

67



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CALLES DE RODAJE"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
ALEJANDRO GERMAN MORALES DIAZ



21/12/82

CIUDAD UNIVERSITARIA

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

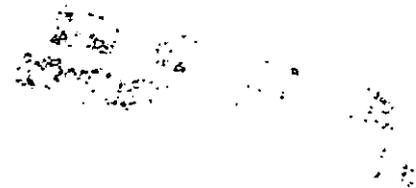


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



A mis padres

Este trabajo es un pequeño reconocimiento a todo el cariño, apoyo, dedicación y paciencia que me han brindado en todo momento, así como las enseñanzas y el ejemplo que he recibido de ustedes.

Por esto y mil razones más gracias papá y mamá.

A mi hermano

Gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Espero seguir contando con tu apoyo, cariño y amistad como lo he hecho hasta ahora.

Ing. Federico Dovalí Ramos

Le agradezco toda su amistad y comprensión, ya que sin su asesoría no hubiese sido posible la realización de este trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/157/97

Señor
ALEJANDRO GERMAN MORALES DIAZ
Presente

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

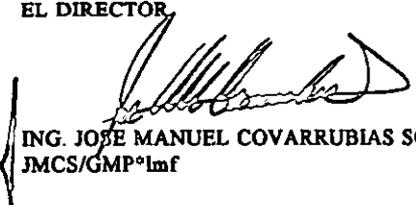
"CALLES DE RODAJE"

- INTRODUCCION**
- I. DESCRIPCION GENERAL DE LOS SISTEMAS DE UN AEROPUERTO**
 - II. ANALISIS DE LAS CALLES DE RODAJE**
 - III. UBICACION Y PROYECTO GEOMETRICO**
 - IV. ANALISIS DE LOS EFECTOS EN LA CAPACIDAD**
 - V. PROYECTO DEL SUBSISTEMA DE CALLES DE RODAJE**
 - VI. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 30 de junio de 1998.
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP°lmf

ÍNDICE

Introducción	I
1.- Descripción General de los Sistemas de un Aeropuerto.	
1.1.- Espacios aéreos.	1
1.2.- Pistas, calles de rodaje y plataformas.	7
1.3.- Edificio de pasajeros.	15
1.4.- Acceso.	19
1.5.- Almacenamiento y distribución de combustible.	21
2.- Análisis de las Calles de Rodaje.	
2.1.- De entrada a pistas.	24
2.2.- De salida de pistas.	25
2.3.- De distribución en plataformas.	29
2.4.- De acceso a hangares y otras zonas de servicio.	30
3.- Ubicación y Proyecto Geométrico.	
3.1.- De entrada. Sencillas y dobles.	31
3.2.- Cálculo de la ubicación de calles de salida.	31
3.3.- Especificaciones.	37
4.- Análisis de los efectos en la capacidad.	
4.1.- Procedimientos de control de tránsito aéreo. Aproximación y aterrizaje, despegue y ascenso.	51
4.2.- Conceptos de capacidad.	57
4.3.- Tiempos de ocupación del servicio.	59
4.4.- Metodologías aplicables.	62
4.5.- Cálculo de capacidad.	73
5.- Proyecto del Subsistema de Calles de Rodaje.	80
6.- Conclusiones.	102
7.- Bibliografía.	104

INTRODUCCIÓN

Un aeropuerto se puede definir como un aeródromo especialmente dispuesto para la llegada y salida de los aviones de línea, para el tránsito de pasajeros y movimiento de carga y para el mantenimiento, aprovisionamiento y reparación de aviones. Dicho aeródromo se encuentra integrado por varios componentes que trabajando conjuntamente hacen que éste pueda funcionar. Uno de estos componentes, que es el tema del presente trabajo, son las calles de rodaje cuya función principal es la suministrar acceso desde las pistas hasta el área de plataforma y servicio de hangares y viceversa.

Como ya se mencionó, un aeropuerto está compuesto por diferentes sistemas; en el Tema 1 se dará una descripción de estos sistemas como lo son los espacios aéreos, las pistas, calles de rodaje, plataformas, el edificio de pasajeros, el acceso hacia el aeropuerto y el almacenamiento y distribución del combustible.

El segundo tema será el análisis de las calles de rodaje de entrada a la pista, las calles de salida de pista, las calles de distribución en la plataforma y las que dan acceso a los hangares y otras zonas de servicio.

En el tercer tema se tratará la ubicación y el proyecto geométrico de las calles de entrada y salida de pista, así como las especificaciones que deben de tenerse en cuenta para su diseño. De la ubicación y el proyecto geométrico de las calles de rodaje depende en gran medida el buen funcionamiento de las pistas, ya que deben seleccionarse los recorridos que posibiliten las distancias más cortas desde la plataforma hasta las cabeceras de pista para el despegue (calles de entrada), así como las calles de salida deben ubicarse de tal manera que los aviones que aterrizan puedan abandonar la pista tan rápidamente como sea posible para dejarla libre al resto de los aviones que vayan a utilizarla.

El cuarto tema tiene que ver con el análisis de la capacidad, para lo cual es necesario describir los procedimientos de control de tránsito aéreo como lo son la aproximación y aterrizaje, el despegue y ascenso de los aviones. Se definirán algunos conceptos de capacidad y los tiempos de ocupación del servicio. Se mostrarán algunas de las metodologías aplicables para el cálculo de la capacidad y posteriormente se hará un cálculo a manera de ejemplo.

En el quinto tema se hará un proyecto del sistema de calles de rodaje, siguiendo los procedimientos y recomendaciones indicados en los temas anteriores.

Finalmente, en el tema 6, se expondrán las conclusiones del tema de calles de rodaje.

1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE UN AEROPUERTO.

1.1.- ESPACIOS AEREOS.

La finalidad de las especificaciones del presente tema es definir el espacio aéreo que debe mantenerse libre de obstáculos alrededor de los aeródromos para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de aviones y evitar que los aeródromos queden inutilizados por la multiplicidad de obstáculos en sus alrededores. Esto se logra mediante una serie de superficies limitadoras de obstáculos que marcan los límites hasta donde los objetos pueden proyectarse en el espacio aéreo.

El Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), define las **superficies limitadoras de obstáculos** de la siguiente forma:

Superficie Cónica.

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

Características- Los límites de la superficie cónica comprenderán:

- a) un borde inferior que coincide con la periferia de la superficie horizontal interna; y
- b) un borde superior situado a una altura determinada sobre la superficie horizontal interna.

La pendiente de la superficie cónica se medirá en un plano vertical perpendicular a la periferia de la superficie horizontal interna correspondiente.

Superficie horizontal interna.

Superficie situada en un plano horizontal sobre un aeródromo y sus alrededores.

Características- El radio o límites exteriores de la superficie horizontal interna se medirán desde el punto o puntos de referencia que se fijen con este fin.

La altura de la superficie horizontal interna se medirá por encima del punto de referencia para la elevación que se fije con este fin.

Superficie de aproximación.

Plano inclinado o combinación de planos anteriores al umbral.

Características- Los límites de la superficie de aproximación serán:

- a) un borde interior de longitud especificada, horizontal y perpendicular a la prolongación del eje de pista y situado a una distancia determinada antes del umbral;
- b) dos lados que parten de los extremos del borde interior y divergen uniformemente en un ángulo determinado respecto a la prolongación del eje de pista; y
- c) un borde exterior paralelo al borde interior.

La elevación del borde interior será igual a la del punto medio del umbral.

La pendiente de la superficie de aproximación se medirá en el plano vertical que contenga al eje de pista.

Superficie de transición.

Superficie que se extiende a lo largo del borde de la franja y parte del borde de la superficie de aproximación, de pendiente ascendente y hacia afuera hasta la superficie horizontal interna.

Características- Los límites de una superficie de transición serán:

- a) un borde inferior que comienza en la intersección del borde de la superficie de aproximación con la superficie horizontal interna y que se extiende siguiendo el borde de la superficie de aproximación hasta el borde interior de la superficie de aproximación y desde allí, por toda la longitud de la franja, paralelamente al eje de pista; y

- b) un borde superior situado en el plano de la superficie horizontal interna.

Superficie de ascenso en el despegue.

Plano inclinado situado más allá del extremo de una pista o zona libre de obstáculos*.

Característica- Los límites de esta superficie serán:

- a) un borde interior, horizontal y perpendicular al eje de pista situado a una distancia especificada más allá del extremo de la pista o al extremo de la zona libre de obstáculos, cuando la hubiere, y su longitud excede a la distancia especificada;
- b) dos lados que parten de los extremos del borde interior y que divergen uniformemente, con un ángulo determinado respecto a la derrota de despegue, hasta una anchura final especificada, manteniendo después dicha anchura a lo largo del resto de la superficie de ascenso en el despegue; y
- c) un borde exterior horizontal y perpendicular a la derrota de despegue especificada.

* *Zona libre de obstáculos.* Área rectangular definida en el terreno o en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada o preparada como área adecuada sobre la cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.

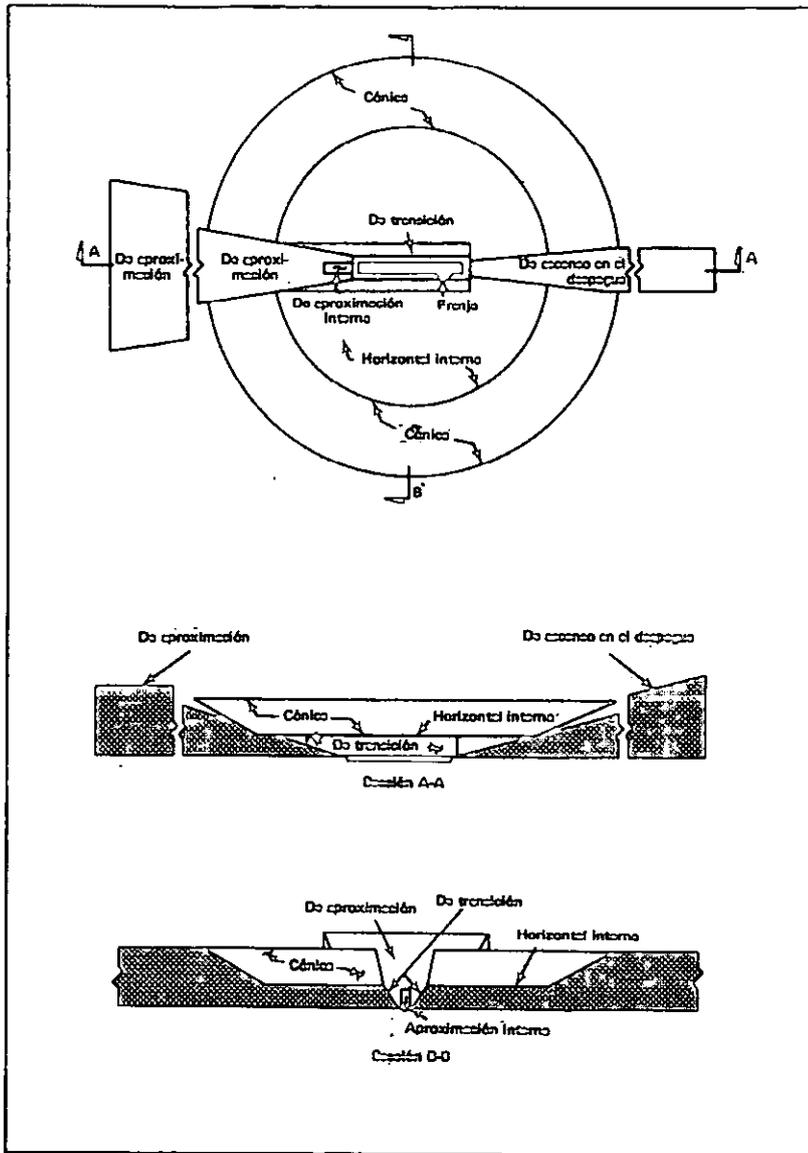


Figura 1.1 Superficies limitadoras de obstáculos

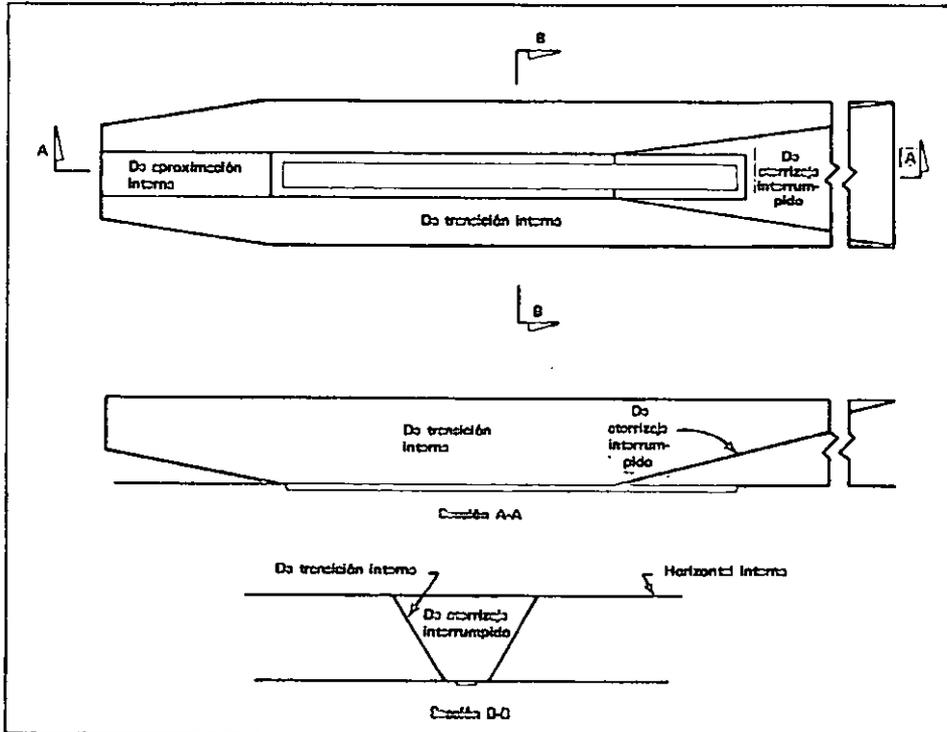


Figura 1.2 Superficies limitadoras de obstáculos de aproximación interna, de transición interna y de aterrizaje interrumpido

Anexo 14 de la OACI

1.2.- PISTAS, CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMAS.

Pistas.

Se define a la pista como un área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

Pista de despegue. Pista destinada exclusivamente a los despegues.

Pista de vuelo por instrumentos. Uno de los siguientes tipos de pista destinados a la operación de aeronaves que utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos:

a) ***Pista para aproximaciones que no sea de precisión.***

Pista de vuelo por instrumentos servida por ayudas visuales y una ayuda no visual que proporciona por lo menos guía direccional adecuada para la aproximación directa.

b) ***Pista para aproximación de precisión de Categoría I.***

Pista de vuelo por instrumentos servida por ILS y/o MLS y por ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión no inferior a 60 m (200 ft) y con una visibilidad de no menos de 800 m o con un alcance visual en la pista no inferior a 550 m.

c) ***Pista para aproximaciones de precisión de Categoría II.***

Pista de vuelo por instrumentos servida por ILS y/o MLS y por ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión inferior a 60 m (200 ft) pero no inferior a 30 m (100 ft) y con un alcance visual en la pista no inferior a 350 m.

d) ***Pista para aproximaciones de precisión de Categoría III.***

Pista de vuelo por instrumentos servida por ILS y/o MLS hasta la superficie de la pista y a lo largo de la misma; y

1 - destinada a operaciones con una altura de decisión inferior a 30 m (100 ft), o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista no inferior a 200 m.

2 - destinada a operaciones con una altura de decisión inferior a 15 m (50 ft), o sin altura de decisión, y un alcance visual en la pista inferior a 200 m pero no inferior a 50 m.

3 - destinada a operaciones sin altura de decisión y sin restricciones de alcance visual en la pista.

Pista de vuelo visual.

Pista destinada a las operaciones de aeronaves que utilicen procedimientos visuales para la aproximación.

Pistas casi paralelas.

Pistas que no se cortan pero cuyas prolongaciones de eje forman un ángulo de convergencia o de divergencia de 15° o menos.

Pista(s) principal(es).

Pista(s) que se utiliza(n) con preferencia a otras siempre que las condiciones lo permitan.

Calles de rodaje.

Se define como calle de rodaje a la vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:

a) *Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave.*

Es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente.

b) *Calle de rodaje en la plataforma.*

Es la parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.

c) Calle de rodaje de entrada a pista.

Calle de rodaje que sirve para que el avión ingrese a la pista previo al despegue.

d) Calle de salida rápida.

Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.

e) Tipos de calles de desviación.

En general, las calles de rodaje que permiten que una aeronave adelante a otra aeronave que la precede, pueden dividirse en tres tipos, según sus características:

1. Apartaderos de espera. Área definida en la que puede detenerse una aeronave, para esperar o dejar paso a otras.
2. Calles de rodaje dobles. Una segunda calle de rodaje o una calle de desviación que permite evitar la calle de rodaje paralela normal.
3. Entradas dobles de pistas. Una duplicación de la entrada a la pista por calles de rodaje.

Plataforma.

Por plataforma se entiende una zona definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. La plataforma suele estar pavimentada; en algunos casos, una plataforma provista de césped puede ser adecuada para aeronaves pequeñas.

Tipos de plataformas:***Plataforma del edificio de pasajeros.***

Es una zona designada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves que está situada junto a las instalaciones del edificio de pasajeros o que ofrece fácil acceso a las mismas. Desde esta zona los pasajeros salen del edificio, embarcan y desembarcan de la aeronave. Esta plataforma

facilita el movimiento de pasajeros y se utiliza para el abastecimiento de combustible y mantenimiento básico mínimo de aeronaves, así como para el embarque y desembarque de carga, correo y equipaje. Cada uno de los lugares de estacionamiento de aeronaves en la plataforma se denomina puesto de estacionamiento de aeronaves.

Plataforma del edificio de carga.

Puede establecerse una plataforma destinada para las aeronaves que sólo transportan carga y correo situada junto a un edificio de carga. Es conveniente separar las aeronaves exclusivas de carga de las de pasajeros debido a los distintos tipos de instalaciones que cada una de ellas necesita en la plataforma.

Plataforma de estacionamiento.

En los aeropuertos puede necesitarse adicionalmente una plataforma de estacionamiento, donde las aeronaves puedan permanecer estacionadas durante largos períodos. Estas plataformas pueden utilizarse durante la parada-estancia de la tripulación o mientras se efectúa el servicio y mantenimiento periódico menor de aeronaves que se encuentran temporalmente fuera de servicio. Aunque las plataformas de estacionamiento se encuentran separadas de las plataformas de embarque - desembarque, deberán emplazarse lo más cerca posible de éstas.

Plataformas de servicio y de hangares.

Una plataforma de servicio es una zona descubierta adyacente a un hangar de reparaciones en la que puede efectuarse el mantenimiento de aeronaves, mientras que una plataforma de hangar es una zona desde la cual las aeronaves entran y salen de un hangar.

Plataformas para la aviación general.

Para las aeronaves de la aviación general, utilizadas en vuelos de negocios o de carácter personal, se necesitan varias categorías de plataformas a fin de atender las distintas actividades de la aviación general.

Plataforma temporal

Las aeronaves de la aviación general en tránsito (estadía transitoria) utilizan este tipo de plataforma como lugar de estacionamiento temporal, así como para el acceso a las instalaciones de abastecimiento de combustible, servicio de las aeronaves y transporte terrestre. En los aeródromos utilizados solamente por las aeronaves de la aviación general, la plataforma temporal suele estar junto a un área perteneciente a un explotador que tiene su base con carácter fijo en el aeródromo, o bien dentro de dicha área. En la plataforma de la terminal, por lo general, se destinará una zona a las aeronaves de la aviación general en tránsito.

Plataformas o puntos de amarre de aeronaves que tienen su base en un aeródromo.

Las aeronaves de la aviación general que tienen su base en un aeródromo necesitan ya sea hangares de aparcamiento o puntos de amarre al descubierto. Las aeronaves que se hallan aparcadas en un hangar necesitan también una plataforma enfrente del edificio para efectuar maniobras. Las zonas al descubierto utilizadas para el amarre de aeronaves que tienen su base fija en el aeródromo, pueden ser pavimentadas, no pavimentadas, o cubiertas de césped, según el tamaño de las aeronaves, las condiciones meteorológicas locales y el estado del suelo. Es conveniente que estén ubicadas en emplazamientos separados de las plataformas utilizadas por las aeronaves en tránsito.

Otras plataformas de servicio en tierra.

Deberían también establecerse, en la medida necesaria, zonas para llevar a cabo las operaciones de servicio, abastecimiento de combustible y carga y descarga.

Conceptos sobre las plataformas en el edificio de pasajeros.

El diseño de las plataformas en el edificio de pasajeros se relaciona directamente con el concepto del edificio de pasajeros. A continuación se describen brevemente las características de cada concepto desde el punto de vista de la plataforma:

Concepto Simple.

Este concepto se ha de aplicar en los aeropuertos de bajo volumen de tránsito. Las aeronaves se estacionan normalmente en ángulo, con la proa hacia adentro o hacia afuera, entrando y saliendo por sus propios medios.

Concepto Lineal.

Las aeronaves pueden estacionarse en configuración angular o paralela. La entrada de las aeronaves es por medios propios mientras que en la salida es necesario la ayuda de tractores con operadores hábiles.

Concepto del Espigón.

Las aeronaves pueden estacionarse en los puestos de embarque a ambos lados del espigón, sea en ángulo, en paralelo o perpendiculares (proa hacia adentro). En caso de haber un solo espigón, la mayoría de las ventajas del concepto lineal se aplicarían a las actividades en la parte aeronáutica. En caso de haber dos o más espigones, es preciso dejar espacio suficiente entre los mismos.

Concepto de Satélite.

El concepto de satélite consiste en una unidad satélite rodeada por puestos de embarque, separada del edificio de pasajeros. El acceso de los pasajeros a una unidad satélite a partir del edificio de pasajeros se realiza normalmente por vía subterránea o mediante un corredor elevado, con el propósito de aprovechar mejor el espacio de la plataforma, aunque también podría realizarse en la superficie. Según la forma de la unidad satélite, las aeronaves se estacionan en forma radial, paralela o siguiendo otras configuraciones alrededor del satélite.

Concepto del Transbordador (plataforma abierta).

Este concepto puede denominarse de plataforma abierta o remota o concepto de transbordador. Como el emplazamiento ideal de las plataformas para las aeronaves es en la proximidad de las pistas y lejos de las demás estructuras, este concepto depararía ventajas para las aeronaves, por ejemplo, menor distancia total de rodaje, maniobras sencillas de las aeronaves por sus propios medios, etc. Sin embargo, como requiere el transporte de pasajeros, equipaje y carga a distancias relativamente mayores en transbordadores desde el edificio de pasajeros y hacia el mismo, puede crear problemas de congestión del tráfico en la parte aeronáutica.

Concepto Híbrido.

En el concepto híbrido se combinan algunos de los conceptos mencionados anteriormente. Es bastante frecuente combinar el concepto de transbordador con uno de los otros, con objeto de atender el tráfico durante los períodos de mayor intensidad.

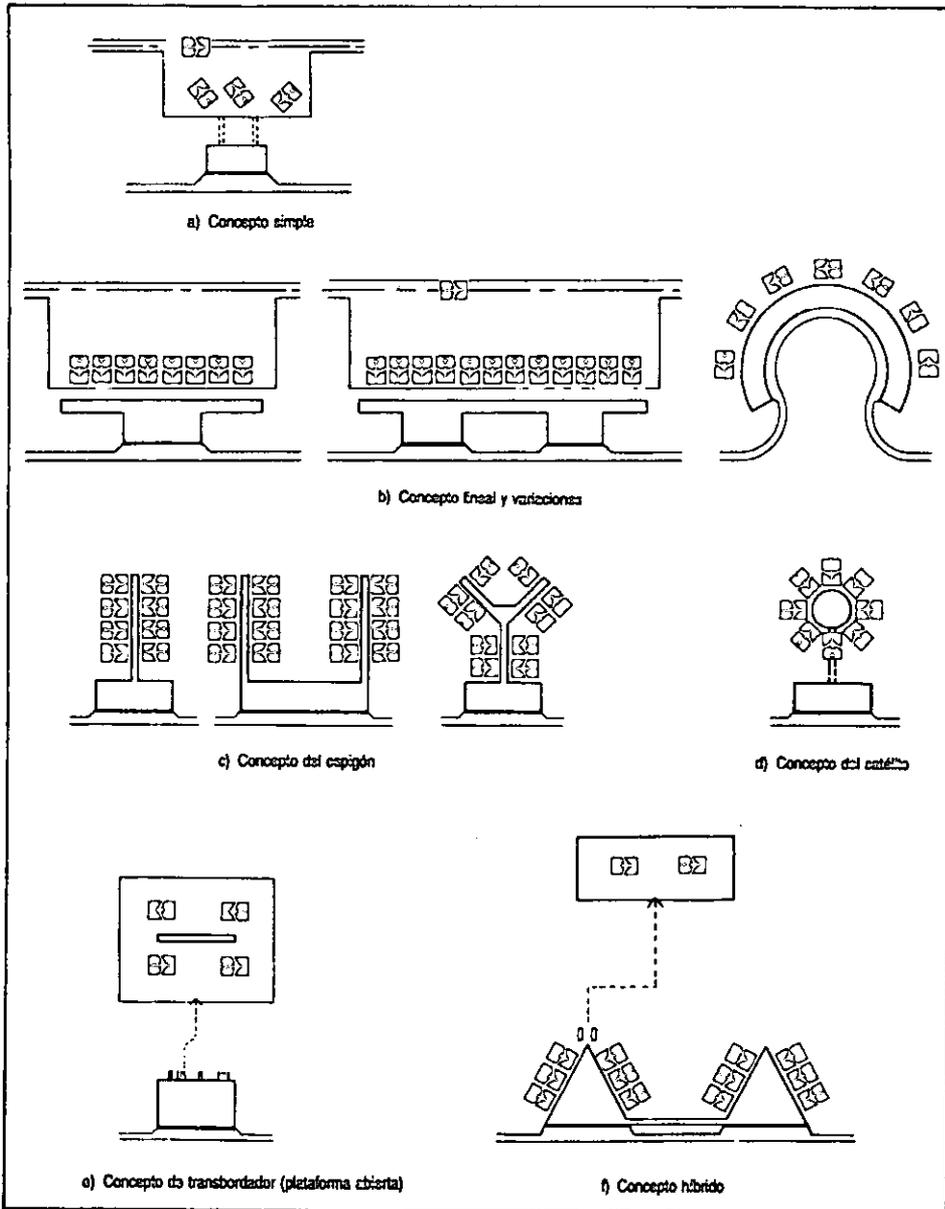


Figura 1.4 Conceptos sobre las plataformas del edificio de pasajeros

1.3.- EDIFICIO DE PASAJEROS.

El edificio de pasajeros es la parte principal de conexión entre el campo de vuelos y la zona terrestre. Incluye las instalaciones para el movimiento de pasajeros, manejo de la carga, conservación y administración del aeropuerto.

Sistema de tratamiento de pasajeros.

La conexión principal entre el acceso al aeropuerto y el avión es el sistema de tratamiento de pasajeros; su propósito es: 1) establecer enlace con el modo de acceso del pasajero al aeropuerto, 2) acoger al viajero que inicia o acaba un viaje aéreo y 3) transportarlo desde o hacia el avión.

Componentes de este sistema.

El sistema de tratamiento de pasajeros se compone de tres partes principales. Estas y las actividades que tienen lugar cada una de ellas son las siguientes:

1.- Conexión con los accesos.

El pasajero pasa de su modo de viaje en que accede al aeropuerto a la componente de tramitación de pasajeros. Las actividades que tienen lugar son: circulación, estacionamiento y subida y bajada de pasajeros en la acera del edificio de pasajeros.

2.- Tramitación.

En este componente el viajero realiza los trámites necesarios para iniciar o acabar un vuelo. Las actividades principales que tienen lugar aquí son: la expedición de boletos, la facturación del equipaje, recogida del equipaje y control.

3.- Conexión con el vuelo.

El viajero pasa, una vez realizados sus trámites, al avión. Las actividades que tienen lugar en esta componente son: la concentración de viajeros, traslado al y desde el avión y embarque-desembarque del pasaje.

Instalaciones necesarias para el tratamiento de pasajeros.

Para llevar a cabo las funciones encomendadas a este sistema se necesita de una serie de instalaciones, que según cada etapa son las siguientes:

1.- Conexión con los accesos:

- a) Aceras en las llegadas y salidas para la subida y bajada de aquellos pasajeros que utilizan el automóvil como modo de acceso al aeropuerto.
- b) Conexiones suficientes con los diferentes estacionamientos de automóviles situados en el aeropuerto, tales como pasillos, autobuses o sistemas de transporte automático.
- c) Instalaciones para embarque y desembarque de pasajeros que utilizan transportes colectivos de acceso al aeropuerto; tales como paradas de autobuses y andenes para trenes rápidos (metro).

2.- Tramitación.

Con objeto de atender a las principales actividades, deben de preverse las instalaciones siguientes:

- a) Mostradores para la expedición de boletos y facturación de equipajes por las compañías aéreas.
- b) Mostradores para actividades de control tales como: seguridad, aduanas, sanidad e inmigración.
- c) Instalaciones para la recogida de los equipajes.

Para poder atender todas las actividades mencionadas se necesita otra serie de instalaciones tales como:

- a) Espacio suficiente para la circulación de los pasajeros.
- b) Salas de espera y descanso.
- c) Esparcimientos, incluyendo lavabos, teléfonos públicos, guarderías, enfermería, correos y reservas de hoteles.
- d) Indicadores de los vuelos regulares y otros anuncios relacionados con los vuelos; así como las direcciones dentro de los edificios terminales.
- e) Instalaciones para el consumo de alimentos y bebidas, incluyendo restaurantes, cafeterías, bares y máquinas de alimentos.
- f) Concesiones, incluyendo puestos de periódicos, tiendas, bancos, alquiler de coches, seguros y tiendas libres de impuestos (en los aeropuertos internacionales).
- g) Instalaciones para los visitantes, terrazas y salones especiales.

3.- Conexión con el vuelo.

En esta última parte son necesarias las instalaciones siguientes:

- a) Espacio para reunir a los pasajeros ante las puertas de salida hacia el avión.
- b) Medios de transporte, incluyendo escaleras mecánicas, bandas transportadoras, autobuses o cualquier otro medio, dependiendo del concepto que se haya utilizado en el tratamiento de pasajeros.
- c) Instalaciones de carga, incluyendo pasarelas telescópicas, escaleras o escaleras mecánicas.
- d) Medios de transporte para pasajeros en tránsito, incluyendo corredores y zonas de espera.

Instalaciones para las actividades de las compañías aéreas.

El edificio que alberga las instalaciones correspondientes al tránsito de pasajeros, también debe tener espacios para las necesidades de las líneas aéreas y que incluyen:

- a) Espacio para despachos adyacentes a los mostradores que atienden a los pasajeros.
- b) Instalaciones para la manutención del equipaje, incluyendo bandas transportadoras, equipo de clasificación y tractores para el transporte del equipaje.
- c) Instalaciones de telecomunicación.
- d) Oficinas de expediciones, en las que se planifican las actividades relacionadas con el avión, tal como el plan de vuelo.

Instalaciones para la administración y funciones de gobierno.

Aunque la administración y funciones de gobierno de un aeropuerto no tienen por qué situarse en el edificio de pasajeros, sí es necesario disponer de espacio para aquellas actividades que necesitan estar próximas al sistema de tratamiento de pasajeros. Las instalaciones incluyen:

- a) Oficinas para el personal de seguridad.
- b) Oficinas para el personal de inmigración y aduanas.
- c) Instalaciones para un sistema de altavoces.
- d) Espacio para albergar el equipo de mantenimiento y personal.

Concepto de tratamiento de pasajeros.

Existen diversas formas de posible ordenación física de las instalaciones para el sistema de tratamiento de pasajeros y de desarrollar las diferentes actividades del mismo. El término "Proceso centralizado de pasajeros" significa que todas las instalaciones del sistema están albergadas en un edificio y se emplean para procesar a todos los pasajeros que utilizan el mismo. Por otra parte, "Proceso descentralizador", significa que las instalaciones para tratamiento de pasajeros se agrupan en pequeñas unidades modulares que se repiten en uno o más edificios. Cada una de estas unidades funciona junto a una o más puertas de salida y sirve a los pasajeros que utilizan estas puertas.

1.4.- ACCESO.

Acceso por tierra.

Los accesos a los aeropuertos no sólo son necesarios para los pasajeros de las líneas aéreas, sino también para otros usuarios; tales como empleados, visitantes, camiones que transportan mercancías y personas que tienen relaciones comerciales con el aeropuerto. Deben considerarse todos los medios de acceso al aeropuerto.

Estadísticamente se ha demostrado que el automóvil particular es la forma más corriente de llegar a un aeropuerto incluyendo los pasajeros y los empleados. Se espera que esta tendencia continuará en un futuro a pesar de la gran multitud de personas en tránsito. Aunque la carga aérea va creciendo rápidamente, el tráfico de camiones no es el mayor contribuyente al tránsito del aeropuerto. Por otra parte, el número de viajes realizados por los empleados del aeropuerto, en algunas ocasiones es mayor que el número generado por los pasajeros. Ello depende de la gran magnitud de las instalaciones y servicios de mantenimiento del aeropuerto.

El punto de partida para poder estimar el tránsito terrestre que se genera debido a los pasajeros por vía aérea es una consecuencia de la previsión del tránsito aéreo futuro. Resulta necesario tener una previsión de la distribución diaria de la demanda de pasajeros en cuanto a embarque y desembarque de los mismos, por lo menos en las horas punta del día. El siguiente paso es el de estimar el modo de división del transporte terrestre entre las diferentes opciones disponibles, en las que se incluyen los automóviles particulares y los taxis.

Después de estimar un modelo divisionario, resulta necesario estimar el grado de ocupación de cada uno de ellos (por ejemplo 1.5 ocupantes por cada coche particular). Una vez obtenida la forma de llegar al aeropuerto los pasajeros del avión y la ocupación media por modo utilizado, puede determinarse el número de vehículos que originan tales pasajeros. Utilizando las normas de capacidad de carreteras puede definirse el número de vías tráfico que se requieren.

Como se dijo anteriormente, el tránsito generado por los empleados del aeropuerto durante las horas punta puede exceder al generado por los pasajeros y visitantes. Esto hace necesario el considerar el acceso de los

empleados por separado, ya que normalmente tienen un diferente origen - destino que puede influir sobre las condiciones de acceso.

Los estudios realizados han demostrado que no existe una gran relación entre el número de empleados de un aeropuerto y el total anual de pasajeros por aire.

Una vez que se conoce el volumen total de tránsito que entra en un aeropuerto, se le debe asignar un espacio dentro de los límites de aquél. Es esencial el que el tránsito de vehículos en el área del edificio de pasajeros esté bien planificado, ya que si no se producirían problemas de congestión y demoras.

La circulación del tránsito en un aeropuerto debe de hacerse en una sola dirección, es decir, no debe haber vehículos en contrasentido. Las calles deben de ser lo suficientemente anchas que permitan el cruce. Las indicaciones sobre llegada y salida de aviones de las distintas líneas aéreas, así como los servicios de estacionamiento, deben de ser lo suficientemente claras, tener el tamaño idóneo y en la proporción necesaria en cuanto a número de señales se refiere.

Los accesos para peatones deben de ser directos, bien señalizados e iluminados adecuadamente. Debe de preverse la existencia de andenes cubiertos tanto en los estacionamientos como en la entrada al edificio de pasajeros si existen muchas posibilidades de que haga mal tiempo y las distancias a recorrer sean largas.

1.5.- ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.

Distribución de combustible a los aviones.

Los aviones recargan combustible en la plataforma de estacionamiento utilizando: 1) camiones cisterna, 2) depósitos auxiliares de combustible y 3) sistemas de hidrantes.

En los aeropuertos pequeños e incluso en algunos de los grandes, prevalece el uso de camiones cisterna, aunque la tendencia se inclina a favor del sistema de hidrantes; sobre todo en los aeropuertos que requieren grandes cantidades de combustible.

La ventaja principal que ofrecen los camiones cisterna es su flexibilidad, ya que los aviones pueden repostar en cualquier lugar de la plataforma de estacionamiento; el número de camiones cisterna puede aumentar o disminuir según las necesidades y además este sistema es relativamente económico desde el punto de vista de la gerencia del aeropuerto y de las compañías aéreas. Existen, sin embargo, una serie de desventajas que van asociadas con el empleo de camiones cisterna. Para los grandes aviones, se necesitan a veces unidades de reserva, por si las necesidades de suministro son muy grandes. Esto significa, que durante los períodos punta existen sobre la plataforma de estacionamiento un gran número de vehículos, creándose un peligro de colisión, al personal, a otros vehículos y a los aviones.

Además las cisternas son grandes y ocupan un espacio importante en el área de las operaciones. Cuando una cisterna está vacía, debe volver al área de almacenaje para cargar nuevamente, antes de ser utilizada de nuevo; por lo tanto, debe disponerse de un número extra de cisternas durante el tiempo en que las otras están llenándose. Hay que proporcionar espacio para el estacionamiento de las cisternas cuando no se están utilizando.

Otro método de suministro de combustible, es el de instalar tuberías, que salgan de un área central de almacenaje de combustible y que lleguen a los depósitos auxiliares que se encuentran enterrados cerca de las posiciones

de la plataforma de estacionamiento. Cada depósito tiene su contador, un separador de aire, un carretel de manguera y un filtro. El combustible se transfiere a los depósitos auxiliares mediante bombas situadas en los tanques de almacenamiento. Estos depósitos deben de localizarse relativamente cerca de las tomas de combustible en las alas de las aeronaves. Cuando un avión se encuentra situado en la plataforma de estacionamiento, se quita la tapa del depósito, se deslía la manguera y se comienza el suministro. Las ventajas que ofrecen los depósitos auxiliares de combustible, es que se consigue suministro continuo en todo momento, se transporta bajo el suelo con toda seguridad y se elimina el ir y venir de las cisternas por la plataforma de estacionamiento. Las desventajas, son que se requieren un contador, una manguera, un filtro, etc., para cada uno de los depósitos; por lo tanto, se repiten los equipos. Además, puede ocurrir que los futuros cambios en las operaciones del aeropuerto, requieran cambios importantes en las instalaciones. Debido a la necesidad de construir el depósito de concreto o acero, los costos de mantenimiento pueden ser elevados debido a la humedad. Si se utilizan depósitos auxiliares, deberán ventilarse debidamente para evitar la acumulación de los peligrosos vapores del combustible.

Los depósitos son convenientes cuando las cantidades de combustible requeridas por el avión son pequeñas, pero en el caso de gran demanda, el equipo (tamaño de manguera, filtro, contador, etc.) es mucho más voluminoso y se necesita además un depósito de mayores dimensiones con una tapa mucho más resistente. Es por esta razón, por la que los grandes aviones, normalmente, no se aprovisionan mediante depósitos.

El sistema de hidrantes cumple los mismos objetivos que los depósitos, pero es mucho más sencillo en cuanto a instalación se refiere. Por esta razón es mucho más corriente su empleo. En esencia el sistema de hidrantes consta de los mismos elementos que el de depósitos de combustible, excepto que el depósito se reemplaza por una válvula especial que va montada en una arqueta en el pavimento y enrasada con la superficie. La manguera, contador, filtro y eliminador de aire, van situados en un distribuidor móvil autónomo o remolcado.

Las ventajas principales de este sistema, son las mismas que las del sistema de depósitos; pero además hay que añadir, la de que se elimina la repetición de equipos que antes se necesitaban para cada depósito, se elimina la necesidad de mantenimiento que tenían éstos y se mejora algo más la flexibilidad, en lo que se refiere a situar la aeronave. El inconveniente principal reside en que no desaparecen por completo los vehículos de la

plataforma de estacionamiento. Sin embargo, se reduce al mínimo la posibilidad de colisión, debido al menor tamaño de los distribuidores.

Almacenamiento.

Las cantidades de combustible que se requieren en muchos aeropuertos son tan grandes, que aún sin tener en cuenta el tipo de sistema de aprovisionamiento que se utilice, es necesario disponer de un área central de almacenamiento de combustible dentro del aeropuerto. Si se utiliza el sistema de depósito o de hidrantes, hay que prever una instalación de tuberías desde el área de almacenamiento hasta la plataforma de estacionamiento.

Seguridad.

Al diseñarse una plataforma deberán tomarse en cuenta los procedimientos de seguridad relativos a las aeronaves que realizan maniobras en la misma. La seguridad en este contexto entraña que las aeronaves mantengan las distancias libres especificadas y sigan los procedimientos establecidos para entrar en las áreas de plataformas, desplazarse dentro de las mismas y salir de ellas. Los servicios que se proporcionan a las aeronaves estacionadas en la plataforma deberán también incluir procedimientos de seguridad, especialmente con respecto al abastecimiento de combustible. Los pavimentos deberán tener un declive a partir de los edificios de la terminal y otras estructuras para impedir la propagación de incendios resultantes de los vertidos de combustible en la plataforma. En cada puesto de estacionamiento deberán instalarse tomas de agua principalmente para control de incendios eventuales.

2.- ANÁLISIS DE LAS CALLES DE RODAJE.

El diseño del sistema de calles de rodaje deberá ser tal que reduzca al mínimo las restricciones a los movimientos de aeronaves entre las pistas y las plataformas. En un sistema con el diseño adecuado debe mantenerse un flujo uniforme y continuo del tránsito de aeronaves en tierra a la velocidad máxima factible con un mínimo de puntos en que sea preciso acelerar o desacelerar. Este requisito garantiza que el sistema de calles de rodaje funcionará con el más elevado grado de seguridad y eficacia.

En todo aeropuerto, el sistema de calles de rodaje debe tener la capacidad de atender (sin demoras significativas) el volumen de llegadas y salidas de aeronaves que puede aceptar el sistema de pistas. Cuando la utilización de las pistas es reducida, esto se logra con un mínimo de componentes del sistema de calles de rodaje. Sin embargo, a medida que aumenta el régimen de aceptación de las pistas, hay que ampliar suficientemente la capacidad del sistema de calles de rodaje con objeto de evitar que este factor limite la capacidad del aeropuerto. En el caso extremo de que se produzca una saturación de la capacidad de las pistas, ocasión en que las aeronaves llegan y salen con una separación mínima, el sistema de calles de rodaje debe permitir que las aeronaves salgan de la pista tan pronto como sea factible después de aterrizar y que entren en la misma inmediatamente antes de despegar. Se logra así que los movimientos de aeronaves en la pista se efectúen con una mínima separación.

2.1.- DE ENTRADA A PISTAS.

Por lo general, una sola entrada en cada extremo de la pista es suficiente para atender los despegues. Sin embargo, si el volumen del tránsito lo justifica, debe considerarse la utilización de desviaciones, apartaderos de espera, o calles dobles de entrada a la pista.

2.2.- DE SALIDA DE PISTAS.

Los siguientes son principios aplicables a dichos componentes del sistema de calles de rodaje:

- a) La función de las calles de salida es reducir el tiempo de ocupación de la pista por las aeronaves que aterrizan. Teóricamente, las calles de salida pueden situarse de modo que sirvan lo mejor posible a cada tipo de aeronave a que se destina la pista. En la práctica, la separación y número óptimos se determinan agrupando a las aeronaves en un número limitado de clases, basándose en la velocidad de aterrizaje y la desaceleración después de la toma de contacto;
- b) La calle de salida debe permitir a una aeronave salir de la pista sin restricción alguna hasta un punto situado fuera de la pista, permitiendo de esta manera efectuar lo antes posible otra operación en ella;
- c) La calle de salida puede estar ya sea en ángulo recto o en ángulo agudo respecto a la pista (calles de salida rápida). En el primer caso la aeronave tiene que reducir considerablemente la velocidad antes de efectuar el viraje de salida de la pista, mientras que en el segundo caso las aeronaves pueden salir de la pista a una velocidad mayor, reduciéndose así el tiempo de ocupación de la pista y aumentando la capacidad de la misma.

Calles de salida rápida.

Por calle de salida rápida se entiende una calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está diseñada de modo que permite a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que logran en otras calles de rodaje de salida, reduciéndose así al mínimo el tiempo de ocupación de la pista y de este modo, aumentar la capacidad del aeródromo.

La decisión de diseñar y construir una calle de salida rápida se basa en los análisis del tránsito existente y previsto. Cuando se calcula que la densidad correspondiente a la hora de mayor densidad de tráfico es inferior a unas 25 operaciones* (aterrizajes y despegues), puede ser suficiente la calle de salida en ángulo recto. Esta última es de construcción menos onerosa y si ocupa un buen emplazamiento en la pista, asegura la fluidez del tránsito.

* Dato obtenido del Manual de Diseño de Aeródromos, parte 2, de la OACI.

El establecimiento de una norma mundial única para el diseño 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 han establecido en el Anexo 14 (Normas y Métodos Recomendados Internacionales para Aeródromos y en el Manual de Diseño de Aeródromos; Doc. 9157, parte 2,) parámetros de diseño para un grupo de calles de salida relacionadas con una pista para el número de clave 1 ó 2 y otro grupo para el número de clave 3 ó 4. Desde que han empezado a utilizarse las calles de salida rápida, se han llevado a cabo ensayos en el terreno y estudios adicionales para determinar la utilización de las calles de rodaje, el emplazamiento y el diseño de las calles de salida y el tiempo de ocupación de la pista. La evaluación de esta información ha dado lugar a la elaboración de criterios en materia de emplazamiento y diseño de las calles de salida teniendo en cuenta determinadas categorías de aeronaves a velocidades relativamente altas.

Existen algunas diferencias de opinión con respecto a la velocidad a la que los pilotos utilizan las calles de salida rápida. Aun cuando se ha inferido de ciertos estudios que estas calles de rodaje se utilizan normalmente a velocidades no superiores a los 46 km/h (29 mph), e incluso en algunos casos a velocidades inferiores cuando existen malas condiciones de frenado o fuertes vientos de costado. Las mediciones efectuadas en otros aeródromos han demostrado que se utilizan a velocidades del orden de 92 km/h (57 mph) para determinar los radios de las curvas y las partes rectas adyacentes de las calles de salida rápida cuando el número de clave es 3 ó 4.

En todo caso, la utilización óptima de las salidas rápidas depende también de la habilidad del piloto.

Emplazamiento y número de calles de salida.

El emplazamiento de las calles de salida en relación con las características operacionales de las aeronaves está determinado por el régimen de deceleración de las aeronaves luego de cruzar el umbral. Para determinar la distancia respecto al umbral, deberán tomarse en cuenta las siguientes condiciones básicas:

- a) la velocidad al pasar sobre el umbral,
- b) la velocidad en el toque de ruedas, y
- c) la desaceleración al punto de tangencia de la curva de salida (punto de salida).

A los efectos del diseño de las calles de salida, se supone que las aeronaves cruzan el umbral a una velocidad promedio equivalente a 1.3 veces la velocidad de pérdida en la configuración de aterrizaje con la masa de aterrizaje máxima certificada con una masa bruta de aterrizaje media de aproximadamente el 85% del máximo. Por otra parte, se puede agrupar a las aeronaves basándose en su velocidad en el umbral al nivel del mar, como sigue:

- Grupo A - menos de 169 km/h (105 mph)
- Grupo B - entre 169 km/h y 222 km/h (105 mph y 138 mph)
- Grupo C - entre 224 km/h y 259 km/h (139 mph y 161 mph)
- Grupo D - entre 261 km/h y 306 km/h (162 mph y 190 mph)

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

Categoría A: DHC6, DHC7.

Categoría B: Fokker F27 y F28, HS146, HS748, IL18, IL76.

Categoría C: Airbus (A300, A310), B707-320, B727, B737, B747-SP, B757, B767, DC8, DC10-10, L1011-200, Trident (1 y 2).

Categoría D: B747, DC8 (61 y 63), DC10-30/40, IL62, IL86, L1011-500, TU134, TU154.

De estas consideraciones resulta evidente que el número de calles de salida dependerá del tipo de aeronaves y del número de aeronaves de cada tipo que efectúan maniobras durante el periodo de mayor intensidad de tránsito.

La selección final de los emplazamientos más prácticos para las calles de salida rápida debe ajustarse a los requisitos generales de planificación, teniendo en cuenta otros factores, como por ejemplo:

- Emplazamiento del edificio de pasajeros, de carga o del área de la plataforma.
- Emplazamiento de las pistas y de sus salidas
- Óptimo movimiento del tránsito dentro del sistema de calles de rodaje con respecto a los procedimientos de control de tránsito
- Evitar los desvíos innecesarios para el rodaje, etc.

Además, puede existir la necesidad de proporcionar calles de salida adicionales (especialmente en pistas largas) después de las principales salidas rápidas, según las condiciones y requisitos locales. Estas calles de rodaje adicionales pueden o no ser calles de salida rápida. Se recomiendan intervalos de aproximadamente 450 m hasta 600 m a partir del extremo de la pista.

Algunos aeródromos tienen una gran actividad de aeronaves del número de clave 1 ó 2. En lo posible, puede ser conveniente atender dichas aeronaves en una pista exclusiva con una calle de salida rápida. En los aeródromos en que dichas aeronaves utilizan la misma pista que se usa para las operaciones de transporte aéreo comercial, puede ser conveniente incluir una calle de salida rápida especial para facilitar el movimiento en tierra de las aeronaves pequeñas. En cualquier caso, se recomienda que dicha calle de salida esté emplazada a una distancia de 450 a 600 m del umbral.

2.3.- DE DISTRIBUCIÓN EN PLATAFORMAS.

Las calles de rodaje situadas en plataformas se dividen en los dos tipos siguientes:

- a) La calle de rodaje en plataforma es una calle de rodaje situada en una plataforma y destinada ya sea a proporcionar un trayecto directo para el rodaje a través de la plataforma o para tener acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves; y
- b) La calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso solamente a los puestos de estacionamiento de aeronaves.

Los requisitos en materia de anchura de franja, separación, etc., de calles de rodaje en las plataformas son idénticos a los de cualquier otro tipo de calle de rodaje. Los requisitos respecto a las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves son también los mismos, con excepción de las siguientes modificaciones:

- a) La pendiente transversal de la calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave depende del requisito de la pendiente de la plataforma;
- b) No es necesario incluir la calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves en una franja de calle de rodaje; y
- c) Los requisitos relativos a la separación entre el eje de la calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto son menos rigurosos que los aplicables a otros tipos de calles de rodaje.

2.4.- DE ACCESO A HANGARES Y OTRAS ZONAS DE SERVICIO

Calles de rodaje y vías de servicio

Consideraciones generales

La superficie total necesaria para una plataforma no sólo comprende cada uno de los puestos de estacionamiento de aeronaves, sino también la superficie necesaria para las calles de rodaje en la plataforma, las calles de acceso a puestos de estacionamiento y las vías de servicio que se necesitan para el acceso a dichos puestos a fin de proporcionar los servicios auxiliares que se precisen. El emplazamiento de las instalaciones para suministrar estos servicios dependerá de la disposición del edificio, el emplazamiento de las pistas y de los servicios fuera de la plataforma, por ejemplo, los sitios para la preparación de alimentos, zonas de almacenamiento de combustible, etc.

Vías de servicio

Durante la etapa de planeación general de las plataformas debe de tenerse en cuenta el espacio necesario para las vías de servicio. Estas suelen emplazarse próximas y paralelamente al edificio de embarque - desembarque o bien en la parte aeronáutica del puesto de estacionamiento de aeronaves, paralelamente a la calle de acceso a la plataforma de estacionamiento de aeronaves. La anchura necesaria dependerá del tipo de vehículos y del volumen previsto de tránsito y la posibilidad de establecer un sistema de vías en un solo sentido.

3.- UBICACIÓN Y PROYECTO GEOMÉTRICO.

3.1.- DE ENTRADA. SENCILLAS Y DOBLES.

La entrada doble de pista reduce el recorrido de despegue de las aeronaves que utilizan la entrada que no está situada en el extremo de la pista. Esto no constituye un inconveniente importante cuando esta entrada puede ser utilizada por aeronaves cuyo recorrido restante de despegue es adecuado.

Una entrada doble de pista hace que sea posible también adelantar a una aeronave demorada en otra calle de entrada o incluso en el extremo de la pista. La utilización de entradas dobles combinadas con calles de rodaje dobles ofrece también un grado de flexibilidad equiparable al que se obtiene con un apartadero de espera bien proyectado. Las entradas oblicuas permiten la entrada a cierta velocidad, pero hacen que sea más difícil para la tripulación ver las aeronaves que se aproximan para aterrizar y debido a la superficie pavimentada de mayor dimensión que se necesita, resultan más costosas.

3.2.- CÁLCULO DE LA UBICACIÓN DE CALLES DE SALIDA.

Situación de las calles de salida de pista.

La ubicación de estas salidas depende en gran parte de:

1. la combinación de aviones,
2. las velocidades de aproximación y contacto con el suelo,
3. la velocidad de salida,
4. la estimación de la deceleración, que a su vez durante el giro depende del estado de la superficie del pavimento (seco o húmedo), y
5. del número de salidas.

La rapidez y el modo en que el control de tránsito aéreo pueda precisar las llegadas, es un factor de máxima importancia a la hora de establecer la ubicación de las calles de salida de las pistas, que también dependen de la disposición de las pistas con respecto al área terminal.

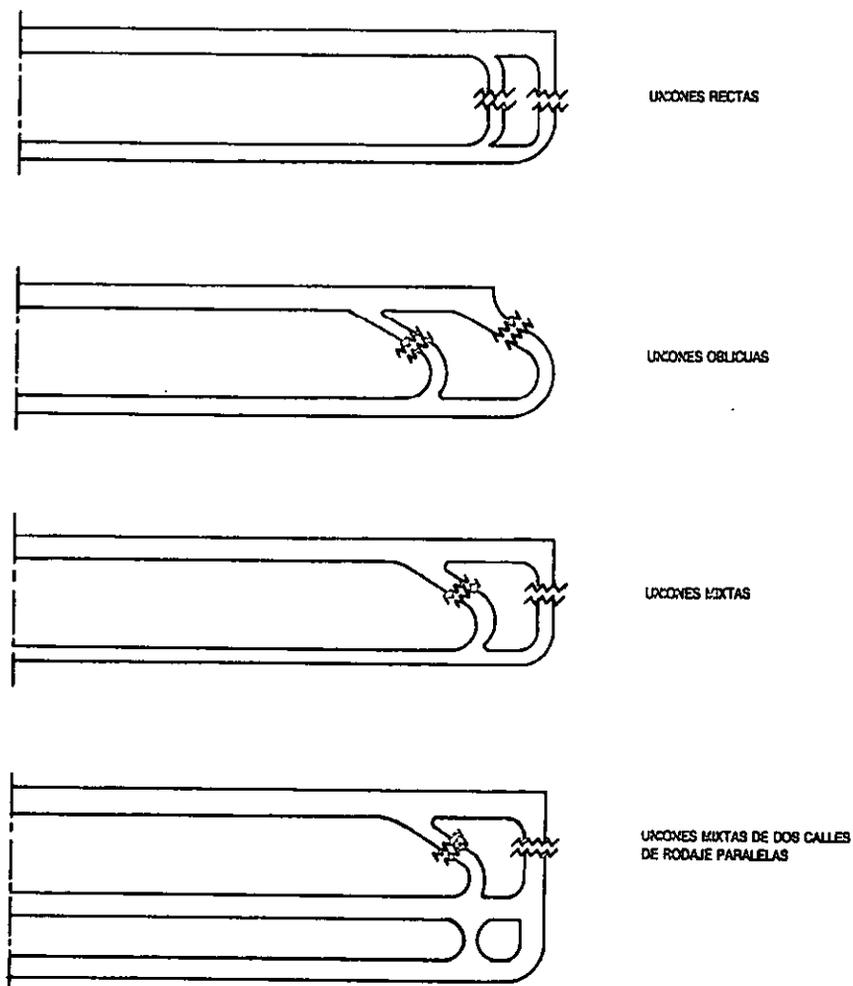


Figura 3.1 Ejemplos de entradas dobles a la pista

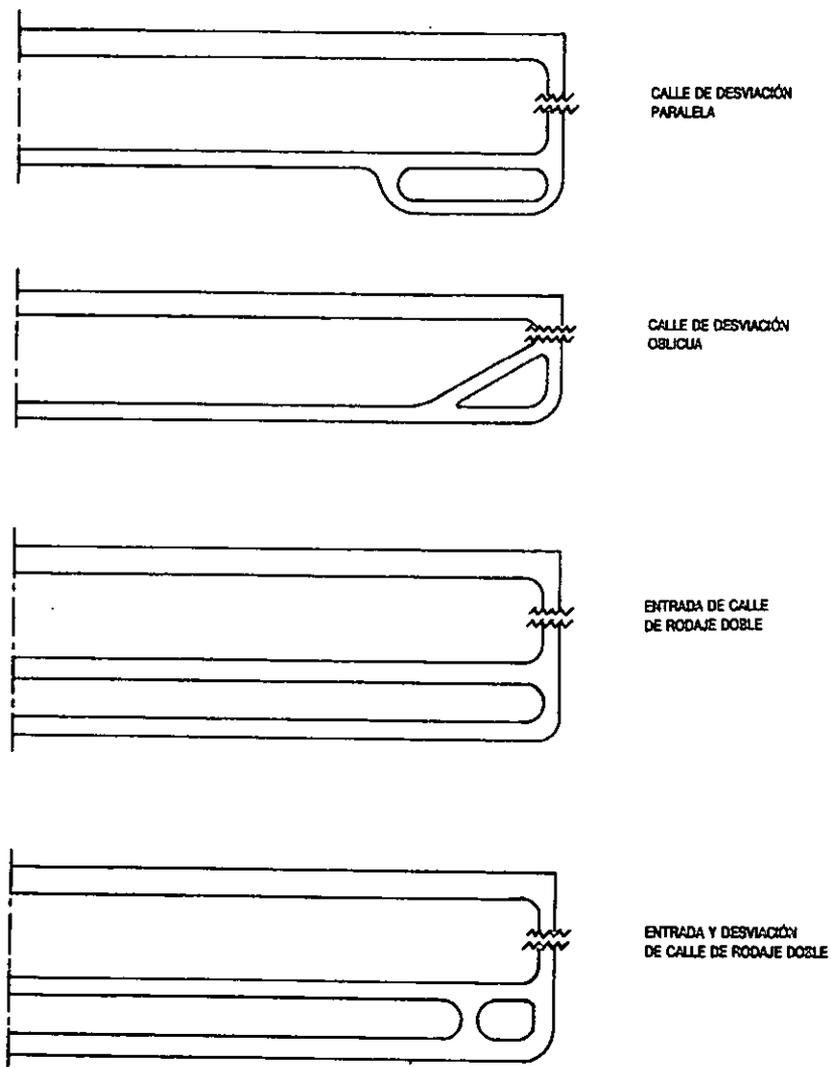


Figura 3.2 Ejemplos de calles de rodaje dobles

Existen una serie de análisis y modelos matemáticos para el cálculo de la ubicación de las calles de salida, pero debido a su complejidad y a la falta de conocimiento de los datos que se requieren para la aplicación de estos, su utilidad para los planificadores ha quedado limitada.

Como resultado de todo ello, se ha hecho un gran uso de métodos más simplificados.

El proceso de aterrizaje puede describirse de la siguiente manera: el avión cruza el umbral de la pista y desacelera en el aire hasta que el tren de aterrizaje principal toca la superficie del pavimento. En este punto el tren de proa todavía no ha tomado contacto con la pista. Pueden transcurrir tres segundos hasta que esto ocurra. No puede aplicarse ninguna forma de frenado hasta que el tren de proa haya tomado contacto con el pavimento; cuando lo haga, se utiliza la técnica de frenado por retroempuje, por frenado de las ruedas o ambas, para reducir la velocidad de avance hasta llegar a la velocidad de salida. La deceleración media de los aviones comerciales en pista es alrededor de los 1.5 m/s^2 .

En el procedimiento simplificado para calcular la ubicación de las calles de salida, se supone que un avión ha tocado el suelo a 1.3 veces la velocidad de pérdida para un peso de aterrizaje que corresponde al 85% del máximo peso estructural al aterrizaje. En lugar de calcular la distancia desde el umbral hasta la zona de toma de contacto con el suelo, las distancias a las líneas de contacto se suponen como valores fijos para ciertos tipos de aviones. A estas distancias hay que sumarles las distancias de deceleración hasta llegar a la velocidad de salida. El siguiente ejemplo aclara el procedimiento simplificado:

Supóngase que la velocidad en el momento de contacto V_{TD} es de 260 km/h (72 m/s) y la velocidad de salida V_E es de 95 km/h (26.4 m/s). Supóngase que la distancia de contacto es de 450 m y la deceleración media "a" en pista es de 1.5 m/s^2 . La distancia desde el umbral hasta alcanzar la velocidad de salida (S_E) es igual a: $S_E = \text{distancia de toma de contacto} + D$ siendo:

$$D = \frac{(V_{TD})^2 - (V_E)^2}{2a}$$

La distancia en el caso del ejemplo es 1,900 m.

Aunque las velocidades de aproximación y contacto varían, pueden calcularse aproximadamente para ubicar las calles de salida de pista de la siguiente manera:

707, DC-8, DC-10, L-1011, 747	260 km/h
DC-9, 727, 737	240 km/h
Aviación general, 2 motores (sin ser jets)	176 km/h
Aviación general, 1 motor	111 km/h

Tabla 3.1

Se supone que las distancias de toma de contacto son de 450 m para los aviones comerciales y 300 m para los aviones de aviación general con dos motores. Utilizando estas distancias, una velocidad de 95 km/h y las distancias de toma de contacto apropiadas, se obtiene los emplazamientos indicados en la siguiente tabla:

	95 km/h (*)	24 km/h (*)
Aviación general, bimotor	840	1,050
DC-9, 727, 737	1,440	1,680
707, DC-8, DC-10, L-1011, 747	1,920	2,130

Tabla 3.2

(*) Todas las distancias vienen en metros; los 95 km/h corresponden a salidas a gran velocidad mientras que los 24 km/h son para una salida a 90°.

Tales emplazamientos se han obtenido utilizando las condiciones tipo a nivel del mar. La altitud y la temperatura pueden afectar a la ubicación de las calles de salida de las pistas. La altitud incrementa la distancia del orden del 3% por cada 300 m por encima del nivel del mar y la temperatura la incrementa en un 1.5% por cada 5.5°C por encima de los 15°C.

Al situar las calles de salida, es importante tener en cuenta las condiciones locales; tales como la frecuencia con que se encuentra el pavimento húmedo o se producen ráfagas de viento. Resulta mejor situar las calles de salida a varias decenas de metros más lejos del umbral, que el tener a los aviones rebasando las salidas la mayor parte de las veces. La desviación típica en el tiempo requerido para alcanzar la velocidad de salida es del orden de dos a tres segundos; por lo consiguiente, si las calles de salida se situaran a lo largo de la pista de tal forma que sus desviaciones de la media fueran el doble de la desviación típica, el tiempo perdido de ocupación de la pista sería solamente de cuatro a seis segundos.

3.3.- ESPECIFICACIONES.

Criterios de diseño de las características físicas de la OACI.

Los criterios de diseño geométrico de las calles de rodaje son menos estrictos que los relativos a las pistas, ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son mucho menores que en las pistas. En la tabla 3.5 figuran los criterios principales para el diseño de las características físicas recomendadas para una calle de rodaje según el Anexo 14.

Clave de referencia del aeródromo

El propósito de la clave de referencia es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones en materia de características de aeródromos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeródromo. La clave consta de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura total del tren de aterrizaje principal.

Una especificación en particular se relaciona con el más apropiado de los dos elementos de la clave o con una combinación apropiada de los mismos. La letra o número de la clave dentro de un elemento seleccionado para fines de diseño, se relaciona con las características críticas del avión para el que se proporciona la instalación. Al aplicar las disposiciones pertinentes del Anexo 14, se indican en primer lugar los aviones para los que se destina el aeródromo y luego los dos elementos de la clave.

El número de clave para el elemento 1 se determinará por medio de la tabla 3.3, seleccionando el número de clave que corresponda al valor más elevado de las longitudes de campo de referencia de los aviones para los que se destina la pista. La longitud de campo de referencia del avión se define como la longitud de campo mínima necesaria para el despegue con la masa de despegue máxima homologada, al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero.

La letra de clave para el elemento 2 se determinará por medio de la tabla 3.3, seleccionando la letra de clave que corresponda a la envergadura más grande, o a la anchura total más grande de tren de aterrizaje principal, la que de las dos dé el valor más crítico para la letra de clave de los aviones para los que se destina la instalación.

Elemento 1 de la clave		Elemento 2 de la clave		
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura total del tren de aterrizaje principal ^a
1	Menos de 600 m	A	Hasta 15 m (exclusivo)	Hasta 4,5 m (exclusivo)
2	Desde 600 m hasta 1 200 m (exclusivo)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusivo)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusivo)
3	Desde 1 200 m hasta 1 600 m (exclusivo)	C	Desde 24 m hasta 33 m (exclusivo)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusivo)
4	Desde 1 600 m en adelante	D	Desde 33 m hasta 52 m (exclusivo)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusivo)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusivo)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusivo)

a. Desde que empiezan las pistas paralelas de la pista del tren de aterrizaje principal.

Tabla 3.3 Clave de referencia de aeródromo (fuente: OACI)

Anchura de las calles de rodaje.

En la tabla 3.5 se muestran las anchuras mínimas de las calles de rodaje. Los valores seleccionados se basan en la suma de la distancia libre entre las ruedas y el borde del pavimento, más la vía entre las ruedas del tren de aterrizaje principal de la aeronave.

Curvas de las calles de rodaje.

Los cambios de dirección de las calles de rodaje no deberían ser numerosos ni pronunciados, en la medida de lo posible. El diseño de la curva debe ser tal que cuando el puesto de pilotaje del avión permanezca sobre las señales de eje de calle de rodaje, la distancia libre entre las ruedas principales exteriores y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a las especificadas en la tabla 3.5.

Si la existencia de curvas es inevitable, los radios de las mismas deberán ser compatibles con la capacidad de maniobra y las velocidades de rodaje normales de las aeronaves a las que se destina dicha calle de rodaje. En la Tabla 3.4 figuran los valores de las velocidades admisibles correspondientes a los determinados radios de curvatura basándose en un factor de carga lateral de 0.133 g. Cuando se prevean curvas muy pronunciadas con un radio insuficiente

para impedir que las ruedas de la aeronave en rodaje se salgan del pavimento, puede ser necesario ensanchar la calle de rodaje a fin de conseguir la distancia libre a la rueda especificada en la tabla 3.5.

Velocidad (km/h)	Radio de curvatura (m)
16	15
32	60
48	135
64	240
80	375
96	540

Tabla 3.4 Velocidades de las aeronaves en función del radio de la curvatura

Uniones e intersecciones.

Deberán de suministrarse superficies de enlace en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje con pistas, plataformas y otras calles de rodaje, a fin de mantener la distancia libre mínima establecida en la tabla 3.5.

Superficies de enlace.

Son superficies suplementarias de pavimento en las curvas, uniones e intersecciones de las calles de rodaje que pueden ser necesarias para permitir a una aeronave realizar un viraje sin salirse de la calle de rodaje.

Márgenes y franjas de las calles de rodaje.

Un margen es una zona adyacente de la superficie pavimentada preparada de tal forma que proporcione una transición entre el pavimento y la superficie adyacente. El fin principal por el cual se procura un margen de calle de rodaje es doble: prevenir que los motores de reacción que sobresalen del borde de la calle de rodaje ingieran piedras u otros objetos que puedan producir daños al motor y prevenir la erosión del área adyacente a la calle de rodaje.

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

Tabla 3.5 Criterios relativos al diseño de una calle de rodaje

Características físicas	Línea de eje				
	A	B	C	D	E
Anchura mínima de:					
pavimento de la calle de rodaje	7,5 m	10,5 m	18 m ^a 15 m ^b	23 m ^c 18 m ^d	23 m
pavimento y margen de la calle de rodaje	—	—	25 m	38 m	44 m
franja de la calle de rodaje	27 m	39 m	57 m	65 m	69 m
parte reversible de la franja de la calle de rodaje	22 m	25 m	25 m	38 m	44 m
Distancia mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje	1,5 m	2,25 m	4,5 m ^a 3 m ^b	4,5 m	4,5 m
Separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y:					
eje de una pista de vuelo por instrumentos					
número de eje					
1	82,5 m	87 m	—	—	—
2	82,5 m	87 m	—	—	—
3	—	—	168 m	178 m	—
4	—	—	—	178 m	182,5 m
eje de una pista que no sea de vuelo por instrumentos					
número de eje					
1	37,5 m	42 m	—	—	—
2	47,5 m	52 m	—	—	—
3	—	—	93 m	101 m	—
4	—	—	—	101 m	107,5 m
eje de calle de rodaje	23,75 m	33,5 m	44 m	66,5 m	60 m
objetos					
calle de rodaje ^a	16,25 m	21,5 m	26 m	40,5 m	47,5 m
calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves	12 m	16,5 m	24,5 m	33 m	42,5 m
Pendientes longitudinales máximas de la calle de rodaje:					
pavimento	3%	3%	1,5%	1,5%	1,5%
reversible de la pendiente	1% por 25 m	1% por 25 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m
Pendientes transversales máximas de:					
pavimento de la calle de rodaje	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%
parte reversible de la franja de la calle de rodaje:					
pendiente ascendente	3%	3%	2,5%	2,5%	2,5%
pendiente descendente	5%	5%	5%	5%	5%
parte no reversible de la franja:					
pendiente ascendente	5%	5%	5%	5%	5%
Raño mínimo de la curva vertical longitudinal	2 500 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Alceos visuales mínimos en la calle de rodaje	150 m desde una altura de 1,5 m	200 m desde una altura de 2 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m

- a. Calle de rodaje reversible o reversible con franja de rodaje de 13 m o más.
- b. Calle de rodaje reversible o reversible con franja de rodaje inferior a 10 m.
- c. Calle de rodaje reversible o reversible con una cresta lateral del tren de aterrizaje principal de 9 m o más.
- d. Calle de rodaje reversible o reversible con una cresta lateral del tren de aterrizaje principal inferior a 9 m.
- e. Calle de rodaje que no sea calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves.

Separación mínima entre las calles de rodaje.

La separación entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista, de otra calle de rodaje o de un objeto no debe ser inferior a la dimensión apropiada que se especifica en la tabla 3.5.

Las distancias se basan en la envergadura máxima de un grupo y en la desviación de una aeronave respecto del eje de la calle de rodaje en una distancia igual a la distancia libre entre las ruedas y el borde del pavimento para dicho grupo.

Separación entre calles de rodaje y entre calles de rodaje y objetos.

Las fórmulas y separaciones figuran en la tabla 3.6 y se ilustran en la figura 3.3. Las separaciones relativas a las calles de rodaje y a las calles de rodaje en la plataforma se basan en la envergadura de la aeronave (Y) y a la desviación lateral máxima (X) (distancia libre entre las ruedas y el borde de la calle de rodaje especificada en la tabla 3.5).

Para las calles de acceso a los puestos de estacionamiento de aeronave se considera apropiado establecer distancias menores, ya que las velocidades de rodaje son normalmente inferiores al rodar sobre estas calles y la mayor atención que prestan los pilotos produce desviaciones menos importantes con respecto al eje de la calle. En consecuencia, en vez de suponer que una aeronave se ha desviado del eje una distancia correspondiente a la desviación lateral máxima (X), se considera una distancia inferior, denominada "desviación del tren de aterrizaje".

Puede observarse que se han empleado dos factores en la preparación de las fórmulas, la desviación lateral máxima o la desviación del tren de aterrizaje principal y el incremento de la distancia libre del extremo de ala. Estos factores tienen funciones diferentes. El factor de desviación representa una distancia que podrían recorrer las aeronaves en la operación normal. En cambio, el incremento Z en la figura 3.3 corresponde a un margen de seguridad destinado, por una parte, a evitar accidentes proporcionando un espacio adicional cuando las aeronaves se salen de la calle de rodaje para facilitar el rodaje y, por otra, a tener en cuenta otros factores que influyen en las velocidades de rodaje.

Los incrementos para la determinación de la separación entre la calle de rodaje en la plataforma y un objeto son los mismos que los propuestos para una calle de rodaje y un objeto, porque se estima que, aun cuando las calles de rodaje en las plataformas están relacionadas con las mismas, su ubicación no debería implicar una reducción de la velocidad de rodaje.

Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI

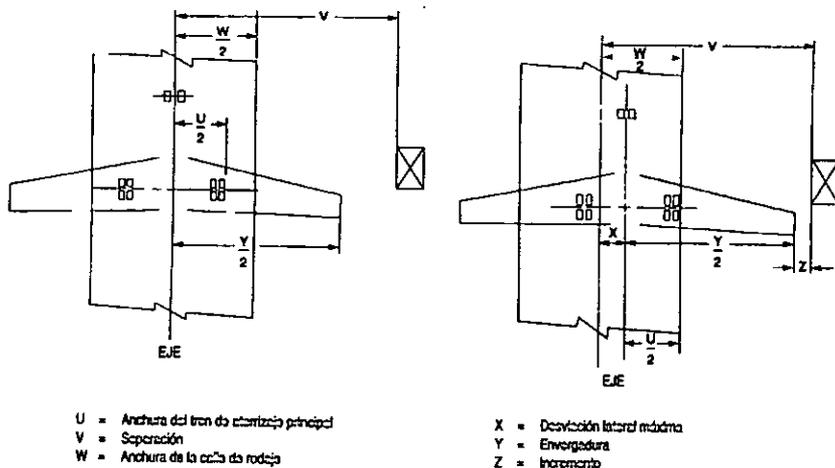


Figura 3.3 Separación respecto a un objeto

Tabla 3.6 Separación mínima entre calles de rodaje y entre calles de rodaje y objetos
 (dimensiones en metros)

Separación	Letra de clave				
	A	B	C	D	E
Entre eje de calle de rodaje/calle de rodaje en la plataforma y eje de calle de rodaje:					
Envergadura (Y)	15,00	24,00	36	52,0	65,0
+ desviación lateral máxima (X)	1,50	2,25	3	4,5	4,5
+ incremento (Z)	7,25	7,25	5	10,0	10,5
Separación total (V)	23,75	33,50	44	66,5	80,0
Entre eje de calle de rodaje y objeto:					
1/2 envergadura (Y)	7,50	12,00	18	26,0	32,5
+ desviación lateral máxima (X)	1,50	2,25	3	4,5	4,5
+ incremento (Z)	7,25	7,25	5	10,0	10,5
Separación total (V)	16,25	21,50	26	40,5	47,5
Entre eje de calle de rodaje en la plataforma y objeto:					
1/2 envergadura (Y)	7,50	12,00	18	26,0	32,5
+ desviación lateral máxima (X)	1,50	2,25	3	4,5	4,5
+ incremento (Z)	7,25	7,25	5	10,0	10,5
Separación total (V)	16,25	21,50	26	40,5	47,5
Entre eje de calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y objeto:					
1/2 envergadura (Y)	7,5	12,00	18,0	26,0	32,5
+ desviación del tron de aterrizaje	1,5	1,50	2,0	2,5	2,5
+ incremento (Z)	3,0	3,00	4,5	7,5	7,5
Separación total (V)	12,0	16,50	24,5	36,0	42,5

En una calle de acceso al puesto de estacionamiento las aeronaves se desplazan normalmente a velocidades inferiores y, por lo tanto, cabe prever que permanecerán en la proximidad del eje de la misma. Se han seleccionado desviaciones de 1.5, 1.5, 2, 2.5 y 2.5 m para las letras de clave A a E respectivamente. Se estima conveniente emplear una escala graduada para la desviación lateral en las calles de acceso al puesto de estacionamiento, ya que es más difícil para el piloto de aeronaves de grandes dimensiones seguir el eje de la calle a causa de la altura del puesto de pilotaje.

Para la separación entre una calle de rodaje y un objeto y entre una calle de rodaje en la plataforma y un objeto se han seleccionado incrementos superiores a los de otras separaciones, debido a que normalmente los objetos situados a lo largo de las calles de rodaje de este tipo son objetos fijos, lo cual hace que la probabilidad de colisión con uno de ellos sea mayor que la de colisión con una aeronave que salga de la calle de rodaje en el momento preciso en que otra aeronave esté pasando por ese punto en la calle de rodaje paralela. El objetivo fijo puede también ser una barrera o muro paralelo a la calle de rodaje a lo largo de cierta distancia. Incluso en el caso de una carretera paralela a una calle de rodaje, los vehículos pueden reducir sin saberlo la separación, al estacionarse fuera de la carretera.

Separación entre una calle de rodaje y una pista

La separación está basada en la hipótesis de que el ala de una aeronave centrada en una calle de rodaje paralela, se extienda más allá de la franja. En la tabla 3.7 figuran las fórmulas y las separaciones.

Número de clave	1		2		3			4			
Letra de clave	A	B	A	B	A	B	C	D	C	D	E
1/2 envergadura (W)	7,5	12	7,5	12	7,5	12	10	26	10	26	32,5
+ 1/2 anchura de franja (pistas que no sean para aproximaciones por instrumentos)	30,0	30	40,0	40	75,0	75	75	75	75	75	75,0
Total	37,5	42	47,5	52	82,5	87	85	101	85	101	107,5
o											
1/2 envergadura (W)	7,5	12	7,5	12	7,5	12	10	26	10	26	32,5
+ 1/2 anchura de franja (pistas para aproximaciones por instrumentos)	75,0	75	75,0	75	150,0	150	150	150	150	150	150,0
Total	82,5	87	82,5	87	157,5	162	160	176	160	176	182,5

Tabla 3.7 (fuente: OACI)

Configuración geométrica de las calles de rodaje paralelas.

Las separaciones entre calles de rodaje paralelas en la tabla 3.5 han sido seleccionadas basándose en la distancia libre deseada para los extremos de ala. Al evaluar la capacidad para efectuar un viraje de 180° normal de una calle de rodaje a otra calle de rodaje paralela deberán también tenerse en cuenta los factores siguientes:

- a) el mantenimiento de una velocidad de rodaje razonable a fin de lograr un elevado grado de utilización del sistema de calles de rodaje;
- b) el mantenimiento de las distancias libres especificadas entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje, cuando el puesto de pilotaje se encuentra sobre la señal de eje de calle de rodaje; y
- c) las maniobras a un ángulo de guía que no exceda de la capacidad de la aeronave y que no exponga a los neumáticos a un desgaste inadmisibles.

Con objeto de evaluar la velocidad de rodaje al efectuar el viraje de 180°, se ha supuesto que los radios de curvatura equivalen a la mitad de la separación indicada en la tabla 3.5, o sea:

<i>Letra de clave</i>	<i>Radio (m)</i>
A	11.87
B	16.75
C	22.00
D	33.25
E	40.00

La velocidad en el viraje depende del radio de la curva (R) y del factor de carga lateral (f). Por lo tanto, si se parte de la hipótesis de que el factor de carga lateral está limitado a 0.133 g:

$$\begin{aligned}
 V &= (127.133 \times f \times R)^{1/2} \\
 &= (127.133 \times 0.133 \times R)^{1/2} \\
 &= 4.1120 (R^{1/2})
 \end{aligned}$$

en que el valor de R se expresa en metros.

Las velocidades admisibles resultantes figuran en la siguiente tabla:

Letra de clave	Radio m	Velocidad $V=4.1120 (R^{1/2})$ km/h
A	11.87	14.17
B	16.75	16.83
C	22.00	19.29
D	33.25	23.71
E	40.00	26.01

Tabla 3.8 Velocidades admisibles en un viraje de 180°

Pendientes de las calles de rodaje.

La pendiente de una calle de rodaje no deberá exceder de:

- 1.5% cuando la letra de clave sea C, D o E; y
- 3% cuando la letra de clave sea A o B.

Trazado de calles de salida rápida

En la figura 3.4 se muestran los trazos característicos de las calles de salida rápida de 30° y 45°, de conformidad con las especificaciones del Anexo 14 de la OACI. Para pistas de número de clave 3 ó 4, la señal del eje de la calle de rodaje comienza al menos a 60 m del punto de tangencia de la curva central de salida y se desvía 0.9 m para permitir al piloto de la aeronave reconocer el comienzo de la curva. Para pistas de número de clave 1 ó 2, la señal del eje de la calle de rodaje comienza al menos a 30 m desde el punto de tangencia de la curva central de salida.

La calle de salida rápida deberá trazarse con un radio de curva de viraje de por lo menos:

- 550 m cuando el número de clave es 3 ó 4; y
- 275 m cuando el número de clave es 1 ó 2;

para permitir velocidades de salida con pistas mojadas de:

- 93 km/h cuando el número de clave es 3 ó 4; y
- 65 km/h cuando el número de clave es 1 ó 2.

El radio de la superficie de enlace en la parte interior de la curva de una calle de salida rápida deberá ser suficiente como para proporcionar un ensanche en la entrada a fin de facilitar el reconocimiento de la misma y el viraje hacia la calle de rodaje.

Una calle de salida rápida deberá tener, después de la curva de viraje, una recta suficiente para que una aeronave que esté saliendo pueda detenerse totalmente fuera de toda intersección de calle de rodaje y su longitud no deberá ser inferior a los valores siguientes cuando el ángulo de intersección es de 30°:

<u>Número de clave</u>	<u>Longitud</u>
1 ó 2	35 m
3 ó 4	75 m

Estas distancias se basan en regímenes de desaceleración de 0.76 m/s^2 en la curva de viraje y 1.52 m/s^2 en la recta.

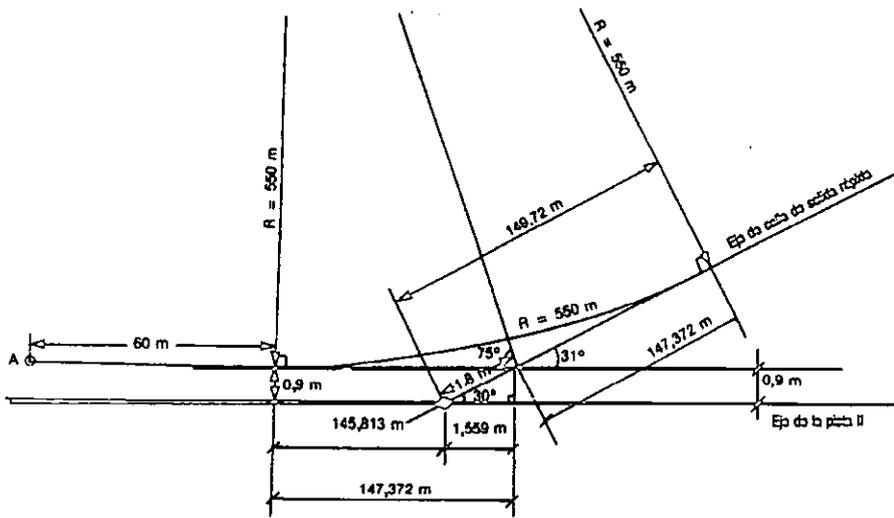
El ángulo de intersección de una calle de salida rápida con la pista no debería ser superior a 45° ni inferior a 25°, deberá ser preferentemente de 30°.

Iluminación de las calles de rodaje

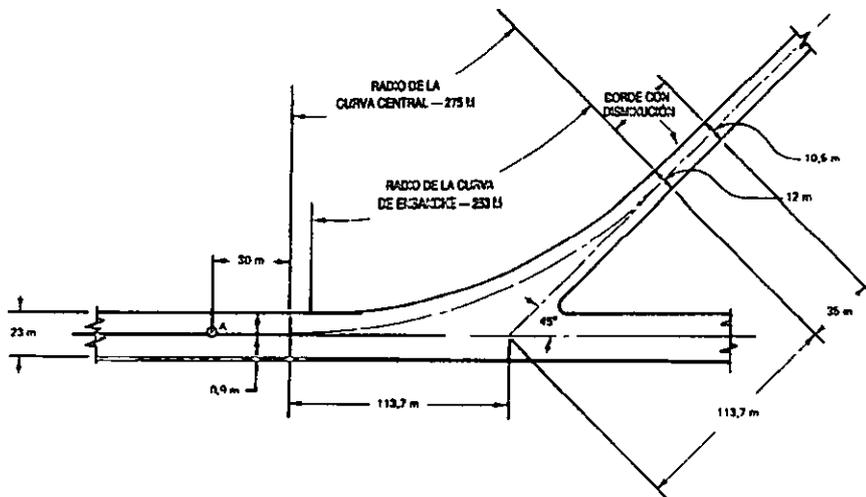
Después de un aterrizaje o en el recorrido para entrar en pista, los pilotos deben de maniobrar con su avión a lo largo de un sistema de pistas de rodaje, entrando o saliendo de los estacionamientos y zonas de hangares.

En un aeropuerto, el sistema de pistas de rodaje puede ser muy complejo; consecuentemente deberá facilitarse una adecuada ayuda luminosa para que los aviones puedan circular de noche y también de día cuando la visibilidad es escasa. A continuación se indican una serie de criterios de aplicación a las ayudas visuales de las calles de rodaje.

1. Las calles de rodaje deberán identificarse claramente, de tal manera que no puedan confundirse con las pistas de vuelo.
2. Deben de identificarse con facilidad las salidas de las pistas de vuelo y especialmente en el caso de salida a alta velocidad, ya que el piloto debe ser capaz de localizar la salida a unos 360 m o 450 m antes del punto de giro.



Trazado de las calles de salida rápida (número de clave 3 6 4)



Trazado de las calles de salida rápida (número de clave 1 6 2)

Figura 3.4

3. Las calles de rodaje deberán tener una guía adecuada.
4. Las calles de rodaje específicas deberán ser fácilmente identificables por los pilotos.
5. Las intersecciones entre calles de rodaje y entre pista de vuelo y calle de rodaje, deberán estar claramente señalizadas.
6. El camino completo desde la pista de vuelo hasta la zona de estacionamiento deberá ser fácilmente identificable.

Existen dos tipos de luces. Uno de ellos delimita los bordes de la calle de rodaje. El otro tipo, delimita el eje de rodaje. Las luces de borde de calle de rodaje son azules y las de eje verdes.

Luces de borde de calle de rodaje

Las luces bidireccionales elevadas se sitúan normalmente a intervalos de menos de 60 m a cada lado de la calle de rodaje. La separación exacta se ve influida por la configuración de las calles de rodaje. En las curvas se requiere una separación menor. En las intersecciones las luces son omnidireccionales. Los accesorios de las luces van situados a no más de 3 metros de los bordes del pavimento. Las luces no pueden sobrepasar más de 75 cm por encima de la superficie del pavimento.

Señalización de las calles de rodaje

Las formas esenciales del sistema de marcación de calles de rodaje son las siguientes:

1. Una banda amarilla continua de 15 cm de ancho para marcar el eje de la calle de rodaje
2. En las intersecciones de las calles de rodaje con las finales de pistas de vuelo, la banda del eje de la calle de rodaje termina en el borde de la pista
3. En todas las demás intersecciones de las calles de rodaje con las pistas de vuelo, el eje de las primeras llega hasta el eje de la pista de vuelo

4. En las calles de rodaje que conducen a las cabeceras de pista, se coloca una "señal de punto de espera en rodaje", situada a través de la calle de rodaje y se sitúan a las distancias mínimas, desde el borde de la pista, las distancias son las siguientes: a) a 15 m en los aeropuertos pequeños, b) a 30 m en los aeropuertos que sirven a las líneas aéreas y c) a 45 m en los aeropuertos que sirven a grandes aeronaves de líneas aéreas.

Cuando las pistas de vuelo o las calles de rodaje están cerradas al tráfico de una forma temporal o permanente, se pintan de color amarillo una serie de cruces sobre vías.

Sistema de señales para el rodaje

El fin principal de estas señales es la de ayudar a los pilotos en las zonas de rodaje del aeropuerto. En los aeropuertos con servicio de control, las señales suplementan las instrucciones del controlador de tráfico, ya que simplifica las instrucciones en cuanto a despeje en las calles de rodaje, al rodaje en sí y a la espera de las aeronaves. En aquellos lugares que no están servidos por la torre de control del aeropuerto o para aviones sin radio, el sistema de señales suministra al piloto una guía para conseguir llegar a su punto de destino dentro del aeropuerto.

El sistema consta de dos tipos básicos de señales: "destino", que indica la dirección hacia un punto determinado e "intersección", que identifica la intersección de calles.

Las señales de destino representan la dirección en forma simbólica y utilizan una flecha para indicar la dirección del rodaje. Los símbolos siguientes se utilizan para identificar las diferentes zonas:

Estacionamiento general, servicios y áreas de carga	RAMP
Áreas específicas para estacionamiento de aeronaves	PARK
Áreas de suministro de combustible o de servicios	FUEL
Posición de estacionamiento en la que el avión carga y descarga	GATE
Áreas para aviones en tránsito	VSTR
Áreas para aviones militares	MIL
Áreas para manipulación de la carga	CRGO
Áreas para manipulación de vuelos internacionales	INTL
Hangar o zona de hangares	HGR

Las señales de salida normalmente designan la dirección hacia una cabecera determinada.

Las señales de intersección identifican el cruce de pistas de vuelo, de calles de rodaje entre ambos tipos y calles de rodaje con plataformas de estacionamiento.

4.- ANALISIS DE LOS EFECTOS EN LA CAPACIDAD

4.1.- PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO. APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE; DESPEGUE Y ASCENSO.

Definición del control de tránsito aéreo.

Hay dos tipos básicos de reglas de vuelo para el tránsito aéreo, conociéndose con los nombres de reglas para vuelo visual (visual flight rules VFR) y reglas de vuelo instrumental (Instrument flight rules IFR).

En términos generales, VFR significa que las condiciones atmosféricas son lo suficientemente buenas como para que el avión pueda maniobrar de una manera segura y por sí solo, con los medios visuales. Las condiciones IFR prevalecen cuando la visibilidad o el techo de nubes están por debajo de las condiciones prescritas en las VFR. En condiciones IFR, la segura separación entre aeronaves, es responsabilidad del personal de control, mientras que el primer caso corresponde al piloto. En condiciones VFR casi no existe el control de tránsito aéreo y los aviones maniobran según el principio de "ver y ser vistos". El verdadero control se ejerce cuando hay que utilizar las condiciones IFR.

Obligatoriamente estas reglas requieren la asignación de rutas especificadas, altitudes y separaciones mínimas entre aeronaves.

Con el aumento de la velocidad de las aeronaves y la densidad de tránsito en el espacio aéreo, aumentó también la inquietud sobre la posibilidad de colisiones en el aire. Debido a ello, se prescribieron las reglas IFR en ciertas partes del espacio aéreo haciendo caso omiso de las condiciones meteorológicas, lo que se conoce con el nombre de "espacio aéreo controlado" y que abarca el espacio donde se mueven los reactores de gran velocidad; por lo tanto puede incluir tanto el espacio en las proximidades de los aeropuertos como en el que vuelan los reactores en ruta desplazándose de una ciudad a otra.

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

Aerovías

Los aviones vuelan de un punto a otro siguiendo rutas determinadas, rutas que se conocen con el nombre de "aerovías" y "rutas para reactores".

Aerovías Víctor

Estas aerovías se apoyan en tierra mediante un equipo omnidireccional de muy alta frecuencia (denominado VOR). Cada estación VOR tiene una frecuencia determinada que el piloto puede seleccionar de tal manera que mantiene el rumbo de un VOR al siguiente.

El sistema de numeración para las aerovías Víctor es la de números pares para el Este y Oeste y números impares para el Norte y Sur. Las ventajas que ofrecen las aerovías Víctor son (1) los VOR están relativamente libres de interferencias estáticas y (2) para el piloto es fácil determinar su posición relativa con una estación VOR. En las cartas aeronáuticas, las aerovías Víctor se designan con V-1, V-2, etc.

Si existen dos estaciones VOR a una distancia mayor de 190 km, se estaría en el caso de las rutas para reactores.

Rutas para reactores

Aunque estas rutas, en cierto sentido, son aerovías, no se conocen con tal nombre. Hoy en día existen las aerovías Víctor y las rutas de reactores. Desde tierra tanto unas como otras necesitan la misma instalación aunque para las rutas de reactores se necesite un menor número de estaciones. Las aerovías Víctor empiezan desde los 365 m de altura (cuando la topografía del terreno lo permite) pero sin llegar a los 5,400 m de altitud. Las rutas de reactores se extienden desde los 5,400 m de altitud hasta los 13,500 m; por encima de esta cifra no existen aerovías y los aviones se maniobran por hipótesis individuales. El sistema de numeración para las rutas de reactores es la misma que la utilizada para las aerovías Víctor, conociéndose en las cartas aeronáuticas con las iniciales J-1, J-2, etc.

Navegación de área.

La navegación de área (conocida como RNAV) facilita una mayor y más flexible capacidad de rutas y, por tanto, una mejor utilización del espacio aéreo. Esta mayor utilización reduce los retrasos y, por tanto, hace más económica la explotación de las aeronaves. Por ejemplo, las rutas paralelas a las designadas

(de un VOR a otro) pueden establecerse sin necesitar ayuda adicional para la navegación desde tierra. Otro ejemplo, lo ofrece el hecho de poder disponer de una ruta más directa entre dos puntos, lo que redundaría en la consecución de un viaje más corto. Este tipo de navegación en áreas terminales suministra mayor cantidad de rutas hacia y desde los aeropuertos.

En resumen la navegación de área ofrece la posibilidad de incrementar la capacidad del espacio aéreo, mejorando la seguridad y reduciendo el trabajo del piloto y del controlador.

El sistema de numeración es el siguiente: la serie 700 se reserva para altitudes bajas (por debajo de los 5,400 m). Cada ruta tiene su nombre, V700R, V701R, etc. la letra V significa aerovías Víctor y la letra R la navegación de área. Por encima de los 5,400 m se utilizan las series 800 y 900 y se designan con los nombres de J801R, J802R, etc.

Componentes principales del sistema de aerovías

El sistema de aerovías consta de una serie de ayudas a la navegación y de instalaciones y servicios para el control del tráfico aéreo que facilitan a la aeronave una segura separación y ordenan las corrientes de tráfico dentro de la cobertura del sistema. Con objeto de atender debidamente el tránsito, la jurisdicción del control se divide en tres partes: de ruta, de área terminal y de aeropuerto. Cada una de estas partes tiene una función específica que a su vez se ve apoyada por un equipo o instalación conocido como "estación de servicio de vuelo".

Centros de control de tráfico de ruta

Estos centros (ARTCC) son responsables del control del movimiento del avión en ruta a lo largo de las aerovías, rutas de reactores o en otras partes del espacio aéreo. Cada centro lleva el control de una zona geográficamente definida. En los puntos límites que marcan el final del área de control del centro, las aeronaves son transferidas al centro siguiente o al control de área terminal (instalaciones y servicios del control de aproximación). Estos centros pueden, pero no necesariamente, localizarse en los aeropuertos, aunque sus funciones no tengan nada que ver con las maniobras a realizar en los mismos. Los ARTCC tiene como misión principal la de controlar las maniobras del avión que vuela en condiciones instrumentales (IFR).

En condiciones IFR, el piloto tiene que realizar un plan de vuelo indicando ruta y altitud a la que desea volar, siendo entonces los ARTCC los que aprobarán dicho plan, después de realizar las obligatorias comprobaciones en relación con la separación y altitud de los demás aviones que recorran la misma ruta. Todo plan de vuelo es susceptible de ser variado en ruta, si dicha variación es aprobada por el ARTCC.

Actualmente la comunicación entre el piloto y el controlador se hace de palabra, debido a lo cual a cada ARTCC se le asigna un número determinado de frecuencias de radio, a su vez el controlador le asigna una frecuencia específica a cada piloto.

Instalaciones y servicio del control de aproximación

La labor de este equipo es la del control del tráfico aéreo (aterrizajes y despegues) desde los alrededores de la torre de control del aeropuerto hasta una distancia de 50 a 100 km del mismo, conociéndose con el nombre de "área terminal". En el caso de que existan varios aeropuertos en una misma área urbana, un mismo equipo controla el tráfico de todos los aeropuertos. En esencia, el equipo recibe a la aeronave a través del ARTCC y lo guía hacia uno de los aeropuertos. Al hacer esto, el control consigue también la importante función de registrar y seguir el avión, con fines de una mejor y más uniforme adecuación de los vuelos en un aeropuerto.

Cuando se dispone de radar (lo cual ocurre en la mayoría de los casos), las instalaciones de control de aproximación recibe el nombre de TRACON, siglas de "terminal radar approach control".

El control de aproximación transfiere la aeronave a la torre de control del aeropuerto cuando aquella se encuentra alineada con la pista a unos 9 km del aeropuerto. De igual manera, la torre de control del aeropuerto transfiere todas las aeronaves que despegan del mismo al control de aproximación.

Si el flujo de aviones resulta mayor que la capacidad de actuación del equipo, se retrasa la llegada de los mismos reduciendo sus velocidades o haciéndoles realizar una espera en una ayuda dentro del campo de actuación del equipo. Este segundo método recibe el nombre de "espera escalonada".

En esta espera en vuelo, los aviones están volando dentro de unos límites determinados de antemano y separados verticalmente por espacios de 300 m. cada espera en vuelo puede albergar hasta 10 aviones y siguiendo turno, el

equipo de control de aproximación indica el momento de aterrizaje de cada avión.

Torre de control de tránsito de un aeropuerto

Este sistema es el que supervisa, dirige y regula el tráfico en el aeropuerto y en el inmediato espacio aéreo, con un radio de 9 km desde el mismo. La torre es la responsable de dar salida a los aviones que van a despegar y llegada a los que van a aterrizar, suministrar a los pilotos la información sobre el viento, temperatura, presión barométrica, condiciones operativas del aeropuerto y control de todas las aeronaves que se encuentran en tierra, excepto las que están en la zona de maniobras adyacente a la zona de estacionamiento.

Estaciones de servicio al vuelo

Estas estaciones están ubicadas a lo largo de las aerovías y en los aeropuertos. Sus principales funciones son las siguientes:

1. información a los pilotos antes del vuelo y en el vuelo, información meteorológica, ayuda a la navegación, información sobre los aeropuertos que están fuera de servicio, los cambios en los procedimientos y las nuevas ayudas.
2. difusión de información meteorológica para los pilotos.
3. Información sobre las ayudas de navegación.

Como función secundaria tiene la de ocuparse de los mensajes de control de tráfico entre los aviones y la instalación de control en tierra.

NORMAS SOBRE SEPARACIÓN ENTRE AVIONES EN EL TRÁFICO AÉREO.

Estas normas se aplican sólo para vuelos en condiciones IFR. Las distancias mínimas son función del tipo de avión, su velocidad, existencia de radar y algunos otros factores, tales como la importancia de los torbellinos de estela.

Separación vertical

La mínima separación vertical entre aeronaves en vuelo hasta una altitud de 8,850 metros es de 300 metros. Por encima de 8,850 metros la separación

mínima es de 600 metros, por lo tanto, la primera altitud que debe considerarse por encima de los 8,850 metros, es la de 9,450 metros. Por encima de ella e incluyendo los 8,850 metros ya mencionados, las altitudes impares son las que se utilizan para vuelos con rumbo Este (Noreste y Sudeste) y las pares para los vuelos con rumbo Oeste (Noroeste y Sudoeste). Por encima de los 8,850 metros, las altitudes impares son las que se utilizan para los vuelos con rumbo Este y Oeste de la siguiente manera: los vuelos con rumbo Oeste utilizan altitudes de 9,450, 10,650, 11,850 y 13,050 metros; los vuelos con rumbo Este utilizan los 10,050, 11,250, 12,450 y 13,650 metros.

Separación horizontal

La separación horizontal mínima depende de muchos factores y entre los más importantes hay que considerar el tamaño del avión, su velocidad y la posibilidad de utilizar radar para el control de tráfico aéreo.

Los torbellinos de estela, dependen en gran parte del tamaño del avión, por lo tanto los más pesados crean torbellinos de estela que resultan peligrosos para los aviones ligeros que les puedan seguir.

Cuando el tránsito de aeronaves es tal que entre ellas no resultan perjudiciales los torbellinos creados y existe cobertura de radar, la separación mínima entre dos aviones que se dirigen en la misma dirección y a la misma altitud, es de 9 km, excepto cuando los aviones se encuentran dentro de los 74 km de la antena del radar y en ese caso la separación se reduce a 5.5 km ya que el aeropuerto casi siempre se encuentra dentro de los 74 km de una antena de radar.

En el caso de que influya la estela turbulenta, la separación mínima entre un avión ligero que sigue a uno pesado, es de 9 km. En el caso de dos aviones pesados la separación es de 7.5 km; si se tratara de un avión pesado siguiendo a uno ligero, la separación será de 5.5 km.

Separación lateral

La mínima separación lateral por debajo de la altitud de 5,400 metros es de 15 km. Por encima de aquella la separación lateral es de 37 km. Sobre el mar esta separación varía de 185 a 220 km, según el lugar.

4.2.- CONCEPTOS DE CAPACIDAD.

La capacidad de un campo de vuelo, para su planificación, se ha definido de dos modos diferentes. Una de las definiciones que se ha utilizado con gran difusión es la que dice que la capacidad "es el número de operaciones realizadas por los aviones durante un intervalo de tiempo específico en correspondencia con un nivel tolerable de demora media" y que se conoce con el nombre de "capacidad práctica".

Otra definición que cada vez está ganando más adeptos es la de que la capacidad es "el número máximo de operaciones de avión que un campo de vuelo puede aceptar durante un intervalo de tiempo específico cuando existe una demanda continuada de servicio". La demanda continuada de servicio significa que siempre existen aeronaves preparadas para despegar o aterrizar; definición que ha recibido los nombres de "capacidad total", "capacidad de saturación" y "tasa de rendimiento total".

Factores que afectan la capacidad.

Existen muchos factores que influyen en la capacidad de un campo de vuelo y algunos de ellos son más significativos que otros. En general la capacidad depende de: (1) la configuración del campo de vuelo; (2) el medio ambiente en el que opera el avión, y (3) de la disponibilidad de ayudas a la navegación y de los medios de control de tráfico aéreo. A continuación se detalla una corta lista de factores.

1. La configuración de las pistas, especialmente el número de ellas, su separación y orientación.
2. La configuración y número de las calles de rodaje.
3. La disposición, tamaño y número de posiciones de estacionamiento de aviones.
4. Para operaciones de aterrizajes y/o despegues, tiempo de ocupación de la pista.
5. Los diferentes tamaños de aviones que utilizan las instalaciones.

6. Las condiciones atmosféricas, particularmente la visibilidad, ya que las reglas de tránsito aéreo con buena visibilidad son diferentes de las de con mala visibilidad.
7. El viento; las condiciones del viento pueden hacer impracticables todas las pistas disponibles.
8. Los procedimientos para reducir el ruido puede limitar el tipo de operaciones (por ejemplo, aterrizajes, despegues) en las pistas disponibles.
9. Dentro de los impedimentos que ofrece el viento y la reducción del ruido, el modo en que los controladores escogen para hacer funcionar las pistas de aterrizaje (por ejemplo, llegadas solamente, operaciones mixtas, etc.). Esto se conoce con el nombre de "estrategia".
10. El número de llegadas en relación con el número de salidas.
11. Los torbellinos de estela.
12. Las ayudas a la navegación, tales como la disponibilidad de ILS, VOR, DME y radar.
13. La disponibilidad de espacio aéreo para establecer rutas de llegada y de salida.
14. Naturaleza y alcance de los medios de control de tráfico aéreo (por ejemplo, torre, aproximación y control de despegue).

El factor más importante y que afecta a la capacidad de la pista de aterrizaje es la separación entre los aviones sucesivos, y que depende a su vez de las apropiadas reglas de tránsito aéreo.

Las reglas de tránsito aéreo dependen de las condiciones atmosféricas y del tamaño de las aeronaves.

4.3.- TIEMPOS DE OCUPACIÓN DEL SERVICIO

Para definir la capacidad se utilizan dos intervalos de tiempo: horas y años. El primero se conoce como "capacidad práctica horaria" (PHOCAP) y el segundo como "capacidad práctica anual" (PANCAP). La PHOCAP se define como el número de movimientos de aviones que las pistas pueden acoger correspondiendo a un nivel aceptable de demora.

Existen varios niveles de demora media tolerables:

1. Para aviones que despegan, en condiciones VFR, en pista de operaciones mixtas y cuando más del 10% de los aviones son de las clases E y D, cuatro minutos.
2. Para aviones que despegan, en condiciones VFR, en pista de operaciones mixtas y cuando el 10% o menos de los aviones son de las clases E y D, tres minutos.
3. Para aviones que despegan, en condiciones VFR, en pista de operaciones mixtas y cuando menos del 1% son aviones de las clases E y D, dos minutos.
4. Para aviones que despegan, en condiciones IFR, en pista de operaciones mixtas y sin tener en cuenta el tipo de avión, cuatro minutos.
5. Para aviones que aterrizan, en condiciones IFR, en pista de operaciones mixtas y sin tener en cuenta el tipo de avión, cuatro minutos.
6. Para todas las llegadas en condiciones VFR, un minuto.

Fuente: Federal Aviation Administration (FAA)

Al aplicar los modelos, los aviones se clasifican tal como muestra la tabla (solo se mencionan algunos ejemplos del tipo y clase del avión):

Clase	Tipo de avión
E	Boeing series 747-100 a 400 Douglas serie MD 11 Lockheed serie L-1011
D	Boeing series 767, 757, 707, 720 Douglas series DC-8, DC-10 Airbus series A300, A310, A320
C	Boeing series 727, 737 Douglas series DC-9, MD-88
B	Aviones de aviación general con dos motores de hélice general y algunos modelos grandes de un solo motor.
A	Aviones de aviación general con un solo motor y de hélice.

Tabla 4.1

Fuente: Federal Aviation Administration (FAA)

PANCAP es una ampliación del concepto PHOCAP y permite que el campo de vuelos se vea "sobrecargado" por cortos períodos de tiempo a lo largo de un año. Una sobrecarga se define como el período de tiempo en el que la demanda excede la capacidad PHOCAP.

En los aeropuertos importantes con gran cantidad de reactores, la sobrecarga se define como el período de tiempo en el que la demora media es superior a los cuatro minutos. El espacio de tiempo durante el cual se permite esta sobrecarga se seleccionó empíricamente teniendo en cuenta las observaciones de campo y puede cambiarse cuando sea necesario. En los momentos en que se desarrolló la capacidad PANCAP, ésta se definió como el nivel de operaciones anuales en el que la sobrecarga ocurre, para un 10% de las operaciones de las aeronaves o para un 5% del tiempo, tomándose el que produce el número más bajo de operaciones anuales. La demora media durante los períodos de sobrecarga no debe exceder de ocho minutos.

El tiempo de ocupación total de un avión puede estimarse aproximadamente utilizando el procedimiento siguiente:

La pista se divide en los siguientes cuatro tramos: 1) vuelo desde el umbral hasta la toma de contacto con el pavimento del tren de aterrizaje principal, 2) tiempo que se requiere para que el tren de proa tome contacto con el pavimento después de que lo haya hecho el tren principal, 3) tiempo que se requiere para alcanzar la velocidad de salida desde el momento en que el tren de proa ha tomado contacto con el pavimento y se han utilizado los frenos y 4) tiempo necesario para que el avión gire y salga a la calle de rodaje dejando libre la pista. Para el primer tramo, se puede suponer que la velocidad en el momento de contacto es de 9 a 15 km/h menos que la velocidad sobre el umbral. La estimación de la deceleración en el aire es de unos 0.75 m/s^2 . El tiempo del segundo tramo depende de la velocidad de salida. El tiempo para girar y salir de la pista es del orden de diez segundos. Por lo tanto, el tiempo de ocupación en segundos es:

$$OT = \frac{V_{OT} - V_{TD}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{TD} - V_E}{2a_2} + t$$

En la que

- OT = tiempo de ocupación en segundos
- V_{OT} = velocidad sobre el umbral en m/s
- V_{TD} = velocidad en el instante del contacto en m/s
- V_E = velocidad de salida en m/s
- t = tiempo de giro y salida de la pista una vez alcanzada la velocidad de salida en segundos
- a_1 = estimación media de la deceleración en el aire, m/s^2
- a_2 = estimación media de deceleración en tierra, m/s^2

Los tiempos de ocupación normales para salidas a 95 km/h son de 40 a 45 seg. El tiempo correspondiente para 24 km/h es de 60 seg. o más, en caso de aviones comerciales.

4.4.- METODOLOGIAS APLICABLES

Una metodología que se puede aplicar para el cálculo de la capacidad de las pistas es la publicada por la Federal Aviation Administration (FAA) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Esta publicación es la Advisory Circular (AC): 150/5060-5. Con esta circular se puede calcular la capacidad horaria de las pistas.

Con respecto a las calles de rodaje exclusivamente, se ha observado que la capacidad de estas normalmente es mayor que para las pistas, por lo que únicamente se hacen estimaciones de la capacidad de calles de rodaje cuando éstas cruzan pistas en operación. Sin embargo, para calcular su capacidad normalmente se utilizan modelos matemáticos que resultan muy complicados, ya que dentro de la complejidad de las estimaciones influyen los controladores de la torre de control. Debido a esta complejidad se han creado programas para computadora que resuelven de una forma menos complicada el problema. Por tanto en el presente trabajo solo se calculará la capacidad de las pistas.

A continuación se presenta la metodología para llevar a cabo el cálculo de la capacidad horaria, utilizando la AC 150/5060-5:

Capacidad horaria de un sistema de pistas;

1. Se debe seleccionar la configuración y el uso del sistema de pistas de la figura 4.1 que más se asemeje al sistema de pistas que se pretende estudiar.
2. Del diagrama seleccionado de la figura 4.1 se obtiene el número de figura para obtener la capacidad según sean las condiciones en las que opera el aeropuerto; estas pueden ser VFR (visual flight rules) y/o IFR (instrumental flight rules).
3. Se determina el porcentaje de aviones clase C y clase D que operan en el sistema de pistas y se calcula el índice de la mezcla de la flota (Mix Index).

Este índice es una expresión matemática que representa el porcentaje de aviones clase C más tres veces el porcentaje de aviones clase D:

$$\text{Índice de mezcla} = \%(C + 3D)$$

Runway-use Diagram	Dist. No.	Runway Spacing in Feet (ft)	Figure No.			
			For Capacity		For Delay	
			WR	TR	WR	TR
	1	NA	3-3	3-43	3-71	3-90
	2	700 on nose	3-4	3-44	3-72	3-91
	3	700 to 2499	3-5	3-44	3-73	3-91
	4	2500 on nose	3-6	3-45	3-74	3-92
	5*	700 to 2499	3-7	3-44	3-75	3-91
	6	2500 to 2999	3-8	3-46	3-75	3-95
	7	3000 to 4299	3-8	3-47	3-75	3-91
	8	4300 on nose	3-8	3-48	3-75	3-94
	9*	700 to 2499	3-9	3-44	3-71	3-91
	10	2500 to 2999	3-10	3-48	3-71	3-95
	11	3000 to 4299	3-10	3-50	3-71	3-95
	12	4300 on nose	3-10	3-51	3-71	3-96
	13	700 to 2499	3-11	3-52	3-76	3-97
	14	2500 to 2999	3-11	3-53	3-76	3-97
	15	3000 on nose	3-11	3-54	3-76	3-98
	16	700 to 2499	3-12	3-52	3-77	3-97
	17	2500 to 2999	3-13	3-55	3-78	3-97
	18	3000 on nose	3-13	3-55	3-78	3-99
	19	700 to 2499	3-14	3-56	3-78	3-100
	20	2500 to 2999	3-13	3-48	3-78	3-95
	21	3000 to 4299	3-13	3-51	3-78	3-95
	22	4300 on nose	3-13	3-51	3-78	3-99
	23*	700 on nose	3-14	3-58	3-78	3-100
	24*	700 to 2499	3-15	3-52	3-79	3-97
	25	2500 to 2999	3-16	3-53	3-83	3-95
	26	3000 on nose	3-16	3-55	3-83	3-99
	27*	700 to 2999	3-15	3-52	3-79	3-97
	28	3000 on nose	3-17	3-54	3-83	3-98
	29*	700 to 2499	3-18	3-49	3-81	3-95
	30	2500 to 2999	3-19	3-55	3-71	3-95
	31	3000 on nose	3-18	3-55	3-71	3-99
	32	3000 on nose	3-20	3-56	3-72	3-91
	33	3000 on nose	3-20	3-58	3-72	3-91
	34	3000 on nose	3-21	3-56	3-82	3-91

Runway-use Diagram	Dist. No.	Runway Spacing in Feet (ft)	Figure No.			
			For Capacity		For Delay	
			WR	TR	WR	TR
	35	3000 on nose	-21	3-58	3-82	3-91
	36*	3000 to 4299	3-22	3-55	3-83	3-99
	37	4300 on nose	3-22	3-58	3-83	3-91
	38*	3000 on nose	3-22	3-56	3-83	3-91
	39*	3000 on nose	3-23	3-58	3-84	3-91
	40*	3000 on nose	3-24	3-58	3-84	3-91
	41*	3000 on nose	3-25	3-58	3-80	3-91
	42*	3000 on nose	3-26	3-58	3-71	3-91

LEGEND

INDICATES THAT AN ARRIVAL (LANDING) CAN OCCUR ON THE RUNWAY INDICATED.

INDICATES THAT A DEPARTURE (TAKEOFF) CAN OCCUR ON THE RUNWAY INDICATED.

THE LACK OF A SYMBOL HEREIN THAT SYMBOL OPERATIONS WILL NOT OCCUR ON THE RUNWAY INDICATED.

S INDICATES A VARIABLE RUNWAY SPACING.

C INDICATES A RUNWAY SPACING OF 700 TO 2499 FEET.

I, T INDICATES INTERSECTION DISTANCES.

B INDICATES THE ANGLE BETWEEN NONPARALLEL RUNWAYS.

N.A. MEANS NOT APPLICABLE.

- INDICATES "LESS THAN".

+ INDICATES "GREATER THAN OR EQUAL TO".

FOR THOSE CASES IN WHICH THE HALDING OF AIRCRAFT ARE RESTRICTED FROM USING ONE, OR MORE, OF THE RUNWAYS, SEE CHAPTER 5.

Figura 4.1

Roundabout Diagram	Diam. No.	Roundabout Intersection Distance in Feet		Figure No.			
		(a)	(r)	For Capacity		For Delay	
				WR	IFR	WR	IFR
	43	0 to 1999	< 4000	3-27	3-58	3-65	3-91
	44	2000 to 4999	< 4000	3-28	3-60	3-65	3-91
	45	5000 to 6200	< 4000	3-29	3-61	3-65	3-91
	46	0 to 1999	< 4000	3-30	3-62	3-65	3-91
	47	2000 to 4999	< 4000	3-31	3-63	3-71	3-102
	48	5000 to 6200	< 4000	3-32	3-64	3-71	3-102
	49	0 to 1999	< 4000	3-27	3-59	3-65	3-91
	50	2000 to 4999	< 4000	3-28	3-60	3-65	3-91
	51	5000 to 6200	< 4000	3-29	3-61	3-65	3-91
	52	0 to 1999	< 4000	3-30	3-62	3-65	3-91
	53	2000 to 4999	< 4000	3-31	3-63	3-71	3-99
	54	5000 to 6200	< 4000	3-32	3-64	3-71	3-99
	55	0 to 1999	< 4000	3-33	3-59	3-65	3-91
	56	2000 to 4999	< 4000	3-34	3-60	3-65	3-91
	57	5000 to 6200	< 4000	3-35	3-61	3-65	3-91
	58	0 to 1999	< 4000	3-36	3-62	3-65	3-91
	59	2000 to 4999	< 4000	3-37	3-63	3-67	3-102
	60	5000 to 6200	< 4000	3-38	3-64	3-67	3-102
	61	0 to 1999	< 4000	3-33	3-59	3-65	3-91
	62	2000 to 4999	< 4000	3-34	3-60	3-65	3-91
	63	5000 to 6200	< 4000	3-35	3-61	3-65	3-91
	64	0 to 1999	< 4000	3-36	3-62	3-65	3-91
	65	2000 to 4999	< 4000	3-37	3-63	3-67	3-91
	66	5000 to 6200	< 4000	3-38	3-64	3-67	3-91
Roundabout Diagram	Diam. No.	Roundabout Intersection Distance in Feet (a)	Figure No.				
			For Capacity		For Delay		
			WR	IFR	WR	IFR	
	67	700 or more	3-4	3-66	3-72	3-91	
	68	700 to 2999	3-9	3-66	3-72	3-91	
	69	2500 to 2999	3-10	3-68	3-71	3-95	
	70	3000 to 4299	3-10	3-52	3-71	3-95	
	71	4300 or more	3-10	3-51	3-71	3-95	
Roundabout Diagram	Diam. No.	Angle θ	Figure No.				
			For Capacity		For Delay		
			WR	IFR	WR	IFR	
	72	CA	3-4	3-66	3-72	3-91	
	73	CA	3-4	3-66	3-72	3-91	
Roundabout Diagram	Diam. No.	Angle θ	Figure No.				
			For Capacity		For Delay		
			WR	IFR	WR	IFR	
	74	0° to 14°	3-6	3-66	3-76	3-91	
	75	15° to 50°	3-6	3-65	3-76	3-92	
	76	CA	3-8	3-66	3-75	3-91	
	77	0° to 14°	3-14	3-66	3-78	3-91	
	78	15° to 50°	3-14	3-57	3-78	3-101	
	79	CA	3-12	3-66	3-77	3-91	
	80	0° to 14°	3-40	3-66	3-80	3-91	
	81	15° to 50°	3-40	3-57	3-80	3-101	
	82	CA	3-17	3-66	3-85	3-91	
	83	CA	3-41	3-66	3-89	3-91	

Figura 4.1 (cont.)

Runway-use Diagram	Diag. No.	Angle θ	Figure No.			
			For Capacity		For Delay	
			JR	IFR	JR	IFR
	86	NA	3-41	3-44	3-89	3-91
	87	NA	3-4	3-44	3-72	3-91
	88	NA	3-4	3-44	3-72	3-91
	89	0° to 14°	3-6	3-44	3-74	3-91
	90	15° to 90°	3-6	3-45	3-74	3-92
	91	NA	3-8	3-44	3-75	3-91
	92	0° to 14°	3-11	3-44	3-78	3-91
	93	15° to 90°	3-11	3-57	3-78	3-101
	94	NA	3-12	3-46	3-77	3-91
	95	0° to 14°	3-42	3-44	3-88	3-91
	96	15° to 90° c = 2000	3-40	3-57	3-88	3-101

Runway-use Diagram	Diag. No.	Angle θ	Figure No.			
			For Capacity		For Delay	
			JR	IFR	JR	IFR
	97	NA	3-17	3-44	3-82	3-91
	98	NA	3-11	3-44	3-88	3-91
	99	NA	3-91	3-44	3-89	3-91
	100	0° to 14°	3-42	3-44	3-74	3-91
	101	15° to 90°	3-42	3-57	3-74	3-101
	102	NA	3-41	3-44	3-89	3-91

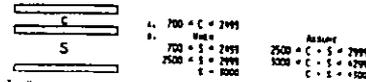
NOTES:

1. THE MINIMUM CENTERLINE SPACING OF PARALLEL RUNWAYS USED FOR SIMULTANEOUS OPERATIONS IS:

- a. 700 FEET IF USED BY ALL AIRCRAFT CLASSES A, B, C, AND D
- b. 500 FEET IF USED ONLY BY AIRCRAFT CLASSES A AND B
- c. 300 FEET IF USED EXCLUSIVELY BY AIRCRAFT CLASS A

"b. EXCEPTION: At a positive controlled airport (IFR flight plan traffic predominates) the centerline-to-centerline spacing to accommodate simultaneous arrivals streams is 2,500 FEET even in VFR conditions. The capacity limitation factor on closely spaced parallel runways at positive controlled airports that require capacity evaluation is the communications limitation of the controllers.

2. WHEN THERE ARE THREE OR MORE PARALLEL RUNWAYS USED BY ALL AIRCRAFT THE FOLLOWING RELATIONSHIP IS ASSUMED.



3. WHEN APPLICABLE, APPLY THE THRESHOLD SPACING CORRECTION DISCUSSED IN CHAPTER 4, PARAGRAPHS 4-6, TO INTERFERE WITH OTHER RUNWAY CONFIGURATIONS (S OR A), (S OR B), (A OR B), (A OR C), (B OR C), (A OR D), (B OR D), (C OR D), (A OR B OR C), (A OR B OR D), (A OR B OR C OR D).

Figura 4.1 (cont.)

4. Se determina el porcentaje de aterrizajes (PA) respecto del total de operaciones.

$$\text{Porcentaje de aterrizajes} = \frac{A + 1/2(T \& G)}{A + DA + (T \& G)} \times 100$$

en donde A: número de aviones que aterrizan en una hora
 DA: número de aviones que despegan en una hora
 T & G: número de operaciones "toques y despegues" en una hora.

5. De la figura que se obtuvo del punto 2, se determina la capacidad horaria base C*.
6. Se determina el porcentaje de "toques y despegues" durante las condiciones VFR y se obtiene el factor T. Durante las condiciones IFR el factor T es 1.00

$$T(\text{Porcentaje de T \& G}) = \frac{(T \& G)}{A + DA + (T \& G)} \times 100$$

en donde A: número de aviones que aterrizan en una hora
 DA: número de aviones que despegan en una hora
 T & G: número de operaciones "toques y despegues" en una hora.

* Las operaciones "toques y despegues" son cuando un avión aterriza en la pista e inmediatamente, sin aplicar frenos de ninguna clase, despega. Estas operaciones normalmente se realizan en los entrenamientos del piloto. Se llevan a cabo en aeropuertos que no tengan muchas operaciones de aviones.

7. Se determina la localización de las calles de rodaje de salida de la pista (medidas desde el umbral de la pista) y se determina el factor de salida E.
8. Finalmente se calcula la capacidad horaria del sistema de pistas de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad horaria del sistema de pistas} = C^* \times T \times E$$

Para llevar de manera ordenada la información es conveniente utilizar una tabla como la que se muestra a continuación:

Tabla 4.2

Clima	Configuración Diagrama No.		Capacidad	Mezcla de aviones				Indice de Mezcla	Porcentaje Aterrizajes	Porcentaje Toques y Despegues	Salidas de Pista (00 pias)		Capacidad Horaria	Factor T&G	Factor de Selid-	Capacidad Horaria
	2	3	Figura No.	%A	%B	%C	%D	% (C+30)	PA		Localización	No.	Base C'	T	E	C'. T. E
1			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Otras metodologías aplicables al cálculo de la capacidad.

Existen algunos otros tipos de modelos que determinan "el número máximo de operaciones de aeronaves que un sistema de pistas puede atender en un determinado intervalo de tiempo (normalmente una hora) cuando existe una demanda continua de servicio.

En estos modelos, la capacidad es igual al inverso de la media ponderada del tiempo de servicio de todos los aviones a que se sirve. Por ejemplo, si esta media ponderada es de sesenta segundos, la capacidad de la pista es una operación cada sesenta segundos o sesenta operaciones por hora.

Los modelos tratan la senda común de aproximación a la pista junto con la pista como "sistema de pistas". El tiempo de servicio de pista se define como el mayor de los tiempos entre la separación en el aire, en términos de tiempo o el tiempo de ocupación de una pista. Si todas las aeronaves pudieran espaciarse en el aire de una manera precisa los intervalos de tiempo mínimos permisibles por las reglas de tránsito aéreo y si además llegaran al punto de entrada* en el instante exacto que el controlador hubiese fijado para ello, se obtendría un sistema "libre de error" lo que resulta imposible conseguir en la práctica. Los aviones no pueden alcanzar el punto de entrada con tanta precisión, por consiguiente han de existir errores en la llegada a dicho punto y se supone además que estos errores tienen una distribución normal con media de cero y un valor determinado para la desviación típica.

* Punto de entrada – Punto de la trayectoria de aproximación final a partir del cual la trayectoria es común a todas las aeronaves que van a aterrizar en una pista determinada.

También se producen errores entre el punto de entrada y el umbral de pista principalmente debido a las velocidades en la aproximación y que también se ha supuesto con una distribución normal con media cero. Ambos errores deberán ser sumados para obtener el error total desde el punto de entrada hasta el umbral de la pista.

En la formulación de los modelos, va implícito el que el error de un avión no se ve influido por las demás aeronaves y que los errores son independientes uno de otro; además se supone que todos los errores tienen una distribución normal. A causa de los errores, los controladores incrementan el mínimo tiempo de separación entre aviones permitido por las reglas de tránsito aéreo en una cantidad que se conoce con el nombre de "tiempo de compensación". Considerada una separación mínima, el tiempo de compensación que se añade

puede calcularse de tal manera que se mantenga una probabilidad específica p_v de violación de ese mínimo. Los tiempos de servicio de pista se consideran también una desviación normal con un valor medio y una desviación típica específica.

Existen modelos para llegadas solamente, modelos para tiempos de compensación en llegada y con errores en el punto de entrada solamente y modelos para operaciones mixtas. A continuación se describirá el modelo para llegadas solamente.

Modelo para llegadas solamente:

Considérese una pista que se utiliza solamente para llegadas, su capacidad queda influida por los siguientes factores:

1. Combinación o mezcla de aviones, caracterizados por la segregación de aeronaves en varias clases, según las velocidades de aproximación.
2. Velocidades de aproximación de las diferentes aeronaves.
3. Longitud de la trayectoria común desde el punto de entrada hasta el umbral de la pista.
4. Las reglas mínimas de separación de tránsito aéreo en el aire o las separaciones prácticas que se observan en el caso de que no se apliquen las reglas.
5. Las magnitudes de los errores en el tiempo de llegada al punto de entrada y el error de velocidad en la trayectoria común de aproximación.
6. Probabilidad específica de violación de los tiempos de separación mínima que se consideren aceptables.
7. Tiempos medios de ocupación de la pista de las diferentes clases de aeronaves que existen mezcladas y la magnitud de dispersión de estas medias de tiempo.

Con muy poca pérdida de exactitud y para conseguir un cálculo más simple, las aeronaves se agrupan según sus diferentes velocidades (V_1, V_2, \dots, V_n). Para obtener el tiempo de servicio ponderado, en llegadas, es necesario calcular una

matriz de intervalos mínimos de tiempo entre pares de aviones en el umbral de la pista. Con esta matriz y el porcentaje de las diferentes clases de aviones en el conjunto de ellos, puede calcularse el tiempo de servicio ponderado.

El inverso de este valor es la capacidad de la pista. Si se designa con M la matriz libre de error, por T_{ij} (AA) el intervalo de tiempo mínimo en alcanzar el umbral de la pista para un avión de velocidad de clase i seguido por otro avión clase j y por P_i el porcentaje de aviones de la clase i en el conjunto de ellos y por P_j el porcentaje de aviones clase j , se tiene:

$M = [T_{ij}(AA)] =$ matriz de intervalos mínimos, T_{ij} , en el umbral de la pista para un avión de velocidad de clase j siguiendo a otro de velocidad de clase i .

El mínimo de tiempo de servicio ponderado t , que se obtiene de la matriz es igual a $\sum_{ij} P_i M_{ij} P_j$ y la capacidad C es igual a $1/t$.

Para obtener el tiempo de llegada al umbral de la pista es necesario conocer si la velocidad del avión que va delante V_i es mayor o menor que la del avión que le sigue V_j . La separación en el umbral será diferente según $V_i > V_j$ o $V_i \leq V_j$ tal como se puede ver en los diagramas espacio - tiempo de las siguientes figuras en las que se utiliza la siguiente notación:

γ = longitud de trayectoria común de aproximación.

δ = distancia de separación mínima permisible entre dos aviones que se aproximan a lo largo de la trayectoria común de aproximación.

V_i = velocidad del avión delantero de clase i .

V_j = velocidad del avión trasero de clase j .

R_i = tiempo de ocupación de la pista del avión en cabeza con velocidad V_i .

Diagrama para $V_i \leq V_j$

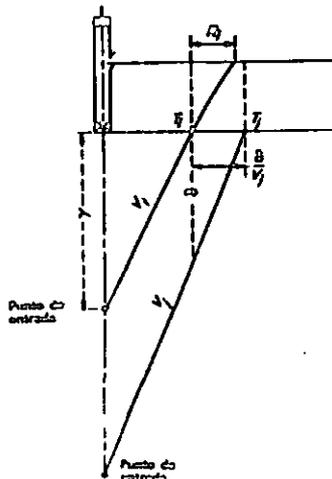
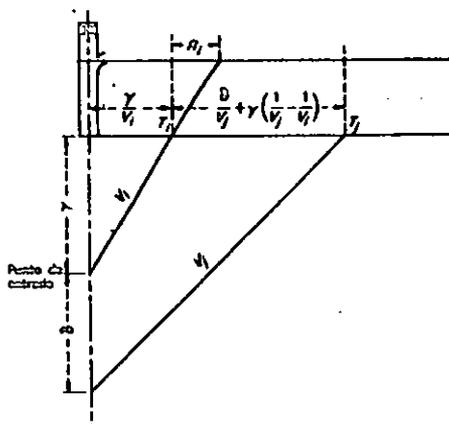


Diagrama para $V_i > V_j$



En el caso que $V_i \leq V_j$ la separación mínima en el umbral en cuanto a distancia se refiere es δ y en términos de tiempo δ/V_j , sin embargo, si R_i , tiempo de ocupación de la pista, es mayor que δ/V_j , el segundo avión estará a la mínima separación en el umbral.

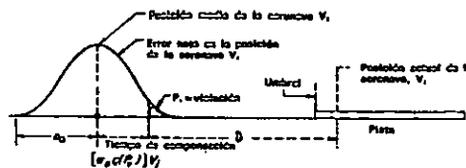
En el caso de que $V_i > V_j$ la separación de tiempo mínimo en el umbral es $\delta/V_j + \gamma(1/V_j - 1/V_i)$ que corresponde a la distancia de separación mínima δ a lo largo de la trayectoria común que ahora tiene lugar en el punto de entrada en vez de en el umbral.

Estos dos modelos representan la situación de un sistema perfecto sin errores. Para tener en cuenta los errores hay que sumar al intervalo mínimo de separación un tiempo de compensación. La magnitud de este tiempo de compensación depende de que la probabilidad de estas violaciones sea aceptable. Cuando $V_i \leq V_j$ el tiempo de compensación es una cantidad constante. Sin embargo, cuando $V_i > V_j$ el tiempo de compensación no tiene por que ser un valor constante y normalmente será menor que el tiempo de compensación para $V_i \leq V_j$.

Contando con los modelos para el tiempo de compensación, se puede plantear una matriz B de tiempos de compensación para velocidad de aviones de la clase i seguido de otro de la clase j . Esta matriz se suma a la matriz M libre de error para formar una matriz combinada $L = M + B$.

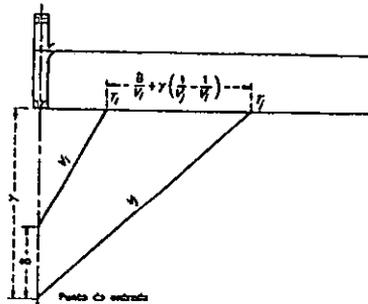
Modelos para tiempos de compensación en llegada y con error en el punto de entrada

Para el caso $V_i \leq V_j$, suponiendo que los errores tienen una distribución normal con una desviación típica σ_0 , se obtiene el valor del tiempo de compensación = $\sigma_0 q(P_v)$, en donde $q(P_v)$ es el valor para el que la función de distribución normal acumulativa típica alcanza el valor $(1 - P_v)$.

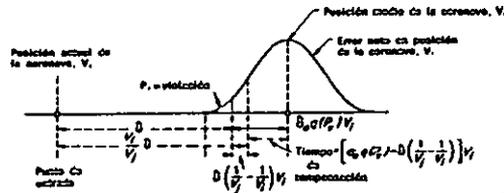


En este caso el tiempo de compensación es una constante que depende de la magnitud de dispersión del error y de la probabilidad aceptable de violación P_v .

Considerando ahora el caso de que $V_i > V_j$, el modelo se presenta bajo la suposición de que la aeronave de clase j deberá ser programada a no menos de δ km tras el avión de clase i cuando el último se encuentre en el punto de entrada, pero se supone que la separación estricta se refuerza gracias al control de tránsito aéreo tan solo cuando la aeronave de clase j llega al punto de entrada. Esta hipótesis ha quedado reflejada en la siguiente figura:



En la figura siguiente se puede ver el error de forma esquemática:



Para este caso, la probabilidad de violación es simplemente la probabilidad de que la aeronave de clase j llegue al punto de entrada antes que el avión de clase i esté a δ km pasado el punto de entrada.

El tiempo de compensación = $\sigma_v q(P_v) - \delta (1/V_j - 1/V_i)$.

No se admiten los valores negativos del tiempo de compensación; por lo tanto, los valores del mismo son números finitos positivos pero nunca menores de cero.

4.5.- CÁLCULO DE CAPACIDAD.

Para el cálculo de la capacidad de un sistema de pistas se resolverá el siguiente ejercicio:

Calcular la capacidad horaria en condiciones VFR e IFR del aeropuerto de la Ciudad de México, con los siguientes supuestos: tiene un promedio de 750 operaciones diarias. En una típica hora pico el comportamiento de las operaciones es: en VFR se presentan 10 operaciones de aviones ligeros de dos motores (clase B), 30 de aviones clase C y 10 de aviones clase D, de las cuales el 55% son aterrizajes; en IFR se reducen a 5 las operaciones de aviones clase B, los aviones Clase C y D hacen el mismo número de operaciones pero en este caso los aterrizajes son el 50%. En ninguno de los dos casos se presentan "toques y despegues".

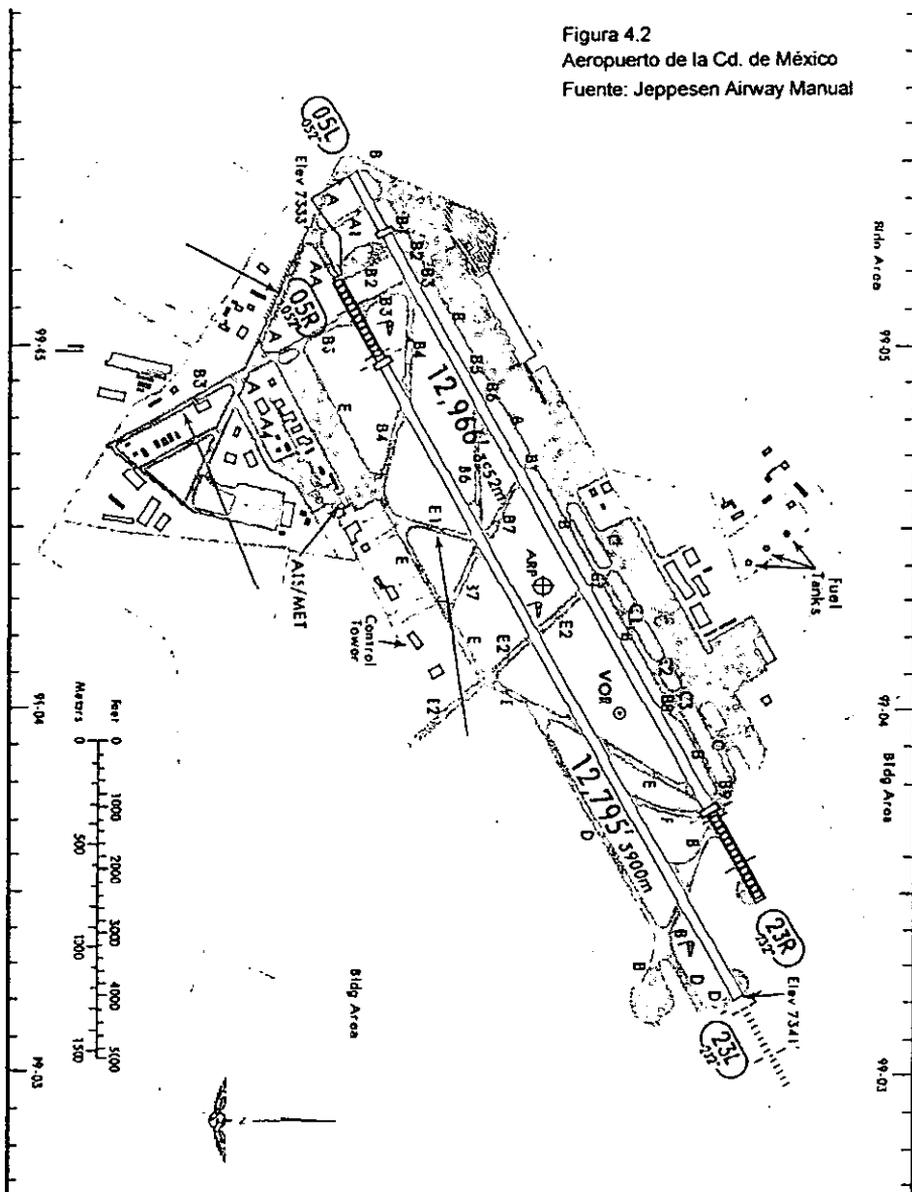
Para este ejemplo las operaciones de despegue y aterrizaje se harán en las pistas 23R y 23L (rumbo 232°), que tienen una longitud de 3952 m y 3900 m respectivamente y una separación de eje a eje de 300 m.

La pista 23R cuenta con 9 salidas (E2, B7, B6, B5 B3, B2, B, A1 y A) y la pista 23L tiene 8 (E2, B7, B6, B4, B3, B2, A1 y A).

El esquema a escala del aeropuerto de la Ciudad de México se presenta en la siguiente página.

* Aunque se considera que las dos pistas estén operando normalmente, no se calculará el efecto de las intersecciones de las calles de salida de la pista 23L con la pista 23R.

Figura 4.2
Aeropuerto de la Cd. de México
Fuente: Jeppesen Airway Manual



Solución.

1.- Condiciones climáticas.

Son las condiciones en las que va a operar el aeropuerto, que en este caso son VFR e IFR, se colocan en la columna 1.

2.- Configuración y uso de pistas

Es necesario utilizar la figura 4.1 (AC 150/5060-5 de la FAA), de donde se obtiene que el diagrama correspondiente a este caso es el No. 9 (la separación entre pistas es de 820'; 250 m). (columna 3)

RUNWAY-USE DIAGRAM	DIAG. No.	RUNWAY SPACING IN FEET (s)	FIGURE NO.			
			FIG. CAPACITY		FIG. DELAY	
			VFR	IFR	VFR	IFR
	1	∞	3-5	3-43	3-71	3-90
	2	700 or more	3-4	3-44	3-72	3-91
	3	700 to 2499	3-5	3-34	3-75	3-91
	4	2500 or more	3-5	3-45	3-74	3-92
	5*	700 to 2499	3-7	3-44	3-75	3-91
	6	2500 to 2999	3-0	3-45	3-75	3-93
	7	3000 to 4299	3-0	3-47	3-75	3-95
	8	4300 or more	3-0	3-48	3-75	3-94
	9*	700 to 2499	3-9	3-44	3-71	3-91
	10	2500 to 2999	3-10	3-49	3-71	3-95
	11	3000 to 4299	3-10	3-50	3-71	3-95
	12	4300 or more	3-10	3-51	3-71	3-95

Se debe hacer un croquis de la configuración de las pistas en la columna 2.

3.- Gráfica(s) de capacidad.

Las gráficas correspondientes para determinar la capacidad son la 3-9 (fig. 4.3) para condiciones VFR y la 3-44 (fig. 4.4) para condiciones IFR (columna 4).

Figura 4.3

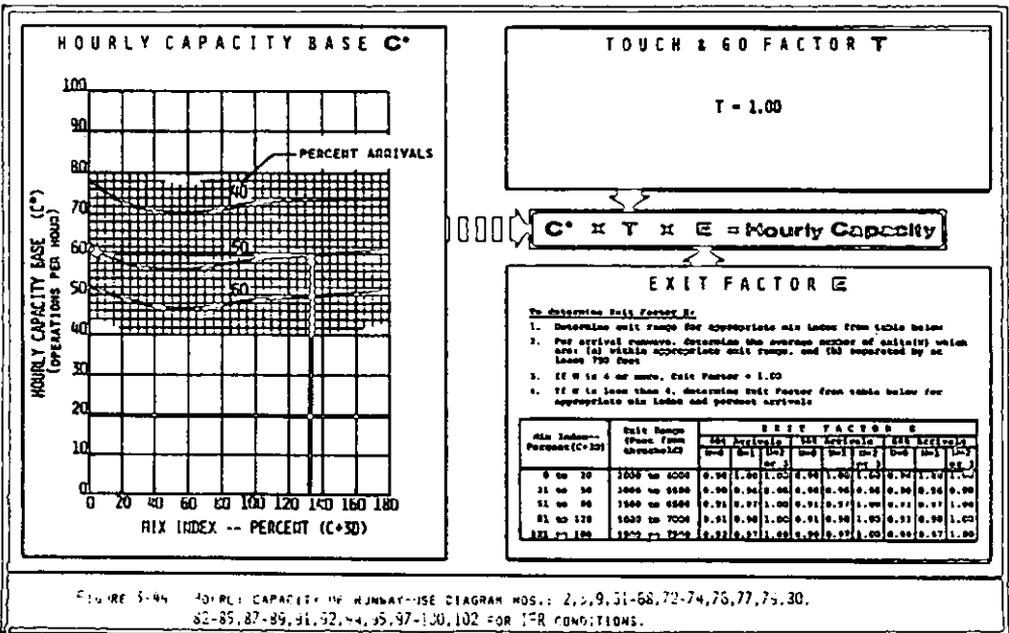
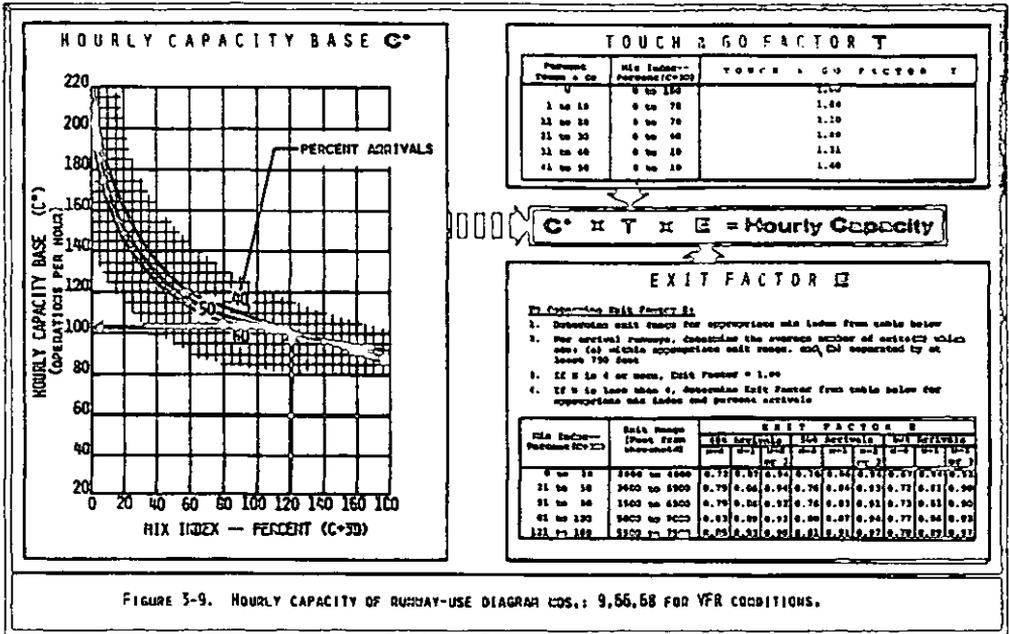


Figura 4.4

4.- Cálculo del índice de la mezcla de la flota "MI" (Mix Index).

El cálculo de este concepto se lleva a cabo utilizando la siguiente tabla:

Clase de Avión	Condiciones VFR		Condiciones IFR	
	No. Ops.	% Ops.	No. Ops.	% Ops.
A	0	0	0	0
B	10	20	5	11
C	30	60	30	67
D	10	20	10	22
TOTAL	50	100	45	100

Los porcentajes de operaciones se escriben de la columna 5 a la 8, según sea el caso.

El cálculo del índice MI será:

$$\text{Para VFR} \quad MI = 60 + 3(20) = 120$$

(columna 9)

$$\text{Para IFR} \quad MI = 67 + 3(22) = 133$$

5.- Porcentaje de aterrizajes (PA).

Para las condiciones VFR es de 55% y para las IFR 50% (columna 10).

6.- Capacidad horaria base C*.

C* se obtiene de la gráfica de la figura 4.3 para condiciones VFR y de la gráfica de la figura 4.4 para las condiciones IFR, siendo 102 y 60 respectivamente (columna 14)

7.- Factor T (toques y despegues).

No se presentan estas operaciones en este aeropuerto por lo que el factor T es 1.00 en ambos casos (columna 15).

8.- Factor de salida E.

De las figuras 4.3 y 4.4 para VFR e IFR respectivamente se determina el rango y el factor de salida E.

Para VFR hay tres salidas que se encuentran dentro del rango (5000 – 7000'); estas son la B6 (pista 23R), E y E2 (pista 23L). Para IFR con un rango de 5500 – 7500' hay tres salidas: B7, B6 (pista 23R) y E (pista 23L) (columna 12).

Los factores de salida E son 0.935 y 1.00 para VFR e IFR respectivamente (columna 16).

9.- Cálculo de la capacidad.

Para este cálculo se multiplican las columnas 14, 15 y 16 y el resultado será la capacidad horaria de las pistas, que en este caso es de 95 y 60 operaciones por hora para VFR e IFR respectivamente (columna 17).

10.- Conclusiones.

En ambas condiciones de vuelo (VFR e IFR), la capacidad horaria del sistema de pistas, que es de 95 y 60 operaciones por hora, supera la demanda de 50 y 45 operaciones por hora respectivamente (hora pico).

Para continuar con este ejemplo se presenta la capacidad horaria cuando una de las dos pistas se encuentra fuera de servicio.

Si la pista 23R se encontrara cerrada la capacidad horaria de la pista 23L sería: en condiciones VFR de 50 operaciones y en condiciones IFR de 46 operaciones.

En el caso contrario (pista 23L cerrada, pista 23R operando) la capacidad sería de 46 y 48 operaciones para las condiciones VFR e IFR respectivamente.

* La capacidad calculada es una esperanza matemática, dado que la capacidad real se ve afectada por los cruces de las calles de salida de la pista 23L con la pista 23R, así como por el controlador de la torre y los pilotos.

Clima	Configuración		Capacidad Figura No.	Mezcla de aviones				Indice de Mezcla % (C*3D)	Porcentaje Aterrizajes PA	Porcentaje Toques y Despegues	Salidas de Pista (00 pies)			Capacidad Horaria Base C'	Factor T&G T	Factor de Salida E	Capacidad Horaria C' T E
	Diagrama	No.		%A	%B	%C	%D				Localización	No					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Capacidad del aeropuerto con las pistas 23R y 23L operando normalmente																	
VFR		9	3-9	0	20	60	20	120	55	0	B7	E E2	3	102	1.00	0.935	95.37
IFR		9	3-44	0	11	67	22	133	50	0	B6	B7 E2	3	60	1.00	1.00	60
Capacidad del aeropuerto al estar cerrada la pista 23R																	
VFR		1	3-3	0	20	60	20	120	55	0	E	E2	2	53	1.00	0.935	49.555
IFR		1	3-43	0	11	67	22	133	50	0	E2		1	50	1.00	0.91	45.5
Capacidad del aeropuerto al estar cerrada la pista 23L																	
VFR		1	3-3	0	20	60	20	120	55	0	B7		1	53	1.00	0.87	46.11
IFR		1	3-43	0	11	67	22	133	50	0	B6	B7	2	50	1.00	0.96	48

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5.- PROYECTO DEL SUBSISTEMA DE CALLES DE RODAJE

El proyecto del subsistema de las calles de rodaje será hecho para una pista con las siguientes características: orientación 40° con respecto al norte (pista 04-22), de 3200 m de longitud de umbral a umbral y 45 m de ancho. La clave de referencia del aeródromo es 4E.

Flota de aviones.

La composición de la flota de aviones que utilizarán la pista está formada en su mayoría por aviones de categoría C, además de aviones clase D y E.

Las dimensiones de los aviones representativos de la flota se dan a continuación:

Modelo de aeronave	Clave	Envergadura (Ws)	Anchura total del tren de aterrizaje principal (Tm)	Longitud
B 747-400	E	64.9	12.4	70.67
B 767-200	D	47.63	10.8	48.51
B 727-200	C	32.92	6.9	45.02

Dimensiones en metros

Calles de rodaje paralelas a la pista.

El proyecto cuenta con dos calles de rodaje paralelas a todo lo largo de la pista, esto es para no obstaculizar la entrada y salida de la pista. Una será exclusivamente para los aviones que salen de la pista y la otra será para los aviones que entren a ella para despegar.

Habrà una calle de rodaje paralela pero de menor longitud que las otras dos, que servirá para la distribución de las aeronaves hacia la plataforma.

La separación entre la pista y la calle de rodaje paralela, así como entre las calles de rodaje, se mencionan más adelante.

Calles de salida.

Se tendrán dos calles de salida de alta velocidad de 30° con respecto al eje de la pista (Fig 5.2), una para aviones clase C y otra para aviones clase D, una calle de salida rápida a 45° (Fig 5.3) y una calle de salida a 90° en la cabecera (Fig 5.8).

Ubicación de las calles de salida rápida

Para ubicar la distancia (D) a la que puede* estar una calle de salida se debe tomar en cuenta la clase de avión para la que está diseñada y el ángulo que tendrá dicha salida.

De la clase de avión es necesario conocer la velocidad promedio con la que cruza el umbral (V_u), la velocidad con la que hace el toque de ruedas con el tren de aterrizaje principal (V_t) que es aproximadamente 5 km/h menor que V_u y el tiempo (t) que tarda en hacer el toque de ruedas con el tren de aterrizaje de proa (todos los aviones tardan entre 2 y 3 segundos en hacerlo).

Del ángulo al que se encuentra la calle de salida se puede saber la velocidad (V_s) a la que el avión puede hacer el viraje para salir de la pista.

Conociendo los datos anteriores, se calcula la distancia desde el umbral hasta el toque de ruedas del tren de aterrizaje principal (d_1), que en este caso será de 450 m como se menciona en el capítulo 3.2, la distancia que recorre el avión antes de que el tren de proa haga contacto con la pista (d_2) y finalmente se calcula la distancia que el avión recorre, ya con el tren de aterrizaje de proa en la pista y aplicando el frenado, hasta la calle de salida (d_3). También es necesario conocer la desaceleración (a) que tiene el avión una vez empezado el frenado (1.5 m/s² aproximadamente).

$$d_1 = 450 \text{ m}$$

$$d_2 = V_t \times t$$

$$d_3 = \frac{(V_t)^2 - (V_s)^2}{2a}$$

$$D = d_1 + d_2 + d_3$$

* En algunos casos es necesario variar la distancia D para obtener un mejor diseño o para evitar complicaciones en la localización de las salidas.

Para el cálculo de la distancia de una calle de salida rápida con un ángulo de 30° para aviones clase D y E se cuenta con los siguientes datos:

$$V_u = 282 \text{ km/h} = 78 \text{ m/s}$$

$$V_t = 277 \text{ km/h} = 77 \text{ m/s}$$

$$V_s = 95 \text{ km/h} = 26 \text{ m/s}$$

Por lo que:

$$d_1 = 450 \text{ m}$$

$$d_2 = 77(3) = 231 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{(77)^2 - (26)^2}{2(1.5)} = 1751 \text{ m}$$

$$D = 450 + 231 + 1751 = 2432 \text{ m}$$

Ahora, para el cálculo de la distancia de una calle de salida rápida con un ángulo de 30° y otra con un ángulo de 45° para aviones clase C, se cuenta con los siguientes datos:

30°

$$V_u = 260 \text{ km/h} = 72 \text{ m/s}$$

$$V_t = 255 \text{ km/h} = 71 \text{ m/s}$$

$$V_s = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$$

45°

$$V_u = 260 \text{ km/h} = 72 \text{ m/s}$$

$$V_t = 255 \text{ km/h} = 71 \text{ m/s}$$

$$V_s = 60 \text{ km/h} = 17 \text{ m/s}$$

Aplicando las ecuaciones se tiene:

$$d_1 = 450 \text{ m}$$

$$d_1 = 450 \text{ m}$$

$$d_2 = 71(3) = 213 \text{ m}$$

$$d_2 = 71(3) = 213 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{(71)^2 - (25)^2}{2(1.5)} = 1472 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{(71)^2 - (17)^2}{2(1.5)} = 1584 \text{ m}$$

$$D = 450 + 213 + 1472 = 2135 \text{ m}$$

$$D = 450 + 213 + 1584 = 2247 \text{ m}$$

Características de diseño de las calles de salida a 30° y 45°.

Las calles de salida de 30° tiene un radio de curvatura de 550 m que corresponde a una velocidad máxima de salida de 96 km/h y la de 45° un radio de 275 m para una velocidad de 65 km/h. Después de la curva de viraje, los dos tipos de calles de salida cumplen con el requerimiento de tener un tramo recto de 75 m de longitud para que la aeronave pueda detenerse completamente antes de la intersección con la calle de rodaje paralela a la pista.

Calles de entrada a la pista.

Se dispondrá de dos calles de entrada, una en cada cabecera de la pista. Estas calles de entrada son perpendiculares a la pista y conectan a dos de las calles de rodaje paralelas con la pista.

Características de diseño de las calles de rodaje.

El ancho de las calles de rodaje y las separaciones que deben existir entre los ejes de las calles de rodaje con los ejes de: calles de rodaje, pistas; así como las separaciones entre los ejes de las calles de rodaje con objetos, aparecen en la tabla 3.5. Sin embargo, debido a las tendencias de diseño de las aeronaves futuras que se presentan a continuación:

Envergadura	hasta 84 m
Anchura total del tren de aterrizaje principal	hasta 20 m
Longitud total	hasta 80 m
Altura del empenaje	hasta 23 m
Masa máxima total	hasta 567 000 kg

Fuente: Asociación de la Industria Aeroespacial de Estados Unidos.

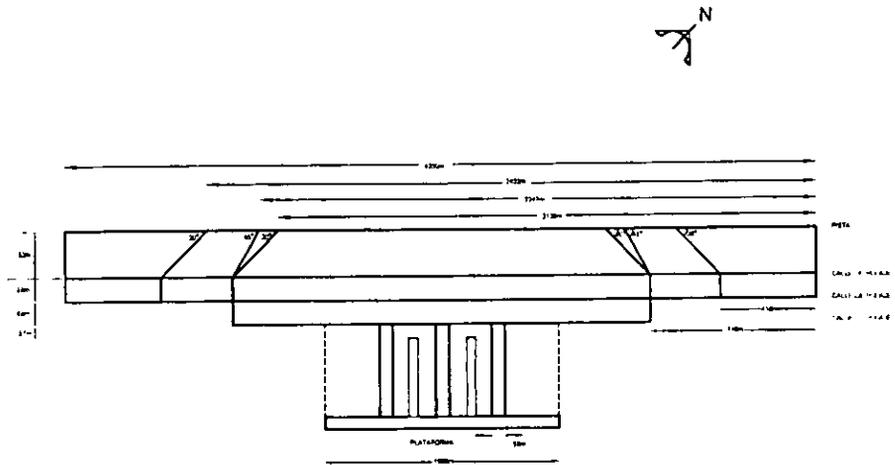


Figura 5.1
Distancias a ejes

CALLE DE SALIDA A 45°

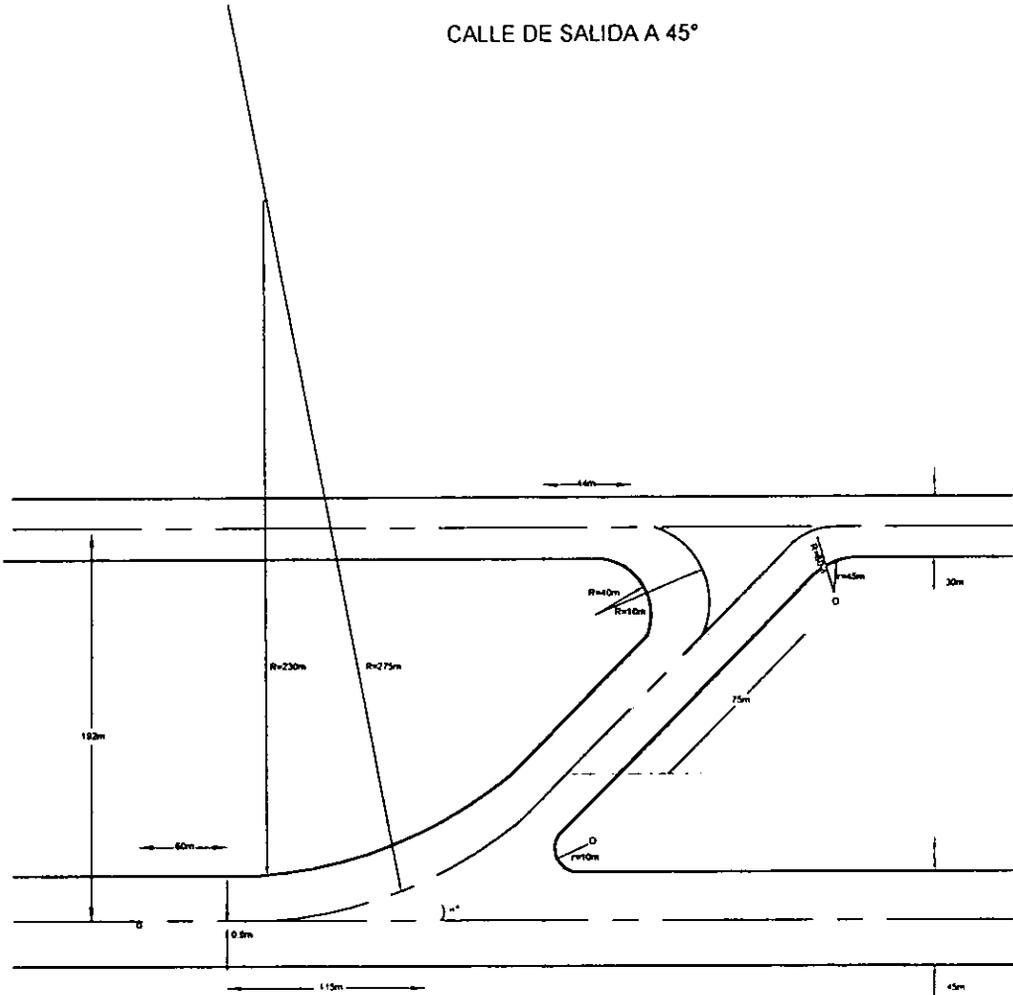


Figura 5.3

se pueden incrementar algunos valores de la tabla 3.5. Para este proyecto se modificarán los siguientes conceptos:

Anchura de las calles de rodaje

$$W_T = Tm + 2C = 20 + 2(4.5) = 29 \text{ m}$$

Para este proyecto el ancho será de 30 m, por lo tanto los márgenes laterales se reducen de 10.5 m a 7 m.

siendo:

Tm = anchura total del tren de aterrizaje principal

C = distancia libre entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje, (desviación lateral máxima permisible) Tabla 3.5

Separación entre calles de rodaje paralelas

$$S = WS + C + Z = 84 + 4.5 + 10.5 = 99 \text{ m}$$

siendo:

WS = envergadura

Z = distancia libre desde el extremo de ala a un objeto (incremento)

Letra de clave	Z (m)
C	8.5
D	10
E	10.5

Fuente: Manual de diseño de aeródromos de la OACI

Separación entre una calle de rodaje y un objeto

$$S = 0.5(WS) + C + Z = 0.5(84) + 4.5 + 10.5 = 57 \text{ m}$$

Separación entre una calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto

$$S = 0.5(WS) + d + Z = 0.5(84) + 3.5 + 8.5 = 54 \text{ m}$$

siendo:

d = desviación lateral del tren de aterrizaje = 3.5 m

Separación entre una pista y una calle de rodaje paralela

$$S = 0.5(SW + WS) = 0.5(300 + 84) = 192 \text{ m}$$

siendo:

SW = anchura de la franja = 300 m (para una pista para aproximaciones que no sean de precisión y de precisión).

Superficies de enlace.

Se requerirán superficies de enlace en los virajes de 90°, 135° y 150°. El cálculo de dichas superficies se hará utilizando el siguiente método:

Método de arco y tangente.

La trayectoria del centro del tren de aterrizaje principal de una aeronave durante un viraje es una curva compleja, pero se aproxima a un arco de círculo y sus tangentes. El diseño de una superficie de enlace que se ajuste estrechamente a la trayectoria del tren de aterrizaje principal y tenga en cuenta el margen de seguridad requerido, puede obtenerse empleando:

- un arco concéntrico con el eje de la calle de rodaje, a efectos de proporcionar la anchura adicional necesaria de pavimento en la parte interior del viraje; y
- una tangente en cada extremo del arco adicional, formando un extremo cuneiforme en la superficie de enlace, a fin de tener en cuenta la desviación residual del tren de aterrizaje principal.

Para trazar la superficie de enlace, es suficiente conocer el radio (r) del arco y la longitud (L) de los extremos cuneiformes de la superficie de enlace.

El radio de la superficie de enlace equivale a:

$$r = R - (\lambda \max + M + 0.5 T)$$

siendo

R = radio del eje de la calle de rodaje

$\lambda \max$ = 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 λ_{max} depende de la longitud de referencia (d), del radio de curvatura del eje de la calle de rodaje (R) y del régimen de cambio de dirección. Este valor máximo se obtiene de la figura 5.4 como porcentaje de la longitud de referencia de la aeronave para cualquier valor de la relación R/d comprendido entre 1 y 5.

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

$$l = 0.5X - (M + 0.5T)$$

siendo X = ancho de la calle de rodaje.

La desviación residual se alcanza al final del viraje, cuando el punto de referencia ha recorrido, a lo largo del eje de la calle de rodaje en línea recta, una distancia L3.

La longitud de cada extremo cuneiforme de la superficie de enlace es: $L = L3 - d$

El empleo de gráficos preestablecidos del apéndice 1 del Manual de diseño de aeródromos de la OACI evita todo cálculo. El ángulo de guía residual alcanzado cuando la desviación es igual a la desviación máxima admisible sin superficie de enlace, se obtiene de la figura 5.5. El valor máximo del ángulo de guía durante un viraje se obtiene de la figura 5.6. Finalmente, la figura 5.7 permite convertir los valores del ángulo de guía en desplazamientos a lo largo de la línea de guía recta.

Las gráficas, los cálculos y las figuras de las superficies de enlace se muestran en las páginas siguientes.

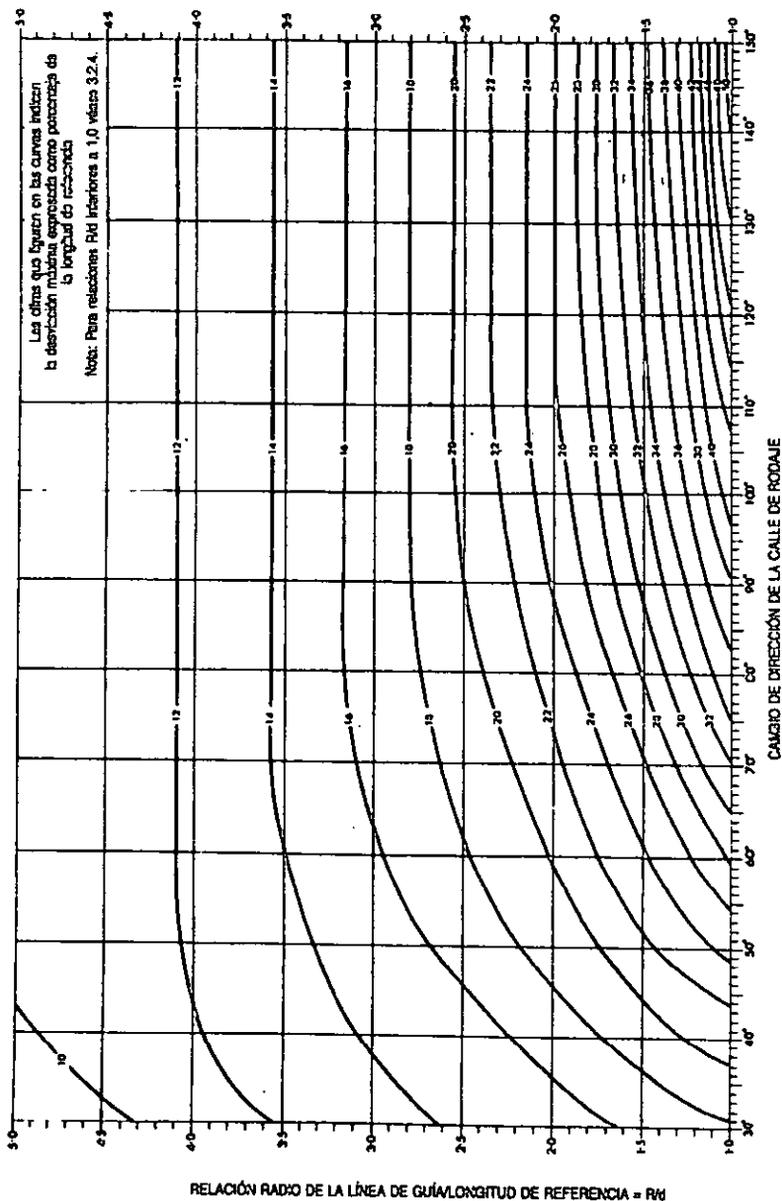


Figura 5.4 Desviación máxima del centro del tren de aterrizaje principal

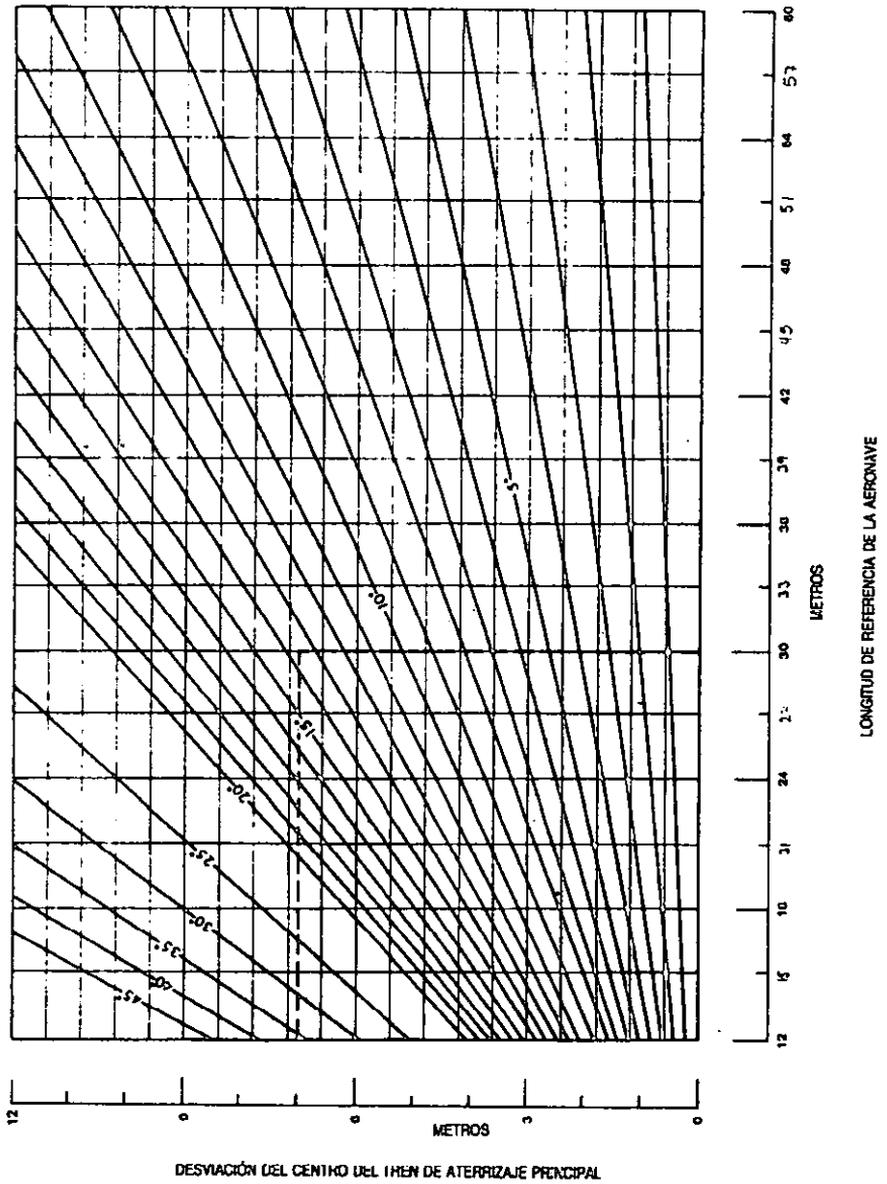


Figura 5.5 Ángulo de guía y desviación del centro del tren de aterrizaje principal

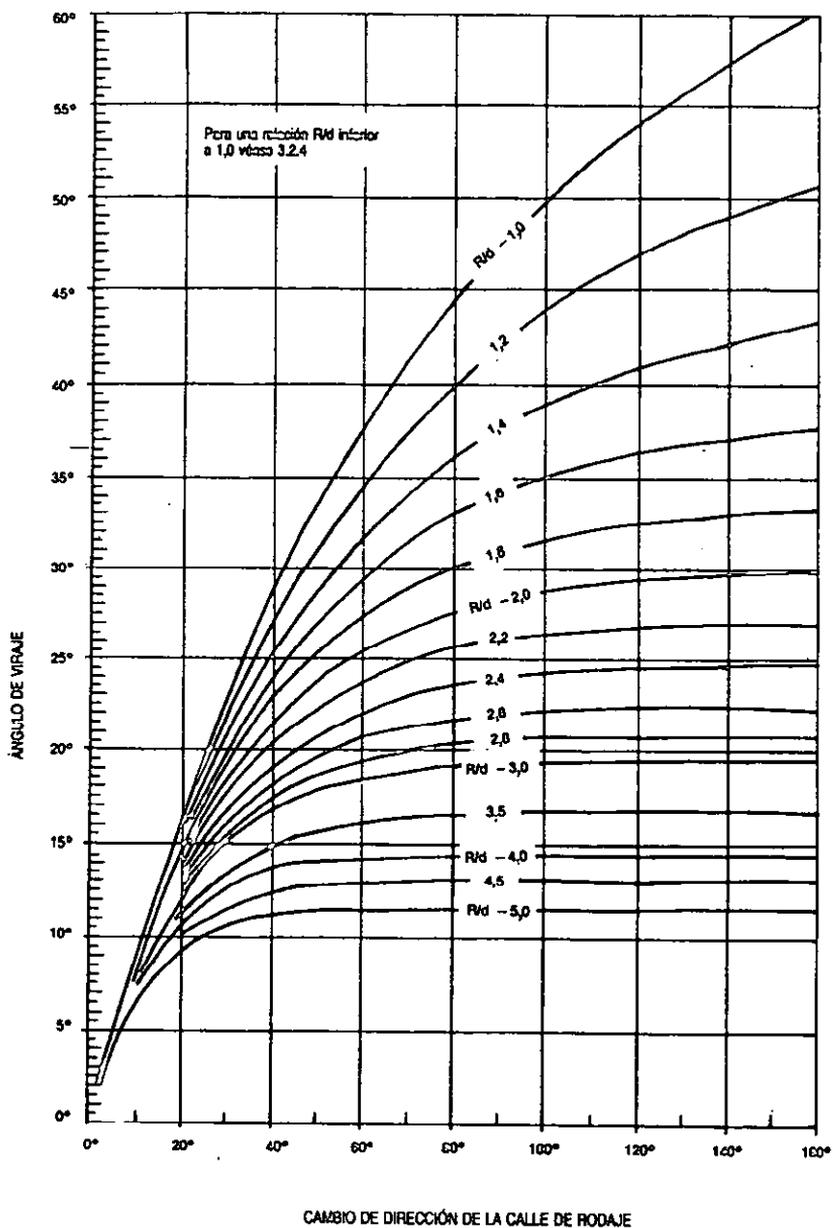


Figura 5.6 Aumento del ángulo de guía durante un viraje

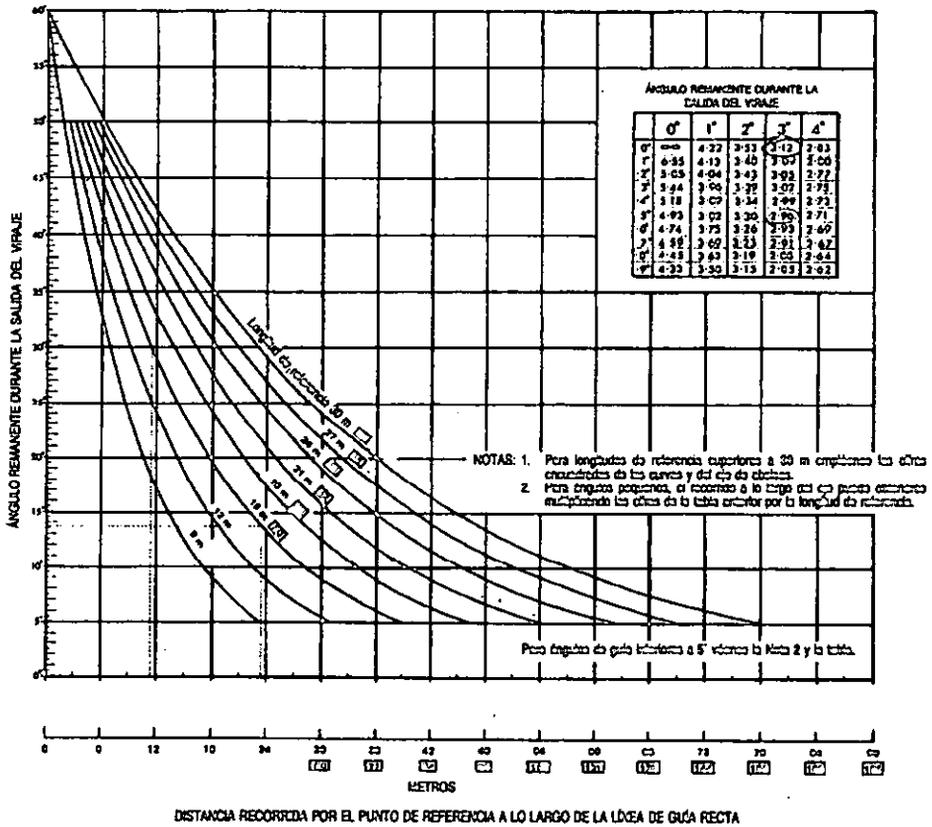


Figura 5.7 Disminución del ángulo de guía al terminar el viraje

**DISEÑO DE SUPERFICIE DE ENLACE
PARA UN VIRAJE DE 90° DE LA PISTA A LA CALLE DE RODAJE**

MÉTODO DE ARCO Y TANGENTE

DATOS

Cambio de dirección de la pista a la calle de rodaje	90°
Radio del eje de la calle de rodaje (R)	60 m
Anchura de la pista (X)	45 m
Avión de diseño	B-747-400
Longitud de referencia de la aeronave (d)	27.7 m
Ancho de vía del tren de aterrizaje de la aeronave (T)	12.8 m
Margen de seguridad (M)	7.5 m

CÁLCULOS Y GRÁFICAS

Relación R/d	2.16
Desviación máxima (fig. 5.4): 23% de d	$\lambda_{max}=6.5$ m
Radio del arco de la superficie de enlace $r = R - (\lambda_{max} + 0.5T + M)$	40 m
Desviación máxima sin superficie de enlace $I = 0.5X - (M + 0.5T)$	9 m
De acuerdo con la figura 5.5 equivale a un ángulo de:	18.5°
De la figura 5.6 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje (90°, R/d=2.16)	27°
Estos ángulos de guía se convierten en recorrido a los largo del eje recto por medio de la figura 5.7. El valor 18.5° proporciona una distancia L1 y 27° una distancia L2. La diferencia entre L1 y L2 es la distancia L3 que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía de 27° a 18.5°.	L1 = 35 m L2 = 25 m L3 = 10 m
La distancia a que se encuentra el centro del tren de aterrizaje respecto al final de la curva $L = L3 - d$	18 m

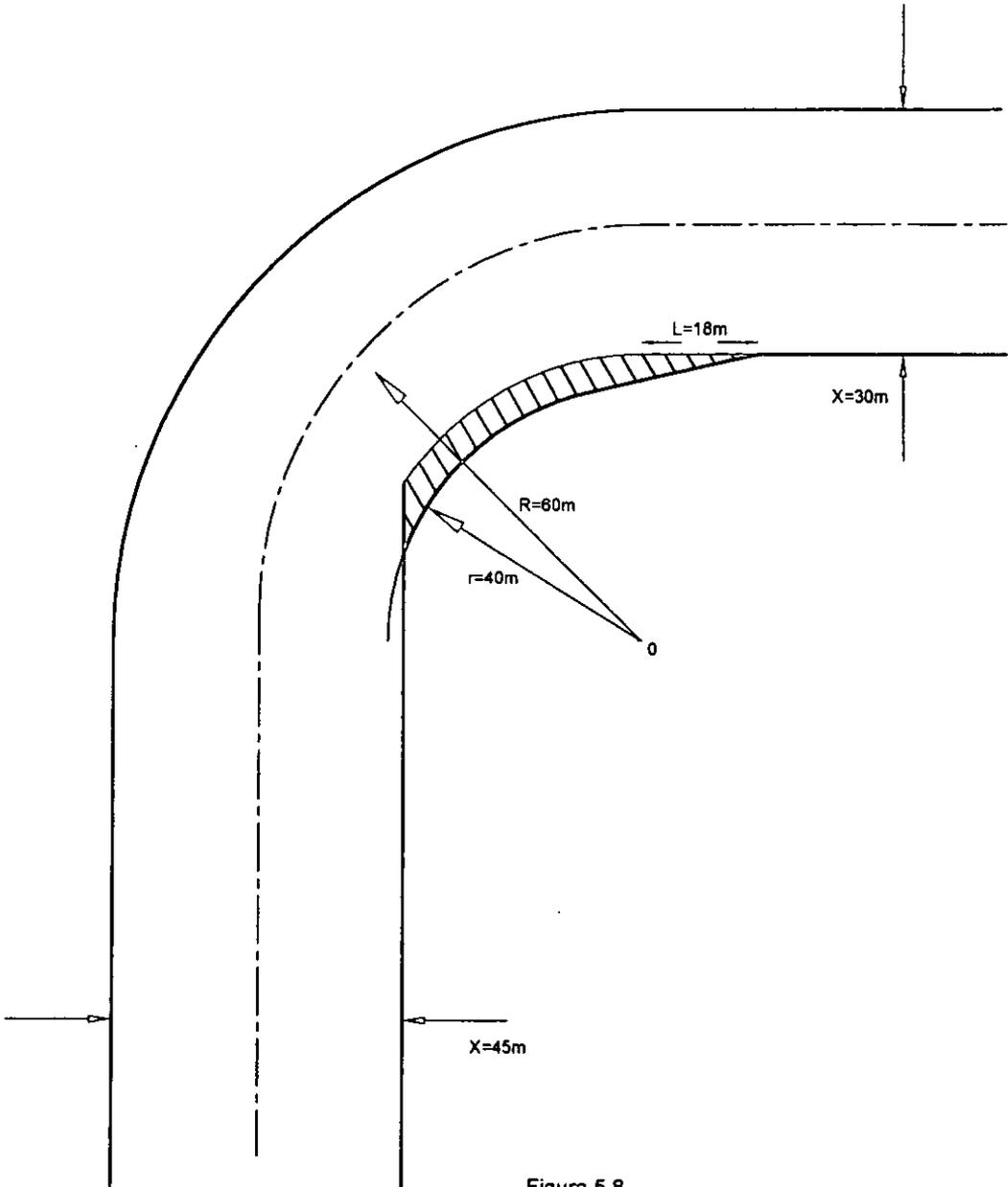


Figura 5.8

Superficie de enlace para un viraje a 90°
de la pista a la calle de rodaje.

**DISEÑO DE SUPERFICIE DE ENLACE
PARA UN VIRAJE DE 90° DE CALLE DE RODAJE A CALLE DE RODAJE**

MÉTODO DE ARCO Y TANGENTE

DATOS

Cambio de dirección de la calle de rodaje	90°
Radio del eje de la calle de rodaje (R)	60 m
Anchura de la calle de rodaje (X)	30 m
Avión de diseño	B-747-400
Longitud de referencia de la aeronave (d)	27.7 m
Ancho de vía del tren de aterrizaje de la aeronave (T)	12.8 m
Margen de seguridad (M)	7 m

CÁLCULOS Y GRÁFICAS

Relación R/d	2.16
Desviación máxima (fig. 5.4): 23% de d	$\lambda_{max}=6.5$ m
Radio del arco de la superficie de enlace $r = R - (\lambda_{max} + 0.5T + M)$	40 m
Desviación máxima sin superficie de enlace $l = 0.5X - (M + 0.5T)$	1.6 m
De acuerdo con la figura 5.5 equivale a un ángulo de:	3°
De la figura 5.6 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje (90°, R/d=2.16)	27°
Estos ángulos de guía se convierten en recorrido a los largo del eje recto por medio de la figura 5.7. El valor 3° proporciona una distancia L1 y 27° una distancia L2. La diferencia entre L1 y L2 es la distancia L3 que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía de 27° a 3°.	L1 = 86 m L2 = 25 m L3 = 61 m
La distancia a que se encuentra el centro del tren de aterrizaje respecto al final de la curva $L = L3 - d$	33 m

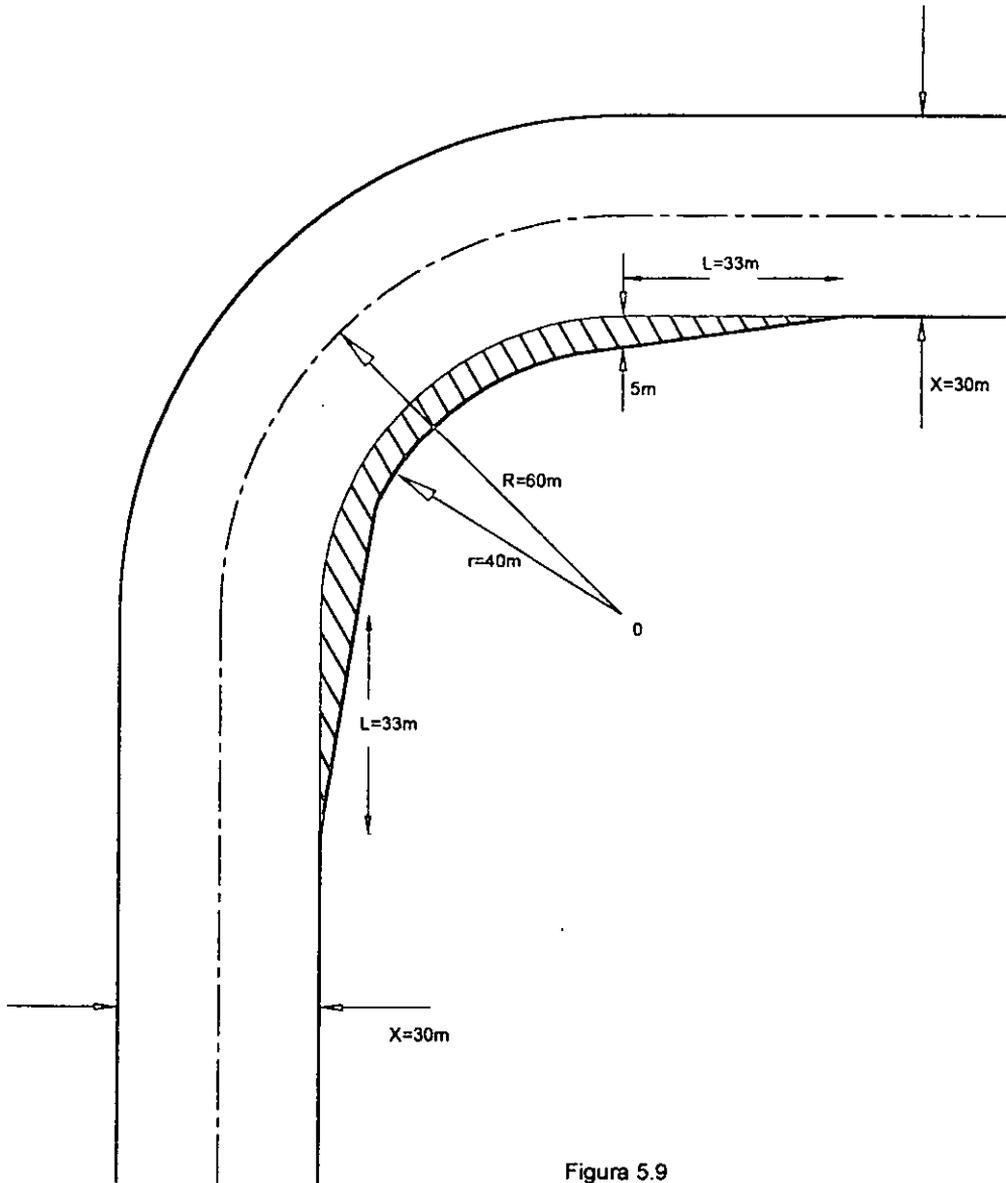


Figura 5.9

Superficie de enlace para un viraje a 90°
de calle de rodaje a calle de rodaje.

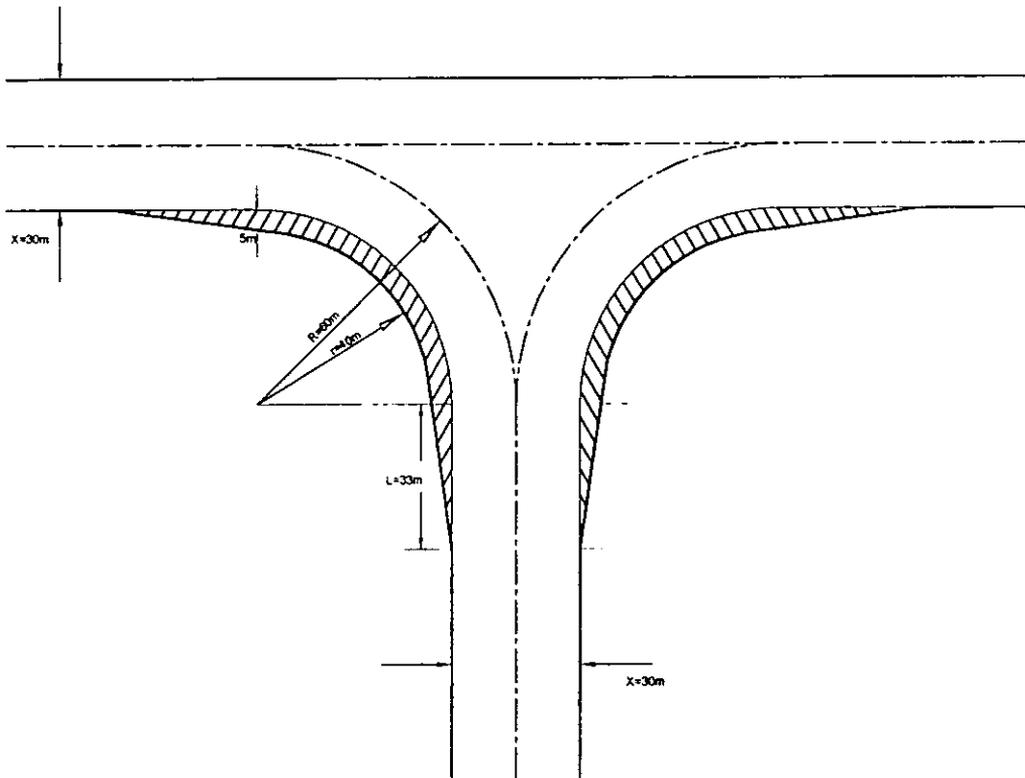


Figura 5.10

Superficie de enlace para un viraje a 90°
de calle de rodaje a calle de rodaje.

**DISEÑO DE SUPERFICIE DE ENLACE
PARA UN VIRAJE DE 135°**

MÉTODO DE ARCO Y TANGENTE

DATOS

Cambio de dirección de la pista a la calle de rodaje	135°
Radio del eje de la calle de rodaje (R)	50 m
Anchura de la calle de rodaje (X)	30 m
Avión de diseño	B-747-400
Longitud de referencia de la aeronave (d)	27.7 m
Ancho de vía del tren de aterrizaje de la aeronave (T)	12.8 m
Margen de seguridad (M)	7 m

CÁLCULOS Y GRÁFICAS

Relación R/d	1.44
Desviación máxima (fig. 5.4): 37% de d	$\lambda_{max}=10.25$ m
Radio del arco de la superficie de enlace $r = R - (\lambda_{max} + 0.5T + M)$	16.5 m
Desviación máxima sin superficie de enlace $l = 0.5X - (M + 0.5T)$	1.6 m
De acuerdo con la figura 5.5 equivale a un ángulo de:	3.4°
De la figura 5.6 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje (135°, R/d=1.44)	41°
Estos ángulos de guía se convierten en recorrido a los largo del eje recto por medio de la figura 5.7. El valor 3.4° proporciona una distancia L1 y 41° una distancia L2.	L1 = 2.99(27.7) L1 = 83 m
La diferencia entre L1 y L2 es la distancia L3 que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía de 41° a 3.4°.	L2 = 12 m L3 = 71 m
La distancia a que se encuentra el centro del tren de aterrizaje respecto al final de la curva L = L3 - d	43 m

DISEÑO DE SUPERFICIE DE ENLACE PARA UN VIRAJE DE 150°

MÉTODO DE ARCO Y TANGENTE

DATOS

Cambio de dirección de la pista a la calle de rodaje	150°
Radio del eje de la calle de rodaje (R)	50 m
Anchura de la calle de rodaje (X)	30 m
Avión de diseño	B-747-400
Longitud de referencia de la aeronave (d)	27.7 m
Ancho de vía del tren de aterrizaje de la aeronave (T)	12.8 m
Margen de seguridad (M)	7 m

CÁLCULOS Y GRÁFICAS

Relación R/d	1.8
Desviación máxima (fig. 5.4): 27.5% de d	$\lambda_{max}=7.6$ m
Radio del arco de la superficie de enlace $r = R - (\lambda_{max} + 0.5T + M)$	29 m
Desviación máxima sin superficie de enlace $l = 0.5X - (M + 0.5T)$	1.6 m
De acuerdo con la figura 5.5 equivale a un ángulo de:	3.5°
De la figura 5.6 se obtiene el ángulo de guía al final del viraje (150°, R/d=1.80)	33.5°
Estos ángulos de guía se convierten en recorrido a los largo del eje recto por medio de la figura 5.7. El valor 3.5° proporciona una distancia L1 y 33.5° una distancia L2.	L1 = 2.96(27.7) L1 = 82 m
La diferencia entre L1 y L2 es la distancia L3 que debe recorrer el punto de referencia para reducir el ángulo de guía de 33.5° a 3.5°.	L2 = 19.5 m L3 = 62.5 m
La distancia a que se encuentra el centro del tren de aterrizaje respecto al final de la curva $L = L3 - d$	35 m

Plataforma

La plataforma para el proyecto es una de concepto de espigón. Tiene dos espigones en paralelo con puestos de embarque – desembarque a ambos lados. Las aeronaves se estacionarán perpendicularmente al espigón, con la proa hacia adentro. Los puestos de estacionamiento exteriores de los espigones están destinados para aeronaves de categoría E (4 B-747 o mayores) y D (4 B-767). Los demás puestos serán para aeronaves de categoría C (B 727, MD 88, entre otros).

También se dispondrá de 12 puestos de estacionamiento remotos para los aviones que se indican en la figura 5.11.

Con respecto a las distancias libres mínimas que se deben proporcionar en el puesto de estacionamiento entre aeronaves (de ala a ala), así como entre éstas y los edificios adyacentes u otros objetos fijos, según la OACI, son de:

<u>Categoría de avión</u>	<u>Distancia libre (m)</u>
A	3.0
B	3.0
C	4.5
D	7.5
E	7.5

Para esta plataforma se dispondrán de distancias de separación entre aviones así como entre estos y la plataforma y/o algún objeto es de 5 m para categorías C y 8 m para las D y E. En la plataforma del ejemplo se plantean seis puestos de estacionamiento para aeronaves de distintas clases en cada cara del espigón y una sola calle de entrada a las posiciones, sin embargo, con el objeto de evitar demoras por congestión, es recomendable que para más de cuatro puestos de estacionamiento la calle de entrada a las posiciones sea doble.

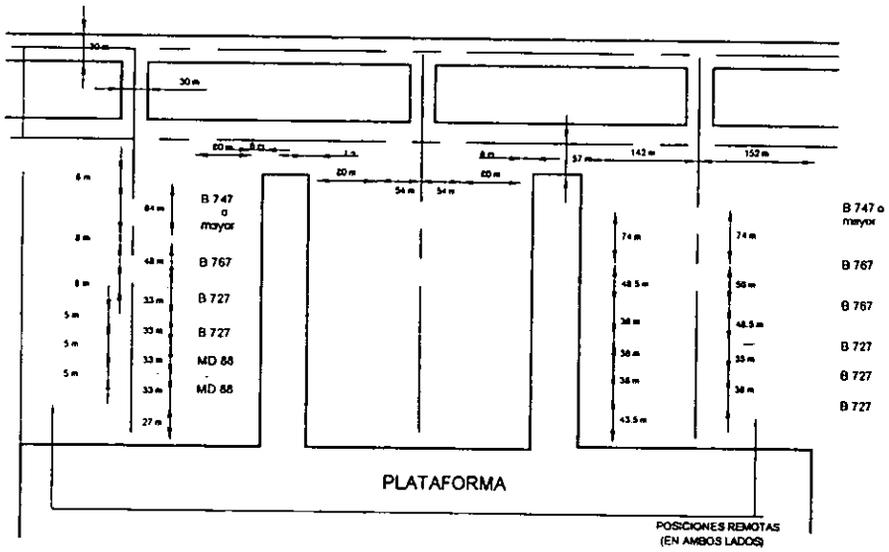


Figura 5.11

CONCLUSIONES

- La máxima utilización de la capacidad y eficacia de un aeropuerto sólo puede conseguirse logrando un equilibrio apropiado entre las necesidades relativas a pistas, edificios de pasajeros y mercancías, y áreas de estacionamiento y servicio de las aeronaves. Estos elementos funcionales de aeródromo separados y distintos están enlazados por el sistema de calles de rodaje. Por lo tanto, los componentes del sistema de calles de rodaje sirven de medios de transición entre las funciones del aeropuerto y son necesarios para alcanzar la utilización óptima del mismo.

- El diseño del sistema de calles de rodaje deberá reducir al mínimo las restricciones a los movimientos de las aeronaves entre las pistas y las plataformas. Este requisito garantiza que el sistema de calles de rodaje funcione con un mayor grado de seguridad y eficiencia.

- Al planificar la configuración general del sistema de calles de rodaje, debe tenerse presentes los siguientes principios:
 - a) el trayecto descrito por las calles de rodaje deben conectar los diversos elementos del aeródromo utilizando las distancias más cortas, para reducir al mínimo el tiempo de rodaje y el coste. También debe ser lo más sencillo posible, con objeto de evitar confundir al piloto y la necesidad de dar instrucciones complicadas.
 - b) siempre que sea posible, deberán utilizarse tramos rectos de pavimento. Cuando los cambios de dirección sean necesarios, se diseñarán curvas con radio adecuado, así como superficies de enlace o calles de rodaje más anchas, a fin de permitir el rodaje a la máxima velocidad que sea posible.
 - c) debe tratar de evitarse que las calles crucen las pistas u otras calles de rodaje, en interés de la seguridad y para reducir la posibilidad de que ocurran demoras importantes en el rodaje.
 - d) las calles de rodaje deberán tener tantos tramos unidireccionales como sea posible, para reducir al mínimo los conflictos de tránsito de aeronaves y las demoras.

- e) el sistema de calles de rodaje deberá planificarse de modo que se logre la máxima vida útil de cada componente, a fin de que en las futuras etapas de ampliación se incluyan elementos del sistema existente.
- El sistema de calles de rodaje deberá tener la capacidad de atender, sin demoras significativas, el volumen de llegadas y salidas de aeronaves que puede aceptar el sistema de pistas.
 - Para determinar la capacidad de las pistas y calles de rodaje deben utilizarse modelos matemáticos de las operaciones de un aeropuerto, que muchas veces son muy complejos, pero que nos dan una idea de como se espera que sea la capacidad del sistema.
 - La determinación de la capacidad de las pistas y las calles de rodaje en los esquemas alternativos para mejorar un aeropuerto existente o establecer uno nuevo, resulta un paso esencial en la confección de un Plan Maestro. De la comparación de la demanda con la capacidad se obtiene una información básica para determinar las dimensiones de las instalaciones y servicios necesarios.
 - Las pistas y calles de rodaje son los elementos menos flexibles del aeródromo y por lo tanto, deben tenerse en cuenta en primer lugar cuando se planifica la construcción de un aeródromo. Los pronósticos sobre las actividades futuras deberán identificar las variaciones en el ritmo de los movimientos de aeronaves y otros factores que inciden en la configuración y las dimensiones de los sistemas de pistas y calles de rodaje. Debe tenerse cuidado de que la atención que se preste a las necesidades actuales del sistema no haga que se descuiden las etapas posteriores de desarrollo.
 - Si se pronostica que un aeródromo ha de servir en lo futuro a aeronaves de mayor tamaño, el sistema actual de calles de rodaje deberá trazarse de modo que se tengan en cuenta las separaciones mayores que serán finalmente necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

- Planning and Design of Airports
Robert Horonjeff, Francis X. McKelvey
4ta Edición

- Airport Engineering
Norman Ashford, Paul H. Wright
3ra Edición

- Aeródromos
Normas y Métodos Recomendados Internacionales
Anexo 14, volumen 1
Segunda edición, 1995

- Manual de Diseño de Aeródromos
Documento 9157 parte 2
Calles de Rodaje, Plataformas y Apartaderos de Espera
Tercera edición, 1991

- Airport Capacity and Delay
Advisory Circular AC: 150 / 5060-5
U.S. Department of Transport
F.A.A.