

Nº 98  
2EJ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA

"EFECTOS DE LOS ESPACIOS AEREOS EN LA  
OPERACION DE LOS AEROPUERTOS"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A ;**

**JOSE ARTURO REYNA GALINDO**



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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

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

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

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

## I N D I C E

	Pág.
<b>Capítulo I. Introducción</b>	<b>01</b>
<b>Capítulo II. Descripción general de los sistemas de un Aeropuerto</b>	<b>07</b>
Espacios Aéreos	10
Radioayudas para la navegación	15
Pistas, calles de rodaje y plataformas	41
Area Terminal	76
Estacionamiento y vías de acceso	79
<b>Capítulo III. Análisis de los Espacios Aéreos</b>	<b>85</b>
Superficies limitadoras de obstáculos	87
Documento 8168 de OACI	97
Manual de Procedimientos Terminales (TERPS)	147
Comparaciones	178
<b>Capítulo IV. Efectos en la Localización y Operación</b>	<b>181</b>
<b>Capítulo V. Aplicaciones</b>	<b>193</b>
Diseño de un procedimiento con NDB fuera del aeropuerto (Guadalajara)	194
Rediseño del procedimiento ILS para la pista 28 del Aeropuerto de Acapulco	217
<b>Capítulo VI. Conclusiones</b>	<b>247</b>
Glosario de Abreviaturas aeronáuticas	253
Bibliografía	256

**CAPITULO I  
INTRODUCCION**

## CAPITULO I INTRODUCCION

El transporte aéreo constituye en la economía moderna de las naciones un factor de importancia primordial. Si bien los volúmenes de bienes y el número de pasajeros que mueve son de magnitud mucho menor que la que permiten otros modos de transporte, la velocidad que con él se logra resulta decisiva para que en ciertos casos resulte imprescindible; por ejemplo cuando se trata del desplazamiento de mercancías con un alto valor en relación con su peso o del desplazamiento de personas que disponen de poco tiempo para transportarse.

Para el eficaz funcionamiento del transporte aéreo se requiere que un país cuente con una adecuada infraestructura aeroportuaria que permita el arribo y partida de las naves en condiciones de seguridad y rapidez. Las velocidades de desplazamiento que se pueden obtener con los modernos equipos de aerotransporte, en muchas ocasiones son nulificadas por el deficiente funcionamiento de los aeropuertos en donde los pasajeros pierden horas valiosas en llegar y salir.

Esta situación implica que actualmente la operación del transporte aéreo esté limitada más por la eficiencia de la infraestructura en tierra y en el aire que por el perfeccionamiento de los aviones.

El proyecto de aeropuertos es en buena medida de la competencia de los ingenieros civiles, dentro de un ambiente altamente disciplinario. Numerosos son los factores que deben tomarse en cuenta en este proyecto para lograr que el aeropuerto cumpla con las metas deseadas de seguridad y eficiencia. De esos factores, en la presente tesis se estudia el efecto de uno de ellos, que si bien es fundamental, no es único.

Se tratará de analizar el efecto que en la operación de un aeropuerto causa la limitación de espacios aéreos.

el espacio aéreo es la región libre de obstáculos por donde las aeronaves pueden aproximarse a un aeropuerto y también ascienden en condiciones -- óptimas de maniobrabilidad y seguridad.

Resulta lógico pensar que al orientar una pista se deberá considerar entre otros factores, que la trayectoria de descenso y ascenso quede libre, dentro de ciertos límites, de obstáculos como montañas, torres edificios, etc.

Además de cuidar el seguro libramiento de obstáculos será necesario con siderar las trayectorias por las que deben volar los aviones en aproxima-- ción, ascenso y vuelo en ruta. Estas trayectorias se determinan de acuer-- do a las condiciones de vuelo en que se encuentre operando la aeronave; - si las condiciones metereológicas existentes son de poca visibilidad y el techo de nubes en bajo, será necesario que se opere el avión apoyándose en radioayudas para la navegación. Estas radioayudas permiten señalar - las rutas de llegada y salida de un aeropuerto así como la conexión de - un aeropuerto de origen y otros de destino mediante aerovías.

Tanto las llegadas como las salidas, las aproximaciones y las aerovías - deberán quedar dentro de los espacios aéreos designados a manera de ga-- rantizar el franqueamiento seguro de obstáculos.

La limitación de espacios aéreos determina la localización de un aeropuer-- to; y su diseño correcto, considerando las aproximaciones y salidas por - instrumentos, permitirá una operación eficiente del mismo.

Con el actual desarrollo de las operaciones aeronáuticas, un vuelo cual-- quiera puede atravesar varios países y aterrizar en diversos aeropuertos. Por esto surge la necesidad de uniformizar las normas y los procedimien-- tos del tránsito aéreo, tales como las licencias al personal, reglamen-- tación del aire, meteorología aeronáutica, cargas aeronáuticas, unidades de medición, operación de aeronaves, matrículas, telecomunicaciones y -

fraseología, control de tránsito aéreo, etc. Con este fin, en diciembre de 1944 se fundó la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) a la que actualmente pertenecen más de 160 Estados soberanos, incluyendo a México, que han firmado el convenio de Chicago mediante el cual se comprometen a respetar diversos acuerdos. De este convenio existen anexos en los que se especifican detalladamente asuntos diversos, documentos en los que se especifican procedimientos de operaciones y manuales que sirven para el proyecto aeronáutico.

El margen de libramiento de los obstáculos así como las dimensiones recomendables de los espacios aéreos están normados por la OACI en su Anexo 14 Aeródromos y en su Documento 8168 - Operación de Aeronaves.

Por otra parte, en los Estados Unidos de América, la Agencia Federal de Aviación (FAA) ha publicado un Manual de elaboración de procedimientos terminales (TERPS) para normar el manejo de los espacios aéreos en ese país.

En México son de observancia legal las recomendaciones de OACI, sin embargo suele en la práctica aplicarse también el Manual TERPS, por la calidad técnica de este documento y por el gran desarrollo que en el vecino país ha tenido la aviación.

Por estas razones en esta tesis se presentan, se comparan y se discuten tanto los documentos de OACI como los de la FAA.

Finalmente, se desea recalcar que los ingenieros civiles deben proyectar, construir y supervisar la operación de aeropuertos, ya que estas actividades deben involucrar la aplicación de diferentes ramas de la ingeniería civil para realizarse con éxito. Dentro de las especializaciones de ingeniería civil debe contarse a la Ingeniería de Aeropuertos. Esta tesis pretende contribuir, de manera modesta, a la difusión de la Ingeniería de Aeropuertos en nuestro país.



## C A P I T U L O · I I

### Descripción general de los sistemas del Aeropuerto

## C A P I T U L O II

### Descripción general de los sistemas del Aeropuerto

Un aeropuerto también llamado complejo aeroportuario, está formado por un conjunto de sistemas y éstos a su vez por subsistemas que permiten la - - transferencia de un medio de transporte a otro, terrestre a aéreo y vice-versa, así como la operación segura y armónica de las aeronaves.

Para su funcionamiento un aeropuerto debe contar con facilidades para que los medios terrestres puedan operar: un camino de acceso, lugar de desembarco de los ocupantes del vehículo y su equipaje, estacionamiento, así - como un sitio que permita realizar trámites del viaje y en donde puedan - esperar los pasajeros, con comodidad, el momento de abordar el transporte aéreo.

Por otro lado, el avión requiere de una superficie amplia, resistente, -- nivelada, libre de obstáculos y con una longitud suficiente para tomar -- tierra o despegar: la pista.

Esta se debe unir por medio de unos caminos, llamados calles de rodaje, - a la plataforma la cual está conectada con el edificio terminal.

En base a lo anterior se pueden determinar los sistemas componentes de un aeropuerto:

- 1.- Espacios aéreos
- 2.- Pistas, calles de rodaje y plataformas
- 3.- Edificio terminal
- 4.- Vías de acceso y estacionamiento
- 5.- Zona de almacenamiento y distribución de combustible
- 6.- Instalaciones complementarias

## CAPITULO II

### Descripción general de los sistemas del Aeropuerto



## C A P I T U L O I I

### Descripción general de los sistemas del Aeropuerto

Un aeropuerto también llamado complejo aeroportuario, está formado por un conjunto de sistemas y éstos a su vez por subsistemas que permiten la - transferencia de un medio de transporte a otro, terrestre a aéreo y vice-versa, así como la operación segura y armónica de las aeronaves.

Para su funcionamiento un aeropuerto debe contar con facilidades para que los medios terrestres puedan operar: un camino de acceso, lugar de desembarco de los ocupantes del vehículo y su equipaje, estacionamiento, así como un sitio que permita realizar trámites del viaje y en donde puedan - esperar los pasajeros, con comodidad, el momento de abordar el transporte aéreo.

Por otro lado, el avión requiere de una superficie amplia, resistente, -- nivelada, libre de obstáculos y con una longitud suficiente para tomar -- tierra o despegar: la pista.

Esta se debe unir por medio de unos caminos, llamados calles de rodaje, - a la plataforma la cual está conectada con el edificio terminal.

En base a lo anterior se pueden determinar los sistemas componentes de un aeropuerto:

- 1.- Espacios aéreos
- 2.- Pistas, calles de rodaje y plataformas
- 3.- Edificio terminal
- 4.- Vías de acceso y estacionamiento
- 5.- Zona de almacenamiento y distribución de combustible
- 6.- Instalaciones complementarias

## II.1 Espacios aéreos

Para que un aeropuerto sea operado con seguridad debe cumplir con especificaciones que señalan los organismos internacionales referentes a los espacios aéreos, estos forman parte importante de un aeropuerto, ya que son zonas libres de obstáculos tales como montañas, edificios, etc. en donde las aeronaves pueden realizar con seguridad las operaciones de aproximación y despegue del aeropuerto.

El estudio de los espacios aéreos debe definir la localización de un aeropuerto y la orientación de las pistas, pues las trayectorias que siguen los aviones no deben tener restricciones por obstáculos naturales o artificiales.

Antes de describir las limitaciones que marca la OACI referentes a las zonas libres de obstáculos debemos entender qué tipo de operaciones son las que realizan las aeronaves:

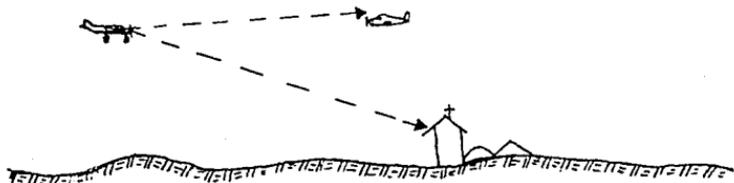
### Operaciones

La operación de las aeronaves se realiza bajo dos reglas de vuelo, mismas que están definidas en el anexo 2 de la OACI:

#### 1.- Operación visual

(Reglas de vuelo visual VFR del inglés Visual Flight Rules)

Este tipo de operación se caracteriza en que el piloto debe mantener visualmente separación entre el terreno y otros aviones; la navegación siempre será apoyada en puntos de referencia visual en el terreno.



## 2.- Operación por instrumentos

(Reglas de vuelo por instrumentos, IFR del inglés Instrument Flight -- Rules)

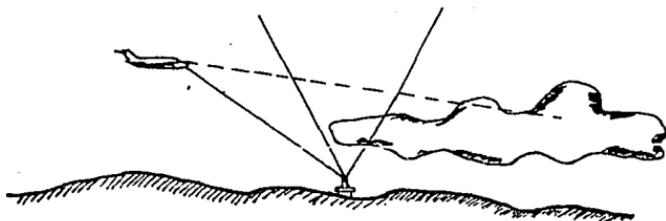
Esta operación se realiza de manera que el piloto navega apoyándose en radio ayudas en tierra cuyas señales son captadas por instrumentos abordo del avión; la separación con otras aeronaves es proporcionada por el servicio de control de tránsito aéreo (CTA). Más adelante se describirán las radioayudas y el CTA.

Las operaciones IFR se dividen en dos tipos:

### Condiciones visuales

(VMC, Visual Meteorological Conditions)

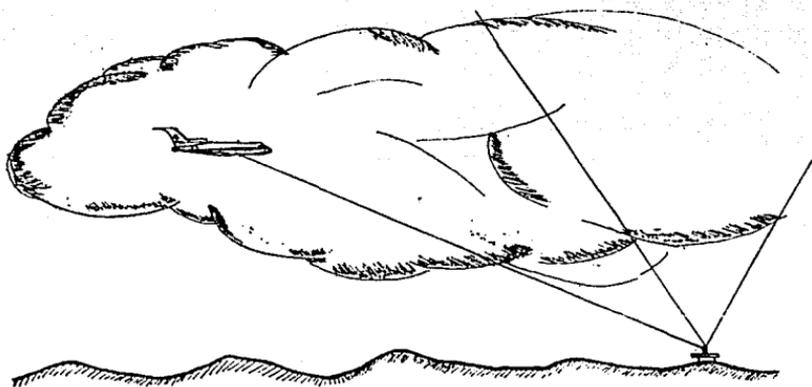
Aunque el vuelo se realiza apoyándose en las radioayudas las condiciones meteorológicas son tales que permiten visibilidad.



### Condiciones instrumentos

(IMC, Instrument Meteorological Conditions)

En esta operación, el vuelo se realiza completamente por instrumentos ya que las condiciones meteorológicas no permiten visibilidad., esta es una condición real de instrumentos.



Como se mencionó anteriormente, cuando la operación se realiza bajo las -- reglas de vuelo por instrumentos (IFR y en algunos casos VFR; la separa-- ción con otras aeronaves es proporcionada por el control de tránsito aé-- reo (CTA).

En nuestro país la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de aeronáutica Civil, es la autoridad responsable de los Servicios de Tránsito Aéreo, facilitados a la aviación civil nacional e Internacional.

Los servicios de control de tránsito aéreo en México, son suministrados - por el organismo desconcentrado denominado: Servicios a la Navegación en- el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), a excepción de todas las Bases - - Aéreas Militares y Estaciones Aeronavales.

El servicio se proporciona en los distintos espacios aéreos designados. - (ver figura)

La OACJ a través de su documento 4444 recomienda los servicios de control- de tránsito aéreo (CTA) que se deben proporcionar, así como la fraseología a utilizar en las comunicaciones aeronáuticas.

En México se proporcionan los siguientes servicios de C.T.A.

- Servicio de Control de area (Centro de Control)
- a) Este servicio se facilita en el espacio aéreo superior (a/o arriba -- de 20,000 pies) dentro de las aerovías excepto en áreas donde también se suministra fuera de rutas aéreas (bajo cobertura rodar).
- b) En el espacio aéreo inferior (abajo de 20,000 pies) el servicio se limita a las aerovías y rutas aéreas designadas como espacio aéreo controlado.
- Servicio de control de aproximación.

Se proporciona en las areas de control terminal y zonas de control, dentro de las aerovías, rutas y procedimientos publicados, excepto en areas bajo cobertura radar donde también se proporciona fuera de las aerovías, rutas o procedimientos establecidos.

Este servicio controla a las aeronaves de llegada y de salida del aeropuerto dentro de un radio de 50 millas náuticas y abajo de 20,000 pies.

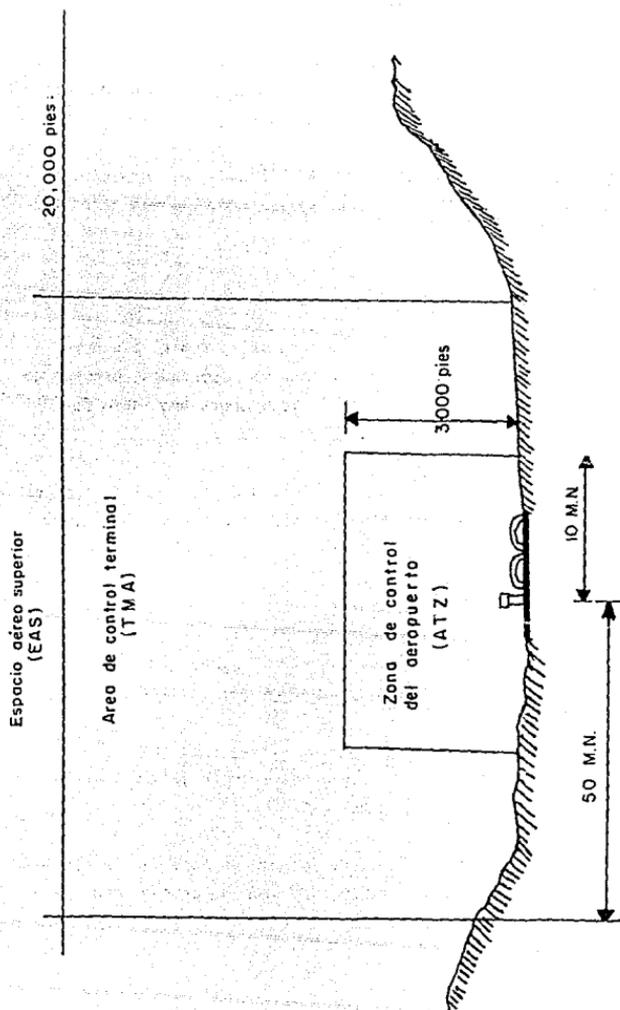
- Servicio de control de aeródromo

Se proporciona dentro de la zona de control de aeropuerto (radio de  $\pm$  10 M.N. centro en el aeropuerto y abajo de 3000 pies sobre la elevación del aeropuerto).

Torre de control.- La cual autoriza despegues, aterrizajes de tráfico -- visual e instrumentos así como de cruces de pistas.

Control terrestre.- El cual controla todos los movimientos de las aeronaves en tierra. (rodaje, remolque, arranque de motores, pruebas etc.)

En aeropuertos con poco tráfico este servicio está integrado y se proporciona a través de una misma frecuencia los servicios de control de aproximación, torre y terrestre.



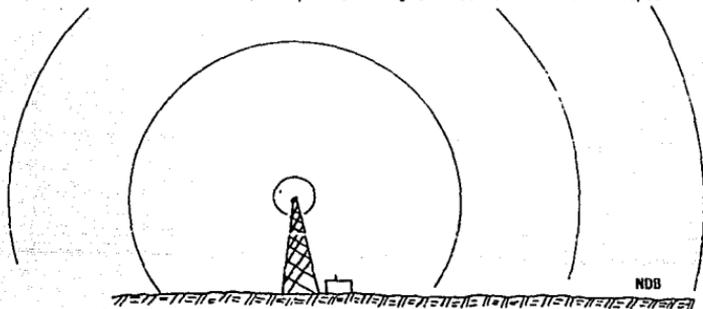
## Radioayudas para la navegación

### 1.- Radiofaro no direccional (NDB)

El NDB (Non Directional Beacon) es un equipo emisor de baja frecuencia -- (LF) ó frecuencia media (MF), transmite señales de radio comprendidas entre los 200-1750 khz., se utiliza en el balizamiento de rutas aéreas, preferentemente oceánicas debido a su mayor alcance sobre áreas marítimas.

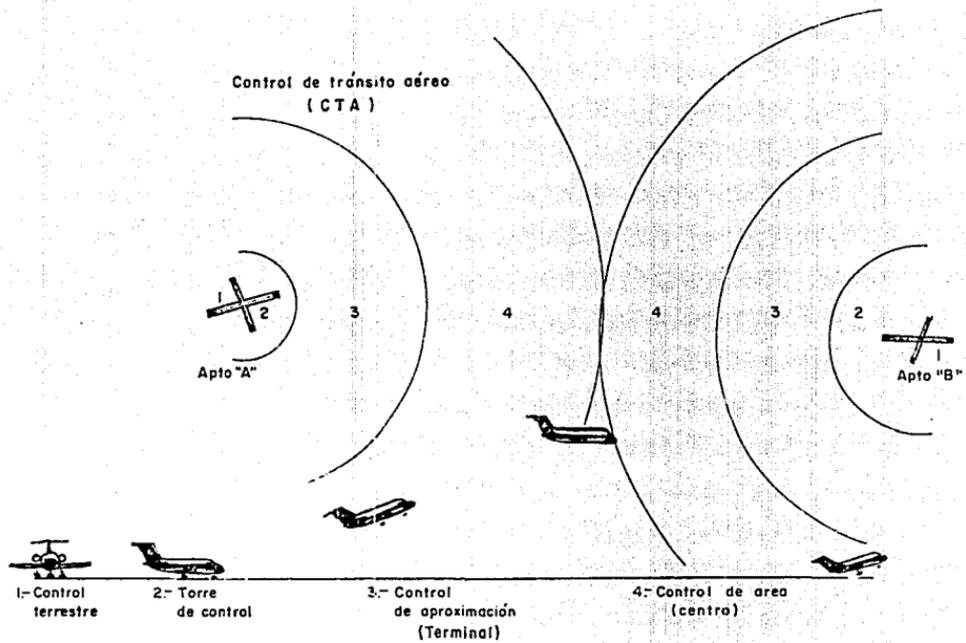
También se emplea en procedimientos de aproximación por instrumentos y -- procedimientos de espera.

El equipo instalado en tierra emite una transmisión en forma circular en todas direcciones, sin producir trayectorias definidas en el espacio.



La cobertura de esta radioayuda depende de la frecuencia que se utilice, la potencia del transmisor, la conductividad del terreno y las condiciones meteorológicas existentes en el lugar, pues dado el tipo de transmisión, las ondas sufren desviaciones al atravesar una tormenta.

La recepción del NDB se realiza abordo del avión con el instrumento denominado ADF (Automatic Direction Finder) que es un radiocompás automático.



Este receptor le permite al piloto determinar un rumbo continuo y automático hacia o desde cualquier estación en tierra.

El ADF basa su funcionamiento en dos antenas instaladas en el exterior -- del avión (Antena de cuadro y antena de sentido) las cuales reciben la -- transmisión e inducen la información al instrumento en la cabina de pilotos; el cual consta de una aguja y una carátula indicadora del rumbo del avión.

La antena de cuadro va montada en el fuselaje, variando el sitio dependiendo del tipo de avión. Puede girar en todas las direcciones (360°) alrededor de un eje perpendicular al plano horizontal del avión. La antena recibe la señal de la transmisión de la estación NDB en tierra, la combinación de esta señal con la captada por la antena de sentido, hace funcionar un sistema de fases que pone en marcha el motor de la antena de cuadro, al funcionar éste, el cuadro gira, cuando ha llegado a la posición de recepción máxima, el motor se detiene.

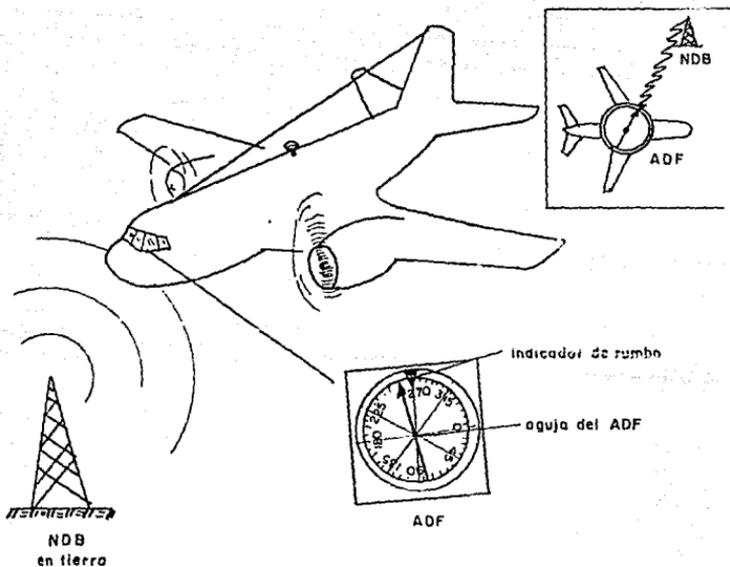
La aguja del indicador de rumbo, la cual está sincronizada electrónicamente con la antena de cuadro, gira al moverse ésta e indica la dirección de la estación.

De esta manera los pilotos pueden obtener información de su posición con respecto a una estación NDB al sintonizar el equipo ADF abordo con la frecuencia de dicha estación.

Como se mencionó anteriormente, el equipo NDB se utiliza para balizar., -- es decir radio-señalar rutas que deberán seguir las aeronaves y como ayudas a la aproximación en algunos aeropuertos; estos temas los trataremos -- más adelante con más detenimiento.

Debido al tipo de transmisión en baja frecuencia y frecuencia media, las ondas transmitidas son reflejadas en las capas ionizadas de la atmósfera-

en condiciones de una tormenta por lo que se vuelve de poca precisión - -  
esta radioayuda en tales condiciones.



## 2.- VOR

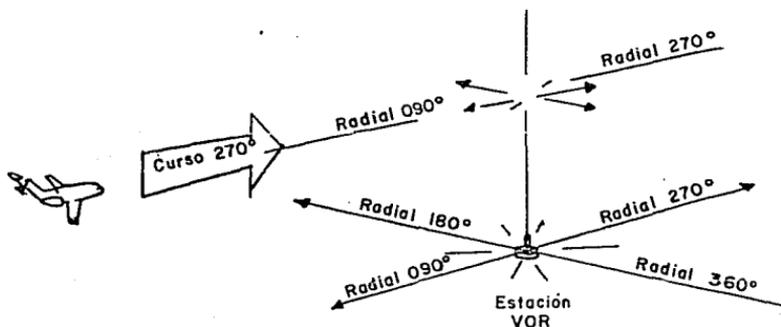
(Very High frequency Omnidirectional Range)

El radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia es una radiofacilidad que eliminó muchas de las dificultades encontradas al navegar con el NDB.

La información de curso de un VOR no es afectada por condiciones atmosféricas u otras perturbaciones como ocurre con el NDB. Con un indicador de curso es posible releccionar y volar con precisión cualquiera de los 360-cursos desde y hacia un VOR.

### Equipo y operación

El VOR proporciona 360 cursos que se radian de la estación como rayos del centro de una rueda. Estos cursos, conocidos como radiales se identifican por su rumbo magnético desde la estación. De esta manera, independientemente de la dirección o rumbo, una aeronave en la radial 090° está físicamente situada al Este de la estación. Si el avión vuela hacia la estación en dicha radial su curso magnético será el 270°.



La transmisión del equipo es en la banda VHF, lo que permite que las señales estén libres de perturbaciones atmosféricas; el rango de recepción varía de acuerdo a la altitud de la aeronave.

#### Principio de operación

El principio de operación del VOR se basa en la creación de una diferencia de fase entre dos señales de audiofrecuencia radiada. Se toma el norte magnético como la línea base para medir la relación entre las fases -- una de las dos señales es no-direccional y tiene una fase constante.

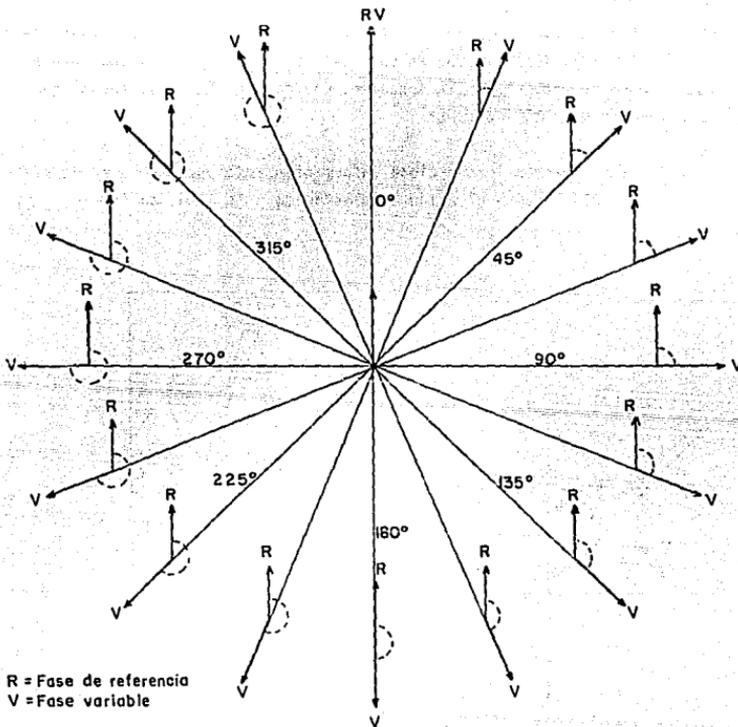
Esta diferencia de fase es medida electrónicamente por el receptor de la aeronave y representada en los instrumentos de navegación.

Este funcionamiento se puede explicar fácilmente si se utiliza la siguiente analogía: supongamos que se tiene un faro que emite un haz de luz blanca giratoria. La velocidad de dicho haz es de una revolución por minuto, es decir que en un minuto, es decir 60 segundos, barre los 360° del horizonte. Lo cual equivale a 6° de horizonte por cada segundo de tiempo. Si -- cada vez que el haz luminoso pasa por el norte magnético de la estación -- se enciende instantáneamente una luz verde que es visible en todas direcciones, podemos medir con un cronómetro el tiempo transcurrido desde que se enciende la luz verde hasta que vemos la luz blanca, si se multiplica -- este tiempo medido en segundos por los 6°/seg. de giro de la luz blanca, -- se obtendrá el azimut que hay del sitio en que se encuentra el VOR al sitio del observador. Así por ejemplo si se miden 15 segundos, multiplicando 15 x 6 se obtiene 90° que es el rumbo magnético del VOR al observador, lo cual indica que este último se encuentra al oriente de la estación -- a través de todos los 360° de azimut.

Esta es la fase de referencia y es radiada desde el centro de un grupo de cinco antenas.

La otra señal es giratoria, teniendo una velocidad constante de 1800 r.p.m., ésta es llamada la fase variable y es radiada desde cuatro antenas que --

están conectadas en pares a un goniómetro impulsado por un motor. A medida que el goniómetro gira, el voltaje de radiofrecuencia que induce a cada par de antenas varía senoidalmente a razón de 30 ciclos por segundo para producir un campo giratorio. Las dos señales están alineadas inicialmente de manera que estén en fase en el norte magnético y fuera de fase en cualquier otra dirección.



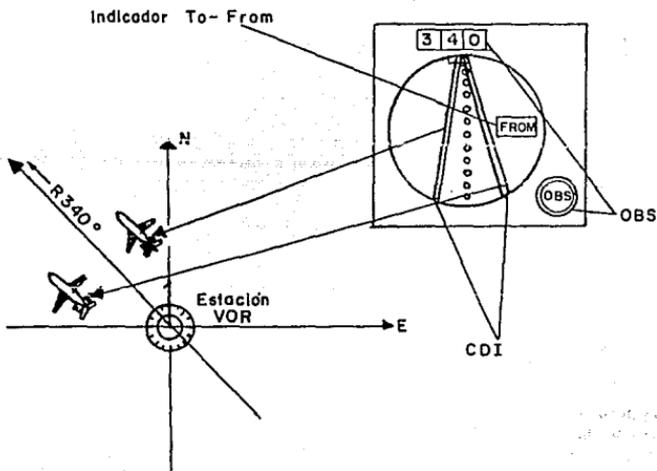
### Equipo receptor a bordo

Todos los receptores de VOR son muy parecidos. Cada uno se compone de:

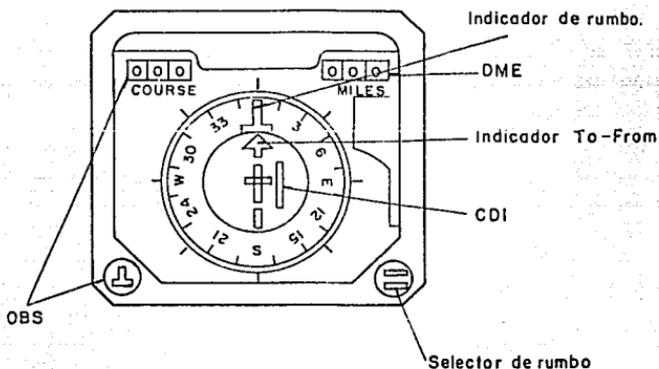
- 1.- Un indicador de desviación de rumbo (CDI)
- 2.- Un indicador hacia - desde (TO-FROM)
- 3.- Un selector de rumbo (OBS)

El selector de rumbo permite la interpretación de los otros dos dispositivos. Al seleccionar el OBS en un curso particular, el CDI indicará si la aeronave se encuentra a la izquierda o a la derecha de la radial que la selección del OBS representa.

El indicador "To-from" proporciona información adicional sobre si la selección del OBS conduce al avión a la estación o lo aleja de ésta.

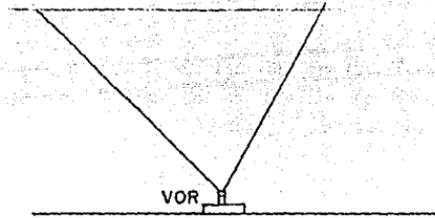


En las aeronaves actuales el receptor del VOR ha sido incorporado a un indicador del rumbo del avión lo que da un instrumento mucho más completo -- llamado Indicador Pictórico de Desviación.

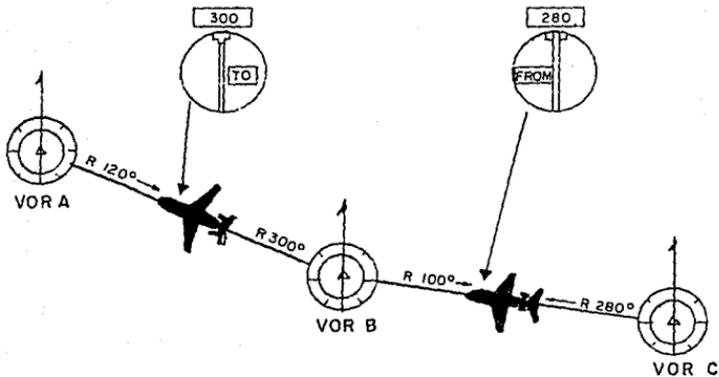


#### Balizamiento de aerovías con VOR

Una de las utilidades principales de esta radioayuda es la señalización de aerovías, función que también cumplen los NDB pero con las limitaciones descritas, anteriormente. El VOR permite señalar con precisión las rutas que habrán de seguir los aviones debido a las características de su transmisión tipo cónica, la operación del VOR tiene la limitante de que a bajas altitudes la recepción no es posible o resulta difícil.



Señalando una ruta entre un aeropuerto y otro con dos VOR permite al piloto establecerse en la trayectoria correcta apoyándose en las radiales de las respectivas estaciones.



#### VOR en aproximación

El equipo VOR es también utilizado como base para el diseño de llegadas, salidas y aproximaciones a los aeropuertos; este tema lo trataremos con detenimiento en el siguiente capítulo.

### 3.- DME (Distance Measuring Equipment)

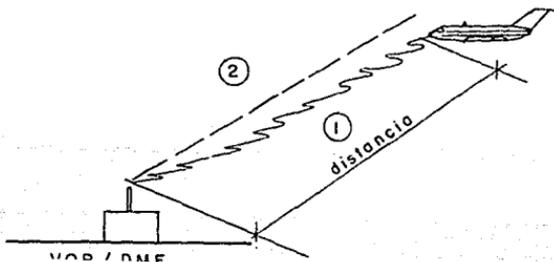
El equipo medidor de distancia es una radioayuda que como su nombre lo indica permite al piloto conocer la distancia del avión a la estación, generalmente el DME se instala junto a un VOR en tierra lo que proporciona una gran ayuda a la navegación.

Su funcionamiento se basa en la emisión desde el avión de pulsos electrónicos con una separación específica, los cuales son recibidos en la estación en tierra. La estación transmite entonces impulsos de regreso al avión con el mismo espaciado pero con una frecuencia diferente. El tiempo requerido para un viaje completo del intercambio de señales se mide con la unidad DME a bordo y se traduce a distancia (en millas náuticas) de la aeronave a la estación en tierra.

El DME proporciona información de distancia con un alto grado de precisión, se pueden recibir señales confiables a distancias hasta 199 M.N. con una precisión de hasta  $\frac{1}{4}$  milla o 3% de la distancia.

Es importante señalar que la distancia indicada por el DME es una distancia directa a la estación y no horizontal por lo que al pasar por ésta la lectura será la altura del avión y no cero distancia como podría pensarse.

El DME opera en frecuencias de la banda de UHF (ultra alta frecuencia) entre los 962 Mhz hasta los 1213 Mhz.



#### 4.- ILS (Instrument Landing System)

El sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) es un sistema de radio--ayudas de precisión que proporcionan una trayectoria de aproximación y -descenso exactas a las aeronaves que aterricen en la pista dotada con --este sistema, además se cuenta con indicadores de distancia.

El equipo de tierra consiste de dos sistemas transmisores altamente direccionales y, a lo largo de la trayectoria de aproximación, tres (o me nos) balizas marcadoras. Los transmisores direccionales son el localiza dor y la pendiente de planeo (glide-slope).

El control preciso de la aeronave, de acuerdo a la interpretación del pi- loto de la información presentada en la cabina de este sistema, permite - aterrizajes en condiciones de un techo de nubes muy bajo y de visibilidad reducida, estas condiciones son los mínimos meteorológicos del aeropuerto y de acuerdo a éstos el sistema ILS tiene las siguientes categorías:

ILS Categoría	Mínimos Techo/Visibilidad m (pies)/m (pies)
I	60m (200 )/800m (2600 )
II	30m (100 )/400m (1200 )
III	a 0 /200m (1700 )
	b 0 /50 (150 )
	c 0 /0

El ILS proporciona dos tipos de información:

- a) Trayectoria.- Localizador y pendiente de planeo
- b) Distancia.- Balizas marcadoras, DME

### Localizador

El transmisor del Localizador del ILS utiliza las frecuencias decimales -  
nones en la banda VHF de los 108.1 a los 111.9 Mhz.

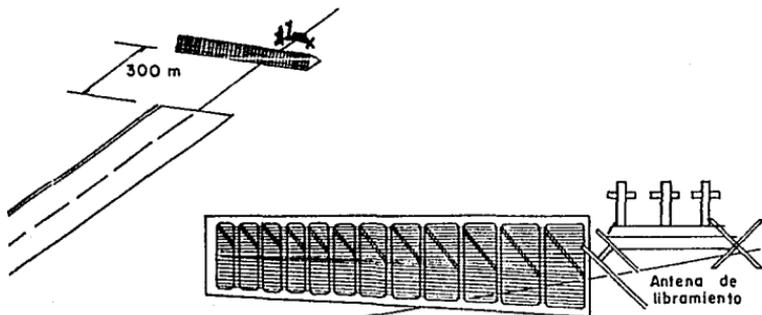
Este transmisor se sitúa aproximadamente a 300m atrás de la cabecera -  
opuesta de la pista.

La antena está alineada con el eje de la pista, emite patrones de señales  
de 90 y 150 hz. a ambos lados de la prolongación del eje central de la --  
pista.

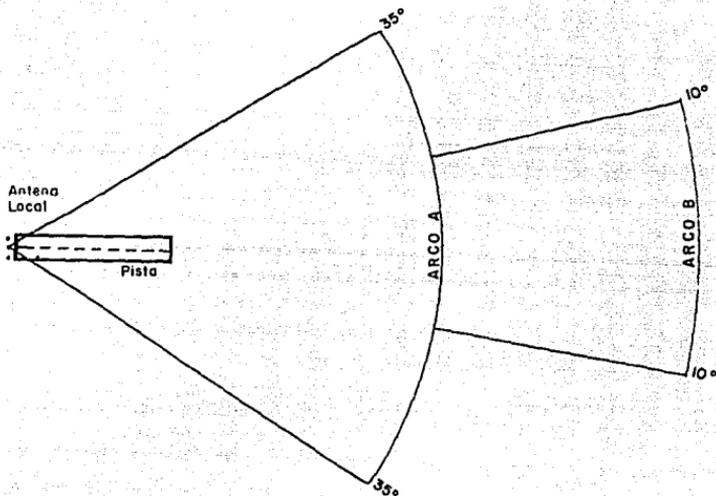
La señal de 150 ciclos siempre se encuentra a la derecha de la trayecto--  
ria de aproximación, la señal de 90 ciclos a la izquierda. El curso se -  
forma a lo largo de la prolongación del eje de la pista cuando las seña--  
les se superponen y son de igual intensidad, este curso se llama curso --  
frontal (front course)

La envolvente del curso frontal es de 5° aproximadamente, extendiéndose -  
24° a cada lado de la trayectoria.

La mayoría de los transmisores de localizador también proporcionan un pa--  
trón de señales atrás de la pista por lo que las señales del curso también  
se superponen en la dirección opuesta formando un curso posterior (back --  
course), sin embargo el uso del curso posterior es muy limitado además de -  
que éste no cuenta con información de la pendiente de planeo.



El localizador proporciona señales de curso confiables dentro de los siguientes límites operacionales.



	OACI	FAA
ARCO A	17 M.N.	10 M.N.
ARCO B	25 M.N.	18 M.N.

### Pendiente de planeo (Glide Slope)

El transmisor del Glide slope del ILS opera en la banda UHF en el rango de los 329.15 a los 335.00 Mhz. radiando señales en dirección del curso frontal del localizador.

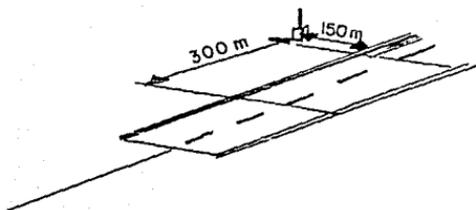
El transmisor se sitúa aproximadamente a 300 m de la cabecera de aproximación de la pista y a 150 m a un lado del eje de la pista.

Como el transmisor del localizador, transmite patrones de señales de -- 90 y 150 hz. La señal de 150 ciclos se encuentra debajo de la trayectoria de descenso y la de 90 ciclos arriba de la misma.

El área de igual intensidad forma la pendiente de planeo. A diferencia del localizador esta señal sólo tiene un curso frontal.

La pendiente de planeo o glide slope se coloca normalmente con un ángulo de  $2\frac{1}{2}$  a  $3^\circ$ . Su envolvente se extiende aproximadamente  $\frac{1}{2}^\circ$  arriba y abajo de dicho ángulo.

Al sintonizar la frecuencia del localizador, se sintoniza automáticamente la frecuencia de la pendiente de planeo pues éstas trabajan en pares, llamados canales.



Antena de la Pendiente de Planeo

### Balizas marcadoras

Las balizas son transmisores de 75 Mhz y de baja potencia situadas a lo largo del curso de aproximación final del ILS con el objetivo de "marcar" o señalar una distancia específica a la pista. Normalmente se utilizan dos balizas marcadoras para este propósito, se denominan el Marcador exterior ( Outer Marker) y el Marcador medio (Middle Marker), si el ILS es de mayor precisión se instala una baliza más denominada Marcador interior (Inner Marker), pero poco usada.

Los marcadores se identifican en la aeronave mediante una luz y una señal audible.

#### Marcador exterior (Outer Marker, OM)

Se sitúa entre 7 y 8 km (4 a 7 millas) del umbral de la pista.

La altitud que se debe tener al cruzar este marcador es la cual en la que la aeronave intercepta la pendiente de planeo una vez establecida en el localizador.

#### Marcador medio (Middle Marker, MM)

Se sitúa aproximadamente a 1 km (3500 pies) de la cabecera de aproximación de la pista, se identifica auditivamente por puntos y rayas alternados.

Este marcador señala el lugar en donde se debe tener una altitud en la cual el piloto debe ver la pista para continuar el aterrizaje o realizar una aproximación fallida (altitud de decisión), esto lo trataremos con detenimiento en el siguiente capítulo.

### Situadores

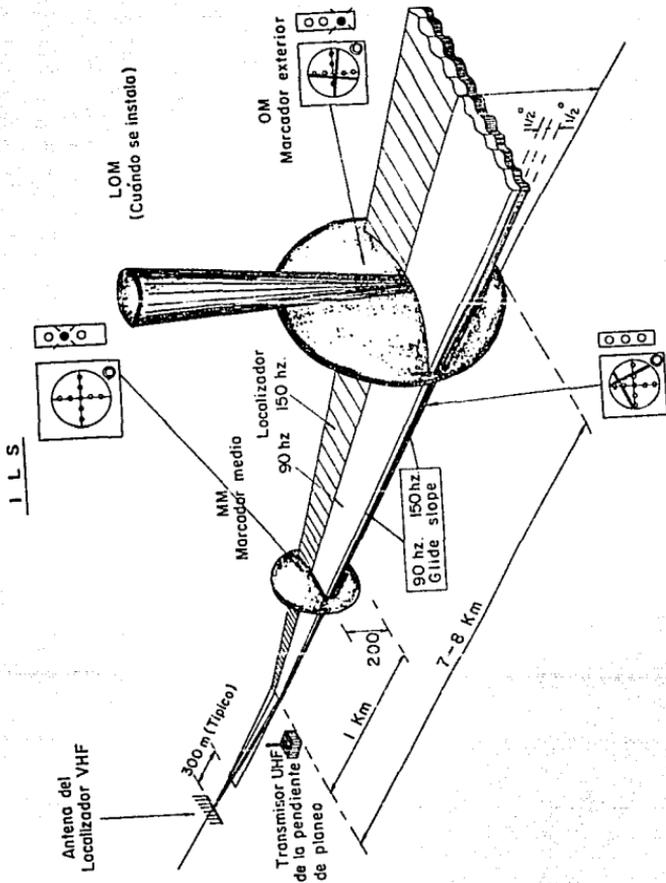
(Compass Locators)

Su instalación es opcional y se colocan junto con las balizas marcadores (generalmente sólo en el marcador exterior) como ayudas de navegación -- para el ILS. Son Radio faros no direccionales (NDB) de baja potencia -- operan entre los 190 y los 535 Khz con un rango de recepción confiable -- de 15 millas náuticas. Sin embargo, pueden instalarse NDB de alta potencia y ser utilizados como situadores.

### Equipo receptor del ILS abordo

La interpretación de las señales del ILS se realiza con el indicador de desviación de curso (CDI) el cual indica la posición del curso del localizador con respecto a la posición de la aeronave. Una barra horizontal interpretará la información de la pendiente de planeo.

El piloto debe realizar el descenso de tal manera que tanto la barra del CDI (localizador) como la barra horizontal del glide-slope queden centradas formando una cruz al centro del instrumento.



## 5.- MLS

(Microwave Landing System)

El Sistema de Aterrizaje por Micro ondas proporciona una guía precisa de navegación para la alineación con las trayectorias de aproximación y descenso; además de datos adicionales de distancia, toda esta información es interpretada por los instrumentos de la aeronave.

Las señales lateral y vertical del MLS pueden ser presentadas en los indicadores de desviación de curso (CDI) convencionales o bien se pueden incorporar a otras pantallas en la cabina.

Se piensa que el MLS deberá remplazar a los equipos ILS actuales paulatinamente.

El MLS tiene la desventaja de que implica duplicar los equipos de a bordo durante el periodo de transición ya que los aviones se pueden establecer en cursos diferentes a los de la prolongación del eje de la pista como - únicamente es posible hacerse en el caso del ILS.

La instalación del equipo MLS en los aeropuertos es más económica que la del ILS, sin embargo el equipo de abordo de las aeronaves es más costoso.

El sistema puede ser dividido funcionalmente en cinco partes:

1. Guía de ángulo azimutal de aproximación.
2. Guía de ángulo azimutal posterior
3. Guía de ángulo de elevación de aproximación.
4. Guía de distancia.
5. Transmisor de datos adicionales.

La configuración común del equipo terrestre de MLS incluye:

- a) Una estación de azimut de aproximación que desarrolla las funciones 1 y 5 descritas en el párrafo anterior. Además de la señal azimutal, el equipo transmite información--adicional relacionada con la operación del equipo.
- b) Un transmisor de pendiente de descenso.
- c) Un equipo medidor de distancia de precisión (DME/P) similar al DME convencional pero de mayor exactitud.

El MLS tiene la posibilidad de contar con el siguiente equipo adicional:

- a) Azimut posterior. Proporciona guía lateral en la aproximación fallida o para navegación después del despegue.
- b) Transmisión de datos auxiliares. Meteorológicos, condición de la pista, etc.

#### Gua azimutal de aproximación

La estación de azimut transmite el ángulo del MLS (y datos) en uno de los 200 canales del rango de frecuencia de 5031 a 5091 Mhz.

Su cobertura se extiende:

- a) Lateralmente, por lo menos 40 grados a ambos lados de la pista.
- b) En elevación a un ángulo de 15° y por lo menos, hasta 20,000 - pies.
- c) En planta, hasta una distancia de 20 millas náuticas.

### Gufa azimutal posterior

El transmisor de azimut posterior es esencialmente igual al transmisor frontal. Sin embargo, el equipo transmite en un régimen de datos menor debido a que los requisitos de precisión no son tan rígidos como los -- necesarios para la aproximación.

Este equipo opera en la misma frecuencia que el azimut de aproximación -- pero en tiempos diferentes en la secuencia de transmisión.

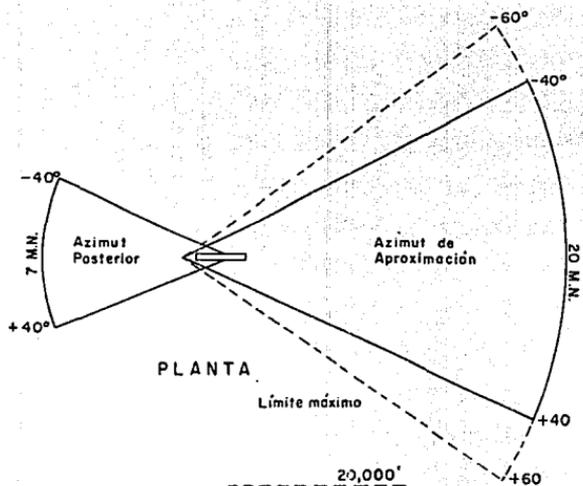
La cobertura del equipo es la siguiente:

- a) Lateralmente, por lo menos 40 grados a ambos lados de la pista.
- b) En elevación, hasta un ángulo de 15°.
- c) En planta, hasta una distancia de 7 millas náuticas de la cabeceira opuesta de la pista.

Esta cobertura puede ser igual a la del transmisor frontal.

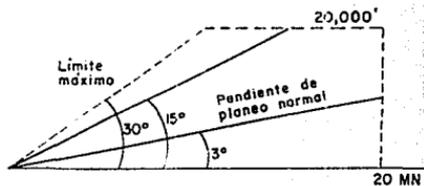
### Gufa de distancia

El equipo medidor de distancia de precisión del MLS (DME/P) cumple la -- misma función que el equipo DME anteriormente descrito, pero con algunas diferencias técnicas. Opera en la banda de frecuencias de los 962 a los 1105 Mhz. Responde a una señal emitida por el interrogador de la aeronave, la diferencia principal con el DME convencional es la precisión del -- equipo que ha sido mejorada para ser congruente con el resto del sistema.

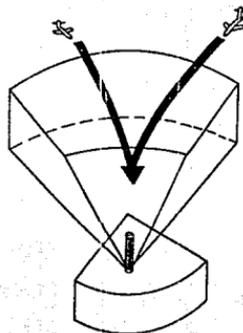
COBERTURA DEL MLS

PLANTA

Límite máximo



ELEVACION



## 6.- R A D A R

La palabra radar se deriva de las palabras detección y ubicación por radio ( Radio Detection and Ranging ).

El equipo RADAR determina la distancia y la dirección de objetos mediante la transmisión y la captación de regreso de ondas electromagnéticas.

El Radar es utilizado de muchas maneras para incrementar la eficiencia operacional. Su uso principal es el de proporcionar control de tránsito aéreo a las aeronaves operando en reglas de vuelo instrumentos, separación entre aviones y dirección hasta interceptar la fase final del procedimiento de aproximación.

### Principios de operación del RADAR

El principio básico del RADAR es la reflexión de las ondas electromagnéticas, en una superficie, a este reflejo se le llama " eco ".

El intervalo de tiempo entre la emisión de la onda original y su eco es directamente proporcional a la distancia que las ondas deben viajar.

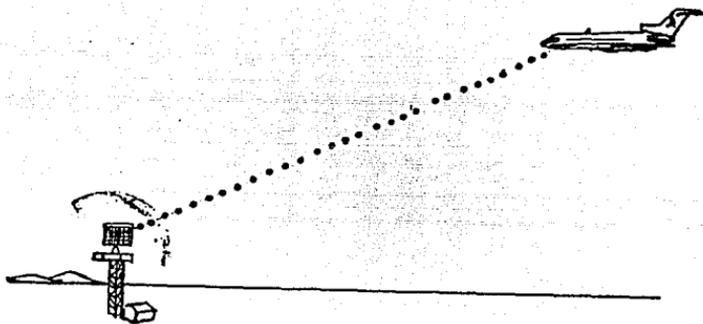
La banda de frecuencia utilizada contiene ondas de ultra - alta o super - alta frecuencia que viajan en línea recta y se reflejan fácilmente en los objetos que encuentran en su camino.

Las señales de grandes longitudes de onda no se reflejan fácilmente en objetos fijos; continúan su trayectoria hasta chocar con la atmósfera terrestre la cual las desvía haciéndolas regresar a la superficie.

Una señal de longitud de onda muy pequeña es emitida en una cierta dirección en forma de una pulsación cuya duración es de milonésimas de segundo. Cuando esta pulsación golpea la superficie - reflejante, algunas de las ondas reflejadas regresan a su punto de origen en donde son captadas por un receptor.

Multiplicando el intervalo de tiempo utilizado por la velocidad - de las ondas electromagnéticas ( 300,000 km/s ) y dividiendo el producto entre dos, nos da la distancia al objeto reflejado.

El mejor medio de representar el regreso de el " eco " es mediante el uso de tubos de rayos catódicos, comúnmente llamados pantallas. Con este tipo de presentación, el objeto ( avión ) reflejante de ondas de radio aparece como un punto o " eco " en la pantalla, el controlador de radar determina la posición, distancia y elevación de la aeronave en cercanías de la antena del radar.

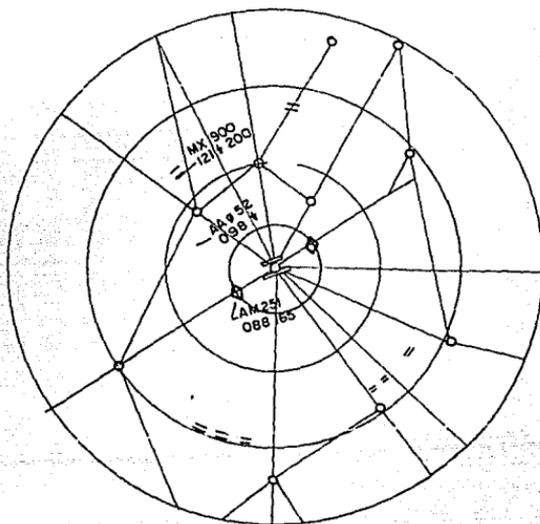


#### Reflexión de ondas de radio.

El radar representa, en una pantalla los objetos reflejados por las ondas radiadas, a este funcionamiento se le llama radar primario; Obstáculos -- como montañas, edificios, etc., que queden dentro de la cobertura del radar serán reflejados y en la pantalla aparecerán como "ecos fijos", pues no cambian su posición, aunque se pueden eliminar.

La modernización de este equipo ha dado lugar al radar secundario el cual mediante un código numérico asignado por el controlador del radar en -- tierra y seleccionado en un equipo electrónico, llamado "Transponder", -- abordo de la aeronave interpreta información enviada desde el avión, de este modo se tiene en la pantalla de radar los datos de altitud, velocidad e identificación de la aeronave colocados como una etiqueta junto a su eco del radar primario.

El uso conjunto del radar primario y el secundario permite el control de tránsito aéreo de una manera segura y eficaz pues se pueden vigilar a las aeronaves en las cecanfas de un aeropuerto (control de aproximación) o bien a las establecidas en ruta a sus destinos (control de área).



## II.2 Pistas, calles de rodaje y plataformas

### II.2.1 Pistas

La pista es una área rectangular, libre de obstáculos cuya longitud, ancho, rugosidad y resistencia son adecuadas para permitir la carrera de despegue y aterrizaje de diversos tipos de aviones con seguridad bajo -- diferentes condiciones meteorológicas.

En un aeropuerto la o las pistas constituyen la componente medular del sistema, es por esto que la elección de su orientación, número y pavimen tación requiere de diversos y detallados estudios entre los que se encuentran meteorológicos, topográficos, hidráulicos, sociales, etc.

#### Número y orientación de las pistas

Existen muchos factores que intervienen en la determinación del número y orientación de una pista, entre los más importantes se deben mencionar los siguientes:

- Condiciones meteorológicas (coeficiente de utilización del aeropuerto, distribución y vientos, etc.
- Topografía del sitio y del terreno vecino.
- Tipo y volumen del tránsito aéreo al que se habrá de prestar el servicio.
- Características operacionales de los aviones.
- Medio ambiente (principalmente ruido).

#### Coeficiente de utilización

Se determina por la distribución de los vientos, el coeficiente de -- utilización representa el porcentaje de los casos donde las observaciones

meteorológicas han sido favorables para el despegue de aviones, es decir el porcentaje de frecuencia con que puede ser utilizada una pista en la dirección determinada de despegue.

La OACI en el anexo 14 recomienda que la orientación de las pistas debe ser tal que el coeficiente de utilización no sea inferior al 95%.

La pista principal de un aeropuerto se debe orientar en dirección del viento predominante pues esto permite la operación de las aeronaves ya que incrementa la velocidad relativa de las mismas y con esto su sustentación.

Por otra parte todas las pistas deben orientarse a manera de que las zonas de aproximación y despegue se encuentren libres de obstáculos, es decir que dispongan de espacios aéreos para ascensos y descensos en condiciones de seguridad.

El número de las pistas debe ser suficiente para atender las necesidades de tránsito aéreo, número de aviones, combinación de tipos de aviones, combinación de llegadas y salidas que debe atender el aeropuerto en horas pico, por otra parte se debe considerar que en algunos casos será necesario tener una pista adicional para aeronaves que no puedan operar sobre la pista principal en condiciones de viento cruzado, es decir cuando el viento tiene una componente perpendicular a la dirección de la pista principal, cuya magnitud se definirá a continuación.

Por tal motivo, el viento es otro factor que determina el número de pistas.

#### Estudio de vientos

Se realiza en el lugar previamente seleccionado para la construcción de la terminal aérea y forma parte de un proceso detallado de obtención de información: pluviometría, variación barométrica, temperatura, humedad-

relativa, altura del techo de nubes y dirección e intensidad del viento.

La elección de los datos que se han de usar en el cálculo de la orientación de la pista (determinación del coeficiente de utilización) se debe basar en datos de por lo menos un año, en casos extremos, pero preferiblemente con estadísticas de por lo menos 5 años.

El análisis de vientos se realiza por medio de una rosa de vientos la cual es una representación gráfica de la forma en que inciden los vientos en el lugar de estudio, componiéndose el análisis en la obtención de una Rosa de vientos directos y una Rosa de vientos cruzados.

#### -Cálculo de la rosa de vientos

Para el cálculo se instalan estaciones meteorológicas en el lugar en el que se planea construir el aeropuerto. No es conveniente, en la mayoría de los casos, utilizar datos de estaciones cercanas pues la topografía incide de manera determinante en la dirección de los vientos.

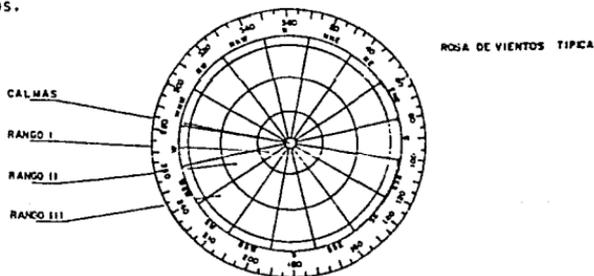
Con los datos obtenidos.

- Se obtienen los registros meteorológicos, las lecturas se dividen en las siguientes direcciones: Norte (N), Noroeste (NNE), Noreste (NE), Estenoreste (ENE), Este (E), Estesureste (ESE), Sureste (SE), Sursureste (SSE), Sur (S), Sursuroeste (SSW), Suroeste (SW), Oeste (W), Oestenoroeste (WNW), Noroeste (NW) y Noroeste (NNW).

- Se clasifican de acuerdo a la velocidad en:

- . Calmas de 0 a 4.8 km/h
- . Rango I de 4.9 a 24 km/h
- . Rango II de 24.1 a 48.3 km/h
- . Rango III mayores de 48.3 Km/h

Con el total de lecturas para cada intensidad, se obtiene el porcentaje que representa cada dirección del viento en cada rango, es decir la frecuencia en que predominan vientos de determinada velocidad, procedentes de distintas direcciones. Todos los datos se vacían en una tabla -- a partir de la cual es posible dibujar las rosas de vientos directos y - cruzados.

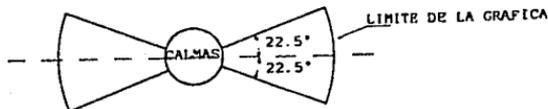


Rosa de viento típica

#### i) Vientos directos

Para su elaboración se construye una plantilla en forma de corbata de - moño, cuya abertura angular es de  $45^\circ$ . (de acuerdo a especificaciones - de la Agencia Federal de Aviación (FAA)) el cual es el ángulo máximo - que el viento puede formar con la trayectoria de vuelo y considerarse - como directo.

La plantilla se dibuja a escala, donde el centro representa las calmas.



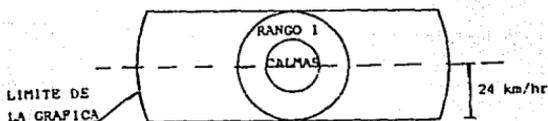
La plantilla se coloca encima de la rosa de viento previamente construída a partir de la frecuencia de repeticiones obtenidas previamente, la línea central de la plantilla se hace girar a cada  $10^\circ$  sumando la cobertura de vientos que se tenga dentro de ésta.

#### ii) Vientos cruzados

Se elabora a partir de la rosa de vientos trazada anteriormente y una -- plantilla de ancho igual al doble de la componente transversal de viento permisible, la cual varía según el tipo de avión. La OACI recomienda que este valor sea asignado según la longitud de la pista para el avión-determinado como crítico.

Longitud de pista	Velocidad del viento cruzado máximo
Mayor de 1500 m	37 km/h condiciones normales 24 km/h condiciones de frenado pobre.
1500-1200 m	24 km/h
menos de 1200	19 km/h

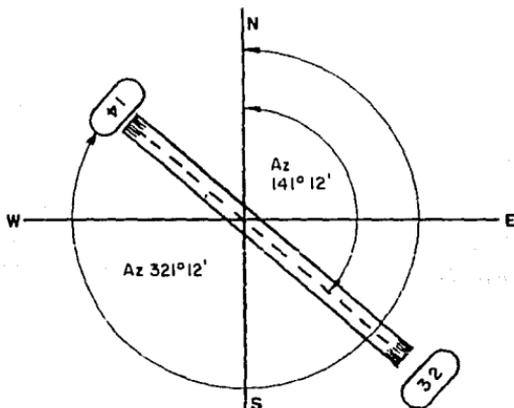
La longitud de esta plantilla será igual a la de la rosa de vientos;



La plantilla se hace girar a cada  $10^\circ$ ; la dirección que tenga mayor cobertura (95%) de los vientos cruzados será la mejor para orientar a la pista principal o para decidir si es necesaria la construcción de otra pista secundaria.

### Nomenclatura de pistas

Las pistas se designan por medio de un número, el cual es el entero más próximo a la décima parte del azimut magnético del eje de la pista medido en el sentido de las manecillas del reloj. Por ejemplo una pista -- cuyo azimut sea el  $321^\circ 12'$  se designará como la pista 32, si se opera en dirección contraria ( $141^\circ 12'$ ) su designación será 14, de esta manera aunque físicamente se tenga una sola pista, operacionalmente se tendrán dos.



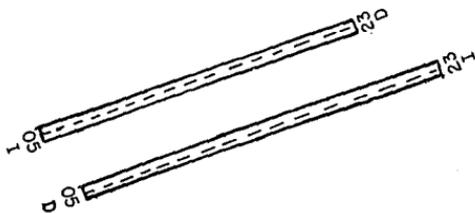
Para el caso en el que la designación sea de un solo número, se le antepone un cero a la décima parte del azimut correspondiente, por ejemplo - pista 01, 02, 03, etc.

### Pistas paralelas

En el caso de tenerse pistas paralelas al número de designación se debe añadir una letra que indica la posición izquierda o derecha en la que se encuentra una pista de la otra.

De acuerdo a la OACI esta letra debe ser la pista "L", del inglés -- (Left) para el lado izquierdo ó "R" (right) para la pista derecha; en México se utilizan las primeras letras de la palabra en español, es decir "I" y "D" designando a cada pista respectivamente.

Ejemplo:



Si se tuviera una tercera pista paralela, ésta se designará como pista central, con la letra "C".



### Señalamiento de pistas

Las pistas se deben señalar de tal manera que se proporcione una ayuda visual a los pilotos que la utilicen.

Las especificaciones en cuando dimensiones de estos señalamientos se -- pueden tomar del anexo 14 de la OACI.

No siendo el tema de esta tesis, baste con mencionar las señales utilizadas:

#### Señal designadora de pista

Es el número entero de dos cifras que designa a la pista de acuerdo a -- su azimut magnético, la señal se pinta en el umbral de la pista.

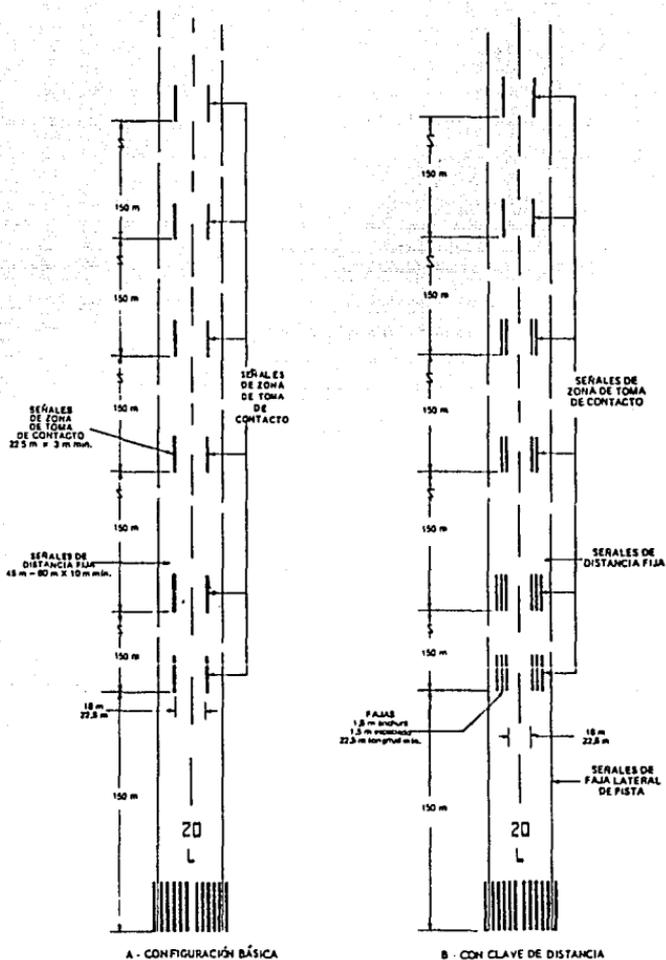
#### Señal de eje de pista

Es una línea de trazos uniformemente espaciados a lo largo del eje de -- la pista.

#### Señal de umbral

Una serie de franjas longitudinales de dimensiones uniformes, dispuestas simétricamente respecto al eje de la pista, indican la posición en la --- cual empieza operacionalmente la pista, si este lugar no coincide con la cabecera física de la pista se agrega una señal transversal.

Si el umbral está desplazado permanentemente, se disponen flechas en la -- parte de la pista anterior al umbral.



Señales de zona de toma de contacto  
(ilustrada para una pista de 2 100 m ó más)

#### Señal de distancia fija

Son señales rectangulares bastante visibles dispuestas simétricamente -- a cada lado de la pista, indican la zona más apropiada para hacer el toque de ruedas.

#### Señal de zona de toma de contacto

Son pares de señales rectangulares espaciadas longitudinalmente a cada - 150 m, su diseño tiene la finalidad de proporcionar al piloto un código de distancia, pues según la señal sobre la cual se haga el toque de ruedas se puede conocer la longitud de pista restante.

#### Señal de faja lateral de pista

Se señala el borde de la pista y los márgenes del terreno circundante.

#### Longitudes de pista

Algunos de los factores a considerar serán los siguientes:

- Características físicas y operacionales de los aviones a los que se prestará el servicio.
- Característica de la pista como pendiente y rugosidad.
- Condiciones meteorológicas: temperatura y viento.

Las características operacionales de los aviones incidirán determinante- mente en el cálculo de las longitudes de pista como se describirá más -- adelante.

Existen varios factores que influyen en el cálculo de la longitud de las pistas, se considerarán los requisitos de despegue y de aterrizaje así - como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista.

Por otra parte, cuanto más elevada sea la temperatura y la altitud del aeropuerto, mayor longitud de pista pues a mayor temperatura y altitud disminuye la densidad del aire reduciendo la sustentación y el empuje de los motores.

La OACI recomienda que se calcule la longitud de una pista utilizando el método de coeficientes de corrección general (descrito en el Manual de proyecto de aeródromos). Este método se basa en incrementar la longitud básica de la pista (longitud del campo de referencia) al considerar factores como temperatura, altitud del campo y pendiente de la pista, sin embargo este procedimiento no es aplicable si la longitud corregida es 35% mayor que la longitud básica, en este caso se sugiere usar el manual de operaciones del avión de diseño para determinar la longitud de la pista.

Esta metodología es utilizada en el diseño de pistas principales y secundarias.

### Conceptos operacionales

Al iniciar la carrera de despegue, un avión va aumentando rápidamente su velocidad hasta que llega un momento en que su velocidad es lo suficientemente grande como para elevarse, en ese momento el piloto levanta la nariz del aparato e inicia el ascenso, pero si se presentara una falla de motor el piloto tiene dos opciones: continuar el despegue o - - - - discontinuarlo, el factor que determina la primera o la segunda opción es la velocidad que ya haya alcanzado el avión en el momento de la falla, pues puede ser que ésta ya se lo suficientemente segura como para elevarse sin peligro y tan grande que la longitud de la pista restante no alcanzaría para detener a la aeronave.

Es por esto necesario explicar los siguientes conceptos operacionales:

Velocidad nula ( $V_0$ ). El avión empieza a acelerar, generalmente partiendo del reposo.

Velocidad mínima de control ( $V_{MC}$ ). Es aquella en la que se empieza a -- tener respuesta efectiva de las superficies de control del avión.

Velocidad de decisión ( $V_1$ ). Es la velocidad en la cual se supone que el piloto, al percatarse de la falla de un motor, decide proseguir el despegue o bien detener el avión. Si la falla ocurre antes de alcanzarse la velocidad de decisión, el piloto deberá parar; si la falla ocurre después el piloto debe continuar el despegue.

La velocidad de decisión es superior a la mínima de control pero inferior a la velocidad segura de despegue.

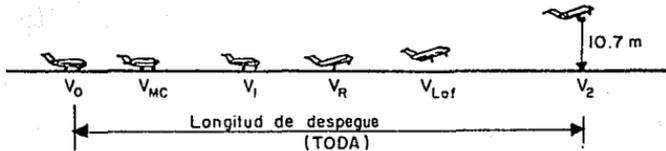
Velocidad de rotación ( $V_R$ ). Es la velocidad en la que el piloto levanta la nariz del avión.

Velocidad en el punto de despegue ( $V_{Lof}$ ). Es la velocidad con la que el avión entra en sustentación en el aire.

Velocidad mínima de ascenso ( $V_2$ ). Es la velocidad mínima a la que se -- puede ascender después de alcanzar la altura de 10.7 m (35 pies) para -- mantener la pendiente ascensional mínima neta requerida considerando -- falla de motor.

Bajo esta condiciones se determina el cálculo de la longitud de una pista; el caso general es en el que se realiza el despegue sin considerar -- ninguna falla de motor.

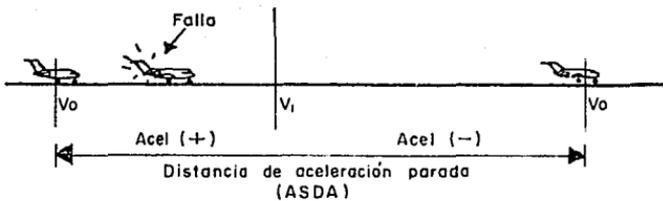
## 1.- Despegue sin falla de motor.



En caso de presentarse la falla de motor se presentan dos -- posibilidades:

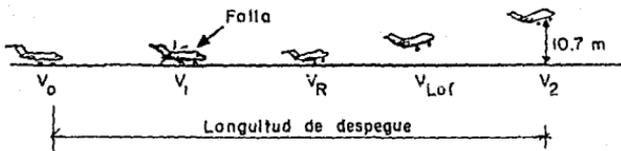
## 1er. caso.

Suspender el despegue.



2º caso.

Continuar el despegue.



Como se analizó con anterioridad la velocidad de decisión ( $V_1$ ) será la que determine si se continúa o no con un despegue en caso de presentarse una falla de motor; sin embargo esta velocidad varía según el tipo de avión y las condiciones en las que se realice el despegue como el peso, temperatura, etc.

De este modo la longitud de despegue (TODA) y la distancia de aceleración parada (ASDA) varían de acuerdo a la velocidad de decisión.

El caso general de diseño es en el que la velocidad de decisión es tal que la longitud de despegue requerida es igual a la distancia de aceleración parada necesaria; este valor se conoce como la longitud de la pista balanceada. Este cálculo se realiza para las condiciones ambientales siguientes:

- Viento calma
- Temperatura de referencia (promedio de temperaturas máximas del mes más caluroso del año, contando con información de cinco años).

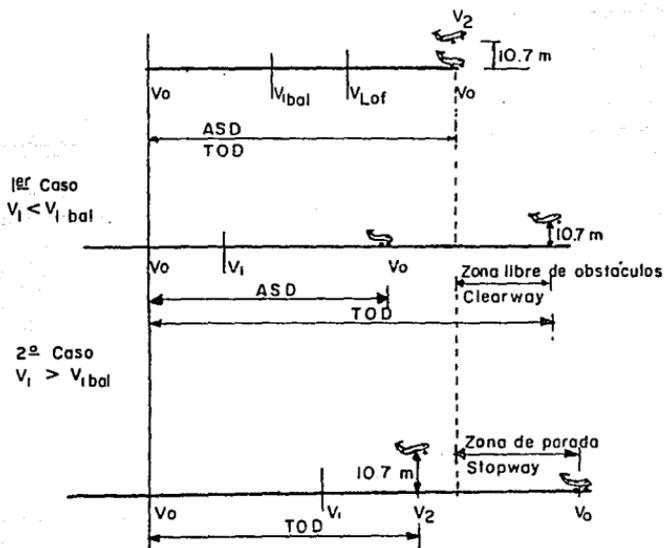
Cualquier otra velocidad de decisión diferente a la que se tiene en una pista balanceada alterará la longitud originalmente calculada, se calculará la longitud de pista básica para el avión crítico de diseño y se -- proporcionarán longitudes adicionales para cubrir los requisitos operacionales de aviones que despeguen en condiciones no balanceadas.

Zona de parada (Stopway). Area rectangular disponible en el terreno -- situado a continuación del recorrido de despegue, preparada como zona ad -- cuada para que puedan pararse las aeronaves en caso de interrumpir su -- despegue.

Zona libre de obstáculos (Clearway). Area rectangular designada para -- que el avión efectúe parte de su ascenso inicial libre de obstáculos -- hasta alcanzar los 10.7 m (35') especificados.

Estas zonas se definirán en la siguiente figura:

Pista balanceada



Si se despegue en condiciones no balanceadas, el 1er. caso es el de tener una ( $V_1$ ) menor que la balanceada ( $V_{1\text{ bal.}}$ ) bajo esta circunstancia la -- distancia de aceleración parada (ASD) será menor que la de la pista balanceada, pero la longitud de despegue será mayor que la longitud de --- despegue de la pista balanceada, necesitándose una zona libre de obstáculos (clearway)

El segundo caso es cuando se tiene una velocidad de decisión mayor a la balanceada, aquí se tiene una distancia de aceleración parada mayor a la balanceada pero una longitud de despegue menor. Por lo que se necesitará una zona de parada (Stopway).

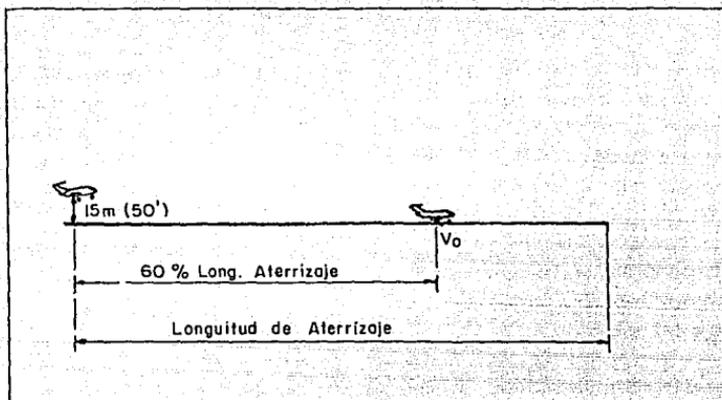
#### Longitud de pista para el aterrizaje

Normalmente la distancia para el aterrizaje no es crítica, pero se debe comprobar consultando los manuales de los aviones, qué requisitos de - - longitud de pista para el despegue garantiza una longitud adecuada para el aterrizaje.

La longitud de aterrizaje se determina a partir de un diagrama de aterri - zaje, el avión se debe detener completamente en el 60% de esta distan - - cia.

Esta longitud se basa en la trayectoria de aproximación del avión, la - - cual libra los obstáculos con un margen seguro, el cual quedará descrito en el siguiente capítulo. Se considera que el avión cruzará el umbral - de la pista a 15 m (50') de altura.

Si la longitud de pista requerida para el aterrizaje es superior a la - obtenida para el despegue, será ésta la que rija.



## PAVIMENTOS

Este tema es tan detallado que no es tema de esta tesis, por lo que nos limitaremos a mencionar brevemente los tipos de pavimento utilizados en los aeropuertos y la resistencia que éstos deben tener.

Existen dos tipos de pavimentos; los rígidos (R) y los flexibles, en los aeropuertos:

Los pavimentos rígidos están formados por losas de concreto simple o armadas para evitar fisuras y en algunos casos pueden ser presforzadas.

Los pavimentos flexibles están principalmente compuestos de asfalto mezclado en planta con algunos agregados pétreos y en caliente, formando lo que se conoce como concreto asfáltico.

A partir del suelo de cimentación, cuyas características físicas deben ser previamente determinadas por estudios geotécnicos, se realizan cortes para obtener el nivel de desplante que deben tener las capas del - -

pavimento o bien se forman terraplenes con el mismo fin. En ambos casos se obtiene una resistencia a la carga medida por el valor relativo de soporte VRS ó CBR (California Bearing Ratio) el cual se obtiene de comparar la resistencia particular del suelo con la de un material óptimo que tiene el valor asignado de 100.

Esta dimensión permitirá por métodos gráficos o analíticos entrar al cálculo de los espesores del pavimento necesario para que la distribución de carga viva representada por el avión no rebase la capacidad de carga del suelo.

A partir del espesor total y mediante gráficas o métodos analíticos este se subdivide, considerando la capacidad de absorción de esfuerzos, en distintas capas: sub-base, base y carpeta con espesores individuales.

La elección del tipo de pavimento a utilizar dependerá de una serie de factores económicos, geotécnicos, etc.

Ambos pavimentos, el rígido y el flexible, son igualmente buenos si están bien calculados sus espesores.

Adicionalmente, debemos señalar que el espesor calculado del pavimento no permanece constante en toda la superficie, esto es debido a que en las pistas y calles de rodaje la zona central es mucho más rodada que las laterales (contrariamente a lo que ocurre en el caso de carreteras), por lo que resulta lógico construir pavimentos costosos en zonas que prácticamente se usarán en forma ocasional. El espesor también varía si se trata de una calle de rodaje, plataforma, pista, etc.

El anexo 14 de la OACI en su segundo capítulo proporciona un procedimiento de aceptación (soporte de cargas) que deberán tener los pavimentos, en él clasifica al pavimento de acuerdo a un número (PCN) y limita su uso a aeronaves que en base a una clasificación similar (ACN) tengan un número igual o inferior al del pavimento sujetas a cualquier limitación con respecto a la presión de inflado de los neumáticos.

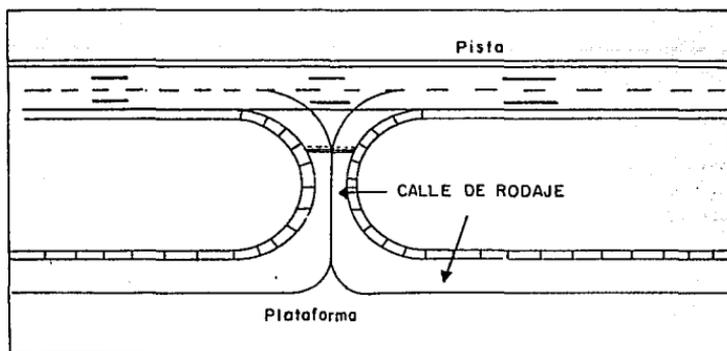
## II.2.2 Calles de rodaje

Una calle de rodaje es una vía establecida para el rodaje de aeronaves - y destinada a proporcionar un enlace entre una y otra parte del aeropuerto.

El sistema de calles de rodaje debe proporcionar un equilibrio en las - operaciones aeronáuticas entre pistas, plataformas y hangares. Además - debe tener la capacidad de acomodar el volumen de tráfico que requiera el aeropuerto.

Las calles de rodaje principales comunican a la pista con las plataformas y viceversa, una salida rápida de la pista y un acceso fluido a la misma - es el objetivo que se debe buscar con un sistema de calles de rodaje.

En una plataforma es necesario definir zonas libres que permitan la distribución del tráfico de llegada como el de salida, de esta forma es necesario tener dentro de una plataforma calles de rodaje que permitan el -- acceso a los puestos de estacionamiento y otras en las que los aviones - puedan entrar y salir de la plataforma.



Los requisitos relativos a las calles de rodaje dentro de las plataformas en lo concerniente a ancho, franja de seguridad, separación, etc. -- son los mismos a los de cualquier otra calle de rodaje. Las calles de acceso al puesto de estacionamiento son un poco menos rígidas en el sentido de que no necesitan ser incluidas en una franja de seguridad, las distancias entre el eje de estas calles y un objeto son menos rigurosas, etc.

El diseño según OACI de las calles de rodaje, sus acotamientos y franjas de seguridad se realiza utilizando la clave de referencia de aeródromo, esta clave está compuesta de dos elementos, el primero es un número basado en la longitud de campo de referencia; el segundo es una letra basada en la envergadura del avión y en el ancho exterior entre las ruedas - del tren de aterrizaje principal.

Se recomienda evitar, en medida de lo posible, cambios de dirección muy pronunciados, cuando existan éstos será necesario considerar un ancho -- adicional a la calle de rodaje.

La resistencia estructural de los rodajes no debe ser menos a la de la pista servida considerando que éstas se encuentran sometidas a una mayor intensidad de tránsito y esfuerzos mayores debido al movimiento lento o situación estacionaria de los aviones.

De acuerdo a su función las calles de rodaje pueden ser clasificadas en:

- Calles de rodaje de entrada a la pista

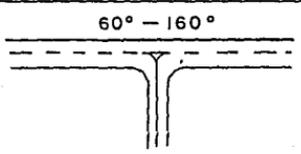
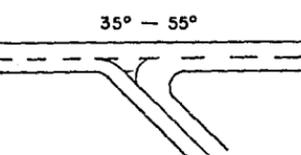
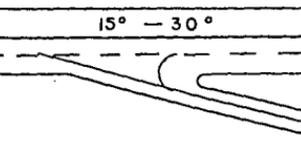
Las cuales permiten la conexión de la plataforma con las cabeceras de la pista, frecuentemente formadas por una calle paralela a la pista y conectándose después con un viraje de 90°.

- Calles de rodaje de salida de la pista

Permiten abandonar la pista y desplazarse a la plataforma.

Se debe buscar una eficiencia operacional diseñando estas salidas de manera que el avión ocupe el menor tiempo posible a la pista, para lograr esto se diseñan salidas de alta velocidad, las cuales permitirán al avión salir de la pista casi sin detenerse, su diseño descrito en el anexo 14 - señala que es necesario construir un tramo recto después del viraje para permitir que el avión se pueda detener completamente.

De acuerdo a la deflexión que forman con la pista las calles de rodaje de salida, éstas permitirán mayores velocidades de salida, a mayor ángulo menor será la velocidad de salida.

Deflexión	Velocidad de salida
 <p>60° - 160°</p>	<p><math>V &lt; 64 \text{ Km/h}</math> (40 M.P.H.)</p> <p>Salida en ángulo recto</p>
 <p>35° - 55°</p>	<p><math>64 \text{ km/h} &lt; V &lt; 96 \text{ Km/h}</math></p> <p>Salida en ángulo</p>
 <p>15° - 30°</p>	<p><math>V &gt; 96 \text{ Km/h}</math> (60 M.P.H.)</p> <p>Salido de alta velocidad</p>

### . Retornos

Quando el volumen de tránsito no es grande, la plataforma puede quedar -- conectada a la pista por medio de una sola calle y utilizar un segmento -- de la pista como calle de rodaje, para permitir el viraje de las aeronaves en las cabeceras se construyen ampliaciones de pavimento llamadas -- "gotas" o propiamente retornos.

El número de calles de salida rápida dependerá del tipo de avión y de las combinaciones de varios tipos que operen durante la hora pico. En un aeropuerto grande, por ejemplo, la mayoría de los aviones tendrán velocidades grandes y de ser así es posible que se necesiten únicamente dos salidas.

Por otra parte, un aeródromo que sea utilizado por un grupo de varios tipos de aviones con diferentes velocidades de aproximación requerirá de -- quizá cuatro salidas. Finalmente de la combinación de varios tipos de -- aviones, de la posición de las plataformas con respecto a la pista y del -- volumen de tránsito aéreo se determina el número y disposición de las -- calles de rodaje de entrada y salida para el aeropuerto en cuestión, las -- que deberán ser planeadas en su totalidad, previéndose a nivel de plan -- maestro la posibilidad de ser incrementadas cuando el volumen de operaciones así lo requiera.

### Puntos de espera

En las intersecciones de las calles de rodaje con las pistas se deben establecer lugares en los cuales los aviones esperen la autorización del -- C.T.A. de tomar posición o cruzar la pista, estos lugares se llaman puntos de espera, la distancia entre el eje de la pista y el punto de espera se determina por medio de la tabla 3-2 del anexo 14, en ella interviene - el número de clave del avión y el tipo de operación de la pista, visual, - precisión y no precisión.

### II.2.3. Plataformas

La plataforma se define como un área destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, reaprovisionamiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento, de acuerdo a su posición y al servicio que prestan, se clasifican de la siguiente manera:

#### - Plataforma de operaciones o terminal

Es el área designada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves comerciales y se encuentra situada junto al edificio terminal de pasajeros.

#### - Plataforma de aviación general

Las aeronaves de la aviación general utilizadas para vuelos de negocios o de carácter particular requieren de esta plataforma para atender las necesidades de este tipo de servicio.

Existen otras plataformas como son:

#### - Plataformas de carga

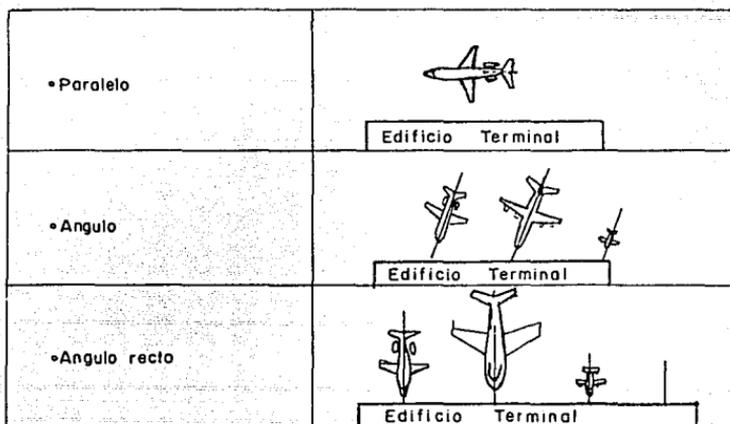
- Plataformas de pernocta
- Plataformas de mantenimiento
- Plataformas para el estacionamiento de los aviones que tengan su base en el aeropuerto en cuestión.
- Plataformas para la aviación militar

En el diseño de cada plataforma se deben cumplir los requisitos de seguridad relativos a las maniobras de las aeronaves, manteniendo los márgenes de separación establecidos en la sección 3.11.6 del anexo 14 de la OACI, así como la pendiente máxima también especificada, misma que no deberá ser mayor del 1 por ciento.

Al llevar a cabo el proyecto de una plataforma se debe tener en cuenta el efecto de temperatura de los gases de escape y empuje de las turbinas de los aviones, sobre las instalaciones adyacentes.

- Modos de estacionamiento de las aeronaves en plataformas

De acuerdo a la posición del avión con respecto al edificio de pasajeros, estos pueden ser:



El modo de estacionamiento determina la longitud necesaria en la plataforma; misma que se obtiene al analizar el número de posiciones simultáneas que sean necesarias.

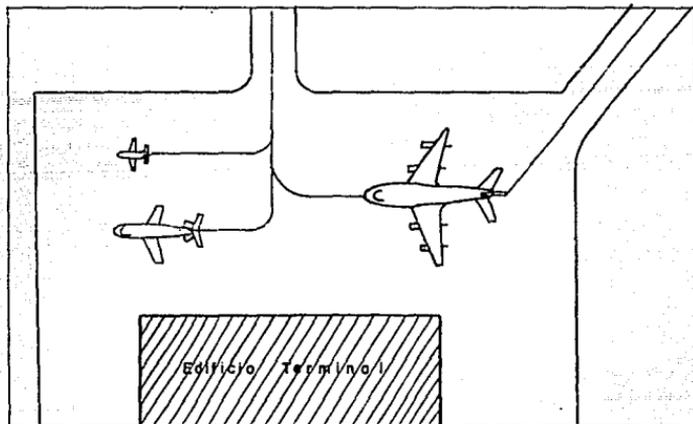
#### Tipos de plataforma

La forma de una plataforma de operaciones depende de su conexión con el edificio terminal de pasajeros y con el modo de estacionamiento de las aeronaves previamente determinado, de acuerdo a estos factores se pueden clasificar los siguientes tipos de plataforma:

##### a) Abierta

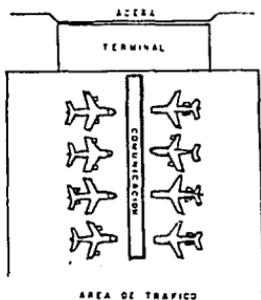
En este tipo de plataforma, las aeronaves se estacionan separadas del edificio terminal en filas y el acceso se hace mediante autobuses.

Con esta solución el movimiento de los aviones se facilita al máximo, sin embargo el traslado de los pasajeros se realiza cruzando la zona operacional lo que ocasiona dificultades.



**b) Muelle (Dedos o andadores)**

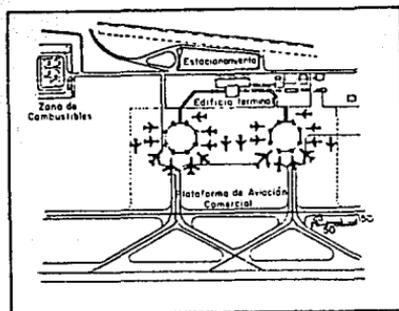
Consiste en un edificio central con pasillos o "dedos" hacia la plataforma, frente a los cuales se estacionan los aviones; es conveniente destacar que en su diseño se debe cuidar de proporcionar suficiente espacio -- para las maniobras en la plataforma. Esta solución es flexible a posibles ampliaciones futuras.



**c) Satélite**

El edificio terminal tiene construcciones independientes conectadas por -- medio de un túnel o pasillo que ocasionalmente es subterráneo permitiendo con esto el estacionamiento de las aeronaves alrededor de estas construcciones independientes.

Las maniobras resultan bastante sencillas, sin embargo el área necesaria-- en plataforma es considerablemente grande y no aprovechable.

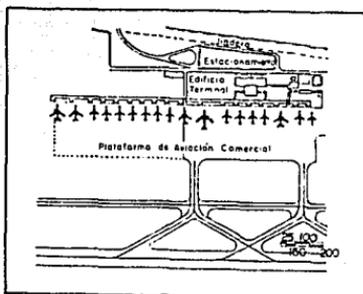


CONCEPTO SATELITE

#### d) Lineal

La configuración de este tipo de plataforma está constituida por un edificio frente al cual se estacionan directamente los aviones, el aprovechamiento de la superficie de la plataforma es óptimo. La salida de los aviones es por medio de remolques que los conducen hasta un sitio donde puedan iniciar el rodaje por su propio impulso.

El edificio no es necesariamente lineal ya que puede incluir ciertos quiebres e incluso ser circular o semicircular.



CONCEPTO LINEAL

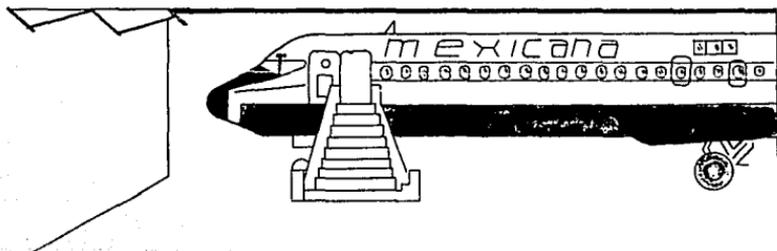
### Embarque y desembarque de pasajeros

A continuación se citan los medios utilizados en el embarque y desembarque de los pasajeros.

#### a) Escalera

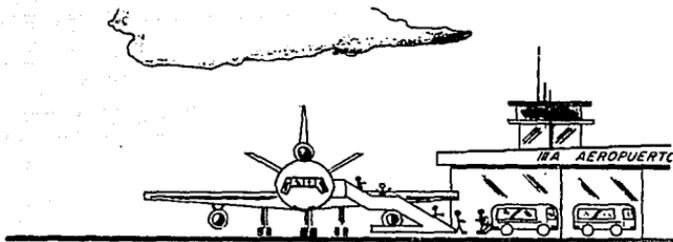
Este es el más sencillo procedimiento, se utiliza frecuentemente en plataformas abiertas.

La escalera se lleva hasta la puerta de la aeronave y se ajusta para que coincida con ésta y con el nivel de la plataforma, los pasajeros se trasladan por otro medio hasta el edificio terminal.



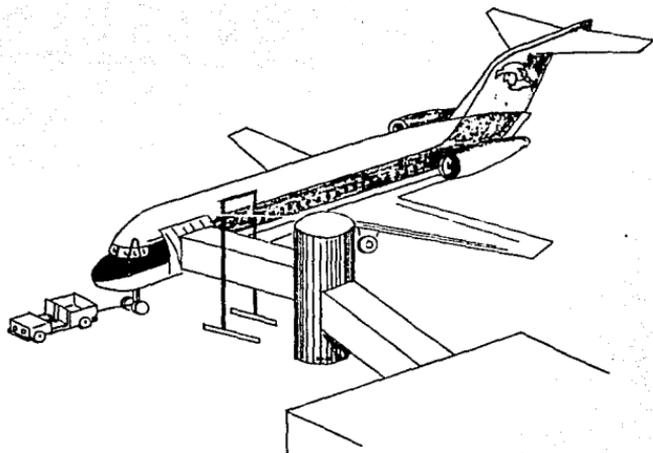
### b) Escalera y autobús

La diferencia de este procedimiento con el anterior es que los pasajeros suben después de bajar del avión a un autobús que los conduce al edificio terminal o viceversa, este método se utiliza en plataformas abiertas.



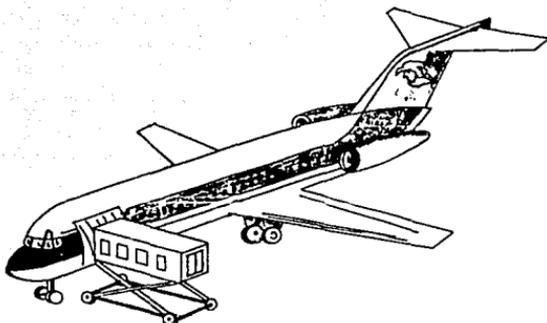
### c) Pasillo telescópico (Puente)

Este medio es el más utilizado en aeropuertos cuyo movimiento es importante, consiste en un túnel o pasillo unido al edificio terminal, el otro se sostiene sobre un soporte orientable, accionado por un motor, el pasillo se orienta hacia la aeronave y se alarga hasta alcanzar la puerta de la misma permitiendo el embarque y desembarque de los pasajeros de una manera cómoda y rápida.



#### d) Autobuses especiales

Este procedimiento es muy recomendable para plataformas abiertas que se encuentren distantes del edificio terminal, consiste en un vehículo con características mecánicas especiales que le permiten elevarse hasta el nivel del edificio terminal o de la puerta de la aeronave con lo que el pasajero se evita recorrer grandes distancias y lo protege de ruidos y condiciones atmosféricas.



#### Superficie de la plataforma

El área requerida para el estacionamiento y maniobras de los aviones depende de varios factores que se deben considerar adicionalmente al modo de estacionamiento de éstos, que se describió anteriormente.

Estos factores son los siguientes:

- 1.- Dimensión y características de maniobrabilidad de los aviones.

Antes de realizar un proyecto de plataforma se debe conocer la dimensión y maniobrabilidad del conjunto de aeronaves que se prevé habrán de utilizar dicha plataforma.

- 2.- Volumen de tránsito.

El número de lugares de estacionamiento necesarios en plataforma se determina a partir de pronósticos realizados durante la planeación del aeropuerto, comparando éstos con el tiempo de ocupación de la --

posición (Abordaje, servicios, comisariato, etc.) y con los itinerarios actuales o estimados de las compañías de aviación.

### 3.- Márgenes de separación en plataformas.

Se deben proporcionar márgenes mínimos de separación entre el avión que utilice el puesto y cualquier edificio, aeronave en otro puesto de estacionamiento y otros objetos adyacentes., estos márgenes son los siguientes:

Letra de clave	Margen
A	3 m
B	3 m
C	4.5 m
D	7.5 m
E	7.5 m

En caso de presentarse circunstancias especiales estos márgenes se pueden reducir en posiciones de estacionamiento de aeronaves con la proa hacia adentro, cuando la letra de clave sea D ó E.

- a) Entre el edificio terminal y la proa del avión.
- b) En cualquier parte del puesto de estacionamiento provista de -- gufa azimutal proporcionada por un sistema de estacionamiento - (atraque) visual.

### 4.- Tipo de entrada y salida de la plataforma de estacionamiento de los aviones.

Después de aterrizar los aviones se desplazan por sus propios medios hasta la plataforma y entran a la posición asignada independientemente del tipo-

de estacionamiento diseñado en la plataforma, sin embargo al salir de la posición de estacionamiento si es en ángulo recto será necesario aplicar potencia en reversa a los motores para desplazarse, lo que puede dañar a los edificios e incluso a los mismos motores, por lo que lo más conveniente en este caso es que la aeronave sea remolcada hasta una posición en lo que pueda salir de manera autónoma, de la consideración anterior se tienen dos modos de salida de la plataforma:

- Maniobra autónoma (propio impulso)

Esto es que el avión entra y sale del lugar de estacionamiento, sirviendo del propio impulso de sus motores, la superficie necesaria para realizar esta maniobra depende del máximo radio de giro que tenga la aeronave.

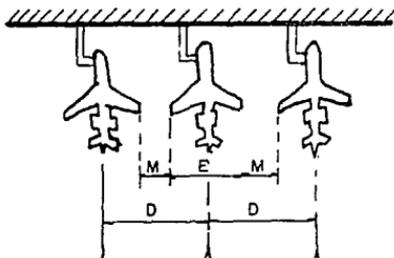
- Remolque

Es un método utilizado generalmente en la salida de una plataforma lineal, requiere el uso de un tractor. El empleo de tractores permite un espacio más completo de los lugares de estacionamiento, con lo que es posible reducir la superficie de la plataforma.

- Separación entre los lugares de estacionamiento.

Dependiendo del tipo de plataforma y estacionamiento se aplicará a la envergadura del avión en cuestión las separaciones recomendadas, siendo el caso más (común) aquel en el que el estacionamiento es en ángulo recto y a la envergadura (E) habrá que sumar el margen que sugiere OACI.

$$D = E + M$$



**- Número de posiciones simultáneas**

Determinado a partir de pronósticos realizados durante la planeación de un aeropuerto para cada una de las etapas de su plan maestro.

La superficie total de una plataforma no sólo comprende los puestos de estacionamiento de las aeronaves, también se considera la superficie necesaria para las calles de rodaje en plataforma, las calles de acceso al puesto de estacionamiento, y las vías de servicio para proporcionar los servicios auxiliares que se precisen. También se debe tomar en cuenta -- la zona de maniobras y del equipo terrestre.

**Servicios necesarios en plataforma:**

- Tractor para el remolque de aviones
- Escaleras de pasajeros
- Tractores y carros de equipaje
- Vehículos de carga
- Bandas transportadoras
- Limpieza de sanitarios
- Comisariato
- Plantas de energía eléctrica
- Compresores para arrancar motores
- Extinguidores exteriores
- Carga de combustible
- **Plataforma de aviación general**

El dimensionamiento de este tipo de plataforma se realiza de manera similar a la plataforma de operaciones.

### **Franja de seguridad**

Al igual que en las pistas y las calles de rodaje; las plataformas deberán estar provistas de franjas de seguridad cuya finalidad es la de proteger contra un daño a las aeronaves que por accidente llegaran a salir de la plataforma.

### II.3 Area terminal

A continuación se describirán las instalaciones correspondientes al área terminal, ésta es una zona de transición entre el área pública y el área de operación. El área terminal es un conjunto de instalaciones que albergan los servicios de pasajeros, servicios de control aeronáutico y -- servicios de emergencia, consta de uno o varios edificios dependiendo -- del tamaño del aeropuerto y del volumen de tráfico que esté destinado -- a servir, en función de lo anterior el área terminal deberá tener:

- Zona de atención al pasajero, donde pueda llevar a cabo sus trámites de documentación previa al vuelo.
- Zona de espera, donde el pasajero pueda aguardar la salida del avión.
- Servicios sanitarios.
- Zonas de concesión, restaurantes, cafeterías, tiendas de souvenirs, - etc.
- Area destinada al acceso de pasajeros que descienden del avión y endonde recibirán su equipaje.
- Zona de instalaciones electromecánicas que regulen la energía eléctrica del conjunto terminal, suministre agua a los servicios sanitarios- y si es necesario control de temperatura ambiental.
- Area para el gobierno del aeropuerto, oficinas administrativas y auto- ridades aeronáuticas.
- Zona para control de vuelos y control de tráfico aéreo del aeropuerto.
- Servicio de emergencia

Los anteriores servicios serán proporcionados en las instalaciones que a continuación se describirán.

### Edificio terminal

El edificio terminal de pasajeros es el más importante del área terminal, éste deberá albergar los servicios a los pasajeros que llegan como los que salen, para determinar su geometría existen conceptos que se han desarrollado en la búsqueda de la mejor respuesta de integración de la operación de la zona aeronáutica con la zona de proceso de pasajeros, administración y mantenimiento. Es por esto que el diseño de un edificio terminal no se debe realizar independientemente de la planeación de la plataforma de operaciones ya que los errores en su determinación acarrearán costosos ajustes, obras ineficientes y problemas en la operación y en el proceso de pasajeros.

El edificio terminal de pasajeros, consta generalmente de los elementos siguientes:

- Vestíbulo de llegada
- Zona de compañías aéreas, con oficinas y mostradores de servicio al público.
- Salas de espera
- Concesiones para venta de artículos varios.
- Restaurante - bar y cocina
- Servicios sanitarios
- Oficinas administrativas
- Oficinas para las autoridades del aeropuerto
- Area de reclamo de equipaje
- Vestíbulo de salida
- Sub-estación eléctrica

- Equipos de control ambiental
- Sistema de sonido

Los factores que determinan el diseño de el edificio y sus elementos son entre otros:

- a) Capacidad física para el desarrollo del área terminal. Se deberá verificar y en su caso ajustar la cercanía de las pistas, separación de los edificios que integran el área terminal y vialidad exterior.
- b) Tipo de aeropuerto: Actividades principales del mismo, nacional o internacional, combinación, vuelos de fletamiento, etc.
- c) Velocidad de crecimiento del sistema: Se refiere a lo proyectado en plan maestro del aeropuerto y a manera de que las posibles ampliaciones se vayan dando antes de que haya una saturación del sistema.

Los elementos anteriormente descritos pueden estar dispuestos en una construcción que generalmente funciona en uno, uno y medio y dos niveles, no siendo el tema de esta tesis, baste con señalar que el correcto diseño de un edificio terminal debe incluir análisis del sentido de recorrido de los pasajeros y sus acompañantes tanto en la zona pública como en la zona de embarque, además cada elemento del edificio se pasajeros será proyectado de acuerdo en un determinado número de metros cuadrados por persona.

#### 11.4 Estacionamiento y vías de acceso

El aeropuerto deberá contar con un estacionamiento de vehículos de los pasajeros y sus acompañantes así como de visitantes ocasionales, su capacidad será fijada en función directa del número de pasajeros en hora pico que se espera utilicen el aeropuerto.

### Camino de acceso

Es el caso de las vías de comunicación exteriores, al estacionamiento - del aeropuerto y al edificio terminal.

Sus dimensiones dependen del número y tipo de vehículos que se pronostiquen en los periodos de máxima actividad del aeropuerto.

### II.5 Sistema de almacenamiento y distribución de combustibles

Por pequeño que sea un aeropuerto, se debe prever la posibilidad de que los aviones que en él operen necesitan reaprovisionarse de combustible -- para seguir su ruta o regresar a su punto de partida.

Por lo que se debe contar con un almacenamiento suficiente y con mecanismos para distribuir el combustible, en algunos aeropuertos debido a su movimiento se requiere de grandes tanques de almacenamiento que permitan -- contar con una reserva adecuada de los diferentes tipos de combustible -- que emplean los aviones, la distribución se efectúa de primera instancia -- por medio de unidades móviles que llevan el combustible a la plataforma -- y ahí por medio de bombas adecuadas se hace el traspaso a los tanques --- del avión.

En un aeropuerto que sea utilizado por varios tipos de aviones será necesario contar con tipos diferentes de combustible, uno parcialmente refinado para las turbinas de los aviones de reacción, una gasolina de alto octanaje para los motores de alto rendimiento de aviones a pistón que vuelan a grandes alturas y finalmente gasolina de octanaje medio para motores de aviones de rendimiento bajo usados para vuelo a baja altura.

El uso de tres diferentes tipos de combustible resulta difícil si se resurre exclusivamente a los autotanques que los trasladen del almacén central al avión, puesto que se requerirá obligadamente un vehículo para cada uno de ellos.

El almacenamiento de combustible debe ser suficiente para suministrar combustible a los aviones que se espera operen en el aeropuerto diariamente y además contar con una reserva capaz de atender la demanda durante un período de tiempo. Esta condición se extiende a las necesidades de almacenamiento de gasolinas de alto y mediano octanaje, pero estas últimas no se consumen en la misma proporción que el combustible para los turborreactores.

Estas consideraciones son de suma importancia cuando el lugar en el que se localice la fuente de suministro de combustible esté alejada del aeropuerto, lo que hace que se prevea el mecanismo adecuado de alimentación a los tanques de almacenamiento con la oportunidad debida.

Con todos estos datos el proyectista estará en posibilidades de diseñar --

la capacidad requerida de almacenamiento para cada uno de los tres tipos de combustible que deberá manejar.

#### Generalidades del sistema

Contando con la información de los volúmenes de combustible requeridos - para ser almacenados para el servicio del aeropuerto se calcula la capacidad de los tanques convenientes para contener dicho volumen.

También se debe contar con caminos de acceso al sitio del almacenamiento desde el exterior y otros que unan a éste con el resto del aeropuerto, - así como con oficinas para el control del almacenamiento, un local para un laboratorio de control de calidad, una casa de máquinas para albergar los sistemas eléctricos y dar alimentación de energía de emergencia.

#### Distribución del combustible

Como se mencionó anteriormente el empleo de autotanques para la distribución del combustible provoca algunos problemas operacionales por lo que es mejor construir líneas de conducción entre la zona de almacenamiento y las plataformas.

Los aviones de turbina actuales cuentan con válvulas de conexión rápida que funcionan bajo presión y permiten el llenado de los tanques del - - avión, si a los ductos de conducción se les conecta una válvula que funcione igualmente bajo presión, se tendrá un sistema integrado que depende exclusivamente de la capacidad de bombeo de la propia instalación central.

#### II.6 Instalaciones complementarias

Son las que complementan los servicios en un aeropuerto y son importantes. Algunas están contenidas en la zona terminal anteriormente descrita.

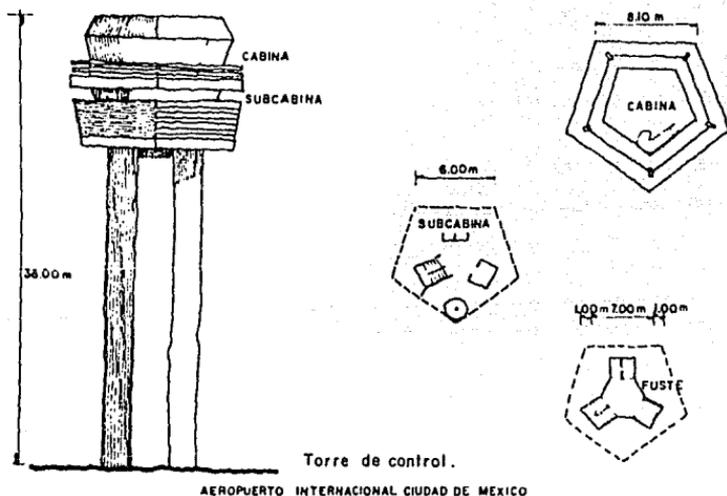
### **Torre de control**

En el centro de las operaciones aeronáuticas, es un edificio cuya principal característica es su altura, la cual está en función de la necesidad de poder controlar visualmente el espacio aéreo circundante en un aeropuerto y el control de la (s) pista (s), calles de rodaje y plataforma. Puede adoptar diferentes formas arquitectónicas, desde un edificio de varios niveles, en que cada piso tenga una utilización específica, -- hasta la de una columna rematada en un par de niveles operacionales, la sub-cabina, que albergará equipo electrónico, servicios sanitarios y sala de descanso y la cabina rodeada en su totalidad por cristales, donde laboran los controladores de tránsito aéreo.

En México las torres se constituyen, generalmente por un basamento de acceso que contiene, además la maquinaria del elevador. Un fuste aloja una escalera de caracol, el elevador y ductos para instalaciones sanitarias e hidráulicas. Remata en la sub-cabina hasta la que llega el elevador y la escalera. Una segunda da acceso a la cabina. Este tipo de torre construída a base de fuste no permite alojar oficinas adicionales por lo que es necesario construir para albergarlas un edificio técnico-anexo a la torre de control.

### **Edificio técnico anexo a Torre de control**

Se construye a un lado de la torre con la finalidad de que aloje los servicios de despacho de vuelos, meteorología, equipo electrónico de comunicaciones, radioayudas y oficinas.



#### Edificio para el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI)

Debe contar con un cobertizo amplio que pueda alojar los vehículos de - - extinción de incendios, un autotanque para agua y vehículos de emergencia (ambulancia, unidad de transporte, sistema portátil de alumbrado, etc.).

El edificio del cuartel contará con habitaciones para el personal, áreas de comedor, sanitarios completos y oficinas.

Las instalaciones deben ser diseñadas de tal manera que permita la salida rápida del personal al presentarse una emergencia.

Adicionalmente, se destina una cisterna exclusivamente para el llenado - del autotanque mencionado, su capacidad debe permitir el llenado de por lo menos 10 tanques.



### CAPITULO III

#### ANALISIS DE LOS ESPACIOS AEREOS



### CAPITULO III ANALISIS DE LOS ESPACIOS AEREOS

Como se mencionó en el capítulo anterior los espacios aéreos constituyen un elemento muy importante en la localización y operación de un aeropuerto.

El anexo 14 de la OACI especifica las dimensiones de las superficies libres de obstáculos que deberán tener los aeropuertos con el fin de permitir una operación segura de las aeronaves.

Adicionalmente a estas superficies libres de obstáculos es necesario el diseño de los procedimientos de salida, llegada, aproximación y aproximación fallida por instrumentos que deben realizar los aviones que vuelan bajo tales condiciones. Estos procedimientos deberán considerar siempre la disponibilidad de espacios aéreos del área del aeropuerto.

Existen dos criterios para el diseño de estos procedimientos, el de uso internacional que recomienda la OACI en el documento 8168 Vols. I y II. Procedimientos para los servicios de navegación aérea "operación de aeronaves" (PANS-OPS), el manual de construcción de procedimientos de vuelo por instrumentos, el documento 9368, y el manual utilizado por el FAA en Estados Unidos, el manual TERPS (terminal Procedures) Procedimientos Terminales.

#### III.1 Superficies limitadoras de obstáculos

El anexo 14 especifica en su capítulo cuarto las áreas que han de quedar libres de obstrucciones en la proximidad de un aeropuerto, estas superficies denominadas limitadoras de obstáculos tienen la finalidad de definir el espacio aéreo que debe mantenerse protegido alrededor de los aeródromos para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de aviones previstas y evitar que la utilización del aeropuerto se vea afectada-

por los obstáculos en los alrededores.

Los objetos que penetran estas superficies limitadoras de obstáculos especificadas en algunos casos pueden ser motivo de un aumento en la altura mínima de descenso en el procedimiento por instrumentos o patrón visual.

Las dimensiones de las superficies limitadoras de obstáculos dependen de dos factores:

- Longitud del campo de referencia (dimensión de la pista)
- Categoría del avión

Las superficies son las siguientes

a) Superficie horizontal externa

Se establece en aeropuertos en los que debido al tipo de operaciones - requieran una limitación y señalamiento de obstáculos más extensos al que puedan proporcionar otras superficies limitadoras. Esta superficie se extiende a un radio de 10 millas náuticas del aeropuerto - - - (18.52 km) teniendo una altura de 145 m sobre el nivel de éste.

b) Superficie cónica

Su objeto es el de proteger el espacio aéreo para el circuito visual-dentro del cual, la aeronave deba volar antes de aterrizar.

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

Los límites de la superficie cónica comprenden: un borde inferior -- que coincide con la periferia de la superficie horizontal interna y de un borde superior situado a una altura determinada sobre la superficie horizontal interna.

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

c) Superficie horizontal interna

Define la parte del espacio aéreo en la vecindad inmediata a la pista para aproximaciones de precisión, es la superficie situada en un plano horizontal sobre un aeródromo y sus alrededores.

Su altura y límites se medirán desde el punto de referencia para la elevación que se fije con este fin.

d) Superficie de aproximación

Es un plano inclinado limitado por: un borde interior de longitud determinada, horizontal y perpendicular al eje de la pista y situado a una distancia específica del umbral y por dos lados que parten de los extremos del borde interior y divergen uniformemente en un ángulo -- determinado respecto a la prolongación del eje de la pista.

e) Superficie de aproximación interna.

Es la porción rectangular de la superficie de aproximación inmediatamente anterior al umbral. Se limita por un borde interior coincidiendo con el límite del borde interior de la superficie de aproximación -- pero con una longitud propia determinada por dos lados que parten de los extremos del borde interior y extendiéndose paralelamente al eje de la pista.

f) Se extiende a lo largo del borde de la franja y parte del borde de la superficie de aproximación. Tiene una pendiente ascendente hasta la superficie horizontal interna.

Se limita por un borde interior el cual comienza en la intersección del borde de la superficie de aproximación con la superficie horizontal interna extendiéndose siguiendo el borde de la superficie de aproximación hasta el borde interior de la superficie de aproximación y de ahí por toda la longitud de la franja paralelamente al eje de la pista y por un borde superior situado en el plano de la superficie horizontal interna.

g) Superficie de transición interna

Su finalidad es la de proteger libre de obstáculos a las ayudas, a la navegación, aeronaves y vehículos que deban hallarse en proximidad de la pista, esta superficie es similar a la de transición pero más próxima a la pista.

h) Superficie de aterrizaje interrumpido

Es el plano inclinado situado a una distancia específica después del umbral que se extiende entre las superficies de transición, sus límites son: Un borde interior horizontal y perpendicular al eje de la pista, situado a una distancia específica después del umbral, y dos lados que parten de los extremos del borde interior divergiendo uniformemente en un ángulo determinado y un borde exterior paralelo al interior situado en el plano de la superficie horizontal interna.

La elevación del borde interior es igual a la del eje de la pista en ese punto, la pendiente de esta superficie se mide en el plano vertical que contenga el eje de la pista.

i) Superficie de ascenso en el despegue

Es un plano inclinado limitado por un borde interior horizontal y perpendicular al eje de la pista situado a una distancia específica mas allá del extremo de la pista o el extremo de la zona libre de obstáculos (clearway) si la hubiese, dos lados divergentes uniformemente - - -

respecto a la derrota de despegue (trayectoria de despegue) hasta -- una anchura final y manteniéndose después dicha anchura a lo largo -- del resto de la superficie de ascenso.

Un borde exterior horizontal y perpendicular a la derrota de despegue especificada.

Las dimensiones relativas a las superficies limitadoras de obstáculos se determinan en función de la utilización prevista de la pista (despegue, -- aterrizaje y tipo de aproximación). En el caso de que se realicen operaciones en las dos direcciones de la pista, existe la posibilidad de que -- ciertas superficies queden anuladas debido a requisitos más rigurosos a -- que obedecen otras superficies mas bajas.

De esta manera se tendrán para aproximaciones visuales y por instrumentos (precisión y no precisión) las siguientes dimensiones:

Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos  
**PISTAS DE ATERRIZAJE**

Superficies y dimensiones <sup>a</sup>	Clasificación de las pistas									
	Aproximación visual				Aproximación que no sea de precisión			Aproximación de precisión		
	Número de clase				Número de clase			Categoría I		Categoría II o III
	1	2	3	4	1,2	3	4	Número de clase 1,2	3,4	Número de clase 3,4
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
<b>CONICA</b>										
Pendiente	3%	3%	3%	3%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	12 m	15 m	15 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
<b>HORIZONTAL INTERNA</b>										
Altura	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radio	2 000 m	2 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m
<b>APROXIMACIÓN INTERNA</b>										
Anchura	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	80 m	40 m	60 m
Longitud	-	-	-	-	-	-	-	900 m	900 m	900 m
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	2,5%	2%	2%
<b>APROXIMACIÓN</b>										
Longitud del borde interior	60 m	80 m	150 m	150 m	150 m	300 m	300 m	150 m	300 m	300 m
Distancia desde el umbral	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergencia en cada lado	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Primera sección										
Longitud	1 600 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Pendiente	2%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	2%	2%	2,5%	2%	2%
Segunda sección										
Longitud	-	-	-	-	-	3 600 m <sup>b</sup>	3 600 m <sup>b</sup>	12 000 m	3 600 m <sup>b</sup>	3 600 m <sup>b</sup>
Pendiente	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Sección horizontal										
Longitud	-	-	-	-	-	8 400 m <sup>b</sup>	8 400 m <sup>b</sup>	-	8 400 m <sup>b</sup>	8 400 m <sup>b</sup>
Longitud total	-	-	-	-	-	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m
<b>DE TRANSICIÓN</b>										
Pendiente	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
<b>DE TRANSICIÓN INTERNA</b>										
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33,3%	33,3%
<b>SUPERFICIE DE ATERRIZAJE INTERLAMPIDO</b>										
Longitud del borde interior	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	6	1 600 m <sup>c</sup>	1 600 m <sup>c</sup>
Divergencia en cada lado	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	4%	3,33%	3,33%

a. Salvo indicación contraria, todas las dimensiones se miden horizontalmente.  
b. Longitud variable (ver 2.9 o 2.11).  
c. D distancia hasta el extremo de pista, si esta distancia es menor.  
d. Distancia hasta el extremo de la franja.

Para las pistas de despegue las dimensiones de las superficies limitadoras de obstáculos son las siguientes:

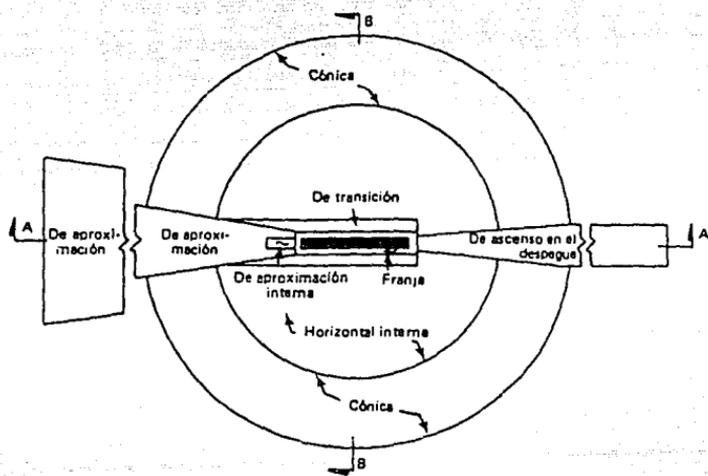
-Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos

PISTAS DE DESPEGUE

Superficie y dimensiones <sup>a</sup>	Número de clave		
	1	2	3 ó 4
(1)	(2)	(3)	(4)
<b>DE ASCENSO EN EL DESPEGUE</b>			
Longitud del borde interior	60 m	80 m	180 m
Distancia desde el extremo de la pista <sup>b</sup>	30 m	60 m	60 m
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	12,5%
Anchura final	380 m	580 m	1 200 m 1 800 m <sup>c</sup>
Longitud	1 600 m	2 500 m	15 000 m
Pendiente	5%	4%	2% <sup>d</sup>

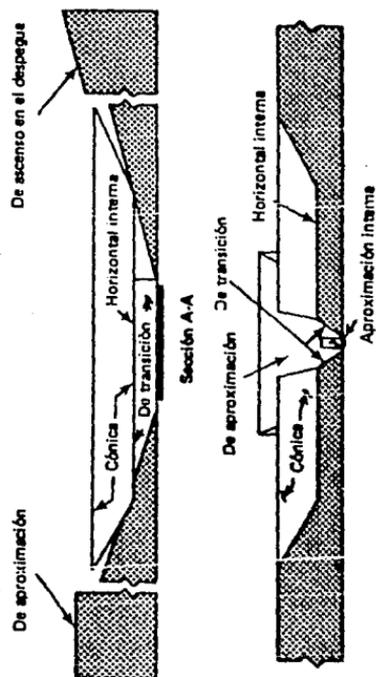
a. Salvo indicación contraria, todas las dimensiones se miden horizontalmente.  
b. La superficie de ascenso en el despegue comienza en el extremo de la zona libre de obstáculos si la longitud de esta excede de la distancia especificada.  
c. 1 800 m cuando la derrota prevista implique cambios de rumbo mayores de 15° en las operaciones realizadas en IMC, o en VMC durante la noche.  
d. Véanse 4.2.24 y 4.2.26.

Se incluye a continuación las gráficas correspondientes a las superficies descritas.



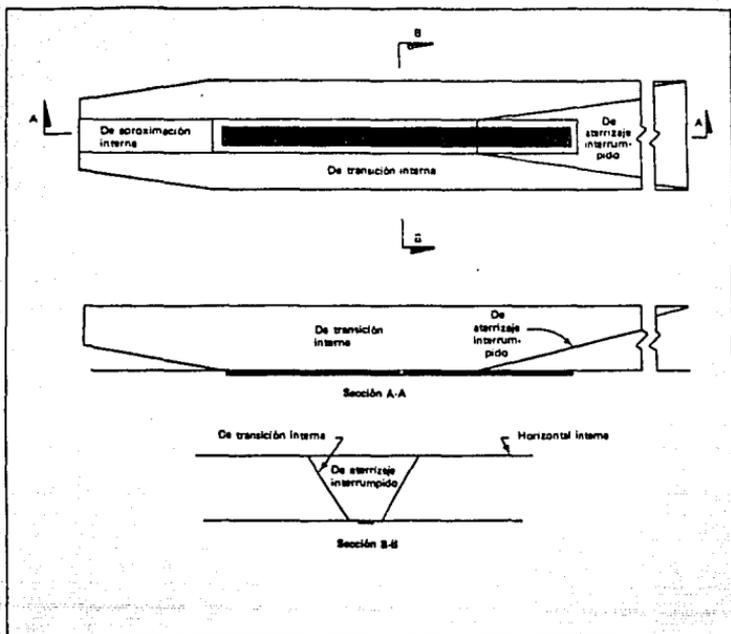
PLANTA

Superficies limitadoras de obstáculos



Véase la Figura 4-2 por lo que respecta a las superficies limitadoras de obstáculos de transición interna y de aterrizaje interrumpido y el Adjunto C para tener una panorámica tridimensional

## SECCION B - B



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

Estas superficies protegen la operación de las aeronaves en la cercanía - del aeropuerto tanto el segmento de aproximación final como la salida en su fase inicial. Sin embargo se presenta la problemática de mantener libre de obstáculos las zonas en las que las aeronaves deben maniobrar para establecerse en la aerovía o en el curso de aproximación final. Para este propósito se diseñan procedimientos de salida y llegada por instrumentos, el criterio que se utiliza al diseñar estos procedimientos se basa - en dos manuales: El documento 8168 Procedimientos para los servicios de navegación aérea de operación de aeronaves (PANS-OPS) de la OACI y el - manual de procedimientos terminales (TERPS) emitido por la agencia de - aviación Federal (FAA) de los Estados Unidos.

#### **Documento 8168 operación de aeronaves.**

Los PANS-OPS consisten en dos volúmenes; en el volumen I se describen los procedimientos operacionales recomendados como guía del personal de operaciones de vuelo así como ilustran los criterios en los que se basa el - Volumen II (Construcción de procedimiento de vuelo visual y por instrumentos).

A continuación se hará un análisis de las especificaciones de este documento.

### **III.2 Documento 8168 Vol. I**

#### **1.- Procedimientos de salida.**

En esta sección se proporciona una visión general de los parámetros y - criterios utilizados en el diseño de procedimientos de salida por instrumentos las cuales incluyen rutas normalizadas de salida.

Con el propósito de garantizar un margen de separación sobre el terreno se publican procedimientos de salida en cualquiera de las siguientes formas - o combinando las mismas.

- a) Rutas específicas que han de seguirse
- b) Sectores específicos que han de evitarse
- c) Pendientes ascensionales mismas metas que han de lograrse

#### El procedimiento de salida por instrumentos

El diseño de un procedimiento de salida por instrumentos suele estar basado en la topografía del terreno próximo al aeródromo pero también influyen los requisitos del Control de Tránsito Aéreo (CTA).

En muchos aeropuertos en donde no se requiera una ruta prescrita a efectos del CTA pueden existir obstáculos que se deban de tomar en cuenta en el momento de determinar si se debe imponer alguna restricción a la salida como por ejemplo, restringir la salida a un determinado sector o limitar a una pendiente ascensional mínima neta.

Se debe tomar en cuenta los procedimientos operacionales de atenuación del ruido así como la posibilidad de no contar con una radioayuda para la navegación en cuyo caso se aplicará el criterio de salida omnidireccional.

De ser posible las salidas se deben diseñar en línea recta alineada con el eje de la pista.

Cuando una ruta de salida requiera un viraje de más de 15° para salvar un obstáculo se construye una salida con viraje.

El establecimiento de los procedimientos de salida por instrumentos debe definir:

- Procedimientos para diversos tipos de aviones sobre la base de una pendiente ascensional mínima neta de 3.3% con todos los motores operativos.

- Un tramo de aceleración
- Una mayor pendiente ascensional mínima neta en caso de ser necesaria para lograr el margen mínimo de franqueamiento de obstáculos.

Se supone que el piloto corregirá el efecto del viento en el caso de volar en rutas apoyadas en balizas y que no lo hará en el caso de contar con una guía vectorial del radar.

El franqueamiento de obstáculos se basa en que el avión alcance la pendiente ascensional mínima neta de:

- 2.5% de las superficies limitadoras de obstáculos o bien basada en el obstáculo más crítico que penetre dichas superficies.
- Un 0.8% adicional como margen de libramiento de obstáculos.

El margen mínimo de libramiento de obstáculos es cero en el extremo de salida de la pista y aumenta 0.8% a partir de allí en dirección del vuelo y con una divergencia de 15°.

- En caso de no especificarse se supone una pendiente ascensional mínima neta de 3.3%
- En el área de iniciación del viraje, en el área del viraje y en el tramo de aceleración se prevé un margen mínimo sobre obstáculos de 90 m (295 ft).

#### Rutas de salida

Existen dos tipos básicos de rutas de salida: en línea recta y con viraje.

Las rutas se basarán en la guía de derrota recibida a menos de 20 km (10.8 M.N) del extremo de salida de la pista para la salida en línea recta y a menos de 10 km (5.4 M.N) después de completar el viraje para

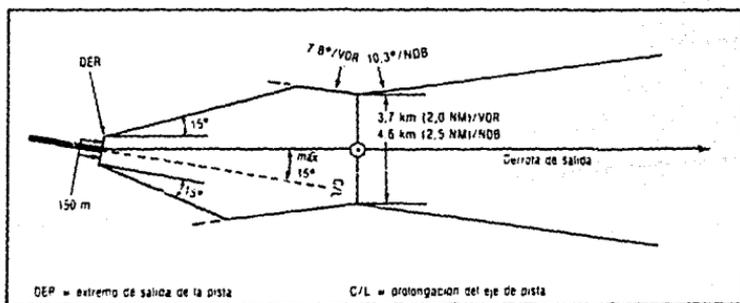
las salidas que requieran viraje.

#### Salida en línea recta

Es aquella en que la derrota de salida inicial no diverge más de  $15^\circ$  de la alineación del eje de la pista, además la derrota debe cruzar la prolongación del eje de la pista a menos de 3.5 km (1.9 M.N) del extremo de salida de la pista (DER).

La guía de la derrota o trayectoria se puede proporcionar mediante una -- instalación VOR o NDB.

En algunos casos en los que se tengan obstáculos muy próximos que afecten la ruta de salida será necesario especificar pendientes ascensionales mínimas netas superiores al 3.3% en cuyo caso se publicará para ser observada por las tripulaciones de vuelo.



Área de salida en línea recta con guía de derrota

### Salidas con viraje

Si una salida requiere un viraje de más de 15° se debe construir un área de viraje. Los virajes se pueden especificar a una determinada altitud en un punto de referencia o en una radioyuda.

Se supone el ascenso en línea recta hasta que el avión alcanza una altura de 120 m (394 ft) como mínimo sobre el DER., en caso de ser necesario -- realizar un viraje abajo de los 120 m, el Doc. 8168 recomienda el establecimiento de procedimientos de carácter local y en consulta con los usuarios.

Se prescribe un viraje en cuanto se alcance una determinada altitud o -- altura cuando exista un obstáculo que haya que salvarse, situado en dirección de la salida en línea recta ó/y otro obstáculo que esté situado en la perpendicular a la derrota de salida en línea recta que deba ser -- sobrevolado con un margen después del viraje.

Las áreas de viraje sobre una estación o en una intersección DME se construyen de igual manera que una aproximación fallida, sólo que las velocidades de despegue que se considerarán son las velocidades finales de aproximación fallida pero incrementadas en un 10% para considerar el efecto de la masa del avión en el despegue.

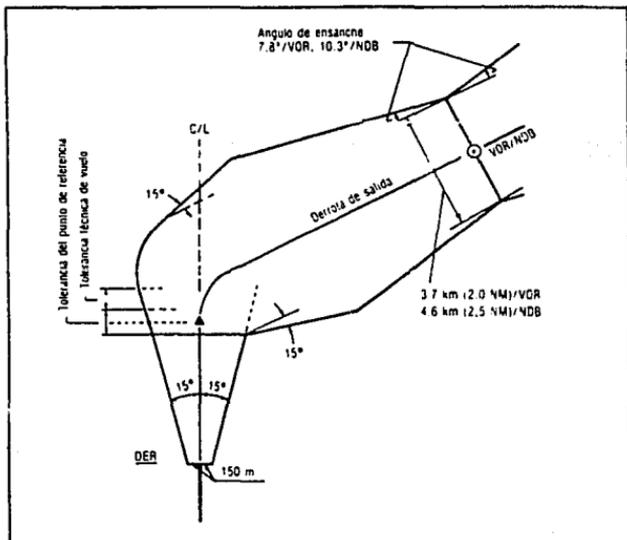
Velocidades máximas para las salidas con viraje

Categoría del avión	Velocidad máxima km/h (kt)
A	225 (120)
B	305 (165)
C	490 (265)
D	540 (290)
E	560 (300)

Adicionalmente, el diseño de las áreas de viraje se basa en diferentes parámetros como: altitud del aeropuerto, temperatura atmosférica, -- velocidades, ángulo de inclinación lateral (banqueo) de  $15^\circ$  del avión y precisión del equipo de navegación; esta tolerancia del equipo de navegación se describirá en Aproximaciones dentro de este mismo capítulo, -- además se considera la tolerancia técnica de vuelo que es el tiempo que el piloto ocupa en su reacción (3s) más el tiempo en maniobrar para iniciar el viraje (3s).

Además y a diferencia de la aproximación fallida, no se consideran áreas secundarias.

Si existen obstáculos que impidan el viraje antes del DER o antes de una altitud/altura se especifica la altitud mínima o el punto en el que se -- debe iniciar el viraje.



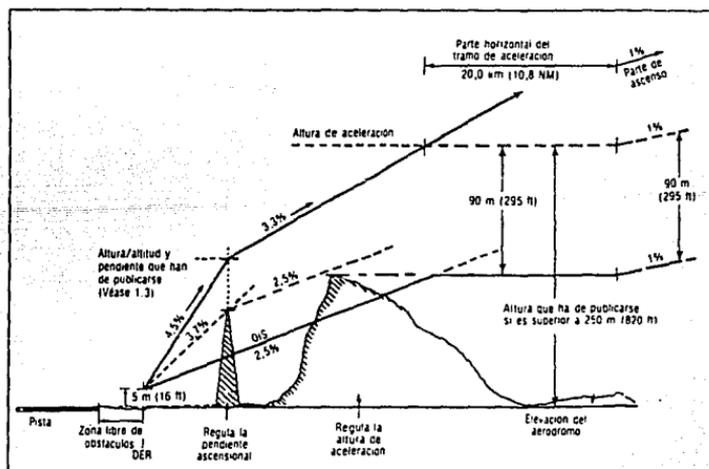
Salida con viraje - viraje en un punto de referencia

### Tramo de aceleración

En las rutas de salida se prevé un tramo de aceleración, el cual se divide en dos partes:

- Una parte horizontal de 20 km (10.8 M.N)
- Una parte de ascenso con una pendiente de 1% hasta una altitud -- en la que rigen otros márgenes de franqueamiento de obstáculos

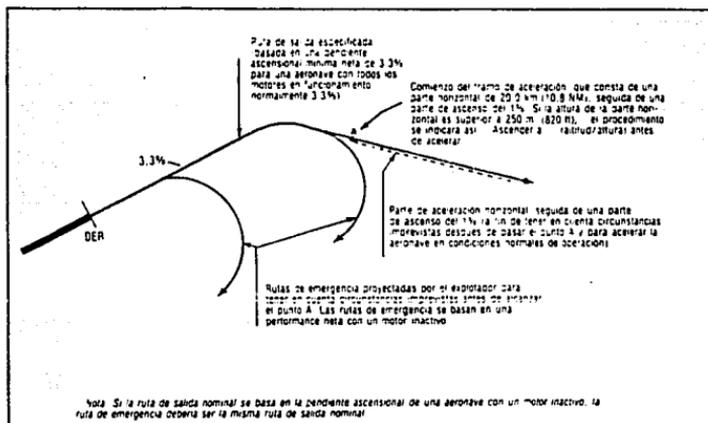
La altura de la parte horizontal en la que no existen limitaciones de - obstáculos es de 250 m (820 ft) por encima del nivel del aeródromo, en caso de que se tenga otra altura superior, la publicación del procedimiento indicará "Ascender a (altitud/altura) antes de acelerar. Al determinar la altura en este tramo se dejarán 90 m (295 ft) como margen de franqueamiento de obstáculos.



Tramo de aceleración

## Procedimientos de emergencia

Si la aeronave no se puede ajustar a la pendiente ascensional mínima neta especificada (generalmente 3.3%) se pueden preparar procedimientos de emergencia en donde se señalarán trayectorias y altitudes que permitan el libramiento de obstáculos. El criterio para fijar estos procedimientos se basa en la trayectoria neta de despegue con un motor inoperativo establecida en el manual del avión.



### Salidas omnidireccionales

Si no se especifica una gufa de derrota para la salida es decir que no exista una radioayuda que balice la trayectoria de salida, se diseñará -- una salida omnidireccional en la que se considera la posibilidad de que la aeronave realice su ascenso en rumbo de pista o bien virando en alguna dirección diferente.

Al realizar una salida omnidireccional se requiere ascender en línea recta hasta una altura mínima de 120 m (394 ft) por encima del aeródromo la cual se supone no se alcanzará antes de una distancia de 600 m a partir del principio de la pista. A partir de ese punto el área abarca 360° -- alrededor del aeropuerto como se muestra en las figuras.

Este procedimiento garantiza que la aeronave libere de obstáculos con un franqueamiento de 90 m (295 ft) antes de especificarse virajes de más de 15° de cambio de derrota.

La salida omnidireccional se prepara para los casos siguientes o una combinación de los mismos:

a) **Caso normal.**- Cuando no hay obstáculos que penetren las superficie de identificación de obstáculos de pendiente 2.5%, bastará -- con respetar el requisito de ascenso de 3.3% de pendiente mínima -- hasta una altura de 120 m (394 ft) para garantizar el libramiento de obstáculos en el caso de virajes en cualquier dirección.

b) **Altitud/Altura de viraje especificada**

Se fijará la pendiente de 3.3% hasta una altitud en la que se puedan permitir virajes en cualquier dirección.

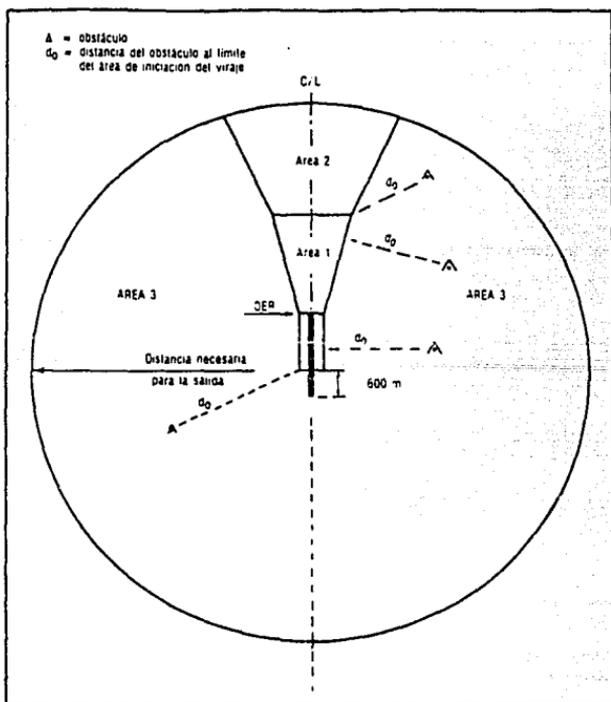
c) **Pendiente ascensional mínima neta específica**

Para garantizar el libramiento de obstáculos se puede fijar una pendiente específica.

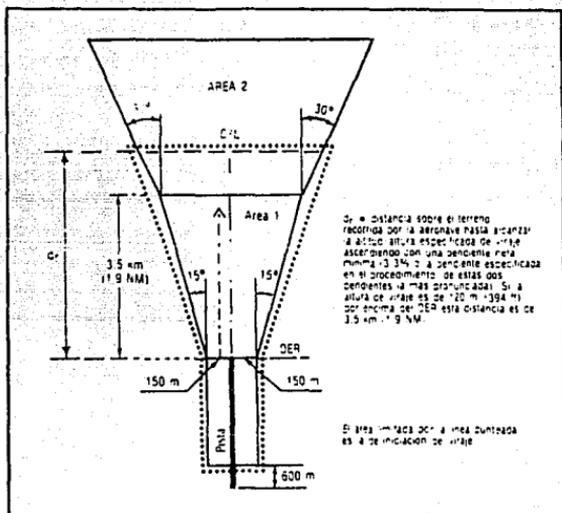
d) Salidas de sector

Si hay obstáculos en un determinado sector se restringen los virajes hacia ese sector hasta alcanzar una altitud/altura mínima.

Las áreas de protección de la salida omnidireccional son las siguientes:



Area 3 para salidas omnidirec. nales



Areas 1 y 2 para salidas omnidireccionales

## 2.- Información publicada

Se determinan las rutas normalizadas de salida (SID), las cuales se deben publicar con el propósito de que el personal aeronáutico se apegue a su estricto cumplimiento.

Las derrotas, fijas y radioayudas así como las altitudes mínimas deben ser claramente especificadas, así como puntos de viraje y altitudes de aceleración (en caso de ser diferentes de 250 m (820 ft)).

Las pendientes mínimas netas son generalmente convertidas a gradiente -- mínimo el cual es la relación distancia vertical (pies) por distancia --

horizontal (milla náutica) que debe mantener la aeronave-este gradiente- se convierte también en régimen de ascenso el cual es la velocidad vertical del avión pues indica la relación pies por minuto con la que asciende el avión, considera su velocidad horizontal verdadera.

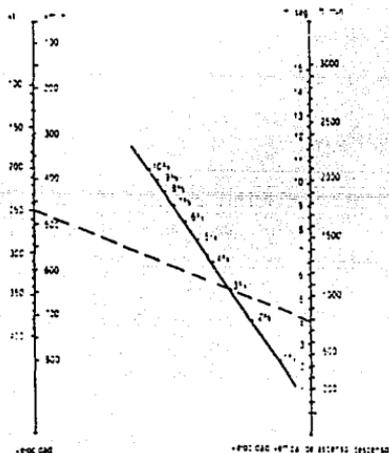
De este modo se publica la pendiente mínima neta, el gradiente mínimo -- y una tabla de conversión de gradiente en régimen de ascenso para distintas velocidades verdaderas.

$$\text{Pendiente mínima} = \frac{\text{Gradiente} \times 100}{6076}$$

$$\text{Régimen} = \frac{\text{Gradiente} \times \text{velocidad verdadera}}{60}$$

El documento 8168 incluye el siguiente nomograma de conversión:

Función ascendente de descenso 3% vs. velocidad de ascenso descenso en ft/min a velocidad expresada en km/h.



Ejemplo: A una velocidad de 470 km/h (250 kt), una pendiente del 3% correspondiente a una velocidad vertical de 4 m/s (760 ft/min)

### 3.- Procedimientos de aproximación

Según la topografía, el tipo de operaciones que se prevé, el tipo de aeronave, la disponibilidad de espacio aéreo y la radioayuda utilizada se -- establecerán procedimientos de aproximación por instrumentos.

Un procedimiento de aproximación completo puede dividirse en cinco tramos diferentes:

- Tramo de llegada
- inicial
- intermedio
- final
- aproximación fallida

Estos tramos comienzan y terminan en puntos de referencia designados.

Las aproximaciones, siempre que sea posible, es conveniente diseñarlas - directas, es decir alineadas con el eje de la pista, si se trata de - -- aproximaciones de no precisión es aceptable considerar un ángulo entre - la derrota de aproximación y el eje de la pista hasta 30°.

En caso de haber limitaciones de espacio aéreo se diseña un aproximación- en circuito. También se establecen altitudes mínimas de sector para cada aeropuerto, las cuales consideran un margen de 300 m (984 pies) sobre los obstáculos que se encuentren en un radio de 46 km (25 millas náuticas) de la radioayuda con la cual esté balizado el procedimiento.

Se acepta que los pilotos deberán apearse a las trayectorias descritas- en los procedimientos, esto implica que harán las correcciones necesarias de rumbo en caso de viento cruzado.

#### Categorías de aeronaves

El rendimiento de las aeronaves influye en el espacio aéreo y en la - --

visibilidad que requieren para realizar los procedimientos de aproximación.

La velocidad es el elemento más importante en el rendimiento (performance) del avión, de este modo y con el propósito de tener un criterio para relacionar la maniobrabilidad del avión con el procedimiento de aproximación, se han clasificado a las aeronaves en cinco categorías de acuerdo a un valor de velocidad de aproximación equivalente a 1.3 veces la velocidad de pérdida de sustentación ( $V_s$ ) en configuración de aterrizaje (tren abajo y aletas extendidas), con la masa de aterrizaje máxima certificada.

Las categorías son las siguientes:

Categoría	Velocidad de aproximación (IAS)
A	< 91 nudos indicados (169 km/h)
B	91 nudos (169 km/h) $\leq$ Vel. aprox. < 121 nudos (224 km/h)
C	121 nudos (224 km/h) $\leq$ Vel. aprox. < 141 nudos (261 km/h)
D	141 nudos (261 km/h) $\leq$ Vel. aprox. < 166 nudos (307 km/h)
E	166 nudos (307 km/h) $\leq$ Vel. aprox. < 211 nudos (391 km/h)

Para el diseño de las diferentes etapas de los procedimientos de aproximación se consideran las siguientes velocidades de las aeronaves; atendiendo a las diferentes categorías de las mismas, de este modo se tendrán velocidades para la aproximación inicial, final, circulando y aproximación fallida intermedia y final.

Se proporciona a continuación una tabla con las velocidades especificadas para el diseño de cada segmento de aproximación y según la categoría de la aeronave.

## N U D O S (km / h )

Categoría	Vat	Gama de Velocidades para aproximación - inicial	Vel. Aproximación final	Vel. mínima de maniobra en condiciones visuales (circuito)	Vel. mínima para - aproximación fallida	
					Intermedia	Final
A	<91 (169)	110° (205*) 90/150 (165/280)	70/100 (130/185)	100 (185)	100 (185)	110 (205)
B	121/141 (169/172)	120/180 (220/335) 140° (260*)	85/130 (155/240)	135 (250)	130 (240)	150 (270)
C	141/161 (223/260)	160/240 (295/445)	115/160 (215/295)	180 (335)	160 (295)	240 (445)
D	141/165 (261/306)	185/250 (345/465)	130/185 (240/345)	205 (380)	185 (345)	265 (490)
E	(166/210) (307/330)	185/250 (345/465)	155/230 (285/425)	240 (445)	230 (425)	275 (510)

Vat = Velocidad en el umbral (1.3 Velocidad de desplome en configuración de aterrizaje con masa máxima de aterrizaje)

\* Velocidad máxima para los procedimientos de inversión y circuito en hipódromo.

Las cartas en las que se publiquen los procedimientos deben indicar la categoría de cada aeronave para la cual se apruebe el procedimiento.

#### Altitud/Altura de franqueamiento de obstáculos

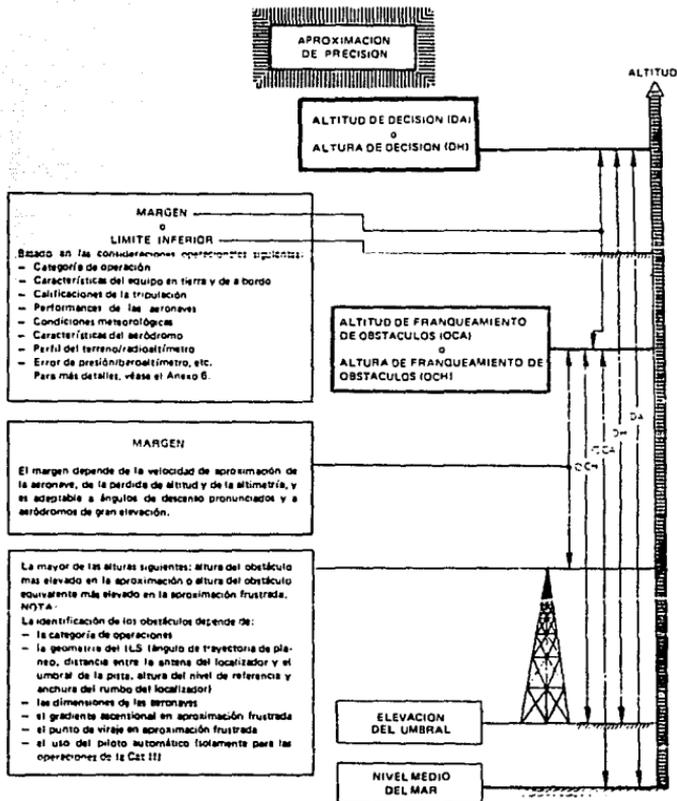
Para todos los procedimientos se calcula una altitud/altura de libramiento de obstáculos (OCA/H, Obstruction Clearance Altitude/Height) la cual se publica en la carta de aproximación por instrumentos, esta altitud/altura es:

- a) En un procedimiento de aproximación de precisión, la altitud más baja (OCA) o la altura más baja por encima de la elevación del umbral de la pista (OCH) a la cual se inicia el procedimiento de aproximación fallida.
- b) En un procedimiento de aproximación de no precisión, la altitud más baja (OCA) o la altura más baja por encima del aeropuerto o el umbral, (OCH) por debajo del cual la aeronave no podrá descender en condiciones de instrumentos sin contravenir los criterios apropiados de franqueamiento de obstáculos.
- c) En un procedimiento de aproximación visual (circulando) la altitud más baja (OCA) ó la altura más baja por encima del aeropuerto (OCH), por debajo de la cual la aeronave no pueda descender a menos que contravenga los criterios de libramiento de obstáculo.

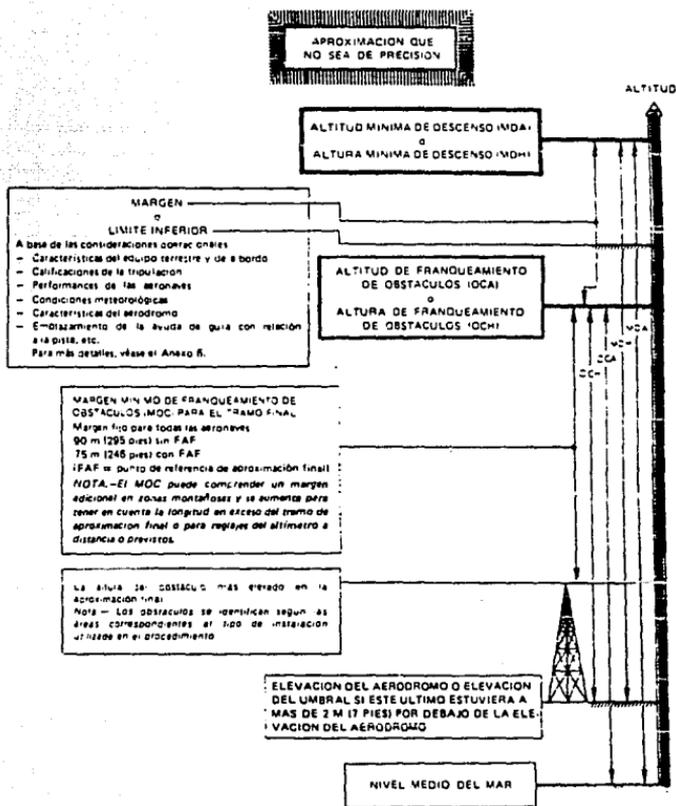
#### Mínimos operacionales

Se establecen sumando el efecto de varios factores operacionales a la OCA/H para obtener, en el caso de aproximaciones de precisión, la altitud de decisión (DH) o la altura de decisión (DA) y en el caso de las aproximaciones que no son de precisión, la altitud mínima de descenso (MDA) o la altura mínima de descenso (MDH).

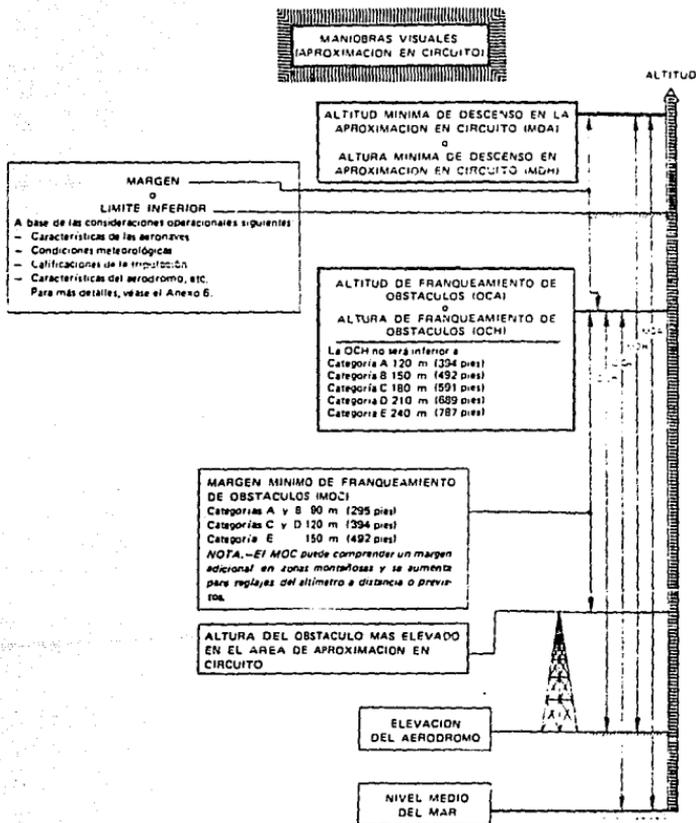
Se indica a continuación, la relación existente entre la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H) y los mínimos de aterrizaje para las aproximaciones de precisión, no precisión y aproximación circulando.



Relación entre la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H) y la altitud/altura de decisión (DA/H) para las aproximaciones de precisión



Relación entre la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H) y la altitud/altura mínima de descenso (MDA/H) para las aproximaciones que no sean de precisión (ejemplo con un obstáculo predominante en la aproximación final)



Relación entre la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H) y la altitud/altura mínima de descenso (MDA/H) para las maniobras visuales (en circuito)

### 3.1.- Construcción del procedimiento de aproximación

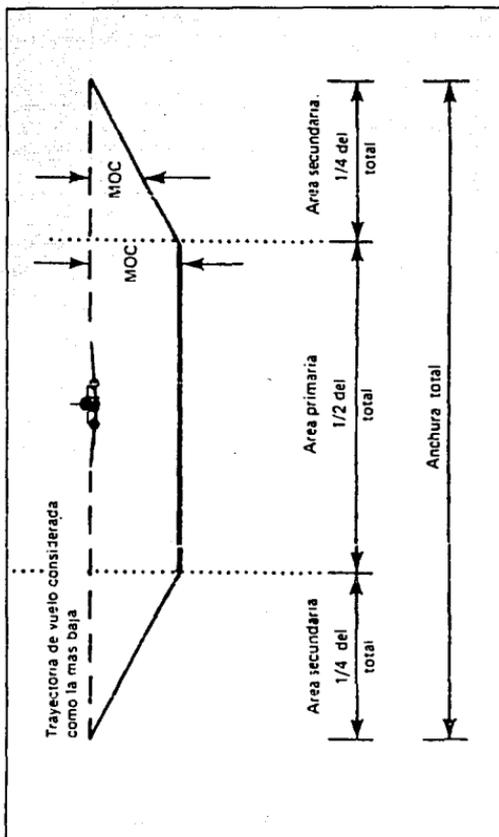
Cada uno de los segmentos de la aproximación (llegada, inicial, intermedia, final, fallida) comprende un volumen determinado de espacio aéreo - cuya sección vertical es un área ubicada simétricamente a ambos lados del eje de cada tramo, esta sección vertical se descompone en las áreas primaria y secundaria, en el caso de que no se proporcione una gufa de derrota toda el área es considerada primaria. El margen mínimo de franqueamiento de obstáculos (MOC) se reduce en los bordes de las áreas secundarias.

### 3.2 Precisión de los puntos de referencia

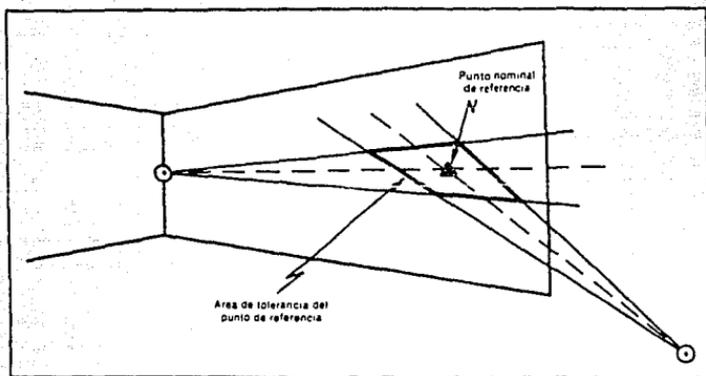
Los puntos de referencia utilizados para calcular los procedimientos de aproximación son el punto de referencia de aproximación inicial (IAF), - el punto de referencia de aproximación final (FAF), el punto de referencia de espera, el punto de referencia del punto de aproximación fallida (MAP<sub>t</sub>) en caso de existir éste con el objeto de facilitar la pronta iniciación de la ida al aire para evitar terreno elevado, punto de viraje - (TP), estos puntos se basaron en las radioayudas normales de navegación.

#### Puntos de referencia determinados por intersecciones

Las instalaciones de navegación poseen limitaciones de precisión, de esta manera el punto geográfico que se localice en la intersección de dos radiales o trayectorias desde diferentes instalaciones de navegación no es preciso, pero puede encontrarse dentro de un área llamada área de tolerancia del punto de referencia.



Sección vertical que indica la relación entre los márgenes mínimos de franqueamiento de obstáculos en las áreas primaria y secundaria.



Área de tolerancia del punto de referencia

Los factores de tolerancia a considerar son: la precisión del equipo en tierra, el receptor de a bordo, tolerancia técnica del vuelo (pilotaje) y distancia con respecto a la estación.

Se asignan los siguientes valores de precisión:

**Precisión de la estación que proporciona la derrota.**

VOR  $\pm 5.2^\circ$  (Se considera una tolerancia técnica de vuelo de  $- \pm 2.5^\circ$ )

LOC  $\pm 2.4^\circ$  (Tolerancia técnica de vuelo  $\pm 2^\circ$ )

NDB  $\pm 6.9^\circ$  (Se considera una tolerancia técnica de vuelo de  $\pm 3^\circ$ )

Estos valores de tolerancias resultan de la media geométrica (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) de los errores del sistema.

### Tolerancia de las instalaciones que forman intersecciones

VOR  $\pm$  4.5° ( $\pm$  7.8°\*)

LOC  $\pm$  1.4°

NDB  $\pm$  6.2° ( $\pm$  10.3°\*)

\* Si se utiliza para establecer un punto de referencia de descenso, cuando prevalece un libramiento de obstáculos inferior a 300 m (984 pies).

Otros factores de tolerancia a considerar en la localización de los puntos de referencia son los del:

Radar de vigilancia Precisión cartográfica, resolución en pantalla, técnica del vuelo, técnica del controlador, velocidad de la aeronave.

### Radar de vigilancia del área terminal (TAR)

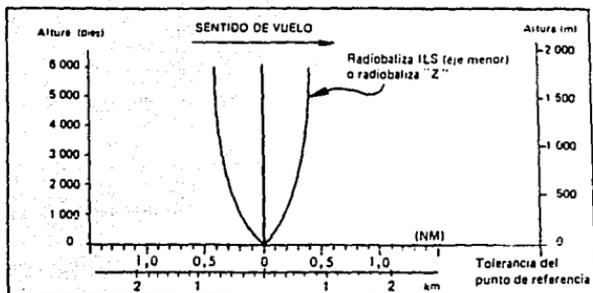
. dentro de 37 km (20 M.N)  $\pm$  1.5 km ( $\pm$  0.8 M.N)

. dentro de 74 km (40 M.N)  $\pm$  3.1 km ( $\pm$  1-7 M.N)

DME  $\pm$  0.9 km ( $\pm$  0.5 M.N) o  $\pm$  3% de la distancia hasta la antena (la que sea mayor)

### Radio balizas marcadoras

Su tolerancia queda descrita por la siguiente gráfica:



*Nota:* - Esta figura se basa en el empleo de antenas de a bordo modernas con un receptor de sensibilidad ajustada a  $\pm 0.1^\circ$  hasta  $1\ 500\ m$  ( $5\ 000$  pies) por encima de la instalación.

Cobertura del ILS  $\sigma$  de la radiobaliza Z

#### Tolerancia del punto de referencia en la vertical de una estación

**VOR** La tolerancia se establece a base de un cono circular cuya generatriz es una línea recta que pasa por la instalación y forma un ángulo de  $50^\circ$  con la vertical.

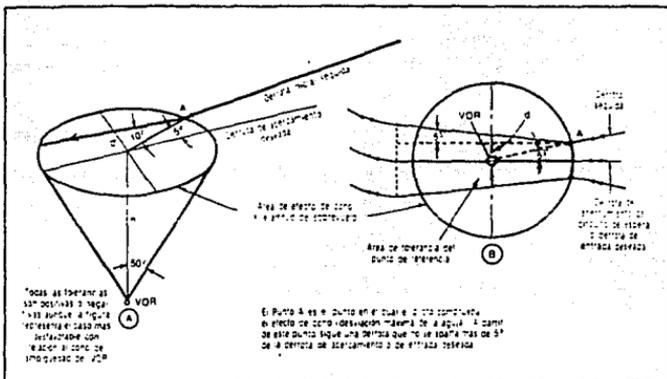
Se supone que la entrada al cono se realiza con una precisión en relación con la derrota prescrita tal que, al cruzar el VOR se mantiene una desviación lateral de:

$$d = 0.2 h \quad (d \text{ y } h \text{ en km}) \quad \text{ó}$$

$$d = 0.033 h \quad (d \text{ en MN, } h \text{ en miles de pies)}$$

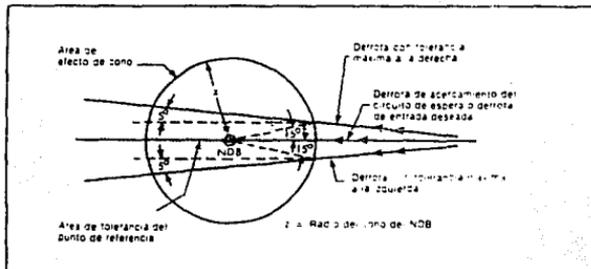
La precisión de entrada es de  $\pm 5^\circ$ , el seguimiento de la radial dentro del cono de confusión se efectúa con una precisión de  $\pm 5^\circ$ . El paso

o recalada sobre la estación se efectúa dentro de los límites del cono de confusión (ambigüedad)



**NDB** La tolerancia se establece a base de un cono circular de confusión, su generatriz forma un ángulo de  $40^\circ$  con la vertical que pasa por la estación.

Se supone que la precisión de entrada en el cono es de  $\pm 15^\circ$  con -- relación a la derrota descrita, y a través del cono la derrota se -- mantiene con una precisión de  $\pm 5^\circ$

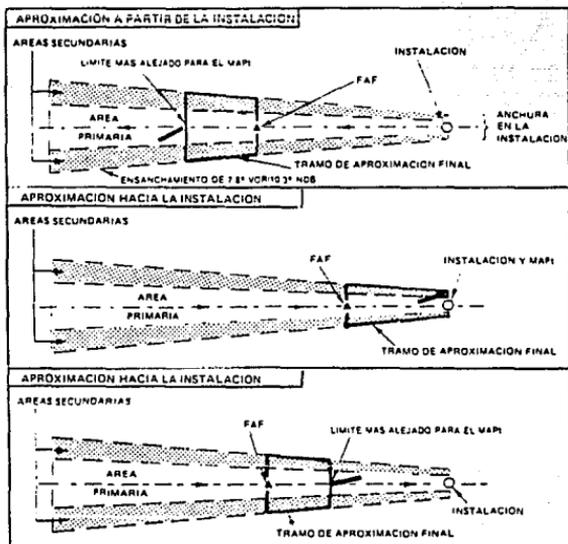


Área del punto de referencia de NDB

### 3.3.- Ensanchamiento del área de aproximación.

Las tolerancias descritas con anterioridad se utilizan para reducir y para ampliar las áreas de aproximación por instrumentos a medida que la aeronave vuela hacia la estación y a partir de la misma.

El área tiene un ancho de 3.7 Km (2 M.N) para el VOR y 4.6 km (2.5 M.N) - para NDB. Ver las figuras



### 3.4 Pendiente de descenso

Se debe dejar espacio suficiente desde el punto donde se alcance la MDA/MDH hasta el umbral de la pista para que la aeronave descienda con una pendiente óptima de 5% (aprox. 300 pies por milla náutica) lo que equivale a un ángulo de  $3^\circ$  en la trayectoria de planeo. En casos especiales el máximo admisible es una pendiente de 6.5% (400 pies/MN) lo que equivale a un ángulo de  $3.8^\circ$  de pendiente de planeo, ésta no es recomendable pues su cumplimiento incrementa la velocidad vertical recomendada de muchas aeronaves, por ejemplo a 150 nudos (280 km/h) se tiene un régimen de 1000 pies por minuto.

La pendiente óptima en el caso de aproximaciones de precisión es de  $3^\circ$

### 3.5.- Tramos de aproximación

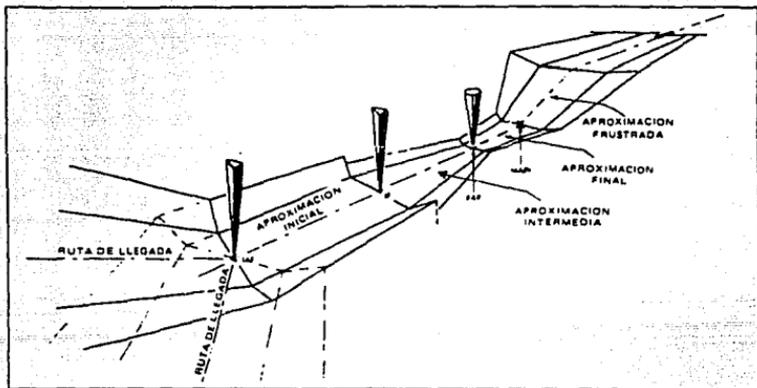
Como se describió al principio de esta sección, los procedimientos de aproximación pueden tener 5 tramos separados. Estos tramos son el de llegada, inicial, intermedio, final y de aproximación fallida.

La sección vertical de estos tramos se divide en áreas primarias y secundaria como se describió con anterioridad.

Es posible que de ser necesario y con el propósito de obtener ventajas -- operacionales, se publiquen rutas de llegada hasta un punto de referencia o a la facilidad que se utilice para balizar el procedimiento.

El radar es un complemento adecuado a las rutas de llegada publicadas.

Cuando se utiliza el radar terminal la aeronave se dirige hasta un punto de referencia a la trayectoria de aproximación intermedia o final desde donde el piloto puede continuar el descenso consultando la carta de aproximación por instrumentos correspondiente.



Tramos de aproximación por instrumentos

### Tramo de aproximación inicial

Este segmento comienza en el punto de referencia o fijo de aproximación - inicial (IAF) y termina en el punto de referencia o fijo de aproximación - intermedia (IF).

La aeronave penetra en este tramo tras abandonar la estructura del vuelo - en ruta y maniobra con una velocidad y configuración que dependerán de su distancia al aeródromo y del descenso requerido.

Se proporciona en este tramo un libramiento de obstáculos de 300 m (984 - pies) en el área primaria.

Normalmente se proporciona gufa de derrota a lo largo de el tramo de apro - ximación inicial y ésta tendrá un ángulo de intercepción máximo con la -- trayectoria final de 90° si la aproximación es de precisión y de 120° si - es de no - precisión.

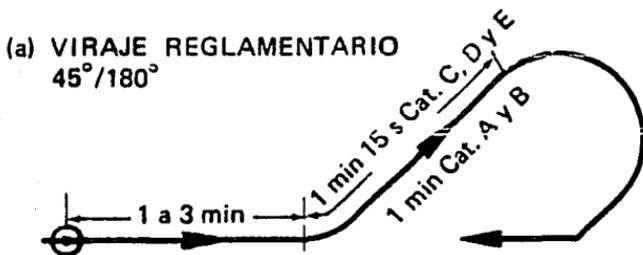
### Típos de maniobra

1.- **Procedimientos de inversión.** Este puede adoptar la forma de viraje reglamentario (de procedimiento) o de un viraje de base (gota). Estos -- procedimientos tienen el propósito de que la aeronave vuele sobre la es- tación, se aleje en una derrota específica descendiendo y vire después a interceptar la trayectoria final, se diseña cuando la disponibilidad de - espacio aéreo impide el diseño de una aproximación directa.

Existen tres maniobras de inversión:

- a) **Viraje reglamentario (de procedimiento) 45°/180°.**- Consiste en el - vuelo por la trayectoria de alejamiento a partir de la radioayuda o del punto de referencia durante un determinado tiempo el cual - depende de la velocidad de la aeronave (para mantenerse dentro del

área de protección del procedimiento) , después se realiza un viraje de  $45^\circ$  desde la derrota de alejamiento, se vuela un minuto - - ese rumbo (aeronaves categoría A y B, 1 minuto 15 segundos (aeronaves CAT C, D, E)) y posteriormente un viraje de  $180^\circ$  para reinterceptar la derrota de acercamiento.



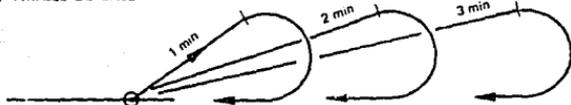
- b) Viraje reglamentario (de procedimiento)  $80^\circ/260^\circ$ .- Consiste en el vuelo cronometrado a partir de la estación o punto de referencia, luego un viraje de  $80^\circ$  desde la derrota de alejamiento continuado en sentido inverso virando  $260^\circ$  a reinceptar la trayectoria de aproximación.



- c) **Viraje de base (gota).**- Consiste en el vuelo cronometrado o hasta una distancia DME de una facilidad de una trayectoria de alejamiento, seguida de un viraje para interceptar la derrota de acercamiento.

La trayectoria de alejamiento así como el tiempo o distancia de alejamiento pueden ser diferentes para las distintas categorías de aeronaves en cuyo caso se publicarán procedimientos separados.

(c) VIRAJES DE BASE

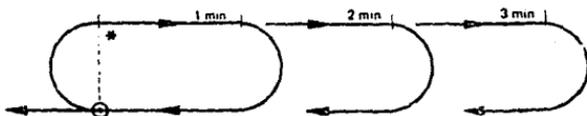


2.- **Procedimiento de hipódromo.**- Consiste en un viraje de  $180^\circ$  a partir de la derrota de acercamiento y sobre un punto de referencia establecido y volando este rumbo durante uno, dos o tres minutos y a continuación otro viraje de  $180^\circ$  hasta reinterceptar la trayectoria de aproximación. El punto de referencia en donde se inicia el viraje puede ser una distancia DME o una intersección de radiales o rumbos (QDM) hacia un NDB.

Este procedimiento se utiliza cuando las aeronaves llegan por encima del punto de referencia desde varias direcciones por lo que se espera que la aeronave inicie el procedimiento de manera análoga a lo indicado para establecer en patrones de espera (mismos que trataremos más adelante), con las condiciones siguientes:

- a) Si se realiza una entrada de gota (desplazada) el tiempo en el rumbo de  $30^\circ$  a partir de la derrota se limita a 1.5 min. después se espera que el piloto vuele paralelo a la derrota de alejamiento.
- b) Si la entrada es en paralelo no se regresará hacia la estación -- sin interceptar previamente la derrota de acercamiento si se trata del tramo final de la aproximación.
- c) Todas las maniobras se realizarán, dentro de lo posible del lado de protección del procedimiento.

PROCEDIMIENTO EN CIRCUITO DE HIPODROMO I

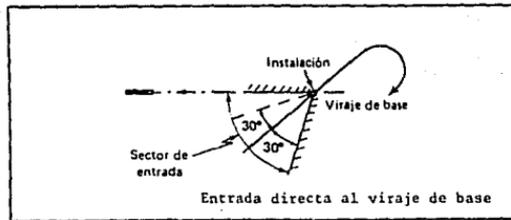
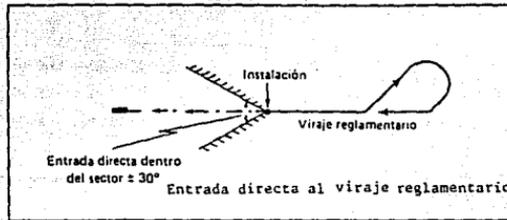


Procedimiento de vuelo de hipódromo y de inversión

Entrada.- A menos de que se tenga una restricción especial, la entrada a un procedimiento de inversión se realizará virando  $\pm 30^\circ$  a partir de la derrota de alejamiento del procedimiento.

Para los virajes de base (gota) el sector de entrada se amplía para incluir la derrota de acercamiento.

La entrada a los procedimientos se efectúa análogamente a la entrada a un patrón de espera.



**Velocidad.-** Se pueden fijar de acuerdo a necesidades de CTA adicionalmente a las de las categorías de los aviones.

**Angulo de inclinación lateral.-** Los procedimientos se diseñan para un ángulo medio de inclinación lateral (banqueo) de  $25^\circ$  o aquel que dé una velocidad de viraje de  $3^\circ$  por segundo, la que sea menor.

**Descenso.-** La aeronave cruza el punto de referencia a la estación para alejarse establecida en la trayectoria descendiendo hasta la altura/altitud mínima de descenso. El descenso no comenzará hasta que el avión esté establecido en la trayectoria de aproximación.

**Cronometraje de alejamiento (procedimiento de hipódromo)-** Se inicia a -

partir de que el avión pasa a través de la estación o cuando se establece en el rumbo de alejamiento, en el caso de que no se cuente con una factibilidad o si éste es posterior al primero.

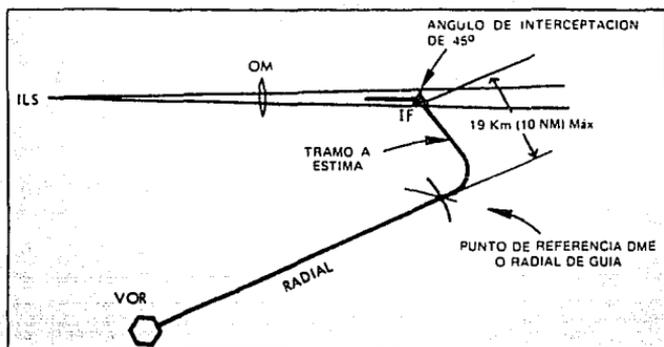
La aeronave vira al curso de entrada al término del tiempo indicado para el viraje (considerando el efecto del viento) o al encontrar la marcación DME o radial/marcación que especifique la distancia límite.

**Velocidades verticales de descenso.-** Se debe considerar que la velocidad vertical requerida no ha de exceder la necesaria para ajustarse al descenso máximo especificado para estos procedimientos.

Descenso máximo que ha de especificarse  
en un procedimiento de inversión o de hipódromo

DERROTA	DERROTA DE ALEJAMIENTO		DERROTA DE ACERCAMIENTO	
	CAT A/B	CAT C/D/E	CAT A/B	CAT C/D/E
Descenso máximo para un tiempo nominal de alejamiento de 1 minuto (m (pies))	245 m (804 pies)	365 m (1 197 pies)	150 m (492 pies)	230 m (755 pies)

**Tramo de navegación a estima.-** En los casos en los que se pueda lograr alguna ventaja operacional, el procedimiento ILS puede contener un segmento que no esté apoyado en ninguna radioayuda, este tramo comienza -- desde un punto de referencia hasta el localizador y tendrá una longitud máxima de 19 km (10 M.N). La derrota de navegación a estima debe interceptar el localizador a 45°.



Tramo de navegación a estima

#### Tramo de aproximación intermedia

En este segmento se deben ajustar la velocidad y la configuración de la aeronave con el fin de prepararla para la aproximación final, por esta razón, la pendiente de descenso se mantiene lo menos pronunciada posible. En este tramo el margen de franqueamiento de obstáculos es de 150 m -- (492 pies) en el área primaria y cero en el borde exterior del área secundaria.

El tramo de aproximación intermedia comienza cuando la aeronave intercepta la derrota de acercamiento.

#### Tramo de aproximación final

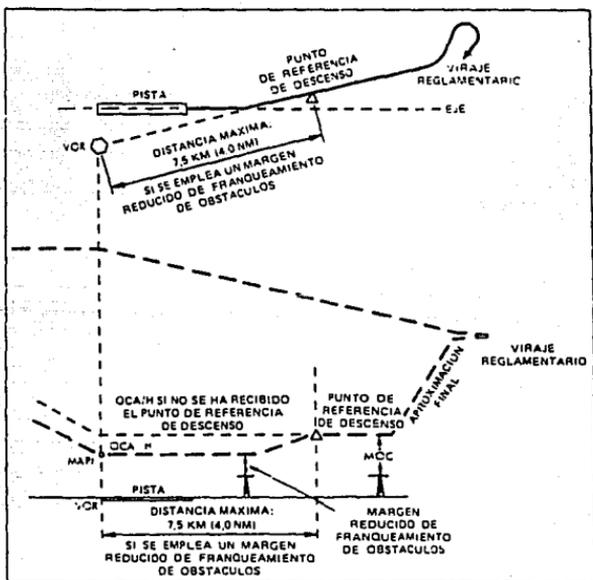
En este segmento se llevan a cabo la alineación y el descenso para el -- aterrizaje. La aproximación final puede efectuarse en dirección a una -- pista para un aterrizaje directo o hacia un aeródromo para una maniobra-visual.

### Aproximación de no precisión con fijo de aproximación final (FAF)

Este segmento comienza en el punto de referencia de aproximación final - (FAF) emplazado a una distancia óptima de 9 km (5 M.N) y máxima de 19 km (10 M.N) a partir del umbral de la pista.

A partir de este punto, la aeronave desciende hasta alcanzar la MDA/H,- el tramo termina en el punto de aproximación fallida (MAPt).

En algunos casos se puede incluir un punto de referencia de descenso en cuyo caso se publican dos valores OCA/H: uno para el procedimiento primario y otro para el caso en que no se reciba el punto de referencia de descenso. (ver la figura)



Punto de referencia de descenso

#### **Aproximación de no precisión sin Fijo de aproximación final (FAF)**

Si no se cuenta con alguna instalación con la cual señalar el punto de - referencia de aproximación final se puede diseñar un procedimiento en el que la radioayuda funcione como IAF y MAPt.

En estos procedimientos se publica una altitud/altura mínima para los -- virajes de inversión y una OCA/H para la aproximación final.

Al no contar con el FAF, el descenso hasta la MDA/H se efectúa cuando la aeronave intercepta la derrota de acercamiento final.

#### **Aproximación de precisión - ILS**

En este caso, el tramo de aproximación comienza en el punto de aproxima- ción final (FAP) el cual es un punto situado en la prolongación del eje- de la pista y a una altitud/altura en donde el avión intercepta la pen- diente de planeo, esta intercepción se produce a alturas que van desde - 300 m (984 pies) hasta 900 m (2955 pies) por encima de la elevación de - la pista. Para pendientes de planeo de 3°, la intercepción ocurre entre 6 y 19 km (3 y 10 MN) a partir del umbral.

El ancho del área de aproximación final ILS es mucho mas estrecha que -- la de las aproximaciones de no precisión, el descenso en la trayectoria- de planeo no se debe efectuar a menos que el avión se encuentre dentro - de la tolerancia de seguimiento del localizador.

Para las superficies de franqueamiento de obstáculos se supone que el - piloto no se desvía del localizador (más que la mitad de la deflexión de- la escala) una vez establecida ya que una desviación podría hacer que el avión se situara próximo a los bordes del espacio aereo protegido.

El marcador exterior se utiliza normalmente con el propósito de propor-- cionar un punto de referencia en el que se compruebe la relación entre --

la trayectoria de planeo y el altímetro. El descenso por debajo de la altitud/altura de cruce del punto de referencia no se efectuará hasta cruzar dicho punto.

En el caso de pérdida de la señal de la trayectoria de planeo, el procedimiento se transforma en una aproximación de no-precisión.

El cálculo de la altura de decisión (DA) o de la altitud de decisión (DH) toma en cuenta los valores de la OCA/H calculada en base del obstáculo más alto en la aproximación o del obstáculo equivalente en la aproximación fallida más una tolerancia aplicable a la categoría de la aeronave según se indica en la siguiente tabla, la cual tiene en cuenta el tipo de altímetro utilizado y la pérdida de altura debida a las características de la aeronave.

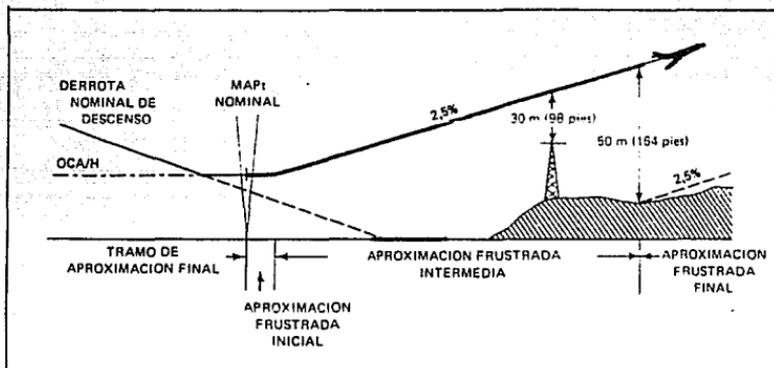
Margen de pérdida de altura/error de altímetro

CATEGORIA DE AERONAVE (Vat)	MARGEN UTILIZANDO RADIOALTIMETRO		MARGEN UTILIZANDO BAROALTIMETRO	
	METROS	PIES	METROS	PIES
A 169 km/h (90 kt)	13	42	40	130
B 223 km/h (120 kt)	18	59	43	142
C 260 km/h (140 kt)	22	71	46	150
D 306 km/h (165 kt)	26	85	49	161

### Aproximación Fallida

Este segmento inicia en el punto en que el piloto decide que no es posible aterrizar, por lo tanto el avión se debe volver a elevar.

El tramo de aproximación fallida consta de tres fases: inicial, intermedia y final.



El punto de aproximación fallida (MAPt) en un procedimiento puede ser:

- El punto de intersección de la trayectoria de planeo electrónica con la DA/H aplicable
- Una radioayuda
- Un punto de referencia
- Una distancia especificada a partir del FAF.

Si al llegar al MAPt no se establece referencia visual con la pista se debe iniciar inmediatamente la aproximación fallida para garantizar el libramiento de obstáculos. En el caso de decidir no continuar con el descenso antes de llegar al punto de aproximación fallida, se debe - - -

continuar en la trayectoria hasta este punto a partir del cual se realiza el procedimiento especificado, esto no implica que no se pueda volar sobre un MAPt a una altitud/altura mayor que la requerida por el procedimiento.

La pendiente nominal de ascenso de la aproximación fallida es normalmente de 2.5% aunque ésta puede ser diferente si se pretende obtener con esto alguna ventaja operacional, en este caso, se publicará la OCA/H aplicable a la pendiente nominal.

La pendiente de 2.5% es difícil de cumplir por algunos aviones operando con peso máximo certificado y con un motor fuera de servicio por lo que es necesario diseñar un procedimiento especial de aproximación frustrada para estos aviones.

Como se mencionó el tramo de aproximación fallida consta de tres fases:

**Fase inicial.**- Comienza en el MAPt y termina en el punto en el que se establece el ascenso. Debido a la complicación de la maniobra no se realizan virajes en este tramo.

**Fase intermedia.**- Se continúa el ascenso hasta que se logra un franqueamiento de 50 m (164 pies) sobre obstáculos. La derrota de esta fase puede tener una variación máxima de 15° a partir de la fase inicial.

**Fase final.**- Comienza cuando se ha logrado un franqueamiento de obstáculos de 50 m (164 pies), extendiéndose hasta el lugar en donde se inicia una nueva aproximación, un patrón de espera o una reincorporación al vuelo en ruta. En este tramo se pueden diseñar virajes.

### Aproximación fallida con viraje

Solo se diseña este procedimiento cuando por condiciones topográficas no es posible continuar el ascenso en una trayectoria que difiera más de 15° de la derrota de acercamiento.

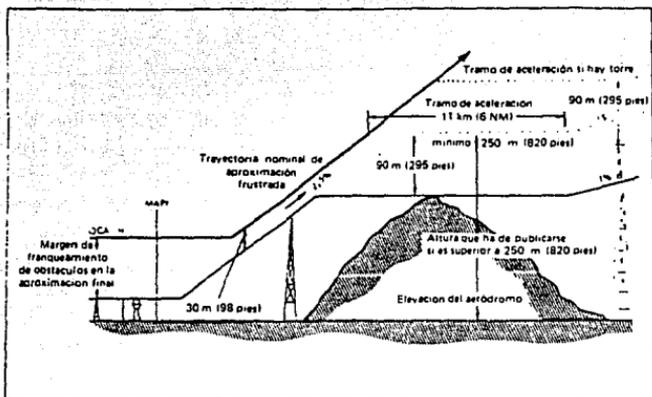
En este caso es necesario construir un área especial de protección de la aproximación fallida con viraje indicándose un punto de viraje (TP) sobre una instalación o punto de referencia o a una altitud designada.

Las dimensiones del área de aproximación fallida con viraje dependen de los factores siguientes:

- a) Ancho del área de aproximación fallida en el (TP)
- b) Velocidad del avión
- c) Grados de modificación de la derrota
- d) Viento
- e) Tiempo para establecer el viraje

Se considera en el diseño factores como el ángulo de inclinación lateral (15° promedio), Velocidad (cada categoría), Viento (Omnidireccional de 56 km/h (30 nudos)) tiempo de reacción del piloto (0 a 3 seg.).

Es necesario prever un tramo horizontal de aceleración de 11 km (6 M.N) para atender las necesidades de acelerar en vuelo horizontal de algunos tipos de aviones, la altura de este tramo dependerá de los obstáculos -- dentro del área, normalmente es de 250 m (820 pies, en caso contrario se especifica). Después se fija un segmento de pendiente igual a 1% hasta ajustarse a los requisitos de franqueamiento de obstáculos del patrón -- de espera o del vuelo en ruta. Estos dos tramos garantizarán el libramiento de obstáculos con un margen mínimo de 90 m (295 pies) en el área primaria.



Margen de franqueamiento de obstáculos en los tramos de aceleración y ascenso, con pendiente del 1%, de la fase final de aproximación frustrada

#### 4.- Maniobras visuales (Aproximación circulando)

La aproximación circulando se realiza en condiciones visuales y tras descender en un procedimiento de aproximación por instrumentos, con el propósito de alinear al avión con una pista que no se encuentra convenientemente situada para la aproximación directa.

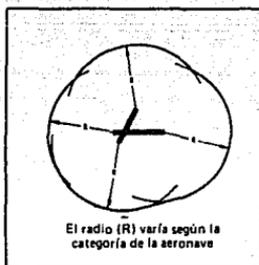
El área de maniobra para la aproximación circulando se determina trazando arcos cuyo centro se encuentra en el umbral de cada pista y que varía de acuerdo a la categoría de la aeronave y la altitud del aeropuerto, uniendo después estos arcos con líneas tangentes.

Se considera una velocidad del viento de 46 km/h (25 nudos) y un ángulo de inclinación lateral de 20° como promedio.

Para un aeropuerto situado a 2000 pies (MSL) se fijan los siguientes valores para el área de aproximación circulando.

Ejemplo para determinar los radios para el área de maniobra de aproximación visual (en circuito) para un aeródromo situado a 600 m MSL (unidades SI)

Categoría de aeronaves/ IAS ( km/h)	A/185	B/250	C/335	D/380	E/445
TAS a 600 m MSL + 46 km/h Factor viento ( km/h )	241	310	400	448	516
Radio de viraje r (km)	1,28	2,08	3,46	4,34	5,76
Tramo directo ( km )	0,56	0,74	0,93	1,11	1,30
Radio (R̄) a partir del umbral ( km )	3,12	4,90	7,85	9,79	12,82



Área de maniobra de aproximación visual (en circuito)

Ejemplo para determinar los radios para el área de maniobra de aproximación visual (en circuito) para un aeródromo situado a 2 000 pies MSL (unidades ajenas al SI)

Categoría de aeronave/IAS (nudos)	A/100	B/135	C/180	C/205	E/240
TAS a 2 000 pies MSL + 25 nudos factor viento (nudos)	131	168	215	242	270
Radio (r) de viraje (NM)	0,69	1,13	1,85	2,34	3,12
Tramo recto (NM) (valor constante)	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
Radio (R̄) desde el umbral (NM)	1,68	2,66	4,20	5,28	5,94

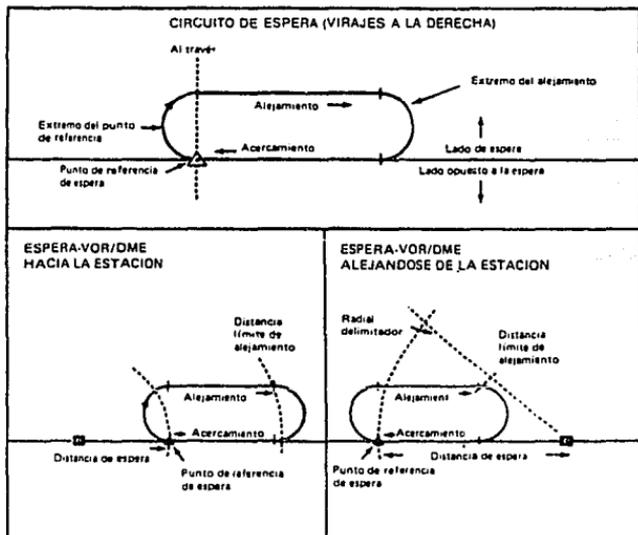
NOTA: Radio desde el umbral (R̄) = 2r + tramo recto.

## 5.- Procedimiento de espera

Se establecen patrones o procedimientos de espera cuando por condiciones de CTA sea necesario demorar la aproximación de las aeronaves así también cuando sea necesario consumir combustible antes de regresar a aterrizar.

Estos procedimientos son circuitos cerrados establecidos sobre una radioayuda o un punto de referencia como el cruce de un radial VOR o una marcación DME o NDB y cuya longitud es medida cronometrando el tiempo de - - alojamiento.

La forma y nomenclatura relacionadas con los circuitos de espera se ilustran a continuación:



Es posible que este procedimiento quede restringido debido a la presencia de algún obstáculo, en cuyo caso se prohibirá el vuelo en el sector de éste.

Para cada categoría de aeronaves se fija la OCA/H del procedimiento de aproximación circulando.

OCA/H para las maniobras de aproximación visual (en circuito)

Categoría de aeronave	Margen de franqueamiento de obstáculos m (pies)	OCH mínima sobre la elevación del aeródromo m (pies)	Visibilidad mínima km (NM)
A	90 (295)	120 (394)	1,9 (1,0)
B	90 (295)	150 (492)	2,8 (1,5)
C	120 (394)	180 (591)	3,7 (2,0)
D	120 (394)	210 (689)	4,6 (2,5)
E	150 (492)	240 (787)	6,5 (3,5)

**Aproximación fallida**

En caso de perder referencia visual con la pista se debe proseguir a interceptar la derrota de la aproximación frustrada del procedimiento para continuar el ascenso.

En los circuitos de espera se volará a velocidades indicadas que sean -- iguales o inferiores a las de la siguiente tabla:

Velocidades de espera

Niveles (1)	Condiciones normales	Condiciones de turbulencia
hasta 4 250 m (14 000 pies) inclusive	425 km/h (230 nudos) (2) 315 km/h (170 nudos) (4)	520 km/h (280 nudos) (3) 315 km/h (170 nudos) (2)
más de 4 250 m (14 000 pies) a 6 100 m (20 000 pies) inclusive	445 km/h (240 nudos) (5)	520 km/h (280 nudos) o 0,8 Mach, de ambos valores el menor (3)
más de 6 100 m (20 000 pies) a 10 350 m (34 000 pies) inclusive	490 km/h (265 nudos) (5)	
más de 10 350 m (34 000 pies)	0,83 Mach	0,83 Mach

- 1) Los niveles indicados representan altitudes o los correspondientes niveles de vuelo, según el reglaje de altímetro utilizado.
- 2) Cuando al procedimiento de espera siga el tramo inicial de un procedimiento de aproximación por instrumentos promulgado a una velocidad superior a 425 km/h (230 nudos), la espera debe también promulgarse a esta velocidad superior siempre que sea posible.
- 3) La velocidad de 520 km/h (280 nudos) (0,8 Mach) reservada para los casos de turbulencia, debiera utilizarse para la espera únicamente después de obtener permiso del ATC, a no ser que las publicaciones pertinentes indiquen que el área de espera pueda ser utilizada por aeronaves que vuelen a estas elevadas velocidades de espera.
- 4) Para esperas limitadas únicamente a las aeronaves de las CAT A y B.
- 5) Siempre que sea posible debe utilizarse la velocidad de 520 km/h (280 nudos) para procedimientos de espera relacionados con estructuras de aerovías.

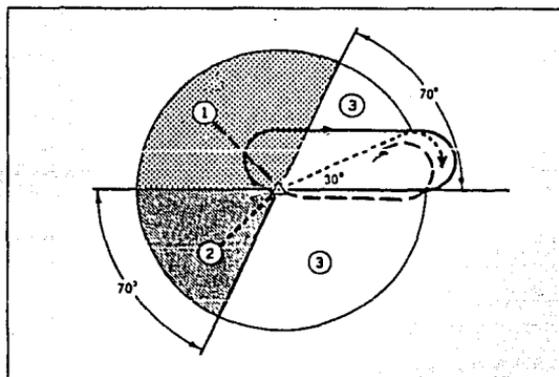
Los procedimientos se establecen en derrotas específicas las cuales han - de seguirse teniendo en cuenta la dirección del viento aplicando las de-- bidas correcciones.

El tiempo de alejamiento se inicia a contar al pasar al través del punto de referencia o al establecerse en el rumbo de alejamiento, lo que ocurra después y será de minuto si se está a 4250 m (14,000 pies) o abajo y de minuto y medio si se está arriba de 4250 m (14,000 pies). Si el procedimiento está establecido con un DME, el viraje se inicia en la marcación de alejamiento correspondiente.

#### Entrada al patrón de espera

Se efectuará según el rumbo con relación a tres sectores de entrada permitiéndose una flexibilidad de  $5^\circ$  a cada lado de los límites de sector.

Se describen los procedimientos de entrada para un circuito con viraje a la derecha, los procedimientos con virajes a la izquierda son simétricos a éstos.



Sectores de entrada

**-Entrada por el sector 1 (Entrada paralela)**

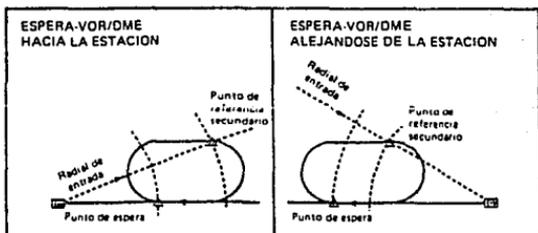
Al pasar por el punto de referencia la aeronave vuela en dirección paralela al rumbo de alejamiento por un minuto o minuto y medio (según su altitud) o hasta una marcación DME y después vira en dirección contraria al sentido del circuito para interceptar la derrota de acercamiento o para volar directo a la estación, al llegar al punto de referencia se vira al rumbo de alejamiento para establecerse en patrón de espera.

**-Entrada por el sector 2 (Acomodamiento de gota ó entrada desplazada)**

Al alcanzar el punto de referencia el avión vira para seguir un rumbo que forma un ángulo de  $30^\circ$  con respecto a la derrota de acercamiento y en sentido contrario a ésta. Se vuela por un minuto o minuto y medio (según la altitud) o hasta una distancia DME límite, luego se vira en el sentido de viraje del circuito para interceptar la trayectoria de acercamiento o para volar directo a la estación y al checar ésta o el punto de referencia se vira nuevamente para establecerse en el tramo de alejamiento.

**-Entrada por el sector 3 (Entrada directa)**

Al llegar al punto de referencia; el avión virará en el sentido del circuito para establecerse en el rumbo de alejamiento.



Entrada a un punto VOR/DME en el tramo de alejamiento, apuntando hacia la posición de espera

Entrada a un punto VOR/DME en el tramo de alejamiento, alejándose de la posición de espera

En los procedimientos de espera VOR/DME se puede señalar una entrada especial en la cual se limita el acomodamiento al sector 3 en donde se tiene un punto de referencia secundario, cuando se llegue a éste se vira para acomodarse en la derrota de entrada.

### Libramiento de obstáculos en el área de espera

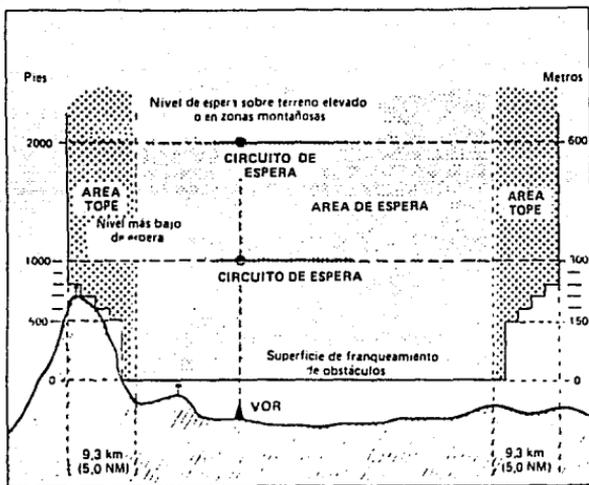
El área de espera comprende el área básica de espera y el área de entrada.

#### Area tope

Es aquella que se extiende 9,3 km (5 M.N) mas allá del límite del área de espera en donde se tendrán en cuenta la altura y naturaleza de los obstáculos para determinar el nivel mínimo de espera utilizable en el circuito.

#### Nivel mínimo de espera

Se basa en un margen vertical no inferior a 300 m (1000 pies) por encima de los obstáculos que existan en el área de espera. Este margen se puede ampliar para considerar los obstáculos en el área tope.



Nivel mínimo de espera, determinado por la superficie de franqueamiento de obstáculos relacionada con el área de espera y el área tope

En terreno montañoso o sobre terreno elevado, se preverá un margen vertical de franqueamiento de obstáculos de hasta 600 m (1969 pies) para tener en cuenta los posibles efectos de turbulencia.

Distancia más allá del límite del área de espera	Margen vertical mínimo de franqueamiento de obstáculos en terreno bajo y llano	
	Metros	Pies
de 0 a 1,9 km (de 0 a 1,0 NM)	300	984
de 1,9 a 3,7 km (de 1,0 a 2,0 NM)	150	492
de 3,7 a 5,6 km (de 2,0 a 3,0 NM)	120	394
de 5,6 a 7,4 km (de 3,0 a 4,0 NM)	90	295
de 7,4 a 9,3 km (de 4,0 a 5,0 NM)	60	197

El Documento 8168 Vol. I también trata los procedimientos especiales de - atenuación del ruido en los cuales se señalan las velocidades que se han de mantener conforme se alcanza una altitud determinada.

Otro capítulo reglamenta el uso del equipo Transponder cuando se opere en una área terminal equipada con radar secundario de vigilancia (SSR).

También se señalan los procedimientos de reglaje altimétrico que se deben observar.

Se menciona que se establece una altitud de transición arriba de la cual la aeronave vuela a lo largo de una superficie de presión atmosférica - - constante, basada en una determinación altimétrica de 1013.2 hpa - - - (1013.2 mb ó 29.92 pulgadas de mercurio) sobre esta altitud las aeronaves volarán a una altitud denominada nivel de vuelo.

Los niveles de vuelo son los tres primeros números de la altitud en la que se vuela; de esta manera un avión nivelado a 25,000 pies estará volando en el nivel 250.

Cuando el cambio de referencia se hace de niveles de vuelo a altitudes, se cruza el nivel de transición, si se hace al ascender se cruza la altitud de transición.

El documento contempla especificaciones para la operación de aproximaciones ILS simultáneas en pistas paralelas separadas a una distancia específica así como en pistas convergentes, por simplicidad esto no es tratado en detalle.

### III.3.- Manual de procedimientos terminales (TERPS)

En este manual de procedimientos terminales (Terps) (Documento F.A.A. - No. 8260.3) se establecen los métodos normativos para usarse en el diseño de procedimientos de vuelo por instrumentos, adicionalmente se cuenta con el manual de patrones de espera DOC F.A.A. 7130.3.

Estos dos manuales elaborados por la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos son utilizados, en la República Mexicana por el personal que tiene la responsabilidad de la preparación, aprobación y divulgación de los procedimientos terminales por instrumentos.

Este manual es el antecesor del Documento 8168 de la OACI, por lo tanto son similares.

La clasificación de las aeronaves para el propósito del diseño de los procedimientos es la misma en ambos manuales, es decir en función de la velocidad de aproximación de la aeronave (1.3 veces la velocidad de pérdida de sustentación).

El Documento 8168 se formó basándose en el manual de procedimientos terminales TERPS por lo que son muy parecidos en sus especificaciones, el manual TERPS es utilizado en nuestro país para el diseño de aproximaciones por instrumentos. Se citarán a continuación las diferencias principales entre un documento y otro.

### Procedimiento de salida

Se diseñan rutas de salida en ruta y salida normal por instrumentos (SID), se utilizan superficies de identificación de obstáculos de 40:1.

Un gradiente de ascenso de 200 pies por M.N proporcionará por lo menos - 48 pies por M.N de protección sobre obstáculos. Si hay obstáculos que penetren dichas superficies se especificará un curso de vuelo que los evite o un gradiente superior a los 200 pies por M.N.

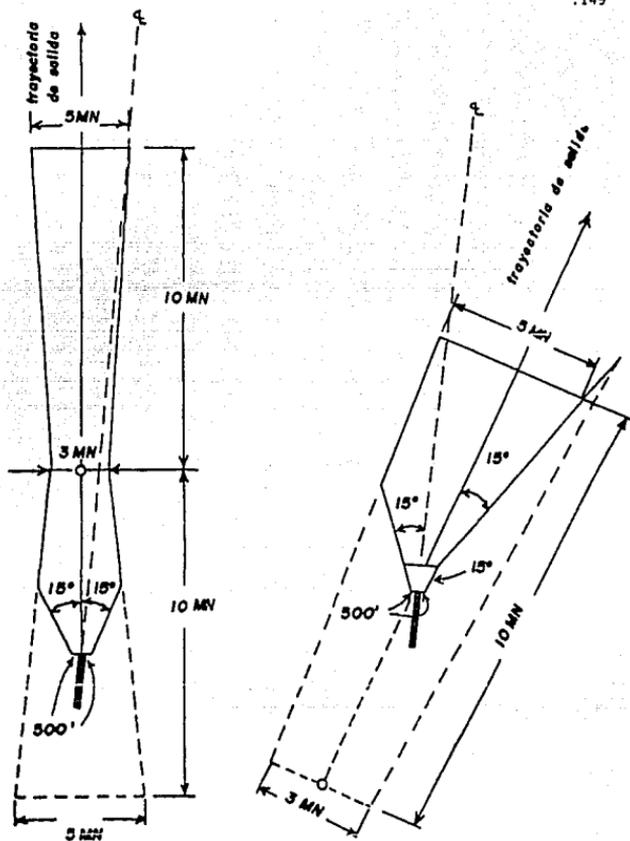
Esta especificación difiere del Documento 8168 únicamente en el manejo de gradientes en vez de pendientes ascensionales.

Las rutas de salida consideradas son las mismas: salida recta, salida con viraje, y salida recta con viraje.

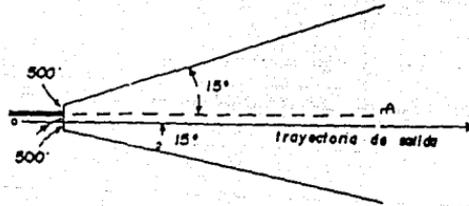
El diseño de las áreas de protección (primaria y secundaria) se realiza considerando la posición de la radioayuda, esta diferencia es la principal entre un manual y otro.

Así mismo se especifican algunas consideraciones si la guía positiva de curso (derrota) es proporcionada por un localizador, la radial de un VOR o una marcación NDB.

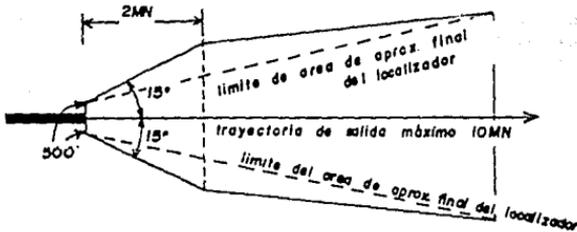
Se ilustran a continuación las áreas de protección publicadas en el manual TERPS.



*Salida recta con guía de rumbo por una radioayuda dentro del aeropuerto*



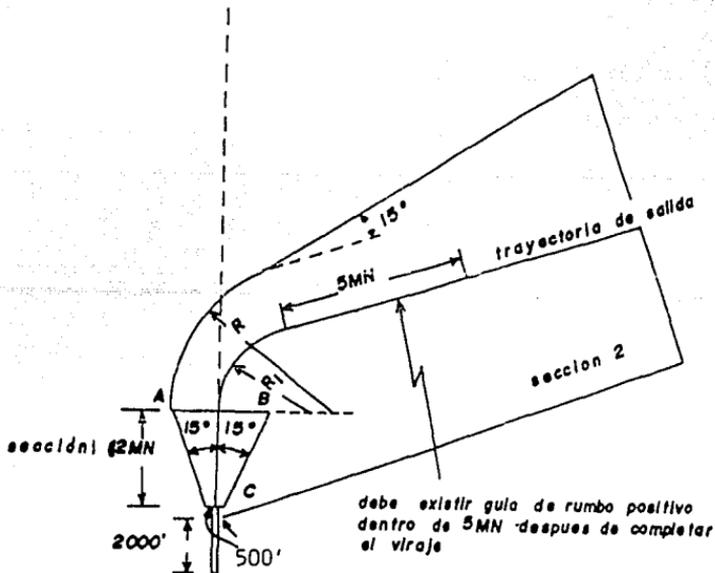
*Salida recta con trayectoria desviada*



*Area de salida cuando se usa un localizador para guía de rumbo positivo*

En las salidas con viraje se considera un tramo recto de 3 M.N y  $15^\circ$  de divergencia a cada lado de la prolongación del eje de la pista, se define que en esta salida la aeronave sube directamente sobre el rumbo de la pista hasta 400 pies sobre la elevación del aeropuerto (dentro de 2 M.N) e inmediatamente comienza un viraje para interceptar un curso de salida.

Se definen radios de este viraje en función de la categoría del avión y la altitud a la que se efectuará el viraje.

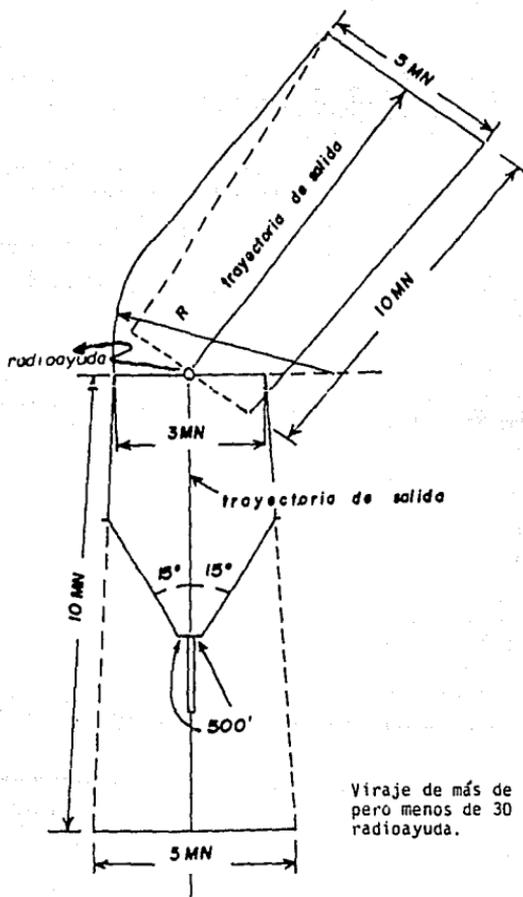


RADIOS DE VIRAJE PARA SALIDAS

<u>ALTITUD DEL VIRAJE</u>	<u>RADIOS DE LA TRAYECTORIA DE VUELO-MN (R-1)</u>		<u>RADIOS DEL LIMITE EX- TERIOR, MN (R).</u>	
	<u>CAT. A y B</u>	<u>Otras</u>	<u>Cat. A y B</u>	<u>Otras</u>
SL a 1000' MSL	1.0	2.5	2.0	5.5
1001' a 3500' MSL	1.2	2.7	2.4	5.9
3501' a 6000' MSL	1.3	2.9	2.6	6.3
6001' a 8500' MSL	1.4	3.1	2.8	6.7
Sobre 8500' MSL	1.6	3.4	3.2	7.3

La salida recta con viraje coincide en especificaciones de PANS-OPS.

Se señalan además las áreas de diseño cuando el viraje a efectuar es para interceptar una radial o una marcación y cuando este viraje se realiza sobre una radioayuda localizada fuera del aeropuerto, se proporcionan -- las áreas de protección si el viraje es de más de 15° pero menos de 30° -- y cuando éste es mayor de 30°.



Viraje de más de 15 grados - pero menos de 30 sobre la -- radioayuda.

### Procedimientos de aproximación

Se consideran también los segmentos de llegada (rutas de alimentación), aproximación inicial, intermedia, final y fallida; cada uno de estos tramos está comprendido entre puntos de referencia o fijos como se llaman en este manual TERPS. Básicamente el diseño de estos tramos es el mismo que especifica el Doc. 8168 excepto en que TERPS incluye los procedimientos de aproximación en arco, manteniendo una distancia constante a partir de una estación VOR/DME como se verá un poco más adelante.

Los procedimientos de aproximación incluyen los virajes anteriormente -- descritos: procedimiento (45/180°) y gota además del descenso en patrón de espera. El manual TERPS no llama a estos virajes procedimientos de inversión además de que no se considera el procedimiento de hipódromo -- pero propiamente coinciden con lo especificado por OACI, a continuación se citarán las especificaciones significativas del manual TERPS.

#### Aproximación inicial

**Altitud:** No será mayor a la altitud del viraje de procedimiento.

**Alineación:** El ángulo de intersección entre los cursos de aproximación inicial e intermedia no será mayor de 120°, si éste excede los 90° se proporcionará una radial o una marcación gufa que permita iniciar el viraje por lo menos 2 M.N. antes de interceptar el curso intermedio.

**Arcos:** Esto es importante pues no lo considera OACI como un procedimiento especial.

El arco es un viraje en el cual la aeronave se mantiene a 90° de una estación VOR y manteniendo fija su distancia DME de la misma estación formando un arco de círculo.

El radio mínimo del arco será de 7 millas, se inicia el curso en, 60 segundos antes del fijo intermedio en cuyo caso el ángulo de-

intersección no será mayor de  $120^\circ$ , si es mayor de  $90^\circ$  se - -  
proporcionará una marcación guía.

#### **Area de protección**

No tiene una longitud uniforme, el ancho total será de 6 millas náuticas a cada lado del curso de aproximación inicial, este ancho considera un--  
área primaria de 4 M.N a cada lado y un área secundaria de 2 M.N a cada-  
lado del área primaria.

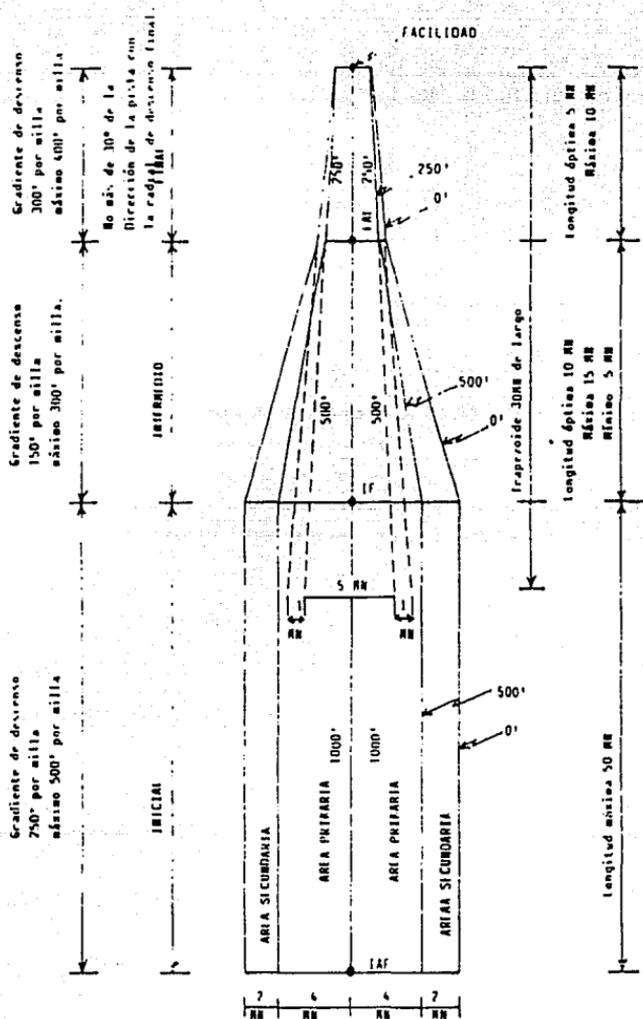
#### **Proección sobre obstáculos**

Será como mínimo de 1000 pies en el área primaria y de 500 pies en la -  
orilla interna del área secundaria disminuyendo hasta cero en la orilla  
externa.

#### **Gradiente de descenso**

El óptimo es de 250 pies por M.N, máximo 500'/M.N.

Ver la siguiente figura:



SEGMENTOS DE UNA APROXIMACION TIPO (NORMAS FAA)

### Tramo de navegación a estima

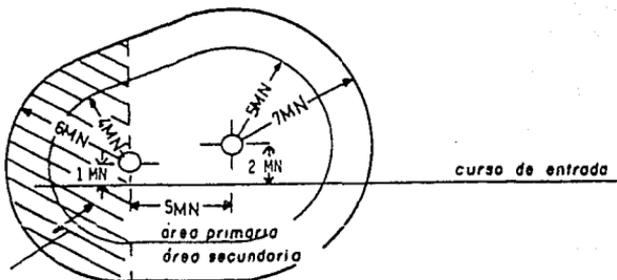
El tramo de llegada (alimentación) puede ser a estima.

En este segmento se vuela por rumbo y sin la guía de alguna radioayuda, su longitud máxima es de 10 M.N y su área de protección cubre 6 M.N a -- cada lado del curso, extendiéndose 15° hacia afuera y a lo largo del --- curso hasta interceptar los límites del segmento de aproximación inicial.

También se proporcionará 1000 pies de protección sobre los obstáculos en esta zona.

### Viraje de procedimiento

Este es el viraje reglamentario 45/180° descrito en el Documento 8168, - puede ser utilizado para realizar el segmento de aproximación inicial. - El área de protección de este viraje se divide en una zona de entrada y una zona de maniobras, se extiende normalmente a 10 M.N o hasta 15 M.N.



zona de entrada

- \* También se puede especificar un viraje de gota (base) en cuyo caso el ángulo de divergencia entre el curso de alejamiento y el de entrada será mínimo de 15° y máximo de 30°.

El gradiente de descenso óptimo es de 250 pies/M.N o de 500 pies/M.N -- como máximo.

#### **Aproximación intermedia**

El área de protección de este segmento no será menor de 5 M.N. ni mayor de 15 en longitud. Su ancho se determinará uniendo el límite de las -- áreas primaria y secundaria de la aproximación inicial con la final.

La protección sobre obstáculos es de 500 pies en el área primaria y de 500 pies disminuyendo hasta cero en el borde exterior en el área secundaria.

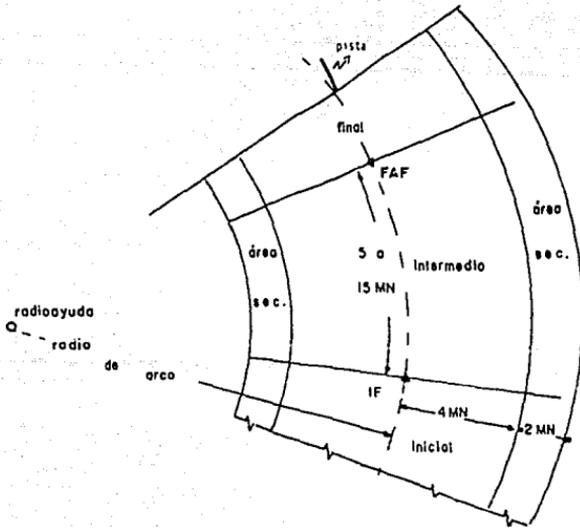
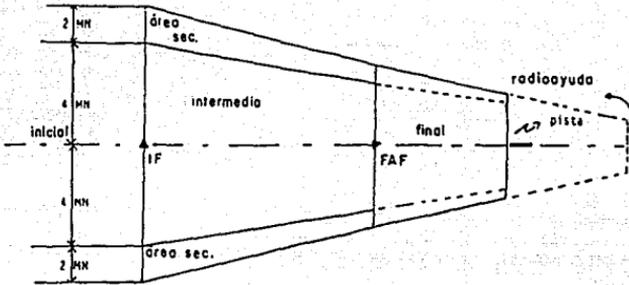
El gradiente de descenso no excederá 150'/M.N aunque se permite un gradiente de 300'/M.N cuando se requiera una pendiente mayor.

#### **Aproximación intermedia apoyada en un arco**

El ancho del área de protección para un procedimiento en arco o de 6 M.N a cada lado del mismo dividiendo en áreas primaria y secundaria según -- los criterios descritos con anterioridad.

Se proporciona igualmente un margen de 500' sobre los obstáculos y se -- fija un gradiente de descenso óptimo de 150'/M.N.

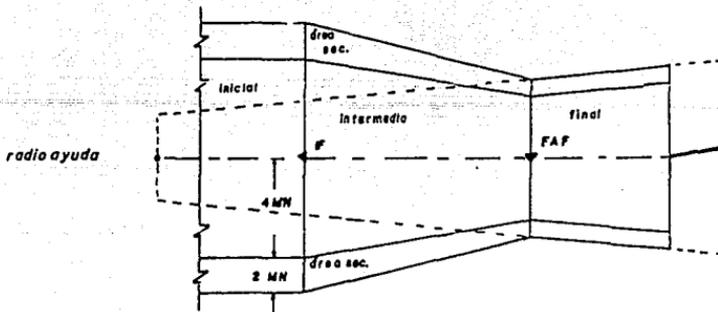
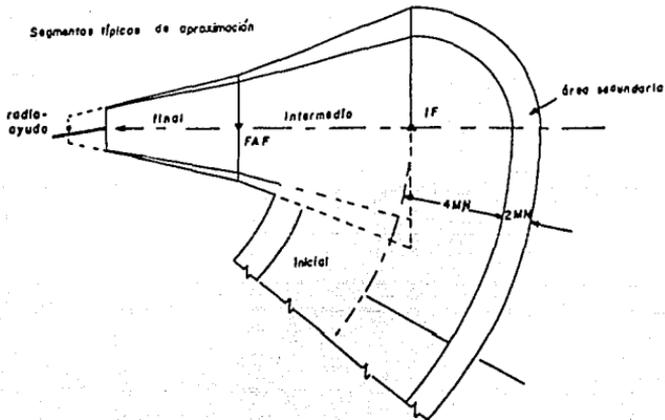
### Segmentos de aproximación fípicos



**LONGITUD MINIMA DEL CURSO INTERMEDIO**

ángulo (grados)	long. mínima (millas)
91 - 96	6
97 - 102	7
103 - 108	8
109 - 114	9
115 - 120	10

Segmentos típicos de aproximación



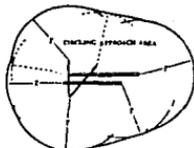
### Segmento de aproximación final

Se incluye la definición del punto de descenso visual (VDP) a partir del cual se realiza visualmente el aterrizaje en las aproximaciones de no-precisión. Este punto se calcula en función del ángulo de descenso especificado por alguna ayuda visual (VASI, PAPI, etc.).

El segmento de aproximación final se diseña en función de la radioayuda utilizada como se especificará adelante.

### Aproximación circular

El área de aproximación circular se determina uniendo círculos cuyos radios se trazan a partir de la cabecera de las pistas y su longitud es la siguiente:



La diferencia con OACI es que únicamente se proporciona un valor de radio (r) constante sin importar la componente del viento.

Categoría de aproximación	Radio (millas)
A	1.3
B	1.3
C	1.3
D	2.3
E	4.3

### Aproximación fallida

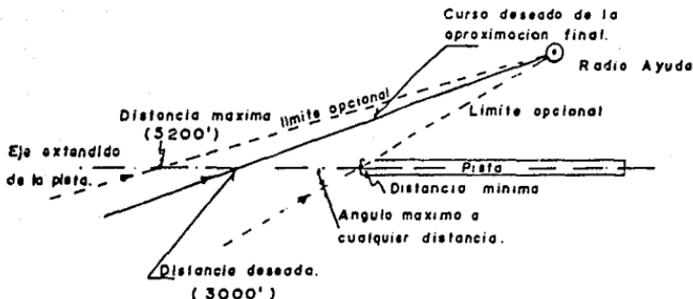
Los criterios para su diseño son los mismos exceptuando las dimensiones de las áreas de protección (ver figuras). Las cuales se incluyen a continuación.

En el diseño de las aproximaciones se considera el tipo de radioayuda utilizada, y su posición con respecto a la pista, de esta manera se tienen los siguientes procedimientos:

- NDB dentro del aeropuerto sin FAF

Este se realiza con un viraje de procedimiento (45°/180°, el tramo de aproximación inicial comienza al checar la estación y al completar el viraje se entra en el tramo final.

Se especifica que el ángulo de convergencia del curso de aproximación final y el eje extendido de la pista no deberá exceder de 30 grados y cruzar el mismo a una distancia no mayor de 3000 pies aunque en algunos casos, si se logran ventajas operacionales se permite que esta distancia sea de hasta 5200' desde la cabecera o en un punto que quede a 500' lateralmente del eje extendido de la pista y a 3000 pies hacia afuera de la cabecera (ver figura)

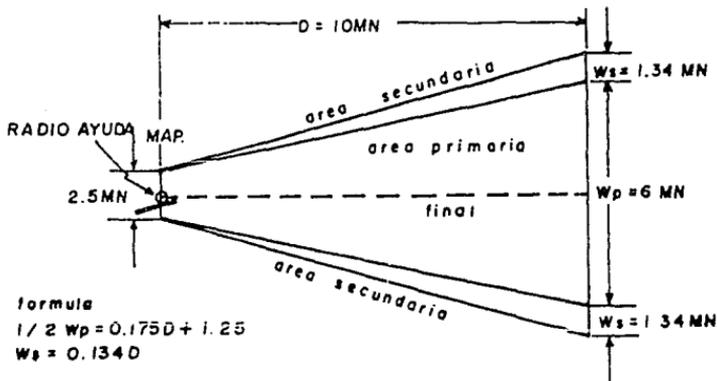


El área de protección primaria está centrada en el curso de aproximación final y tiene 10 millas de longitud, tiene 25 millas de ancho sobre la radioayuda y se expande uniformemente a 6 M.N. a cada lado del área primaria hay un área secundaria cuyo ancho es cero en la radioayuda y se expande a 1.34 M.N. a cada lado del área primaria. Si la longitud excede

de 10 millas se pueden calcular las dimensiones con unas fórmulas (ver - figura).

Se proporciona un margen de protección de 300 pies en el área primaria y 300 pies reduciéndose a cero en el borde exterior del área secundaria.

La altitud del viraje de procedimiento estará dentro de 1500 pies desde la MDA si la distancia entre la radioayuda al punto en el que la trayectoria de aproximación final intercepta el eje de la pista no excede de 2 millas. La MDA se reducirá en 25 pies por cada décimo de milla en - - exceso de estas 2 millas.



Áreas primaria y secundaria de aproximación final.

NDB en el aeropuerto. Sin FAF.

-VOR dentro del aeropuerto, sin FAF

Se aplican los mismos criterios utilizados en el procedimiento NDB a - - excepción que el área primaria tiene un ancho de 2 millas sobre la estación.

También se establece el límite de 1500 pies de altura sobre la MDA del - viraje de procedimiento.

-VOR/DME

En este procedimiento se establece un fijo de aproximación final (FAF).

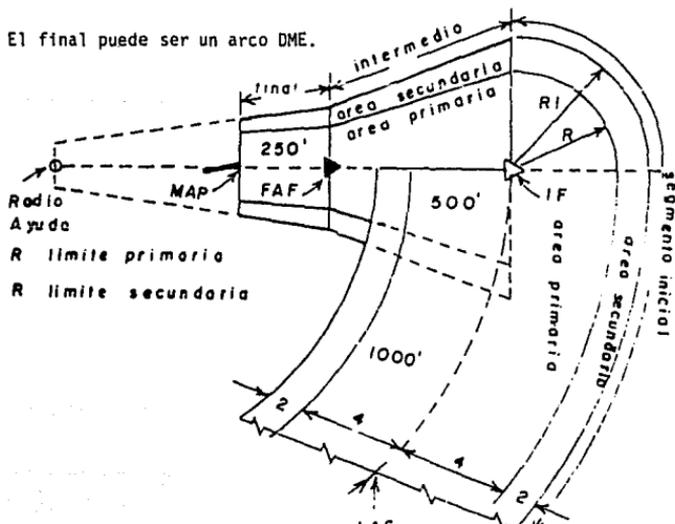
Si la radioayuda está fuera del aeropuerto el ángulo de convergencia del curso de aproximación final y el eje extendido de la pista no excederá de 30 grados. El punto de intercepción del curso de aproximación y el eje de la pista se deberá fijar sobre el umbral, sin embargo, si se puede lograr alguna ventaja operacional, se podrá establecer hasta 3000 -- pies medidos hacia afuera del umbral de la pista (5200' máx.).

La protección sobre obstáculos es de 250 pies en el área primaria y de 250 pies disminuyendo a cero en el borde exterior del área secundaria.

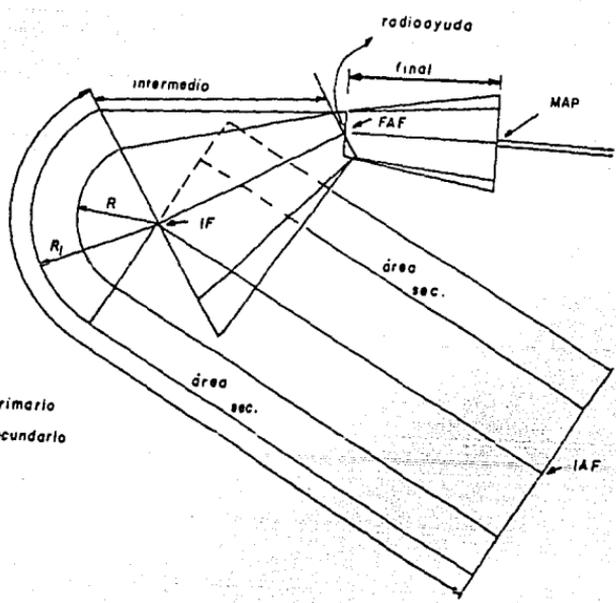
El gradiente óptimo de descenso en el tramo de aproximación final es de 300'/M.N, el máximo permisible es de 400'/M.N.

Se pueden diseñar aproximaciones directas para aeropuertos que se encuentren a un máximo de 30 millas de la radioayuda.

El final puede ser un arco DME.



Segmento típico de aproximación



$R$  Límite primario  
 $R_1$  Límite secundario

### Sistema de aterrizaje por Instrumentos (ILS)

El área de protección se extiende en una longitud de 50,000 pies a lo largo del curso de aproximación final desde un punto que comienza 200 - pies hacia afuera desde el umbral de la pista, su ancho es de 1000 pies en ese punto y se expande uniformemente hasta 16,000 pies al final.

Se considera una superficie de protección sobre obstáculos de la aproximación final, el cual es un plano inclinado que comienza en la elevación del umbral de la pista y se extiende sobre el área de aproximación final, esta superficie se divide en dos secciones: una interna de - - 10,000 pies y otra externa de 40,000, su pendiente está en función del ángulo que establece la trayectoria de planeo.

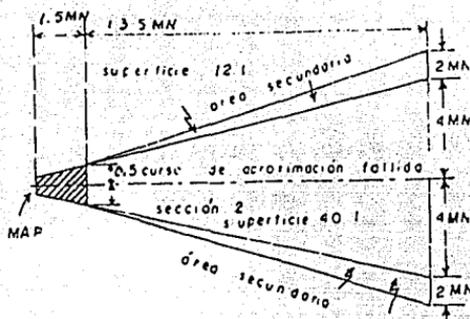
Existen además superficies de transición, planos inclinados con pendientes 7:1 que se extienden hacia afuera y hacia arriba desde el borde de aproximación final, comienzan a la altura de la superficie de aproximación final y extendiéndose a una distancia lateral de 5000 pies a ángulos rectos hasta el curso de aproximación final.

### Aproximación fallida de ILS

TERPS proporciona las dimensiones que han de tener las áreas de aproximación fallida recta, virando y recta con viraje.

En la aproximación fallida recta el área consta de dos secciones, la - - sección 1 comienza en el MAPt con un ancho igual al del área de aproximación final, aumentando a una milla en un punto a 1.5 M.N del MAPt.

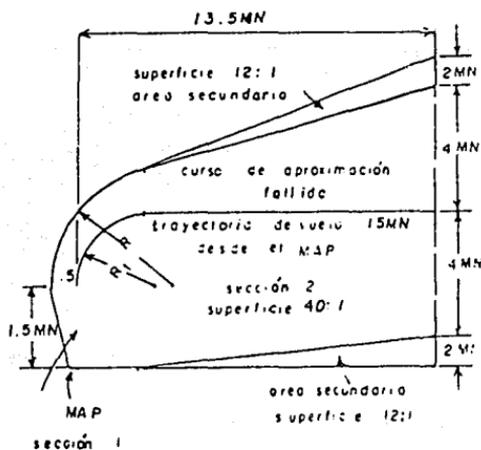
La sección 2 comienza al final de la sección 1, su ancho aumenta de una milla al comienzo a 12 en un punto a 13.5 M.N del comienzo y aumenta - - a 2 M.N al final.



Ningún obstáculo en las secciones 1 y 2 penetrará una superficie de 40:1 que comienza en el MAP (área primaria). En el área secundaria se considera una superficie de 12:1.

#### Aproximación fallida con viraje para el ILS

En caso de ser necesario virar al efectuar una aproximación fallida se realizará hasta alcanzar una altura superior a los 400 pies, se construye el área de protección en función del radio de la trayectoria el cual se determina a partir de la categoría de aproximación de la aeronave de acuerdo a la siguiente tabla:



## RADIOS PARA APROXIMACION FALLIDA VIRANDO (MILLAS)

Categoría de aproximación	Límite exterior radio (R)	Radio de la - - Trayectoria (R <sub>1</sub> )
A	2.6	1.30
B	2.8	1.40
C	3.0	1.50
D	3.5	1.75
E	5.0	2.50

El margen de protección sobre los obstáculos para la sección 1 es igual que en la aproximación fallida recta. Para la sección 2 se consideran - un área primaria (superficie 40:1) y un área secundaria (superficie 12:1).

**Aproximación fallida recta y virando**

En caso de ser necesario un ascenso recto a una altura superior de 400 -- pies antes de comenzar el viraje, se construye una área combinada, una - parte para ascenso recto la cual se divide en 2 secciones (1 y 1A) y -- otra en la cual se efectúa el viraje. Se construyen como se explicó -- con anterioridad.

El tramo recto se construye de tal manera que las secciones 1 y 1A corres- ponden a las secciones 1 y 2.

### **ILS simultáneos**

Se pueden autorizar procedimientos ILS que se efectúen simultáneamente - en pistas paralelas cuya separación sea mínimo de 4300 pies.

Se establecerán altitudes de aproximación inicial y de protección sobre obstáculos en las que se proporcione una separación vertical de 1000 - pies entre las altitudes de intersección de las trayectorias de planeo - de dos sistemas.

Se se efectúa este procedimiento, las aeronaves deben ser observadas en la pantalla del radar de vigilancia.

Se la separación entre pistas es menor de 3000 pies entre ejes se pueden autorizar aproximaciones ILS paralelas en cuyo caso la separación horizontal y vertical entre aviones le proporcionará el servicio de CTA.

Cuando se tienen pistas paralelas separadas a 1200 pies o menos, el CTA - puede autorizar un procedimiento de aproximación a una pista de un aeropuerto para aterrizar en la pista paralela adyacente, este procedimiento de Transición (side-step) tiene mínimos más altos que los de la pista - primaria pero generalmente son más bajos que los mínimos para circular.

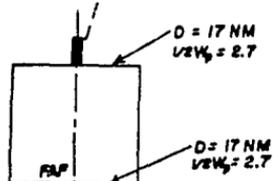
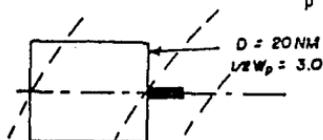
### **Aproximación radar**

Si los aviones son dirigidos por medio del radar de vigilancia al curso - de aproximación final se considerará un área de protección sobre los obstáculos de 3 millas (5 millas a distancias mayores de 40 millas desde la antena de radar) a cada lado del curso establecido de no aproximación -- inicial. No hay área secundaria. No se tiene una longitud máxima o mínima específica, se proporcionará un mínimo de 1000 pies de margen sobre obstáculos dentro de la cobertura operacional del radar.

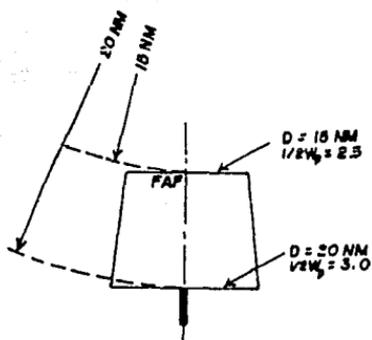
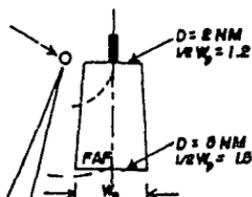
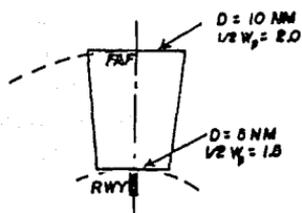
Para el tramo de aproximación final, el área de protección comienza en el fijo de aproximación final y termina en la pista o en el punto de aproximación fallida (MAPt), está centrada en el curso de aproximación final. - su longitud mínima es de 3 millas y la máxima no excederá.

El ancho del área primaria se basa en una fórmula la cual proporciona -- 2 millas de ancho en la antena de radar, incrementándose a 6 millas de ancho a una distancia de 20 millas desde la antena esta fórmula es:

$$1/2 W_p = 0.1 D + 1 \text{ milla}$$



No hay área secundaria.



EJEMPLOS DE LAS DIMENSIONES DE LA APROXIMACION FIRAL CON RADAR DE VIGILANCIA.

### **Normas para establecer mínimos de despegue y aterrizaje**

Se publicarán las altitudes mínimas de descenso (MDA) para las aproximaciones de no precisión directas y circulando, así como la altitud de decisión (DA) de las aproximaciones de precisión, así como las visibilidades mínimas.

La MDA proporcionará en el caso de una aproximación directa del margen mínimo sobre obstáculos en el segmento de aproximación final, también se establecerá la altura suficiente para asegurar que los obstáculos en el área de aproximación fallida no penetren la superficie de 40:1.

### **Patrones de espera**

Se diseñan en base a unas plantillas previamente establecidas y que se seleccionan de acuerdo a la altitud del patrón, su distancia a la radioayuda y la velocidad máxima de espera de la aeronave, a mayor altura mayor será el área de protección.

Los criterios de entrada son los mismos que los descritos en el Documento 8168.

El margen de libramiento de obstáculos es de 2000 pies en el patrón.

### **Criterios para el diseño de aerovías**

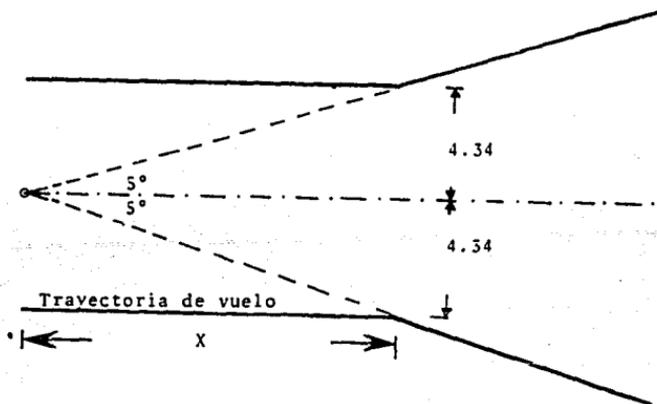
Esto es una diferencia significativa en el manual de la OACI pues este no incluye el diseño de las aerovías, TERPS sí nos proporciona el criterio para el trazo de éstas.

Una aerovía es un espacio aéreo navegable dispuesto en forma de corredor de dimensiones definidas y cuyo curso está apoyado en 2 radioayudas.

En el diseño del espacio aéreo se considerará la precisión que tienen las radioayudas.

#### -Áreas de protección para aerovías apoyadas entre facilidades NDB

El área consta de un área primaria y otra secundaria, el área primaria se construye con un ancho de 4.34 M.N a cada lado del eje central de la aerovía y se extiende en forma paralela a éste; dada la precisión del sistema esta área cambia su forma a 50 millas de la estación, para el área primaria se considera una precisión de  $\pm 5^\circ$  a partir del curso original.

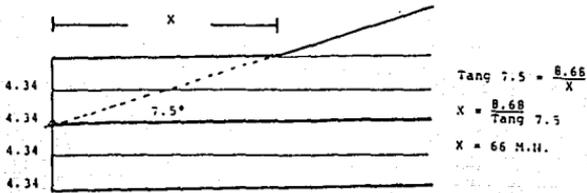


$$\text{TAN } 5^\circ = \frac{4.34}{X}$$

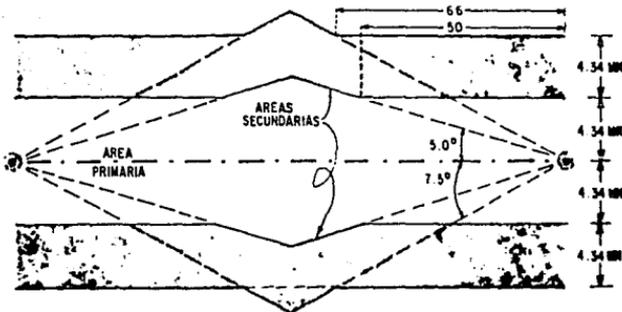
$$X = \frac{4.34}{\text{TAN } 5^\circ}$$

$$X = 49.6 \approx 50 \text{ M.N.}$$

Para el libramiento de obstáculos del área secundaria se considerará precisión de  $7.5^\circ$  a cada lado el eje central y se calcula la distancia a partir de la cual el área de protección cambia sus dimensiones originales.



Tanto en el área primaria como en la secundaria se utiliza un margen sobre obstáculos de 2000 pies, esto quiere decir que el obstáculo más alto que se encuentre contenido en ambas áreas quedará 2000 pies bajo de la altitud mínima de la aerovía.



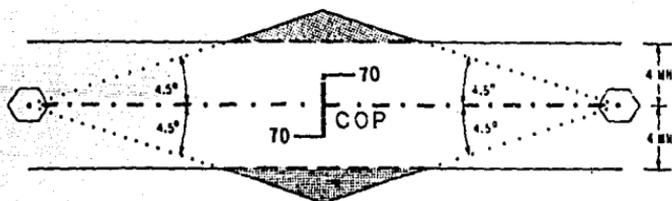
COMBINACION DEL AREA PRIMARIA Y SECUNDARIA , PARA AEROVIAS  
BALIZADAS CON FACILIDADES L. F.

### -Áreas de protección para aerovías apoyadas entre facilidades VOR

También se tiene un área primaria y otra secundaria, el área primaria -- abarcará una cobertura de 4 M.N. a cada lado del segmento y se mantendrá constante hasta 51 M.N. a partir de cada facilidad (se considera una precisión de  $4.5^\circ$  a cada lado del curso central). Por lo que la distancia - óptima entre facilidades es de 102 M.N.

Cuando la distancia entre radioayudas es mayor de 102 M.N. será necesario determinar un punto de cambio (COP) en el cual se espera que la aeronave cambie la frecuencia de su sistema de navegación primario de la estación por detrás a la de adelante.

Este punto divide un segmento y asegura la recepción continua de señales de navegación a la altitud mínima en ruta (MEA).

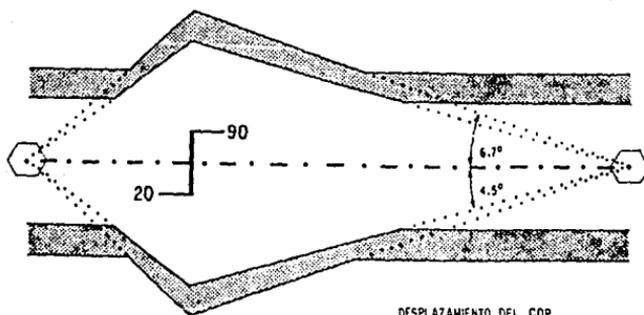


AREA DE PROTECCION PRIMARIA  
SEGMENTO  $\approx$  102 M.N.  
COP EN EL CENTRO

#### Area secundaria

Se extiende a 2 M.N. a cada lado del área de protección primaria, se considerará una precisión de  $\pm 6.7^\circ$  a cada lado de la línea que parte de las - facilidades para determinar su geometría en el caso de que se tenga una - longitud de aerovía mayor de 102 M.N.

Si por razones orográficas (que no permitan la recepción) este punto no estuviera en el centro, se tomará la precisión de la facilidad más lejana para determinar la geometría de las áreas primaria y secundaria.



### Áreas de viraje

Cuando sea necesario virar sobre una estación o en una intersección de -- radiales se deberá proteger a las aeronaves que por efecto del cambio de curso pudieran salirse de las áreas de protección primaria y secundaria.

Por abajo de 10,000 pies y debido a la limitada velocidad de las aeronaves que vuelan en ruta abajo de esta altitud no es necesario considerar un área adicional de viraje.

La trayectoria resultante de la combinación de demora en el viraje, inercia, régimen de viraje y efecto del viento, da como resultado una curva parabólica pero para su cálculo se considera un arco circular cuyo radio para el área primaria y secundaria será:

- 2 M.N para el área primaria y 4 M.N para el área secundaria por abajo de 10,000 pies.
- 6 M.N en el área primaria y de 8 M.N en la secundaria entre 10,000 - pies y hasta (sin incluir) 18,000 pies.
- 11 M.N en el área primaria y 13 M.N para la secundaria arriba de - - 18,000 pies.

#### Viraje en una intersección de radiales y sobre una facilidad

Se considerará una precisión de  $\pm 4.5^\circ$  a cada lado de la radial en la -- que vuela el avión y de  $\pm 3.6^\circ$  a cada lado de la radial que se ha de interceptar, esto definirá un área de tolerancia en la cual se iniciará el viraje.

Cuando la facilidad está a menos de 51 M.N del fijo (intersección), -- entonces los arcos de las áreas de protección secundarias, partirán de un punto situado a 2 M.N del inicio del área primaria.

Trazados los arcos se une con líneas rectas los arcos primarios y los -- dos secundarios uniendo los extremos interiores a las áreas de protección con rectas que intercepten los límites del área con un ángulo de  $30^\circ$ .

Si el viraje es sobre una facilidad, se considera un desplazamiento de -- 2 M.N. lateralmente de la posición de la facilidad.

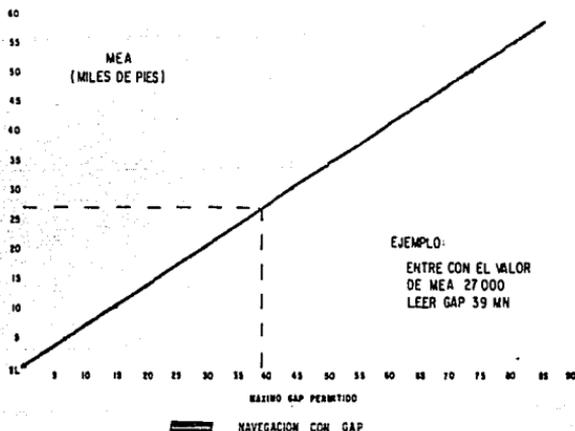
### Altitud mínima en ruta (MEA)

Se debe establecer una MEA para cada segmento de aerovía comprendida entre dos radioayudas. Esta altitud se basa en la protección sobre obstáculos, este margen de protección (ROC) es, dentro de nuestro país de 2000 pies, es decir que a la elevación del obstáculo prominente dentro del área se le proporcionará un ROC de 2000 pies.

El valor resultante de la elevación del obstáculo más el ROC nos define la altitud mínima de franqueamiento de obstáculos denominada en inglés -- (MOCA), después se verificará este valor en ruta chequeando la altitud mínima de recepción (MRA) y el punto de cambio de frecuencia (COP), estos puntos son determinados con equipo especial en ruta, la recepción es directamente proporcional a la altitud.

La MEA se fijará en donde se garantice la recepción continua de señales de navegación (MRA) y que sea mayor o igual a la MOCA.

Si se logra alguna ventaja operacional se puede fijar una MEA menor que la MRA con lo que se tendría un tramo en el que se perderían las señales de navegación este tramo de pérdida (GAP) no puede ser mayor que lo especificado en la tabla que se ilustrará a continuación:



### Comparaciones

Un manual no es el sustituto del otro, el diseño óptimo de un procedimiento de aproximación por instrumentos debe utilizar tanto el Documento 8168 como el TERPS ya que ambos se complementan.

Se presenta a continuación un cuadro sinóptico y comparativo de ambos -- manuales:

CONCEPTO	DOCUMENTO 8168 OACI	TERPS FAA
Salidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño sin importar la posición de la radioayuda.</li> <li>- Pendiente mínima de ascenso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Áreas de protección a partir de la radioayuda.</li> <li>- Gradiente mínimo</li> </ul>
Aproximaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Áreas de protección a partir de las cabeceras de las pistas.</li> <li>- Virajes reglamentarios (de procedimiento)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 45°/180°</li> <li>- 80°/260°</li> </ul> </li> <li>- Viraje a base (gota)</li> <li>- Diferentes tiempos de alejamiento -- según la categoría de aproximación del avión.</li> <li>- Viraje de hipódromo alejamiento en función de la categoría de aproximación del avión.</li> <li>- No considera el descenso en un arco DME.</li> <li>- Aproximación circulando, si diseña con radios más grandes pues considera viento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Áreas de protección a partir de la radioayuda</li> <li>- Sólo viraje 45°/180°</li> <li>- Viraje de gota</li> <li>- Alejamiento hasta un fijo DME sin importar la categoría.</li> <li>- No se contempla, -- aunque se puede diseñar un descenso -- en patrón de espera.</li> <li>- Se proporcionan criterios para diseñar descenso en arcos -- DME</li> <li>- No considera viento en el establecimiento de radios de viraje.</li> </ul>
Patrones de espera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No especifica longitudes de los circuitos</li> <li>- Concepto del área tope</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona mucha -- mas información para su diseño</li> <li>- No se menciona</li> </ul>
Aproximación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pendiente ascensional mínima neta</li> <li>- Áreas de protección en función de la cabecera de la pista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradiente de ascenso</li> <li>- Áreas de protección a partir de la radioayuda</li> </ul>
Aerovías	No se contempla este punto	Ampliamente tratado

## CAPITULO IV

### EFFECTOS EN LA LOCALIZACION Y OPERACION



#### CAPITULO IV

##### Efectos en la localización y operación.

En los capítulos anteriores se describieron los sistemas más importantes del aeropuerto así como los criterios fundamentales de espacios aéreos - planteados tanto por la FAA como por OACI.

Resulta lógico suponer que al proyectar la posible localización para un aeropuerto nuevo será necesario considerar estos criterios descritos anteriormente.

En el capítulo II se describieron los parámetros a tomar en cuenta al -- analizar la localización de un aeropuerto (limitaciones de espacio aéreo y condiciones meteorológicas principalmente).

Una vez seleccionada la ubicación y la orientación de la o las pistas es necesario revisar ésta con las especificaciones de limitación de obstáculos que plantea primeramente el Anexo 14., se construirán las superficies limitadoras de obstáculos localizando toda obstrucción natural (cerros, - montañas, etc.) o artificial (edificios, antenas, etc.) que pudieran modificar la orientación seleccionada de la pista.

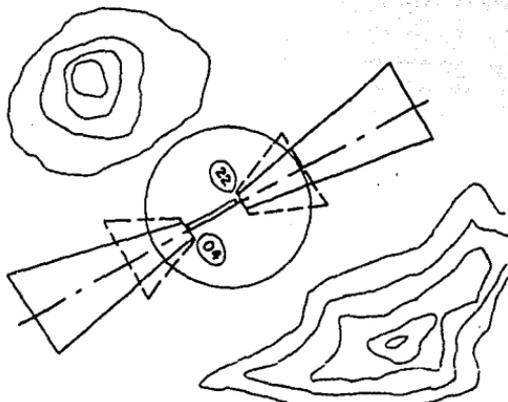
Cuando ya se tiene en definitiva la orientación de la pista se debe planear la ubicación de las radioayudas a la navegación con las que debe -- contar el aeropuerto, mismas que se utilizarán para el diseño de procedimientos de aproximación y salida por instrumentos así como de las aerovías.

Es conveniente, que antes de construir el aeropuerto se diseñen los procedimientos de aproximación, pues las especificaciones de éstos, planteadas en el Doc. 8168 de OACI y en el manual TERPS de la FAA pueden causar modificaciones en la orientación de la pista y en algunos casos en la - localización del aeropuerto., frecuentemente se construyen aeropuertos- únicamente apoyándose en los criterios del Anexo 14 (superficies limitadoras de obstáculos), las radioayudas se instalan posteriormente y hasta

entonces se diseñan los procedimientos por instrumentos., en algunos casos se tienen limitaciones en la operación del aeropuerto por una mala planeación de estos procedimientos.

A continuación se ejemplificará de qué manera afecta a la localización y posteriormente a la operación de un aeropuerto las limitaciones por espacios aéreos.

Se supondrá un aeropuerto diseñado de tal manera que cumple con las especificaciones del Anexo 14.

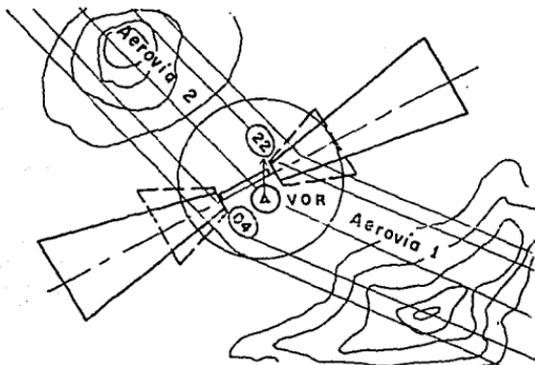


La instalación posterior de una radioayuda NDB o VOR permitirá enlazar al aeropuerto con la red de aerovías existentes, y la construcción de procedimientos de aproximación por instrumentos adecuada.

Al diseñar las aerovías se utilizará el manual TERPS pues como se dijo en el capítulo anterior el DOC. 8168 no especifica normas para su diseño.

Es aquí donde se podría encontrar el primer problema de diseño al encontrar las altitudes mínimas en ruta (MEA) pues si bien el aeropuerto no

tiene problemas de obstáculos la derrota de la aerovía puede atravesar zonas de obstrucciones que pueden no afectar las trayectorias de aproximación y ascenso pero sí restringir las altitudes en ruta.

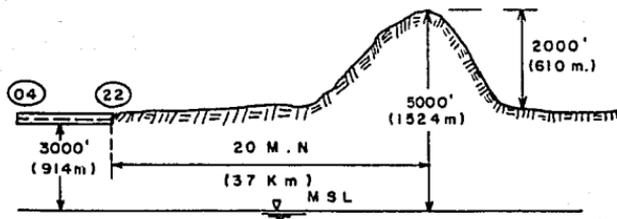


El establecimiento de aerovías secantes a la pista (como se muestra) implica el diseño de procedimientos de aproximación y salida con virajes, es decir la aeronave en aproximación descende en ruta hasta cierto punto y forzosamente después realizará un viraje hasta interceptar la derrota de acercamiento final., debido a la orientación de la pista no coincidente con la derrota de ninguna aerovía, el avión ascenderá, después de despegar, virando hasta interceptar la aerovía correspondiente.

TERPS señala que se ha de proporcionar un margen de libramiento de -- 610 m (2000 pies) sobre obstáculos en ruta, de esta manera es posible que sea necesario calcular una altitud mínima para que la aeronave abandone la estación y pueda librar todos los obstáculos en la aerovía manteniendo el gradiente mínimo de ascenso dependiendo de la altitud de libramiento mínima (Moca)

**Ejemplo:**

Para el aeropuerto que estamos considerando se calculará la altitud mínima de cruce (para abandonar la estación) (MCA), la elevación del aeropuerto es de 3000 pies, (914m) la del obstáculo es de 5000' (1524 m) y se encuentran en un punto de 20 M.N. sobre la trayectoria de la ruta.

**Cálculo**

Elevación del obstáculo = 5000 pies  
 Margen de libramiento = 2000 pies  
 Altitud mínima de libramiento (Moca) = 7000 pies (2134 m)

Refiriéndonos a la tabla para una Moca de 7000 pies el gradiente mínimo de ascenso es de 120/h.N.; este es multiplicado por la distancia al obstáculo 20 M.N.

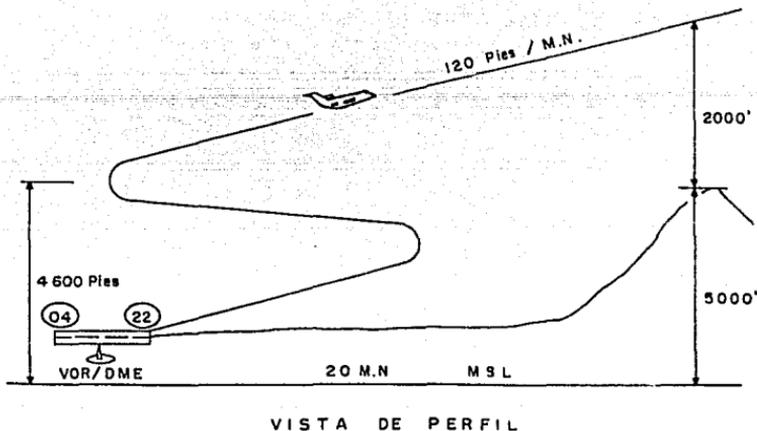
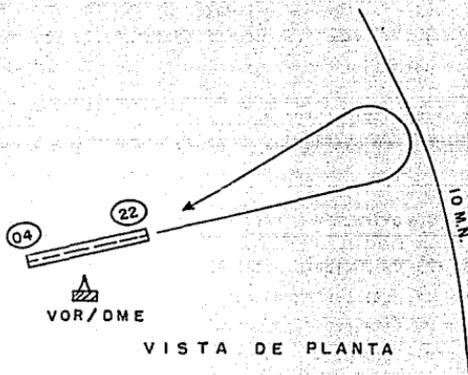
Valor de ascenso =  $120 \frac{\text{pies}}{\text{M.N.}}$  (20 M.N.) = 2400 pies.

A la MUCA obtenida (7000 pies) se le resta el valor de ascenso obteniendo la MCA.

$$\begin{array}{r} 7000' \\ - 2400' \\ \hline 4600' \end{array}$$

La MCA requerida es de 4600 pies

EJEMPLO ASCIENDA EN RUMBO DE PISTA , VIRE A LA IZQUIERDA HACIA EL VOR/DME,  
CON VIRAJE DE GOTA DENTRO DE 10 MN HASTA LA MCA\*



Se publica un ascenso con viraje dentro de 10 M.N. a la estación para -- abandonarla a la altitud mínima (MCA).

Este ascenso sería necesario efectuarlo también si la aerovía se encontrara aproximadamente en la misma trayectoria de la pista pero con una - obstrucción que no le permita ascender directamente en la derrota.

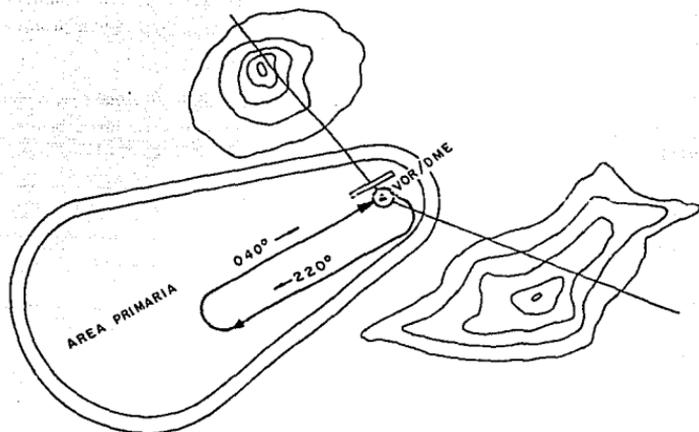
Como se mencionó en el capítulo anterior si los obstáculos penetran a la superficie identificadora de obstáculos se puede diseñar una salida con viraje.

Consideremos ahora la aproximación a este aeropuerto.

Una aeronave establecida en cualquiera de las dos aerovías no podría efectuar una aproximación directa a ninguna de las dos cabeceras de la pista (debido a la posición de ésta con respecto a las derrotas de las aerovías) por lo tanto es necesario prever una aproximación con viraje.

La solución de este problema la plantea el DOC 8168 con el establecimiento de virajes de inversión (procedimiento, gota e hipódromo). El procedimiento se construye encontrando la altitud mínima de sector (MSA) manteniéndose esta hasta la radioayuda en donde la aeronave comienza el descenso y su viraje hasta alinearse con la trayectoria final (En el siguiente capítulo se describirá con detalle lo anterior); para este caso particular se escoge el procedimiento VOR/DME con viraje de hipódromo; la facilidad se encuentra en el aeropuerto.

Procedimiento VOR/DME con viraje de hipódromo se muestran las áreas de protección.



Al establecerse el procedimiento anterior y cualquiera de viraje de inversión surge la problemática de que al operar simultáneamente el aeropuerto una aeronave en ascenso y otra en aproximación las dos tienen que volar -- sobre el VOR; la que despegue hasta alcanzar la MCA y la que desciende hasta su MSA para iniciar el procedimiento; si las dos han de pasar al mismo tiempo por la frecuencia se les debe restringir el ascenso y el descenso -- a fin de proporcionar una separación vertical entre los dos.

Si el tráfico del aeropuerto es importante esta limitación de espacio - aéreo puede afectar la operación del mismo.

Es por lo tanto, preciso recalcar la necesidad de que antes que se determine la localización definitiva de un aeropuerto se diseñen los procedimientos de aproximación y descenso por instrumentos y se estudien las restricciones en la operación que se pudieran tener.

En algunos casos se podría encontrar que la solución es buscar otra localización que permita aproximaciones directas y ascensos en ruta ó auxiliares con otras radioayudas que permitan el vuelo sobre zonas menos problemáticas.

De esta forma aunque una localización cumpla con todos los requisitos de espacios aéreos del Anexo 14 puede ser rechazada al diseñar los procedimientos por instrumentos con el Documento 8168 o el manual TERPS que como se ha venido mencionando son documentos complementarios que se deben considerar simultáneamente.

#### **Operación de dos aeropuertos simultáneamente**

Al realizar el diseño de un aeropuerto se deben considerar las siguientes posibilidades de proyecto.

- . Construcción de un aeropuerto en una localidad que no cuente con uno.
- . Construcción del aeropuerto en una localidad que ya cuente con un aeropuerto en operación.

Si se proyecta un aeropuerto nuevo en donde se encuentre otro funcionando se presentan dos posibilidades: que se cierre el aeropuerto antiguo y solo se opere el nuevo (en cuyo caso el proyecto se realizará sin considerar la operación del aeropuerto existente).

La segunda: que se mantengan los dos aeropuertos en operación, en este caso es necesario diseñar los espacios aéreos del nuevo aeropuerto considerando los de el otro; es decir las aeronaves que operen un aeropuerto no deben invadir los espacios aéreos en los que operan los aviones en el otro aeropuerto.

Esto es una restricción muy importante tanto de espacios aéreos como del Control de Tránsito Aéreo que incide en la localización de un aeropuerto nuevo.

Como se describió en el capítulo anterior las aproximaciones por instrumentos son de dos tipos: de precisión y de no-precisión; las de precisión proporcionan una guía electrónica alineada con el eje de la pista y una trayectoria de planeo; el procedimiento de precisión más comúnmente utilizado es el ILS (descrito con anterioridad); resulta lógico suponer que las superficies de identificación de obstáculos y las áreas de protección consideradas para este procedimiento tienen requisitos muy especiales (estos serán aplicados en el siguiente capítulo con un ejemplo real) para evaluar la seguridad operacional de un procedimiento ILS la OACI diseñó un programa de computadora que calcula la probabilidad de que una aeronave efectuando la aproximación, se estrelle con el terreno; este programa es el Modelo de Riesgo de Colisión. (CRM)

#### Modelo de Riesgo de Colisión (CRM)

Como se mencionó es un programa de computadora que calcula un riesgo numérico correspondiente al tramo de precisión de una aproximación ILS, seguidamente se compara el riesgo con el nivel de seguridad procurado de  $(1 \times 10^{-7})$  para determinar la aceptabilidad del procedimiento.

La OACI publica el DOC 9274 - AN/904 "Manual de utilización del modelo de riesgo de colisión (CRM) para las operaciones ILS". Se hace una solicitud de uso del programa enviando como datos todos los parámetros del procedimiento, curso del localizador, ángulo de la trayectoria de planeo, elevación en el umbral etc., así como la posición geográfica (expresada en coordenadas rectangulares, polares o geográficas) y elevación (Z) de cada uno de los obstáculos que podrían afectar el procedimiento.

A continuación se aplicarán todos estos conceptos y se hará ver la importancia que tienen los espacios aéreos en la operación de los aeropuertos.



## CAPITULO V APLICACIONES



## CAPITULO V

### Aplicaciones

En este capítulo se diseñarán dos procedimientos por instrumentos uno de no-precisión y otro de precisión para dos aeropuertos diferentes del país Guadalajara, Jal. y Acapulco, Gro.

El diseño de estos procedimientos se fundamenta en el Doc. 8168 y auxiliándose con el "Manual de construcción de procedimientos de vuelo por instrumentos" Doc. 9368 AN/911 de OACI.

En el caso de Acapulco el procedimiento se comparará con el establecido actualmente tratando de encontrar alguna ventaja operacional.

El Doc. 8168 de OACI es el manual oficial para el diseño de procedimientos por instrumentos en nuestro país; sin embargo esto no excluye al manual TERPS de FAA, el cual es también utilizado.

Una vez diseñado el procedimiento se debe publicar a fin de que sea consultado por el personal aeronáutico y efectuado correctamente. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, publica y distribuye las Publicaciones de Información Aeronáutica (PIA) en donde se incluyen las cartas de aproximación, salidas, llegadas así como las cartas de aerovías de alta y baja altitud, incluye además un directorio de aeropuertos (AGA) una sección de comunicaciones (COM) en donde se publican las frecuencias de comunicación aire-tierra; información de dependencias que proporcionan reportes meteorológicos (MET), Reglas y servicios de Tránsito Aéreo (RAC) en donde se especifica la localización de las Areas restringidas; (Todo espacio aéreo en el cual puede existir peligro potencial para las operaciones de aeronaves y todas las áreas sobre las que la operación de aeronaves civiles está prohibida o restringida temporal o permanentemente).

A continuación se diseñará un procedimiento de no precisión para la pista 10 del aeropuerto de Guadalajara; se pretende aprovechar el NDB Santa Anita instalado actualmente.

Después se rediseñará el procedimiento ILS a la pista 28 de Acapulco mediante el Doc. 8168 buscando alguna ventaja operacional.

**Diseño de un procedimiento con NDB fuera del aeropuerto.**

Se diseñará un nuevo procedimiento de aproximación por instrumentos para el aeropuerto de Guadalajara, Jal. apoyado en el NDB Anita que se encuentra a 6 millas al Noroeste del aeródromo.

El diseño se apoyará en las especificaciones del Documento 8168 señaladas en el Manual de construcción de procedimientos de vuelo por instrumentos (Doc 9368).

**Datos:**

**Aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo Guadalajara, Jal.**

Pista: 10/28, longitud 4000 m  
elevación del umbral 10 5006' (1526 m)  
elevación del aeródromo 5012' (1528 m)  
marcación magnética 102°/282°

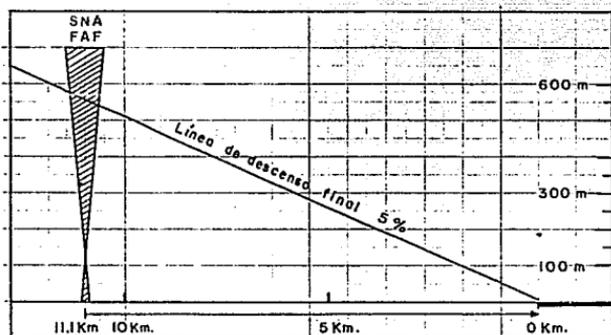
Variación magnética 8° E

Tipo de instalación NDB, identificación SNA

En un procedimiento de aproximación la aeronave desciende desde la altitud inicial hasta la altitud del umbral. La pendiente de descenso depende de la localización de obstáculos cercanos al aeropuerto y del tipo de entrada al procedimiento la cual puede ser (como se trató con anterioridad) directa (en llegada normalizada) o en circuito.

### Fase 1 Perfil de aproximación final.

Se traza en papel milimétrico el perfil de aproximación, desde un punto a 15 m por encima del umbral la trayectoria óptima de descenso final - - (pendiente 5%)



### Fase 2 Ubicación preliminar de la instalación (FAF)

Se localiza en la instalación actual HDB Santa Anita a G.M.N. (11.11 km) al NW de la cabecera de la pista 10.

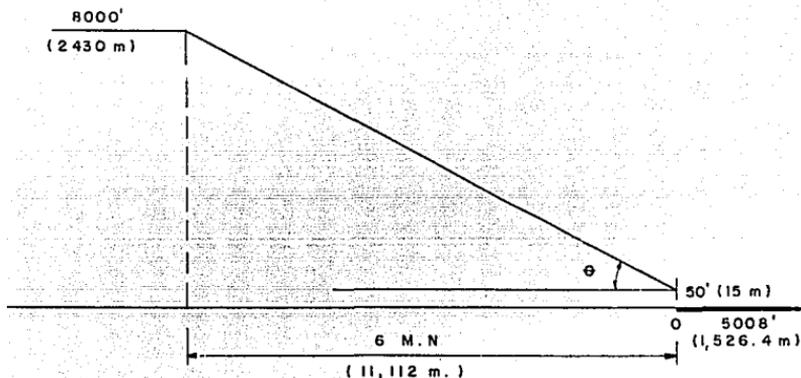
### Fase 3 Situación de los obstáculos en el área intermedia.

Se localizan en un mapa topográfico los límites de las áreas primaria y -- secundaria considerando las especificaciones descritas en el capítulo anterior.

Dimensiones 2.5 M.N. de ancho en la instalación y se amplía uniformemente hasta 10 M.N. en un punto a 15 M.N. opuesto a la dirección de aproximación, el área de aproximación final tendrá 2.5 M.N. de ancho en la instalación - y se amplía uniformemente a 10.3°.



A continuación se revisará que no se exceda la pendiente del 5% para la altitud determinada sobre el fijo.



$$\tan \theta = \frac{(8000 - 5008 - 50) (0.3048)}{11,112} = 0.0806 = 8.06\%$$

El valor encontrado es mayor del 5% especificado por la UACI como óptimo y de 5.6% máximo tolerable, por lo tanto la ubicación del NDB Anita es -- inadecuada.

Se propondrá una reubicación de la facilidad de acuerdo a los criterios -- del DOC 8168 a manera que, no se exceda la pendiente del 5%.

$$\frac{2430 - 15 - 1526.4}{0.05} = 17,772 \text{ m}$$

Donde 2430 m es la altitud mínima, 15 m es la elevación sobre el umbral -- y 1526.4 es la elevación del umbral. El resultado es 17,772 m, lo que implica colocar el NDB a 17.8 km del umbral de la pista 10, es decir a -- 9.6 M.N.

Por lo tanto, y considerando que la altitud más baja calculada no se altera, la altitud máxima a especificarse en el FAF debe ser:

Elevación del umbral 1526.4 m

Altura de la trayectoria de descenso por encima del umbral: 15 m

Pendiente de descenso 5% (0.05)

$$17,800 (0.05) + 15 + 1526.4 = 2431 \text{ m (7,977 ft)}$$

$$= \frac{8,000 \text{ ft}}{(2,438 \text{ m})}$$

La altitud especificada en el FAF debe, por lo tanto ser de 8,000 pies o menos para que se encuentre dentro de la pendiente óptima de descenso -- del 5%.

#### Fase 4

Altitud mínima de sector (MSA)

Con centro en la radioayuda se traza un círculo de por lo menos 46 km de radio (25 M.N.), se localizan las elevaciones de los obstáculos y se les añade 300 m (984 ft si se expresan en pies redondeando al incremento de 30 m (100 ft) superior próximo, con esto se obtiene la altitud mínima de cada sector (MSA).

Centro en NDB SNA	Elev.	MSA
Sector 000° - 090°	6824' (2080 m)	7840 pies (2390 m)
Sector 090° - 180°	9712' (2,960 m)	10,700 pies (3,261 m)
Sector 180° - 270°	7546' (2,300 m)	8530 pies (2,600 m)
Sector 270° - 360°	7448' (2,270 m)	8500 pies (2,591 m)

#### Fase 5

Descenso al seguir la derrota de alejamiento y de acercamiento en Hipódromo.

La altitud a la que ha de iniciarse el procedimiento es la más elevada de las 4 MSA en este caso 10,700 ft (0 3261 m) MSL. En la fase 3 se determinó

que la altitud mínima en el FAF es de 8000' (2438 m) por lo tanto la altura que ha de reducirse durante las maniobras de alejamiento y de acercamiento es de:

$$10700 - 8000 = 2700 \text{ pies (823 m)}$$

A continuación se determinará el tiempo nominal de alejamiento necesario para el procedimiento, en base al descenso máximo para un tiempo de alejamiento de 1 mín., esto se establece con el fin de no tener descensos excesivos en el tramo de aproximación.

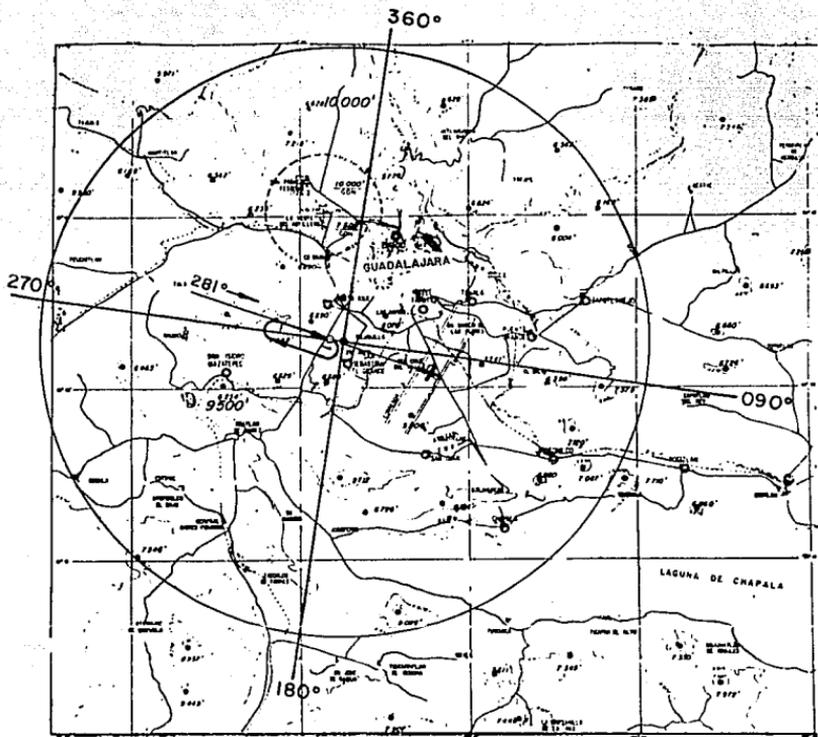
Consultando el Doc. 6168 se publica la siguiente tabla:

Descenso máximo para el tiempo de alejamiento - nominal de 1 mín.	Derrota de alejamiento		Derrota de acercamiento	
	Cat A/B	Cat C/D	Cat A/B	Cat C/D
	245 m (804 pies)	265 m (1197 pies)	150 m (492 pies)	230 m (755 pies)

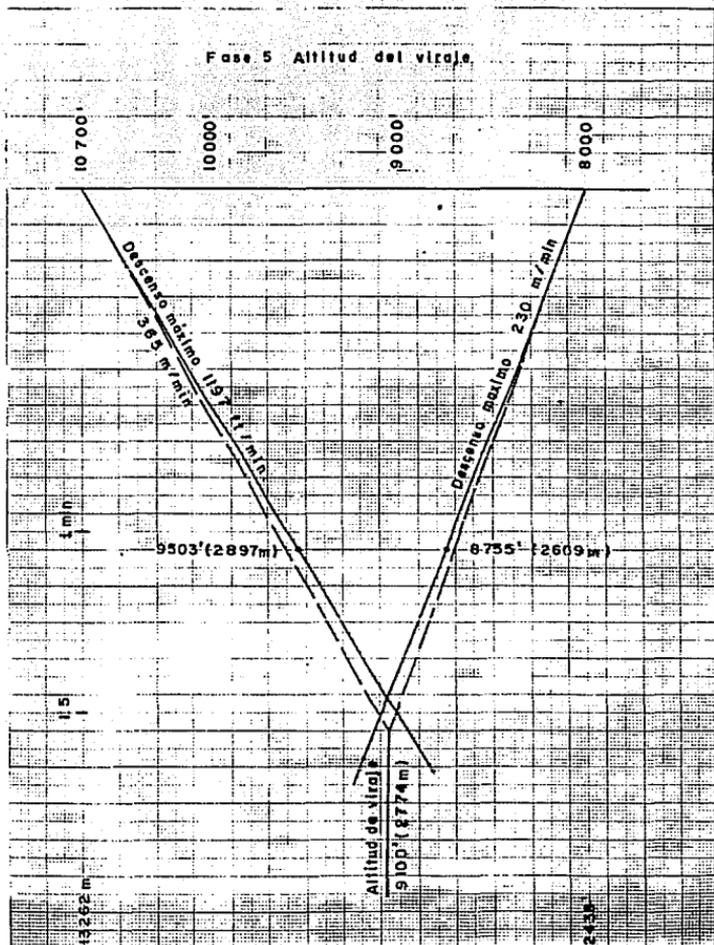
Desde 10,700 pies y para un minuto el avión Cat (C/D) ha de descender 1197 pies esto es  $10,700 - 1197 = 9503$  pies, este punto lo localizamos en una gráfica uniéndolo con la altitud inicial, se traza una recta de pendiente  $1197 \text{ pies/mín} \approx 365 \text{ m/mín}$ .

La otra recta la trazaremos en función de que en acercamiento el avión debe llegar a 8000 pies (2438 m) desde 755 pies más arriba para cumplir con lo establecido es decir desde  $8000 + 755 = 8755$  pies para 1 mín. de vuelo, se traza la recta prolongándose hasta cruzar a la primera el punto de intersección define a la altitud de viraje.

Del cálculo anterior se encuentra que la altitud de viraje es de 9100' -- (2774 m) y el tiempo de alejamiento será de  $1\frac{1}{2}$  minutos; con esta información se procederá a calcular las áreas de protección siguiendo lo especificado en los PANS - OPS Vol. II; Parte III Adjunto "C"



AREA TERMINAL  
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUADALAJARA



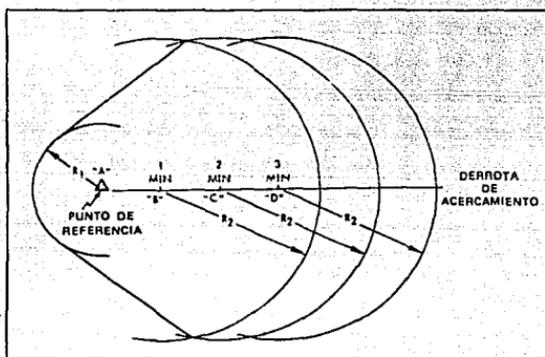
### 1.- Cálculo de tolerancias

Los parámetros que se tomarán en cuenta para la construcción del área son:

- a) Altitud - Altitud especificada para el viraje (9100 pies)
- b) Temperatura - ISA para la altitud especificada más 15°C
- c) Velocidad indicada (IAS).- La reglamentaria de la categoría más alta.
- d) Velocidad relativa verdadera.- La velocidad IAS de c) corregida por (TAS) altitud a) y por temperatura b) de acuerdo al anexo III - F
- e) Velocidad del viento (w).- Omnidireccional a la altitud especificada durante el viraje
  - i)  $W = 2 h + 47$  para todas las categorías de aeronaves
  - ii) Durante el vuelo rectilíneo  
 $W = 2 h + 27$  para Cat. A/B  
 $W = 2 h + 47$  para Cat. C/D  
 $h =$  (pies)  
 $W =$  nudos
- f) Angulo medio de inclinación lateral.- 25° o el correspondiente a una velocidad angular de 3°/s lo que sea menor
- g) Areas de tolerancia del punto de referencia.
- h) Tolerancia técnica del vuelo
  - Tiempo de alejamiento  $\pm 10$  seg.  
(  $\pm 0.16$  min)
  - Reacción del piloto 0 a + 6 s  
(0 a 0.1 min)
  - Tiempo de establecimiento de la inclinación lateral + 5 seg.  
(0.08 min)
  - Tolerancia de rumbo  $\pm 5^\circ$

El área se construye trazando y uniendo entre sí los radios  $R_1$  y  $R_2$  a --

partir de puntos determinados para la velocidad relativa (TAS y el radio de viraje ( $r$ ))



Para el ejemplo se tiene:

- Altitud 9100 pies
- IAS para la categoría D en viraje de hipódromo 250 nudos
- TAS: IAS x factor de conversión =  $\frac{250 \times 1.177}{60} = 4.904$  M.N./min.  
= 4.9 M.N./min.

Viento:

$$W = \frac{(2 \times 9 + 47)}{60} = 1.08 \text{ M.N./min.}$$

Angulo de inclinación lateral:  $\alpha = 25^\circ$

$$\text{Velocidad angular de viraje } R = \frac{57.18 \tan \alpha}{\pi V} = \frac{57.18 \tan (25^\circ)}{\pi (4.9)}$$

$$R = 1.732^\circ/\text{s}$$

$$\text{Radio } r = \frac{3V}{\pi R} = \frac{3(4.9)}{\pi(1.732)} = 2.7 \text{ M.N.}$$

Efecto del viento durante el viraje de  $90^\circ$ :  $E = \frac{3w}{2R} = \frac{3(1.08)}{2(1.732)}$

$$E = 0.94 \text{ M.N.}$$

Velocidad respecto al suelo con componente máxima del viento de frente:  $4.9 - 1.08 = 3.82 \text{ M.N./min}$

Velocidad respecto al suelo con componente máxima del viento de cola:  $4.9 + 1.08 = 5.98 \text{ M.N./min}$

Deriva máxima =  $\text{sen}^{-1} \frac{W}{V} = \text{Sen}^{-1} \frac{1.08}{4.9} = \text{sen}^{-1} 0.22$   
 $= 12.7^\circ$

Retardo en el punto de referencia 11 seg. (a  $4.90 \text{ M.N./min}$ ) =  $0.90 \text{ M.N.}$

Distancia por 1 min. (a  $4.9 \text{ M.N./min}$ ) =  $4.9 \text{ M.N.}$  por 2 min =  $9.8 \text{ M.N.}$ ;

por 3 min =  $14.7 \text{ M.N.}$

Fase B Se sitúa el punto A en el punto de referencia así como B, C, D correspondientes a las distancia de alejamiento de 1, 2 y 3 min. - - (4.9, 9.8, 14.7 M.N.)

Fase C

$R_1 = 2r + 1 \text{ min de efecto del viento} + 11 \text{ seg. de retardo}$

$$R_1 = 2(2.7) + 1.08 + 0.9 = 7.38 \text{ M.N.}$$

$R_1 = 7.4 \text{ M.N.}$  Se traza un arco con este radio y centro en la facilidad

Fase D

$R_2 = 2r + \text{la distancia correspondiente a 2 minutos de vuelo.}$

$$R_2 = 2(2.7) + 9.8 = 15.2 \text{ M.N.}$$

$$\underline{R_2 = 15.2 \text{ M.N.}}$$

Se trazan arcos empleando como centro los puntos B,C,D.

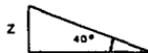
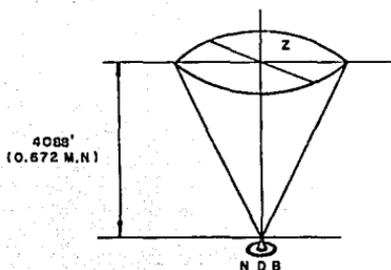
Fase E. A partir de las intersecciones de los arcos que tienen como centros B y C se trazan líneas a un punto tangente al arco  $R_1$

. Reducción del área

El tiempo de alejamiento está limitado a 1½ minutos por lo tanto se puede eliminar el área 3 generales por el  $R_2$  a 3 min de alejamiento del fijo pues se considera mínima la posibilidad de que una aeronave vuele en ella mientras realiza el procedimiento.

. Angulo del cono del NDB =  $40^\circ$ ; según se definió con anterioridad.

. Radio del cono en la vertical NDB (Z) = 0.56 M.N.



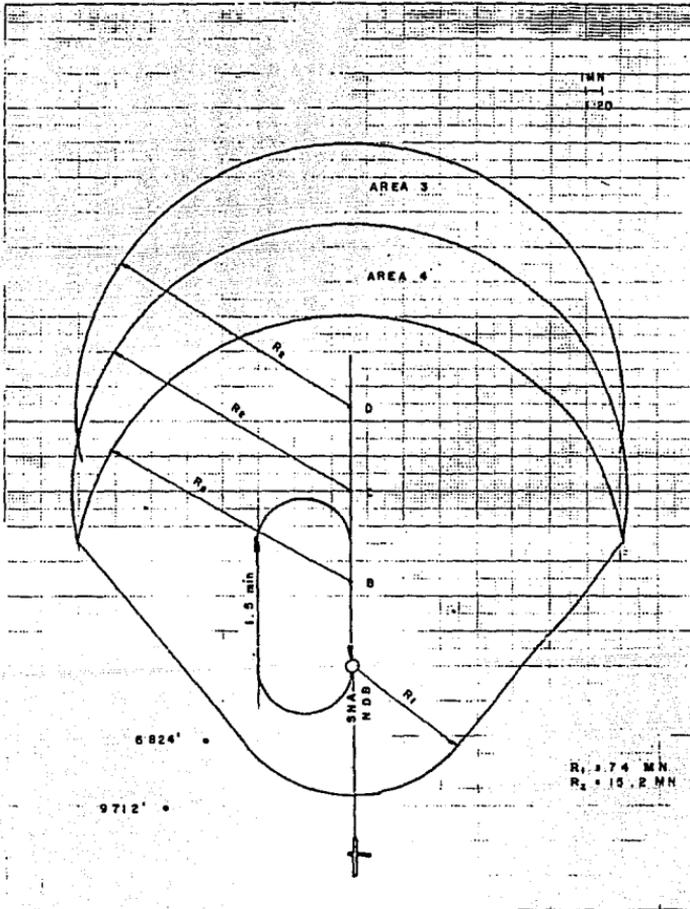
$$9100' - 5012' = 4088' (0.672 \text{ M.N.})$$

$$\tan 40^\circ = \frac{Z}{0.672}$$

$$Z = 0.672 (0.839)$$

$$Z = 0.56 \text{ M.N.}$$

Tolerancia del rumbo en el tramo de alejamiento =  $\pm 5^\circ$



**FASE 5**

**OCA/H** (Altitud/Altura de franqueamiento de obstáculos) de aproximación final.

Se determina tomando en cuenta los obstáculos que se encuentran en el -- área de aproximación final o en el área de aproximación frustrada inicial. Si la distancia desde el FAF (Fijo de aproximación final) hasta el umbral no excede de 6 MN, el MUC es de 75 m (246 pies), si es mayor el MUC se incrementará a razón de 1.5 m (5 ft) por cada décimo de milla marina después de las 6 M.N.

Para el ejemplo la distancia se excede en  $9.6 - 6 = 3.6 \text{ M.N.}$  por lo tanto -- el MUC será de:

$$246 + 5 (36) = 426 \text{ pies (130 m)}$$

Localizando los obstáculos se tiene que

OCA	OCH
$5334 + 426 = 5760'$ (1756 m)	$OCA - 5012 = 748'$ (228 m)

Por lo tanto el valor a publicarse de OCA/H será 5800' (788') 1768 m (240 m)

**FASE 6 Punto de aproximación fallida (MAPt)**

En este punto el avión inicia el ascenso nuevamente una vez que se ha decidido no continuar con el aterrizaje; en el caso general; este punto se ubica en la cabecera de la pista para proporcionar una zona libre de obstrucciones para que el avión cambie su configuración de aterrizaje a - -

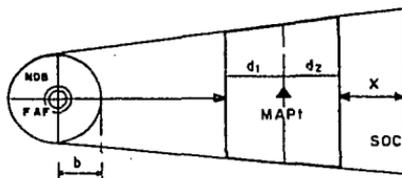
despegue; si se tuvieran obstrucciones importantes es posible que el MAPt - se desplace hacia atrás para garantizar el libramiento seguro de obstáculos cumpliendo con la pendiente ascensional mínima establecida.

Del análisis de obstrucciones en nuestro ejemplo se determina que no es necesario localizar el MAPt antes del umbral de la pista y como no se puede utilizar alguna radioayuda que pueda servir como el punto para iniciar la aproximación fallida, éste se localizará en el umbral.

La distancia desde el FAF hasta el MAPt, así como una tabla de tiempos -- necesarios para recorrer las distancias con diferentes velocidades respecto al suelo, se publicarán en la carta de aproximación por instrumentos - (siempre que no se disponga de UME en el procedimiento).

-Longitud del área de tolerancia del MAPt

Primer cálculo:



Tolerancia del punto de referencia. Se sobrevuela en la vertical del punto de referencia, que es un NDB, a una altitud de 8000 pies, como se había determinado, suponiendo que la elevación del punto en el que está ubicada la estación es de 5012 pies.

Se sobrevuela el NDB a  $8000 - 5012 = 2988$  pies (910.74 m).

El cono de ambigüedad se extiende a un ángulo de  $40^\circ$ .

La mitad de la tolerancia del FAF es:

$$2988 \tan 40^\circ = 2507' \quad (0.41 \text{ M.N.})$$

$$b = 041 \text{ M.N.}$$

Segundo cálculo

Cat D IAS máx. 185 kt

TAS = 185 x 1.1586 (adjunto III-F-3 Pans-Ops)

= 214.3 kt

Tercer cálculo

Con un MAPt ubicado en el umbral (THR)

la distancia del FAF al THR = 9.6 M.N.

Distancia del FAF al punto posterior

del área de tolerancia del FAF

(distancia b)

0.41 M.N.

Distancia correspondiente a la tolerancia de

cronometraje de 13 seg. a 214 kt TAS

$$\frac{214 \times 13}{3600} = 0.77 \text{ M.N.}$$

0.77 M.N.

Distancia debida al efecto del viento de

cola (9.6 M.N. a 214 kt TAS) x 30 nudos

$$\frac{9.6 \times 30}{214} = 1.35 \text{ M.N.}$$

1.35 M.N.

$$\text{Media cuadrática } d_2 = \sqrt{0.41^2 + 0.77^2 + 1.35^2}$$

$$d_2 = 1.61 \text{ M.N.}$$

**Tolerancia de transición (x)**

Se debe considerar una tolerancia desde el punto de aproximación fallida hasta el de inicio de ascenso (SOC) para que la aeronave cambie de configuración de aterrizaje e inicie el ascenso.

Para las aeronaves de Cat D con velocidades IAS de 185 kt (214 kt TAS - para la altitud del procedimiento) se obtiene que la tolerancia de transición (x) es:

.210

$$X = \frac{(TAS + 10) 15}{3600}$$

(No es conveniente utilizar -  
tabla del Doc. 8168 pues es-  
tá calculada para una altitud  
de 2000 pies MSL)

$$X = \frac{(214 + 10) 15}{3600} = 0.93 \text{ M.N.}$$

Por lo tanto la distancia del MAPt al SOC es:

$$d_2 + X = 1.61 + 0.93 = \underline{2.54 \text{ M.N.}}$$

(Aeronaves Cat. D)

Para los aviones del Cat. C. IAS 160 kt (TAS 185)

se tiene:

$$b = 0.41 \text{ M.N.}$$

Cronometraje de 13 seg. a 185 kt TAS

$$\frac{185 \times 13}{3600} = 0.67 \text{ M.N.}$$

Dist. debido al efecto de viento

$$\frac{9.6 \times 30}{185} = 1.56 \text{ M.N.}$$

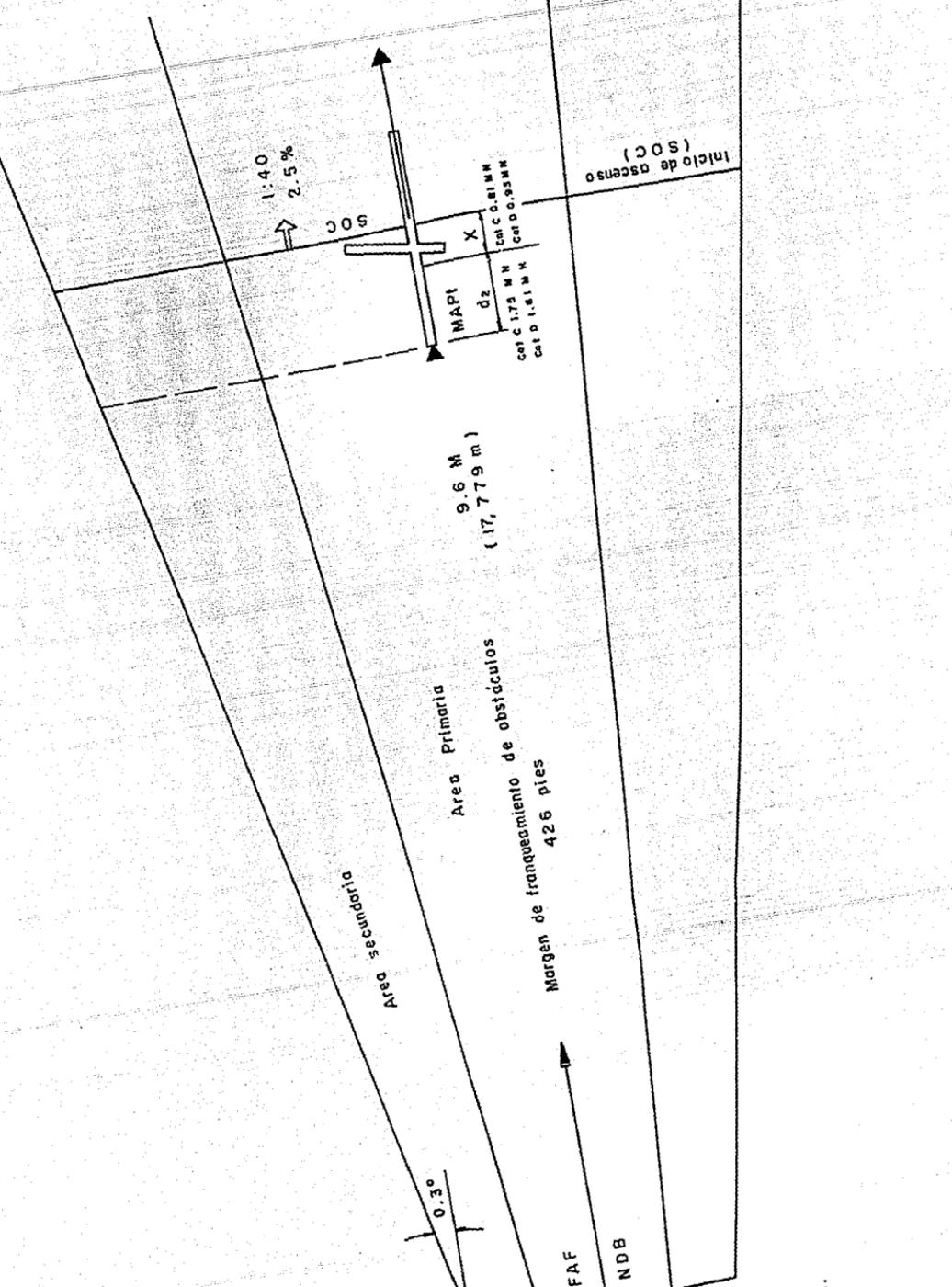
$$d_2 = \sqrt{0.41^2 + 0.67^2 + 1.56^2} = 1.75 \text{ M.N.}$$

$$d_2 = 1.75 \text{ M.N.}$$

$$X = \frac{(185 + 10) 15}{3600} = 0.81 \text{ M.N.}$$

Se obtiene que la distancia del MAPt al SOC (inicio del ascenso) es de:

$$d_2 + X = 1.75 + 0.81 = 2.56 \text{ M.N.}$$



### Fase 7

#### . Areas de aproximación fallida intermedia y final

Una vez trazada la línea SOC (ver la figura), el efecto de los obstáculos en las áreas de aproximación frustrada intermedia y final debe verificarse. Esto se hace con la siguiente fórmula:

$$H - d \tan Z + MOC = OCA$$

en la que  $d$  es la distancia desde el SOC hasta el obstáculo;  $H$  es la elevación del obstáculo.

$\tan Z$  es la pendiente ascensional indicada en porcentaje.

Para el ejemplo hay un cerro de 7120' a 13.8 M.N. del SOC para la cat D  
(2170m) (83 850')  
(25.557m)

La OCA de aproximación frustrada es

$$7120 - 83\ 850 (0.025) + 100 = 5123' (1562\ m)$$

menor que los 5800' obtenidos como OCA para el  
(1768m)

tramo de aproximación final, por lo tanto es esta última la que rige.

### Fase 8

#### . Elaboración de la carta de aproximación por instrumentos

Deberá incluir la tabla "Tiempo para recorrer la distancia de FAF a MAPt"

Esta se elaborará con la siguiente fórmula:

$$T \text{ (en segundos)} = \frac{3600 \times D}{GS}$$

D = Distancia del FAF al MAPt

GS = Velocidad respecto al - -  
suelo.

.214

En unidades inglesas diferentes al SI se tiene para una velocidad de - -  
120 kt (222 km/h)

$$T = \frac{3600 \times 9.6}{120} = 288 \text{ s} = 4 \text{ min. } 48 \text{ s}$$

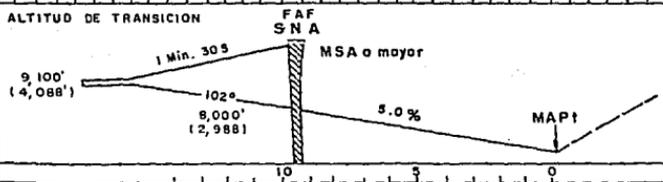
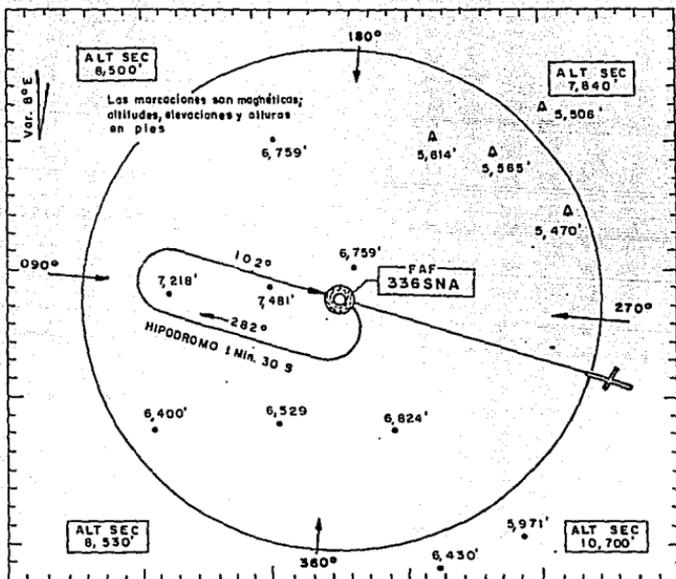
En unidades SI se tiene

$$T = \frac{3600 \times 17.72}{222} = 288 \text{ s} = 4 \text{ min. } 48 \text{ s}$$

Se incluyen dos cartas de aproximación por instrumentos, una basada en -  
unidades SI y otra en unidades inglesas usadas en aeronáutica, con el --  
formato indicado por OACI en el Manual de cartas aeronáuticas (Doc 8697-  
AN/889)

Terminal Guadalupe 120.8  
Torre Guadalupe 118.1

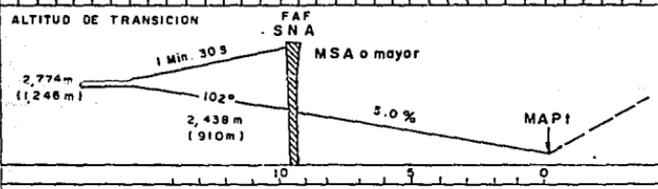
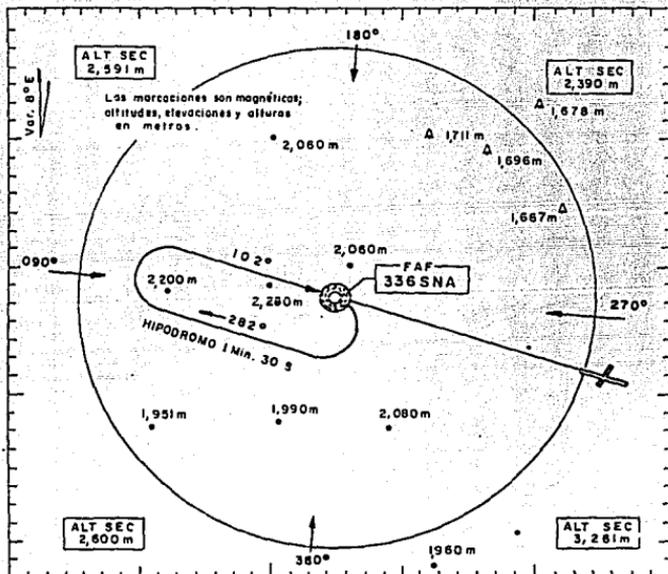
Guadalupe / M. Hidalgo  
N D B 10 Cat. C/D



OCA (H)				Distancia SNA - MAPt												
Cat. Aeronave	Cat C	Cat D	Velocidad	Kt	70	80	90	100	110	120	130	140	150			
En línea recta	5,800'	5,800'	Hora	m:s	8:13	7:12	6:24	5:46	5:14	4:48	4:26	4:07	3:50			
En circuito	—	—	Vel. vert. de descenso	—	354	405	456	506	555	608	660	709	760			

Terminal Guadalajara 120.8  
Torre Guadalajara 118.1

Guadalajara / M. Hidalgo  
N O B 10 Cat. C/D



OCA (H)				Distancia SNA - MAP						
Cat. Aeronave	Car C	Car D	Velocidad Km/h	125	150	175	200	225	250	
En línea recta	1738 (1228)	1736 (1228)	Hora m/s	8:32	7:06	6:06	5:20	4:44	4:16	
En curvato	---	---	Vel vert de descenso m/s	1.7	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5	

. Procedimiento ILS Cat. I

Como se describió en el capítulo 2 el ILS (sistema de aterrizaje por -- instrumentos) es la radioayuda más completa en aproximación pues proporciona una señal alineada con el eje de la pista (localizador), otra de -- trayectoria de descenso (pendiente de planeo), y distancia al umbral.

Se diseñará el procedimiento ILS para la pista 28 del aeropuerto internacional de Acapulco, Gro.

Se cuenta con el VOR/DME Acapulco localizado en el aeropuerto y sirve -- como instalación básica de procedimientos de llegada y salida además -- de balizar las aerovías.

Datos

Elevación del umbral 4.9 m (16')

Elevación del aeródromo 5.5 m (18')

Marcación magnética de la pista 101°/281°, longitud de la pista: 3300 m

Variación magnética 8° E

Aeronaves A a D pendiente 2.5% para aproximación fallida

Angulo de trayectoria de planeo propuesto 3.0°, distancia THR-LLZ

Instalaciones existentes en la vecindad

VOR/DME Acapulco, NDB San Marcos

La construcción de un procedimiento ILS y en concreto el cálculo de la -- OCA/H del mismo se puede realizar por tres métodos sugeridos en el -- -- Doc. 8168.

El primero considera las superficies descritas en el Anexo 14 (expuestas con anterioridad) y una superficie de aproximación frustrada, estas superficies se denominan "superficies revisadas del Anexo 14".

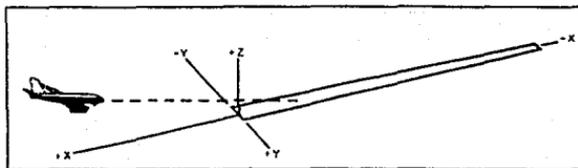
El segundo método comprende un conjunto de superficies de evaluación de obstáculos (OAS) por encima de las superficies revisadas del anexo 14; si ningún obstáculo penetra estas superficies la OCA/H para las Categorías I y II se definirá según la Categoría de la aeronave quedando la Categoría III sin ninguna restricción; si los obstáculos penetran las OAS, el margen relativo a la categoría de aeronaves aumenta en un valor igual a la altura del obstáculo más elevado que se interpone en la aproximación.

El tercer método utiliza al modelo de riesgo de colisión (CRM) del cual hablamos en el capítulo 4; se emplea ya sea en remplazo del segundo método o cuando se opina que es excesiva la densidad de los obstáculos -- por encima de la OAS. El CRM evalúa para un valor dado de la OCA/H, el riesgo que representa separadamente cada obstáculo y el peligro general que presenta el conjunto de obstrucciones, de este modo se puede hacer un juicio operacional para seleccionar el valor de la OCA/H que se encuentre dentro de los márgenes de seguridad permitidos.

### Fase 1

Superficie interna de aproximación interna de transición y de aterrizaje-interrumpido, del Anexo 14.

Se prepara una lista de obstáculos que han de analizarse, ubicándose de acuerdo a un sistema de coordenadas rectangulares, mismas que también serán utilizadas para las superficies OAS.



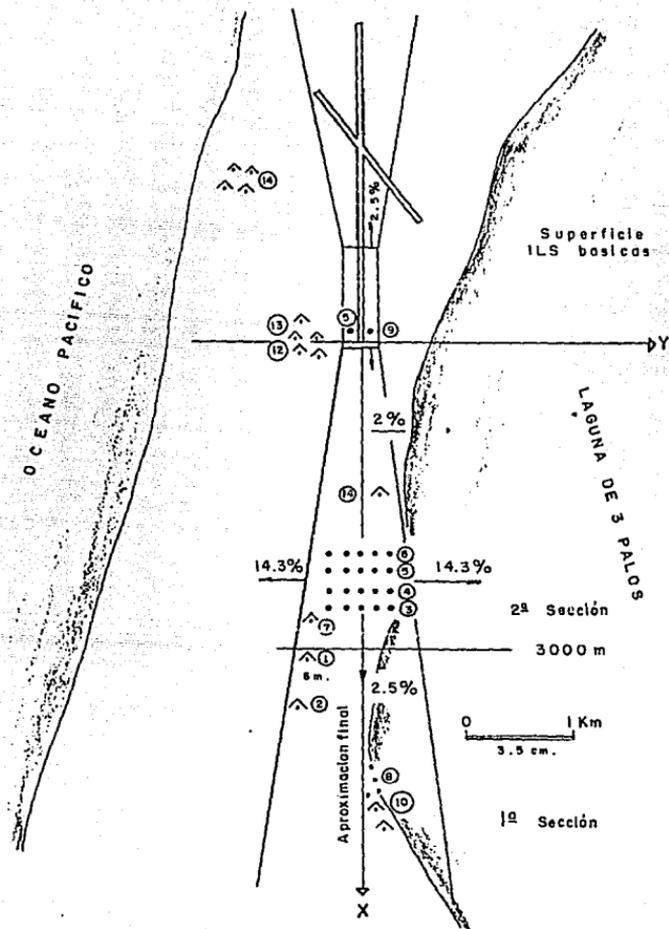
Sistema de coordenadas

El origen está en el umbral de la pista, el eje "X" se extiende - - - en sentido positivo en dirección opuesta a la aproximación, el eje "Y" es positivo a la derecha de la trayectoria de acercamiento y el "Z" hacia -- arriba.

En esta fase se revisan los obstáculos que pudieran penetrar las superficies que se describieron del anexo 14.

Una aeronave en espera para despegar es un obstáculo que hay que revisar, la distancia de la aeronave al eje de la pista es de 120 m; la pendiente de la superficie de transición interna es de 33.3% y comienza a 60 m del eje de la pista (ver capítulo III)





## Lista de obstáculos

Número	Descripción	X (m)	Y (metros)	Z (m)	Sup. W	Sup. X	Sup. Z
01	Casa	3400	-562	5			
02	Casa	3650	-500	6			
03	Palmeras	2597	+157	30			
04	Palmeras	2469	+160	25			
05	Palmera	2250	.0	30			
06	Palmera	2031	+160	20			
07	Casa	2687	-500	5			
08	Palmera	4250	125	18			
09	Aeronave en espe- ra	- 8	120	12			
10	Casa	4600	218	5			
11	Antena G/S	-260	+120	18			
12	Casa	93	460	5			
13	Casa	-156	-480	5			
14	Casa	1562	-1156	5			
15	Edificio	-9843	1822	226			
16	Cerro						223
17	Cerro	-12030	729	195			

El obstáculo 3 se encuentra situado en un área donde se aplica la fórmula:

$$Z = 0.02 x - 1.2$$

La distancia desde el umbral es de 2700 m

$$Z = 0.02 (2700) - 1.2 = 52.8 \text{ m} > 30 \text{ m}, \text{ no penetra}$$

Para el obstáculo 14 se tiene:

$$Z = 0.02 (1500) - 1.2 = 28.8 \text{ m} > 6 \text{ m} \text{ no penetra}$$

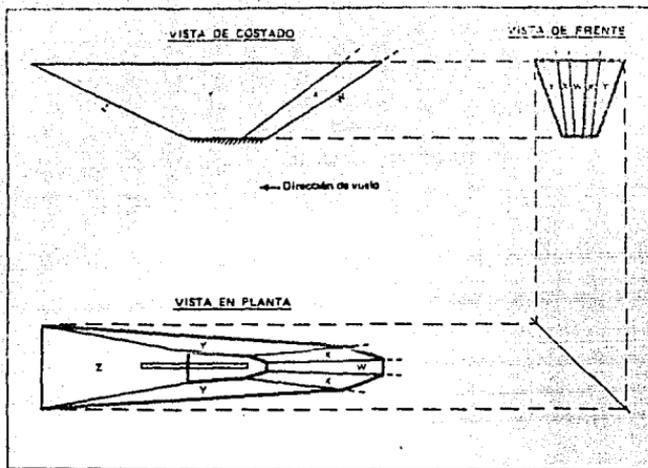
Las superficies se encuentran libres de penetraciones por lo que la UCA/H para la Cat I se definirá por los mínimos de las categorías de aeronaves (Expuesta en el capítulo II)

Para profundizar en el análisis y sobre todo evaluar los obstáculos que pudieran penetrar la superficie Z (de aproximación frustrada) se procederá a hacer el análisis por medio del segundo método propuesto por UACI el cual es el de las superficies de evaluación de obstáculos (OAS).

### Fase 3 Superficies de evaluación de obstáculos

Las dimensiones de la OAS están en función de la geometría del ILS (distancia localizador-umbral, ángulo de la trayectoria de planeo y la categoría de operación ILS) los obstáculos que penetran la OAS se dividen en dos clases: obstáculos para la aproximación y obstáculos para la aproximación frustrada; en base a estos valores se añade un margen de protección a los mínimos de descenso para categoría de aeronave para obtener la UCA/H apropiada.

La OAS no sustituye a las superficies del Anexo 14 sino que ambas deben considerarse.



• Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos

### Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos

#### Determinación de las superficies

La OAS está formada por seis superficies planas en pendiente (indicadas por las letras W, X, Y y Z) dispuestas simétricamente; la geometría de éstas está dada por ecuaciones lineales simples ( $Z = Ax + By + C$ ) en estas ecuaciones  $x$  e  $y$  son coordenadas de posición y  $Z$  es la altura de la superficie en esa posición.

Para cada superficie, las constantes A, B y C corresponden a cada una de las combinaciones de distancias antena de localizador-umbral, ángulos de la trayectoria de planeo y pendiente de aproximación frustrada.

Se publican en los PANS-OPS en el Adjunto I de la parte III tablas con valores de las constantes para una serie de combinaciones de distancia y ángulos; consultando este adjunto se obtiene que para el caso del procedimiento que se diseñará en Acapulco (Ángulo propuesto de  $3^\circ$  y distancia LLZ - THR de 3400 m) y pendiente de aproximación fallida del 2.5%,

III-1-84

ANGULO DE TRAYECTORIA DE PLANEO CON DATOS OAS DEL ILS 3,00 DISTANCIA 3 400 LOCALIZADOR/UMBRAL.

	CONSTANTES OAS DEL ILS						CONSTANTES OAS MODIFICADAS PARA PILOTO AUTOMATICO CAT II		
	CAT I			CAT II			PILOTO AUTOMATICO CAT II		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
W	.028500	.060000	-P.01	.035800	.060000	-6.19	.035000	.000000	-6.19
W*							.042000	.000000	-12.34
X	.028249	.186246	-17.06	.035643	.237105	-21.82	.042271	.281195	-25.87
Y 5.0P	.018374	.262370	-30.16	.026079	.372376	-42.81	.026079	.372379	-42.81
Z	-.050000	.000000	-45.00	-.050000	.000000	-45.00	-.050000	.000000	-45.00
Y 4.0P	.020701	.244433	-27.0P	.028562	.337233	-37.36	.028562	.337233	-37.36
Z	-.040000	.000000	-34.00	-.040000	.000000	-34.00	-.040000	.000000	-34.00
Y 3.0P	.023146	.225584	-23.83	.031027	.302391	-31.95	.031027	.302391	-31.95
Z	-.030000	.000000	-27.00	-.030000	.000000	-27.00	-.030000	.000000	-27.00
Y 2.5P	.024515	.215037	-22.02	.032347	.283727	-29.05	.032347	.283727	-29.05
Z	-.025000	.000000	-22.50	-.025000	.000000	-22.50	-.025000	.000000	-22.50
Y 2.0P	.025930	.204119	-20.14	.033649	.265032	-26.15	.033649	.265032	-26.15
Z	-.020000	.000000	-18.00	-.020000	.000000	-18.00	-.020000	.000000	-18.00

## COORDENADAS DE LA PLANTILLA OAS (M):

	ELEVACION DEL UMBRAL				PILOTO AUTOMATICO	
	CAT I		CAT II		CAT II	
	X	Y	X	Y	X	Y
C	281	49	173	66	173	66
D	-286	135	-286	135	-286	135
E 5.0P	-900	178	-900	178	-900	178
4.0P	-900	187	-900	187	-900	187
3.0P	-900	198	-900	198	-900	198
2.5P	-900	205	-900	205	-900	205
2.0P	-900	213	-900	213	-900	213

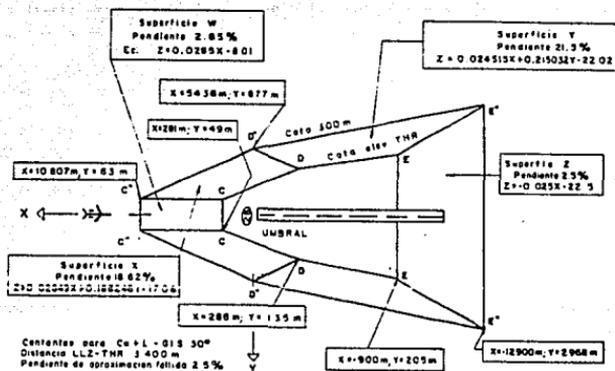
	ALTURA 300 M CAT I		ALTURA 150 M CAT II		ALTURA 150 M** PILOTO AUTOMATICO CAT II	
	X	Y	X	Y	X	Y
	C**	10807	63	4362	60	3844
C**					1000	46
D** 5.0P	5438	877	2576	337	1340	423
E**	-6900	1741	-3900	790	-3900	790
D** 4.0P	5438	877	2576	337	1064	445
E**	-8400	2049	-4650	949	-4650	449
D** 3.0P	5438	877	2576	337	-497	550
E**	-10900	2553	-5900	1267	-5900	1267
D** 2.5P	5438	877	2576	337	-154	448
E**	-12900	2968	-6900	1417	-6900	1417
D** 2.0P	5438	877	2576	337	-1682	378
E**	-15900	3588	-8400	1731	-8400	1731

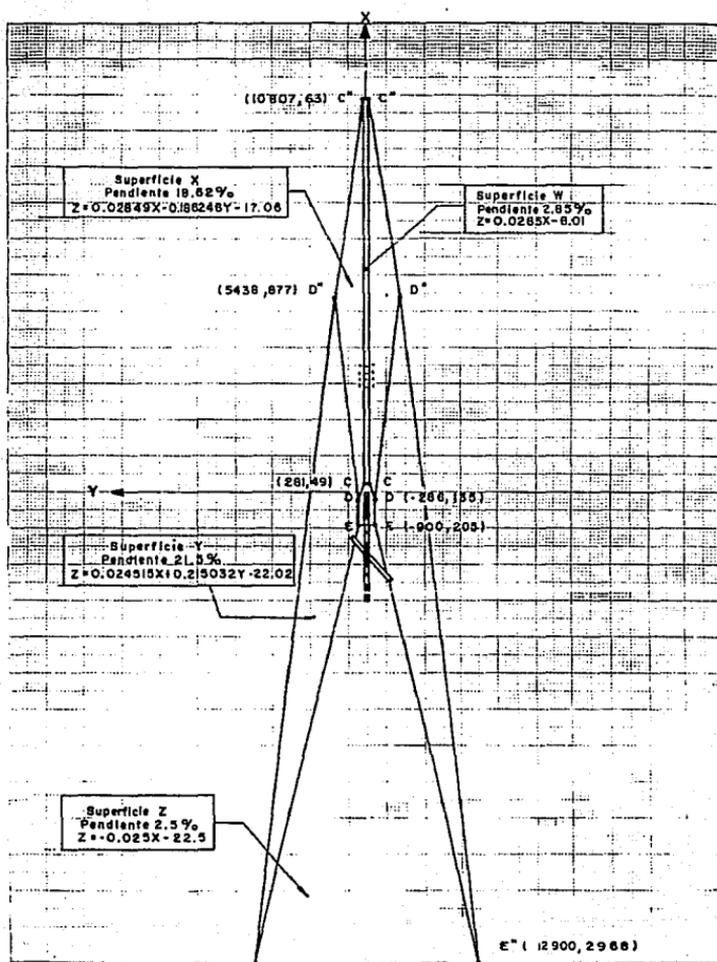
P = PORCENTAJE

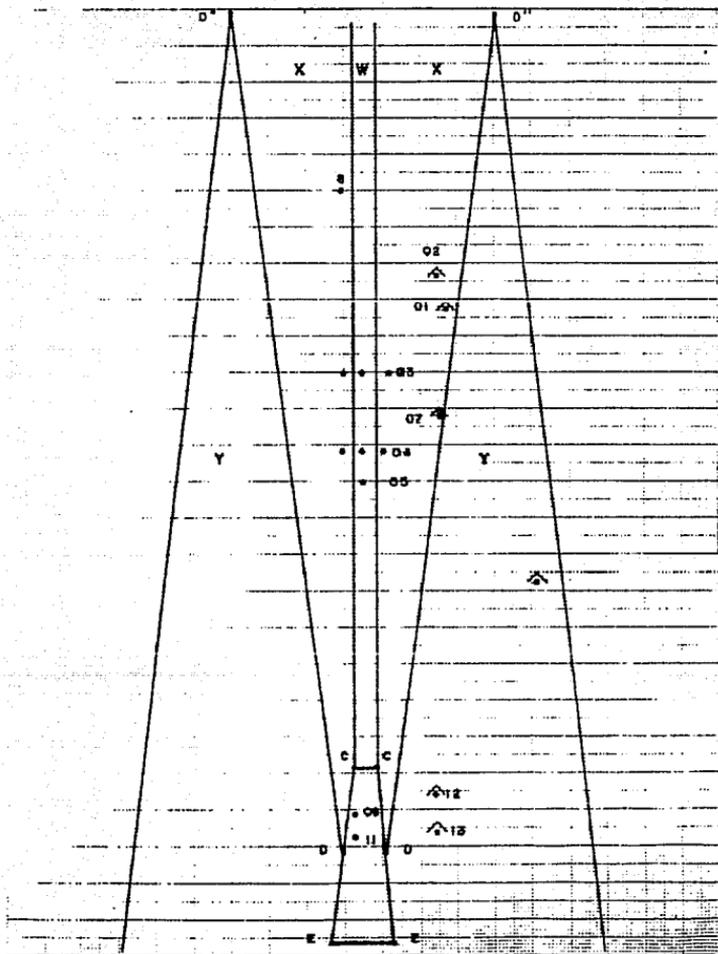
\*\* NOTA

LAS COORDENADAS C\*\* SON LAS DE LA PLANTILLA A UNA ALTURA DE 29,6 M O SEA, EN LA INTERSECCION DE LAS SUPERFICIES W Y W\* (UNICAMENTE CON PILOTO AUTOMATICO EN LA CAT II)

se obtiene lo siguiente:







A continuación se verificará la penetración de la OAS

Obstáculo 01

Superficie X

$$0.02849 (3400) + 0.186246 (+562) - 17.06 = 184 \text{ m} > 5\text{m}$$

No penetra.

Obstáculo 02

$$0.02849 (3650) + 0.186246 (500) - 17.05 = 76.1 \text{ m} > 6\text{m}$$

No penetra

Obstáculo 05

Superficie W

$$Z = 0.0285 - 8.01$$

$$Z = 0.0285 (2250) - 8.01 = 56.1 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

No penetra.

Obstáculo 12

Superficie Y

$$Z = 0.024515 x + 0.215032y - 22.02$$

$$0.024515 (93) + 0.215032 (460) - 22.02 = 79.17 \text{ m} > 5\text{m}$$

No penetra.

Los demás valores se indican en la tabla.

Ningún obstáculo del área de aproximación penetra; ahora se revisarán los obstáculos de la aproximación frustrada; mismos que habrá que evaluar con cuidado pues son los de mayor elevación:

$$z = 0.025 x - 22.5$$

.230

#### Obstáculo 15

$$0.025 (9843) - 22.5 = 223.6 \text{ m} < 226 \text{ m} \text{ penetra}$$

#### Obstáculo 17

$$0.025 (12,030) - 22.5 = 278.25 > 200 \text{ m} \text{ No penetra}$$

El obstáculo 15 penetra la superficie "Z"; para determinar si esta obstrucción es crítica OACI propone un método analítico con el cual es posible considerar al obstáculo en la aproximación fallida como un obstáculo equivalente localizado en la trayectoria de aproximación; para poder evaluar si este reparcure en el aumento de los mínimos de descenso o no.

Este análisis se efectuará en la siguiente fase.

#### Fase 4

División entre los obstáculos de aproximación y aproximación frustrada para el cálculo de la OCA/H

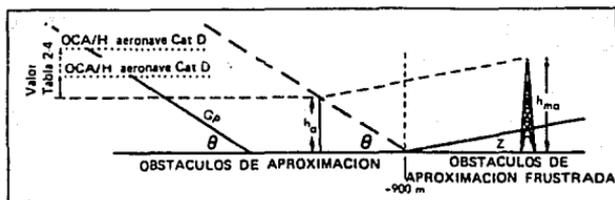
Los obstáculos que se toman en cuenta se dividen en dos tipos: obstáculos de aproximación (aquellos que están entre el FAP y 900 m después del umbral) y los obstáculos de aproximación frustrada (todos los que se encuentran dentro del tramo de precisión)

El obstáculo 15 (de aproximación frustrada) penetra la superficie Z; el Doc. 8168 proporciona un método mediante el cual la altura del obstáculo se reduce a una altura de un obstáculo en aproximación equivalente; esta se calcula con la fórmula:

$$h_a = \frac{h_m \cot Z + (900 + X)}{\cot Z + \cot \theta}$$

en la cual:

- ha = altura del obstáculo equivalente de aproximación
- hma = altura del obstáculo de aproximación frustrada
- $\theta$  = ángulo de la trayectoria de planeo
- Z = ángulo de la superficie de aproximación frustrada
- X = distancia del obstáculo relativa al umbral  
(negativa después del umbral)



A) El valor obtenido ( $h_a$ ) se le añade un valor de margen de pérdida de altura/altímetro (HL) expuesto en la tabla 21-4 del Doc. 8168 Vol. II parte III (1a. edición). Estos valores se calculan para aeronaves que utilicen procedimientos manuales de interrupción del aterrizaje después de alcanzar la OCA/H en la trayectoria de aproximación establecida; los valores se deben corregir si la altitud del aeropuerto excede de 900 m (3000 pies) en 2% de incremento por cada 300 m (1000 pies) de elevación y en 5% por cada  $0.1^\circ$  de aumento del ángulo de la trayectoria de planeo por encima de  $3.2^\circ$ .

Categoría de Aeronave	Margen con radio altímetro (ILS Cat II)		Margen con baroaltímetro (ILS cat I)	
	M	pies	m	pies
A	9	30	38	125
B	16	52	42	138
C	21	69	44	144
D	25	82	46	151
E	33	108	50	164

$$OCH = h_a + HL$$

#### OCA/H

Para el ejemplo que se está diseñando, el obstáculo 15 (un edificio de 226 m de alto) penetra la superficie  $Z$  (la altura de la OAS en ese punto es de 223.6 m) por lo que se procede a calcular la altura del obstáculo en aproximación equivalente.

$$n_a = \frac{226 \left( \frac{1}{0.025} \right) + 900 + (-9843)}{\frac{1}{0.025} + \cot 3^\circ} = \frac{9040 - 8943}{40 + 19.081}$$

$$h_a = 1.64 \text{ m} \\ (5.38')$$

Y como ningún obstáculo en aproximación penetra a las superficies, la OCA/H se calculará en base a este obstáculo sumándole el margen correspondiente.

#### Fase 6

Por lo tanto la OCH para cada categoría es:

$$\text{OCH} = h_a + H_L$$

Cat.	OCH (m)	OCH (pies)
A	$1.64 + 38 = 39.64 \text{ m}$	$5.4 + 125 = 130.4'$
B	$1.64 + 42 = 43.64 \text{ m}$	$5.4 + 138 = 143.4'$
C	$1.64 + 44 = 45.64 \text{ m}$	$5.4 + 144 = 149.4'$
D	$1.64 + 46 = 47.64 \text{ m}$	$5.4 + 151 = 156.4'$

#### Fase 5 Tercer método - Modelo de riesgo de colisión (CRM)

Quando la densidad de obstáculos es tal que se considera que es conveniente revisar la OCA/H obtenida en la fase anterior se procede a utilizar el modelo de riesgo de colisión el cual como se dijo en el capítulo 4, es un programa de computadora elaborado por OACI, que calcula el riesgo de chocar con cada obstáculo individualmente y para todos los obstáculos en general al realizar el procedimiento de aproximación ILS.

Con los datos de localización de los obstáculos, sus alturas y las características del ILS (categoría, ángulo de la trayectoria de planeo, distancia Localizador-umbral y pendiente de aproximación frustrada) se completa un formato de solicitud que se envía a OACI para utilizar el (CRM).

Los resultados remitidos son las OCH para cada trayectoria y el riesgo de colisión el cual debe ser inferior a  $1 \times 10^{-7}$

Para el caso de nuestro ejemplo no se utilizará este método pues la densidad de obstáculos es muy baja.

### Fase 6 Cálculo de la altitud de decisión (DA/H) /altura

Al describir los espacios aéreos se mencionó que al OCA/H es necesario - añadir un margen o límite inferior descrito en el Anexo 6 para la obtención de la altura de decisión; la cual en ningún caso ha de ser menos de 200' para la Categoría I y de 100' para la categoría II.

Cat	OCH m (ft)	Margen	DH	DA
A	40 (131)		(200')	(216')
B	44 (144)		(200')	(216')
C	46 (150)		(200')	(216')
D	48 (157)		(200')	(216')

### Fase 7 Situación de las balizas OM y MM

Se supone una ubicación de 9260 m (5 M.N.) desde el umbral para el OM y de 880 m para la MM (de conformidad con el anexo 10).

El anexo 10 recomienda la instalación del OM a 3.9 MN desde el umbral - pero en este caso no es posible pues quedaría dentro de la laguna por - lo que se escoge 5 MN para la ubicación del marcador exterior.

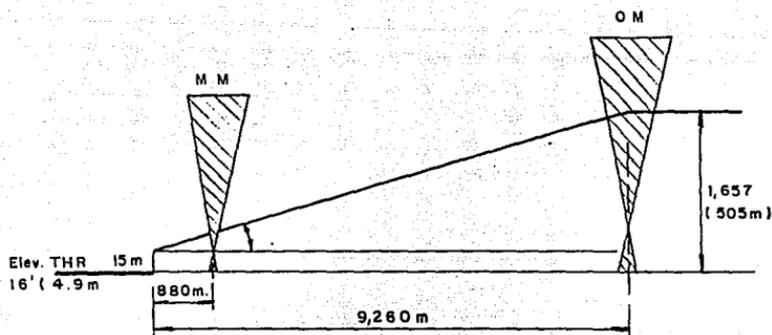
### FASE 8

Altura de la trayectoria de planeo por encima de la OM y MM.

El ángulo de la trayectoria de planeo es de 30°

$$\tan 3.0^\circ = 0.052 \text{ (pendiente de descenso del 5.2\%)}$$

La altura de la trayectoria de planeo por encima de la OM es



$$15 + 9260 \tan 3^\circ = 500.3 \text{ m (1641 pies)}$$

La altitud es 505.2 m MSL, 1657 pies MSL

La altura de la trayectoria de planeo en el MM es:

$$15 + 880 \tan 3^\circ = 61.1 \text{ m (201 pies)}$$

La altitud es 66 m = 217 pies

#### Fase 9 Alineación

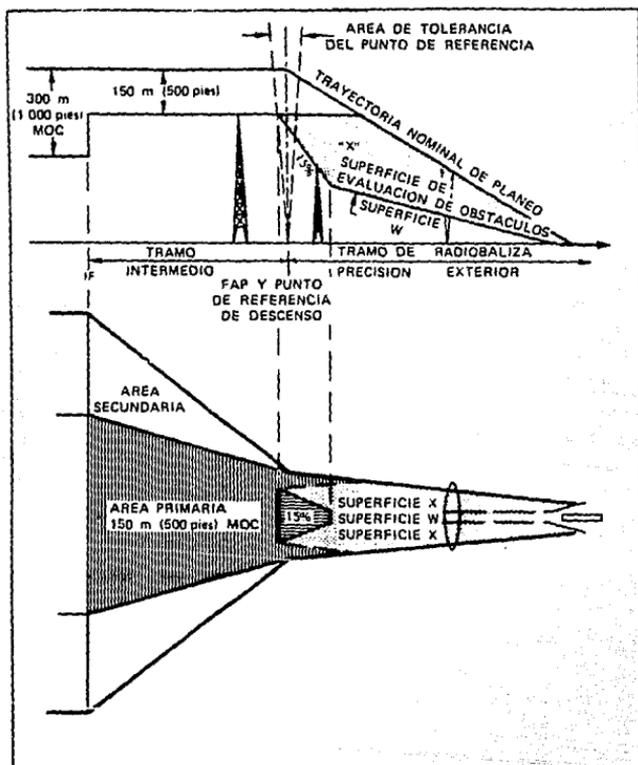
La línea de rumbo del LLZ se centra en el eje de la pista, marcación -- magnética  $281^\circ$

#### Fase 10

Planificación de los tramos inicial e intermedio

El Doc. 8168 indica que el tramo intermedio estará alineado con el rumbo del localizador y que su longitud óptima es de 5 MN; termina en el FAP - (punto donde se intercepta la trayectoria del localizador) comienza en el IF.



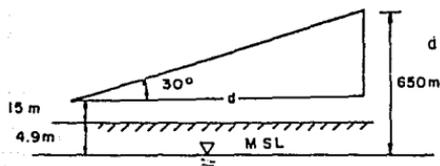


El ancho que tiene la superficie OAS en el FAP se calcula a partir de -  
la ecuación de la superficie "X"

$$Z = 0.0284 X + 0.1862 Y - 17.06$$

$$Y = \frac{Z - 0.0284 X + 17.06}{0.1862}$$

Revisando la carta topográfica nos damos cuenta de que no hay obstáculos importantes en el tramo de aproximación intermedio; (zona ensanchada) se pretende establecer una ruta de llegada desde el NDB San Marcos (este - funcionaría como fijo de aproximación inicial IAF); existe un cerro de - 350 m de altitud, se le añade un MOC de 300 m dándonos una altura de - 650 m MSL; por lo tanto si esta altura se mantiene, el FAP deberá ubicarse a:



$$d = \frac{650 - 4.9 - 15}{\tan 3^\circ}$$

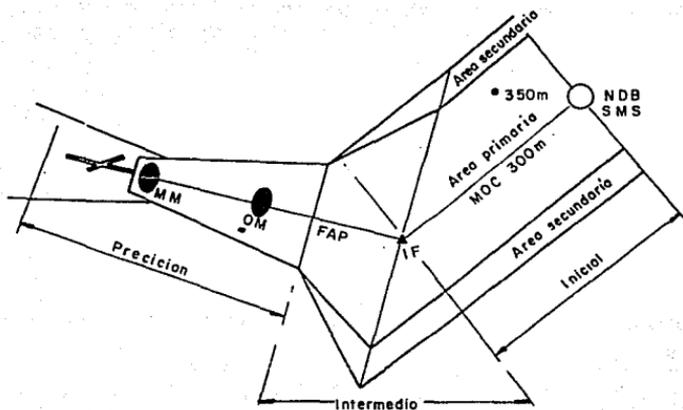
$$= 12,023 \text{ m}$$

(6.5 MN desde el umbral) Se instalará un NDB en esta posición; como la distancia entre el OM y el FAP es de 1.5 MN, se decide instalarlos juntos.

El semiancho de la superficie en este punto será de:

$$y = \frac{645.1 - 0.02849 (12,023) + 17.06}{0.186246} = 1716 \text{ m}$$

El IF se localizará a  $6.5 + 5 = 11.5$  MN del umbral (21,298 m)



### Fase 11

#### Aproximación frustrada

Se diseñará en línea recta puesto que el obstáculo de 226 m es el único que penetra la superficie "Z" y ya se consideró para la obtención de la OCA/H del procedimiento.

Se puede establecer un patrón de espera sobre el VOR de Acapulco y diseñar la aproximación fallida en línea recta y luego con un viraje dentro de 10 M.M. al VOR para establecer en el patrón o bien diseñar un patrón sobre un fijo DME en una radial del VOR esto resultaría muy sencillo si se establece sobre el mar pues no habría obstáculos a considerar.

### Fase 12

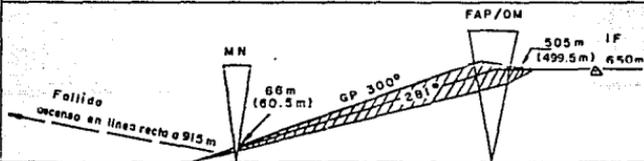
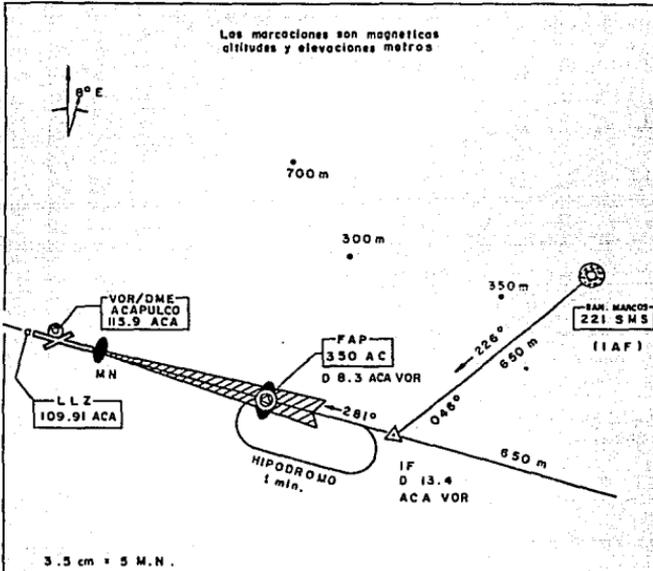
#### Carta de aproximación por instrumentos

Con el formato sugerido por OACI la carta para el procedimiento quedaría de la siguiente manera:



ACAPULCO TWR 118.5  
ACAPULCO App 119.9

ACAPULCO/JUAN N. ALVAREZ  
I L S 28



OCA (m)					DISTANCIA AC - MM B.38 Km.						
	Cat A	Cat B	Cat C	Cat D		100	150	200	250	300	350
Cat I	45.5	49.5	51.5	53.5	Velocidad (km/h)	100	150	200	250	300	350
OCH	40	44	46	48	Tiempo m: s	5:01	3:21	2:31	2:00	1:40	1:28
					Velocidad Vert. m/s	1.5	2.2	2.9	3.6	4.4	5.1



**Cuadro comparativo entre el procedimiento ILS publicado en el PIA  
(manual TERPS) y el recién diseñado del Doc-8168**

Elemento	Procedimiento publicado	Doc - 8168
Curso del localizador	281°	281°
Angulo del GP	2.5°	3.0°
FAP	Fijo Lomas (14.08 km) de la cabecera	NDB AC (12.04 km)
OM	Fijo Lomas sin baliza	Baliza 75 mhz
Procedimiento de inversión. Altitud del Procedimiento	Viraje de procedimiento 2100' (64 m)	Viraje de hipódromo 650 m (2133')
DA (H) Altitud (altura) de decisión	216' (200') para todas las categorías y se - publica en la carta del PIA	216'(200') para todas las categorías pero la carta OACI no la publi ca.
OCA (H)	No se publica	La calculada para ca- da categoría
Longitud del tramo de aproximación intermedio	5 MN	5 MN
MOCA para el tramo de - aproximación inicial.	2100' (640 m)	650 m (2133')
Aproximación fallida	Sobre la radial 270° para evitar cerro de 195 m y edificio de - 226 m. Puesto que - el ángulo entre la - trayectoria directa y la R-270° es sólo de - 10° esta también es - una aproximación frus trada directa.	En línea recta pues -- los obstáculos de la - aproximación frustrada ya fueron calculados.

### Conclusión

En términos generales el procedimiento calculado no difiere del actualmente publicado; solamente se puede encontrar que la aproximación frustrada se puede efectuar en línea recta sin ningún cambio de derrota a diferencia del procedimiento actual en el que es necesario virar a interceptar la radial 270 del VOR de Acapulco para continuar el ascenso; el ángulo de  $10^{\circ}$  entre la prolongación del eje de la pista y esta radial no rebasa los  $15^{\circ}$  por lo que este procedimiento también se considera como ascenso en línea recta.

El obstáculo 15 interviene en la aproximación fallida en el procedimiento publicado; no así en el que se rediseñó con el Doc. 8168.

En el caso del NDB a la Pista 10 de Guadalajara, Jal. se concluyó que la localización actual de esta facilidad es equivocada si se debe cumplir con los requisitos de franqueamiento de obstáculos y de pendiente máxima de descenso; en la última enmienda del manual PIA el NDB/SNA ha sido retirado y en su lugar se designó la intersección Anita.

El procedimiento diseñado en esta tesis es válido para una nueva localización del NDB en el sitio propuesto.



**CAPITULO VI**  
**CONCLUSIONES**



## CAPITULO VI

### Conclusiones

Los espacios aéreos constituyen un elemento de suma importancia en el -- proyecto de un aeropuerto pues como se mencionó en capítulos anteriores puede ser el factor que apruebe o rechace una posible localización.

El Anexo 14 de la OACI constituye el documento básico para el diseño geométrico de un aeropuerto pero no el único; específicamente hablando no basta con analizar las superficies limitadoras de obstáculos (descritas en este Anexo 14) para garantizar el franqueamiento seguro de obstrucciones, especialmente si el aeropuerto será equipado con alguna radioayuda para la aproximación; en este caso es necesario revisar las áreas de -- protección que tendrán las aproximaciones, las salidas y las aerovías, -- proporcionando un MOC adecuado para cada tramo.

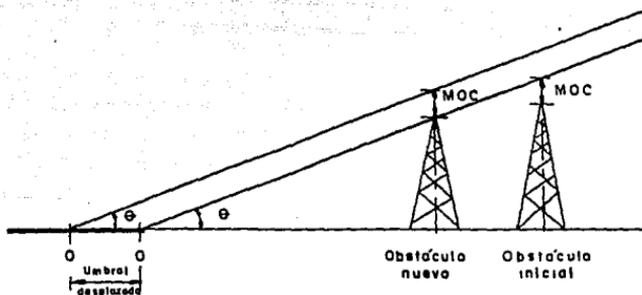
Estas consideraciones afectan directamente la operación del aeropuerto -- pues constituyen los procedimientos terminales básicos.

En el proyecto de un aeropuerto es necesario diseñar los procedimientos -- por instrumentos con los que ha de contar antes de que sea construído -- pues éstos incidirán directamente en la operación del mismo; el no realizar esto puede incluso ocasionar que una localización que cumpla completamente por Anexo 14 tenga que ser rechazada por no cumplir con los requisitos de PANS-UPS o de TERPS.

Los manuales TERPS (Terminal Procedures) de la FAA y los PANS-OPS (Procedures for air navigation services-aircraft operation DOC. 8168) de -- OACI no son documentos aislados, ambos se complementan y deben de considerarse en el diseño de los procedimientos por instrumentos.

Por otra parte cuando ya está en operación el aeropuerto, el crecimiento -- de la zona urbana a la que éste sirve y la ubicación de nuevos obstáculos deberán regularse para que no penetren las superficies de identificación de obstáculos calculadas para los procedimientos y para que no obstaculice el desarrollo futuro del propio aeropuerto; por ejemplo el aeropuerto-

de la ciudad de México enclavado actualmente en una zona altamente urbanizada, está impedido de expandirse y la construcción de nuevos obstáculos no contemplados inicialmente, como edificios nuevos, antenas etc., ha obligado a modificar varias veces la posición del umbral de la pista US Derecha para poder seguir cumpliendo con los requisitos operacionales de franqueamiento de obstáculos establecidos; así actualmente el umbral se localiza a 750 m de la cabecera física de la pista, elevándose además los mínimos de descenso establecidos anteriormente.



MOC.- Margen mínimo de franqueamiento de obstáculos.

Los aeropuertos constituyen elementos vitales de la infraestructura moderna del transporte; deben operar en condiciones de seguridad y eficiencia. El estudio cuidadoso y técnico de los espacios aéreos es imprescindible para lograr las metas de seguridad y eficiencia en la operación de un aeropuerto. Por lo tanto los ingenieros civiles (especialistas en Aeropuertos) deben familiarizarse con los procedimientos para el análisis de los espacios aéreos así como con las reglamentaciones que éstos - deben cumplir y comprender claramente los fundamentos de estos requisitos, para estar en posibilidad de diseñar junto con un grupo multidisciplinario aeropuertos que respondan a la demanda del público.

Hermoso binomio: aviación e ingeniería. Sueños realizados del hombre - en su afán de dominio del espacio.



**GLOSARIO DE ABREVIATURAS AERONAUTICAS  
UTILIZADAS EN ESTA TESIS**

ADF	(Automatic Direction Finder).- Buscador Automático de Dirección.
APP	(Approach Control).- Control de aproximación.
ASDA	(Accelerate Stop Distance Available).-Distancia de aceleración - parada disponible.
COP	(Change over point).-Punto de cambio.
CRM	(Collision Risk Model).- Modelo de Riesgo de colisión.
CTA	Control de Tránsito Aéreo.
C/L	(Center Line).-Eje.
DA/H	(Decision Altitude / Height).- Altitud / Altura de Decisión.
DER	(Departure End of Runway).- Cabecera de salida de la pista.
DME	(Distance Measuring Equipment).- Equipo Medidor de Distancia.
DR	(Death Reckoning).- Tramo de Navegación a estima.
FAA	(Federal Aviation Administration).- Administración Federal de - Aviación.
FAF	(Final Approach Fix).- Fijo de Aproximación Final.
FAP	(Final Approach Point).- Punto de Aproximación Final.
ft	(feet).- Pies.
GAP	Punto de Pérdida de gufa de navegación.
GP	(Glide Path).- Trayectoria de planeo.
G/S	(Glide Slope).- Pendiente de planeo.
HL	(Height Loose).- Pérdida de altura.
IAF	(Initial Approach Fix).- Fijo de Aproximación Inicial.
IAS	(Indicated Air speed).- Velocidad Aérea indicada.
IF	(Intermediate Fix).- Punto de referencia de aproximación intermedia.
IFR	(Instrument Flight Rules).- Reglas de Vuelo por Instrumentos.
ILS	(Instrument Landing System).- Sistema de Aterrizaje por instrumen <u>t</u> os.
ISA	(International Standard Atmosphere).- Atmosfera tipo internacional.
LLZ	(Localizer).- Localizador.

LOC	(Localizer).- Localizador.
MAPt	(Missed approach Point).- Punto de Aproximación fallida.
MDA/H	(Minimum Descent Altitude / Height).- Altitud / Altura mínima - de descenso.
MLS	(Microwave Landing System).- Sistema de Aterrizaje por Micro - ondas.
MM	(Middle Marker).- Marcador Medio.
MOc	(Minimum obstruction Clearance).- Libramiento mínimo de obstáculos.
MSA	(Minimum Sector Altitude).- Altitud mínima de sector.
MSL	(Mean Sea Level).- Nivel medio del mar.
NDB	(Non Directional Beacon).- Radiofaro No direccional.
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional.
OAS	(Obstruction Assesment Surface).- Superficie de evaluación de - obstáculos.
OCA/H	(Obstruction Clearance Altitude / Height).- Altitud / Altura de franqueamiento de obstáculos.
OM	(Outer Marker).- Marcador exterior.
PANS-OPS	(Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations).- Procedimientos para los servicios de navegación aérea - Operación de aeronaves.
RWY	(Runway).- Pista.
SID	(Standard Instrument Departure).- Salida Codificada por Instrumen <u>t</u> os.
SOC	(Start of Climb).- Comienzo del Ascenso.
TAS	(True Air Speed).- Velocidad Aérea verdadera.
TDZ	(Touch Down zone).- Zona de Toma de contacto.
TERPS	(Terminal Procedures).- Procedimientos Terminales.
THR	(Threshold).- Umbral.
TODA	(Take-off Distance Available).- Distancia disponible de despegue.
TWR	(Tower).- Torre de Control.
VFR	(Visual Flight Rules).- Reglas de Vuelo Visual.
VHF	(Very high Frequency).- Muy Alta Frecuencia.
VOR	(VHF Omnidirectional Range).- Radio faro omnidireccional VHF.

**BIBLIOGRAFIA**

- Procedimientos para los servicios de (PAN-OPS) navegación aérea.- Operación de aeronaves  
Doc. 8168 (OACI)  
Volumen I Tercera edición 1986  
Volumen II Primera edición 1979
  
- Manual de construcción de procedimientos de vuelo por - instrumentos (OACI)  
Doc. 9368 - AN/911  
Primera edición - 1983
  
- Normas y métodos recomendados internacionales AERODROMOS  
Anexo 14 OACI
  
- Síntesis y traducción de los manuales de procedimientos terminales (TERPS) DOC. F.A.A. No. 8260.3 y del manual de patrones de espera Doc. F.A.A. 7130.3  
  
Unidad de actualización profesional del Colegio de -  
Pilotos Aviadores de México
  
- Técnicas de proyectos y construcciones de aeropuertos SCT.
  
- Curso Internacional de Ingeniería de Aeropuertos  
Módulo I Proyecto.

- Proyecto ejecutivo de aeropuertos  
Tesis profesional de Cecilia Rosas Zambrano
  
- Plan maestro del aeropuerto internacional de Acapulco, Gro.  
Aeropuertos y Servicios Auxiliares 1983
  
- Plan maestro del aeropuerto internacional de Guadalajara, Jal.  
Aeropuertos y Servicios Auxiliares 1983
  
- Manual de Publicaciones de Información Aeronáutica  
SCT (México)
  
- Manual de publicaciones de información aeronáutica  
Jeppesen - Sanderson (EUA)