

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO GEOMETRICO DE AEROPUERTOS

TESIS

Presentada a la Junta Directiva

de la

Facultad de Ingeniería

POR

JUAN CARLOS ROMERO MERIDA

Al conferírsele el Título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, febrero de 1,995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

Dr  
(3537)  
Co #

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

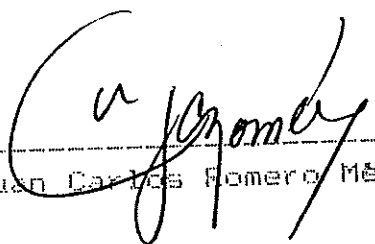
FACULTAD DE INGENIERIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR.

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DISEÑO GEOMETRICO DE AEROPUERTOS

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 11 de noviembre de 1,991.

  
-----  
Juan Carlos Romero Mérida

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO:	Br. Freddy Estuardo Rodríguez Quezada
VOCAL QUINTO:	Br. Mario Nephtalí Morales
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR:	Ing. Marta Lidia Samayoa
EXAMINADOR:	Ing. Oscar Rolando Majus
EXAMINADOR:	Ing. Mario Roberto Avila
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,  
08 de noviembre de 1,994.

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Ciudad.

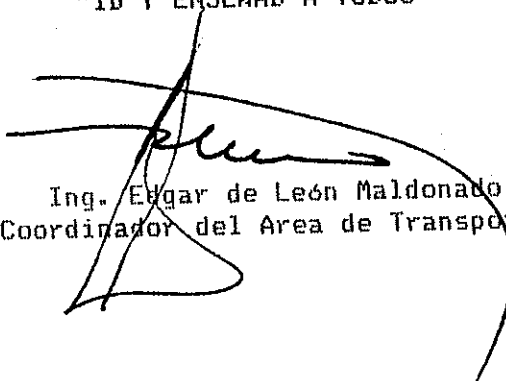
Señor Director:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de tesis  
titulado **Diseño Geométrico de Aeropuertos**, realizado por el  
estudiante universitario Juan Carlos Romero Mérida, quien contó  
con la asesoría del Ingeniero Arnoldo Fernando Pernillo Samayoa.

El trabajo en cuestión, cumple con los requerimientos necesarios,  
por lo que me permito recomendar su aprobación para los efectos  
subsiguientes.

Sin otro particular lo saluda, atentamente.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"



Ing. Edgar de León Maldonado  
Coordinador del Área de Transportes

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

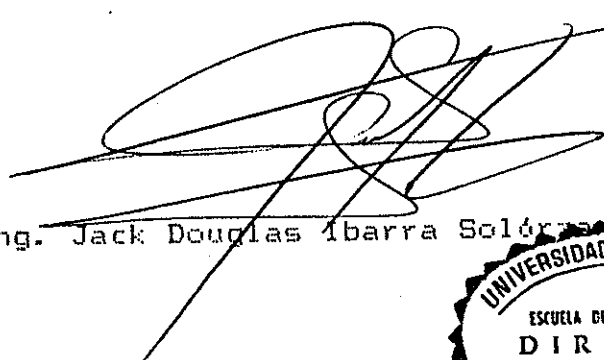


**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Arnoldo F. Pernillo Samayoa y del Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar de León Maldonado, sobre el trabajo de tesis del estudiante Juan Carlos Romero Mérida, titulado DISEÑO GEOMETRICO DE AEROPUERTOS, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, febrero de 1, 995

JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

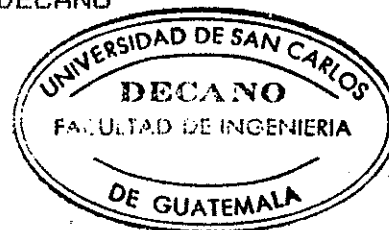
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis DISEÑO GEOMETRICO DE AEROPUERTOS, del estudiante Juan Carlos Romero Mérida, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck  
DECANO



Guatemala, febrero de 1, 995

/bbdeb.

## INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1. PISTAS.....	7
1.1 Factores relacionados con el emplazamiento, orientación y número de pistas.....	7
1.1.1 Condiciones Meteorológicas.....	7
1.1.1.1 Viento.....	7
1.1.1.2 Condiciones de visibilidad.....	8
1.1.1.3 Registros Meteorológicos.....	8
1.1.2 Topografía del emplazamiento del aeródromo y del terreno circundante.....	9
1.1.3 Tránsito aéreo en las inmediaciones del aeródromo.....	9
1.1.4 Factores relacionados con el medio ambiente.....	10
1.2 Pistas paralelas.....	10
1.3 Emplazamiento del umbral.....	11
1.4 Criterios relativos a la longitud de la pista.....	12
1.4.1 Factores que inciden en la longitud de las pistas...12	
1.4.2 Longitud efectiva de las pistas.....	13
1.5 Métodos para determinar la longitud de pista.....	13
1.5.1 Método del factor de corrección medio y ejemplos de aplicación.....	13
1.5.2 Método gráfico de performance.....	16
1.5.2.1 Parámetros considerados en los gráficos de performance.....	17

## CAPITULO 1

### PISTAS

#### 1.1 Factores relacionados con el emplazamiento, orientación y número de pistas

Los factores que intervienen en la determinación del emplazamiento, orientación y número de pistas de un aeropuerto son los siguientes:

- a) Las condiciones meteorológicas;
- b) La topografía del emplazamiento del aeródromo y del terreno circundante;
- c) El tipo y volumen de tránsito aéreo al que se habrá de prestar el servicio;
- d) Aspectos relacionados con el performance de los aviones a servir;
- e) Aspectos relacionados con el medio ambiente, principalmente el ruido.

Hasta donde lo permitan los anteriores factores, las pistas de un aeropuerto deben estar orientadas en dirección del viento predominante. Todas las pistas deberán orientarse de modo que las zonas de aproximación y despegue se encuentren libres de obstáculos y preferentemente, de manera que las aeronaves no vuelen directamente sobre zonas pobladas.

Quando se elija el emplazamiento de una nueva pista, deberá prestarse especial atención a las áreas sobre las cuales deben volar los aviones, a fin de asegurarse de que la presencia de los obstáculos situados en estas áreas, no restrinja la operación de los aviones a cuyo uso se destine la pista.

#### 1.1.1 Condiciones Meteorológicas.

- 1.1.1.1 Viento: El número y orientación de las pistas de un aeropuerto deberán ser tales que su coeficiente de utilización no sea inferior al 95%, por concepto de



1.5.2.1.1	Tipos de avión.....	17
1.5.2.1.2	Configuración del avión.....	17
1.5.2.1.3	Atmósfera.....	18
1.5.2.1.4	Viento.....	19
1.5.2.1.5	Peso del avión.....	19
1.5.2.2	Componentes de los gráficos de performance de los aviones.....	21
1.5.2.2.1	Curvas de performance de aterrizaje.....	21
1.5.2.2.2	Curvas de performance de despegue.....	22
1.5.2.3	Uso de los gráficos de performance de los aviones y ejemplo de aplicación.....	22
1.6	Características físicas de las pistas.....	27
1.6.1	Ancho de pista.....	27
1.6.2	Pendientes longitudinales.....	27
1.6.3	Cambios de pendiente.....	27
1.6.4	Distancia visible.....	28
1.6.5	Distancia entre cambios de pendiente y ejemplo de aplicación.....	28
1.6.6	Pendientes transversales.....	30
	CAPITULO 2. CALLES DE RODAJE.....	31
2.1	Calles de entrada y salida.....	32
2.2	Calles de rodaje paralelas.....	32
2.3	Criterios para calcular las características físicas de las calles de rodaje.....	32
2.3.1	Curvas de las calles de rodaje.....	34
2.3.2	Distancia de separación de las calles de rodaje.....	35
2.3.3	Uniones e intersecciones.....	35

2.3.4	Método para el cálculo de las superficies de enlace.....	35
2.3.5	Procedimiento para el cálculo de las superficies de enlace empleando gráficos. Ejemplo .....	38
2.4	Calles de salida rápida.....	46
2.4.1	Número y emplazamiento de las calles de salida rápida.....	46
2.4.2	Trazado de las calles de salida rápida.....	48
	CAPITULO 3. PLATAFORMAS.....	50
3.1	Puestos de aeronave de maniobra autónoma.....	50
3.2	Expresiones relativas a las aeronaves.....	50
3.3	Líneas de guía para la rueda de proa.....	53
3.4	Formas de estacionamiento en las plataformas.....	53
3.4.1	Estacionamiento en paralelo.....	53
3.4.2	Estacionamiento con la proa hacia dentro, perpendicular a la fachada del edificio o formando un cierto ángulo con ella.....	53
3.4.3	Estacionamiento con la proa hacia fuera, perpendicular a la fachada del edificio o formando un cierto ángulo con ella.....	55
3.4.4	Configuración en rombo o en pentágono.....	57
3.5	Márgenes de separación entre aeronaves que maniobran por sus propios medios.....	57
3.6	Dimensiones y separación de los puestos de estacionamiento y ejemplo de aplicación.....	58
	CAPITULO 4. APARTADEROS DE ESPERA.....	63
4.1	Dimensiones y emplazamiento de los apartaderos de espera.....	63
4.1.1	Dimensiones.....	63
4.1.2	Emplazamiento.....	64

4.2 Trazado de los apartaderos de espera, calles de rodaje dobles y entradas dobles a la pista.....64

CONCLUSIONES.....70

RECOMENDACIONES.....71

BIBLIOGRAFIA.....72

ANEXOS.....73

## INTRODUCCION

Debido a los costos tan elevados que implica la construcción de un aeropuerto, el profesional de Ingeniería Civil que enfrente el reto que impone el desarrollo de Proyectos de esa magnitud, deberá lograr, al final de los estudios correspondientes, un proyecto bien diseñado y que cumpla con los requisitos de comodidad y seguridad que los usuarios de estos servicios demandan. Tomando en cuenta lo anterior, resulta evidente que el Ingeniero Civil debe poseer conocimientos básicos relacionados con la Ingeniería de Aeropuertos. En tal sentido, el presente trabajo de tesis titulado DISEÑO GEOMETRICO DE AEROPUERTOS, basado en las normas y recomendaciones publicadas por Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la cual Guatemala es signataria, tiene por finalidad servir al profesional como material de apoyo para el desarrollo de proyectos aeroportuarios, en la fase del Diseño Geométrico.

La estructura del trabajo se presenta iniciándolo con el Glosario, en el que se incluye terminología de uso común en aviación, y del cual se recomienda su lectura para una mejor comprensión de los temas aquí tratados.

En el Capítulo 1, titulado Pistas, se tratan diversos aspectos relacionados con el emplazamiento, orientación y número de pistas, así como la forma de determinar sus longitudes y principales características físicas. Posteriormente, en el Capítulo 2, se describen los criterios para el dimensionamiento y emplazamiento de las calles de rodaje, sus superficies de enlace, y las calles de salida rápida. A continuación en el Capítulo 3, titulado Plataformas, se describen las formas de estacionamiento y separación entre aeronaves, incluyendo para esto último un método gráfico con ejemplos de aplicación. En el Capítulo 4, describe la utilidad, geometría, dimensiones y ubicación de los apartaderos de espera, elementos que contribuyen enormemente a la fluidez del tránsito en tierra de las aeronaves.

Finalmente para completar el tema, se presentan las conclusiones y recomendaciones del caso, las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo del tema, y los anexos que incluyen los gráficos a utilizar en diversos cálculos, para aeronaves características de la planificación de aeropuertos.

## GLOSARIO

1. AERODROMO. Area definida de tierra (que incluye todas sus instalaciones y equipos), destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves. Sinónimo de Aeropuerto.
2. AERODROMO DE ALTERNATIVA. Aeródromo que, por su localización respecto a rutas aéreas de navegación, es considerado como utilizable en casos de emergencia.
3. ANGULO DE GUIA. Angulo formado por la tangente a la línea de guía y el eje longitudinal de la aeronave (ver figura A).
4. ANCHO DE VIA. Distancia entre las ruedas exteriores del tren de aterrizaje, (ver figura A).
5. APARTADERO DE ESPERA. Punto definido de un aeropuerto, en el que las aeronaves en rodaje se estacionan en forma provisional, sin que esto implique interrumpir el paso de las que la siguen.
6. CALLE DE RODAJE. Vía definida en un aeródromo, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre pistas y plataformas.
7. CALLE DE SALIDA RAPIDA. Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y que está proyectada de modo que permite, a los aviones que aterrizan, virar a velocidades mayores que las logradas en otras calles de rodaje, permitiendo así que la pista esté ocupada en el mínimo de tiempo posible.
8. CENTRO DE VIRAJE DE LA AERONAVE. Punto alrededor del cual giran las aeronaves durante los virajes (Figura a).
9. COEFICIENTE DE UTILIZACION. Porcentaje de tiempo durante el cual el uso de una pista o sistema de pistas no está limitado por la componente transversal del viento.
10. CONFIGURACION DEL AVION. Expresión que se refiere a la posición de los diversos elementos que afectan las características aerodinámicas de una aeronave. Entre estos los flaps, los frenos aerodinámicos, aletas de ranura, etc.
11. ELEVACION DEL AERODROMO. La elevación del punto más alto del área de aterrizaje.

12. **EMPLAZAMIENTO.** En aviación se refiere al área de terreno seleccionada, que reúne las características necesarias, para la instalación de un aeropuerto nuevo.
13. **F.A.A.** Siglas en Inglés de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos de América, entidad que regula la Aviación Civil de ese país.
14. **FLAPS.** Dispositivos aerodinámicos en forma de aletas colocados en las alas de las aeronaves (ver figura A), y cuyas funciones principales tienen que ver con el frenado durante el aterrizaje; y la sustentación en vuelo.
16. **INSIVUMEH.** Siglas de el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.
17. **LETRA DE CLAVE DE REFERENCIA.** DACI para describir las características de las pistas y de ciertas instalaciones conexas de los aeródromos utiliza una clave de referencia que responde a longitud básica de las pistas. En lo sucesivo, cuando se utilicen letras de clave, éstas tendrán los significados que se les asigna en la siguiente tabla:

Letra de Clave	Longitud básica de pista
A	Desde 2,100 mts. en adelante
B	Desde 1,500 mts. hasta 2,100 mts. (exclusive)
C	Desde 900 mts. hasta 1,500 mts. (exclusive)
D	Desde 750 mts. hasta 900 mts. (exclusive)
E	Desde 600 mts. hasta 750 mts. (exclusive)

18. **LONGITUD BASICA DE PISTA.** Con fines de planificación de aeródromos, longitud necesaria para el despegue o el aterrizaje, en condiciones correspondientes a la atmósfera tipo, a elevación cero, con viento y pendiente de pista nulos.
19. **LONGITUD DE REFERENCIA.** Distancia entre el punto de referencia de una aeronave y el eje teórico que pasa por su tren de aterrizaje (ver figura A).

20. MARGEN DE SEGURIDAD. Distancia mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje de una aeronave y el borde del pavimento de la pista.
21. MUELLE DE ABORDAJE. Muelle tipo pasarela utilizado en aeropuertos para conectar las salas de espera con la puerta de abordaje de las aeronaves.
22. NUDO. Medida de velocidad equivalente aproximadamente a 1.8 Kilometros por hora (1.8 Kms/hora)
23. OACI. Siglas de la Organización de Aviación Civil Internacional.
24. OBSTACULO. Todo objeto fijo (tanto de carácter temporal como permanente) o móvil, o parte del mismo, que este situado en un área destinada al movimiento de las aeronaves en tierra o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger a las aeronaves en vuelo.
25. PERFORMANCE. Término comúnmente utilizado en aviación, que se refiere a las características del funcionamiento en tierra o en vuelo de aeronaves.
26. PISTA. Area rectangular definida en un aeródromo preparada para el aterrizaje y despegue de las aeronaves.
27. PLATAFORMA. Area definida en un aeródromo, destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, reaprovisionar de combustible, estacionamiento o mantenimiento.
28. PUNTO DE REFERENCIA DE LA AERONAVE. Punto sobre en el eje longitudinal de la aeronave, que sigue la línea de guía en tierra. El punto de referencia está situado verticalmente debajo del puesto de pilotaje de la aeronave.
29. RECTIFICACION FINAL. Es la distancia medida a partir del centro de viraje de la aeronave, sobre una línea paralela a su eje (ver Figura A), cuya distancia es necesaria para la alineación final de las llantas de la aeronave, en el momento de estacionarse en la plataforma. Esta distancia está definida en función del peso máximo de despegue de la aeronave, en la siguiente forma:
  - a) 3.00 metros, para aeronaves con peso máximo de 68,000 Kilogramos o más.
  - b) 1.50 metros, para pesos inferiores a 68,000 Kilogramos.

30. SUPERFICIE DE APROXIMACION. Superficies normadas por la OACI, ubicadas en ambos extremos de la pista, y cuyo fin es delimitar el espacio aéreo en el entorno de un aeródromo, para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de aterrizaje o despegue de aeronaves.
31. SUPERFICIE DE ENLACE. Superficie de pavimento adicional, necesario en las curvas de las calles de rodaje y en uniones o intersecciones de las mismas, para satisfacer la comodidad y seguridad de las aeronaves durante los virajes.
32. TEMPERATURA DE REFERENCIA DEL AERODROMO. De observaciones efectuadas durante varios años, es la media mensual de las temperaturas máximas diarias, correspondientes al mes más caluroso del año.
33. UMBRAL. Comienzo de la parte de una pista utilizable para el aterrizaje de aeronaves
34. VUELO VISUAL. Cuando se utilizan procedimientos visuales para las operaciones de navegación aérea, incluyendo el aterrizaje y despegue.
35. VUELO POR INSTRUMENTOS. Cuando debido a condiciones meteorológicas adversas, se requiere el uso de ayudas electrónicas especiales de navegación.
36. ZONA DE PARADA. Area rectangular definida en el terreno situada a continuación de la pista utilizable, preparada como zona adecuada para que puedan pararse las aeronaves en caso que se interrumpa el despegue durante su recorrido.
37. ZONA DE TOMA DE CONTACTO. Areas debidamente señalizadas dentro de la pista y que como ayuda visual para la navegación le indican al piloto el o los puntos adecuados para el contacto con la pista durante el aterrizaje.
38. ZONA LIBRE DE OBSTACULOS. Area rectangular definida en el terreno, bajo control de autoridad competente, designada y preparada como área adecuada sobre la cual una aeronave puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.



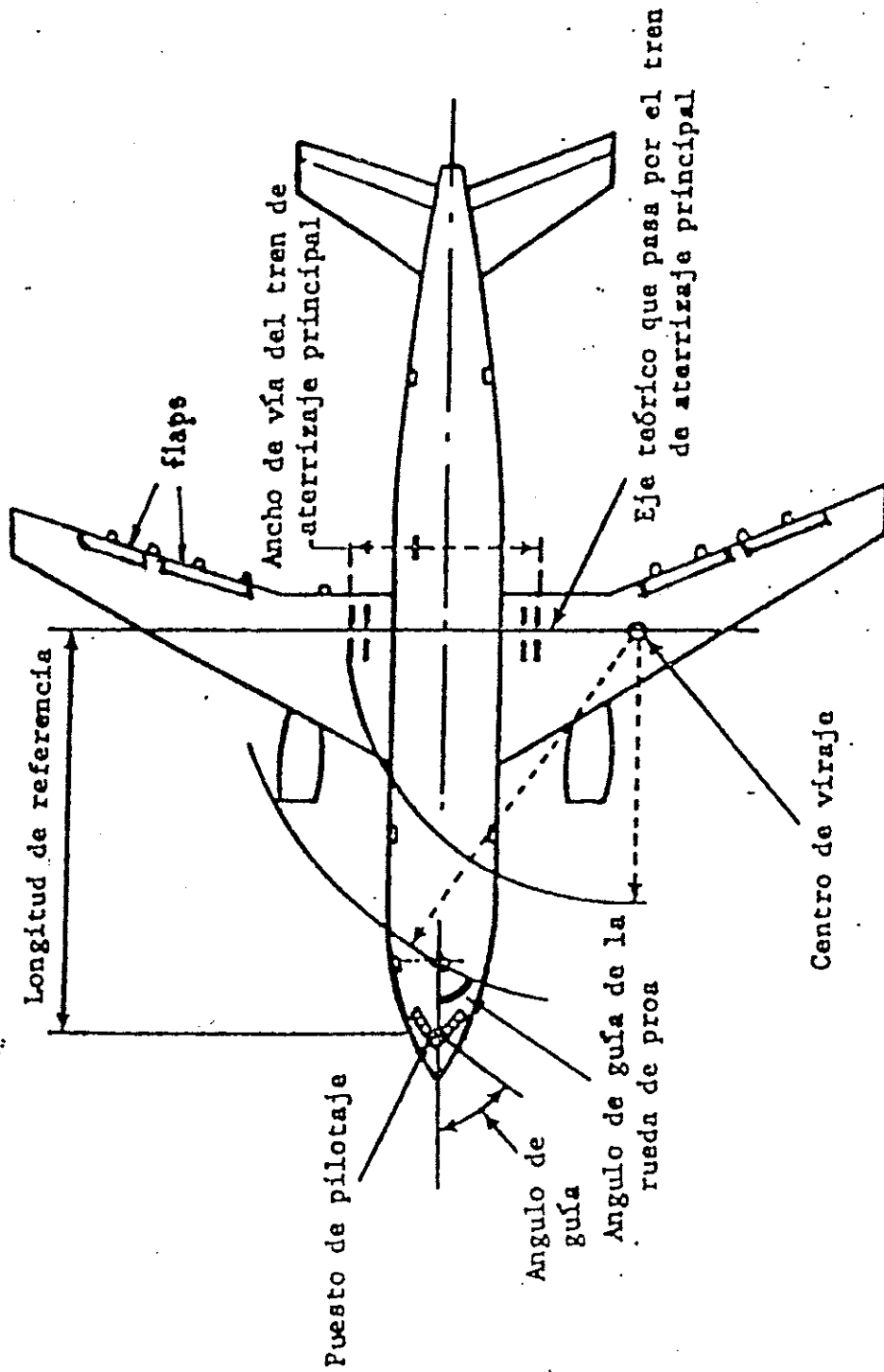


FIGURA A.

viento. Deberá darse por supuesto que, en casos normales, el aterrizaje o el despegue de una aeronave se ve impedido cuando la componente transversal del viento excede de:

- a) 20 nudos, cuando se trata de aeronaves que exigen una longitud de pista cuya letra de clave sea A ó B (para letras de clave de pista se debe consultar el glosario), excepto cuando se tengan condiciones de frenado deficiente en la pista, debido a que el coeficiente de fricción longitudinal es insuficiente, en cuyos casos se supondrá una componente transversal del viento que no exceda de 13 nudos;
- b) 13 nudos, en el caso de aviones que exijan una longitud de pista cuya letra de clave sea C;
- c) 10 nudos, en el caso de aviones que exijan una longitud de pista cuya letra de clave sea D ó E.

#### 1.1.1.2 Condiciones de Visibilidad

A menudo, las características del viento en condiciones de escasa visibilidad difieren bastante de las que se dan en condiciones de buena visibilidad. Por tal razón deberán realizarse estudios sobre las condiciones del viento con escasa visibilidad y/o baja base de nubes en el emplazamiento. Deberá llevarse cuenta de la frecuencia con que se manifiestan dichos fenómenos así como la velocidad y dirección del viento que los acompaña.

#### 1.1.1.3 Registros Meteorológicos

Los registros meteorológicos pueden obtenerse normalmente de las oficinas meteorológicas estatales (en Guatemala se puede consultar al INSIVUMEH). Dichos registros contienen el porcentaje del tiempo en que se producen determinadas combinaciones de techo de nubes y visibilidad (por ejemplo, techo: de 500 a 274 metros; visibilidad: de 4.8 a 9.7 kms.) y el porcentaje de tiempo que predominan vientos de determinada velocidad, procedentes de distintas direcciones (por ejemplo, NNE: de 2.6 a 4.6 nudos). A menudo, no se han registrado los datos relativos al viento en un nuevo emplazamiento, en este caso deberán consultarse los registros de las estaciones meteorológicas cercanas, tomando en cuenta lo siguiente:

- a) Si el terreno circundante es plano, los registros de dichas estaciones serán indicadores de las características de los vientos predominantes en el emplazamiento.
- b) Si el terreno es accidentado, la configuración de los vientos viene dada por la topografía y es peligroso utilizar los registros de estaciones meteorológicas cercanas. En este caso, puede ser útil estudiar la topografía de la región y consultar a los habitantes, pero, de todos modos, será preciso iniciar un estudio de los vientos en el emplazamiento. Tal estudio requerirá de la instalación de anemómetros y anemógrafos para llevar registros del viento.

#### 1.1.2 Topografía del emplazamiento del aeródromo y del terreno circundante

Deberá tenerse en cuenta las condiciones topográficas del aeródromo y de sus inmediaciones, en especial los factores siguientes:

- a) El cumplimiento de las disposiciones relativas a las superficies limitadoras de obstáculos, dictadas por la OACI;
- b) La utilización de los terrenos en la actualidad y en el futuro. Su orientación y trazado deberán elegirse de manera que, en la medida de lo posible se hallen protegidas contra las molestias causadas por el ruido de las aeronaves en las zonas especialmente sensibles, tales como distritos residenciales, escuelas y hospitales;
- c) Longitudes de pista en la actualidad y en el futuro;
- d) Costos de construcción (evitar grandes movimientos de tierra);
- e) Posibilidad de instalar ayudas de navegación adecuadas (visuales y no visuales).

#### 1.1.3 Tránsito aéreo en las inmediaciones del aeródromo

Al estudiar el emplazamiento de las pistas deberán tenerse en cuenta los factores siguientes:

- a) La proximidad de otros aeródromos o rutas de navegación aéreas;

- b) La densidad del tránsito aéreo;
- c) Los procedimientos de control del tránsito aéreo.

#### 1.1.4 Factores relacionados con el medio ambiente

Deberá prestarse especial atención al efecto de una determinada orientación de pista en la fauna, la ecología general de la zona y los sectores de las poblaciones sensibles a los efectos del ruido.

El terreno más expuesto al ruido se encuentra directamente debajo y a ambos lados de las trayectorias de aproximación y despegue. Un adecuado análisis del emplazamiento y utilización del terreno circundante puede contribuir enormemente a reducir, y posiblemente eliminar, el problema del ruido.

#### 1.2 Pistas Paralelas

El número de pistas que habrá de proveerse en un aeropuerto dependerá del número de movimientos de aeronaves previsto.

Cuando se disponga de pistas paralelas para uso simultáneo, sólo en condiciones meteorológicas de vuelo visual, la distancia mínima entre sus ejes deberá ser:

- a) 210 metros, cuando la letra de clave de la pista más larga sea A ó B;
- b) 150 metros, cuando la letra de clave de la pista más larga sea C;
- c) 120 metros, cuando la letra de clave de la pista más larga sea D ó E.

Se requerirá de una separación mucho mayor cuando se disponga de pistas paralelas para uso simultáneo en condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos.

Tras numerosas pruebas, la OACI ha adoptado los siguientes criterios de separación para pistas paralelas, donde se desarrollan simultáneamente operaciones de navegación por instrumentos, siendo dichos criterios los que a continuación se detallan:

1. En el caso de aproximaciones simultáneas, la separación mínima entre ejes de las pistas será de 1300 metros. Para las operaciones realizadas en esas condiciones, se requieren, ayudas electrónicas para la navegación, el control del tránsito aéreo y procedimientos de aproximación especiales.
2. Salidas simultáneas-llegada/salida. Podrán autorizarse salidas simultáneas en emplazamientos donde el control radar del tránsito aéreo esté o no en servicio, y podrá utilizarse la llegada/salida simultánea cuando se utilice el radar. En uno y otro caso, debe respetarse la distancia de separación mínima de 1050 metros entre los ejes de las pistas.

### 1.3 Emplazamiento del Umbral

El umbral está situado normalmente en el extremo de la pista, si no hay obstáculos que sobresalgan por encima de la superficie de aproximación. Sin embargo, si un objeto sobresale por encima de la superficie de aproximación y no puede eliminarse, deberá de considerarse la conveniencia de desplazar el umbral permanentemente, a fin de que la superficie de aproximación quede libre de obstáculos (figura 1.1).

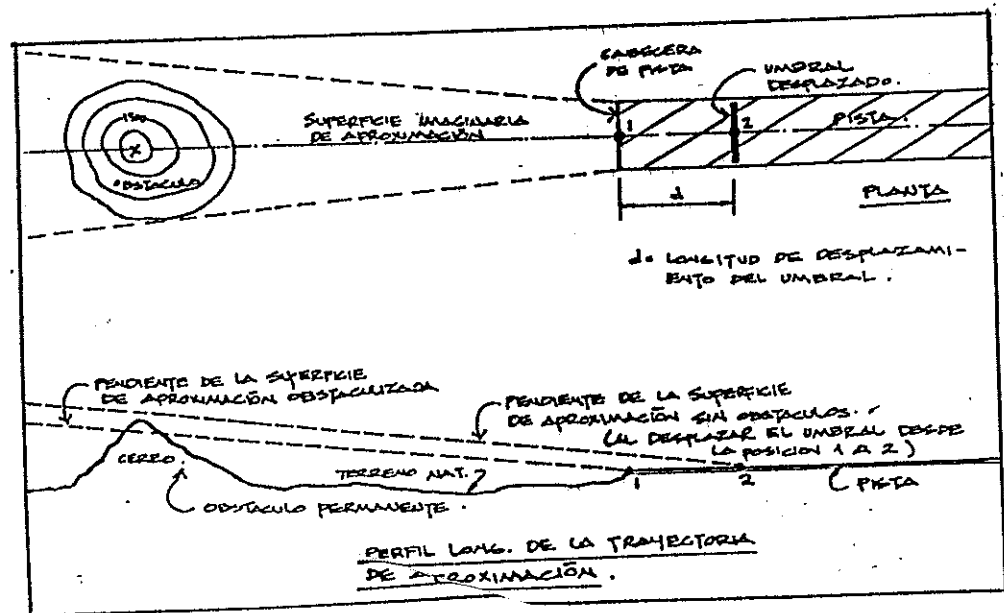


FIGURA 1.1. Ejemplo de desplazamiento del umbral.

#### 1.4.2

#### Longitud efectiva de las pistas

Salvo cuando una pista vaya asociada con una zona de parada y/o con una zona libre de obstáculos, la longitud efectiva de las pistas no será inferior a la longitud resultante:

- a) Cuando se conocen los datos sobre las características de operación y performance de los aviones a los que se destina la pista, aplicando las correcciones para las condiciones locales y eligiendo la longitud mayor así obtenida;
- b) Cuando no se conocen los datos sobre las características de operación y performance de los aviones a los que se destina la pista, aplicando a la longitud básica de la pista factores de corrección por elevación, temperatura y pendiente. La tabla 1.1 presenta las longitudes básicas de pistas para distintas aeronaves

#### 1.5 Métodos para determinar la longitud de las pistas

##### 1.5.1 Método del factor de corrección medio

Este método es muy sencillo y únicamente se usará cuando no se disponga del manual de planificación aeroportuaria, publicado por el fabricante de la aeronave, el cual contiene sus características operacionales y de performance. En este caso deberá darse a la pista una longitud básica que le permita atender los requisitos operacionales de los aviones para los que esté prevista la pista.

La longitud básica de pista deberá aumentarse acumuladamente en la siguiente forma:

- 1º) 7% por cada 300 metros de elevación del aeródromo.
- 2º) 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la temperatura de la atmósfera tipo, correspondiente a la elevación del aeródromo.
- 3º) Cuando la letra de clave de la pista sea A, B ó C y la longitud básica esté determinada por los requisitos de despegue, dicha longitud deberá aumentarse a razón de 10% por cada 1% de pendiente de pista, determinada al dividir, la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista por la longitud de ésta.

## EJEMPLOS DE APLICACION DEL METODO

Los siguientes ejemplos ilustran la aplicación del método del factor de corrección medio, para la determinación de la longitud de pista de un aeropuerto, en el cual se supone que los datos del proyecto que se presentan, han sido obtenidos de los correspondientes estudios de planificación, previos a la fase del diseño geométrico.

### Ejemplo No. 1

a. ) Datos del proyecto:

- a.1) longitud básica de pista necesaria para el aterrizaje de la aeronave crítica 2,100 m.
- a.2) Longitud básica de pista necesaria para el despegue de la aeronave crítica 1,700 m.
- a.3) Elevación del aeródromo 150 m.
- a.4) Temperatura de referencia del aeródromo 24 °C.
- a.5) Temperatura a 150 m. de altura 14.025 °C.
- a.6) Pendiente de la pista (contra el viento) 0.5%.

b. ) Correcciones de la longitud de pista para el despegue:

- b.1) Longitud de pista requerida para el despegue corregida por elevación

$$[1700 * 0.07 * \frac{150}{300} + 1700 = 1,760 \text{ m.}]$$

- b.2) Longitud de pista requerida para el despegue corregida por elevación y temperatura

$$1760 * (24 - 14.025) * 0.01 + 1760 = 1,936 \text{ m.}]$$

- b.3) Longitud de pista requerida para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente

$$1936 * 0.5 * 0.1 + 1936 = 2,033 \text{ m.}]$$

c. ) Corrección de la longitud de pista para el aterrizaje:

$$[2100 * 0.07 * \frac{150}{300}] + 2100 = 2,174 \text{ m.}$$

NOTA: De acuerdo a lo descrito en el último párrafo de la sección 1.4.1, el efecto que produce la temperatura en la determinación de la longitud de pista, resulta ser de mayor importancia para la operaciones de despegue que las de aterrizaje. De igual manera, cuando se aterriza en contra de la pendiente longitudinal de la pista se favorece el frenado. por lo anterior, en el presente ejemplo, para aterrizaje únicamente se consideró corrección de longitud de pista por elevación del aeródromo.

d. ) Longitud de pista requerida: 2,174 m.

#### Ejemplo No. 2

a. ) Datos del proyecto:

- |   |            |
|---|------------|
| a.1) Longitud básica de pista necesaria para el despegue de la aeronave crítica   | 2,500 m.   |
| a.2) Longitud básica de pista necesaria para el aterrizaje de la aeronave crítica | 2,100 m.   |
| a.3) Elevación del aeródromo  | 150 m.     |
| a.4) Temperatura de referencia del aeródromo                                      | 24 °C.     |
| a.5) Temperatura a 150 m. de altura   | 14.025 °C. |
| a.6) Pendiente de la pista (contra el viento)                                     | 0.5%.      |

b. ) Corrección de la longitud de pista para el despegue:

- b.1) Longitud de pista para el despegue corregida por elevación



$$\frac{150}{300} [2500 * 0.07 * \text{-----}] + 2500 = 2,588 \text{ m.}$$

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

$$2588 * (24 - 14.025) * 0.01 + 2588 = 2,846 \text{ m.}$$

b.3) Longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente

$$2846 * 0.5 * 0.10 + 2846 = 2,988 \text{ m.}$$

c. ) Corrección de la longitud de pista para aterrizaje:

$$\frac{150}{300} [2100 * 0.07 * \text{-----}] + 2100 = 2,174 \text{ m.}$$

d. ) Longitud de pista requerida: 2,988 m.

#### 1.5.2 Método gráfico de Performance

Un gráfico de aterrizaje es un diagrama correspondiente a un avión determinado, basado en sus capacidades de performance, en el que se establece la relación entre los pesos de aterrizaje del avión, las elevaciones de los aeródromos y las longitudes de pista requerida para el aterrizaje. Un gráfico de despegue es un diagrama correspondiente a un avión determinado basado en sus capacidades de performance, en el que se establece la relación entre los pesos de despegue de los aviones, las elevaciones de los aeródromos, las temperaturas y las longitudes de pista requeridas para el despegue.

Los gráficos representativos que aparecen en el Anexo han sido obtenidos de los manuales para planificación aeróportuaria publicados por el fabricante del avión y aprobados por la FAA. La relación entre la elevación, temperatura, peso de la aeronave y longitudes de pista, que se presentan en los gráficos, se basan en datos sobre ensayos en vuelo y operacionales.

### 1.5.2.1 Parámetros considerados en los gráficos de performance

Los factores que inciden en la longitud requerida de pista comprenden: la configuración y el peso del avión, la atmósfera (presión, temperatura y humedad relativa ambiente), la pendiente y el estado superficial de la pista (coeficiente de fricción). En la elaboración de los gráficos de performance de despegue y aterrizaje, lo corriente es relacionar tales factores con una humedad fija y suponer pistas sin pendientes.

#### 1.5.2.1.1 Tipos de avión

Las diferencias entre los actuales tipos de aviones exigen que se estudie por separado la longitud de pista que necesita cada aeronave, en cada aeródromo. Deben considerarse las longitudes de pista que se requieren, tanto para el despegue, como para el aterrizaje, con el objeto de determinar la mayor de las dos.

#### 1.5.2.1.2 Configuración del Avión

La configuración del avión se refiere a la posición de los diversos elementos que afectan sus características aerodinámicas. En la performance del avión inciden los siguientes elementos:

a) Posición de los flaps.

En la elaboración de los gráficos de performance se ha escogido la posición de los flaps empleada normalmente en la combinación del peso del avión, la temperatura y altitud del emplazamiento.

b) Frenos aerodinámicos y otros dispositivos para aumentar la resistencia al avance.

Para realizar los gráficos de distancia de aterrizaje se ha elegido la posición de los frenos aerodinámicos y de otros dispositivos destinados a aumentar la resistencia al avance, corrientemente utilizada para la combinación escogida del peso de la aeronave y altitud del aeródromo.

### 1.5.2.1.3 Atmósfera

La atmósfera, elemento muy importante en la determinación de longitud de pista requerida, es la combinación de presión, temperatura y densidad.

#### a) Altitud

Generalmente a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, la presión y la densidad del aire disminuyen. La consecuencia de estos factores en la performance de las aeronaves se traduce en la disminución de la sustentación correspondiente a una determinada velocidad, y en la reducción de potencia y la eficacia de la hélice o turbina, según el caso. El resultado de la combinación de reducciones es que se necesita más tiempo para alcanzar la velocidad de avance necesaria para producir la sustentación requerida, con lo que la longitud de pista necesaria para el despegue de la aeronave aumenta progresivamente a medida que se eleva la altitud del aeródromo en que opera. De igual manera, a altitudes superiores, las velocidades de aterrizaje son mayores, ya que el aire menos denso reduce la resistencia al avance con que cuenta la aeronave, para contribuir a la deceleración durante el recorrido de aterrizaje. En los gráficos del anexo 1, se da la longitud de pista requerida en función de la altitud de presión, pero las líneas de altitud de presión vienen designadas como elevación del aeródromo.

#### b) Temperatura

La performance de una aeronave depende de varios factores entre los que cabe destacar la temperatura. A una presión dada, el aumento de la temperatura resulta en una reducción de la densidad del aire, por lo que tiene un efecto adverso sobre las aeronaves, tanto las de motores alternativos como los de reacción. Este efecto es generalmente más intenso durante el despegue, especialmente en el caso de los aviones de reacción. La eficacia de un reactor depende en parte de la diferencia entre la temperatura del aire exterior y la máxima temperatura que puede 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 tanto, se reduce la performance de la aeronave.

El efecto de la temperatura es considerablemente mayor en la distancia de despegue (y en el recorrido de despegue) que en la de aterrizaje. Esto se debe a que durante el aterrizaje de las aeronaves, la potencia necesaria en los motores es considerablemente menor a la que se requiere en el despegue.

Dado que la influencia de la temperatura por sí sola en la distancia de aterrizaje es considerablemente menor que en el despegue, sólo se deberá tener en cuenta la influencia de la presión atmosférica ambiente en la distancia de aterrizaje.

#### 1.5.2.1.4 Viento

Se debe concebir el aeródromo de manera que permita las operaciones de aeronaves, la mayor parte del tiempo en condiciones normales de viento (viento de frente). Al viento de cola en una pista corresponde el viento de proa en otra inversamente orientada. La longitud de pista aumenta con el viento de cola y la condición de aire en calma resulta crítica, tanto para los aterrizajes como para los despegues. Ello requiere, no obstante, cambiar la dirección de utilización de la pista cada vez que el viento cambie de dirección, y no proporciona longitudes adecuadas cuando deban realizarse operaciones con viento de cola. El problema se complica más todavía por el hecho de que los vientos de hasta cinco nudos de fuerza se consideran como "calma". Por esta razón, los gráficos de performance de aterrizaje se basan, salvo que se diga lo contrario, en un viento de cola de cinco nudos, a fin de reconocer la flexibilidad que se requiere en las operaciones de aterrizaje de las aeronaves. Los gráficos de la performance de despegue están preparados sobre la base de viento nulo.

#### 1.5.2.1.5 Peso del Avión

Cuanto mayor sea el peso de la aeronave, mayor será la longitud de pista que necesitará, tanto para el aterrizaje como para el despegue. El peso del avión se compone de las siguientes cargas:

1. Peso del avión vacío;
2. Peso de la tripulación;

3. Peso del combustible y aceite no utilizables (reservas).
4. Carga de pago (pasajeros, equipaje, correo y flete).
5. Carga de combustible.

Teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y todo el retraso que se prevea en el vuelo, las aeronaves deben abastecerse del combustible y aceite necesarios para poder completar el vuelo sin peligro. Además, debería llevarse una reserva en previsión de contingencias y permitir que la aeronave pueda llegar a un aeródromo de alternativa.

A fin de determinar la cantidad necesaria de combustible, se obtiene a través de estadísticas la media representativa del régimen de consumo de combustible para cada tipo de avión, estableciendo al efecto el promedio de combustible consumido por unidad de distancia y por unidad de tiempo de vuelo. De acuerdo a lo anterior, los pesos de aterrizaje y despegue del avión así calculados no deberán exceder los límites siguientes:

- a) Peso de aterrizaje. Los aviones aterrizan con pesos que llegan hasta un máximo, el cual está incluido en una de las dos categorías siguientes:
  1. Limitación estructural. Los pesos máximos de aterrizaje basados en limitaciones estructurales de las aeronaves son constantes y no guardan relación con los parámetros operacionales, como son la temperatura y el viento.
  2. Performance de subida. Los pesos máximos de operación, basados en las limitaciones de subida varían con la altitud de presión y temperatura. El aumento de la altitud de presión, temperatura o ambas a la vez, hace disminuir el peso máximo permisible de aterrizaje.
- b) Peso de despegue. Los aviones despegan con pesos máximos, que pueden dividirse en las categorías siguientes:
  1. Limitaciones estructurales. Los pesos máximos de despegue basados en las limitaciones estructurales en la subida son constantes y no guardan relación con la altitud de presión, la temperatura, el viento ni la pendiente de la pista.

2. Performance de subida. Los pesos máximos de despegue basados en las limitaciones de subida varían con la altitud de presión y la temperatura del aeródromo. Los aumentos de la altitud de presión, temperatura o ambas a la vez, hace disminuir el peso de despegue permisible.
3. Peso máximo de aterrizaje. El peso de despegue menos el peso de combustible consumido, para volar hasta el aeródromo de aterrizaje previsto.
4. Franqueamiento de obstáculos. Los pesos máximos de despegue basados en la limitación relativa al franqueamiento de obstáculos, dependen del emplazamiento y altura de los obstáculos situados en la vecindad de los extremos de la pista. En la preparación de los gráficos, se ha supuesto que no existen obstáculos que puedan afectar adversamente a las operaciones de aeronaves.

#### 1.5.2.2 Componentes de los gráficos de performance de los aviones

##### 1.5.2.2.1 Curvas de performance de aterrizaje

En la figura 1.2, se muestra un gráfico de performance de aterrizaje, para un avión tipo, en el cual se pueden observar las siguientes características:

- a) El eje de abscisas (referencia A) representa la escala de pesos de aterrizaje.
- b) El eje de ordenadas (referencia B) representa la escala de longitudes de pista.
- c) Las líneas identificadas como "elevación del aeródromo" (referencia C) indican la relación entre la longitud de pista y el peso de aterrizaje para la configuración seleccionada del avión, con cinco nudos de viento de cola y una altitud de presión igual a la elevación del aeródromo representado.
- d) La línea vertical gruesa de trazos discontinuos, referencia D, representa el peso máximo de aterrizaje basado en las limitaciones estructurales de la aeronave.

#### 1.5.2.2.2 Curvas de performance de despegue

En la figura 1.3, se muestra un gráfico de performance de despegue para un avión tipo, en el cual se pueden observar las siguientes características:

- a) El eje de abscisas (referencia L) representa la escala de pesos de despegue.
- b) El eje de ordenadas (referencia G) representa la escala de longitudes de pista.
- c) Las líneas M de la figura 1.3 dan la relación entre la longitud de pista y el peso de despegue, para una temperatura del aeródromo y altitud de presión constantes, con la configuración del avión comúnmente utilizadas, viento nulo y pendiente de pista igual a cero.

#### 1.5.2.3 Uso de los gráficos de performance de los aviones.

Para determinar la longitud de pista requerida, es necesario averiguar las distancias que necesita el avión, tanto para el despegue como para el aterrizaje. Para ello se necesita la siguiente información básica:

- a) El tipo de avión crítico seleccionado a que está destinada la pista;
- b) La temperatura (°C) más alta del emplazamiento donde se construirá el aeródromo;
- c) La elevación del aeródromo sobre el nivel medio del mar;
- d) Los pesos de despegue y;
- e) El peso máximo de aterrizaje.

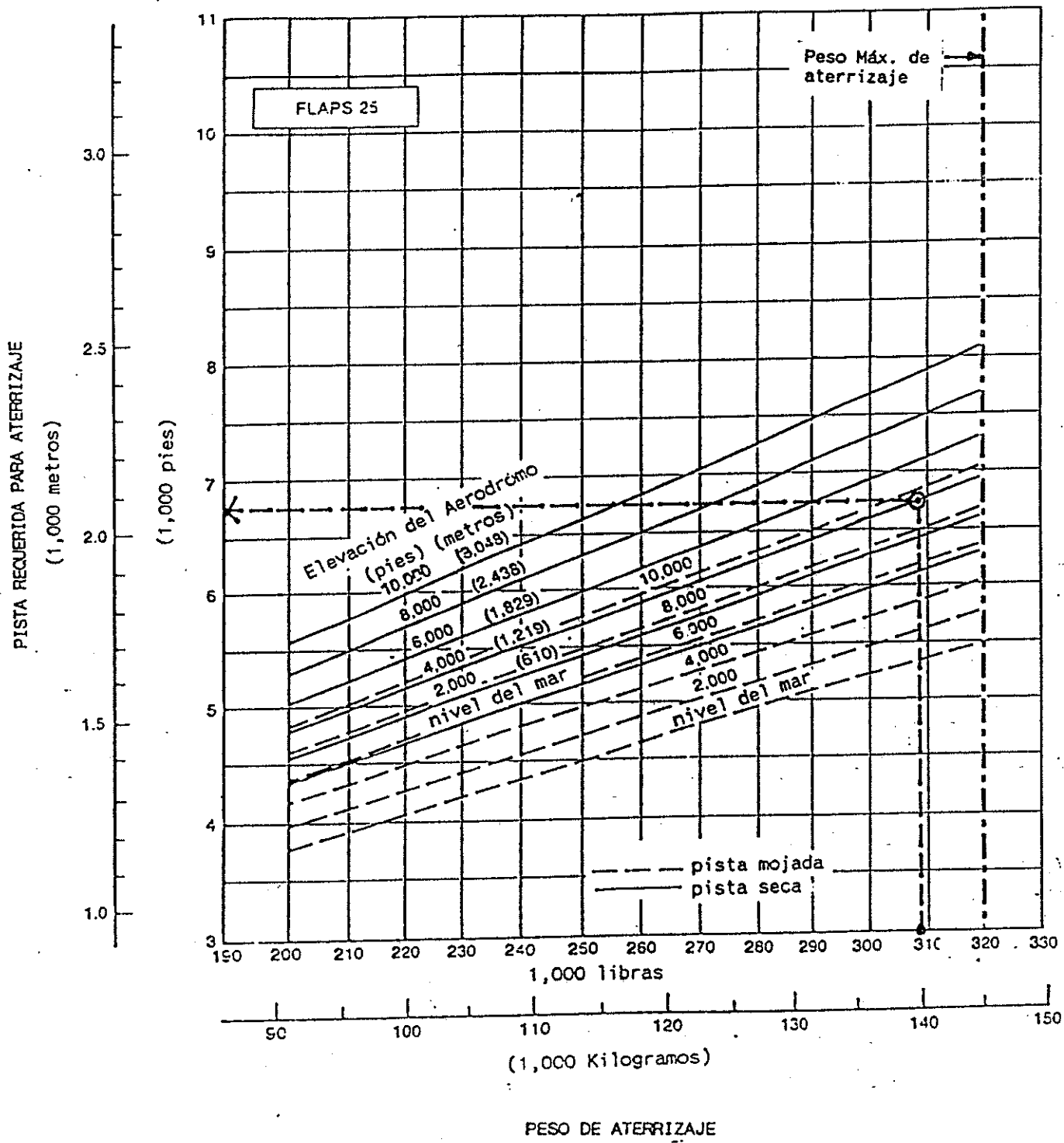


FIGURA 1.2. Gráfico del performance de aterrizaje para un avión tipo.



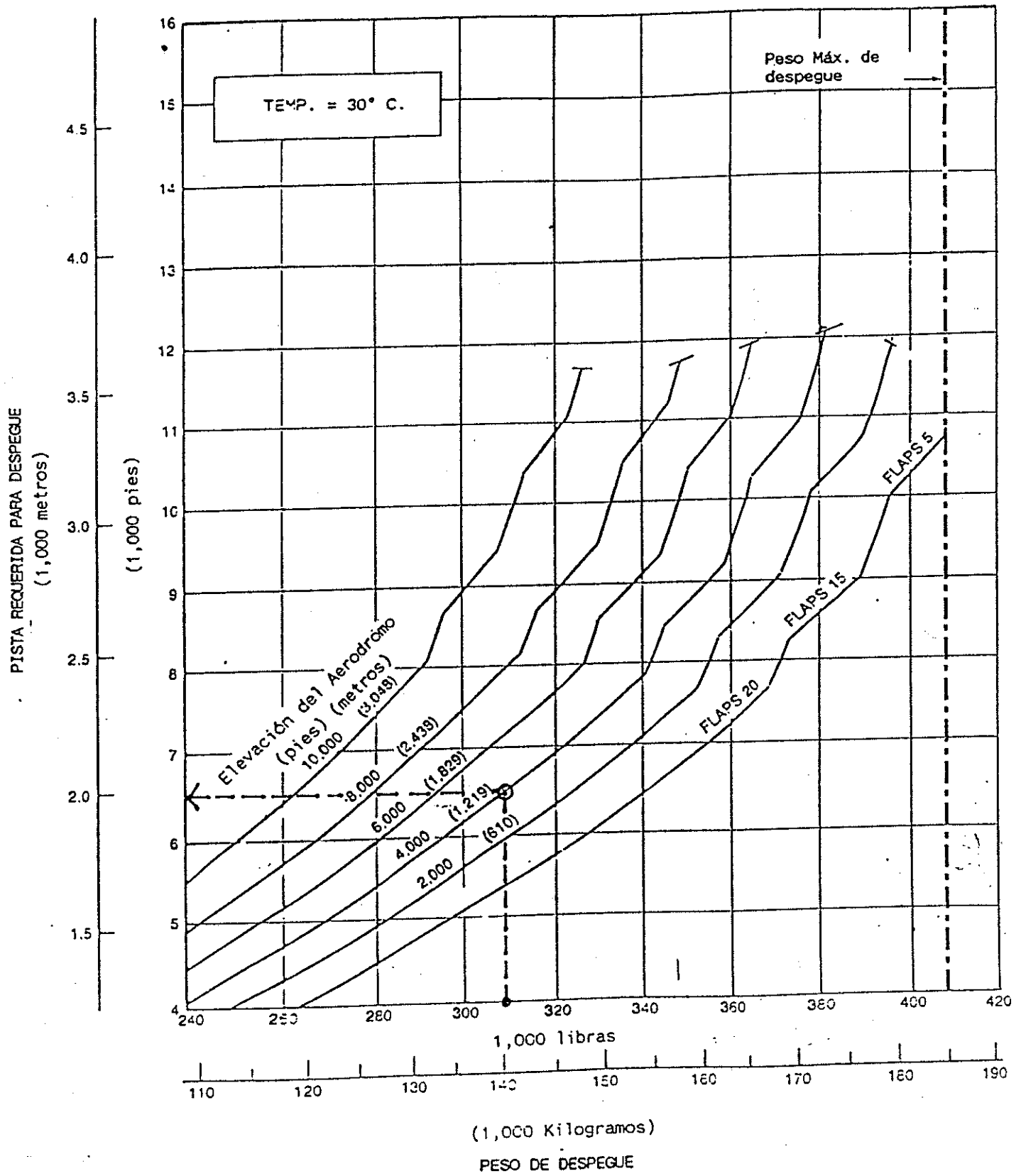


FIGURA 1.3. Gráfico de performance de despegue para un avión tipo.

## EJEMPLO DE APLICACION DEL METODO

El procedimiento indicado en este ejemplo, tiene la finalidad de explicar, en forma sencilla, la mecánica de utilización de los gráficos de performance para determinar, en la fase del diseño geométrico, la longitud necesaria de pista para las operaciones de aterrizaje y despegue de las aeronaves. Para el efecto, se supondrá que, previo a la fase del Diseño Geométrico se realizaron los correspondientes estudios de Planificación, de los cuales se desprende la información aquí indicada como "Datos del Proyecto".

### a. ) Datos del Proyecto:

- a.1) Aeronave Crítica a operar----->Aeronave tipo de las Figuras 1.2 y 1.3.
- a.2) Elevación del Aeródromo----->1,219 m.s.n.m
- a.3) Temperatura de referencia del aeródromo----->30°C
- a.4) Peso de operación de la aeronave:----->140,000 Kgs.

### b. ) Longitud de pista requerida para el aterrizaje:

- b.1) Anótese en el gráfico de performance de aterrizaje, en el eje de las abscisas, el peso de operación de la aeronave (140,000 Kgs).
- b.2) Proyéctese verticalmente este punto hasta encontrar la línea inclinada correspondiente a la elevación del aeródromo, interpolando cuando sea necesario.

b.3) Desplácese horizontalmente este punto de intersección hacia la izquierda, hasta cortar la escala de longitudes de pista, y léase la longitud de pista requerida para el aterrizaje: en este caso, 2,080 metros.

c. ) Longitud de pista requerida para el despegue:

c.1) En el gráfico de performance de despegue, para una temperatura de 30°C, en el eje de las abscisas, anótese el peso de operación de la aeronave (140,000 Kgs.).

c.2) Proyéctese verticalmente este punto, hasta encontrar la línea inclinada correspondiente a la elevación del aeródromo, interpolando cuando sea necesario.

c.3) Desplácese horizontalmente este punto de intersección hacia la izquierda, hasta cortar la escala de longitudes de pista, y léase la longitud de pista requerida para el despegue: en este caso, 2,000 metros.

d. ) Longitud de pista requerida:

De acuerdo a los resultados obtenidos en los literales b.3 y c.3, la longitud de pista requerida resulta ser mayor para el despegue que para el aterrizaje, por lo que en consecuencia resulta:

longitud de pista necesaria = 2,080 metros

## 1.6 Características físicas de las pistas

### 1.6.1 Ancho de pista

El ancho de una pista no deberá ser menor de:

- 45 m, cuando la letra de clave de la pista sea A ó B;
- 30 m, cuando la letra de clave de la pista sea C;
- 23 m, cuando la letra de clave de la pista sea D;
- 18 m, cuando la letra de clave de la pista sea E.

### 1.6.2 Pendientes Longitudinales

La pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista por la longitud de ésta, no deberá exceder del:

- 1%, cuando la letra de clave de la pista sea A, B ó C.
- 2%, cuando la letra de clave de la pista sea D ó E.

En ninguna parte de la pista la pendiente longitudinal deberá exceder del:

- 1.25%, cuando la letra de clave de la pista sea A ó B excepto en el primero y último cuartos de la longitud de la pista, en los cuales la pendiente no deberá exceder del 0.8%;
- 1.5%, cuando la letra de clave de la pista sea C;
- 2.0%, cuando la letra de clave de la pista sea D ó E.

### 1.6.3 Cambios de pendiente

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas, éste no deberá exceder del:

- 1.5%, cuando la letra de clave de la pista sea A, B ó C;
- 2.0%, cuando la letra de clave de la pista sea D ó E.

La transición de una pendiente a otra deberá efectuarse por medio de una superficie curva con un grado de variación que no exceda del:

- 0.1% por cada 30 metros (radio mínimo de curvatura de 30,000 m), cuando la letra de clave de la pista sea A ó B;
- 0.2% por cada 30 metros (radio mínimo de curvatura de 15,000 m), cuando la letra de clave de la pista sea C;
- 0.4% por cada 30 metros (radio mínimo de curvatura de 7,500 m), cuando la letra de clave de la pista sea D ó E;

#### 1.6.4 Distancia visible

Cuando no se pueda evitar un cambio de pendiente, deberá de existir una línea de visión despejada de modo que desde cualquier punto situado a:

- 3 metros por encima de la superficie de la pista sea visible cualquier otro punto situado también a 3 metros por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista cuando la letra de clave de la pista sea A, B ó C;
- 2 metros por encima de una pista sea visible otro punto situado también a 2 metros por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista, cuando la letra de clave de la pista sea D ó E.

#### 1.6.5 Distancia entre cambios de pendiente

A lo largo de una pista deberán evitarse ondulaciones o cambios de pendiente apreciables que estén muy próximos. La distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas no deberá ser menor que:

- a) La suma de los valores numéricos absolutos de los cambios de pendiente correspondientes, multiplicada por el valor que corresponda entre los siguientes:
  - 30,000 m, cuando la letra de clave de la pista sea A ó B;
  - 15,000 m, cuando la letra de clave de la pista sea C;

- 5,000 m, cuando la letra de clave de la pista sea D ó E; ó

b) 45 metros,  
tomándose la que sea mayor de las dos.

#### EJEMPLO DE APLICACION

El siguiente ejemplo ilustra la forma de determinar la distancia longitudinal mínima entre dos puntos de intersección de dos curvas sucesivas en el proyecto geométrico de una pista (ver figura 1.4):

D, para una pista de letra de clave C, deberá ser por lo menos igual a:

15,000 ( $|x-y| + |y-z|$ )m, siendo:

x el valor numérico de la pendiente de llegada al primer punto

y el valor numérico de la pendiente intermedia entre los puntos

z el valor numérico de la pendiente de salida del segundo punto

$|x-y|$  el valor numérico absoluto de  $x-y$

$|y-z|$  el valor numérico absoluto de  $y-z$

suponiendo:

$$x = +0.01$$

$$y = -0.005$$

$$z = +0.005$$

resulta que:

$$|x-y| = 0.015$$

$$|y-z| = 0.010$$

Para cumplir con la especificación, D no deberá ser inferior a:

15,000 (0.015 + 0.010) m. es decir: 375 metros.

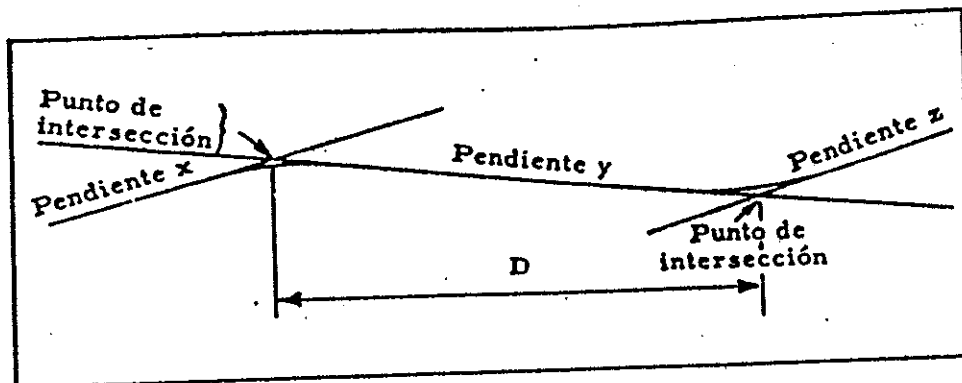


FIGURA 1.4. Distancia mínima entre cambios de pendiente

#### 1.6.6 Pendientes transversales

Para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible, deberá ser convexa, excepto en los casos en que una pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompaña la lluvia con mayor frecuencia, asegure el rápido drenaje de aquella. Las pendientes transversales deberán ser tan pronunciadas como sea compatible con las características del manejo de los aviones para las que esté prevista la pista, pero no deberá exceder del:

- 1.5%, cuando la letra de clave de la pista sea A, B ó C;
- 2.0%. cuando la letra de clave de la pista sea D ó E.

La pendiente transversal deberá ser básicamente la misma a lo largo de toda la pista.

## CAPITULO 2

### CALLE DE RODAJE

En vista de la necesidad de lograr la máxima utilización de los aeródromos con mucho tránsito y la máxima seguridad, eficacia y economía en el manejo y operación en tierra de las aeronaves, en el trazado y disposición de las calles de rodaje debe perseguirse la circulación ordenada de las aeronaves y la máxima velocidad posible de maniobra en la superficie.

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

Así pues, en el proyecto de los trazados de las calles de rodaje se aplican los siguientes principios generales:

- a) el camino recorrido por las aeronaves en las calles de rodaje deberá ser lo más directo y sencillo posible, para evitar la necesidad de dar instrucciones complicadas y ahorrar tiempo y dinero, reduciendo las distancias de rodaje;
- b) siempre que sea posible, deberán trazarse recorridos en línea recta y los cambios de dirección en las calles de rodaje deberán ser en el menor número posible. Cuando los cambios de dirección sean necesarios, se facilitarán curvas con radios adecuados y si es necesario superficies de enlace o anchura suplementaria en la calle de rodaje a fin de permitir el rodaje a la máxima velocidad uniforme que sea posible;
- c) deberán facilitarse suficientes calles de entrada y salida para cada pista a fin de acelerar el movimiento de las aeronaves entrando y saliendo de la misma;
- d) deberá estudiarse la posibilidad de facilitar calles de salida a gran velocidad cuando el volumen de tránsito aéreo sea alto.



## 2.1 Calles de entrada y salida

La capacidad de una pista depende en gran parte de la posibilidad de que el sistema de las calles de rodaje facilite el tránsito de las aeronaves hacia la pista y desde la misma. La función de las calles de salida es reducir a un mínimo el tiempo de ocupación de la pista por las aeronaves que aterrizan. Idealmente, las calles de salida deberán estar situadas a lo largo de la pista, a intervalos frecuentes para poder acomodarse a cada tipo de aeronave que se espera utilice la pista. En la práctica, el espaciado y número óptimos pueden relacionarse por grupos de aeronaves basándose en algunas características, tales como la velocidad de aterrizaje y la deceleración desde el punto de toma de contacto hasta el punto del recorrido de aterrizaje en que pueda efectuarse el viraje de salida.

Una calle de salida puede estar en ángulo recto con la pista, lo que hace que las aeronaves tengan que decelerar hasta velocidades muy bajas antes de que puedan efectuar el viraje de salida, o que puedan estar diseñadas con un ángulo agudo a fin de permitir velocidades más altas en el viraje de salida. Esta última disposición permite a las aeronaves dejar libre la pista más rápidamente, lo que hace, por lo tanto, que aumente la capacidad de la misma.

Cuando el extremo de una pista no está servido por una calle de rodaje, será necesario suministrar un pavimento suplementario al extremo de la pista para que las aeronaves puedan efectuar el viraje.

## 2.2 Calles de rodaje paralelas

Deberá facilitarse una calle de rodaje paralela a la pista con las conexiones adecuadas a la misma y a la plataforma. Podría examinarse la conveniencia de establecer calles de rodaje paralelas adicionales cuando el volumen de tránsito sea alto, a fin de acelerar todavía más el tránsito de las aeronaves en la superficie. En la tabla 2.1 se indican las distancias de separación mínimas para las calles de rodaje y las calles de rodaje paralelas.

## 2.3 Criterios para calcular las características físicas de las calles de rodaje

Los criterios para calcular las calles de rodaje son

Concepto	Letra de clave de la pista más larga servida				
	A	B	C	D	E
Distancia mínima de separación de la rueda principal exterior	4,5 m	4,5 m	3 m	2,25 m	1,5 m
Anchura	23 m	23 m	15 m	10 m	7,5 m
Distancia mínima de separación entre cualquier punto en el borde de una calle de rodaje y el borde de una pista de vuelo por instrumentos	150 m	150 m	150 m	-	-
Distancia mínima de separación entre cualquier punto en el borde de una calle de rodaje y el borde de una pista que no sea una pista de vuelo por instrumentos	75 m	73 m	73 m	36 m	29 m
Distancia mínima de separación entre cualquier punto en el borde de una calle de rodaje y el borde de otra calle de rodaje	62 m	52 m	43 m	27 m	23 m
Distancia mínima de separación entre cualquier punto en el borde de una calle de rodaje y un objeto fijo	38 m	30 m	26 m	18 m	16 m
Pendiente longitudinal máxima	1,5%	1,5%	3%	3%	3%
Variación máxima de la pendiente longitudinal	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 25 m	1% por 25 m
Alcance visual mínimo	Desde 300 m por encima de 3 m	Desde 300 m por encima de 3 m	Desde 300 m por encima de 3 m	Desde 250 m por encima de 2 m	Desde 250 m por encima de 2 m
Anchura total de la calle de rodaje y de los márgenes	44 m	44 m	30 m	-	-
Anchura de la franja de la calle de rodaje	44 m	44 m	30 m	25 m	22 m
Pendiente transversal máxima de la franja de la calle de rodaje:					
a) hacia arriba	2,5%	2,5%	2,5%	3%	3%
b) hacia abajo	5%	5%	5%	5%	5%

TABLA 2.1. Principales características físicas de las calles de rodaje.

menos estrictas que lo relativo a las pistas ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son mucho menores que en las pistas. La tabla 2.1 muestra los criterios principales sobre el diseño de las características físicas recomendadas por la OACI.

### 2.3.1 Curvas de las calles de rodaje

Si la existencia de curvas es inevitable, los radios de las mismas deberá ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de las aeronaves para las que dicha calle de rodaje esté prevista. La tabla 2.2 muestra los valores de los radios de curvatura apropiados para determinadas velocidades de aeronave. Cuando se hayan diseñado curvas muy pronunciadas y su radio no sea suficiente para impedir que las ruedas de la aeronave en rodaje se salgan del pavimento, será necesario el ensanchar la calle de rodaje a fin de conseguir la distancia de separación de rueda especificada en la tabla 2.1.

Velocidad		Radio de la curva	
km/h	mph	m	pies
16	10	15	50
32	20	60	200
48	30	135	450
64	40	240	800
80	50	375	1 250
96	60	540	1 800

TABLA 2.2. Radios de curvatura de las calles de rodaje, en función de la velocidad de maniobra.

### 2.3.2 Distancia de separación de las calles de rodaje

La tabla 2.1 contiene las distancias de separación entre un punto en el eje de una calle de rodaje y el eje de la pista, calle de rodaje o un objeto fijo. Las distancias mínimas de separación entre un punto en el borde de una calle de rodaje y otra calle de rodaje o un objeto fijo, para la letra de clave A, están basadas en proporcionar una distancia mínima de separación de 15 metros para una aeronave con 60 metros de envergadura de ala y una distancia de 13.5 metros entre las ruedas principal y exterior, cuando la aeronave está situada de tal forma que las ruedas principales exteriores están en el borde de la calle de rodaje.

### 2.3.3 Uniones e intersecciones

Deberán facilitarse superficies de enlace en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje con las pistas, plataformas y otras calles de rodaje, a fin de asegurar que se mantiene la distancia mínima de separación establecida en la tabla 2.1.

Puede que sea necesario proporcionar pavimento suplementario en las curvas de la calle de rodaje y en las uniones e intersecciones de las mismas, para satisfacer los requerimientos cuando una aeronave está efectuando un viraje.

### 2.3.4 Métodos para el cálculo de superficies de enlace

- a) Simulación con maquetas. Empleando una maqueta puede obtenerse la trayectoria de las ruedas principales exteriores de una aeronave durante un viraje. Para ello se simula, sobre una maqueta, el movimiento de aeronaves a escala, sobre un plano que reproduce las pistas y calles de rodaje proyectadas. Es necesario utilizar una escala razonablemente grande (por ejemplo la escala 1/250) y la maqueta debe estar bien construida, para impedir errores excesivos cuando se transfieren las trayectorias logradas a un tamaño mayor. Estas condiciones hacen que el método sea poco práctico.
- b) Cálculo Matemático. La superficie de enlace puede calcularse matemáticamente, pero el proceso es bastante complicado y el grado de precisión que se obtiene es superior del requerido para los trabajos reales de construcción. No obstante, este método puede tenerse en cuenta si se dispone de una computadora.



El radio de la superficie de enlace se obtiene de la formula:

$$r = R(\beta_{\max.} + M + T/2) \quad (1)$$

donde:

R = radio del eje de la calle de rodaje,

$\beta_{\max.}$  = valor máximo de la desviación del tren de aterrizaje principal,

M = margen mínimo de seguridad,

T = ancho de vía del tren de aterrizaje principal.

El valor máximo de la desviación del tren de aterrizaje principal ( $\beta_{\max.}$ ) depende de la longitud de referencia (d), depende del radio de curvatura del eje de la calle de rodaje (R) y del régimen de cambio de dirección. Este valor máximo se obtiene del gráfico de la figura 2.2, como porcentaje de la longitud de referencia de la aeronave para cualquier valor de la relación R/d comprendida entre los valores de 1 a 5.

En el punto donde la desviación del tren de aterrizaje principal pasa a ser inferior a la desviación máxima permisible sin superficie de enlace, esta deja de ser necesaria:

$$D = X/2 - (M + T/2) \quad (2)$$

donde:

X = ancho de la calle de rodaje,

M = margen mínimo de seguridad,

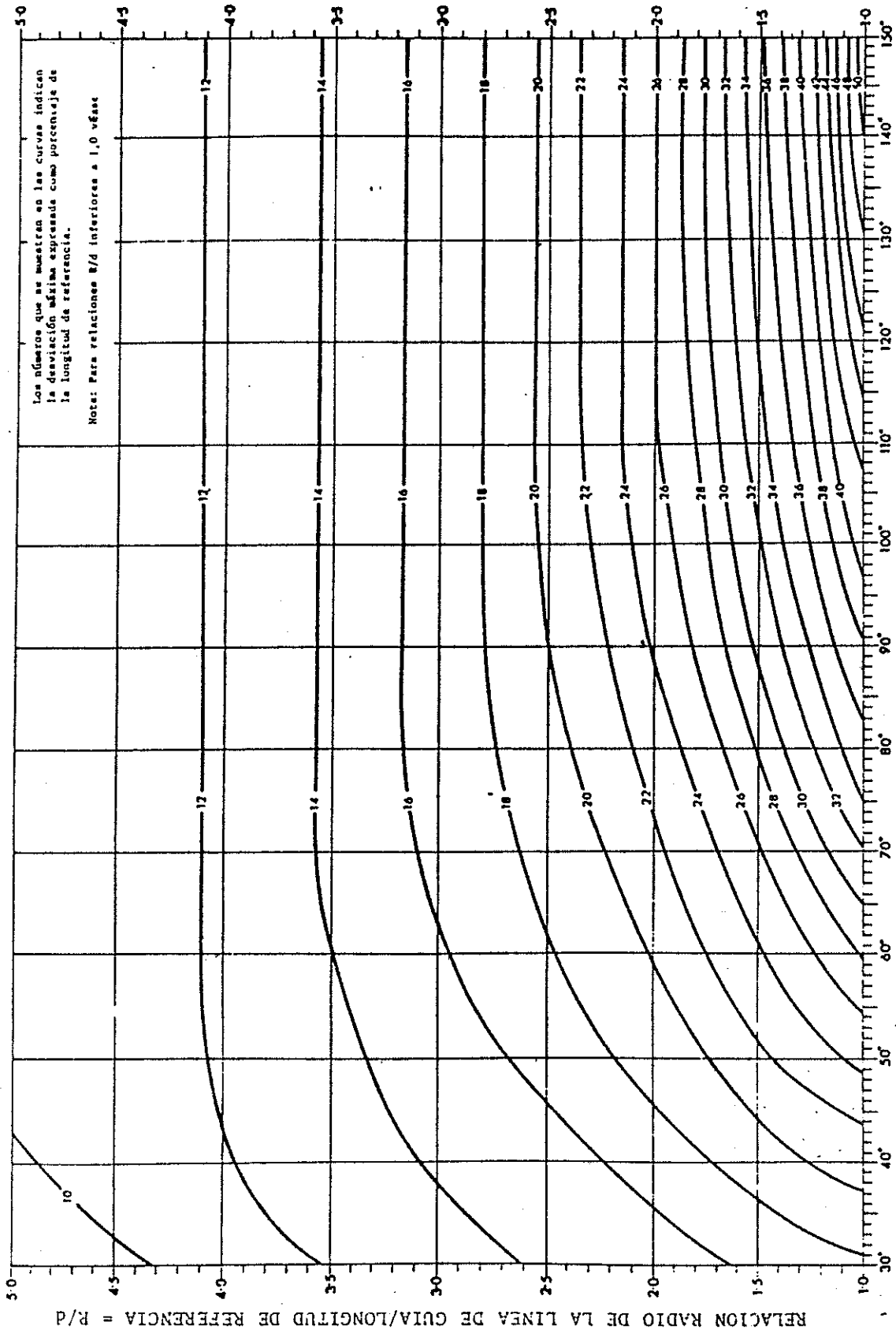
T = ancho de vía del tren de aterrizaje principal.

El ángulo de guía alcanzado cuando la desviación máxima permisible sin superficie de enlace es igual a la desviación alcanzada, se obtiene de la figura 2.3.

El valor máximo del ángulo de guía durante un viraje se obtiene del gráfico de la figura 2.4, entrando al mismo con el valor del cambio de dirección de la calle de rodaje hasta encontrar a la curva de R/d

utilizando para esto el gráfico de la figura 2.5. Denominado como L1 la distancia de recorrido obtenida con el ángulo de guía del paso 6 y L2 a la del paso 7.

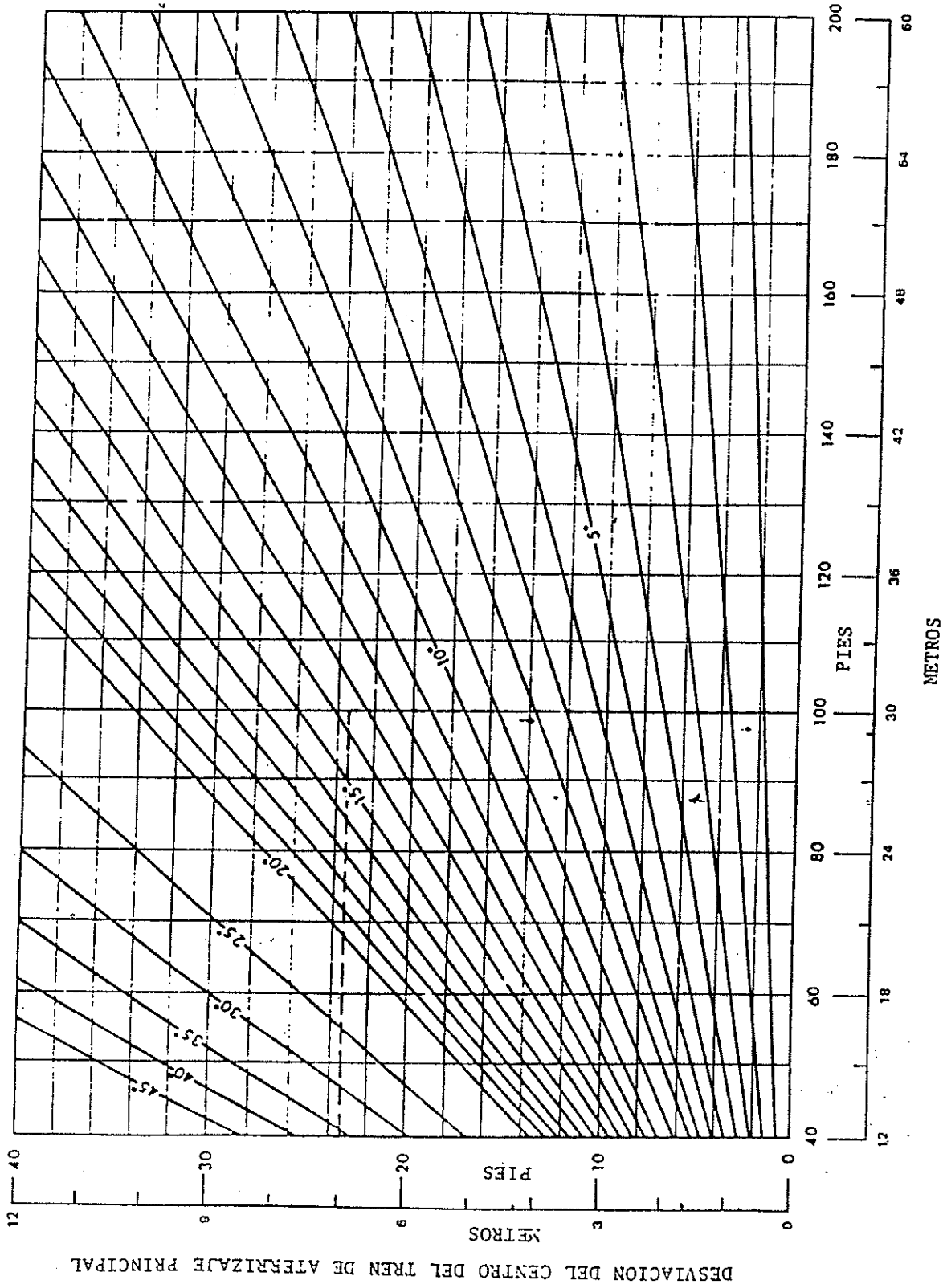
- 9º) restar L2 de L1 para obtener L3, que es la distancia que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía del paso 7 al obtenido en el paso 6.
- 10º) determinar la distancia a que se encontrará el centro del tren de aterrizaje más allá del final de la curva. Se obtiene restando de L3 la longitud de referencia de la aeronave (d).
- 11º) trácese la superficie de enlace de la manera siguiente:
  - a) con el radio (r) de la fórmula (1), trácese un arco concéntrico con el eje de la calle de rodaje;
  - b) A lo largo del borde interior de la calle de rodaje, márchense los puntos Q1 y Q2 a la distancia (l) a partir de la sección curva de la línea de guía, como se muestra en la figura 2.1;
  - c) A partir de los puntos obtenidos en b y con radio (r) trácense las tangentes al arco.



CAMBIO DE DIRECCION DE LA CALLE DE RODAJE

FIGURA 2.2. Desviación máxima del tren de aterrizaje principal de la aeronave ( $\beta_{\text{máx.}}$ ).





LONGITUD DE REFERENCIA DE LA AERONAVE

FIGURA 2.3. Angulo de Guía.

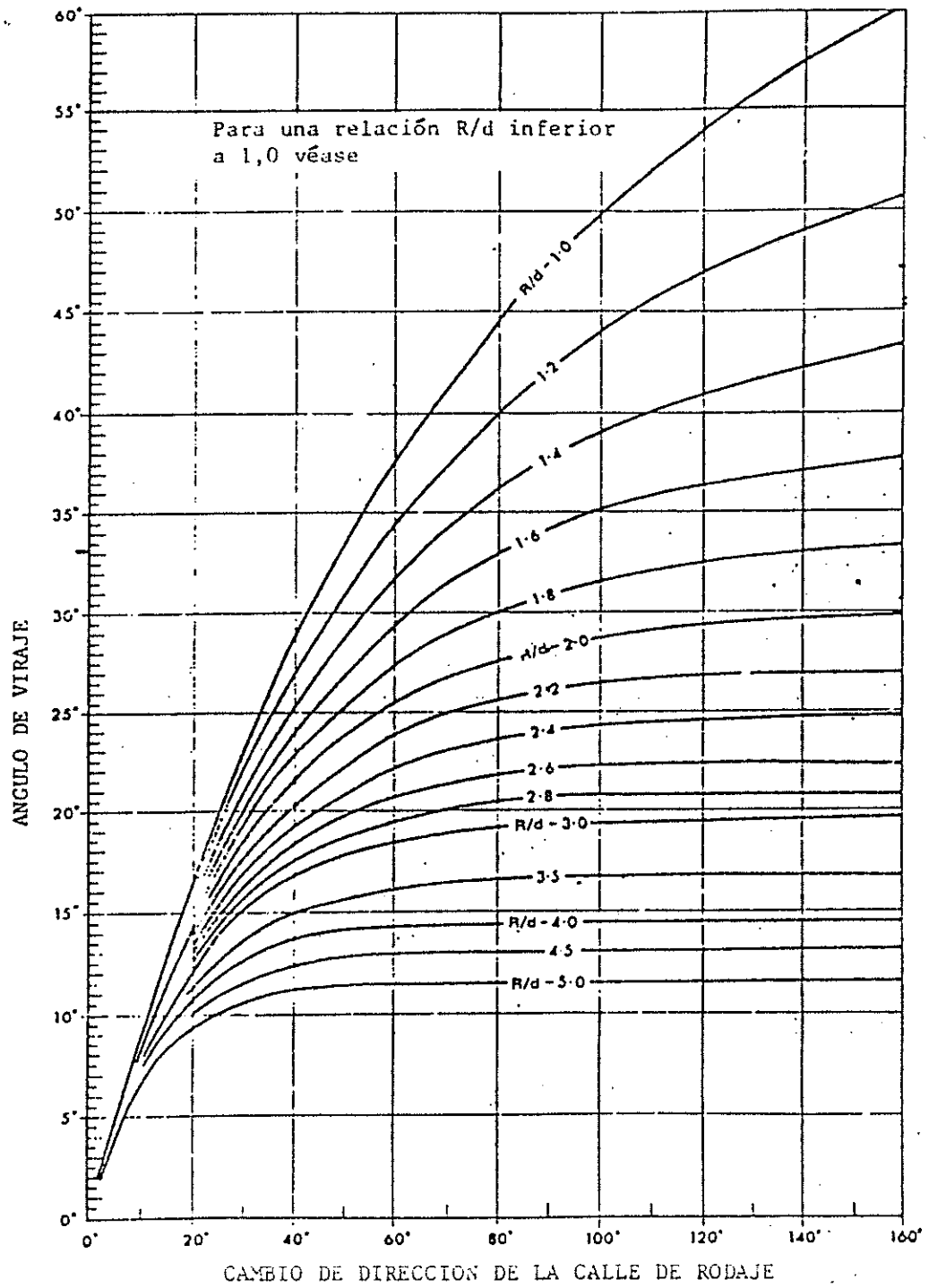


FIGURA 2.4. Angulo de guía al final del viraje.

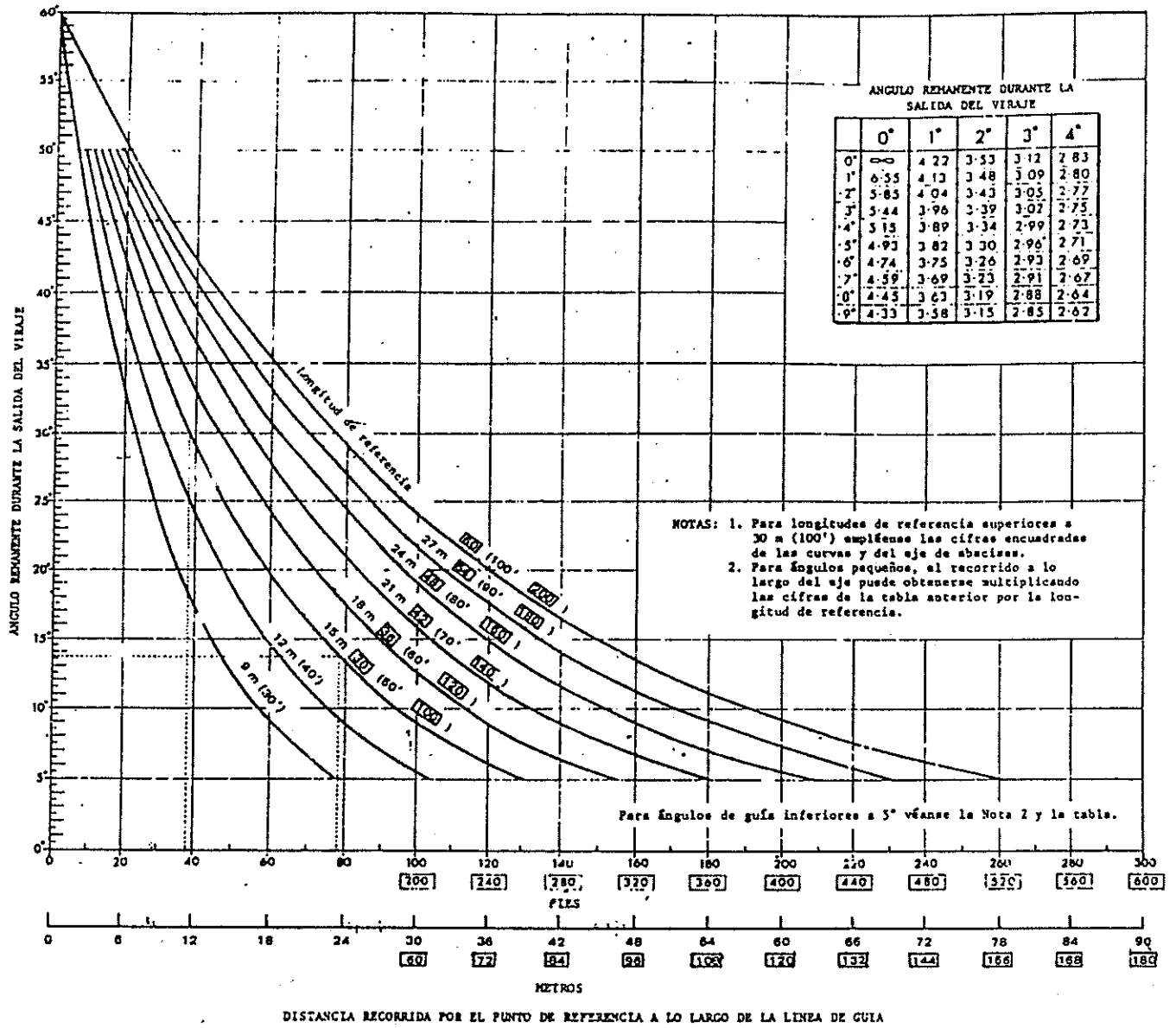


FIGURA 2.5. Distancia de recorrido.

## EJEMPLOS DE APLICACION

Los ejemplos siguientes ilustran la aplicación de los gráficos en el diseño de superficies de enlace, de acuerdo a los pasos descritos en la sección 2.3.5.

### Ejemplo 1.

a. ) datos del proyecto:

a.1) cambio de dirección de la calle de rodaje	135 °C
a.2) radio del eje de la calle de rodaje (R)	42 m.
a.3) anchura de la calle de rodaje (X)	23 m.
a.4) longitud de referencia de la aeronave (d)	22 m.
a.5) ancho de vía del tren de aterrizaje (T)	8 m.
a.6) margen de seguridad (M)	4.5 m.

b. ) solución:

b.1) Relación  $R/d = 42/22 = 1.9$

b.2) Desviación máxima (figura 2.2)

$$27\% \text{ de } d = 0.27 \times 22 = 6 \text{ m.}$$

b.3) Radio del arco de la superficie de enlace (r)

$$(r) = R - (\beta_{\max.} + T/2 + M) = 42 - (6 + 8/2 + 4.5) = 27.5 \text{ m.}$$

b.4) Desviación máxima sin superficie de enlace

$$D = X/2 - (M + T/2) = 11.5 - (4.5 + 4) = 3 \text{ m.}$$

De acuerdo con la figura 2.3, esto equivale a un ángulo de guía de  $7.6^\circ$ .

b.5) Entrando al ábaco de la figura 2.4 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje (135 grados,  $R/d = 1.9$ ). Resultando  $31^\circ$ .

b.6) Los anteriores ángulos de guía se convierten en recorrido a lo largo del eje recto por medio de la figura 2.5.

$7.6^\circ$  proporciona una distancia  $L1 = 47.9 \text{ m.}$

$31.0^\circ$  proporciona una distancia  $L2 = 16.5 \text{ m.}$

---

$$L3 = 31.4 \text{ m.}$$

NOTA: la distancia L3 entre L1 y L2, es la distancia que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía de  $31.0^\circ$  a  $7.6^\circ$ .

b.7) La distancia a que se encuentra el centro del tren de aterrizaje más allá del final de la curva, se obtiene restando de L3 la longitud de referencia:

$$31.40 - 22.00 = 9.40 \text{ mts.}$$

c. ) Trazado (ver figura 2.6)

c.1) Trácese un arco de radio de 27.5 m, con centro en O (centro de la curva de la calle de rodaje).

c.2) Márquense puntos en el borde interior de la calle de rodaje a una distancia de 9.4 metros más allá del final de la curva.

c.3) Trácese desde esos puntos tangentes al arco.

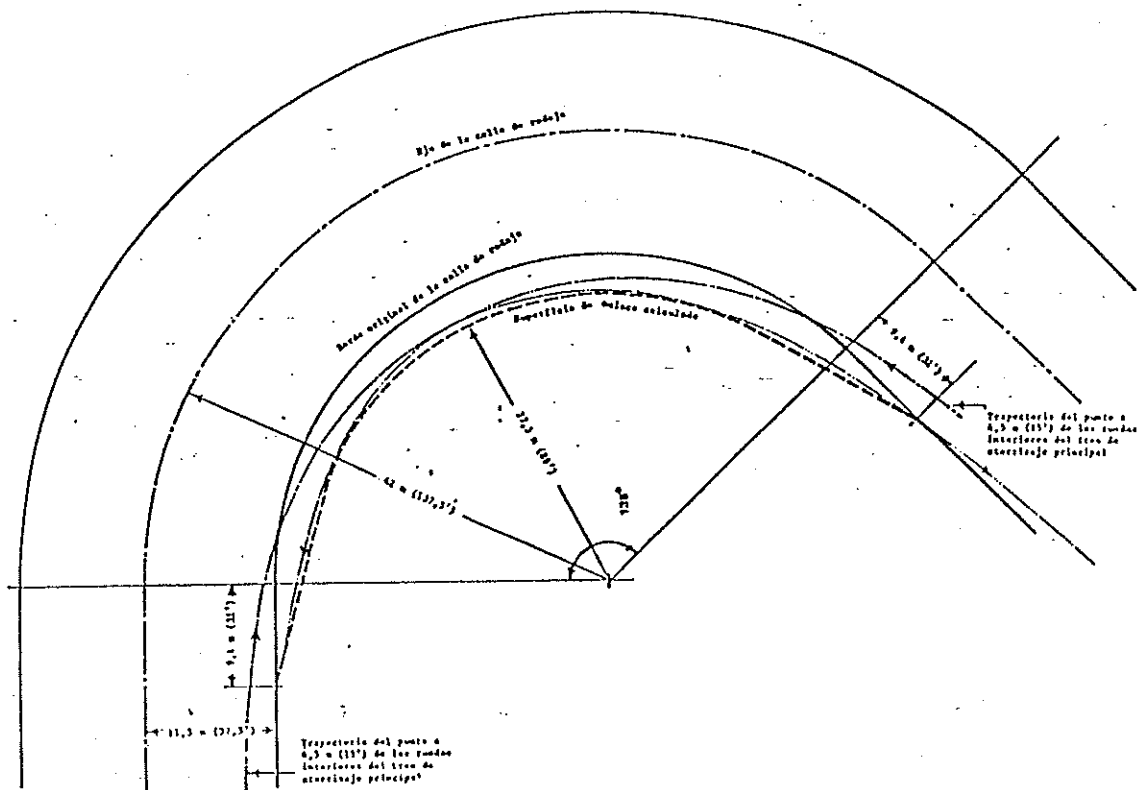


FIGURA 2.6. Trazado de la superficie de enlace

Calles de salida rápida

La decisión de proyectar y construir una calle de salida a gran velocidad se basa en el análisis del tránsito existente y previsto. El fin principal de estas calles es disminuir el periodo de ocupación de la pista por las aeronaves y por lo tanto aumentar la capacidad del aeródromo. Cuando la densidad del tránsito calculada para la hora pico es menor de 25 operaciones aproximadamente (aterrizajes y despegues) la calle de salida en ángulo recto puede bastar.

El establecimiento de una norma mundial única para el cálculo de las calles de salida rápida tiene muchas ventajas obvias. Los pilotos se familiarizan con este tipo de configuración y pueden esperar conseguir los mismos resultados al aterrizar en cualquier aeródromo dotado de estas instalaciones. Por lo tanto se recomienda un trazado único (ver figura 2.7).

Existen algunas diferencias de opinión con respecto a la velocidad con la que los pilotos utilizarán las calles de salida a gran velocidad. En tanto que ha sido determinado a través de ciertos estudios que estas calles de rodaje se utilizan normalmente a velocidades no superiores a los 25 nudos (46 km/h) e incluso en algunos casos a velocidades inferiores cuando existen malas condiciones de frenado o vientos de costado fuertes. Otros estudios han demostrado que con pavimentos secos se utilizan velocidades de aproximadamente 50 nudos (92 km/h).

## 2.4.1

Número y emplazamiento de las calles de salida rápida

El emplazamiento de las calles de salida rápida está determinado por el punto de toma de contacto y el recorrido de aterrizaje de las aeronaves. Para determinar la distancia desde el umbral deberá tenerse en cuenta las siguientes condiciones básicas:

- a) La velocidad de la toma de contacto;
- b) velocidad inicial de salida o velocidad de viraje de salida en el punto de tangencia de la curva de entrada (punto A en la figura 2.7);
- c) distancia desde el umbral al punto de toma de contacto;

d) distancia desde el punto de toma de contacto hasta el punto de tangencia de la curva de entrada. Los valores de los incisos b) y d) deberán calcularse para las aeronaves que utilizaran la pista. Estos valores dependen de factores tales como pericia del piloto, punto de toma de contacto, pendiente de la pista, condiciones de temperatura ambiente, y elevación. Otros factores que influyen son las condiciones de la superficie del pavimento, pavimento mojado o seco, visibilidad y dirección del viento.

Por otra parte se pueden agrupar a las aeronaves basándose en su velocidad de toma de contacto en la forma siguiente:

GRUPO 1 -menos de 90 nudos (167 km/h)

GRUPO 2 -entre 91 y 120 nudos (169 y 222 km/h)

GRUPO 3 -más de 121 nudos (224 km/h)

De estas consideraciones, resulta evidente que el número de calles de salida rápida necesarias dependerá del tipo de aeronave y del número de aeronaves de cada tipo que maniobren durante el periodo crítico de operación previsto en el aeropuerto. Por ejemplo en un aeropuerto muy grande la mayoría de las aeronaves pertenecerá probablemente a los grupos 2 y 3. si es así, puede que se necesiten dos salidas únicamente. Por otro lado, un aeródromo que tenga una mezcla equilibrada de los tres grupos de aeronaves pueda necesitar 3 salidas.

Se ha encontrado que, la distancia media desde el umbral al punto de contacto es de aproximadamente 300 metros para el grupo 1 de aeronaves; y 450 metros para los grupos 2 y 3. Además, puede determinarse la distancia desde el punto de contacto a la ubicación ideal de la salida por medio de la fórmula:

$$D = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2a}$$

en la que:  $V_1$  = velocidad de toma de contacto en m/s.

$V_2$  = velocidad inicial de salida de la pista en m/s.

$a$  = deceleración en  $m/s^2$ .

Las distancias que se obtienen al utilizar la anterior fórmula son a nivel del mar y a 15 °C de temperatura. La altitud y la temperatura pueden afectar la colocación de las calles de salida. Las distancias deberán aumentarse en 3%, aproximadamente, por 300 metros de altitud, sobre las distancias requeridas al nivel del mar y alrededor del 1% para cada 5.6 °C sobre los 15 °C tomados como referencia.

Quizá sea conveniente proporcionar una salida especial para acelerar el movimiento en superficie de las aeronaves ligeras, en los casos en los que la actividad operacional de estas aeronaves pequeñas sea proporcionalmente grande, en cualquier aeródromo con operaciones comerciales de transporte aéreo. Cuando esté justificado, se recomienda situar esta calle de salida entre 450 a 600 metros desde el umbral de la pista.

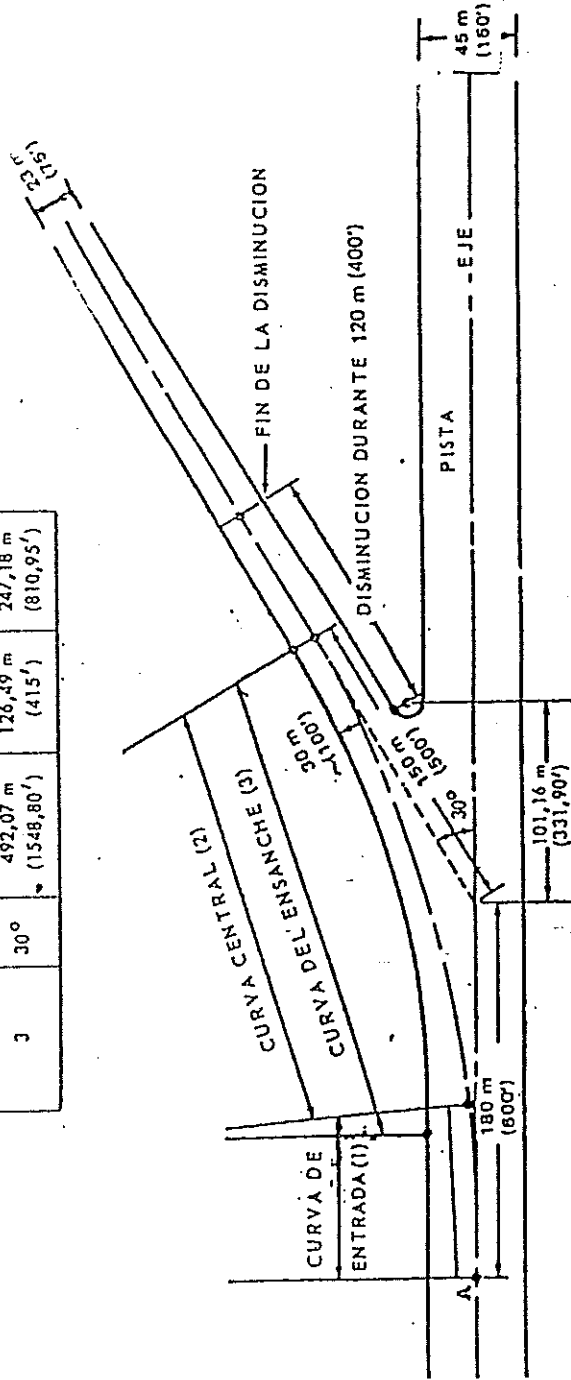
#### 2.4.2 Trazado de las calles de salida rápida

La figura 2.7 muestra el trazado que se recomienda para las calles de salida rápida. Las razones en las que se basa la elección de este trazado son las siguientes:

- a) La facilidad con que la mayoría de las configuraciones del tren de aterrizaje de las aeronaves pueden efectuar este viraje;
- b) proporciona gran separación entre la rueda principal exterior de la aeronave y el borde del pavimento;
- c) el ensanche a la entrada de la calle de salida permite desviar algo con respecto a la calle de rodaje, si la aeronave no comienza el viraje en el punto señalado en la pista; y
- d) sirve para velocidades de aeronave de hasta 50 nudos (92 km/h).



CURVA Núm.	$\Delta$	R	T	L
1	5°	977,37 m (3206,60')	42,67 m (140')	85,29 m (279,83')
2	25°	556,82 m (1826,35')	123,44 m (405')	242,96 m (797,11')
3	30°	492,07 m (1548,80')	126,49 m (415')	247,18 m (810,95')



En el recuadro  $\Delta$  representa el ángulo de curva, R el radio,  
T la longitud de la tangente y L la longitud de la curva.

FIGURA 2.7. Trazado típico de las calles de salida rápida.

## CAPITULO 3

### PLATAFORMAS

Una plataforma es un área destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, reaprovisionamiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. El área total de las plataformas, deberá ser suficiente para permitir el movimiento rápido del tránsito de aeródromo en los períodos de densidad máxima prevista.

El tipo de aeronaves, el método de estacionamiento, la forma de la superficie disponible, las necesidades futuras, y el método utilizado para el embarque y desembarque de pasajeros, son algunos de los aspectos relacionados que tendrán un efecto importante en el tipo y tamaño de las plataformas que se adopten.

#### 3.1 Puestos de aeronave de maniobra autónoma

La expresión "maniobra autónoma" se utiliza para distinguir un puesto de aeronave en la que éstas entran y salen por sus propios medios, es decir, sin tenerse que recurrir a un tractor en ningún momento de la maniobra. El tamaño de los puestos de aeronave de maniobra autónoma está gobernado por el máximo ángulo de deflexión de la rueda de proa que pueda alcanzarse como método normal de funcionamiento y, por lo tanto, del radio de la curva que pueda seguir dicha rueda y del radio de la curva descrita por los extremos de las alas de la aeronave.

#### 3.2 Expresiones relativas a las aeronaves

En la figura 3.1 se presentan las expresiones relativas a las aeronaves que a continuación se detallan:

- a) Angulo de la rueda de proa. Es el ángulo comprendido entre el eje del fuselaje de la aeronave y una línea que pasa por la rueda de proa y forma un ángulo recto con el eje de la misma.

- b) Radio de viraje de la rueda de proa. Es la longitud medida desde dicha rueda, de la línea de prolongación de su eje hasta donde corte una línea recta que pasa por el centro del tren de aterrizaje principal y que forme un ángulo recto con el fuselaje de la misma. El punto de intersección de estas dos líneas es el centro de viraje, alrededor del cual gira la aeronave durante los virajes.
- c) Radio del extremo del ala. Es la longitud de una línea que va del centro de viraje al extremo del ala.

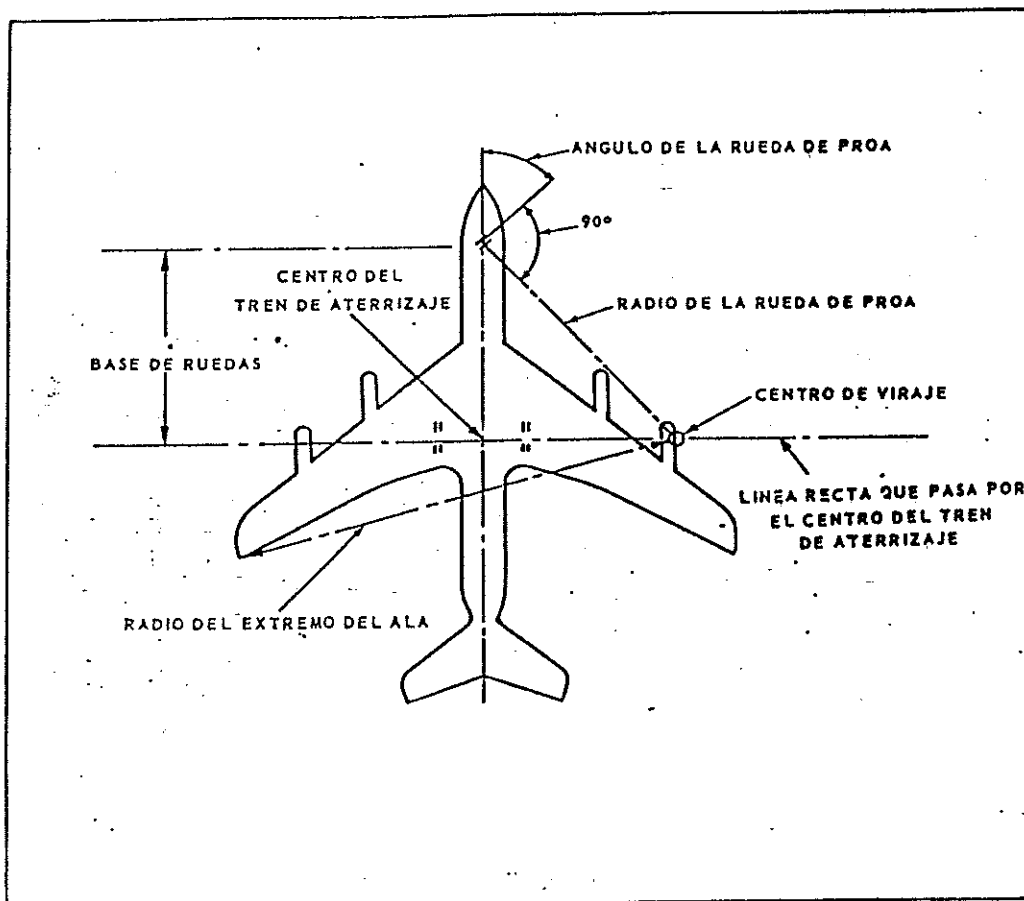


FIGURA 3.1. Expresiones relativas a las aeronaves.

Aeronave	Angulo de la rueda de proa (en grados)	Radio de la rueda de proa		Radio del extremo del ala		Distancia entre el centro de viraje y el centro del tren de aterrizaje		Base de ruedas		Envergadura	
		m	pies	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
A-300B-B2	50	24,4	80	38,8	127	15,7	51	9,6	32	44,8	147
BAC 111-400	65	12,8	42	21,3	70	8,1	27	10	33	27	89
BOEING 707/400	50	24,4	80	39,6	130	16,5	54	18	59	43,3	142
BOEING 720	50	20,1	66	34,1	112	13,2	43	6,7	22	39,9	131
BOEING 727	50	21	69	33	108	13,7	45	16,2	53	33,2	109
BOEING 737-100	50	13,7	45	23,2	76	8,7	29	5,2	17	28,4	93
BOEING 747	50	35,1	115	57,0	187	-	-	24,1	79	59,6	196
BRITANNIA 312	40	19,8	65	36,6	120	15,5	51	21,6	42	43,3	142
CARAVELLE	45	16,8	55	29	95	11,9	39	11,9	39	34,2	112
COMET 4	40	22	72	34,5	113	16,5	54	14,3	47	35,1	115
COMET 4B	50	21	69	30,5	100	13,4	44	16,2	53	33	108
CONCORDE	50	23,7	78	30,1	99	15,2	50	18,2	60	25,6	84
CONVAIR	56	21	69	31,1	102	11,9	39	17,4	57	36,6	120
DC-8-61	50	30,8	101	42,3	139	20,0	65	23,6	78	43,4	142
DC-8-62	50	24,3	79	39	128	15,6	51	18,5	61	45,2	148
DC-9-20	50	17,6	58	25,7	84	11,2	37	13,3	44	28,4	93
DC-10-10	50	28,9	95	43,5	143	18,6	61	22	72	47,3	155
LOCKHEED L-1011-1	50	27,9	91	42,8	141	17,9	59	21,3	70	47,3	155
TRIDENT 1C	54	16,8	55	2,5	82	9,8	32	13,4	44	27,4	90
VICKERS VANGUARD	48	16,8	55	29,6	97	11,3	37	12,5	41	36	118
" VC 10	56	24,4	80	36	118	13,4	44	20,1	66	42,7	140
" SUPER VC 10	56	27,4	90	38,4	126	16,2	53	22	72	42,7	140
" VISCOUNT 800	50	11,6	38	21,6	71	7,3	24	8,8	29	28,6	94
" VISCOUNT 700	50	10,1	33	21,6	71	6,4	21	7,6	25	28,6	94

TABLA 3.1. Características físicas y operacionales de diversas aeronaves.

### 3.3

#### Líneas de guía para la rueda de proa

Las líneas de guía pintadas sobre la plataforma han demostrado ser convenientes como ayuda para que las aeronaves puedan maniobrar con precisión hasta los puestos de estacionamiento.

Por lo general, la línea se traza para la aeronave crítica (por lo que a dimensiones se refiere) de las que utilicen un determinado puesto de estacionamiento. Las aeronaves más pequeñas pueden utilizar las mismas líneas y maniobrar sin dificultad, especialmente si existe personal de tierra que pueda dirigir al piloto.

### 3.4

#### Forma de estacionamiento en las plataformas

#### 3.4.1

##### Estacionamiento en paralelo

Las aeronaves que utilizan puestos de estacionamiento de maniobra autónoma pueden estacionarse paralelos a la fachada del edificio o muelle. Esta configuración se adopta corrientemente para permitir el uso de dispositivos de carga móviles y extensibles, denominados muelles o aeropuentes, los que conectan las puertas de acceso de los pasajeros a la aeronave, situadas a proa y a popa, directamente con el primer piso del edificio.

La desventaja que esta modalidad presenta es que el estacionamiento requiere gran espacio y tanto el chorro de viento y el ruido que provocan los motores quedan dirigidos hacia los puestos de estacionamiento contiguos.

#### 3.4.2

##### Estacionamiento con la proa hacia dentro, perpendicular a la fachada del edificio o formando un cierto ángulo con ella

En ciertos casos, cuando se proyecta un nuevo aeropuerto no se dispone de suficiente espacio para ubicar las plataformas, lo cual, generalmente conduce a tomar en cuenta la consideración del estacionamiento con la proa hacia dentro, como medio de conseguir que quepan más aeronaves en una superficie determinada. Con ello se satisfacen también los deseos de algunas compañías de transporte aéreo de utilizar dispositivos para la carga por la proa. Cuando se adopte este método de estacionamiento, la aeronave efectúa el viraje de salida de la calle de rodaje y entra en el puesto por

sus propios medios, quedando parada en una posición con la proa hacia dentro. Esta es una maniobra sencilla que puede efectuarse sin causar un chorro de gases excesivo, cuando la ejecutan aeronaves de turbina. La maniobra de salida es un poco más complicada, ya que en ella hay que empujar la aeronave hacia atrás por medio de un tractor hasta la calle de rodaje, y al mismo tiempo hay que darle un giro de hasta 90 grados. La operación de empujar hacia atrás se efectúa con todos los motores funcionando a marcha lenta y con la aeronave con el peso total máximo. En la figura 3.2 se muestra un puesto de aeronave típico con la proa hacia dentro. En esta ilustración se muestra un camino de circulación vehicular que pasa a lo largo del muelle, pudiendo igualmente estar situado entre el puesto de estacionamiento y la calle de rodaje, es decir, a lo largo de las colas de las aeronaves y su anchura dependerá del volumen y el tipo de tránsito, estando probablemente entre un mínimo de 6 metros y un máximo de 9 metros.

A continuación se detalla las ventajas y desventajas que esta forma de estacionamiento presenta:

1) Ventajas:

- a) Durante la maniobra de entrada, el nivel de ruido es más bajo, ya que no es necesario efectuar ningún viraje.
- b) En la maniobra de entrada no hay ningún chorro de gases dirigido contra el edificio.
- c) La puerta anterior de la aeronave queda cerca del edificio.

2) Desventajas

- a) Se requiere un gran nivel de potencia para el viraje, dado que la aeronave se encuentra a plena carga. Ello da lugar a un chorro de gases de mayor intensidad contra el edificio y las aeronaves contiguas, por lo que se hace necesario empujar las aeronaves en la maniobra de salida.
- b) El ruido de alta frecuencia procedente de las turbinas y el estruendo del escape de gases, cuando la aeronave va totalmente cargada, quedan dirigidos hacia el edificio.

- c) La puerta posterior de carga de la aeronave queda lejos del edificio.

3.4.3 Estacionamiento con la proa hacia fuera, perpendicular a la fachada del edificio o formando un cierto ángulo con ella.

Quando no se hayan instalado dispositivos de acceso a la proa desde el edificio, será ventajoso disponer de puestos de aeronave con la proa hacia fuera. En dichos puestos las aeronaves pueden ser empujadas hacia atrás por medio de tractores desde una zona lejana hasta la plataforma, sin llevar pasajeros a bordo ni tener los motores funcionando, permitiendo de esta forma que las aeronaves efectúen el rodaje por sus propios medios durante la salida. Sin embargo, cuando exista un camino o un edificio críticamente situado detrás de los puestos de aeronaves, se necesitarán deflectores de chorro de gases para contener éstos durante el arranque. Las ventajas y desventajas que presenta esta forma de estacionamiento son las siguientes:

1) Ventajas:

- a) El impulso que lleva la aeronave y su menor peso le permiten virar con una potencia de motor relativamente reducida, con lo que resultan mínimos los efectos del ruido y del chorro de gases.
- b) El ruido de alta frecuencia procedente de las turbinas no está dirigido hacia el edificio.
- c) Con frecuencia exige menor superficie de plataforma que en las otras dos formas de estacionamiento.
- d) La puerta posterior para los pasajeros queda próxima al edificio terminal.

2) Desventajas:

El chorro de gases al arrancar la aeronave va dirigido contra el edificio.

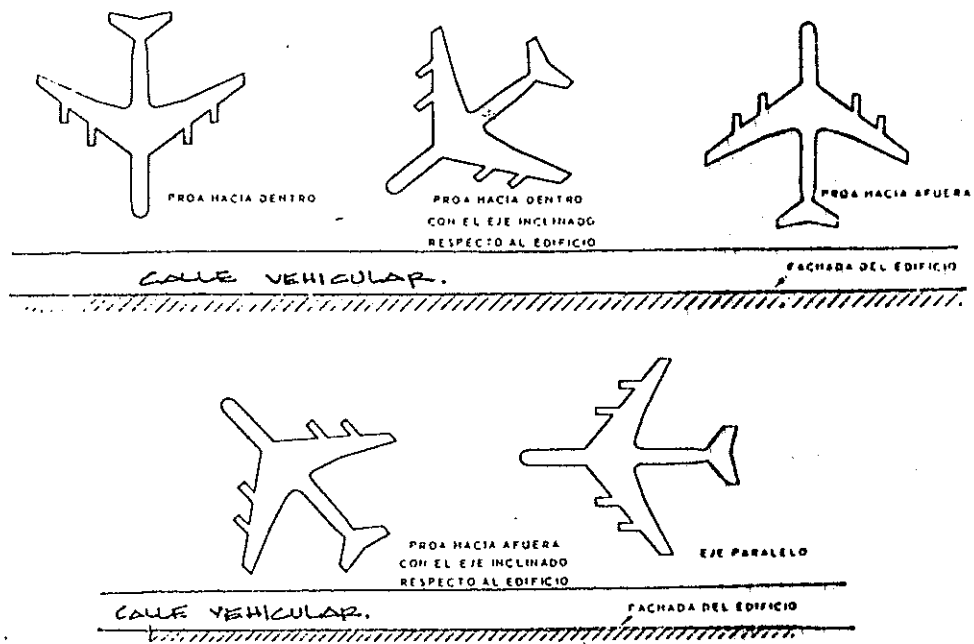


FIGURA 3.2. Configuración líneal para el estacionamiento en plataforma.

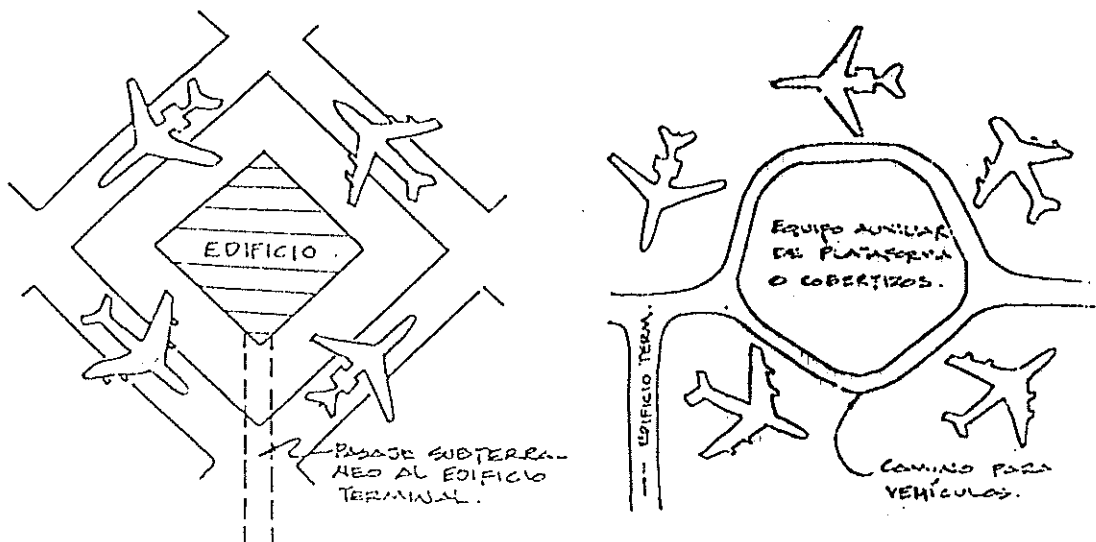


FIGURA 3.3 Configuraciones en rombo y en pentágono.



#### 3.4.4

#### Configuración en rombo o en pentágono

Algunas veces será conveniente estacionar las aeronaves en grupos, en lugar de líneas, como es generalmente el caso cuando la plataforma se proyecta para puestos de aeronave de maniobra autónoma. Un método de agrupar las aeronaves consiste en estacionarlas siguiendo una configuración de rombo o de pentágono, como se muestra en la figura 3.3. La superficie situada en el centro de la configuración puede utilizarse para estacionar vehículos de servicio o para edificios que contengan salas de espera para pasajeros. En este caso no surgen problemas de chorro de gases por lo que no existe la necesidad de instalar deflectores. Puede llegarse al área de control por medio de caminos subterráneos o por caminos para el transporte de superficie, y una parte importante del área total de la plataforma puede no estar pavimentada o tener solamente la resistencia necesaria para el tránsito de vehículos livianos. La longitud del lado de la superficie en rombo o en pentágono vendrá determinada por el tamaño de las aeronaves que las utilizarán, añadiendo los márgenes necesarios. A este respecto deberá observarse que las aeronaves que entren a uno de los puestos de estacionamiento efectuarán un viraje de unos 45 grados, al hacerlo así, especialmente las aeronaves que tengan base de ruedas, experimentarán una desviación hacia la aeronave estacionada en el adyacente al rombo. Este desplazamiento hacia la proa de la aeronave estacionada, que puede llegar a ser de hasta 3 ó 3.5 metros debe tenerse en cuenta al calcular el tamaño del rombo.

#### 3.5

#### Márgenes de separación entre aeronaves que maniobran por sus propios medios

En el proyecto de los nuevos aeropuertos o en la ampliación de los existentes, la cuestión del espacio de los puestos de aeronave debe resolverse en las primeras fases, ya que constituye un factor fundamental para la distribución de los servicios de plataforma.

Los márgenes de separación entre las aeronaves que maniobran y los obstáculos fijos o móviles normalmente relacionados con la actividad del área terminal, han resultado satisfactorios para los valores indicados a continuación, después de haber tenido en cuenta la rectificación final necesaria para alinear debidamente las ruedas:

envergadura	margen de separación
30 m. o más	7.5 metros.
de 23-30 m.	6.0 metros.
de 15-23 m.	4.5 metros.
menos de 15 m.	3.0 metros.

### 3.6 Dimensiones y separación de los puestos de estacionamiento.

El espacio necesario para un tipo determinado de aeronave depende principalmente de sus dimensiones, de la manera con que entra y sale de su posición de estacionamiento, así como el ángulo de estacionamiento en la plataforma con respecto al edificio. La aeronave puede entrar y salir del estacionamiento por sus propios medios; puede ser remolcada, tanto a la entrada como a la salida; y puede entrar en el puesto por sus propios medios y ser remolcada para la salida, o viceversa.

En general, las líneas aéreas convienen en que las aeronaves deberían evolucionar en la plataforma por sus propios medios. La maniobra normalmente requerida para entrar o salir de los puestos de estacionamiento situados junto al edificio terminal, implica un viraje de 180 grados.

El radio de este viraje y la forma de la aeronave figuran, pues, entre los factores que determinan la separación entre los puestos.

En las figuras 3.5 y 3.6 se ilustra el método para trazar un gráfico que fácilmente puede servir para determinar la separación adecuada de los puestos de estacionamiento, según un ángulo de estacionamiento cualquiera. En esencia el procedimiento consiste en trazar sobre un papel para coordenadas polares, la planta de la aeronave estacionada, describiendo después desde sus extremos arcos que representen los lugares geométricos de los centros de viraje de la aeronave que maniobra. Naturalmente un gráfico de este

tipo tiene la ventaja de que permite encontrar rápidamente la separación entre los puestos de aeronave del mismo tipo a la entrada o salida, según un ángulo cualquiera de estacionamiento.

### EJEMPLO DE APLICACION

El procedimiento indicado en este ejemplo se refiere a la utilización de los gráficos del anexo 2, para la determinación de la separación entre puestos de estacionamiento para ángulos de 20, 40, 60 y 80 grados.

- a) Procedimiento de resolución general.
- 1º) Entrese en el gráfico de coordenadas polares con el margen de separación supuesto.
  - 2º) Léase sobre el vector correspondiente al ángulo de estacionamiento la separación (D) necesaria, tanto a la entrada como a la salida.
  - 3º) Tómese el mayor de los dos valores de D obtenidos (uno para la entrada y el otro para la salida). El margen C o E será, por lo tanto, mayor que el necesario, tanto para la entrada como para la salida, según sea crítica una u otra de estas situaciones.
- b) Datos del ejemplo.
- 1) Tipo de aeronaves en los puestos de estacionamiento: la aeronave tipo de la figura 3.4.
  - 2) Margen de separación supuesto = 7.50 metros.
- c) Solución: (obtenida mediante el gráfico de la figura 3.4)
- Para  $A = 0$  grados,  $D = 56$  m. (C = 56 m; E = 55.4 m.)
  - Para  $A = 20$  grados,  $D = 56.4$  m. (C = 54 m; E = 56.4 m.)
  - Para  $A = 40$  grados,  $D = 53$  m. (C = 50 m; E = 53 m.)
  - Para  $A = 60$  grados,  $D = 49.7$  m. (C = 49.7 m; E = 48.2 m.)
  - Para  $A = 80$  grados,  $D = 54.9$  m. (C = 46.3 m; E = 54.9 m.)

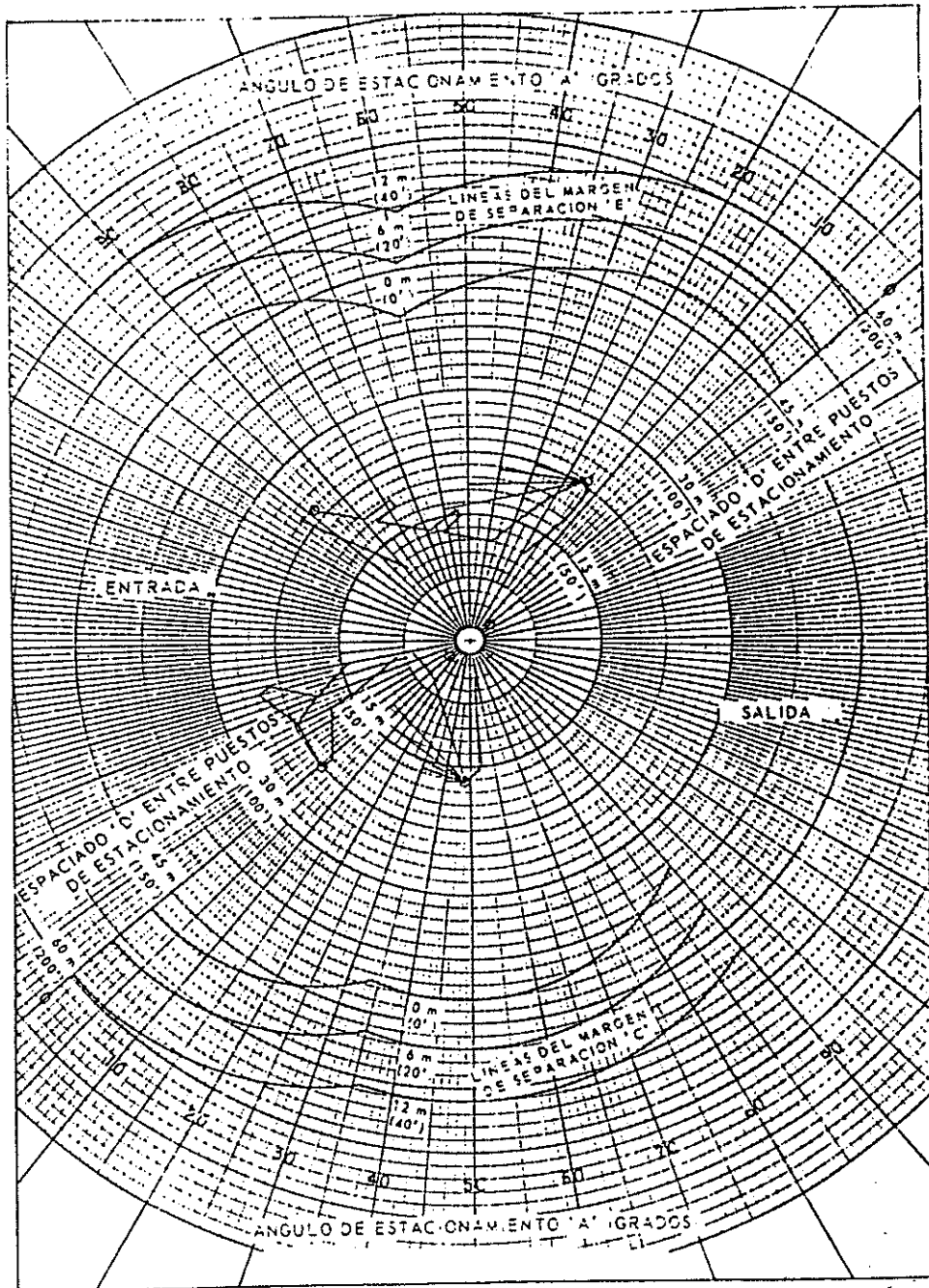


FIGURA 3.4 Gráfico típico para la determinación de la separación entre puestos de estacionamiento de aeronaves.

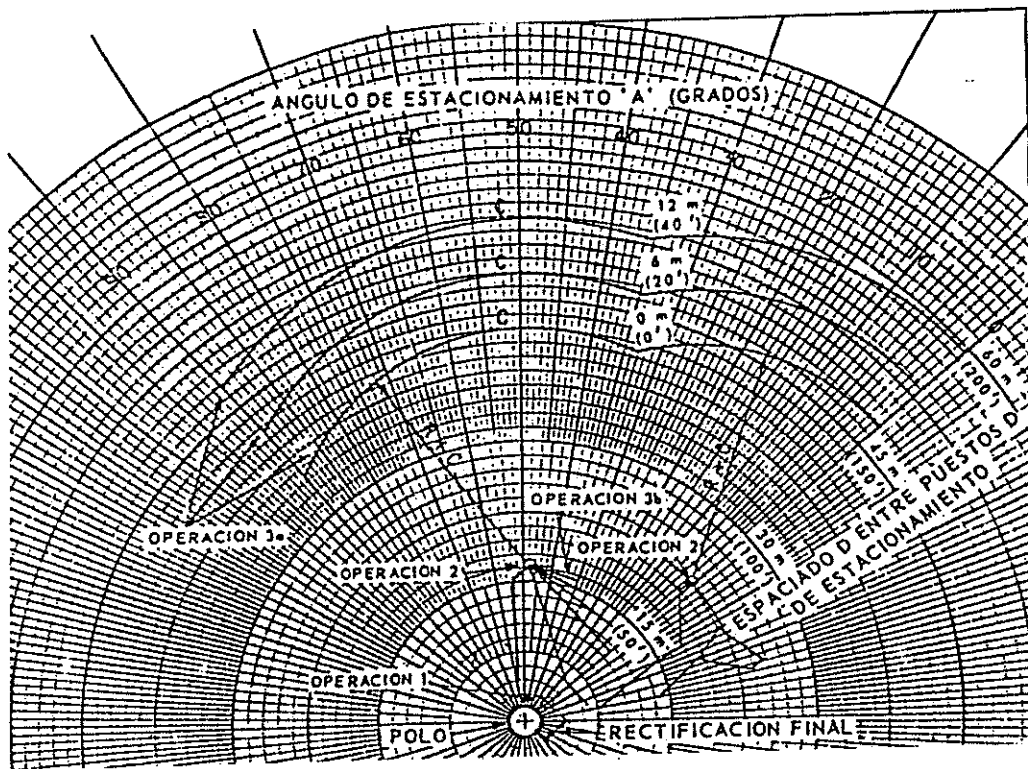


FIGURA 3.5

### AERONAVES QUE ENTRAN

OPERACION 1. Sitúese sobre el radio vector  $0^\circ$  el centro de viraje de la aeronave estacionada, a una distancia del polo igual a la rectificación final.

OPERACION 2. Con la aeronave estacionada con un ángulo de estacionamiento de  $0^\circ$  (eje de la aeronave paralelo al radio vector  $0^\circ$ , con la proa orientada en la dirección en que parte dicho radio vector desde el polo), trácense los puntos críticos extremos, es decir, los extremos de las alas y los extremos del timón de profundidad.

OPERACION 3. Trácense las líneas del margen de separación C. Estas líneas constituyen el lugar geométrico de los puntos más alejado para valores iguales de C, que se obtienen:

- a) Trazando arcos de radio igual a  $R + E$ , con centro en los puntos críticos extremos de la aeronave estacionada.
- b) Trazando perpendiculares a los radios vectores desde los puntos críticos extremos, en sentido contrario a las agujas del reloj, y luego, desde las intersecciones de dichas rectas con los radios vectores, tomando una distancia sobre los mismos igual a  $S - a + E$ .

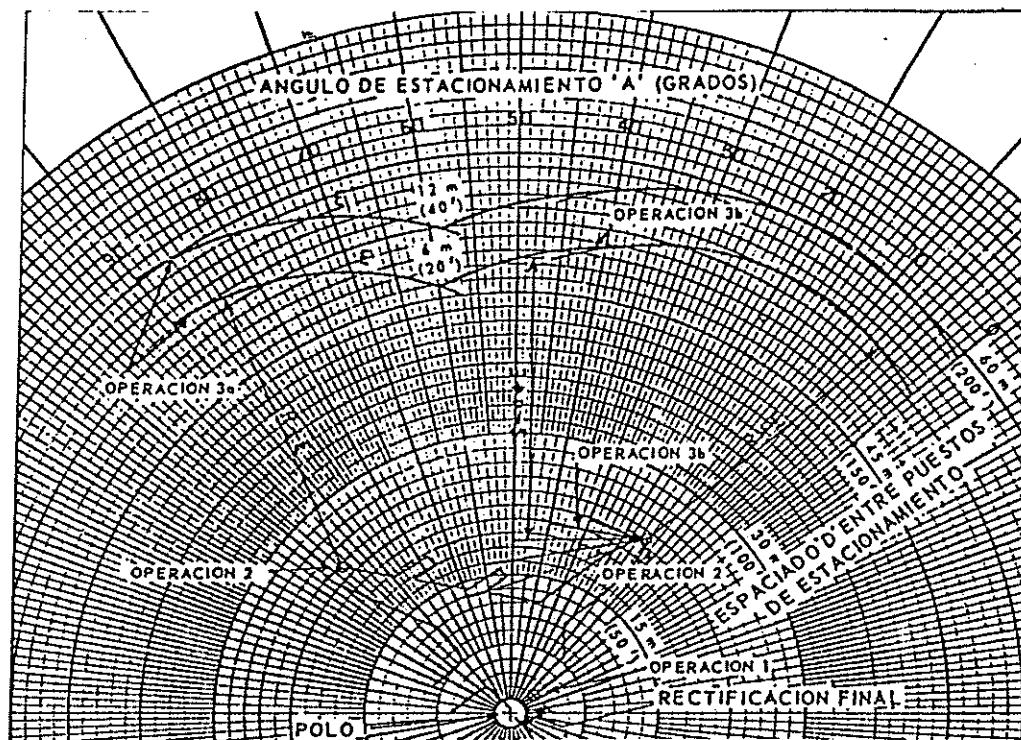


FIGURA 3.6

### AERONAVES QUE SALEN

OPERACION 1. Sitúese sobre el radio vector  $0^{\circ}$  el centro de viraje de la aeronave estacionada, a una distancia del polo igual a la rectificación final.

OPERACION 2. Con la aeronave estacionada con un ángulo de estacionamiento de  $0^{\circ}$  (eje de la aeronave paralelo al radio vector  $0^{\circ}$ , con la cola orientada en la dirección en que parte dicho radio vector desde el polo), trácense los puntos críticos extremos, es decir, el extremo de la proa, los extremos de las alas y los extremos del timón de profundidad.

OPERACION 3. Trácense las líneas del margen de separación  $E$ . Estas líneas constituyen el lugar geométrico de los puntos más alejado para valores iguales de  $E$ , que se obtienen:

- Trazando arcos de radio igual a  $R + E$ , con centro en los puntos críticos extremos de la aeronave estacionada.
- Trazando perpendiculares a los radios vectores desde los puntos críticos extremos, en sentido contrario a las agujas del reloj, y luego, desde las intersecciones de dichas rectas con los radios vectores, tomando una distancia sobre los mismos igual  $S - a + E$ .

## CAPITULO 4

### APARTADEROS DE ESPERA

Generalmente las salidas de las aeronaves se despachan, en el orden en que éstas estén listas para el despegue, pero puede seguirse un orden distinto para facilitar el mayor número de salidas con la mínima demora.

En aeródromos con calles de rodaje simples y sin apartaderos de espera, la posibilidad de aplicación del procedimiento mencionado se ve limitado, dado que no proporciona a las dependencias de control de aeródromo (torre de control) la oportunidad de modificar el orden de salidas una vez que las aeronaves han abandonado la plataforma. El procurar apartaderos de espera permitirá despachar las aeronaves sin orden establecido y también dar preferencia a las aeronaves que necesiten efectuar el despegue directamente. En particular los apartaderos de espera permiten lo siguiente:

- a) demorar la salida de ciertas aeronaves, debido a las circunstancias imprevistas, sin demorar a las que le siguen (por ejemplo el agregado de último momento a la carga de pago);
- b) realización de la verificación del instrumental de vuelo, ajuste y programación de sistemas a bordo para la navegación, cuando esto no es posible en la plataforma.

La existencia de calles de rodaje dobles o de entradas dobles a la pista permiten también retener o adelantar las aeronaves para facilitar el movimiento eficiente de las aeronaves en la plataforma o en la superficie de las calles de rodaje.

Un apartadero de espera puede utilizarse también para realizar pruebas de corta duración de los motores. La hélice y el chorro del reactor de las aeronaves, efectuando la espera deberán dirigirse fuera de otras aeronaves y de la pista.

#### 4.1 Dimensiones y emplazamientos de los apartaderos de espera

##### 4.1.1 Dimensiones. El espacio necesario para un apartadero de espera depende de la cantidad de puestos de aeronave

que se han de proporcionar, el tamaño de las aeronaves a ubicar y de la frecuencia de su uso. Las dimensiones deben permitir suficiente espacio entre las aeronaves para permitirles la maniobra independiente.

En general, la distancia mínima de separación entre una aeronave estacionada y otra que se desplace a lo largo de la calle de rodaje, no deberá ser menor de 15 metros, si la aeronave en movimiento es del tipo de turborreacción, y 10 metros, si la aeronave en movimiento es del tipo hélice.

4.1.2 Emplazamiento. Los apartaderos de espera deberá estar emplazados a una distancia del eje de la pista igual o mayor que:

- 75 metros, cuando la letra de clave de la pista sea A ó B;
- 75 metros, cuando la letra de clave de la pista sea C y la misma no sea de vuelo por instrumentos;
- 60 metros, cuando la letra de clave de la pista sea C y la misma no sea de vuelo por instrumentos;
- 40 metros, cuando la letra de clave de la pista sea D;
- 30 metros, cuando la letra de clave de la pista sea E;

4.2 Trazado de los apartaderos de espera, calles de rodaje dobles y entradas dobles a la pista

En general, los trazados que permiten que una aeronave o más aeronaves se adelanten a las que las preceden; pueden dividirse en tres grupos:

4.2.1 Apartadero de espera. Un área definida en que las aeronaves pueden ser retenidas o adelantadas. La figura 4.1 muestra algunos ejemplos de configuraciones de apartaderos de espera, y la figura 4.2 muestra un ejemplo detallado de apartadero de espera;

4.2.2 Calle de rodaje doble. Una calle de rodaje alternativa que permite evitar la calle de rodaje normal. La figura 4.3 muestra algunos ejemplos y;

4.2.3 Entrada doble de pista. Una duplicación de la calle de rodaje a lo largo de su sección curva. La figura 4.4 presenta algunos ejemplos.



Generalmente los apartaderos de espera son más costosos de construir que las calles de rodaje dobles y las maniobras de las aeronaves requieren de más tiempo. Si se hace uso de los apartaderos de espera, las aeronaves pueden despegar, basándose en sus prioridades para el despegue, en cualquier orden, en tanto que con sistemas de calles de rodaje doble solamente pueden establecerse con prioridad relativa. La entrada doble a la pista reduce el recorrido de despegue disponible para las aeronaves que utilicen la entrada que no está situada en el extremo de pista. Sin embargo, esto no constituiría un inconveniente importante si esta entrada pudiera ser utilizada por las aeronaves para las que es adecuada el restante recorrido de despegue disponible. Una entrada doble a la pista hace posible también adelantar a una aeronave demorada en otra calle de entrada o incluso en el extremo de la pista. El trazado de entradas a la pista difieren en la forma de entrada a la misma. Las entradas oblicuas permiten la entrada a cierta velocidad, pero hacen más difícil que la tripulación vean las aeronaves que se aproximan para aterrizar, y son ligeramente más costosas. La experiencia indica que los aspectos técnicos y económicos locales serán el factor decisivo en la elección entre un apartadero de espera y una calle de rodaje doble o una entrada doble a la pista.

Es conveniente proporcionar líneas guías pintadas a fin de proporcionar la facilidad de maniobra precisa de las aeronaves que se desplazan a lo largo de la calle de rodaje adyacente.

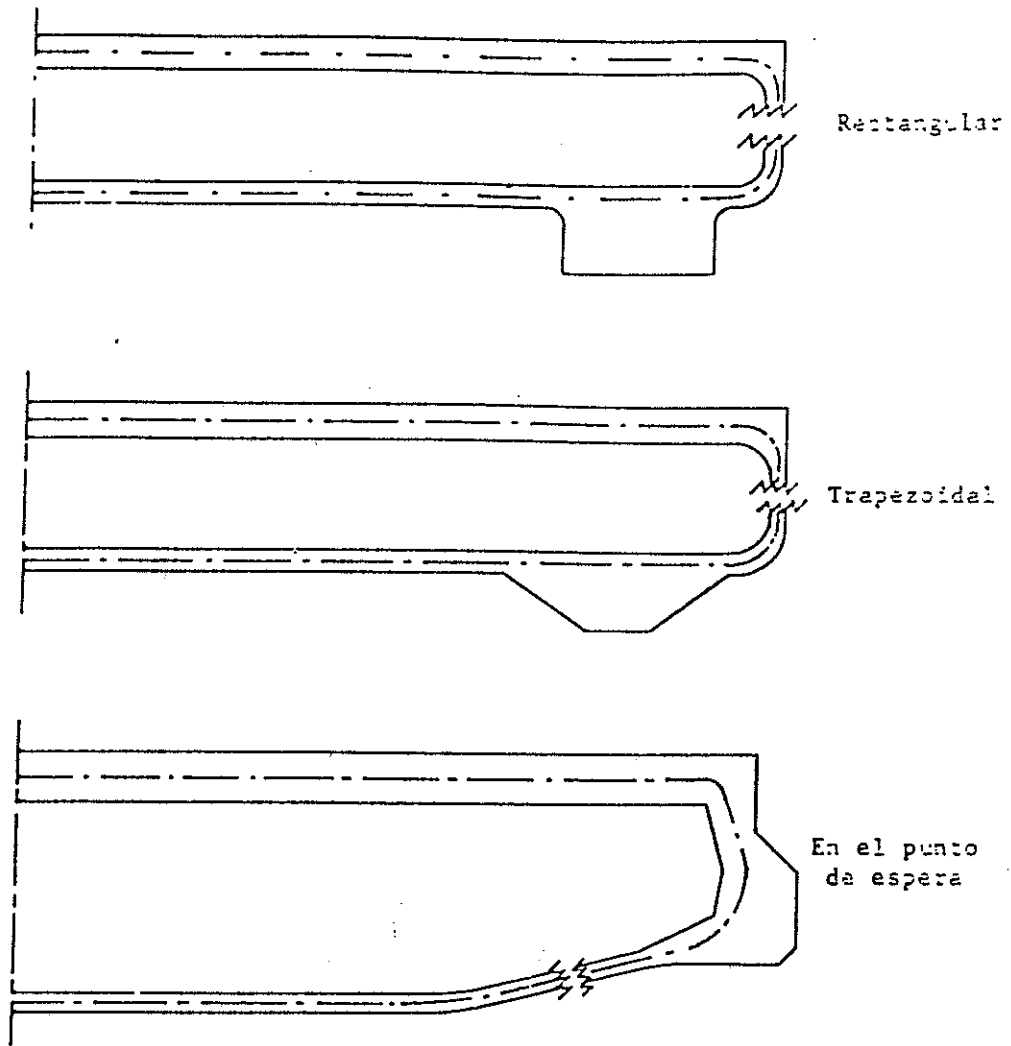


FIGURA 4.1. Ejemplos de configuraciones para los apartaderos de espera.

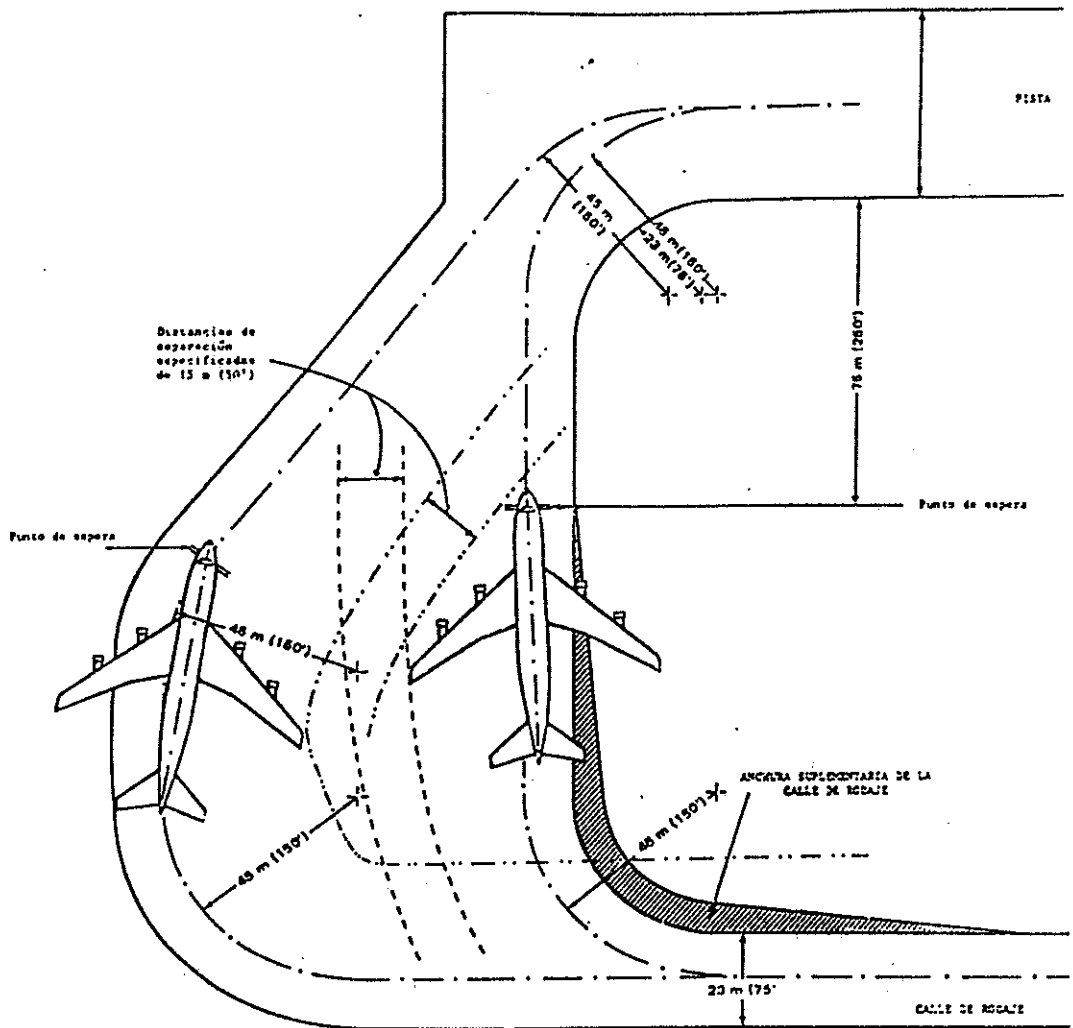


FIGURA 4.2. Detalle de un apartadero de espera.

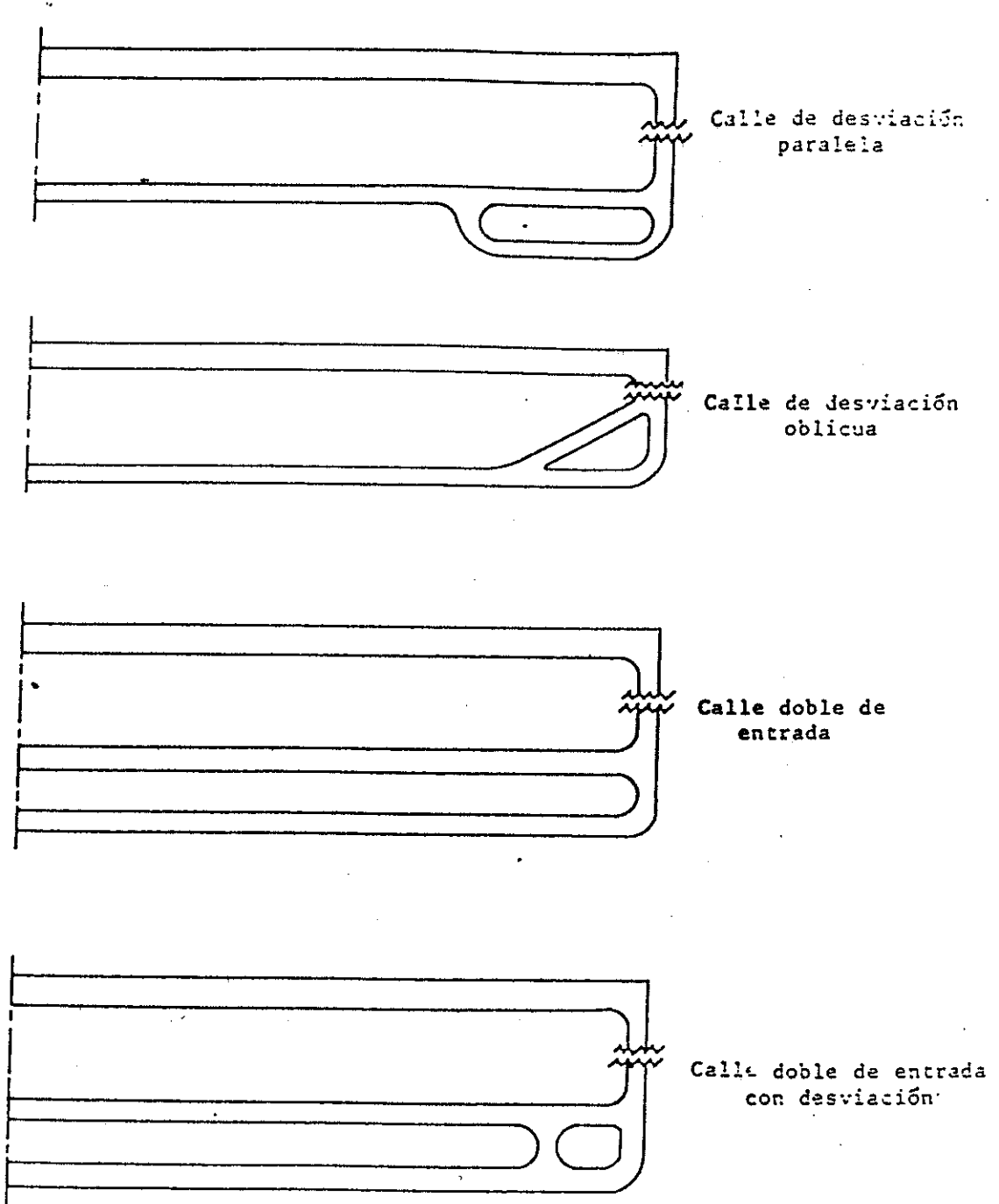


FIGURA 4.3. Ejemplos de calles de rodaje dobles.

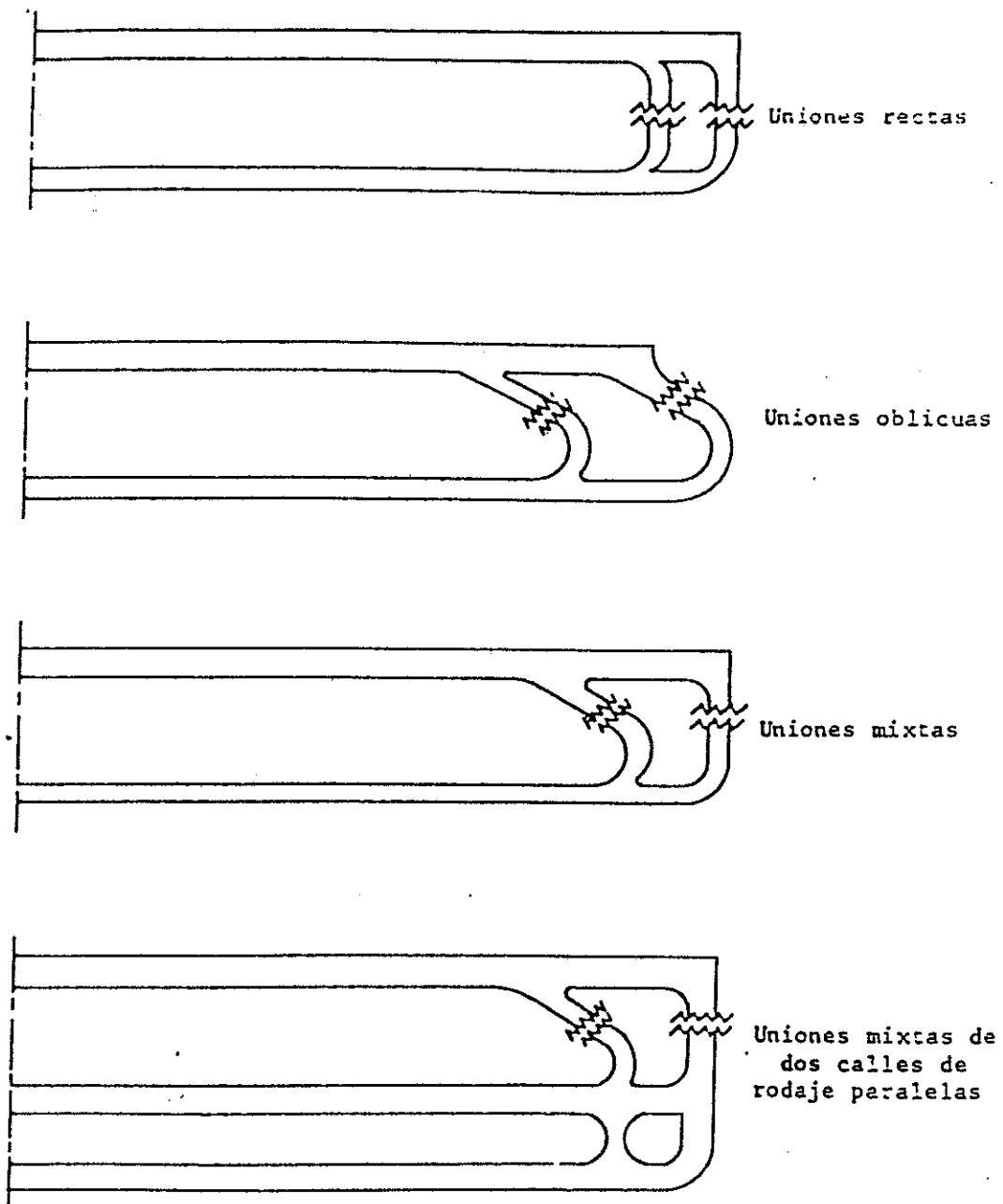


FIGURA 4.4. Ejemplos de entradas dobles a la pista.

## CONCLUSIONES

1. En el proyecto de aeropuertos, con el fin de lograr la configuración geométrica más adecuada y que satisfaga los requisitos operacionales de las aeronaves que en él operaran, lo concerniente al diseño geométrico de pistas, calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera, debe regirse estrictamente por las normas y recomendaciones al respecto, dictadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

2. Referente a las pistas, en el cálculo de sus dimensiones, la longitud se determina en base a factores climatológicos, operacionales y de emplazamiento, mientras que su ancho está especificado por la OACI en función de la clave de referencia correspondiente, la cual responde a su longitud básica. La orientación obedece a la dirección de los vientos predominantes por lo que debe obtenerse información climatológica real en el emplazamiento.

Resulta necesario que en la planificación aeroportuaria se tome en cuenta la protección del espacio vertical de las áreas adyacentes al aeropuerto, con el fin de proteger el diseño original de sus pistas, contra la posible instalación de obstáculos de cualquier tipo que obliguen al desplazamiento de sus umbrales, con lo cual se estaría limitando la longitud efectiva para las operaciones de aterrizaje y despegue.

3. Para lograr la máxima capacidad en las pistas, es necesario proyectar elementos conexos tales como calles de rodaje, calles de salida rápida y apartaderos de espera, los cuales permitirán a las aeronaves abandonar las pistas después del aterrizaje sin mayor demora, así como garantizar que las mismas puedan tomar la pista y despegar, manteniendo entre sí las separaciones especificadas por la OACI.

4. La superficie de las plataformas se determina en función del volumen de tránsito previsto, el tipo de aeronaves a operar y la forma y el ángulo de estacionamiento de las aeronaves. De esto último resulta muy importante establecer las ventajas y desventajas que presentan las diversas formas de estacionamiento, a fin de establecer la más apropiada de acuerdo al diseño arquitectónico proyectado para el edificio terminal.

## RECOMENDACIONES

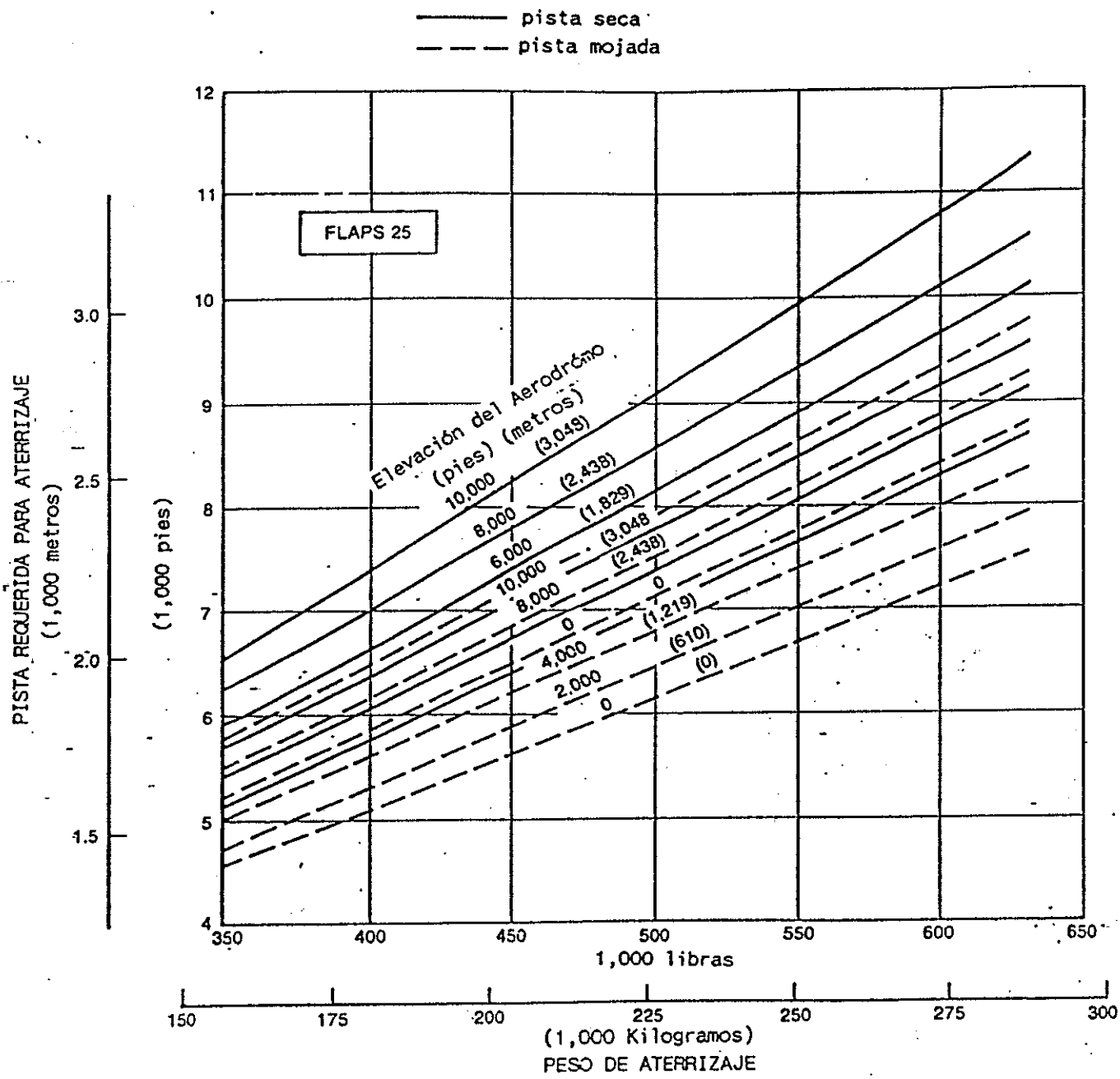
1. Se recomienda que en el proyecto de aeropuertos, el cálculo de longitudes de pista requeridas para las operaciones de aterrizaje y despegue, principalmente cuando se trate de aeronaves turbo reactores, sea realizada utilizando el método gráfico de performance, por ser este método el más preciso, ya que el mismo se fundamenta en datos de observaciones de experimentos realizados por las casas fabricantes de las aeronaves consideradas en el proyecto.
2. Se recomienda que en lo posible el diseño de calles de rodaje sea en forma recta y con el menor número de curvas, para evitar maniobras complicadas y peligrosas, así como lograr la rapidez deseada en el rodaje de las aeronaves en su tránsito en tierra.
3. Se recomienda que en las intersecciones entre pistas, calles de rodaje, calles de salida rápida, apartaderos de espera y plataformas, se estudie detalladamente para la aeronave crítica de las operaciones en tierra, el proyecto de las superficies de enlace a fin de proveer el pavimento adicional necesario para garantizar el viraje cómodo y seguro de las aeronaves.
4. Es recomendable que el Gobierno y la iniciativa privada generen oportunidades de capacitación, para los profesionales guatemaltecos que se interesen por especializarse en el campo de la Ingeniería de Aeropuertos, con lo cual, en el momento requerido, se contaría localmente con el personal calificado para desarrollar en sus diversas fases proyectos de infraestructura aeroportuaria.

## BIBLIOGRAFIA

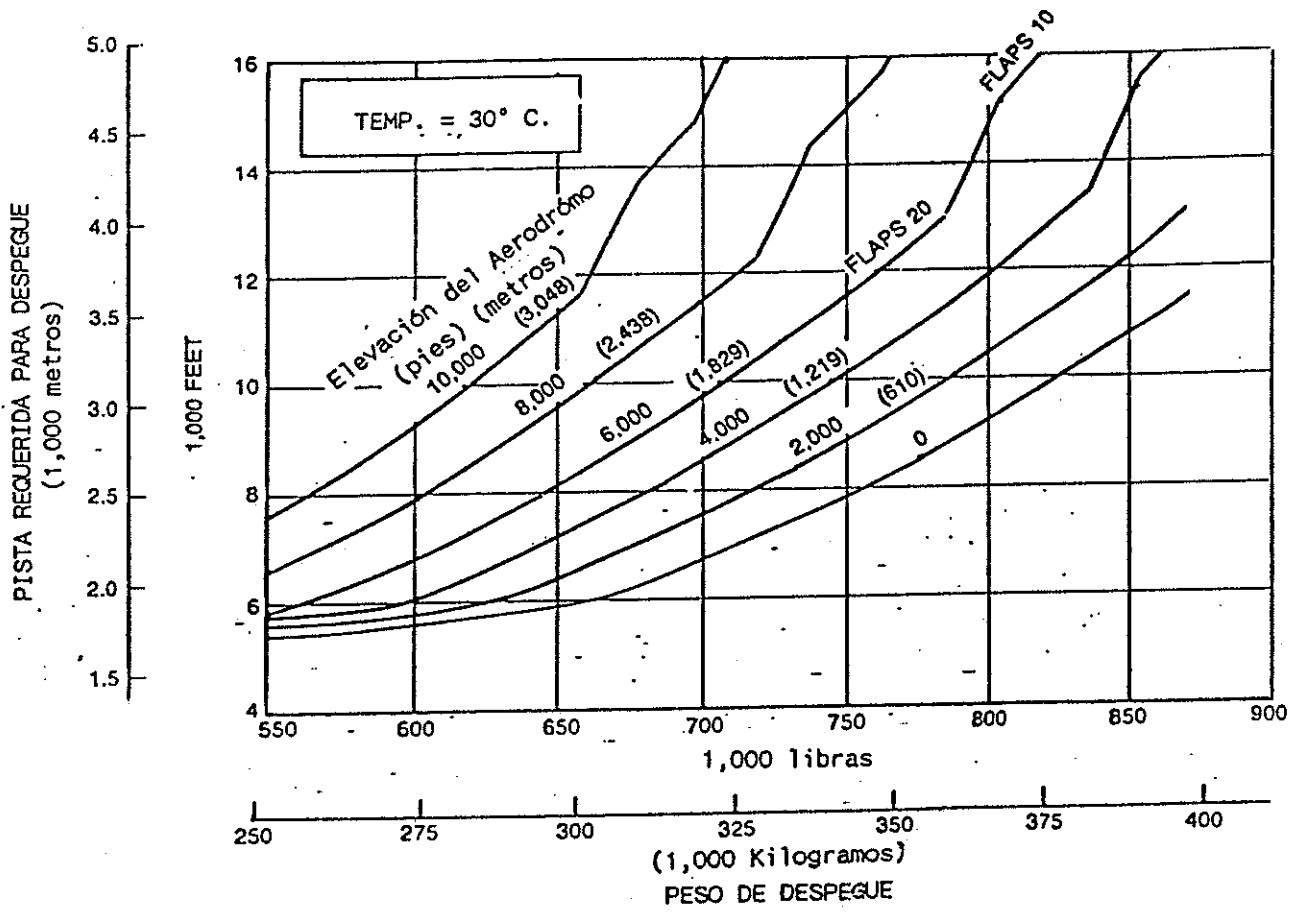
1. ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL (OACI). Normas y Métodos Recomendados Internacionales para Aeródromos. Anexo 14, al Convenio Sobre Aviación Civil Internacional. Octava Edición. 1,983.
2. ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL (OACI). Manual de Proyecto de Aeródromos. Parte 1. Pistas. Primera Edición. 1,980.
3. ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL (OACI). Manual de Proyecto de Aeródromos. Parte 2. Calles de Rodaje, Plataformas y Apartaderos de Espera. Primera Edición. 1,977.
4. CACERES KNOX, MIGUEL FERNANDO. Planeación y Diseño de Aeropuertos. Tesis de Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1,987.



A N E X O S



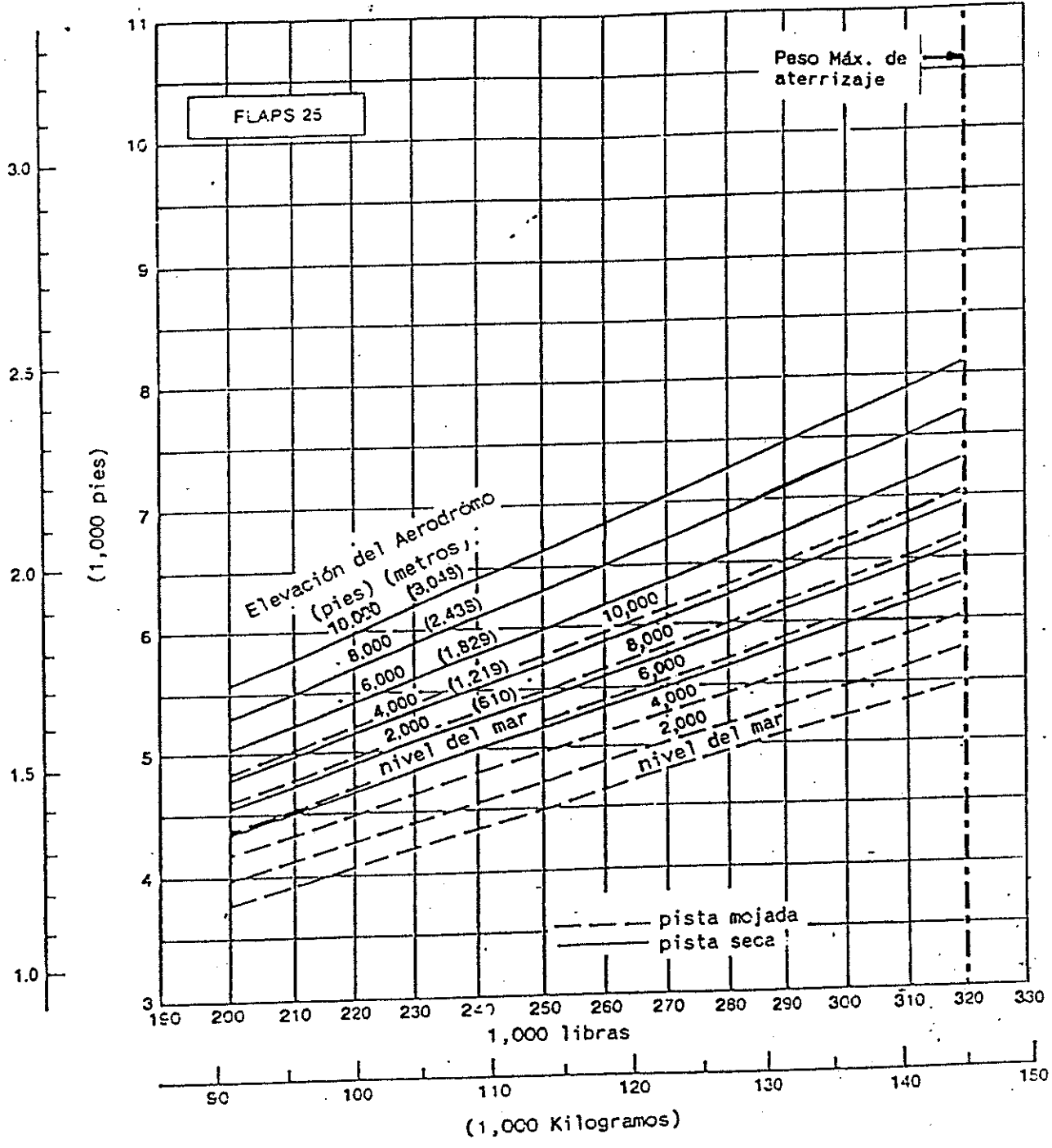
PERFORMANCE DE ATERRIZAJE  
 B O E I N G 7 4 7 - 4 0 0



PERFORMANCE DE DESPEGUE  
 BOEING 747-400

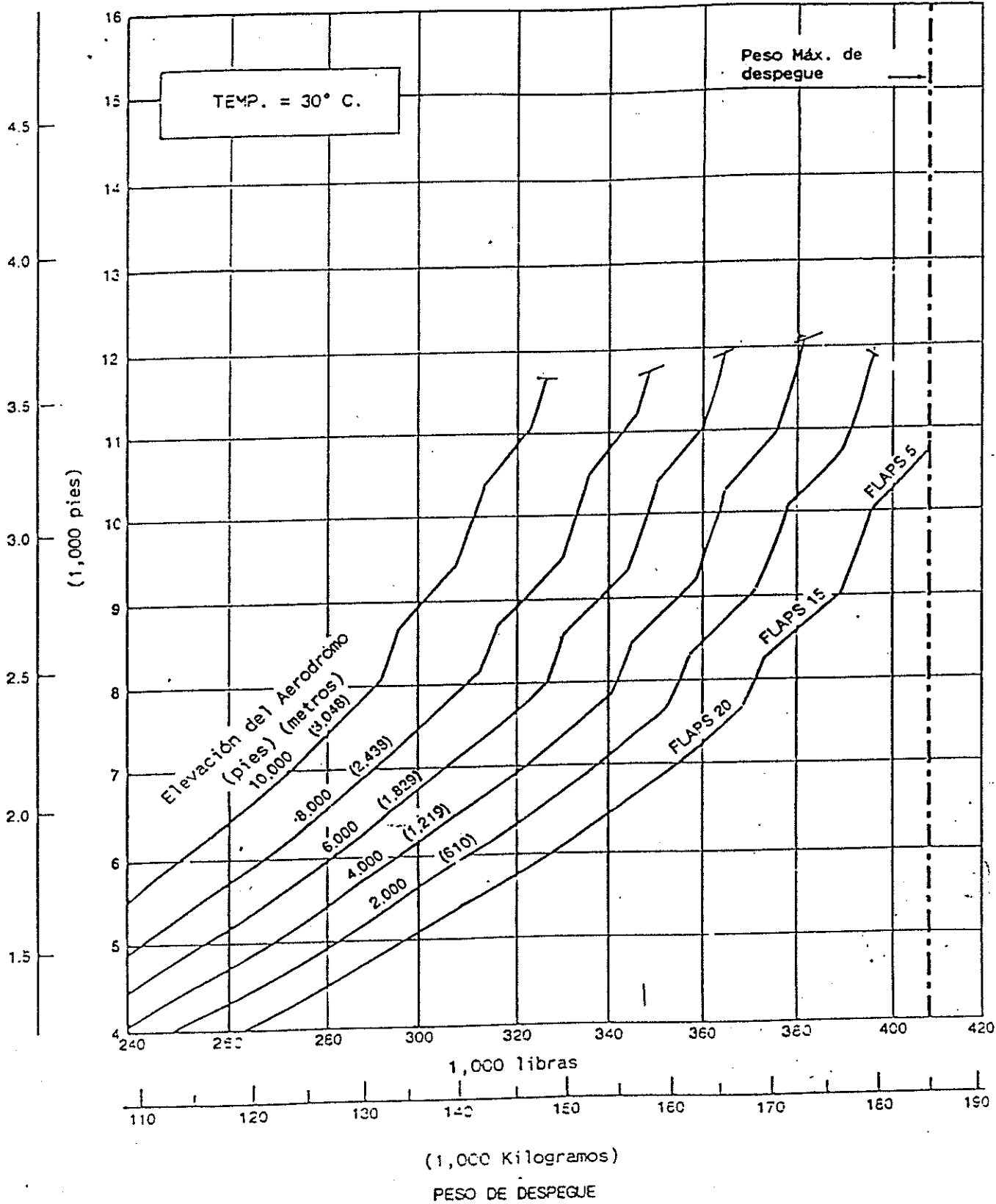
PISTA REQUERIDA PARA ATERRIZAJE

(1,000 metros)

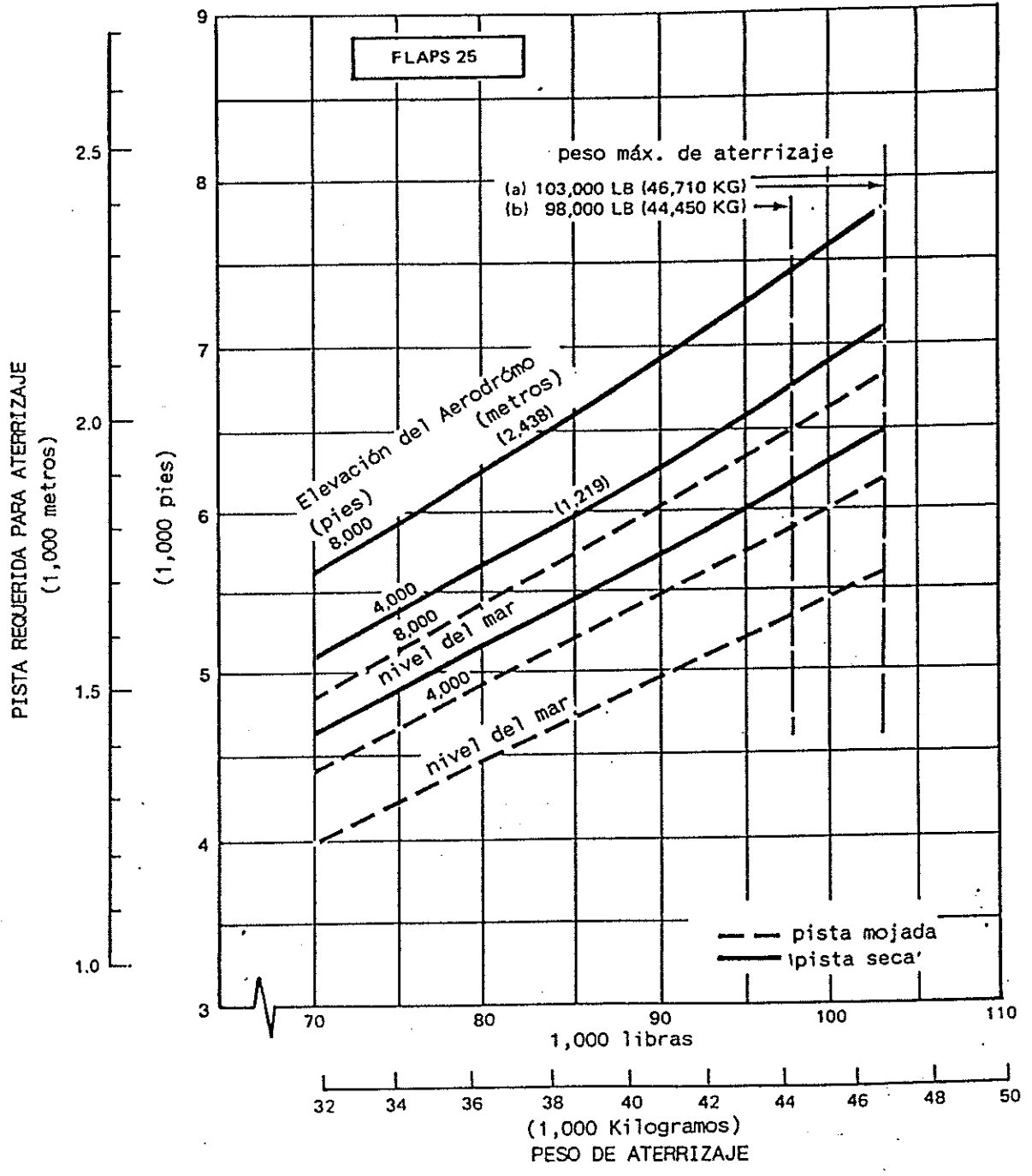


PERFORMANCE DE ATERRIZAJE  
B O E I N G 7 6 7 - 3 0 0

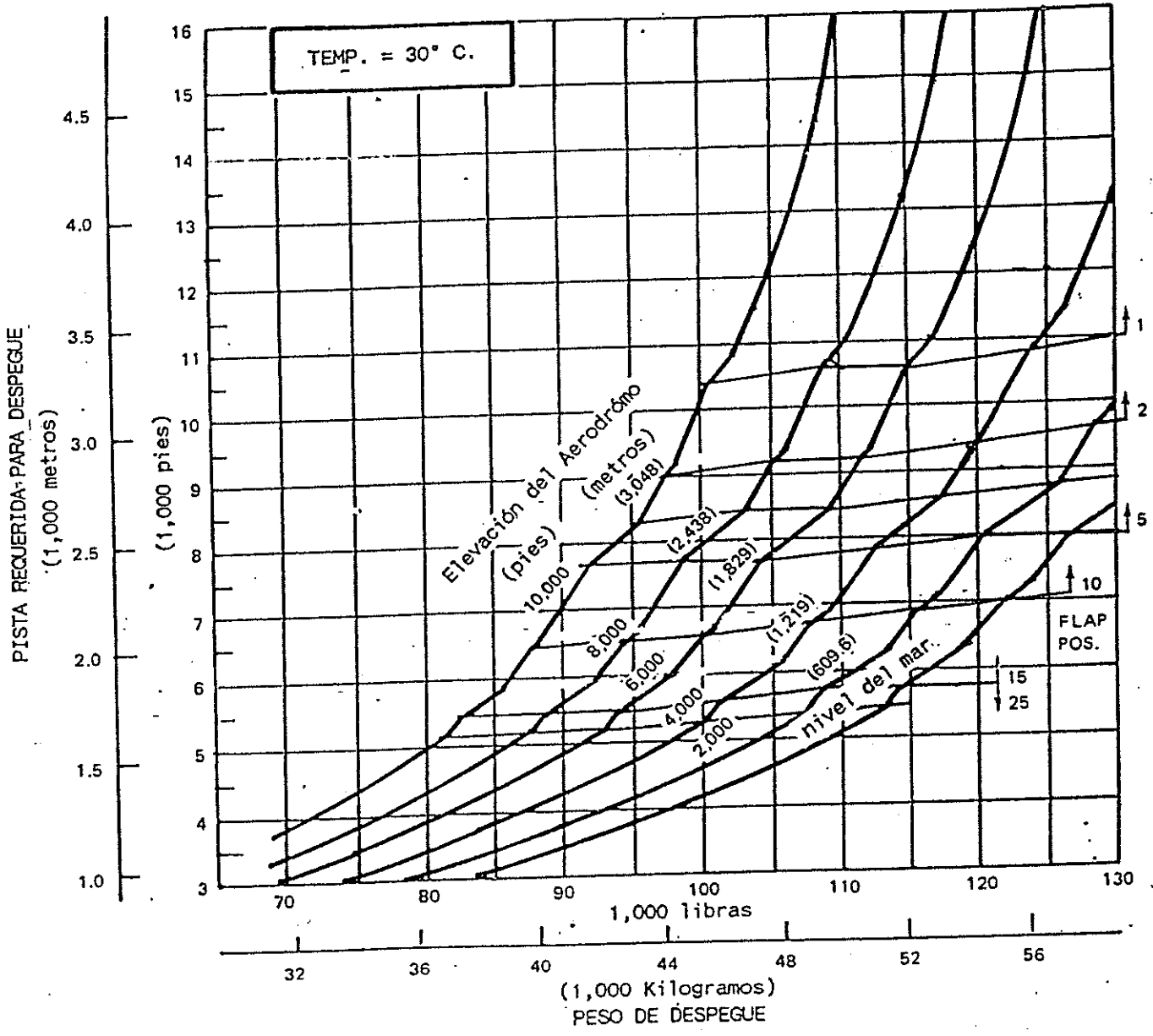
PISTA REQUERIDA PARA DESPEGUE  
(1,000 metros)



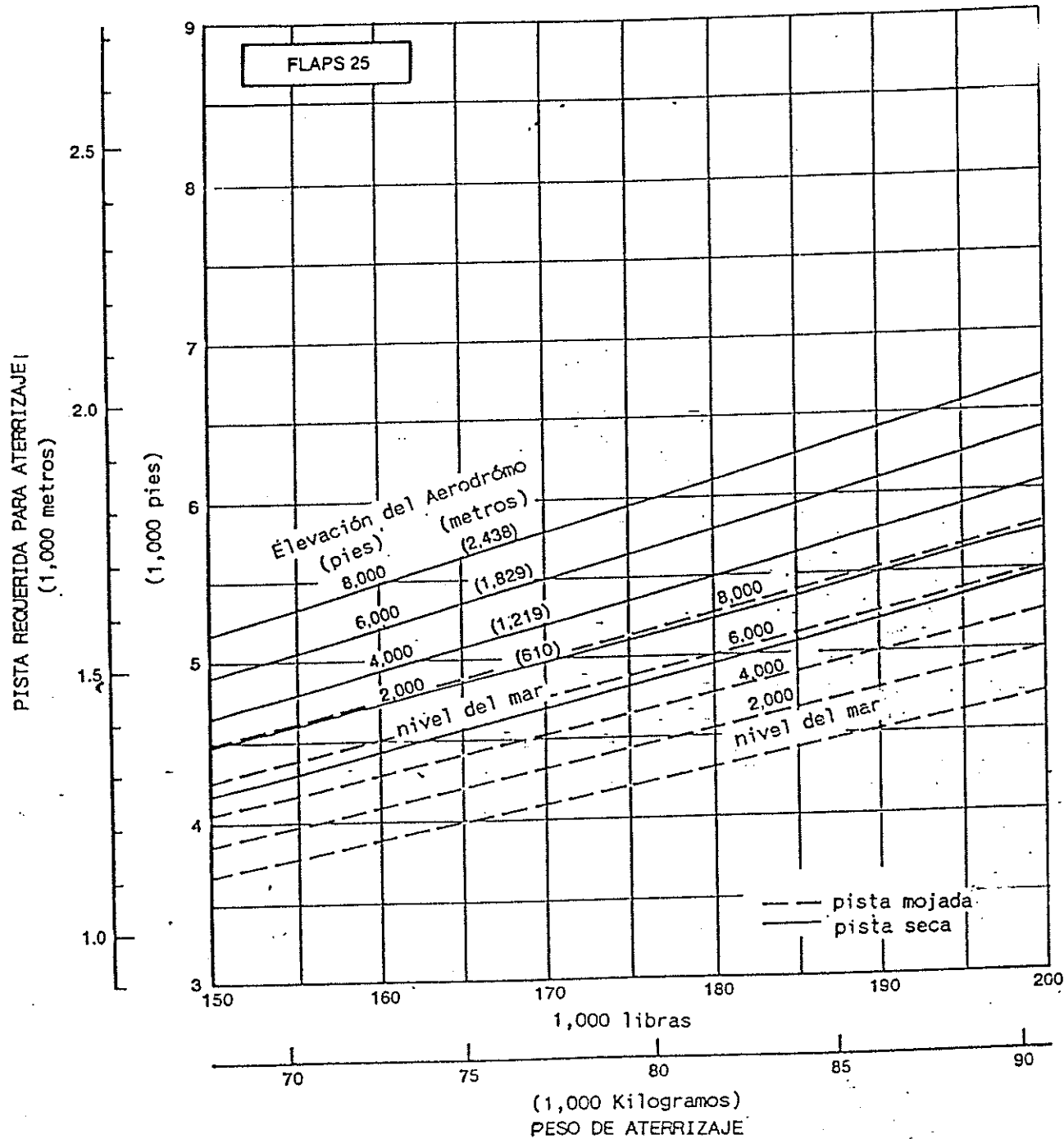
PERFORMANCE DE DESPEGUE  
B O E I N G 7 6 7 - 3 0 0



PERFORMANCE DE ATERRIZAJE  
 B O E I N G 7 3 7 - 2 0 0

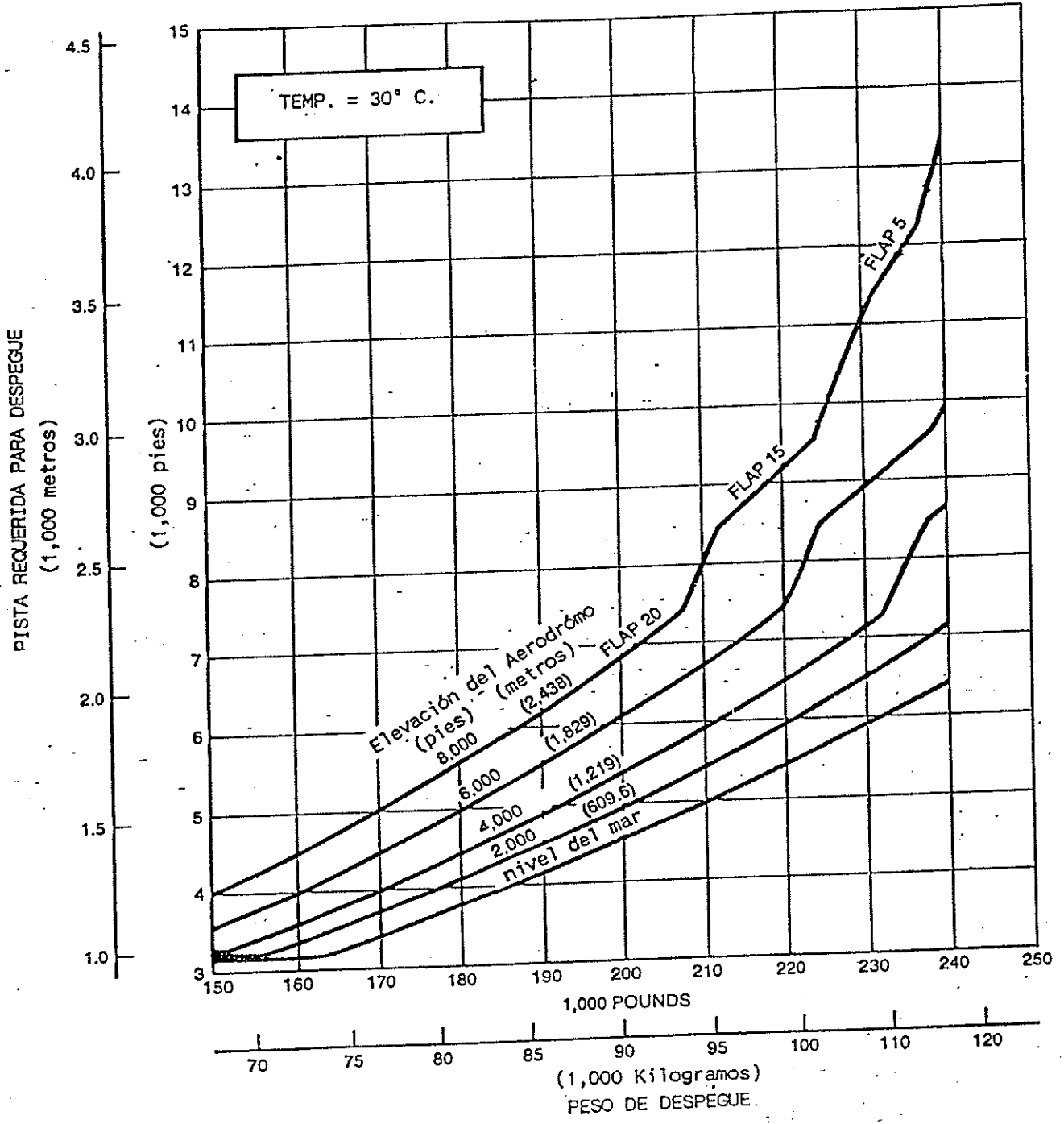


PERFORMANCE DE DESPEGUE  
BOEING 737-200



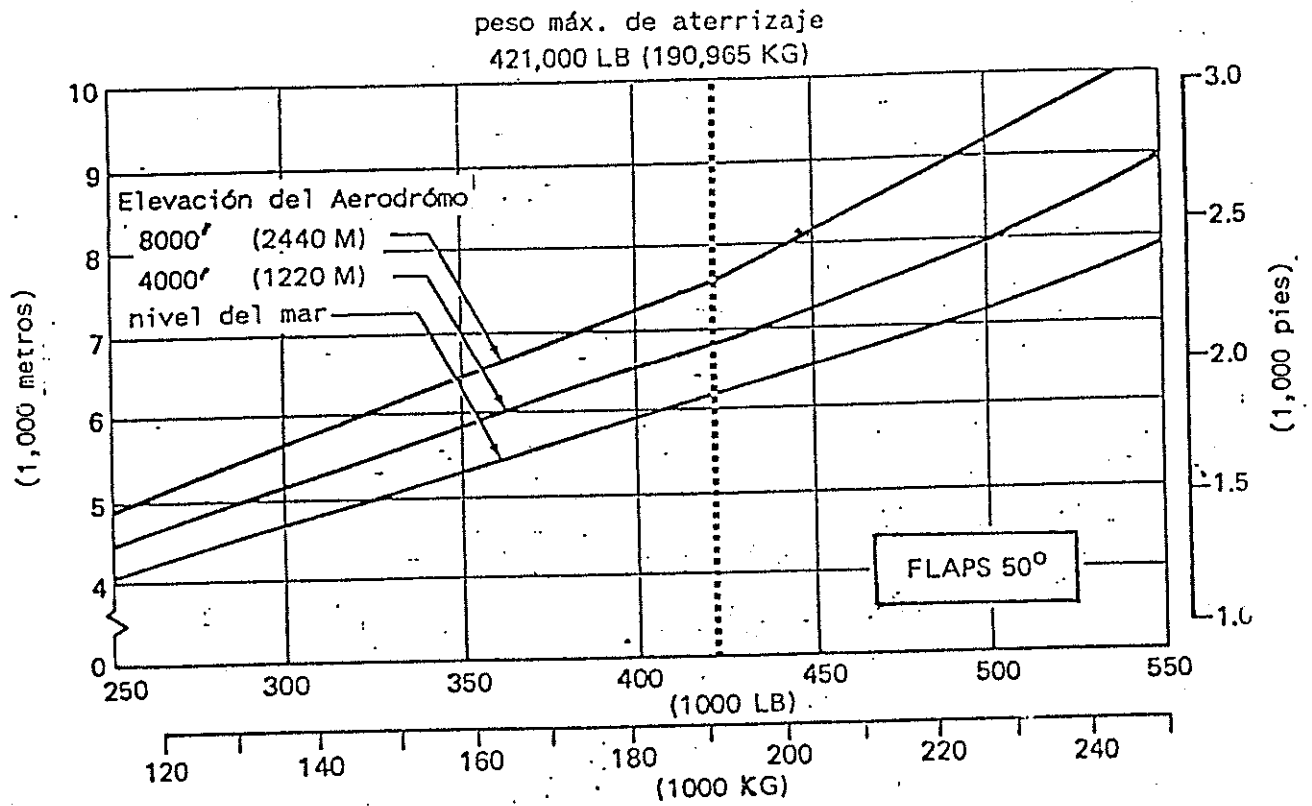
PERFORMANCE DE ATERRIZAJE  
B O E I N G 7 5 7 - 2 0 0





PERFORMANCE DE DESPEGUE  
B O E I N G 7 5 7 - 2 0 0

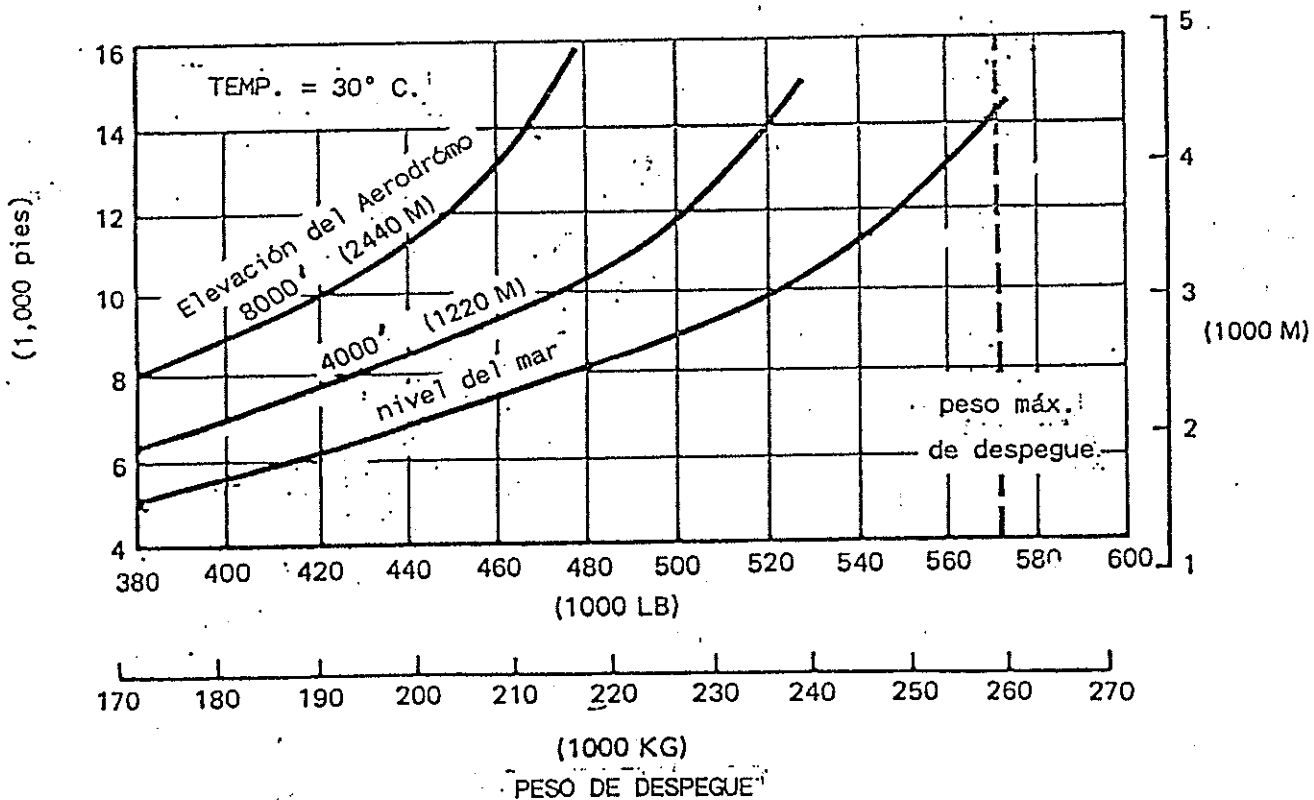
PISTA REQUERIDA PARA ATERRIZAJE



PESO DE ATERRIZAJE

PERFORMANCE DE ATERRIZAJE  
D C - 1 0 - 3 0

PISTA REQUERIDA PARA DESPEGUE



PERFORMANCE DE DESPEGUE  
D C - 1 0 - 3 0

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central