

3  
2 y



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

---

ENEP ARAGON

**apuntes de la materia  
de aeropuertos**

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
TEDDY WAYNE BROCK, CORTES

México, D. F.

1991.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 AUTONOMA DE MEXICO  
E.N.E.P. ARAGON  
APUNTES DE LA MATERIA DE AEROPUERTOS

	pag.
CAPITULO I INTRODUCCION.....	1
1.1.- OBJETIVO DE LA TESIS.....	2
1.2.- BOSQUEJO HISTORICO DE LA AVIACION.....	6
CAPITULO II CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES.....	12
2.1.- DESCRIPCION.....	13
2.2.- SISTEMA MOTOR.....	15
2.3.- ELEMENTOS DE SUSTENTACION.....	15
2.4.- FUSELAJE.....	20
2.5.- SISTEMAS DE CONTROL.....	22
2.6.- TREN DE ATERRIZAJE.....	27
CAPITULO III PARTES DE UN AEROPUERTO.....	29
3.1.- INTRODUCCION.....	30
3.2.- SISTEMA AEREO.....	32
3.3.- SISTEMA AERONAUTICO TERRESTRE.....	35
3.4.- SISTEMA ZONA TERMINAL.....	64
3.5.- SISTEMA TERRESTRE.....	73
3.6.- SISTEMA DE DRENAJE.....	74
CAPITULO IV CONTROL DE TRAFICO AEREO.....	77
4.1.- RUTAS AEREAS.....	78
4.2.- CONTROL DE AERODROMO.....	82
4.3.- CONTROL DE APROXIMACION.....	82
4.4.- CONTROL DE AREA.....	82
4.5.- AYUDAS A LA NAVEGACION.....	83

CAPITULO V PLANIFICACION DE UN AEROPUERTO.....	90
5.1.- INTRODUCCION.....	91
5.2.- ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.....	92
5.3.- AREAS DE INFLUENCIA.....	93
5.4.- ANALISIS DE LA DEMANDA Y PRONOSTICO DE PASAJEROS.....	95
5.5.- AFOROS Y PARAMETROS PARA ESTUDIOS DE CAPACIDAD.....	106
5.6.- PLAN MAESTRO DE UN AEROPUERTO.....	115
5.7.- EVALUACION FINANCIERA Y ECONOMICA.....	118
5.8.- INVERSIONES.....	118
CAPITULO VI PROYECTO DE UN AEROPUERTO.....	120
6.1.- INTRODUCCION.....	121
6.2.- ESTUDIOS METEOROLOGICOS Y DE RUIDO.....	122
6.3.- PROYECTO AERONAUTICO.....	138
6.4.- PROYECTO GEOMETRICO.....	160
6.5.- PROYECTO DE PAVIMENTOS.....	181
6.6.- PROYECTO ARQUITECTONICO.....	200
CAPITULO VII NORMAS Y REGLAMENTOS.....	212
7.1.- DESCRIPCION.....	213
7.2.- REGLAMENTACION OACI.....	214
7.3.- NORMAS DE CONSTRUCCION E INSTALACIONES SCT.....	218
7.4.- NORMAS Y REGLAMENTOS DGAC-SCT.....	220
7.5.- NORMAS Y PROCEDIMIENTOS SENEAM.....	221
7.6.- LEY DE VIAS GENERALES DE COMUNICACION.....	221
7.7.- ACTIVIDADES DE ASA.....	222
CAPITULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	224
BIBLIOGRAFIA.....	227

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION.**

**1.1.- OBJETIVO DE LA TESIS.**

**1.2.- BOSQUEJO HISTORICO DE LA AVIACION.**

## INTRODUCCION

### 1.1.- OBJETIVO DE LA TESIS.

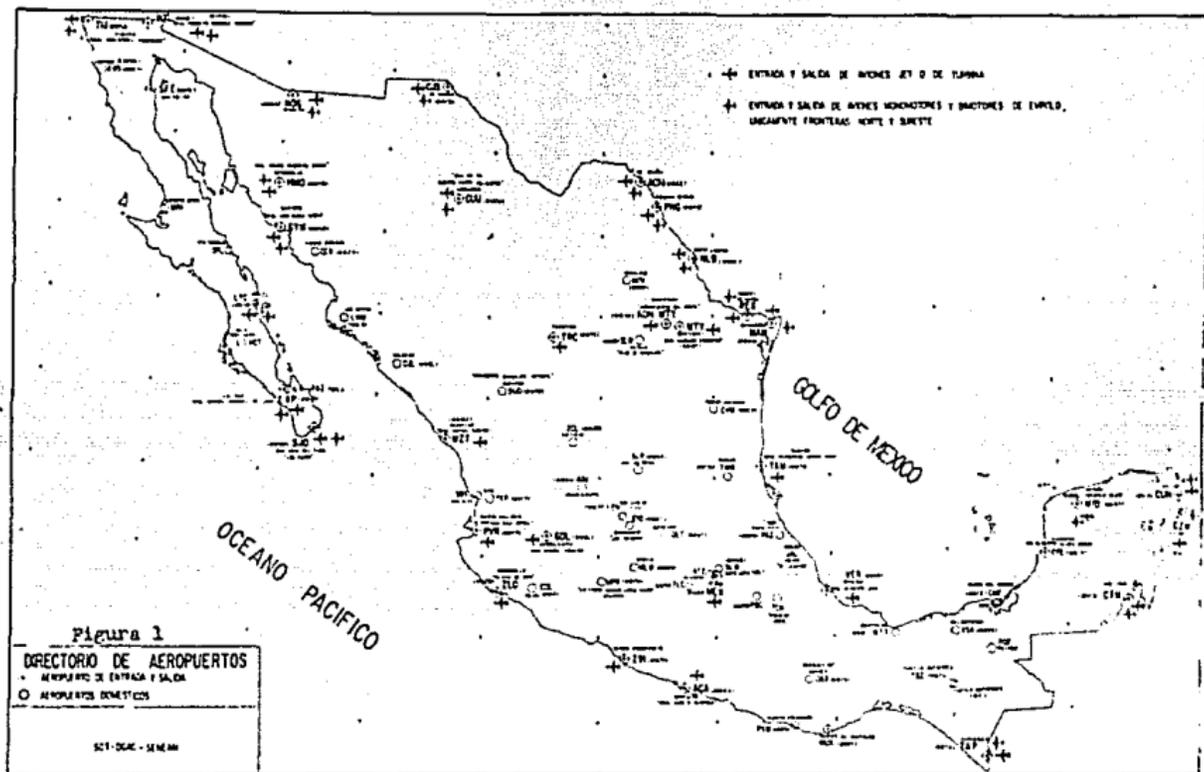
La importancia de los transportes en el desarrollo de una nación se pone en relieve al lograrse el intercambio de productos, ideas, idiomas, costumbres, religiones, cultura, sin descartar la influencia política que logra la unidad de un país a través de la comunicación de sus habitantes, ante estas necesidades se ha buscado dar cada día mayor atención al desarrollo de los diferentes sistemas de transporte; particularmente el transporte aéreo ha tenido un crecimiento dinámico en los últimos años, logrando con ello una comunicación rápida segura y cómoda entre regiones separadas, constituyéndose así en uno de los transportes de mayor demanda por la sociedad.

Actualmente la República Mexicana se encuentra comunicada a través del transporte aéreo en forma por demás satisfactoria, contándose con un total de 66 aeropuertos comerciales de los cuales 33 tienen carácter de tipo internacional además de aeródromos interestatales, alimentadores y bases aéreas militares, lo que nos da una idea de la infraestructura aeroportuaria que existe en México.

PRINCIPALES AEROPUERTOS COMERCIALES EN MEXICO:

Aeropuertos Internacionales:		Aeropuertos Nacionales:	
1. Acapulco	(ACA)	34 Aguascalientes	(AGU)
2 Cancún	(CUN)	35 Campeche	(CPE)
3 Cd. Acuña	(ACN)	36 Cd. del Carmen	(CME)
4 Cd. Juárez	(CJS)	37 Cd Obregon	(CEN)
5 Cozumel	(CZM)	38 Cd. Victoria	(CVM)
6 Chetumal	(CTM)	39 Colima	(COL)
7 Chihuahua	(CUU)	40 Culiacán	(CUL)
8 Guadalajara	(GDL)	41 Durango	(DGO)
9 Guaymas	(GYM)	42 Ensenada	(ENS)
10 Hermosillo	(HMO)	43 Guanajuato	(GTO)
11 Huatulco	(HUX)	44 Guerrero Negro	(GRN)
12 Ixtapa	(ZIH)	45 León	(LEN)
13 La Paz	(LAP)	46 Los Mochis	(LMM)
14 Loreto	(LTO)	47 Minatitlán	(MTT)
15 Manzanillo	(ZLO)	48 Morelia	(MLM)
16 Matamoros	(MAM)	49 Oaxaca	(OAX)
17 Mazatlán	(MZT)	50 Poza Rica	(PAZ)
18 Mérida	(MID)	51 Pto. Escondido	(PKM)
19 Mexicali	(MXI)	52 Puebla	(PBC)
20 México	(MEX)	53 Queretaro	(QET)
21 Monterrey	(MTY)	54 Saltillo	(SLW)
22 Nogales	(NOG)	55 San Felipe	(SFE)
23 Nuevo Laredo	(NLD)	56 San Luis Potosi	(SLP)
24 Piedras Negras	(PNG)	57 Santa Rosalia	(SRL)
25 Puerto Vallarta	(PVR)	58 Tamuín	(TMN)
26 Reynosa	(REX)	59 Tehuacán	(TCN)
27 San José del Cabo	(SJD)	60 Tepic	(TEP)
28 Tampico	(TAM)	61 Tulum	(TLM)
29 Tapachula	(TAP)	62 Tuxtla Gutiérrez	(TGZ)
30 Tijuana	(TIJ)	63 Uruapan	(UPN)
31 Toluca	(TLC)	64 Villahermosa	(VSA)
32 Torreón	(TRC)	65 Villa Constitución	(VCT)
33 Veracruz	(VER)	66 Zacatecas	(ZCL)

Aeropuertos mostrados en la Figura (1).



Ante esta necesidad la Universidad Nacional Autónoma de México ha incluido en sus planes de estudio, materias que permiten a futuros profesionistas tener los conocimientos necesarios para entender y resolver los problemas inherentes al proceso de planificación, proyecto y construcción de aeropuertos, por este motivo se ha propuesto como tema de esta tesis la elaboración de los Apuntes de Aeropuertos para la Carrera de Ingeniería Civil y que tienen como objetivo fundamental dar al alumno los conocimientos básicos sobre Ingeniería Aeroportuaria.

En este trabajo se han combinado conocimientos teóricos con experiencias de profesionistas especializados en el tema, por lo que se tuvo que acudir a los organismos encargados de las actividades aeroportuarias en México como lo es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y sus dependencias como Aeropuertos y Servicios Auxiliares, el Servicio a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano, la Dirección General de Aeronáutica Civil, la extinta Dirección General de Aeropuertos así como a la Organización de Aviación Civil Internacional.

Tomando en consideración que en una obra Aeroportuaria se encuentran interrelacionadas especialidades de diversas disciplinas, este trabajo esta enfocado únicamente a los aspectos importantes de Ingeniería Civil, sin dejar de mencionar algunos conceptos aeronáuticos y de instalaciones electromecánicas indispensables en todo aeropuerto.

Iniciaremos haciendo mención de algunos acontecimientos importantes en la historia de la aviación con la finalidad de hacer una evaluación del desarrollo tecnológico de la aeronáutica mundial, para lo cual se describen las características de las aeronaves más comunes y su repercusión en el diseño de los aeropuertos así como los sistemas de apoyo para el control del tráfico aéreo, de la misma manera se exponen las partes constitutivas de un aeropuerto y su funcionalidad, el proceso de planificación aeroportuaria, de acuerdo a los estudios necesarios sobre pronósticos y demanda de pasajeros para que en base a los antecedentes topográficos, meteorológicos, geotécnicos y de ruido,

proceder al diseño de los elementos del aeropuerto, de acuerdo a las normas y reglamentos que comunmente son utilizados en este tipo de obras.

#### 1.2.- BOSQUEJO HISTORICO DE LA AVIACION.

La historia de la aviación muestra la inquietud del hombre por imitar el vuelo de las aves, desafiando la fuerza de gravedad, utilizando para éllo diversos artefactos o equipando sus cuerpos con elementos alares, surgiendo así tres diferentes formas para lograr el vuelo.

- a) Vuelo vertical con ala móvil.
- b) Vuelo en globo con aire caliente.
- c) Vuelos planeados con ala fija.

Por lo que se refiere al tipo de vuelo con ala móvil aparece el renacentista italiano Leonardo de Vinci quien en el siglo XV estudia el desplazamiento de las aves en el aire enunciando algunos principios sobre el vuelo y creando el hornicóptero con hélice móvil la que en la actualidad es utilizada en los helicópteros, le siguieron los también italianos Launoy y Bienvenu en el siglo XVII.

El vuelo vertical en globo con aire caliente Figura (2) tuvo a sus principales representantes a los hermanos Montgolfier quienes en 1782 levantaron el vuelo en un globo de tela y en 1783 con el uso del hidrógeno se inventan los primeros dirigibles como modalidad del globo, equipados con mandos de dirección y elementos de propulsión Figura (3).

Le corresponde al oficial alemán Von Zeppelin diseñar y construir un dirigible con estructura rígida de grandes dimensiones y células separadas provistas de hidrógeno, equipado con un sistema poderoso de propulsión, y el 2 de Julio de 1900 alcanza sobrevolar el lago Costanza entre Suiza y Alemania; surgiendo posteriormente una serie de zeppelines utilizados en el transporte transatlántico, actividad que se ve suspendida en 1937 por el accidente del Hinderburg LZ-129 con un saldo fatídico de

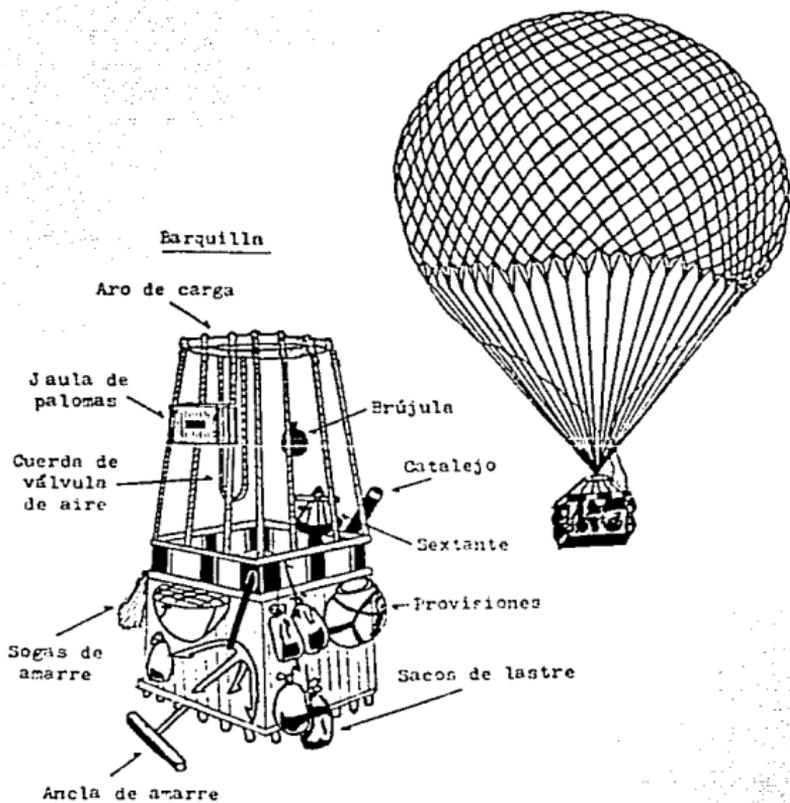
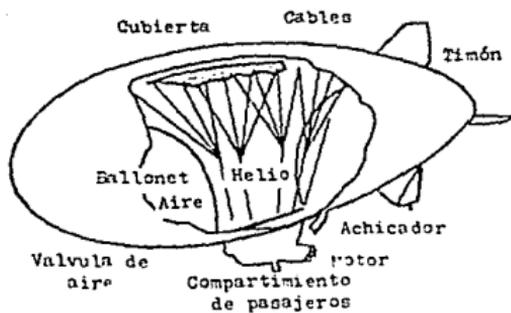
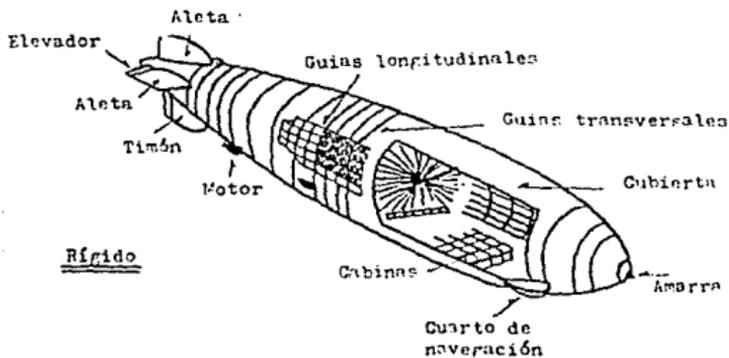
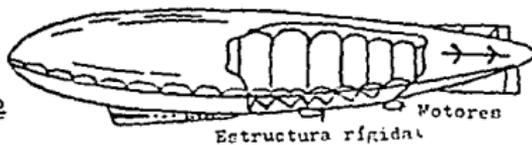


Fig. 2 Globo aérostatico.

Cautivo



Semirígido



Rígido

Fig. 3 Dirigibles: Cautivo, Semirígido, Rígido.

varios muertos.

Por lo que se refiere al vuelo planeado se tienen antecedentes en el siglo XI cuando el monje Oliverio de Malmesbury se acopla unas alas y se lanza desde la torre de una iglesia, fallando en su intento, quedando inmortalizado en el vitral de esta abadía.

En 1809 el inglés George Cagley logra volar utilizando un planeador de su invención y en 1849 con el acoplamiento de un motor crea una aeronave demasiado rudimentaria para volar.

Otro personaje importante en la historia de la aviación fué el alemán Otto Lilienthal quien construye y experimenta un gran número de planeadores manejados únicamente con el movimiento de sus manos, muriendo en 1896 al perder el control de su planeador.

Los avances logrados por Lilienthal fueron seguidos con interés por el norteamericano de origen francés Octave Chanute experimentando sus planeadores sobre el lago Michigan, Chicago, publicando sus avances en el libro "Progress in Flying Machines" y que sirvieron de apoyo para que los hermanos Wright continuaran con las investigaciones aeronáuticas contruyendo para ello un hangar y un túnel de viento para probar los perfiles y planos de sustentación de sus aeronaves, en 1903 logran diseñar un planeador equipándolo con un motor de gasolina y hélice al que llamaron "Flier I" Figura (4) correspondiendo a Wilburn Wright realizar a bordo de este avión un vuelo que alcanzó una longitud de 20 m. Continuaron con sus ensayos y en 1905 contruyen el "Flier II" volando 40 km a una velocidad de 38 km/hr, realizando varios movimientos en el aire.

Otro suceso importante en la historia de la aviación fué cuando el piloto francés Louis Bleriot cruza el Canal de la Mancha en 1909.

La aviación logra un desarrollo tecnológico importante durante la primera guerra mundial y de esta manera el coronel Charles Lindbergh cruza el oceano Atlántico en 1927 en el avión llamado "Spirit of St Louis" en un tiempo aproximado de 34 horas, ésta hazaña atrae la atención de los empresarios de la época,

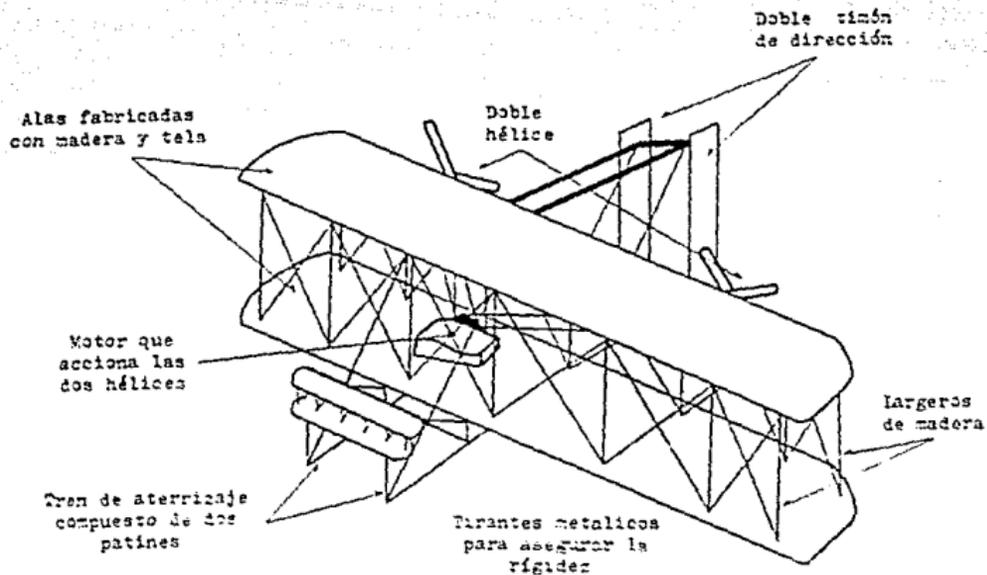


Fig. 4 "Flier I" Aeronave de los hermanos Wright ( 1903 ).

apareciendo los nombres de Cloude Ryan, William Boeing, Donald Willis Douglas que a la postre serían los fabricantes de aviones comerciales que ahora conocemos.

En México, se inicia la actividad aérea durante la época colonial y los primeros acontecimientos aparecen en 1825 en el puerto de Veracruz con experimentos con globos de papel y en Tlaxcala el capitán Antonio María de Fernández vuela un globo de mayores dimensiones provocando una fiebre popular por el vuelo.

En 1835 Guillermo E. Robertson es invitado por México para dar una demostración de vuelo en globo; siendo don Benito León Acosta la primera persona de origen mexicano el que logra el primer vuelo el 3 de abril de 1842 en el estado de Guanajuato lo que le valió la patente para que durante los 3 años posteriores fuera el único que pudiera navegar por los aires de México.

En 1863 Joaquín de la Cantoya y Rico se eleva en globo quedando inmortalizado en el mural de Diego Rivera pintado en el Hotel del Prado.

El primer vuelo planeado dentro del espacio aéreo mexicano fué realizado en 1910 por Alberto Braniff en un biplano Voisin en los llanos de Balbuena, hecho que marca el inicio de la aviación en México durante el gobierno del presidente Francisco I. Madero, quién posteriormente adquiere el primer avión militar.

En 1912 un grupo integrado por los jóvenes Juan Pablo y Eduardo Alda Soro, Horacio Ruiz, los hermanos Gustavo y Alberto Salinas Carranza son enviados a capacitarse a la Moissant International School en E.U.A. en las técnicas de la aviación y en 1913 30 cadetes son enviados a Europa a estudiar técnicas militares aéreas, creándose con ellos la Fuerza Aérea de México el 5 de febrero de 1915, siendo su primer comandante el mayor Alberto Salinas.

Otro acontecimiento importante en la historia de la aviación nacional fué el primer vuelo de correos realizado el 6 de Julio de 1917 por Horacio Ruiz en la ruta México-Pachuca en solo 56 minutos.

Estos pioneros de la aviación no podrían pronosticar el alcance que tendrían sus experimentos en la época actual quedando muchos de ellos en el anonimato de la historia de la aviación.

## CAPITULO II

### CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES.

2.1.- DESCRIPCION.

2.2.- SISTEMA MOTOR.

2.3.- ELEMENTOS DE SUSTENTACION.

2.4.- FUSELAJE.

2.5.- SISTEMAS DE CONTROL.

2.6.- TREN DE ATERRIZAJE.

## CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES

### 2.1.- DESCRIPCION.

Un aeropuerto es un conjunto de instalaciones que están destinadas a brindar la mejor atención a los usuarios del sistema de transporte aéreo. Estos usuarios son principalmente las aeronaves y los pasajeros, el conocimiento que se tenga de las características de cada uno de ellos nos permitirá diseñar en forma adecuada todos los elementos de un aeropuerto y de esta manera garantizar la calidad de su construcción y la seguridad de sus operaciones.

Las aeronaves son las que demandan el mayor número de equipos e instalaciones lo que nos obliga a conocer con mayor detalle las partes que los integran, sus características y requerimientos para su buen funcionamiento Figura (5).

Una aeronave es un vehículo capaz de navegar por el aire por sus propios medios debido a los elementos de sustentación, su sistema de propulsión y la forma aerodinámica de sus partes lo que permitirá el fácil desplazamiento de las partículas de aire alrededor de las alas y el fuselaje, además de disponer de un sistema de aterrizaje que permitirá llevar a cabo las operaciones en tierra, a continuación se hace mención de las partes integrantes de una aeronave y su funcionamiento.

Aerón	Fabricante	(1)	(2)	(3)	(4)	Máximo peso útil total al despegue (kg.)	Máximo peso al aterrizar (kg.)	(5)	Peso en vacío (kg.)	Peso en combustible (kg.)	(6)	Número y tipo de motor	(7)	Carga de peso	(8)	Longitud de pista (m)
DC-4-12	Douglas	28.4	36.4	36.2	5.0	48 980	44 700	25 788	39 493	39 493	2TF	115-127	2 250			
DC-4-30	Douglas	28.1	40.2	35.6	5.0	51 432	49 356	28 725	44 453	44 453	2TF	130	2 160			
DC-4-61	Douglas	45.2	57.1	21.6	4.3	137 422	128 864	84 993	101 506	101 506	4TF	195-259	3 353			
DC-4-62	Douglas	45.2	47.2	18.5	4.3	151 760	128 864	64 993	81 452	81 452	4TF	189	3 505			
DC-4-63	Douglas	45.2	57.1	23.6	4.3	161 028	117 028	72 000	104 328	104 328	4TF	195-259	3 427			
DC-10-10	Douglas	47.3	55.5	22.1	10.7	191 048	184 984	104 443	151 956	151 956	3TF	270-345	2 743			
DC-10-30	Douglas	49.2	55.3	22.1	10.7	231 748	182 800	118 432	166 925	166 925	3TF	270-345	3 353			
B-737-200	Boeing	28.3	30.5	11.4	5.2	45 587	44 455	27 167	38 556	38 556	2TF	86-125	1 707			
B-737-300	Boeing	32.9	46.7	19.3	5.7	76 658	63 040	44 180	62 597	62 597	2TF	134-163	2 021			
B-722B	Boeing	40.0	41.7	15.4	6.7	104 278	79 160	52 164	70 761	70 761	4TF	131-149	1 959			
B-707-120D	Boeing	40.0	44.2	15.9	6.7	118 729	86 184	57 834	77 112	77 112	4TF	137-174	2 286			
B-707-320B	Boeing	43.4	48.9	18.0	6.7	151 321	67 172	67 496	88 452	88 452	4TF	141-181	3 505			
B-747B	Boeing	59.7	69.8	25.6	11.0	331 540	235 810	165 927	218 594	218 594	4TF	362-490	3 353			
B-747SP	Boeing	59.7	53.8	20.5	11.0	294 840	224 150	139 360	185 976	185 976	4TF	293-384	2 418			
L-1011	Lockheed	47.3	53.7	21.3	11.0	191 018	162 358	108 864	147 420	147 420	3TF	256-310	2 286			
Caravelle-B	Aviation	34.3	33.0	12.3	5.2	56 000	49 521	30 056	39 499	39 499	2TF	85-104	2 038			
T-38C-2E	McDonnell Douglas	24.8	17.0	11.9	5.4	45 042	31 257	33 203	45 363	45 363	2TF	82-115	2 266			
BAC 111-200	BAC (B)	27.0	24.2	10.1	4.3	35 814	31 298	21 044	29 010	29 010	2TF	67-79	2 027			
Super VC-10	BAC	42.7	52.3	22.0	6.5	131 976	107 303	66 479	97 524	97 524	4TF	100-163	2 499			
A-100	Avrupa Industri	44.8	53.6	18.6	9.6	136 987	127 307	84 737	116 498	116 498	2TF	225-345	1 981			
Concorde	BAC Aerospacia	25.5	61.6	18.2	7.7	126 450	108 864	79 160	90 720	90 720	4TF	108-128	3 429			
Mirador	Thyssen	30.5	44.0	11.9	6.2	52 000	49 000	25 665	44 987	44 987	2TF	124-134	1 981			
Harrier-42	U.S.S.R.	41.2	53.1	24.3	6.8	151 935	107 235	69 100	93 442	93 442	4TF	168-176	3 244			
Tupolev-154	U.S.S.R.	37.7	47.9	25.9	11.5	63 000	68 000	41 200	63 501	63 501	1TF	128-158	2 109			

Notaciones: Datos de los constructores.

(1) Salvo especificación, dependiente de la configuración de los asientos.

(2) T equivale a turbohélice; TF equivale a turbohélice con hélice.

(3) Número aproximado de pasajeros dependiendo de la configuración de los asientos y de la situación de la cabina de abordaje.

(4) Al nivel del mar, día claro, sin viento, nivel de pista.

(5) British Aircraft Corporation.

(6) Dimensiones en metros.

Fig. 5 Características de las aeronaves.

## PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA AERONAVE Figura (6):

- a) Sistema motor.
- b) Elementos de sustentación.
- c) Fuselaje.
- d) Sistema de control y operación.
- e) Trenes de aterrizaje.

### 2.2.- SISTEMA MOTOR.

En la actualidad dependiendo del tipo de aeronave, se pueden tener tres formas de propulsión que son: el Turbopropulsor, el Turborreactor de flujo simple y el Turborreactor de doble flujo Figura (7).

El turbopropulsor constituye la etapa intermedia entre el motor de pistones (usado en los años cincuentas) y el turborreactor. Funciona como este último, pero la turbina empuja, además del compresor, una hélice que hace avanzar al avión. Este tipo de motor permite alcanzar velocidades medias y en la actualidad es usado en aviones pequeños.

El turborreactor de flujo simple cuyo funcionamiento consiste en permitir el acceso del aire por la parte delantera, el cual es comprimido y después mezclado con el combustible en la cámara de combustión y los gases producto de esta combustión accionarán una turbina que esta conectada a un compresor, arrojando los gases al exterior por la tobera provocando el movimiento de la aeronave. Este tipo de turbinas fué el usado después del turbopropulsor pero mejorado su funcionamiento con un flujo de aire.

El turborreactor de doble flujo es el utilizado en la mayoría de los aviones comerciales de la actualidad y su forma de actuar es semejante al anterior con la diferencia de que en la cámara de combustión se reúnen dos flujos de aire lo que ocasiona un incremento de empuje del reactor sin utilización adicional de combustible ni provocación excesiva de ruido.

### 2.3.- ELEMENTOS DE SUSTENTACION.

La sustentación de una aeronave depende fundamentalmente del

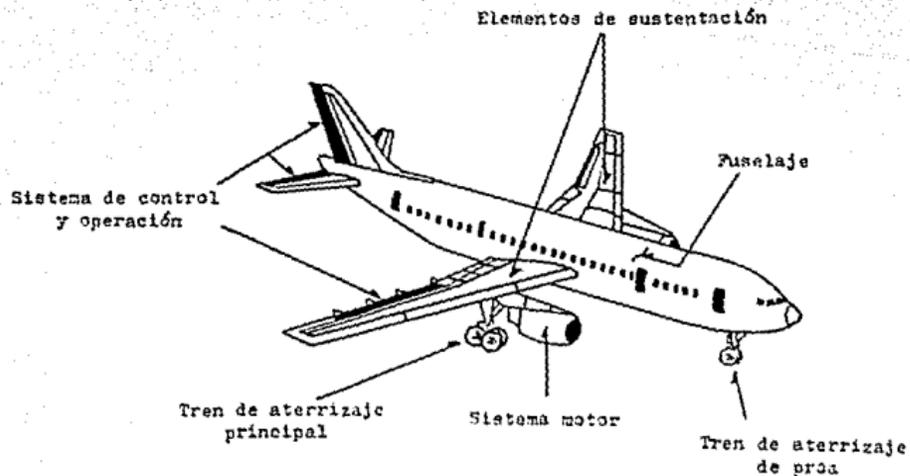
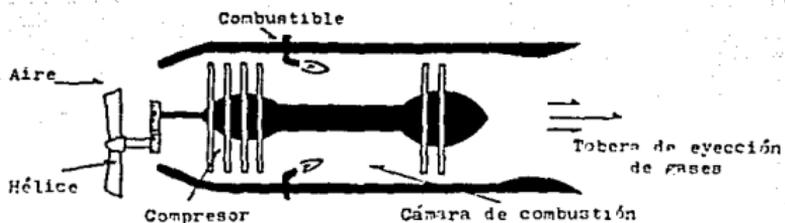
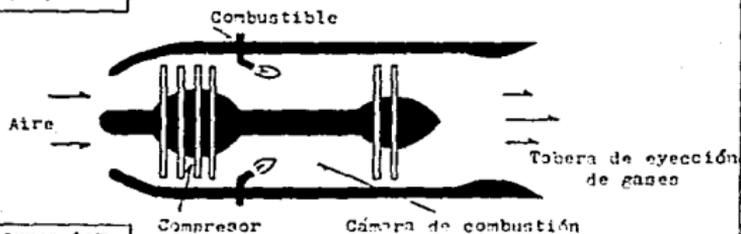


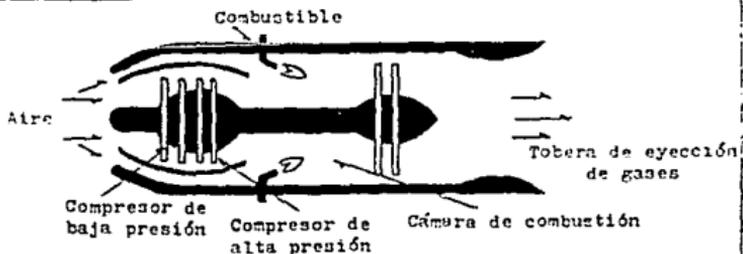
Fig 6 Partes constitutivas de una aeronave.



Turbopropulsor



Turborreactor de flujo simple



Turborreactor de doble flujo

Fig. 7 Tipos de motores.

diseño del ala, la cual debe tener características aerodinámicas apropiadas de acuerdo al tipo de aeronave, no es lo mismo un ala para un avión supersónico que para un avión de gran capacidad de carga, su forma y dimensiones estarán de acuerdo a la velocidad y uso de la aeronave, la fuerza de sustentación estará en función de la densidad del aire, la velocidad de la aeronave y de la superficie alar.

La fuerza de sustentación tiene un valor aproximado obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$SUSTENTACION = 1/2 \rho (V)^2 S C_l$$

donde:

- S = Area de la sección del ala.
- $\rho$  = Densidad del aire.
- V = Velocidad del aire sobre el ala.
- $C_l$  = Coeficiente de sustentación.

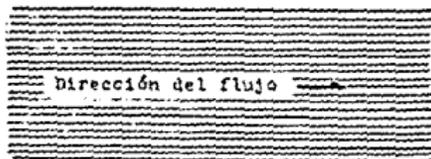
Para entender como se presenta la fuerza de sustentación en una aeronave en vuelo debemos suponer una sección aerodinámica simétrica como se indica en la Figura (8) alineada con la dirección del flujo de aire, las líneas de corriente que llegan a ella, se separan siguiendo las superficies superior e inferior, reorganizándose al final de la sección y de acuerdo al principio de Bernoulli para la conservación de la energía, se debe cumplir que en cualquier punto la suma de la presión estática más la presión dinámica será siempre constante esto es :

$$\frac{P}{\rho} + \frac{(V)^2}{2g} = \text{Constante.}$$

donde:

- P = Presión
- $\rho$  = Peso específico.
- V = Velocidad del fluido.
- $P/\rho$  = Presión estática.
- $(V)^2/2g$  = Presión Dinámica.

A) Líneas de corriente

líneas de  
de  
corrienteC) Tubo obstruido con un cuerpo  
simétrico

B) Tubo con estrechamiento

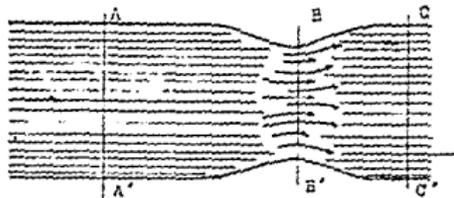
D) Tubo obstruido con un cuerpo  
asimétrico

Fig. 3 Principio de Bernoulli.

Bajo estas condiciones, las partículas que pasan alrededor de la sección disminuyen su presión estática incrementando su presión dinámica. Ahora suponiendo una forma asimétrica semejante a la sección del ala de una aeronave tenemos que la velocidad de las partículas del aire alrededor de la sección no es la misma en la parte superior que en la inferior, debido a que las partículas de arriba tienen una distancia mayor que recorrer, por lo que su velocidad deberá ser mayor y así poder cumplir con el principio de la presión constante.

El efecto combinado de la disminución de la presión estática en la parte superior y el incremento de la presión estática en la parte inferior, junto con la diferencia de presión dinámica provocan una fuerza hacia arriba llamada sustentación.

Los  $2/3$  de la fuerza de sustentación se presentan en la parte superior del ala y  $1/3$  en la parte inferior de la aeronave empujando hacia arriba.

El valor de la fuerza de sustentación estará en función del ángulo de incidencia de ataque ( $\alpha$ ), borde de ataque, borde de fuga, sección transversal y rozamiento del aire en la aeronave, valores que son utilizados por los diseñadores de aviones y de las cuales dependerán de las características de las aeronaves que fabriquen Figura (9).

Existen varios tipos y formas de alas, pero las más comunes son las alas rectas, las inclinadas, en delta, alas en "V" y alas progresivas.

#### 2.4.- FUSELAJE.

El fuselaje de un avión es la parte central donde se unen las alas y los empenajes o timones de dirección de las aeronaves, en él se encuentran alojadas la cabina, los mandos, la tripulación y en algunos casos el tren de aterrizaje, su función principal es de servir para transportar los pasajeros, expres y correo. Su forma es alargada y debe tener también cualidades aerodinámicas con la finalidad de ofrecer una menor resistencia a la acción del aire y dependiendo de las características de su fabricación éstos pueden ser:

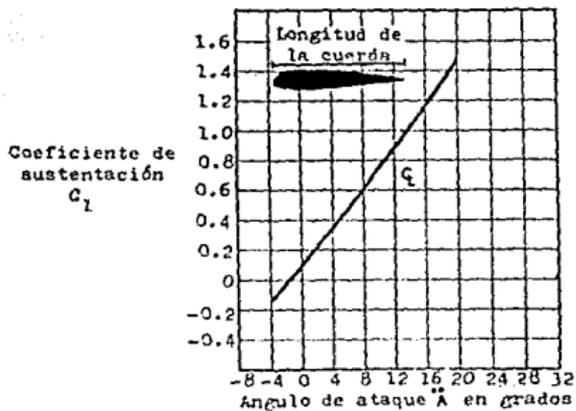
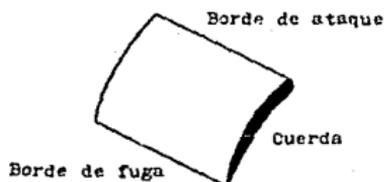
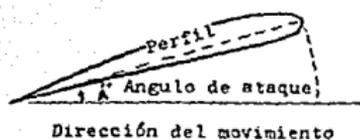


Fig. 9 Nomenclatura del ala y coeficiente de sustentación.

- a) De armadura.
- b) Semimonocoque.
- c) Monocoque.

El fuselaje de armadura básicamente está construido con una estructura metálica tubular forrada de tela (utilizado en las primeras aeronaves).

El fuselaje tipo semimonocoque consiste en un revestimiento metálico reforzado interiormente con bastidores que le dan la forma y sección deseada a las aeronaves (usada en las aeronaves de la 2a. guerra mundial y algunas actuales).

El tipo monocoque que significa un solo casco formado por un tubo de pared delgada ó cascarón, reforzado en su interior por aros ó anillos metálicos de tal manera que el conjunto de cargas que actúan sobre él son soportadas por el conjunto y no por una sola pieza, lo cual permite absorber algunas deformaciones permitiendo a la aeronave seguir volando, este tipo de estructura es usado en las aeronaves actuales Figura (10).

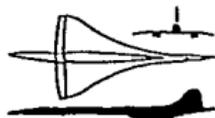
El material comunmente utilizado en estos aviones es el llamado duraluminio que es una aleación que contiene aluminio, cobre, magnesio, manganeso, hierro y silicio con el fin de soportar grandes esfuerzos, cambios de temperatura, corrosión además de tener ligereza en su peso.

## 2.5.- SISTEMAS DE CONTROL.

El sistema de control de una aeronave esta integrado por el timón de dirección, el timón de profundidad, las palancas ó volante de dirección y los pedales de voola Figura (11).

La forma de controlar el movimiento de una aeronave se lleva a cabo mediante servomandos hidráulicos activados por una palanca o volante de dirección combinado con los pedales de voola, de tal manera que los alerones móviles situados en la parte trasera de las alas se activan por medio del giro del volante, haciendo que uno se levante mientras el otro baja lográndose el

Aerospatiale/BAC Concorde



A300, Airbus



BAC Super VC10



Boeing 707-320



Douglas DC9



Boeing 727



Douglas DC-10



Boeing 737



Lockheed L-1011



Boeing 747



Fig. 10 Fuselajes de aeronaves.

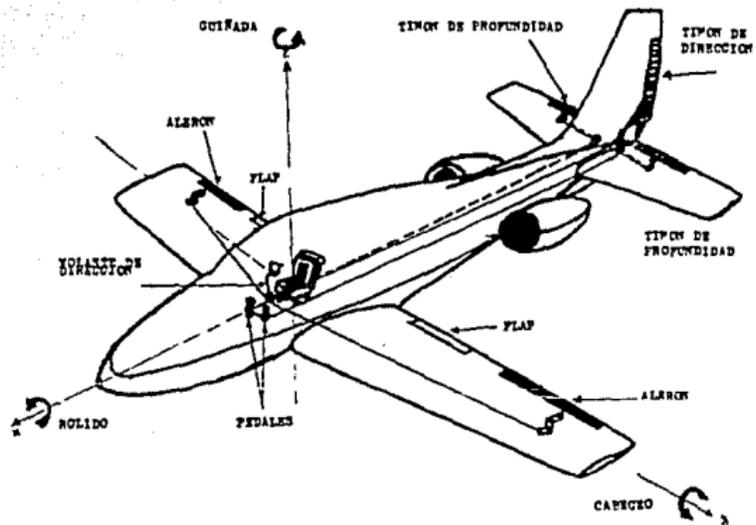


Fig 11 Organos de gobierno, partes móviles y movimientos de un avión.

giro hacia la dirección del alerón que baja, a este movimiento que realiza el avión se le llama "Rolido".

El timón de profundidad está compuesto por dos aletas articuladas sobre un plano horizontal del empenaje ó cola del avión y son accionadas hacia abajo o hacia arriba cuando el piloto jale de la palanca o empuje sobre ella y al bajar éstas el avión se inclina hacia adelante y en caso contrario el avión se levanta, a este movimiento que realiza el avión se le llama "Cabeceo".

El timon de dirección o aleta móvil ubicada en dirección perpendicular al timon de profundidad gira de izquierda a derecha, de acuerdo al movimiento que se quiera; para un movimiento a la derecha el piloto acciona el pedal de volea derecho haciendo que la aleta del timón de dirección tenga una rotación hacia ese lado, a este movimiento que describe el avión se le llama "Guiñada".

En las operaciones de viraje se combinan el movimiento del timon de dirección con el movimiento de los alerones.

Para llevar a cabo estas operaciones en cabina se cuenta con una tripulación constituida generalmente por un piloto, el copiloto y un ingeniero de vuelo que tendrán a su alcance los dispositivos para activar los equipos de:

- a) Control de vuelo.
- b) Instrumentos de vuelo.
- c) Grupo motor.
- d) Radio radar y
- e) Tablero del ingeniero de vuelo.

La disposición de estos equipos la podemos apreciar en la Figura (12).

Teniendo además equipos informativos como:

- a) Altimetro.
- b) Horizonte artificial, que indica la posición del avión respecto al horizonte natural.
- c) El indicador de velocidad, "Machmetro".
- d) Emisor y receptor de radio.

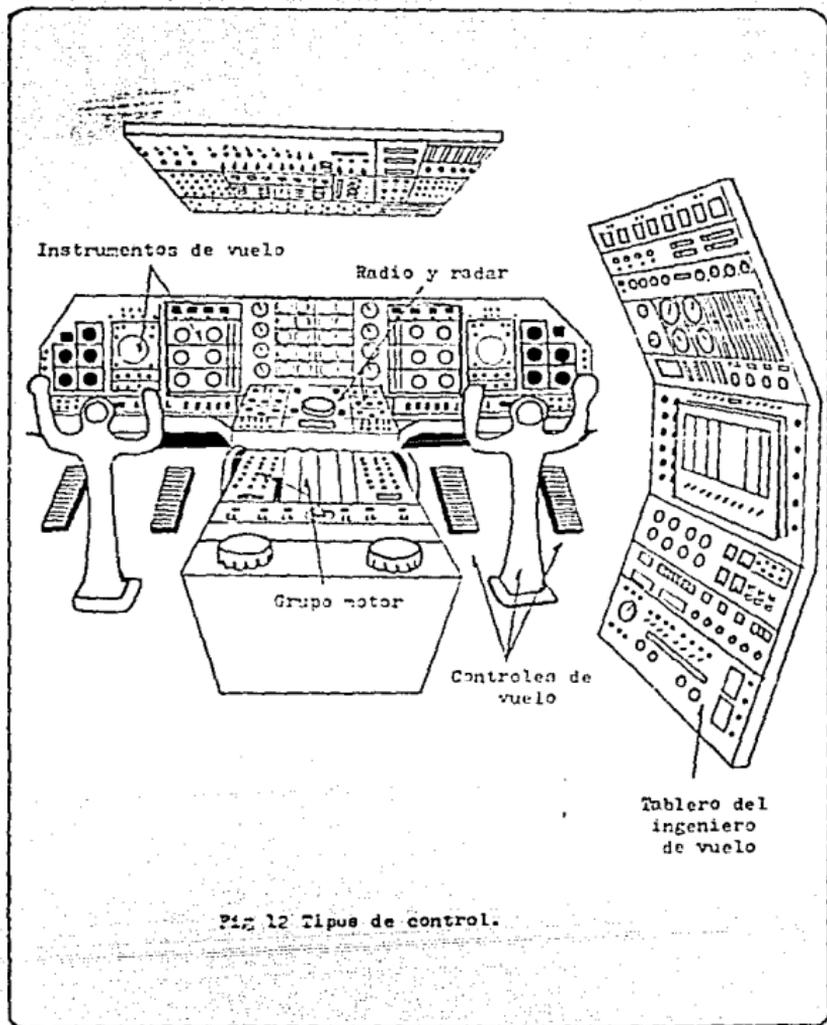


Fig. 12 Tipos de control.

e) Radares etc...

## 2.6.- TREN DE ATERRIZAJE.

En tierra las aeronaves hacen contacto por medio del tren de aterrizaje que al igual que los demás sistemas de operación ha evolucionado a lo largo del tiempo.

Este sistema está concebido para soportar grandes pesos y amortiguar choques importantes al aterrizar, y de acuerdo al tipo de superficie de aterrizaje podemos encontrar: trenes con flotadores, esquies o con neumáticos.

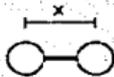
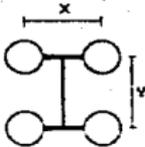
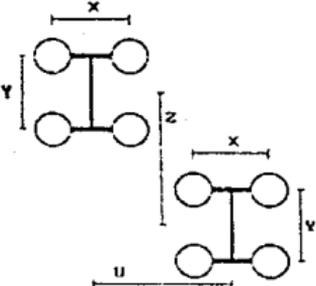
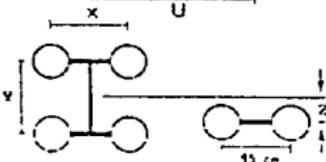
El elemento que repercute directamente en el diseño de los trenes de aterrizaje es el referido al peso de la aeronave y a donde las investigaciones se han dirigido para lograr una mayor resistencia en relación a un peso menor del tren, es evidente que al tenerse menor peso, podrá utilizarse en un incremento de carga en la aeronave.

En la actualidad se tienen diferentes trenes de aterrizaje que van desde ruedas simples empleadas en aviones pequeños, hasta el uso de ruedas múltiples (tandem) utilizadas en las grandes aeronaves. La disposición de las ruedas en algunos trenes de aterrizaje comunes se pueden ver en la Tabla (I).

La función principal del tren de aterrizaje es la de transmitir las fuerzas del avión al pavimento.

La distribución de cargas tanto en el tren principal como en el de proa dependerán del tipo de aeronave y de su centro de gravedad, se estima que el tren principal absorbe el 95% de su carga, que se distribuye de acuerdo a la disposición de las ruedas de la aeronave y el 5 % restante lo tomará el tren de proa o nariz.

Una característica importante referida al tren de aterrizaje para el dimensionamiento de las áreas donde operen las aeronaves es el llamado "Radio de Giro" que es la distancia horizontal que existe entre el apoyo ó pivote y el extremo más alejado del avión.

CONFIGURACION DEL TIPO PRINCIPAL	TIPO DE AVION	DIMENSIONES (CM)				PRESION DE INFLADO (KG/CM <sup>2</sup> )
		X	Y	Z	U	
	DC-3 B-727 B-727	83.5 77.5 86.4				10.55 10.40 11.81
	DC-9-61 DC-8-62 DC-8-63 DC-10-10 B-720B B-707-122B B-707-322B CONCORD A-300B	76.2 81.3 81.3 137.2 81.3 86.4 87.9 67.8 89.8	137.7 137.7 137.7 162.6 124.5 142.2 142.2 166.7 131.8			13.22 13.15 13.78 12.16 16.17 11.95 12.65 12.93 11.41
	747A 747, B, C, F	111.7 111.7	147.3 147.3	307.8 307.8	368.7 368.7	14.34 13.08
	DC-10-30 DC-10-40	137.2 137.2	162.6 162.6	76.2 76.2	548.6 548.6	11.04(**) 11.04(***)

(\*) PRESION DE LA RUEDA DEL TIPO CENTRAL, 9.42 Kg/cm<sup>2</sup>. SOPORTA EL 16 x DEL PESO TOTAL.  
(\*\*) PRESION DE LA RUEDA DEL TIPO CENTRAL, 9.44 Kg/cm<sup>2</sup>. SOPORTA EL 16 x DEL PESO TOTAL.  
(\*\*\*) PRESION DE LA RUEDA DEL TIPO CENTRAL, 9.44 Kg/cm<sup>2</sup>. SOPORTA EL 16 x DEL PESO TOTAL.

**Tabla I Dimensiones del tren de aterrizaje.**

### CAPITULO III.

#### PARTES DE UN AEROPUERTO.

- 3.1.- INTRODUCCION.
- 3.2.- SISTEMA AEREO.
- 3.3.- SISTEMA AERONAUTICO TERRESTRE.
- 3.4.- SISTEMA ZONA TERMINAL.
- 3.5.- SISTEMA TERRESTRE.
- 3.6.- SISTEMA DE DRENAJE.

## PARTES DE UN AEROPUERTO

### 3.1.- INTRODUCCION.

Un aeropuerto tiene la función principal de enlazar el sistema de transporte terrestre con el sistema aéreo, permitiendo el movimiento de bienes y pasajeros, de tal manera que su diseño cubra estas necesidades, además del almacenamiento temporal de personas, vehículos, equipajes, carga y los servicios a las aeronaves.

Podemos decir que un aeropuerto es un sistema de transporte cuya eficiencia depende del comportamiento de sus componentes básicos que son:

- a) SISTEMA AEREO.
- b) SISTEMA AERONAUTICO TERRESTRE.
- c) SISTEMA ZONA TERMINAL.
- d) SISTEMA TERRESTRE.

Las partes componentes de un aeropuerto las podemos observar en el plano general de la Figura (13).



### 3.2.- SISTEMA AEREO.

Comprende los espacios aéreos del aeropuerto y los espacios aéreos en ruta. El conocer el sistema aéreo, nos permitirá resolver los diferentes problemas desde el punto operacional del aeropuerto ya que contempla la definición del espacio aéreo libre de obstáculos y la introducción de restricciones con respecto a las distancias disponibles para el despegue y aterrizaje así como la gama de condiciones meteorológicas bajo las cuales pueden realizarse dichas maniobras.

Con el fin de definir el espacio aéreo que debe mantenerse libre de obstáculos alrededor de los aerodromos, para que puedan realizarse con seguridad las operaciones aeronáuticas, se han establecido una serie de superficies limitadoras de obstáculos en relación con cada una de las pistas.

Estos requerimientos se encuentran reglamentados por la Organización Aeronáutica Civil Internacional (OACI), así como por la Administración Federal de Aviación (FAA), de manera que cualquier objeto que sobresalga por encima de estas superficies, se considera un obstáculo para la navegación aérea. Es importante al planificar un aeropuerto el ponerse en contacto con la autoridad apropiada para analizar las posibles soluciones a los problemas del espacio aéreo.

#### ESPACIOS AEREOS SEGUN LA OACI.

La forma y dimensiones de estas superficies, dependerá del tipo de operaciones que se efectúen en el aeropuerto que son, visuales ó por instrumentos.

Estas áreas pueden ser:

##### 1.- SUPERFICIE HORIZONTAL INTERNA:

La finalidad de ésta superficie es la de proteger el espacio aéreo para el circuito visual dentro del cual la aeronave debe volar antes de aterrizar. En ciertos casos, algunos sectores del circuito visual no serán recomendables para las operaciones de aeronaves y entonces se establecen procedimientos para conseguir que las aeronaves no vuelen en tales sectores, por lo que no será

necesario extender a éstos la protección proporcionada por la superficie horizontal interna. Las autoridades competentes proporcionan guías para la navegación, con las cuales se logra que las aeronaves sigan trayectorias definidas de aproximación a la pista y de aproximación frustrada en caso de un accidente.

La protección del circuito visual para las aeronaves lentas que utilizan pistas cortas puede lograrse mediante una superficie horizontal interna circular, mientras que al aumentar la velocidad de la aeronave ésta superficie adopta una configuración de "hipódromo" debido a que utiliza arcos circulares con centro en los extremos de las pistas, unidos por rectas tangentes como se puede observar en la Figura (14).

#### 2.- SUPERFICIE CONICA:

Esta superficie que se extiende hacia afuera y hacia arriba, extendiéndose desde la periferia de la superficie horizontal interna con pendiente de 5:1, con un borde superior situado a una altura determinada sobre la superficie horizontal interna de acuerdo a la clave de referencia del aeródromo que se tenga como se puede apreciar en la Figura (14) y Tabla (II).

#### 3.- SUPERFICIE DE APROXIMACION Y DE TRANSICION:

Estas superficies definen la parte del espacio aéreo que deberá mantenerse libre de obstáculos para proteger a los aviones durante la fase final de la maniobra de aproximación en el aterrizaje. Las pendientes y dimensiones de éstas superficies variarán dependiendo de la clave de referencia del aeródromo y si las aproximaciones visuales serán, de precisión ó de otro tipo Figura (14), Tabla (II).

#### 4.- SUPERFICIES DE APROXIMACION INTERNA, DE TRANSICION INTERNA Y DE ATERRIZAJE INTERRUMPIDO:

En su conjunto, estas superficies ocupan el espacio aéreo en la vecindad inmediata de las pistas para aproximaciones de

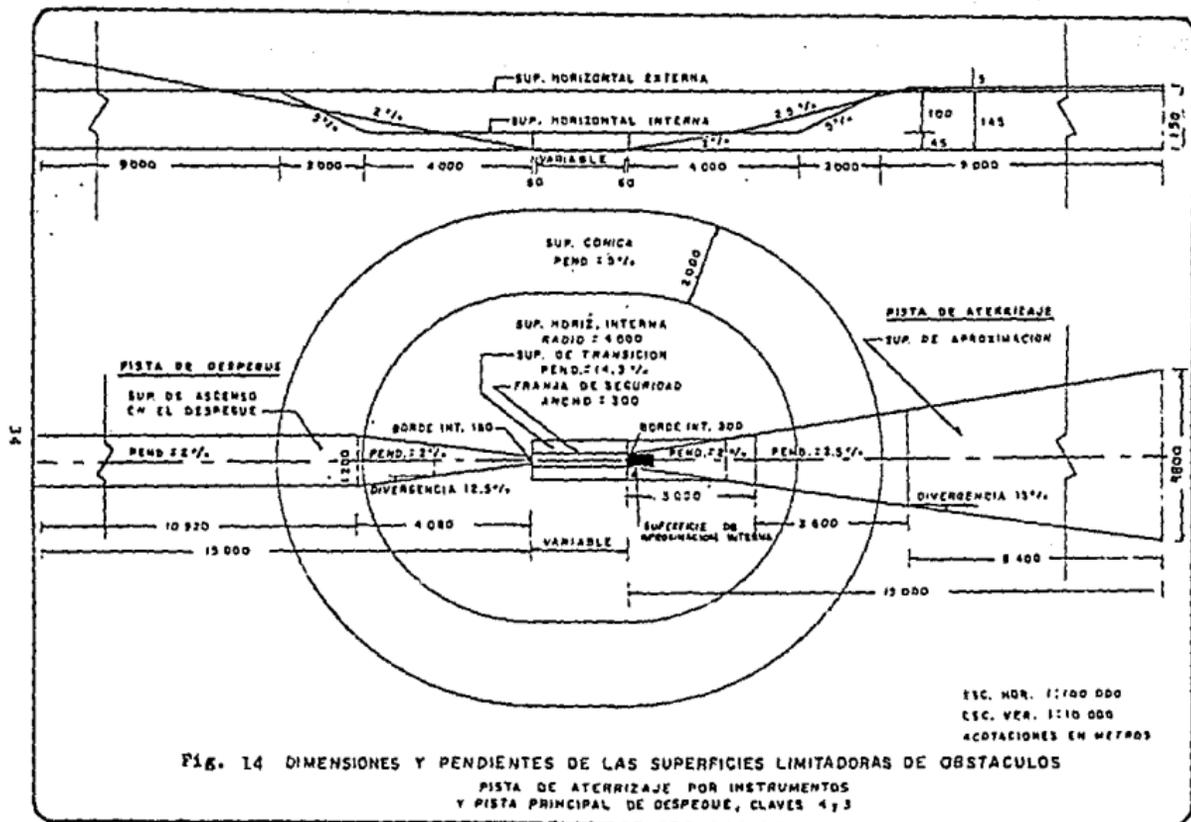


Tabla II Dimensiones y pendientes de la superficies limitadoras de obstáculos

PISTAS DE ATERRIZAJE

Superficies y dimensiones <sup>a</sup>	Clasificación de las pistas									
	Aproximación visual				Aproximación que exige precisión				Aproximación de precisión	
	Número de clases				Número de clases				Número de clases	
	1	2	3	4	1,2	3	4	1,2	3,4	3,4
<b>CONICA</b>										
Pendiente	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	75 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
<b>HORIZONTAL INTERNA</b>										
Altura	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radio	2000 m	2500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m
<b>APROXIMACION INTERNA</b>										
Anchura	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	60 m	60 m	60 m
Longitud	-	-	-	-	-	-	-	900 m	900 m	900 m
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	2.5%	2%	2%
<b>APROXIMACION</b>										
Longitud del borde exterior	80 m	80 m	150 m	150 m	150 m	300 m	300 m	150 m	300 m	300 m
Distancia desde el umbral	30 m	60 m	80 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
<b>Primera sección</b>										
Longitud	1600 m	2500 m	3000 m	3200 m	2500 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m
Pendiente	5%	4%	3.33%	2.5%	3.33%	2%	2%	2.5%	2%	2%
<b>Segunda sección</b>										
Longitud	-	-	-	-	-	3600 m <sup>b</sup>	3600 m <sup>b</sup>	17000 m <sup>b</sup>	3600 m <sup>b</sup>	3600 m <sup>b</sup>
Pendiente	-	-	-	-	-	2.5%	2.5%	2%	2.5%	2.5%
<b>Sección horizontal</b>										
Longitud	-	-	-	-	-	8400 m <sup>b</sup>	8400 m <sup>b</sup>	-	8400 m <sup>b</sup>	8400 m <sup>b</sup>
Longitud total	-	-	-	-	-	15000 m <sup>b</sup>	15000 m <sup>b</sup>	15000 m <sup>b</sup>	15000 m <sup>b</sup>	15000 m <sup>b</sup>
<b>DE TRANSICION</b>										
Pendiente	20%	20%	14.28%	14.28%	20%	14.28%	14.28%	14.28%	14.28%	14.28%
<b>DE TRANSICION INTERNA</b>										
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33.33%	33.33%
<b>SUPERFICIE DE ATERRIZAJE INTERMEDIAS</b>										
Longitud del borde exterior	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	-	1800 m <sup>b</sup>	1800 m <sup>b</sup>
Divergencia (a cada lado)	-	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	-	4%	3.33%

- a. Antes de cada borde de pista, todas las dimensiones de estas superficies de pista.  
 b. Siempre variable.  
 c. Si distancia desde el umbral de pista, es esta distancia de 60 metros.  
 d. Distancia desde el exterior de la pista.

precisión, conocida como zona despejada de obstáculos. Esta zona se mantendrá libre de objetos fijos, así como de elementos como son las ayuda a la navegación aérea las cuales deben encontrarse cerca de la pista para llevar a cabo su cometido, y de objetos transitorios. Sus formas y dimensiones las podemos observar en la Figura (15) y Tabla (II).

#### 5.- SUPERFICIE DE ASCENSO EN EL DESPEGUE:

Esta superficie proporciona protección a las aeronaves durante el despegue, Figura (14) indicando que obstáculos deberán eliminarse, (si ello es posible), señalarse ó iluminarse. Las dimensiones y pendientes también varían dependiendo de las características del aeródromo, como se puede ver en la Tabla (III).

TABLA III.- DIMENSIONES Y PENDIENTES DE LAS SUPERFICIES LIMITADAS DE OBSTACULOS PARA PISTAS DE DESPEGUE.

Superficie y dimensiones	Número de clave			
	1	2	3	4
(1)	(2)	(3)	(4)	
DE ASCENSO EN EL DESPEGUE				
Longitud del borde interior	60 m	80 m	180 m	
Distancia desde el extremo de la pista	30 m	60 m	60 m	
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	12.5%	
Anchura final	1600 m	580 m	1200 m 1800 m	
Longitud	1600 m	2500 m	15000 m	
Pendiente	5%	4%	2%	

#### 6.- SUPERFICIE HORIZONTAL EXTERNA.

A criterio de la Autoridad Aeronáutica, se establecerá una superficie horizontal externa, en aquellos aeropuertos que debido al tipo de operaciones que en los mismos se realicen, requieran una limitación y señalamiento de obstáculos más allá de lo anteriormente especificado, para garantizar la seguridad de las

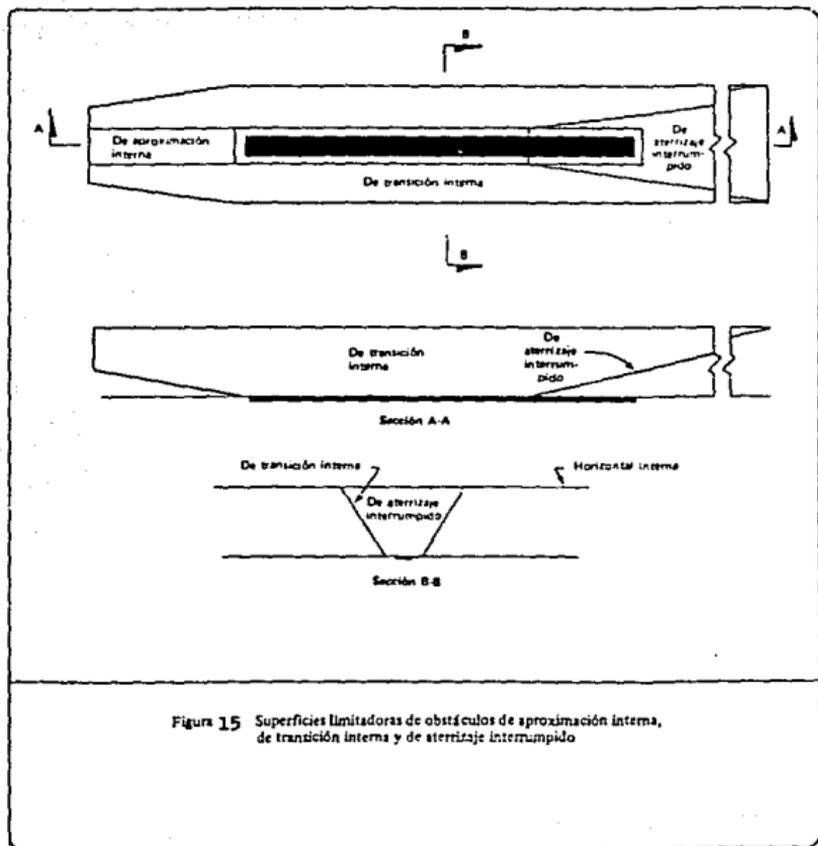


Figura 15 Superficies limitadoras de obstáculos de aproximación interna, de transición interna y de aterrizaje interrumpido

operaciones aéreas; asimismo, se limitarán los obstáculos que se localicen dentro de las trayectorias operacionales, que afecten el funcionamiento de las radioayudas. Dicha superficie se extiende a un radio de 10 millas náuticas del aeropuerto y tiene una altura de 150 m sobre el nivel de éste, hacia afuera de la superficie cónica Figura (14).

Las dimensiones y pendientes de estas superficies se encuentran en la Tabla (II).

### 3.3.- SISTEMA AERONAUTICO TERRESTRE.

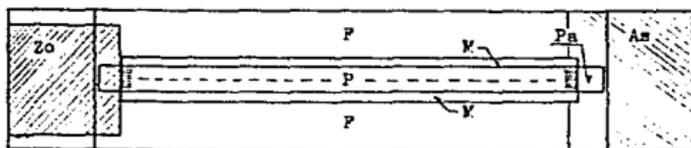
Dentro del sistema aeronáutico terrestre se tienen: la pista, calles de rodaje, zona de plataformas, equipos electrónicos y ayudas visuales, sistemas de alimentación, almacenamiento y distribución de combustibles.

#### A) PISTAS.

Uno de los elementos de mayor importancia en un aeropuerto lo constituyen las pistas Figura (16), porque a partir de su ubicación es que se analiza la posición y funcionamiento de las demás partes que componen el aeropuerto.

La estructura de la pista está destinada a soportar las cargas del avión a través de su tren de aterrizaje y transmitir las al suelo de cimentación, y las superficies de rodamiento podrán ser de concreto asfáltico ó de concreto hidráulico.

A manera de definición diremos que una pista, es la superficie limitada y nivelada, libre de obstáculos, destinada para llevar a cabo operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves. Y dependiendo de sus características los aeródromos, se pueden identificar por medio de la llamada "CLAVE DE REFERENCIA DE AERODROMO" que está en función de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud de referencia del avión, y el elemento 2 el cual es representado por una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal la que resulte más desfavorable tabla (IV).



- F .- Franja
- P .- Pavimento
- M .- Margen
- Pa .- Zona de parada
- As .- Area de seguridad de extremo de pista
- Zo .- Zona libre de obstáculos

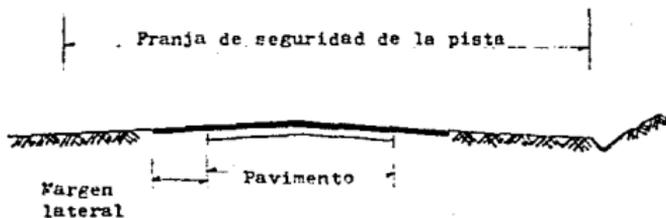


Fig 16 Elementos de una pista.

TABLA IV. - CLAVE DE REFERENCIA DE AERODROMO.

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Número de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior de pista principal
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m.	A	Hasta 15 m	Hasta 4.5 m
2	Desde 800 m hasta 1200 m.	B	Desde 15 m hasta 24 m.	Desde 4.5 m hasta 6 m
3	Desde 1200 m hasta 1800 m.	C	Desde 24 m hasta 36 m.	Desde 6 m hasta 9 m.
4	De 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m.	Desde 9 m hasta 14 m.
		E	Desde 52 m hasta 60 m.	Desde 9 m hasta 14 m.

La introducción de zonas de parada y de zonas libres de obstáculos, y de la utilización de umbrales desplazados en las pistas, han creado la necesidad de disponer de información precisa, que se ha de declarar respecto a las distancias físicas disponibles y adecuadas para el aterrizaje y despegue de los aviones. Para entender estas distancias se emplea el término de DISTANCIAS DECLARADAS asociadas a una pista y son:

a) A la longitud de pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra cuando el avión despegue se le llama "TORA".

b) A la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona libre de obstáculos (CWI), se le llama "TODA".

c) A la distancia de aceleración parada y la longitud de la zona de parada (SWY) si la hubiera se le llama "ASDA".

d) A la longitud de pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterriza se le llama "LDA".

Estas distancia declaradas así como una aplicación de dichos conceptos los podemos observar en la Figura (17).

#### ANCHO DE PISTAS.

El ancho de una pista estará en función de la clasificación del aeródromo y del tipo de avión. Como se puede apreciar en la Tabla (V).

TABLA V . - ANCHOS DE PISTA.

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

#### PENDIENTES.

La pendiente longitudinal de una pista no debe exceder de:

- 1½ para pista de clave 3 ó 4.
- 2½ para pista de clave 1 ó 2.

Y los cambios de pendiente permisible en el sentido longitudinal son:

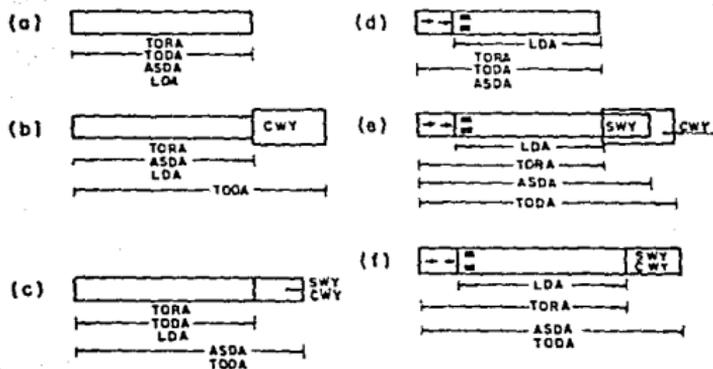
- 1.5½ para las pistas de clave 3 ó 4.
- 2½ para pistas de clave 1 ó 2.

La pendiente transversal del pavimento de la pista será de:

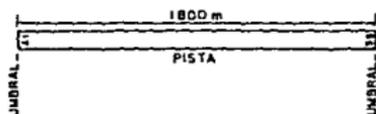
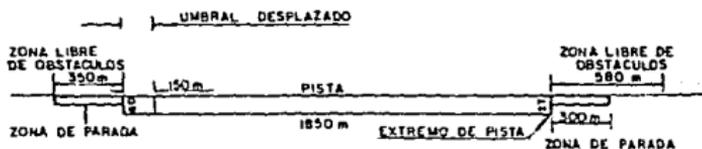
- 1.5½ cuando la letra de clave sea C, D ó E.
- 2½ cuando la letra de clave sea A ó B.

#### MARGENES LATERALES O ACOTAMIENTOS.

Son zonas adyacentes a la pista y a todo lo largo de ella Figura (16) y deben estar diseñadas para resistir el paso de los equipos de mantenimiento y vigilancia, los efectos erosivos de la salida de las turbinas, así como el tren de aterrizaje de las aeronaves en el caso de salirse del pavimento de la pista. El



Distancias declaradas



Pista	Distancias declaradas, en m			
	TORA	ASDA	TODA	LDA
09	2 000	2 300	2 580	1 850
27	2 000	2 350	2 350	2 000
17	NU	NU	NU	1 800
35	1 800	1 800	1 800	NU

Fig 17 Aplicación de conceptos

ancho de éstas márgenes varia de 7 a 8 m con una pendiente longitudinal semejante a la de la pista y pendiente transversal no mayor al 2.5%.

#### FRANJAS DE SEGURIDAD LATERALES.

Es una franja de terreno conformado ó compactado al 90% del peso volumetrico seco y que va más allá del los límites de la pista y de sus márgenes laterales Figura (16), y tiene la finalidad de reducir el riesgo de daños en las aeronaves que lleguen a salirse en las operaciones de despegue ó aterrizaje, y deberán extenderse también en el sentido transversal la distancia necesaria de acuerdo al tipo de aeródromo.

#### AREAS DE SEGURIDAD EN EL EXTREMO DE PISTA.

Esta zona tiene la finalidad de reducir el riesgo de daños de una aeronave en el caso de aterrizajes cortos ó largos así como permitir el movimiento de vehículos de salvamento y extinción de incendios Figura (16), las dimensiones de está franja serán de 90 m como mínimo en el sentido del eje de la pista y de 2 veces el ancho de la pista en el sentido transversal; su pendiente longitudinal no será mayor al 5% y la pendiente transversal no será mayor al 5%.

#### ZONA DE PARADA.

Es una superficie rectangular situada a continuación del límite de la pista en el recorrido de las aeronaves en el despegue de tal manera que sirva para detenerse en caso de un despegue interrumpido, por lo que deberán tener un buen coeficiente de rozamiento en el pavimento. La existencia de ésta zona estará sujeta a las condiciones físicas del área situada más allá del extremo de la pista y de las características de los aviones que utilicen el aeropuerto Figura (16).

#### B) CALLES DE RODAJE.

Son aquellos elementos del aeropuerto que sirven de enlace entre las pistas y plataformas de operaciones, su objetivo principal es el de reducir el tiempo en que los aviones permanecen en la pista en el momento del aterrizaje y dependiendo de la intensidad de tráfico que se tenga en el aeropuerto, se utilizarán distintas configuraciones de calles de rodaje que pueden ser:

calles de rodaje paralelas, calles de salida rápida con ángulos entre 30 y 45 grados, en ángulo recto y calles de rodaje en plataforma Figuras (18).

Las calles de rodaje mas utilizadas son la de salida rápida y estan proyectadas para que los aviones que aterrizan giren a grandes velocidades reduciendo el tiempo de ocupación de la pista.

Las calles de rodaje paralelas están construidas paralelas al eje de la pista, generalmente son utilizadas en aeropuertos de alta densidad de tráfico, existiendo otras modalidades como las que se encuentran señaladas en las plataformas con pintura y que estan destinadas al acceso, estacionamiento y circulación de aeronaves.

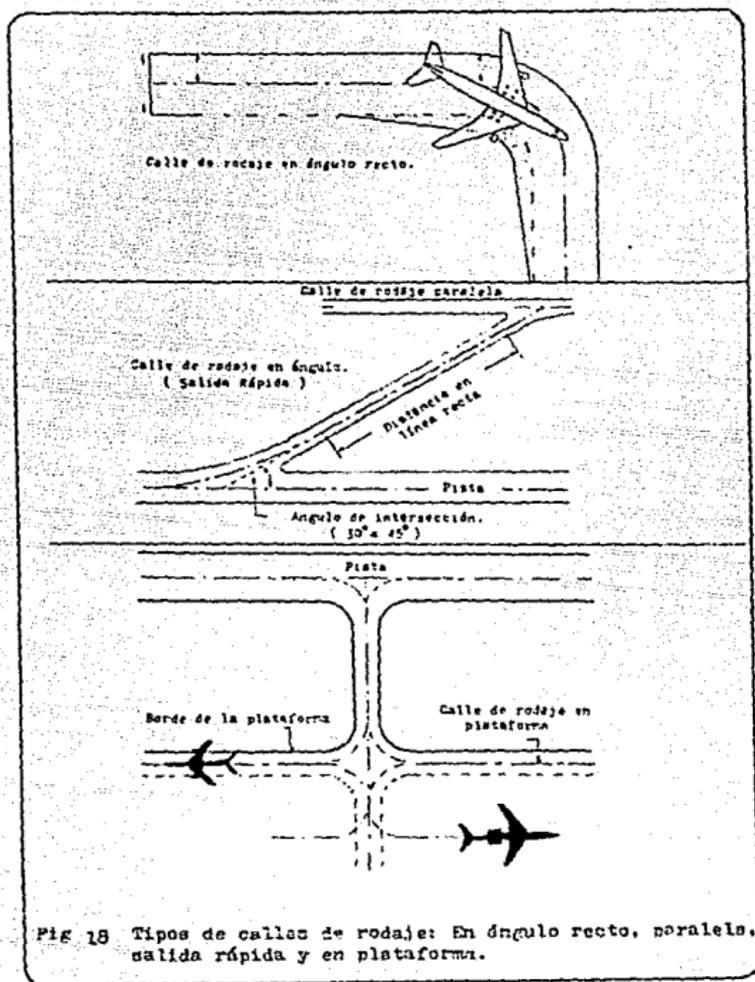
Los anchos de calles de rodaje tendrán un valor que no deberá ser inferior a : 7.5 m para clave de aeródromo A; de 10.5 m para clave de aeródromo B; de 15 m para clave de aeródromo C; 18 m para clave de aeródromo D; y de 23 m para clave de aeródromo E.

Las pendientes longitudinales y transversales de las calles de rodaje no deberán exceder de 1.5% para aeródromos de clave C, D ó E, y 3% para aeródromos de clave A ó B. Las pendientes transversales no deberán ser mayores de 1.5% para aeródromos de clave C, D ó E, y de 2% para aeródromos de clave A ó B.

Las márgenes de calles de rodaje son zonas adyacentes a sus laterales y a todo lo largo de ellas, y estarán diseñadas para resistir el paso de vehículos de mantenimiento así como la salida accidental de una aeronave. Se extienden simétricamente a ambos lados de modo que las dimensiones de la calle de rodaje y sus márgenes no será menor de 44 m cuando la clave de aeródromos sea E, 38 m cuando sea D y 25 m cuando sea C, B ó A.

#### C) PLATAFORMAS.

Las plataformas en los aeropuertos son áreas destinadas a servir a las aeronaves durante el proceso de embarque y desembarque de pasajeros, suministro de combustible, aduanas, pernocta y en actividades de mantenimiento. Y dependiendo de su



función estas plataformas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Plataformas de Aviación Comercial.- Las utilizadas en maniobras de aeronaves comerciales y se encuentran ubicadas en la proximidad de las salas de última espera del Edificio de Pasajeros.

Plataforma de Aviación General.- Que están destinadas al servicio de aeronaves de pequeña envergadura y son utilizadas generalmente en vuelos de negocios ó particulares.

Dependiendo de la Categoría de los aeropuertos se pueden tener plataformas para aduanas, plataformas de prevención de riesgos, plataformas para bases de mantenimiento, plataformas en hangares etc..y en todos los casos se debe cumplir con los mínimos establecidos para tener las dimensiones apropiadas de acuerdo al número y tamaño de aeronaves y la resistencia adecuada para soportar las descargas de los aviones, y espacio suficiente para considerar los radios de giro en las operaciones de estacionamiento y salida del aeropuerto.

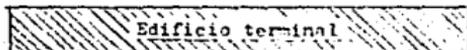
El tamaño de las aeronaves nos permite determinar el número de posiciones en plataforma y por lo que se refiere a optimizar el uso del área disponible, de estacionamiento. Y al relacionar las características del Edificio de Pasajeros de un aeropuerto con las formas de estacionamiento de aeronaves se pueden tener diferentes tipos de distribución de aeronaves Figura (19).

- 1.- En línea.
- 2.- En muelle ó dedo.
- 3.- En satélite.
- 4.- En transporte.

En los que deberan respetarse los mínimos de separación entre aeronaves, con respecto a los edificios adyacentes y con otros objetos fijos estos valores estarán de acuerdo con la siguiente Tabla (VI):

Proa hacia adentro

Paralelo



En ángulo con  
proa hacia adentro

En ángulo con  
proa hacia afuera

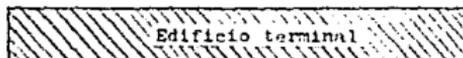


Fig 19 Formas de estacionamiento de aviones.

TABLA VI .- MARGENES DE SEPARACION ENTRE AERONAVES  
Y OTROS OBJETOS FIJOS.

Clave de aeródromo	Margen de separación (en metros)
A ó B	3.00
C	4.50
D ó E	7.50

Una plataforma puede ser de concreto asfáltico ó de concreto hidráulico, y deberá mantenerse drenada adecuadamente para evitar encharcamientos ó inundaciones, y por condiciones de seguridad y mantenimiento deberán contar con márgenes ó acotamientos laterales que tengan un ancho de 7.5 m a partir de su límite y de una franja de seguridad construida con material acomodado utilizada en situaciones extraordinarias de salida de aeronaves.

#### D) EQUIPOS ELECTRONICOS Y AYUDAS VISUALES.

La zona de operaciones terrestres de las aeronaves deberá contar con las ayudas necesarias como equipos electrónicos que son utilizados en la señalización de rutas aéreas, en el control del tráfico aéreo y en las operaciones dentro del aeropuerto, estas ayudas son generalmente un radio vector omnidireccional (VOR), equipos medidores de distancia (DME), radares de vigilancia, radares de control aéreo en ruta, sistemas de aterrizaje por instrumentos y dependiendo de las características meteorológicas y de la categoría de los aeropuertos se da la recomendación para el uso de estos equipos y la forma de llevar a cabo de manera segura las operaciones de despegue y aterrizaje. Por lo que se refiere a las ayudas visuales, estas consisten en un señalamiento luminoso y un señalamiento con pintura.

El señalamiento luminoso consiste en la instalación de los siguientes equipos:

#### SEÑALAMIENTO LUMINOSO.

##### a).- FARO GIRATORIO:

Es una ayuda para la localización del aeropuerto y deberá localizarse en la parte más alta del aeropuerto, emite destellos color blanco y verde.

##### b).-LUCES DE OBSTRUCCION:

Permite identificar postes, estructuras y edificios altos que pueden considerarse como un riesgo para la aviación y son de color rojo.

##### c).-LUCES DE BORDE DE PISTA:

Instaladas a los lados de la pista a 3.00 m de la orilla del pavimento y espaciadas a cada 60 m promedio en color blanco excepto en los últimos 600 m ó una longitud igual a la mitad de la pista en color amarillo Figura (20).

##### d).-LUCES DE EJE DE PISTA:

Instaladas en pistas de visibilidad mínima (de 402 m) serán colocadas a 22.50 m del umbral y espaciados a 7.50 m a lo largo del eje de la pista, son de color blanco excepto en los últimos 900 m, de los cuales 600 m llevan luces alternadas rojo y blanco y los 300 m adicionales serán de tono rojo Figura (20).

##### e).-LUCES DE UMBRAL:

Son de color verde y se instalan en los umbrales de la pista el número de unidades luminosas estarán en función de la categoría del aeropuerto Figura (20).

##### f).-LUCES DE BORDE DE CALLE DE RODAJE:

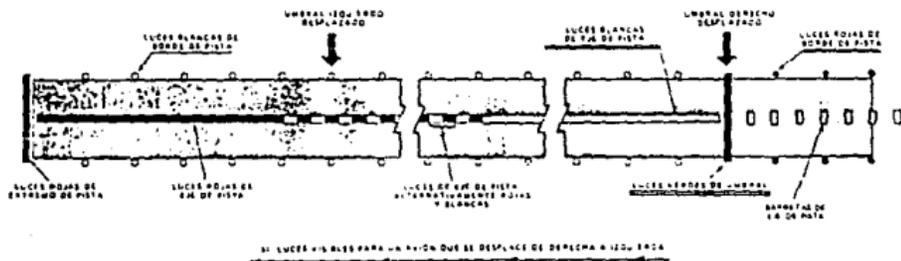
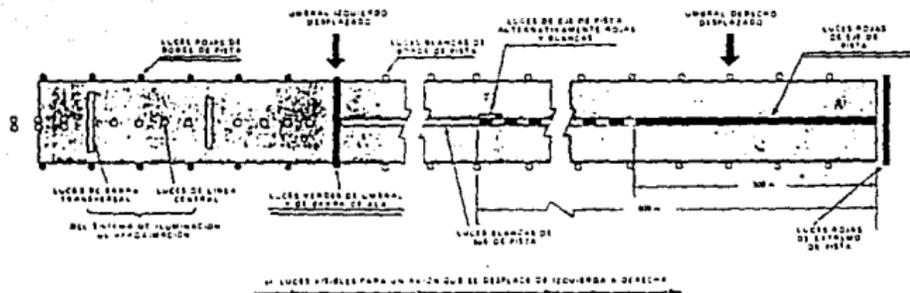
Son de color azul y se instalan a 3 m del borde del pavimento de la calle de rodaje y a una separación promedio de 60 m y en curvas y gotas de retorno de la pista en la cantidad necesaria para señalarlas Figura (21).

##### g).-LUCES DE EJE DE CALLES DE RODAJE:

Son rasantes en color verde señalan los ejes de las calles de rodaje en aquellos aeropuertos donde las condiciones de visibilidad son restringidas y se instalan a una separación de 30 m Figura (21).

##### h).-LUCES DE APROXIMACION:

Es un sistema de luces integradas en barras perpendiculares



EN ESTOS EJEMPLOS SE MUESTRA LA ILUMINACION DE UNA PISTA QUE TIENE SU UMBRAL DESPLAZADO EN UNO DE SUS EXTREMOS Y QUE DISPONE DE UN SISTEMA DE ILUMINACION DE PASADIZO PARA LA DISTRIBUCION DE LA CIRCULACION QUE SOBRA AL UMBRAL DESPLAZADO DE LA CIRCULACION.

Fig 20 Iluminación de pista ( De borde, eje y umbral ).

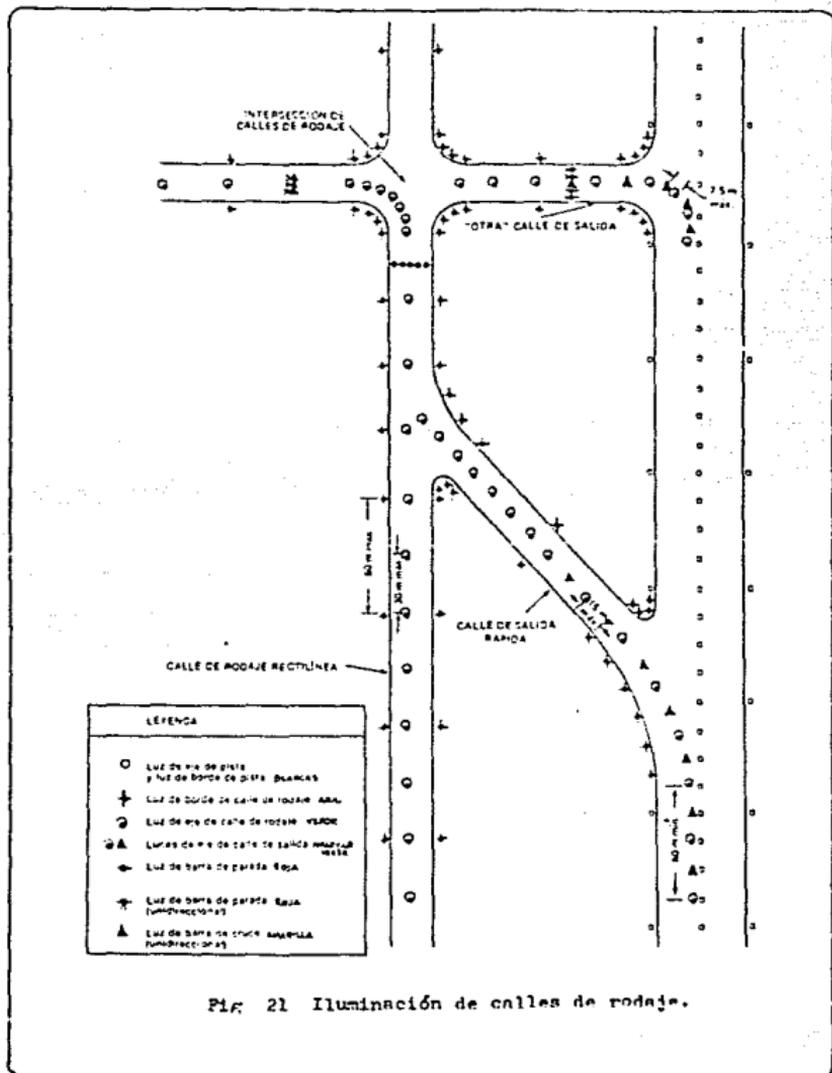
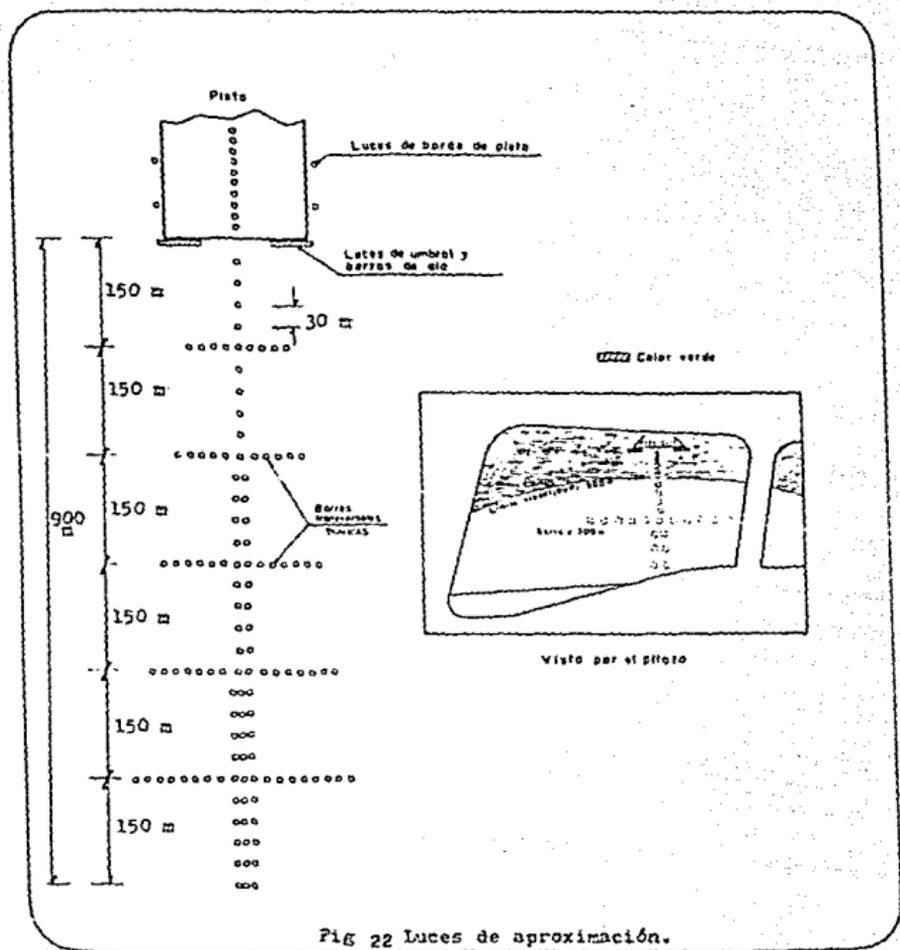


Fig. 21 Iluminación de calles de rodaje.



al eje de la pista colocadas a cada 30 m en una longitud de 900 m colocadas en los extremos de la pista, las luces son de color blanco y el destello de las mismas indica la dirección de la aproximación Figura (22).

i).-SISTEMA INDICADOR DE TRAYECTORIA DE APROXIMACION VASI O PAPI.

Estos sistemas indican la pendiente de aproximación en las operaciones de aterrizaje de los aviones, a través de una combinación de colores blanco y rojo de las lámparas y son utilizadas en operaciones diurnas ó nocturnas y se encuentran instaladas los PAPI a 300 m del umbral de la pista y los VASI a partir de los 150 m del umbral a los lados en el sentido de la aproximación Figura (23).

j).-COMO DE VIENTOS:

Indica la dirección del viento y se localiza en el centro geométrico del aeropuerto ó a 600 m del umbral de la pista y a 75 m del eje de la pista; esta formado por un fuste que soporta una manta en forma de cono, identificado en color blanco ó naranja iluminado Figura (24).

SEÑALAMIENTO CON PINTURA.

Por lo que refiere al señalamiento con pintura, éste puede dividirse en señalamiento horizontal y señalamiento vertical; y que permiten identificar los elementos del aeropuerto.

Dentro del señalamiento horizontal se tiene:

a).-SEÑAL DESIGNADORA DE PISTA:

Son marcas con pintura color blanco colocadas en las cabeceras de la pista indicando con dos dígitos el azimut de su eje respecto al norte magnético Figura (25).

b).-SEÑAL DE EJE DE PISTA:

Son marcas con pintura color blanco a lo largo del eje de la pista en forma de líneas interrumpidas, con dimensiones adecuadas para ser identificadas desde el aire Figura (25).

3.-SEÑAL DE UMBRAL:

Son barras con pintura en color blanco colocadas a lo ancho

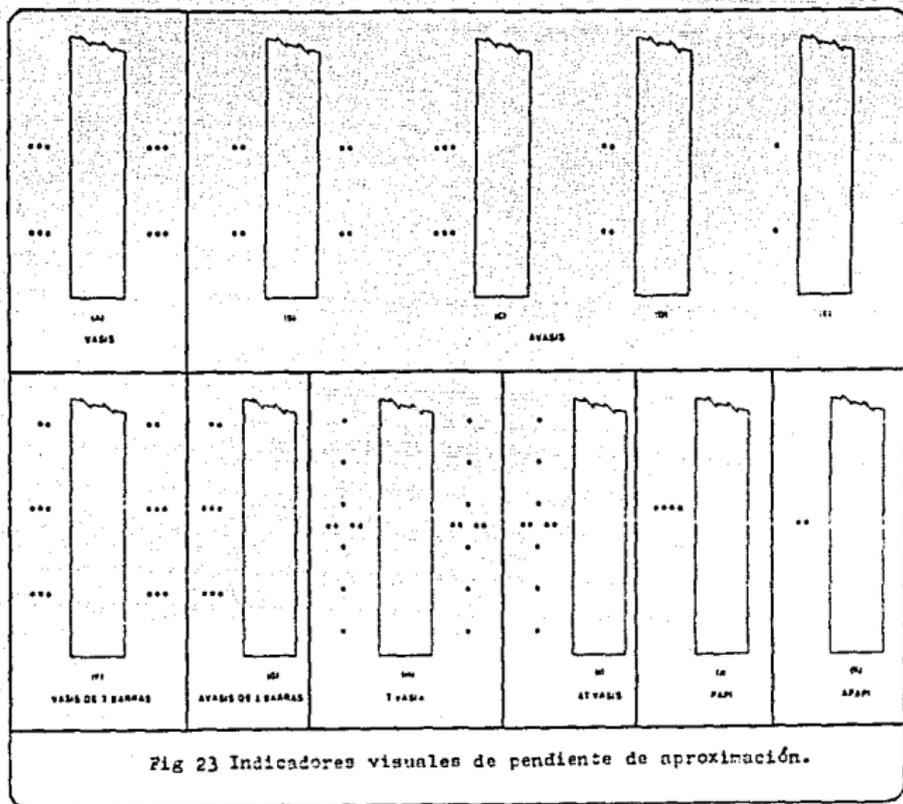


Fig 23 Indicadores visuales de pendiente de aproximación.

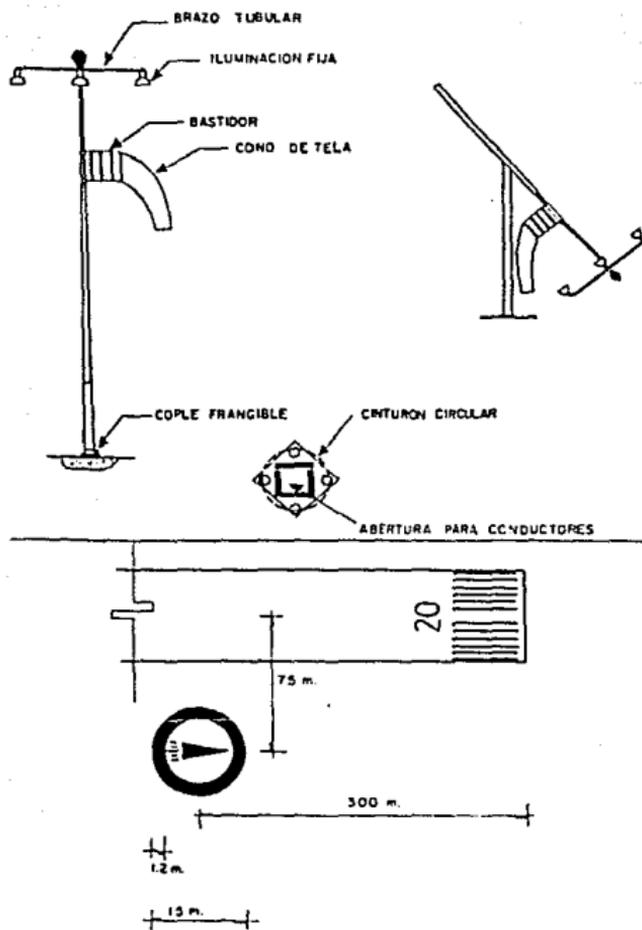
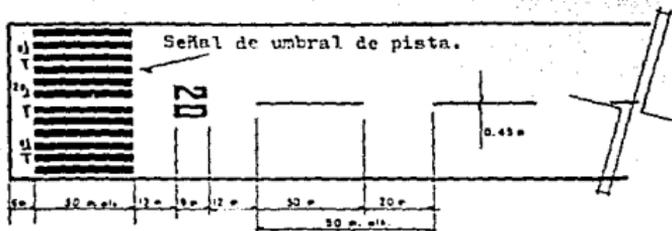
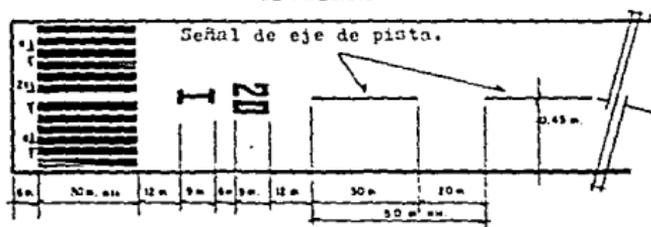


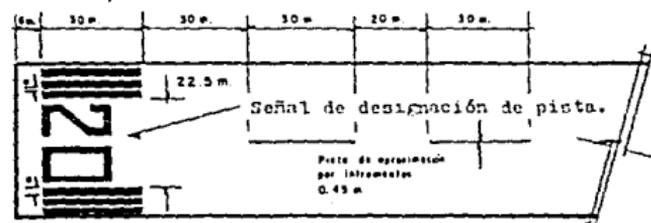
Fig 24 Cono de viento.



A-PISTAS GENERALES Y TODAS LAS PISTAS PARA APROXIMACIONES DE PRECISION



B-PISTAS PARALELAS



C-CONFIGURACION OPCIONAL

Fig 25 Señales de designación de pista, de eje y de umbral

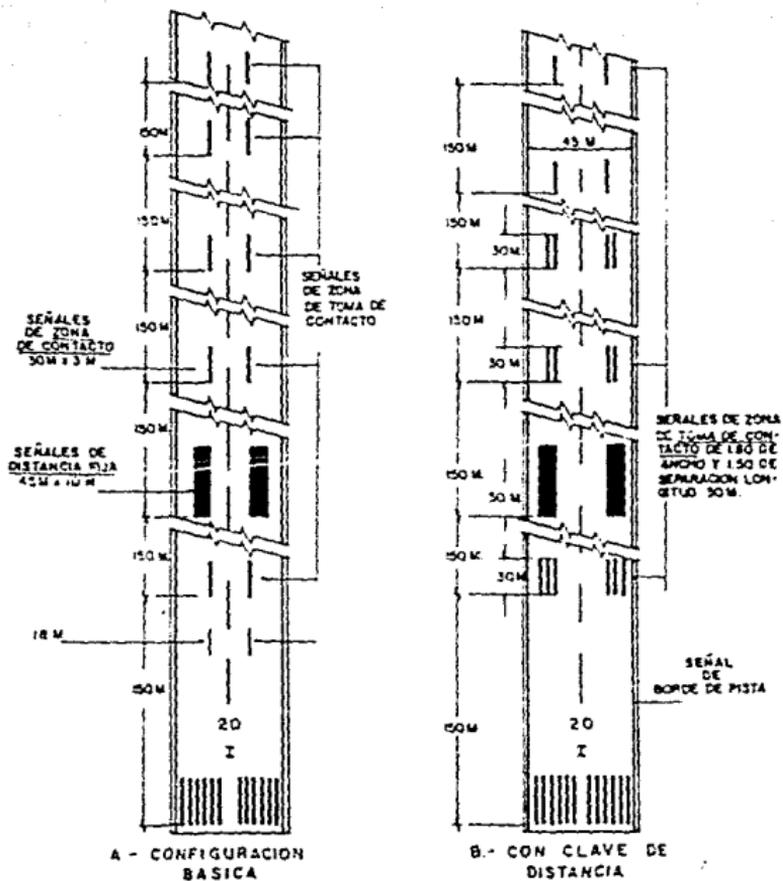


Fig 26 Señales de toma de contacto, distancia fija y borde de pista.

de la pista con dimensiones y separaciones apropiadas para su fácil visualización desde el aire Figura (25).

4.-SEÑAL DE DISTANCIA FIJA:

Son barras de pintura en color blanco sobre la pista, en número hasta de tres y a los lados de su eje y que permiten al piloto apreciar la longitud de pista disponible para el aterrizaje Figura (26).

5.-SEÑAL DE TOMA DE CONTACTO:

Son barras de pintura en color blanco localizadas en la zona donde el avión debe hacer contacto aterrizar Figura (26).

6.-SEÑAL DE BORDE DE PISTA:

Son líneas color blanco pintadas a cada lado de la pista y a lo largo de la misma Figura (26).

7.-SEÑAL DE EJE DE CALLE DE RODAJE:

Son señales con pintura en color amarillo que indican los diferentes puntos de espera en las calles de rodaje que deben conservar las aeronaves en su llegada ó salida Figura (27).

8.-SEÑAL DE INTERSECCION DE CALLES DE RODAJE:

Es una línea en color amarillo que se pinta a una distancia de tal manera que permita el cruce de aeronaves en la intersección de dos calles de rodaje Figura (27).

9.-SEÑALES EN PLATAFORMA:

Son líneas pintadas en color amarillo sobre la superficie de la plataforma que indican la entrada, virajes y salidas de las aeronaves Figura (28).

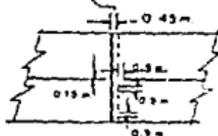
10.-SEÑAL DE BORDE DE PLATAFORMA:

Son líneas con pintura en color rojo discontinuas y en cada claro discontinuo una tableta reflejante para señalar la separación de la zona de operaciones de las aeronaves y la destinada al uso de los vehículos terrestres y equipos de servicio.

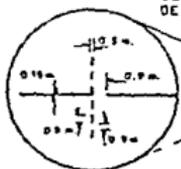
SEÑALAMIENTO VERTICAL.

Para el señalamiento vertical, generalmente son utilizados letreros con información alusiva a las instalaciones y restricciones dentro del aeropuerto. Dentro de estos letreros se tienen los obligatorios y los informativos.

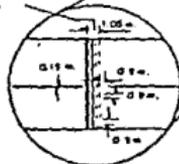
2 LINEAS Y 1 ESPACIO  
A 0.15 m. CADA UNO



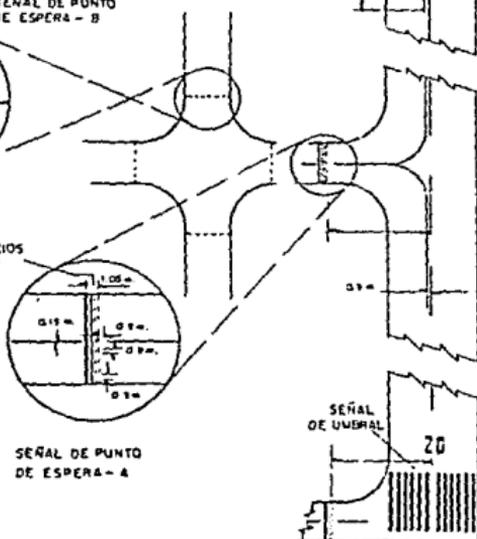
SEÑAL DE PUNTO  
DE ESPERA - B



4 LINEAS Y 3 ESPACIOS  
A 0.15 m. CADA UNO



SEÑAL DE PUNTO  
DE ESPERA - A



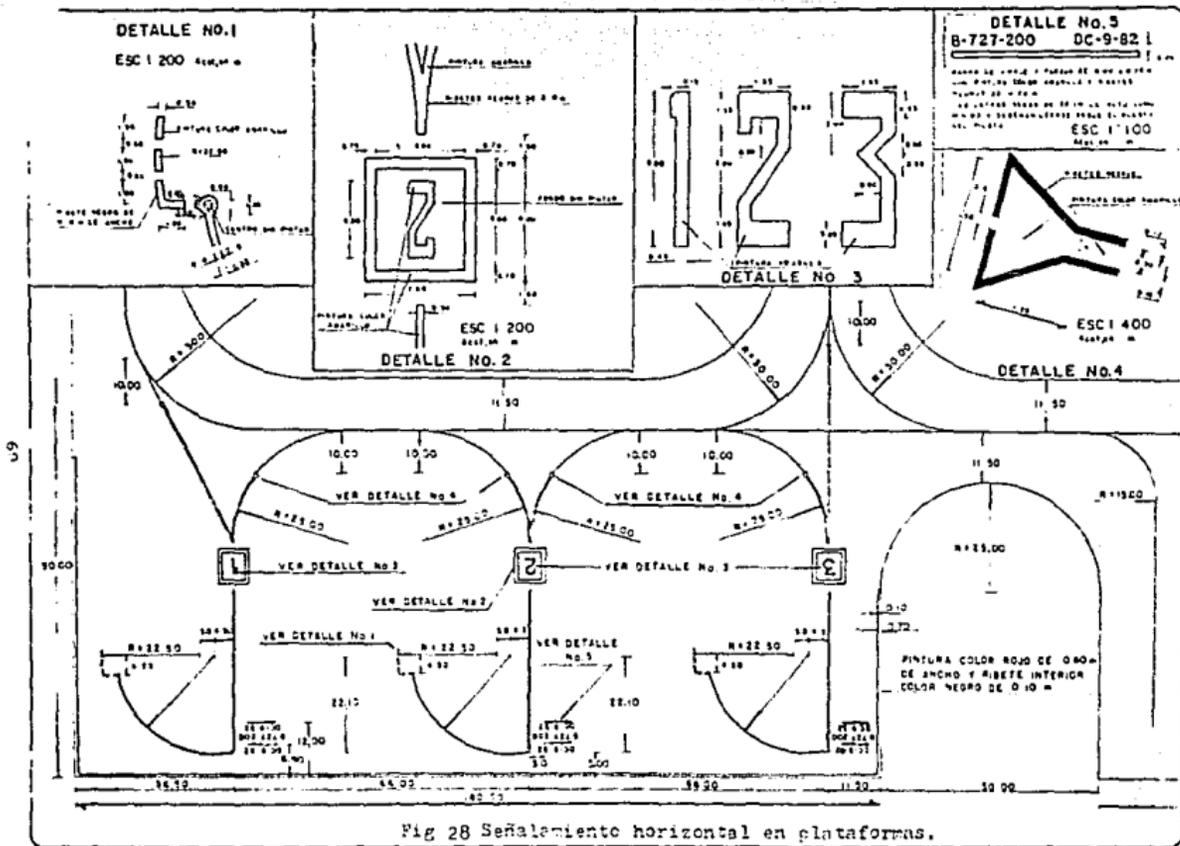
CALLE DE RODAJE  
QUE NO ESTA EN  
ANGULO RECTO  
CON LA PISTA

CALLE DE RODAJE  
PERPENDICULAR A  
LA PISTA

SEÑAL DE UMBRAL  
20

CALLE DE RODAJE  
EN EL EXTREMO  
DE LA PISTA

Fig 27 Señales de calle de rodaje.



El señalamiento obligatorio es cuando se desea comunicar alguna instrucción como avisos de parada, prohibiciones de entrada, puntos de espera, intersección de calles de rodaje etc., generalmente son letreros de forma rectangular y con dimensiones apropiadas para ser vistos claramente.

Los letreros informativos son utilizados para indentificar algun elemento del aeropuerto, designar las pistas, las calles de rodaje, la intersección de calles de rodaje con pistas ó intersecciones entre calles de rodaje.

Existen letreros de punto de destino que se utilizan para señalar la dirección que se ha de seguir para llegar a una pista, a las plataformas, a calles de rodaje o al edificio terminal.

En estos letreros los colores usados son de fondo amarillo y letras negras a excepción del letrero que designa las pistas que es de fondo rojo con inscripciones en blanco plateado Figura (29).

#### E) SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLES.

El abastecimiento de combustible en los aeropuertos reviste importancia particular que hay que tener presente al proyectar las instalaciones y servicios aeroportuarios, ya que es preciso satisfacer ciertas condiciones de seguridad establecidas, debido a posibles riesgos de incendio la reduccion de los tiempos de ocupación en puestos de estacionamiento de las aeronaves.

Conviene también minimizar los aspectos adversos que amenazan al medio ambiente, atribuibles a las pérdidas y derrames de combustible así como sus emanaciones, que con el viento, pueden desplazarse distancias considerables a lo largo del terreno y acumularse en depresiones, de las que no se disipa con facilidad es pues, necesario investigar las zonas pobladas que circundan al aeropuerto y las direcciones de los vientos prevalectientes.

Las aeronaves normalmente se abastecen de combustibles en sus puestos de estacionamiento, ya sea en puntos próximos al edificio terminal o en puntos remotos, mediante vehiculos cisterna, ó

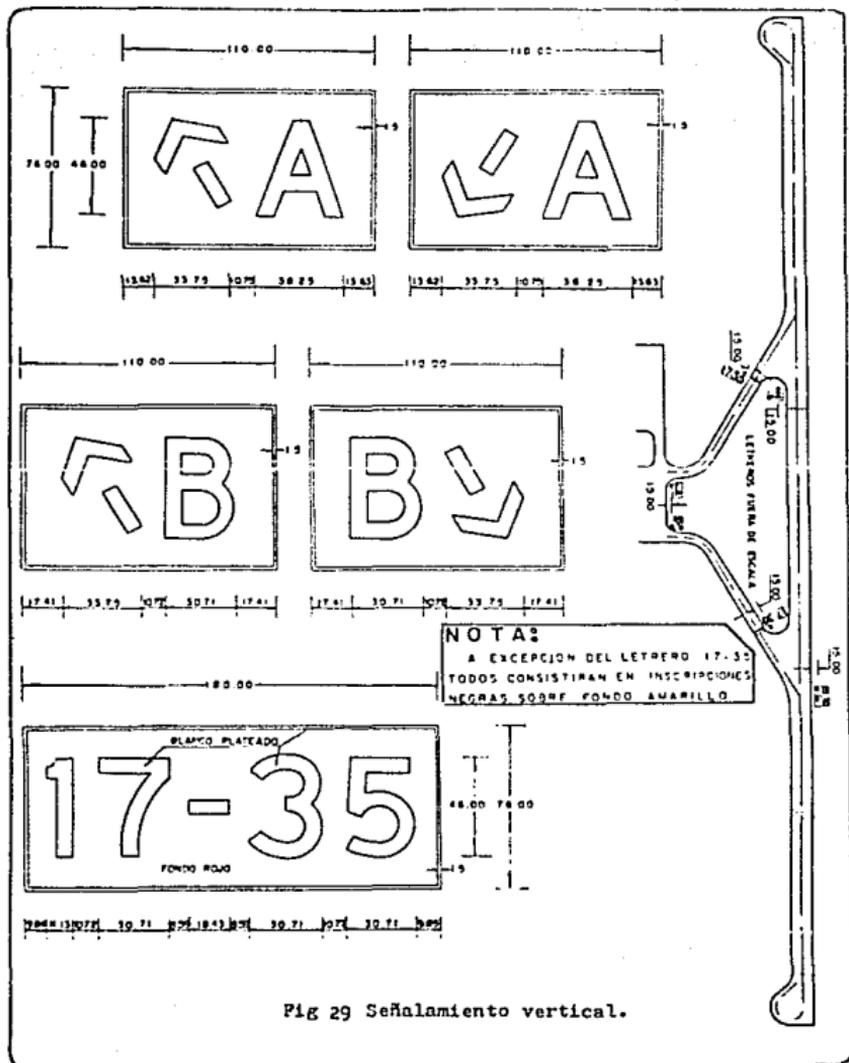


Fig 29 Señalamiento vertical.

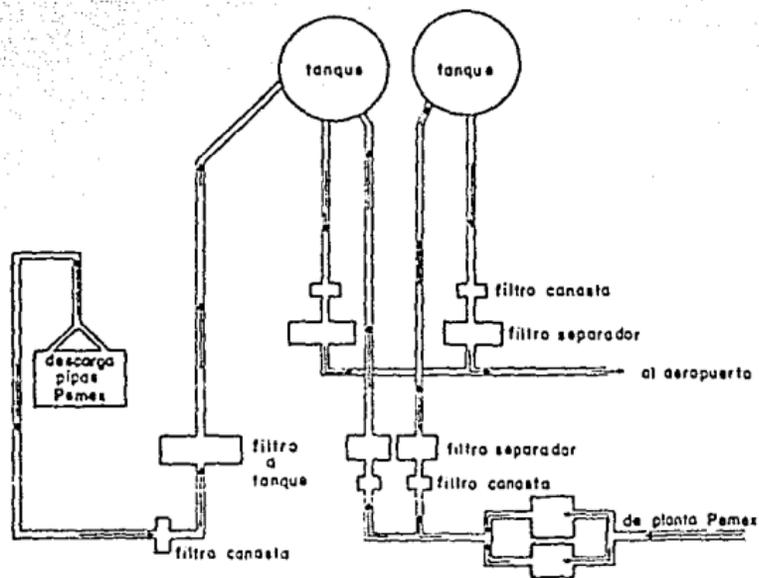


Fig 30 Esquema de instalaciones de combustible.

mediante bocas de toma empotradas en el suelo (hidrantes). El sistema seleccionado y su capacidad deberá estar de acuerdo al pronóstico de aeronaves.

En el caso de utilizar camiones cisterna con capacidad reducida, de aproximadamente 30,300 litros afectan las actividades en plataforma, por ejemplo para abastecer un Boeing 747 con capacidad de 94,250 litros traería como consecuencia el uso de varios camiones bajo estas circunstancias es, conveniente instalar oleoductos por debajo de la plataforma para llevar combustible hasta los puestos de estacionamiento, donde existirán bocas de salida y contadores requiriéndose únicamente un pequeño vehículo motorizado para conectar las salidas de los hidrantes a las aeronaves. Este sistema de aprovisionamiento es continuo y seguro durante todo el tiempo y el número de hidrantes requerido en la plataforma depende del número de aeronaves y tipos de combustible que generalmente son: Gasavión en sus dos modalidades Gasavión 80-87 (octanos), para aviones pequeños y Gasavión 100-130 (octanos), usado en avionetas, y aviones DC-6 y Turbosina (jet A-1) que es utilizado en las aeronaves de reacción. El esquema de la instalación de combustibles la podemos ver en la Figura (30).

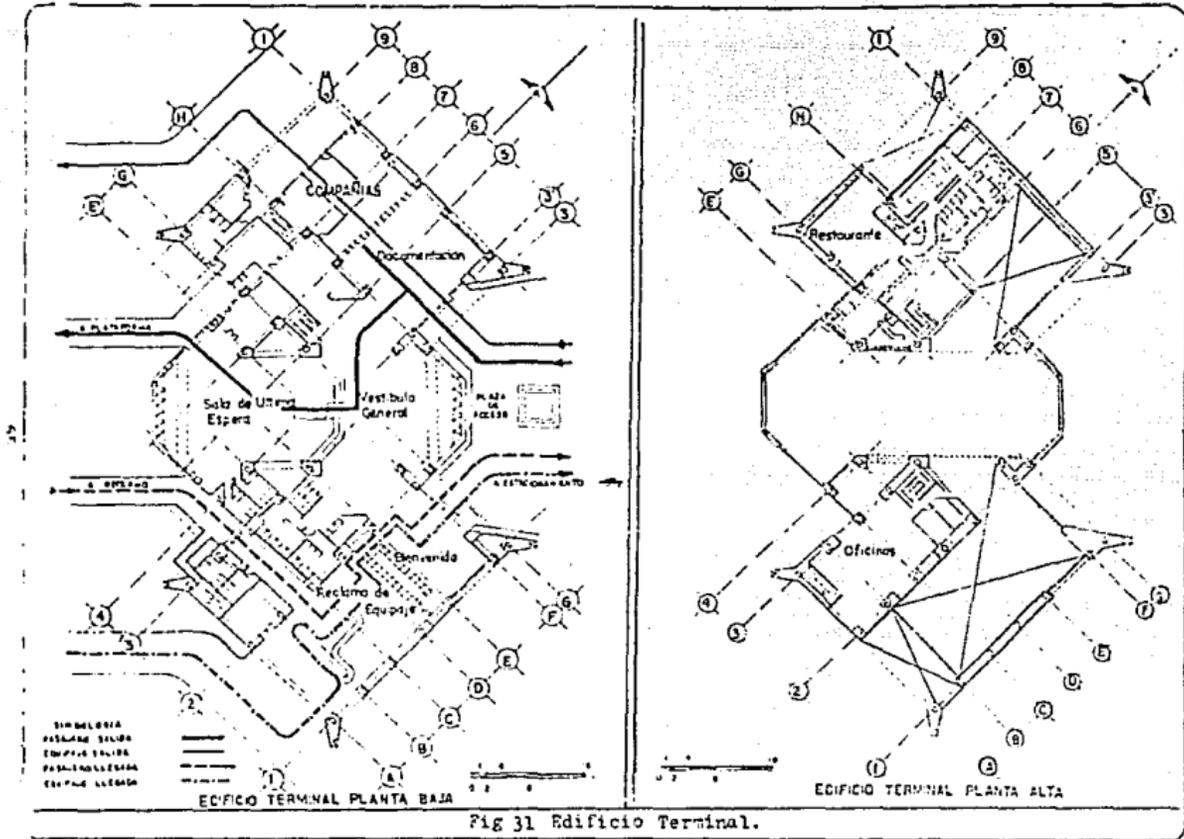
#### 3.4.- SISTEMA ZONA TERMINAL.

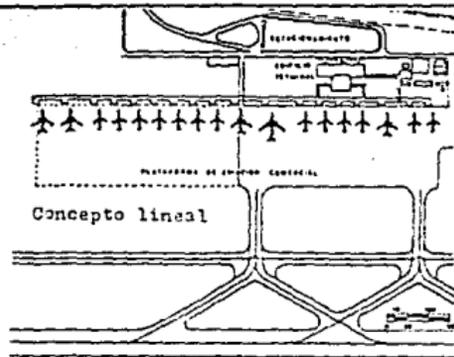
En el se encuentran los Edificios principales de un aeropuerto que son: Edificio de Pasajeros, Torre de Control, Edificios Anexos para casa de máquinas y de personal técnico y Edificio del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios.

##### A) EDIFICIO TERMINAL.

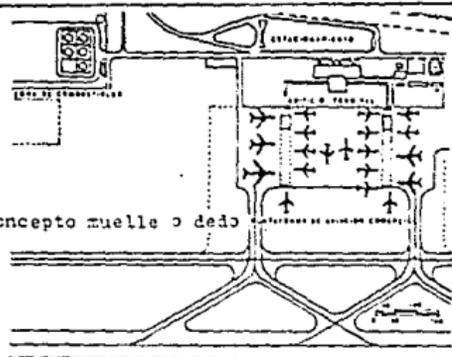
Este edificio es el punto de transición entre los medios de transporte, aéreo y terrestre, diseñado para llevar a cabo las operaciones de embarque y desembarque de equipaje, mercancías y pasajeros; esta provisto de instalaciones para alojar al personal administrativo Figura (31).

Para determinar su geometría se han desarrollado conceptos para lograr una mejor respuesta de integración de la zona aeronáutica con la zona de proceso de pasajeros, administración y mantenimiento. Estos conceptos son fundamentales en el diseño y

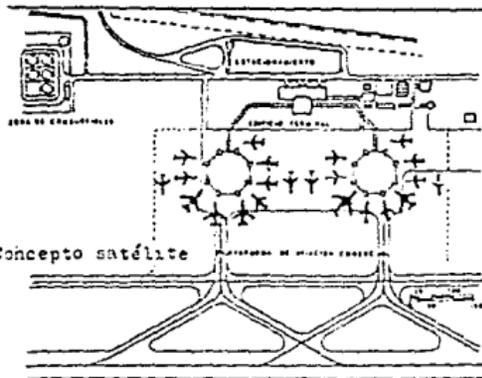




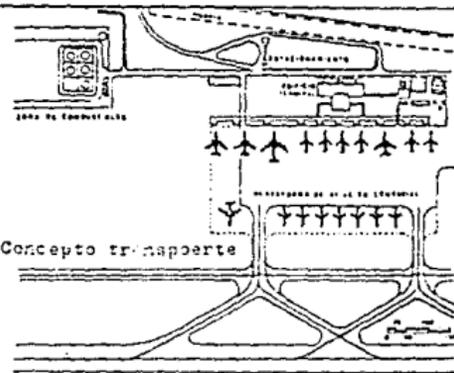
Concepto lineal



Concepto muelle o dedo



Concepto satélite



Concepto transporte

Fig. 32 Conceptos básicos de terminal: lineal, muelle, satélite y vehicular.

planeación del area terminal y los errores en su determinación o en sus variantes acarrearán costosos ajustes y obras ineficientes con problemas en la operación y procesamiento de pasajeros, la configuración del Edificio Terminal esta ligada con la forma de estacionamiento de las aeronaves en Plataforma.

Estos conceptos fundamentales son: De CONFIGURACION LINEAL, MUELLE, SATELITE y TRANSPORTE; Figuras (32).

#### 1.-CONCEPTO LINEAL:

Es la distribución más común donde, las aeronaves se estacionan en forma perpendicular al edificio terminal, es la adecuada cuando el número de aeronaves estacionados no es mayor de 5; cuando se rebasa esta cifra se incrementan las distancias que los pasajeros tienen que recorrer y disminuyedo la calidad del servicio. Sin embargo si se construye un edificio terminal que permita pasar del estacionamiento a la aeronave en forma lineal reduciéndose las distancias de caminata se mejora notablemente la capacidad de las instalaciones y el nivel de servicio.

#### 2.-CONCEPTO MUELLE O DEDO:

Aquí las aeronaves se estacionan a lo largo de una sala de espera que tiene forma de muelle o dedo el cual puede salir perpendicular, paralelo u oblicuo del edificio terminal, y a lo largo del cual se acomodan las aeronaves; la circulación del pasajeros se realiza a lo largo del eje del dedo, donde se dispone de servicios y espacios de circulación para la llegada y salida y accesos a la zona terminal de la base del conector. Pueden diseñarse dos ó más dedos ó andenes, con el espacio suficiente entre ellos en plataforma y preveer la circulación y maniobras sin problemas ni demoras.

#### 3.-CONCEPTO SATELITE:

Este concepto consiste en un edificio separado del edificio terminal conectado por andenes superficiales al mismo nivel, bajo tierra ó con conectores sobre el nivel de plataforma.

Aquí las aeronaves se estacionan en posición radial, y el diseño del edificio debe considerar la división de las áreas para

reunión de pasajeros de salida y las de pasajeros de llegada.

Para abordar las aeronaves pueden emplearse los sistemas mecánicos para llevar a los pasajeros y su equipaje.

#### 4.-CONCEPTO TRANSPORTE:

En este concepto la aeronave está alejada del edificio terminal y el servicio de conexión para salida y llegada entre pasajeros y aeronave y edificio es por medio de un transporte vehicular.

Cuando existe una gran actividad se necesita un mayor número de vehículos por esta razón se conforman salas de espera en el edificio terminal para la salida de pasajeros.

Su ventaja es que proporciona estacionamiento adicional para las posiciones de aeronaves no previstas (vuelos charter) y reduce distancias para las caminatas del pasajero.

Este tipo de edificio terminal hace necesarias ciertas instalaciones para el tratamiento del pasajero según la etapa en que se encuentren que son :

#### Conexión con los accesos:

Donde se tienen las aceras de llegada y salida para los pasajeros que utilizan el automóvil como modo de acceso al aeropuerto así como las conexiones que deben existir entre el edificio terminal y los estacionamientos de transportes terrestres que utilizan los pasajeros.

Las instalaciones para llegada y salida de pasajeros que utilizan transportes colectivos al aeropuerto, tales como paradas de autobuses y terminales de transporte colectivo.

#### Tramitación de documentos:

Para atender a los pasajeros deben preverse de mostradores para la expedición de boletos y facturación de equipaje de las líneas aéreas, lo mismo para actividades de seguridad, aduanas, sanidad y migración; instalaciones para reclamo de equipaje y espacio suficiente para la circulación de pasajeros, salas de espera, descanso, esparcimientos, comercios, teléfonos, correos, reservación de hoteles, anunciadores de vuelos, instalaciones para consumo de alimentos y bebidas, puestos de periódicos, bancos, alquiler de autos e instalaciones para visitantes, etc..

#### Conexión con el vuelo:

En esta parte es necesario disponer del espacio suficiente para reunir a los pasajeros ante las puertas de salida del avión, escaleras mecánicas, autobuses o cualquier otro medio de comunicación interna, como pasarelas telescópicas corredores y zonas de espera. además de tenerse los espacios suficientes para las compañías aéreas, y las destinadas a la administración del aeropuerto y funciones de gobierno.

#### B) EDIFICIOS ANEXOS A LA TORRE DE CONTROL.

##### 1.- EDIFICIO ANEXO PARA OFICINAS:

Donde se llevará a cabo actividades administrativas y de apoyo a las operaciones realizadas en la Torre de Control, el organismo que opera este edificio es el SENEAM, y en el se ubican las instalaciones para equipos de radiocomunicación, telex y meteorología.

##### 2.- EDIFICIO ANEXO DE MAQUINAS:

Destinado a manejar las subestaciones de energía eléctrica para los servicios del SENEAM, y las ayudas visuales. De este edificio se alimentan las instalaciones eléctricas para las ayudas a la navegación aérea.

#### C) TORRE DE CONTROL.

La torre de control por su funcionamiento es uno de los edificios más importantes dentro del conjunto aeroportuario, ya que la mayoría de las actividades desarrolladas en él, giran alrededor de la torre de control la cual controla el despegue y aterrizaje de los aviones, el tránsito de éstos por las calles de rodaje y plataforma.

La Torre de Control se compone de un basamento en la zona de acceso, un fuste que soporta el peso de la subcabina y la cabina, en el se tiene el elevador y escaleras, dependiendo de la forma que se de a la Torre, de las condiciones de rigidez que se requieran por peso propio, viento ó sismo, los fustes podrán adoptar una sección de forma cuadrada, pentagonal, hexagonal,

circular etc.. ó especiales segun lo indique el proyecto por razones estructurales ó estéticas.

En la subcabina se encuentran los siguientes dispositivos que controlan el funcionamiento de los equipos:

- Gabinets con transmisores y receptores.
- Gabinets de comunicaciones y meteorología.
- Grabadora.
- Gabinete de un radio de enlace multicanal.

En la cabina se tienen los controladores de tráfico aéreo y los equipos utilizados como son:

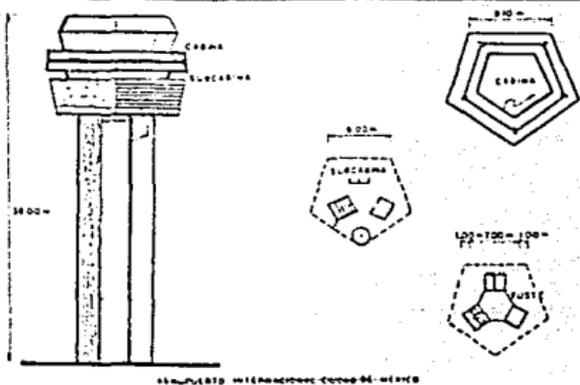
- Consola de control de canales de radio, frecuencia e intercomunicación.
- Consola de control meteorológico.
- Consola de control de ayudas visuales, donde se controlan las luces de borde de pista, PAPI, Cono de Vientos etc..
- Pistola de señales.

La altura de estas Torres están definida de acuerdo al tipo de aeropuerto, así para un aeropuerto de largo alcance, Figura (33) tendrá una altura visual de 36 m, en control visual del espacio aéreo circundante del aeropuerto y control de la pista, plataformas y área terminal. Para uno de corto alcance Figura (33) se tendrá una altura visual de 10.4. m, con dominio visual absoluto de las cabeceras de la pista. Aunque el equipo en términos generales es el mismo, este se ve aumentado en capacidad y los sistemas de seguridad se multiplican de acuerdo a la importancia del aeropuerto.

#### D) EDIFICIO DEL CUERPO DE RESCATE Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

##### (CREI)

Este edificio está destinado a alojar los equipos de bomberos y su personal, dotado de los servicios e instalaciones apropiados para producir un ambiente agradable a sus ocupantes y el espacio mínimo para satisfacer las necesidades requeridas por el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI), Figura (34).



Torre de control. Aeropuerto de largo alcance

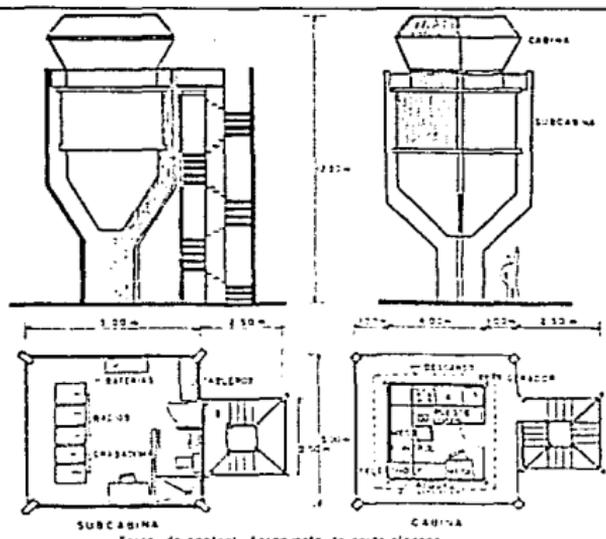


Fig 33 Torres de control de corto y largo alcance.

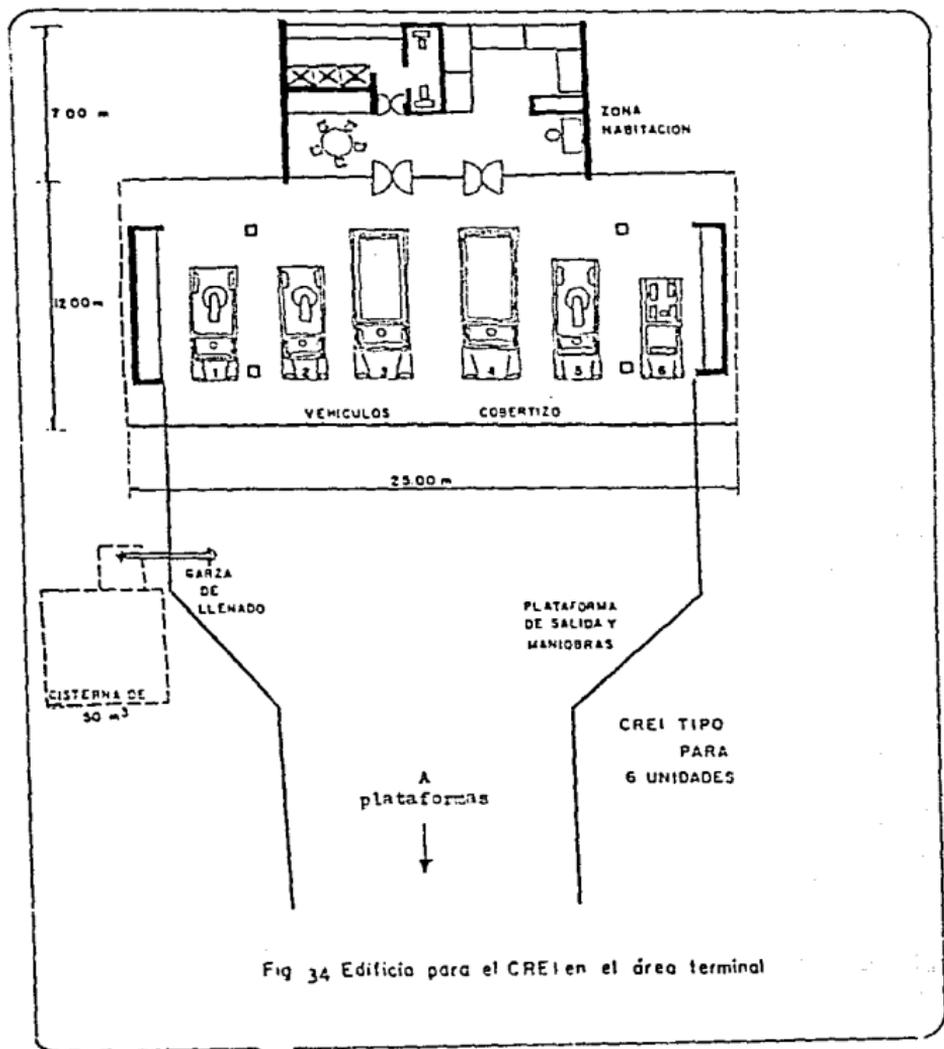


Fig 34 Edificio para el CREI en el área terminal

El edificio consta de dos cuerpos, uno para alojar al personal construido en dos plantas con estructura de concreto armado, y en él encontramos la oficina del comandante, los dormitorios, una sala de estar, una cocineta y el área destinada a guardar objetos de uso común, sanitarios, regaderas y vestidores.

El otro es un cobertizo sobre el estacionamiento de los vehículos para emergencias. Este cobertizo es de tipo industrial, con altura suficiente para el alojamiento de las unidades de rescate y estará totalmente abierto en la zona de salida de las unidades, ligándose al cuartel por la parte posterior.

Los vehículos utilizados en esta actividad son generalmente:

Dos unidades extintoras (Yankee Walter, John Beam).

Dos unidades de rescate (Unimog, Ambulancia).

Una unidad de apoyo (cisterna).

Una unidad de limpieza (barredora).

### 3.5.- SISTEMA TERRESTRE.

Este sistema esta constituido básicamente por un camino de acceso al aeropuerto y un sistema de vialidad para la circulación y estacionamiento de vehículos, y el camino perimetral dentro de sus límites para actividades de mantenimiento.

#### CAMINO DE ACCESO.

Las formas de acceso al aeropuerto pueden realizarse de diferentes maneras: transporte terrestre (automóvil, autobus, trenes ó transporte naval (poco frecuente).

En la mayor parte de los aeropuertos, el transporte terrestre se efectúa en automóvil particular principalmente, y por medio de transporte público, con predominio de taxis y autobuses, de éstos el que más se utiliza en todo el mundo es el automóvil y se espera que continuará de esa forma por más tiempo. Por consiguiente la

vía más solicitada será la carretera.

Dependiendo de la ubicación del aeropuerto, se puede requerir la construcción total de un camino de acceso, cuando no se cuente con otra vía entre el punto generador de tráfico aéreo y el aeropuerto, o bien puede requerirse de la construcción parcial del camino de acceso cuando exista una vía que pase cerca de la localización del aeropuerto. Para este caso, se deberán aprovechar los caminos vecinales y reducir así los costos de construcción, previéndose la capacidad del acceso en las horas pico para que no cause grandes trastornos y que el aeropuerto incremente dicho flujo en ese tramo.

Deberán cuidarse las tendencias de crecimiento de la ciudad, dado que éstas presentan una gran inclinación por crecer en dirección de los polos de desarrollo y el aeropuerto es uno de ellos.

La premisa básica para el diseño del camino de acceso, es que deberá reducir al máximo el tiempo de viaje para llegar al aeropuerto, para cumplir esto se debe proporcionar al camino una capacidad adecuada de tránsito y condiciones de seguridad con una buena señalización dentro de la localidad, y canalizar el flujo de vehículos por las vías más adecuadas y directas al aeropuerto.

### J.8.- SISTEMA DE DRENAJE.

Una parte importante de un aeropuerto que no debemos olvidar que existen son las estructuras de drenaje que tienen la función de desalojar en todo momento y en forma eficiente los volúmenes de escurrimiento aportados por lluvias en cualquier parte del aeropuerto tanto superficiales como subterráneas protegiendo a las estructuras del ataque del agua.

En el diseño de obras de drenaje existen dos tipos de problemas:

El primero debido al agua de lluvia que cae en el pavimento de las aeropistas, rodajes, zonas laterales, techos de los edificios así como los que aportan los servicios existentes en

el aeropuerto para lo cual se realiza mediante la construcción de cunetas, bordos, alcantarillas, puentes tubería y subdrenes los cuales se distribuyen en el aeropuerto y captan el agua almacenandola en grandes estanque retenedores desde los cuales puede regularse la descarga para apegarse a los requisitos ambientales o bien mediante lavaderos y desfogues laterales hacia las partes bajas del terraplen y hacia los cursos de drenaje natural.

El segundo que se refiere a que ocasionalmente las aeropistas, cruzan cauces de drenaje natural a los cuales se debe permitir su flujo y se necesita construir zanjas ó canales de intercepción los cuales transportan los gastos fuera del área del aeropuerto.

El problema de resolución del sistema de drenaje de un aeropuerto se planea atendiendo los pasos básicos de la Hidrología para obtener el gasto que se tendrá en las diferentes componentes del aeropuerto y la Hidráulica para dimensionar las estructuras de drenaje.

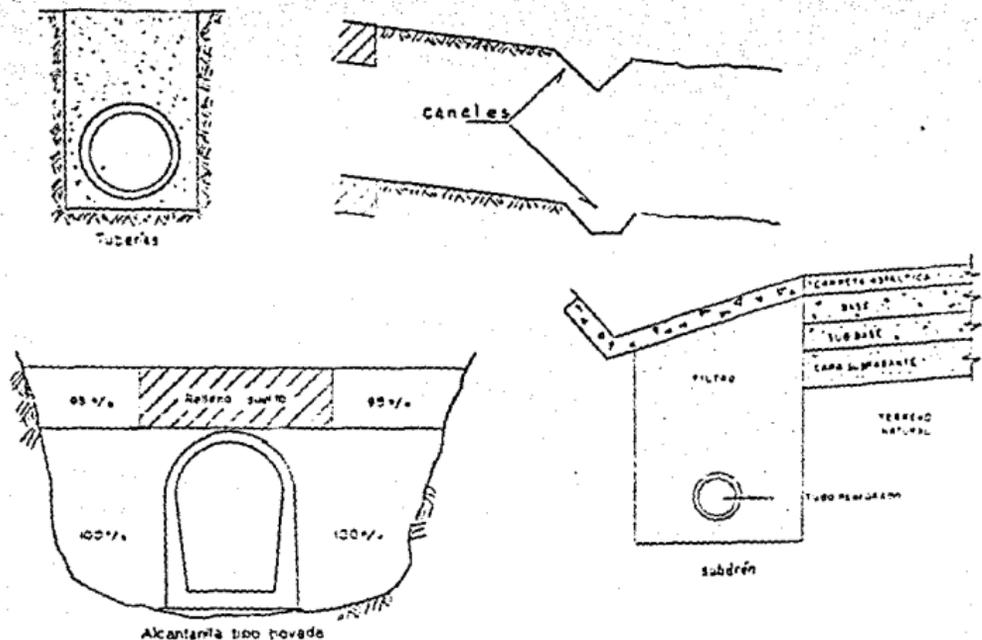


Fig 35 Obras de Drenaje.

## **CAPITULO IV**

### **CONTROL DE TRAFICO AEREO**

**4.1.- RUTAS AEREAS.**

**4.2.- CONTROL DE AERODROMO.**

**4.3.- CONTROL DE APROXIMACION.**

**4.4.- CONTROL DE AREA.**

**4.5.- AYUDAS A LA NAVEGACION.**

## CONTROL DE TRAFICO AEREO

### 4.1.- RUTAS AEREAS.

El incremento del número de operaciones aéreas ha traído como consecuencia la creación de un sistema de apoyo para el control del tráfico aéreo que permite controlar a las aeronaves desde tierra, optimizando de esta manera el uso del espacio aéreo, de aquí la importancia de conocer los equipos y mecanismos de control al proyectar las instalaciones y servicios de un aeropuerto. Los primeros pasos para reglamentar el control del tráfico aéreo fueron en 1922 bajo la dirección de la Sociedad de las Naciones Unidas creándose la Comisión Internacional para la Navegación Aérea (ICAN) y que posteriormente en 1944 pasó a ser la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que tenía en 1944, 147 países miembros quienes decidieron establecer un conjunto de reglas para el tráfico aéreo.

Para efectos de control, diremos que existen dos tipos fundamentales de vuelo: Vuelo Visual (VFR) y Vuelo Instrumental (IFR).

El primer caso consiste en que los vuelos se llevan a cabo únicamente por medios visuales propios del piloto bajo condiciones atmosféricas buenas; en cambio el vuelo instrumental se realiza en situaciones de visibilidad o techo de nubes por debajo de la altura permisible para un vuelo visual.

De ésta manera podemos decir que el control de tráfico aéreo propiamente dicho, se ofrece en condiciones de vuelo por instrumentos (IFR) en donde la separación entre aeronaves y su control es responsabilidad del personal de control de tráfico, que son los encargados de trazar y delimitar el sistema de RUTAS AEREAS ó AEROVIAS, Figura (36) los cuales son pasillos imaginarios en el aire, señalados adecuadamente con equipos de radiocomunicación y radar.

Actualmente el espacio aéreo, se encuentra dividido en rutas en el aire para reactores comerciales así como el destinado para aeronaves pequeñas de pistones ó de turbina Figura (37) estas rutas que frecuentemente son utilizadas por las aeronaves son: las aerovías Víctor y las Rutas para Reactores las cuales se encuentran en los manuales de vuelo y tienen su espacio perfectamente delimitado.

Las aerovías Víctor que comprenden el espacio desde la superficie terrestre hasta los 20,000 pies (6097 m), y las Rutas para Reactores tienen un espacio comprendido a partir de 20,000 pies (6097 m), y por arriba de éste, restringido únicamente por el alcance de las telecomunicaciones.

Para garantizar la seguridad en el vuelo de las aeronaves, se han establecido normas de separación, las cuales deben respetarse cuando se encuentran en el espacio aéreo y estarán de acuerdo al tipo de avión, su velocidad, el apoyo de radar y el efecto de torbellino que crean las aeronaves a su paso por el aire, estas separaciones son:

#### SEPARACION VERTICAL ENTRE AERONAVES:

Hasta una altitud de 29,000 pies (8850 m) la separación será de 300 m como mínimo, por encima de ésta altitud la separación mínima será de 600 m.

#### SEPARACION HORIZONTAL:

La separación horizontal esta condicionada a la presencia del radar, del equipo medidor de distancia (DME), a su velocidad y al viento.

Para cobertura de radar y estela turbulenta despreciable, la separación mínima entre dos aviones en la misma dirección y sentido a la misma altitud sera de 9 Km y entrando en un rango de

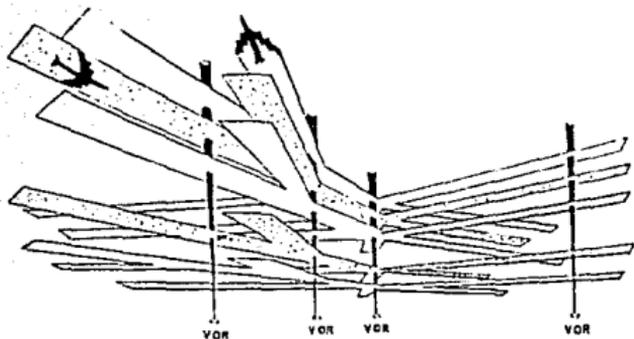


Fig 36 Rutas aéreas ó aerovías.

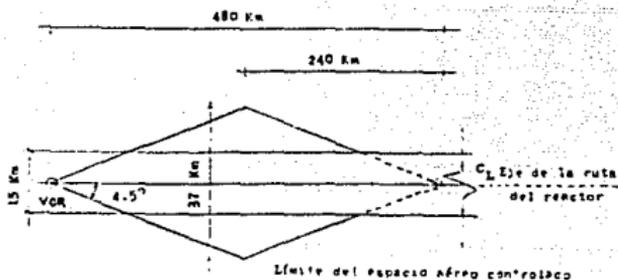


Fig 37 Ruta para reactores.

cobertura de radar de 74 Km de radio ésta distancia se puede reducir a 5.5 Km.

Para cobertura de radar con estala turbulenta importante, la separación mínima de un avión ligero que sigue a uno pesado es de 9 Km, para éste caso si los dos aviones son pesados la separación mínima será de 7.5 Km , y para el caso de que un avión pesado siga a uno ligero la separación mínima será de 5.5 Km.

Cuando no se tenga cobertura de radar y el avión no tenga equipo medidor de distancia (DME) las separaciones mínimas se expresaran en tiempo y son:

a) 3 minutos si el avión de adelante lleva una velocidad de 82 Km/hr mayor que el que le sigue.

b) 5 minutos si el avión de adelante desarrolla una velocidad de 41 Km/hr mayor que el que le sigue.

c) 10 minutos si los dos aviones desarrollan la misma velocidad.

Cuando no se tenga cobertura de radar pero si tengan equipo medidor de distancia las separaciones mínimas serán:

a) 9 Km si el avión de adelante desarrolla una velocidad de 82 Km/hr mayor que el que le sigue.

b) 18 Km si el de adelante desarrolla una velocidad de 41 Km/hr mayor que el que le sigue.

c) 36 Km si ambos llevan la misma velocidad.

Para el caso de vuelos sobre el mar con cobertura de radar podrá ser de 20 minutos.

#### SEPARACION LATERAL:

La mínima separación depende de la altura de vuelo.

a) Por debajo de 5400 m la separación mínima es de 15 Km.

b) Por encima de 5400 m la separación mínima es de 37 Km.

c) En vuelos sobre el mar está varia de 185 a 220 Km.

El control de tráfico aéreo se lleva a cabo mediante el Servicio de Control de Aeródromo; el Servicio de Control de Aproximación y los Servicios de Control de Area.

#### 4.2.- CONTROL DE AERODROMO.

Este servicio la proporcionan las torres de control cuando las aeronaves se encuentran volando en el espacio aéreo próximo al aeropuerto y a las que operan en las pistas, calles de rodaje y plataformas, dicho control comprende una área circular de 10 millas náuticas (18 Km) de radio y 2000 pies (609 m) sobre la superficie del terreno. La unidad de control encargada del tránsito de aviones en esta zona es el A.T.C. (Control de Tránsito Aéreo) que además vigila el movimiento de los vehículos y personas para evitar percances. Generalmente el volumen de tránsito que maneja una torre de control se encuentra entre 10 operaciones en aeropuertos de baja densidad hasta 523 operaciones en los de alta densidad.

#### 4.3.- CONTROL DE APROXIMACION.

Llamado también Area de Control Terminal y que se extiende desde los alrededores de la torre de control hasta una distancia de 50 millas náuticas (90 KM) de radio y 19,000 pies (5192 m) de altitud al N.M.M., aquí el controlador del tránsito aéreo procura que las aeronaves lleguen a su trayectoria final en forma ordenada, y con la separación adecuada y que el tránsito de salida sea conducido hacia las rutas aéreas previstas en el plan de vuelo.

Los centros de control de aproximación se coordinan con las torres de control y con otros centros de control, para intercambiar información, respecto a instrucciones o permisos relativos a la circulación dentro del espacio aéreo de cada jurisdicción.

#### 4.4.- CONTROL DE AREA.

Este servicio es responsable de controlar las aeronaves a lo largo de las rutas aéreas y comprende el espacio aéreo arriba de

20,000 pies (6097 m) y en una superficie de hasta 200 millas náuticas de radio (360 km), en la República Mexicana, estos centros de control se encuentran ubicados en 4 zonas diferentes para distribuir adecuadamente la carga de trabajo de los controladores.

#### 4.5.- AYUDAS A LA NAVEGACION.

El control de tráfico aéreo en la República Mexicana se lleva a cabo por el SENEAM (Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano) organismo que depende de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y que proporciona los Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano, estos servicios que ofrece son los siguientes:

##### 1.-Servicios de Despacho e Información de Vuelo.

Suministra el apoyo al piloto desde que éste acude a la oficina a formular su plan de vuelo, asesorándolo con informes meteorológicos, reportes de aerovías, altitudes de vuelo, características físicas de otros aeropuertos, procedimientos de emergencia, búsqueda y salvamento.

##### 2.-Servicio de Meteorología Aeronáutica.

Proporciona a los pilotos de líneas aéreas comerciales, y vuelos oficiales de aviación general, datos meteorológicos y el pronóstico climatológico de los aeropuertos y en las rutas aéreas; en este centro se dispone de toda la información meteorológica nacional y la proveniente del extranjero vía microondas desde Washington.

##### 3.-Servicios de Telecomunicaciones Aeronáuticas.

Este servicio tiene el objeto, de garantizar la comunicación de los informes necesarios para llevar a cabo la navegación aérea de acuerdo al plan de vuelo, contando con radioayudas para conducirlo a lo largo de su ruta con equipos como el VOR, DME, ILS, ..etc..

##### 4.-Servicio de Control de Tránsito Aéreo.

Su función principal consiste en mantener ordenadamente el vuelo de los aviones dividiendo el espacio aéreo mexicano en

cuatro regiones : México en la zona Centro, Monterrey en la zona Norte, Mazatlán en la zona Noroeste y Mérida en la zona Sur; además en cada región se lleva a cabo un control de área y un control de aproximación, este servicio es proporcionado desde el momento de despegue hasta el aterrizaje de las aeronaves.

El control de tránsito aéreo parte desde la formulación del plan de vuelo, donde se indica el destino, altitud de vuelo, separación respecto a otras aeronaves que recorren la misma ruta; aprobado el plan se transmite a las estaciones en tierra pudiendo ser susceptible de ser modificado en caso de fallas mecánicas ó tormentas, este control se lleva a cabo desde tierra, el cual puede ser actualizado de acuerdo a las necesidades, a lo que se llama ficha de progreso de vuelo, asignandole a cada piloto una determinada frecuencia de radio para establecer la comunicación fácil entre piloto y controlador.

Dependiendo del grado de precisión que se desee en las operaciones aéreas, las pistas se pueden clasificar por la existencia de los equipos utilizados para su control en:

- a) Pistas para vuelo visual.
- b) Pistas para vuelo por instrumentos.

En la Tabla (VIII) se dan las características y equipos de cada una de ellas:

Dentro de las ayudas a la navegación más comunes utilizadas para el control de tráfico aéreo en la República Mexicana se tienen las siguientes:

- a) VOR.

El cual es un radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia utilizado en la señalización de las rutas aéreas y en las operaciones de espera durante la etapa de aproximación por instrumentos, su buen funcionamiento es vigilado (monitoreado) desde la torre de control y permite dar el azimut del vuelo de los aviones para seguir un rumbo determinado. Figura (38). Para las aerovías Victor, la separación entre estaciones VOR podrá ser de menos de 190 km y un espacio aéreo comprendido a 75 km a cada lado del eje de la aerovía, en cambio para la Ruta de Reactores la separación máxima entre VORES podrá ser de 400 km con un espacio protegido de 37 km de ancho.

Tabla VII.- CLASIFICACION DE PISTAS DE ACUERDO A LOS EQUIPOS.

VUELO VISUAL	NO PRECISION :	
	Ayudas visuales.	
	Una radiocayuda (VOR,VOR/DME,NDB).	
	PRECISION :	
	-Categoria I.	
	ILS,MLS,PAR.	
	Ayudas visuales	Altura de decisión 60 m
		Alcance visual 800 m.
	-Categoria II.	
	ILS,MLS,PAR.	
	Ayudas visuales	Altura de decisión 30 m
		Alcance visual 400 m.
VUELO POR INSTRUMENTOS	-Categoria III.	
	ILS hasta la superficie de la pista y a	
	- lo largo de la misma.	
	RVR de 200 m.	
	a)< Sin altura de decisión aplicable.	
	Ayudas visuales durante el aterrizaje:	
	RVR de 200 m.	
	b)< Sin altura de decisión aplicable.	
	Ayudas visuales para el rodaje.	
	Operaciones en pistas y calles de	
	c)< rodaje, sin depender de referencias	
	visuales.	

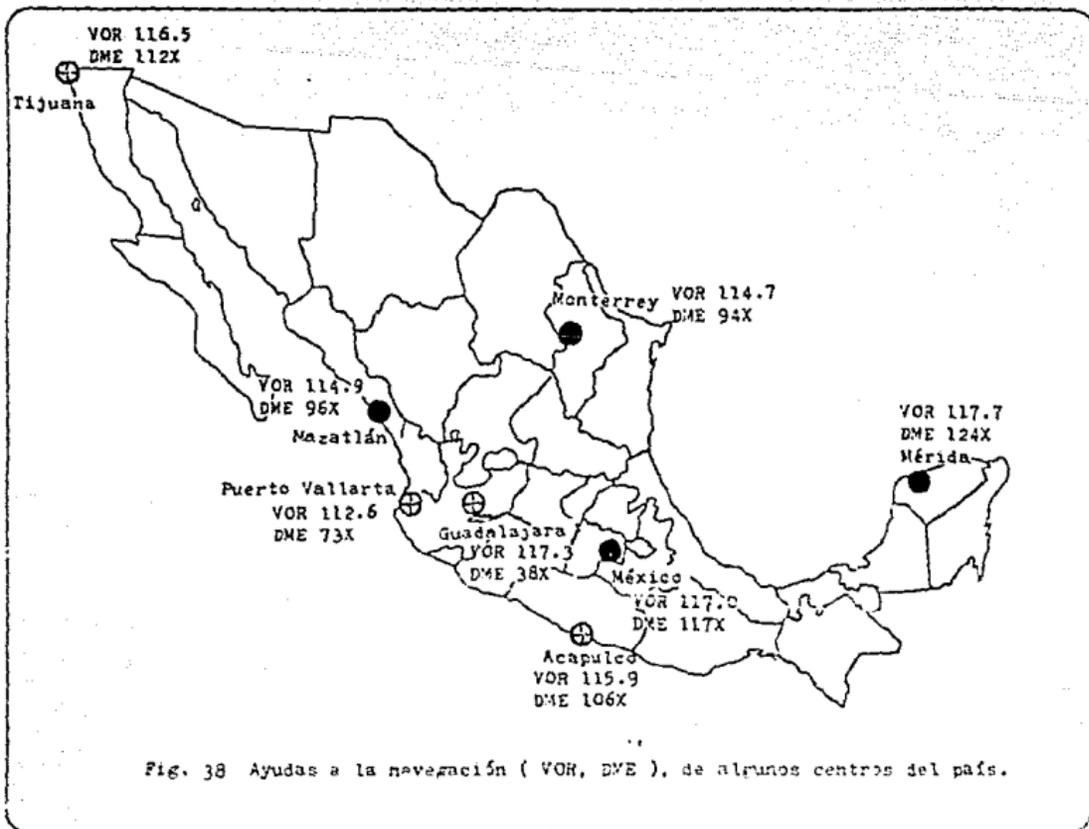


Fig. 38 Ayudas a la navegación ( VOR, DME ), de algunos centros del país.

b) DME.

El Equipo Medidor de Distancia es utilizado en combinación con el VOR, con el propósito de conocer la distancia existente entre la estación terrestre sintonizada y la aeronave. Este equipo en tierra tiene la capacidad de atender aproximadamente a 100 aeronaves simultáneamente. Figura (38).

c) ILS.

Es un sistema de radio, para el aterrizaje por instrumentos, que proporciona una senda de planeo con una pendiente de aproximación óptima, garantizando el descenso seguro bajo condiciones de visibilidad reducida, este sistema está integrado por un localizador, una señalización para la pendiente de planeo y las radiobalizas de localización.

La pendiente de planeo del ILS informa el ángulo correcto de descenso que puede ser de: 2, 2.5 ó 3%. Y cuenta con radiobalizas denominadas marcadores que indican la distancia que falta para llegar a la pista. Figura (39).

d) MLS.

Este es otro sistema de aterrizaje por instrumentos es el llamado "MLS" el cual proporciona varios segmentos de planeo por medio de microondas que van desde 1 grado hasta 15 grados, aunado a esto, este sistema es menos susceptible de interferencia que el ILS.

e) RADARES.

Dentro de los equipos de radioayudas se tienen incluidos los radares, cuya función principal consiste en proporcionar a los controladores la posición, distancia y rumbo de las aeronaves teniéndose entre ellos :

1) RADAR DE AREA TERMINAL (TAR) con un alcance de 70 millas nauticas de radio (130 KM), su función principal es de vigilancia mostrando en la pantalla una estela luminosa que indica dirección y velocidad sin señalar su altitud.

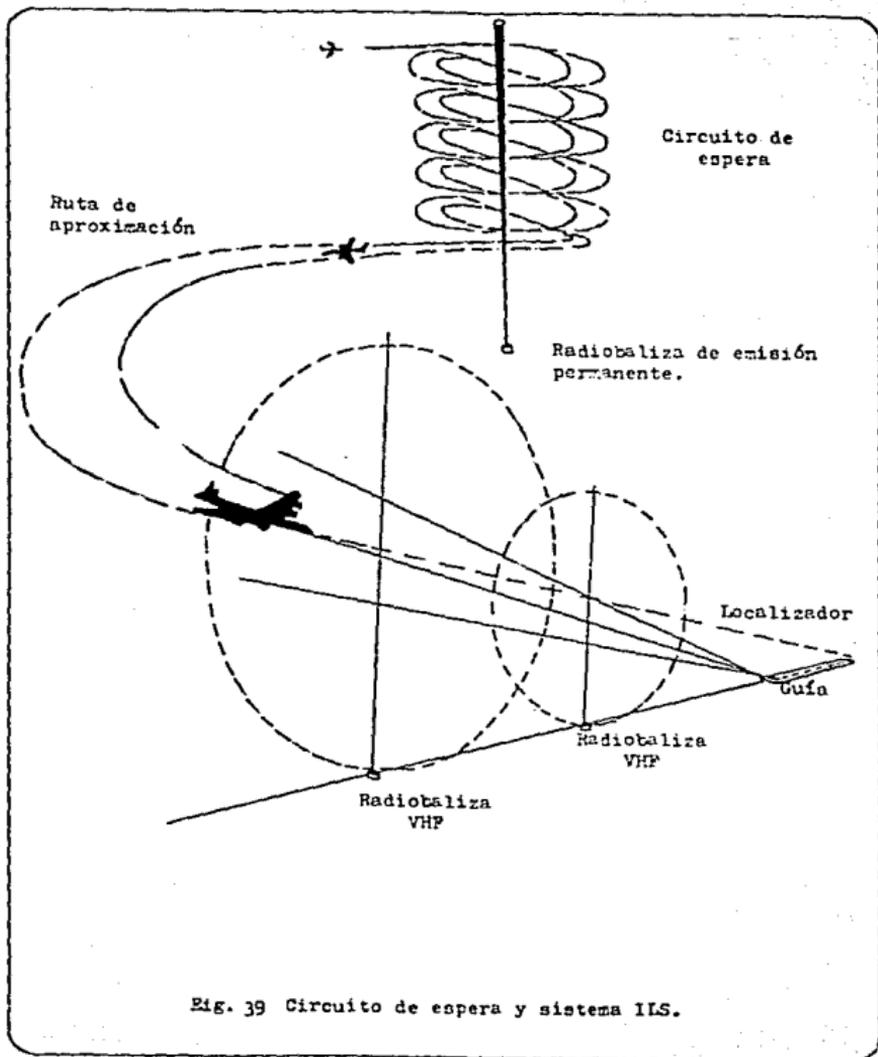


Fig. 39 Circuito de espera y sistema ILS.

2) RADAR DE APROXIMACION DE PRECISION (PAR) su función es la de proyectar la imagen del avión en planta y elevación para verificar su trayectoria de planeo y alineación correcta.

Otras ayudas a la navegación son el (ASDE) que es el equipo de detección de aeronaves en los aeropuertos durante condiciones de baja visibilidad en pistas y calles de rodaje, utilizado en aeropuertos de alta densidad de tráfico. El sistema (LORAN) que es un apoyo a la navegación de amplio rango particularmente en vuelos sobre el mar; y desde luego el sistema de AYUDAS VISUALES LUMINOSAS instaladas en los aeropuertos y que generalmente son las luces de aproximación y destello y los INDICADORES VISUALES DE SENDA DE PLANEADO dada por los sistemas VASI actualmente en proceso de sustitución por los sistemas PAPI y que permiten en un vuelo visual aterrizar a través de una combinación de luces de color rojo y blanco.

## CAPITULO V

### PLANIFICACION DE UN AEROPUERTO.

- 5.1.- INTRODUCCION.
- 5.2.- ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.
- 5.3.- AREAS DE INFLUENCIA.
- 5.4.- ANALISIS DE LA DEMANDA Y PRONOSTICO  
DE PASAJEROS.
- 5.5.- AFOROS Y PARAMETROS PARA ESTUDIOS  
DE CAPACIDAD.
- 5.6.- PLAN MAESTRO DE UN AEROPUERTO.
- 5.7.- EVALUACION FINANCIERA Y ECONOMICA.
- 5.8.- INVERSIONES.

## PLANIFICACION DE UN AEROPUERTO

### 5.1.- INTRODUCCION.

La importancia de la planificación de un aeropuerto se manifiesta en el buen funcionamiento de sus instalaciones durante sus diferentes etapas operativas, lo que hace necesario realizar una serie de estudios relacionados con el pronóstico de usuarios así como la racionalización del uso de recursos, y que deberán estar de acuerdo a las necesidades que demanda la sociedad buscando que el desarrollo que se tenga con el paso del tiempo se lleve a cabo en forma ordenada y que su impacto ambiental sea moderado.

Partiendo de estas condiciones y tomando en consideración que para este tipo de obras se estima una vida útil de 20 años como mínimo, es indispensable justificar plenamente su construcción, lo cual nos conduce a conocer con la precisión posible el número de usuarios que se espera harán uso del aeropuerto en sus etapas de crecimiento y así poder programar en forma lógica la construcción de ampliaciones y nuevos elementos, adquiriendo oportunamente los terrenos necesarios para que a través de un Plan Maestro conducir en forma ordenada el proyecto de sus instalaciones.

La planificación aeroportuaria en México se inicia en el año

de 1965 a través de la Comisión Intersectorial de Aeropuertos y es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la que estableció el primer Plan Nacional de Aeropuertos, contemplando en forma integral la problemática aeroportuaria del país y que entre sus funciones se tenía la de realizar estudios de factibilidad para ampliar, remodelar ó construir nuevos aeropuertos, vigilando y reglamentando sus operaciones .

Posteriormente la misma Secretaría crea la Dirección General de Aeropuertos con la finalidad de planear, proyectar y construir aeropuertos en la República Mexicana, actualmente y ante la Reforma Administrativa del Gobierno Federal estas actividades las lleva a cabo el organismo descentralizado Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA).

#### 5.2- ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.

Los estudios de factibilidad en la planificación de un aeropuerto implican la recopilación de datos básicos del sitio donde se proyecta su construcción y comprenden:

- a) Demanda y Pronóstico de Pasajeros.
- b) Ubicación Geográfica.
- c) Límites Territoriales.
- d) Orografía.
- e) Meteorología.
- f) Hidrología.

Además de conocer aspectos sociales y económicos del lugar como:

- a) Tipo de Población.
- b) Distribución Demográfica.
- c) Taza de Crecimiento.
- d) Migración.
- e) Actividad Económica.
- f) Transportes del Lugar.

Los estudios de factibilidad para la ubicación de un aeropuerto estarán encaminados a evitar en lo posible que el sitio seleccionado se vea afectado por las tendencias de crecimiento urbano, además de disponer de condiciones apropiadas de espacio

aéreo y meteorológico, ubicación cercana a los centros generadores de usuarios, que tenga la compatibilidad con otros aeropuertos, posibilidad de disponer de amplias superficies para futuros crecimientos, baja perturbación por el ruido a los habitantes del lugar, reducción de riesgos potenciales, bajo costo de los terrenos y la infraestructura suficiente para comunicar al aeropuerto con su área de influencia.

### 5.3.- AREAS DE INFLUENCIA.

Una vez definido el sitio del aeropuerto debemos conocer el número de usuarios que se verían beneficiados con su construcción y que se encuentran en las localidades cercanas, para ello, definiremos como área de influencia de un aeropuerto a la delimitación geográfica situada en su alrededor y que está constituida por dos zonas Figura (40):

ZONA I .- Que comprende las localidades o centros de atracción, alejados del aeropuerto a 40 minutos en tiempo de recorrido en automóvil y;

ZONA II .- Que comprende las localidades alejadas del aeropuerto, localizadas entre 40 y 60 minutos en tiempo de recorrido del automóvil.

Para esta clasificación generalmente se consideran las siguientes velocidades de recorrido, dependiendo de las características de las carreteras:

100 Km/hr Carreteras Federales de 4 carriles.

75 Km/hr Carreteras Federales de 2 carriles.

60 Km/hr para las demás tipos de carreteras.

Se considera que el 95% de los usuarios proviene de las poblaciones situadas a menos de 40 minutos de recorrido en automóvil (ZONA I), y el 5% restante proviene de las demás poblaciones ubicadas a mayor distancia (ZONA II).

En base a esta área de influencia podemos estimar el tránsito aéreo y evaluar su crecimiento futuro, la práctica nos ha conducido a que si se tiene un número excesivo de usuarios entre los 40 y 60 minutos de recorrido al aeropuerto, habrá que reducir

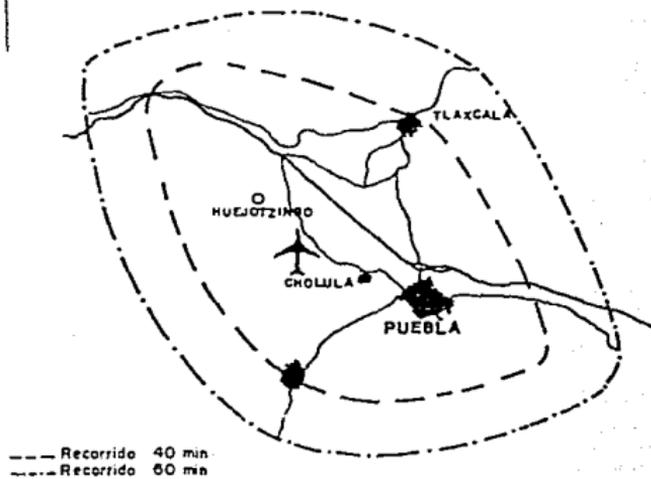


Fig 40 Area de influencia.

su volumen al 20% del total; por otra parte se ha visto que el tránsito de la Aviación Comercial proviene generalmente de la ZONA I.

#### 5.4.- ANALISIS DE LA DEMANDA Y PRONOSTICO DE PASAJEROS.

Para pronosticar la demanda de pasajeros que se espera en un aeropuerto, existen diferentes métodos, todos ellos basados en el concepto de área de influencia, entre los más comunes está el método de las "Llamadas Telefónicas" que es aplicable cuando se dispone de este servicio y de un informe completo de llamadas telefónicas que relacione el área de influencia con distintos puntos del país, en caso de no disponer de esta información se puede pronosticar el número de usuarios mediante modelos matemáticos, basados en datos socioeconómicos, demográficos, turísticas y de transporte del lugar.

#### METODO DE LLAMADAS TELEFONICAS:

La metodología que se sigue para obtener el número de usuarios de un aeropuerto a partir del reporte de llamadas telefónicas es el siguiente:

1). Definir en forma precisa los límites del área de influencia.

2). Disponibilidad de instalaciones telefónicas en el lugar y un reporte de Teléfonos de México con las llamadas que se han tenido durante 5 años y en donde se indique el destino de ellas.

3) Eliminar las llamadas que no tengan como destino u origen, puntos comprendidos en el Área de influencia así como aquellos destinos que se tengan a menos de 120 minutos del sitio del aeropuerto, por ser más atractivo el uso del automóvil.

4) Para la ZONA II del área de influencia, el número de llamadas telefónicas se verá reducido al 20%.

Con la finalidad de conocer la aplicación del método a continuación se expone un problema práctico relacionado con el aeropuerto de Tenoc en el Estado de Morelos:

Una vez obtenida el área de influencia del aeropuerto y señalando los municipios, cabeceras de la región, es utilizado el

reporte elaborado por Teléfonos de México y su resumen lo podemos ver en la Tabla (VIII), en la que se suman las llamadas de las ZONAS I y II; y se aplica un factor de 0.7 (70%) a la suma total de llamadas para actualizar los valores que en su origen fueron del año de 1983 y el ejemplo se realizó para el año 1980 para ver su comportamiento, sabiendo que el incremento de llamadas fué de un 10% anual por ello se estimó una reducción del 30% a los datos de 1983.

Obtenido el número de llamadas, se procede a utilizar la Tabla (IX), basada en estadísticas obtenidas de la relación entre el tránsito potencial y el número de llamadas ocurridas en la zona y de acuerdo del tipo de aeropuerto que pueden ser Turístico (Categoría 1) y No-turístico (Categoría 2) y de categoría intermedia entre los dos.

En base a esta Tabla (IX) se obtiene primero el Tránsito Potencial (tp), seguidamente se obtendrá el Tránsito Potencial Absoluto (tpa) que es el tránsito potencial incrementado en un 5% para tomar en cuenta a usuarios situados más allá de la ZONA II. Por último se obtiene el Tránsito Real (tr), que no es más que el tránsito potencial absoluto afectado por un coeficiente de reducción (Ri) debido a la competencia que se tendrá con la carretera al viajar. El tiempo (t) de recorrido en automóvil es utilizado para obtener el coeficiente de reducción (Ri), obtenido a partir de la distancia y velocidad existente entre el origen y destino y el tipo de carretera de que se trate.

Por ejemplo las distancias por carretera que existen entre Temoac y los destinos serán de: Acapulco (ACA) 403 Km, Oaxaca (OAX) 388 Km, Morelia (MLM) 464 Km, Querétaro (QET) 378 Km. Para las demás poblaciones (Guadalajara (GDL), Monterrey (MTY), San Luis Potosí (SLP)), como sus distancias son mucho mayores y el tiempo de recorrido es mayor de 450 minutos, el coeficiente de reducción por tratarse de aeropuertos No-turístico (Categoría 2) es de  $R_2 = 1$ .

La velocidad utilizada para trasladarse entre el origen y cada destino fué de 75 Km/hr por ser una carretera de dos

CABECERAS MUNICIPALES (MUNICIPIOS)	102									
	A.1.A	A.2.A	A.3.A	A.4.A	A.5.A	A.6.A	A.7.A	A.8.A	A.9.A	A.10.A
<b>Zona I</b>										
Coahuila	888	887	246	240	222					
Guadalupe	550	888								
San Antonio	22					14				
<b>Zona II - 21</b>	1 257	935	246	240	222	14				
<b>Zona III</b>										
Coahuila	5 515	2 779	1 422					897		
Agua Prieta (separ. de Coahuila)	1 122	888	362					248		
San Antonio	1 122	888	362					248		
San Juan	1 122	888	362					248		
San Juan	1 122	888	362					248		
<b>Zona IV - 102a - 102b</b>	1 831	888	1,4	180	158	10		114		
1.81										
Tramo 102a - 102b	16 516	2 779	1 742	1 440	1 278	1 117		1 200		
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d	17 288	2 779	1 824	1 358	1 138	1 089		1 200		
Corrección de inconsistencia por cambios en el uso del suelo	4 48	0	0	1 33	0	1 28		2 31		
<b>Tramo 102a - 102b - 102c</b>	8 152	2 779	1 829	712	1 338	79		649		16 752
1.81										
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d	112		1 745	177	172	222		248		88
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d	112	1 831	2 578	712	128	21		121		148
1.81										
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d - 102e - 102f - 102g - 102h - 102i - 102j - 102k - 102l - 102m - 102n - 102o - 102p - 102q - 102r - 102s - 102t - 102u - 102v - 102w - 102x - 102y - 102z	1 745	1 831	1 301	148	144	218		178		28
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d - 102e - 102f - 102g - 102h - 102i - 102j - 102k - 102l - 102m - 102n - 102o - 102p - 102q - 102r - 102s - 102t - 102u - 102v - 102w - 102x - 102y - 102z	1 14	1 831	1 301	608	142	181		172		72
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d - 102e - 102f - 102g - 102h - 102i - 102j - 102k - 102l - 102m - 102n - 102o - 102p - 102q - 102r - 102s - 102t - 102u - 102v - 102w - 102x - 102y - 102z	2 4	1 831	1 481	1 27	1 44	2 71		1 24		2 48 (102)
1.81										
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d - 102e - 102f - 102g - 102h - 102i - 102j - 102k - 102l - 102m - 102n - 102o - 102p - 102q - 102r - 102s - 102t - 102u - 102v - 102w - 102x - 102y - 102z	2 28	2 77	2 48	1 88	2 32	2 58		1 28		
Tramo 102a - 102b - 102c - 102d - 102e - 102f - 102g - 102h - 102i - 102j - 102k - 102l - 102m - 102n - 102o - 102p - 102q - 102r - 102s - 102t - 102u - 102v - 102w - 102x - 102y - 102z	18 178	2 48	2 538	2 788	1 272	2 178		1 178		81 178

Tabla VIII Resultados del cálculo del tránsito potencial por el modelo de llamadas telefónicas: Aeropuerto de Coahuila, Mor. ( sitio Temoac ).

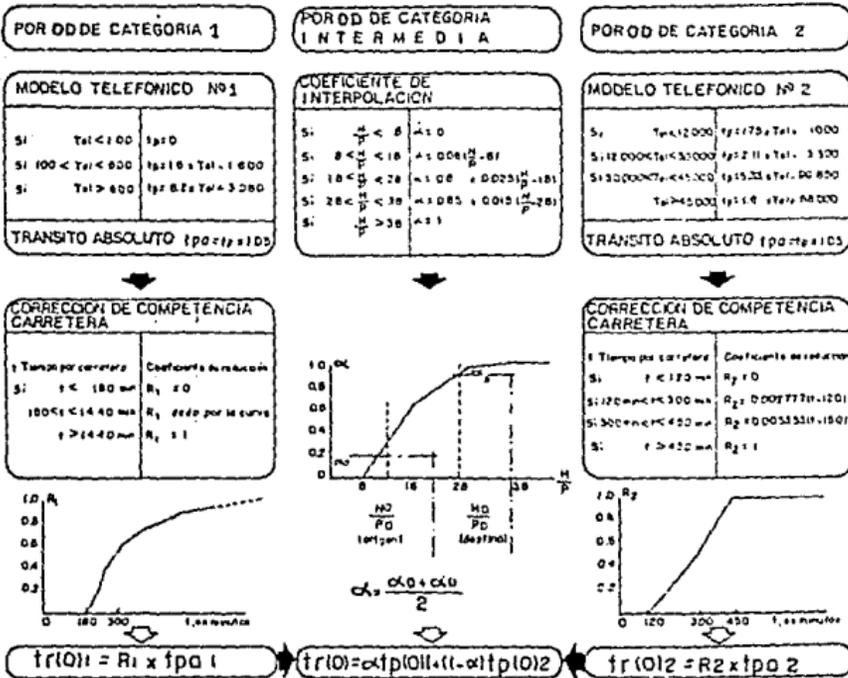


Tabla IX Cálculo del tránsito potencial año de referencia = tp(0).

carriles, por lo tanto el valor del tiempo por carretera (t), que se utilizará para obtener el coeficiente de reducción para el caso de Acapulco será de :

$$t = \frac{103}{75 \text{ Km/hr}} = 322 \text{ minutos.}$$

Con éste valor y en el caso de que fuerán de categoría intermedia se procederá a obtener el coeficiente de interpolación ( $\alpha$ ) que se aplicará al valor del Tránsito Real ( $t_r$ ) de las Categorías 1 y 2, obtenido en base a la oferta hotelera (H) y población esperada (P).

Una vez determinado el Tránsito Real ( $t_r$ ) para el año de estudio (1980) se aplicarán las llamadas "Leyes de Generación Evolutiva", y así obtener el tránsito potencial futuro Tabla (X). Para el cálculo del tránsito potencial futuro nos referiremos al destino Acapulco que es de Categoría 1, y al de Guadalajara de Categoría 2.

Para Acapulco tenemos:

N = Año futuro, al cual se estimará su evolución.

H (H) = Oferta hotelera cuyos valores son:

para 1980 año del estudio = 25547 habitaciones.

para 1990 año futuro = 41459 habitaciones (dato estadístico).

Con estos datos y sabiendo que Acapulco es un centro turístico (Categoría 1).

$$L_i(N) = [0.881 + 0.059(N-1980)] H(N)^{0.75}$$

$$L_i(1980) = [0.881 + 0.059(1980-1980)] H(1980)^{0.75}$$

$$L_i(1980) = 1780.$$

$$L_i(1990) = [0.881 + 0.059(1990-1980)] H(1990)^{0.75}$$

$$L_i(1990) = [0.881 + 0.059(1990-1980)] H(1990)^{0.75}$$

$$L_i(1990) = 4274.$$

Una vez calculada la ley evolutiva se calcula el factor de crecimiento  $K_i(N)$  para el origen y  $K_i(N)$  para los destinos donde:

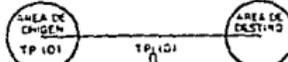
$$K_i(N) = \frac{L_i(N)}{L_i(0)} = \frac{L_i(1990)}{L_i(1980)} = \frac{4274}{1780} = 2.4$$

M Oferta total  
P Posturas

AÑO 0

PROYECTAR LA EVOLUCIÓN FUTURA DE  $P_{i0} + P_{i1}$  Y  $M_{i0} + M_{i1}$  SEGUN LOS DATOS BASICOS

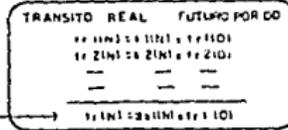
CLASIFICACION DE LAS AREAS SEGUN  $M_{i0}$  Y  $P_{i0}$



FACTORES DE CRECIMIENTO DE LOS DD

$\frac{L_{i1}}{L_{i0}} = \frac{TP_{i1}}{TP_{i0}}$

$L_{i1} = TP_{i1} \cdot K_{i1}$



$TP_{i1} = TP_{i0} \cdot K_{i1}$

LEYES DE GENERACION EVOLUTIVAS	
CATEGORIA 1	$L_{i1} = [0.8B + 0.05G \cdot IN - 0.8B] \cdot M_{i1}$ 0.75
CATEGORIA 2 : 2 LEYES	$M_{i1} = P_{i1} \cdot L_{i1}$ 2.75
	$M_{i1} = P_{i1} \cdot L_{i1} \cdot [2 \cdot IZ + 0.17Z \cdot IN - 0.8B] \cdot P_{i1}$ 0.88
	$M_{i1} = P_{i1} \cdot L_{i1} \cdot [2 \cdot IZ + 0.17Z \cdot IN - 0.8B] \cdot P_{i1}$ 0.570
CATEGORIA INTERMEDIA	$M_{i1}$ SEGUN CUOTA DEL CALCULO AÑO 0
	$L_{i1} = L_{i0} \cdot [1 + IN] \cdot L_{i1}$

Tabla X Cálculo del tránsito potencial futuro.

Para Guadalajara de Categoría 2 se sigue otro procedimiento para la obtención de las leyes de generación evolutiva ( $L_2(N)$ ), y que esta en función de la población ( $P$ ) por lo que primero se obtiene el indicador  $[S(N)]$  para este tipo de aeropuertos.

$$S(N) = \left[ \left( 2.12 + 0.172(N-1980) \right) / (98000) \right]^{0.529}$$

$$S(1980) = \left[ \left( 2.12 + 0.172(1980-1980) \right) / (98000) \right]^{0.529} = 269 \text{ en miles/hab.}$$

$$S(1990) = \left[ \left( 2.12 + 0.172(1990-1980) \right) / (98000) \right]^{0.529} = 196 \text{ en miles/hab.}$$

Comparando estos valores obtenidos para  $S(1980)$  y  $S(1990)$ , con las respectivas cantidades de población que son  $P(1980) = 2221$  en miles y  $P(1990) = 3577$  en miles, y de acuerdo a la ley de generación evolutiva que corresponda.

Como  $P(1980) > S(1980)$ .

$$L_2(N) = \left[ 2.12 + 0.172(N-1980) \right] P(N)^{0.86}$$

$$L_2(1980) = \left[ 2.12 + 0.172(1980-1980) \right] (2221)^{0.86} = 1600$$

$$L_2(1990) = \left[ 2.12 + 0.172(1990-1980) \right] (3577)^{0.86} = 4369$$

Datos que se pueden observar en la Tabla (X).

Una vez obtenidas las "Leyes de Generación Evolutivas" de los demás destinos, se procede al cálculo de los factores de crecimiento  $K_2$  que para nuestro ejemplo corresponde a Guadalajara se tiene:

$$K_2(N) = \frac{L_2(N)}{L_2(0)} = \frac{L_2(1990)}{L_2(1980)} = \frac{4369}{1600} = 2.73$$

Para obtener el "Factor de Crecimiento de Origen" ( $K_0$ ), se tomará como origen a Temoac, Cuautla lugar donde se piensa ubicar el aeropuerto.

$$K_0(N) = \frac{L_1(N)}{L_1(0)} = \frac{L_1(1990)}{L_1(1980)} = \frac{72}{29} = 2.48$$

Valor que se utiliza en la obtención de los "Factores de Crecimiento de los aeropuertos origen y destino (OD).

$$K_i(N) = a(N) \times K_o(N) \times K_i(N)$$

donde:

$$a(N) = \text{Etr}(0) / \sum [k_i(n) \times \text{tri}(0)]$$

$$a(N) = \text{Etr}(1980) / \sum [k_i(1980) \times \text{tri}(1980)]$$

$$a(N) = (16752)/(43626) = 0.38$$

Conocido el valor de  $a(N)$ , procedemos a calcular los factores de crecimiento para Acapulco y Guadalajara.

$$\text{Acapulco} \quad K_i(N) = 0.38 \times 2.48 \times 2.4 = 2.26$$

$$\text{Guadalajara} \quad K_i(N) = 0.38 \times 2.48 \times 2.73 = 2.57$$

Una vez obtenidos los factores de crecimiento ( $k_i$ ) de los demás destinos, se multiplican por el tránsito real base en 1980, obteniendo el tránsito real futuro para 1990. Para nuestro ejemplo se tiene que:

$$\text{Acapulco} \quad K_i \times \text{tr}(1980) = 2.26 \times 8550 = 19323 \text{ pasajeros.}$$

$$\text{Guadalajara} \quad K_i \times \text{tr}(1980) = 2.57 \times 2885 = 7414 \text{ pasajeros.}$$

Y la suma de todos los valores obtenidos de los demás destinos (41091 pasajeros), será la cantidad esperada de pasajeros en el aeropuerto del sitio Temoac, Cuautla y fin de nuestro ejemplo.

Existen otros métodos para pronosticar el número de usuarios de un aeropuerto, basados en datos socioeconómicos del área de influencia y de su comportamiento demográfico de acuerdo a estadísticas de la área de influencia a la población total de sus municipios, población activa de ingresos elevados, pronósticos nacionales y estatales de desarrollo de la población.

Para el caso de una área de influencia para un nuevo aeropuerto se requerirá además, del apoyo de los organismos encargados del desarrollo de la región para conocer el grado de evolución que tendrá:

#### PRONOSTICOS DE PASAJEROS:

Una vez conocida la demanda de pasajeros en una determinada región, se procede a encontrar el pronóstico de usuarios a futuro, lo que nos lleva a analizar su mercado potencial y crecimiento continuo que traerá como consecuencia el crecimiento de sus instalaciones o la creación de un nuevo aeropuerto.

Este pronóstico de pasajeros que generalmente es anual busca de entre una serie de modelos matemáticos aquel que más se parezca al comportamiento del aeropuerto en estudio y de esta manera pronosticar lo que sucederá en el futuro, estos modelos generalmente se representan por curvas, entre los que se tienen curvas de ajuste potencial, exponencial, logarítmica y lineal Figura (41). Estas curvas nos sirven en la predicción del futuro crecimiento del aeropuerto. Sin embargo, se debe tener presente que un tratamiento matemático de datos, no resuelve todos los problemas, lo que hace necesario la aplicación del sentido común, experiencia, habilidad y buen juicio del proyectista.

Por lo regular no siempre se obtienen en el primer intento los ajustes a las curvas de previsión de pasajeros; sino que se estudian varias alternativas hasta obtener los valores que más se ajusten al desarrollo de un aeropuerto.

A manera de ejemplo de pronóstico de pasajeros a continuación se presenta un ajuste que se le realizó al modelo matemático del aeropuerto internacional de Guadalajara, Jalisco, con datos del período 1967 a 1980 y que se graficaron en la Figura (42).

Se puede notar que su comportamiento se asemeja a la curva de ajuste potencial  $y = ax^2$ , la cual para utilizar el Método de Regresión Lineal se tuvo que transformar en una ecuación Logarítmica Lineal:

$$Y = a x^b$$

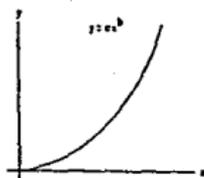
$$\text{Log } Y = \text{Log}(a) + b \text{ Log}(x)$$

donde:

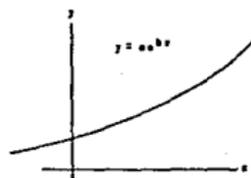
Y = Pasajeros anuales.

a = Parámetro.

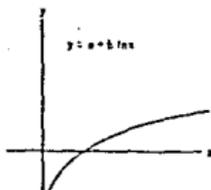
CURVA DE AJUSTE POTENCIAL



CURVA DE AJUSTE EXPONENCIAL



CURVA DE AJUSTE LOGARITMICA



REGRESION LINEAL

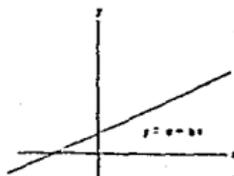
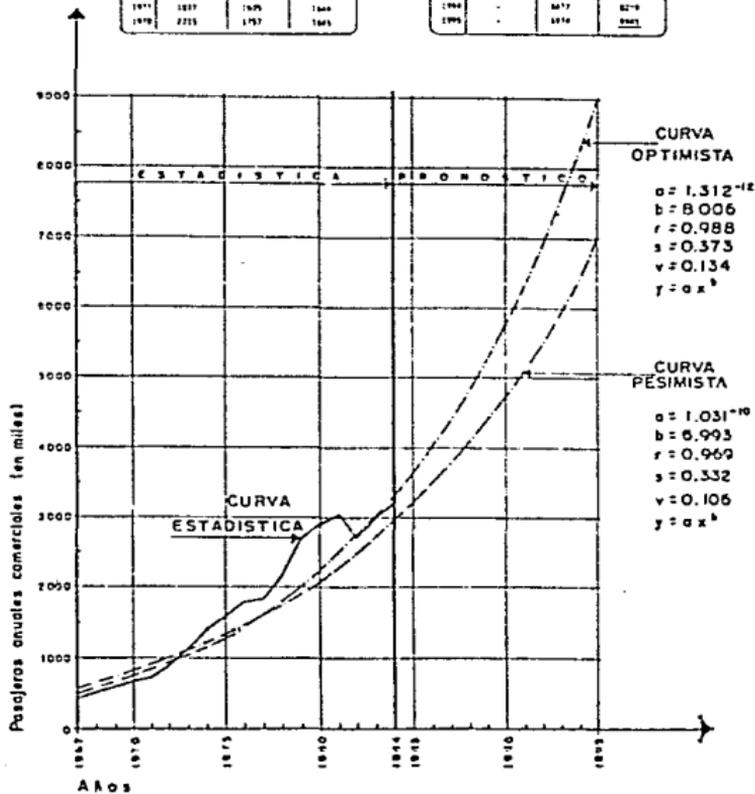


Fig 41 Curvas de ajuste.

Año	Estatística de pasajeros en Camión	Proyección de pasajeros comerciales	
		Curva estadística	Curva pronóstica
1967	700	687	645
1968	815	872	818
1969	947	1095	991
1970	952	1219	1116
1971	972	1310	1269
1972	993	1398	1412
1973	1119	1529	1596
1974	1249	1618	1711
1975	1613	1736	1868
1976	1782	1865	1999
1977	1837	1979	2160
1978	2219	1977	2363

1979	2718	1976	2581
1980	2930	1981	2762
1981	3072	1982	2906
1982	3253	1983	3036
1983	3062	1984	3190
1984	3268	1985	3278
1985	-	1986	3422
1986	-	1987	3672
1987	-	1988	3867
1988	-	1989	4099
1989	-	1990	4271
1990	-	1991	4476
1991	-	1992	4619
1992	-	1993	4764
1993	-	1994	4919
1994	-	1995	5081
1995	-	1996	5251
1996	-	1997	5421
1997	-	1998	5591
1998	-	1999	5761
1999	-	2000	5931



10 Pronóstico de pasajeros comerciales anuales. Guadalajara, Jal.

b = Párametro.

x = Años.

Y en base a esta última expresión obtener los pronósticos observados en la parte superior de la figura.

Una vez hecho el pronóstico de Pasajeros Comerciales Anuales, y tomando en cuenta la variedad de aviones que operarán en el aeropuerto, así como su ocupación, se estimó que para el año de 1990 se ocupará un promedio del 60% de los asientos disponibles, ésto es 110 pasajeros /avión, y para el año de 1995 se estimó de 126 pasajeros /avión.

Para el cálculo de operaciones anuales esperadas, se dividió, el número de pasajeros anuales pronosticados entre los pasajeros por avión, obteniéndose:

Para 1990  $5802/110 = 52745$  operaciones (B-727-200).

Para 1995  $8945/126 = 70990$  operaciones (B-727-200).

Este mismo procedimiento de cálculo se utiliza para obtener el número de pasajeros y operaciones de Aviación General.

#### 5.5.- AFOROS Y PARAMETROS PARA ESTUDIOS DE CAPACIDAD.

Conocidos los pronósticos de pasajeros se procede a la utilización de los aforos, cuya finalidad es la de obtener datos de todos los movimientos referente a un aeropuerto a través de muestras horarias dentro de la zona aeronáutica, en el edificio terminal, y de todos los movimientos que ocurran en la misma. Esta información es útil para la toma de decisiones cuando aparezcan problemas de saturación en las áreas de los diferentes elementos de los aeropuertos, ó en su planeación, ya que estos datos se utilizan para elaborar y ajustar los modelos matemáticos del cálculo de pasajeros y operaciones horarias que ocurrirán en el aeropuerto.

A partir del tránsito anual se puede obtener en forma global el tránsito en hora crítica mediante los siguientes métodos, cabe aclarar que estas horas críticas dependenderán directamente de los horarios de cada ruta aérea.

1.- Operaciones horarias comerciales.

La siguiente ecuación potencial para el cálculo de operaciones horarias comerciales fué elaborada por la Dirección General de Aeropuertos en base al comportamiento regular de los diferentes aeropuertos de la República Mexicana.

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

donde:

x = Operaciones comerciales anuales.

Y = Operaciones horarias comerciales.

Otra manera es utilizando una relación establecida por la Agencia Federal de Aviación (FAA) Figura (43) en forma de grafica, que relaciona el valor del tránsito anual de pasajeros comerciales con el coeficiente de hora critica, el cual al multiplicarse por las operaciones anuales se obtienen las Operaciones Comerciales en Hora Critica.

2.- Operaciones horarias de aviación general.

Estas se calculan en base a un coeficiente global de hora critica con respecto al tránsito anual deducido de análisis estadístico, de la Aviación General en aeropuertos mexicanos.

Estas estadísticas demostraron:

El mes crítico corresponde al 10% del tránsito anual.

El día crítico corresponde al 5% del tránsito mensual.

La hora crítica corresponde al 1% del tránsito diario.

3.- Operaciones horarias totales (comerciales + aviación general).

Esta se obtiene en base a la siguiente ecuación potencial:

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

donde:

x = Operaciones anuales totales (comerciales, av. general).

Y = Operaciones horarias totales (comerciales, av. general).

Obtenida en base a los estudios de aforo de los diferentes aeropuertos de la República Mexicana.

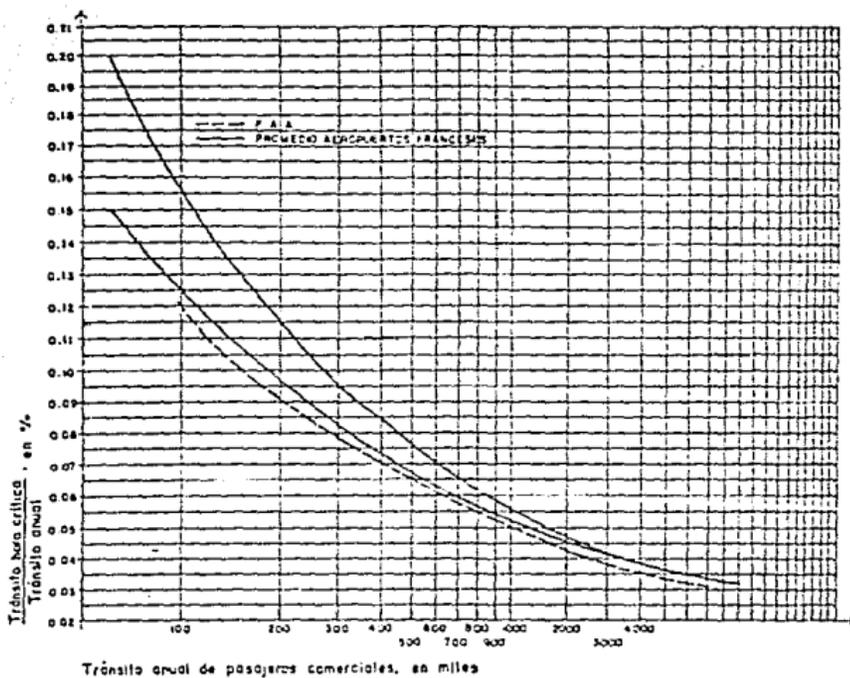


Fig 43 Diagrama del coeficiente en hora crítica.

#### 4.- Pasajeros horarios comerciales.

Se obtienen en base al siguiente modelo, resultado de aforos realizados en aeropuertos mexicanos por la Dirección General de Aeropuertos (DGA).

$$Y = 0.16 x^{0.608}$$

donde:

x = Pasajeros anuales comerciales.

Y = Pasajeros horarios.

Otra forma de calcularlos es en base a los coeficientes de ocupación (generalmente se considerará el 80%) que aplicado a las operaciones horarias ó a las posiciones simultaneas y tipo de avión, da como resultado el número de pasajeros horarios comerciales.

#### 5.- Pasajeros horarios de aviación general.

Una forma de cálculo se puede lograr en base al número de pasajeros por avión de Aviación General.

Para Aeropuertos Turísticos.

$$PAG(i) = 3.38 ( T / 79 )^{0.24} \quad (\text{con un promedio máximo de } 5.07 \text{ pasajeros por avión})$$

Para otros Aeropuertos.

$$PAG(i) = 2.57 ( T / 79 )^{0.24} \quad (\text{con un promedio máximo de } 5.17 \text{ pasajeros por avión})$$

donde:

T = año (i) - 1900

PAG = Pasajeros de aviación general en el año (i) de estudio.

#### 6.- Pasajeros horarios totales (comerciales + av. general).

Este valor se calcula en base a un modelo elaborado por la DGA y es:

$$Y = 0.16 x^{0.608}$$

donde:

x = Pasajeros anuales totales (comerciales, av. general).

Y = Pasajeros horarios totales (comerciales, av. general).

7.- Posiciones simultáneas de aviones en plataforma de operaciones comerciales.

Existen dos procedimientos de cálculo:

a) El primero es en base a datos estadísticos y posiciones simultáneas aforadas en diferentes aeropuertos mexicanos y con los cuales se han obtenido una serie de rendimientos que nos permiten conocer el número de posiciones simultáneas. Estos rendimientos se muestran a continuación:

Pasajeros anuales	Rendimiento (en número de posiciones simultáneas).
100,000	40,000 a 50000
100,000 a 200,000	65,000 a 75000
200,000 a 500,000	11,000 a 150000
500,000 a 1000,000	165,000 a 200000
1000,000 a 3000,000	230,000 a 250000
3000,000 a 5000,000	260,000 a 300000
5000,000 a 8000,000	300,000 a 350000

Un ejemplo práctico se muestra a continuación. Para un Aeropuerto que mueve 750,000 pasajeros anuales se tendrá un número de posiciones simultáneas igual a:  $750000/200000 = 3.75$  es decir, cuatro posiciones simultáneas.

b) Otra forma es siguiendo el método de la Agencia Federal de Aviación de los E.U.A. (FAA), el cual proporciona una gráfica que esta en función del índice de pasajeros Figura (44) en la cual se ha observado que la relación entre el número anual de pasajeros y el número de lugares de estacionamiento guarda una tendencia relativamente constante en los aeropuertos, por lo cual es posible utilizar un índice de pasajeros relacionándolo con una base de 100,000, es decir que de 750,000 pasajeros anuales el índice de pasajeros sería de 7.5 dado de dividir  $750,000/100,000$  valor con el que entramos a la gráfica obtenemos 5 lugares de estacionamiento. Para los aeropuertos mexicanos, el índice anteriormente obtenido se toma solo la mitad,  $7.5 \times 0.5 = 3.75$  con

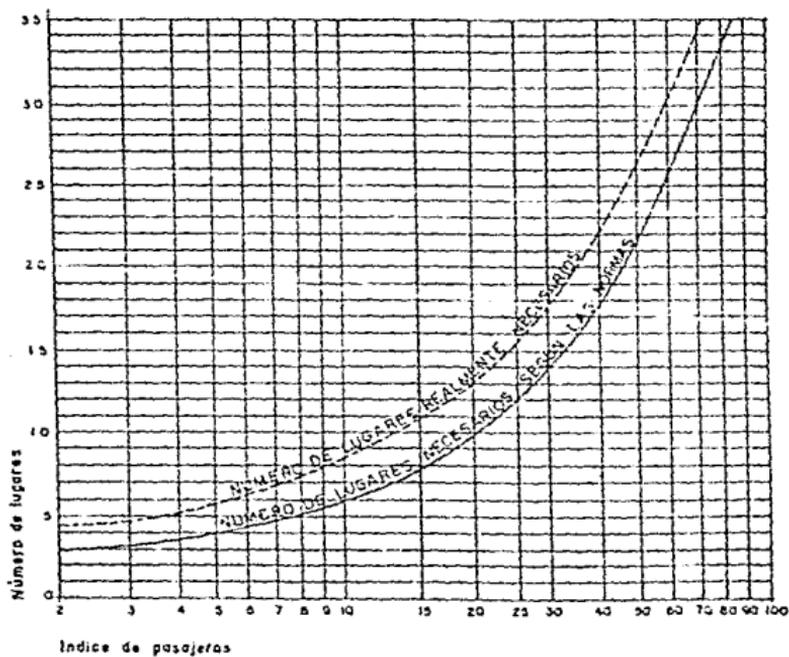


Fig 44 Número necesario de lugares en estacionamiento.

este valor y la Figura (44) se obtienen 4 lugares, se recomienda utilizar los dos métodos anteriores y sacar un promedio, para obtener el número de posiciones simultáneas.

#### 8.- Vialidad en camino de acceso.

Esta íntimamente relacionada la vialidad de acceso al aeropuerto y la capacidad de éste, para determinar el tránsito que se supone ocurrirá existen dos métodos de los cuales uno está basado en modelos matemáticos los que a su vez requieren de información de aforos sobre el tránsito de pasajeros en hora pico de Aviación Comercial y General, el segundo método es el más aplicado y utiliza coeficientes obtenidos en base a estadísticas nacionales e internacionales y que se agrupan en la Tabla (XI), para este método solo se necesita conocer el número de pasajeros anuales totales (aviación comercial y general). Una vez conocido el valor del tráfico horario total esperado, se obtiene el número de carriles necesarios los cuales está en función del número de vehículos por hora, Tabla (XI).

#### 9.- Posiciones simultáneas de Aviación General.

Se obtiene a partir de aplicar la siguiente expresión:

$$N_s = 0.35 n_o + \frac{N_a}{800}$$

donde:

$N_s$  = Número de posiciones simultáneas.

$n_o$  = Número de operaciones horarias.

$N_a$  = Número de operaciones anuales.

#### 10.- Número de lugares para automóviles de pasajeros en estacionamiento.

Para obtener el número de lugares se han hecho estadísticas que relacionan a los pasajeros de aviación comercial y general, a los empleados del aeropuerto con el número de lugares para estacionamiento de vehículos.

a) Comerciales.- Para obtener el número de lugares de estacionamiento se multiplican el número de pasajeros horarios comerciales por un coeficiente promedio que va de 0.35 a 0.50 lugares/pasajeros horarios.

Tránsito Actual de Pasajeros		50 000	100 000	1 000 000	2 000 000	5 000 000	10 000 000
Número de empleados		167	300	1 400	3 200	9 000	20 000
Tránsito vehicular Día medio en un sentido	Pasajeros	146	692	1 310	2 466	5 970	11 700
	Estudiantes	187	670	929	1 641	3 956	8 100
	Intelectuales y otros Individos	86	379	703	1 329	3 001	6 027
	TOTAL	366	1 629	2 946	5 436	12 826	25 827
Coeficiente pico	VL *	374	1 578	2 839	5 279	12 331	24 816
	C = TC *	10	60	107	207	495	1 011
	Tránsito día pico TOTAL	580	2 360	4 060	7 300	17 810	35 250
	Tránsito hora pico TOTAL	148	637	1 019	1 847	2 207	3 895
Tránsito hora pico Día medio	Tránsito día pico	1.51	1.44	1.38	1.34	1.29	1.36
	VL día pico	0.265	0.186	0.162	0.143	0.124	0.133
	VL día medio	0.385	0.267	0.224	0.193	0.172	0.155
Tránsito hora pico Día medio	Día medio	2.80	2.29	2.15	1.98	1.87	1.68
	Hora pico	7	2.18	2.11	1.99	2.2	2.42

\* VL: Vehículos particulares

C: Capacidad física; se refiere al mejor régimen que se pueda observar

TC: Autobús

### Capacidad práctica de explotación

	Ancho del carril	Capacidad de la ruta, en uvp/h*		
		Capacidad promedio	Capacidad máxima	
			Sección de 300 m	Sección de 1000 m
Ruta de 2 carriles	3 m 3.5 m	1500 a 1800 uvp/h dos sentidos	1000 uvp/h un sentido 1500 uvp/h un sentido	1000 uvp/h un sentido 1200 uvp/h un sentido
Ruta de 3 carriles	3.5 m	1800 a 2200 uvp/h dos sentidos 1500 a 2000 uvp/h un sentido	2000 uvp/h un sentido	2400 uvp/h un sentido
Ruta de 4 carriles		2600 uvp/h un sentido		
Autopista		Número de vías x 1700 uvp/h		

Tabla XI Tránsito total de vehículos.

b) Aviación General.- Aquí se considerará un factor de 800 lugares por cada millón de pasajeros anuales.

c) Empleados.- El número de empleados es variable de acuerdo a cada país; en México se consideran 80 empleados por cada 100,000 pasajeros anuales totales. Para obtener el número de estacionamiento se considera un factor de 200 a 250 lugares por cada 1000 empleados.

11.- Area de almacenamiento de combustible.

Para dimensionar ésta área de almacenamiento es necesario conocer el tipo de avión crítico que operará en el aeropuerto y a partir del cual se obtendrá dicha capacidad de almacenamiento, que de acuerdo al tipo de aeronave crítica los aeropuertos se clasifican en :

Clase 1.- Esta clase incluye la aviación ligera cuyo avión crítico es el monomotor y eventualmente el bimotor pequeño.

Clase 2.- Incluye a la aviación general y por lo tanto la aviación de negocios, siendo el avión crítico el pequeño bimotor del tipo Learjet.

Clase 3.- En ésta ya se incluye la aviación comercial de poco tránsito, siendo el avión crítico el Beechcraft 99 ó el Corvette.

Clase 4.- Se permite el tránsito comercial de líneas regulares utilizando como avión crítico el tipo Fokker 27 ó HS748.

Clase 5.- La función principal es la de recibir el tránsito comercial de línea con avión crítico del tipo DC-9, B-737 ó similares.

Clase 6.- En esta clase el avión crítico es el B-727 ó el A-300.

Clase 7.- Esta clase contempla el tránsito internacional es decir de larga distancia cuyo avión crítico es el B-747, DC-10 ó similar.

La capacidad de depósito de combustible puede ser determinada multiplicando el consumo diario por la duración del almacenamiento. Este consumo estará en función de la clase de aeropuerto antes expuesta.

Clase del Aeropuerto	Capacidad de almacenamiento
1	3-30 m <sup>3</sup>
2	20-50 m <sup>3</sup>
3	50-200 m <sup>3</sup>
4	100-500 m <sup>3</sup>
5	100-500 m <sup>3</sup>
6	500-2000 m <sup>3</sup>
7	más de 5000 m <sup>3</sup>

Conocida la capacidad de almacenamiento de combustible, el área a utilizar estará en función de las dimensiones de los tanques de depósito.

#### 12.- Area de carga.

En aeropuertos en los que el tránsito de carga es importante se justifica la existencia de una zona de carga que le permitan operar eficientemente lo que repercutirá en el proyecto del Edificio Terminal de carga, y Zonas de estacionamiento para vehículos de carga, así como sus accesos.

Un coeficiente internacional que se considera para estimar el área destinada a la carga es de 0.10 m<sup>2</sup> /ton/año que multiplicado por la carga anual nos da el área requerida para esta zona.

#### 13.- Maletas por pasajero y acompañantes por pasajero.

En aforos realizados por la Dirección General de Aeropuertos (DGA) en los aeropuertos de la República Mexicana se encontraron datos que corresponden a los promedios tomados en cada uno de ellos Tabla (XII). El proyectista podrá partir de estos resúmenes y sacar sus propias conclusiones para el cálculo del área necesaria.

#### 5.6.- PLAN MAESTRO DE UN AEROPUERTO.

Una vez consideradas las previsiones de la futura demanda, el tipo de tráfico y la capacidad necesaria de cada una de las instalaciones de un aeropuerto, se considerará la conveniencia de

AEROPUERTO	CLASE	VISITANTES POR PASAJERO				PAJEES POR PASAJERO			
		NACIONAL		EXTRANJERO		NACIONAL		EXTRANJERO	
		LITG.	SAL.	LITG.	SAL.	LITG.	SAL.	LITG.	SAL.
Acapulco	(ACA)					1.54		2.08	
Acapulco	(ACA)	0.20		0.40		1.30		1.62	
Acapulco	(ACA)	0.47	0.55	0.12		0.93	0.92	1.34	1.24
Cd. Obregón	(COB)	1.04				1.20	1.03		
Cd. Durango	(CDR)		0.34			1.04	0.73		
Cd. Juárez	(CJU)	1.30	1.45			1.20	1.03		
Cd. Juárez	(CJU)					0.82			
Coahuila	(COH)	1.30				1.00			
Culiacán	(CUL)		0.48			0.94	3.87		
Cancún	(CAN)		0.17			1.25	1.04	1.34	1.02
Chihuahua	(CHI)		0.24			0.75	0.55		
Cosmuel	(COS)	1.16							
Cosmuel	(COS)	0.36		0.34		1.49		1.49	
Durango	(DUR)		0.12			0.92	1.00		
Guadalupe	(GUA)	1.48	1.42	1.83	1.31	0.95	0.94	1.34	1.23
Guadalupe	(GUA)		0.11		0.20	0.98	1.05	0.97	1.12
Guaymas	(GUA)					0.81			
Hermosillo	(HER)		0.73			0.97	0.64		
La Paz	(LAP)		0.19			0.94	1.08		
Lerdo	(LER)		0.60			0.60	0.62		
Loreto	(LOR)					1.29	1.33		
Matamoros	(MAT)	1.45				1.04			
Mazatlán	(MAZ)		0.07			0.89	1.01	1.22	
Mazatlán	(MAZ)		0.14			0.88	0.84	1.04	1.05
Mérida	(MEX)		0.22		0.18	1.09	0.92	1.32	1.08
Monterrey	(MTY)	1.30		2.00		1.30		1.80	
Monterrey	(MTY)	0.45		0.60		0.72	0.87	0.63	1.12
Monterrey	(MTY)	0.85	0.56	1.09	0.83	0.84	0.73	1.16	0.91
Mexicali	(MXL)		0.20			0.99	0.70		
Cd. de México	(MEX)					2.30		2.50	
Cd. de México	(MEX)	1.12	1.23	1.54	1.74	1.80	1.51	2.17	1.57
Cd. de México	(MEX)					0.71	0.52	1.22	
Puerto Vallarta	(PVR)					1.13		1.06	
Puerto Vallarta	(PVR)		0.09			0.57	0.64	0.45	
St. José del Cabo	(SJC)		0.26			1.00	0.87		
Tijuana	(TIJ)		0.35			0.88	1.87		
Torreón	(TRC)		0.14			0.93	0.93		
Villahermosa	(VSA)					1.09			
Villahermosa	(VSA)		0.17			1.05	0.64		
Promedio		0.99	0.42	0.97	0.85	1.05	0.88	1.37	1.18

Tabla XII Coeficientes de visitantes y equipajes para el cálculo de áreas que se obtuvieron en los aforos realizados por la DGA en los aeropuertos de la República Mexicana.

reconstruirse, rehabilitarse y/o ampliar sus instalaciones existentes ó en caso extremo el emplazamiento de un nuevo aeropuerto.

Para el caso de un aeropuerto nuevo, existen varias etapas que comienzan con la determinación de la forma y dimensiones del área necesaria para los diferentes elementos constitutivos y espacio suficiente para progresivas ampliaciones de acuerdo al ritmo que crezca la demanda de tráfico aéreo con las mínimas cargas financieras y sociales, en base a un examen y evaluación de dichos emplazamientos.

Después de un reconocimiento aéreo y terrestre para tener información sobre posibles terrenos a utilizar se procede a señalar las posibles opciones de localización de acuerdo a los siguientes factores:

- a) Orientación de la pista.
- b) Topografía y obstáculos.
- c) Orografía.
- d) Evaluación del aeropuerto sobre el nivel del mar.
- e) El tipo de aeronave que operará en el aeropuerto y los destinos seleccionados.
- f) Peso máximo de despegue de los aviones.
- g) La dirección y velocidad del viento sobre la superficie.
- h) Pendiente de la pista.
- i) Tipo y categoría de la instalación.
- j) Disponibilidad de terrenos.

#### PLAN MAESTRO:

Con estos resultados se procede a realizar el PLAN MAESTRO de un AEROPUERTO el cual tiene como objetivos, la planificación oportuna y cuidadosa de las ampliaciones, garantizar mejores servicios que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios, restringir el crecimiento urbano cuidando las áreas de aproximaciones y despegues con el fin de tener un espacio aéreo libre de obstáculos, y finalmente disponer con anticipación reservas de terrenos para futuras ampliaciones.

El Plan Maestro consta de varios documentos, como planos del aeropuerto donde figuren todos sus elementos, sus tendencias de desarrollo y la forma como se pretende controlar, los programas de inversión y para hacer una definición precisa de estos programas se necesita la evaluación financiera y económica del proyecto aeroportuario.

#### 5.7.- EVALUACION FINANCIERA Y ECONOMICA.

La evaluación Financiera tiene la función de prever el comportamiento que tendrá el proyecto aeroportuario desde el punto de vista de la autosatisfacción de sus necesidades, esto es, del flujo de ingreso y egresos, y en base a estos poder juzgar sus repercusiones monetarias a futuro.

Por lo que refiere a los aspectos Económicos, la evaluación está dirigida a encontrar las repercusiones que se tengan en la región donde se va a realizar la ampliación ó la construcción de un nuevo aeropuerto para mejorar el nivel de vida de la población.

Mediante el análisis del Beneficio-Costo de los distintos proyectos que se tengan, se seleccionará aquél que mejor contribuya a los objetivos del desarrollo Nacional.

#### 5.8.- INVERSIONES.

Con el fin de contabilizar las erogaciones que se tengan en las diferentes etapas en las cuales se divida la ejecución física del proyecto y para evitar construir elementos que por su uso fueran subutilizados, el programa de inversiones busca de acuerdo a la experiencia, la construcción de una primera etapa operativa de un aeropuerto, que tarda en promedio de dos a tres años, el distribuir la inversión; dándole prioridad a las instalaciones necesarias para emprender las operaciones.

Para obtener el costo total de la inversión, se deberá contar con un anteproyecto, el que servirá de base para conocer el tipo y área de los diferentes elementos que constituyen el aeropuerto.

En función de estos elementos, se calcularán las cantidades de obra y la obtención de costos parciales por cada concepto hasta obtener el importe total de inversión del proyecto aeroportuario.

En la Tabla (XIII) se muestra el programa de inversiones de las diferentes etapas contempladas hasta el año 2000 de un aeropuerto nacional.

Elementos	Primera etapa		Segunda etapa		Tercera etapa	
	Inicio de construcción 1987		Inicio de construcción 1993		Inicio de construcción 1998	
	Puesta en operación 1989		Puesta en operación 1995		Puesta en operación 2000	
	Capacidad 1998		Capacidad 2000		Capacidad 2005	
Ampliación	Costo en millones de pesos	Ampliación	Costo en millones de pesos	Ampliación	Costo en millones de pesos	
Zona aeronáutica						
Rodaje E	290 x 23 m	160.6				
Rodaje F			162 x 23 m	39.8		
Rodaje G					162 x 23 m	39.8
Rodaje paralelo	325 x 23 m	188.5	520 x 23 m	127.9	1360 x 23 m	339.5
Zona terminal						
Plataforma de aviación comercial			38265 m <sup>2</sup>	374.0	36424 m <sup>2</sup>	358.0
Edificio de aviación comercial	9787 m <sup>2</sup>	2024.8			10265 m <sup>2</sup>	2123.7
Estacionamiento de aviación comercial	18360 m <sup>2</sup>	112.9			16156 m <sup>2</sup>	111.5
Estacionamiento de aviación general	1706 m <sup>2</sup>	11.8			1064 m <sup>2</sup>	7.3
Estacionamiento para empleados	5552 m <sup>2</sup>	36.3			4426 m <sup>2</sup>	30.5
Hangares	4800 m <sup>2</sup>	33.7			3700 m <sup>2</sup>	22.4
Ayudas visuales PAPI	2 sistemas	23.0				
Total		2382.6		541.7		3030.7

Tabla XIII Inversión por etapas.

## CAPITULO VI

### PROYECTO DE UN AEROPUERTO

6.1.- INTRODUCCION.

6.2.- ESTUDIOS METEOROLOGICOS Y DE RUIDO.

6.3.- PROYECTO AERONAUTICO.

6.4.- PROYECTO GEOMETRICO.

6.5.- PROYECTO DE PAVIMENTOS.

6.6.- PROYECTO ARQUITECTONICO.

## PROYECTO DE UN AEROPUERTO

### 6.1.- INTRODUCCION.

El proyecto de un aeropuerto por la diversidad de sus instalaciones, requiere de la participación de especialistas de varias disciplinas, con el fin de garantizar la calidad de su construcción y la seguridad en sus operaciones, lo que nos conduce a dedicar el tiempo y los recursos necesarios en su realización, apoyándonos para ello en los resultados de la Ingeniería Básica y en los estudios socioeconómicos y de beneficio-costos que justifiquen plenamente la ejecución de la obra.

La Ingeniería Básica se relaciona con la información meteorológica del lugar como su precipitación pluvial, visibilidad, techo de nubes, viento, temperatura, humedad de la atmósfera, así como los espacios aéreos topografía y geotécnica del sitio donde se proyecta la construcción del aeropuerto.

Estos estudios nos permitirán proyectar bajo condiciones cercanas a la realidad los elementos que componen un aeropuerto; para el caso de las pistas la temperatura, el viento y la densidad del aire influyen en de su longitud; la visibilidad junto con los espacios aéreos determinarán el tipo de ayudas a la navegación y en ocasiones la reubicación de un aeropuerto.

Las instalaciones del Edificio de Pasajeros y su orientación dependerán de la temperatura, viento e iluminación natural a partir de los cuales procedemos a la selección de equipo de aire acondicionado, orientación adecuada de los edificios e instalaciones de las unidades de iluminación necesarias.

Por otra parte la torre de control deberá disponer de la visibilidad apropiada para llevar a cabo las operaciones de aterrizaje y despegue con la máxima seguridad la zona para almacenamiento y distribución de combustibles estará ubicada estratégicamente respecto a la dirección del viento predominante para evitar riesgos en caso de incendio.

Los estudios geotécnicos nos permitirán definir los índices de resistencia del suelo para el cálculo de la cimentación de los edificios, pavimentos y para la selección de bancos de materiales. Los estudios topográficos nos ayudarán a resolver los problemas de trazo, pendientes y drenaje de las pistas, rodajes y plataformas; por lo que refiere al estudio de los espacios aéreos, éstos serán los que restringirán la altura de las construcciones, las pendientes de aproximación y despegue así como el uso de las ayudas a la navegación necesarias para las operaciones aéreas.

Otro aspecto importante en el proyecto de un aeropuerto, es el estudio del ruido que generan las aeronaves y que nos lleva a seleccionar aquellos materiales de construcción que sean aislantes a sus efectos ya que con frecuencia llegan a provocar afectaciones al ser humano y a condicionar la utilización de los terrenos vecinos al aeropuerto.

Bajo esta diversidad de condiciones, a continuación se describen los diferentes estudios necesarios y procedimientos de proyecto de los elementos más importantes de un aeropuerto.

## 6.2.- ESTUDIOS METEOROLOGICOS Y DE RUIDO.

### ESTUDIOS METEOROLOGICOS:

De la información meteorológica del sitio donde se ubicará el aeropuerto nos interesa conocer la humedad relativa, la lluvia, temperatura, techos, visibilidades y viento, cuyos datos son recopilados por las estaciones meteorológicas instaladas en lugares cercanos al sitio seleccionado, con fácil acceso, libre de obstáculos y bien protegidos, se recomienda que su instalación sea de 4 ó 5 años anteriores a la construcción del aeropuerto y por lo general deberán contener los siguientes equipos:

Un anemocinémografo que registre direcciones y velocidades de viento.

Un higrotermógrafo que registra temperaturas y humedades relativas.

Un pluviógrafo para registrar volúmenes de precipitación.

Un proyector de techos, que permite estimar la altura de nubes.

La visibilidad horizontal se estima en relación a la claridad que tengan algunos objetos fijos como árboles, montañas, torres, edificios etc.. y cuyas distancias conocemos.

Toda la información conseguida en estas estaciones se traduce a cifras y estas estadísticas nos dan una idea de la forma en que se comporta el clima del lugar y sus consecuencias en el aeropuerto.

#### Humedad relativa:

La humedad relativa será importante para el diseño y selección del equipo para el aire acondicionado en áreas que así lo requieran, además de influir en el proceso constructivo del aeropuerto y en la determinación de la longitud de pistas.

La humedad también conocida como grado higrométrico que es la diferencia entre un aire seco y un aire con cierta cantidad de agua en suspensión.

Para medir el grado ó cantidad de humedad que contiene la atmósfera de un lugar se pueden utilizar diferentes aparatos, los cuales difieren en sus principios básicos de funcionamiento que pueden ser por absorción, condensación, coloración ó dilatación. Generalmente se utiliza el higrotermógrafo que funciona en base al principio de dilatación que experimentan ciertos cuerpos como fibras textiles o cabellos, cuando se hayan sometidos ó expuestos a la humedad, Figura (45).

Los datos del higrotermógrafo se obtienen en lecturas horarias a partir de las cuales se tendrá el porcentaje de saturación semanal y del cual se calculan los promedios mensuales y los promedios anuales de humedad relativa Figura (46).

#### Precipitación:

Las precipitación pluvial y su repartición a lo largo del año determinan el régimen pluviométrico de la región, que es uno de los datos fundamentales para la estimación del clima de un

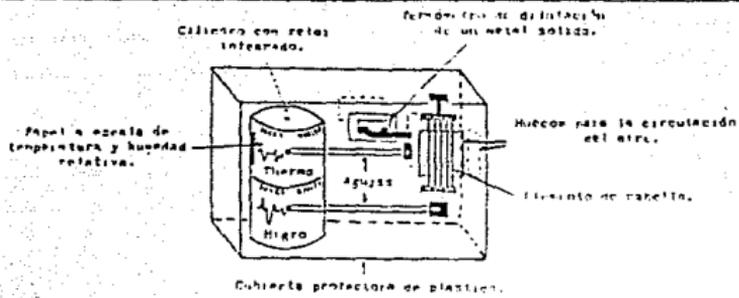
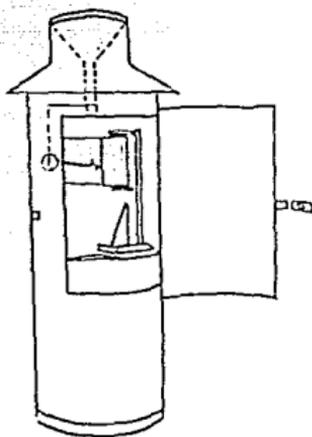


Fig 45 Microtermógrafo.



Pluviógrafo



Fig 45 Pluviógrafo y registro.

E.N.E.P. ARAGON

## HUMEDAD RELATIVA

 PROMEDIO  
 MENSUAL  
 81.3%

 FECHA  
 MES MARZO AÑO 1990

DIA HR	PORCENTAJES DE SATURACION																								PROMEDIOS DIARIOS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
01	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	70	70	65	65	60	50	50	50	90	90	100	100	100	100	100	85.8
02	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	60	70	80	90	100	100	100	79.6	
03	100	100	100	100	100	100	100	100	80	60	60	60	50	50	50	50	60	70	70	75	80	90	90	90	76.5	
04	90	90	90	90	100	100	100	100	100	75	65	55	50	50	50	50	55	70	80	80	80	80	90	90	75.8	
05	90	95	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	55	50	45	50	55	70	80	80	75	75	85	95	77.1
06	95	90	85	90	95	100	95	85	75	70	65	60	55	50	50	55	60	70	80	85	90	90	95	100	79.8	
07	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	55	50	56	55	60	70	70	80	80	95	100	100	80.0	
08	100	90	90	90	95	100	100	90	75	70	65	60	55	50	55	55	55	60	75	60	90	95	95	95	78.5	
09	90	90	95	95	100	100	100	80	75	70	65	65	60	60	55	55	60	70	70	75	80	80	80	75	76.9	
10	80	85	90	90	95	100	95	80	75	70	65	60	60	60	60	60	60	65	75	75	90	90	95	95	77.7	
11	90	90	95	95	100	100	100	80	70	65	60	60	60	60	65	70	80	95	95	95	100	100	100	100	82.4	
12	100	100	100	100	100	100	100	90	75	70	65	60	60	50	50	50	60	70	75	80	100	95	95	95	78.5	
13	100	100	100	100	100	100	100	100	90	70	65	60	60	50	55	70	70	80	90	90	100	100	100	100	85.4	
14	100	100	100	100	100	100	100	100	80	70	65	60	50	50	60	60	55	55	70	90	100	100	100	100	83.9	
15	100	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	60	60	55	50	60	70	85	95	95	95	95	81.9	
16	100	90	90	100	100	100	100	100	90	80	75	70	65	65	70	65	70	70	85	90	100	100	100	100	86.5	
17	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	70	70	70	70	70	80	90	95	95	100	100	100	100	89.6	
18	100	100	100	100	100	100	100	90	90	80	75	75	60	60	60	55	55	55	65	75	80	85	90	95	80.4	
19	100	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	65	55	60	65	75	65	65	90	70	95	95	81.3	
20	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	65	65	60	60	60	60	60	70	75	80	80	85	90	95	81.0	
21	100	100	100	100	100	100	100	90	60	60	60	55	55	50	50	60	60	85	100	100	100	100	100	100	81.5	
22	100	100	100	100	100	100	100	100	80	70	65	60	60	55	55	55	70	80	90	95	100	100	100	100	84.5	
23	100	100	100	100	100	100	100	100	75	65	60	60	60	55	55	55	60	65	80	85	85	100	100	100	81.5	
24	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	65	60	55	50	55	70	80	90	90	95	100	100	100	83.3	
25	100	100	100	100	100	100	100	90	80	60	60	55	55	60	60	65	70	80	90	90	95	100	100	100	83.8	
26	100	100	100	100	100	100	100	90	80	75	65	60	50	60	60	60	60	80	85	100	100	100	100	100	83.1	
27	100	100	100	100	100	100	100	100	85	75	70	65	60	50	50	50	60	80	90	95	100	100	100	100	84.6	
28	100	100	100	100	100	100	95	80	75	70	60	55	50	50	50	50	55	60	85	90	95	100	100	100	80.5	
29	100	100	100	100	100	100	100	100	90	70	65	55	55	50	50	50	50	65	75	100	100	100	100	100	82.3	
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	65	60	55	50	45	50	60	65	90	95	95	100	100	100	83.5	
31	100	100	100	100	100	100	100	80	65	60	55	50	45	45	40	40	40	45	50	60	65	70	80	90	70.0	

Fig 47 Registro de la humedad relativa. Lecturas en %

Σ 2519.8

determinado lugar y estara intimamente ligado con la capacidad de drenado de la zona, a la programación de la obra así como a la utilización de impermeabilizantes.

El aire atmosférico contiene en suspensión cierta cantidad de agua, que determina su humedad y que proviene de la evaporación del agua de la superficie terrestre.

La cantidad de agua que cae se mide con un aparato llamado pluviógrafo Figura (47) que recoge parte del agua caída dándose la medición en milímetros de altura, que equivaldría a la altura que habría alcanzado el agua si se hubiese mantenido íntegra, formando una capa sobre la superficie llovida.

Los datos obtenidos en el pluviógrafo se traducen en gráficas Figura (48) de lecturas horarias a partir de las cuales se calculan los promedios diarios de intensidades, la acumulación anual y la selección de intensidades máximas para diseño.

#### Temperaturas:

Fenómeno natural que influye en la longitud de una pista, en el proceso constructivo del aeropuerto, en la selección del equipo de aire acondicionado, su medición se realiza a través del higrotermógrafo (Figura 45) en grados centígrados en lecturas horarias a partir de las cuales se obtienen temperaturas máximas y mínimas diarias y los promedios mensuales y anuales de temperaturas máximas y mínimas Figura (49).

#### Techos y visibilidad:

Los techos de nubes norman los criterios para la selección y uso de ayudas visuales ó radioayudas, tanto en el proyecto como en la operación de los aeropuertos.

Ante la imposibilidad de medir con exactitud la altura de las nubes, se hacen estimaciones en relación con alturas fijas conocidas con mediciones hechas en globo ó avión, por su apariencia, las de acuerdo a su altura las nubes se clasifican en:

a) NUBES ALTAS .- Con altura media a su base de 6000 m (20,000 pies) y componen esta familia:

Cirrus (Ci) Nubes dispersas, blancas sedosas.

Cirrocúmulus (Cc) pequeños copos blancos globulares.

Cirrostratus (Cs) velo blanco que no empaña el sol ni luna.



E.N.E.P. ARAGÓN

MAYIMA  
MENSUAL  
37°C

## TEMPERATURAS

PROMEDIO  
MENSUAL  
26.8°CFECHA  
MES MAYO AÑO 1990

DIA DE LECT.	HORARIO DE LECTURA																								TEMP. °C		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	T.M.D.	P.D.	
01	22	21	21	20	20	20	20	21	24	26	29	29	30	31	31	31	30	28	26	24	23	23	22	21	20	20	20
02	22	22	21	20	20	19	20	21	25	26	29	30	31	31	32	32	31	30	29	27	25	24	23	22	21	20	20
03	22	22	21	21	20	20	20	22	25	27	29	30	31	32	31	30	29	27	25	24	24	23	22	21	20	20	20
04	22	22	21	21	21	20	20	21	24	26	29	31	32	32	32	32	32	30	29	26	25	24	23	22	21	20	20
05	22	22	21	21	20	20	20	22	25	27	29	31	31	31	32	32	32	31	30	28	27	25	24	23	22	21	20
06	22	24	24	23	23	22	22	22	26	29	31	32	31	32	31	30	29	29	27	26	25	25	24	23	22	21	20
07	22	22	22	22	22	22	22	25	28	30	31	32	33	33	32	32	31	29	27	26	25	25	24	24	23	22	21
08	24	24	24	24	23	23	23	26	29	32	33	34	35	36	37	36	35	34	32	30	29	28	28	27	26	24	23
09	23	23	23	23	23	23	23	24	27	30	32	33	34	35	35	34	33	32	29	28	27	26	25	25	24	23	22
10	22	24	24	24	24	23	23	25	29	31	33	34	36	36	37	36	36	35	34	32	30	29	28	27	26	25	24
11	27	26	25	24	24	24	24	25	28	30	32	35	37	37	37	36	36	35	33	32	31	29	28	27	27	27	27
12	25	26	26	26	26	26	26	27	29	31	32	33	34	36	36	35	33	31	30	29	28	27	27	26	26	24	23
13	26	26	26	26	26	26	26	27	29	31	33	35	36	36	36	35	34	33	31	29	27	26	25	25	24	23	22
14	24	24	23	23	23	23	23	26	30	32	33	34	35	35	35	35	35	33	32	30	29	29	28	27	27	26	24
15	26	26	24	23	23	23	27	30	32	34	35	35	35	35	35	34	32	30	28	27	27	27	26	26	25	24	23
16	25	24	24	23	23	23	26	29	31	33	34	35	35	35	34	34	33	30	28	27	27	26	25	24	23	22	21
17	24	23	23	23	23	23	27	30	31	32	32	33	33	33	33	32	31	29	28	25	24	24	23	23	22	21	20
18	22	22	20	20	20	19	21	23	26	27	29	30	31	31	31	31	29	26	23	22	21	20	20	20	19	18	17
19	20	19	19	19	19	19	21	24	25	27	29	30	31	29	29	27	26	26	25	23	22	21	20	20	19	18	17
20	20	20	19	19	19	20	22	26	28	30	32	33	34	34	34	34	31	29	27	26	24	23	23	22	22	21	20
21	21	21	21	21	21	21	23	27	29	31	32	33	33	33	33	33	30	28	27	26	25	24	24	23	23	22	21
22	24	24	24	24	24	24	25	29	30	31	32	33	33	33	33	33	30	28	27	26	25	24	23	22	22	21	20
23	22	22	21	21	21	21	24	26	29	30	31	32	32	32	31	30	28	26	25	24	24	23	23	22	22	21	20
24	22	22	22	22	22	22	23	28	29	29	30	31	32	32	32	32	29	28	25	23	22	22	22	22	22	21	20
25	22	22	22	22	22	22	23	24	26	28	29	30	31	32	32	32	31	30	27	26	25	25	24	23	22	21	20
26	23	23	22	22	22	22	23	25	27	29	29	31	32	32	32	32	31	30	29	27	26	25	25	25	24	23	22
27	24	24	24	24	24	23	23	24	25	27	31	33	33	33	32	31	29	27	26	25	25	24	24	23	22	21	20
28	21	21	21	21	21	21	22	22	24	26	26	28	29	29	30	30	29	24	22	22	21	21	21	21	20	19	18
29	22	22	21	21	21	21	22	25	26	28	29	30	31	32	32	32	31	30	28	27	26	25	24	24	23	22	21
30	24	23	23	22	22	23	25	27	29	30	31	32	33	34	34	33	32	30	29	28	27	26	26	26	24	23	22
31	25	24	24	23	22	23	25	27	29	31	32	33	33	34	34	33	33	32	30	28	27	26	26	26	24	23	22

TOTAL LECTURAS 830

Fig. 49 Registro de temperaturas. Lecturas en °C.T.M.D.=Temp. máx. diaria.T.P.D.=Temp.prom. diario.

b) NUBES MEDIAS .- Con altura media a su cúspide de 6,000 m (20,000 pies) y una altura media a su base de 2,000 m (6,500 pies) y componen esta familia:

Altostratus (As) capas o manchas globulares con manchas.

Altostratus (As) velo estriado color gris, empaña el sol o luna.

c) NUBES BAJAS .- Con altura media a su cúspide de 2,000 m (6,500 pies) y la altura media a su base está cerca de la superficie terrestre, y en esta familia encontramos:

Estratocúmulus (Sc) capas, globulares o rollos grises con partes oscuras.

Status (St) forma de niebla pero que no toca el suelo.

Nimbostratus (Ns) capa baja de nubes como de lluvia.

d) NUBES DE DESARROLLO VERTICAL .- Con una altura media a su cúspide igual a la altura media de su base y estas igual a 500 m (1,600 pies) y la familia está formada por:

Cúmulos (Cu) nubes densas en forma piramidal.

Cumulonimbus (Cb) inmensas nubes con forma de mantañas, oscuras.

Un buen auxiliar para medir la base de las nubes es mediante un proyector de techo Figura (50). Que consiste en un reflector que proyecta un haz de luz hacia la base de las nubes y mediante un clinómetro se mide el ángulo con el cual se calcula la distancia vertical.

#### Visibilidad horizontal:

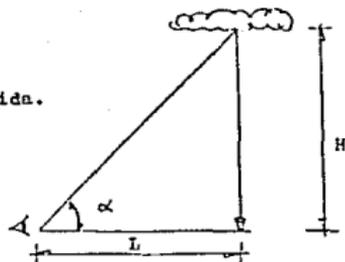
Esta distancia se define como la longitud en que se puede distinguir un objeto de características definidas, sin ayuda de aparatos ópticos; se estima en millas náuticas mediante la identificación de objetos fijos alrededor de la estación y cuya distancia se conoce.

El reporte de los techos y visibilidad estimados se incluyen en las hojas llamadas "Reporte de Techos y Visibilidades" Figura (51) que además contiene información de los fenómenos que ocurran en el momento de la observación como: Niebla (F), niebla baja (GF), niebla helada (IF), tolvanera (BO), ventisca (BS), tempestad

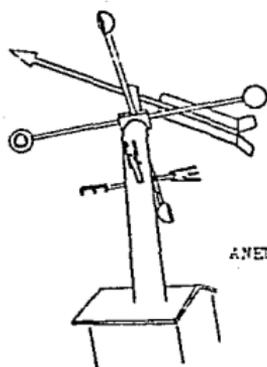
PROYECTOR DE TECHOS

L = Distancia fija y conocida.

H = L ( Tan  $\alpha$  ).



Medición de techos con proyector.



ANEMOCINÓGRAFO

Fig 50 Proyector de techos y anemocinómetro.

E.N.E.P. ARAGON

## TECHOS Y VISIBILIDADES

MES JULIO AÑO 1950

DIA DEL REG	HORARIO DEL REGISTRO												HORAS CERTI- DAS												
	9:00		9:00		10:00		11:00		12:00		13:00			14:00		15:00		16:00		17:00		18:00		19:00	
	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	
01																								0	
02																								0	
03																								0	
04																								0	
05																								0	
06																								0	
07		2.0											2.5											3	
08		2.5																						1	
09																								0	
10																								0	
11																								0	
12																								0	
13																								0	
14																								0	
15																								0	
16																								0	
17																								0	
18																								0	
19																								0	
20																								0	
21																								0	
22																								0	
23																								0	
24																								0	
25																								0	
26																								0	
27																								0	
28																								0	
29																								0	
30																								0	
31																								0	
	31												31											4	

Nota: Techos (T), en 10<sup>3</sup> pies y visibilidad (V), en millas nauticas. 1 Iluminado

Σ TOTAL | 9 5

Fig 51 Registro de techos y visibilidad.

de arena (BN), bruma (H), lluvia (R), humo (K), polvo (D), llovisna (L).

#### ESTUDIOS DE RUIDO.

La creciente preocupación de los habitantes del sitio donde se ubican los aeropuertos debido a los ruidos emitidos por los aviones ha conducido a varias instituciones a prescribir ciertas normas sobre su control, expresado como certificación del ruido de el cual esta encaminado a buscar su control y en el futuro reducir su intensidad a niveles aceptables.

El sonido se produce por una sucesión de vibraciones regulares que se percibe en forma idéntica, con sensación de continuidad durante un determinado tiempo, mientras que el ruido se produce por una serie de vibraciones irregulares, su percepción es breve ó discontinua, siendo desagradable y hasta nocivo.

Los límites de audibilidad en el hombre varían entre valores de 15 hertz, hasta 20000 hertz, donde un hertz (hz) es la medida de la intensidad de frecuencia; y la frecuencia es el número de ciclos ó vibraciones por unidad de tiempo de un tono puro.

El sonido es transmitido por una fluctuación de la presión en el aire y para medir su intensidad, se hace referencia a un patrón, resultando una escala que se mide en decibeles (dB), donde el decibel es la unidad que expresa la relación entre la potencia de un sonido determinado y un sonido de referencia en escala logarítmica, tiene 10 veces el logarítmico base diez, del cociente de fluctuación en la presión del sonido, entre la presión de referencia de otro.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_0}$$

donde:

$P_1$  = Fluctuación de presión.

$P_0$  = Presión de referencia (20 micropascales).

1 pascal = 1  $NW/m^2$

1  $NW/m^2$  = 0.1/dina/cm<sup>2</sup>

y:  $NW$  = Newton.

La medición del ruido se hacen con un aparato llamado decibelímetro que consiste en un micrófono ó receptor de presión graduado en varias escalas de presión, la escala "A" es la que más se aproxima a la que percibe el oído humano, abarca de 400 a 12000 Hz, la escala "B" que cubre de 124 a 12000 hz, pero que registra mejor ó es más sensible a las frecuencias altas. La escala "C" que cubre de 15 a 10000 hz,. Para diferenciar la escala empleada, ésta se indica entre parentesis junto a la abreviatura del decibel (dB), siendo está la más utilizada en la actualidad.

Para tener una idea de la emisión del ruido en las aeronaves diremos que:

- a) A una distancia de 1.60 m un suave murmullo tiene 10 dB(A).
- b) Un radio que funciona cerca, 110 dB(A).
- c) Un turboreactor (jet) en despegue, 160 dB(A).
- d) Los oídos comienzan a molestar con 120 dB(A) y a doler con 140 dB(A).

Con esto nos daremos cuenta del beneficio de las reglamentaciones que intervienen en este problema de contaminación ambiental por ruido.

En países como Estados Unidos, los expertos en aeronáutica no estan de acuerdo con este patrón de medición por la correlación de ruidos complejos, como los producidos por los aviones, donde el nivel total de presión sonora no solo suministra una descripción física inadecuada, sino que tampoco guarda una relación subjetiva con estos ruidos. Dos ruidos pueden tener el mismo nivel total de presión sonora y pueden considerarse muy diferentes subjetivamente. Esto conduce al desarrollo del concepto de "Nivel de Intensidad del Ruido Percibido (PNdB)", se determina a partir de la medición de los niveles de ruido y se ajusta dándole más importancia a las frecuencias que resulten más molestas al receptor logrando una mejor correlación de la respuesta subjetiva del oyente con los ruidos de amplio y variado espectro.

Un refinamiento del PNdB es el "Nivel Efectivo del Ruido Percibido" (EPNdB), que no es más que el PNdB corregido por la duración del sonido y ajustado ante la presencia de tonos puros.

Para cuestiones prácticas se utilizó el dB(A) en la planificación y uso de terrenos para aeropuertos, mientras que el

EPNdB se utiliza para expedir la certificación de las aeronaves.

Para el caso de medición del ruido al nivel del suelo y durante el vuelo de los aviones, se puede relacionar el nivel máximo de ruido EPNdB ó dB, observado en el suelo y la distancia a la aeronave, de acuerdo a la FAA y la OACI por medio de la siguiente expresión:

$$\text{EPNdB} = \text{dB(A)} + 12$$

Esta relación puede representarse en forma gráfica como puede verse en la Figura (52) y a partir de ella obtener el nivel máximo de ruido a cualquier distancia del avión por encima ó lateralmente a él y estimarse los perfiles de ruido de las aeronaves en despegues y aterrizajes. Para despegues la manera de describirlos es mediante un perfil generalizado para cada tipo de aeronave como se muestra en el la Figura (52). Suponiendo que estas dos curvas van asociadas a un tipo de avión, se puede construir un conjunto de contornos de ruidos ó curvas de nivel que representan sus niveles sobre el suelo durante el despegue del avión tal como se muestra en la Figura, estos contornos pueden utilizarse para describir el ruido que se escucha bajo una senda de depegue ó aterrizaje, así como a varios kilómetros de la pista y a cientos de metros a los lados de esta, estos niveles sonoros son estimados para un avión en particular, para valorar las respuestas de los oyentes al ruido de varios aviones, pueden considerarse los efectos acumulativos de sobrevuelos de diferentes tipos de aviones.

En el Reglamento para Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos la SEDUE indica que:

"..se estudiarán con especial cuidado aquellos casos en que exista contaminación ambiental por ruido, cuyo nivel medio sea de 155 dB(A) ± 3 dB durante un lapso no inferior a quince minutos al día ó de duración inferior a un segundo, cuyo nivel exceda a los 140 dB(A), en áreas donde exista la posibilidad de exposición personal inadvertida no derivada de una relación laboral.." Los tiempos permisibles de exposición al ruido son:

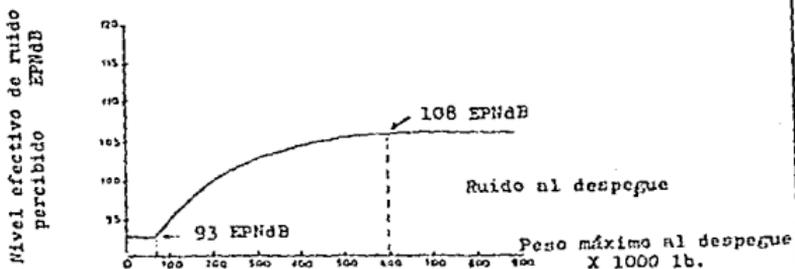
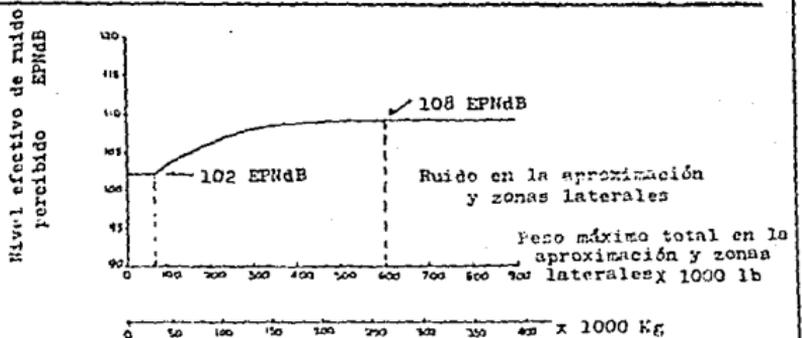
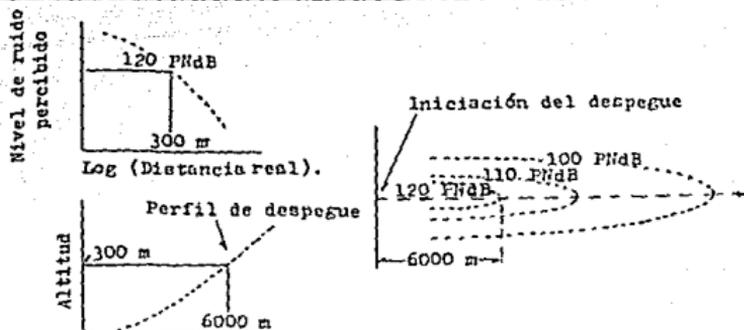


Fig 52 Desarrollo de contornos de igual ruido y requisitos de certificación de ruido en los aviones.

DURACION EN HORAS/DIA	NIVEL DE SONIDO dB(A)
8.0	90
6.0	92
4.0	95
3.0	97
2.0	100
1.5	102
1.0	105
0.5	110
0.25 (15 minutos)	115

Los puntos principales de medición para la certificación del ruido de los aviones son los siguientes:

- 1.- En el despegue, a 6.5 Km del comienzo del recorrido de despegue y a lo largo del eje de la pista.
- 2.- En la aproximación a la pista, a 1.8 Km del umbral según la línea del eje de la pista.
- 3.- En la línea lateral paralela al eje de la pista, a 0.5 Km para aviones con cuatro ó mas motores.

Los niveles de ruido relacionados con estos puntos son:

a) Para aproximaciones a la pista y zonas laterales, se establecen 108 EPNdB para pesos de despegue de 272,000 Kg ó mas, 2 EPNdB menos para la mitad del peso de 272,000 Kg, y bajando los niveles efectivos del ruido percibido hasta 102 EPNdB para pesos máximos de 34,000 Kg ó menos.

b) Para despegues, 108 EPNdB para pesos de 272,000 Kg ó más, 5 EPNdB menos para la mitad del peso de 272,000 Kg; hasta bajar a 93 EPNdB para pesos máximos de 34,000 Kg y por debajo de este peso.

La manera de calcular estos niveles de ruido para zonas laterales, aproximación y despegue es la siguiente:

Aproximación y zona lateral:

$$EPNdB = 102 + \left[ \frac{\log_{10} (W) - \log_{10} (34)}{0.2 \log_{10} (2)} \right]$$

Despegue:

$$EPNdB = 93 + \left[ \frac{\log_{10} (W) - \log_{10} (34)}{0.2 \log_{10} (2)} \right]$$

en donde:

W = Peso máximo de despegue en miles de kilos.

Otros países han desarrollado un cierto número de métodos sobre el ruido de los aviones individualmente, midiendo su exposición acumulativa, el más usado es el llamado "NEF" (noise-exposure-forecast) predicción de exposición al ruido, en el cual el nivel de percepción del ruido se expresa en EPNdB y toma en cuenta el número de operaciones como continuas.

Matemáticamente el método NEF puede expresarse de la manera siguiente:

$$NEF = EPNL + 10 \log_{10} \left( \frac{N}{K} \right) - C$$

en la que:

EPNL = Nivel efectivo de ruido percibido en EPNdB.

N = Número de operaciones durante el día ó noche.

K = Coeficiente que depende de que si las operaciones se efectúan en el día ó noche:  $K_d = 20$ ,  $K_n = 1.2$ .

C = Factor de normalización (88.0).

Las operaciones diurnas tienen lugar desde las 7.00 Hr hasta las 22.00 Hr, y las operaciones nocturnas se consideran que comienzan desde las 22.00 Hr hasta las 7.00 Hr.

El NEF(ij) medio día-noche de un avión tipo (i) siguiendo una ruta (j) es:

$$NEF(ij) = EPNdB(i) + 10 \log_{10} (N_f) - 88.0 \dots\dots I$$

en la que

$$N_f = (N_d + 16.7 N_n)$$

y  $N_f$  = número de operaciones diurnas,  $N_d$  = número de operaciones en el día,  $N_n$  = número de operaciones en la noche.

La media del día completo (día-noche) de exposición al ruido para varios tipos de aviones (i) en un punto del suelo y siguiendo

la misma ruta (j) es:

$$NEF(j) = 10 \log_{10} \Sigma_i \text{antilog} \frac{NEF(i,j)}{10} \dots\dots II$$

Expresión con la que se obtiene el valor de NEF en un punto y que es utilizado para la elaboración de puntos de igual exposición al ruido Figura (53).

Una vez dibujadas las curvas, se puede planificar la utilización del terreno ó la reacción de la comunidad ante la expansión del aeropuerto.

En la Figura (53) se indican los usos del terreno, compatible con los diferentes niveles de ruido.

### 6.3.- PROYECTO AERONAUTICO.

La construcción ó ampliación de un aeropuerto exige grandes inversiones de capital por lo que se busca que su vida útil sea lo más amplia posible, lo que lleva a determinar una extensión suficiente de terreno para llevar a cabo las progresivas ampliaciones, conforme a la demanda del tráfico aéreo.

Antes de proceder a la inspección de los emplazamientos probables, incluso de los existentes, es necesario determinar en forma general la extensión del terreno que se considera necesaria para la ampliación de las pistas, que, por lo general constituyen la mayor parte del terreno exigido para un aeropuerto.

Para ésto deben de analizarse los factores siguientes:

- A) Orientación de pista.
- B) Número de pistas.
- C) Longitud de pista.

y en la base a los cuales calcular en forma aproximada la magnitud del terreno necesario.

#### A) ORIENTACION DE PISTA:

La orientación de las pistas estará de acuerdo con la dirección de los vientos dominantes del lugar, lo que permitirá a las aeronaves operar en los despegues y aterrizajes con vientos directos y componentes de viento transversal permisible segun la FAA se pueden considerar como Vientos Directos aquellos que incidan con una curvatura de 45° respecto a la dirección de vuelo

### Criterios NEF para el uso del suelo

Usos del suelo	Zona A	Zona B	Zona C
Residencial	Si	Nota B	No
Comercial	Si	Si	Nota C
Industria ligera	Si	Nota C	No
Edificios de oficinas públicas	Si	Nota C	No
Bibliotecas, hospitales, iglesias	Nota C	No	No
Teatros, auditorios	Nota A y C	No	No
Teatros y anfiteatros al aire libre	Nota A	No	No
Parques públicos	Si	Si	Si
Industrial	Si	Si	Nota C

(A) Un análisis detallado del ruido debe ser desarrollado por personal calificado para todos los auditorios de música interiores y exteriores y en todos los teatros al aire libre.

(B) Se han tenido quejas en el pasado de los habitantes de las zonas residenciales debido al fuerte ruido que provocan las actividades.

Para la construcción de departamentos se debe aplicar la Nota (C).

(C) Deberá hacerse un análisis para la reducción del ruido en las construcciones y deberán incluirse medidas para el control de ruido.

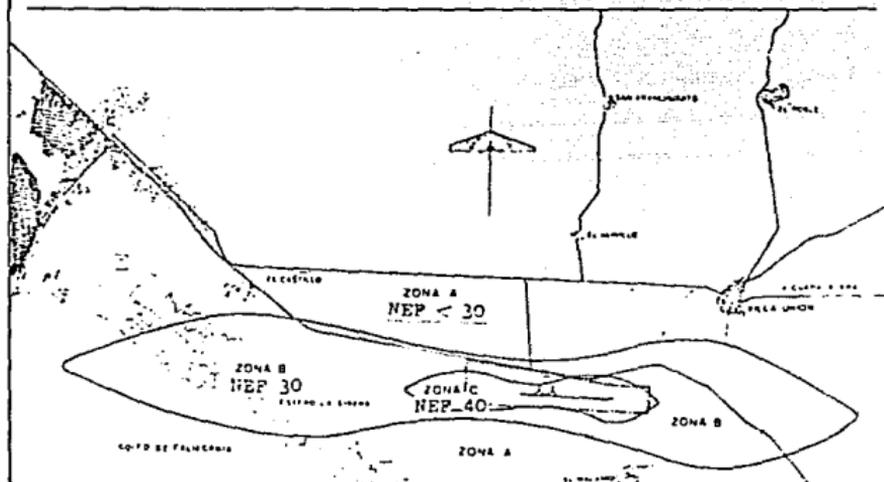


Fig 53 Curvas de ruido (NEP), y criterios de uso del suelo.

de la aeronave, y los que no se encuentren dentro de los  $45^{\circ}$  se consideran como Vientos de Costado ó Vientos Transversales, cuyos valores permisibles dependerán del tipo de aeronave y estado de la superficie pavimentada, el Anexo 14 de la OACI especifica que las pistas bien orientadas deberán tener un coeficiente de utilización no menor al 95% con los siguientes valores de componentes de Viento Transversal :

a) 37 Km/hr (20 nudos), cuando se trata de aviones que requieren una longitud de pista de 1500 m ó más, excepto cuando se presenten condiciones deficientes de frenado debido a un coeficiente de fricción insuficiente, en cuyo caso deberá superarse una componente transversal de viento que no exceda de 24 Km/hr (13 nudos);

b) 24 Km/hr (13 nudos) para el caso de aviones que requieren una longitud de pista de 1200 m ó mayor, pero inferior a 1500 m; y

c) 19 Km/hr (10 nudos), en el caso de aviones cuya longitud de pista sea inferior a 1200m.

Esta orientación se basa en un análisis de vientos el cual se relizá a través de la Rosa de Vientos, que es una representación gráfica de la forma en que inciden en un lugar determinado; el número y orientación de las pistas estarán de acuerdo al coeficiente de utilización del aeródromo que no será inferior al 95%.

La elección de los datos para el cálculo del coeficiente de utilización se basa en estadísticas confiables de la distribución de los vientos que se deben clasificar en grupos según su velocidad y dirección, la precisión de los resultados dependerá de las observaciones de campo.

Estas observaciones se hacen mediante un Anemocinómetro, aparato que mide la dirección y velocidad del viento Figura (50 y 54), de acuerdo a su dirección se tendrán 16 rumbos a cada  $22.5^{\circ}$  y por su velocidad se clasifican en:

Vientos en calma de 0 a 4.8 Km/h (0 a 2.6 nudos).

Rango I vientos de 4.9 a 24.0 Km/h (2.7 a 13 nudos).

Rango II vientos de 24.1 a 48.3 Km/h (13.1 a 26 nudos).

Rango III vientos mayores de 48.3 Km/hr (26 nudos).

Con estos valores y los tiempos de medición, se tendrá una

DIRECCIONES Y VELOCIDADES DE VIENTOS		REC-1	
REGISTRO		REC-1	
01	02	03	04
05	06	07	08
09	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	100
101	102	103	104
105	106	107	108
109	110	111	112
113	114	115	116
117	118	119	120
121	122	123	124
125	126	127	128
129	130	131	132
133	134	135	136
137	138	139	140
141	142	143	144
145	146	147	148
149	150	151	152
153	154	155	156
157	158	159	160
161	162	163	164
165	166	167	168
169	170	171	172
173	174	175	176
177	178	179	180
181	182	183	184
185	186	187	188
189	190	191	192
193	194	195	196
197	198	199	200
201	202	203	204
205	206	207	208
209	210	211	212
213	214	215	216
217	218	219	220
221	222	223	224
225	226	227	228
229	230	231	232
233	234	235	236
237	238	239	240
241	242	243	244
245	246	247	248
249	250	251	252
253	254	255	256
257	258	259	260
261	262	263	264
265	266	267	268
269	270	271	272
273	274	275	276
277	278	279	280
281	282	283	284
285	286	287	288
289	290	291	292
293	294	295	296
297	298	299	300
301	302	303	304
305	306	307	308
309	310	311	312
313	314	315	316
317	318	319	320
321	322	323	324
325	326	327	328
329	330	331	332
333	334	335	336
337	338	339	340
341	342	343	344
345	346	347	348
349	350	351	352
353	354	355	356
357	358	359	360
361	362	363	364
365	366	367	368
369	370	371	372
373	374	375	376
377	378	379	380
381	382	383	384
385	386	387	388
389	390	391	392
393	394	395	396
397	398	399	400
401	402	403	404
405	406	407	408
409	410	411	412
413	414	415	416
417	418	419	420
421	422	423	424
425	426	427	428
429	430	431	432
433	434	435	436
437	438	439	440
441	442	443	444
445	446	447	448
449	450	451	452
453	454	455	456
457	458	459	460
461	462	463	464
465	466	467	468
469	470	471	472
473	474	475	476
477	478	479	480
481	482	483	484
485	486	487	488
489	490	491	492
493	494	495	496
497	498	499	500

Fig 51 Registro de vientos.

D.N.E.P. ARAGON

## SELECCION MENSUAL DE DATOS

FECHA

MES

MARZO

AÑO

1990

RUMBOS	HORARIO DEL REGISTRO INCIDENTE																								SEPAR MENS.			PARCIAL					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	R1	R1	R1	R1	R1	R1			
CALMAS	12	12	13	12	14	14	13	7	5	2	2							2	3	3	4	8	9	10	145			CALMAS					
N.	1									1	1				1	1	1				1	2	1		10								
NNE										1												1	1	1	4								
NE	1	1		1														1	1						5			EQUIVALENCIAS					
ENE																												colmas:					
E																									7			0 - 2.6 nudos					
ESE	2										2		1	1	1	2	3			1	1		1	17			Rango I:						
SE	1			1	1	1	2	2	3			1	1						2	1	2			18			Rango II:						
SSE		1						2	2	2		2	1	1							1	1		13			Rango III:						
S	1	1			1	1	3	1	1												4	4	1	19			26.1 - 52.1 nudos						
SSW	2	3	3	5	3	3	6	7	7	5	5	3	3	2		3	3	1	1	5	9	4	3	8	4	99	6	1					
SW	11	11	10	7	10	10	6	7	7	12	9	9	7	10	8	11	10	15	10	13	11	9	8	11	244	41	2						
WSW	1		1	2		1		1	1			1	1	2	1	1	1		3	2	1	1	2	1	1	52	9	2					
W	1	1	1	5		1	3				1	2	3	2	3	2		1		1			1		26								
W/W					1			1	1				1									2		1	4								
NW									1	1	1	1	2	1	1										12								
NNW									1	1	2														5								
TOTAL	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	535	56	5						
Fig 55 Selección mensual de datos.																				TOT. HENS.			741			= 741							
																							TOTAL PARCIAL										

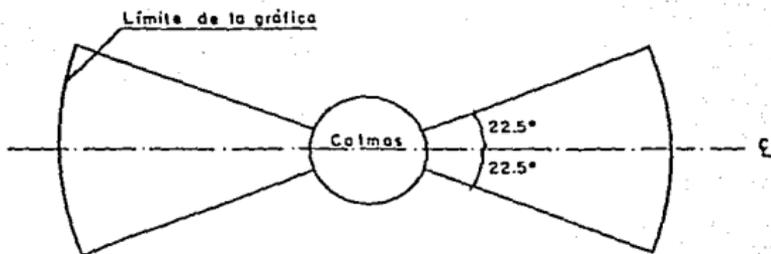
"Selección Mensual de Datos" Figura (55) de acuerdo a su dirección y rango de velocidad y el factor de porcentaje que significa cada número de lecturas en cada dirección y de acuerdo a su velocidad.

A partir de estos resultados se dibuja la Rosa de Vientos, Figuras (57 y 58) donde aparecen las direcciones y rangos de velocidad, de vientos directos llamados así porque inciden con la trayectoria de la aeronave con una abertura angular de  $45^{\circ}$  según especificaciones de la Federal Aviation Agency (FAA) se elabora una plantilla con estas características y se coloca sobre la Rosa de Vientos y pivoteando en su centro se gira cada  $10^{\circ}$ , obteniendo los porcentajes del viento, la parte fraccionaria se estimará visualmente en décimos de tanto por ciento, se continua de la misma manera para los demás rumbos girando la plantilla alrededor de la Rosa de Vientos hasta terminar con la totalidad de los rumbos obteniéndose de esta manera los porcentajes para vientos directos con los que se podrá saber la orientación óptima de la pista.

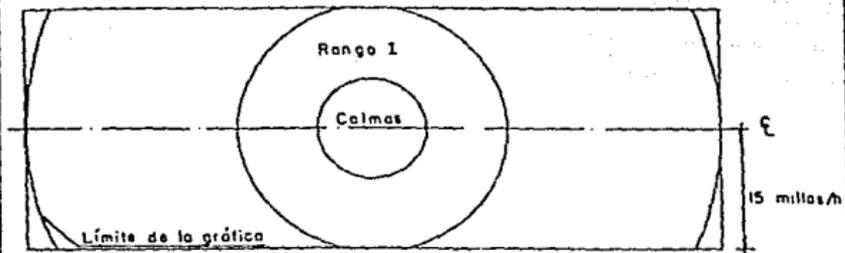
Sin embargo esta orientación estará condicionada por los vientos transversales o de costado y que se requiere para su estudio realizar un procedimiento análogo al anterior, elaborando otra plantilla de material transparente pero ahora de forma rectangular a la misma escala en que este dibujada la Rosa de Vientos con un ancho de 30 millas/hr (24 km/hr) Figura (56) para éste caso la FAA nos indica que los vientos de hasta 15 millas/hr no afectarán la operación de aeronaves aun formando ángulos mayores de  $45^{\circ}$  respecto a su trayectoria.

Esta plantilla se gira también cada  $10^{\circ}$ , tabulándose en cada caso los resultados obtenidos el valor máximo del viento transversal tendrá una velocidad límite de 24 Km/hr. Sin embargo, se pueden utilizar para mayor protección de las aeronaves pequeñas vientos laterales con menor velocidad; con los valores obtenidos se determina la dirección óptima de la pista, en función del máximo porcentaje de vientos..

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes viendo que las áreas de los segmentos cubiertos por cada plantilla era constante y solo variaban los porcentajes de viento en cada rumbo y para cada rango, se tabularon las porciones de área cubiertas por las plantillas en forma de factores, los cuales se indican en las



Plantilla para vientos directos.



Plantilla para vientos cruzados.

FIG 56 Plantillas para vientos directos y cruzados.

hojas de "Cálculo de Porcentajes para Vientos Directos" Figura (57) y "Cálculo de Porcentajes para Vientos Cruzados" Figura (58), simplificando de esta manera el cálculo de la orientación de pistas a simples operaciones aritméticas.

Ejemplo #1 ORIENTACION DE PISTA POR VIENTO.

METODO DE ROSAS DE VIENTOS.

Para este ejemplo partiremos de las lecturas de viento correspondientes a los años de estudio y cuyos resultados presentamos a continuación:

Tabla XIV .- Lecturas de Vientos (N).

RUMBO	CALMAS	No. DE LECTURAS		
		RANGO I	RANGO II	RANGO III
N	-	711	2	-
NNE	-	665	6	-
NE	-	873	1	-
ENE	-	1314	-	-
E	-	3222	1	-
ESE	-	3405	12	-
SE	-	1702	-	-
SSE	-	874	-	-
S	-	1032	7	-
SSW	-	798	73	1
SW	-	1334	173	2
WSW	-	619	70	2
W	-	517	18	-
WNW	-	251	6	-
NW	-	413	10	-
NNW	-	426	1	-
Σ = 1077		18256	380	5
TOTAL = CALMAS + RANGO I + RANGO II + RANGO III.				
= 1077 + 18256 + 380 + 5 = 28818.				
Número de lecturas.				

Con el Total de lecturas (N), obtenemos el factor de

porcentaje unitario:

Factor de porcentaje unitario =  $100/N$

$N = 28818$  Número de lecturas.

Factor de porcentaje unitario =  $100/28818 = 0.00347$

Factor que utilizaremos para obtener el porcentaje de los vientos para cada dirección y rango de velocidad.

Tabla XV .- Porcentajes de vientos.

FACTOR DE UNITARIO P <sub>c</sub> 0.00.347	RUNBO	CALNAS	RANCO I	RANCO II	RANCO III
	N	-	2.5	0	-
	NNE	-	2.3	0	-
	NE	-	3.4	0	-
	ENE	-	4.6	-	-
	E	-	11.2	0	-
	ESE	-	11.8	0	-
	SE	-	5.9	-	-
	SSE	-	3.0	-	-
	S	-	3.8	0	-
	SSW	-	2.8	0.3	0
	SW	-	4.8	0.8	0
	WSW	-	2.1	0.3	0
	W	-	1.8	0.1	-
	WNW	-	0.9	0	-
	NW	-	1.4	0	-
	NNW	-	1.5	0	-
E <sub>s</sub> =		35.3	63.4	1.3	0

Estos resultados se anotan en la Rosa de Vientos para proceder al análisis para vientos directos y vientos cruzado, siguiendo el procedimiento descrito y se tiene que para Vientos Directos la orientación óptima de la pista será con rumbo 10-28 ( $100^{\circ} - 280^{\circ}$ ) con un coeficiente de utilización del 60.77% Figura (57); como la OACI exige un coeficiente de utilización mayor al



95% y no se tiene, sera necesario revisar esta orientacion para el caso de Vientos Cruzados y con una componente permisible de Viento Cruzado ó de Costado de 24 Km/hr (15 Millas/hr), y una longitud de pista de 1200 m a 1500 m para el uso de un avión DC-6 o similar.

Para Vientos Cruzados Figura (58) y utilizando la plantilla correspondiente obtenemos que la orientación optima que será con rumbo ( $50^{\circ}$ -  $230^{\circ}$ ), observamos que el rumbo ( $100^{\circ}$ - $280^{\circ}$ ) tiene un coeficiente de utilización del 99.18% también aceptable para Vientos Cruzados y es con el cual queda orientada nuestra pista.

Este resultado nos indica que debemos proyectar una pista principal para vientos directos con rumbo  $100^{\circ}$ - $280^{\circ}$ , que puede utilizarse satisfactoriamente para Vientos Cruzados de acuerdo al coeficiente de utilización que marca la OACI.

Las Figuras (59 y 60), muestra el ejemplo utilizando los factores de la SCT llegando al mismo resultado.

#### B) NUMERO DE PISTAS:

Al proyectar un aeropuerto necesitamos conocer el número de pistas para satisfacer las exigencias del tránsito, la disponibilidad de terrenos, el 95% de utilización del aeródromo especificado por la OACI constituye un mínimo en que los aeropuertos pueden dejar de funcionar durante un periodo del 5% lo que equivale a no operar 18 días al año, que puede ocasionar un grave problema económico, por lo que además de contarse con pistas principales, sera necesario proveer la existencia de una ó más pistas para admitir a las aeronaves en condiciones de Viento Transversal desfavorable.

#### C) LONGITUDES DE PISTA:

Los factores que influyen en la longitud de una pista son los siguientes:

- 1) Condiciones meteorológicas, principalmente viento y la temperatura.
- 2) Características físicas como pendiente y estado de la superficie de rodamiento de la pista.
- 3) Factores relacionados con el sitio del aeropuerto, como elevación sobre el nivel del mar y limitaciones topográficas.
- 4) Características físicas y operacionales de las aeronaves.



ENEP A.		CALCULO DE PORCENTAJES PARA VIENTOS DIRECTOS																																			
		PORCENTAJES CUADROS EN CADA 0.2110																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24												
N	311	2	0																							0.42	1.33	2.13									
NNE	665	6	0																									0.13									
NE	973	1	0																																		
ENE	1316	0	0																																		
E	1222	0	0																																		
ESE	1403	12	0																																		
SE	1707	30	0																																		
SSE	876	30	0																																		
S	1032	7	0																																		
SSW	755	73	1	0																																	
SW	1334	173	2	0																																	
WSW	819	70	3	2	0																																
W	317	18	0																																		
WNW	231	6	0																																		
NW	413	10	0																																		
NNW	428	1	0																																		
CALMAS		3	0																																		
TOTAL		46	33	16	7	47	77	48	83	159	73	159	45	51	63	53	84	135	71	58	23	153	77	58	84	58	27	33	02	49	33	46	50	46	37	43	93
NOTAS		Se usó un instrumento de clase 5113		Caudal: 11.5		Factor de Lectura: 1.0		N = 1		Factor de Lectura: 1.0		Factor de Lectura: 1.0		Factor de Lectura: 1.0		Factor de Lectura: 1.0		Factor de Lectura: 1.0																			

Fig 59 Cálculo de porcentajes para vientos directos.



Cuanto mayor sea el viento de frente a una aeronave más corta será la pista que necesite para despegar ó aterrizar. En cuanto a la temperatura, cuanto más elevada sea mayor longitud tendrá, ya que las temperaturas altas se traducen en densidades menores de aire que repercuten retardan la presentación de la fuerza de sustentación en el despegue, por lo que se refiere a la pendiente de una pista, es evidente que un avión que despegue en una pendiente ascendente requiere una mayor longitud de pista que si se encontrase a nivel ó tuviese una pendiente descendente. Por otra parte cuanto mayor sea la elevación del aeropuerto respecto al nivel del mar mayor longitud habrá de tener la pista por disminuir la eficiencia de sus motores por ultimo las características físicas y operacionales de las aeronaves repercuten en la longitud de una pista y constantemente son estudiadas y expuestas en los manuales de operación de cada avión.

#### CALCULO DE LONGITUD DE PISTA:

Para el cálculo de la longitud de una pista existen dos métodos, el primero es cuando se conocen las características físicas y operacionales de los aviones (Manual de vuelo del avión) y otro con resultados aproximados por medio de la aplicación de coeficientes de corrección, relacionados con la altura sobre el nivel del mar del aeropuerto, su temperatura de referencia y la pendiente de la pista.

#### 1) CALCULO DE LONGITUD DE PISTA CUANDO NO SE DISPONE DEL MANUAL DE VUELO DEL AVION.

Partiendo de una longitud mínima de pista recomendada para un determinado tipo de avión bajo condiciones ideales, se procede a la aplicación de los factores de corrección que relacionan la elevación, temperatura, pendiente de la pista.

Como primera medida deberá elegirse una longitud básica que le permita atender los requisitos operacionales de los aviones a los cuales servirá. Esta longitud básica es la necesaria para el aterrizaje o despegue en condiciones de una atmósfera tipo, a una elevación s.n.m.s. de cero, con viento y pendiente nulos y temperatura de 15° C.

La atmósfera tipo propuesta por la OACI supone que desde el nivel del mar hasta una altitud de 11,000 metros, la temperatura decrece linealmente. Por encima de 11,000 metros y hasta los 20,000, la temperatura se mantiene constante.

1) La longitud básica utilizada deberá incrementarse un 7% por cada 300 m de elevación sobre el nivel medio del mar.

2) La longitud corregida por altitud deberá incrementarse el 1% por cada 1° C que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aerodromo.

La temperatura de referencia de un aeropuerto es la temperatura media mensual de las temperaturas medias diarias en el mes más caluroso del año  $T_1$ , siendo el mes más caluroso aquel que ofrece la mayor temperatura media diaria más un tercio de la diferencia entre la temperatura media de ese mes y la media mensual de las temperaturas máximas diarias en el mismo mes  $T_2$ ; en otras palabras,  $T_1 + (T_2 - T_1)/3$ . Tanto la  $T_1$  como  $T_2$  deben de promediarse durante un periodo de 5 años aproximadamente.

3) Finalmente la longitud corregida por temperatura deberá incrementarse un 10% por cada 1% de pendiente de la pista, determinada al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima del eje de la pista, entre la longitud de ésta.

La longitud de la pista así calculada no será mayor del 35% de su longitud básica en caso contrario se utilizará el manual del avión.

**Ejemplo #2 CALCULO DE LONGITUD DE PISTA UTILIZANDO FACTORES DE CORRECCION.**

a) DATOS:

- |  |             |
|--|-------------|
| 1) Longitud básica de pista al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo. | 2100 m      |
| 2) Elevación del aeródromo.  | 150 m.s.n.m |
| 3) Temperatura de referencia del aeródromo.                                    | 24° C       |
| 4) Temperatura a 150 m en la atmósfera tipo <sup>1</sup> .                     | 14,025 °C   |
| 5) Pendiente de la pista.  | 0.5 %       |



## II) CALCULO DE LONGITUD DE PISTA CUANDO SE DISPONE DEL MANUAL DE VUELO DEL AVION.

El cálculo de la longitud generalmente utilizado en la República Mexicana es el que ha elaborado la FAA que consiste en una serie de gráficas basadas en las características físicas y operacionales de cada aeronave, así como temperaturas de referencia, elevación sobre el nivel del mar, viento, humedad relativa, posición de las aletas, pendiente longitudinal de la pista etc... para lograr mejores rendimientos de las aeronaves y que se explican a continuación.

**ALTITUD.-** Generalmente a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar la presión y la densidad del aire disminuyen traduciéndose en una disminución de la sustentación y en la reducción de potencia y eficiencia de los motores lo cual trae como consecuencia que se requiera más tiempo para alcanzar la velocidad necesaria para dar la sustentación requerida, haciendo que la pista necesita aumentar progresivamente su longitud a medida que se eleva la altitud del aeródromo en el que opera.

**TEMPERATURA.-** El aumento de la temperatura reduce la densidad del aire, lo que tiene un efecto adverso sobre los motores de las aeronaves. y en la fuerza de sustentación, este efecto es más intenso durante el despegue y particularmente en los aviones equipados con turborreactores, ya que la eficiencia de un turborreactor depende en gran parte de la diferencia entre la temperatura del aire exterior y la máxima temperatura que pueda lograrse en la cámara de combustión. A medida que la temperatura exterior aumenta por encima de cierto valor que depende de la altitud, la eficacia del motor disminuye y por lo tanto el rendimiento del avión se reduce.

**VIENTO.-** Las operaciones de despegue como de aterrizaje generalmente se realizan en condiciones de viento de frente con lo que se obtiene una menor longitud de pista, por el contrario, cuando se tiene un viento de cola la longitud aumenta considerablemente.

**POSICION DE LAS ALETAS.-** Dependiendo de la inclinación de las aletas, puede presentarse una oposición al aire lo cual acorta la longitud de la pista utilizada en el aterrizaje, y con ciertos

ángulos de inclinación en el despegue se puede lograr un incremento de superficie alar y como consecuencia de la fuerza de sustentación requiriendo menor longitud de pista.

**PENDIENTE LONGITUDINAL DE LA PISTA.-** Esta condición influye en la longitud de la pista ya que las operaciones de aterrizaje contra pendiente necesitan una longitud menor que en el despegue; una pendiente a favor necesitará siempre menor longitud de pista al despegar y mayor al aterrizar.

#### **SEGMENTOS DE VUELO Y LONGITUD DE PISTA.**

La trayectoria de despegue se divide en cuatro segmentos. Figura (61) se puede observar que el primer segmento comienza cuando la aeronave alcanza una altura de 10.7 m (35 pies) sobre el nivel de la pista y termina hasta que se retrae el tren de aterrizaje.

El segundo segmento se inicia en el punto donde se retrae el tren de aterrizaje y termina cuando el avión alcanza una altura de 122 m (400 pies). Las pendientes de ascenso mayores, exigidas en este segmento, hacen que éste sea crítico para determinar el peso máximo de despegue.

El tercer segmento comienza cuando la aeronave alcanza una altura de 122 m (400 pies) y termina cuando se retraen las aletas.

El segmento denominado final termina cuando se alcanza una altura de 147 m (1500 pies). Una observación importante es que cuando se encuentran obstáculos en la trayectoria de vuelo de despegue, las pendientes mínimas de ascenso mostradas en la Figura (64) no se aplican.

A continuación se da la secuencia que se sigue para obtener la longitud de pista necesaria para despegues y aterrizajes cuando se dispone de manuales de vuelo de las aeronaves y los segmentos de vuelo.

Para determinar la longitud mínima de una pista, la guía de cálculo debe contener datos referentes al aeropuerto como: identificación del aeropuerto, elevación S.N.M.M. determinada en base a las cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), distancias de itinerario origen - destino y al aeropuerto alterno, la temperatura de referencia, y viento que se obtendrá de los datos

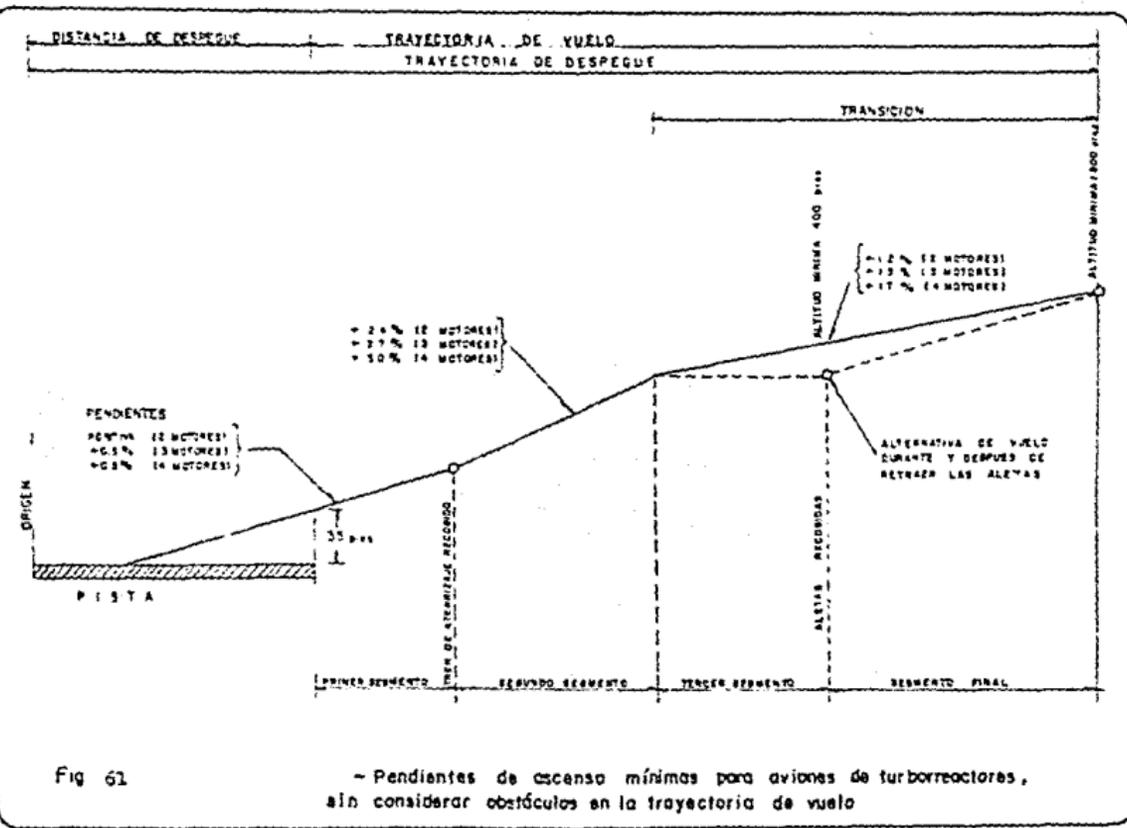


Fig 61

- Pendientes de ascenso mínimas para aviones de turboreactores, sin considerar obstáculos en la trayectoria de vuelo

recabados por las estaciones meteorológicas.

Las características del avión de diseño son proporcionadas por los fabricantes de aeronaves Tabla (XIII) con el reconocimiento de la FAA.

Para el cálculo del peso máximo de despegue limitado por segundo segmento de ascenso, se utilizan los nomogramas de las Figuras (63 y 64), tomando como base la temperatura de referencia, la elevación sobre el nivel del mar del lugar y los diferentes grados de inclinación de aletas que se consideran para cada tipo de avión en particular.

Cuando ya existe una pista, se pueden utilizar estos nomogramas, determinando el peso máximo de despegue limitado por dicha longitud, y se compara con el peso máximo real de la aeronave de acuerdo a su distancia de vuelo.

En el cálculo del peso máximo de despegue intervienen los siguientes elementos:

a) El peso básico de Operación; que incluye el peso del avión con la tripulación y los aditamentos necesarios para el vuelo, sin incluir la carga pagable ni de combustible al cual se le adiciona el peso de los pasajeros incluyendo equipaje, el peso del expés y del correo.

b) Peso del combustible necesario para llegar al aeropuerto destino, que se obtiene de la Figura (65).

c) Peso del combustible utilizado para llegar al aeropuerto alterno, que se obtiene de la Figura (66).

d) Peso del combustible para efectuar una espera de 45 minutos y que se estima en un 75% del peso del combustible consumido para alcanzar la etapa.

La suma de estos pesos proporcionará el peso máximo de despegue, que se compara con el peso permisible limitado por el segundo segmento de ascenso, si es menor, se utilizará para el cálculo de la longitud de pista utilizando los nomogramas de las Figuras (67 y 68). Si la cantidad es mayor, se empleará el peso permisible limitado por segundo segmento, ya que este valor es el límite operacional de los aviones ó el que recomienda el fabricante para el despegue.

La longitud de pista necesaria para el aterrizaje de turborreactores siempre será menor que la longitud de pista para

el despegue, debido a la diferencia de pesos por el combustible consumido al llegar a su destino, o en su caso, para llegar al aeropuerto alterno.

Con el nomograma de la Figura (69) se calcula la longitud de pista para aterrizaje; los datos obtenidos se refieren a una pista dura y seca. Si la pista está húmeda, deberá aumentarse esta longitud en un 15 por ciento.

Ejemplo #3 CALCULO DE LA LONGITUD DE PISTA MEDIANTE  
NOMOGRAMAS.

Aeropuerto en estudio Salina Cruz, Oaxaca , situado al nivel del mar, con una temperatura de referencia de  $35^{\circ}$  C, distancia al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, D.F. 672.3 Km (363 M.N.), y una distancia al Aeropuerto Internacional de Acapulco, Guerrero como aeropuerto alterno de 307 Km (166 M.N.), se consideran sin vientos y pendiente longitudinal de 0%. Estos datos se encuentran en la Figura (62).

El avión de diseño DC-9-15, y cuyos datos de fabrica están en la Tabla (XVI).

Para obtener el peso de despegue limitado por segundo segmento con diferentes grados de inclinación de aletas se utilizan las Figuras (63 ó 64) para aletas a  $10^{\circ}$  y temperatura ambiente ( $35^{\circ}$ ) al nivel del mar, encontramos un peso de más de 100,000 lb para el inicio del despegue, mientras que para una inclinación de aletas a  $20^{\circ}$  nos da un valor aproximado de 90,619 lb para el peso de despegue.

El valor que se utilizará como peso máximo de despegue será de 90,619 lb.

El siguiente paso será conocer el valor del peso máximo con el cual despegará de acuerdo a las condiciones de carga e itinerario y que incluye el peso máximo de operación más el de carga pagable, el peso del combustible de etapa, el peso del combustible de espera y el peso del combustible para llegar al aeropuerto alterno Figuras (65 y 66).

Lo anterior nos da un peso de 87,082 lb que se utilizará para el cálculo de las longitudes de pista, ya que esta cantidad es menor que la necesaria calculada para segundo segmento

requerida por la aeronave, en el caso de que hubiera sido mayor, se tendría que reducir el peso hasta alcanzar la cantidad obtenida por segundo segmento, para lo cual tendría una restricción la carga pagable.

Por ultimo con la cantidad de 87,082 lb y utilizando las Figuras (67 y 68) se obtienen las longitudes de pista para una inclinación de aletas de  $10^{\circ}$  de 7250 pies (2210 m) y para la inclinación de aletas de  $20^{\circ}$  6750 pies (2057 m), sin restricción de carga pagable.

Para calcular la longitud de pista para el aterrizaje se utiliza el nomograma de la Figura (72), en base a los siguientes datos:

Elevación del aeropuerto de destino = 2236 m (7334 pies).

Peso máximo de aterrizaje (peso máximo de despegue - Combustible consumido en la etapa) = 87082 lb - 6100 lb = 80982 lb este valor se compara con el peso limitado para el aterrizaje, según datos del fabricante, eligiendo el menor.

Viento = 0

Pendiente de la pista = 0

El resultado indica que la longitud mínima de la pista para aterrizaje es de 6000 pies (1829 m), y si se considera que la pista está húmeda, la longitud será de  $6000 \times 1.15 = 6900$  pies (2103 m).

La longitud optima sería 2057 m para inclinación de aletas de  $20^{\circ}$ .

#### 6.4.- PROYECTO GEOMETRICO.

Con el objeto de que los proyectistas de aeropuertos tengan uniformidad de criterio para el diseño de las instalaciones de un aeropuerto, la OACI aporta una serie de normas para anchuras y pendientes de pistas, calles de rodaje y otras en áreas de circulación de aeronaves que habrán de tener en cuenta.

En lo referente a la topografía diremos por ejemplo que el alineamiento vertical del eje de las pistas, rodajes, plataformas y caminos de acceso tienen que ajustarse a ciertas normas referentes a pendientes longitudinales; una pista con una rasante

Tabla XVI Características físicas y operacionales de los aviones (performance)

MODELOS	PESO MÁXIMO DE DESPEQUE	PESO MÁXIMO DE ATERRIJAJE	PESO MÁXIMO DE OPERACIÓN	PESO CERO COMBUSTIBLE	NUMERO DE PASAJEROS	PESO POR PASAJERO	PESO TOTAL DE PASAJEROS	PESO DE EXPRES Y CORREO	CARGA PASABLE TOTAL	VELOCIDAD
	18 15	13 10	10 7	11 8	PAX	13 10	13 10	13 10	13 10	KMPH
DOUGLAS DC-9-15	50 813	81 627	52 350	73 932	85	209.43	17 802	3780	21 582	473
	41 103	37 026	23 746	33 536		95	8 075	1715	9 790	
DOUGLAS DC-9-32	108 000	98 100	60 800	87 000	115	209.43	24085	2115	26 200	473
	48 989	44 488	27 379	39 463		95	10 925	959	11 884	
DOUGLAS DC-9-82	147 000	128 000	80 900	22 000	155	209.43	32 462	3988	36 450	473
	66 679	38 061	26 696	25 339		95	14 725	1909	16 534	
BOEING B-727-200	150 495	142 495	101 027	139 558	155	198.41	30754	8216	38 970	500
	86 409	64 636	43 826	53 503		30	13 950	3727	17 677	
DOUGLAS DC-8-51	285 998	199 499	141 417	173 498	155	198.41	30 357	1724	32 081	473
	103 723	40 433	64 147	75 699		90	13 770	782	14 552	
DOUGLAS DC-10-15	454 950	363 434	263 046	334 993	315	198.41	62 500	29447	91 547	480
	208 384	164 881	110 246	131 953		90	28 350	13357	41 707	
DOUGLAS DC-10-30	554 950	402 595	264 109	367 993	301	209.43	63 040	40844	103 884	477
	251 744	182 799	119 800	166 922		95	28 095	18527	47122	
BOEING B-747	710 000	564 000	383 750	526 500	490	203	100 450	42300	142 750	500
	322 094	233 829	174 068	231 819		93	45 964	19187	64 751	

### CÁLCULO DE LONGITUDES DE PISTA

REPOSIERTO DE: SALINAS CRUZ, DAVACA.

ELEVACION (S.N.M.): NIVEL DEL MAR. TEMPERATURA: 35°C

DISTANCIAS DEL DESTINO: PERICO D.F. 363 N.M.

ITINEARIO ALTERNIO: MARAFUJO, GRD. 163 N.M.

#### CARACTERÍSTICAS DEL AVION

TIPO:	DC-9-15
VELOCIDAD:	473 KNOTS
CONSUMO DE COMBUSTIBLE:	6000 Lb/hora
PESO DE LOS PASAJEROS (PAY):	17822 Lb (85 PAY x 209.43 Lb)
PESO CARGA, EXPRESS Y CORREO:	3760 Lb
PESO TOTAL DE LA CARGA PAGABLE (CPT):	21562 Lb
PESO MAXIMO DE DESPEQUE (ESTRUCTURAL):	50619 Lb
PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE (ESTRUCTURAL):	44627 Lb
PESO BASICO DE OPERACION:	30350 Lb

PESO MAXIMO DE DESPEQUE (SEGUNDO SEGMENTO) LIMITADO POR ELEVACION Y TEMPERATURA.

ALETAS (10°) 50619 Lb      ALETAS (20°) 50619 Lb      ALETAS ( 0°) \_\_\_\_\_

PESOS ( AVION + CARGA + COMBUSTIBLE ) PARA EL ITINEARIO INDICADO.

PESO BASICO DE OPERACION + PAY & CPT	51912 Lb
PESO COMBUSTIBLE ETAPA	4500 Lb
PESO COMBUSTIBLE ESPERA	4500 Lb
PESO COMBUSTIBLE ALTERNIO	4500 Lb
PESO TOTAL	65412 Lb

LONGITUDES NECESARIAS DE PISTA

ALETAS (10°)	7150 PIES	=	2210 M.
ALETAS (20°)	6720 PIES	=	2057 M.
ALETAS ( 0°)		=	
RESTRICCION DE LA CARGA PAGABLE		=	8 %

Fig 62 Cálculo de longitudes de pista.

MOTORES JT8D-7A

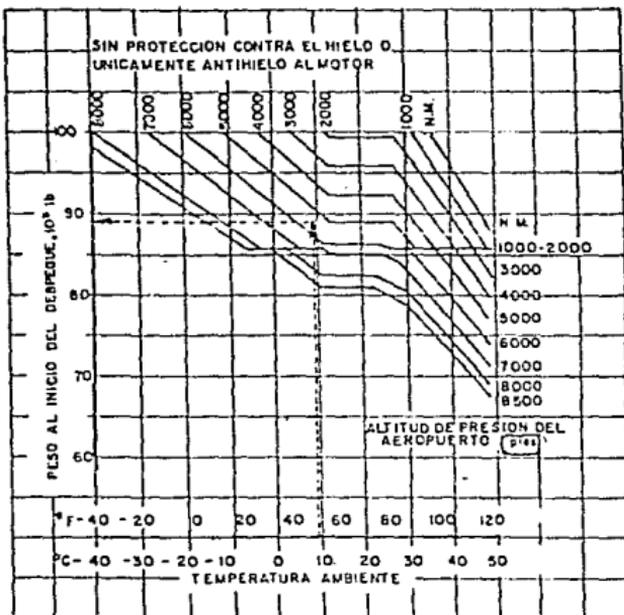
POTENCIA DE DESPEQUE

UN MOTOR OPERATIVO

TREN ARRIBA

$V_{CL} = V_2$

AIRE ACONDICIONADO CORTADO



NM. Nivel del mar

Fig 63 Peso de despegue limitado por segundo segmento Aletas a 10°

MDI0RES JT80-7A

POTENCIA DC DESPEGUE

UN MOTOR OPERATIVO

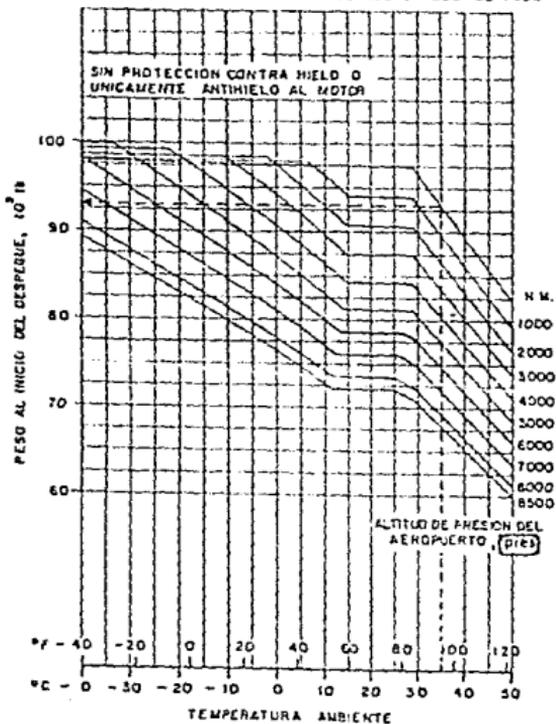
TREN ARRIBA

$V_{CL} + V_2$

AIRE ACCIONADO

CORTADO

NOTA:  
OBSERVAR LAS LIMITACIONES  
ESTRUCTURALES DE PESO



N.M. Nivel del mar

Fig 64 Peso de despegue limitado por segundo segmento  
Aletas a 20°

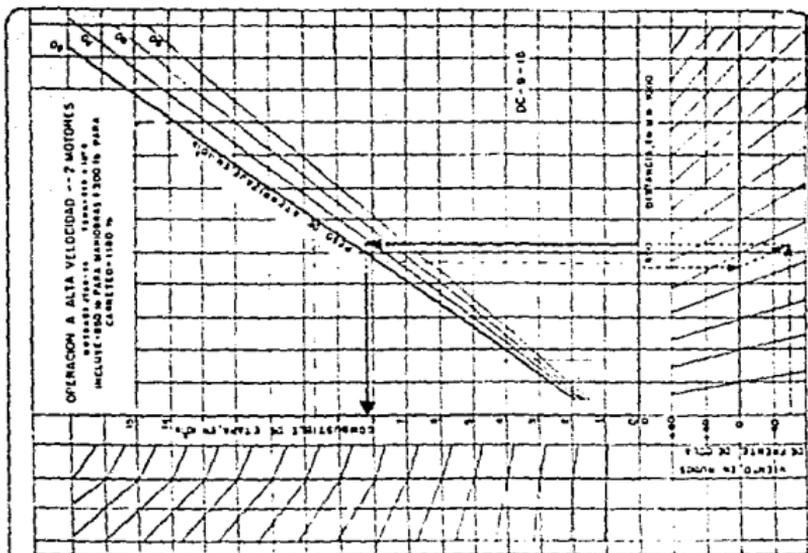


Fig 65 Combustible de etapa origen-destino.

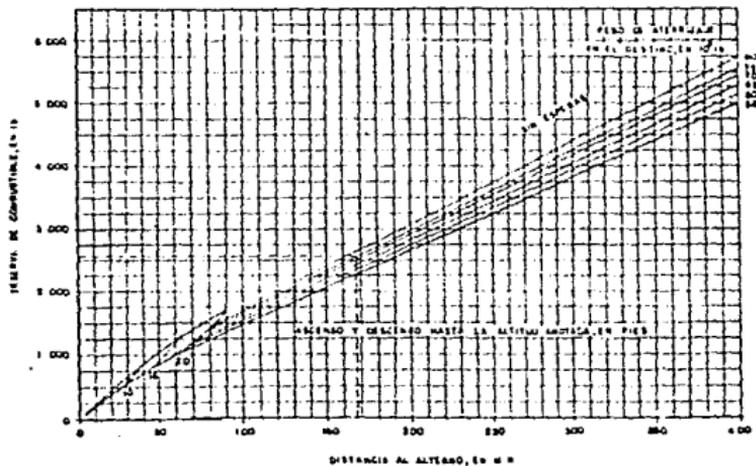


Fig 66 Combustible para etapa alterna.

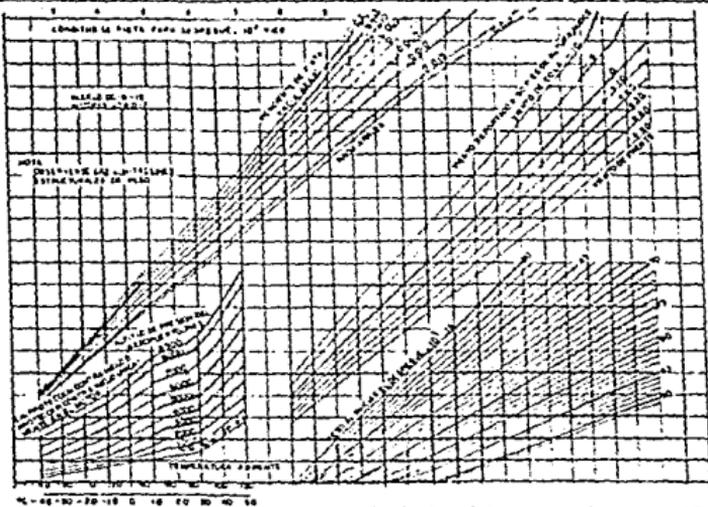


Fig 67 Longitud de pistas para despegue. Alas a 10°

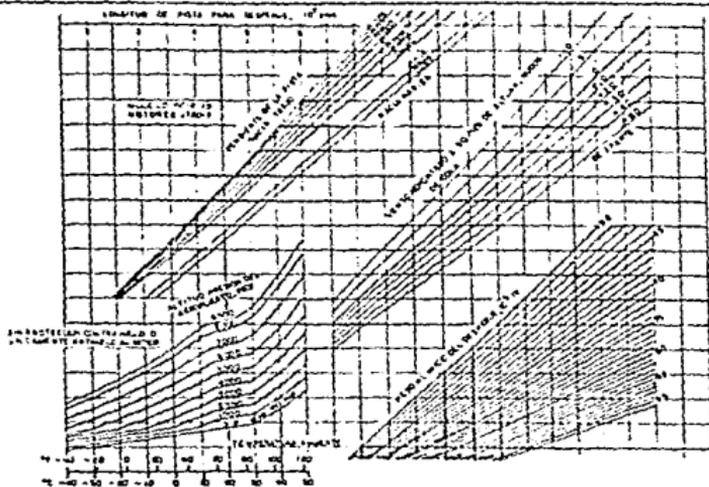


Fig 68 Longitud de pistas para despegue. Alas a 20°

NOTA: OBSERVAR LAS LIMITACIONES ESTRUCTURALES DE PESO

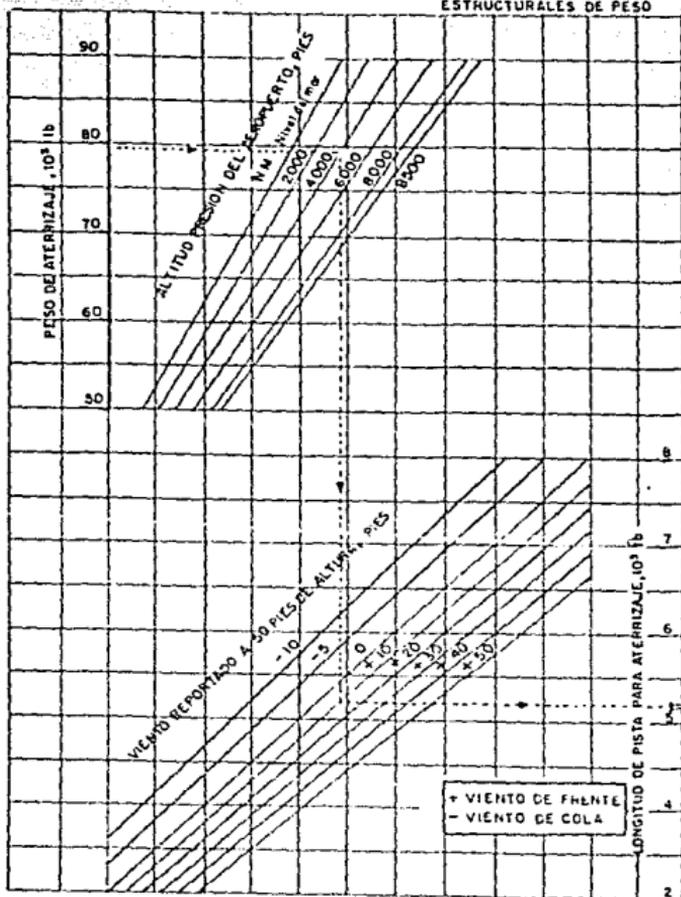


Fig 69 Longitud de pista para aterrizaje. Aletas totalmente abajo

ideal será cuando su pendiente longitudinal sea nula, lo que podrá lograrse a un costo excesivo, el drenaje y las terracerías para hacerlas económicas se ajustarán hasta donde sea posible a la configuración natural del terreno de tal manera que sus pendientes faciliten el desalojo pluvial y reduzcan el volumen de las terracerías.

**Pendientes :**

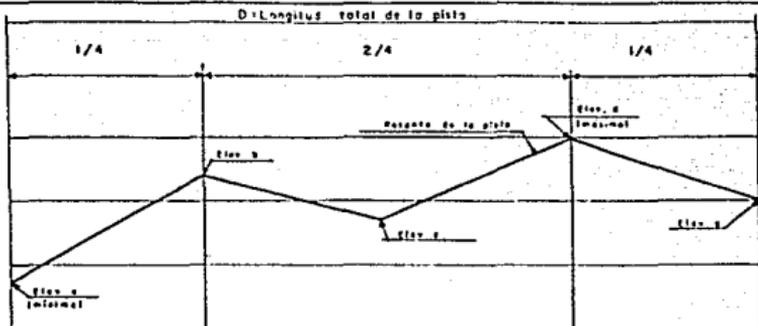
El proyecto geométrico de un aeropuerto buscará el trazo adecuado de sus elementos, sin tener fuertes pendientes en las calles de rodaje y pistas, logrando mejorar las operaciones de las aeronaves, la OACI en sus criterios de proyecto recomienda ciertos cambios de pendiente, limitando su número y dimensiones Figura (70) y en el caso de no poderse llevar a cabo se recomienda el uso de curvas verticales.

La diferencia máxima de pendiente longitudinal especificada sin necesidad de una curva vertical es de 0.1 por ciento en 30 metros para pistas y de 1.0 por ciento en 30 metros para calles de rodaje; cuando estas diferencias excedan de dichos valores, deberán corregirse los puntos de inflexión por medio de una curva vertical.

Existen además otros factores que deben considerarse al proyectar su perfil longitudinal y será la distancia visible y la distancia mínima permisible entre dos cambios de pendiente.

Para la distancia visible, la OACI exige la existencia de una línea de visión sin obstrucciones desde cualquier punto situado a 3 metros por encima de una pista y dirigida a cualquier otro punto situado también a 3 metros por encima de la misma, dentro de una distancia de por lo menos la mitad de la longitud de la pista, cuando su longitud sea de 600 m a 750 m (Clave E), de 750 m a 900 m (Clave D) y de 900 m a 1500 m (Clave C); y de 2 metros por encima de la pista dentro de una distancia de por lo menos la mitad de la longitud de la pista, cuando ésta tenga una longitud de 1500 m a 2100 m (Clave B) ó mayor de 2100 m (Clave A) Figura (71).

La distancia visible para calles de rodaje deberá ser tal que, desde cualquier punto situado a 3 metros sobre la calle de rodaje pueda verse toda su superficie hasta una distancia de 300



**PENDIENTE GENERAL**

$$\frac{d-a}{D} \leq 1\% \text{ para pistas de clave de referencia de aeródromo E, D y C} \quad \frac{d-e}{D} \leq 2\% \text{ para pistas de clave de referencia de aeródromo A y B}$$

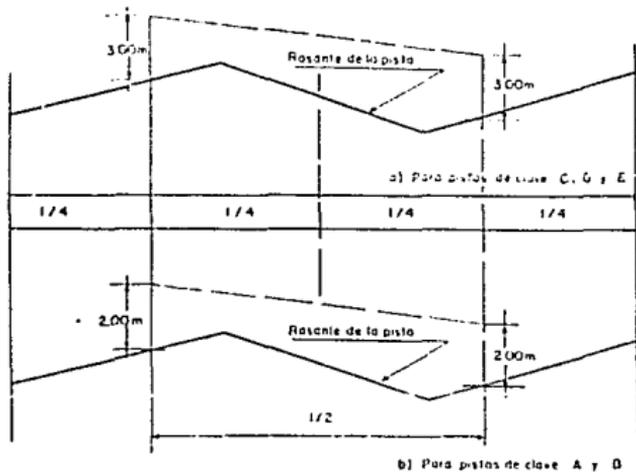
**PENDIENTES PARCIALES LONGITUDINALES**

1.25% máxima para pistas de claves E y D

1.50% máxima para pistas clave C

2.00% máxima para pistas de claves B y A.  
 Para pistas de claves E, D, C la pendiente longitudinal no deberá ser mayor de 0.8% en el primer y último cuarto de su longitud.

**Fig 70 Pendientes de las pistas**



**Fig 71 Distancia visible en pistas.**

metros cuando el rodaje sea de Clave C,D o E; de 2 metros por encima de la calle de rodaje de Clave B; y de 1.5 metros por encima de la calle de rodaje cuando la Clave es A Figura (71).

En cuanto a la distancia mínima permisible entre dos cambios de pendiente de una pista la OACI propone obtenerla para pistas utilizando la fórmula que aparece en la Figura (72) en la que X, Y, y Z son las pendientes longitudinales de cada tramo y D la distancia entre cambios de pendiente que se considera de 45 metros como mínimo.

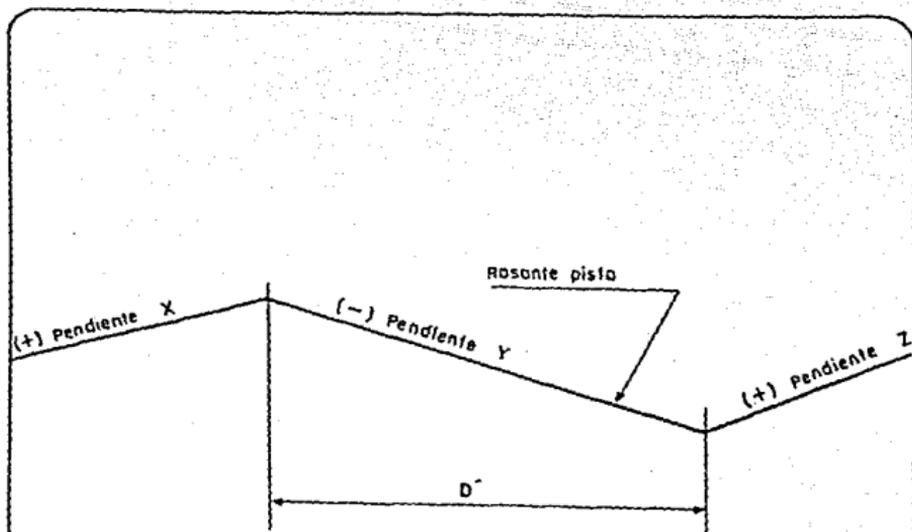
Para el caso de calles de rodaje la transición de una pendiente a otra deberá efectuarse mediante una superficie que no exceda de  $1\frac{1}{2}$  por cada 30 metros cuando la letra de Clave sea C,D ó E; y  $1\frac{1}{2}$  por cada 25 metros cuando la letra de Clave sea A ó B Figura (73).

En las plataformas de operaciones se recomienda que la pendiente no exceda de 0.5 por ciento en cualquier sentido; esto con el objeto de optimizar el llenado de los tanques de combustible de los aviones.

En la zona de cruces entre pistas, cruces de pistas con calles de rodaje, unión de pistas con rodajes, llamadas transiciones Figura (74); se le da este nombre porque los cambios de pendiente que hay en estas zonas, se hacen gradualmente con el objeto de evitar depresiones o topes que hagan peligrosa la operación de las aeronaves y ocasionen molestias a los pasajeros.

El proyecto de transiciones debe tomar en cuenta las recomendaciones que estipula el Anexo 14 de la OACI, en lo que se refiere a pendientes transversales al eje de la pista. En las Figuras (75 y 76) se aprecian las pendientes recomendadas para la zona pavimentada, acotamientos y franjas de seguridad. Se tienen dos casos: si el aeropuerto va a operar con ayudas visuales, en cuyo caso el ancho total de la franja deberá ser cuando menos de 150 m y si la operación será por instrumentos donde el ancho mínimo recomendado será de 300 m.

Para evitar encharcamientos y deterioro en los pavimentos y franjas de seguridad se da a las pistas, calles de rodaje y plataformas pendientes transversales (bombeo) que permita desalojar adecuadamente el agua de ellas una pendiente transversal



$K = 30000$  m para pistas de claves EyD

$K = 15000$  m para pistas clave C

$K = 5000$  m para pistas de claves AyB

$D \leq K ( |X-Y| + |Y-Z| )$ , en m

$|X - Y|$  = valor numérico absoluto de  $X - Y$

$|Y - Z|$  = valor numérico absoluto de  $Y - Z$

D mínima = 45 m

Fig 72 Distancia mínima permisible entre dos cambios de pendiente de una pista

## CALLES DE RODAJE

### PENDIENTES LONGITUDINALES

1.5 % para pistas de clave E y D

3.0 % para pistas de clave A, B y C

### CAMBIOS DE PENDIENTE

1.0 % por cada 30 m (radio mínimo de 3000m) para pistas de clave C, D y E

1.0 % por cada 25 m (radio mínimo de 2500m) para pistas de clave A y B

### DISTANCIA VISIBLE

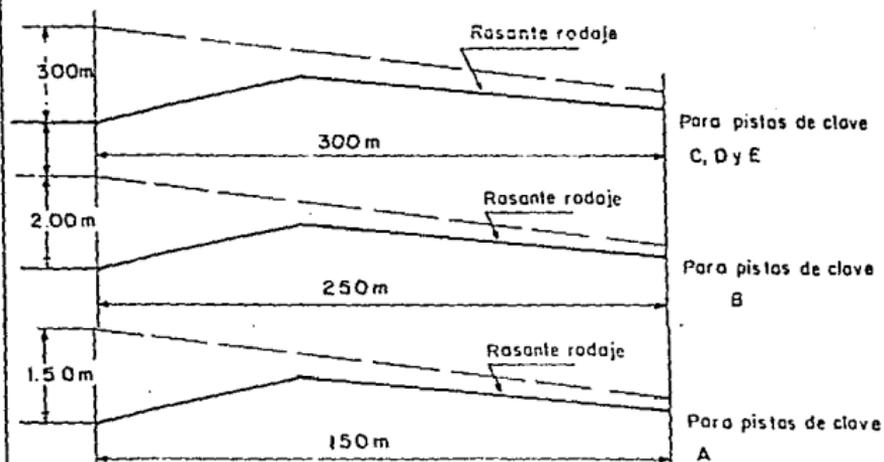


Fig 73 Pendientes y distancias visibles recomendadas para calles de rodaje

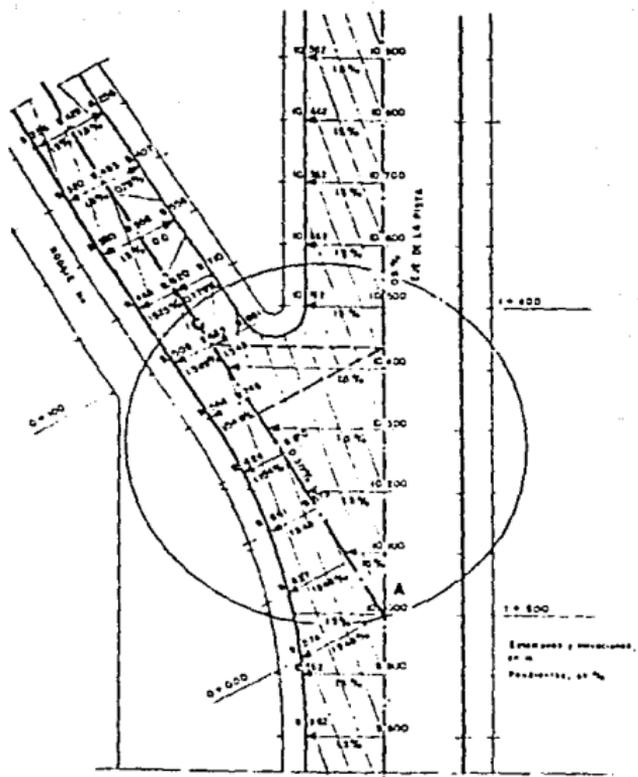
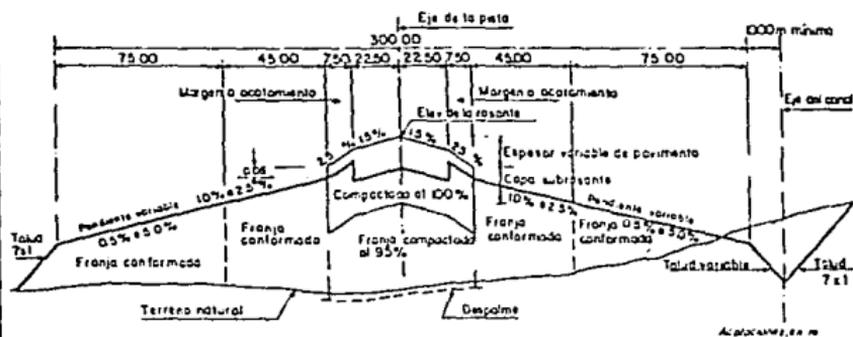
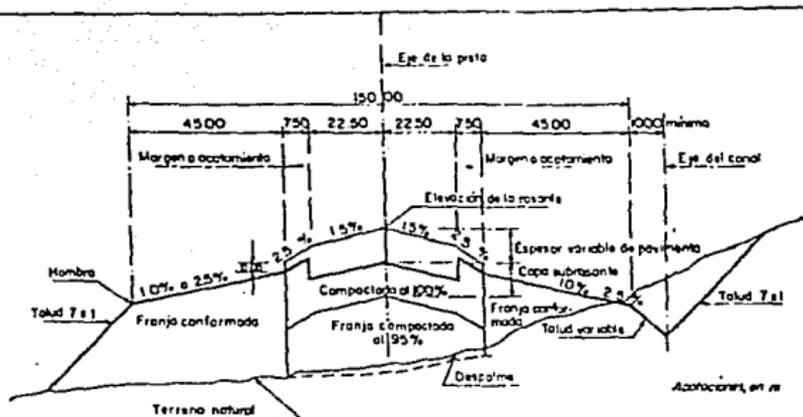


Fig 74 Ejemplo de transición para la unión de una pista con una calle de rodaje



excesiva no es recomendable, pues el agua al escurrir puede producir erosiones, y quizá la destrucción de los terraplenes.

En pistas, rodajes y plataformas se construyen canales en "V" paralelamente a cada uno de ellos con taudes de 7x1 (Horiz.: Vert.). Este talud se ha elegido en virtud de que si una aeronave se sale de la pista y llega a la cuneta, no se ocasione mayor daño que si tuviera taludes verticales.

El proyecto geométrico de un aeropuerto tiene como objetivo principal definir los perfiles longitudinales, transversales de las pistas, rodajes y plataformas y proporcionar los movimientos de tierras. Es en esta etapa donde se determinan las secciones transversales de la pista, rodajes, plataforma y camino de acceso, sus transiciones áreas y volúmenes de la Curva Masa para cortes y terraplenes, los acarreos y préstamos necesarios para formar el perfil de estos elementos.

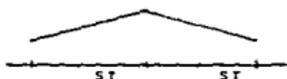
#### Ejemplo #4 CALCULO DE UNA CURVA VERTICAL.

De acuerdo al proyecto geométrico, obtener la rasante de una pista definiendo los puntos de una curva vertical de acuerdo a las recomendaciones de la OACI.

En nuestro ejemplo tendremos los siguientes datos:

Pendiente X = + 0.3 %.

Pendiente Y = - 0.3 %.



Las correcciones se harán a cada 5 metros.

Pista de clave C ( K= 15000 m Figura (72)).

Lo primero que se hará será el encontrar la distancia mínima permisible entre dos cambios de pendiente de una pista dado en la Figura (72).

$$D \leq K (|x - y|).$$

$$D \leq 15000 ( |0.3 - -0.3| ) \leq 15000 (0.6).$$

$$D \leq 90 \text{ metros.}$$

La OACI nos indica que la diferencia máxima de pendiente longitudinal sin necesidad de hacer una curva vertical será de 0.1 por ciento en cada 30 metros para pistas y de 1 por ciento en 30 metros para calles de rodaje, de excederse estos valores se requerirán corregir mediante una curva vertical.

En nuestro caso la longitud obtenida nos da: 0.6 ‰ en 90 metros = 0.2 ‰ en 30 metros y esto es mayor que el 0.1 ‰ en cada 30 metros dado por la OACI, para lo cual se necesitará construir una curva vertical cálculo que a continuación se hace:

El valor de la subtangente será  $ST = 90$  metros.  
 El número de estaciones es  $90 \text{ m} / 5 \text{ m} = 18$  estaciones.

$$\frac{0.3 \text{ m}}{100 \text{ m}} = \frac{x}{180 \text{ m}} ; \quad x = 0.54 \text{ metros} = \text{Dif}$$

$$y = \frac{\text{Dif}}{N^2} n^2 = \frac{0.54}{(36)^2} n^2 = 0.0004166 n^2$$

donde :

$N$  = Número de estaciones totales.

$n$  = Estación unitaria.

Estos valores son las correcciones que se necesitan hacer bajo las rasantes para corregir los puntos de inflexión. En la Tabla (XVII) se muestran los cálculos para las diferencias algebraicas de pendientes en tanto por ciento desde cero hasta 2 por ciento como límite de pendiente para pistas Figura (71).

n	$Y = \frac{Dif}{N^2} n^2 = 0.0004166 n^2$	CORRECCIONES
PCV = PIV 0	0 metros	0.00 cm
1	0.0004166 metros	0.04 cm
2	0.0016664 metros	0.17 cm
3	0.0037494 metros	0.38 cm
4	0.0066656 metros	0.67 cm
5	0.0104156 metros	1.04 cm
6	0.0149976 metros	1.50 cm
7	0.0204134 metros	2.04 cm
8	0.0266624 metros	2.67 cm
9	0.0337446 metros	3.38 cm
10	0.0416600 metros	4.17 cm
11	0.0504086 metros	5.04 cm
12	0.0599904 metros	6.00 cm
13	0.0704054 metros	7.04 cm
14	0.0816536 metros	8.17 cm
15	0.09373535 metros	9.37 cm
16	0.1066496 metros	10.67 cm
17	0.1203974 metros	12.04 cm
PIV 18	0.1349784 metros	13.50 cm

Ejemplo #5 CALCULO DEL AREA DE PLATAFORMA DE AVIACION  
COMERCIAL

Para el cálculo del área necesaria en una plataforma se requieren conocer las dimensiones de las aeronaves sus más desfavorables, el número de posiciones simultaneas y por último los requisitos de márgenes de separación de acuerdo con el tipo de avión a utilizar.

Para este ejemplo se utilizaron los siguientes datos:

La aeronave a utilizar es el Boeing 727-200.

El número de posiciones simultaneas es de tres.

El margen de separación para este tipo de aeronave es de 4.50 m (clave de referencia de aeródromo "C").

Los radios de giro se obtienen a partir de la fórmulas trigonométricas básicas, primero se define el punto donde girará



la aeronave dibujando una línea a lo largo del eje del tren de aterrizaje de proa girado el neumático en cualquier dirección el punto de intersección de esta línea con la del eje del tren de aterrizaje principal nos da el centro de giro. El ángulo en que gira el neumático del tren de proa de las diferentes aeronaves varía de  $60^{\circ}$  a  $80^{\circ}$ . Para el avión de este ejemplo el ángulo es de  $80^{\circ}$ .

En base a lo anterior y de acuerdo a las dimensiones de la aeronave podemos ubicar su centro de rotación de la siguiente manera:

Las longitudes mostradas en la figura son:

Longitud total	.....	= 46.68 m.
Envergadura	.....	= 32.92 m.
Longitud del extremo del avión al tren de proa..		= 4.60 m.
Longitud del tren de proa al tren principal....		= 19.28 m.
Longitud total de empenaje.....		= 6.90 m.

Por trigonometría el centro de giro estará a:

$$\text{Tg } (10^{\circ}) = \frac{R}{19.28} \quad \text{donde R = centro de giro.}$$

$$R = 19.28 \text{ Tg } (10^{\circ}) = 3.40 \text{ m.}$$

Ahora los radios o distancias a los puntos denominados A, B y C son:

$$R_A = 24.35 \text{ m.} \quad R_B = 24.12 \text{ m.} \quad R_C = 19.58 \text{ m.}$$

Se puede observar que el radio de giro más desfavorable es el del punto A con 24.35 m; en base a este radio se procede a calcular la longitud de la plataforma el espacio requerido para este radio de aproximadamente 25 m, y considerando de que existirán tres posiciones, la longitud requerida será de 6 radios  $\times 25 \text{ m/radio} = 150 \text{ m.}$

A esta longitud habrá que agregarse la márgenes de separación que son de 4.50 m a cada lado de cada aeronave lo cual es igual a:  $4.50 \text{ m/márgenes} \times 6 \text{ márgenes} = 27 \text{ m.}$

La longitud total será de:

$$150 \text{ m} + 27 \text{ m} = 180 \text{ metros.}$$

Lo mismo se hace para obtener el ancho de la plataforma

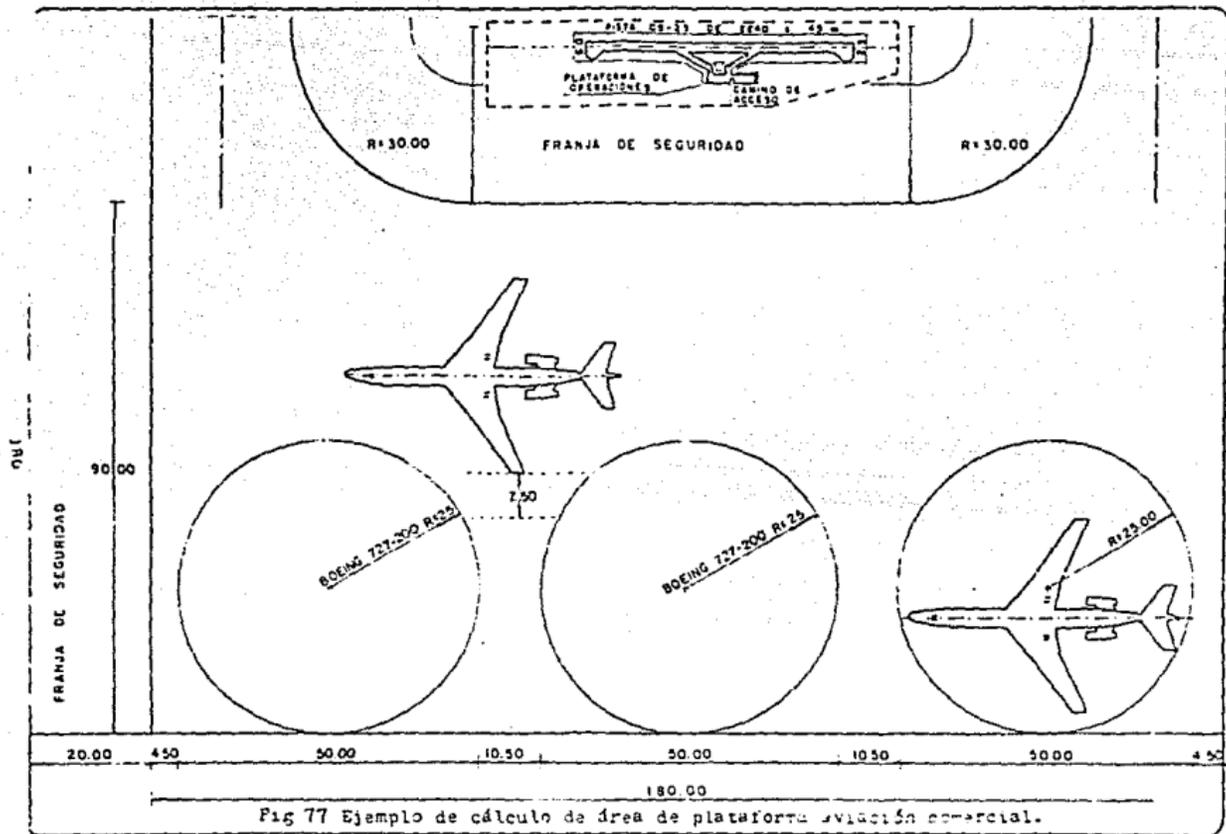


Fig 77 Ejemplo de cálculo de área de plataforma aviación comercial.

considerando solo el espacio que requiere la aeronave, para girar los márgenes ya establecidos y la calle de rodaje de plataforma utilizada para el acceso del avión que esta en funcion de su envergadura Figura (77).

El espacio requerido por radio de giro es de 50 m, el margen de separación es de 4.50 m y la envergadura del avión que es de 32.92 m para el Boeing 727-200 esta suma es de:  $50 \text{ m} + 4.50 \text{ m} + 32.92 \text{ m} = 87.42 \text{ m}$  y será el ancho necesario de plataforma.

Las dimensiones de las plataformas para tres posiciones en la mayoría de los aeropuertos nacionales es de  $180 \text{ m} \times 90 \text{ m}$  que es el resultado de éste ejemplo.

#### 6.5.- PROYECTO DE PAVIMENTOS.

Dentro de las funciones de la geotécnia en los aeródromos, está la de proporcionar estructuras que permitan el rodamiento de las aeronaves en forma segura y cómoda estas estructuras son las que forman los pavimentos, y que están constituidos por un conjunto de capas, comprendidas entre la capa subrasante y la superficie de rodamiento de una pista, rodaje o plataforma y su comportamiento estará determinado por las características de cada uno de sus componentes. De ahí la importancia que se da a los estudios geotécnicos que se realicen en la zona de ubicación de los aeropuertos.

Con respecto a la estructura con que usualmente se construyen los pavimentos, éstos se han clasificado en dos tipos: pavimentos de concreto asfáltico y pavimentos de concreto hidráulico los que a continuación se describen.

#### PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO.

También conocidos como pavimentos flexibles, están formados por una carpeta o capa de rodadura desplantada generalmente sobre una capa llamada base hidráulica que puede estar desplantada sobre una sub-base hidráulica dependiendo de la resistencia del suelo de cimentación Figura (78).

Las principales funciones de estas capas son:

CARPETA.- Proporciona suavidad y seguridad en las operaciones, resistir los efectos del número de repeticiones, distribuir las cargas en las capas subyacentes e impedir el paso

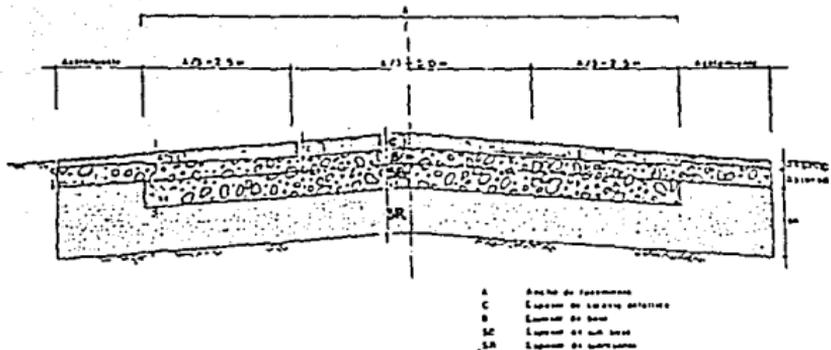


Fig 78 Componentes de un pavimento asfáltico

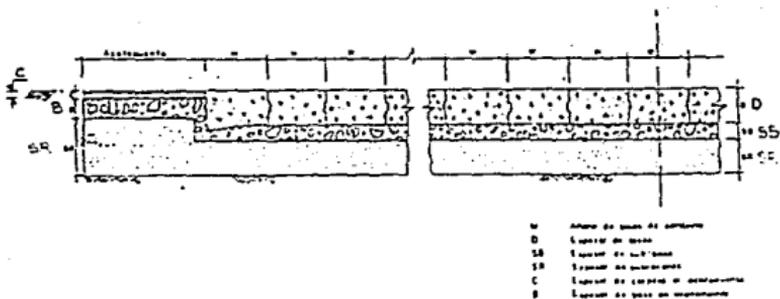


Fig 79 Sección estructural de un pavimento de concreto

del agua al interior del pavimento. Esta capa se encuentra constituida con agregados pétreos aglutinados con un producto asfáltico.

**BASE HIDRAULICA.-** Esta capa debe resistir los efectos de la carga, drenar el agua que se logre introducir a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, y distribuir las cargas sobre las capas subyacentes y estará formada por materiales granulares compactados.

**SUB-BASE HIDRAULICA.-** Su función es la misma de la base y dependiendo de la capacidad de la terretería puede existir cuando el diseño del espesor de un pavimento sea grande.

#### PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

Conocidos como pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico con espesores que varían entre 20 y 60 centímetros y va colocada sobre una capa llamada sub-base Figura (79) resulta conveniente añadir asfalto en la parte superior para disminuir el efecto de "bombeo" por la expulsión de agua y material de la sub-base a través de las juntas, causadas por el tránsito de aeronaves.

Estos pavimentos de concreto hidráulico requieren además de juntas longitudinales, transversales y de construcción colocadas para proporcionar alivio a la dilatación debido a cambios de temperatura.

#### CRITERIOS DE SELECCION DEL TIPO DE PAVIMENTO.

Una de las partes más delicadas en el proyecto de pavimentos para aeródromos consiste en la selección del tipo de pavimento a utilizar. La decisión que se desprenda incidirá directamente en el costo de la obra. En seguida se enumeran algunos factores que deberán tomarse en consideración para la selección del tipo de pavimento.

- a) Criterios de comportamiento estructural.
  - Capacidad estructural.
  - Vida útil.
  - Conservación.
  - Características mecánicas del subsuelo y terracerías.
  - Tránsito aéreo previsto.
  - Calidad de los materiales disponibles.

- b) Criterios económicos.
- Disponibilidad de fondos.
- Analisis de construcción por etapas.
- Costos de consevación.
- Volúmen del tránsito aéreo.
- Disponibilidad de materiales y su costo.

En la práctica se desprende la conveniencia de utilizar pavimentos asfálticos para las áreas de rodamiento a alta velocidad y de concreto hidráulico en las áreas de rodaje lento correspondientes a las plataformas y calles de rodaje. Sin embargo el tipo de pavimento más utilizado en aeropuertos nacionales es el de concreto asfáltico en todos sus elementos ya que requiere de un menor costo inicial de inversión aunque tenga el inconveniente de tener un mayor mantenimiento en su vida útil.

#### DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Por lo que se refiere al diseño de pavimentos de concreto asfáltico ó hidráulico las variables relevantes son:

- A) Las características del tránsito aéreo.
- B) Las características de resistencia y deformabilidad de la capa subrasante.
- C) Los espesores mínimos de las diversas capas que constituyen la sección estructural del pavimento y que por experiencia han demostrado tener un comportamiento adecuado.

#### A) CARACTERISTICAS DEL TRANSITO AEREO.

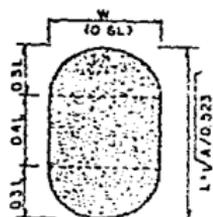
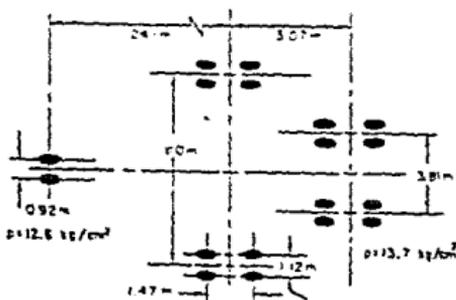
Para determinar las características del tránsito aéreo en un aeródromo se requiere conocer características de las aeronaves, ya que de ellas dependerán las cargas que transitan a los pavimentos. Los principales factores que intervienen son:

- 1) Peso bruto de la aeronave.- Para fines de diseño de pavimentos, se considera que del peso máximo al despegue el 95% del peso total gravita sobre el tren de aterrizaje principal.
- 2) Tipo y geometría del tren de aterrizaje.- Esto determinará del modo en que se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento de acuerdo al número y separación de llantas en cada pierna, en la actualidad existen aeronaves de dos, tres y hasta cuatro piernas en el tren de aterrizaje principal con

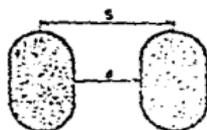
BOEING 747-200B

19 790 kg

19 790 kg

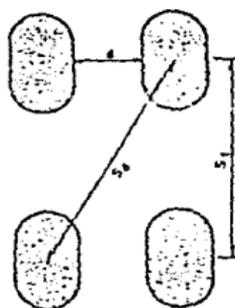


Rueda montada en una rueda simple



Ruedas gemelas

A = Área de contacto



Sistema en bogie (tándem)

Fig 60 Tipos de trenes de aterrizaje y disposición de llantas.

arreglos de ruedas simples, ruedas gemelas o de arreglo en bogie (tandem) en la Figura (80) se presentan las diferentes disposiciones.

Como el volumen del tránsito que opera en un aeródromo esta constituido por diferentes aeronaves de varios tipos de trenes de aterrizaje la FAA recomienda obtener el equivalente a un mismo tren, utilizando los factores de conversión que aparecen a continuación.

Tabla XVIII .- Factores de conversión de trenes de aterrizaje.

TREN ORIGINAL	TREN CONVERTIDO	FACTOR
Rueda simple	Ruedas gemelas	0.8
Rueda simple	Sistema bogie	0.5
Ruedas gemelas	Sistema bogie	0.6
Bogie doble	Sistema bogie	1.0

3) Presión de contacto.- Esta variable define el esfuerzo normal inducido por las llantas al pavimento y se supone idéntico a la presión de inflado de los neumáticos.

En la Tabla (XVI) se resumen las características de diversas aeronaves para el diseño o evaluación de pavimentos.

Debido al progreso de la aeronáutica civil, las características anteriores tienen una amplísima variación, lo cual complica el problema de evaluar el tránsito, por eso actualmente la FAA cuenta con un procedimiento de cálculo de espesores de pavimentos de acuerdo al concepto llamado "Tránsito Equivalente" de la aeronave de diseño, que se hace para las más frecuentes o para las más pesadas que operan en el aeródromo y los daños que representa cada una de ellas en el pavimento, éste procedimiento simplificado es aplicable tanto al caso de pavimentos de concreto asfáltico, como de concreto hidráulico.

#### B) CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LA CAPA SUBRASANTE VRS, Kc.

Los factores que intervienen en el diseño de un pavimento de concreto asfáltico o hidráulico son los siguientes:

##### 1) ESTUDIOS GEOTECNICOS:

En el proyecto de un aeródromo es esencial el conocimiento

Tabla AIX Características de las aeronaves usuales  
en el diseño o evaluación de pavimentos

Aeronave tipo	Peso bruto, en t	Piernas del tren de aterrizaje						
		Disposición y número de ruedas	Carga por pierna, en t	Presión de neumáticos, en kg/cm <sup>2</sup>	Área de contacto por rueda, en cm <sup>2</sup>	Separación de ruedas, en cm*		
						S	S <sub>t</sub>	S <sub>d</sub>
DC-3	11.4	2, sencilla	5.35	3.2	1672	-	-	-
DC-64/B	46.5	4, gemelas	21.35	7.4	1443	78	-	-
DC-9-21	45.8	4, gemelas	21.60	9.8	1102	64	-	-
DC-9-41	52.2	4, gemelas	24.33	11.0	1106	65	-	-
DC-9-B1	64.0	4, gemelas	30.57	11.7	1305	71	-	-
B-727-100	77.1	4, gemelas	34.85	11.4	1529	86	-	-
B-727-200N	78.5	4, gemelas	36.25	11.5	1576	86	-	-
B-727-200P	95.3	4, gemelas	43.91	11.5	1909	85	-	-
B-757-200	109.3	8, bogie	49.52	12.1	1023	86	114	143
B-757-200	141.5	8, bogie	63.37	12.6	1317	114	142	182
B-707-320B	146.8	8, bogie	68.44	12.4	1380	88	142	167
DC-8-63	162.4	8, bogie	77.30	13.4	1442	81	140	162
Concorde	185.1	8, bogie	88.80	12.6	1763	66	167	180
DC-10-10	195.4	8, bogie	92.61	12.8	1809	137	163	213
B-747-100B	334.7	16, bogie	77.33	15.6	1239	112	147	185
B-747-200B	352.9	16, bogie	83.28	13.7	1520	112	147	185

\* Ver definición en la Fig 6.6

del subsuelo sobre el cual se cimentan las estructuras, así como establecer las fuentes de aprovisionamiento de materiales para su construcción, por ésto resulta importante realizar estudios de campo y de laboratorio, recorridos e inspecciones geológicas y estudios geotécnicos con la debida oportunidad y precisión ya que de ellos se desprenden las recomendaciones para el proyecto y su construcción.

Una vez determinado el sitio donde ha de construirse el aeródromo, se debe contar con planos topográficos del área, así como de datos geológicos de la región y con un inventario de bancos de materiales que se hayan empleado en estructuras similares.

En la primera etapa del estudio, se lleva a cabo la investigación del subsuelo, la cual se hace mediante el recorrido y observación minuciosa de los suelos en el área efectuar sondeos a cielo abierto con muestreo inalterado, el número por la geometría del aeródromo será de 6 a 8 pozos para pistas, ubicados aleatoriamente, para rodajes de 6 pozos y para la plataforma de 4 a 5 pozos dependiendo de su longitud.

Para el caso de zonas montañosas, se requerirá de muestreos profundos mediante máquinas perforadoras, o el empleo de métodos geofísicos. En zonas de niveles freáticos superficiales la exploración con máquina perforadora es obligada para conocer las formaciones compresibles, estabilidad, flujo de agua, suelos potencialmente expansivos y áreas erosionables.

El análisis de estos estudios pueden conducir a un cambio de ubicación del aeródromo o a la elevación de las rasantes de los pavimentos.

Otra parte del estudio geotécnico está relacionado con la investigación de los bancos de materiales el cual requiere de un reconocimiento preliminar del área donde se extraerán los materiales con volumen y calidad convenientes y sin problemas legales para su explotación o adquisición.

Es recomendable que la ubicación de estos bancos no se encuentren a grandes distancias del aeródromo y que vayan en decremento de la economía de la obra.

En la exploración y muestreo que se haga para conocer las características y calidad de los materiales, es importante

cuantificar los volúmenes aprovechables y de desperdicio, así como los tratamientos requeridos para su utilización.

Las muestras obtenidas en esta etapa deben de analizarse cuidadosamente en el laboratorio para definir las propiedades mecánicas de los materiales que se utilizarán en la construcción de los pavimentos.

## 2) PRUEBAS EN LA TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS:

La actual tecnología de pavimentos ha desarrollado algunas pruebas especiales en las que se fundan los métodos de diseño. De ellas se menciona la más usual que es la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS), conocido en los Estados Unidos como CBR (California Bearing Ratio), utilizada para el diseño de pavimentos de concreto asfáltico. Y la prueba de Placa no Repetitiva utilizada principalmente para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

### PRUEBA VRS.

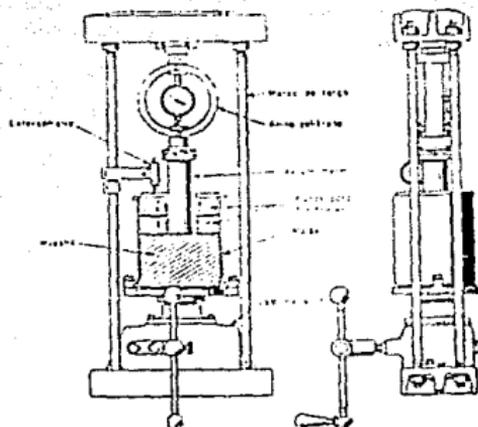
Esta prueba fué desarrollada originalmente en el Estado de California E.U.A., para los proyectos viales de aquella entidad, pero pronto se hizo general en muchos lugares debido a la sencillez del método en que se funda.

El VRS (CBR) de un suelo se determina mediante la relación entre: a) La presión necesaria (P) que hay que aplicar a un pistón, para producir en el suelo de una muestra de campo una penetración de 2.5 mm (0.1 pulg.) Figura (81), y b) La presión aplicada (P'), para dar la misma penetración, en una grava caliza triturada, bien graduada y saturada, previamente compactada bajo una presión estática de 142 Kg/cm<sup>2</sup> (2025 lb/pulg<sup>2</sup>). El VRS esta expresado en porcentaje, respecto a la presión del material normalizado.

$$\text{VRS} = \frac{P}{P'} \times 100$$

Los valores de penetración que se obtienen para el material normalizado adoptado como patrón se presentan en la Figura (81).

En la prueba de penetración se han normalizado las partes del procedimiento y equipo de prueba, así como el proceso de saturación de las muestras por un período de cuatro días, bajo el confinamiento de placas de sobrecarga que simulen el peso del



Dimensiones de penetrador del material normalizado en la prueba de CBR (VRS)

Penetración mm	Profundidad pulgadas	kg/cm <sup>2</sup>	libras/pulg <sup>2</sup>
2.5	0.1	70	1 500
5.0	0.2	105	1 900
7.5	0.3	133	1 900
10.0	0.4	151	1 300
12.5	0.5	162	2 800

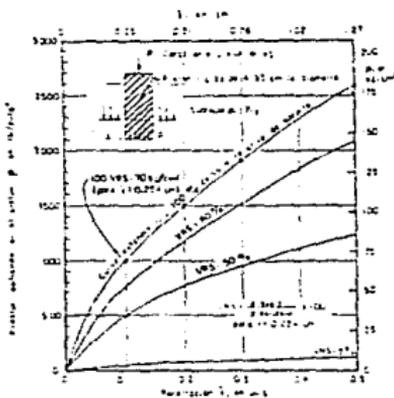


Fig 81 Equipo y resultados típicos de la prueba CBR (VRS).

pavimento. Esta sobrecarga también se proporciona durante la prueba de penetración. El proceso de saturación permite definir la susceptibilidad de los suelos a la expansión, la cual se expresa en porcentaje de la altura inicial de la muestra y la que se detecta al finalizar el proceso de saturación, mediante un extensómetro.

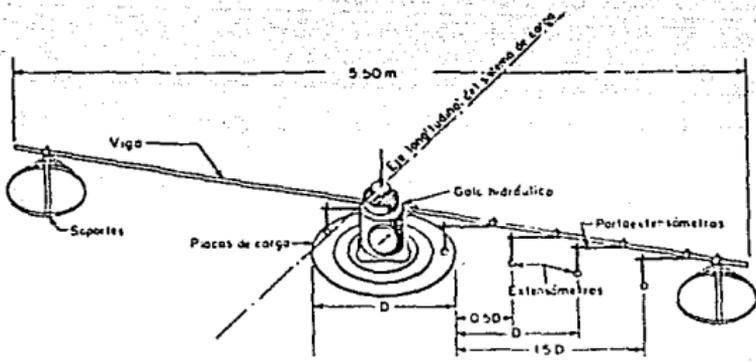
Las pruebas de VRS pueden efectuarse en el laboratorio utilizando muestras compactadas ó muestras inalteradas labradas en moldes ó realizándola en el campo, esta última modalidad, sin embargo, impide conocer la deformabilidad del suelo al saturarse y solo debe emplearse en pavimentos construidos, para fines de evaluación, rehabilitación o verificación.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los E.U.A. para la evaluación del VRS notó que la resistencia de un suelo estaba en función de su peso volumétrico y del contenido de agua de la muestra. Estas observaciones las introdujo en la elaboración de especímenes que se compactan por el procedimiento de impactos, utilizando pisonos con un cierto efecto de amasado. A cada muestra se le determina su VRS, después del proceso de saturación de cuatro días y su expansión, obteniéndose de esta manera las relaciones entre el contenido de agua de moldeo y el peso volumétrico seco.

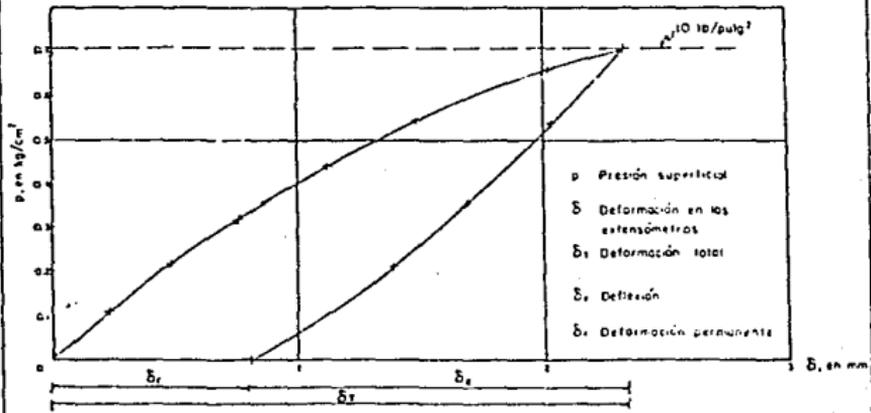
El Valor Relativo de Soporte así obtenido llevará implícito las condiciones más críticas posibles.

#### PRUEBA DE PLACA NO REPETITIVA.

La prueba de placa no repetitiva se hace para valuar la capacidad de soporte de la subrasante, la base, sub-base y, en ocasiones los pavimentos completos y utilizada en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico. La prueba consiste en cargar, mediante un sistema compuesto comunmente por un gato hidráulico, que se apoya en varias placas metálicas de diversos diámetros y dispuestos en forma piramidal, un peso o lastre, normalmente constituido por un camión cargado ó una estructura. Las deformaciones experimentadas por el suelo suelen medirse mediante extensómetros normalmente tres, dispuestos en planta a 120° sobre la placa que se apoya en el terreno. Algunas veces, con fines de investigación principalmente, se colocan extensómetros adicionales



Sistema de carga y deformación,  
en las pruebas de placa



Resultados típicos de la prueba de placa  
no repetitiva

Fig 82 Equipo y resultados de la prueba de placa no repetitiva.

y equidistantes, para definir la "cubeta" de deformación del terreno. En la Figura (82) aparece esquemáticamente el conjunto.

La prueba de placa no repetitiva se desarrolla aplicando de seis a ocho incrementos de carga, dejando estabilizar la carga en cada incremento. La presión máxima a la que se ve sujeta una subrasante por la distribución de esfuerzos mediante las losas del pavimento, es del orden de  $0.3 \text{ Kg/cm}^2$ , el ensaye se lleva a una presión de  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$ , usando placa de 762 mm (30 pulg) de diámetro, en la Figura (82) se muestran algunos resultados típicos de esta prueba.

Se define como módulo de reacción (K) de un suelo a la presión que debe aplicársele al mismo, para producirle una deformación unitaria.

$$K = \frac{P}{dt}$$

donde:

K = Módulo de reacción.

P = Presión aplicada al suelo  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$ .

dt = Deformación unitaria alcanzada.

Se reconoce generalmente que esta prueba tiene algunas desventajas entre las cuales esta su alto costo, la imposibilidad de realizar un número aceptable estadísticamente y que solo pueden ser realizadas hasta que esten estructuradas las terracerías. Por estas razones y debido a que los organismos especializados consideran que el valor del Módulo de Reacción no es tan significativo, dentro de la metodología del diseño de espesores de los pavimentos de concreto, la Portland Cement Association (PCA) sugiere estimar este parámetro empleando ensayes de clasificación y a lo sumo, pruebas VRS, las cuales se encuentran correlacionadas con el Módulo de Reacción (K).

El Módulo de Reacción de diseño para un pavimento rígido se determina en la superficie de la sub-base compactada, la PCA publicó gráficas para la estimación del Módulo de Reacción Combinado ( $K_c$ ) habiendo efectuado varias pruebas de subrasantes, con o sin sub-bases granulares y de sub-bases tratadas con Cemento Portland, de varios espesores.

C) REQUERIMIENTOS DE ESPESORES MINIMOS DE LAS DIVERSAS CAPAS QUE CONSTITUYEN LA SECCION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

Los requerimientos de espesores minimos de las diversas capas de un pavimento de resultados prácticos de Mecánica de Suelos para aeropuertos de la República Mexicana los podemos resumir de la manera siguiente.

Elemento	Materiales	Espesor mín. en cm.
Subrasante.	Suelos, con tamaño máx. de partículas de 7.6 cm	50
Sub-base	Granular poco limosa (GW-GM).	15
	Grava triturada (GW). partículas de 4.76 cm.	15
Base	Grava Triturada (GW) (Figura (90)	15
	Grava estabilizada con asfalto	10
	Grava estabilizada con cal	15
	Grava estabilizada con cemento partículas de 4.76 cm.	20
Carpeta	Concreto asfáltico, conforme a las gráficas de diseño Figuras (84 a 86): partículas de 1.91-4.76 m.	7 a 13
Pavimento	El que corresponda para un VRS máximo de 20% de la subrasante, conforme a las gráficas de diseño Figuras (84 a 86).	

CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO.

La FAA da un procedimiento sencillo basado en correlaciones empíricas y desglosadas en gráficas de diseño.

Lo primero que se obtiene son las características del tránsito aéreo y la aeronave crítica así como el número de pasadas

equivalentes en su vida útil. Después se procede a obtener las características de resistencia y deformabilidad de la capa subrasante (VRS, expansión, peso volumétrico seco, su humedad optima de moldeo y su Kc) y con estos valores diseñar el espesor de acuerdo a los requerimientos de calidad mínima de las diversas capas que constituyen la sección estructural del pavimento, ajustando los espesores a los valores mínimos para las capas del pavimento que, por experiencia han demostrado tener un comportamiento apropiado.

Las gráficas de diseño de la FAA mostradas en las Figuras (84 a 86) son para aeronaves con arreglos de ruedas gemelas, sistemas en bogie y para aeronaves de fuselaje ancho (DC-10-10, B-747, B-747-100, SP, DC-10-30, 30CF, 40, 40CF, L-1011, 100, 200 etc..), de las cuales la OACI presenta un catálogo de gráficas más exhaustivo.

De la aplicación de dichas gráficas se obtiene el espesor total del pavimento, expresado como una sección homogénea de grava (grava equivalente), considerando una vida útil del aeródromo de 20 años. En las mismas gráficas se indica el espesor mínimo de carpeta asfáltica, para zonas llamadas críticas, las cuales se reducen en un porcentaje en las zonas llamadas no críticas mostradas en la Figura (89), debido al efecto de rodamiento de las aeronaves conforme a las disposiciones de la FAA.

El espesor mínimo de la base granular se obtiene en base al valor de grava equivalente antes obtenida y el VRS, Figura (87).

El espesor de la subrasante generalmente recomendado es de 50 cm.

Una vez determinado el espesor total necesario de la sección estructural dado en grava equivalente y el espesor de carpeta necesaria de acuerdo al tipo de avion de diseño, se procede a calcular el espesor de la Base Figura (87) a partir del valor de las salidas anuales equivalentes, y analizando diversas alternativas de estructuración del pavimento de acuerdo a los tipos de materiales y a la posibilidad de emplear aditivos como Cemento Portland, Cal y/o productos asfálticos para la formación de las capas de sub-base y/o base, cuando estas tengan poca resistencia.

Se revisa el espesor de la Base para resistir la carga ó

existe la necesidad de una sub-base, esto se hace transformando los espesores de carpeta y base a grava equivalente y comparandolo con el espesor calculado.

**Ejemplo #6 CALCULO DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO.**

Los datos que se utilizan para el cálculo del espesor de un pavimento de concreto asfáltico de un aeropuerto son obtenidos en el proceso de planeación y se proporcionan a continuación.

AVION MODELO	NUMERO DE OPERACIONES	CRECIMIENTO ANUAL (r) DE OPERACIONES AEREAS.
DC-9-41	630 operaciones	10 %
DC-9-81	840 operaciones	7 %
Boeing-727-200N	960 operaciones	7 %
DC-10-10	365 operaciones	8 %
Boeing-747-200B	365 operaciones	4 %

La Tabla (XVII) sirve para obtener el número de pasadas anuales equivalentes (R<sub>n</sub>) para la aeronave de diseño. El procedimiento se hará para una aeronave la DC-9-41 y el procedimiento seguido se repite para todas las demás aeronaves.

Lo siguiente será obtener el coeficiente de acumulación del tránsito (Cat). Coeficiente que se basa en la fórmula empírica:

$$Cat = 365 \sum_{j=1}^n (1 + r)^{j-1}$$

donde:

n = Número de años.

r = Taza de crecimiento anual en porcentaje.

De la Tabla (XVII) se obtiene un resultado de 20905 operaciones. Este valor se multiplica por el número de operaciones diarias con lo cual tendremos que el número de pasadas en la vida útil de un DC-9-41 es de 35957 pasadas que al dividirlo entre 20 años nos da el número de pasadas anuales, obtenido esto se procede a homogenizar a un mismo tren de aterrizaje que será aquel que requerirá un mayor espesor de pavimento, normalmente es la más

Tabla XX Determinación del número de pasadas anuales equivalentes ( $R_1$ ) a la aeronave de diseño

Aeronave		Cargas (W), en t		Operación Inicial		$R_1$ en %	$C_{at}$	Número de pasadas			
Modelo	Tren	Pierna	Rueda	Ánual	Diaria			en la vida útil	Anuales	Anuales a TYP	Anuales equiv. a
a) Análisis para la aeronave más frecuente: Boeing 727-200N								TYP-4			
DC-9-41	TYP-4	24.33	12.17	630	1.72	10	20 905	35 957	1 798	1 798	464
DC-9-81	TYP-4	30.57	15.29	840	2.30	7	14 963	34 415	1 721	1 721	937
B 727-200	TYP-4	36.25	18.13	960	2.63	7	14 963	39 353	1 967	1 967	1 567
DC-10-10	TYP-B	92.61	23.15	365	1.00	8	16 703	16 703	835	1 362	3 553
B 747-200	TYP-16	83.26	20.82	365	1.00	4	10 869	10 869	543	543	653
b) Análisis para la aeronave más pesada: DC-10-10								TYP-B $\Sigma = 7 734$			
DC-9-41	TYP-4	24.33	12.17	630	1.72	10	20 905	35 957	1 798	1 079	158
DC-9-81	TYP-4	30.57	15.29	840	2.30	7	14 963	34 415	1 721	1 033	261
B 727-200	TYP-4	36.25	18.13	960	2.63	7	14 963	39 353	1 967	1 100	523
DC-10-10	TYP-B	92.61	23.15	365	1.00	8	16 703	16 703	835	835	635
B 747-200	TYP-16	83.26	20.82	365	1.00	4	10 869	10 869	543	543	392
$\Sigma = 2 189$											

197

Factores de conversión por el tipo de tren de aterrizaje

De ruedas gemelas (TYP-4) a bogie (TYP-B): 0.6

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

1 Aeronave de diseño  
2 Aeronave en cuestión

Coefficientes de acumulación del tránsito ( $C_{at}$ )

$$C_{at} = 365 \sum_{i=1}^n (1+r)^{i-1}, \text{ siendo } n \text{ el no. de años}$$

Tasa de crecimiento anual  $r$ , en porcentaje

Año	0	2	4	5	6	8	10	12	14	15
3	1095	1117	1139	1151	1162	1185	1208	1232	1255	1267
5	1825	1899	1977	2017	2057	2141	2228	2319	2413	2451
10	3650	3997	4382	4591	4811	5288	5817	6405	7058	7411
15	5475	6312	7309	7876	8496	9910	11597	13607	16002	17367
20	7300	8868	10869	12069	13427	16703	20905	26299	33224	37392
25	9125	11691	15201	17420	20026	26684	35897	45567	60383	77665

pesada (DC-10-10, con 92.61 ton) o la más frecuente (B-727-200N, con 960 operaciones anuales) las cuales tienen un tren de aterrizaje de 8 ruedas en bogie y 4 ruedas gemelas respectivamente (dato obtenido en la Tabla (XVI), por lo tanto la conversión del número de pasadas del DC-9-41 a estas aeronaves de diseño es:

Aeronave más frecuente B-727-200N tren 4, gemelas.

El tipo de tren de aterrizaje de las aeronaves DC-9-41 y la B-727-200N es igual por eso el número de operaciones será el mismo 1798 operaciones.

Aeronave más pesada DC10-10 tren 8, en bogie.

Operaciones	Factor de conversión	Número de pasadas anuales
DC-9-41	Tabla (XV).	a tren tipo 8, bogie.
1798 oper. X	0.6	= 1079 operaciones.

Una vez obtenidas las operaciones anuales a un determinado tipo de tren de aterrizaje se calcula el número de pasadas equivalentes en base a la fórmula:

$$\text{Log}_{10} R_1 = (W_2/W_1)^{1/2} \text{Log}_{10} R_2$$

donde:

R<sub>1</sub> Pasadas anuales equivalentes de la aeronave de diseño.

R<sub>2</sub> Pasadas anuales de la aeronave considerada, convertidas al tren de aterrizaje de la aeronave de diseño.

W<sub>1</sub> Carga de la rueda de la aeronave de diseño.

W<sub>2</sub> Carga sobre la rueda de la aeronave considerada.

	AERONAVE MAS FRECUENTE		AERONAVE MAS PESADA.
	B-727-200N		DC-10-10.
R <sub>1</sub>	1967 pasadas anuales.		835 pasadas anuales.
R <sub>2</sub>	1798 pasadas anuales.		1079 pasadas anuales.
W <sub>1</sub>	12.17 ton.		12.17 ton.
W <sub>2</sub>	23.15 ton.		18.13 ton.

FRECUENTE  $\text{Log}_{10} R_1 = (W_2/W_1)^{1/2} \text{Log}_{10} R_2$

B-727-200N.

$$R_1 = \text{Antilog}_{10} (W_2/W_1)^{1/2} \text{Log}_{10} R_2$$

$$R_1 = \text{Antilog}_{10} (12.17/18.13)^{1/2} \text{Log}_{10} (1798)$$

$$R_1 = 464 \text{ pasadas anuales equivalentes.}$$

PESADA  
DC-10-10.

$$\text{Log}_{10} R_1 = (W_2/W_1)^{1/2} \text{Log}_{10} R_2$$

$$R_1 = \text{Antilog}_{10} (W_2/W_1)^{1/2} \text{Log}_{10} R_2$$

$$R_1 = \text{Antilog}_{10} (12.17/23.15)^{1/2} \text{Log}_{10} (1079)$$

$R_1 = 158$  pasadas anuales equivalentes.

Estas pasadas equivalentes junto con el peso de la aeronave obtendremos el espesor en grava equivalente para las dos aeronaves de diseño donde se verá cual de las dos aeronaves requiere de un mayor espesor lo que determinará la aeronave crítica:

	AERONAVE MAS FRECUENTE	AERONAVE MAS PESADA:
	Boeing 727-200N	DC-10-10
Peso bruto	78.5 ton	196.4 ton
VRS %	10 %	10 %
No. operaciones	7774	2189

Nota \*1. Este valor se obtiene de los resultados de las pruebas hechas al material que se usará a nivel subrasante de nuestro pavimento y cuyos resultados se muestran en la Figura. (83).

Usando las curvas de las Figuras (84 y 86) obtendremos los valores de espesor de la CARPETA y del espesor de la GRAVA EQUIVALENTE.

	AERONAVE MAS FRECUENTE	AERONAVE MAS. PESADA
Espesor de Carpeta (recomendado)	10 cm	13 cm
Espesor de Grava equivalente	57 cm	64 cm

( Figuras (84 y 86) )

El espesor mayor de grava equivalente es el que se necesitará para poder soportar la aeronave más pesada por lo que será esta la crítica y para la que se diseñará el pavimento.

Con el valor de grava equivalente (64 cm) y el valor del VRS (10%), usando la Figura (87) se obtiene el espesor de la BASE de nuestro pavimento y que es igual a: BASE = 31 cm.

Conocido ahora el Espesor de la Carpeta (13 cm) y el Espesor de la Base (31 cm). Se procederá a estructurar el pavimento, con la Figura (88) obtenemos los FACTORES DE GRAVA EQUIVALENTE (FGE) que nos permitirá transformar los espesores reales de nuestro pavimento a espesores de grava equivalente estos valores son: Para la CARPETA FGE = 2.19, y para la BASE FGE= 1.89, factores que al multiplicarlos por los espesores conocidos nos dan el espesor en grava equivalente de :

CARPETA	13 cm X 2.19 FGE = 29.47 cm de grava equivalente.
BASE	31 cm X 1.89 FGE = 58.59 cm de grava equivalente.
	<hr/>
	87.06 cm de grava equivalente.

mayor que el obtenido al inicio de 64 cm y se concluye que no es necesaria una capa de Sub-base, por lo tanto el pavimento estará formado por:

ESPESOR DE LA CARPETA .... 13 cm.  
ESPESOR DE LA BASE ..... 31 cm.

#### B.8.- PROYECTO ARQUITECTONICO.

El proyecto de edificios del sistema aeroportuario deberá buscar la capacidad y eficiencia de su servicio, optimizando racionalmente las áreas y evitando su alteración por actividades poco o nada relacionadas con el aeropuerto, adecuando el uso del espacio existente para hacer directo e inmediato el tránsito de pasajeros y equipaje y concentrando los servicios para las autoridades y los administradores.

Las instalaciones de un aeropuerto deberán plantear una respuesta a la demanda existente, y sus ampliaciones estarán de acuerdo a la velocidad de crecimiento, inversión programada y alternativas del plan de desarrollo que se proponga.

Las remodelaciones y ampliaciones normalmente implican un proceso constructivo costoso y complicado ya que los aeropuertos tienen que seguir operando, lo que requiere evaluar el proyecto y la estrategia de construcción que permita llevar a cabo la operación y proceso de pasajeros, al mismo tiempo que la obra, sin alterar significativamente ninguna de las dos actividades.

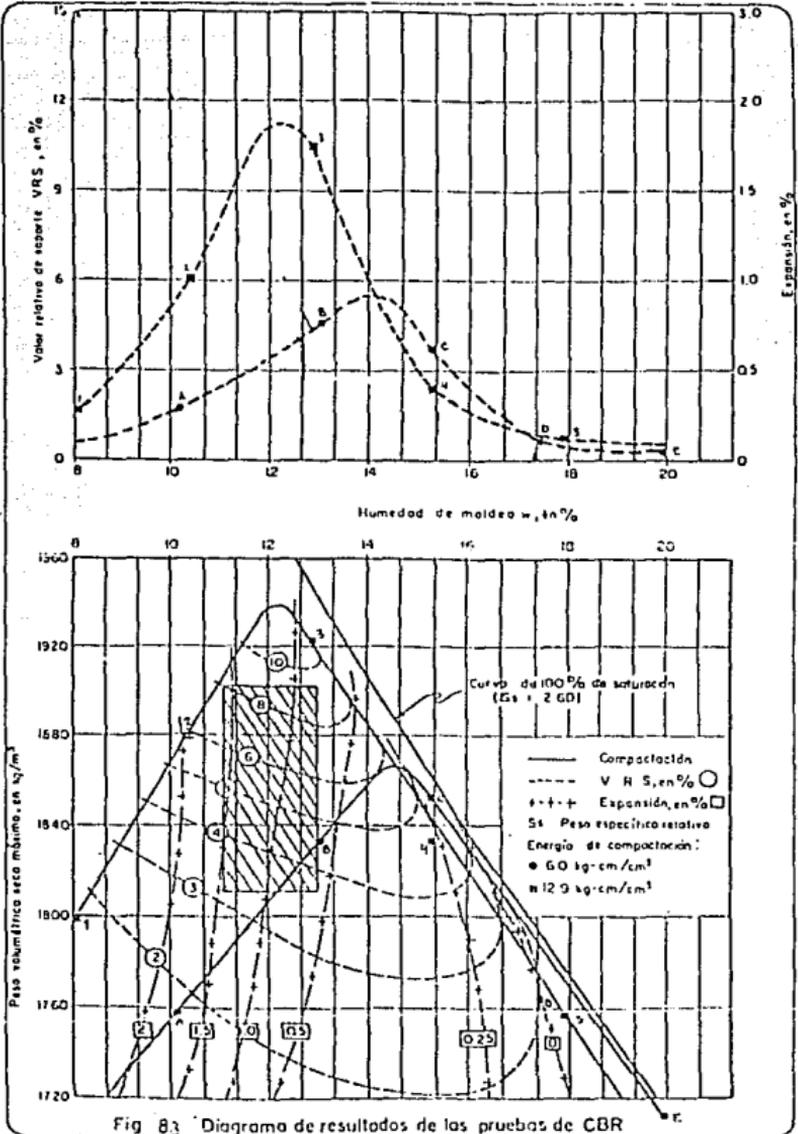


Fig. 83 Diagrama de resultados de las pruebas de CBR

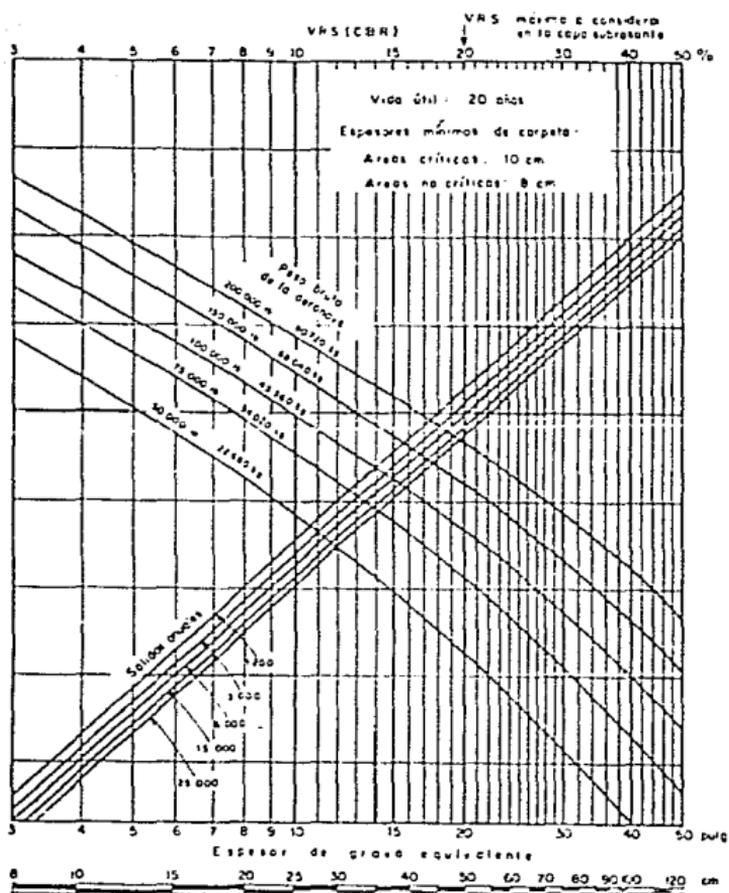


Fig. 64 Curvas de cálculo de pavimentos asfálticos para áreas críticas, tren de ruedas gemelas

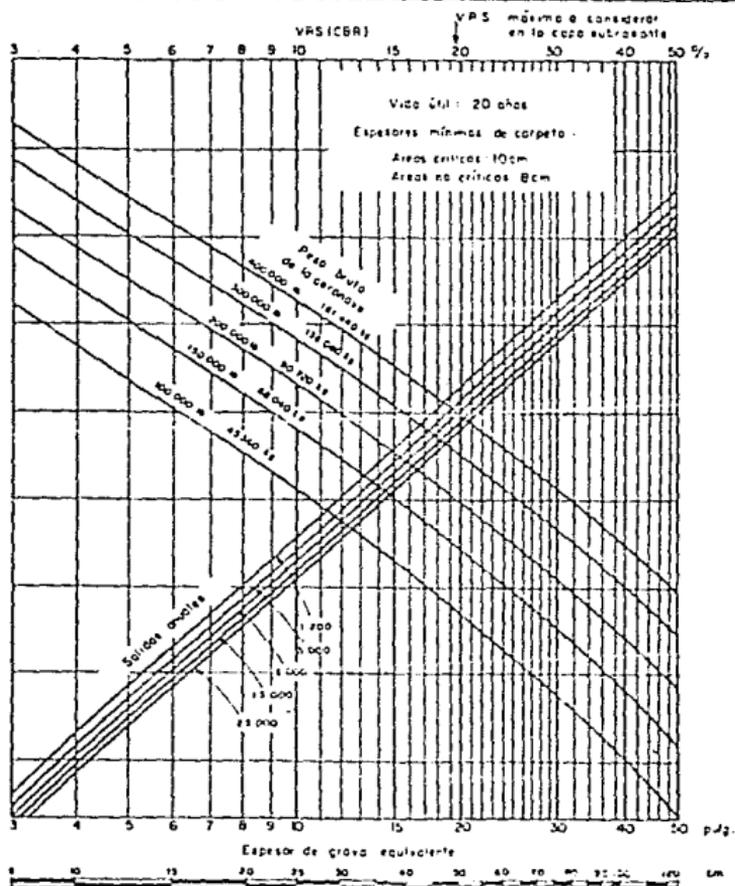


Fig 55 Curvas de cálculo de pavimentos asfálticos para áreas críticas, tren de aterrizaje en bogie (tándem)

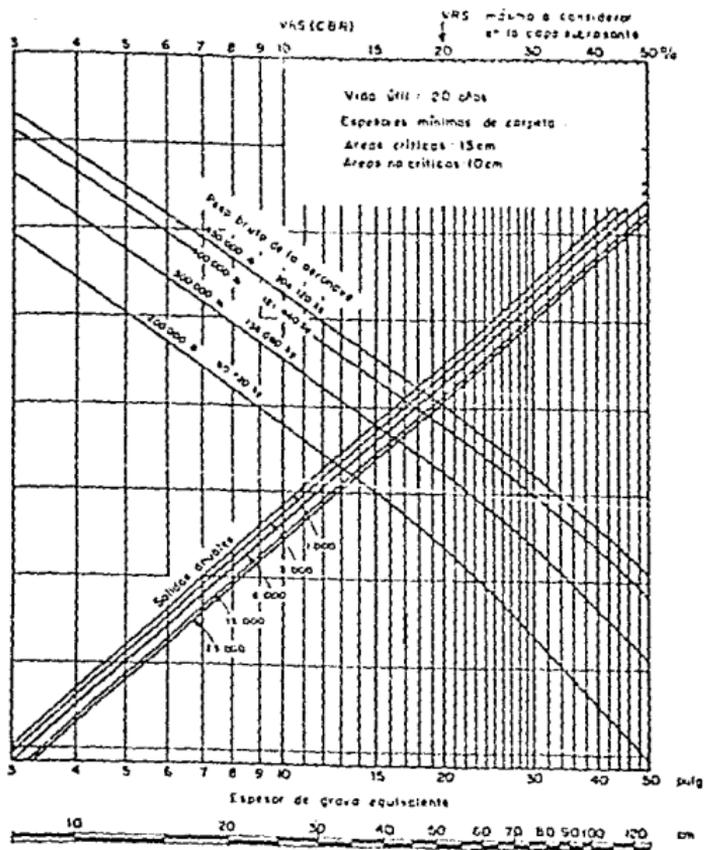


Fig. n6 Curvas de cálculo de pavimentos asfálticos para áreas críticas, DC 10-10, IOCF

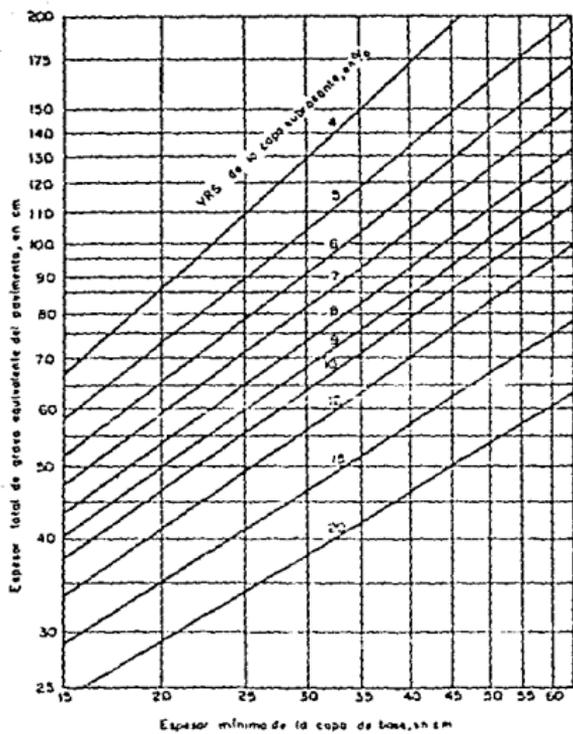


Fig 87 Gráfico para el diseño de espesor mínimo de base

Salidas anuales equivalentes de la carretera de diseño

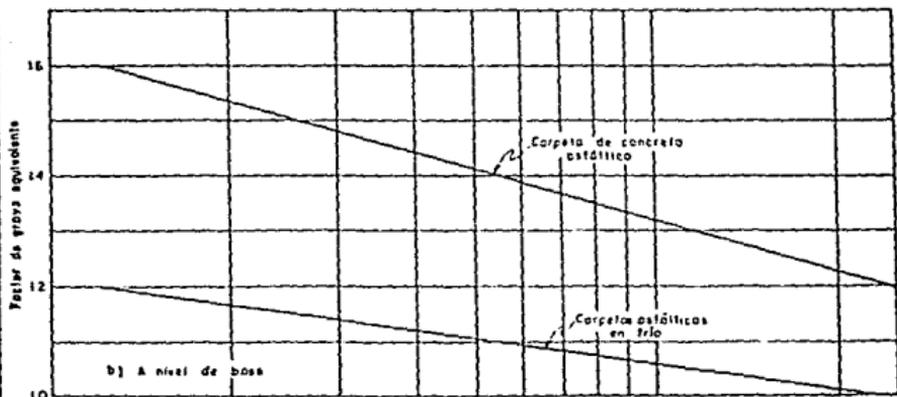
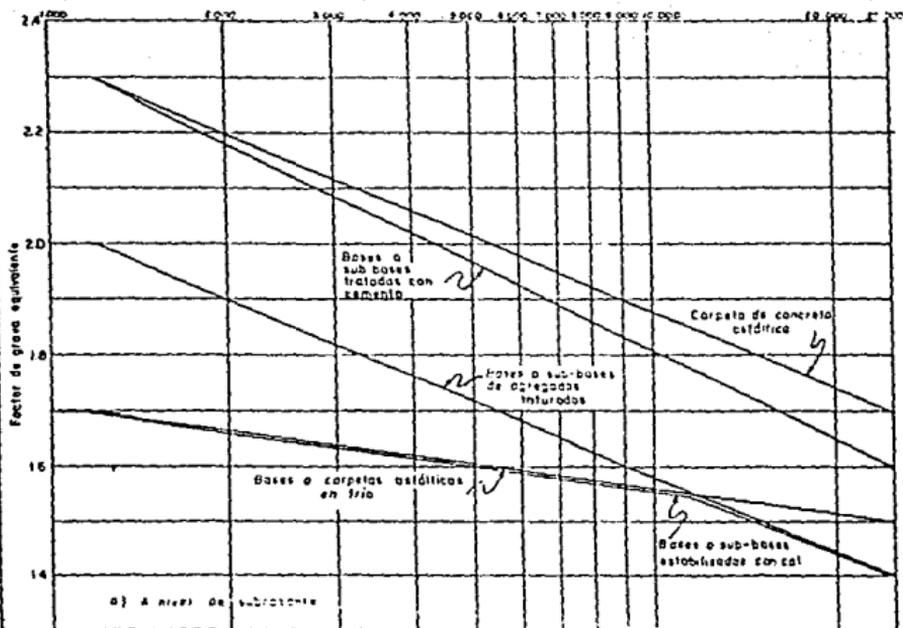


Fig. RR Factores de grava equivalente para aeropistas (OACI)

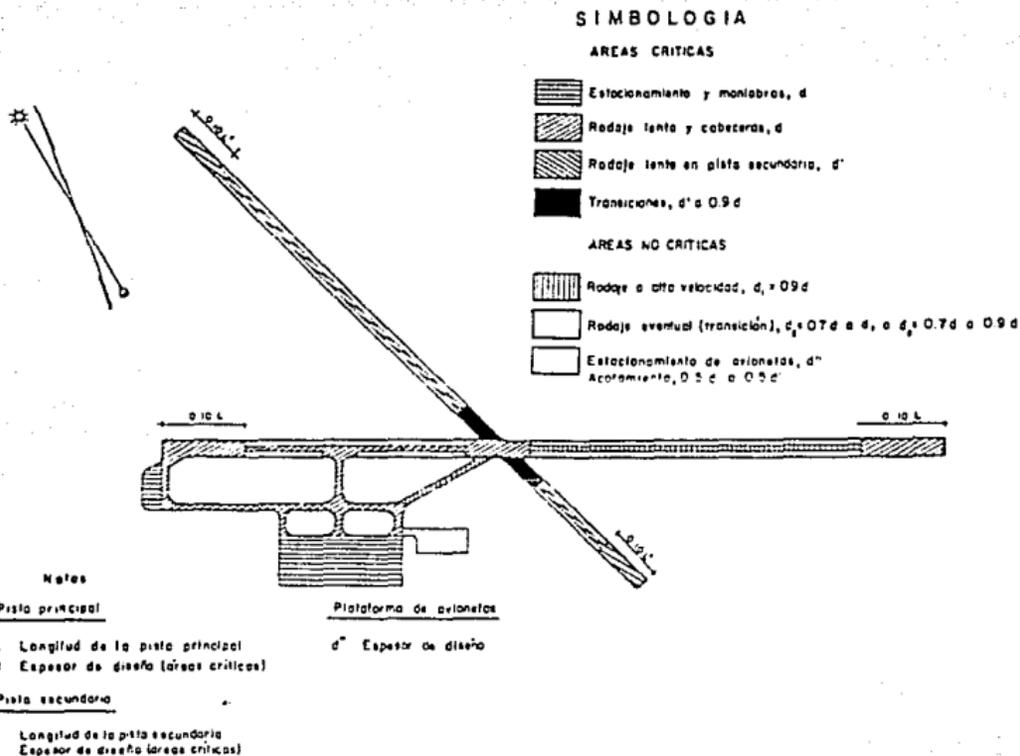


Fig. 59. Áreas de rodamiento en aeródromos

Para el diseño arquitectónico, la normatividad para el cálculo de áreas que utilizará cada parte del aeropuerto se da a continuación; cabe señalar que se debe considerar un amplio horizonte de desarrollo de sus elementos, para evitar limitaciones en su futuro, desarrollo por lo que cada proyecto en particular requerirá de un análisis específico de sus partes constitutivas.

NORMATIVIDAD PROMEDIO EN AREAS GENERALES, EDIFICIOS  
AREA TERMINAL

PLATAFORMA:

Aviación Comercial .....8200 m<sup>2</sup>/posición.  
Aviación General .....1100 m<sup>2</sup>/posición.  
Carga .....12000 m<sup>2</sup>/posición.

EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS:

Aviación Comercial .....10 a 14 m<sup>2</sup>/PAX hora crítica.  
Aviación General .....8 a 10 m<sup>2</sup>/PAX hora crítica.

ESTACIONAMIENTO PARA AUTOMOVILES:

Aviación Comercial .....30m<sup>2</sup>/Auto 1 cajon PHP.  
Aviación General .....30m<sup>2</sup>/Auto 1.5 cajon PHP.  
Vehiculos Oficiales .....30m<sup>2</sup>/Auto.  
Vehículos en renta incluye  
administración y mantenimiento.....40m<sup>2</sup>/Auto.  
Vehículos de transportación  
terrestre .....50m<sup>2</sup>/Auto.  
Vehículos de empleados,  
incluye circulaciones.....30m<sup>2</sup>/Auto.

TERMINAL DE SERVICIOS, CARGA, MANTENIMIENTO DEL AVION:

Terminal de carga.  
Internacional y Nacional y mantenimiento.....1.4m<sup>2</sup>/ton/año.  
Edificio para las compañías aéreas  
Nacionales para movimiento de carga Nacional  
y mantenimiento.....0.15m<sup>2</sup>/ton/año.

Edificio para concesionarios de  
transitación de carga aérea.....0.25m<sup>2</sup>/ton/año.

ALMACEN DE COMBUSTIBLES:.....1 ha / 10 lt/año.

ZONA DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE VUELO DE LAS COMPAÑIAS  
AEREAS COMERCIALES:.....800m<sup>2</sup>/avión.  
ZONA DE HANGARES DE AVIACION GENERAL, INCLUYE RODAJES DE  
ACCESO:.....1250m<sup>2</sup>/hangar.

ZONA DE MANTENIMIENTO Y CONSTRUCCION DEL AEROPUERTO:  
.....500m<sup>2</sup>/millon PAX/año.

ZONA DE OFICINAS DE AUTORIDADES AEROPORTUARIAS CON ACTIVIDAD  
DIRECTA A LA OPERACION:.....350m<sup>2</sup>/millon PAX/año.

ZONA DE AUTORIDADES AEROPORTUARIAS CON ACTIVIDAD DE APOYO A  
LA OPERACION:.....1.5 ha/millon PAX/año.

ZONA DE PREPARACION DE ALIMENTOS Y MANTENIMIENTO DE  
COMPAÑIAS AEREAS:.....1000m<sup>2</sup>/1000 operaciones/año.

CREI:.....15m<sup>3</sup>/bombeo por hab.  
.....250m<sup>2</sup>de cobertizo mínimo.

TORRE DE CONTROL:.....50m mínimo en torre y subtorre.

#### NORMATIVIDAD EN EDIFICIO TERMINAL.

##### AREA PUBLICA:

Vestibulo general y espera .....1.2m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
Concesiones.....1.0m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
Restaurant.....0.5m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
Sanitarios.....6 muebles, 250 PAX/hr pico.

##### DOCUMENTACION:

.....2 a 3 m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
segun el tipo de aeropuerto.

**NUMERO DE MOSTRADORES:**

.....1/500 PAX/hr pico.  
Vestíbulo DUA.....25m<sup>2</sup>/100 PAX/hr pico.

**EQUIPO DE REVISION DE PASAJEROS Y EQUIPAJE :**

Número de filtros.....1/250 PAX/hr pico.  
Vestíbulo ERPE.....50m<sup>2</sup>/100 PAX/hr pico.

**MIGRACION:**

Número de filtros.....2/250 PAX/hr pico.  
Vestíbulo.....50m<sup>2</sup>/100 PAX/hr pico.  
Oficinas.....mínimo 15m<sup>2</sup>.

**SALA ULTIMA ESPERA :**

Area PAX sentados (60 a 80 por ciento)...1.2m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
Area PAX de pie (20 a 40 por ciento)  
Incluye circulaciones y filtro compañía.....0.6m<sup>2</sup>/PAX/hr pico.  
Sanitarios.....8 muebles/100 PAX/hr pico.  
mínimo 6 muebles.

**NORMATIVIDAD POR AREA DE SALIDA.**

**DOCUMENTACION TRADICIONAL CON O SIN APOYO DE BANDA:**

Longitud de mostrador .....6ml/200 PAX/hr pico.  
Longitud de cola .....10ml+3ml de circulación de acceso.

CANTIDAD DE COLAS:.....3.

MOSTRADOR DE INFORMES:.....1.

OFICINA DE APOYO.....9 m<sup>2</sup> /100PAX/hr pico.

AREA DE AGENTES:.....17 m<sup>2</sup>.

NUMERO DE AGENTES:.....6.

NUMERO DE BASCULAS:.....3.

**SELECCION DE EQUIPAJES:**

Número de contenedores.....4 simultaneos.  
Longitud de carga (banda).....12 ml.  
Superficie mínima de manejo de equipaje...80m<sup>2</sup>.

**DOCUMENTACION TIPO MOSTRADOR LIBRE (RAY-CHECK):**

Longitud de mostrador.....30 ml/ 1000 PAX/ hr pico.  
Longitud de cola.....15.4 ml+ 8 ml de circulación de  
acceso.

Cantidad de colas.....20.

Mostradores de informes.....5.

Oficina de apoyo.En zona administrativa no se considera  
área.

Area de agentes.....40m<sup>2</sup>.

Número de agentes.....24.

Número de básculas.....24.

SELECCION DE EQUIPAJE:

Número de contenedores simultáneos.....40.

Longitud de carga.....90m/1000 PAX/hr pico.

Area mínima de manejo de equipaje..1000m<sup>2</sup>/1000 PAX/hr pico.

Ejemplo #7 CALCULO DE AREAS POR MEDIO DE LA NORMATIVIDAD.

Como ejemplo tomamos el Aeropuerto de Mazatlán, Sin. el cual en hora crítica tuvo 550 pasajeros de Aviación Comercial Internacional y Nacional. En base a los cuales se calculan algunas áreas del aeropuerto:

.Edificio terminal de Aviación Comercial:

(10-14 m<sup>2</sup>/PAX/Hr pico).....10 m<sup>2</sup> X 550 PAX = 7700 m<sup>2</sup>.

.Vestíbulo General:

(1.2 m<sup>2</sup>/PAX/Hr pico)..... 1.2 m<sup>2</sup> X 550 PAX = 660 m<sup>2</sup>.

.Salas de documentación:

(1 m<sup>2</sup>/PAX/Hr pico).....1 m<sup>2</sup> X 550 PAX = 550 m<sup>2</sup>.

Para el año 1986 se tenían :

.Edificio terminal de Aviación Comercial un área de 11900 m<sup>2</sup>.

.Vestíbulo General un área de ..... 702 m<sup>2</sup>.

.Salas de documentación ..... 415 m<sup>2</sup>.

Se puede observar que en las salas de documentación existe un valor por debajo de lo calculado lo que originaba una saturación en ésta área por lo que era necesario ampliar ésta zona para mejorar el servicio.

## CAPITULO VII

### NORMAS Y REGLAMENTOS

7.1.- DESCRIPCION.

7.2.- REGLAMENTACION OACI.

7.3.- NORMAS DE CONSTRUCCION E INSTALACIONES SCT.

7.4.- NORMAS Y REGLAMENTOS DGAC-SCT.

7.5.- NORMAS Y PROCEDIMIENTOS SENEAM.

7.6.- LEY DE VIAS GENERALES DE COMUNICACION.

7.7.- ACTIVIDADES DE ASA.

## NORMAS Y REGLAMENTOS

### 7.1.- DESCRIPCIÓN.

En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es el organismo encargado de establecer y operar los servicios aéreos en el territorio nacional, para ello en la Ley de Vías Generales de Comunicación se establecen las atribuciones de su autoridad, siendo la encargada de elaborar las normas y reglamentos aeronáuticos en el país y se auxilia en la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), del organismo Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), y del organismo descentralizado Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA).

Bajo esta normatividad, la SCT lleva a cabo el proceso de planificación, construcción, mantenimiento y operación de los aeropuertos, de acuerdo a las normas y recomendaciones emanadas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), encargada de reglamentar las instalaciones de los aeropuertos de los países miembros de la organización. A continuación se mencionan en forma general los principales enunciados de las Normas y Reglamentos utilizados en la Ingeniería Aeroportuaria en México:

## 7.2.- REGLAMENTACION OACI.

La OACI es la encargada de normar los aspectos técnicos de la aviación a través del Reglamento del aire, meteorología aeronáutica, cartas aeronáuticas, operación de aeronaves, marcas de nacionalidad y de matrícula de las aeronaves, aeronavegabilidad, telecomunicaciones aeronáuticas, servicio de tránsito aéreo, búsqueda y salvamento, investigación de accidentes aéreos aeródromos, servicios de información aeronáutica, ruido producido por las aeronaves, seguridad y transporte de mercancías peligrosas. Una vez adoptadas las normas, cada estado miembro de la OACI las aplica en su territorio.

A la par de la tecnología aeronáutica que continúa avanzando rápidamente, las normas y reglamentos de diseño de los aeropuertos se mantienen en constante revisión y se enmiendan a medida que resulte necesario.

Las normas de proyecto para un aeropuerto se encuentran contenidas en el Manual de Aeródromos del anexo 14 al Convenio Internacional de Aviación Civil, y son de aplicación a casi todos los aeropuertos que sirven internacionalmente al comercio aéreo, estas normas en términos generales comprenden lo siguiente:

1.-Datos que se hacen llegar a los demás países contratantes, en los que se indican los servicios e instalaciones con que cuenta cada aeropuerto; generalmente los datos que se notifican son:

a)-Punto de referencia del aeródromo, de acuerdo a su longitud y latitud.

b)-Elevación s.n.m.m. del aeródromo y de la pista.

c)-Temperatura de referencia del aeródromo, que será la media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondiente al mes más caluroso del año, durante varios años.

d)-Dimensiones de las partes del aeródromo e información del mismo, particularmente de pistas, franjas de seguridad, calles de rodaje, plataformas, zona libre de obstáculos, obstáculos existentes, ayudas visuales, radiofrecuencias y ubicación VOR de referencia.

e)-Resistencia de los pavimentos.

f)-Distancias declaradas de la pista (Recorrido de despegue disponible (TORA), distancia de despegue disponible (TODA), distancia de aceleración-parada disponible (ASDA) y distancia de aterrizaje disponible (LDA).

g)-Forma de retiro de naves inutilizadas.

h)-Salvamento y extinción de incendios.

2.-Características físicas que deben tener los elementos de un aeropuerto y recomendaciones de ciertas particularidades en las componentes de un aeródromo.

a)-En pistas, se dan recomendaciones en cuanto al número y orientación de las mismas, componentes transversales de viento, factores que intervienen en su longitud, ancho y separaciones mínimas entre pistas, pendientes longitudinales, cambios de pendiente longitudinal permisible, pendientes transversales de pista, etc..

b)-En los márgenes de pista, se indican sus dimensiones, pendientes y resistencia de estas.

c)-En las franjas laterales de pista se dan sus dimensiones, pendientes, resistencia y recomendaciones de distancias a los objetos fijos y móviles en un aeródromo.

d)-En las áreas de seguridad de extremo de pista, se dan recomendaciones sobre las dimensiones, pendientes y resistencia, la cual servirá para reducir riesgos de daños al avión en caso de aterrizajes largos o cortos.

e)-En zonas libres de obstáculos, se dan recomendaciones de su emplazamiento, longitud, anchura y pendientes que deben de existir para una mayor seguridad.

f)-En zonas de parada, se indican recomendaciones enfocadas a su anchura, pendiente, resistencia y superficie.

g)-Para las calles de rodaje, se dan recomendaciones en cuanto a la distancia libre que debe existir entre el tren de aterrizaje exterior y el borde de la calle de rodaje, ancho de estas, curvas, radios de giro, uniones e intersecciones,

separación entre ellas, pendientes, resistencia y superficie de rodamiento, sus márgenes y franjas de seguridad.

h)-Para las plataformas: Se dan recomendaciones generales sobre sus dimensiones, resistencia, pendientes, márgenes y separación que debe existir con los demás elementos.

### 3.- Restricción y eliminación de obstáculos.

Aquí se dan recomendaciones para llevar a cabo con seguridad las operaciones en el aeropuerto y así evitar que los aeródromos queden inutilizados por cualquier obstáculo dentro de sus alrededores, limitándose con precisión las zonas que deberán estar libres de obstáculos señalándose en las superficies de operación la superficie cónica, la horizontal interna, la de aproximación, de aproximación interna, de aterrizaje interrumpido y de ascenso en el despegue.

### 4.-Ayudas visuales para la navegación.

Por lo que se refiere a las ayudas visuales, se dan las recomendaciones sobre el tipo y ubicación de las ayudas en los aeródromos y que servirán para reducir los riesgos de accidentes, tal es el caso de:

a)-Indicadores de la dirección del viento.

b)-Faro de aeródromo ubicado en la torre de control.

c)-Señales con pintura especial reflejante, ubicadas en la superficie de rodamiento de las aeronaves como son: las señales designadoras de pista, de eje de pista, de umbral, de distancia fija, de toma de contacto y de franja lateral de la pista; las de eje y delimitación de rodajes, de intersección de calles de rodaje, de punto de espera en rodajes; las líneas de seguridad en plataforma para definir las áreas de ubicación de equipo terrestre y de servicio, señales de puesto de estacionamiento que sirven para indicar el tipo de avión que puede utilizar la zona.

d)-Señalamiento luminoso que es utilizado en operaciones nocturnas, cuyas luces deben contar con reguladores de intensidad según la visibilidad y en caso de falla éstas deben contar con equipo de emergencia, faro de identificación, sistemas de aproximación visual, sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación (VASIS, AVASIS, VASIS de tres barras, AVASIS de tres

barras, T-AVASIS, AT-AVASIS, PAPI, APAPI) ,luces de guía para vuelo en circuito, luces en pista en umbral, de borde de pista, de eje de pista, de zona de contacto, de zona de parada, luces en de eje de calle de rodaje, de borde, de parada, luces de cruce de rodajes, iluminación de plataforma con proyectores y sistema visual de guía de ataque para localizar la posición exacta que debe tener un avión en un puesto de estacionamiento.

e)-Letreros donde se dan las recomendaciones para suministrar información a los pilotos con instrucciones obligatorias que deben llevar a cabo, letreros de identificación de puestos de estacionamiento, balizas para llamar la atención sobre posibles riesgos etc...

#### 5.- Ayudas visuales indicadoras de obstáculos.

Para evitar riesgos, se dan recomendaciones sobre el señalamiento de objetos que en alguna forma pongan en peligro a las aeronaves como objetos inamovibles, prominencias del terreno, vehículos, etc... Estas ayudas se indican con pintura, balizas, banderas e iluminación.

#### 6.-Ayudas visuales indicadoras de uso restringido.

En ésta parte se da la normatividad para la utilización de lugares de uso restringido para todas las aeronaves como:

- a)-Superficies no resistentes a cargas de las aeronaves.
- b)-Areas fuera de servicio.
- c)-Para el caso de que exista un umbral desplazado.

#### 7.- Servicios de emergencia y otros servicios.

Por lo que se refiere a los casos de emergencia se indican los procedimientos a seguir en el aeródromo o en sus inmediaciones, con el objeto de reducir al mínimo sus repercusiones, dando recomendaciones para sistemas de comunicación, salvamento, extinción de incendios, agentes extintores, equipo de salvamento, caminos de acceso de emergencia, tiempo de respuesta, traslado de naves inutilizadas, reducción de

peligros debido a las aves, servicio a las aeronaves en tierra y mantenimiento.

### 7.3.- NORMAS DE CONSTRUCCION E INSTALACIONES SCT.

Son un conjunto de disposiciones y requisitos generales establecidos que deben aplicarse para la ejecución de un concepto de obra y contienen la descripción del trabajo, su medición y su base de pago. Dentro de éstas normas se encuentra como instrumento jurídico para su ejecución, adaptación y puesta en servicio de las obras que el Estado lleva a cabo la Ley de Obras Publicas que prevé dentro de su reglamento la integración de precios unitarios y una cláusula de ajuste de costos, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes siendo la encargada de construir aeropuertos cuenta con las siguientes normas técnicas donde se indica la forma de realizar estos trabajos.

1.-Generalidades sobre concursos, contratación y terminología utilizada en la obra pública.

En la primera parte se dan los datos generales que rigen los concursos y contrataciones de obras que la SCT considera necesarias, donde se hace referencia a la Adjudicación de contratos, contrato de obra, datos de construcción, ejecución de obra y estimación de obra. En la segunda parte tenemos el significado de algunos terminos técnicos empleados en las diferentes normas elaboradas por la SCT, y que comprenden aquellos que pueden tener distintas acepciones , palabras de significado convencional, excluyendo los términos que sean suficientemente conocidos.

2.-Carreteras y Aeropistas. Titulo- Terracerias.

En esta norma encontramos actividades como desmonte, cortes, préstamos, terraplenes, reafinamientos, canales, acarreos para terracerias, relación de conceptos para elaborar precios unitarios y formas de datos para la elaboración de estimaciones.

3.-Carreteras y Aeropistas. Titulo- Estructuras y obras de drenaje.

Los conceptos a que se refiere ésta norma son: Excavación para estructuras de concreto hidráulico reforzado y presforzado,

alcantarillas de concreto ó acero, subdrenes, pilotes de madera, precolados, colados en el lugar y de acero, recubrimientos con pintura, demoliciones, trabajos diversos, acarrees de materiales producto de los conceptos anteriores, plantación de especies vegetales, relación de conceptos para precios unitarios y formas de datos para estimación.

#### 4.-Carreteras y Aeropistas. Título- Pavimento.

Aquí se describen los conceptos que se llevan a cabo en la realización de los pavimentos como puede ser: Revestimientos, materiales para sub-bases y bases, materiales para la construcción de carpetas y mezclas asfálticas, estabilizaciones, riegos de impregnación, carpetas de concreto asfáltico, carpetas de concreto hidráulico, acarrees de materiales, relación de conceptos para precios unitarios y formas de datos para estimación.

#### 5.-Normas para construcción e instalaciones. Parte edificación.

En estas normas encontramos conceptos que se relacionan con la edificación como son, cimentación, estructuras, muros, instalaciones hidráulicas y sanitarias, instalaciones eléctricas, instalaciones de control del medio ambiente, instalaciones de sonido, recubrimientos, pisos, plafones, carpintería, herrería, cerrajería, vidriería, impermeabilización, pintura, jardinería, limpieza, relación de conceptos para precios unitarios y formas de datos para estimación.

#### 6.-Normas para muestreo y pruebas de materiales.

7.-En lo referente a las instalaciones de ayudas visuales, zonas de combustibles y otros trabajos que requieran de una especialización, la SCT contempla la creación de normas técnicas que ayuden a la ejecución de estos conceptos y se llaman "Especificaciones Complementarias", las cuales son elaboradas de

acuerdo a las necesidades de la obra y generalmente están apoyadas en el conocimiento de equipos especializados de fabricación extranjera ó experiencias de empresas nacionales como Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad etc..

#### 7.4.- NORMAS Y REGLAMENTOS DGAC-SCT.

La Dirección General de Aeronáutica Civil, tiene dentro de sus amplias facultades el control de las aeronaves en el aire y tierra, la coordinación del personal aeronáutico, la vigilancia de los aeropuertos, los servicios auxiliares de la navegación aérea para garantizar la seguridad y el desarrollo del transporte aéreo, así como participar en la elaboración de normas, reglamentos y documentos que permitan la coordinación de todos los organismos involucrados en la actividad aeroportuaria desde el punto de vista operacional y además de vigilar la ejecución de las siguientes actividades en los aeropuertos:

- a) Reencarpetado en pistas, rodajes y plataformas.
- b) Bacheo.
- c) Riegos de sello.
- d) Señalamiento horizontal en pistas, rodajes y plataformas.
- e) Instalación de señalamiento vertical.
- f) Limpieza de caucho en pistas.
- g) Deshierbes en áreas próximas a las de movimiento.
- h) Ampliaciones y remodelaciones de edificios.
- i) Ampliaciones de pistas, rodajes y plataformas.
- j) Limpieza de drenajes.
- k) Estudios topográficos.
- l) Construcción y conservación de zona de combustibles.
- m) Estudios de evaluación de pavimentos.
- n) Superficies limitadoras de obstáculos.
- o) Señalamiento luminoso de objetos.
- p) Coordinación de trabajos de construcción y mantenimiento
- q) Manual de trabajos de conservación en area de operaciones.
- r) Publicación de información Aeronautica (PIA).

#### 7.5.- NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE SENEAM.

Las normas y procedimientos operacionales utilizados en los aeropuertos son establecidas y vigiladas por el SENEAM, y comprenden los servicios de meteorología, control de tránsito aéreo, telecomunicaciones aeronáuticas, procedimientos operacionales y despacho e información de vuelo para éllo se establecen y actualizan los manuales, normas y procedimientos para que cumplan con sus actividades en forma eficiente.

Entre los manuales podemos encontrar:

a) Procedimientos terminales de ruta y servicios de información aeronáutica.

b) Normas y procedimientos para servicios de telecomunicaciones aeronáuticas.

c) Normas y procedimientos para los servicios de meteorología aeronáutica.

d) Manuales de prestación de servicios en tránsito aéreo, despacho e información de vuelo.

e) Normas y procedimientos para la instalación y mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de SENEAM.

#### 7.6.- LEY DE VIAS GENERALES DE COMUNICACION SCT.

Esta ley tiene la finalidad de garantizar la seguridad de los operaciones en tierra y en vuelo de las aeronaves, optimizar los servicios de transporte aéreo y fomentar la actividad aeronáutica en el país; dentro de varios títulos se enmarcan los reglamentos que deberán cumplirse para que de esta forma se establezcan los mecanismos y procedimientos para una mejor operatividad de los aeropuertos.

Dentro de ésta la Ley encontramos los siguientes reglamentos:

a) Ley del subsidio a empresas de aviación.

b) Reglamentos de vuelo y aterrizaje de aviones.

c)Reglamentos de seguridad y policia de navegacion aérea civil.

d)Reglamento para las tarifas de los servicios públicos de transporte.

e)Reglamento de operaciones de aeronaves civiles.

f)Reglamento de telecomunicaciones aeronáuticas y radio ayudas para la navegación aérea.

g)Reglamento de tránsito aéreo.

h)Reglamento de búsqueda, salvamento e investigación de accidentes aéreos.

i)Reglamento de registro aeronáutico mexicano.

j)Reglamento de escuelas técnicas de aeronáutica.

k)Reglamento de aeropuertos y aeródromos.

l)Reglamento de licencias del personal técnico aeronáutico.

m)Reglamento de servicios meteorológicos aeronáuticos.

#### 7.7.- ACTIVIDADES DE ASA.

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), es un organismo público descentralizado instituido por decreto presidencial, cuyo consejo de administración preside el Secretario de Comunicaciones y Transportes, éste organismo es el encargado actualmente de planear, construir, operar, mantener y administrar los aeropuertos de la República Mexicana.

Dentro de sus funciones esta la de mantener en operación el edificio de pasajeros sus áreas para documentación de pasajeros y equipaje, salas de espera, bandas mecánicas, mobiliario, restaurantes, bares y zonas comerciales etc., las pistas, plataformas, plantas de emergencia, instalaciones eléctricas, alumbrado, ayudas visuales, bombas de agua, equipos contra incendio, pasillos telescópicos, salas móviles, estacionamientos, vigilancia, y una flotilla de unidades de transporte urbano, etc..

Para lograr ésto cuenta con una serie de manuales que explican detalladamente la manera de identificar y resolver problemas de mantenimiento de los cuales mencionaremos algunos:

- a)Manual de inventario.
  - b)Manual de técnico de conservación.
  - c)Manual administrativo.
  - d)Plan Maestro (generado por retroalimentación del comportamiento planeado y real.).
  - e)Estrategia para la conservación del complejo aeroportuario.
  - f)Normas para la operación del sistema de ayudas visuales.
- etc...

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Estos apuntes fueron elaborados con la finalidad de apoyar al alumno con conocimientos actualizados sobre Ingeniería aeroportuaria requiriendo de acuerdo al plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil el conocimiento de las materias precedentes como Mecánica de Suelos, Ingeniería de Sistemas, Planeación, Hidráulica, Pavimentos etc., y de esta manera simplificar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Materia de Aeropuertos.

La utilización de estos apuntes es únicamente como una guía para el desarrollo del curso, dado que es un compendio de información recabada de diversas publicaciones y de experiencias prácticas de profesionistas especializados en ésta área, lo cual implica que éste trabajo estará sujeto a modificaciones de acuerdo al desarrollo tecnológico de la aeronáutica y a la evolución de la Ingeniería en este campo.

Los ejemplos utilizados en este trabajo corresponden a aeropuertos mexicanos en funcionamiento y que fueron seleccionados para dar una información apegada a la realidad, ya que actualmente nuestro país ocupa un lugar relevante dentro de América Latina por las experiencias adquiridas dentro de la Ingeniería de Aeropuertos, constituyéndose por éste motivo durante los últimos años en la sede de capacitación de Ingeniería Aeroportuaria a la que acuden becarios extranjeros pertenecientes a países integrantes de la OACI; lo cual implica un gran compromiso para las instituciones de educación superior la preparación adecuada de futuros profesionistas en ésta área.

Por último como una observacion que deseo establecer al presente trabajo, es que ésta recopilación no pretende estar terminada sino que es necesario que los interesados en estos temas los complementen de acuerdo a sus intereses y necesidades con la ayuda de las dependencias antes referidas y con el apoyo de la bibliografía que se presenta en la parte última de ésta tesis.

BIBLIOGRAFIA

---

PLANNING AND DESIGN AIRPORTS.

Horonjeff, Robert.  
Ed. Mc Graw Hill.

AIRPORT ENGINEERING.

Normand Ashford, Paul H. Wright.  
Ed. John Wiley - Interscience Publication.

AIRPORT OPERATIONS.

Normand Ashford, Paul H. Wright.  
Ed. John Wiley - Interscience Publication.

OACI.

Normas y métodos recomendados internacionales.  
Aeródromos , Anexo 14.

PUBLICACION INTERNACIONAL DE AERONAUTICA (PIA).

DGAC - SCT.

BOLETINES TECNICOS.

DGAC - SCT.

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

Centro de documentación técnica - SCT.

INGENIERIA DE AEROPUERTOS.

Modulo: Planificación.

INGENIERIA DE AEROPUERTOS.

Modulo: Proyecto.

PLAN MAESTRO AEROPUERTO SAN LUIS POTOSI.

DGAC - SCT.

PLAN MAESTRO AEROPUERTO MAZATLAN.

DGAC - SCT.

PIONEROS DE LA AVIACION MEXICANA.  
Ing. Villeda Jose.  
Ed. Colofon.

LA CIENCIA DEL VUELO.  
Ing. Sutton.  
Ed. Mc Graw Hill.

HISTORIA DE LA NAVEGACION AEREA.  
Navarro Marquez Ernesto.  
Ed. Patria México.

INGENIERIA ECOLOGICA.  
Apuntes.  
Facultad de Ingenieria - UNAM.

MECANICA DE FLUIDOS.  
Streeter - Wylie.  
Ed. Mc Graw Hill.

TOPOGRAFIA.  
Ing. Montes de Oca.  
Ed. Representaciones y servicios  
de Ingenieria - México.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS.  
Apuntes.  
División de Educación Continua.  
Facultad de Ingenieria - UNAM.

MECANICA DE SUELOS TOMOS I, II.  
Juarez Badillo, Rico Rodriguez.  
Ed Limusa.