



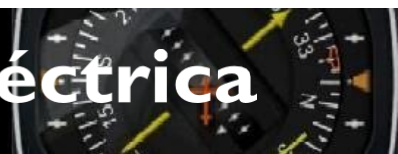
**COMUNICACIONES
Y SISTEMAS
RADIOELECTRICOS
PARTE III**

Índice

Equipos de navegación radioelectrica.....	4
Introducción y concepto de radiogoniometría	4
Sistema NDB/ADF	4
Principio de funcionamiento	4
Equipo de tierra, NDB (Radiofaro no direccional)	5
Equipo de abordó. ADF (Buscador Automático de Dirección)	6
Sistema de antenas	7
Receptor	8
Servoamplificador:	9
Indicadores:	9
Errores del sistema NDB/ADF.....	10
Sistema VOR	11
Introducción	11
Estación terrestre	12
Funcionamiento	13
Estación de abordó.....	14
Antena	14
Receptor	15
Indicadores	15
DME - Equipo medidor de distancia	18
Estación terrestre	18
Funcionamiento	18
Estación de abordó.....	19
Antena	19
Transmisor-receptor.....	20
Indicadores	20
ILS – Sistema de aterrizaje instrumental	21
Equipo terrestre	21
Transmisores localizadores	22
Transmisores de Senda de planeo.....	23
DME	25
Marcadores	25

Sistemas de Iluminación de Pista	26
Categorías y mínimos de aproximación	28
Equipos de abordó	29
CDI/HSI	29
Marker Beacons.....	30
Sistemas modernos de navegación	31
Radares.....	32
Componentes Terrestres Básicos.....	33
Tipos de Radar	35
Radar de Vigilancia en Ruta / AIR ROUTE SURVEILLANCE RADAR (A.R.S.R.)	36
Radar de Vigilancia Terminal / TERMINAL SURVEILLANCE RADAR (T.S.R.)	36
Radar de Vigilancia de Aeródromo / AERODROME SURVEILLANCE RADAR (A.S.R.)	36
Radar de Precisión o PAR (Precision Approach Radar).....	36
Radar Secundario / Secondary Surveillance Radar (SSR)	37
Indicador de Movimientos en Superficie / Airfield Surface Movement Indicator (A.S.M.I.).....	38
Digital Bright Radar Indicator Tower Equipment (D-BRITE)	38
Limitaciones de los sistemas de radar.....	38
Transponder	39

Equipos de navegación radioeléctrica



Introducción y concepto de radiogoniometría

Según la OACI, recordemos, que es la radiodeterminación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto.

Básicamente, podremos considerar a la radiogoniometría, como la medición de ángulos gracias a la recepción de ondas de radio, constando de una serie de técnicas que nos proporcionarán ayudas a la navegación.

Desde que se inventó la radio, y se descubrieron las características de la propagación de las ondas radioeléctricas podemos utilizarlas para este fin. Yendo a un ejemplo práctico, cuando tenemos sintonizada una radio en AM de uso comercial, y queremos ver en qué dirección está ubicada la estación de radio que escuchamos sólo tenemos que mover la misma hasta encontrar el punto donde se escucha más fuerte.

Si, por otro lado, le ponemos una aguja que nos indique la dirección a través de un circuito eléctrico podríamos conocer la dirección hacia la estación que emite. Si, además, cambiamos la frecuencia y sintonizamos otra estación, obtendríamos otra dirección que al cruzarla con la anterior nos daría un punto. Es aquí donde podremos determinar, con cierto margen de error, que en ese punto estaremos ubicados nosotros. Entonces, si además de conocer la dirección pudiéramos determinar con otro circuito u otra artimaña el sentido desde donde viene la emisión, podríamos utilizar nuestro aparato como instrumento de navegación, o sea para ubicarnos en el espacio o para navegar hacia o desde la emisora.

A lo largo del presente documento, podremos ver los distintos sistemas de radioayudas para la navegación.

Sistemas NDB/ADF



Principio de funcionamiento

Su funcionamiento se basa en la determinación de la dirección de llegada de las ondas electromagnéticas emitidas desde un transmisor en tierra (NDB), cuya posición es conocida. La sigla NDB viene del inglés “Non Directional Beacon” o, según su traducción

al español, Radiofaro No Direccional, el cual deriva de los primitivos sistemas de navegación de la segunda guerra mundial.

En esencia, el NDB es nada menos que una emisora AM, la cual emite una única señal, uniforme en todas las direcciones, no conteniendo información de la dirección en sí.

La composición general del sistema consta de dos partes bien diferenciadas:

1. Equipo de tierra: NDB (Non-Directional Beacon)
2. Equipo de abordo: ADF (Automatic Direction Finder)

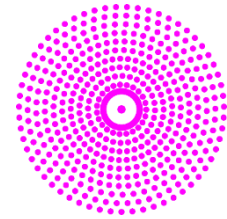
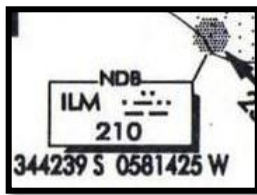
El ADF constituye un apoyo a la navegación que opera en las bandas de LF y MF, recibiendo las señales emitidas por los NDB en onda terrestre. Este, basa su navegación con estaciones de tales como NDB, radiobalizas, radiofaros, LORAN y emisoras de radio comerciales en AM (BROADCASTING).

Equipo de tierra, NDB (Radiofaro no direccional)

Consiste en un equipo emisor de LF o MF y un sistema de antenas instaladas en tierra. Según la OACI, a través del anexo 10, la banda de operación de uso aeronáutico se ha fijado entre los 190 Khz y los 1750 Khz, aunque, cabe aclarar que, en nuestro país su uso se encuentra concentrado entre los 200 Khz y los 400 Khz, además, debemos tener en cuenta que existen radiobalizas que son de uso marítimo, las cuales se comprenden entre los 100 y 200 Khz por un lado y entre los 410 y los 850 Khz por otro. Conjuntamente, contamos, a la vez con el servicio de broadcasting (radio comercial AM) que en nuestro país va desde los 535 Khz a los 1705 Khz.

Estas radioayudas transmiten una portadora continua, con una modulación de 400 Hz o 1020 Hz que provee la identificación en código morse y cada 30 segundos; excepto durante las modulaciones de voz. El propósito operacional para el cual son instaladas estas radioayudas, determina la potencia de salida y su clasificación.

*NDB de
Quilmes con
su frecuencia
y respectivo
código morse*



*Símbolo del
NDB que se
puede
encontrar en
las cartas de
navegación*

De acuerdo a su función y potencia de emisión, los NDB se clasifican de la siguiente manera:

1. NDB-T o Radiofaro Terminal.

- a. Compass locator o Radiobaliza de localización. Utilizados como radiobalizas en las aproximaciones a los aeródromos. Potencia 25 W: Alcance Típico 15 NM. Identificación en 400 Hz.



NDB-T doble (principal y stand by) instalado junto a un NDB de tipo H

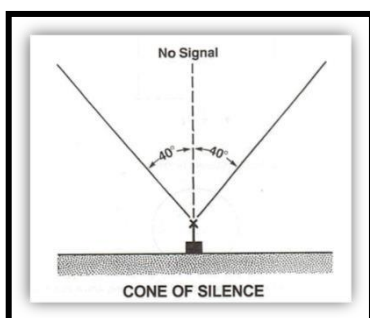
2. Radiofaros en Ruta.

NDB-HH el cual utiliza una antena vertical suspendida por cables transversales sujeto entre dos torres simétricas.



- a. NDB – MH (Medium Homing) Potencia: Menos de 50 W. Alcance Máximo: 50 NM
- b. NDB – H (Homing) Potencia: Más de 50 W y menos de 2000 W. Alcance Mínimo: 50 NM
- c. NDB – HH (High Homing) Potencia: Más de 2000 W. Alcance mínimo: 75 NM. Normalmente son utilizados en islas para vuelos transoceánicos.

Una particularidad que se debe tener en cuenta, es que este tipo de sistemas tendrán lo que se denomina, un “cono de silencio” o de ambigüedad, el cual según la OACI no



puede extenderse más allá de 40° a cada lado desde la estación. En cuestiones prácticas, esta zona no suele superar los 10°. Cuando una aeronave sobrevuela vertical a la estación, en los instrumentos indicadores veremos una variación significativa no confiable, hecho que nos estará indicando que nos encontramos sobre el mismo.

Jeppesen Radio Navigation JAA ATPL Training, 2004, Capítulo 3, pág 3-4.

Equipo de abordó. ADF (Buscador Automático de Dirección)

Como ya se han mencionado anteriormente, el uso del ADF radica en su capacidad para determinar automáticamente la marcación magnética del avión con respecto a cualquier estación que opere dentro de la gama de sensibilidad y frecuencias del equipo.

La oscilación total de la aguja no debe exceder 20° ($\pm 10^\circ$) del QDM (Rumbo de interceptación) de interceptación en ruta, y durante una aproximación baja por ADF, no debe exceder 10° ($\pm 5^\circ$) del QDM de interceptación.

Para que esto sea posible, es necesaria la instalación a bordo de un equipo que consta de cuatro componentes:

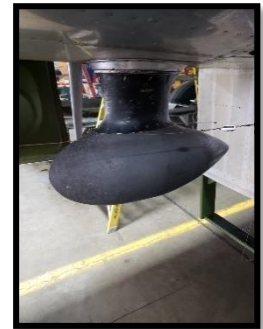
1. Sistema de antenas.

2. Receptor.
3. Servoamplificador.
4. Indicador.

Sistema de antenas

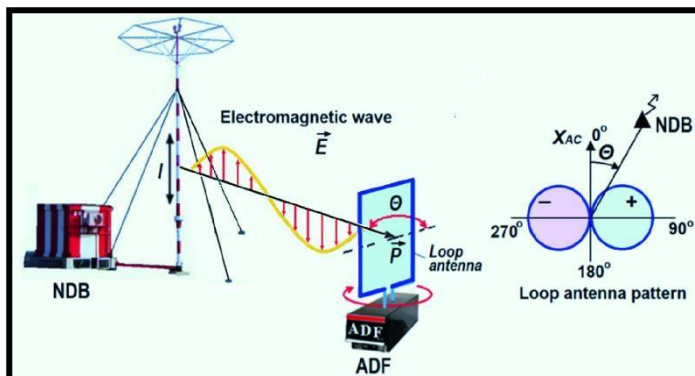
Antena de cuadro, Loop o direccional

La antena direccional recibe la señal de la estación emisora con un máximo de señal cuando su plano está situado paralelo a la dirección de propagación del campo electromagnético generado por la estación emisora. Conforme la antena va girando, desde su posición paralela a la propagación de las ondas, la intensidad de las líneas de flujo que llegan a ella irá disminuyendo gradualmente, hasta alcanzar un mínimo de señal cuando se encuentre perpendicular a la dirección de señal de tierra.



Antigua antena loop instalada en un C-47 de la Segunda Guerra Mundial

Esta antena se orientará automáticamente, hasta encontrar el mínimo de señal, mediante un transmisor Autosyn, Antiguamente la antena "Loop" se operaba a mano



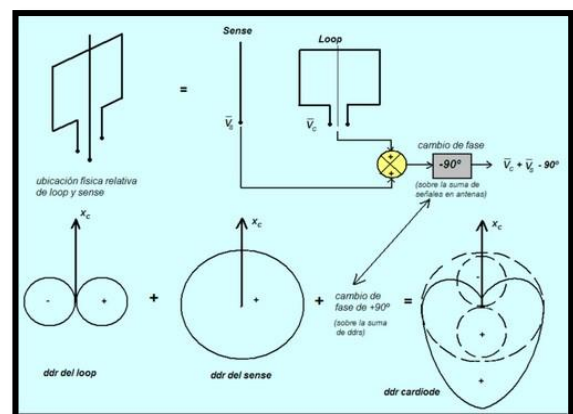
mediante un conmutador con el objeto de determinar la posición del nulo. Este tipo de navegación se denomina RDF.

La antena "Loop", en un giro de 360°, recibirá dos máximos y dos mínimos de señal, con lo que será posible determinar la dirección de llegada de las ondas electromagnéticas, o lo

que es lo mismo, la dirección en la que se encuentra la estación, pero, no será capaz de determinar el sentido. Este defecto se llama "Ambigüedad de 180°".

Antena de sentido o sensitiva

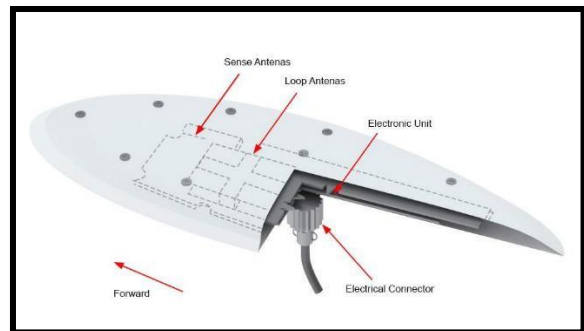
La misión de la antena de sentido consiste en despejar el error de ambigüedad que tiene la antena "Loop". Cuando las señales de la antena "Loop" y la antena de sentido se suman, resulta que una de las posibles posiciones de la primera desaparece. Queda pues, tan solo una posición que indicará el sentido de la estación emisora. Se ha logrado con



esta suma la determinación de la dirección y el sentido en el que se encuentra la estación de tierra.

En el gráfico de arriba podemos observar que, la suma de los dos diagramas de recepción de las antenas, para un giro de 360°, da como resultado una curva cardioide o de corazón.

Esta antena puede instalarse tanto en el interior como en el exterior de la aeronave. Si va colocada en el exterior, dicha antena va desde un aislante en cabina hasta el estabilizador vertical de cola. Actualmente existen sistemas que eliminan las antenas separadas y utilizan una antena única que cumple las dos funciones.



Receptor

Existen diferentes tipos de equipos receptores. Algunos de ellos se encuentran integrados al sistema de control que tendrá el personal de abordó y algunos tendrán el receptor aislado de la caja de control. Básicamente, esto depende del espacio disponible en cabina, complejidad del sistema y costos. Este equipo es quien utiliza la información proveniente de las antenas para direccionarlas a través de autosyn y luego enviar la información al sistema indicador.

Sistema receptor y control remoto separados de Collins



Funciones de control de los equipos ADF

Si bien las funciones de las cajas de control suelen variar en base al fabricante y la antigüedad de los equipos, nos encontraremos, en la mayoría de los casos con las siguientes:



- **TEST:** Con una frecuencia correctamente selectada y activa, cuando lo presionamos, mueve la aguja de su indicación, desplazándola generalmente, hasta quedar “acostada”. Al soltarlo, debería volver a indicar la estación.
- **ADF:** Debemos utilizarlo, cuando queremos que la aguja indique automáticamente la información de rumbo. (En frecuencias consideradas SHORT RANGE se escuchará el audio).
- **BFO (Beat Frequency Oscillator):** Debemos utilizarlo cuando deseamos recibir Indicación + código morse identificatorio (se utiliza para identificar correctamente frecuencias consideradas LONG RANGE).
- **ANT (Abreviatura de Antena):** Únicamente es utilizada la antena de sentido + Identificación. Esto mejora la calidad del audio, pero no permite dar indicación de rumbo.

Servoamplificador:

La función del Servoamplificador consiste en amplificar los débiles impulsos eléctricos que llegan a las antenas y transmitirlos, por medio del receptor a los indicadores, debido a que esta energía no sería suficiente para conseguir que las agujas del indicador ADF se desplace.

Indicadores:

Los indicadores de ADF proporcionan, respecto del NDB sintonizado, información de marcación relativa y magnética con relación al eje longitudinal del avión. Los elementos básicos son:

- Rosa de los rumbos: pudiendo ser de **cartilla fija**, en donde la marcación cero grados representa la nariz del avión, o de **cartilla móvil**, en los cuales se representan los rumbos magnéticos del avión. Esta última puede ser desplazada manualmente, o a través de un sistema automático asociado a los magnetómetros de la aeronave.
- Marca fija de referencia: Símbolo de la aeronave en planta, centrado y apuntando hacia arriba.
- Señalador: Aguja móvil, indicadora sobre la rosa de los rumbos. La misma siempre apuntará hacia la estación, independientemente de la rosa de los rumbos que posea.
- Bandera de falla: Asociada a fallas en el sistema o falta de suministro eléctrico.

Respecto a estas variantes podremos encontrarnos con 3 tres tipos de instrumentos:

1. RMI

2. RBI con cartilla fija
3. RBI con cartilla movable

RMI

El indicador radio magnético o RMI (Radio Magnetic Indicator) por sus siglas en inglés, es un indicador de rumbo, el cual, por lo general, tiene incluido 2 agujas que indicarán la ubicación de la estación que se seleccione. Las agujas están conectadas directamente a los equipos a bordo, pudiendo seleccionar, en algunos casos, desde donde se desea recibir la información. Es decir, si en ambas agujas queremos tener información de ADF o si queremos obtener ADF/VOR. Este sistema se alimenta de corriente alterna y como gran incorporación tiene un sistema giroscópico lo que facilita en la orientación de la aeronave con respecto a la rosa de los rumbos.



RBI con cartilla fija y RBI con cartilla movable

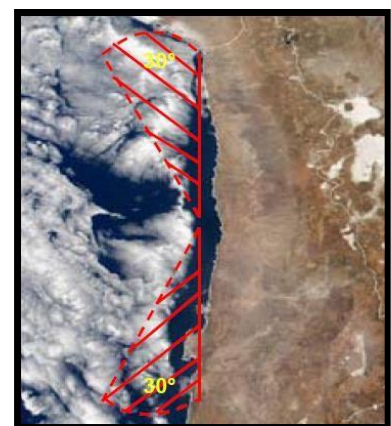


Son sistemas un poco más antiguos que el RMI, en la mayoría de los casos solo poseen una aguja, y a diferencia del RMI podemos encontrarnos con aquellos de cartilla fija y de cartilla manualmente rotables.

Errores del sistema NDB/ADF

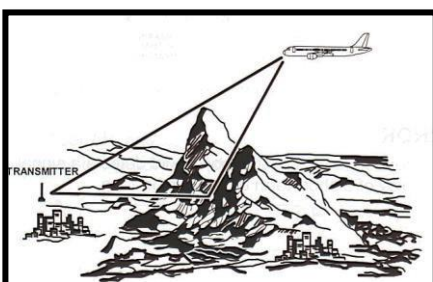
Efecto Nocturno: Producto de la variación de la capa ionosférica, las ondas que emite un NDB rebotan en ella y bajan a nuevamente distorsionadas.

Efecto de Costa: Al salir al mar las ondas cambian su dirección y aumentan su velocidad. Esto hace que tiendan a deflectarse. La zona confiable queda más allá de los 30° con respecto a la línea general de costa. Esto se aprecia mejor en la siguiente imagen.



Efecto de costa

Efecto de montaña

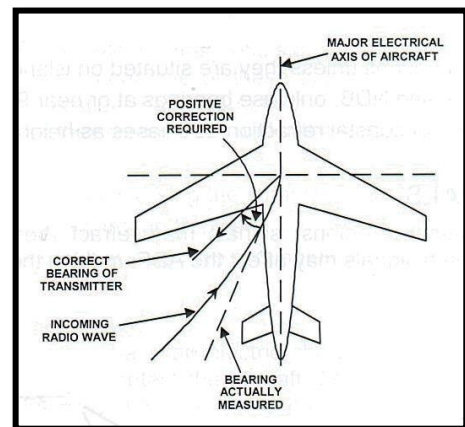


Efecto Montaña: Las ondas de radio se distorsionan al pasar por cerros, montañas, colinas altas, etc. La solución es volar más alto o sintonizar una estación más cercana.

Estática: Lluvias, tormentas, ruidos estáticos, nubes con electricidad, producen estática que se traduce en oscilación de la aguja. Para minimizar este efecto, se debe sacar el punto medio de las oscilaciones y asumir que esa es la indicación correcta.

Error de Profundidad: Cada vez que se inclinan las alas, la indicación de la aguja del ADF no es confiable. Por lo tanto, debe usarse sólo cuando se establezca vuelo recto y nivelado.

Error de Cuadrante o cuadrantal: Se produce por los campos magnéticos que se generan en el avión, como por ejemplo los motores, estática de los equipos, etc. Este error es corregido en parte, cuando personal especializado compensa el avión en tierra. Pero, siempre queda un pequeño error que se tabula y va a la vista del piloto en una Cartilla de Corrección.



Error cuadrantal

Sistema VOR

Introducción

El acrónimo VOR proviene del inglés VHF o Very High Frequency Omnidirectional Range, lo que traducido al español sería, Radiofaro omnidireccional de Muy alta frecuencia. Este sistema comienza a utilizarse durante la década del '60, aunque fue reconocido en 1949, luego de que se resolviera su estandarización a nivel global por la OACI como una radio ayuda de corto alcance (hasta 200 NM). En su momento, introdujo notables mejoras a los sistemas de navegación vigentes, aumentando la precisión de las indicaciones y reduciendo los errores que se presentaban, por ejemplo, con los NDB.

El sistema VOR se encuentra presente en tres radioayudas levemente distintas: VOR, VOR/DME, el cual será analizado más adelante, y en el VORTAC, el cual se encuentra asociado al sistema TACAN, de uso táctico militar. Por sí solo, el sistema VOR, provee información de rumbo magnético desde y hacia la estación.

El prefijo “omni” significa “todo”, y cuando nos referimos a omnidireccional en el sistema VOR, estamos diciendo que es una radio terrestre VHF, que proyecta líneas rectas desde la estación hacia todas las direcciones, llamadas radiales.

Es apropiado entonces, decir que un curso radial, es una línea de rumbo magnético extendiéndose desde la estación VOR. La distancia que pueden cubrir, dependerá de la potencia de salida del transmisor y serán identificados por números iniciando por el 001 y así, de manera progresiva hasta el 360, considerándose al mismo como el Rumbo Norte. Cabe aclarar, que la dirección de las estaciones a nivel global se encuentra estandarizada de la misma manera.

Estación terrestre

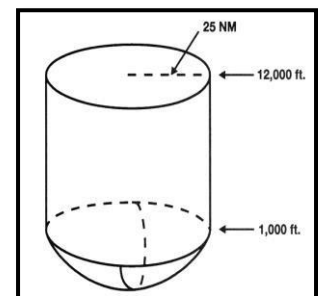
Las estaciones terrestres de VOR transmiten dentro de un rango definido de frecuencias, las cuales va desde 108,00Mhz hasta 117,95 Mhz. Debido a la particularidad del sistema de encontrarse dentro del rango VHF, la transmisión de la señal se verá limitada a la línea de vista (LOS según sus siglas en ingles). Por lo tanto, su rango variará, no solo



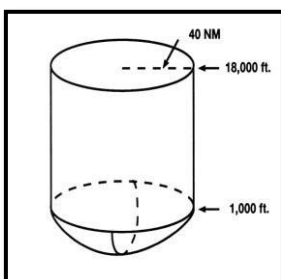
respecto a la potencia de salida del sistema, sino también por la altitud que posea el equipo receptor. Por lo general, el rango de recepción de las señales a una altitud de 1000 ft AGL es aproximadamente de entre 40 y 45 NM. Estos sistemas tienen una polarización horizontal.

Existen tres tipos de VOR clasificados dependiendo su uso operacional:

- VOR-T (Terminal) el cual va de 108,00 Mhz a 112,00 MHz en decimales pares (Por ej: 108,60 Mhz) Potencia: 50 Watt y tienen un alcance de 25 NM y 12.000 ft AGL.

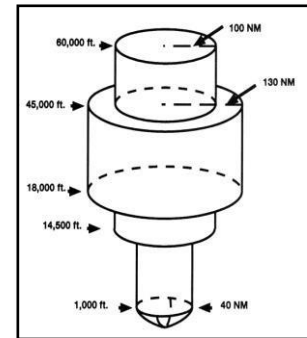


- VOR de Ruta



- ✓ VOR-L (Low altitude) el cual va de 112,00 Mhz a 114,0 MHz en decimales pares e impares. Potencia: 200 Watt aproximadamente y tienen un alcance de 40 NM a 18.000 ft AGL. Son utilizados para aerovías y aproximaciones altas. Imagen izquierda.

✓ VOR-H (High altitude) el cual va de 114,00 a 118,00 MHz en decimales pares e impares. Potencia: 200 Watt aproximadamente y tienen un alcance máximo de 130 NM a 45.000 AGL, 100 NM entre 14.500 - 18.000 ft y 45.000 – 60.000 ft AGL y 40 NM hasta 14.500 ft. Son los normalmente utilizados para las aerovías. Imagen derecha.

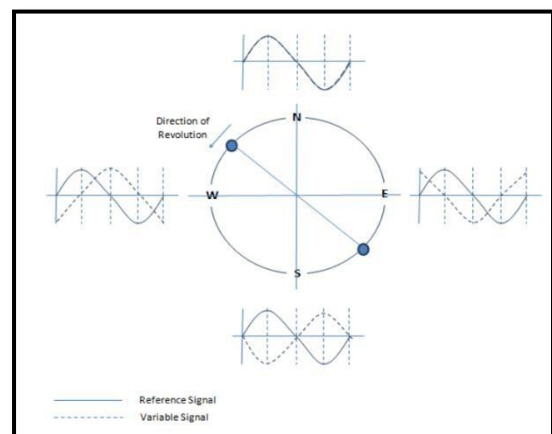


Funcionamiento

Para hacer una analogía respecto al modo de funcionamiento del VOR, podríamos decir que estamos parados en una posición con respecto al faro (señal giratoria o variable) de una isla que a su vez tiene una luz de color rojo (señal de referencia) que se enciende cada vez que el faro apunta al norte. Ahora, cuando nosotros vemos que se enciende la luz roja largamos el cronometro y el tiempo que el faro tarda en iluminarnos, nos estaría diciendo cual es nuestra posición con respecto al mismo.

El sistema de tierra irradia 2 señales en una frecuencia de 30 Hz, una giratoria direccional (en AM) que rota a razón de 30 vueltas por segundo (1800 RPM) y una fija o de referencia (en FM). Ambas señales poseen la misma frecuencia de portadora y por lo tanto son sintonizadas por un mismo receptor.

Las señales están sincronizadas para que ambas coincidan en su fase cuando la misma se encuentra en el Norte, la misma se encontrará 90° desfazada cuando se encuentre en el Este, 180° en el Sur y 270° en el Oeste, es decir que, la obtención de la información se logra a través de la comparación de fases, trabajo que realiza nuestra estación de abordó. Para comprender mejor este concepto veamos la imagen que se muestra a continuación.



Para una efectiva identificación, la estación transmite en frecuencia portadora una señal

Símbolo del VOR/DME de Córdoba con su respectivo código morse



en código morse, modulando en 1020 Hz las letras correspondientes al radiofaro, en algunos casos, la portadora, también puede transmitir, al igual que el código morse, información relativa a las condiciones meteorológicas o al estado del sistema. Se puede

escuchar al ritmo de 7 palabras por minuto, y al mismo se le puede agregar un punto final cuando la estación cuente con sistema de energía de respaldo, lo que no significa que el mismo sea el que esté operando, esto se debe repetir al menos una vez cada 30 segundos.

Al igual que el NDB, la estación VOR sufre de su cono de silencio o de ambigüedad en la vertical, pero en vez de hasta 40° la misma puede presentar hasta 50°, aunque nuevamente en la práctica no suele superar los 10°. La misma será reconocida por los indicadores de la aeronave, lo cual se explicará más adelante.

Por último, para concluir con la estación terrestre, existen dos generaciones de estaciones que se puede observar en las figuras. La segunda es conocida como D-VOR por VOR de tipo DOPPLER, el cual tiene un mayor grado de precisión que la primera generación y no sufre errores de rebote e interferencia. A diferencia de la primera generación que la señal variable trabajaba en AM, la segunda trabaja en FM, lo que le da menores niveles de interferencia, a los fines prácticos, estos cambios no interfieren sobre los sistemas de abordaje, entregando una precisión de $\pm 1^\circ$.



VOR tipo Doppler.

Estación de abordaje

El sistema de abordaje, a diferencia del ADF, cuenta con 3 componentes:

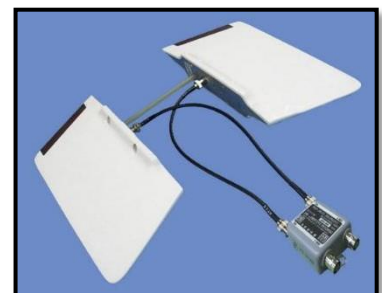
1. Antena.
2. Receptor.
3. Indicadores.

Antena



Podemos encontrarnos con diferentes variedades de equipos de antena en el mercado, aunque podremos encontrar fácilmente las de una primera generación, son un dipolo horizontal tal como la que podemos

ver en la figura de la izquierda, de grandes dimensiones, en tanto las más modernas son más pequeñas y pueden



variar en formas dependiendo del tipo de aeronave y su antigüedad, lo que también podemos apreciar a través en la imagen de la derecha.

Receptor

El receptor VOR consiste esencialmente en un circuito electrónico capaz de separar las señales que entran por la antena, comparar las fases para enviar la información a los indicadores, y emitir el código identificador hacia el panel de audio. Recordemos que estas señales son:

- La señal giratoria o variable;
- La señal fija o de referencia;
- La señal identificatoria de código Morse.

Si bien, los valores de tolerancia del sistema VOR son de $\pm 1^\circ$ como ya se dijo previamente, a bordo de la aeronave no deberían ser superiores a $\pm 5^\circ$, a pesar de que puede variar esta exigencia según los estándares exigidos por las autoridades de cada uno de los países. Esta regla de $\pm 5^\circ$ es aplicada debido a la distancia se puede llegar a tener de diferencia para con los radiales de una ruta determinada. Por ejemplo, si aplicamos la regla 60 a 1 podemos decir que a 60 NM de la estación 1° representa 1 NM por lo que 5° representarían 5 NM. Para comprenderlo mejor podemos ver la imagen a continuación.

Por último, al igual que en los equipos ADF, podremos encontrarnos con distintos equipos receptores, aquellos cuyo control y receptor se encuentran integrados, y aquellos que están separados. En la actualidad estos equipos son pequeños e íntegramente electrónicos, lo que ayuda a reducir considerablemente los pesos de una aeronave.

Funciones del control remoto

En cuanto a los controles remotos de este sistema, no nos encontraremos con las opciones existentes en el ADF. La mayoría de los equipos presentan la configuración de una frecuencia principal y una en espera con su correspondiente llave intercambiadora, la perilla de encendido, asociada a un potenciómetro volumétrico para poder escuchar la clave identificatoria y una perilla para realizar el testeado del equipo.

En equipos modernos podremos disponer de la opción de guardar una cantidad determinada de frecuencias con sus nombres.

Indicadores

Las indicaciones podrán ser presentadas en 3 diferentes instrumentos a bordo de la aeronave:

1. El RMI
2. El CDI
3. EL HSI

RMI

No hace falta explicar nuevamente las características del RMI ya que previamente las hemos analizado, lo único a tener en cuenta es que, en el caso del VOR, la punta de la aguja nos indicará el curso magnético hacia la estación, en tanto la cola siempre indicará el Radial sobre el cual se encuentra la aeronave, en tanto el ADF nos indicará siempre a donde está la estación, sin tener en cuenta el curso hacia la misma (QDF) o en que QDR nos encontramos.

CDI

El OBS (omni-bearing selector) o selector de radiales se utiliza para elegir el radial que queremos en el CDI (Course Deviation Indicator).

Con el OBS elegimos el radial que queremos moviendo una corona circular graduada en intervalos de 5° de 0° a 355°. El valor del radial selectado es el que aparece en coincidencia con el triángulo superior del indicador.

Una vez prendido el equipo VOR, si tenemos selectada la frecuencia correcta de una estación en rango, la aguja vertical llamada localizadora se deflejará hacia uno u otro lado de su posición o bien, podrá quedar centrada. Al mismo momento, veremos aparecer los indicadores TO o FROM. En el caso que la frecuencia no sea correcta o se encuentre fuera de alcance veremos la bandera NAV para indicarnos que no debemos confiar en la información radioeléctrica o que el equipo se encuentra apagado.



A medida que giramos la perilla OBS, girará la rosa, o sea cambiará el valor del radial selectado. La aguja localizadora, se podrá centrar para dos valores de radiales:

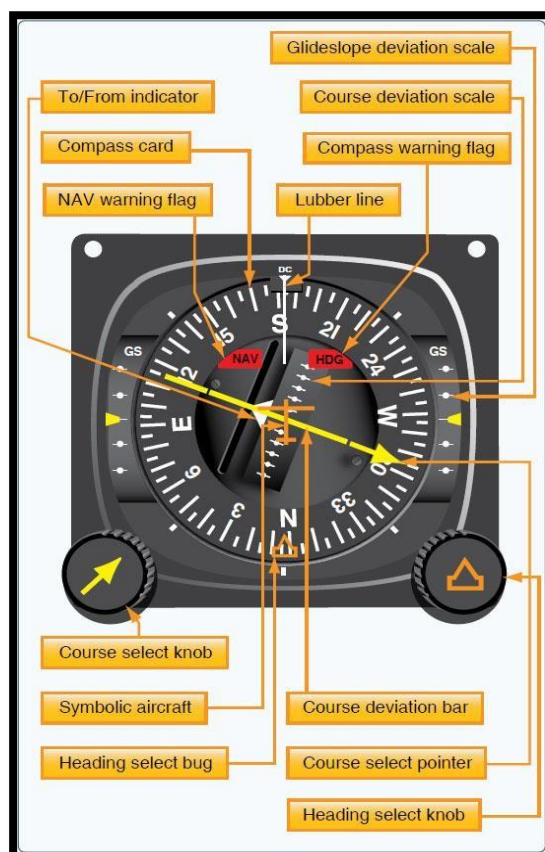
- El radial de salida (aparecerá FROM en la ventana de sentido), también utilizado para determinar la posición de la aeronave con respecto a la estación;
- El radial de ingreso a la estación (aparecerá TO).

Por lo tanto, si la aguja localizadora está centrada y en la Ventana aparece FROM, el radial en el que se encuentra la aeronave coincide con el que se lee en el indicador.

Además de lo mencionado, nos encontraremos con una serie de punto o marcaciones a los laterales del eje del sistema CDI. Estos nos ayudarán en la indicación de desplazamiento de radiales. En modo VOR (ya que puede ser utilizado también en modo ILS), entre cada una de esas indicaciones habrá 2° totalizando 10° hacia la izquierda y 10° hacia la derecha. Este sistema también incorpora una barra perpendicular a la de curso, la cual nos dará información de la senda de planeo cuando nos encontremos en modo ILS.

HSI

El Indicador de situación horizontal o HSI (Horizontal Situation Indicator) según sus siglas en inglés, muestra al piloto la posición del avión respecto a un curso seleccionado, mediante el indicador de selección de curso. Este instrumento facilitó mucho la consciencia situacional al combinar varios sistemas en uno solo.



A diferencia del CDI, el HSI posee una barra de desviación no pendular, es decir, esta se mueve de modo paralelo a la aguja selectora de curso. Estos sistemas, también incorporaron un sistema giroscópico facilitando la orientación de la aeronave con respecto a la rosa de los rumbos. En modo VOR la diferencia entre las marcaciones de desviación son iguales a las del CDI (2° entre ellas), pero se puede apreciar que incorpora un sistema de indicación de senda de planeo (GS) para el modo ILS a través de dos punteros. Al igual que el CDI, también posee banderillas indicadoras de falla en los sistemas de navegación, incorporando, además, una bandera indicadora de funcionamiento de los sistemas giroscópicos. Además, incorpora un selector de rumbo que nos ayudará en las navegaciones.

Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, FAA, 2016, Capítulo 16, pág 16-24

En cuanto a la **Course Deviation Scale** o Escala de desviación de curso, la misma cumplirá lo siguiente, según el sistema por el cual éste funcionando:

- VOR $\pm 10^\circ$ hacia cada lado en la escala total.
- LOC $\pm 2,5^\circ$ hacia cada lado en la escala total.
- RNAV = 5 NM
- RNAV APR = 1 NM desde línea central.

En caso de HSI y del CDI la bandera NAV aparecerá en los siguientes casos:

- Falla en el equipo receptor de la aeronave.
- Falla en la estación terrestre.
- Falla en el indicador.
- La señal recibida es muy débil o se encuentra fuera del rango de la aeronave. Se incluye el caso del cono de ambigüedad.

DME - Equipo medidor de distancia



El equipo medidor de distancia o DME, Distance Measuring Equipment según sus siglas en inglés, es un radar secundario que proporciona información de distancia en línea recta desde el avión hacia la estación terrestre. Este sistema suele estar asociado a otros como el VOR/DME, ILS/DME o TACAN/DME, trabajando en el rango de frecuencias UHF que va desde 960 a 1215 Mhz.

Estación terrestre

El equipo en tierra consiste en una combinación de transmisor-receptor, y una antena de tipo giratorio para la transmisión de la información de distancia.

La estación se identifica auditivamente por medio de clave morse, cada 30 segundos aproximadamente y lo hace cada dos identificaciones de la estación VOR a la que está asociado. Por lo general, la identificación del DME será idéntica a la del VOR, pero con un tono más agudo.



Funcionamiento

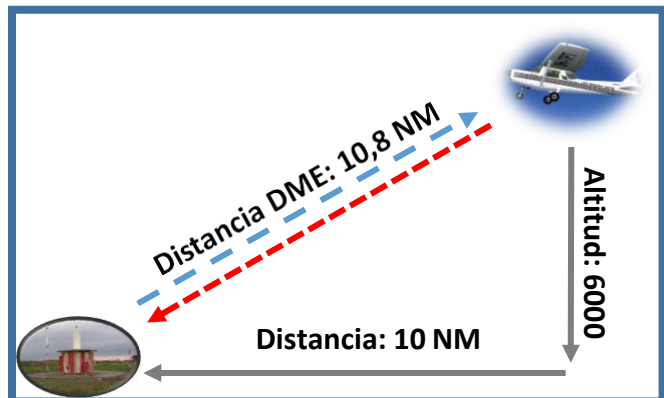
El sistema DME tiene un total de 126 canales transmisores-receptores, los cuales trabajan en la banda de UHF (Ultra High Frequency). El transmisor del avión comienza el proceso de interrogación, a través de un rango específico que va desde los 1025 Mhz a los 1150 Mhz. Estas señales son captadas por el receptor de la estación en tierra, la cual activa su transmisor, el cual envía las pulsaciones de respuesta en los rangos que van

desde 962 Mhz a 1024 Mhz y de 1151 Mhz a 1213 Mhz. Los canales están espaciados a intervalos de 1 Mhz.

En resumen, trabaja entre 962 y 1213 Mhz. Con una separación de 1 Mhz. totalizando 252 Frecuencias, las cuales, si tenemos en cuenta que se utiliza una para emisión y una para recepción, nos quedan 126 canales disponibles.

La distancia es determinada por medio del equipo DME a bordo del avión, el cual mide el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de la señal.

Este sistema, por el tipo de banda que emplea tiene un “Alcance visual” (LOS), el cual puede alcanzar las 200 NM, dependiendo de la potencia y de la altura de vuelo, su capacidad de trabajo es de 100 respuestas, por lo que si hay más de 100 aeronaves solo contestará a los más cercanos.



Las estaciones que funcionan en el mismo canal, deberán estar separadas por distancias que impidan la interferencia entre ellas. Si un avión recibe dos estaciones en la misma frecuencia, la señal más fuerte predominará. Esta señal, sin embargo, debe ser ocho veces más fuerte para poder predominar sobre la estación más débil. En un área de aproximadamente igual fuerza, el equipo DME hará contacto primero con uno y después con el otro.

Estación de abordó

El equipo de abordó estará compuesto por:

1. Antena
2. Transmisor-receptor (transceptor)
3. Indicadores

Antena

Suelen ser pequeñas y nos podremos encontrar con aquellas que tengan una protección, o con la misma al flujo libre de aire. A través de ella son enviadas y recibidas las señales, tanto de interrogación como de respuesta.



Transmisor-receptor

Como un gran número de aviones puede estar enviando pulsaciones de interrogación al mismo radiofaro, el equipo de abordaje debe poder separar las pulsaciones que son respuestas a sus propias interrogaciones.

Con la acción estroboscópica (búsqueda), el equipo de abordaje separa las respuestas sincronizadas a sus propias interrogaciones; es decir, las que tienen una demora fija o de poca variación. Este proceso de búsqueda ocurre automáticamente siempre que el equipo se sintoniza a una nueva estación o cuando hay una interrupción grande en las señales de la estación, pudiendo necesitar de hasta 20 segundos para completarse. Esto dependerá de la distancia real entre el avión y la estación en ese momento.

Para evitar dejar de dar información, un circuito interno, memoriza la última información recibida y mantiene la misma en el indicador para evitar la repetición de la operación de búsqueda si la señal es interrumpida por menos de 10 segundos.

Indicadores

Existen diferentes variantes disponibles para cada tipo de aeronave. El indicador puede ir solo o integrado a otro instrumento como el CDI o el HSI, en los cuales podrá o no entregar determinado tipo de información.



Todos los sistemas poseen dígitos o números que irán indicando la distancia del avión a la estación terrestre DME. En el caso de algunos indicadores individuales además de la distancia, también podrán indicar Velocidad Terrestre (GS) y tiempo a la estación. En el caso de poseer sistemas como los que podemos ver en la figura, también tendremos la opción de mantener fija (HOLD) una frecuencia de DME, mientras alternamos la de su estación asociada. Por ejemplo, en el caso de encontrarnos realizando una aproximación ILS, y el mismo no

posea DME, podemos mantener el DME del VOR para tener indicación de la distancia mientras continuamos utilizando el ILS.

Es importante tener en cuenta algunas particularidades o deficiencias de este sistema.

- En primer lugar, el DME nos dará información lineal a la estación, por lo que no será la real. Es por esto que cuando nos encontremos sobrevolando la vertical de la estación el equipo nunca nos dará una indicación de 0 (cero), puesto que tiene en cuenta la altura a la cual nos encontramos volando. Por ejemplo:

- A 30.000 pies con la aeronave volando sobre la estación veremos 5 MN.

- A 30.000 pies, pero a 50 MN de la estación el error es de menos de 1/2 MN.
- En segundo lugar, las medidas de velocidad y tiempo a la estación deberán ser tenidas en cuenta siempre que nos estemos dirigiendo hacia la estación de manera directa. Por ejemplo, si nos encontramos volando paralelos a la estación, podremos observar que la velocidad nos indicará 0 (cero) y el tiempo será infinito.

Más allá de estas particularidades es un sistema muy preciso y no sufre errores de estáticas o tormenta, y en el caso de ser una ayuda para la aproximación, el DME provee, en conjunto con la instalación de guiado, posiciones como el IAF (Initial Approach Fix), FAF (Final Approach Fix) y MAP (Missed Approach Point).

ILS - Sistema de aterrizaje instrumental

El sistema de aterrizaje instrumental o ILS, Instrument Landing System según sus siglas en Ingles, es un sistema de aproximación de precisión que, a través de distintas señales electrónicas, proporciona al piloto un curso final y una senda de aproximación hacia la pista. Es la instalación de aproximación de precisión más utilizada por la aviación civil.

Equipo terrestre

El ILS está compuesto por los siguientes componentes básicos:

- **Localiser:** El transmisor y la antena proveen el guiado en azimut o dirección respecto al centro de la pista.
- **Glidepath:** El sistema de la senda de planeo (GS) y su antena proveen el guiado en el plano vertical.
- **Marker beacons:** Hasta tres radioayudas marcadoras (marker beacons) a lo largo de la aproximación, proveen puntos de control de distancia en la aproximación.

Operativamente, podemos dividir el sistema en:

- Información de guiado: Localizador y transmisor de senda de planeo
- Información de distancia: Marcadores y/o DME
- Información Visual: Luces de aproximación, luces de pista y punto de toque de ruedas.

El marcador exterior (OM) y medio (MM) pueden ir asociados a Radiofaros Localizadores de mayor alcance. Por otro lado, el OM puede ser sustituido por una distancia DME.

Transmisores localizadores

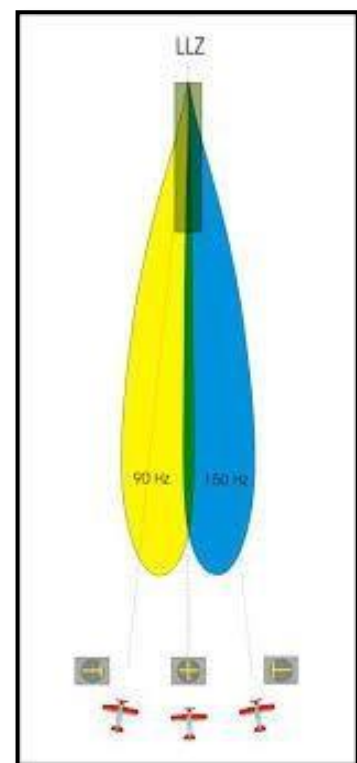
*Antena y
transmisor
localizador de ILS
de El Palomar*



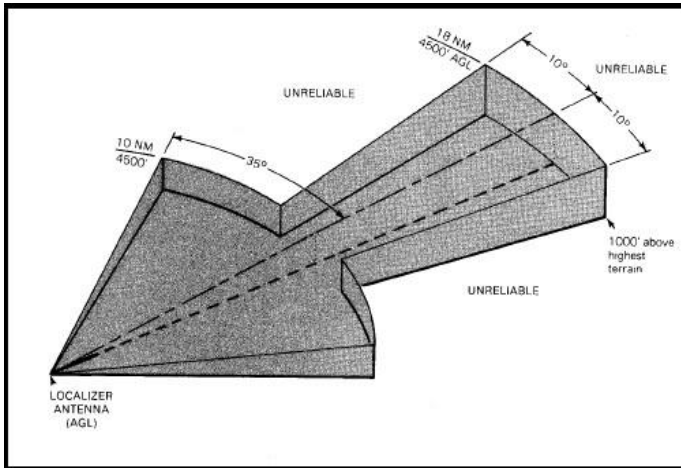
Este sistema, llamado Localizador o Localizer en inglés, tiene instaladas sus antenas, tipo Yagui, aproximadamente a 1000 ft de la cabecera opuesta y alineado con el eje de pista y pueden tener una dimensión de hasta 20 Mts de largo y 3 Mts de alto.

El transmisor emite energía modulada en 90 Hz y 150 Hz alineados con el eje de pista, pero cada haz se ubica a izquierda y derecha del mismo, tal como podemos apreciar en la imagen. La energía modulada de 150 Hz está siempre a la derecha cuando se mira hacia la pista desde el marcador exterior. Esta área es conocida como sector azul. La energía modulada de 90 ciclos está a la izquierda y se conoce como el sector amarillo. Las señales se traslapan en toda la línea central extendida de la pista formando el curso. Esto es debido a que la potencia en el centro de la misma será igual. La línea que se extiende desde el transmisor hacia la baliza exterior, se llama curso frontal.

Estas señales de curso también ofrecerán información en dirección contraria, formando el curso posterior o Back course. Algunos procedimientos ILS establecidos emplean cursos posteriores; sin embargo, la información se encontrará invertida y no estará disponible la indicación de senda de planeo, por lo que se convierte en una aproximación de NO PRECISIÓN.



La salida de los transmisores localizadores se encuentra generalmente entre 10 y 12 Watts. Un transmisor confiable suministra una señal utilizable a una distancia de 18 millas, en una sección de 10° a cada lado de la línea del curso y 10 millas a 35° a cada



lado. Esto dentro de una altura de 1.000 pies sobre la superficie de terreno más alta a lo largo de la línea de curso y 4500 pies sobre la elevación del terreno donde se encuentra la antena.

Este equipo opera entre 108,00 Mhz y 112,00 Mhz en frecuencias decimales impares, por ejemplo, 109,50 Mhz que es igual al ILS de Aeroparque.

Recordemos que podremos encontrar en el mismo rango de frecuencias a las estaciones T-VOR, pero las mismas tenían asignadas los decimales pares.

El transmisor localizador transmite una identificación en clave morse en forma continua de la estación. La identificación de tres letras estará siempre precedida por la letra en clave "I" (●●) para "ILS". Frecuentemente, esta identificación lleva las mismas letras que se usan para identificar una estación NDB o VOR que esté en el área inmediata.

Transmisores de Senda de planeo

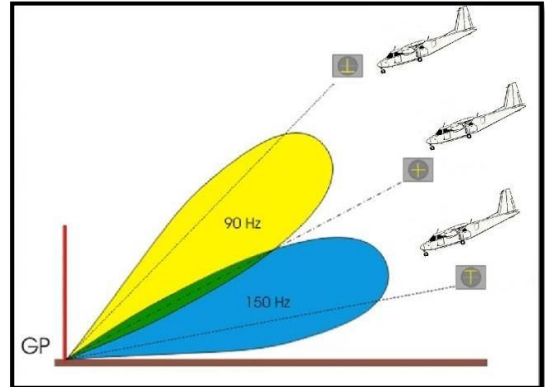


Están generalmente instalados a una distancia de 750 a 1250 pies de la cabecera de aproximación a la pista, y entre 250 y 650 pies hacia alguno de los laterales de la línea central de la pista.

Al igual que el transmisor localizador, el transmisor de trayectoria de planeo irradia señales de 90 Hz y 150 Hz que se traslapan para formar una senda de planeo (GS o Glide Slope) y suministrar dirección en un plano vertical. La energía de 150 Hz se transmite en la porción inferior de la trayectoria y la de 90 Hz en la superior.

La salida normal del transmisor de trayectoria de planeo es de 10 a 12 Watts con una salida máxima de 17 watts. Esta potencia debe ser suficiente para producir una señal utilizable a una distancia de 10 a 15 millas del transmisor en un sector de 8 grados a cada lado de la línea de rumbo del localizador.

Idealmente el ángulo de proyección es de 3° sobre la horizontal, lo que da una altura sobre la cabecera de la pista de 200 pies en el Marcador Medio (MM) y 1400 pies en el Marcador Externo (OM). El ángulo mínimo de la trayectoria de planeo es de 2° , en tanto se pueden utilizar mayores ángulos si las condiciones del terreno así lo requieren.



La profundidad deseada del haz de senda de planeo es de 1.4° . Sin embargo, esta profundidad puede variar de 0.8° a 1.5° . En una instalación típica, la profundidad del haz sería de aproximadamente 1.0° por encima y 0.5° por debajo de la misma trayectoria. El ángulo de elevación de la senda varía considerablemente entre instalaciones, dependiendo esto de las características del terreno del área circundante.

El transmisor de la senda de planeo opera entre frecuencias de la banda (UHF) de 329.15 Mhz a 335.00 Mhz. Las frecuencias del Localizer y el Glidepath están emparejadas, por lo que se sintoniza automáticamente la senda de planeo cuando se selecciona la frecuencia correspondiente del localizador. Por ejemplo: la frecuencia de 335.0 Mhz se sintoniza automáticamente cada vez que se selecciona una frecuencia de 110.30 Mhz a pesar de que en algunas aeronaves puede requerirse una sintonización separada del receptor de trayectoria de planeo.

La señal proporciona información confiable hasta la DA (altitud de decisión) publicada. Bajo ésta, la información no se considera como segura y se debe emplear ayudas visuales correspondientes a la pista. Razones de planeo publicadas sin DA, se consideran usables hasta la cabecera de pista.

Los pilotos deben mantenerse alerta durante una aproximación, ya que cambios considerables de ángulo de trayectoria del avión con respecto a la publicada, pueden producir cursos falsos o efecto reverso en los sensores de razón de planeo. También es necesario tener en cuenta que, al igual que en la senda del localizador, la de planeo a medida que nos vamos aproximando, irá reduciendo sus dimensiones, por lo que una corrección que a 15 NM podía parecernos apropiada, si nos encontramos a 3 NM puede ser excesiva.

En algunas aproximaciones aparece publicada la altura de cruce del umbral (TCH). Esta NO representa la altura a la que el avión cruzará sobre el umbral, siendo utilizada sólo como referencia para efectos de planificación. Lo que indica realmente es la altura a la que la antena receptora del ILS del avión pasará sobre el umbral. Por lo tanto, se debe tener en consideración la diferencia de altura entre esta antena y el tren de aterrizaje, a fin de determinar la altura de cruce de las ruedas. Normalmente se considera una altura de cruce adecuada de entre 20 y 30 pies dependiendo de la aeronave.

DME

Este sistema ya fue cubierto anteriormente y no reviste diferencia alguna cuando se encuentra asociado al ILS.

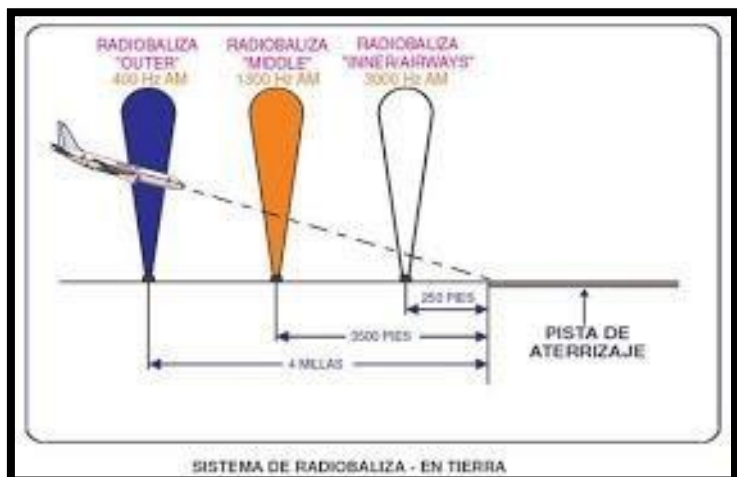
Respecto al sistema ILS, debemos tener en cuenta que el mismo puede tener un DME de uso exclusivo para el mismo, o, en determinadas circunstancias, este puede utilizar el DME de alguna radioayuda próxima, por ejemplo, VOR/DME. La diferencia, en este caso, radicarán en el procedimiento de aproximación más que en el sistema en sí.

Marcadores

Los Marker Beacons o faros marcadores, se usan junto con el equipo ILS para presentar información de distancia y punto fijo de referencia, mostrándose sus ubicaciones y altitudes de referencia en las cartas IAC (Instrumental Approach Chart) de cada aeródromo que posea el sistema.

Normalmente se instalan dos marcadores en el curso de acercamiento, los cuales poseen una potencia de 3 watts, transmitiendo en una frecuencia de 75 Mhz y son dirigidas en el plano vertical produciendo una señal elíptica de aproximadamente 2400 pies de ancho por 4200 pies de largo a 1000 pies de altura. Estos dos marcadores, serán, el marcador exterior (OM) y el medio (MM). En aeropuertos con ILS categoría II se encuentra, además, un marcador interno (IM).

- **Marcador Exterior o externo (OM):** Está normalmente ubicado para ayudar a interceptar la trayectoria de planeo, dentro de ± 50 pies de la altitud establecida para los virajes de procedimiento y se encuentra generalmente entre 4 y 7 millas del extremo de acercamiento de la pista con ILS.



- **Marcador Medio (MM):** Su ubicación varía de acuerdo con las características locales del terreno y con el ángulo de la senda de planeo, pero se encuentra normalmente entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de milla del extremo de acercamiento de la pista. Por lo general, intercepta la trayectoria de planeo a una altura de 200 pies sobre el terreno. Este indicador marca el final de la senda de planeo donde se alcanza la DA.
- **Marcador Interno (IM):** está ubicado entre el marcador medio y el umbral de la pista.

Tal como se explicó previamente, podremos encontrarnos con instalaciones transmisoras separadas de los marcadores, que se encuentran en el mismo lugar que OM o MM. Los mismos son NDB, que son utilizados como OM (colaborando a la interceptación de la trayectoria de aproximación) y, en algunos casos, como medio de difusión de información meteorológica del aeropuerto.

Sistemas de Iluminación de Pista

Una aproximación por instrumentos a un aeródromo, se puede dividir en 2 etapas distintas: La aproximación instrumental, donde se usa solamente la guía de equipos de radioeléctricos, y la etapa visual, en la cual se debe lograr contacto visual con el terreno o la pista. Las ayudas son utilizadas para terminar la aproximación en forma precisa y segura. La parte más crítica en una aproximación, sobre todo con condiciones de baja visibilidad / nubosidad, es el punto donde el piloto debe decidir si continua con el aterrizaje o efectúa una aproximación frustrada. Esta decisión se encuentra basada en la capacidad que tiene la tripulación de tener la pista a la vista, situación en la cual la iluminación de la misma tiene un rol fundamental.

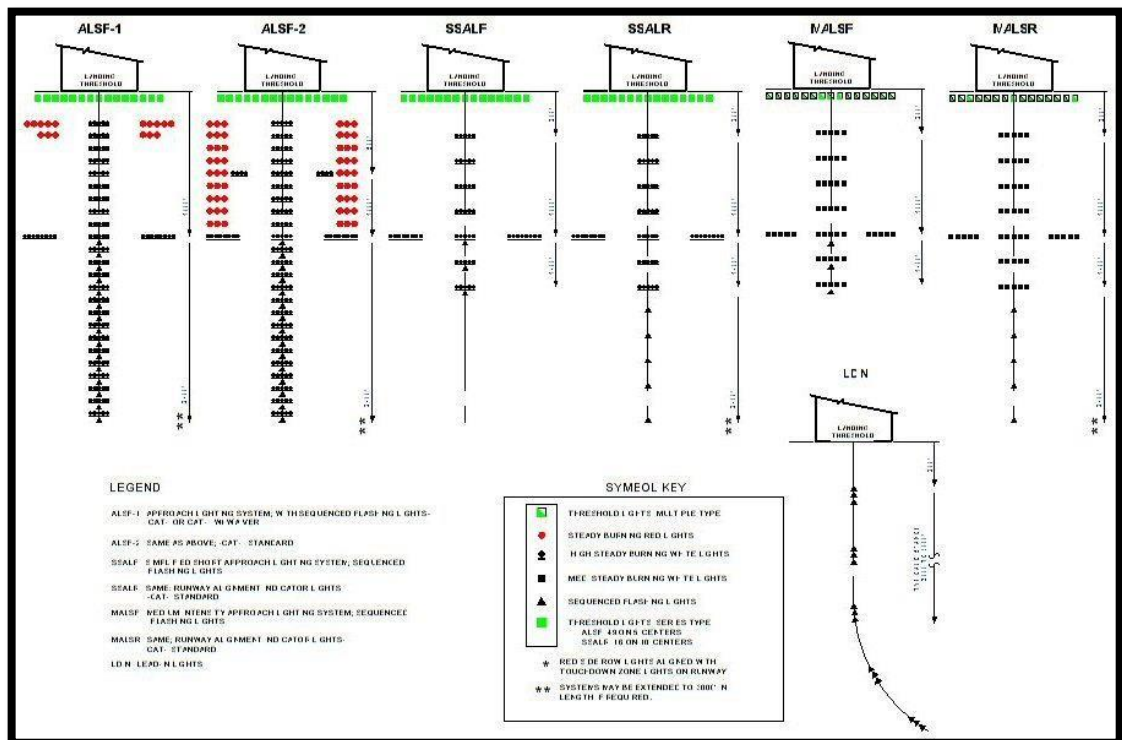
El sistema de luces de aproximación de pista o Approach Lighting System (ALS) tiene como finalidad proporcionar al piloto señales luminosas de suficiente precisión e intensidad que, penetrando las nubes, permitan reconocer la distancia, dirección y senda de planeo a la pista.

No existe un sistema de luces de aproximación único o estandarizado a nivel global, lo que indudablemente es una desventaja para los pilotos, puesto que obligan a éste a conocer el sistema de luces de un aeródromo en particular para poder interpretar correctamente un lenguaje expresado por ellas.

Muchas pistas tienen sistemas que le permiten al controlador, graduar la intensidad de las luces, para diferentes condiciones de visibilidad o a requerimiento del piloto. En la documentación aeronáutica aparecerá especificado el sistema de luces de la pista del aeródromo correspondiente.

A continuación, veremos una representación gráfica de los distintos sistemas de luces de aproximación:

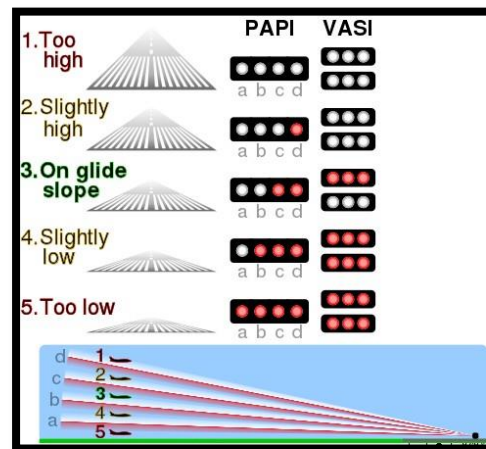
- **ALSF:** Approach Lighting System with Sequenced Flashing Lights.
- **MALSR:** Medium Intensity Approach Light System with RWY alignment indicator lights.
- **SSALR:** Simplified Short Approach Lighting system with RWY alignment indicator lights.
- **MALSF:** Medium intensity Approach Light System with Sequenced Flashing lights (and RWY alignment).
- **SSALF:** Simplified Short Approach Lighting system with sequenced Flashing lights.
- **SALS:** Short Approach Lighting System.
- **MALS:** Medium Approach Lighting System.
- **ODALS:** Omnidirectional Approach Light System.



Por otro lado, también existen distintos tipos de ayudas lumínicas que colaboran con el cumplimiento seguro y correcto de la senda de planeo, el PAPI es el que suele encontrarse asociado a sistemas de aproximación de precisión.

Precision Approach Path Indicator (P.A.P.I.)

El sistema provee una pendiente de descenso, basándose en indicativos visuales generados en tierra. Su alcance diurno y nocturno en VMC es de 5 y 20 MN respectivamente, y su ángulo de elevación es ajustado a los requerimientos operacionales y / o de franqueamiento de obstáculos. Existe un ángulo de $(1/3^\circ)$ entre cada una de las cinco trayectorias.

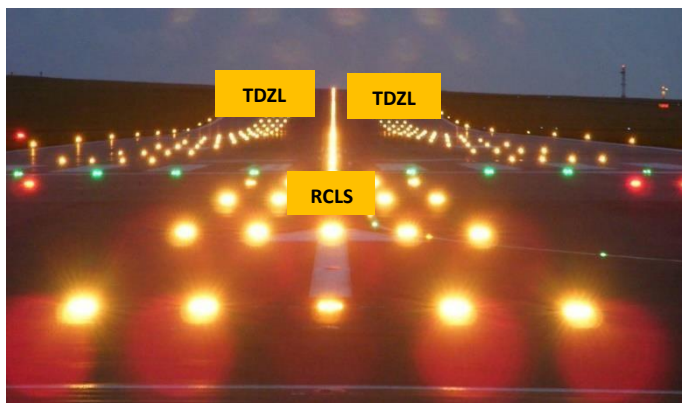


Runway Center Lighting System (R.C.L.S.)

Son instaladas en pistas con aproximaciones de precisión, con el fin de facilitar el aterrizaje durante operaciones con visibilidad restringida. Van espaciadas cada 50 pies y mirando desde el umbral, se puede apreciar que las luces son blancas hasta los últimos 3000 pies donde comienzan a alternarse con luces rojas durante los siguientes 2000 pies. Los últimos 1000 pies están provistos con luces rojas.

Touch Down Zone Lights (T.D.Z.L.)

Están instaladas en algunos aeropuertos con aproximaciones de precisión y su finalidad es indicar la zona de toque de ruedas bajo condiciones adversas de visibilidad. Estas consisten en 2 líneas de barras transversales puestas simétricamente desde el centro de pista. Estas barras se extienden desde 100 pies al interior de la cabecera de aterrizaje y hasta 3000 pies o al centro de pista, el que sea menor.

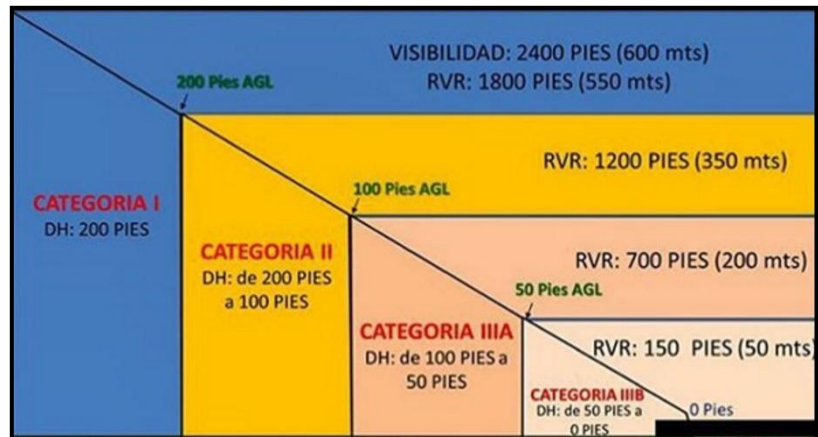


Categorías y mínimos de aproximación

La altitud mínima de una aproximación ILS es determinada basándose en la disponibilidad y combinación de los equipos en tierra, en el avión y en la certificación de las tripulaciones, existiendo las siguientes categorías:

- Categoría I: Hasta una DH de 200 pies, rango de visibilidad de pista (RVR o Runway Visual Range) 800 Mts. Si la pista consta de luces de toque de ruedas y de centro de pista RVR, baja a 550 Mts.

- Categoría **II**: Una DH de 200 pies hasta 100 pies y RVR 350 Mts de visibilidad.
- Categoría **IIIA**: Desde 0 hasta 100 pies de DH y RVR no menor a 200 Mts de visibilidad.
- Categoría **IIIB**: Sin DH o DH hasta 50 pies y RVR menor a 200 Mts pero no inferior a 50 Mts de visibilidad.
- Categoría **IIIC**: Sin DH o RVR mínimos.



elvueloporinstrumentos.blogspot.com

Equipos de abordó

Los equipos receptores de las aeronaves serán, en parte, los mismos utilizados por el sistema VOR/DME, pero habrá algunos que se encontrarán de manera independiente. En cuanto a la caja de control, esta, será la misma que la utilizada para el sistema VOR/DME.

CDI/HSI

La antena utilizada en este sistema será la misma que para el VOR, aunque existen algunas aeronaves, sobre todo las más antiguas, que incorporaban una antena independiente para la indicación de GS, tal como se puede observar en la imagen. En cuanto a los indicadores de por sí, los mismos, cuando una frecuencia de ILS es seleccionada pasarán al modo respectivo. En este modo la aguja del curso cambiará su sensibilidad, y la diferencia entre indicaciones, que antes era de 2° ahora será de $0,5^\circ$ totalizando $2,5^\circ$ para la izquierda y $2,5^\circ$ para la derecha, y, en caso de no disponer de información aparecerá la bandera LOC para informarnos que se encuentra sin información el sistema. Por otro lado, se incorporará la barra de senda de planeo, la cual, entre indicación e indicación tendrá una diferencia de $0,14^\circ$ totalizando $0,7^\circ$ hacia arriba y hacia abajo, esto será para el caso en que la senda de planeo tenga una indicación de 5 puntos, en el caso que posea 2 como algunos HSI las indicaciones parciales serán de $0,28^\circ$ aproximadamente. Si se presenta la situación de no tener información de GS aparecerá una bandera para informarnos respecto de la situación. Ver la imagen de HSI y CDI presentadas previamente.



Una particularidad de este sistema, es que, en la mayoría de las aeronaves, una vez que pasamos a la frecuencia ILS, perderemos la información de RMI y en cuanto a la información del DME, la misma será la de la frecuencia ILS en caso de estar disponible.

Marker Beacons

La dirección de la antena y el bajo poder de transmisión de las estaciones marcadoras de posición, asegura que la señal será recibida solo cuando la aeronave se encuentre sobre ellos. Problemas de recepción de la señal normalmente se producen por el no encendido o mal ajuste del equipo en el avión.



Antena marker beacon de la aeronave.

Algunos receptores de marcadores están relacionados a otro equipo como un ADF y requieren que este sistema esté encendido para su operación. Otro factor es el adecuado mantenimiento y ajuste del receptor del avión; el piloto no tiene la posibilidad de comprobar si está bien instalado e indicará la pasada exactamente vertical al marcador. El switch TEST, que poseen los indicadores, sólo confirma el correcto funcionamiento de las luces indicadoras.

Algunos receptores instalados en el avión, tienen un selector de sensibilidad el que puede estar seleccionado, en “Low” o en “High”, dependiendo de la recepción que requiera su avión durante la aproximación.

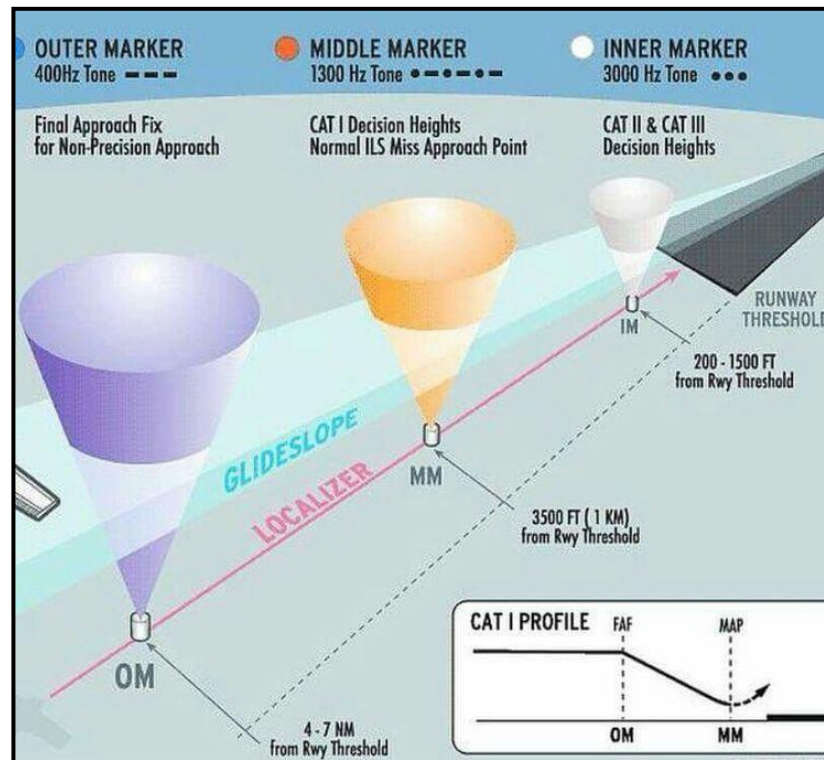
El sistema dará dos indicaciones fácilmente reconocibles. Por un lado, se encuentran las lumínicas y por otro las auditivas. La sensibilidad de los equipos actúa tanto sobre las indicaciones visuales como auditivas.

Las señales lumínicas y auditivas podrán ser como las vistas en las siguientes imágenes:

Luces indicadoras a bordo de la aeronave



Marker	Code	Light
OM	- - -	BLUE
MM	• - • -	AMBER
IM	• • • •	WHITE
BC	• • • •	WHITE



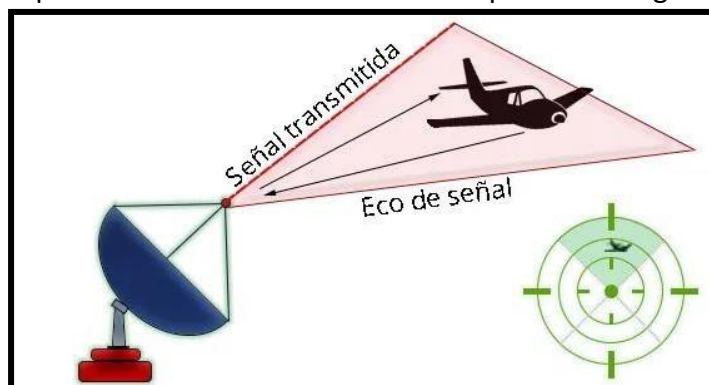
Sistemas modernos de navegación

Hasta aquí hemos visto sistemas analógicos, algunos más antiguos y otros más modernos, pero no podemos negar que la tecnología se encuentra en continuo avance, no solo en los sistemas de navegación como el GPS, si no también, a través de las representaciones gráficas que tendremos en nuestras cabinas. Equipos como el Garmin G1000 hoy en día integran toda esta información en una única pantalla, generando una lectura más rápida, menos ambigua y con menor margen de error, pero que nos exige conocerla en profundidad previo a operar con la misma a pesar de que los sistemas operan de igual manera.



Radares

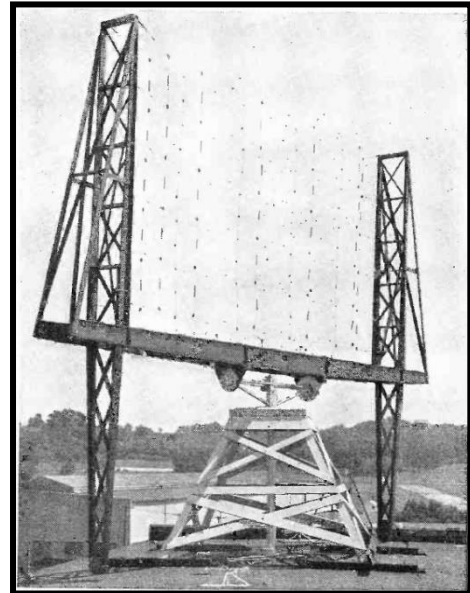
El principio básico del Radar puede resumirse como: REFLEXIÓN DE ONDAS. Un eco es una simple demostración de la REFLEXIÓN de las ondas radiadas, las cuales golpean una superficie reflectante volviendo a su punto de origen. Entonces, un transmisor envía a



través de una antena, un pulso breve de energía radioeléctrica que viaja a la velocidad de la luz, sabiendo esta velocidad, podemos decir que el tiempo de demora entre la onda original y su eco es directamente proporcional a la distancia del objeto o "eco".

Entonces, podemos decir que el RADAR es un sistema de detección que utiliza ondas de radio para determinar posición (distancia, altura y velocidad) de objetos.

El sistema RADAR fue desarrollado por varias naciones durante la Segunda Guerra Mundial, principalmente por Estados Unidos e Inglaterra. El término RADAR es un acrónimo de **Radio Detection And Ranging** aunque se han utilizado otros términos para este mismo acrónimo. Actualmente este novedoso sistema es utilizado para una gran cantidad de funciones distintas tales como: Radares meteorológicos terrestres y de abordó, Radar de control aeroespacial tanto militar como civil, Sistemas anticolidión, radares astronómicos, sistemas de defensa aéreos, terrestres y marítimos, y, hasta incluso con los sistemas de alerta de proximidad de los vehículos de hoy en día.



Antena radar experimental, US Naval Research Laboratory, Anacostia, D. C., hacia fines de la década de 1930.

El RADAR ocupa la banda de frecuencias VHF superiores, lo que favorece

- Los radares primarios utilizan pulsos, y las frecuencias altas pueden utilizar pulsos más pequeños.
- Están más separados del ruido externo o estática.
- La eficiencia de la reflexión depende del tamaño del objetivo en relación con la longitud de onda. Las frecuencias altas, son reflejadas más eficientemente.
- Un haz angosto opera más eficientemente con ondas longitudes de ondas más cortas.

En el ámbito civil aeronáutico, este sistema proporciona información esencial para mantener las operaciones ordenadas y ágiles, pero, sobre todo, seguras, aún en condiciones de baja o nula visibilidad. Las frecuencias más utilizadas son:

- 1000 Mhz para Radares de vigilancia de largo alcance.
- 3000 Mhz para radares de vigilancia y aproximación.
- 10000 Mhz para radares de aproximación.

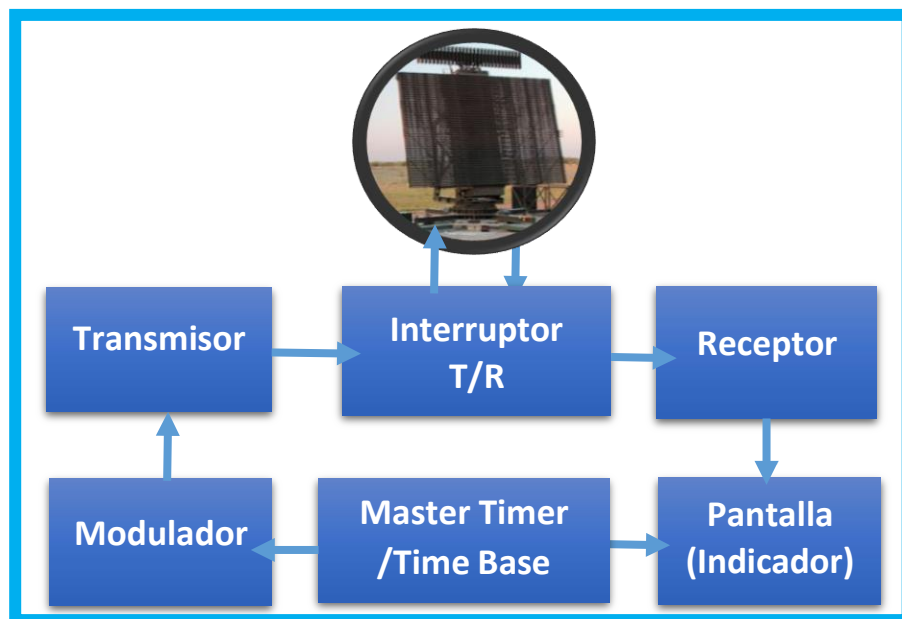
Componentes Terrestres Básicos

Para efectos de control del tránsito aéreo, el radar es utilizado para proporcionar información continua de distancia, ubicación geográfica y, eventualmente, altitud de los ecos que presentan las aeronaves, dependiendo si cuentan o no con el equipo necesario a bordo y el ATC cuenta con un radar secundario.

Para presentar esta información, el sistema debe ser capaz de:

- Transmitir la energía requerida.
- Recibir aquella energía que sea reflejada.
- Presentar la información procesada en el indicador.

Ahora bien, para que el sistema radar pueda cumplir con los requisitos anteriores, el mismo debe contar con los siguientes componentes básicos fundamentales:

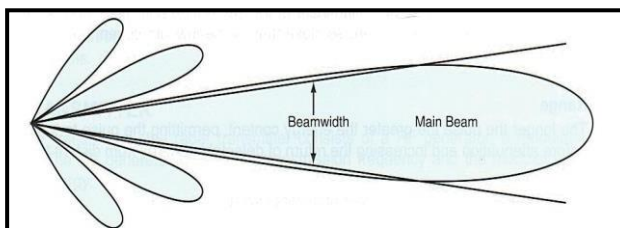


a. Master Timer: Esta es la unidad disparadora teniendo dos funciones.

1. Genera el Pulso de Repetición de Frecuencia (PRF)
2. Sincroniza el disparador con el transmisor.

b. Modulador: La salida del modulador cambia el encendido y apagado del transmisor controlando la longitud del pulso del transmisor de salida, es decir crea los pulsos de energía. La longitud de estos pulsos, en gran medida se encuentra condicionado por el rango para el cual fue diseñado el RADAR.

c. Transmisor. Envía el pulso hacia la antena.



d. Antena. Esta puede tener distintas formas. Antiguamente eran discos parabólicos, actualmente son planas debido a que los pulsos son electrónicos generando de este modo un disco parabólico. Podemos ver que

las antenas de este tipo de sistema irradian energía direccionada y no omnidireccional.

e. Interruptor T/R (T/R Switch) La misma antena es utilizada tanto para transmisión como para recepción. Para esto, es importante que el transmisor, durante un período permanezca en silencio, y esto, dependerá del PRF, ya que el pulso que está pensado para una distancia dada, deberá viajar de vuelta, esto constituye un tiempo, que será el previsto por este interruptor. El receptor debe estar protegido del transmisor de gran potencia, lo que es cumplido por un aislamiento electrónico de las guías de onda para ambos. Un **duplexor** cumple esta función. En términos reales, es el cerebro del radar.

Representación radar del sector litoral argentino.



f. Receptor. Es un dispositivo sensitivo que puede amplificar los ecos muy debilitados que llegan a la antena. Posteriormente, estos son procesados para ser expuestos en la pantalla.

g. Indicador. La información del sistema, normalmente, estará expuesta en una pantalla de rayos catódicos.

h. MTI (Moving target Indicator). Este es un componente adicional que proporciona información solamente de blancos móviles, cuya velocidad es superior a 13 kts. La limitación que produce este componente, es que el radar queda susceptible a velocidades de cancelación comúnmente llamadas “velocidades ciegas”, causando una pérdida momentánea del objetivo.

Debido a que el RADAR hace uso de las altas bandas electromagnéticas del espectro, la propagación se hace a través de ondas directas dentro de la línea de vista. Debido a sus características nos encontraremos con algunos factores que afectan la performance del sistema.

- **Condiciones meteorológicas.** Las inversiones térmicas y la humedad pueden causar un considerable aumento en el rango de las ondas directas, generando ecos por fuera del diseño previsto para el sistema. Por otro lado, la lluvia y la nieve atenúa la señal del RADAR, disminuyendo su performance y, hasta incluso, pudiendo generar puntos ciegos.
- **Tamaño, forma y aspecto del objeto.** Es importante recordar que el eco se genera por la reflexión del objeto, por lo tanto, su tamaño será importante, de igual manera, no es lo mismo una aeronave vista de frente que vista de perfil.

Tipos de Radar

Principalmente las categorías de RADAR terrestre son:

- RADAR de vigilancia

- RADAR de vigilancia de largo alcance
 - RADAR de vigilancia del TMA.
 - RADAR de vigilancia de aeródromo.
- Radares Secundarios de vigilancia–SSR (Secondary Surveillance Radar)
 - RADAR de aproximación de precisión.
 - RADAR de movimientos de superficie.
 - RADAR meteorológico.

Radar de Vigilancia en Ruta / AIR ROUTE SURVEILLANCE RADAR (A.R.S.R.)

El ARSR es un radar de largo alcance que es utilizado para el control del espacio aéreo en ruta entre áreas terminales. Su alcance se encuentra entre las 200 NM y las 300 NM, tiene la capacidad de detectar pequeños objetos fuera del rango máximo y de, moderadamente, discriminar en distancia y rumbo.

Generalmente, para cubrir estas necesidades se utilizan Radares Primarios y Secundarios, el cual actúa como complemento del primario para una rápida y eficiente identificación de los ecos.



*RADAR
Primario
Argentino,
INVAP*

Radar de Vigilancia Terminal / TERMINAL SURVEILLANCE RADAR (T.S.R.)

Este RADAR provee separación entre aeronaves dentro del área terminal (TMA) durante el tránsito, las aproximaciones y las partidas. Al mismo tiempo, puede ser utilizado para proveer aproximaciones radar. Tiene un alcance de entre 60 y 80 NM y una alta tasa de actualización de datos, precisión y no es afectado por condiciones meteorológicas.

Radar de Vigilancia de Aeródromo / AERODROME SURVEILLANCE RADAR (A.S.R.)

Este RADAR, por lo general es un radar primario de corto alcance (25 NM) capaz de proveer servicio de guiado durante las aproximaciones finales, intermedias e iniciales. Para esto se necesita que el mismo sea preciso, de alta tasa de actualización de datos y de discriminación de ecos.

Radar de Precisión o PAR (Precision Approach Radar)

Éste, entrega al controlador información de azimuth, distancia y elevación. Es necesario hacer notar que este tipo de radar es notablemente superior a un radar de vigilancia, lo que permite efectuar aproximaciones hasta con visibilidad cero, pudiendo la aeronave tocar ruedas mediante instrucciones adecuadas de tierra y sin que el piloto tenga, necesariamente, la pista a la vista.

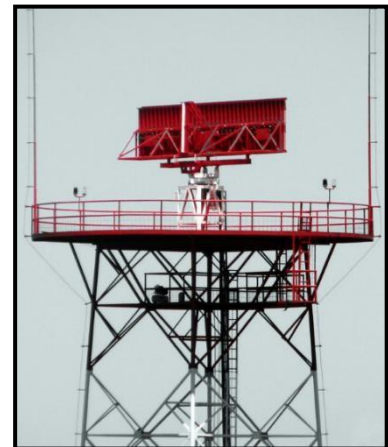


El equipo está compuesto por 2 antenas. Las que escanean el plano vertical y horizontal respectivamente, teniendo un alcance de 10 millas con un azimut de 20° y elevación de 7°; sin embargo, su uso se encuentra limitado sólo al área de aproximación final.

La pantalla de presentación al controlador, también se encuentra dividida en 2 partes. La superior presenta información de altitud y distancia. La inferior presenta azimut y distancia.

Radar Secundario / Secondary Surveillance Radar (SSR)

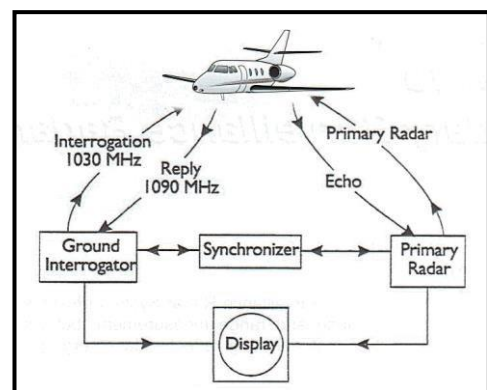
Este radar es llamado secundario ya que es acoplado a uno primario o de vigilancia. Su objetivo es ayudar a la localización e identificación de las aeronaves, pero esto depende de la colaboración de las mismas. El radar interroga y la aeronave responde (reply), consistiendo en tres componentes principales:



Radar secundario del aeropuerto de Paraná

1. **Interrogador.** El radar primario entrega información en pantalla como blancos o ecos. El radar interrogador o secundario, va sincronizado con éste y su función es transmitir señales de radio repetidamente, interrogando los equipos respondedores a bordo de las aeronaves. Estas respuestas llegan junto con la señal primaria presentándose ambas en la pantalla.

2. **Transponder.** Es el radar receptor-transmisor ubicado en el avión. Automáticamente recibe las señales del interrogador en 1030 Mhz y responde en 1090 Mhz en forma selectiva con un grupo de pulsos específicos (código). Responde sólo a las interrogaciones hechas en el modo que está seleccionado el equipo. Estas respuestas son totalmente independientes y mucho más potentes que la señal de retorno del radar primario.



3. **Pantalla de Radar (radarscope).** Esta muestra al controlador los retornos del radar primario y del SSR (secundario). Esos retornos llamados blancos o ecos, son los que usa el controlador para la separación de tráfico.

Algunas de las ventajas del uso del Radar Secundario son:

- Refuerzo de los blancos de radar
- Identificación rápida de blancos.
- Posibilidad de tener en pantalla sólo los códigos seleccionados.

Otra parte del equipo en tierra es un codificador terrestre que permite al controlador asignar un código transponder a los aviones bajo su control, basado en información computacional que se actualiza automáticamente por medio de un control a escala nacional. Esto tiene como objetivo que dos aeronaves no se encuentren en el mismo espacio aéreo con el mismo código.

Este equipo en tierra está diseñado para recibir también información de altitud de la aeronave, cuando la misma activa el MODO C en su equipo transpondedor.

Es importante recalcar que este tipo de radar es de gran ayuda para el sistema de tránsito aéreo ya que incrementa la efectividad de los radares de vigilancia.

Indicador de Movimientos en Superficie / Airfield Surface Movement Indicator (A.S.M.I.)

Este radar está diseñado para detectar todos los movimientos de aviones o vehículos terrestres en las áreas de movimiento principales. Además, entrega una presentación general de todo el aeropuerto en una pantalla en la torre de control. Es usado con la finalidad de aumentar el alcance visual de los controladores hacia todos los movimientos terrestres de aviones y vehículos en las calles de rodaje y las pistas.

Digital Bright Radar Indicator Tower Equipment (D-BRITE)

Este equipo es un repetidor del ASR instalado en la torre de control. Entrega información primaria y secundaria. Los controladores lo utilizan para mantener una alerta situacional de los aviones en su control. Ellos pueden “sugerir” direcciones o rumbos como ayuda a la navegación.

Limitaciones de los sistemas de radar

Es muy importante que los pilotos comprendan las limitaciones de los servicios de radar y consideren que los controladores no siempre podrán informar alertas de tráfico, ya que éstos no siempre se encuentran volando bajo su control, por lo tanto, no son vistos por el radar.

Una de las características de las ondas es que viajan en línea recta a menos que sean:

- “Dobladas” por fenómenos meteorológicos, como una inversión térmica.

- Reflektadas o atenuadas por objetos densos como nubes gruesas, precipitación, obstáculos en tierra, montañas, etc.
- Impedidas de continuar por características de terreno alto.

La energía de radar que llega a objetos densos es reflejada y mostrada al operador en la pantalla, limitando la identificación de un avión a la misma distancia y debilitando o definitivamente eliminando la muestra de blancos a mayor distancia. Aviones a una baja altitud no serán vistos si son tapados por montañas o se encuentran bajo el haz del radar producto de la curvatura de la tierra.

La cantidad de superficie de reflejo de un avión determina el porte del retorno en la pantalla. Por lo tanto, aviones pequeños o de combate serán más complicados de identificar que un avión de grandes dimensiones.

Existen aeropuertos que cuentan con radares con posibilidad de trabajar con MODO C, que indican la altitud del avión en la pantalla del controlador. En cambio, hay otros que no cuentan con esta capacidad por lo que el controlador se debe basar en la información de altitud entregada por los pilotos.

Transponder

En base a lo previamente explicado sobre el transponder, ahora ahondaremos un poco más en su descripción.

El piloto configurará el equipo en base al requisito por parte del ATC. Existen actualmente una gran variedad de estos equipos en el mercado, pero, al igual que con el ADF, estos tienen las mismas opciones a grandes rasgos.



➤ **Interruptor de encendido.** Podemos encontrar que existe la opción STBY, la misma no genera una emisión de señal, si no que enciende el equipo únicamente. Este modo debe ser utilizado para cambiar el código, y de este modo no causar interferencias en el sistema.

- **Posición ON.** En esta posición el equipo comienza a responder a las interrogaciones en MODO A. Este modo le provee al control los datos identificatorios de nuestra aeronave y código asignado.
- **Posición ALT.** En esta posición, el equipo comienza a responder a las interrogaciones en MODO C. Este modo provee al control los datos identificatorios de nuestra aeronave con su código asignado, además de información de altitud en base a presión estándar (1013,,2 hpa), independientemente de la configuración que tengamos en nuestro altímetro.
- **Posición IDENT.** En esta posición (en ocasiones puede ser un botón), el transponder emitirá pulsos extra, lo que generará en la pantalla RADAR un eco parpadeante. Esta función suele durar entre 15 y 30 segundos.
- **Selectores de códigos.** Los mismos serán selectados a pedido del ATC o por nosotros mismos en algunas circunstancias especiales. Este código cuenta con 4 posibles indicadores, los cuales podrán ir de 0 (cero) a 7 (siete). Por ejemplo, código 1643. Esta disposición posibilita la selección de 4096 posibles combinaciones, aunque hay algunos códigos que se encuentran reservados a nivel global:
 - **7500 para el caso de un ilícito abordó.**
 - **7600 en caso de falla de comunicaciones.**
 - **7700 en caso de emergencia.**