



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Sistemas de Radiocomunicaciones Actuales

Tema 6 Curso 2015/16





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Parte 3

Sistemas de Radionavegación





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo



Radiogoniometría



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría - Introducción

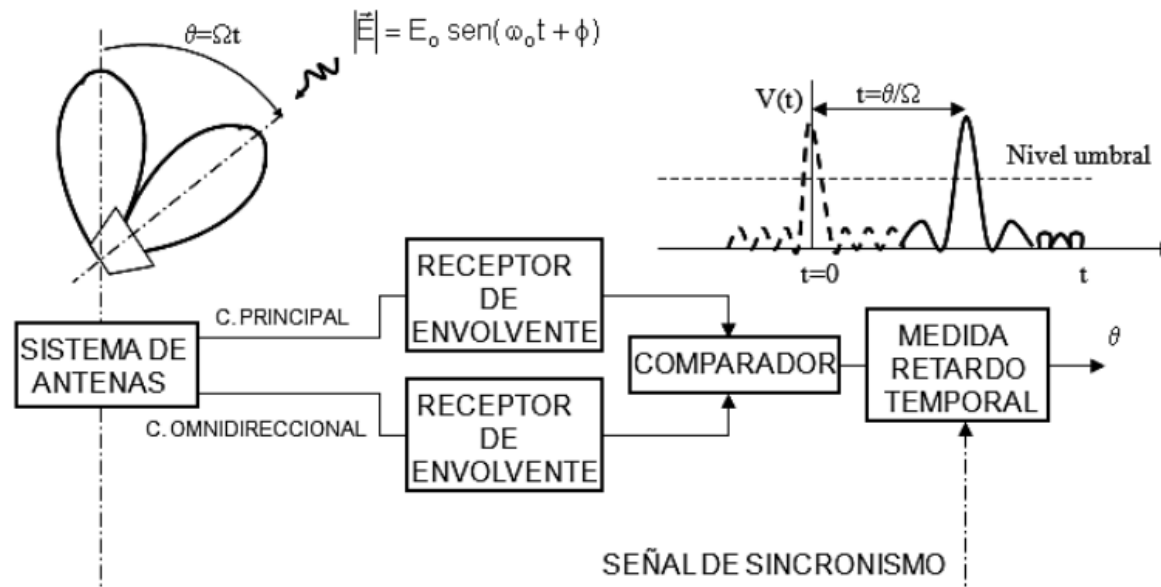
- La radiogoniometría es el método más antiguo de orientación por medio de ondas de radio.
- Determinación de la dirección al transmisor o radiofaro, cuya geolocalización es conocida, por medio de un equipo receptor de radio direccional o radiogoniómetro. La dirección o ángulo en el que se localiza dicho transmisor se denomina DOA (Direction Of Arrival).
- Sus aplicaciones más importantes son la navegación (cada vez más residual), la vigilancia del espectro electromagnético y la guerra electrónica.
- Se utilizan unos transmisores específicos o radiofaros, así como en ocasiones transmisores de radiodifusión y otros tipos de comunicación por radio (por ejemplo: la señal de comunicación en VHF de un avión se puede usar en un aeropuerto para encontrar su dirección).



Existen varios métodos para determinar el DOA de una emisión radio:

1. Utilizando una antena exploradora de haz estrecho

- El lóbulo principal de una antena suficientemente directiva explora (por giro mecánico o electrónico) la zona de cobertura hasta encontrar un máximo de señal en la dirección a determinar.
- El sistema mide el tiempo transcurrido desde que el lóbulo pasa por la dirección de referencia y el instante en el que la señal es máxima.

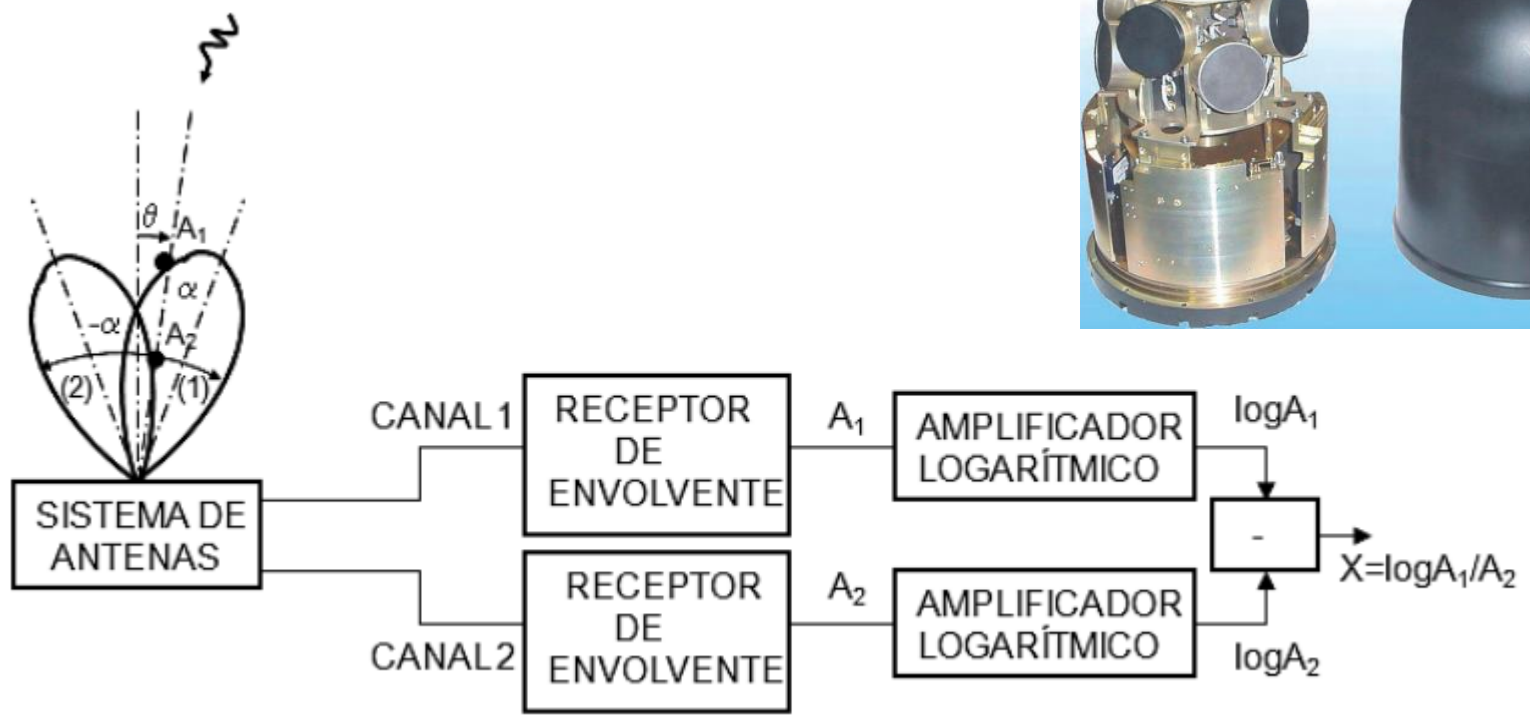




Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría - Radiogoniómetros

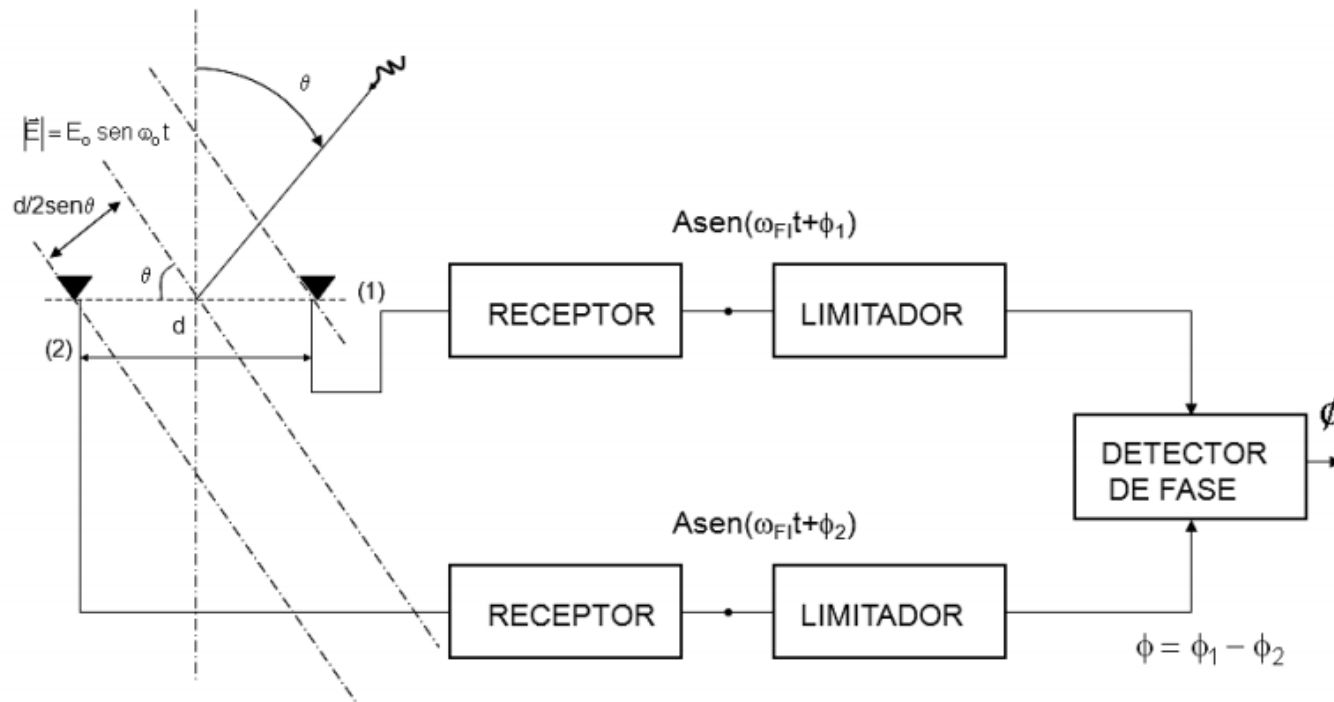
2. Comparación de amplitudes en un sistema de antenas directivas
- Un sistema radiante, compuesto por varias antenas directivas, suministra varios lóbulos principales apuntando a diferentes direcciones.
 - La relación entre los niveles de señal a la salida de las antenas es una función conocida del ángulo de incidencia γ , por tanto, si se miden estos niveles se puede determinar θ .





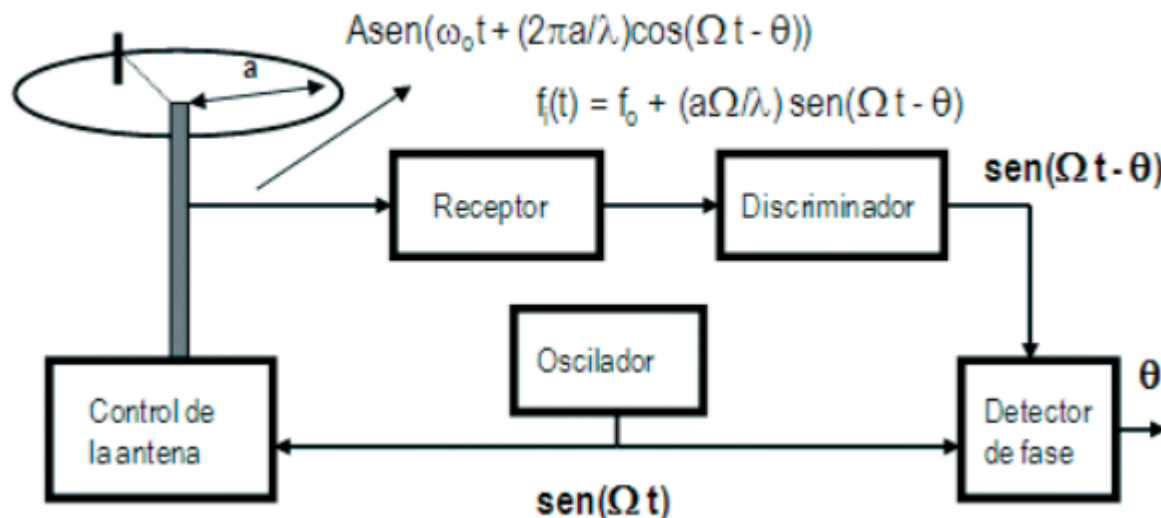
3. Comparación de fase: interferómetros

- Este método se basa en la medida de la fase relativa del campo electromagnético incidente en varios puntos del espacio. El sistema más sencillo consiste en dos antenas separadas una distancia d , que se conectan a dos receptores idénticos cuyas salidas se comparan en fase.





4. Determinación del desplazamiento Doppler (Radiogoniómetros doppler)
- Constituido por una antena omnidireccional que se desplaza a velocidad angular constante (Ω) a lo largo del círculo (en la práctica se sustituye el movimiento por un array de antenas conmutadas)
 - La señal a la salida de la antena está modulada en FM por una señal sinusoidal de frecuencia la de giro de la antena y cuya fase es el ángulo de incidencia del frente de ondas. Una vez demodulada la señal en un receptor de FM, un simple detector de fase permite determinar θ .





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

UniversidadeVigo

Radiofaros





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros

- Un radiofaro es una estación radio situada en una posición perfectamente geolocalizada, que se usa como ayuda en la navegación aérea o marina y que hace posible localizar la posición relativa y/o la dirección de la estación receptora.
- Hay dos tipos de radiofaros:
 - Radiofaros no direccionales (NDB – Non Directional Beacons) con goniómetros automáticos (ADF – Automatic Direction Finders)
 - Sistemas de señal compuesta, que permiten determinar la dirección y/o el alcance haciendo uso de la información contenida en la señal (VOR, DME y TACAN)
- Estos sistemas están perdiendo uso frente a sistemas tipo GPS, mas exactos y con receptores mucho más sencillos de usar. Sin embargo, el bajo coste de los sistemas ADF los mantiene en uso, a la vez que por ejemplo la sostenibilidad financiera de otros sistemas mas caros como el VOR los compromete de manera creciente.



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros no direccionales (NDB)

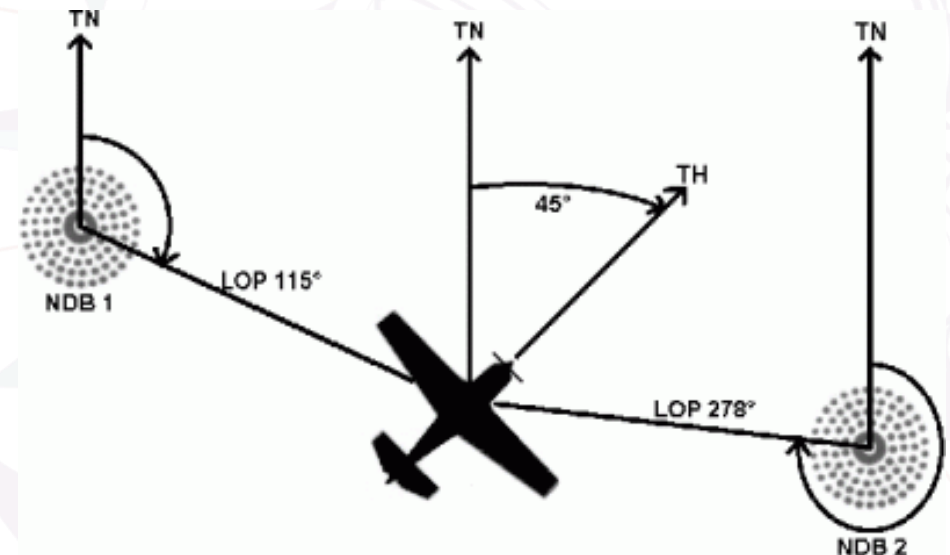
- Los NDBs son los sistemas de navegación más utilizados mundialmente.
- Los radiofaros NDB transmiten una señal que no incluye información direccional inherente.
- Los NDB pueden operar a frecuencias entre 190 kHz y 1,75 MHz, siguiendo la normativa de la ICAO (*International Civil Aviation Organization*). En Europa se utilizan frecuencias de 280 a 530 kHz.
- A estas frecuencias, las señales de los NDB siguen la curvatura terrestre, de modo que pueden ser recibidas a distancias mucho más grandes a mayores altitudes.
- Sin embargo, las señales de las NDB son más sensibles a las condiciones atmosféricas, terrenos montañosos, refracción costera y tormentas eléctricas, particularmente en grandes distancias.



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros no direccionales (NDB)

- La navegación NDB involucra dos elementos:
 - El ADF (*Automatic Direction Finder*) que está a bordo y detecta la señal de una NDB.
 - La NDB transmisora o radiofaro propiamente dicho.
- El equipo ADF determina la dirección hasta la NDB transmisora con respecto a la aeronave y se muestra en un Indicador de dirección relativa (RBI, *Relative Bearing Indicator*)
- Cada NDB emite una identificación en código Morse de varias letras que la identifica, por ejemplo Vigo (VGO) transmite en 258.0 kHz y su código es "...- --. ---"





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros no direccionales (NDB)





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros direccionales (VOR)

- VOR (VHF *Omnidirectional Radio Range*)
- Los VOR transmiten en la banda de VHF entre 108 – 117,5 MHz modulando en FM y quedó estandarizado en 1949. Por ejemplo, Vigo transmite en 113.6 kHz
- A estas frecuencias, la distorsión atmosférica es prácticamente despreciable.
- El alcance del radiofaro queda dentro de la línea visual. En vuelo, máximo unos 320 km hasta 37.500 pies de altura (11.430 m) sobre la estación.
- La señal de radio emitida por un VOR contiene tres señales: una de identificación de la estación en código Morse y dos ondas senoidales de 30 Hz cuyas fases varían entre si denominadas **señal de referencia** y **señal variable**.
 - Referencia: mantiene siempre su fase constante
 - Variable: cambia su fase según la dirección en la que sea emitida. Dicha dirección se mide como un azimut, es decir, se divide en 360 grados alrededor de la antena VOR contando en sentido horario a partir del norte magnético terrestre, punto en el cual la señal de referencia y la variable tienen fase idéntica.



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros direccionales (VOR)

- Se puede considerar una antena VOR como el punto desde el cual parten 360 líneas de dirección, a las que se les llama radiales.
- El equipo VOR en la aeronave recibe la emisión VOR y demodula sus tres señales. Compara la señal de referencia con la variable y determina la diferencia de fase entre las dos. De esta manera puede conocerse en qué radial del VOR sintonizado se encuentra la aeronave con respecto al norte magnético terrestre.
- Se define así la línea de posición (LOP) o *radial*. La intersección de dos radiales da una posición o *fix*. La precisión de un VOR es de $\pm 1,4^\circ$





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros DME

- Los VOR suelen ir acompañados de otra radioayuda denominada DME (*Distance Measurement Equipment*), que ayuda al piloto a conocer la distancia que hay entre la aeronave y la estación VOR-DME.
- El sistema DME quedó estandarizado a nivel internacional en 1959.
- El avión está equipado con un **interrogador** y la estación terrena con un **transpondedor**. El avión interroga al DME emitiendo unos pulsos y este contesta. Teniendo en cuenta lo que tarda la respuesta se conoce la distancia.
- Las frecuencias de portadora están en el rango de 962 a 1.213 MHz, dividido en 126 canales de interrogación y otros tantos de respuesta.
- Los pulsos de un DME se transmiten en pares con una anchura de 3.5 μs y una separación que depende del uso o modo:
 - Modo X (militar): separación de 12 μs tanto para interrogación como para respuesta
 - Modo Y (civil): separación de 36 μs para interrogación y 30 μs para respuesta
- El transpondedor de la estación terrena recibe el tren de pulsos y los retransmite después de 50 μs de retardo junto con un código Morse de identificación propia. El interrogador aerotransportado identifica su propia secuencia de pulsos y mide el intervalo temporal entre el comienzo de su interrogación y la respuesta del transpondedor terreno.



Sistemas de Radionavegación

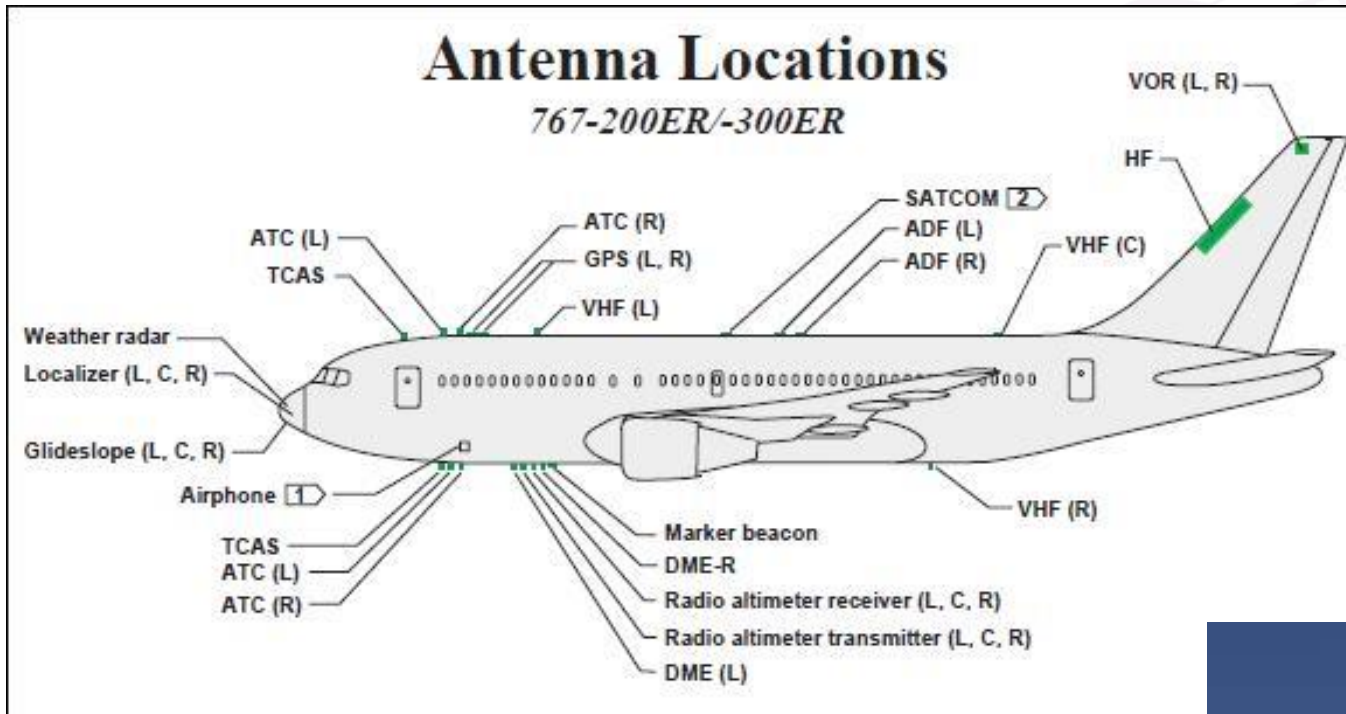
Radiogoniometría – Radiofaros DME

- La potencia de pico transmitida va de 50 a 1000W.
- El alcance directo (*slant range*) máximo del sistema es de aproximadamente 370 km, lo que a una altura de 3 a 6 km equivale a un alcance sobre la línea de la Tierra de aproximadamente 120 km.
- La exactitud de DME es de 100 a 300 m, aunque a veces se da un valor típico de 0,1 mn (185 m).
- Es probable que las instalaciones del DME se retiren progresivamente siendo reemplazados por los sistemas satelitales como GPS o Galileo que es probable que se conviertan en el estándar de la navegación aérea. Sin embargo, a día de hoy el sistema se usa mucho y todavía se construyen radiofaros DME.



Sistemas de Radionavegación

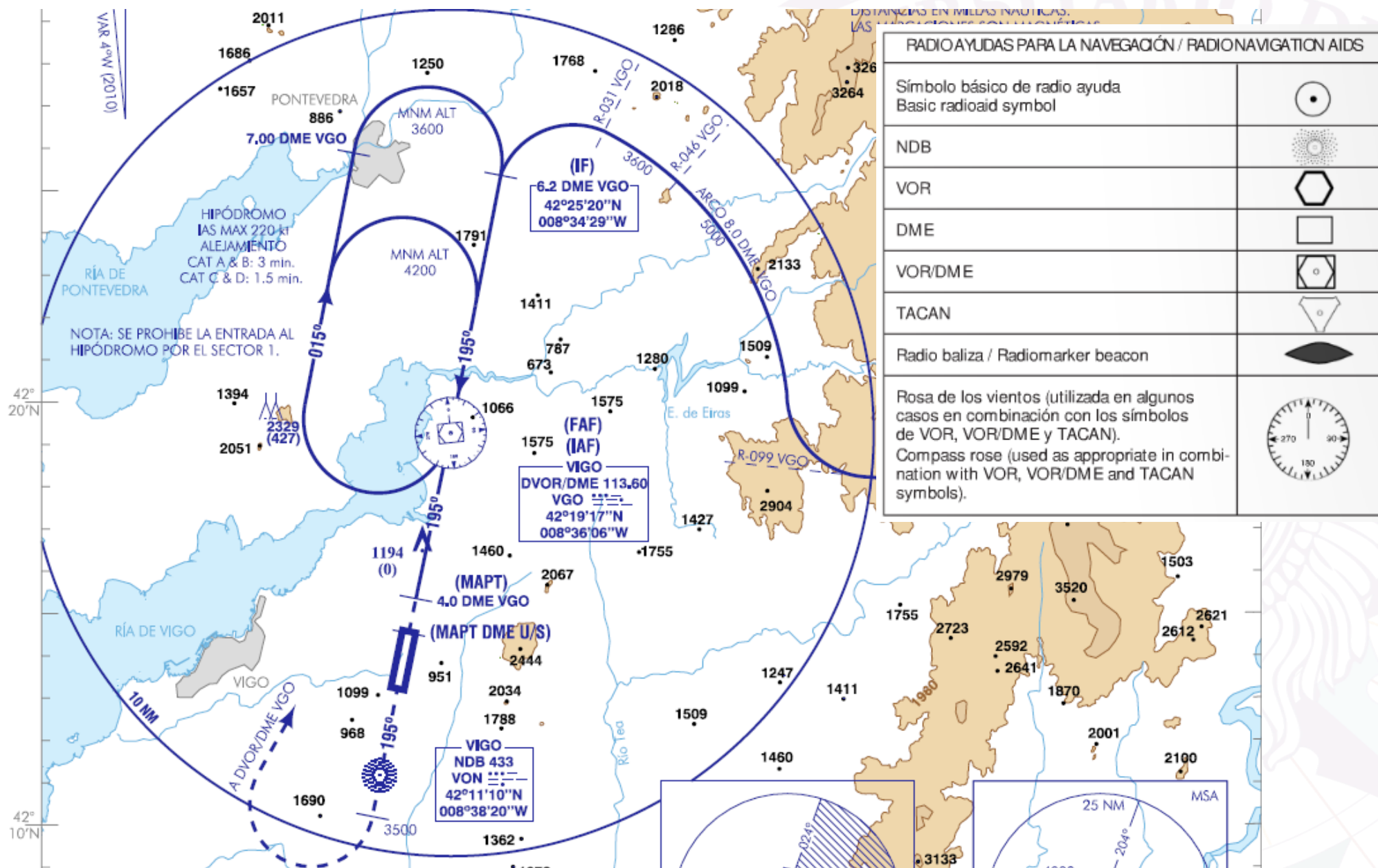
Radiogoniometría – Radiofaros direccionales (VOR)





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Radiofaros direccionales (VOR)





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

UniversidadeVigo

Sistema de Navegación Aérea Táctica (TACAN)





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Sistema de Navegación Aérea Táctica (TACAN)

- El sistema de navegación aérea táctica TACAN, (*TACTical Air Navigation*) usado, principalmente por aeronaves militares, es desde el punto de vista operativo, análogo a la combinación de un VOR y un DME, proporcionando al usuario información de rumbo y distancia a una estación situada en tierra o a bordo de un barco. Puede verse como la versión militar del VOR-DME.
- Debido a que el TACAN utiliza las frecuencias de la banda de UHF (962 a 1213 MHz), el sistema de antenas es más pequeño que el utilizado por el emisor VOR y por tanto, es más adecuado para su uso en buques de guerra.
- El TACAN trabaja en UHF y puede ser sintonizado en uno de los 126 canales que le han sido asignados a este tipo de radioayuda. Los canales van espaciados 0.5 MHz.
- La identificación de las estaciones TACAN es auditiva, en código MORSE, y está compuesta por tres letras que se repiten 30 veces por segundo.
- La exactitud de la componente de acimut es de $\pm 1^\circ$ o ± 63 m a 3,47 km, mejor que la del VOR civil. La precisión de la parte DME es de 185 m ($\pm 0,1$ millas náuticas).



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Sistema de Navegación Aérea Táctica (TACAN)

- La medición de distancia en el sistema TACAN es totalmente compatible con el DME, por tanto, para reducir el número de estaciones necesarias, las estaciones TACAN son frecuentemente situadas en instalaciones VOR. Estas agrupaciones de estaciones se conocen como VORTACs. Se trata de conjuntos formados por una estación VOR para información del rumbo de uso civil y una TACAN para medición del rumbo de uso militar y medición de la distancia de uso mixto (militar y civil).

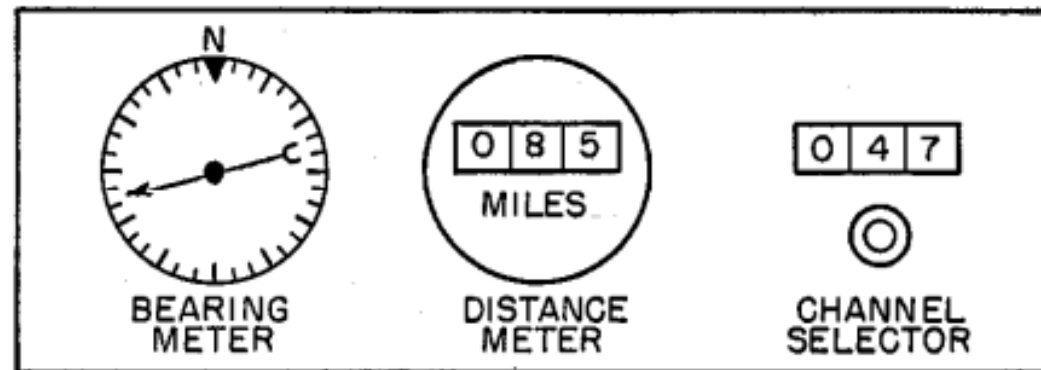
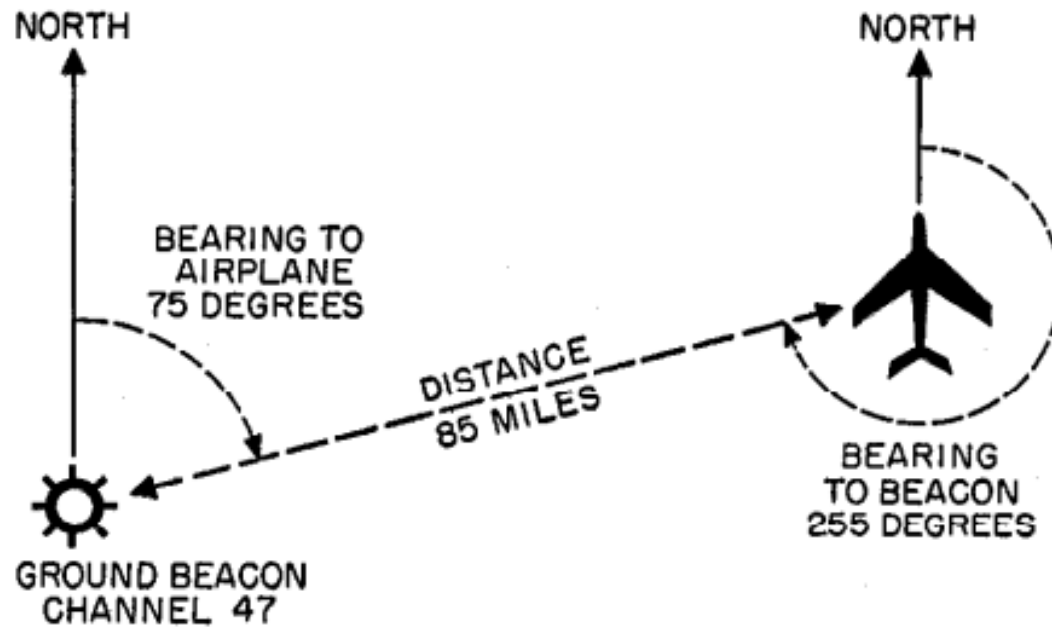


- Un **VORTAC** proporciona tres servicios individuales: VOR azimut, azimut de TACAN, y distancia de TACAN (DME).



Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Sistema de Navegación Aérea Táctica (TACAN)





Sistemas de Radionavegación

Radiogoniometría – Sistema de Navegación Aérea Táctica (TACAN)





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje





Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

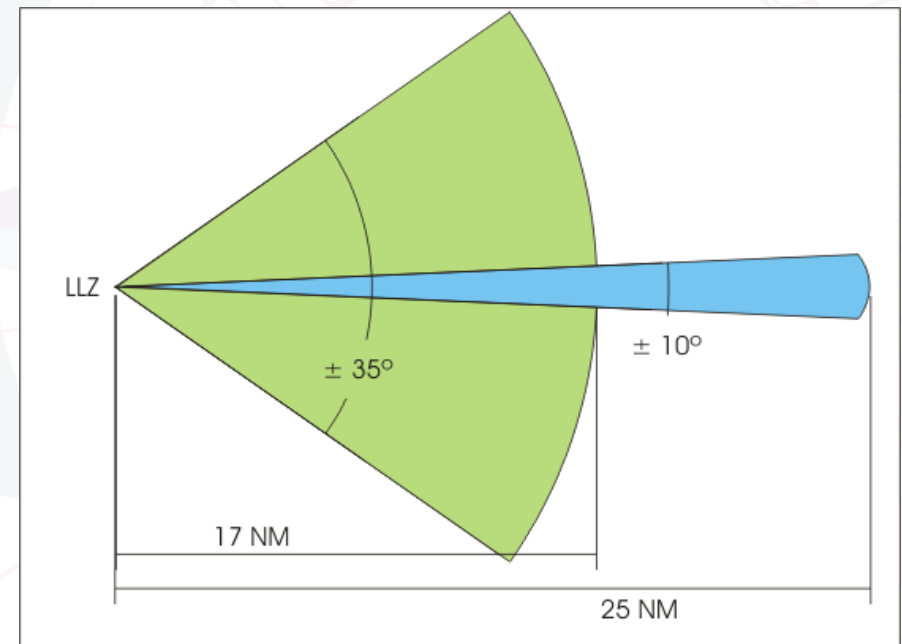
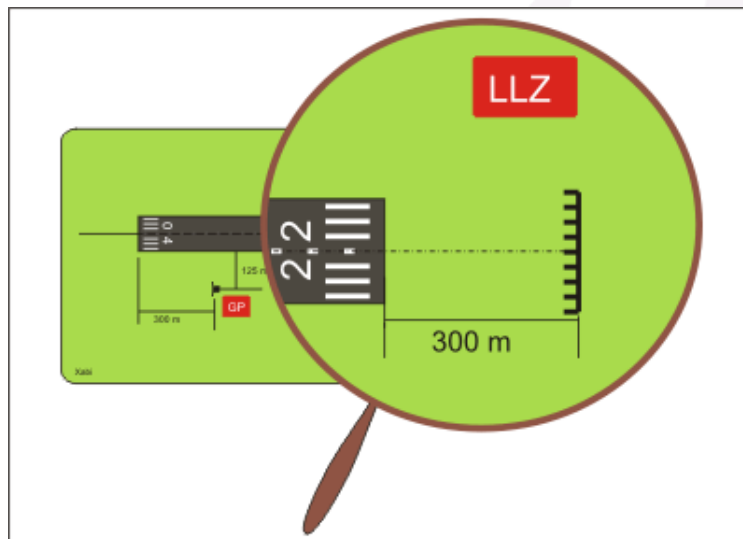
- El sistema de aterrizaje instrumental o **ILS** (*Instrument Landing System*) es el sistema de ayuda a la aproximación y el aterrizaje establecido por OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) como sistema normalizado en todo el mundo.
- Permite que un avión sea guiado con precisión durante la aproximación a la pista de aterrizaje y, en algunos casos, a lo largo de la misma.
- Un ILS está compuesto por dos subsistemas independientes:
 - **Localizador:** proporciona a la aeronave una guía de su situación respecto al eje central de la pista de aterrizaje, facilitándole alinearse con la misma, es decir, proporciona la guía horizontal.
 - **Senda de planeo:** proporciona a la aeronave la información necesaria para realizar el descenso gradual programado, es decir, proporciona la guía vertical.



Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- El subsistema Localizador (**LLZ**) es el elemento del ILS encargado de materializar el plano vertical que pasa por el eje de la pista y su prolongación. De esta forma proporciona a la aeronave información de guiado acimutal respecto al eje de pista durante la maniobra de aproximación.
- El Localizador se instala a unos 300 m del final de pista y proporciona información desde unas 25 mn del aeropuerto hasta incluso la pista, según la categoría de aproximación, en un sector de $\pm 35^\circ$ a cada lado del eje.





Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- El Localizador está constituido por un equipo transmisor y dos arrays de antenas formados por 8, 14 o 24 antenas direccionales log-periódicas y opera en la banda de frecuencias de 108 a 111,975 MHz.

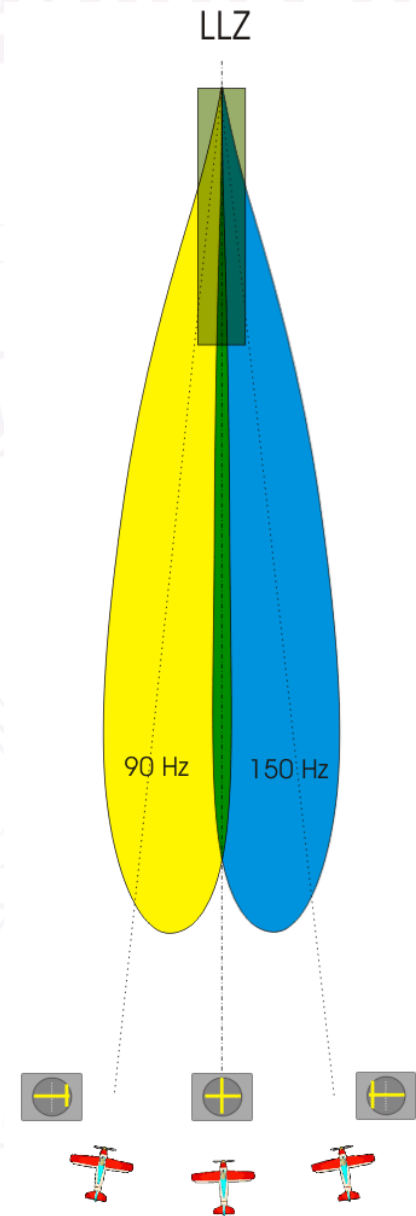




Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- Las señales de navegación proporcionan información de guiado y consisten en dos tonos, uno de 90 Hz y otro de 150 Hz, que modulan en AM a la portadora con un porcentaje de modulación del 20% cada uno de ellos.
- Por medio del sistema de antenas radiando con polarización horizontal, se produce un diagrama de radiación compuesto que proporciona un sector de rumbo o curso, región del espacio entorno al eje de pista y su prolongación en la que hay información de guiado proporcional, en el que predomina uno de los tonos a un lado del rumbo y el otro tono al otro lado. En el rumbo los dos tonos tienen igual proporción.
- El diagrama de radiación compuesto se generará de forma que cuando un observador se encuentre mirando al Localizador desde el umbral, a su izquierda predominará el tono de 150 Hz y a su derecha el de 90 Hz.

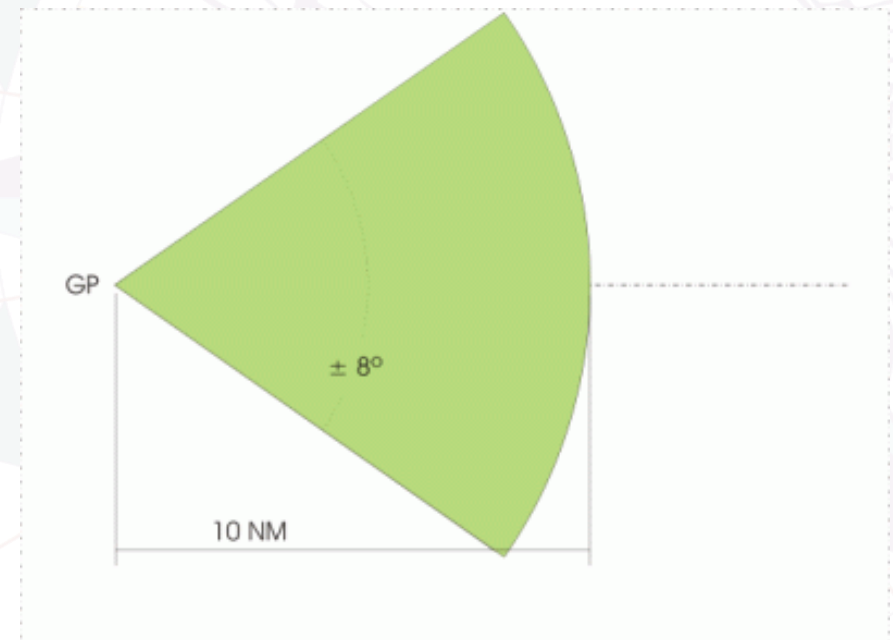
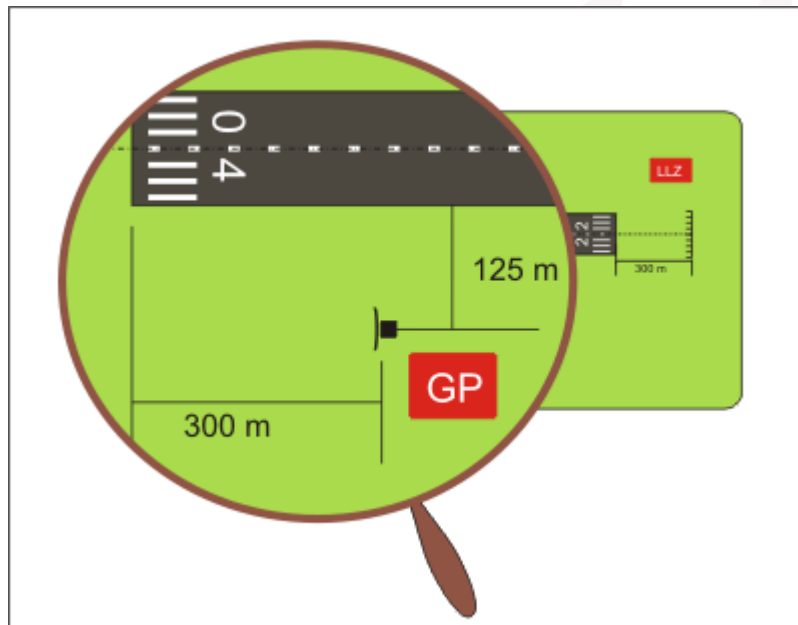




Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- El subsistema de Senda de Planeo (GS: Glide Slope o GP: Glide Path) es el encargado de materializar la superficie de descenso que, con una pendiente de entorno a los 3° respecto a la horizontal, pasa por el punto de contacto sobre la pista. Por lo tanto la Senda de Planeo proporciona información de guiado cenital con respecto a la superficie de aproximación durante la maniobra.
- El sistema de antenas de la Senda de Planeo está normalmente constituido por un mástil en el que de forma vertical se apilan las antenas y que se sitúa desplazado del eje de pista a unos 120 m de él y a unos 300 m del umbral.





Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- La Senda de Planeo trabaja en la banda de 328.6 a 335.4 MHz. Al sintonizar la frecuencia del Localizador en el receptor de a bordo de la aeronave, automáticamente queda sintonizada la correspondiente de la Senda de Planeo.
- En la Senda de Planeo, el sistema de antenas utilizado para generar el diagrama de radiación compuesto, está formado como hemos dicho por un cierto número de antenas, normalmente dos o tres, montadas una encima de otra en un mástil vertical y que utilizan el terreno que se encuentra frente a ellas como plano de reflexión. Por tanto el terreno forma parte del sistema de antenas, y su influencia en la señal obtenida es muy importante.

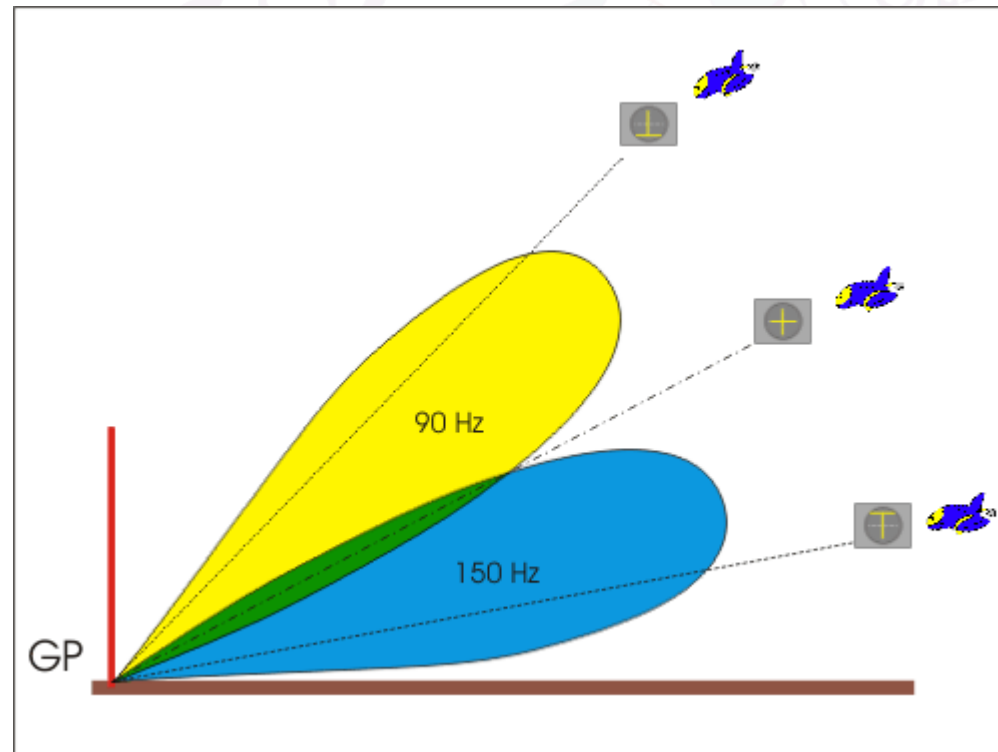




Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- El alcance de la Senda de Planeo es de 10 mn, en un sector de $\pm 8^\circ$ cada lado del eje de pista. Esta cobertura es bastante menor que la del Localizador puesto que durante la maniobra de aproximación se intercepta primero el Localizador para, una vez que se tiene una referencia en el plano horizontal, interceptar la Senda de Planeo y situarse en la trayectoria de descenso.
- Al igual que en el Localizador, las señales de navegación están formadas por dos tonos de 90 y 150 Hz que modulan en AM a la portadora, en este caso con un porcentaje de modulación del 40% cada uno de ellos.
- El diagrama de radiación compuesto se genera de tal forma que da lugar a una trayectoria de descenso en la que el tono de 150 Hz predomina por debajo de ella y el de 90 Hz lo hace por encima, habiendo igual proporción de ambos tonos en la trayectoria.





Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- Las señales del localizador y la senda de planeo se muestran en un instrumento de la cabina, llamado Indicador de Desviación de Curso (CDI: Course Deviation Indicator), como agujas horizontales y verticales (o un instrumento electrónico que las simule). El piloto controla el avión de manera que las agujas permanezcan centradas en el indicador, pues es entonces cuando el avión sigue la senda de planeo y la dirección correctas. Las señales también pueden pasarse a los sistemas de piloto automático para permitir que éste vuele la aproximación.

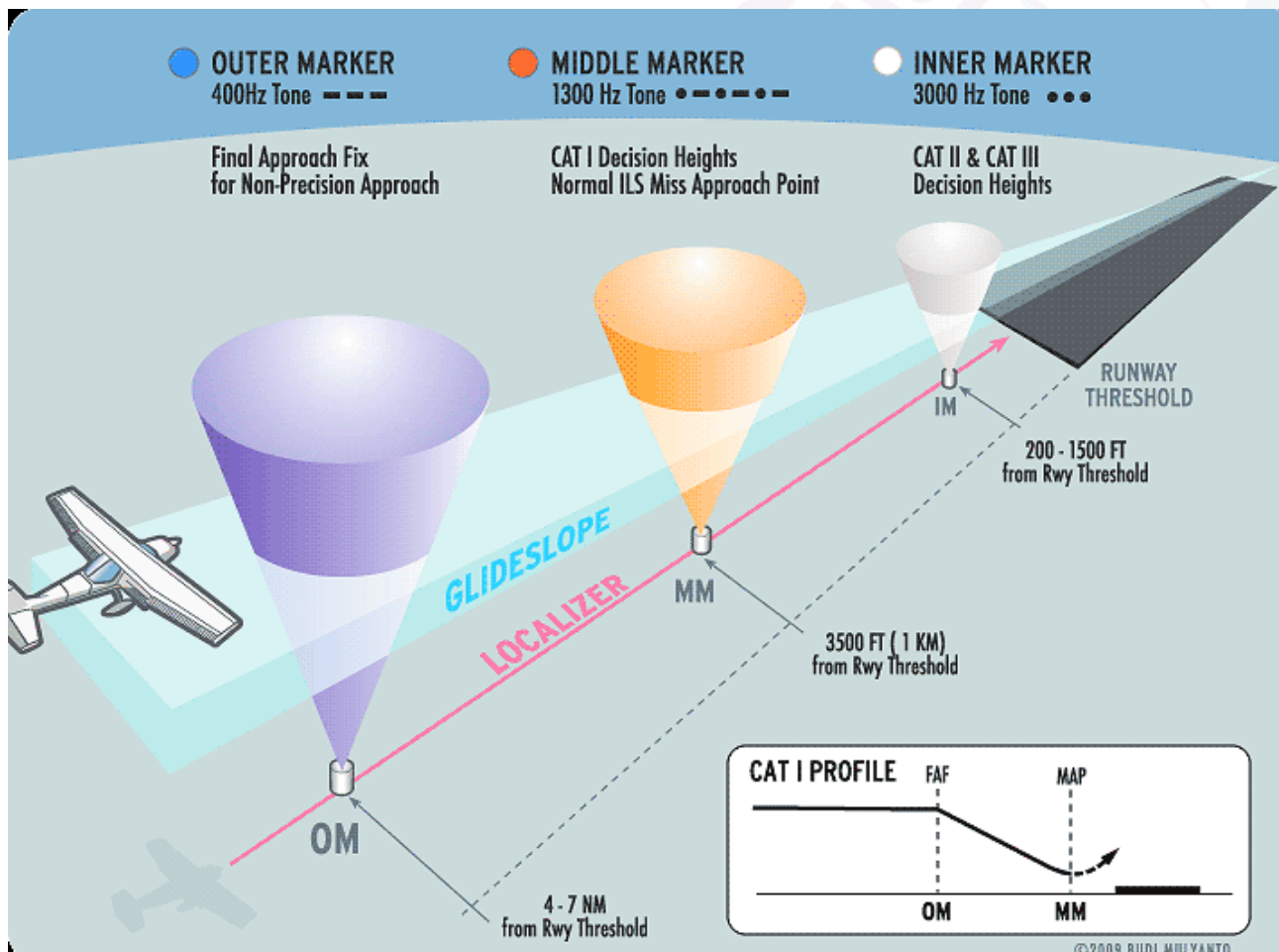




Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - ILS

- Aparte del localizador y de la senda, asociado al ILS podemos encontrar un DME o en su defecto una serie de radiobalizas para indicarnos la posición o distancia a lo largo del ILS. Las radiobalizas ayudan en los chequeos de altura, distancia y funcionamiento del equipo ILS.





- **Categoría I**
 - Permite, en casos de nieblas o nubes bajas, guiar al piloto sin visibilidad hasta los 60 metros de altura sobre el terreno, donde deberá obtener referencias visuales para poder aterrizar con una visibilidad horizontal en pista de 800 metros.
- **Categoría II**
 - Requiere también referencias visuales para aterrizar
 - Permite aterrizar con una altura de decisión de 30 m y una visibilidad de tan solo 400 metros.
- **Categoría III**
 - Aterrizaje automático del aparato
 - Permite operaciones incluso sin altitudes de decisión (sin visibilidad en altura) y una visibilidad mejor que 200m (CAT IIIa) o entre 50 y 200 m (CAT IIIb).
- Los sistemas de Categoría II y Categoría III permiten operaciones en visibilidad casi cero, pero requieren una certificación adicional del avión y la tripulación.
- Vigo, por ejemplo, tiene Categoría II/III desde 2004



Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - MLS

- El MLS (*Microwave Landing System*) o sistema de aterrizaje por microondas fue desarrollado por el servicio militar de los EEUU. Su principal motivación fue paliar una de las mayores limitaciones de su predecesor, el sistema de aterrizaje instrumental (ILS): la presencia de irregularidades en el terreno y distorsiones ocasionales que mermaban su funcionalidad.
- Los aviones y vehículos de la zona aeroportuaria pueden reflejar señales emitidas por las antenas de este sistema, provocando errores significativos a lo largo de la ruta de aproximación.
- En 1974 la OACI solicitó a sus estados miembros reemplazar el viejo ILS como estándar internacional de aviación civil por este nuevo sistema.
- Algunas ventajas de los sistemas MLS son:
 - El equipamiento es más preciso.
 - Permite múltiples curvas de aproximaciones, a diferencia de la rigidez de la aproximación lineal del ILS.
 - Es más barato.
 - Algunos sistemas pueden acomodarse totalmente al aterrizaje automático, que permite movimientos con niebla densa.



Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Aproximación y Aterrizaje - MLS

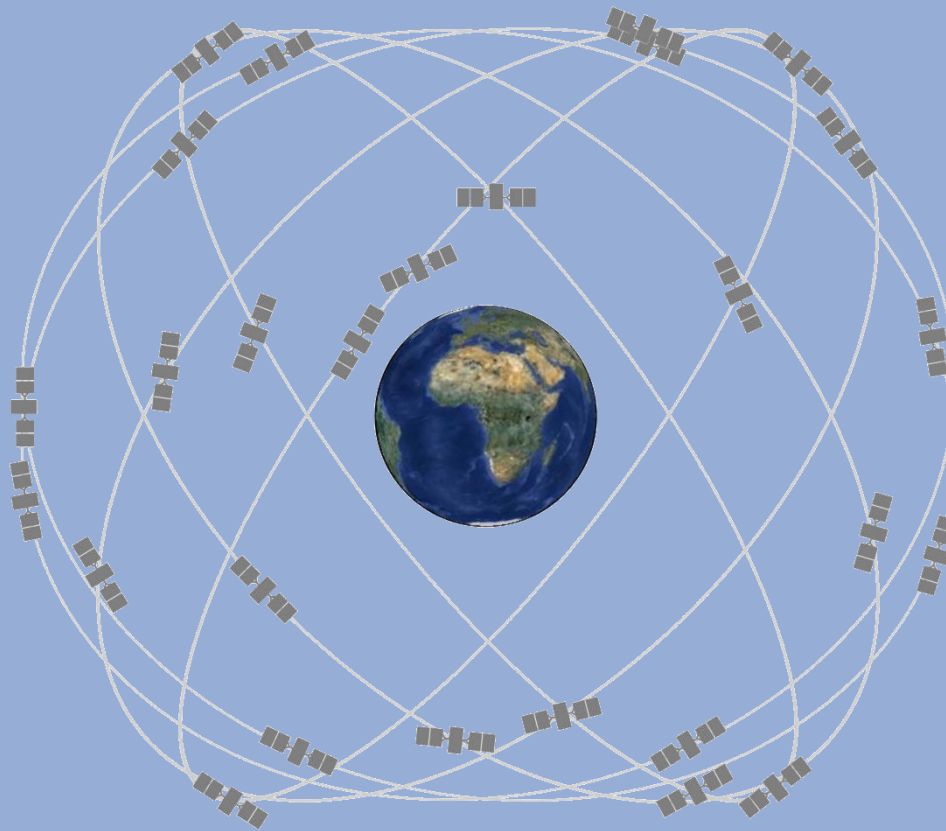
- No obstante, a finales de los años 1990, la OACI recomendó la pervivencia de los estándares ILS y MLS, mientras se definían los de navegación por satélite, mucho más precisos que ambos.
- La FAA de los EEUU suspendió el programa del MLS en 1994 en favor del sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*) que puede complementar o sustituir los actuales sistemas de MLS.
- El WAAS está ideado como un complemento para la red GPS para proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales, permitiendo una precisión en la posición menor de dos metros.



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Sistemas de Navegación por Satélite





- Un sistema global de navegación por satélite (GNSS) permite el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.
- La radionavegación por satélite se basa en el cálculo de una posición sobre la superficie terrestre midiendo las distancias de un mínimo de tres satélites de posición conocida. Un cuarto satélite aportará, además, la altitud. La precisión de las mediciones de distancia determina la exactitud de la ubicación final.
- Actualmente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa son los únicos que forman parte del concepto GNSS. La OACI va a reconocer en breve el sistema de navegación por satélite GALIELO desarrollado por la Unión Europea como sistema GNSS.
- Otros sistemas de navegación satelital que por ahora no están aceptados por la OACI como sistemas GNSS son: Beidou (China), QZSS (Japón) y el IRNSS (India).



Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Navegación por Satélite – NAVSTAR - GPS

- El NAVSTAR-GPS (NAVigation System and Ranging - Global Position System), conocido simplemente como GPS, es un sistema de radionavegación basado en satélites que utiliza mediciones de distancia precisas de satélites GPS para determinar la posición y la hora en cualquier parte del mundo
- El sistema está formado por una constelación de 24 a 27 satélites que se mueven en órbita a 20.000 km aproximadamente, alrededor de seis planos con una inclinación de 55 grados. Las órbitas están sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra.
- El número exacto de satélites varía en función de los satélites que se retiran cuando ha transcurrido su vida útil.

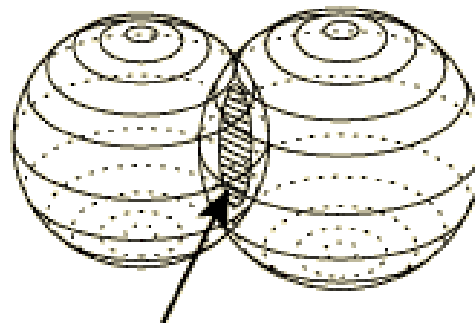




- El sistema es operado para el Gobierno de los Estados Unidos por su Departamento de Defensa y es el único sistema de navegación por satélite completamente operativo a fecha actual.
- Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe dos señales de radio en Banda L, llamadas "L1" y "L2".
- Cada señal GPS contiene dos componentes de información: un código pseudoaleatorio y los datos de **efemérides** del satélite.
- El código pseudoaleatorio identifica al satélite que transmite su señal.
- El almanaque contiene información sobre la salud del satélite (si debe considerarse o no para la toma de la posición), la fecha y hora actuales, su posición en el espacio, información doppler, etc. Para cada satélite, el tiempo es controlado por relojes atómicos a bordo, cruciales para conocer su posición.
- Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, midiendo la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición.

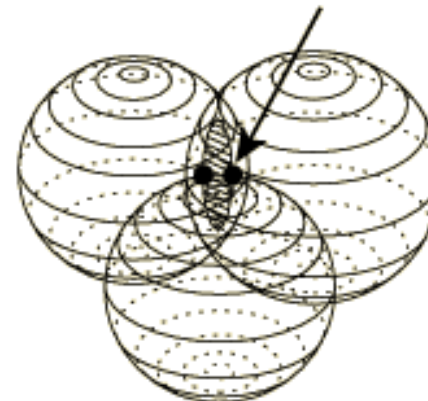


- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Obteniendo información de dos satélites queda determinada una circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas en algún punto de la cual se encuentra el receptor.
- Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud).



Dos medidas ponen al observador en algún punto sobre el círculo

Tres medidas ponen al observador en alguno de los dos puntos.





- GPS posee un error nominal en el cálculo de la posición de unos 15 m.
- Cuantos más satélites son visibles, más precisa es la posición del punto a determinar. El sistema está diseñado para asegurar que al menos cuatro satélites estarán visibles con una recepción configurada de la señal de 15° sobre el horizonte en un momento dado, en cualquier parte del mundo.
- Aunque el GPS puede dar posiciones muy precisas, aún hay fuentes de error. Estos incluyen los errores del reloj, los retrasos atmosféricos, sin saber exactamente dónde están los satélites en sus órbitas, las señales que se refleja de los objetos en la superficie de la Tierra, e incluso la degradación intencionada de la señal del satélite.



- Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los EE. UU. se reservaba la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio, que podía variar de los 15 a los 100 m. La llamada "disponibilidad selectiva" (S/A) fue eliminada el 2 de mayo de 2000. Aunque actualmente no aplique tal error inducido, la precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados.
- Con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 ó 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (están dispersos), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo. Si se activa el sistema DGPS llamado SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS), la precisión mejora siendo inferior a un metro en el 97% de los casos.



Sistemas de Radionavegación

Sistemas de Navegación por Satélite – GALILEO

- GALILEO es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) desarrollado por la Unión Europea (UE), con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS. Al contrario de estos dos, será de uso civil. El sistema se espera poner en marcha en 2018 y estará formado por 30 satélites (27 operativos y 3 de reserva) en orbitas MEO. Será compatible con GPS y GLONASS.

	Open	Commercial		Public Regulated		Safety of
	Service (OS)	Service (CS)		Service (PRS)		Life Service (SoL)
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Accuracy	h = 4m	<1m	< 10cm	h = 6,5m	1m	4-6m
- horizontal (h)	v = 8m	(dual	(locally	v = 12m	(locally	(dual
- vertical (v)	(dual	frequency)	augmented		augmented	frequency)
	frequency)		signals)		signals)	
	h = 15 m					
	v = 35 m					
	(mono					
	frequency)					
Availability	99.8%	99.8%		99-99.9%		99.8%
Integrity	No	Value-added service		Yes		Yes