

Navegación aérea, equipos y sistemas

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Contenido

1. Introducción	5
2. Introducción a la Navegación aérea	5
2.1 Concepto de Navegación aérea	5
2.2 Fases del vuelo	6
2.3 Funciones de Navegación	7
3. Técnicas de Navegación aérea	8
3.1 Navegación de área	10
3.1.1 Conceptos básicos	10
3.1.2 Relación RNAV/RNP	12
3.1.3 Beneficios de RNAV, RNP y PBN	14
3.2 Sistemas de ayuda a la Navegación aérea	15
3.2.1 Generalidades	15
3.2.2 Clasificación por parámetros	15
3.2.3 Clasificación por técnicas que usan y por sus elementos	16
3.3 Sistemas no autónomos, terrestres: Radioayudas	20
3.3.1 Sistema NDB	20
3.3.1.1 Principio de funcionamiento	20
3.3.1.2 Equipo de tierra NDB	20
3.3.1.3 Equipo de a bordo	21
3.3.1.4 Navegación NDB	21
3.3.1.5 Características operacionales	22
3.3.2 Sistema VOR	23
3.3.2.1 Principio de funcionamiento	23
3.3.2.2 Equipo de tierra VOR	24
3.3.2.3 Equipo de a bordo	25
3.3.2.4 Navegación VOR	26
3.3.2.5 Características operacionales	29
3.3.3 Sistema DME	29
3.3.3.1 Principio de funcionamiento	30
3.3.3.2 Equipo de tierra DME	31
3.3.3.3 Navegación DME	31
3.3.3.4 Equipo de a bordo	32
3.3.3.5 Características operacionales	32
3.3.4 Sistema ILS	33

© 2019 ENAIRe

La información aquí expuesta es propiedad de ENAIRe.

No puede ser usada, reproducida y/o transmitida por ningún medio, sin la autorización expresa de ENAIRe.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.4.1 Principio de funcionamiento	33
3.3.4.2 Equipo de tierra ILS	33
3.3.4.3 Equipo de a bordo.....	35
3.3.4.4 Navegación ILS	35
3.3.4.5 Características operacionales	38
3.3.5 Sistemas hiperbólicos	39
3.4 Sistemas no autónomos, terrestres: Visuales	40
3.4.1 Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación.....	41
3.4.1.1 Sistemas PAPI y APAPI.....	41
3.4.1.2 Sistemas T-VASIS y AT-VASIS	43
3.4.2 Sistemas de luces de aproximación.....	43
3.5 Sistemas no autónomos, espaciales	47
3.5.1 Sistemas de Navegación por Satélite	47
3.5.1.1 Principio de funcionamiento de las constelaciones principales GNSS	47
3.5.1.2 Descripción de las constelaciones principales GNSS	48
3.5.1.3 Características operacionales	49
3.5.1.4 Sistemas de Aumentación.....	49
3.6 Sistemas autónomos	51
3.6.1 Sistema de Navegación inercial (ins)	51
3.6.1.1 Principio de funcionamiento	51
3.6.1.2 Equipo de a bordo.....	52
3.6.1.3 Características operacionales	52
3.6.2 Radar Doppler	53
3.6.2.1 Principio de funcionamiento	53
3.6.2.2 Equipo de a bordo.....	54
3.6.2.3 Características operacionales	54
4. Funciones y sistemas de vigilancia	55
4.1 Descripción de los sistemas de vigilancia	57
4.1.1 Sistemas de vigilancia no cooperativa.....	57
4.1.1.1 Radar Primario (PSR).....	57
4.1.1.2 Principio de funcionamiento	57
4.1.1.3 Equipo de tierra PSR	58
4.1.1.4 Características operacionales	59
4.1.1.5 Radar de movimiento en superficie (SMR).....	60
4.1.1.6 Características operacionales	61

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

4.1.2	Sistemas de vigilancia cooperativa.....	62
4.1.2.1	Radar secundario (SSR).....	62
4.1.2.2	Principio de funcionamiento	62
4.1.2.3	Equipo de tierra SSR.....	63
4.1.2.4	Equipo de a bordo.....	63
4.1.2.5	Características operacionales	64
4.1.2.6	Sistemas de multilateración	64
4.1.2.6	Equipo de a bordo.....	67
4.1.2.7	Características operacionales	67
4.1.3	SISTEMA DE VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA	68
4.1.3.1	Principio de funcionamiento	68
4.1.3.2	Tipos de ADS	68
4.1.3.3	Características operacionales	69
5.	Acrónimos	70
6.	Bibliografía.....	73

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

1. Introducción

El objetivo de este tema es proporcionar una visión general de los aspectos técnicos y operativos de la navegación aérea, en los ámbitos relacionados con la propia navegación y la vigilancia de aeronaves.

Se empezará describiendo brevemente cuál ha sido la evolución del concepto de navegación aérea, para ofrecer posteriormente una perspectiva general de las funciones de navegación y vigilancia de las aeronaves, así como de los sistemas y técnicas que permiten llevarlas a cabo.

A continuación, se profundizará en la explicación de cada uno de los sistemas, analizando sus respectivos principios de funcionamiento y las características operacionales más destacables de cada uno de ellos, así como sus aplicaciones más comunes.

2. Introducción a la Navegación aérea

2.1 Concepto de Navegación aérea

En sus inicios, el concepto de navegación aérea se refería exclusivamente a los métodos que permitían a las aeronaves realizar un vuelo entre un origen y un destino, con un conocimiento permanente de su posición en el espacio.

Sin embargo, este concepto ha evolucionado paralelamente al desarrollo del transporte aéreo. El incremento del número de aeronaves, la mejora de sus prestaciones e infraestructuras de apoyo, así como la complejidad de los nuevos escenarios operativos de vuelo, son factores que han requerido que la navegación aérea deba considerar otros aspectos adicionales, con objeto de realizar un proceso de convivencia segura de los elementos que conforman del tráfico aéreo.

Actualmente, se habla de sistema de navegación aérea (SNA), que se puede definir como el conjunto de elementos jurídicos, organizativos, técnicos y operativos que permiten llevar a cabo las operaciones aéreas de una manera segura, fluida y eficiente. El éxito del SNA sólo es posible mediante un desarrollo equilibrado de todos ellos.

- a. La **parte jurídica y organizativa** está relacionada con el marco regulador donde se establecen tanto los principios y normas que rigen el desarrollo de las operaciones, como los requisitos y responsabilidades exigibles a las personas involucradas en ellas.
- b. Los **aspectos técnicos y operativos** se engloban en el concepto CNS-ATM, dentro de una serie de servicios destinados a optimizar las actuaciones de las aeronaves:

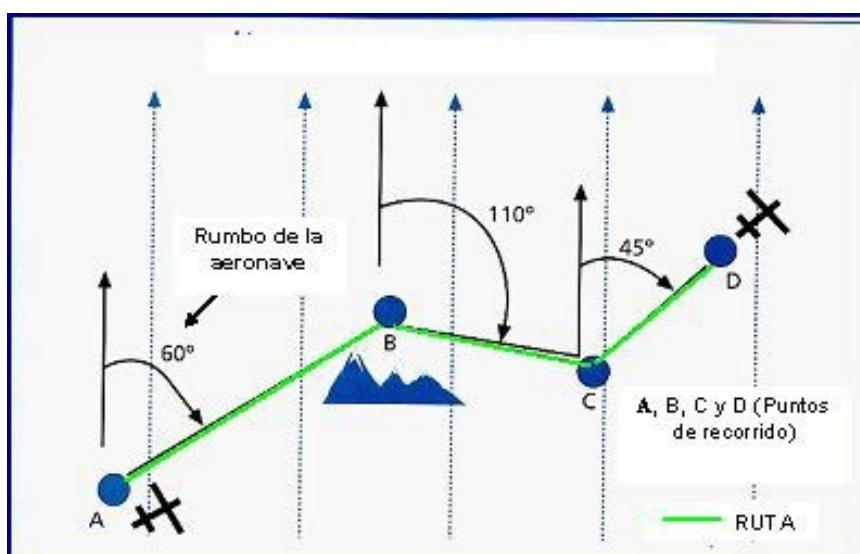
Navegación aérea, Equipos y Sistemas

- Servicios de Gestión de Tránsito Aéreo (ATM / Air Traffic Management): Aquellos relacionados con la organización del espacio aéreo, la gestión de afluencia y el control del tráfico aéreo, así como el suministro de información y alerta a las aeronaves.
- Servicios de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS / Communications, Navigation and Surveillance): Aquellos proporcionados por los distintos medios técnicos que actúan como soporte del ATM:
 - Comunicaciones: Medios que permiten la difusión de los datos de interés para las operaciones aéreas.
 - Navegación: Medios que permiten a las aeronaves conocer su posición y navegar de un lugar a otro del espacio aéreo.
 - Vigilancia: Medios que permiten conocer, en tiempo real, la posición de todas las aeronaves que operan en un entorno determinado.

2.2 Fases del vuelo

Desde un punto de vista operativo, la navegación aérea tiene como principal objetivo dirigir la aeronave de un lugar geográfico a otro a través de una ruta establecida.

La ruta a seguir por una aeronave debe ser planificada antes de la realización del vuelo y se determina mediante una serie de puntos de recorrido, delimitados entre el origen y el destino.

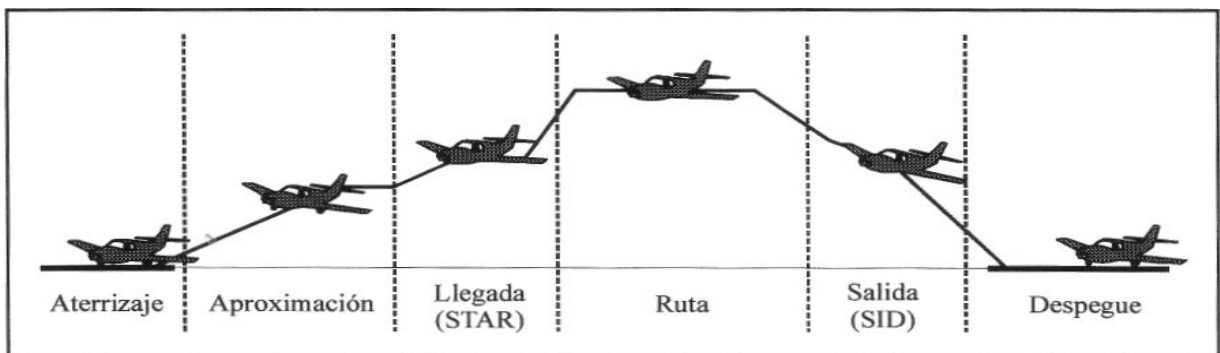


Esquema de la ruta seguida por una aeronave-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

De esta forma, el vuelo de una aeronave se puede dividir en seis fases:

- Despegue: Es la fase en que la aeronave comienza el ascenso, abandonando el aeropuerto de origen.
- Ascenso (salida): La aeronave continúa el ascenso, siguiendo las rutas de salida establecidas, hasta alcanzar el punto donde se inicia la fase de ruta.
- Ruta: Es la fase donde la aeronave completa la mayor parte del trayecto, realizando el vuelo de manera estable y nivelada.
- Descenso (llegada): En esta fase, la aeronave abandona la fase ruta y comienza el descenso, siguiendo las rutas de llegada establecidas, hasta el punto donde se inician las últimas fases del vuelo.
- Aproximación y aterrizaje: Son las fases del vuelo donde se realiza el descenso final de la aeronave hasta la pista de destino.



Representación esquemática de las diferentes fases de vuelo-

2.3 Funciones de Navegación

En cada una de las fases del vuelo, el proceso de navegación requiere de dos funciones principales:

- **Función de posicionamiento**: En la que el piloto debe conocer, en todo momento, la situación de la aeronave respecto a la ruta establecida.
- **Función de guiado**: En la que el piloto debe dirigir convenientemente la aeronave, con objeto de mantener la ruta establecida, según los datos de posición.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

La precisión y la eficacia requeridas en la ejecución de estas funciones dependerán necesariamente de la fase en que se encuentre el vuelo. De este modo, en las fases iniciales y finales –que son críticas, por las condiciones de vuelo de la aeronave y los riesgos de colisión con otras aeronaves y obstáculos- las exigencias serán mayores que en ruta, donde el vuelo es nivelado, a velocidad constante y sólo existe potencial conflicto de colisión con otras aeronaves.

3. Técnicas de Navegación aérea

Las técnicas de navegación aérea son los métodos y procedimientos que se utilizan en aviación para realizar un vuelo entre su origen y su destino.

Los diferentes modos existentes han surgido en función de la necesidad de volar en diferentes entornos geográficos y operativos, así como de la continua evolución tecnológica de las aeronaves y los dispositivos de ayuda a la navegación.

NAVEGACIÓN VISUAL	Definición	Es una técnica basada en la observación directa del piloto de las referencias externas a la aeronave
	Procedimientos	a) Inicialmente, se planifica sobre una carta la ruta a seguir, estableciendo una serie de puntos de recorrido que coincidan con elementos fácilmente identificables (ríos, carreteras, edificaciones, etc.) b) Durante el vuelo, el piloto utiliza las referencias existentes en el terreno para conocer su posición y guiar la aeronave hacia los puntos de paso marcados en la ruta.
	Observaciones	Se trata de un modo de navegación muy elemental cuya eficacia depende considerablemente del grado de pericia que muestre el piloto. Presenta muchas limitaciones, desde tener que volar próximo al terreno, hasta la alta dependencia de las condiciones meteorológicas y de visibilidad.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

NAVEGACIÓN A ESTIMA	Definición	Es una técnica basada en el uso de tres parámetros: la velocidad, el tiempo y el rumbo de la aeronave
	Procedimientos	a) Inicialmente, se planifica sobre una carta la ruta a seguir, estableciendo una serie de puntos de recorrido que se unen por tramos rectos caracterizados por su rumbo y su distancia. b) Tras verificar la posición de partida, el piloto se dirige hacia el siguiente punto de recorrido, manteniendo -a través de la brújula- el rumbo establecido en la ruta. Si se mantiene una velocidad constante, se puede estimar la posición de la aeronave en cualquier momento del recorrido, así como el instante en que alcanza el siguiente punto de la ruta, midiendo el tiempo transcurrido en el intervalo (en un movimiento rectilíneo y uniforme -a velocidad constante- el espacio recorrido es el producto de la velocidad por el tiempo empleado) c) La técnica se va repitiendo sucesivamente con los distintos puntos de paso de la ruta, hasta llegar al destino.
	Observaciones	- Es importante recalcar que las posiciones calculadas sólo son una estimación respecto a la real, ya que no se tienen en cuenta factores como la presencia de viento o los propios errores de pilotaje e instrumentales. - No obstante, aunque se trate de un tipo de navegación sometido a grandes imprecisiones, su principio de funcionamiento es utilizado - de manera perfeccionada- en determinados sistemas de ayuda a la navegación más sofisticados, como la navegación inercial.
NAVEGACIÓN RADIO-ELÉCTRICA CONVENCIONAL	Definición	Es una técnica de navegación instrumental basada en el vuelo hacia o desde radioayudas.
	Procedimientos	a) Se establece la ruta de vuelo de forma que los puntos de recorrido coincidan con estaciones terrestres de radioayudas. b) Durante el vuelo, el piloto dirige la aeronave de estación en estación, utilizando la información de navegación (posición y

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

		<p>guiado) proporcionada por las propias radioayudas.</p> <p>c) Dentro de un determinado espacio aéreo, esta técnica determina una red de rutas fija supeditada a la configuración existente de radioayudas, lo que limita la utilización de la capacidad disponible.</p>
	Observaciones	<p>La imposibilidad de determinar trayectorias de vuelo flexibles no solo impide una utilización óptima del espacio aéreo, sino que aumenta la complejidad de las operaciones y tiene importantes repercusiones en los costes operativos y medioambientales.</p>
NAVEGACIÓN DE ÁREA	Definición	Es una técnica de navegación instrumental que permite a la aeronave desplazarse en cualquier trayectoria deseada
	Procedimientos	<p>a) La ruta se define mediante las coordenadas de latitud y longitud de los puntos de recorrido que se establezcan, sin necesidad de que éstos coincidan con instalaciones terrestres de radioayudas.</p> <p>b) El piloto ejecuta las funciones de navegación según las instrucciones proporcionadas por los equipos RNAV o RNP de a bordo, que determinan, de forma automática, los datos de posición y guiado a partir de la información tomada de los distintos dispositivos de ayuda a la navegación de los que dispone la aeronave, autónomos o apoyados en radioayudas, de acuerdo con la ruta programada.</p>
	Observaciones	Se desarrolla en el punto siguiente dado la importancia que tienen en la actualidad

3.1 Navegación de área

3.1.1 Conceptos básicos

Como hemos indicado anteriormente, es una técnica de navegación que permite a la aeronave desplazarse en cualquier trayectoria deseada.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Con ella se han desarrollado varios conceptos:

- Especificación RNAV
- Especificación RNP
- Concepto PBN, que engloba los dos puntos anteriores.

Especificación RNAV	Definición	Es para navegación basada en la navegación de área que NO incluye el requisito de vigilancia y alerta de la performance a bordo					
	Permite operar	en cualquier región de espacio aéreo y fase de vuelo -dentro de la cobertura y los límites operacionales de los sistemas de ayuda empleados- siempre que se satisfagan los requerimientos prescritos en el ámbito del concepto RNAV					
	TIPOS en función de prestaciones que puede proporcionar el sistema		CON CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR				
			Posicionamiento	Guiado en plano horizontal	Guiado en plano Vertical	Previsiones de tiempo de vuelo entre puntos de la ruta	
			RNAV 2D	SI	SI		
			RNAV 3D	SI	SI	SI	
			RNAV 4D	SI	SI	SI	SI
Especificación RNP	Definición	Es para la navegación basada en la navegación de área que incluye el requisito de vigilancia y alerta de la performance a bordo.					
Concepto PBN	Definición	Es un concepto definido por OACI que engloba tanto a las especificaciones RNAV como a las RNP: - por el que se pretende alcanzar un nivel óptimo de seguridad y eficiencia - para los vuelos realizados en un espacio aéreo determinado, - condicionando la operatividad en el mismo al cumplimiento de unas prestaciones definidas para la navegación (relacionadas con los parámetros de exactitud, integridad, continuidad y disponibilidad).					
	Parámetros básicos	Exactitud	Se define como la diferencia entre la posición indicada por el sistema de navegación y la posición real de la aeronave.				
		Integridad	Se define como la capacidad del sistema para desconectarse automáticamente, o advertir al usuario, cuando no deba ser utilizado para la navegación. Este parámetro se suele expresar como el número de veces que				

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

			el sistema se apaga -o avisa- en un intervalo de tiempo o por operación.
		Continuidad	Se define como la capacidad del sistema para realizar sus funciones durante una determinada operación aérea, sin sufrir interrupciones imprevistas en el servicio. Este parámetro se suele expresar como el número de interrupciones por intervalo de tiempo o por operación.
		Disponibilidad	Se define como la capacidad del sistema para realizar sus funciones al inicio de una operación. Este parámetro se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema se encuentra operativo, cumpliendo simultáneamente con los requerimientos de exactitud, integridad y continuidad
	Permite operar	Dentro de un espacio aéreo, este concepto es aplicable a cualquier tipo de operación que se pueda desarrollar en las diversas fases del vuelo	

3.1.2 Relación RNAV/RNP

Para ambas designaciones, RNP y RNAV, la expresión “X” (cuando está indicada) se refiere a la precisión de navegación lateral (TSE) en millas náuticas que se espera que logre, en por lo menos el 95% del tiempo de vuelo. Así RNAV 5 requiere una precisión de navegación lateral de 5 NM.

De acuerdo con el Doc. 9613 de OACI “Manual de Navegación Basada en Prestaciones PBN”, se definen las siguientes Especificaciones de Navegación, de aplicación a las fases de vuelo indicadas:

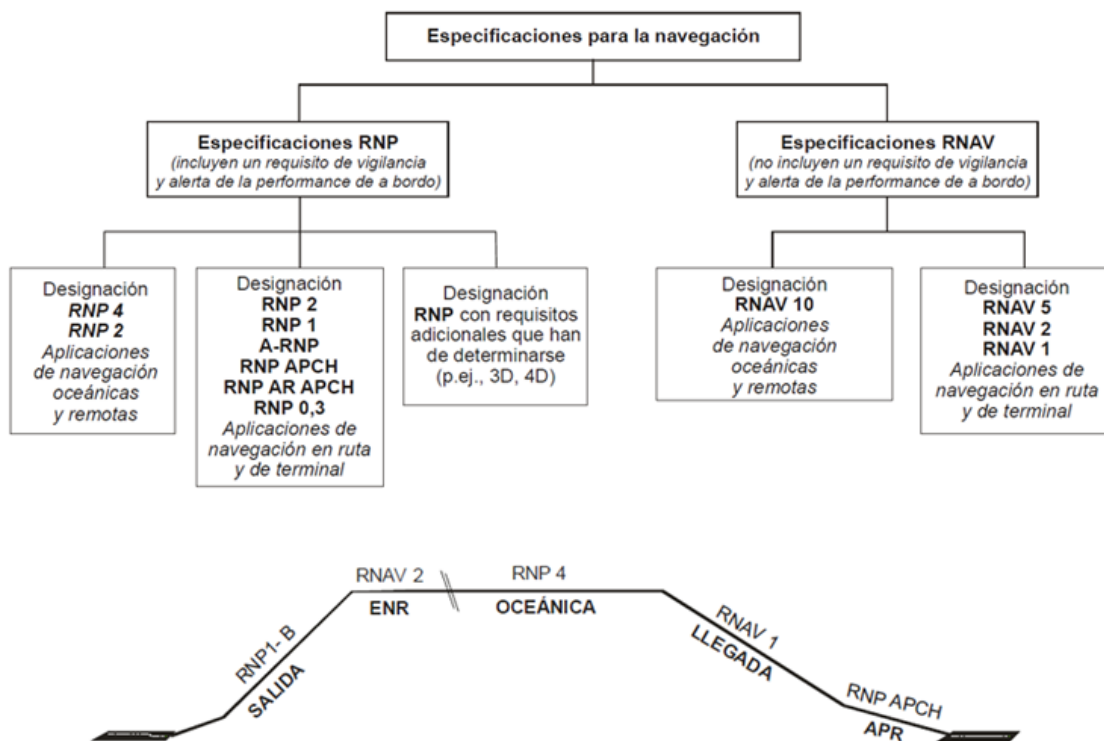
- **RNAV 10**: Se utiliza para apoyar operaciones RNAV en la fase de vuelo en ruta para mantener mínimas de separación longitudinal basadas en la distancia, en el espacio aéreo oceánico o dentro de áreas remotas. Por motivos históricos se la puede designar también a veces como “RNP 10”, aunque no cuente con el requisito de vigilancia y alerta de la performance a bordo.
- **RNAV 5**: Se utiliza para apoyar operaciones RNAV en la fase de vuelo en ruta para el espacio aéreo continental.
- **RNAV 1 y 2**: Se utilizan para apoyar operaciones RNAV en la fase de vuelo en ruta, en SID, STAR y en aproximaciones (sólo en tramos iniciales, intermedios o de frustrada). En la Unión Europea no está previsto el uso de RNAV 2, ni el de RNAV 1 en fase de ruta.
- **RNP 4**: Se utiliza para apoyar operaciones RNP en la fase de vuelo en ruta para mantener mínimas de separación longitudinal basadas en distancia en el espacio aéreo oceánico o de áreas remotas.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

- **RNP 1**: Se utilizan para apoyar operaciones RNP en SID, STAR y en aproximaciones (sólo en tramos iniciales, intermedios o de frustrada) con vigilancia ATS limitada o sin ella y con tránsito de baja a media densidad. Puede utilizar tramos curvos de radio fijo.
- **RNP APCH**: Se utiliza para apoyar operaciones de aproximación RNP de hasta RNP 0,3 NM diseñadas con tramos rectos, o curvos de radio fijo (estos últimos, sólo los tramos de aproximación inicial o intermedia, o en algunas partes de la aproximación frustrada). Se pueden incluir requisitos para capacidades como la función baro-VNAV¹, o la utilización de sistemas SBAS en aproximación final.
- **RNP AR APCH**: Se utiliza para apoyar operaciones de aproximación RNP con tramos de RNP entre 1 y 0,1 (inicial, intermedia o frustrada) y entre RNP 0,3 y 0,1 (aproximación final). Está diseñada para tramos rectos y/o tramos curvos de radio fijo en cualquier parte del procedimiento, incluyendo la aproximación final. El guiado vertical final utiliza función baro-VNAV.
- **RNP 0.3**: La especificación RNP 0.3 está principalmente dirigida a operaciones de helicópteros y puede usarse en ruta, SID, STAR y aproximación (excepto aproximación final).
- **A-RNP (RNP avanzada)**: especificación universal que aplica valores de RNP diferentes y escalables, entre 2 y 0,3, según se use en ruta, SID, STAR o aproximación. No está previsto su uso en la Unión Europea.

¹ Sistema que proporciona guiado vertical a través de información baroaltimétrica.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Es importante tener en cuenta que el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones PBN afecta a todos aquellos aspectos que repercuten en el proceso de navegación. Por consiguiente, no solo se requerirán unas determinadas prestaciones en los equipos de a bordo, sino que también podrán imponer –entre otras- unas limitaciones operacionales a los sistemas de apoyo que se utilicen, o un nivel de precisión en los sistemas de referencia geográficos.

3.1.3 Beneficios de RNAV, RNP y PBN

Las técnicas de navegación de área aplicadas en diversas partes del mundo ya han demostrado las ventajas respecto a otras formas de navegación más tradicionales:

Mayor flexibilidad en el diseño de la red de rutas, permitiendo optimizar la capacidad del espacio aéreo y un uso más eficiente del mismo.

Reducción de las distancias de vuelo, con la consiguiente disminución de los costes operativos y medioambientales.

Mejora de la eficiencia y la seguridad operacional en las diferentes fases del vuelo.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.2 Sistemas de ayuda a la Navegación aérea

3.2.1 Generalidades

A lo largo de la historia, las necesidades determinadas por el desarrollo del transporte aéreo han propiciado el desarrollo de diferentes métodos que permitieran la navegación en los distintos escenarios en los que una aeronave se pudiera encontrar, bajo cualquier tipo de condiciones meteorológicas y de visibilidad.

Para cada fase de vuelo, se especifican unos requerimientos operacionales relacionados con las prestaciones que deben cumplir los sistemas de navegación que actúen en ella.

3.2.2 Clasificación por parámetros

En función de los requisitos exigidos para una operación o fase de vuelo, un sistema de ayuda a la navegación podrá ser considerado como:

- Medio principal o primario: Sistema de ayuda a la navegación aprobado para una determinada operación o fase de vuelo que debe satisfacer los requisitos establecidos de precisión e integridad, sin necesidad de cumplir las condiciones de disponibilidad y continuidad en el servicio.
- Medio único: Sistema de ayuda a la navegación aprobado para una determinada operación o fase de vuelo que debe cumplir los cuatro requisitos de prestación del sistema.
- Medio suplementario: Sistema de ayuda a la navegación aprobado para una determinada operación o fase de vuelo que debe utilizarse juntamente con un sistema considerado como medio único. Debe satisfacer los requisitos de precisión e integridad, sin necesidad de cumplir las condiciones de disponibilidad y continuidad en el servicio.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.2.3 Clasificación por técnicas que usan y por sus elementos

SISTEMAS NO AUTÓNOMOS	Definición	Aquellos que se componen de un equipo de a bordo capaz de calcular y proporcionar al piloto la información de navegación, a partir de los datos suministrados por una infraestructura externa a la aeronave				
	Tipos	B. TERRESTRES	<u>Definición</u>	Son aquellos que utilizan una infraestructura auxiliar constituida exclusivamente por instalaciones fijas terrestres		
			<u>Tipos</u>	Por radioayudas	<u>Definición</u>	Aquellos cuya infraestructura externa a la aeronave está constituida exclusivamente por estaciones terrestres fijas, las cuales suministran la información de navegación mediante su codificación y emisión en señales de radiofrecuencia. Estas señales son captadas y decodificadas por el equipo de a bordo del sistema, proporcionando al piloto los datos de posición y guiado
					<u>Tipos</u>	NDB VOR DME ILS
				Visuales	<u>Definición</u>	Aquellos cuya infraestructura externa a la aeronave está constituida por agrupamientos de luces, que suministran la información de navegación mediante su disposición sobre el terreno y la utilización de códigos de colores. En este caso, no existe un dispositivo de a bordo específico, siendo

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

SISTEMAS NO AUTÓNOMOS						el piloto de la aeronave quien debe interpretar la información proporcionada por los elementos luminosos
					Tipos	Sistemas indicadores de pendiente de descenso Luces de aproximación
	Tipos	C. ESPACIALES	<u>Definición</u>	<p>Aquellos cuya infraestructura externa a la aeronave incluye satélites.</p> <p>Estos sistemas, también denominados sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), en sus diferentes variantes (combinación de sistemas globales básicos y sistemas de aumentación), son la base de la implantación del concepto PBN.</p> <p>Aparte de los satélites, todos los sistemas espaciales (excepto los de aumentación ABAS) incluyen infraestructuras terrestres auxiliares.</p>		
			<u>Tipos</u>	Constelaciones principales GNSS / sistemas de aumentación ABAS.	Definición	<p>Las constelaciones principales son conjuntos de satélites que proporcionan una cobertura global en toda la superficie terrestre. Cada satélite suministra información de navegación mediante su codificación y emisión en señales de radiofrecuencia. Estas señales son captadas y decodificadas por el equipo de a bordo del sistema, que cuando las recibe simultáneamente de 4 satélites o más, puede proporcionar al piloto los datos de posición y guiado.</p> <p>Todos los receptores certificados GNSS en</p>

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

SISTEMAS NO AUTÓNMOS	Tipos	B.ESPACIALES				aeronaves, capaces de generar posición y guiado a partir de las constelaciones, incluyen sistemas de aumentación ABAS integrados para alcanzar los requisitos de prestaciones mínimos exigidos por OACI.
					Tipos	GPS (EE.UU.) GLONASS (Rusia) Galileo (Unión Europea) BeiDou / BDS (China)
			<u>Tipos</u>	Sistemas de aumentación SBAS	Definición	<p>Sistemas de cobertura regional/continental, que utilizan una red de estaciones de referencia terrestres para calcular correcciones e información de integridad, partiendo de los datos recibidos de las constelaciones GNSS. Las correcciones y la información de integridad se envían a las aeronaves mediante satélites en órbita geoestacionaria (GEO).</p> <p>Los receptores SBAS embarcados calculan posición y guiado combinando a bordo la posición obtenida directamente de las constelaciones con los datos emitidos por el sistema SBAS.</p>

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

SISTEMAS NO AUTÓNO MOS		B.ESPACIALES			Tipos	Existen varios sistemas SBAS en el mundo, con grados diferentes de desarrollo. Se pueden destacar: WAAS (EE.UU.) EGNOS (Unión Europea). MSAS (Japón) GAGAN (India)
				Sistemas de aumentación GBAS	Consisten en una estación terrestre situada en el aeropuerto al que presta servicio. La estación monitoriza las señales recibidas desde una constelación principal GNSS y transmite correcciones de pseudodistancia, parámetros de integridad y datos de definición de aproximaciones, localmente pertinentes, a las aeronaves en el área terminal, mediante radiodifusión de datos en VHF (VDB). Los receptores GBAS embarcados calculan posición y guiado combinando a bordo la posición obtenida directamente de las constelaciones con los datos emitidos por el sistema GBAS.	
SISTEMAS AUTÓNOM OS	Definición	Aquellos que se componen de un equipo de a bordo capaz de calcular y proporcionar al piloto la información de posición y guiado de la aeronave, basándose en la medición directa de diferentes parámetros de vuelo (velocidad, presión, etc.) y actitud (se denomina actitud de una aeronave a su posición respecto a sus ejes principales). Son sistemas de altas prestaciones que, al no requerir de una infraestructura externa a la aeronave, se suelen utilizar para la navegación en zonas donde no existe la cobertura de otro tipo de ayudas				
	Tipos	Radar Doppler Equipos inerciales (INS / Inertial Navigation Systems)				

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

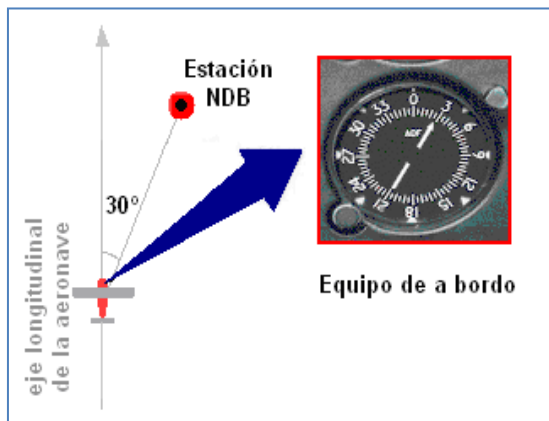
3.3 Sistemas no autónomos, terrestres: Radioayudas

3.3.1 Sistema NDB

El NDB (Non Direccional Beacon / Radiofaro no direccional) es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona a una aeronave debidamente equipada guiado horizontal, es decir, rumbos.

3.3.1.1 Principio de funcionamiento

El sistema NDB se basa en la transmisión de una señal, desde una estación en tierra, que es captada por la aeronave mediante un equipo de a bordo pudiendo obtenerse una marcación definida por la desviación de su eje longitudinal respecto al eje aeronave-estación.



Representación del Sistema NDB-

3.3.1.2 Equipo de tierra NDB

El equipo en tierra del sistema consta esencialmente de un transmisor convencional que emite una señal de navegación omnidireccional (en todas direcciones). La información se envía a los 360°, por lo que es posible establecer comunicación independientemente del punto en el que se encuentre la aeronave, siempre y cuando se encuentre dentro de la cobertura de la señal.



Estación NDB-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.1.3 Equipo de a bordo

El ADF (Automatic Direction Finder / Radiofaro no direccional) es el componente de a bordo del sistema. Se trata de un equipo antena/receptor instalado en la aeronave, encargado de procesar la señal NDB que se presenta al piloto mediante un instrumento indicador.

3.3.1.4 Navegación NDB

Con la marcación que proporciona esta radioayuda, las aeronaves navegan en aproximación hacia o alejamiento desde la estación NDB.

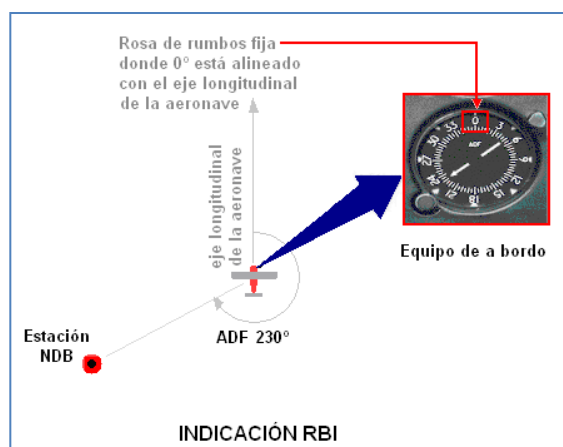
Para volar **hacia la estación**, el piloto deberá virar la aeronave hacia el mismo lado que indica la aguja del equipo de a bordo, hasta que la cabeza de la misma esté alineada con la proa del avión del indicador.

Para **alejarse de la estación**, el piloto deberá maniobrar de modo que la cabeza de la aguja se alinee con la cola del avión del indicador.

A través del ADF el piloto puede sintonizar la frecuencia de transmisión de una determinada estación NDB, la cual conoce a través de la carta de navegación. Tras confirmar el indicativo de la estación, la información de guiado es proporcionada al piloto por medio de un indicador visual.

Los dos tipos de indicadores más utilizados:

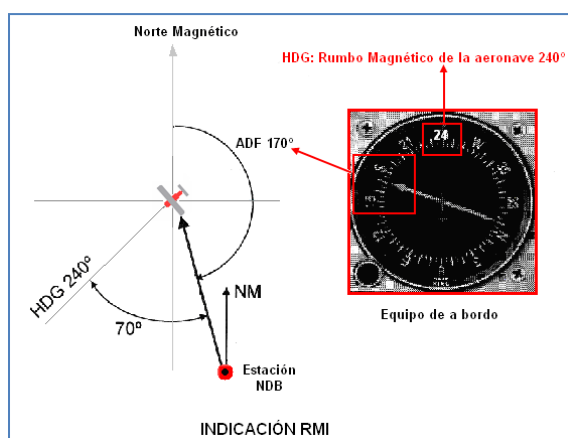
- El indicador tipo RBI (Radio Bearing Indicator / Radio Indicador de Rumbo) consta de una rosa de rumbos fija donde el cero está alineado con el eje longitudinal de un pequeño símbolo del avión, situado en el centro del indicador. La indicación ADF es proporcionada por medio de una aguja central que se desplaza marcando la dirección de procedencia de la señal NDB respecto al eje longitudinal del avión.



Representación de la indicación RBI-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

- b. El indicador tipo RMI (Radio Magnetic Indicator/Indicador Radiomagnético) combina la indicación de rumbo de la aeronave con la indicación de la aguja del ADF. Para ello, dispone de una rosa de rumbos móvil que gira solidariamente con el movimiento real del avión, de modo que siempre está centrada de forma que indique el rumbo de la aeronave (240°) y la aguja del indicador marcará el rumbo que debería seguir la aeronave para ir a la estación NDB (170°).



Representación de la indicación RMI-

3.3.1.5 Características operacionales

Como este sistema únicamente proporciona guiado horizontal, su aplicación es muy diversa, desde la navegación en ruta continental hasta la aproximación de no precisión.

La banda de frecuencias en la que trabaja este sistema es LF-MF (baja-media frecuencia), por lo que el alcance de un NDB dependerá principalmente de la frecuencia con la que se emita la señal, aunque también influirán otros factores como la potencia de transmisión y las condiciones atmosféricas.

En condiciones normales de propagación de la señal NDB, el margen de error del ADF no es superior a $\pm 5^\circ$. Sin embargo, al tratarse de emisiones en media y baja frecuencia, la señal se ve fácilmente interferida por las condiciones atmosféricas, las señales de radio comerciales o las corrientes estáticas, que afectan sensiblemente a la marcación del instrumento de a bordo. El NDB se emplea en rutas de llegada y salida instrumentales, aproximaciones instrumentales de no precisión y en la navegación en ruta.²

² Prácticamente ya no se usa en ruta, tan solo en apoyo a procedimientos de aproximación y salida y como alternativa a otros sistemas para evitar radioayudas críticas.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.2 Sistema VOR

El VOR (Very High Frequency Omnidireccional Range / Radiofaro Omnidireccional de Muy Alta Frecuencia) es un sistema de ayuda a la navegación aérea capaz de proporcionar a una aeronave, debidamente equipada, información para el guiado horizontal (rumbos) respecto a una línea de situación magnética.

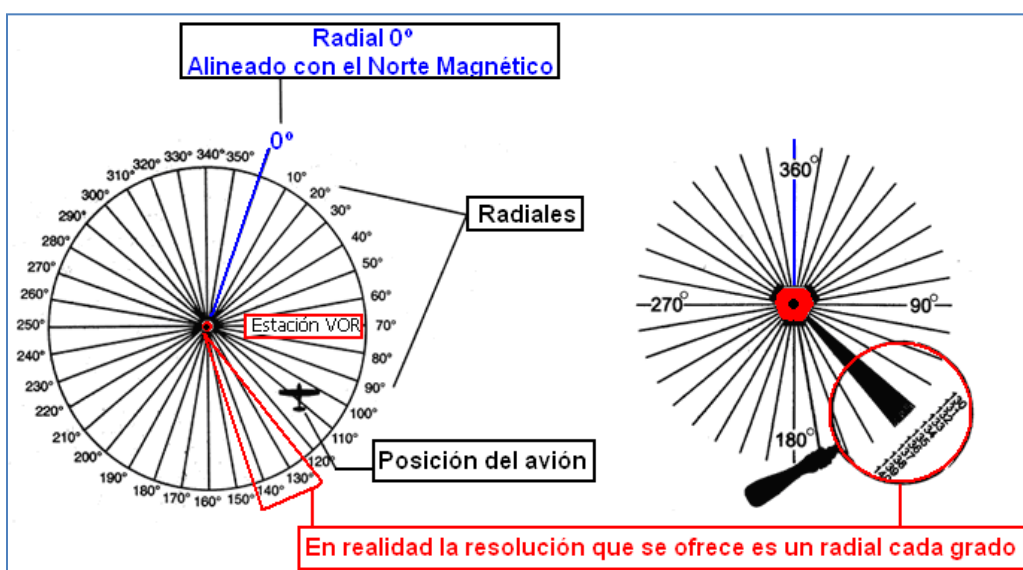
3.3.2.1 Principio de funcionamiento

El sistema VOR consta de dos elementos, una estación terrestre fija y un equipo instalado a bordo de la aeronave.



Estación terrestre VOR

La estación de tierra transmite un conjunto de señales electromagnéticas de navegación que generan un haz de líneas de situación magnética (radiales).

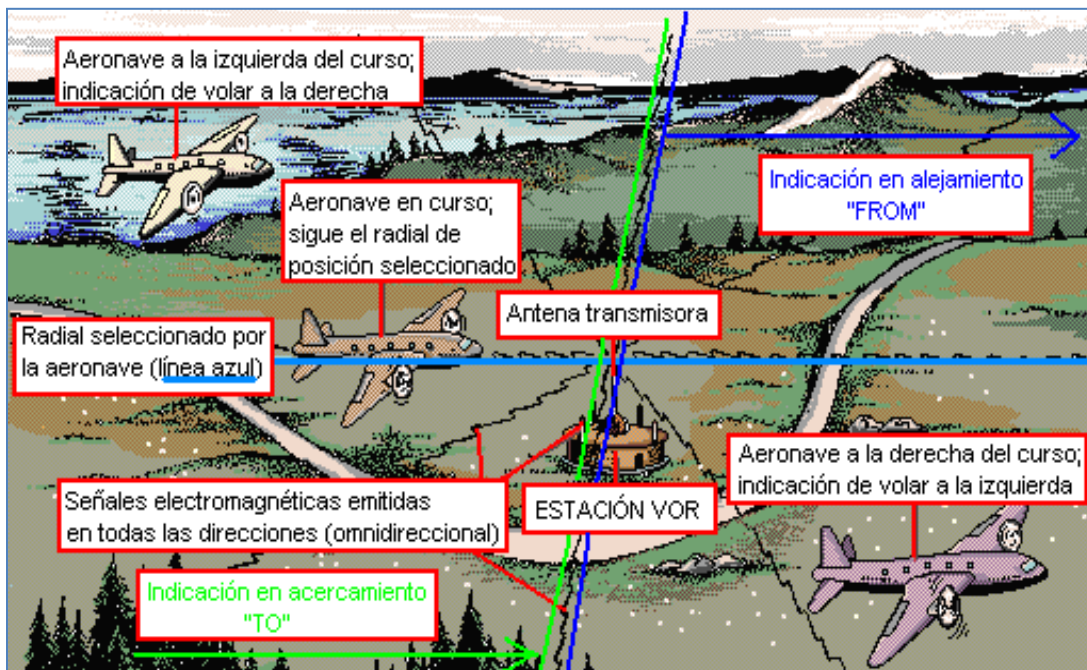


Representación de los radiales VOR-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Las señales de navegación son recibidas y procesadas por el equipo de a bordo de la aeronave, permitiéndole obtener la siguiente información:

- Radial de posición de la aeronave.
- Indicación de la posición relativa de la aeronave respecto al radial.
- Indicación de la posición relativa de la aeronave respecto a la estación.



Representación de la información transmitida por el sistema VOR-

3.3.2.2 Equipo de tierra VOR

El elemento en tierra del sistema VOR está constituido por una instalación terrestre fija que genera y transmite las señales de navegación, así como un código de identificación formado por un tono de audio de tres letras en Morse.



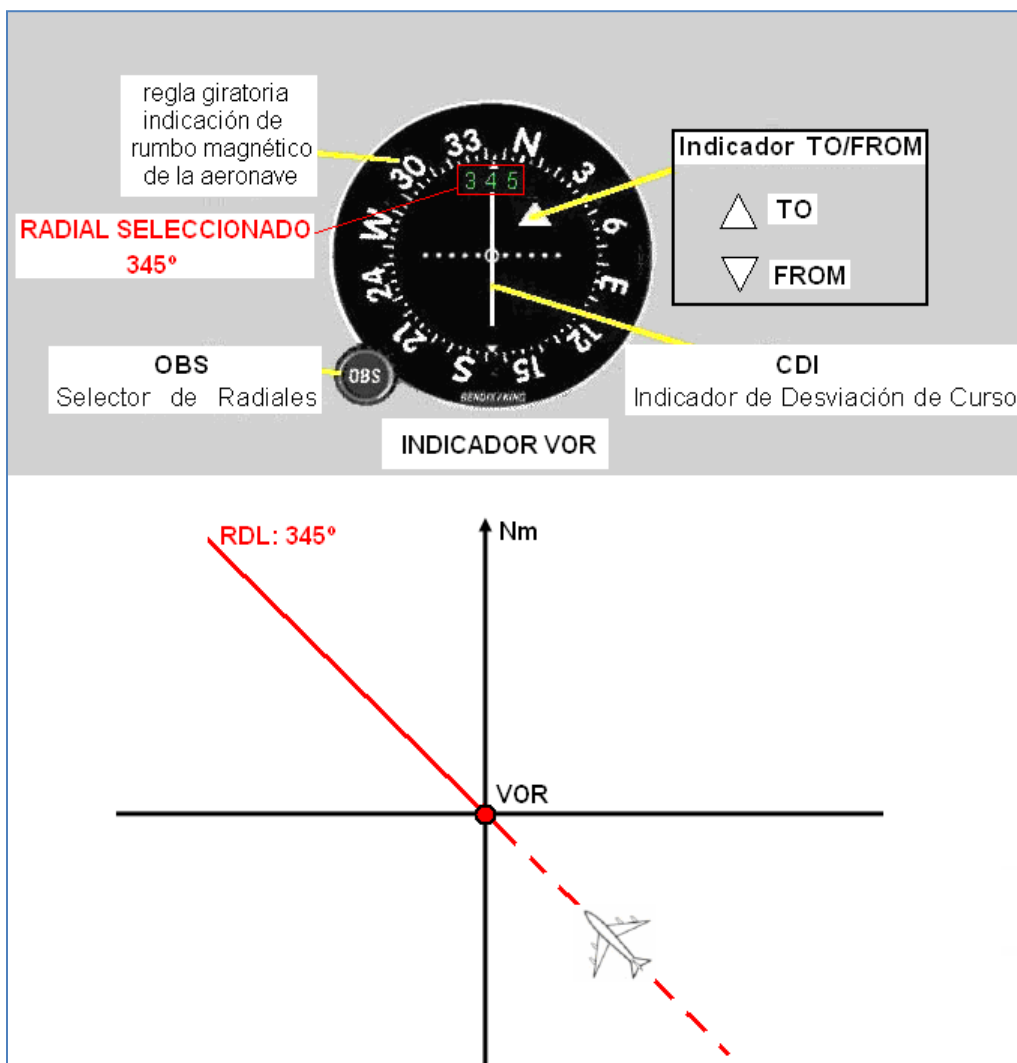
Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.2.3 Equipo de a bordo

El equipo de a bordo VOR está compuesto por un dispositivo antena/receptor, encargado de recibir y procesar las señales emitidas por la estación terrestre, y un indicador que muestra al piloto la información de navegación.

El instrumento indicador de a bordo se compone de los siguientes elementos:

- CDI: Esta información indica mando, es decir, lo que debe hacer el piloto para mantener a la aeronave sobre el radial seleccionado (aguja centrada).
- Indicador TO/FROM: Dispositivo que muestra si la aeronave está volando hacia (TO) o desde (FROM) la estación terrestre.



Representación del indicador VOR-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.2.4 Navegación VOR

El VOR se usa para volar en acercamiento/alejamiento a/desde la estación terrestre. El proceso es el siguiente:

El piloto selecciona, mediante el OBS (selector de radiales), el radial de vuelo deseado. Cuando se realiza esta operación, el plano de situación horizontal se divide en cuatro cuadrantes.

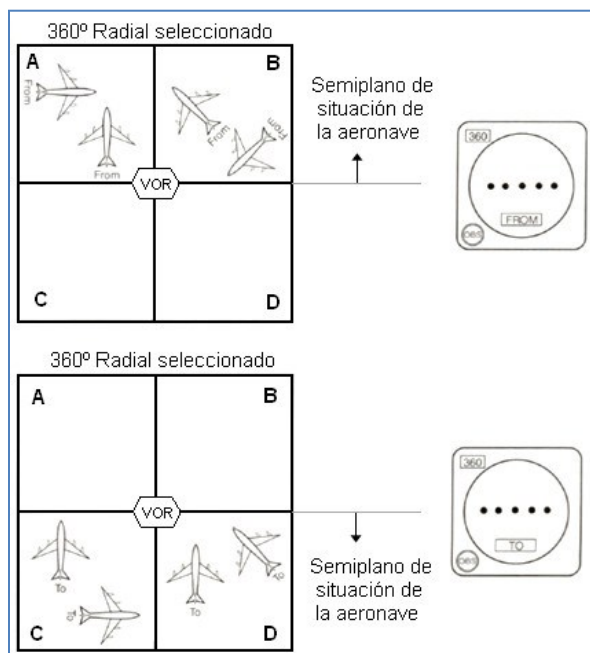


En este caso, el piloto ha seleccionado el radial 360° en el OBS-

El paso por la estación queda reflejado por el cambio en el indicador TO/FROM.

La indicación TO-FROM determina el semiplano de situación de la aeronave. El instrumento marcará FROM cuando la aeronave esté situada en el semiplano que contiene al radial seleccionado, independientemente del rumbo de la aeronave. Cuando el receptor esté situado en cualquier punto del semiplano que contiene a la prolongación del radial seleccionado, aparecerá TO en la ventanilla del indicador (independientemente del rumbo).

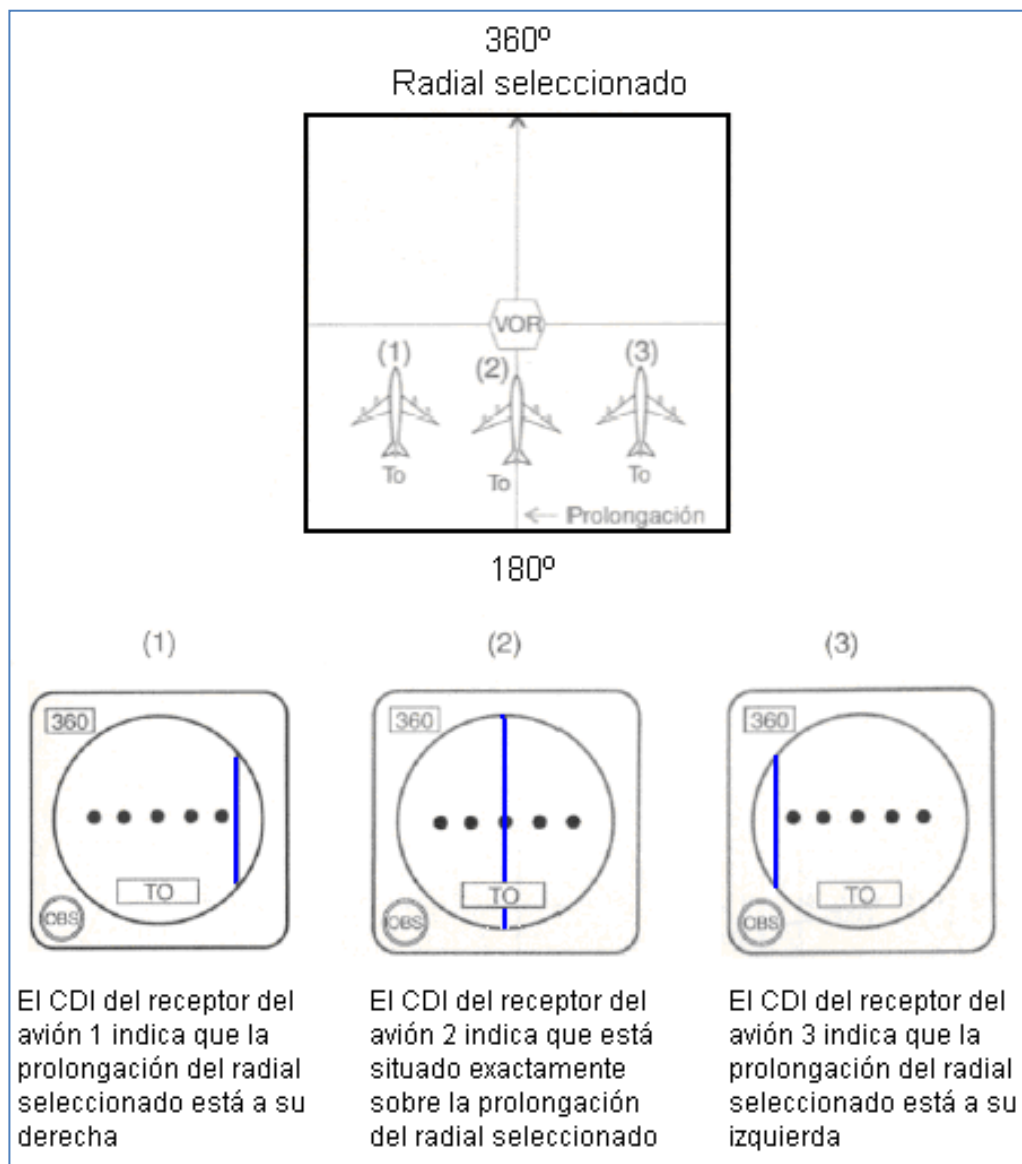
Navegación aérea, Equipos y Sistemas



La indicación del CDI determina el cuadrante de situación (dentro del semiplano de situación), proporcionando la posición del radial seleccionado -o su prolongación- con relación a la aeronave, independientemente del rumbo.

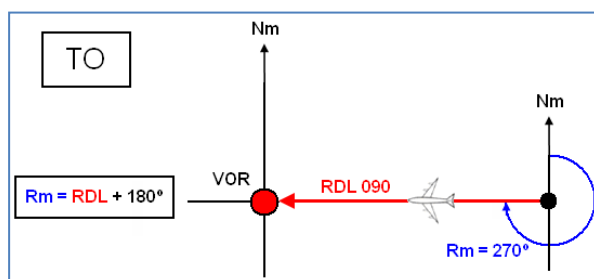
El piloto debe maniobrar la aeronave intentando mantener la indicación del CDI centrada, es la línea azul que nos indica si vamos desplazados a derecha/izquierda o vamos correctamente si está centrada.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



La relación entre el radial de vuelo y la ruta magnética de la aeronave es la siguiente:

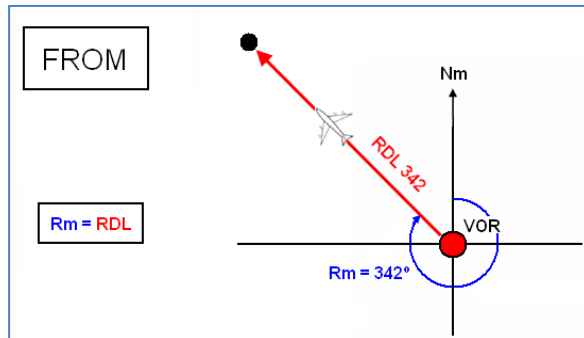
- Quando el avión vuela hacia (TO) la estación (radiales de acercamiento), la diferencia entre la ruta magnética y el radial es de 180° ($R_m = RDL + 180^\circ$).



La aeronave vuela con RDL-090 hacia la estación. Su ruta magnética es 270°

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

- b. Cuando la aeronave vuela alejándose (FROM) de la estación (radiales de alejamiento), la ruta magnética y el radial coinciden ($R_m = RDL$)



La aeronave vuela con RDL-342 desde la estación. Su ruta magnética es 342°

3.3.2.5 Características operacionales

El VOR es un sistema de corto y medio alcance (con valores nominales de unas 200 NM), utilizado para las fases de vuelo en ruta, llegada, salida y aproximación.

La banda de frecuencias en la que trabaja (VHF) tienen la ventaja de no estar afectadas por interferencias estáticas o perturbaciones atmosféricas. Sin embargo, la propagación de la energía electromagnética en este rango de frecuencias necesita que exista línea de vista entre el emisor y el receptor (no puede haber ningún obstáculo entre ellos).

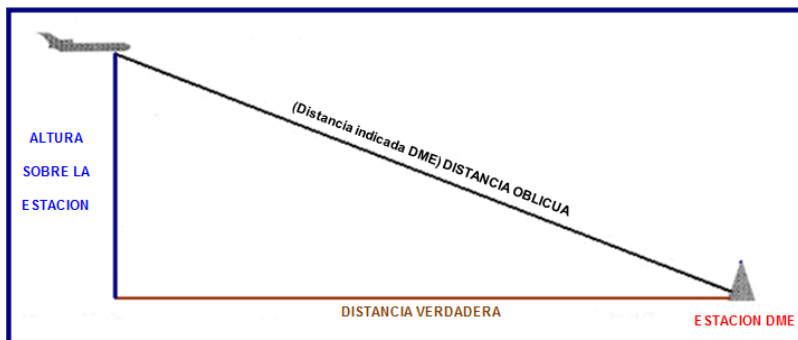
Este hecho originó el desarrollo del DVOR (VOR Doppler), una variante del sistema, que se basa en el mismo principio de funcionamiento, pero utiliza diferentes técnicas de transmisión, permitiendo mejorar la calidad de la señal de navegación aún en presencia de obstáculos.

Con respecto al VOR convencional (CVOR), las frecuencias de transmisión son las mismas, al igual que el equipo de a bordo y la información de navegación, pero tiene la ventaja de proporcionar una mejora global de las prestaciones y una reducción considerable en los errores de precisión.

3.3.3 Sistema DME

El DME (Distance Measuring Equipment / Equipo Medidor de Distancia) es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona información de la distancia oblicua entre una aeronave y una estación en tierra.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Medida de distancia DME-

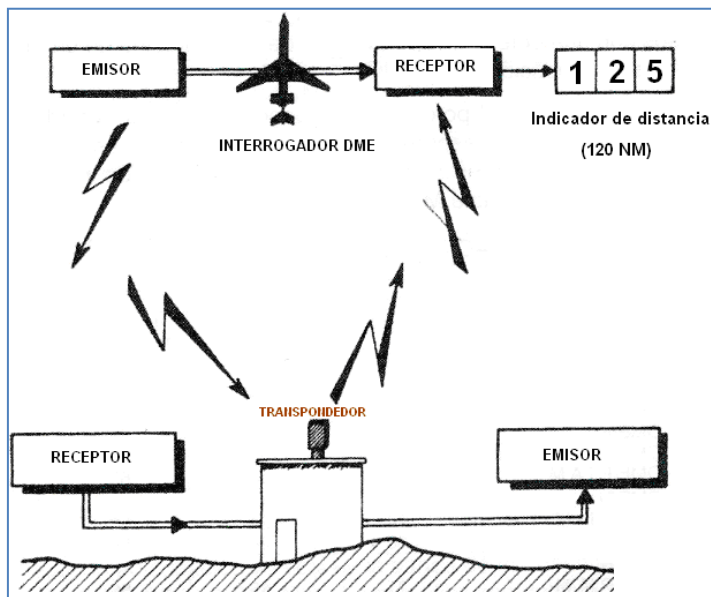
3.3.3.1 Principio de funcionamiento

El sistema está formado por una estación ubicada en tierra (transpondedor) y un sistema instalado a bordo de la aeronave (interrogador).

El funcionamiento básico del sistema consiste en lo siguiente:

- El equipo de a bordo DME transmite una serie de señales que son recibidas por el equipo de tierra.
- El equipo de tierra procesa las señales y las devuelve al avión que las generó.
- Una vez que las señales llegan al avión, el equipo de abordó calcula la distancia al equipo terrestre
- El cálculo de la distancia se realiza con el tiempo que emplea la señal en hacer el viaje de ida y vuelta, obteniéndose automáticamente la información en millas náuticas.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Funcionamiento del sistema DME-

3.3.3.2 Equipo de tierra DME

El equipo en tierra del sistema consta esencialmente de un transmisor/receptor que se encarga de recibir, procesar y enviar las señales a las aeronaves.



Estación DME-

Cada estación DME dispone de su propia identificación que consistirá en dos o tres letras codificadas en Morse emitidas mediante un tono de audio.

La estación DME sólo puede servir a un número determinado de usuarios, aunque dependerá del tipo y de las características operacionales de la instalación.

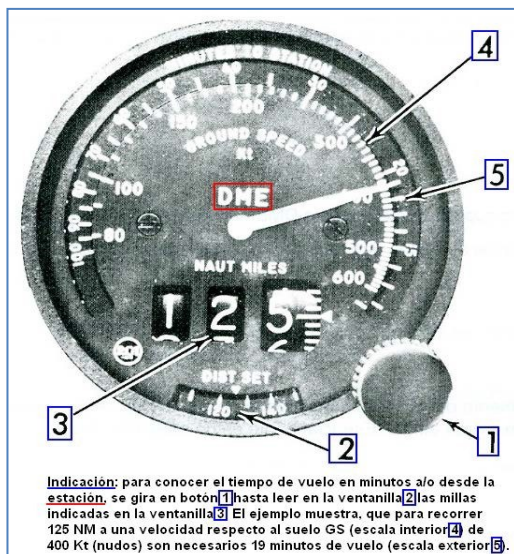
3.3.3.3 Navegación DME

No sirve para la navegación, no proporciona ni radiales ni rumbos, solo distancias.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.3.4 Equipo de a bordo

Está formado por una antena transmisora/receptora y un instrumento indicador en el que se visualiza la información de distancia obtenida a bordo.



Indicador a bordo de un DME-

3.3.3.5 Características operacionales

El uso del DME como medidor de distancia, tiene como ventajas que no está influenciado por las interferencias atmosféricas

La banda de frecuencias en las que trabaja el DME hace que en la transmisión de la señal se requiera línea de vista entre emisor y receptor, lo cual limita la cobertura a ángulos bajos y el alcance a unas 200 NM. El DME normalmente es un sistema utilizado como complemento a otras radioayudas.

Se puede encontrar coemplazado con las siguientes radioayudas:

- VOR/DME: Es la instalación más típica. Su utilización es muy adecuada para materializar puntos en el espacio mediante la intersección de un radial VOR y una distancia DME.
- NDB/DME: Su aplicación es similar a la del VOR/DME aunque las prestaciones son menores. Es una instalación que se presenta en menor número que la anterior.
- ILS/DME: En la mayoría de los casos se instala un DME asociado a un ILS para facilitar información de distancia en la aproximación.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Los equipos DME se utilizan también de forma individual para la navegación basada en prestaciones o PBN, para la que es necesaria sintonizar simultáneamente dos o más estaciones y realizar triangulación con ellas.

3.3.4 Sistema ILS

El ILS (Instrument Landing System / Sistema de Aterrizaje por Instrumentos) es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona a una aeronave debidamente equipada información de precisión para guiado horizontal y vertical, en la fase de aproximación y aterrizaje.

La información proporcionada al piloto para el guiado es de azimut (dirección) y trayectoria de planeo (descenso), hasta los mínimos de utilización enmarcados dentro de las categorías operaciones del sistema.

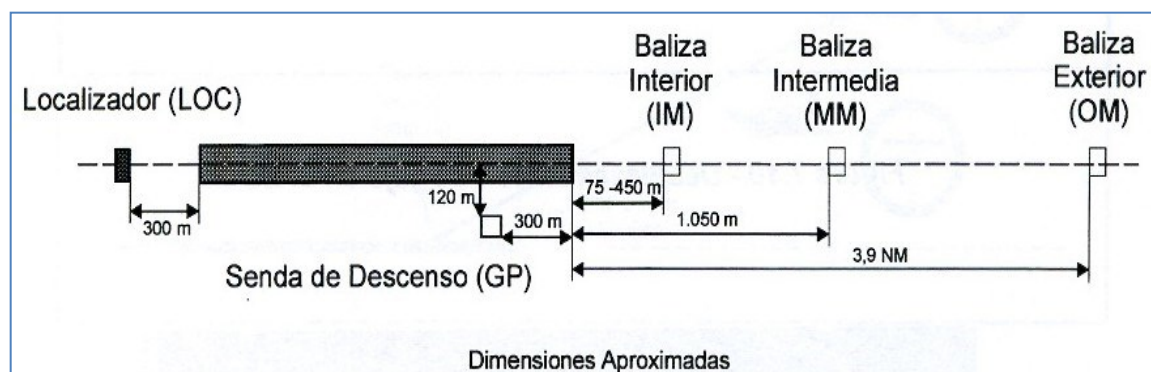
3.3.4.1 Principio de funcionamiento

El equipo en tierra del sistema consta de varias estaciones encargadas de transmitir señales a las aeronaves con información de navegación. La información recibida, es interpretada por un equipo de a bordo y presentada al piloto a través de un instrumento indicador.

3.3.4.2 Equipo de tierra ILS

El ILS está formado por tres componentes terrestres denominados:

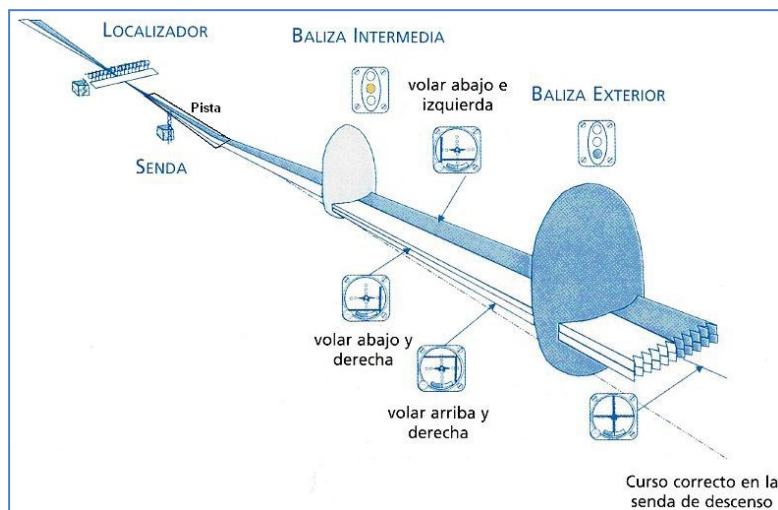
- Localizador (LOC)
- senda de descenso (GP)
- radiobalizas (OM, IM, MM), que son básicamente transmisores de señales. En la actualidad el sistema de radiobalizas está en desuso, sustituyéndose por un DME



Emplazamiento de los equipos de tierra del ILS (dimensiones aproximadas)-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

El objeto de estos tres elementos es guiar al avión en su aproximación a la pista, de forma que se mantenga lo más alineado posible con su eje y descienda con una pendiente aproximada de 3º (pero no necesariamente) recibiendo al mismo tiempo información de la distancia que le resta para completar el aterrizaje.



Presentación esquemática de una aproximación ILS-

Localizador (LOC, Localizer): Encargado de emitir señales que materializan un plano vertical, con información que permite a las aeronaves mantenerse alineadas con el eje de pista, haciendo notar a bordo cualquier desviación hacia la derecha o izquierda del eje mediante el movimiento de la línea en color azul para orientarnos.



Senda de descenso (GP, Glide-Path): Encargado de emitir señales que materializan un plano oblicuo que nace de la zona de toma de contacto de la pista, con información que permite a las aeronaves descender hacia la pista con un ángulo aproximado de tres grados, haciendo notar a bordo cualquier desviación hacia arriba o abajo mediante el movimiento de la línea en color rojo para orientarnos.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Radiobalizas: Encargadas de emitir señales con información de distancia al umbral de la pista (comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje) Las aeronaves, en su descenso, reciben la información de las radiobalizas cuando pasan por su vertical.

Existen tres radiobalizas en función de la distancia que proporcionen:

- Exterior (OM, Outer Marker).
- Intermedia (MM, Middle Marker).
- Interior (IM, Inner Marker).

En la actualidad, las radiobalizas han sido sustituidas por DME coemplazado con la senda planeo, ya que da información constante de distancia al umbral.

3.3.4.3 Equipo de a bordo

Se trata de un equipo antena/receptor instalado en la aeronave, encargado de procesar las señales recibidas por los componentes terrestres del sistema.

La información recibida es procesada e interpretada en el equipo de a bordo y presentada por medio de indicaciones visuales y acústicas.

3.3.4.4 Navegación ILS

Las fases de aproximación y aterrizaje son maniobras que requieren gran exactitud por estar navegando cerca del suelo y tener que aterrizar en una pista, por ello las indicaciones de este sistema son precisas y fácilmente interpretadas por los pilotos.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

El indicador de a bordo del ILS se compone de dos agujas:

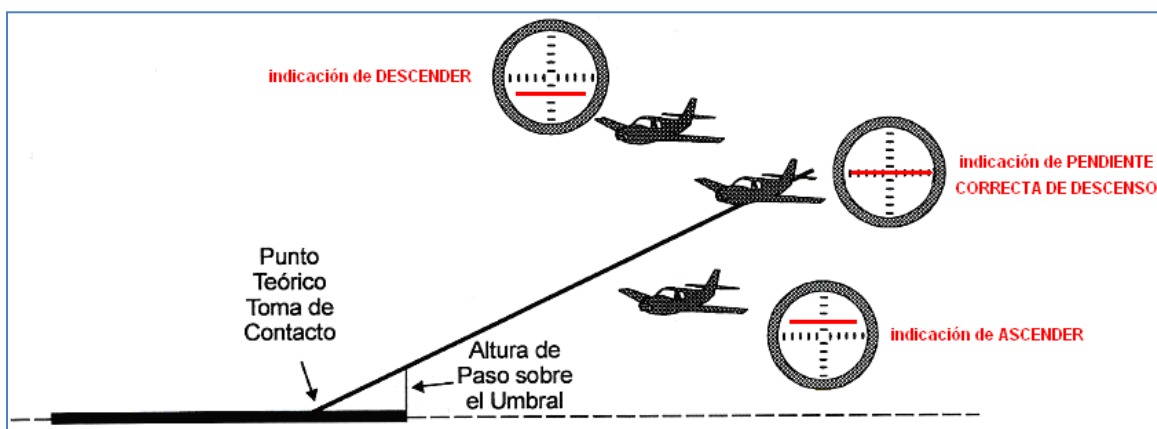


Indicador a bordo del ILS-

La aguja horizontal (raya roja) indicará hacia donde ha de dirigirse la aeronave para interceptar la pendiente correcta de descenso.

La aguja vertical (raya azul) indicará hacia donde ha de dirigirse la aeronave para alinearse con el eje de pista.

Para volar por la trayectoria correcta de descenso, el piloto deberá maniobrar la aeronave hasta que las agujas del instrumento indicador se mantengan centradas.

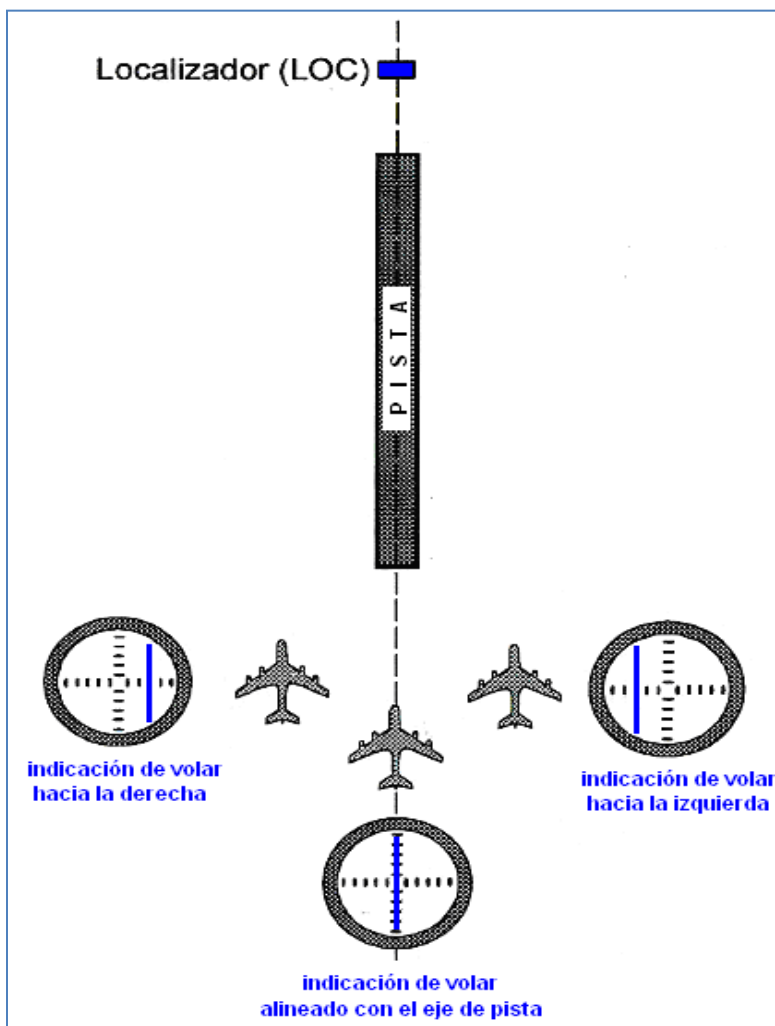


Indicación a bordo de la senda de planeo (GP)-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Mientras se realiza la aproximación, el piloto recibirá las indicaciones de las radiobalizas:

- . Radiobaliza Exterior (OM): Indicación recibida con un tono audible formado por rayas continuas (Código Morse) y una luz azul parpadeante.
- . Radiobaliza Intermedia (MM): Indicación recibida con un tono audible formado por puntos y rayas alternadas (Código Morse) y una luz ámbar parpadeante.
- . Radiobaliza Interna (IM): Indicación recibida con un tono audible formado por puntos continuos (Código Morse) y una luz blanca parpadeante.



Indicación a bordo del localizador (LOC)-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.3.4.5 Características operacionales

La banda de frecuencias en la que trabaja el Localizador y las radiobalizas del sistema es VHF (muy alta frecuencia), mientras que la Senda de descenso lo hace en UHF (ultra alta frecuencia). Las frecuencias del localizador y la senda de planeo están emparejadas de manera que sólo se requiere seleccionar una frecuencia para sintonizar ambos receptores.

Se han definido tres categorías de actuación de las instalaciones en función de las diferentes necesidades operacionales:

- RVR (Runway Visual Range): Distancia hasta la cual el piloto de una aeronave que se encuentra sobre el eje de una pista puede ver las señales de superficie de la pista o las luces que la delimitan o que señalan su eje.
- DH (Decision Height): Altura de la base del techo de nubes. La referencia visual requerida se obtendrá cuando el avión vuele por debajo de la base de nubes.

CATEGORÍA DE OPERACIÓN	ALCANCE VISUAL EN PISTA (RVR) (metros)	ALTURA DE DECISIÓN (DH) (metros/ft)
I	$x > 550$	$> 60/200$
II	$x > 300$	$> 30/100$
III A	$x > 175$	0 a 30/100
III B	$175 > x > 50$	0 a 15/50
III C	0	0

El número de radiobalizas varía en función de la categoría de actuación de la pista. Las radiobalizas Intermedia y Exterior se instalan cuando la pista va a soportar operaciones de Categoría I y en los casos de operaciones de Categoría II y III además se instala la radiobaliza Interna.

Los componentes terrestres del ILS pueden estar coemplazados con otras instalaciones como luces de aproximación, luces de pendiente visual de descenso (VASIS, PAPI, etc.) y otras instalaciones como un VOR, DME, etc.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

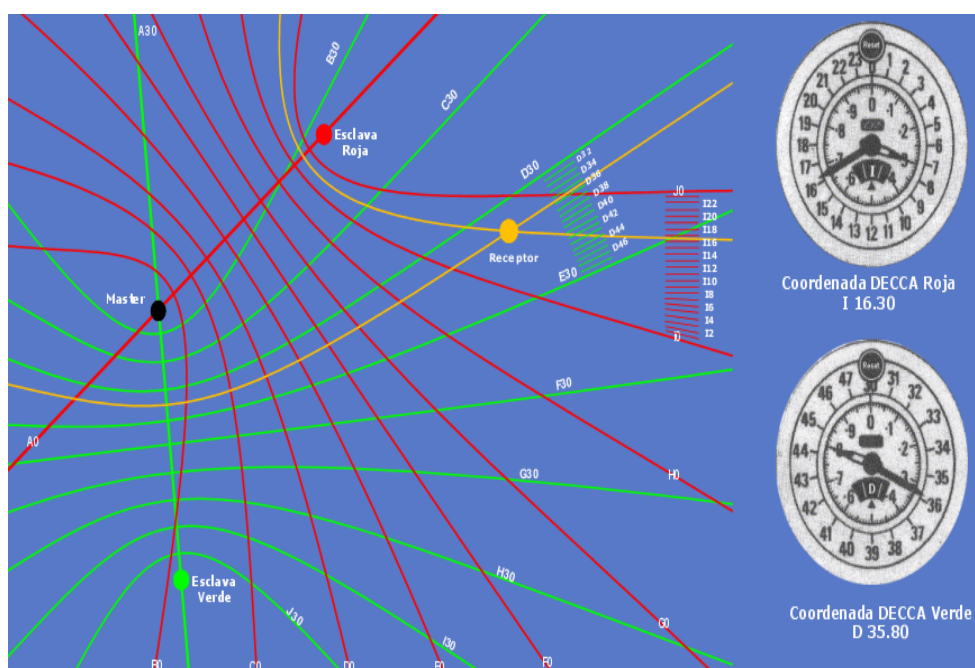
3.3.5 Sistemas hiperbólicos

Los sistemas de navegación hiperbólicos fueron desarrollados con objeto de buscar una solución de navegación radioeléctrica de larga distancia que permitiera operar en zonas donde las radioayudas no tenían alcance (especialmente en la navegación oceánica).

Los sistemas hiperbólicos han quedado prácticamente en desuso con la aparición del sistema inercial y de los sistemas basados en satélite. Estos sistemas proporcionan posición, nunca rumbo ni guiado (si no se dispone de un ordenador de navegación de a bordo).

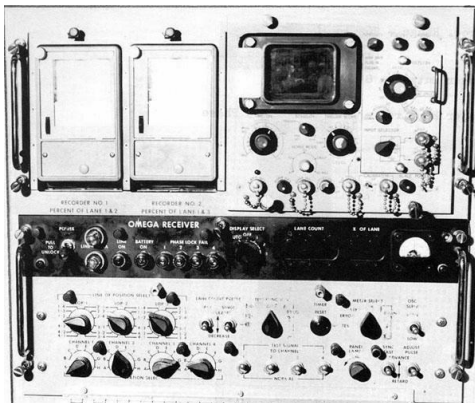
Los sistemas de navegación hiperbólicos se basan en establecer, como posible línea de situación de una aeronave, los puntos en los que la diferencia de distancia a dos referencias fijas se mantiene constante. Esta línea de situación corresponde, por definición geométrica, a una hipérbola.

Los sistemas hiperbólicos se componen de una red fija de estaciones terrestres que emiten, de forma periódica, una secuencia de señales radioeléctricas omnidireccionales. Las aeronaves calculan su posición por la intersección de las hipérbolas que calculan en base a estas estaciones.



Localización del receptor por intersección de hipérbolas de situación-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Receptor de un sistema hiperbólico tipo Omega-

Los sistemas hiperbólicos más utilizados, así como sus características más importantes se resumen en el siguiente cuadro:

SISTEMA	TÉCNICA EMPLEADA	BANDA DE FRECUENCIAS	ALCANCE
DECCA	Medida de fases	LF: Low Frequency (frecuencias bajas)	1500 NM
LORAN-A	Medida de tiempos	MF: Medium Frequency (frecuencias medias)	1000 Km de día 2500 Km de noche
LORAN-C	Medida de tiempos y	LF: Low Frequency (frecuencias bajas)	1200NM – 3400 NM
OMEGA	Medida de fases	VLF: Very Low Frequency (frec. muy)	6000 NM – 10000 NM

3.4 Sistemas no autónomos, terrestres: Visuales

Estos sistemas proporcionan a las aeronaves información visual para la navegación en las fases de aproximación y aterrizaje.

Existen dos tipos de sistemas:

- Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación.
- Sistemas de luces de aproximación.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Representación de los sistemas luminosos de ayuda a la aproximación y aterrizaje-

El convenio de colores será:

- Todo rojo para indicar muy cerca de pista o muy bajo.
- Todo blanco para indicar muy alto.

3.4.1 Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación

Son aquellos que proporcionan al piloto una guía de descenso visual para la fase de aproximación y están constituidos por agrupamientos de luces, mediante la presentación de distinto nº de luces en rojo el piloto puede saber si el descenso es el correcto o no.

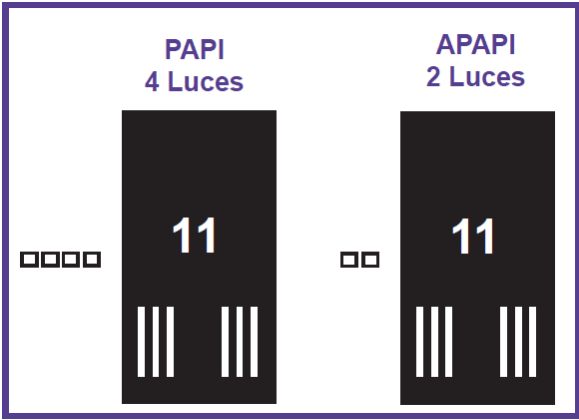
3.4.1.1 Sistemas PAPI y APAPI

El sistema PAPI (Precision Approach Path Indicator) está compuesto por una barra de alfileres con 4 elementos luminosos.

El sistema APAPI (Abbreviated PAPI) está compuesto por una barra de alfileres con dos elementos luminosos.

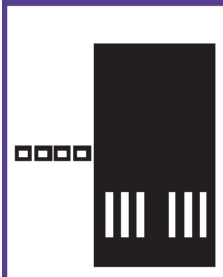
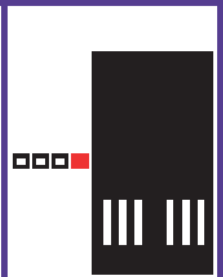
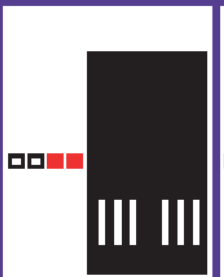
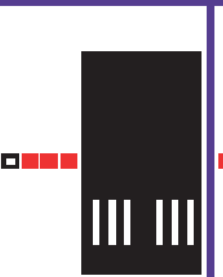

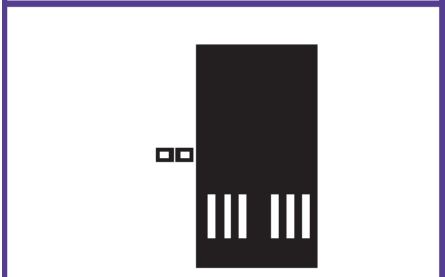
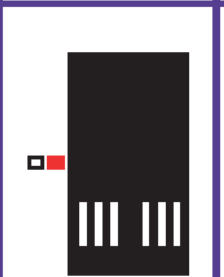
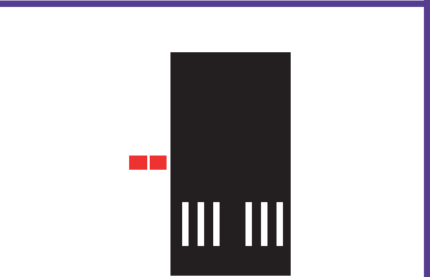
Ambos sistemas se sitúan al lado izquierdo de la pista, a menos que sea materialmente imposible. Si la pista es utilizada por aeronaves que necesitan guía visual de balanceo y no hay otros medios externos que proporcionen esta guía visual, entonces puede proporcionarse una segunda barra de alfileres en el lado opuesto de la pista.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Disposición de los sistemas PAPI y APAPI-

En función de la posición de la aeronave respecto a la senda de descenso visual proporcionada, la información de guiado se proporcionaría al piloto según se indica:

PAPI				
Muy alto	Alto	En pendiente	Bajo	Muy bajo
				
APAPI				
Alto	En pendiente	Bajo		
				

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Características operacionales

Estos sistemas se instalan para facilitar la aproximación a una pista, cuando el piloto pueda tener dificultades para evaluar la maniobra debido a las condiciones meteorológicas y/o del terreno.

Se utilizan tanto para operaciones diurnas como nocturnas y pueden ser la única ayuda a la aproximación que disponga la pista en servicio o actuar como medio suplementario a otros sistemas de aproximación instrumental. En este último caso, la pendiente visual se ajusta a la senda de planeo instrumental.

Los alcances visuales de estos sistemas dependen de las condiciones meteorológicas y de visibilidad, no obstante, disponen de un control de intensidad luminosa, de acuerdo con las condiciones predominantes.

3.4.1.2 Sistemas T-VASIS y AT-VASIS

Este sistema no se explicará por estar en desuso en los aeródromos civiles, de hecho, ya no hay ninguno. En España está en alguna base aérea militar.

3.4.2 Sistemas de luces de aproximación

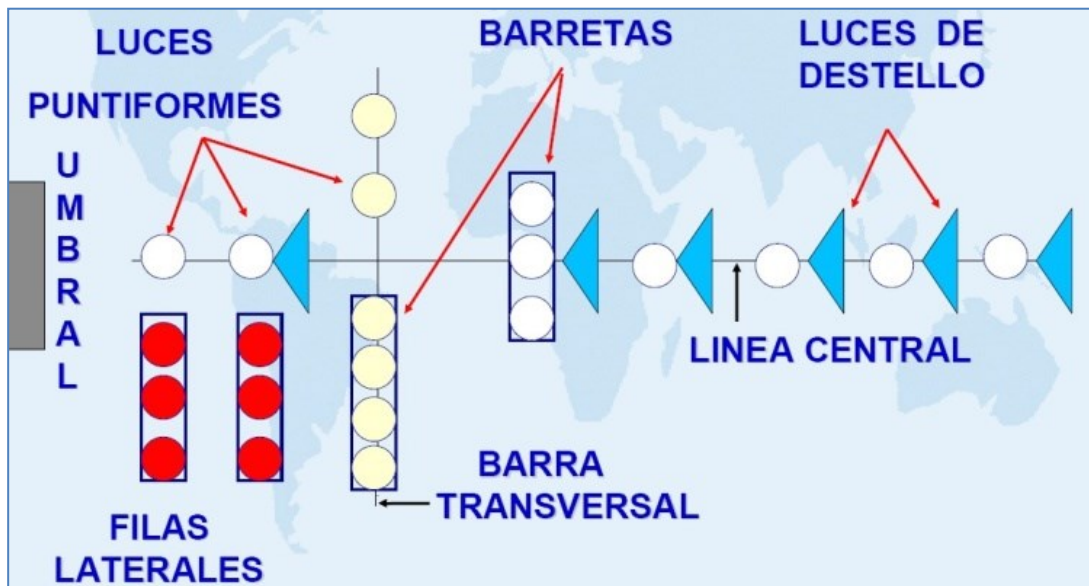
Los sistemas de luces de aproximación (ALS / Approach Lighting System) proporcionan al piloto información visual para la fase de aproximación, relacionada con la altura de decisión y la posición de la aeronave respecto al eje y cabecera de pista, ayudándoles el tramo final antes del umbral.

Están constituidos por agrupamientos de luces, que suministran la información de navegación mediante su disposición sobre el terreno, la utilización de códigos de colores y barras transversales (barretas) que por su disposición le indican al piloto a cuanto están del umbral.

Aunque no se requiere un dispositivo de a bordo específico, el piloto de la aeronave necesita estar en contacto visual con el terreno para interpretar la información proporcionada por los elementos luminosos.

Los elementos luminosos se emplazan antes del umbral de la pista en dirección longitudinal y transversal.

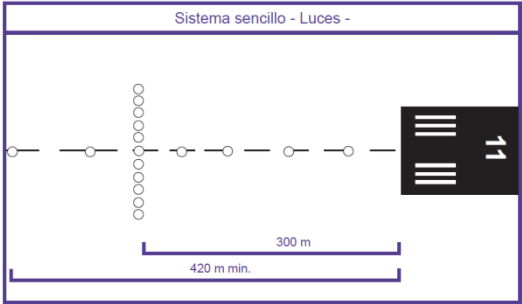
Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Navegación aérea, Equipos y Sistemas

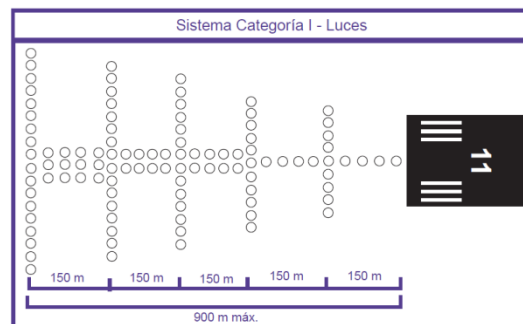
En función de las características operacionales que se requieran en cada pista, los ALS se clasifican en tres tipos:

SENCILLO	Constitución	Línea central	Con 1 sola luz
		Longitud máx.	Como min 420 M
		Barretas	1 transversal a 300 m
	Aproximación	Para aproximaciones visuales y de no precisión	



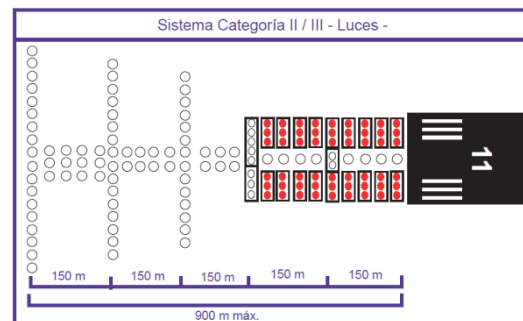
Navegación aérea, Equipos y Sistemas

CAT I	Constitución	Línea central	Con 1 sola luz los primeros 300 m A continuación 2 luces otros 300 m Por último, 300 m con 3 luces
		Longitud max	Como máximo 900 m
		Barretas	Obligatoria 1 barreta cada 300 m Recomendable 1 barreta cada 150 m
	Aproximación	Para aproximaciones de precisión CAT I	



Navegación aérea, Equipos y Sistemas

CAT II/III	Constitución	Línea central	Es exactamente igual que el de CAT I, con excepción de que los 300 m más cercanos al umbral tiene barretas rojas a ambos lados de la línea central
		Longitud max	
		Barretas	
	Aproximación	Para aproximaciones de precisión CAT II/III	



Características operacionales

Estos sistemas tienen por objeto facilitar la operación de aproximación de una aeronave a la pista, especialmente cuando las condiciones de visibilidad son limitadas.

Constituyen una parte complementaria de los sistemas de aproximación y aterrizaje (ILS) y representan una gran ayuda para el piloto durante la transición del vuelo instrumental al visual.

3.5 Sistemas no autónomos, espaciales

3.5.1 Sistemas de Navegación por Satélite

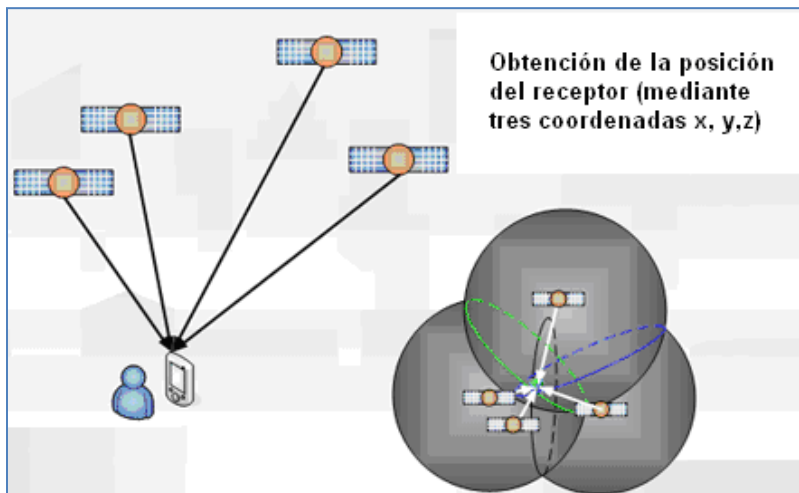
Los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System / Sistema Global de Navegación por Satélite) proporcionan con mucha exactitud la posición (metros) y el tiempo (nanosegundos) en todo el mundo.

3.5.1.1 Principio de funcionamiento de las constelaciones principales GNSS

El principio de funcionamiento de las constelaciones principales GNSS se basa en la medida del tiempo que tarda una señal en llegar desde el emisor (satélite) al receptor (aeronave), proporcionando la distancia entre ambos.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Midiendo la distancia a tres satélites se determina la posición del receptor en el espacio y en el tiempo, a partir del conocimiento de la posición de los satélites, la cual es controlada en todo momento por las estaciones de tierra. En la práctica se requiere un cuarto satélite para sincronizar el reloj del receptor y así medir la distancia a los satélites con precisión.

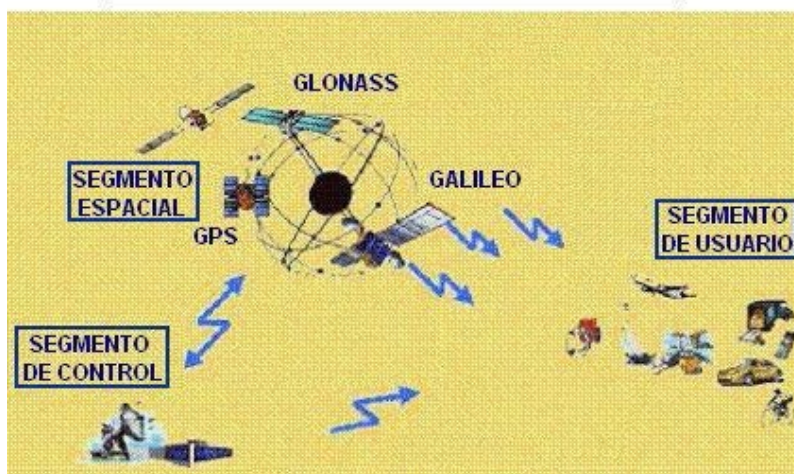


Representación esquemática del funcionamiento de los Sistemas GNSS-

3.5.1.2 Descripción de las constelaciones principales GNSS

Los sistemas GPS (Global Positioning System / Sistema de Posicionamiento Global), GLONASS (Global Navigation Satellite System / Sistema de Navegación por Satélite), GALILEO y BeiDou/BDS están constituidos por tres segmentos operativos (espacial, terrestre o de control y de usuario):

SEGMENTOS DE LOS SISTEMAS GNSS



Composición de las constelaciones principales GNSS-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

- SEGMENTO ESPACIAL: formado por una constelación de satélites encargados de transmitir señales de radiofrecuencia con mensajes de navegación a partir de los cuales se calcula la posición del receptor.
- SEGMENTO TERRESTRE O DE CONTROL: formado por estaciones terrestres cuya misión principal es la de controlar y supervisar el buen funcionamiento de la constelación de satélites, aunque también puede proporcionar servicios de valor añadido como datos de integridad, y servicios de búsqueda y rescate.
- SEGMENTO DE USUARIO: formado por los receptores que captan y procesan las señales transmitidas por los satélites, proporcionando la posición y el tiempo a los usuarios (aeronaves).

3.5.1.3 Características operacionales

Aunque el principio de funcionamiento de las constelaciones principales GNSS es similar en todas ellas, las frecuencias de las señales emitidas por los satélites, su modulación y la codificación del mensaje de navegación, pueden ser diferentes.

Se utilizan sistemas de aumentación para mejorar las prestaciones de navegación de las constelaciones principales GNSS, y así cumplir con los requisitos de integridad, disponibilidad, continuidad y exactitud exigidos en las diferentes fases de vuelo/operaciones.

3.5.1.4 Sistemas de Aumentación

Para mejorar las prestaciones de navegación de las constelaciones principales GNSS (GPS, GLONASS, Galileo o BeiDou, o en el futuro una combinación de ellos) y hacerlos aptos para el uso en la navegación aérea, se desarrollan los sistemas de aumentación. Estos sistemas proporcionan correcciones y/o información de integridad al receptor (segmento usuario) que los usa para aumentar las prestaciones de exactitud, integridad, continuidad y disponibilidad del sistema GNSS. Cada sistema de aumentación tiene su área de servicio dentro de la cual se recibe y se puede usar su señal de aumentación. El uso de cada tipo de sistema de aumentación requiere capacidades específicas en los receptores/equipos de a bordo.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Existen tres tipos de sistemas de aumentación:

SBAS	Siglas	Sistema de aumentación basado en satélite / Satellite-based augmentation system.
	Área de servicio	Este sistema mejora las prestaciones de una constelación principal GNSS sobre un área de servicio amplia (región, continente).
	Funcionamiento	Enviando al usuario correcciones e información de integridad a través de satélites geoestacionarios. EGNOS es el SBAS desarrollado en Europa y da un servicio de aumentación sobre toda Europa.
	Fases	El sistema SBAS es compatible, aunque no obligatorio, con PBN en las fases de ruta, SID, STAR y aproximaciones de no precisión. Dependiendo donde nos situemos dentro de su área de servicio, puede llegar a habilitar aproximaciones con guiado vertical APV SBAS o de precisión CAT I, para las cuales sí resulta necesario.
GBAS	Siglas	Sistema de aumentación basado en tierra / Ground-based augmentation system.
	Área de servicio	Este sistema mejora las prestaciones de una constelación principal GNSS sobre un área de servicio local (cerca del aeropuerto en el que se instala).
	Funcionamiento	Emitiendo la información de aumentación a través de una o varias antenas VHF en tierra.
	Fases	Habilita aproximaciones de precisión, actualmente CAT I y en el futuro CAT II/III.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

ABAS	Siglas	Sistema de aumentación basado en la aeronave / Aircraft-based augmentation system.
	Área de servicio	Su área de servicio es global.
	Funcionamiento	Este sistema está embarcado en el avión y se basa en el uso de datos disponibles en los sistemas autónomos de la aeronave (como el sistema de referencia inercial (IRS) o el sistema de datos aire), o en la redundancia de las señales recibidas de los satélites del sistemas básicos (solo se necesitan señales de 4 satélites pero se reciben de muchos más la mayor parte del tiempo).
	Fases	Habilita PBN en todas las fases del vuelo, pero en aproximación sólo lo hace hasta las aproximaciones de no precisión y APV con guiado vertical baro-VNAV.

En el futuro estos sistemas de aumentación mejorarán las prestaciones del uso conjunto de más de una constelación principal GNSS, por ejemplo GPS + Galileo.

3.6 Sistemas autónomos

3.6.1 Sistema de Navegación inercial (ins)

El INS (Inertial Navigation System / Sistema de Navegación Inercial) es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona a una aeronave debidamente equipada información de posición que permita determinar la situación exacta del avión.

Además de proporcionar información sobre la situación de una aeronave en vuelo, el INS proporciona velocidad con respecto a tierra, posición instantánea y distancia a un destino u objeto preestablecido.

3.6.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del INS se basa en la detección a bordo, de las aceleraciones que sufre la aeronave, mediante una plataforma estabilizada en dos ejes orientados permanentemente hacia el Norte y Este geográfico. Si la aceleración detectada se integra a lo largo del tiempo, se obtiene la velocidad de la aeronave respecto al suelo (GS) según esos ejes.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

De forma análoga, si se integran las componentes de la velocidad según los ejes indicados a lo largo del tiempo, se obtendrá la distancia recorrida según esas direcciones en el tiempo de integración. Sumando a la coordenada inicial el incremento de posición obtenido de esta integración, se obtendrá la nueva posición.

Es importante indicar la necesidad de conocer las coordenadas del punto inicial del vuelo, en este sentido, el piloto de la aeronave, previamente a comenzar la utilización del INS para navegar introduce la coordenada inicial (aeropuerto de origen).

3.6.1.2 Equipo de a bordo

El equipo de a bordo es el encargado del cálculo de la posición a través de una plataforma inercial sensible a los movimientos del avión con respecto a la superficie terrestre. Esta plataforma envía la información a un computador que la presenta en los instrumentos de navegación.

Los cuatro componentes básicos de un INS convencional son:

- Acelerómetros: Dispositivos situados sobre una plataforma inercial, encargados de medir las componentes del vector aceleración.
- Plataforma inercial: Aparato encargado de mantener los acelerómetros paralelos a la superficie terrestre, proporcionando una referencia direccional.
- Integradores: Dispositivos encargados de recibir la señal de salida de los acelerómetros, transformándola en señales de velocidad y distancia recorrida sucesivamente.
- Computador: Aparato que recibe las señales de salida de los integradores y las transforma en datos de posición (coordenadas geográficas; latitud y longitud), velocidad sobre el suelo y otras informaciones útiles.

3.6.1.3 Características operacionales

El INS se concibe como un sistema que, con los vectores de aceleración y gravitación se obtiene la situación de una aeronave, por lo tanto tiene que actualizarse constantemente la información.

Las actualizaciones del INS son necesarias porque el sistema está sujeto a un error sistemático, es decir el error va creciendo a medida que aumenta el tiempo desde su última actualización, lo que hace necesario que ésta se realice de forma periódica mediante la utilización de otro sistema, como podría ser un VOR, VOR/DME, GPS, etc.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

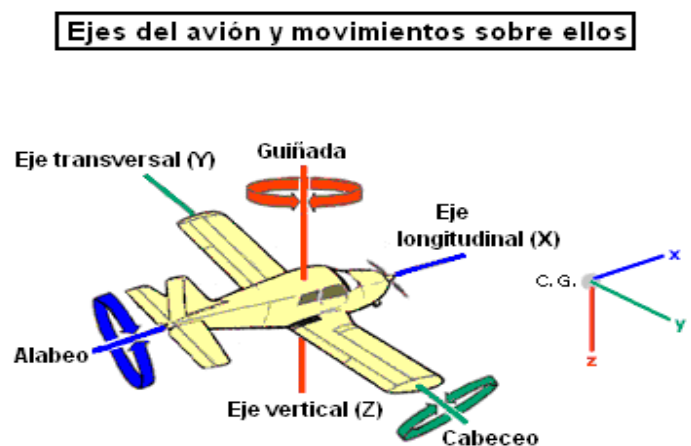
Los aviones de nueva tecnología van equipados con Sistemas Inerciales de tipo láser, cuyos componentes básicos respecto a los INS convencionales tienen, pero a diferencia de los anteriores mide velocidades angulares. Este tipo de Inerciales constan de tres giróscopos láser y tres acelerómetros, orientado cada uno hacia uno de los tres ejes principales del avión, de modo que puedan «sentir» tanto la rotación del avión alrededor de cada eje como la aceleración a lo largo del mismo.

Nota: **Ejes principales del avión: Se trata de rectas imaginarias e ideales trazadas sobre el avión. Su denominación (según un sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen es el centro de gravedad del avión) y los movimientos que se realizan alrededor de ellos son los siguientes:*

- **Eje longitudinal** es el eje "x"; eje imaginario que va desde el morro hasta la cola del avión. El movimiento alrededor de este eje (levantar un ala bajando la otra) se denomina **alabeo**.

- **Eje transversal** es el eje "y"; eje imaginario que va desde el extremo de un ala al extremo de la otra. El movimiento alrededor de este eje (morro arriba o morro abajo) se denomina **cabeceo**.

- **Eje vertical** es el eje "z"; eje imaginario que atraviesa el centro del avión. El movimiento en torno a este eje (morro virando a la izquierda o la derecha) se llama **guiñada**.



Ejes principales del avión-

3.6.2 Radar Doppler

El Radar Doppler es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona al piloto la posición del avión respecto a una ruta seleccionada.

3.6.2.1 Principio de funcionamiento

La determinación de la situación de un avión, respecto de la superficie terrestre, se realiza por el clásico proceso de la navegación a estima, es decir, por sumas sucesivas de los incrementos de espacio recorrido, que se obtienen mediante los productos de las velocidades por los incrementos de tiempo.

Este sistema se basa en la emisión de energía electromagnética generada en la aeronave y recibida por la misma, tras su reflexión en la superficie terrestre.

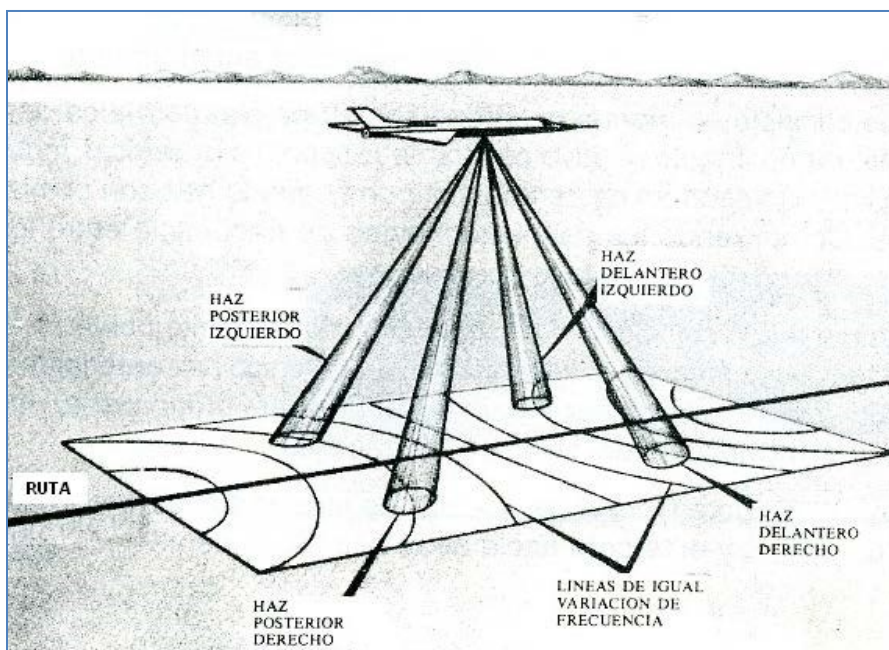
Navegación aérea, Equipos y Sistemas

3.6.2.2 Equipo de a bordo

El Radar Doppler consiste en un transmisor de señales localizado en el avión que dirige hacia el suelo tres o cuatro haces de ondas electromagnéticas.

Las ondas emitidas son reflejadas por la superficie de la tierra y una porción de la energía reflejada³ es recibida por un receptor de ondas situado también en el avión.

La información recibida es procesada por el computador de a bordo, que a través de un instrumento visual proporciona la distancia transversal a la ruta preseleccionada y la distancia por recorrer a lo largo de la ruta.



Haces de ondas transmitidas por un avión-

3.6.2.3 Características operacionales

Por la técnica utilizada (basada en la variación de frecuencia entre señales emitidas y recibidas), la aceleración sólo puede ser calculada sin ambigüedad en un determinado rango de velocidades de la aeronave, lo que genera una reducción de la distancia máxima de operación del sistema.

³ La energía reflejada sufre una variación de frecuencia debido a la velocidad relativa entre el avión y la superficie terrestre (efecto Doppler).

4. Funciones y sistemas de vigilancia

El objetivo de la función de vigilancia es obtener un conocimiento exacto y en tiempo real de la ubicación de las aeronaves en un determinado entorno operativo.

Esta labor está estrechamente relacionada con el control de tráfico aéreo, ya que proporciona un servicio indispensable a la hora de mantener la seguridad y la fluidez en el tránsito de aeronaves.

Los sistemas de vigilancia son el conjunto de infraestructuras terrestres y equipos de a bordo, que determinan y proporcionan la información requerida por esta función.

En función de cómo se determina la información de posición, existen tres tipologías de sistemas:

1. **Sistemas de vigilancia independiente no cooperativa:** Aquellos en los que los datos de vigilancia se determinan en las instalaciones terrestres, sin la colaboración de la aeronave. Dentro de esta categoría se encuentran los radares primarios de vigilancia (PSR) y los radares de movimiento en la superficie (SMR):
 - a. El radar primario de vigilancia, PSR (Primary Surveillance Radar), es un sistema que no requiere la colaboración activa de la aeronave. En esta técnica, la instalación terrestre emite una serie de ondas electromagnéticas que, al reflejarse en la aeronave, una pequeña parte de ellas vuelven a ser recibidas y procesadas por los dispositivos en tierra, lo que permite calcular su posicionamiento, esencialmente distancia al radar y acimut. Aparte de efectuar la vigilancia de aeronaves, esta técnica también se puede emplear para la detección de movimientos en tierra y determinados fenómenos meteorológicos.
 - b. El radar de vigilancia en superficie, SMR (Surface Movement Radar), es un tipo de radar primario particularizado para la detección de aeronaves en las superficies de los aeropuertos.

El radar meteorológico embarcado es un tipo de radar primario que se emplea para proporcionar indicación de la intensidad del clima, siendo capaces de detectar el movimiento de las gotas de lluvia además de la intensidad de la precipitación. Este radar se suele situar en el morro del avión

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

2. **Sistemas de vigilancia independiente cooperativa:** Aquellos en los que los datos de vigilancia se determinan en las instalaciones terrestres, con la colaboración de la aeronave, para lo cual se requiere que la aeronave está convenientemente equipada. Dentro de esta categoría se pueden identificar dos tipos:
 - a. El radar secundario de vigilancia, SSR (Secondary Surveillance Radar), es un sistema que requiere la colaboración activa de la aeronave. En esta técnica, la instalación terrestre envía una señal de interrogación al equipo instalado en el avión, el cual devuelve una señal de respuesta que será tratada por los dispositivos de tierra para generar la información de vigilancia. El radar secundario mejora las prestaciones del PSR, ya que los datos de vigilancia proporcionados pueden incluir -además de la posición horizontal de la aeronave, calculada en tierra- el código de identificación asignado al vuelo, su nivel de vuelo, y otra información, en función del modo de radar secundario que se esté usando y de la capacidad de los sistemas embarcados.
 - b. La multilateración. Esta técnica se basa en la triangulación de las señales recibidas en la frecuencia de respuesta del sistema procedentes de las aeronaves y recibidas en varios receptores en tierra, lo que permite determinar la posición de la aeronave que las genera. Además de la posición de las aeronaves, la información que puede ser obtenida es similar a la de los radares secundarios. La multilateración puede ser utilizada tanto para vigilancia en la superficie de los aeropuertos y en su entorno, como para vigilancia de áreas más amplias del espacio aéreo, en cuyo caso recibe el nombre de multilateración de área extensa, WAM (Wide Area Multilateration).
3. **Sistemas de vigilancia dependiente:** Aquellos en los que los datos de vigilancia se generan directamente en los equipos de a bordo de la aeronave.

Dentro de esta categoría se encuentra el sistema de vigilancia dependiente automática o ADS (Automatic Dependent Surveillance). En esta técnica, la aeronave determina los datos de vigilancia a partir de la información extraída de los dispositivos de navegación de a bordo, transmitiéndolos automáticamente (esto es, sin requerirse una interrogación externa o intervención alguna por parte del piloto). La información de vigilancia puede incluir el código de identificación de la aeronave, su posición, altitud y velocidad, así como otra información relevante

Esta técnica permite extender la función de vigilancia a áreas donde no existe cobertura radar, como las zonas oceánicas.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

4.1 Descripción de los sistemas de vigilancia

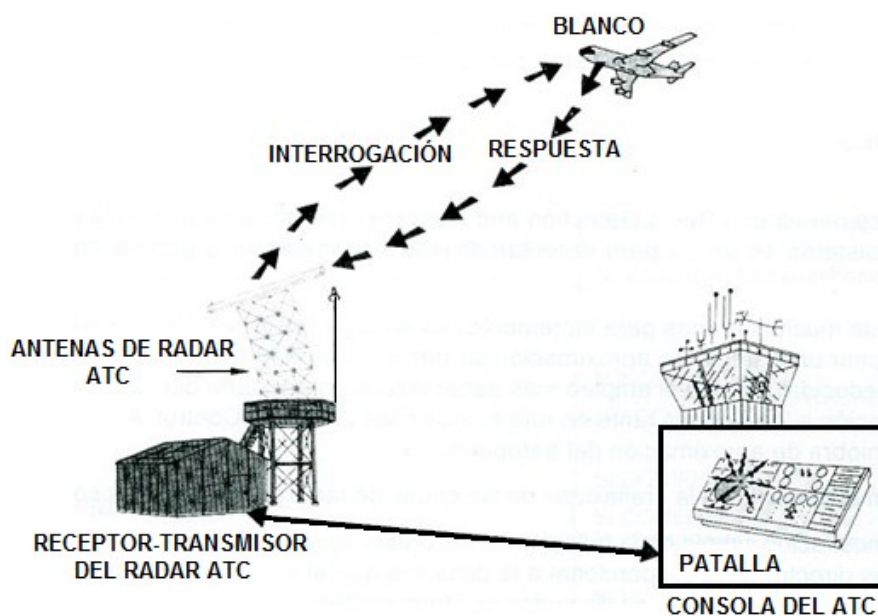
4.1.1 Sistemas de vigilancia no cooperativa

4.1.1.1 Radar Primario (PSR)

El PSR (Primary Surveillance Radar / Radar Primario de Vigilancia) es un sistema de vigilancia independiente no cooperativo capaz de proporcionar la distancia y azimut al «blanco», es decir, a la aeronave.

4.1.1.2 Principio de funcionamiento

El PSR sólo consta de componente terrestre ya que, al ser un sistema independiente no cooperativo, no requiere de equipos específicos a bordo de la aeronave.



Principio de funcionamiento del Sistema Radar-

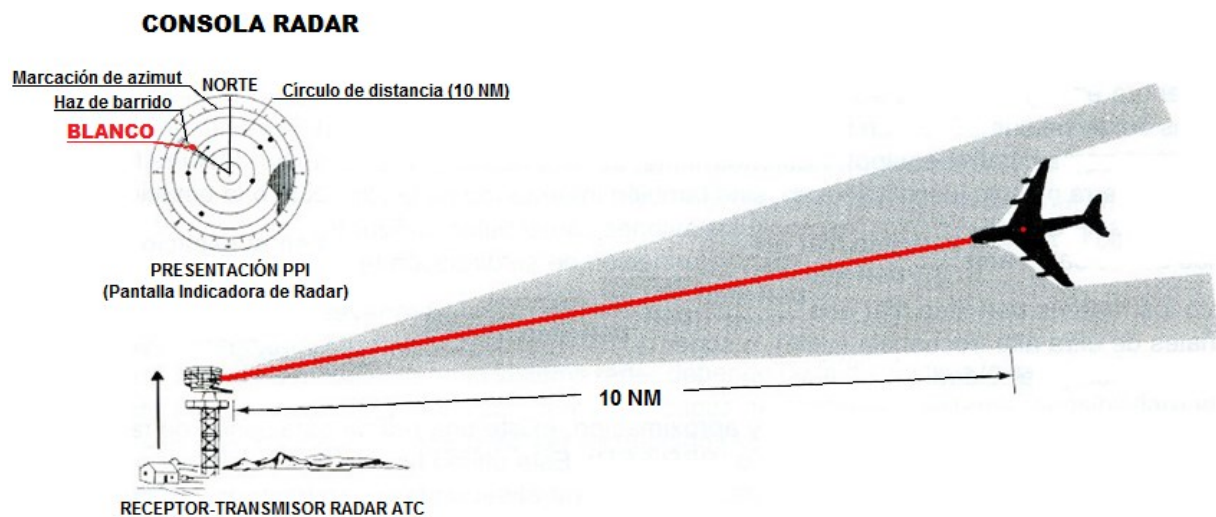
A través de una antena giratoria, la instalación terrestre transmite a intervalos regulares una serie de impulsos de radiofrecuencia (denominados señales de interrogación) que -al ser reflejados en el blanco- vuelven a ser recibidos y procesados, proporcionando la siguiente información:

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Distancia del blanco respecto a la estación terrestre: Este parámetro se obtiene a partir de la medida del tiempo transcurrido desde que se envía la señal de interrogación hasta que recibe la señal reflejada en el blanco.

Marcación angular del blanco: Este parámetro se obtiene a partir del ángulo de posición de la antena en el instante de recepción de la señal reflejada.

Tiempo de la detección: Instante en el que el blanco fue detectado.



Representación del Sistema Radar-

4.1.1.3 Equipo de tierra PSR

El equipo PSR se compone básicamente de un sistema antena-transmisor-receptor, encargado de emitir y procesar las señales, así como el equipamiento de comunicaciones necesario para enviar allí donde es necesaria la presentación de la información de vigilancia obtenida.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Representación de una unidad indicadora PSR-



Consola de radar primario-

4.1.1.4 Características operacionales

El PSR trabaja en las bandas de frecuencia L (de 1 a 2 GHz) y S (de 2 a 4 GHz).

Utiliza ondas electromagnéticas que viajan esencialmente en línea recta y son fácilmente reflejadas por los objetos que se encuentran en su trayectoria.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

Los servicios de tránsito aéreo utilizan este tipo de radar para obtener información de la situación del tráfico aéreo tanto en ruta como en aproximación y detección de movimientos en el área de maniobras.

Aparte de efectuar la vigilancia de aeronaves, el PSR también se emplea para la detección de fenómenos meteorológicos.

Los inconvenientes que se presentan al trabajar con este radar son debidos a imprecisiones en la identificación y pérdidas de señales como consecuencia de reflejos producidos por el terreno.

4.1.1.5 Radar de movimiento en superficie (SMR)

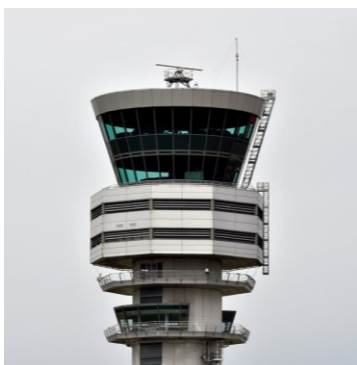
El radar de movimiento en superficie (SMR) es un equipo radar diseñado específicamente para detectar el tráfico de aeronaves y vehículos en la superficie de un aeropuerto y para presentar la imagen completa en una consola indicadora en la torre de control. Se utiliza para mejorar la observación visual por parte del personal de la torre de aeronaves y/o movimientos de vehículos en pistas y calles de rodaje.

- Principio de funcionamiento

El SMR utiliza el principio de funcionamiento del radar primario de vigilancia (PSR), es decir, emite una señal que se refleja en el objetivo y el eco recibido se utiliza para determinar la posición (distancia y acimut) del blanco.

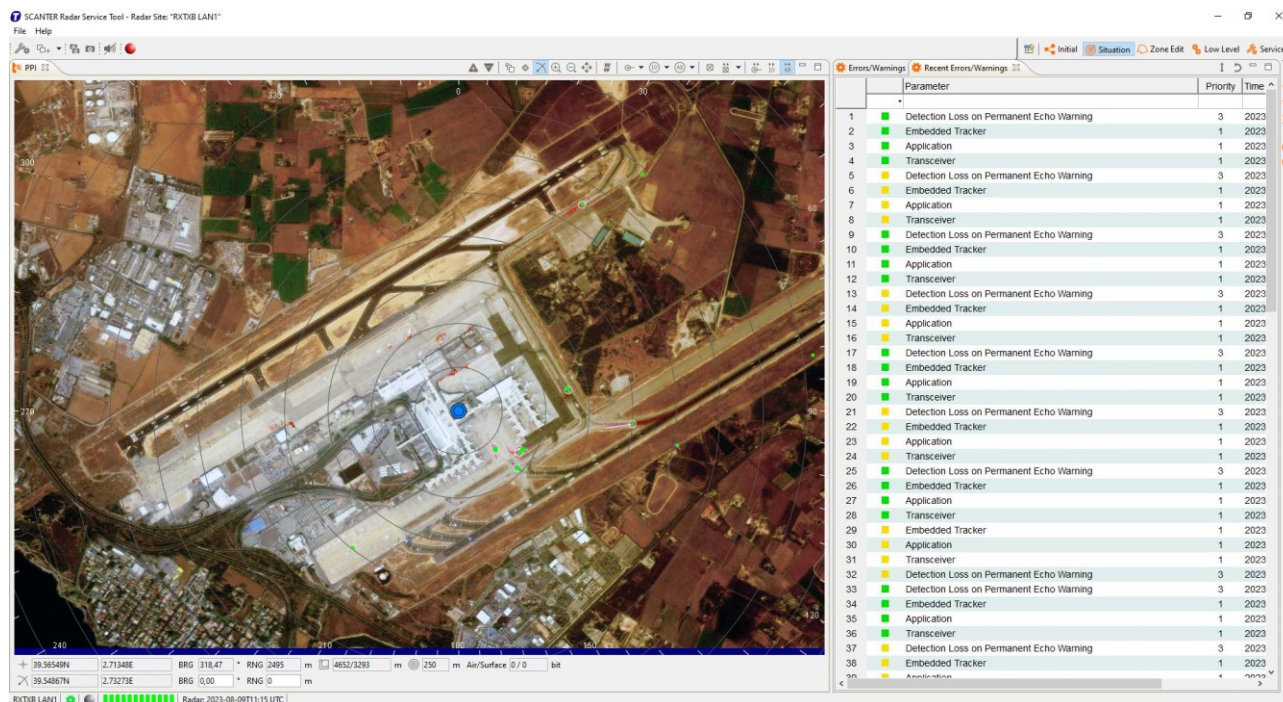
- Equipo de tierra SMR

El equipo SMR, al igual que el PSR, se compone de una antena transmisora-receptora y del equipamiento necesario para generar la señal, procesar el eco recibido y presentar la información de vigilancia obtenida.



Antena de un SMR en lo alto de una torre de control-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Pantalla de visualización de datos de un radar de movimiento en superficie-

4.1.1.6 Características operacionales

El SMR opera en la banda de frecuencia X (de 8 a 12 GHz).

En comparación con el PSR, la antena es mucho más pequeña y liviana, lo que permite una rotación más rápida (normalmente 1 revolución por segundo en lugar de 6-15 revoluciones por minuto) y, por lo tanto, tiene una tasa de actualización del dato más rápida.

La resolución de acimut también se mejora (precisión de 0,25 grados) en comparación con el PSR (1-2 grados) debido al ancho de haz más delgado (que se logra debido a la mayor frecuencia utilizada).

El alcance operativo es considerablemente más pequeño si se compara con otros radares (lo que no debe considerarse un inconveniente, ya que el propósito del SMR es cubrir solo el área de maniobras), lo que permite usar pulsos más cortos, lo que resulta en una resolución en distancia mucho mejor (unos 20 m).

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

4.1.2 Sistemas de vigilancia cooperativa

4.1.2.1 Radar secundario (SSR)

El SSR (Secondary Surveillance Radar / Radar Secundario de Vigilancia) es un sistema de vigilancia independiente cooperativo, capaz de proporcionar información de posición de una aeronave.

Este radar se desarrolló para aumentar las prestaciones de los radares primarios, pero no significa que uno sea sustituto del otro, sino más bien complementarios. El radar secundario presenta mayor inmunidad a los fenómenos atmosféricos y facilita la vigilancia en cualquier condición meteorológica, además de mejorar la precisión en la marcación angular (mediante el empleo de la técnica monopulso).

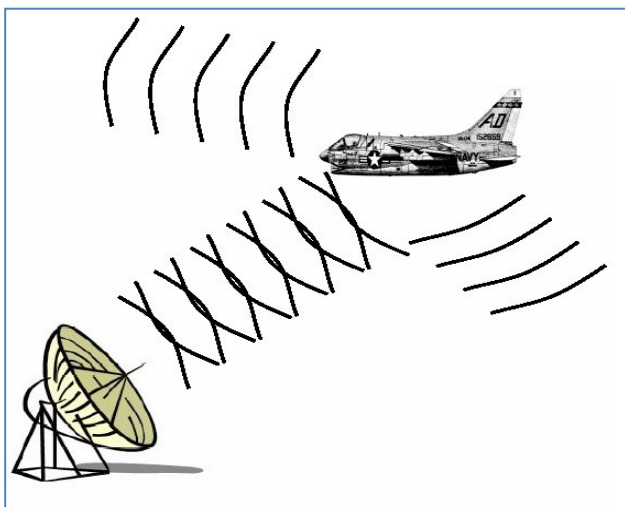
4.1.2.2 Principio de funcionamiento

El SSR consta de un componente terrestre y un equipo de a bordo en la aeronave, denominado transpondedor. Existen distintos modos de radar secundario en función de la información que proporcionan las aeronaves, como identificación de la aeronave, altitud, etc.

En este sistema, el blanco a detectar interviene activamente en el proceso de vigilancia. Una vez la aeronave recibe la señal emitida desde una estación en tierra, esta señal es procesada a bordo y enviada de vuelta a la estación de tierra, proporcionando la siguiente información:

- Distancia respecto a la estación terrestre.
- Tiempo de la detección
- Marcación angular.
- Altitud de la aeronave.
- Situaciones de emergencia (fallo, secuestro, etc.).
- Identificación de la aeronave (incluyendo compañía y número de vuelo).
- Información relativa a la intención de la aeronave: nivel de vuelo seleccionado, reporte de giro, rumbo y velocidad.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Transmisión bidireccional del radar secundario-

4.1.2.3 Equipo de tierra SSR

Al igual que en el radar primario consta de un sistema antena-transmisor-receptor, encargado de emitir y procesar las señales que presentan al usuario la información de vigilancia, a través de una unidad indicadora.

Este equipo puede emitir señales que “interrogan” a las aeronaves de diferentes modos, en función de la información que se requiera, normalmente identificación y altitud de la aeronave.

4.1.2.4 Equipo de a bordo

La generación de una respuesta a bordo de la aeronave implica la necesidad de que el avión vaya equipado de un sistema específico, llamado transpondedor o respondedor. Este equipo dota al radar secundario de la capacidad que permite que el avión sea seguido e identificado fácilmente desde tierra.

En la siguiente tabla se especifican los diferentes modos de trabajo del transpondedor siendo el modo S el de mayor uso:

MODO	APLICACIÓN
MODO 3/A	El equipo de a bordo transmite una señal de identificación , que cuando es requerida por el control de tierra, hace que se ilumine en la pantalla radar con mayor intensidad el «blanco» que representa el avión.
MODO C	Con este modo conectado, además de estar seleccionado el Modo 3/A, el equipo transmite una señal de altitud (lo que equivale al nivel de vuelo), que aparecerá en la pantalla radar.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

INTERMODOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interrogación en Modos A, C y S. De esta forma se obtendrán respuestas para vigilancia de respondedores en los Modos A/C y S. 2. Interrogación en Modo A y C solamente. De esta forma se obtienen respuestas para vigilancia de respondedores en Modos A/C.
MODOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interrogación en Modo S General: para obtener respuestas sólo en Modo S. 2. Radiodifusión: para transmitir información a todos los respondedores en Modo S. No se obtienen respuestas. 3. Llamada Selectiva: para vigilancia de determinados respondedores en Modo S y para la comunicación con ellos. Para cada interrogación, se obtiene una respuesta solamente del respondedor al que se ha dirigido una interrogación exclusiva.

La operación en Modo S permite controlar un gran número de aeronaves, mejorando la exactitud de la información y la rapidez en las transmisiones tierra-aire-tierra, permitiendo el intercambio de información específica con cada usuario, mediante las llamadas selectivas.

El Modo S mejora la capacidad de suministrar información adicional, como indicadores de emergencia.

4.1.2.5 Características operacionales

El radar secundario establece mejores intercambios de información entre el equipo de tierra y el avión, debido principalmente a que las señales transmitidas desde las aeronaves son claras y potentes, lo que permite que sean bien captadas por el equipo de tierra evitando que se distorsione o pierda información.

El hecho de que el «blanco» sea de carácter cooperativo tiene tres efectos principales:

No se requieren potencias tan elevadas como las del radar primario.

El receptor no requiere sensibilidades grandes.

Puede intercambiarse información entre los equipos de tierra (interrogador) y a bordo (respondedor), pudiendo ser la comunicación iniciada desde tierra o desde el aire.

4.1.2.6 Sistemas de multilateración

La multilateración (MLAT) es un sistema de vigilancia independiente cooperativo, capaz de proporcionar información de posición de una aeronave. Se puede utilizar para la vigilancia del tráfico terrestre (entorno del aeródromo) y aéreo. Los sensores MLAT (transmisores/receptores) se pueden ubicar dentro de los límites del aeropuerto para vigilancia terrestre, en y cerca de un aeropuerto para monitorear el tráfico de llegada y salida o sobre un

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

área extensa, donde un radar convencional (PSR o SSR) no es práctico o posible, para monitorear el tráfico en ruta.

- Principio de funcionamiento

Se basa en una metodología conocida como diferencia horaria de llegada (TDOA, por las siglas en inglés de Time Difference of Arrival)) que se puede utilizar de dos maneras, bien la señal de una unidad móvil se mide en una serie de ubicaciones fijas conocidas, o bien las señales de una serie de ubicaciones fijas son medidas por un receptor móvil. La TDOA de las señales en el o los receptores permite determinar la posición de la entidad móvil.

En respuesta a una señal de interrogación de uno de los transmisores MLAT, el transpondedor del vehículo o avión transmitirá una respuesta que será recibida y procesada por todas las estaciones MLAT en su área de cobertura. La variación de TDOA en los diversos sitios terrestres permitirá una determinación precisa de la posición del vehículo o aeronave.

Matemáticamente, conociendo el tiempo que tarda en llegar la señal a una estación se genera una esfera donde podría encontrarse la aeronave. Si la señal se recibe en dos estaciones, la intersección de esas dos esferas genera una curva hiperbólica sobre la cual la aeronave podría situarse. Agregar una tercera estación receptora reduce toda esa curva hiperbólica a dos posibles puntos específicos de ubicación, uno de los cuales, normalmente, puede descartarse como improbable. Añadir un cuarto punto de recepción daría como resultado una única posición calculada para el emisor de la señal.

- Equipo de tierra MLAT

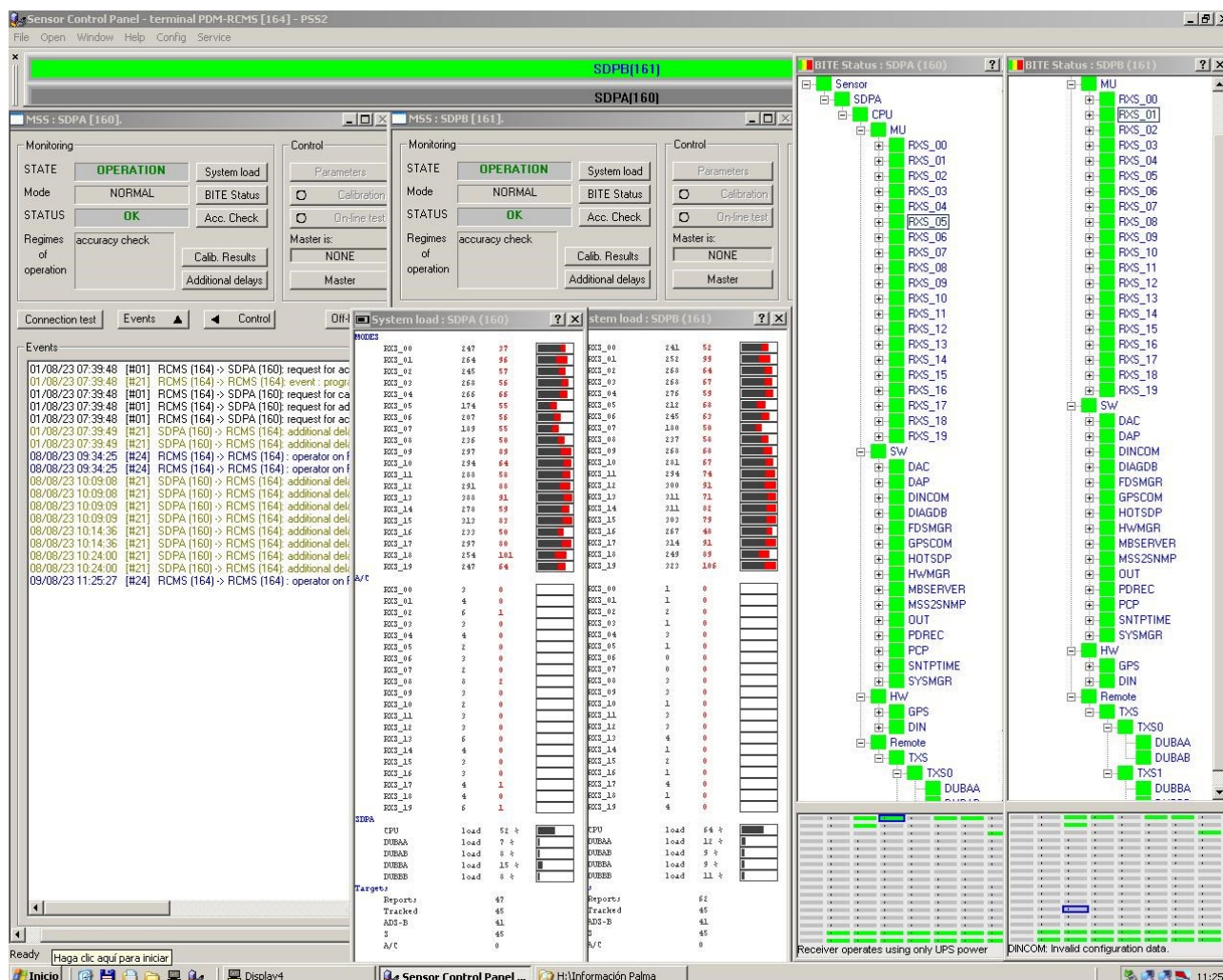
Consta de varias estaciones distribuidas a lo largo del área de vigilancia a la que se quiere prestar servicio, estando encargadas de emitir las señales de interrogación y procesar las respuestas, así como del equipamiento que completa el procesamiento de la información y permite presentar al usuario dicha información de vigilancia.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Estación de tierra de un sistema de multilateración-

Navegación aérea, Equipos y Sistemas



Pantalla de visualización de datos de un sistema de multilateración-

4.1.2.6 Equipo de a bordo

La generación de una respuesta a bordo de la aeronave o de los vehículos circulando por el área de interés implica la necesidad de que estos estén equipados con transpondedores, exactamente igual que ocurre en el radar secundario de vigilancia.

4.1.2.7 Características operacionales

Al igual que ocurre con el radar secundario, el hecho de que se trate de una vigilancia cooperativa permite el intercambio de información entre las estaciones de tierra y el avión o los vehículos, y dado que las respuestas recibidas por las estaciones de tierra son claras y potentes, se evita o minimiza la posible pérdida de información. Además, se pueden minimizar las áreas sin cobertura, añadiendo o modificando la posición de las estaciones de tierra.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

4.1.3 SISTEMA DE VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA

La Vigilancia Dependiente Automática (ADS) es una técnica de vigilancia por la que una aeronave transmite, a través de enlace de datos, una serie de parámetros extraídos de los sistemas de navegación y posicionamiento de a bordo.

4.1.3.1 Principio de funcionamiento

La técnica ADS requiere un sistema de posicionamiento y navegación y un enlace de datos a bordo del avión, y en tierra, estaciones que reciban la información ADS para que pueda ser transmitida y utilizada por los sistemas de tratamientos de datos de vigilancia.

La técnica ADS proporciona:

- La identificación de la aeronave.
- La posición de la aeronave dimensiones.
- Información adicional, como la velocidad.

4.1.3.2 Tipos de ADS

ADS-C: La vigilancia dependiente automática - Contrato (ADS-C) es una técnica de vigilancia en la cual las aeronaves, mediante un enlace de datos, suministran a los sistemas de tierra (por ejemplo, centros de control de tránsito aéreo) datos tales como posición e identificación, derivados de los sistemas de aviónica de a bordo. Para ello, se establece un acuerdo ("contrato") entre la aeronave y el citado sistema de tierra, que establece las condiciones bajo las cuales la información será transmitida: forma periódica y/o bajo la ocurrencia de una determinada circunstancia, como puede ser el sobrevuelo de fijos establecidos en los sistemas embarcados de la aeronave como parte de su plan de vuelo. El sistema de tierra también tiene la capacidad de obtener información en cualquier momento mediante los denominados contratos bajo demanda.

ADS-B: La vigilancia dependiente automática – Radiodifusión (ADS-B) es una técnica de vigilancia que permite la transmisión de parámetros derivados de la aeronave, como posición e identificación, a través de un enlace de datos en modo de radiodifusión, para ser utilizados por cualquier usuario convenientemente equipado en el aire y/o en tierra.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

4.1.3.3 Características operacionales

La ADS tiene dos características definitorias fundamentales:

- es automática, es decir, no necesita la intervención del piloto para que los datos de la aeronave sean enviados a los servicios de tránsito aéreo, y
- es dependiente, porque la información necesaria es generada en la misma aeronave, es decir, depende de los sistemas de a bordo.

Este nuevo sistema es esencial para mejorar la vigilancia en zonas oceánicas (a día de hoy mediante ADS-C, aunque se está considerando el uso de ADS-B vía satélite) y en zonas continentales en las que no se dispone de cobertura radar, así como para mejorar y racionalizar la vigilancia en zonas actualmente cubiertas con radar, mediante el despliegue de estaciones ADS-B.

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

5. Acrónimos

ABAS	Sistema de aumentación basado en la aeronave / Aircraft-based augmentation system
ADF	Equipo radiogoniométrico automático / Automatic direction-finding equipment
ADS	Vigilancia dependiente automática / Automatic dependent surveillance
ALS	Sistema de iluminación de aproximación / Approach lighting system
APAPI	Indicador simplificado de trayectoria de aproximación de precisión / Abbreviated precision approach path indicator
APV	Procedimiento de aproximación con guía vertical / Approach procedure with vertical guidance
ATM	Gestión del tránsito aéreo / Air traffic management
BDS	Sistema BeiDou de Navegación por Satélite / BeiDou Navigation Satellite System
CDI	Indicador de desviación de curso
CNS	Comunicaciones, navegación y vigilancia / Communications, navigation and surveillance
DME	Equipo medidor de distancia / Distance measuring equipment
EGNOS	Servicio europeo de complemento geoestacionario de navegación. / European Geostationary Navigation Overlay Service
FAF	Punto de referencia de aproximación final / Final approach fix (para procedimientos de no precisión como VOR, NDB, LOC)
FAP	Punto de aproximación final / Final approach point (para procedimientos de precisión ILS)
GBAS	Sistema de aumentación basado en tierra / Ground-based augmentation system
GLONASS	Sistema global de navegación por satélite (Rusia) / Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite / Global navigation satellite system
GP	Trayectoria de planeo / Glide path
GPS	Sistema mundial de determinación de la posición (EE.UU.) / Global positioning system
GS	Velocidad respecto al suelo / Ground speed
HDG	Rumbo / Heading
IAS	Velocidad indicada / Indicated air speed

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos / Instrument landing system
IM	Radiobaliza interna / Inner marker
INS	Sistema de navegación inercial / Inertial navigation system
LOC	Localizador / Localizer
MM	Radiobaliza intermedia / Middle marker
MSAS	Sistema de aumentación satelital multifunción (Japón) / Multi-functional Satellite Augmentation System
NDB	Radiofaro no direccional Non-directional radio beacon
OBS	Selector de radial / omnibearing selector
OM	Radiobaliza exterior / Outer marker
PAPI	Indicador de trayectoria de aproximación de precisión / Precision approach path indicator
PBN	Navegación basada en la performance. / Performance-based navigation
PSR	Radar primario de vigilancia / Primary surveillance radar
RDL	Radial
RMI	Indicador radiomagnético / Radio magnetic indicator
RNAV	Navegación de área / Area navigation
RNP	Especificación para performance de navegación requerida / Required navigation performance
SBAS	Sistema de aumentación basado en satélite / Satellite-based augmentation system
SID	Salida normalizada por instrumentos / Standard instrument departure
SNA	Sistema de navegación aérea / Air navigation system
SSR	Radar secundario de vigilancia / Secondary surveillance radar
STAR	Llegada normalizada por instrumentos / Standard instrument arrival
THDG	Rumbo verdadero / True heading
TSE	Precisión de navegación lateral
UHF	Frecuencia ultra alta (300 a 3000 MHz) / Ultra high frequency (300 to 3000 MHz)
VHF	Muy alta frecuencia (30 a 300 MHz) / Very high frequency (30 to 300 MHz)

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

VOR	Radiofaro omnidireccional muy alta frecuencia / Very high frequency omnidirectional radio range
WAAS	Sistema de aumentación de área amplia (EE.UU.) / Wide Area Augmentation System

Navegación aérea, Equipos y Sistemas

6. Bibliografía

OACI, Anexo 4, Cartas aeronáuticas.

OACI, Anexo 10, Radioayudas para la Navegación.

OACI, Documento 9613, Manual de navegación basada en la performance (PBN).

OACI, Documento 9849, Manual sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS).

SÁEZ NIETO, F. J.; PÉREZ SANZ, Luis; GOMEZ COMENDADOR, Fernando. La navegación aérea y el aeropuerto. Madrid, Fundación Aena, 2002.

PÉREZ SANZ, L.; ARNALDO VALDÉS, R. M^a; SÁEZ NIETO, F. J.; BLANCO MONGE, J.; GÓMEZ COMENDADOR, V. F. Introducción al Sistema de Navegación Aérea. Madrid, Ed. Garceta, 2013.

International Airport review. FAA, 2006, Nº 3. Kent (UK): Russell Publishing

España. Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea

SÁEZ NIETO, Francisco J., PORTILLO PÉREZ, Yolanda. Descubrir la navegación aérea. Madrid: Centro de documentación y publicaciones de Aena, 2003.

DE MATEO, M.L. Descubrir la navegación por satélite. Madrid: Aena, 2004.

RASTRILLA, P. Descubrir las ayudas a la navegación y su calibración. Madrid: Aena, 2014.

MATA MORALES LÓPEZ, Juan de. Sistemas CNS/ATM. Cuadernos Aena, núm. 2. Madrid: Centro de documentación y publicaciones de Aena, 2001.

SÁEZ NIETO, Francisco J., SALAMANCA BUENO, Miguel Angel. Sistemas y equipos para la navegación y circulación aérea. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 1995

HERNANDEZ RAPOSO, Jesús. Sistema de navegación aérea. Madrid: Paraninfo, 1971

MARTÍNEZ VADILLO, Juan F.; BELDA VALIENTE, Ricardo. Navegación: sistemas y equipos: maniobras y procedimientos. 7^a ed, Madrid

AIP-ESPAÑA