines de planificación los espacios requeridos se dimensionan en base a tablas o gráficas que relacionan la superficie necesaria con los parámetros de diseño, los cuales han sido obtenidos empíricamente.

Algunas de las tablas obtenidas por organizaciones Norteamericanas son las que se muestran a continuación, sin embargo el nivel de servicio que rige para los Estadounidenses no es el mismo que para los Mexicanos.

Instalación	Area requerida por cada 1TPHP Pasajeros en la hora pico típica en m2
Puesto de venta de boletos	1.0
Oficina de operaciones de las Aerolíneas	4.8
Sala de Reclamo de Equipaje	1.0
Sala de Espera	1.8
Restaurantes	1.6
Cocina y Bodegas	1.6
Otras Concesiones	0.5
Baños	0.3
Zonas de Circulación, de instalaciones y muros y columnas	<u>11.6</u>
	24.2

Tabla 2.13

Criterio de Dimensionamiento de los espacios requeridos en el edificio terminal elaborado por la FAA para aeropuertos domésticos Fuente: Referencia 3, Pag. 250.

Instalación	Area Requerida por cada 1+PHP pasajeros en la ho ra pico típicas en m2
Salubridad	1.5
Inmigración	1.0
Aduanas	3.3
Control Agrícola	0.2
Sala de espera para visitantes	<u>1.5</u>
	7.5
Más total requerido para insta laciones domésticas	<u>24.2</u>
Total	31.7

Tabla 2.14

Criterio de Dimensionamiento de los espacios requeridos en el edificio terminal elaborado por la FAA para aeropuertos Internacionales. Fuente: Referencia 3, Pag. 251

Instalación	Aera requerida por cada 1+PHP pasajero en la Ho ra pico típica en m2
Puesto de venta de boletos	1.0
Sala de reclamo de equipaje	1.0
Sala de espera	2.0
Sala de espera para visitantes	1.5
Inmigración	1.0
Aduana	3.0
Restaurantes y otras concesiones	2.0
Oficina de operaciones de las aerolíneas	5.0
Area total (domestica)	25.0
Area total (internacional)	30.0

Tabla 2.15

Requerimientos típicos de espacio en edificios termina
les. Fuente : Referencia 6, Pag. 258.

2.6. Camino de Acceso

2.6.1. Introducción

Los caminos de acceso son un punto vital de la planificación de aeropuertos puesto que el viaje aéreo es mixto, es decir se compone de dos partes terrestres y una parte aérea.

Inicialmente el pasajero tiene que transporte por tierra desde su lugar de origen hasta la terminal aérea, posteriormente efectúa el recorrido aéreo y finalmente tiene que viajar por tierra hasta su destino final.

Actualmente sucede que en los aeropuertos que están dentro de las grandes ciudades los pasajeros se encuentran con el problema de tener que realizar la primera y tercera etapas de su viaje mixto en calles congestionadas, lo cual implica una gran pérdida de tiempo que tiene como consecuencia que el transporte aéreo sea menos competitivo en viajes cortos.

Por otro lado si el aeropuerto se sitúa muy lejos de la ciudad el resultado es muy similar al caso expuesto anteriormente puesto que el tiempo que el pasajero invierte en la primera y tercera etapas de su viaje puede ser muy largo.

En realidad el punto clave en el estacionamiento de caminos de acceso adecuados es el tiempo que los pasajeros que se encuentran dentro del área de influencia del aeropuerto invierten en el viaje hacia la terminal aérea, o desde ésta hacia su lugar de origen.

2.6.2 Modos de Acceso

Existen diferentes formas de acceso a un aeropuerto dentro de las

cuales tenemos el automovil, el taxi, los camiones urbanos, los trenes, el metro, etc., sin embargo la más deseable depende las circunstancias locales.

En general el transporte ferroviario o el metro son formas convenientes cuando el servicio al aeropuerto sólo y una extensión de la infraestructura de transporte existente, sin embargo tienen el inconveniente del manejo del equipaje y de tener a la vez que hacer un viaje previo por otro medio para conectar con la estación más cercana.

Los camiones urbanos tienen el problema de hacer paradas continuas por lo que son muy tardados, por otro lado requiere que los pasajeros lleven sus equipajes por las calles, hasta abordarlo y finalmente ver si hay lugar para ellos y sus equipajes en el autobus. En México no es conveniente su uso.

Los taxis son una forma muy cómoda de transportarse al aeropuerto pero tienen el problema de ser muy caros, por otro lado el automóvil es la forma más cómoda y rápida de llegar a la terminal aérea aunque sufre problemas de congestión y si la estancia en el aeropuerto es larga el costo puede ser alto. En México éstos dos modos de acceso son los más usuales.

La Dirección General de Aeropuertos de la S.C.T. utiliza las 2 tablas siguientes para calcular el número y características de los caminos de acceso en función del tráfico anual de pasajeros.

Trafico Anual Pax	100,000	500,000	1'000,000	2'000,000	5'000,000	10'000,000
Número de empleados	160	800	1,600	3,200	9,000	20,000
Pasajeros	146	690	1,310	2,466	5,970	11,700
Empleados	152	570	933	1,641	3,855	8,100
Visitantes	86	379	703	1,329	3,001	6,029
Total	384	1,639	2,946	5,436	12,826	25,827

Capacidad del camino en vehiculos/hr.		
	Ancho de carril	Capacidad promedio
Camino 2 carriles	3m	1500 a 1800 v/hr
	3.5m	en dos sentidos
Camino 3 carriles	3.5m	1800 a 2200 v/hr dos sentidos
		1500 a 2000 v/hr 1 sentido
Camino 4 carriles		2600 v/hr 1 sentido
Autopista		Núm de vías x 1700 v/hr

2.6.3. Estimación del tránsito terrestre generado por la actividad Aérea.

La estimación del tránsito generado por la actividad aérea es un factor determinante en el dimensionamiento de las circulaciones y estacionamientos.

Esta estimación se realiza a partir de los parámetros de proyecto obtenidos de los pronósticos de demanda, en éste caso los pasajeros de llegadas y salidas en la hora pico.

El paso inicial es el determinar la forma en que el pasajero llega al aeropuerto ya sea por medio de automóvil, taxi, etc., y después estimar la ocupación promedio de cada modo expresado en No. de pasajeros/unidad. Esta información se obtiene por medio de encuestas efectuadas en el mismo aeropuerto en el caso de que se trate de una ampliación o en otros, cuyas características de demanda y de desarrollo de la zona.

adyacente sean similares a las del aeropuerto en cuestión.

Con estos datos se puede determinar el número de vehículos generados por los pasajeros en la hora pico.

Además de estimar los vehículos que van al aeropuerto por los pasajeros es necesario estimar aquéllos producidos por visitantes que pueden o no acompañar a los pasajeros para obtener el total de tráfico producido por la actividad aérea.

El tránsito terrestre producido por los empleados del aeropuerto no tiene la misma relación con el número de pasajeros aéreos, por lo que su acceso generalmente debe considerarse por separado.

Como se mencionó anteriormente con éstos datos en las horas críticas se pueden dimensionar tanto las circulaciones como los estacionamientos.

2.6.4. Estacionamientos.

Ya que el automóvil propio parece ser la forma en que la mayoría de pasajeros aéreos llega al aeropuerto es necesario planificar espacios y localizaciones adecuadas para estacionamientos.

Los puntos básicos de análisis con respecto a éste tema son el conocimiento del área que se requiere a lo largo de toda la vida útil del aeropuerto y de sus localizaciones idóneas para poder dimensionar el área de estacionamiento es necesario dividir su demanda en varias categorías que difieren en sus características de tiempo de ocupación y recurrencia por lo que deberían proveerse lugares para cada una:

- a) Pasajeros
- b) Visitantes que llevan a los pasajeros
- c) Empleados
- d) Agencias de renta de coches

La localización de las diferentes zonas de estacionamiento depende de dos factores principales que son la distancia de recorrido a pie y el tiempo de ocupación.

Por lo anterior puede decirse que las áreas destinadas para estacionamientos de pasajeros y de visitantes que llevan a los pasajeros deben estar más cerca del edificio terminal, ya que en el caso de los primeros la limitante es el recorrido a pie y en el caso de los segundos el tiempo de ocupación.

Las zonas de estacionamientos requeridas para empleados pueden estar más alejadas, ya que en éste caso la distancia de recorrido a pie constituye una limitante menor porque éstas personas no llevan equipaje.

Las áreas más alejadas del edificio terminal pueden ser aquéllas destinadas a agencias renta de coches ya que el tiempo de ocupación de éstos vehículos es muy grande, sin embargo debe pensarse en un área pequeña muy cerca del edificio terminal para estacionar los automóviles de los pasajeros que tienen reservación y van a hacer uso del automóvil inmediatamente después de llegar de su vuelo.

La Dirección General de Aeropuertos mediante la estimación del tráfico terrestre generado por la actividad aérea (ver cap. 2.6.3.) ha obtenido los siguientes coeficientes para calcular el número de lugares de estacionamiento de automóviles en base a estudios realizados en diversos aeropuertos Mexicanos.

Número de lugares para automóvil de pasajeros comerciales

$$N = 0.534 \times \text{No. de pasajeros horarios comerciales}$$

Número de lugares para automóviles de pasajeros de aviación general

$$N = 1.10 \times \text{No. de pasajeros horarios de aviación general}$$

Número de lugares para automóviles de empleados

$$N = 0.000200 \times \text{No. de pasajeros anuales totales}$$

2.7 Almacenamiento y Distribución de Combustibles

El almacenamiento y distribución de combustibles es otra parte integral de un aeropuerto que requiere especial cuidado ya que afecta su capacidad.

La ubicación de los depósitos debe realizarse en un lugar estratégico tomando en cuenta que deben situarse lo más cerca posible de las posiciones de estacionamiento sin olvidar la restricción que representa el estudio de espacios aéreos y la seguridad en caso de incendio.

El combustible es servido a las aeronaves en las plataformas y para ello existen básicamente 2 métodos:

a) Sistema de Camiones Cisterna

Como su nombre lo indica utiliza camiones con depósitos para transportar el combustible desde la zona de almacenamiento hasta la plataforma. Tiene la ventaja de ser muy flexible en el sentido de que pueden abastecer las aeronaves en cualquier posición de estacionamiento.

Otra ventaja además de ser un sistema relativamente barato es que se puede aumentar o disminuir el número de unidades en función de la demanda.

Una desventaja de este método es que para abastecer a un avión se requieren 2 ó 3 camiones lo cual aumenta la circulación dentro de la plataforma aumentando la posibilidad de un accidente. Por otro lado, para reabastecerse, los camiones tienen que hacer un recorrido que puede tardar y por ello afectar la capacidad del aeropuerto. Por último cuando los vehículos no se utilizan deben tener un lugar para estacionarse, lo cual implica espacio adicional.

b) Sistemas de Hidrantes

Consiste en conducir el combustible por medio de tuberías desde los depósitos hasta un registro que se encuentra en plataforma donde los aviones se conectan a una válvula especial para ser suministrados.

Este sistema es muy conveniente ya que proporciona un suministro constante de combustible y reduce el riesgo de accidentes que existen en el caso de utilizar los carros tanque.

EL problema de este sistema lo constituye su costo ya que es necesario dejar preparaciones bajo plataforma para abastecer a los aviones que ocupen las posiciones de estacionamiento proyectados para el futuro.

Con el número de operaciones anuales de aviación general y aviación comercial se puede dimensionar los paquetes de almacenamiento de combustible, para ello es necesario tomar en cuenta el porcentaje de operaciones que efectuará cada tipo de aeronave que conforma la flota del aeropuerto y la capacidad de carga de combustible de cada uno. Además debe considerarse un período de reabastecimiento de los depósitos y también los diferentes tipos de combustible que se requiere suministrar.

CAPITULO III .- LOCALIZACION DE AEROPUERTOS

3.1. Introducción

Una vez que se ha hecho el cálculo del terreno que se requiere es necesario realizar los trabajos que conducen a una localización adecuada del terreno.

Un emplazamiento conveniente es un punto muy importante en la planeación de un aeropuerto puesto que de lo contrario puede ocurrir una obsolescencia prematura de sus instalaciones con consecuencias económicas, sociales y ecológicas muy importantes.

Existen circunstancias que afectan peculiarmente la elección apropiada del emplazamiento de un aeropuerto entre las que se encuentran el crecimiento explosivo de las ciudades, la aparición de aeronaves más rápidas que conducen a la necesidad de una mayor longitud de pista, y la exigencia de un mejor servicio por parte de los pasajeros.

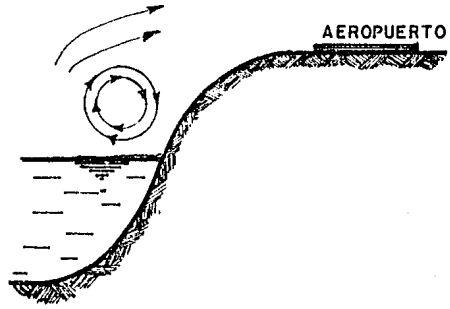
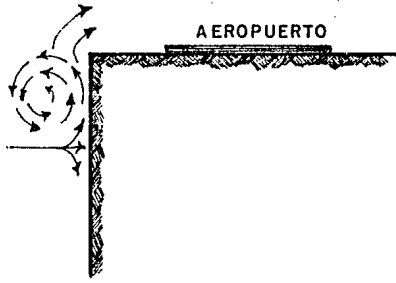
A continuación se analizarán los factores que influyen en el emplazamiento de un aeropuerto.

3.2. Análisis Básicos

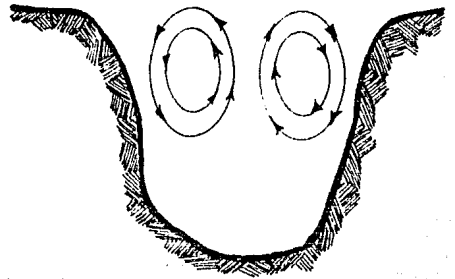
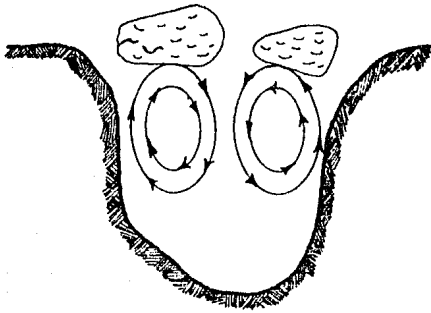
3.2.1. Condiciones Atmosféricas

Su análisis es importante en la localización de aeropuertos ya que condiciones peculiares como niebla, humo precipitación, turbulencias, nieve o resplandores podrán desechar el uso de algunos sitios potenciales, porque afectan la capacidad del aeropuerto en el sentido de que al volar bajo condiciones IFR (la capacidad de las pistas disminuye ver capítulo 2.2.7.2)

Es necesario un estudio meteorológico de toda la zona con la finalidad de identificar los emplazamientos más probables del aeropuerto tomando en cuenta las pequeñas diferencias que pueden presentarse el clima dentro de la zona. Algunas veces la mala visibilidad se debe a la cercanía de un río en el que existe evaporación. En otras ocasiones la configuración del terreno en un lugar específico puede modificar la meteorología común de toda la zona produciendo turbulencias que pueden afectar tanto la orientación de pistas como la operación de aeronaves (ver fig. 3.1).



FORMACION DE TORBELLINOS PELIGROSOS.



TORBELLINOS DIURNOS

TORBELLINOS NOCTURNOS.

FIG. 31.

FUENTE—Referencia 12, pag. 600.

Debido a las condiciones de contaminación atmosférica tan comunes en las poblaciones actuales es necesario tratar de evitar que el aeropuerto quede localizado de tal modo que los vientos dominantes soplen de las zonas industriales hacia este, ya que así se tendrá un estado permanente de escasa visibilidad.

3.2.2. Factores Ingenieriles

La topografía del sitio elegido para la construcción de un aeropuerto debe ser plana, sin embargo, debe tener una pendiente suficiente para un drenaje adecuado.

Los trabajos topográficos para localizar un aeropuerto se hacen con ayuda de la fotogrametría ya que de esta forma se abarcan zonas grandes que facilitan la elección.

En México lo usual es obtener fotografías a escala 1:25,000 con curvas del nivel a cada 25.00 M a excepción de lugares de altura considerable donde las curvas de nivel se trazan a cada metro.

En el caso de tener un área excesivamente grande pueden tomarse fotografías a escala 1:100,000 para un análisis preliminar de toda la zona, pero para analizar a fondo un sector es necesario regresar a las fotografías escala 1:25,000.

Con la fotografía y la evaluación del terreno requerido se realiza el trazo del Aeropuerto y de esa manera se puede obtener el lugar más adecuado desde el punto de vista topográfico.

Este análisis no solo examina que el terreno esté relativamente plano, además es básico para efectuar los estudios climatológicos y de espacios aéreos.

Otros estudios que se requieren son el de movimiento de tierra y el de mecánica de suelos. Su análisis es necesario ya que afectan muy significativamente el costo de construcción del aeropuerto.

Como el costo de obra es un punto muy importante en la realización de cualquier obra es necesario que la distancia a la cual se consigan los materiales de construcción y el agua no sea muy grande.

3.2.3. Espacios Aéreos

La finalidad del estudio de espacios aéreos es conocer el volumen de aire que debe mantenerse libre de obstáculos alrededor de un aeropuerto para que las operaciones de las aeronaves puedan realizarse con seguridad, en realidad es un estudio básico para la localización de un aeropuerto ya que influye directamente en su capacidad, es por ello que cada lugar que se considere como probable debe cumplir con este requerimiento, y si no es así debe determinarse la magnitud y los efectos de la restricción.

La delimitación de este espacio aéreo se logra por medio de superficies limitadoras de obstáculos que son superficies imaginarias sobre las cuales no debe existir ningún obstáculo (ver fig. 3.2).

Superficie de Despegue y Aproximación.

Son planos inclinados de forma trapecial cuya proyección en el plano horizontal se conoce como área de despegue y área de aproximación respectivamente. Su base menor se encuentra en el plano horizontal que contiene a la pista y es perpendicular a su eje.

Las pendientes de las superficies de despegue y aproximación son las siguientes:

a) para pistas de aproximación de precisión y de vuelo por instrumen-

tos, 1:50

- b) Para pistas principales que se usen en vuelos internacionales regulares pertenecientes a las categorías A, B, C ó D, 1:50
- c) Para pistas categoría A, B, C, ó D no incluidos en los incisos a y b, 1:40
- d) Para pistas categoría E ó F, 1:30
- e) Para pistas de categoría G, 1:25

Superficies de transición

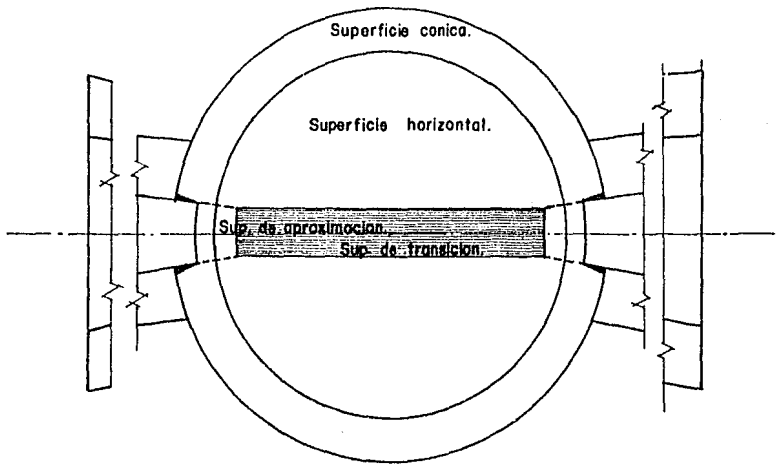
Son superficies inclinadas con pendiente hacia afuera (1:7) que parten de los bordes de las franjas y están limitados por las superficies de despegue y aproximación y que se extienden hasta intersectar la superficie horizontal.

Superficie Horizontal

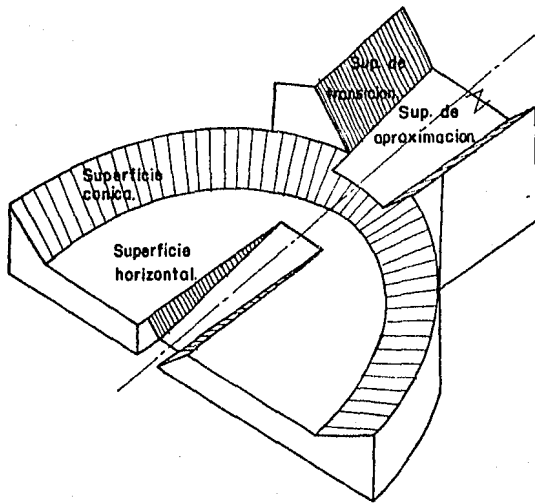
Es una superficie con un radio de 4000m como mínimo situada a una altura de 45m sobre el nivel medio de la pista y cuyo centro coincide con el centro geométrico del aeropuerto.

Superficie Conica

Es una superficie que adopta la forma de un cono truncado cuyo límite inferior es la superficie horizontal y cuya pendiente es 1:20. El borde superior está limitado por una altura especificada con respecto a la superficie horizontal.



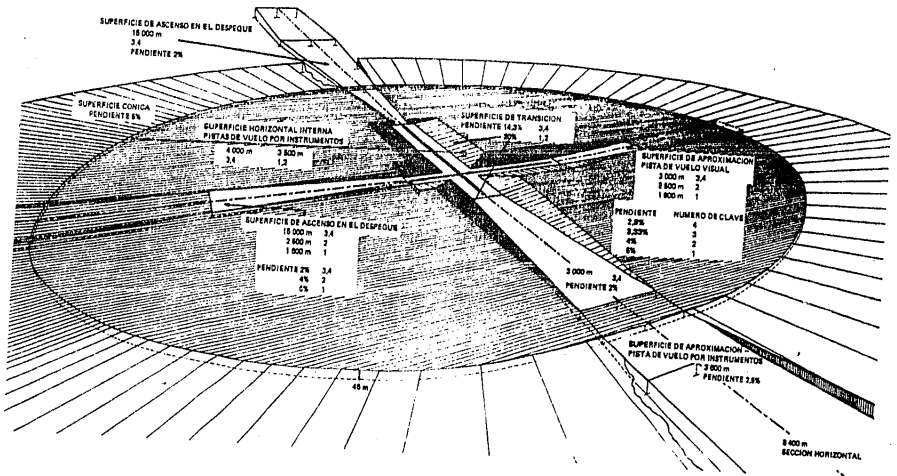
(a)



(b).

Fig. 3.2 SUPERFICIES LIBRES DE OBSTACULOS. Fuente: Referencia 3

Nota: La figura muestra las superficies limitadoras de obstáculos en su configuración con sus alturas, una pista de norte por instrumentos y una pista de norte visual. Asimismo también se indica el despeje.



C) SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS. Fuente: Referencia 7

3.2.4. Factores del Medio Ambiente y Sociales

Como es de suponerse la construcción de un aeropuerto afecta de cierta manera tanto al medio ambiente como a las personas que lo rodean por lo que para una correcta planeación debe estudiarse este impacto tomando en cuenta principalmente los siguientes factores.

- a) Contaminación ambiental por el ruido producido por las aeronaves
- b) Contaminación del medio ambiente
- c) Cambios a corto, mediano y largo plazo en el uso de la tierra

a) Contaminación ambiental por el ruido producido por las Aeronaves

El ruido que puede definirse como un sonido no deseado, es inherente a la operación de las aeronaves, pues tanto sus motores como el flujo aerodinámico sobre sus alas y fuselaje lo producen. La escala del problema de la generación de ruidos se ilustra en la figura 3.3 la cual compara aquéllos que generan las aeronaves con los que se escuchan a diario.

El nivel de sonido que es una medida subjetiva se considera que aumenta al doble con un incremento de 10 dB. Los factores más importantes que deben considerarse al estudiar el efecto del ruido son la duración de un sonido específico, el número de veces que se repite y la hora del día a la cual se produce.

El ruido de las aeronaves puede describirse en terminos del nivel de ruido producido por un solo cuento. Despues de la aparición de los jets se encontró que la medida del ruido en términos de dBA era inadecuada ya que el oído humano aparentemente registra el sonido de una manera más compleja como resultado de este surgió el metodo de PNdB.

El desarrollo del PNdB "perceived Noise Level" o Nivel de Ruido Perci-

bido se basa en la ponderación de frecuencias, lo cual conduce a una medida más efectiva del sonido. Otro estudio que valora las frecuencias es una sofisticación del PNdB y es el EPNdB "Effective Percived Level" o Nivel Efectivo de Ruido Percibido. El valor de decibeles que le corresponde es aproximadamente $EPNdB = dB+12$.

Existen diferentes metodos para evaluar el efecto del ruido en aeropuertos, entre los cuales tenemos:

- 1 CNR "Composite Noise Rating" esta forma de medición es similar al Nivel de Ruido medido en PNdB

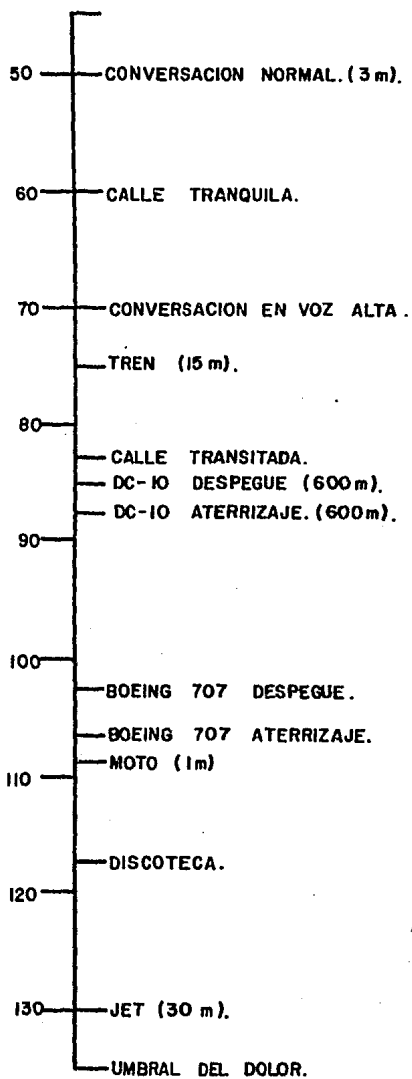


Fig. 3.3 NIVELES DE SONIDO EN DECIBELES.

Fuente de Referencia: 10

sin embargo tome en cuenta el número de operaciones, y si es que ocurren en el día o en la noche.

$$\text{CNR} = \text{PNdB} + \text{Ajustes}$$

Los ajustes son en intervalos de 5PNdB (discretos) y se muestran en la tabla.

Tabla: Correcciones aplicables al valor del Nivel de Sonido Percibido en el método del CNR.

Número de despegues o aterrizajes por período.

Día (7:01 a 22:00)	Noche (22:01 a 7:00)	Corrección
Menos de 3	Menos de 2	-10
3 - 9	2 - 5	- 5
10 - 30	6 - 15	0
31 - 100	16 - 50	+ 5
Más de 100	Menos de 50	+10

Utilización de Pistas %	Corrección
31 - 100	0
10 - 30	- 5
3 - 9	-10
Menos de 3	-15

Hora del Día	Corrección
7:01 - 22:00	0
22: 01 - 7:00	+10

2 NEF "Noise Exposure Forecast", es similar al CNR pero difiere en que toma el EPNdB en lugar del PNdb y que los ajustes son continuos.

$$NEF = EPNdB_i + 10 \log N_f - 88.0$$

donde:

NEF_{ij} = Promedio Día - Noche de NEF para una aeronave tipo i siguiendo una ruta j .

$EPNdB_i$ = Nivel efectivo de ruido percibido de la aeronave tipo i

N_f = $N_d + 16.7 N_n$

N_d = Número de operaciones durante el día (7:01 a 22:00 hrs)

N_n = Número de operaciones durante la noche (22:01 a 7:00 hrs.)

Si se quiere obtener el valor del NEF producido por diferentes clases de aeronaves " i " en un punto bajo una ruta " j " se utiliza la siguiente expresión.

$$NEF_j = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{NEF_{ij}}{10}\right)}$$

Ejemplo de Cálculo

Dados tres tipos de aeronave 1, 2 y 3 que siguen la misma ruta y que producen en un punto determinado 90, 95 y 98 EPNdB respectivamente obtener el valor del NEF producido por las 3 clases de avión en ese mismo punto.

Clase de Avión	Número de operaciones diarias	
	Día (ND)	Noche (Ni)

1	20	4
2	2	1
3	5	1

$$NEF_{11} = 90 + 10 \log (20 + 16.7 \times 4) - 88.0 = 21.39$$

$$NEF_{21} = 95 + 10 \log (2 + 16.7 \times 1) - 88.0 = 19.72$$

$$NEF_{31} = 98 + 10 \log (5 + 16.7 \times 1) - 88.0 = 23.36$$

$$10^{\left(\frac{NEF_{11}}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{21.39}{10}\right)} = 10^{2.139} = 137.72$$

$$10^{\left(\frac{NEF_{21}}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{19.72}{10}\right)} = 10^{1.972} = 93.76$$

$$10^{\left(\frac{NEF_{31}}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{23.36}{10}\right)} = 10^{2.336} = 216.77$$

$$NEF_i = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{NEF_{ij}}{10}\right)} = 10 \log (137.72 + 93.76 + 216.77)$$

$$NEF_j = 10 \log (448.25) = \underline{26.52}$$

La forma usual de presentación de este tipo de estudios es mediante curvas que unen puntos cuyo valor de NEF es el mismo (ver fig. 3.4).

Lo anterior implica una gran cantidad de cálculos por lo que generalmente se emplean computadores para realizarlos.

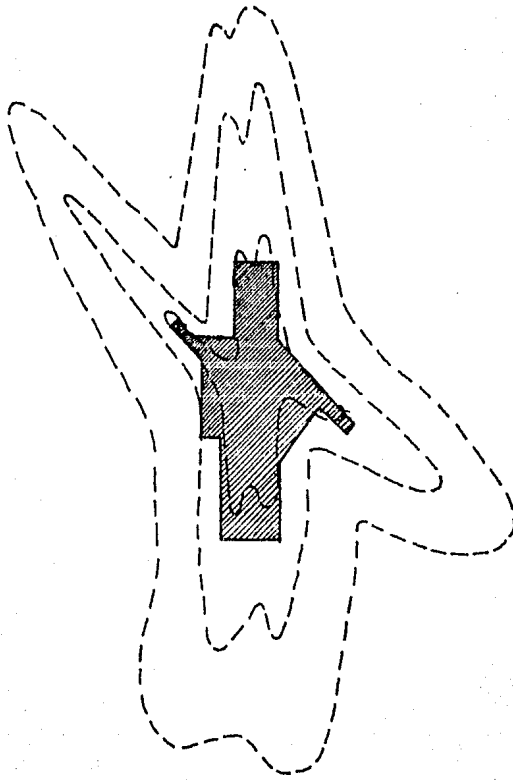


FIG. 3.4.

FUENTE— Referencia 10, pag. 246.

En la tabla siguiente se muestran diversas respuestas de comunidades residenciales para diferentes valores de CNR y NEF.

TABLA

Descripción de la respuesta esperada	CNR	NEF
Básicamente sin quejas aunque este ruido interfiere ocasionalmente con algunas actividades de los residentes	< 100	< 30
Posibles quejas incluyendo la posibilidad de una protesta comunitaria	100 - 115	30 - 40
Gran cantidad de quejas individuales y comunitarias	> 115	> 40

Fuente : Ashford and Wright, Airport Engineering, 2a Ed, New York, John Wiley, p. 426.

En la tabla siguiente se muestran los diferentes usos de tierra recomendados o censurados por diferentes niveles de ruido expresado en NEF (Noise Exposure Forecast).

USO DE LA TIERRA

Áreas de exposición al NEF especificado	Residencial	Comercial	Hotelera	Oficinas	Escuelas Hospitales Iglesias	Teatros	Teatros al Aire libre	Recreación al Aire libre	Industrial
Fuera del NEF 30	SI	SI	SI	SI	*	*,+	+	SI	SI
Entre NEF 30 y 40	Ver Tabla	SI	*	*	NO	NO	NO	SI	SI
Dentro de NEF 40	NO	*	NO	NO	NO	NO	NO	SI	*

Fuente: Horonjeff, Robert: Planning and Design of Airports, 2ª ed., New York, Mc Graw Hill, 1975, P 186

* Analizar la posible utilización de procedimientos y materiales de construcción acústicos

+ Análisis detallado dentro de teatros y auditorios para evaluar el efecto del ruido

Tabla .- Diferentes usos de tierra compatibles con diversos valores del NEF

b) Contaminación Ambiental

Es necesario evaluar aspectos relativos al medio ambiente al plantear posibles soluciones de emplazamiento de un aeropuerto. En particular deberá estudiarse el impacto que la construcción del aeropuerto puede ocasionar en la calidad del agua y aire.

La contaminación del aire se debe al uso de combustible en los motores de los aviones y aunque es de mucho menor grado de la producida por automoviles en una ciudad, es de consideración para la elección del sitio adecuado para la construcción de un aeropuerto.

La contaminación del agua en aeropuertos es importante ya que las vastas areas pavimentadas provocan un mayor escurrimiento de materiales contaminantes en corrientes de arroyos o rios cercanos.

De la misma manera pueden afectar la recarga de acuíferos provocando un descenso en el nivel de aguas freáticas de la zona.

c) Cambios a corto, mediano y largo plazo en el uso de la tierra.

La construcción de un aeropuerto puede modificar el uso de la tierra de muchas formas. Estas modificaciones pueden ser benéficas para una parte de la población y perjudiciales para la otra, y por ello las reacciones son variables.

A corto plazo puede haber efectos durante el periodo de construcción que pueden afectar al uso de la tierra adyacente y a sus ocupantes.

Dentro de estos tenemos:

1.- Reubicación de residentes y afectación de terrenos.

2.- Consecuencias económicas provocadas a los negocios adyacentes durante la construcción del aeropuerto.

3.- Molestias y daños causados por el tráfico provocado por la construcción.

4.- Generación de fuentes de trabajo en la construcción.

A mediano y largo plazo los efectos pueden ser los siguientes:

1.- Pérdida de valor de la tierra adyacente al aeropuerto debido a la existencia de ruido y contaminación ambiental.

2.- Incremento en el tráfico normal provocado por el que causa la actividad aérea.

3.- Beneficios económicos para empresas que presten servicios a los pasajeros aéreos.

4.- Generación de fuentes de trabajo.

5.- La facilidad de acceso fomenta el desarrollo local.

3.3. Análisis Complementarios.

3.3.1. Disponibilidad de tierras para la expansión.

En general se requieren grandes áreas para aeropuerto y es común que llegen a necesitarse 10,000m² o más para instalaciones nuevas en todo el mundo.

Como se ha visto anteriormente el área requerida está en función de la longitud y número de pistas principalmente, sin embargo deben

tomarse en cuenta también distancias libres y necesidades para plataformas, edificios, estacionamientos, circulación de automoviles, etc.

En general el costo de la tierra es alto ya que también se requiere para otros propósitos ajenos al aeropuerto.

Es muy importante adquirir suficiente terreno para absorber la expansión futura del aeropuerto obtenida del plan maestro, ya que ésto puede significar que un sitio bueno para un aeropuerto fuera abandonado por limitar operaciones en las aeronaves provocadas por la imposibilidad de alargar pistas o ampliar el área terminal.

Todo esto implicaría la pérdida de una gran cantidad de dinero ya que sería necesario construir otro aeropuerto además de abandonar las instalaciones existentes.

La adquisición de terrenos en el momento preciso puede también significar un gran ahorro ya que es probable que el costo aumente según pasa el tiempo, o que posteriormente tenga que expropiarse terrenos en los que haya construcciones elevando así su costo en términos económicos y sociales.

3.3.2. Disponibilidad de Servicios.

El análisis de la localización adecuada de un aeropuerto incluye un estudio de disponibilidad de servicios.

Este estudio tiene como finalidad evitar en lo posible la construcción de obras secundarias para servicios en el aeropuerto que en sí pudieran constituir grandes inversiones.

El sitio elegido debe encontrarse en lo posible en las cercanías de las fuentes de suministro de energía eléctrica, agua potable, redes principales de alcantarillado, teléfono, etc.

3.3.3. Conveniencia a los usuarios

El aeropuerto debe estar situado de tal forma que sea atractivo para aquéllos que lo utilizan. Desde este punto de vista el aeropuerto debería estar en el centro de la ciudad, sin embargo los problemas de obstrucciones y costos hacen que esto sea imposible.

El crecimiento explosivo de las ciudades hace que la tendencia actual sea el ubicar el aeropuerto a una distancia considerable de las poblaciones incrementado el tiempo del viaje en tierra.

La decisión del pasajero aéreo de efectuar un viaje por éste medio se debe en gran parte al ahorro de tiempo que le proporciona, sin embargo con la necesidad de situar los aeropuertos fuera de la ciudad el tiempo global del viaje aumenta considerablemente.

Con el establecimiento de caminos de acceso adecuados el tiempo invertido en la parte terrestre del viaje aéreo disminuye significativamente, pero a menudo esos caminos de acceso tienen un costo muy elevado.

Otra razón por la cual el pasajero aéreo prefiere el viaje por este medio es que elimina las cuentas de hoteles y comidas durante el camino haciendo la comparación con un viaje en automóvil si la distancia de recorrido es larga, pero si el viaje es corto puede que éstos gastos sean menores que el costo extra del boleto de avión. En este caso el tiempo invertido en la parte terrestre del viaje es un factor decisivo en la competencia del transporte aéreo con otros medios de transporte.

CONCLUSIONES

La planeación de Aeropuertos es un punto fundamental para su correcto funcionamiento a lo largo de toda su vida útil. Es imprescindible ya que de otra manera podría suceder que las instalaciones se volvieran obsoletas a corto plazo con la correspondiente pérdida económica.

En general el proceso de planeación inicia con el pronóstico de demanda con el cual se puede elaborar un plano regulador del crecimiento y localización de las instalaciones aeroportuarias desde su puesta en marcha hasta el término de su vida útil prevista. Cabe señalar que este proceso de planeación es iterativo pues si en principio ya se han satisfecho los objetivos de algún subsistema estudiado, es común que interfiera con la finalidad de otros. Un ejemplo de esto puede ser que habiendo localizado el lugar de construcción del aeropuerto, se tenga que cambiar porque sea muy nocivo el ruido que producirán las aeronaves al operar.

La planificación de un aeropuerto debe contar con un estudio de evaluación económica, sin embargo está más allá de los alcances de esta tesis.