



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

**El concepto PBN. Diseño de una
aproximación RNP para el aeropuerto de
Tenerife Norte**

Memòria del Treball Fi de Grau

en

Gestió Aeronàutica realitzat per

Carlos Sierra Martínez

i dirigit per

Enrique Reguilón Oter

Escola d'Enginyeria

Sabadell, *Juliol* de 2020

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau: El concepte PBN. Disseny de una aproximació RNP per el aeroport de Tenerife Norte.	
Autor[a]: Carlos Sierra Martínez	Data: Juliol 2020
Tutor[a]/s[es]: Enrique Reguilón Oter	
Titulació: Grau en Gestió Aeronàutica	
Paraules clau (mínim 3) • Català: PBN, RNP, OACI, RNAV, ILS, SBAS • Castellà: PBN, RNP, OACI, RNAV, ILS, SBAS • Anglès: PBN, RNP, OACI, RNAV, ILS, SBAS	
Resum del Treball Fi de Grau (extensió màxima 100 paraules) • Català: Amb aquest treball de fi de grau la meua intenció és fer un estudi sobre la PBN, i a partir dels coneixements obtinguts, fer una proposta d'una nova aproximació per a l'aeroport de Tenerife Nord. Actualment aquest aeroport no compta amb aquest tipus d'aproximacions, i això està provocant que per l'ocasional boira que es genera, i els ajuts inexistents per volar en condicions de baixa visibilitat, els vols en determinades situacions hagin de ser desviats cap a altres aeroports. Un cop dissenyada l'aproximació es valorarà els beneficis que tindria que fa a les arribades actuals publicades • Castellà: Con este trabajo de fin de grado mi intención es realizar un estudio sobre la PBN, y a partir de los conocimientos obtenidos, hacer una propuesta de una nueva aproximación para el aeropuerto de Tenerife Norte. Actualmente dicho aeropuerto no cuenta con este tipo de aproximaciones, y esto está provocando que por la ocasional niebla que se genera, y las ayudas inexistentes para volar en condiciones de baja visibilidad, los vuelos en determinadas situaciones tengan que ser desviados hacia otros aeropuertos. Una vez diseñada la aproximación se valorará los beneficios que tendría respecto a las llegadas actuales publicadas.	

- Anglès: With this final degree project, my intention is to carry out a study on the PBN, and from the knowledge obtained, make a proposal for a new approach to the Tenerife North airport. Currently, this airport does not have this type of approach, and this is causing that due to the occasional fog that is generated, and the non-existent aid to fly in conditions of low visibility, flights in certain situations have to be diverted to other airports. Once the approach has been designed, the benefits it would have with respect to the current published arrivals will be evaluated.

El sotasignat, *Enrique Reguilón Oter*

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present
memòria
ha estat realitzat sota la seva supervisió per

Carlos Sierra Martínez

I per a que consti firma la present.
Sabadell, *Juliol* de *2020*

Signat: *Enrique Reguilón Oter*

ÍNDICE GENERAL

PARTE I – INTRODUCCIÓN.....	12
1. Motivación	13
2. Planteamiento del problema.....	14
3. Aeropuerto de Tenerife Norte.....	16
3.1. Descripción.....	16
3.2. Historia.....	17
3.3. Tráfico de pasajeros	21
3.4. Rutas y aerolíneas.....	21
PARTE II – PBN	23
4. Descripción del espacio aéreo.....	24
4.1. Comunicaciones.....	29
4.1.1. Servicios de comunicaciones aeronáuticas	31
4.1.2. Aplicaciones de las comunicaciones	32
4.1.2.1. Sistemas de enlace de datos controlador – piloto	32
4.1.2.2. Radiodifusiones de aspectos operativos y meteorológicos	32
4.1.2.3. FANS	33
4.1.2.4. El programa LINK 2000+.....	34
4.1.2.5. El programa CASCADE.....	35
4.1.2.6. Red PENS.....	36
4.1.2.7. Cooperación USA / EUROPA	37
4.2. Navegación.....	37
4.2.1. Radio ayudas para la navegación.....	38
4.2.1.1. VOR.....	39
4.2.1.2. DME.....	39
4.2.1.3. TACAN.....	40
4.2.1.4. NDB	40
4.2.1.5. ILS	40
4.2.2. Sistemas satelitales	41
4.2.2.1. GALILEO	42
4.2.2.2. GLONASS.....	42

4.2.2.3.	GPS	43
4.2.2.4.	Sistemas de aumentación	44
4.2.2.4.1.	SBAS	45
4.2.2.4.2.	ABAS	46
4.2.2.4.3.	GBAS	46
4.2.2.4.4.	EGNOS	47
4.3.	Vigilancia	50
4.3.1.	El radar primario PSR	50
4.3.2.	El radar secundario SSR	51
4.3.3.	Vigilancia dependiente ADS	52
4.3.4.	Multilateración	53
4.4.	ATM	54
4.4.1.	ATC (Servicio de control de tránsito aéreo)	56
4.4.2.	ASM (Gestión del espacio aéreo)	57
4.4.3.	ATFCM (Control de afluencia y de capacidad de tránsito aéreo)	58
5.	Navegación Basada en Prestaciones	59
5.1.	Concepto PBN, RNAV, RNP y GNSS.....	60
5.1.1.	Especificaciones de navegación	64
5.1.2.	Infraestructura de las ayudas a la navegación aérea	64
5.1.3.	Aplicación de navegación.....	64
5.1.4.	Requisitos PBN	66
5.1.4.1.	Precisión	66
5.1.4.2.	Integridad.....	66
5.1.4.3.	Continuidad	67
5.1.4.4.	Disponibilidad.....	67
5.1.4.5.	Funcionalidad	67
5.1.5.	Especificaciones RNAV y RNP	68
5.1.5.1.	RNAV 10 y RNP 10	69
5.1.5.2.	RNAV 5	70
5.1.5.3.	RNAV 1 y RNAV 2.....	70
5.1.5.4.	RNP 4.....	70
5.1.5.5.	RNP 1 BÁSICA.....	71
5.1.5.6.	RNP APCH	71
5.1.5.7.	RNP AR APCH.....	72
5.2.	Aplicaciones PBN	72
5.2.1.	SESAR.....	72

5.2.1.1.	Fase de definición:	73
5.2.1.2.	Fase de desarrollo:	73
5.2.1.3.	Fase de despliegue:	73
5.3.	Aproximaciones RNP	74
5.3.1.	Aproximaciones con guía vertical (APV)	77
5.3.2.	La navegación vertical	79
5.4.	Estado actual de la implantación PBN en España.....	83
5.5.	Ejemplos de procedimientos RNP.....	84
6.	Aproximación LPV-200	87
6.1.	Fases de una aproximación.....	87
6.1.1.	Tramo de aproximación inicial	87
6.1.2.	Tramo de aproximación intermedio	90
6.1.3.	Tramo de aproximación final.....	91
6.1.4.	Tramo de aproximación frustrada	91
6.2.	Descripción de una aproximación LPV-200	92
6.3.	Requerimientos de la operación.....	93
6.4.	Beneficios	94
6.5.	Funcionamiento	96
PARTE III – DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO Y COMPARACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....		98
7.	Aproximación actual Tenerife Norte.....	99
7.1.	Diseño aproximación RNP	105
PARTE IV – CONCLUSIONES.....		108
8.	Conclusiones	109
9.	Bibliografía	110

GLOSARIO

ABAS Aircraft Based Augmentation System

ADS Sistema de vigilancia Dependiente Automática

AENA Aeropuertos Españoles de Navegación Aérea

AESA Agencia Estatal de Seguridad Aerea

AGL Above ground level

ANSP Proveedor de servicios de navegación aérea

ATC Air Traffic Control

ATS Servicios de tránsito aéreo

FMS Flight Managment System

GBAS Ground Based Augmentation System

GNSS Global Navigation Satellite System

IFR Instrumental Flight Rules

IATA Asociación de Transporte Aéreo Internacional

ILS Instrumental Landing System

INS Sistema de navegación inercial

LNAV Navegación Vertical

LPV Localizer performance with Vertical Guidance

NOTAM Notice To Airmen

MDA Altitud mínima de descenso

MDH Altura mínima de descenso

MN Millas Náuticas

PBN Performance Based Navigation

OACI Organización de Aviación Civil Internacional

PSR Primary Surveillance Radar

RAIM Receiver Autonomous Integrity Monitoring

RNP Required Navigation Performance

RNP APCH Required Navigation Performance Approach

RNAV Navegación de Área

SBAS Satellite Based Augmentation System

SID Standard Instrumental Departure

SSR Secondary Surveillance Radar

STAR Standard Terminal Arrival Route

VHF Very High Frequency

VFR Visual Flight Rules

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Frecuencia anual de los días de niebla en el aeropuerto de Tenerife Norte. Fuente: AEMET	15
Imagen 2. Ubicación Aeropuerto Tenerife Norte. Fuente: AENA.....	16
imagen 3. Accidente de Los Rodeos. Fuente: puentedemandando	20
Imagen 4. Aeropuerto de Tenerife Norte. Fuente: webtenerife	20
Imagen 5. Evolución del tráfico aéreo en los últimos 6 años. Fuente: AENA	21
Imagen 6. Clases del espacio aéreo. Fuente: AIP	27
Imagen 7. Reglas de vuelo visual. Fuente: AIP	28
Imagen 8. Componentes del espacio aéreo según la PBN. Fuente: Eurocontrol.....	29
Imagen 9. Comparativa GNSS. Fuente: Neosentec	44
Imagen 10. Areas SBAS en servicio. Fuente: ESA	45
Imagen 11. Comparativa navegación. Fuente: Hispaviación	61
Imagen 12. Espacio aéreo según la PBN. Fuente: Manual PBN. DOC 9613	63
Imagen 13. Especificaciones RNAV y RNP. Fuente: Manual PBN. DOC 9163.....	69
Imagen 14. Diseño de aproximación típico. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos	75
Imagen 15. Tramos de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.	75
Imagen 16. Aproximación NPA. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos	77
Imagen 17. Aproximación RNP APCH sin guiado vertical. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.....	78
Imagen 18. Aproximación RNP APCH con guiado vertical. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.	79
Imagen 19. Comparativa descenso LNAV/VNAV – LPV. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.....	80
Imagen 20. Distintos tipos de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.	81
Imagen 21. Aproximaciones RNAV y RNP dentro de la PBN. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos	82
Imagen 22. Nomenclatura cartas de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.....	83
Imagen 23. Aproximación ILS Santander. Fuente: AIP	85
Imagen 24. Aproximación RNP Santander. Fuente: AIP.....	86
Imagen 25. Fases de una aproximación. Fuente: aerowiki	89
imagen 26. Carta de llegada normalizada vuelo por instrumentos STAR. Fuente: AIP	100
imagen 27. Carta de aproximación por instrumentos Tenerife Norte ILS Y RWY 30. Fuente: AIP	102
imagen 28. Carta de aproximación por instrumentos Tenerife Norte ILS Z RWY 30. Fuente: AIP	103
imagen 29. Propuesta de nueva aproximación.....	105

(Hoja intencionalmente en blanco)

PARTE I – INTRODUCCIÓN

1. Motivación

“La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha recomendado a los Estados Contratantes la implantación en su espacio aéreo de la Navegación Basada en Prestaciones (PBN)”.(OACI, 2008)

Las especificaciones de navegación de la PBN definen las prestaciones y otros requerimientos que deben satisfacer las aeronaves navegando a lo largo de una ruta ATS, o siguiendo un procedimiento de aproximación a un aeropuerto en un espacio aéreo designado.(Secretaria de Estado de infraestructuras et al., 2014)

La implantación de la Navegación Basada en Prestaciones en el aeropuerto de Tenerife Norte conllevaría una mejora considerable en la gestión del tráfico aéreo, obteniendo una ventaja operacional debido a la disminución de los mínimos de altura, a parte del ahorro de combustible y emisiones de CO₂. Debido a la optimización del procedimiento de aproximación, que es el objetivo de este trabajo, se reduciría el número de vuelos cancelados y/o desviados a otros aeropuertos debido a la niebla densa que afecta, normalmente, a los vuelos estivales.

En el año 2014 en España se diseñó un marco estratégico para la implantación de las operaciones PBN, con la intención de cumplir las recomendaciones de la OACI. Este diseño sería una aportación para el cumplimiento de este plan propuesto a España.

Por ello, la principal motivación de este trabajo es modernizar el aeropuerto de Tenerife Norte, para conseguir mejoras operacionales y medioambientales que consigan perfeccionar sus procedimientos, para poder realizar este trabajo de modernización ese necesario realizar un estudio previo sobre la Performance Based Navigation.

2. Planteamiento del problema

El aeropuerto de Tenerife Norte cuenta con la tecnología más avanzada ILS, concretamente ILS CAT I, para operar con baja visibilidad, pero se ha determinado que su uso no es posible por las características de la zona. El mecanismo anterior se compone de un equipo en tierra que emite señales. Estas son procesadas por los aviones y se las muestran al piloto. Se trata de dos haces electrónicos, uno guía al avión en dirección a la pista y otro es una ayuda vertical por la que el aparato va siguiendo un pasillo de descenso hacia la cabecera de la pista. Existen tres grandes categorías ILS, I, II, III, y dentro de la categoría III encontramos tres subdivisiones A, B y C, siendo esta última la de mayor precisión ya que permite aterrizar con 0 metros de visibilidad y con el techo de nubes pegado al suelo. En medida de si se dispone de una u otra, el aterrizaje puede producirse con una visibilidad menor. Entre agosto y octubre de 2014 tuvieron lugar diez vuelos de prueba con aproximación en categoría II por parte de varias compañías. De ellos, solo uno logró completar la operación de forma automática, y todos refirieron turbulencias en la parte final de la aproximación. Así es que AENA concluyó que la categoría II/III no es posible "por fenómenos meteorológicos, turbulencias y cizalladura" en este aeropuerto, situado en La Laguna y que presenta una posición orográfica particular. (Ramos, 2019)

Por lo tanto, actualmente en condiciones de baja visibilidad es prácticamente imposible aterrizar en este aeropuerto, la idea de este proyecto es diseñar una aproximación RNP, que permita el aterrizaje seguro en condiciones de baja visibilidad, haciendo un diseño de una hipotética nueva aproximación y comparándola con las ya publicadas, para ver así claramente como podría mejorar el aeropuerto con estos nuevos procedimientos. Cabe decir que esta aproximación es posible gracias al concepto PBN, que permite una navegación mucho más eficiente que la navegación convencional.

La particular localización del aeropuerto Tenerife Norte-Los Rodeos, en el nordeste de la isla de Tenerife, es la causa de la modificación de la dirección habitual de los vientos alisios del NE a vientos del NO, acompañados frecuentemente por niebla. Esto ocasiona que en un número significativo de días al año este aeropuerto esté cubierto por la niebla, lo que afecta de una forma muy importante a su operatividad. La niebla está presente una media de 82 días al año, es decir uno de cada cuatro días el aeropuerto está cubierto por la niebla en algún momento del día. (Romeo & Marzol, 2015)

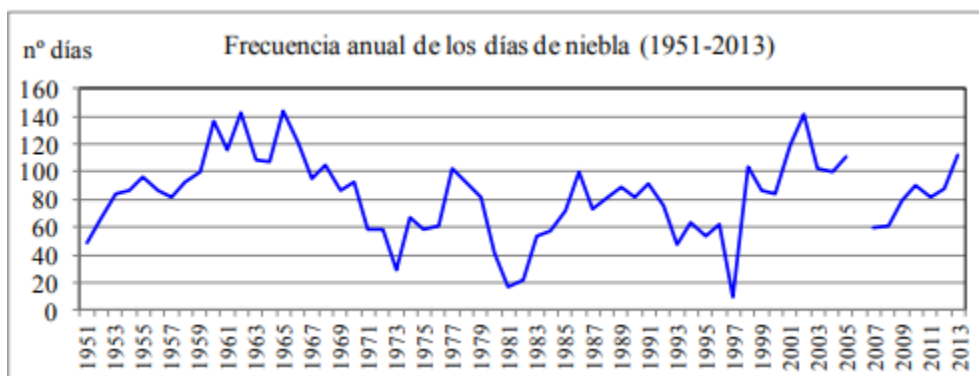


Imagen 1. Frecuencia anual de los días de niebla en el aeropuerto de Tenerife Norte. Fuente: AEMET

3. Aeropuerto de Tenerife Norte

3.1. Descripción

El aeropuerto de Tenerife Norte (código IATA: TFN, código OACI: GCXO), es un aeropuerto ubicado en Tenerife, en el municipio de San Cristóbal de La Laguna en las Islas Canarias de España.(AENA, 2019)

Fue inaugurado en el año 1946, y actualmente tiene un tráfico de pasajeros anual de más de 4.500.000, considerado como el principal tramo de acceso a las Islas Canarias. En el año 2003 se inauguró una nueva terminal de pasajeros y posteriormente un módulo exclusivo para vuelos entre islas. El aeropuerto este situado a una elevación de 633 metros respecto al nivel del mar, y tiene una única pista de asfalto 12/30, que cuenta con 3.171 metros de largo y 45 metros de ancho. (AENA, 2019)

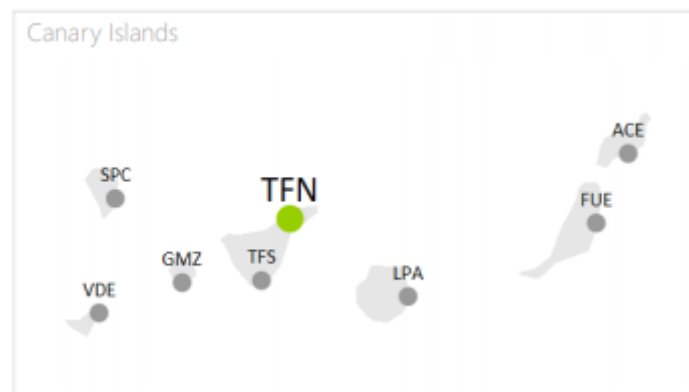


Imagen 2. Ubicación Aeropuerto Tenerife Norte. Fuente: AENA

Como datos de infraestructura: El aeropuerto cuenta con 16 puertas de embarque, una pista CAT II/III ILS, 28 mostradores de facturación, 19 plazas de aparcamiento para aviones, 6 restaurantes y 11 tiendas. (AENA, 2019)

El aeropuerto está centrado en conseguir mostrar la mejor imagen posible, y por eso implementó un sistema integrado de gestión de calidad y medio ambiente, certificado según las normas ISO 9001 e ISO 14001. (AENA, 2019)

El aeropuerto de Tenerife Norte se encuentra entre los 10 mejores aeropuertos de España en el ranking anual de AirHelp Score, una compañía especializada en los derechos de los pasajeros. (AENA, 2019)

Y, el aeropuerto de Tenerife Norte fue certificado por la Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA), de acuerdo con la regulación EU 139/2014. (AENA, 2019)

3.2. Historia

El punto 3.2 está recogido en el libro citado a continuación. (Díaz & Utrilla, 2006)

Ante el anuncio de la compañía Lufthansa, en el verano de 1929, de volar desde Berlín a Tenerife, el Cabildo Insular opta por habilitar un aeródromo provisional para atender ese vuelo. La premura de tiempo aconseja utilizar el llano de Los Rodeos, donde el cabildo acondiciona una superficie de 17 hectáreas, que arrienda para la ocasión. Las obras se concluyen a finales del verano, pero la llegada del avión de Lufthansa deberá esperar: una avería obliga al aparato a regresar desde Sevilla a Berlín cuando se proponía seguir su vuelo hasta Tenerife. Un segundo intento de la compañía alemana se realiza en el mes de diciembre. El día 5 el avión Arado VI despegó de Sevilla, procedente de Berlín, rumbo a Tenerife.

Durante algunos años el Cabildo Insular mantendrá la incertidumbre acerca de la ubicación del aeropuerto. En 1930 solicita al Gobierno la declaración de aeropuerto nacional para el campo de Los Rodeos, así como para los terrenos inmediatos a la bahía de Los Cristianos, ofreciendo el puerto de Santa Cruz de Tenerife como aeropuerto provisional en tanto se realizan las obras necesarias. La Real Orden de 14 de mayo de

1930 aprueba la designación de aeropuertos nacionales del campo de Los Rodeos y de la bahía de Los Cristianos, pero se deniega la declaración de aeropuerto nacional del puerto marítimo de Santa Cruz.

En 1936 el cabildo comienza las obras de mejora del campo de Los Rodeos, que cuenta por entonces con una superficie de 43 hectáreas. Tras el paréntesis que supuso la guerra civil, el aeropuerto se reabre al tráfico el 23 de enero de 1941, con la llegada de un avión Dragon Rapide de la compañía Iberia procedente de Gando. En verano se inicia la construcción del edificio terminal de pasajeros y de un hangar para aeronaves, obras que concluyen en 1943.

A lo largo de 1945 se construye la pista de vuelo pavimentada. El 3 de mayo de 1946 una orden ministerial abre oficialmente al tráfico el aeropuerto y un decreto del 12 de julio lo califica como aeropuerto aduanero abierto a todo tipo de tráfico nacional e internacional.

En el año 1949, el aeropuerto comienza a disponer de un gonio y una manga de viento como ayudas a la navegación, a los que se añade en ese año la iluminación de borde pista y un servicio de radio tierra-aire. El aeropuerto se encuentra preparado desde entonces para las operaciones nocturnas.

La declaración de urgencia de las obras de construcción del acceso, en todos sus tramos, que va del aeropuerto a Santa Cruz de Tenerife, da solución a las dificultades que hasta esa fecha suponía acceder al aeropuerto.

A pesar de las obras realizadas en Los Rodeos, el cabildo es consciente de los inconvenientes de su ubicación y de la frecuente presencia de brumas y niebla. Además, la puesta en servicio de los reactores DC-8 en 1962 obliga a las autoridades locales a adoptar una decisión definitiva sobre el futuro de Los Rodeos. La solución más inmediata y económica sigue siendo Los Rodeos, por lo que se aprueba la ampliación de la pista y

la instalación de las ayudas a la navegación necesarias. Las obras del campo de vuelos se inician en otoño de 1964; un año después, se acomete la construcción de una nueva torre de control y la ampliación del estacionamiento de aeronaves.

La construcción de la pista 12-30 obliga a canalizar el Barranco del Rodeo, de manera que se soluciona el problema de las inundaciones que periódicamente sufría el aeropuerto. En 1971 se refuerza la pista para poder atender las necesidades de los nuevos Boeing 747 y se instala un sistema de aterrizaje por instrumentos ILS.

En la tarde del domingo 27 de marzo de 1977 ocurrió la tragedia del aeropuerto de Los Rodeos, resultado del choque de dos aviones Boeing B-74, en el que perdieron la vida 583 personas. Aquel día explotó una bomba en el aeropuerto de Gran Canaria, y una segunda amenaza obligó al cierre del aeropuerto, por lo que varios aviones fueron desviados a Tenerife Norte, entre ellos los aviones de KLM (PH-BUF) y Pan Am (N736PA). La estancia se prolongó hasta las 17 h, rodando por la pista principal primero el avión holandés, seguido del avión norteamericano. Había aparecido en la escena un factor determinante: una densa niebla, tan frecuente en el aeropuerto de Los Rodeos, que impidió la visibilidad desde la torre de control y la zona en la que se encontraban maniobrando las aeronaves, De la investigación realizada, se sabe que el avión de KLM emprendió la carrera de despegue sin el permiso de la torre de control y cuando el avión de Pan Am aún no había concluido el desvío por una calle lateral en la pista por la que ambos circulaban en sentido contrario, de modo que los pilotos del primero de ellos no pudieron ver al segundo y se estima que advirtieron su presencia ocho segundos y medio antes del impacto, cuando ya era inevitable, ocurrido a las 17:06:50 UTC. Todos los ocupantes del avión de KLM fallecieron (234 pasajeros y 14 tripulantes), mientras que en el avión de Pan Am hubo 61 supervivientes, entre los 378 pasajeros y 16 tripulantes. (Díaz Lorenzo, 2019)



imagen 3. Accidente de Los Rodeos. Fuente: puentedemando

En 1978 las autoridades aeroportuarias deciden cerrar al tráfico internacional el aeropuerto de Los Rodeos que pasa a utilizarse sólo para vuelos nacionales e interinsulares y construir un nuevo aeropuerto en el sur de la isla.

En 2002 entra en funcionamiento un nuevo terminal de pasajeros que responde a las crecientes demandas del tráfico aéreo. Actualmente el aeropuerto tiene conexiones con numerosos destinos nacionales e internacionales y se ha consolidado como puerta de entrada a la isla.



Imagen 4. Aeropuerto de Tenerife Norte. Fuente: webtenerife

3.3. Tráfico de pasajeros

El tráfico es fundamentalmente de tipo regular nacional y, dentro de éste, alrededor del 48 por ciento de los vuelos son conexiones con el resto de las islas del archipiélago: Gran Canaria, La Palma, Lanzarote, Fuerteventura, El Hierro y La Gomera. También enlaza mediante tráfico regular doméstico con otros aeropuertos del resto de España. El destino más importante es Madrid con más de un millón de pasajeros, seguido de Barcelona, Sevilla y Bilbao. En el año 2019, el aeropuerto registró un tráfico de 5.840.483 pasajeros, 75.385 operaciones y 12.596 toneladas de mercancías. (AENA, 2019)

Annual traffic evolution

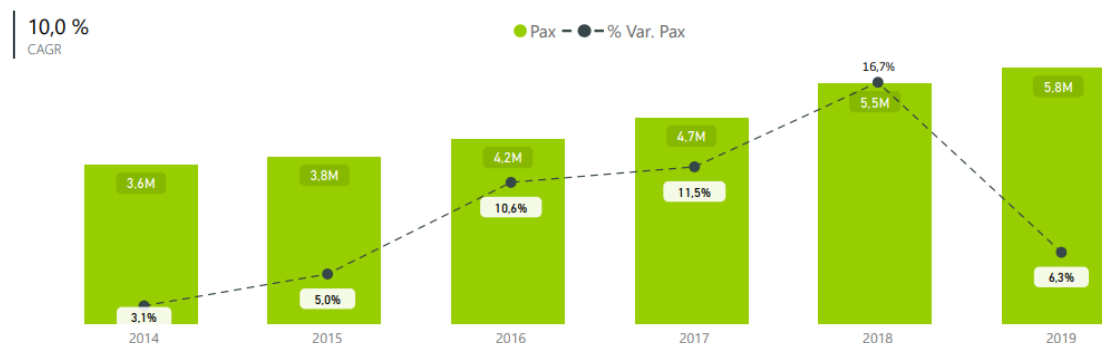


Imagen 5. Evolución del tráfico aéreo en los últimos 6 años. Fuente: AENA

3.4. Rutas y aerolíneas

Los principales destinos son Madrid-Barajas con casi 1.500.000 de pasajeros transportados, le sigue Gran Canaria con aproximadamente 1.000.000 de pasajeros que han pasado por el aeropuerto de Tenerife Norte para dirigirse a Gran Canaria, y después encontramos otros destinos como La Palma, Barcelona -El Prat, Lanzarote y Fuerteventura. (AENA, 2019)

La aerolínea predominante en el aeropuerto de Tenerife Norte es Binter Canarias transportando el último año más de 2.000.000 de personas. Le siguen Vueling y Air Europa con unos números aproximados de 1.000.000 de personas transportadas, y

después encontramos otras aerolíneas como Canaryfly, Ryanair o Norwegian. (AENA, 2019)

En el año 2019 se inauguraron 8 nuevas rutas: A Coruña, Alicante, Asturias, Granada-Jaén, Lisboa, Valencia y Zaragoza por parte de Vueling, y por parte de Norwegian Bilbao.

PARTE II – PBN

4. Descripción del espacio aéreo

El espacio aéreo está dividido en 7 clases, las cuales van desde la A hasta la G. Son espacios aéreos controlados de la clase A hasta la E, las clases F y G son espacios aéreos no controlados. Las siguientes clases, están recogidas en el siguiente en el documento citado a continuación. (Enaire, 2019)

- En la clase A solo se permiten vuelos IFR, todos los vuelos requieren de servicio de tránsito aéreo y están separados unos por otros, y también se requiere de comunicación tierra-aire por voz para todos los vuelos.

- Con diferencia de la anterior, en la clase B se permiten vuelos IFR y VFR, pero igualmente todos los vuelos requieren de servicio de tránsito aéreo, y de comunicación aeroterrestre por voz para todos los vuelos.

- En la clase C se permiten tanto los vuelos IFR como los vuelos VFR, pero en esta clase se aplican reglas distintas para los dos tipos de vuelo. Los vuelos IFR están separados de otros vuelos IFR y de los VFR, en cambio los VFR están separados de los vuelos IFR, y reciben información de tránsito respecto de otros vuelos VFR, y asesoramiento anticolidión si lo desean. Los dos tipos de vuelo requieren comunicación aeroterrestre continua.

- En la clase D, igual que la anterior, se permiten los vuelos IFR y VFR, en cambio los vuelos IFR están separados de los vuelos IFR, y reciben información de tránsito respecto de los vuelos VFR y asesoramiento anticolidión si lo requieren. Los vuelos VFR reciben información de tránsito respecto de todos los demás vuelos y asesoramiento anticolidión si lo solicitan.

- En la clase E se permiten los vuelos VFR y IFR, los vuelos IFR están sujetos al servicio de control de tránsito aéreo y están separados de otros vuelos IFR. Todos los vuelos

reciben información de tránsito, siempre que sea posible. Se requiere comunicación tierra aire continua por voz para los vuelos IFR.

- En la clase F se permiten tanto los vuelos IFR como los VFR. Todos los vuelos IFR reciben servicio de asesoramiento de tránsito aéreo y todos los vuelos reciben servicio de información de vuelo si lo solicitan, y se requiere de comunicación aeroterrestre continua por voz para los vuelos IFR.

- Y por último, la clase G permite vuelos IFR y VFR, ambos reciben servicio de información de vuelo si lo solicitan.

A continuación, se mostrará una tabla, para especificar más algunas clases, y mostrar más claramente las diferencias entre unas clases y otras.

Clase	Tipo de vuelo	Separación proporcionada	Servicios suministrados	Limitación de velocidad	Requisito de radiocomunicación	Sujeto a autorización ATC
A	Sólo IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
B	IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
C	IFR	IFR de IFR IFR de VFR	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	VFR de IFR	1) Servicio de control de tránsito aéreo para la separación de IFR; 2) Información de tránsito VFR / VFR (y asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
D	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito, información de tránsito sobre vuelos VFR (y asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Ninguna	Información de tránsito IFR/VFR Y VFR/IFR (y asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si

E	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito y, en la medida de lo posible información de tránsito sobrevuelos VFR.	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Ninguna	Información de tránsito en la medida de lo posible	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	No	No
G	IFR	Ninguna	Servicio de información de vuelo	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	Continúa en ambos sentidos	No
	VFR	Ninguna	Servicio de información de vuelo	250 KT IAS por debajo de 3050 M (10000 FT) AMSL	No	No

Imagen 6. Clases del espacio aéreo. Fuente: AIP

Esta tabla se cumplirá siempre excepto en los vuelos militares en misiones operativas o de defensa aérea, o cuando sus características de actuación no lo permitan. (Enaire, 2019)

En la tabla anterior han aparecido las palabras IFR (Instrumental Flight Rules) y VFR (Visual Flight Rules).

Las reglas de vuelo visual son el conjunto de normas que establecen las condiciones para que el piloto pueda dirigir su aeronave, navegar, y mantener la separación de seguridad con cualquier obstáculo con la única ayuda de la observación visual. (Enaire, 2017)

Salvo vuelos VFR especiales, todos los vuelos se realizarán de forma que la aeronave vuele en las siguientes condiciones meteorológicas que aparecen en la siguiente tabla: (Enaire, 2017)

TABLA SERA S5-1 DE CONDICIONES DE VISIBILIDAD Y DISTANCIA DE NUBES DE VUELOS VFR				
ALTITUD	CLASES DE ESPACIO AÉREO	VISIBILIDAD DE VUELO	DISTANCIA DE NUBES	
			HORIZONTAL	VERTICAL
A 3050 m (10000 ft) AMSL o por encima (*)	A(**) B C D E F G	8 km	1500 m	300 m (1000 ft)
Por debajo de 3050 m (10000 ft) AMSL y por encima de 900 m (3000 ft) AMSL, o por encima de 300 m (1000 ft) sobre el terreno, de ambos valores el mayor		5 km		
A 900 m (3000 ft) AMSL o por debajo, o a 300 m (1000 ft) sobre el terreno, de ambos valores el mayor	A(**) B C D E	5 km (***)	Libre de nubes y con la superficie a la vista.	
	F G			

Imagen 7. Reglas de vuelo visual. Fuente: AIP

(*) Siempre que la altitud de transición sea inferior a 3050 metros, se utilizará el FL100 en vez de 1000 ft.

(**) Las mínimas condiciones meteorológicas visuales en el espacio aéreo de clase A se incluyen como orientación para los pilotos y no suponen la aceptación de vuelos VFR en el espacio aéreo de clase A.

(***) Cuando lo prescriba la autoridad competente.

Las reglas de vuelos por instrumentos (IFR) son el conjunto de normas y procedimientos que regulan que el vuelo de aeronaves con base en el uso de instrumentos para la navegación, lo cual implica que no es necesario tener contacto visual con el terreno, a diferencia de como ocurre con el método explicado anteriormente. Estos vuelos podrán operar tanto en espacios aéreos controlados como no controlados. (ENAI, 2018)

Para poder realizar este tipo de vuelos las aeronaves están dotadas de los instrumentos adecuados y de equipo de navegación apropiados para la aerovía por la que vayan a volar. (ENAI, 2018)

La PBN es sólo uno de los elementos habilitantes de cualquier nuevo espacio aéreo que se conciba. Por descontado, las comunicaciones, la vigilancia ATS y los servicios ATM son los otros elementos esenciales de un concepto de espacio aéreo. (OACI, 2008)

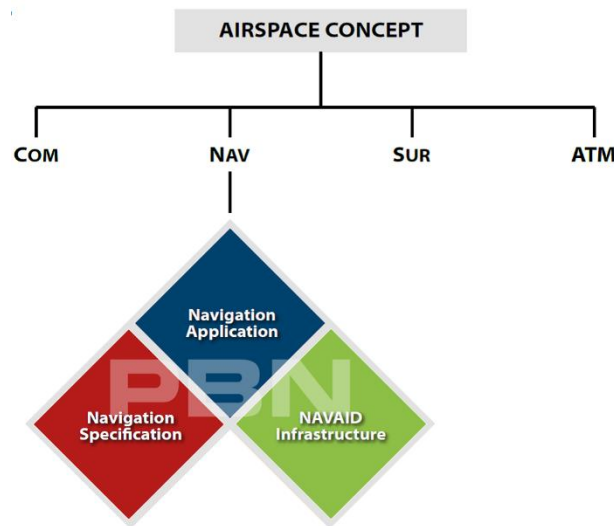


Imagen 8. Componentes del espacio aéreo según la PBN. Fuente: Eurocontrol

En los siguientes apartados de este trabajo, procederé a exponer el concepto del espacio aéreo, como paso previo para adentrarnos en la PBN.

4.1. Comunicaciones

El apartado 4.1 de este trabajado está recogido en el documento citado a continuación.(Huidobro, 2013)

Se entiende por comunicación cualquier transmisión, emisión y recepción de signos, señales o sonidos de cualquier naturaleza. Los sistemas de comunicaciones aeronáuticas proporcionan soporte a toda la infraestructura CNS (comunicaciones, navegación y vigilancia), las estaciones de radar utilizan las redes de datos para enviar información de vigilancia radar a los centros a ATC, las radio ayudas se utilizan para las redes de datos como parte de su estructura de control y de mantenimiento remoto, y por otro lado la gestión del tráfico aéreo también utiliza comunicaciones ya que los controladores aéreos utilizan comunicaciones de voz para dialogar con los pilotos y con otros controladores.

Las comunicaciones aeronáuticas se pueden dividir en distintos tipos, según la ubicación de las estaciones de comunicaciones, según el tipo de información transmitida, según el modo de transmisión y según la criticidad de las comunicaciones.

•**Según la ubicación de las estaciones de comunicaciones:**

•**Comunicaciones T/A.** Por comunicaciones Tierra/Aire se entienden aquellas que se establecen entre las aeronaves y las estaciones o posiciones ubicadas en tierra, es decir, entre los controladores de tráfico aéreo y los pilotos de las aeronaves.

•**Comunicaciones T/T.** Por comunicaciones Tierra/Tierra se entienden aquellas que se establecen entre los controladores de tráfico aéreo para coordinación, y entre éstos y el personal de apoyo, gestión y administración.

•**Según el tipo de información transmitida:**

•**Comunicaciones de voz.** Aquellas que permiten la transmisión de voz entre controladores y pilotos, o entre los propios controladores.

•**Comunicaciones de datos.** Aquellas que permiten el intercambio de datos digitales entre las aeronaves y las estaciones en tierra, o entre sistemas ubicados en tierra.

Según el modo de transmisión:

•**Simplex.** Sólo permiten la transmisión en un único sentido

•**Half-Duplex.** Una comunicación half-duplex permite la transmisión y la recepción de forma bidireccional pero no simultáneamente.

•**Duplex.** Permiten la transmisión y la recepción en ambos sentidos de forma simultáneas, por ejemplo, mediante el empleo de frecuencias separadas.

•**Según la criticidad de las comunicaciones:**

•**Críticas para la seguridad aérea.** Las comunicaciones aeronáuticas críticas son aquellas que permiten llevar a cabo la actividad aeronáutica de una manera segura y eficaz.

•**No críticas para la seguridad para la seguridad aérea.** Son aquellas que no tienen ninguna influencia en la seguridad de vuelo.

4.1.1. Servicios de comunicaciones aeronáuticas

•Servicio Fijo Aeronáutico

Es el servicio de telecomunicaciones entre puntos fijos determinados, que se suministra primordialmente para la seguridad la navegación aérea y para que la operación de los servicios aéreos sea regular eficiente y económica.

•Servicio móvil Aeronáutico

Tiene como objetivo uniformar los servicios de comunicación destinados a una aeronave en vuelo para garantizar la seguridad, eficiencia y regularidad de las operaciones. Este servicio comprende las comunicaciones entre las estaciones terrestres y las estaciones de aeronave. Por lo tanto, esta comunicación puede ser entre aeronave y torre de control, y entre aeronave y control de aproximación, de área, de radar, etc.

•Servicio móvil aeronáutico por satélite

Está basado en una red de satélites geoestacionarios de tipo digital. Permite superar las limitaciones de los sistemas de comunicaciones clásicos proporcionando cobertura mundial de comunicaciones desde altitudes muy bajas hasta altitudes muy altas. También permite el intercambio de datos digitales entre los sistemas del avión y terrestres, lo que permite explotar plenamente las capacidades de automatización de ambos sistemas.

•Servicio de radionavegación aeronáutica

Se basa en la emisión de señales radioeléctricas generadas en instalaciones terrestres, llamadas radio ayudas, y recibidas en las aeronaves. Este servicio permite determinar la posición, velocidad, orientación y mantenimiento en ruta u otras características de una aeronave. Por ejemplo, utiliza radio ayudas como el VOR o el ILS, e incluye los sistemas de navegación basados en satélites.

•Servicio de radiodifusión aeronáutica

Este servicio ocupa todas las radios difusiones de información aeronáutica normalizadas por la OACI. Se aplica principalmente al servicio VOLMET y al servicio ATIS, que en el siguiente punto veremos.

4.1.2. Aplicaciones de las comunicaciones

4.1.2.1. Sistemas de enlace de datos controlador – piloto

El **CPDLC** es un sistema de comunicación automática de datos sin voz entre el piloto y el controlador. Este sistema complementa la comunicación por voz entre los pilotos y los controladores del tráfico aéreo, aumenta la capacidad de gestión del tráfico aéreo automatizando las tareas rutinarias mejorando al mismo tiempo la seguridad. También reduce la carga de trabajo del piloto mediante la disminución de la radiotelefonía. La disponibilidad de un 2º canal de comunicaciones reduce los errores de comunicación y la fatiga de la tripulación, contribuyendo así a mayores niveles de seguridad. (AVIACIÓN DIGITAL, 2018)

4.1.2.2. Radiodifusiones de aspectos operativos y meteorológicos

El **ATIS** es una emisión continua que se genera normalmente mediante un programa de síntesis de voz desde texto en los aeropuertos con un cierto volumen de tráfico, en una

frecuencia conocida y publicada en las cartas de navegación del propio aeropuerto y que tiene la finalidad de informar a los pilotos que lo usan de las condiciones generales del aeropuerto en el momento actual. Contiene información esencial como información meteorológica cómo qué pistas están operativas, aproximaciones disponibles y cualquier otra información que los pilotos puedan necesitar, como NOTAMs. La principal misión del **ATIS** es quitar carga de trabajo a los controladores.(MORORCOM, 2020)

El **D-ATIS** la versión digital del **ATIS**, Es una versión de texto de transmisión de audio transmitir digitalmente. Ese mensaje es accedido a través de un servicio de enlace de datos y es mostrado en una pantalla en el panel de la aeronave. (MORORCOM, 2020)

El **VOLMET** es una red global de estaciones de radio que transmiten reportes meteorológicos a través de frecuencias de onda cortas. Pilotos en rutas internacionales, usan estas transmisiones para evadir tormentas y turbulencias durante el vuelo, también para determinar qué procedimientos utilizar para el descenso, aproximación y aterrizaje. (ICAO, 2013)

4.1.2.3. FANS

La OACI formó, en 1983, un comité al que encargó que ideara el sistema de navegación aérea del futuro, así como el desarrollo de conceptos operativos para la gestión del tráfico aéreo. Ese sistema debía basarse en el trabajo previo de la OACI en relación con la vigilancia dependiente automática (ADS, Automatic Dependent Surveillance) y con las comunicaciones piloto-controlador por enlace de datos (CPDLC, Controller Pilot Data Link Communications). Cinco años después, en 1988, fue publicado el informe del que a partir de entonces se conocería como “Comité FANS” (Future Air Navigation System). En él se establecían, por un lado, los principios para desarrollar una estrategia futura de gestión del tráfico aéreo por medio de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS,

Communications, Navigation, Surveillance) utilizando las redes de satélites, la radio convencional y el enlace de datos y, por otro, los estándares necesarios para llevarlo a cabo. Desde entonces, se conoce como “FANS” al sistema de aviónica que proporciona comunicación directa por enlace de datos entre el piloto y el control del tráfico aéreo, y permite llevar la navegación aérea y la vigilancia a un nivel sin precedentes. Y “entorno CNS/ATM FANS”, a aquél que incluye los sistemas (equipos, software y redes de comunicaciones), el elemento humano (pilotos y controladores aéreos) y los procedimientos operativos que deben ser aplicados. (Hispanaviación, 2019)

4.1.2.4. El programa LINK 2000+

Se trata de un programa pan-europeo cuyo objetivo es coordinar la implantación del enlace de datos piloto-controlador utilizando lo que se conoce como VHF digital link Modo 2 , que apoyándose en la red de telecomunicaciones aeronáuticas de acuerdo con los requisitos establecidos por la OACI, pretende jugar un papel principal en el desarrollo, estandarización, planificación e implantación de un enlace de datos de alta fiabilidad que facilite las comunicaciones entre pilotos y controladores aéreos, colectivos ambos que han recibido de forma muy positiva el programa. La intención inicial de Eurocontrol, era implantarlo en el espacio aéreo superior de Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Alemania, Austria, Francia, Italia, España y Portugal antes de que finalizara 2007, pero al final solo se implantó en el core area europeo; la zona geográfica del viejo continente donde se cruzan las principales rutas aéreas. Lo que significa, que España, Italia y Portugal deberán esperar. Con la implantación de programas previos, Eurocontrol ha aprendido algunas lecciones y ha adoptado una estrategia diferente con este. En vez de hacer obligatoria la instalación, esperar a ver cómo van evolucionando los pedidos de las compañías aéreas a la industria electrónica y se instala el equipamiento necesario en el último minuto, la agencia ha introducido como incentivo una rebaja de las tasas de ruta para aquellos vuelos

ya equipados que se realicen dentro del “Área Link 2000+”, animando así a los operadores a equipar sus aviones cuanto antes. El objetivo, es que para el final de esta década el 75% de todos los vuelos se hagan utilizando aviones convenientemente equipados. La razón parece sencilla; allí donde está en operación ha incrementado la capacidad de procesamiento de información del sistema por un factor de 10, aseguran. (Hispanaviación, 2019)

4.1.2.5. El programa CASCADE

En el año 2004, Eurocontrol lanzó el programa CASCADE (Cooperative Air traffic Services through surveillance and Communications Applications Deployed in ECAC), con el objetivo de mejorar la información y el reparto de tareas entre el segmento tierra y el segmento aire. Así, mediante la fusión de los mundos de las comunicaciones y la vigilancia, se busca aumentar la seguridad y reducir las demoras. La ventaja que tiene, es que la aviónica de a bordo ya existente es utilizable, los costes de infraestructuras se ven reducidos y los datos de vigilancia verán mejorar su calidad y disponibilidad, lo que permitirá proporcionar a los pilotos un display de la situación de otros aviones en vuelo en su proximidad mediante lo que se conoce como Monitor de cabina para Información de tráfico (CDTI, Cockpit Display of Traffic Information), así como el Graphical Trajectory Coordination, un dispositivo que permitirá a pilotos y controladores negociar la ruta de un vuelo dentro de un área especificada. Asimismo, el programa CASCADE coordina la implantación en Europa de la ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), una técnica de vigilancia basada en la difusión por parte de las aeronaves de su identidad, posición y datos de vuelo (velocidad, rumbo, altitud, estimadas, etc) sin necesidad de interrogación desde tierra, una información que puede utilizarse para propósitos de vigilancia (ADS-B-out), o a bordo de otros aviones con la intención de mejorar la conciencia de la situación (ADS-B-in), así como para asistencia a la separación

en vuelo (ASAS, Airborne Separation Assistance) por la que los aviones podrán, previa autorización ATC, ajustar entre sí algunas maniobras en vuelo. En cuanto a la ADS-B-out, esta puede utilizarse como un medio único de vigilancia o en combinación con el radar o la multilateración, una técnica de posicionamiento que, basándose en el principio de la triangulación y sirviéndose de varios sensores situados en lugares estratégicos de un aeropuerto y sus cercanías, puede situar en dos o en tres dimensiones la posición de un objeto estático o móvil que esté debidamente equipado con un transpondedor Modo S (Selectivo). (Hispanaviación, 2019)

4.1.2.6. Red PENS

Por lo que se refiere a las comunicaciones tierra-tierra también habría mucho que contar, aunque nos vamos a quedar con que en 2007 Eurocontrol creó la red PENS de servicio pan-europeo (Pan European Network Service) para que sirva de apoyo a la integración de la infraestructura europea de comunicaciones, que busca proporcionar mejor flexibilidad y economías de escala. PENS pretende crear una red IP (Internet Protocol) para que los actuales servicios pan-europeos como EAD (European Aeronautical information Database), CFMU (Central Flow Management Unit) y AMHS (ATS Message Handling System), sustituto de la red AFTN, puedan enlazar e interoperar mejorando así el acceso y gestión de información en beneficio de la comunidad aeronáutica. (Hispanaviación, 2019)

4.1.2.7. Cooperación USA / EUROPA

Como resultado de la 11ª reunión celebrada en 2003 por la Comisión de Navegación Aérea de la OACI, surgió la necesidad de identificar un sistema futuro de comunicaciones tierra-aire para las comunicaciones ATM al que diferentes regiones del globo pudieran eventualmente converger. Así surgió una actividad conjunta entre FAA/NASA y Eurocontrol denominada Estudio para las comunicaciones del futuro (FCS, Future Communications Study), cuyo objetivo es investigar, definir y desarrollar soluciones para las necesidades de comunicaciones que puedan surgir en el futuro, identificando un sistema que sea interoperable a nivel global y que permita la implantación de aplicaciones ATM mejoradas entre 2020 y 2030. Así mismo, el estudio aborda los conceptos operacionales, el desarrollo de requisitos de comunicaciones, el análisis de cuestiones institucionales y la identificación de tecnología alternativa.(Hispanaviación, 2019)

4.2. Navegación

Una actividad fundamental en la navegación aérea es la determinación de la posición de la aeronave. Cuando la meteorología, la altura o la velocidad de vuelo no permiten identificar visualmente accidentes geográficos o tramos singulares del terreno, es necesario disponer a bordo de sistemas que permitan determinar la posición, y a los que denominamos sistemas de ayuda a la navegación. La OACI puso en marcha varios grupos de trabajo para la normalización del uso de los sistemas de posicionamiento por satélite, definiendo un nuevo término: GNSS. Estas siglas corresponden a las palabras “Global Navigation Satellite System”, término que se usa para denominar a cualquier sistema de navegación por satélite. Aunque es cierto que existen más sistemas de posicionamiento, los que nos interesan para este estudio, y en los que centraremos serán los sistemas de posicionamiento por satélite. Los GNSS están formados fundamentalmente por constelaciones de satélites que transmiten señales a partir de las cuales es posible

determinar la posición de un receptor ubicado en cualquier parte del mundo. A pesar de que la PBN no se basa en sensores, por el momento es evidente que el facilitador común a todos esos desarrollos, actuales y futuros, es únicamente el basado en el sistema global de navegación por satélite, el GNSS. Básicamente por su amplia cobertura y disponibilidad. En cada especificación de navegación particular aparece como sensor válido siempre algún sistema GNSS y, sólo para algunas de esas especificaciones, otros sistemas convencionales como el inercial, el DME y/o el VOR. Por otra parte, es bien cierto que existen diferentes desarrollos técnicos bajo el paraguas GNSS, o una combinación de ellos, que pueden ser válidos para cumplir con los requisitos que se puedan exigir para un espacio aéreo determinado, lo que sigue esta filosofía PBN. (OACI, 2008)

Expondremos brevemente los principales sistemas actuales que son el GPS, el GLONASS y GALILEO. Aunque cabe destacar que existen otros sistemas como el BEIDU chino, el QZSS japonés y el IRNSS indio.

Pero a parte de la navegación satelital, que es la principal tendencia actualmente, y la que nos interesa para este estudio, también existen otro tipo de ayudas que permiten a un avión seguir su ruta, normalmente son conocidas como radio ayudas, la tendencia es que poco a poco todo vaya evolucionando hacia GNSS, pero comentaré brevemente las radio ayudas más usadas.

4.2.1. Radio ayudas para la navegación

Para que las aeronaves puedan llevar a cabo la ruta programada sin desviaciones y sin que se produzcan incidentes entre ellas, como pérdidas de separación, o, en el peor de los casos, colisiones, existen numerosos sistemas que permiten el posicionamiento de una aeronave. Las principales son el VOR, el DME, el GNSS, el TACAN, y el ILS entre otros.

La siguiente lista de radioayudas está recogida en el siguiente documento (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2012)

4.2.1.1. VOR

El VOR es un radiofaro omnidireccional que ayuda a la navegación que utilizan las aeronaves para seguir una ruta preestablecida. El transmisor terrestre emite una señal de radiofrecuencia en todas direcciones, que es recibida por el equipo VOR, de cualquier aeronave que se encuentre dentro del rango de alcance, y tenga sintonizada la frecuencia de la estación. La información es recibida e interpretada, y el resultado es utilizado para posicionarse en el espacio, o guiar a la aeronave para que siga la ruta preseleccionada. Los equipos VOR, se clasifican según su alcance, VOR Terminal (T), con una cobertura de 25 millas náuticas, el VOR de Baja Altitud (L), con 40 millas náuticas, y el VOR de Alta Altitud (H), con 100 millas náuticas de cobertura.

4.2.1.2. DME

El equipo medidor de distancias DME, normalmente este equipo está colocado junto al VOR, utiliza la radio telemetría para proporcionar información de la distancia existente entre la aeronave y la estación terrestre que recibe los impulsos enviados por el equipo interrogador de la aeronave. El equipo del avión calcula el tiempo transcurrido desde que emitió la señal, hasta que recibió la respuesta, le descuenta 50 microsegundos, y divide el resultado entre dos, el tiempo resultante lo multiplica por la velocidad de la luz, y una vez realizado este proceso se obtiene la distancia oblicua entre la aeronave y el equipo terrestre. Hay que recalcar que la distancia medida por el DME, es la real en línea recta entre el avión y la estación de tierra, variando la distancia sobre la superficie terrestre en función de la altitud a la que se encuentre la aeronave, por ejemplo, si un avión está

volando por encima del DME, la distancia indicada no será 0, sino que nos ofrecerá una lectura en millas náuticas de la altitud a la que se encuentra el avión.

4.2.1.3. TACAN

El sistema de navegación aérea táctica, TACAN, es usado principalmente por las aeronaves militares, desde el punto de vista operativo, es la combinación de un VOR y un DME, proporcionando al usuario información de rumbo y distancia a una estación situada en tierra o a bordo de un barco. Es más preciso que el VOR y el DME.

4.2.1.4. NDB

El transmisor de radiodifusión no direccional NDB, consiste en una emisora que transmite una señal de radio frecuencia fija, que puede captarse desde todas las direcciones. Mediante un instrumento a bordo del avión, llamado ADF, el piloto selecciona la frecuencia de esa emisora, previamente conocida por las cartas de navegación, y observa la aguja del instrumento, la cual indica en qué dirección está ubicado el radiofaro. Los NDB se sitúan a lo largo de las principales rutas de navegación aéreas, y también en las inmediaciones de los aeropuertos, sirven de gran ayuda cuando los pilotos realizan maniobras de aproximación con poca visibilidad.

4.2.1.5. ILS

El sistema de aterrizaje por instrumentos ILS, sirve de ayuda a la aproximación y el aterrizaje, figurando en la OACI, como normalizado en todo el mundo. Permite que un avión sea guiado con precisión durante la aproximación a la pista de aterrizaje, y en algunos casos, a lo largo de la pista. Consiste en dos sistemas independientes, uno proporciona guía lateral, y el otro, guía vertical. El equipo de tierra lo forman un grupo de antenas direccionales para la señal de la guía lateral, y otro grupo de antenas transmisoras para la guía vertical. Existen varios tipos de categoría para operar con ILS,

CAT I, que es aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos con una altura de decisión entre 30 y 60 metros, y un alcance visual en la pista no inferior a 350 metros. CAT II, que consiste en una aproximación y aterrizaje de precisión con una altura de decisión entre 30 y 60 metros, y un alcance visual en la pista no inferior a 350 metros. CATIIIA, que es una aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión inferior a 30 metros o sin limitación y con un alcance visual en la pista no inferior a 200 metros. Y por último CATIIIB, utilizable para aproximaciones y aterrizajes de precisión por instrumentos con una altura de decisión inferior a 15 metros, o sin limitación, y con un alcance visual en la pista entre 50 y 200 metros.

4.2.2. Sistemas satelitales

Se denomina Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS, por sus siglas en inglés) a una red de satélites artificiales que transmiten señales para el posicionamiento y localización de cualquier objeto, en cualquier parte del planeta, ya sea en tierra, mar o aire. El objetivo principal de obtener datos de ubicación; no obstante, se presentan diversos fines y usos del sistema, como navegación, transporte, geodésica, hidrográfica, agrícola, investigación y educacional, entre otros. La red GNSS se compone de tres segmentos: el espacial, el control y los usuarios. El segmento espacial lo constituyen los satélites artificiales (de navegación como de comunicación) que forman el sistema. El de control corresponde al conjunto de estaciones presentes en la superficie (en tierra), las cuales se ocupan de recolectar los datos obtenidos para ponerlos a disposición de los usuarios (tercer segmento). Por su parte el segmento usuario debe entenderse como equipos, terminales, receptores y dispositivos que reciben las señales procedentes del segmento espacial. Como se trata de una red de satélites artificiales en órbita, dentro de la GNSS se presentan diversos sistemas de localización (UNED, 2018)

4.2.2.1. GALILEO

Es el sistema global de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea, proporcionando un servicio de posicionamiento global de alta precisión bajo control civil. Es interoperable con GPS y GLONASS. Los receptores Galileo calculan su posición en el sistema de referencia Galileo utilizando la tecnología de satélites y basado en los principios de triangulación. Galileo se ha planteado como un sistema que le permita a Europa ser independiente de GPS y GLONASS, pero que sea complementario a ambos y que permita la interoperabilidad con estos. Cuando el proyecto esté totalmente completado estará compuesto por 30 satélites que junto con GPS y GLONASS permitirá obtener un posicionamiento muy preciso. Galileo cuenta con 10 satélites en cada uno de los 3 planos orbitales y Cada satélite transmite las señales de navegación en las mismas frecuencias portadoras, estas señales se modulan con una estructura de bits que contiene datos efemérides codificados y señales horarias con una anchura de banda suficiente para conseguir la precisión de navegación necesaria. (Armendariz, 2019)

4.2.2.2. GLONASS

Es el sistema de navegación global por satélite creado por Rusia para la localización geográfica sobre la superficie terrestre. El sistema emplea un conjunto de satélites que orbitan sobre la superficie terrestre, y que recibe el nombre de constelación de satélites, consta de 31 satélites a fecha de principios de 2019, 24 en activo, 3 de repuesto, 2 en mantenimiento, uno en servicio y otro en pruebas. Con un solo satélite no podremos conocer nuestra posición, necesitaremos al menos tres satélites, para poder realizar una triangulación de señales y conocer con mayor exactitud la posición. El funcionamiento es el siguiente, cada satélite indica que el receptor se encuentra en un tramo en la superficie del globo, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.

Obteniendo información de al menos dos satélites más, queda determinada una circunferencia que resulta cuando se intersecan las esferas en algún tramo de la cual se encuentra el receptor. (Valero et al., 2019)

Para poder conocer además la altitud del tramo se necesita un cuarto satélite, en conclusión, para la navegación tridimensional se requieren cuatro satélites, y para la bidimensional se requieren de tres satélites. El sistema GPS, es el más utilizado, pero en la actualidad muchos dispositivos cuentan con receptores que son capaces de conectarse a ambas redes al mismo tiempo, esto puede resultar interesante para zonas en las cuales la cobertura sea baja, ya que contando con ambos sistemas se puede intentar conseguir que al menos uno de los dos te devuelva tu posición geográfica. (Valero et al., 2019)

4.2.2.3. GPS

Es una constelación de satélites que transmite señales utilizadas para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre tanto ya sea tierra, mar o aire. Estos satélites permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un tramo dado como resultado la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la tierra. Los motivos para su construcción fueron las importantes limitaciones que tenía el sistema TRANSIT, por ejemplo, que no lo podían usar las aeronaves. El primer satélite se lanzó en 1978, pero el sistema no estuvo operativo hasta 1992. Es un sistema GNSS desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos que permite obtener la posición en cualquier tramo de la tierra mediante el uso de un aparato receptor que recoge la señal. (Blanco Hernández, 2018)

En la siguiente imagen podemos ver una comparativa de los 3 sistemas descritos anteriormente.

	GALILEO 	GPS 	GLONASS 
Orbital planes	3	6	3
Number of Satellites (nominal satellites)	30	24 (32)	24 (29)
Altitude	23222 Km	20160 Km	19100 Km
Orbit Inclination	56 degrees	55 degrees	65 degrees
Accuracy (95%)	< 4 metros	~ 5-10 metros	~10-15 metros

Imagen 9. Comparativa GNSS. Fuente: Neosentec

4.2.2.4. Sistemas de aumentación

Pero también existen otras constelaciones satelitales regionales, por lo general geoestacionarias, enfocadas principalmente a aumentar las prestaciones de las de ámbito global. La OACI las ha definido como aumentaciones del GNSS basadas en satélite o SBAS. Es decir, el avión recibe una señal de satélite, que cumple las prestaciones requeridas para esa fase de vuelo, aumentando la señal de GNSS que también está recibiendo y dándole la capacidad de una navegación muy precisa, robusta y de alta disponibilidad. (Perera Ibrahim, 2015)

Algunos ejemplos de SBAS son: EGNOS en Europa, WAAS en EE.UU. y México y MSAS en Japón y áreas circundantes; en desarrollo final el GAGAN en la India, SDCM en Rusia y SNAS en China; y en estudio se encuentra el SACCSA para Sudamérica y Caribe y otros desarrollos para África y Malasia. (Perera Ibrahim, 2015)

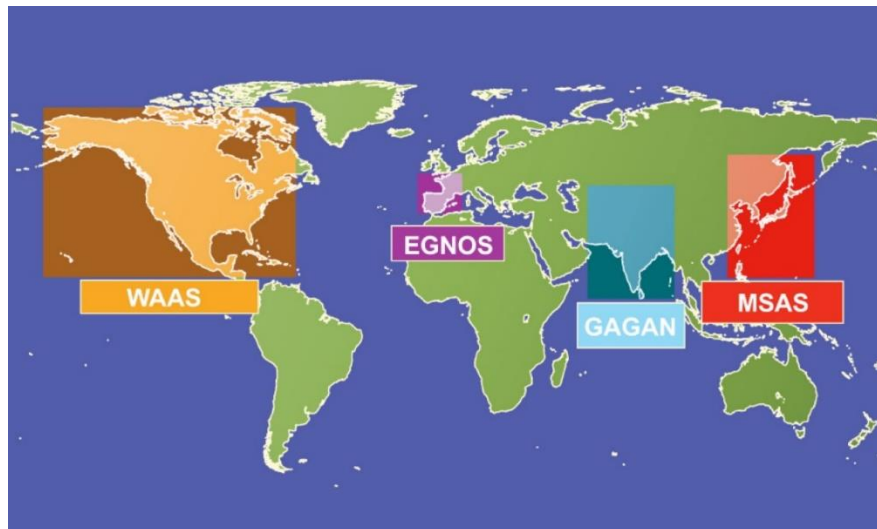


Imagen 10. Areas SBAS en servicio. Fuente: ESA

La OACI, además, define otros dos sistemas de aumentación del GNSS: los embarcados o ABAS y los basados en tierra o GBAS, los cuáles, por el momento, no está dentro del concepto PBN por ser considerado un sistema de guiado angular, no lineal, como lo son el ILS o el MLS. Como ejemplos de GBAS encontramos el australiano GRAS o el NDGPS norteamericano. (OACI, 2008)

4.2.2.4.1. SBAS

La aproximación que se quiere diseñar utiliza un sistema de aumentación SBAS, por lo que creo que resulta interesante dar una breve explicación de que es.

El sistema de aumentación basado en satélites SBAS es un sistema de aumento diferencial de área amplia. Consiste en una red de estaciones de referencia desplegadas sobre un área de servicio para monitorizar las señales de distancia de la constelación de satélites. Las estaciones de referencia se inspeccionan con precisión y son capaces de detectar cualquier error en las señales GNSS recibidas. Las estaciones de referencia recopilan y procesan todos los datos GNSS y los envían a una estación principal a través de una red de comunicación terrestre. En la estación maestra, se generan los mensajes de aumento. Estos mensajes contienen información que permite a los receptores GNSS eliminar

errores en la señal recibida. El SBAS posibilita la navegación RNP y las aproximaciones RNP con asistencia de localizador y con asistencia de localizar y guiado vertical. El objetivo de principal de SBAS es proporcionar garantía de integridad. Sin embargo, aumenta la precisión de posición horizontal y vertical. (EOS LATAM, 2018)

4.2.2.4.2. ABAS

Es un sistema de aumento basado en las aeronaves. Este aumenta la información GNSS o integra esta información GNSS según sea necesario para medio complementarios de navegación. El ABAS está enfocado únicamente para proporcionar integridad y no realiza correcciones para la precisión. La implementación actual del ABAS es posible a través de RAIM. La funcionalidad RAIM es una forma de monitorización de la integridad realizada dentro de la propia aviónica. Un receptor GNSS determina de forma autónoma la integridad de los datos recibidos de cada satélite y, en general, de la constelación de y, en general, de la constelación de satélites. Garantiza que las señales recibidas del satélite cumplan los requisitos de integridad para una fase de vuelo determinada. Esto es distinto a los enfoques SBAS. (Great bustard's flight, 2018)

4.2.2.4.3. GBAS

Es un sistema de aumento basado en tierra. Este sistema es considerado de aumento diferencia de área local. No obstante, difiere del SBAS ya que está diseñado para proporcionar un aumento en un área alrededor del aeropuerto en lugar de a nivel de un país o continental. Además, mientras que SBAS utiliza los satélites GEO para transmitir información de aumento a los receptores GNSS, el GBAS utiliza transmisión de datos de muy alta frecuencia. Por lo tanto, el GBAS tiene una cobertura aproximadamente de 30 km alrededor del aeropuerto. Consiste en un subsistema terrestre GBAS y un subsistema de avión GBAS. Proporciona niveles mejorados de servicio que soportan operaciones de

aproximación, aterrizaje, salida y superficie. El objetivo principal del GBAS es proporcionar garantía de la señal recibida o integridad, sin embargo, también aumenta la precisión de posición horizontal y vertical. Los errores horizontales y verticales con este sistema son menores de un metro. La tecnología GBAS actual solo admite aproximaciones con mínimos tan bajos como los mínimos que se requieren para un ILS de CAT I. (Great bustard's flight, 2018)

4.2.2.4.4. EGNOS

En Europa EGNOS es la plataforma operativa de SBAS, por lo tanto, también resulta interesante para el desarrollo de este trabajo comentar brevemente que es EGNOS.

Es el sistema europeo de aumentación regional basado en satélites (SBAS). Se utiliza para mejorar las prestaciones de las constelaciones como GPS y en el futuro, incluirá la de Galileo. EGNOS fue creado y desplegado para proporcionar servicios SOL - Safety-of-Life para aviación, el sector marítimo y el transporte terrestre. (Europea, 2012)

EGNOS utiliza las medidas GNSS tomadas por estaciones georreferenciadas con alta precisión, denominadas RIMS, están desplegadas por toda Europa y el Norte de África. Estas medidas se transmiten posteriormente a una central de cálculo donde se calculan las correcciones diferenciales y los mensajes de integridad. Después, estas correcciones e información de integridad se transmiten a toda el área de cobertura utilizando satélites geo-estacionarios, sirviendo como aumentación a los mensajes originales de GNSS. (Europea, 2012)

El Programa EGNOS se lanzó por la Comisión Europea en 1994 y comenzó a operar en el año 2001, con la versión 2.1 del sistema. En 2009 se declaró el primer servicio de EGNOS, el Servicio Abierto (Open Service OS) y momento en el que la operación se

pone en manos de la empresa ESSP, actual proveedor de servicios de EGNOS. (Europea, 2012)

En el año 2011 se produce la declaración del servicio EGNOS Safety of Life - (SoL) después de obtenida la certificación de la señal para su uso en aviación. En 2014 la Comisión Europa delega la explotación de EGNOS a la GSA. (Europea, 2012)

A partir de 2022 se espera que la nueva versión del sistema actualmente en desarrollo, conocida como EGNOS v3 aumente no sólo señales del sistema GPS sino también de Galileo. (Europea, 2012)

El programa EGNOS está gestionado por las siguientes entidades, y están recogidas en la siguiente publicación. (GSA, 2020)

- La Comisión Europea (EC): Es el administrador del sistema EGNOS, propiedad de la UE.

- La Agencia Espacial Europea (ESA): lideró el desarrollo del sistema EGNOS en el pasado y ahora es el ente designado por la EC para diseñar las evoluciones del sistema.

- La Agencia Europea de GNSS (GSA): encargada de la gestión del programa EGNOS, sus aspectos de operación y explotación, así como la evolución y promoción de sus servicios.

- European Satellite Services Provider (ESSP): Esta empresa es el actual proveedor de servicios de EGNOS, desde que la GSA le adjudicó contrato de provisión de servicio, con vigencia hasta final de 2021.

EGNOS aumenta la señal civil de GPS L1 (1575.42 MHz) (C/A) proporcionando correcciones sobre las siguientes fuentes de error que afectan a los pseudo-rangos de

GPS: errores en las posiciones de los satélites (efemérides), en los relojes de estos y los errores introducidos por la ionosfera. (GSA, 2020)

Los mensajes de EGNOS se retransmiten a los usuarios a través de dos satélites geostacionarios. La información suministrada por EGNOS mejora la precisión y la fiabilidad del posicionamiento GNSS a la vez que proporciona mensaje de integridad (información sobre los errores y la probabilidad de ocurrencia de estos). Además, EGNOS transmite una señal de tiempo precisa. (GSA, 2020)

EGNOS está diseñado para ser interoperable con otros Sistemas de Aumentación basados en satélites -SBAS-, como el WAAS de los EEUU y GAGAN de la India. El área de cobertura de EGNOS es toda Europa. Por el momento, EGNOS provee tres servicios, y están recogidos en la siguiente publicación (GSA, 2020)

1. Open Service (OS): Su principal objetivo es la mejora de la precisión de la señal GPS (precisión).
2. Safety of Life (SoL) Service: Este servicio proporciona los más altos estándares de prestaciones a las comunidades de usuarios de servicios de posicionamiento de seguridad y ha sido diseñado para dar soporte a las operaciones de guiado y aterrizaje de aviación civil hasta LPV [Localiser Performance with Vertical guidance].
3. EGNOS Data Access Service (EDAS): Este servicio proporciona los datos de GNSS y EGNOS a través de un servicio de comunicación por Internet en tiempo real, y también un histórico de datos FTP. Es un único punto de acceso a los datos de EGNOS generados por su infraestructura terrena. Este servicio está disponible desde el 26 de Julio de 2012.

4.3. Vigilancia

Los sistemas de vigilancia permiten el seguimiento e identificación de una aeronave a lo largo de toda su trayectoria para mantener la seguridad del tráfico aéreo. Actualmente, la vigilancia se realiza fundamentalmente a través de radares. El radar está considerado como un elemento esencial de los sistemas de control de tráfico aéreo. Su importancia radica en que sin el radar no se podría manejar la densidad de tráfico aéreo que actualmente hay. El principio de funcionamiento del radar consiste en un sistema electrónico que contiene una antena giratoria que emite un haz de ondas electromagnéticas de ultra alta frecuencia (UHF) y que cuando chocan con un objeto, estas son reflejadas y al captarlas la misma antena del sistema, son procesadas para aparecer en forma de impulsos luminosos en la pantalla del controlador de tránsito aéreo. (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2011)

4.3.1. El radar primario PSR

Es un radar destinado al reconocimiento de aeronaves volando en las proximidades de los aeropuertos y a lo largo de las rutas aéreas, únicamente proporciona información de dirección y distancia. Su área de búsqueda, también llamado barrido de la antena abarca los 360 grados de azimut y su antena, gira a una velocidad de entre 6 y 15 RPM. Para ello, el radar hace uso de una antena giratoria que transmite una señal de alta frecuencia normalmente pulsada o modulada. Este radar tiene ventajas como que su sistema no es cooperativo y por lo tanto no requiere de aviónica en la aeronave. Y también que puede proporcionar información meteorológica.

Pero también una larga lista de desventajas:

- No proporciona ni la identificación ni la altitud de la aeronave.
- Tiene una gran posibilidad de detectar blancos falsos.

- Su coste es mucho mayor que el del radar de vigilancia secundario.
- No puede resolver dos blancos próximos debido a su mala resolución acimutal.

Las prestaciones de carácter general del radar primario se evalúan en términos de detección, calidad, disponibilidad, combinación PSR/SSR y retardo. (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2011)

4.3.2. El radar secundario SSR

El radar secundario se deriva del IFF, que, básicamente se basa en que el sistema le pregunta a otra aeronave con la que se cruza si es amigo o enemigo mediante un código cifrado, y básicamente, si no recibe respuesta o si recibe una errónea, el sistema identifica a la otra aeronave como enemiga. Dicho dispositivo fue mejorado por Estados Unidos, y fue denominado radar secundario, que se caracteriza por que las respuestas a las interrogaciones son activas, esto es que al contrario que el primario que el avión únicamente refleja las ondas del radar, en el secundario es capaz de dar información al radar del controlador, en concreto puede dar la altitud, velocidad, ruta y un código, este código es único para cada avión y se los asigna el controlador en el momento en el que el piloto se pone en contacto con él en tierra. Este sistema permite complementar al radar primario, dando una identidad a cada punto en el radar y sus datos de vuelo.

A diferencia del radar primario, requiere además de una estación de tierra, la aeronave está equipada con un transpondedor a bordo, que es un equipo que combina un transmisor y un receptor. Con su antena en rotación continua, el SSR codifica mensajes y los envía en forma de impulsos modulado a 1030 MHz de frecuencia denominado interrogación. En el momento que la aeronave recibe esta interrogación y la decodifica. El avión deja de ser un blanco pasivo para convertirse en un blanco activo que codifica información en la respuesta, lo que facilita la labor del ATC. El SSR no se basa en el transpondedor para

determinar la posición de la aeronave, sino que la determina por sí mismo midiendo el tiempo que toma el haz en ser reflejo al radar. Las interrogaciones del sistema SSR se lanzan anónimamente para que respondan todos los transpondedores que estén dentro de su alcance. El contenido de esta respuesta a la señal proveniente del SSR dependerá del modo de interrogación. (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2011)

Este radar tiene sus ventajas y sus desventajas que ahora veremos.

Ventajas:

- Se detecta la identidad y altitud de la aeronave.
- Menos sensible a las interferencias que el radar primario.
- Mayor alcance que el radar primario.
- El modo S introduce el enlace de datos aire-tierra.

Puntos en contra de este radar:

- No funciona para la vigilancia terrestre.
- Problemas de confusión relacionados con el uso del modo A/C
- Baja velocidad de actualización
- Coste elevado de adquisición y mantenimiento

4.3.3. Vigilancia dependiente ADS

Es un conjunto de aparatos y procedimientos de vigilancia cooperativa para el control del tráfico aéreo. El avión determina su posición mediante un sistema de posicionamiento por satélite, y por medio del ADS-B envía periódicamente dicha posición a otras aeronaves próximas y a las estaciones de tierra. A diferencia de los sistemas convencionales de vigilancia, en los que la posición de la aeronave se determina directamente desde la

estación de tierra, con el ADS las medidas de posición se realizan a bordo, con la información de navegación, y posteriormente se envían a los centros de vigilancia. El ADS ofrece la posibilidad de:

- Vigilancia basada en tierra: Por ejemplo, vigilancia de aeronaves en vuelo por sistemas terrestres. Esta es una función del ATC, pudiendo complementar de esta forma a las técnicas convencionales como el radar.

- Vigilancia del entorno: Por ejemplo, tareas de vigilancia llevadas a cabo desde la propia aeronave. Esto permitiría presentar a la tripulación directamente la información de vigilancia, mejorando la percepción que se tiene en la cabina del estado del tráfico.

- Vigilancia en el aeródromo: La vigilancia de los vehículos desplazándose en el aeródromo, incluidas las propias aeronaves, llevadas a cabo tanto desde la torre propiamente como los equipos embarcados, previéndose importantes mejoras respecto a las técnicas convencionales empleadas hasta el momento.

El ADS permite extender el concepto de vigilancia a todas las etapas del vuelo. Para implantar este concepto se han definido dos técnicas de envío de información a las estaciones terrestres, el ADS.B, radiodifundido, y el ADS-C, por contrato. (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2011)

4.3.4. Multilateración

Los sistemas de vigilancia por multilateración constituyen una tecnología de vigilancia independiente y colaborativa que determina la posición de los objetivos a través de la diferencia de tiempo de arribo de la señal proveniente de las aeronaves a múltiples sensores ubicados en la tierra. Es una técnica de posicionamiento en la cual las señales transmitidas por los transpondedores a bordo de las aeronaves son recibidas por estaciones terrestres. Estos sistemas pueden emplear las señales de respuesta de los

radares secundarios. Posteriormente en una unidad de procesamiento se determina la posición de la aeronave basándose en la diferencia del tiempo de arribo de dicha señal a cada estación. Al medir la diferencia entre dos estaciones da como resultado un número infinito de posiciones que satisface la medida, cuando se trazan posibles posiciones, forman una curva hiperbólica. Se generan dos curvas y se comparan, revelando un pequeño número de posiciones posibles, este hecho produce una corrección. Los sistemas de multilateración pueden ser pasivos o activos, en los pasivos los receptores de tierra captan las transmisiones realizadas por las aeronaves sin la necesidad de información adicional. La información adicional se establece necesario por la multilateración activa para activar los transpondedores a bordo de la aeronave. Algunas técnicas utilizan los tiempos de llegada de una misma señal radioeléctrica a un conjunto de antenas (TDOA), método más empleado, y otras técnicas basadas en la diferencia de frecuencia de la señal recibida (FDOA). (DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2011)

Algunas características importantes son:

- Requiere un sistema de sincronización común
- Necesidad de comunicaciones para transmitir datos.
- No necesita nuevos estándares.
- Especificaciones definidas en EUROCAE WG-70.

4.4. ATM

Tiene como base la provisión de servicios, los cuales resultan de la acción conjunta de todos los recursos del propio Sistema, incluyendo el espacio aéreo, los aeródromos, las aeronaves, la infraestructura tecnológica y los recursos humanos. La función primaria del Sistema ATM es posibilitar el vuelo de un aeródromo a otro, dentro de un determinado espacio aéreo, libre de peligros, obedeciendo a los límites de capacidad del Sistema y

haciendo óptimo uso de todos sus recursos. (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2019)

Los principios que rigen el sistema están recogidos en la siguiente publicación (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2019) y son los siguientes:

a) Seguridad Operacional – La garantía de un Sistema ATM operacionalmente seguro es la más alta prioridad en la gestión de tránsito aéreo, requiriendo, por ello, la implementación de un amplio proceso de gestión de la seguridad, de modo a posibilitar el alcance de la eficiencia deseada, manteniendo siempre los niveles de seguridad requeridos.

b) Ser Humano – Los seres humanos desempeñan una función esencial y son el elemento central del Sistema. Son los encargados de su gestión, del monitoreo de su desempeño y de la intervención, cuando necesario, de modo a asegurar los resultados pretendidos. Sea en la implementación, en la operación o en la manutención, es imprescindible considerar cuestiones relativas a los factores humanos, sobre todo en lo que atañe a los Controladores de Tránsito Aéreo.

c) Tecnología – El Concepto Operacional ATM Global direcciona para las funciones necesarias al Sistema ATM sin referirse a cualquier tipo de tecnología específica. La elección de la tecnología deberá considerar las características de la infraestructura nacional y la disminución de la dependencia externa, mediante la nacionalización de equipamientos y sistemas.

d) Información – La Comunidad ATM será directamente dependiente del recibimiento de informaciones, las cuales deberán ser procesadas en tiempo oportuno, ser relevantes, precisas, confiables y con calidad asegurada, posibilitando el soporte necesario a las acciones colaborativas y orientadoras para la toma de decisiones. El amplio intercambio

de informaciones relativas al sistema permitirá que la Comunidad ATM conduzca sus actividades y operaciones de forma segura, eficiente y con una relación costo-beneficio favorable.

e) Colaboración – El Sistema ATM será caracterizado por una planificación integrada en nivel estratégico y táctico, a través de la cual los miembros de la Comunidad ATM participarán en la definición de los varios tipos y niveles de servicios. De igual importancia será la colaboración para maximizar la eficiencia operacional del sistema, por medio del intercambio de informaciones, conduciendo para un proceso decisorio dinámico y flexible (CDM – Collaborative Decision Making).

f) Continuidad – La realización práctica del Concepto Operacional ATM Global requiere el establecimiento de medidas de contingencia, de modo a garantizar la máxima continuidad del servicio en caso de interrupciones causadas por factores adversos, así como desastres naturales, agitación civil, amenazas a la seguridad u otras circunstancias eventuales.

g) Integración civil y militar – Las actividades desarrolladas en el Sistema ATM Nacional deben ser ejecutadas aprovechándose la infraestructura aeronáutica militar en beneficio de operaciones de la aviación civil y militar, de modo a asegurar la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea de forma económica e integrada.

4.4.1. ATC (Servicio de control de tránsito aéreo)

Este apartado se encuentra recogido en la publicación citada a continuación.(ENAI, 2019a)

Este servicio es prestado por controladores aéreos, que aplican separaciones entre las aeronaves y emiten autorizaciones de control a petición de los pilotos o iniciativa propia,

en función de las condiciones del tránsito aéreo y del entorno. Se prestan 3 servicios principales que son:

- Servicio de control de área:** Los controladores aéreos gestionan los vuelos comprados un área de control terminal, en áreas de control o en aerovías. En España hay 5 centros de control (ACC) desde los que se presta servicio están ubicados en Madrid, Barcelona, Sevilla, Palma de Mallorca y Gran Canaria

- Servicio de control de aproximación (APP):** Este servicio también lo prestan los controladores aéreos, gestionan la entrada y salida de vuelos controlados en una zona de control y en las zonas que se determinen de las áreas de control terminal. Ordenan y gestionan el tráfico con rapidez en las fases de espera, aproximación, despegue y aterrizaje.

- Servicio de control de aeródromo (TWR):** Los controladores aéreos gestionan las aeronaves que se encuentran en el aeropuerto y sus cercanías, este servicio se presta desde las torres de control.

4.4.2. ASM (Gestión del espacio aéreo)

Este apartado se encuentra recogido en la publicación citada a continuación.(ENAIRE, 2019c)

Enaire es el proveedor de este servicio de navegación en España, trabaja en la implantación del proyecto Free Route, que en los próximos años permitirá mejorar los flujos de tráfico e implementar segmentos de vuelo más directos en todo el espacio aéreo de la Unión Europea.

Diseña planes de eficiencia, continuidad de servicio y optimización del espacio aéreo que definen medidas de mejora de su estructura. Gestiona la coordinación civil – militar para optimizar la utilización del espacio aéreo, en la aplicación del concepto FUA, uso flexible

del espacio aéreo, de forma que todos los usuarios, tanto civiles como militares, encuentren acomodo a sus necesidades operativas. Planifica y gestiona todas las estructuras del espacio aéreo español y coordinamos su uso para fines distintos al transporte comercial, como, por ejemplo:

- Grandes ejercicios militares, como maniobras de la OTAN.
- Trabajos aéreos, vuelos fotográficos, filmaciones aéreas.
- Actividades deportivas certámenes de globos aerostáticos, lanzamiento de paracaidistas, etcétera.
- Actividades de seguridad, tanto ciudadana como aérea, con motivo de acontecimientos públicos en los que exista aglomeración de personas.

4.4.3. ATFCM (Control de afluencia y de capacidad de tránsito aéreo)

Este apartado se encuentra recogido en la publicación citada a continuación.(ENAIRE, 2019b)

Contribuye a que el tráfico de los aviones sea lo más fluido posible y aprovechar al máximo la capacidad del espacio aéreo y de los aeropuertos. Esto permite que las aerolíneas operen con las mayores garantías de seguridad y eficiencia y que los aeropuertos dispongan del número de operaciones por hora más elevado. Para garantizar esto, se cuenta con herramientas que monitorizan constantemente la demanda de los sectores y evalúan la complejidad de la situación de tráfico esperada. Con toda la información que se recibe se desarrolla y se aplican medidas que permiten ajustar la demanda de tráfico, optimizando la capacidad disponible en el espacio aéreo. Estas medidas se adaptan en cada momento a la demanda real, a la capacidad efectiva de los sectores y a una gestión dinámica mediante las configuraciones más adecuadas.

5. Navegación Basada en Prestaciones

La información del punto 5 de este trabajo está recogida en el siguiente manual (OACI, 2008)

El continuo crecimiento de la aviación exige aumentos en la capacidad del espacio aéreo, por lo tanto, se está haciendo hincapié en la necesidad de optimizar la utilización del espacio aéreo disponible. Mejorar la eficiencia operativa derivada de la aplicación de navegación de área (RNAV), técnicas que han resultado en el desarrollo de aplicaciones de navegación en diversas regiones a nivel mundial y para todas las fases de vuelo. Estas aplicaciones podrían ser ampliadas para proporcionar orientación a las operaciones de movimiento en tierra.

Los requisitos para las aplicaciones de la navegación en rutas específicas o dentro de un determinado espacio aéreo debe ser definido de forma clara y concisa. Esto es para asegurar que la tripulación de vuelo y los controladores de tránsito aéreo (ATC) sean conscientes de las capacidades de los sistemas RNAV de a bordo, a fin de determinar si el rendimiento del sistema RNAV es adecuado para los requisitos del espacio aéreo.

Los sistemas RNAV han evolucionado de manera similar a los procedimientos y rutas convencionales basados en tierra.

Para las operaciones domésticas, los primeros sistemas usados son el VOR y el DME para calcular la posición, para operaciones oceánicas, son empleados sistemas de navegación inercial (INS).

Estos nuevos sistemas fueron desarrollados, evaluados y certificados. El espacio aéreo y los criterios de franqueamiento de obstáculos fueron desarrollados sobre la base del desempeño del equipo disponible y las especificaciones de requisitos se basaron en las capacidades disponibles.

En algunos casos, es necesario identificar los distintos modelos de equipos que podrían ser operados en un espacio aéreo en cuestión. Tales necesidades prescriptivas se debieron a retrasos en la introducción de nuevas capacidades de sistemas RNAV y costos más elevados para mantener la certificación apropiada.

Para evitar este tipo de especificaciones prescriptivas de requisitos, el DOC 9613-Performance Based Navigation Manual presenta un método alternativo para definir los requisitos de equipo especificando los requisitos de funcionamiento. Esto se denomina navegación basada en el rendimiento (PBN).

5.1. Concepto PBN, RNAV, RNP y GNSS

La información del apartado 5.1 de este trabajo está recogida en el libro citado a continuación (María Represa Suevos, 2019)

La OACI, viendo la multiplicidad de desarrollos RNAV y RNP y los problemas que eso acarrea, establece en 2008 el concepto PBN dándole la vuelta a la forma tradicional de evolucionar de la navegación aérea.

El concepto PBN especifica el rendimiento de los sistemas RNAV y RNP en aeronaves y los requisitos que se definen en términos de exactitud, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad, que son necesarios para las operaciones propuestas en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular. El concepto PBN representa un cambio de sensores basados en la navegación y basada en el rendimiento. Estas especificaciones de navegación se definen en un nivel de detalle suficiente para facilitar la armonización mundial mediante el suministro de aplicaciones específicas de orientación para los Estados y los operadores.

Cabe destacar que los sistemas de navegación por satélite (GNSS) son un elemento fundamental en la implantación operacional del concepto PBN, pues son los únicos

El concepto PBN va más allá de la mera navegación RNP porque además de tener en cuenta la capacidad de monitorización y alerta, mantiene los criterios de precisión y exige unos niveles determinados de integridad, continuidad, disponibilidad y funcionalidad.

Además de lo expuesto anteriormente, la PBN, intenta hacer uso de las nuevas tecnologías, para ello basa la navegación aérea en el tipo de radioayudas mas precisas que existan. Hoy en día la tendencia general es la de usa sistemas satélites en vez del uso de estaciones terrestres. También elimina el antiguo problema que se había creado con la RNP a la hora de su implantación en los distintos estados.

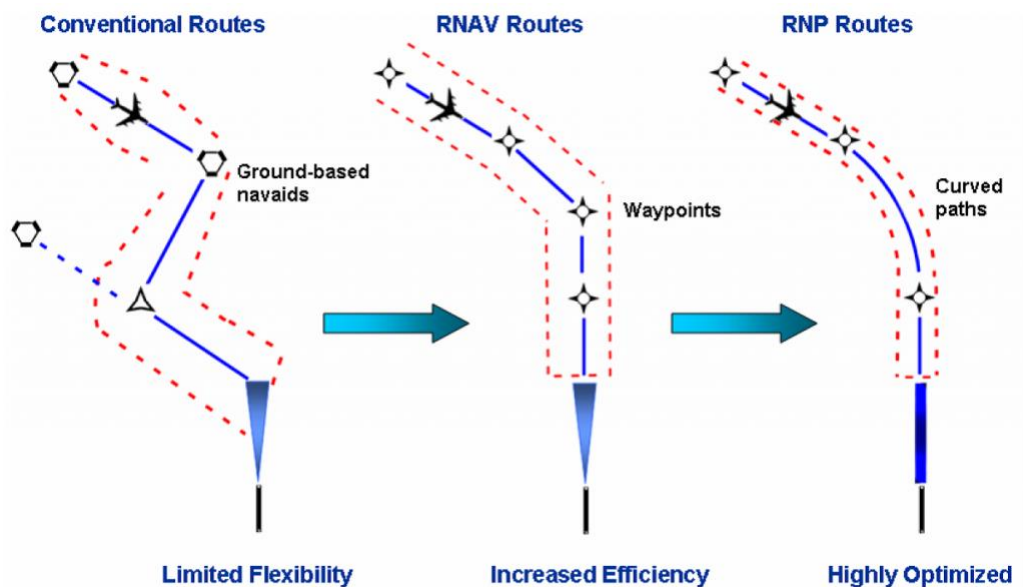


Imagen 11. Comparativa navegación. Fuente: Hispaviación

En la imagen anterior podemos ver la misma ruta volada con tres métodos distintos. Como podemos apreciar, las rutas convencionales se basan en la utilización de radioayudas terrestres que son voladas dentro de los límites de dichas radioayudas. Son rutas poco flexibles que están limitadas por su diseño.

La navegación de área (RNAV) como podemos ver en la imagen facilita el vuelo a través de tramos de ruta que se crean gracias a un ordenador de a bordo. Estas rutas son más cortas y precisas. La eficiencia de vuelo es mayor pero no es la óptima.

Y, con la RNP se aumenta la precisión en las rutas, se reducen las distancias con respecto a los obstáculos, se implantar radios de giro además de posibilitar ascensos y descensos con ángulos constantes.

La PBN ofrece varias ventajas con respecto al método de empleados en la elaboración de criterios para el espacio aéreo y el franqueamiento de obstáculos:

a) Reduce la necesidad de mantener rutas y procedimientos en función de sensores específicos y los costos asociados. Por ejemplo, mover una sola instalación terrena VOR puede afectar a decenas de procedimientos, como el VOR se puede utilizar en las rutas, aproximaciones VOR, aproximaciones frustradas, etc. Adición de nuevos procedimientos con sensores específicos aumentará este costo, y el rápido crecimiento en los sistemas de navegación disponibles haría rutas y procedimientos con sensores específicos inasequibles

b) Evita tener que desarrollar las operaciones en función de sensores específicos cada vez que evolucionen los sistemas de navegación, lo que sería en función de los costos prohibitivos. La expansión de los servicios de navegación por satélite espera que contribuya a la continuación de la diversidad de los sistemas RNAV en diferentes aeronaves. El equipo básico original GNSS está evolucionando debido al desarrollo de sistemas de aumentación como SBAS, GBAS y GRAS, mientras que la introducción de Galileo y la modernización del GPS y GLONASS mejorarán aún más la eficacia del GNSS.

c) Permite un uso más eficiente del espacio aéreo (ubicación de rutas, eficiencia de los combustibles, reducción del ruido, etc.)

d) Clarifica la forma de utilizar los sistemas RNAV y facilita el proceso de aprobación operacional de los explotadores, proporcionando un conjunto limitado de especificaciones para la navegación previstas para uso mundial.

Dentro de un concepto de espacio aéreo, los requisitos del PBN se verán afectados por la comunicación, la vigilancia y entornos ATM, la infraestructura de ayudas a la navegación y la capacidad operativa y funcional necesarias para cumplir con la aplicación ATM.

Aplicando estos componentes en el contexto de espacio aéreo, surge un nuevo componente, la aplicación de la navegación.

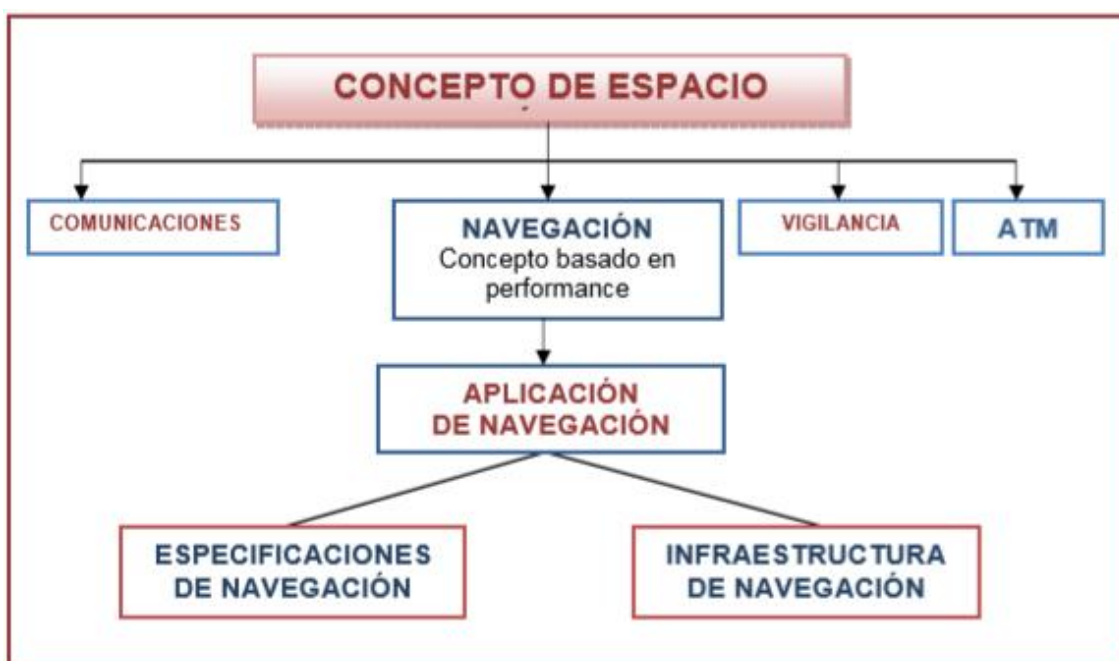


Imagen 12. Espacio aéreo según la PBN. Fuente: Manual PBN. DOC 9613

5.1.1. Especificaciones de navegación

Es un conjunto de requisitos tanto de aeronaves como de tripulación necesarias para apoyar una aplicación de navegación dentro de un concepto definido de espacio aéreo. La especificación de navegación define el rendimiento requerido por el sistema RNAV como cualquier requisito funcional tal como la capacidad para llevar a cabo procedimientos en trayectoria curva o para volar las rutas paralelas compensadas.

5.1.2. Infraestructura de las ayudas a la navegación aérea

Se trata de todas aquellas ayudas terrestres, espaciales o embarcadas que puedan proveer posicionamiento de la aeronave con un cierto grado de precisión. En la PBN las radioayudas terrestres son: VOR y DME. La infraestructura espacial es cualquier tipo de sistema satelital. Parte de las ayudas son también los sistemas autónomos. El único sistema autónomo dentro de la PBN es el sistema inercial. Se descarta el NDB por no considerarse suficientemente preciso.

De las radioayudas terrestres que considera la PBN se recomienda siempre el uso del DME sobre el VOR por ser más preciso.

5.1.3. Aplicación de navegación

Es la resultante de aplicar la especificación de navegación a una ruta o volumen de espacio aéreo específico. En general se puede tomar una carta de aproximación, las SIDs y las STARs como si fuera aplicaciones de navegación propiamente dichas.

Los sistemas RNAV y RNP son similares, la diferencia clave entre ellos es el requisito de la supervisión a bordo de la performance y alerta.

Una especificación de navegación que incluye un requisito para la vigilancia del rendimiento de navegación a bordo y alerta se refiere a una especificación RNP. La que no tiene tales requisitos se refiere a una especificación RNAV. Un sistema de navegación de área capaz de lograr los requisitos de performance de una especificación RNP se conoce como un sistema RNP.

Muchos sistemas RNAV, mientras ofrecen muy alta precisión y posesión muchas de las funciones proporcionadas por los sistemas RNP, no son capaces de ofrecer garantías de su rendimiento. Reconociendo esto, y para evitar que los operadores incurran en gastos innecesarios, el uso de un sistema RNP, como muchos nuevos requisitos de navegación existentes continuaran para especificar sistemas RNAV en lugar de sistemas RNP. Por tanto, se espera que las operaciones RNAV y RNP coexistan por muchos años.

Sin embargo, los sistemas RNP proporcionan mejoras en la integridad de la operación que permite, entre otras cosas, posiblemente reducción de espaciamiento en ruta y pueden proporcionar suficiente integridad para permitir que sólo los sistemas RNP a ser usados para navegar en un determinado espacio aéreo. El uso de sistemas RNP, puede por lo tanto ofrecer una mayor seguridad y beneficios en la eficiencia operativa. Mientras que las aplicaciones RNAV y RNP coexistan por varios años, se prevé que habrá una transición gradual a las aplicaciones RNP, como la proporción de las aeronaves equipadas con sistemas RNP aumentan el costo de la transición se reduce.

Las especificaciones RNAV y RNP requieren del cumplimiento de algunas funciones de navegación. Básicamente estas funciones son:

a) Indicación permanente de la posición de la aeronave con respecto a la derrota a ser mostrada al piloto que vuela, en una presentación de navegación, en su campo primario de visión.

- b) Presentación de distancia y rumbo al tramo de recorrido activo.
- c) Presentación de velocidad de tierra (GS) o tiempo al tramo de recorrido activo.
- d) Almacenamiento de datos de navegación
- e) Indicación apropiada de falla del sistema RNAV, incluidos los sensores.

5.1.4. Requisitos PBN

El apartado 5.1.4. de este trabajo esta recogido en la publicación a continuación citada.
(Great bustard's flight, 2015)

El concepto PBN va más allá de la mera navegación RNP porque además de tener en cuenta la capacidad de monitorización y alerta, mantiene los criterios de precisión y exige unos niveles determinados de integridad, continuidad, disponibilidad y funcionalidad.

5.1.4.1. Precisión

Se refiere a la precisión en la posición, calculada en función de los errores del sistema. No todas las aeronaves son capaces de volar con la misma precisión una ruta determinada. La PBN limita el uso de su espacio aéreo a las aeronaves que satisfagan unos criterios mínimos.

5.1.4.2. Integridad

El grado de confianza que ofrece el sistema, la capacidad de que el sistema avise con tiempo al piloto que se produce un error. La integridad es el grado de fiabilidad que un sistema ofrece. En los modernos sistemas de navegación por satélite por ejemplo, es necesario asegurar que la señal recibida es correcta antes y durante la ejecución de una aproximación.

5.1.4.3. Continuidad

Capacidad del sistema de proveer un servicio ininterrumpido durante la operación. Las señales de navegación deben tener un servicio continuo o en caso de interrupción del servicio se debe de poder tener un medio alternativo de navegación. Las especificaciones de navegación son las que dictan los niveles mínimos de disponibilidad y sus medios alternativos en caso de interrupción del servicio. Por ejemplo, si en pleno proceso de aproximación se pierde la señal de navegación por satélite, el sistema inercial o una estación DME puede hacerse cargo durante un determinado lapso de tiempo de la capacidad de navegación.

5.1.4.4. Disponibilidad

Es la habilidad del sistema para poder estar completamente funcional en el momento que se quiera empezar a usar en una determinada operación y también durante su ejecución. En la PBN la disponibilidad se limita al uso de las señales de los sistemas de posicionamiento global. Es muy común ver como los pilotos interrogan a sus equipos FMS para poder confirmar que en el tiempo previsto de llegada podrán tener garantías de contar con la señal adecuada.

5.1.4.5. Funcionalidad

Es la característica avanzada de ciertos sistemas de navegación que facilitan o automatizan diversas operaciones de navegación. Es el caso de los modernos sistemas de gestión de vuelo FMS que son capaces de maniobras muy complejas completamente automatizadas.

5.1.5. Especificaciones RNAV y RNP

(La información del apartado 5.1.5. está recogida en el libro (María Represa Suevos, 2019))

Para operaciones oceánicas, remotas, en ruta y área terminal, se designarán como RNP X o RNAV X, donde “X” se refiere a la precisión de navegación lateral, en NM, que se espera será alcanzada por lo menos el 95% del tiempo de vuelo por las aeronaves que operan dentro del espacio aéreo, ruta o procedimiento. Si dos especificaciones de navegación comparten el mismo valor, ellas podrían ser distinguidas por el uso de un pre-tramo, como, por ejemplo: RNP 1 Avanzado y RNP 1 Básico.

Las especificaciones de navegación para aproximación cubren todos los tramos de la aproximación por instrumentos. Las especificaciones RNP se designarán utilizando el pre-tramo RNP seguido de un sub-tramo abreviado APCH ó AR APCH. En estos casos en que la precisión de navegación es usada como parte de la denominación de la especificación de navegación debería notarse que la precisión es tan solo uno de los muchos requisitos de performance incluidos en las especificaciones de navegación. Por ejemplo, la denominación RNAV-1 se refiere a una especificación RNAV que incluye un requisito de precisión de navegación de 1 NM entre muchos otros.



Imagen 13. Especificaciones RNAV y RNP. Fuente: Manual PBN. DOC 9163

Es posible que la RNP para las futuras especificaciones de los conceptos del espacio aéreo pueda necesitar más funcionalidad sin cambiar el requisito de precisión de la navegación. Ejemplos de las futuras especificaciones de navegación pueden incluir requisitos de RNP vertical y capacidad basada en el tiempo (4D).

5.1.5.1. RNAV 10 y RNP 10

Esta terminología se utiliza en áreas remotas dentro del vuelo continental u oceánico. Se basa en separaciones horizontales de 50 millas náuticas. Para este tipo de vuelo no se requiere el uso de radioayudas u otras infraestructuras basadas en estaciones terrestres. Las especificaciones que se consideraron en un principio fueron establecidas antes de la PBN, por lo tanto, estos vuelos no tienen la obligación de contar ningún sistema de monitorización o alerta a bordo. En lugar de eso, para evitar errores de navegación, se optó por utilizar una gran separación lateral entre aviones volando la misma ruta. Los requerimientos de navegación para este tipo de vuelo se restringen al uso de un mínimo de dos sistemas de navegación de larga distancia, como por ejemplo los sistemas

inerciales. La combinación de ambos sistemas ofrece unas características de precisión muy altas.

5.1.5.2. RNAV 5

Es la anteriormente conocida como RNP 5 en Oriente Medio, o RNAV básica en Europa, donde está aplicada principalmente a ruta, aunque aún queda algún remanente de maniobras SID y STAR en algunos TMA. Las prestaciones que se deben cumplir para volar en este espacio aéreo dentro de Europa son: Poder fijar la posición de la aeronave en el espacio con una precisión lateral y longitudinal igual o mejor que 2.5 millas náuticas para un valor de desviación típica y poder demostrar que se mantiene el vuelo dentro de unos valores de +/-5 millas náuticas.

5.1.5.3. RNAV 1 y RNAV 2

Son tratadas en la práctica por la OACI como una única especificación, principalmente empleada en procedimientos SID Y STAR. Se está empleando ampliamente en Europa en procedimientos dentro de TMA, para salidas y llegadas primordialmente, y en un entorno radar. Los planes de Eurocontrol son que la RNAV 1 vaya sustituyendo a la RNAV 5 en ruta, para un uso más eficiente del espacio aéreo, aunque últimamente estos planes han cambiado y empiezan a pensar en otras especificaciones más avanzadas.

5.1.5.4. RNP 4

Fue diseñada para ser volada en regiones desérticas y oceánicas, por lo cual esta especificación no requiere ninguna radio ayuda suplementaria basada en tierra. La especificación requiere un alto grado de precisión, que solo se puede conseguir con el uso de la navegación satelital. Por lo tanto, GNSS es obligatorio si se desea volar este tipo de

rutas. De acuerdo con ICAO PANS-ATM (Doc 4444), para poder volar este tipo de rutas, que requiere una separación de 30 millas náuticas, es obligatorio contar con comunicaciones de radio o bien data link communication (CPDLC). El mismo documento, además, obliga al uso de capacidades de vigilancia como el ADS-C. La precisión que se requiere para volar RNP 4 es el valor mismo del nombre, 4 millas náuticas, que debe ser mantenido el 95% del tiempo de vuelo.

5.1.5.5. RNP 1 BÁSICA

La especificación RNP 1 se basa en el uso obligatorio de navegación por satélite GNSS. Algunos sistemas de navegación de área pueden conseguir los mismos grados de precisión con el uso de dos estaciones DME. Sin embargo, RNP 1 esta diseñada para rutas donde casi no existen instalaciones terrestres, por lo que no se debe usar este tipo de radio ayudas. Fue concebida inicialmente para espacio aéreo terminal sin vigilancia ATS o con vigilancia limitada, está destinada a convertirse con el tiempo también en un estándar para las SID y STAR en TMAAs bien equipados con alta densidad de tráfico desplazando a la RNAV 1. De hecho, como ya hemos apuntado con anterioridad, la Comisión Europea va a hacer que el uso de la RNP 1 sea obligatorio a partir del 2024 en las SID y STAR de los principales TMAAs. Y sea la opción preferente para el resto de TMAAs

5.1.5.6. RNP APCH

En realidad, dentro de la especificación RNP APCH existen tres tipos de aproximaciones para aviones, con 4 mínimos diferentes. Todas ellas se basan en una performance lateral de 0.3 millas náuticas en el tramo final (modo aproximación) y de 1 milla náutica en el resto de los tramos de la aproximación (modo TMA), incluida la frustrada. Según los mínimos de operación que se pueden alcanzar el inferior es el SBAS de categoría I, equivalente a la categoría I de ILS; luego vendría el LPV, o aproximación con

prestaciones de localizador y guiado vertical; a continuación, vendría el LNAV/VNAV, o navegación lateral con navegación vertical; y por último el LNAV, o mínimo correspondiente a sólo navegación lateral. Existe también un mínimo denominado LP, o de prestaciones de localizador, es decir con guiado 2D. Las RNP APCH a mínimos LPV y LNAV/VNAV se califican como APV, o aproximaciones con guiado vertical, según la clasificación por tipos de aproximación de la OACI.

5.1.5.7. RNP AR APCH

Es una especificación para aproximaciones que se encuentran en escenarios especialmente complejos en cuanto al terreno y requieren una autorización especial (AR). Estas maniobras se basan en un guiado horizontal GPS (ABAS), aunque nació en un ambiente DME/DME, y un guiado vertical barométrico, ambos monitorizados y sujetos a unos límites de alerta a bordo. Las aviónicas que contemplen SBAS y GBAS pueden ser válidas también para las maniobras RNP AR siempre que se encuentren dentro del área de cobertura de estos sistemas de aumentación GNSS y cumplan las señales con los parámetros de navegación definidos por la OACI en su Anexo 10.

5.2. Aplicaciones PBN

5.2.1. SESAR

SESAR (Single European Sky ATM Research) es un proyecto conjunto de la comunidad de transporte aéreo europea cuyo objetivo es la implantación de una red ATM en Europa de altas prestaciones para 2020. El proyecto nació de la necesidad de crear una visión integrada y común sobre la evolución del sistema de gestión del tránsito aéreo, para así

acomodar el incremento de demanda previsto para los próximos años mediante la implantación de nuevos procedimientos. (SESAR, 2020)

Consta de 3 fases expuestas a continuación, dichas fases están recogidas en la siguiente publicación (SESAR, 2020)

5.2.1.1. Fase de definición:

Tuvo lugar entre 2006 y 2008. Su objetivo principal es la elaboración de un Plan Maestro Europeo de Gestión del Tráfico Aéreo. Fue ejecutada a manos de un consorcio contratado por EUROCONTROL en el que estaban representadas las empresas y organizaciones de mayor relevancia dentro del sector de transporte aéreo europeo.

5.2.1.2. Fase de desarrollo:

Se encuentra ejecutando las tareas de investigación, desarrollo y validación recogidas en el Plan Maestro ATM. Estas actividades se financian a través de la Empresa Común SESAR (SJU), responsable final del mantenimiento del Plan Maestro ATM y del desarrollo del futuro sistema ATM Europeo. En la SJU, además de los socios fundadores (CE y EUROCONTROL), están representados los principales actores del ATM europeo: proveedores de servicios de Navegación Aérea, miembros de la industria fabricante del sector, industrias y aeropuertos.

5.2.1.3. Fase de despliegue:

Supone el despliegue de las actividades incluidas en el IDP (Interim Deployment Programme). La acción tiene como objetivo producir actividades de despliegue coordinado con la participación de los principales proveedores de servicio de Europa, dirigidas a la mejora de los beneficios de rendimiento de la red y de los usuarios finales.

Con respecto a la implantación global del IDEP, el proyecto quiere fomentar la ejecución de cinco de las siete áreas de actividad incluidas en el IDP:

- Área de actividad 2: Mejoras de la gestión del espacio aéreo e intercambio de datos.
- Área de actividad 3: CDM en aeropuertos.
- Área de actividad 4: Enlace de datos aire-tierra.
- Área de actividad 5: Asistencia automatizada a los controladores para una coordinación, transferencia y diálogo sin discontinuidades.
- Área de actividad 6: Aproximaciones RNP.

Esta última área incluye las operaciones de aproximación con LPV-200, suponiendo la unificación de los requisitos y operaciones a nivel Europeo.

5.3. Aproximaciones RNP

El apartado 5.4 está íntegramente recogido en el libro citado a continuación. (María Represa Suevos, 2019)

Las aproximaciones RNP son consideradas como aproximaciones instrumentales de no precisión (NPA). Las principales características son las siguientes:

- Están diseñadas para ser voladas con FMS
- Pueden tener valores RNP diferentes dependiendo del tramo que se vuele.
- Los valores RNP se almacenan en la base de datos de navegación del FMS.
- Los valores RNP cambian según vuela el avión los diferentes tramos
- Debe existir un modo de monitorizar y en su caso de alertar.

En la siguiente imagen podremos ver un diseño de aproximación típico. Casi todas las aproximaciones constan de los mismos tramos.

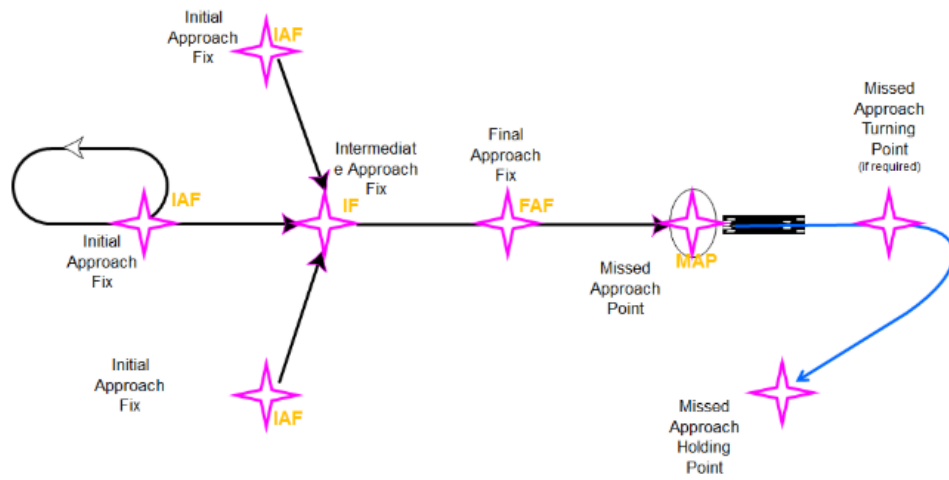


Imagen 14. Diseño de aproximación típico. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos

Existen aproximaciones con únicamente guiado lateral o bien con guía lateral y vertical. Las aproximaciones con guiado lateral y vertical suelen tener unos mínimos más bajos, aunque esto no siempre es así debido a la posición donde se ejecuta la maniobra de aproximación frustrada.

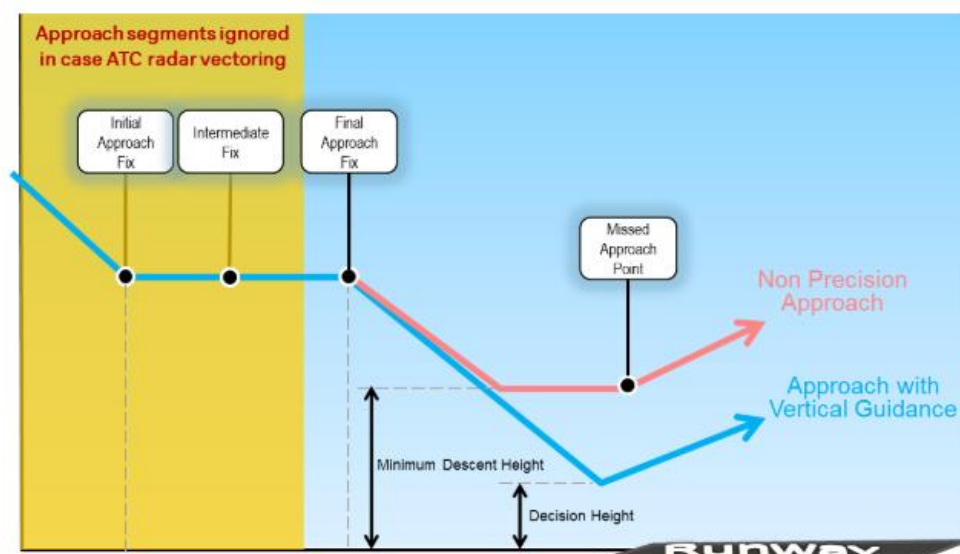


Imagen 15. Tramos de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

El concepto de aproximación de no precisión dentro del marco de la PBN esta caracterizado por lo siguiente:

- Una altitud mínima de descenso (MDA/MDH)
- Un tramo de aproximación frustrada (MAP)
- La ausencia de un guiado en el plano vertical generado electrónicamente por elementos externos a la aeronave.

Para el guiado horizontal se pueden usar distintas radioayudas, como por ejemplo el VOR, DME, o GNSS. A diferencia de las aproximaciones de no precisión tradicionales (ANP), en el concepto PBN no se consideran los NDB para la guía horizontal.

En el tipo de aproximaciones de no precisión RNP se suele utilizar la designación RNAV RWY XX en las cartas y se utiliza la línea de mínimos LNAV o LP, dependiendo del nivel de integridad que se requiera, por ejemplo, para poder operar con unos mínimos de LP se requiere un nivel de integridad superior al de LNAV. LP requiere un nivel que se consigue con sistemas SBAS, mientras que para LNAV se utiliza una comprobación rutinaria del receptor tipo RAIM.

Las NPA están diseñadas para no descender por debajo de la MDA/MDH sin que el piloto tenga apropiadas referencias visuales externas. Descender por debajo de esta altitud mínima sin referencias visuales no garantiza poder librar los posibles obstáculos, con lo que es obligatorio comenzar a nivelar el vuelo antes de alcanzar la MDA. Estos es algo que diferencia a estas aproximaciones de aquellas en las que se puede descender hasta una DA/DH, donde ya se cuenta con el hecho de que se va a perder una altitud adicional al alcanzar esa altura e iniciar un motor y al aire.

Las NPA terminan en un tramo visual que lleva a:

- Un aterrizaje directo o bien;
- Un “circling approach” que requiere una maniobra de alineación con la pista o un tramo visual hasta un tramo donde se alcanza la MDA/MDH circular del aeródromo y donde se realizar de motor y al aire.

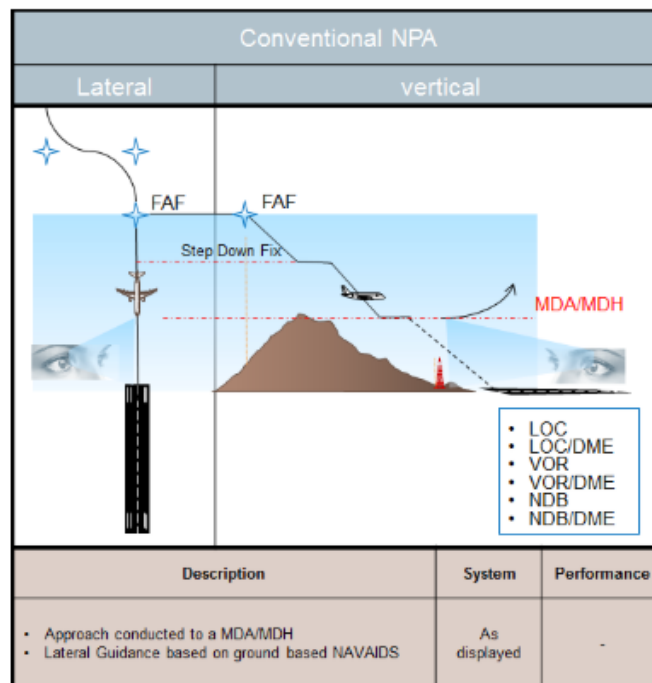


Imagen 16. Aproximación NPA. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos

5.3.1. Aproximaciones con guía vertical (APV)

PANS-OPS en su volumen I define una aproximación guía vertical (APV), como una aproximación instrumental que utiliza guía en los planos horizontal y vertical, pero que no reúne los requerimientos establecidos para una aproximación de precisión. Por ello las aproximaciones con guía vertical también están consideradas como una clase especial de no precisión (NPA).

Los sistemas que emplean el GNSS con integridad asegurada por medio de SBAS o GBAS permiten un descenso a mínimos parecidos a los que se consiguen con sistemas convencionales de precisión CAT I. Se espera que estos sistemas puedan llegar a ser equivalentes a los CAT II y CAT III.

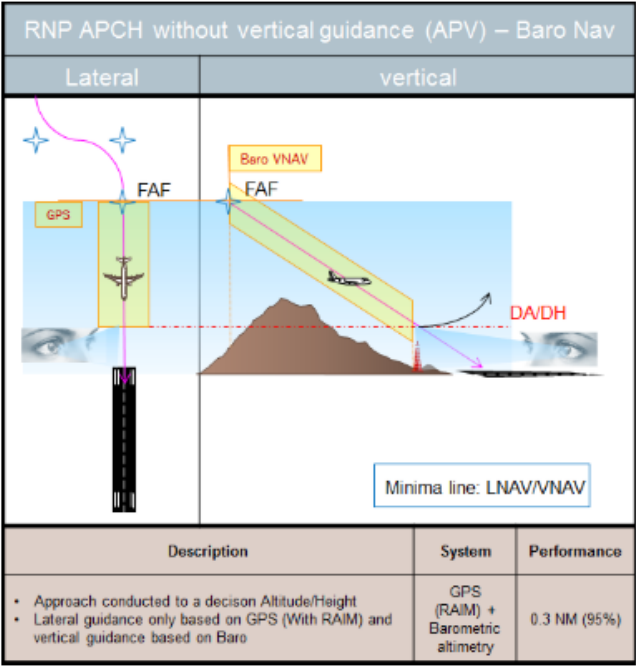


Imagen 17. Aproximación RNP APCH sin guiado vertical. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

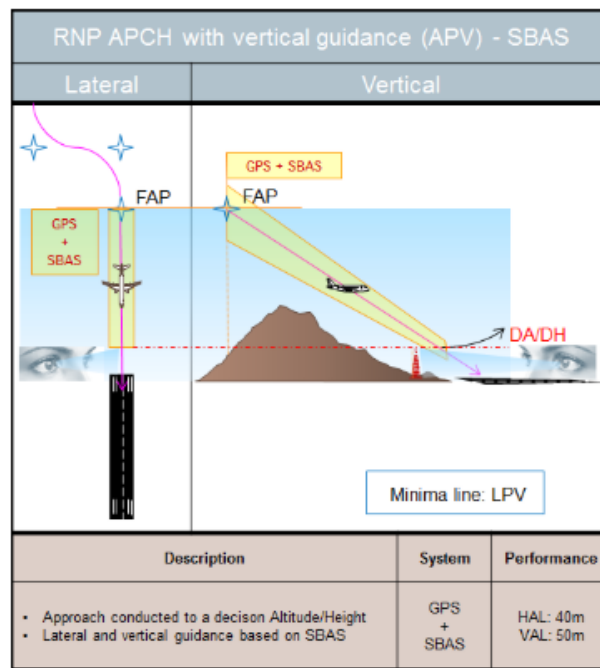


Imagen 18. Aproximación RNP APCH con guiado vertical. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

5.3.2. La navegación vertical

Para el posicionamiento vertical de la aeronave se emplean 2 métodos en la PBN:

- Altimetría barométrica (BARO-VNAV)
- Altimetría Geométrica (GNSS)

La altimetría barométrica proporciona lecturas basadas en la presión atmosférica y se ve influenciada por la temperatura. La altimetría Geométrica es parte del cálculo de posicionamiento 3D que ofrece el sistema de satélites. La precisión del sistema GNSS es muy buena, pero la integridad de la señal debe ser garantizada por medios suplementarios de aumentación. Las NPA están diseñadas como una serie de altitudes mínimas de descenso progresivo. Se coloca un tramo en cada tramo en el que un obstáculo crítico se ha salvado por un margen adecuado y a partir del cual se considera seguro seguir descendiendo.

Las publicaciones de las cartas de aproximación muestran una senda de descenso en la aproximación, que esta por encima de las altitudes mínimas escalonadas y facilita el uso de la técnica de descenso continuo en configuración estabilizada. El ángulo de descenso constante es la técnica que se recomienda en este caso. El piloto al mando es responsable de descender hasta la línea de mínimos apropiada.

Entre las dos aproximaciones con guiado vertical, LPV y LNAV/VNAV, existen algunas diferencias importantes a la hora de monitorizar el descenso. En las aproximaciones LPV se trata de crear un sistema que se parezca al ILS, mientras que en las aproximaciones LNAV/VNAV tienen un tipo de descenso con indicaciones de desviación constantes.

La escala de desviación LNAV/VNAV se denomina desviación lineal, mientras que la escala de una aproximación LPV es lo que se denomina desviación angular, lo veremos más claro en la siguiente imagen.

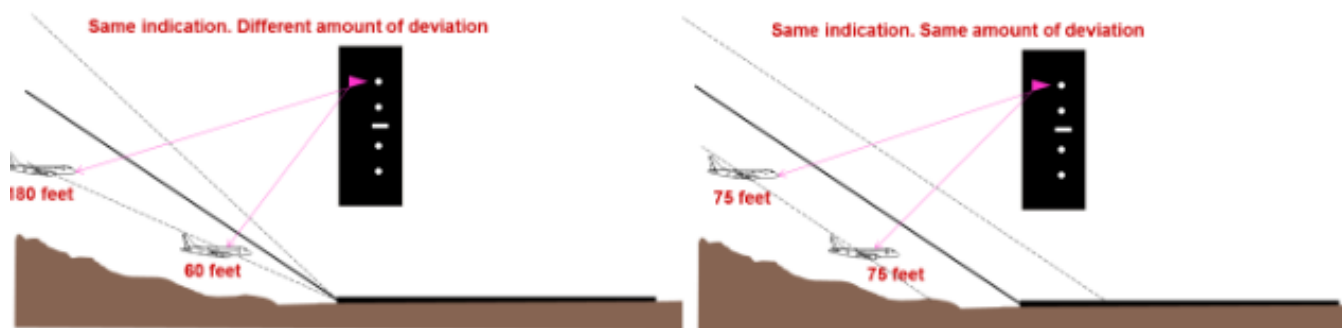


Imagen 19. Comparativa descenso LNAV/VNAV – LPV. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

Podemos ver en las dos imágenes anteriores que la indicación de la escala de desviación es la misma. A efectos prácticos en este sentido, la aproximación LPV se parece mucho a una aproximación instrumental de precisión como es el ILS.

La MD es la altitud más baja que se puede volar en una NPA bajo condiciones de vuelo IMC. La DA es la altitud más baja a la que se puede descender, el piloto debe realizar la maniobra de motor y al aire cuando se alcance dicha altitud. Un descenso por debajo de esa altitud es normal antes de empezar a ascender en la maniobra, pero ese descenso está considerado en el diseño de la carta de aproximación.

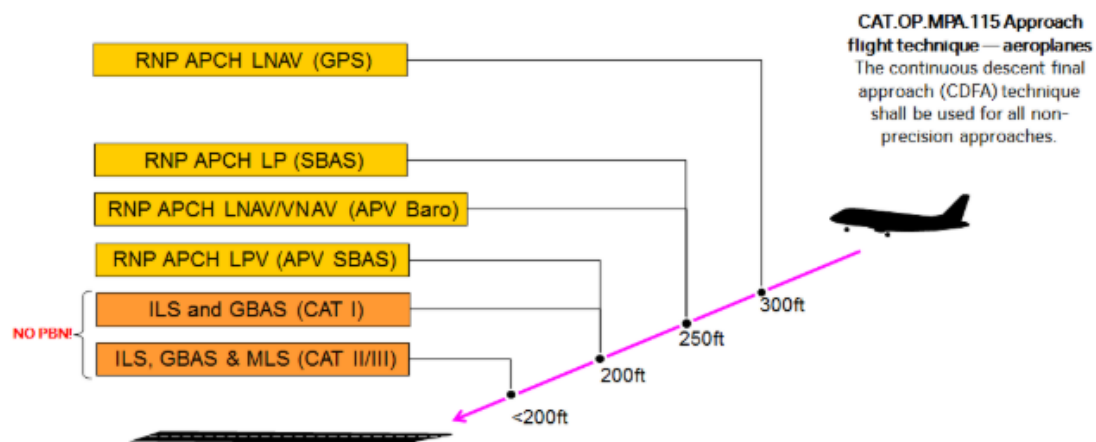


Imagen 20. Distintos tipos de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

Las ventajas de las aproximaciones RNP son muchas:

- Operación muy segura
- Guiado vertical que permite una aproximación estabilizada
- Operaciones estandarizadas
- Reducción de las salidas de pista debido a aproximaciones no estabilizadas
- Reducción del riesgo de vuelo controlado contra el terreno (CFTI)
- Carga de trabajo reducidas para el piloto
- Descenso continuo

- Mejor criterio de evitación de obstáculos
- Mejor protección de temperatura en diseño de procedimientos LNAV/VNAV
- Acceso mejorados a aeropuertos
- Independencia de infraestructura basada en radioayudas terrestres
- Bajo coste de operación
- Reducción de valores de decisión de mínimos como por ejemplo, CAT I, 200' en SBAS LPV
- Potencial para elaborar procedimientos straight-in en lugar de offset, debido a la reducción de distancia para librar obstáculos.

En la siguiente figura se muestran donde se encuentran las aproximaciones RNAV y RNP.

Las aproximaciones enmarcadas en rojos son aproximaciones PBN.

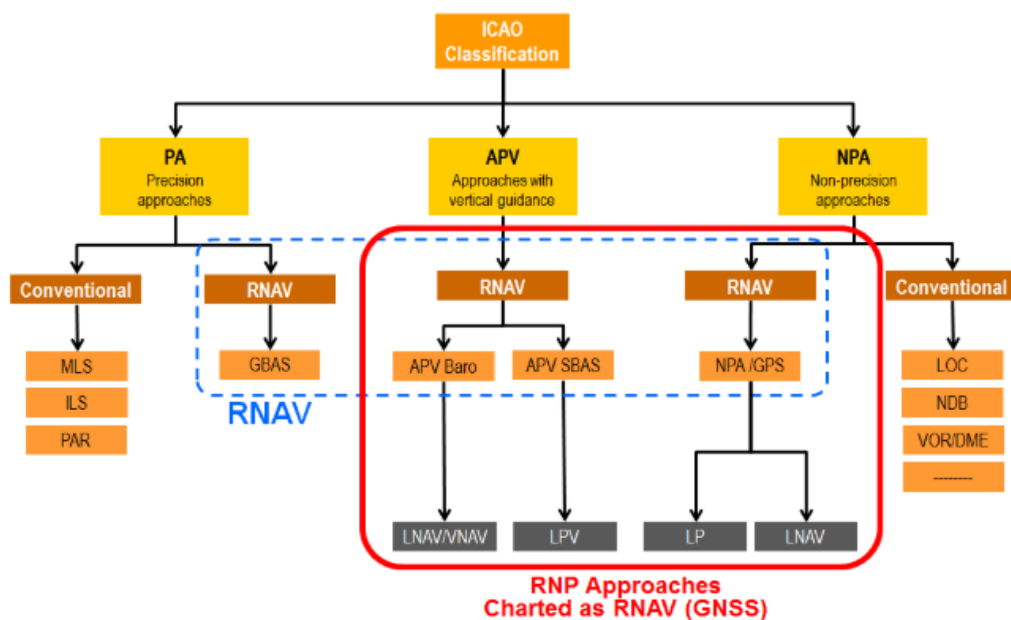


Imagen 21. Aproximaciones RNAV y RNP dentro de la PBN. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos

Podemos apreciar que la PBN solo contempla las aproximaciones APV y NPA. Las aproximaciones de precisión no están contempladas dentro de la PBN.

En la actualidad existe una discrepancia importante entre la nomenclatura que se emplea para las cartas de aproximación y los tipos de aproximación que se establecen en la publicación de la OACI. En general se aplica:

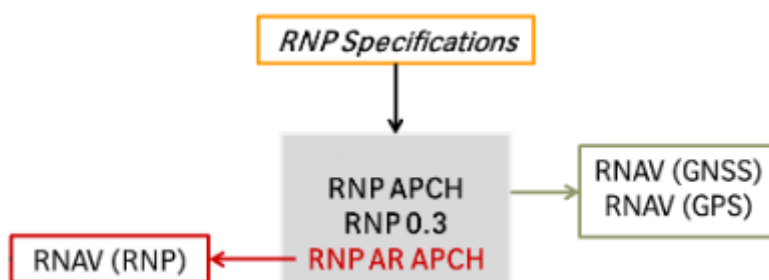


Imagen 22. Nomenclatura cartas de aproximación. Fuente: Conceptos RNAV – RNP Y PBN. Manuel M. Represa Suevos.

La obligación del piloto es la de repasar la aproximación en profundidad y compararla con la que se hace pública.

5.4. Estado actual de la implantación PBN en España

El plan de implantación PBN de AENA describe las líneas de actuación para la implantación de operaciones de vuelo PBN en España para las fases de vuelo de ruta, área terminal y aproximación. La estrategia es coherente con las líneas de acción para la introducción en España de operaciones basadas en GNSS propuestas por la DGAC. De este modo, se permite la transición al uso de GNSS, garantizando en todo momento la seguridad de las operaciones y la eficiencia del sistema de navegación aérea. El 17 de octubre de 2013 se alcanzó el primer hito de la puesta en marcha del plan de implantación PBN en España: la publicación del primer procedimiento de aproximación instrumental RNP APCH en el aeropuerto de Santander. Una vez alcanzado este hito, se continúa con

la implantación de RNP APCH en el resto de las cabeceras instrumentales hasta completar los objetivos marcados por la resolución 37-11 de OACI. (Secretaria de Estado de infraestructuras et al., 2014)

5.5. Ejemplos de procedimientos RNP

Me centrare en ejemplos de aeropuertos españoles que utilizan el sistema RNP para la fase final del vuelo. Este sistema proporciona una mejora considerable ya que suple al sistema ILS. En España hay varios aeropuertos que ya utilizan este sistema, Santander (LEXJ), Valencia (LEVC), A Coruña (LECO), Almería (LEAM), Andorra (LESU), entre otros, por lo que podemos ver que esta metodología está creciendo considerablemente, y en un futuro no muy lejano todos los aeropuertos dispondrán de este tipo de sistemas, ya que es un salto cualitativo grande.

A continuación, veremos imágenes de la aproximación ILS, y la aproximación RNP del aeropuerto de Santander (LEXJ).

CARTA DE APROXIMACIÓN
POR INSTRUMENTOS-OACI

ELEV AD
16

APP 118.375
TWR 118.100
GMC 121.700

SANTANDER/Seve Ballesteros-Santander
ILS Z
RWY 29

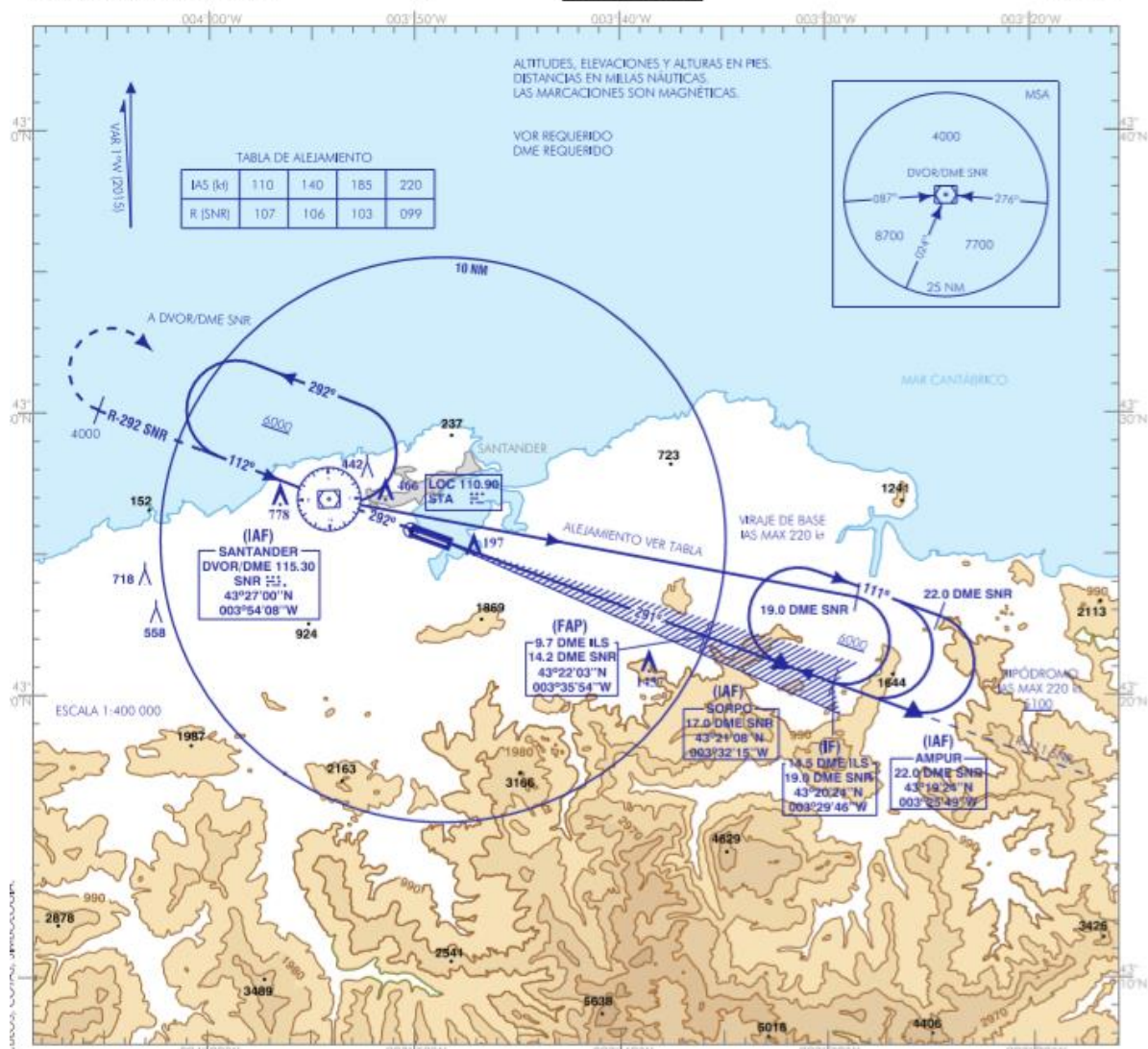


Imagen 23. Aproximación ILS Santander. Fuente: AIP

También es interesante mirar hacia Europa ya que hay diversos aeropuertos que ya utilizan estos sistemas, uno de ellos, y que me puede ayudar al desarrollo de este trabajo es el de París (LFPG), que utiliza una aproximación GNSS que está basada en su aproximación ILS, como Valencia

Hechas estas comparaciones la idea a desarrollar en este trabajo es similar, analizar la aproximación ILS de Tenerife Norte (GCXO), y a partir de esa aproximación, hacer un diseño conceptual de una aproximación RNP, exponiendo las ventajas que ello conllevaría.

6. Aproximación LPV-200

6.1. Fases de una aproximación

Las fases de una aproximación expuestas en este punto están recogidas en la siguiente publicación. (AeroWiki, 2014)

Una aproximación normalmente está dividida en cuatro Tramos o Tramos:

- Tramo de aproximación inicial (IAF Initial Approach Fix)
- Tramo de aproximación intermedio (IF Intermediate Fix)
- Tramo de aproximación final (FAF Final Approach Fix)
- Tramo de aproximación frustrada (MAP Missed Approach Point)

6.1.1. Tramo de aproximación inicial

Este tramo da inicio al primer tramo de la aproximación, mismo que termina en el tramo intermedio y ha sido designado para canalizar el tráfico proveniente de las diferentes aerovías, este tramo puede ser diseñado de diferentes maneras, como pueden ser, Arco DME, Radial de un VOR, QDM de un NDB, Virajes de Procedimiento, Patrón de Espera,

Vectores Radar, GPS o una combinación de estos. Todo dependerá principalmente de las condiciones orográficas de cada aeropuerto y de la cantidad de aerovías que alimentan a este.

Normalmente encontraremos este tramo en las cartas de aproximación con las letras (IAF), y aunque no hay especificada una distancia máxima para este tramo, normalmente nunca exceden de 50 MN, es importante tener en cuenta que garantizan un libramiento de obstáculos de por lo menos 1,000 pies AGL dentro de una cobertura de 4 MN a cada lado del centro de este, por lo que es muy importante ser muy precisos en mantenerse en el centro.

El viraje final de este tramo hacia el tramo intermedio no puede ser mayor a 120° , pero, cuando es mayor de 90° se debe de marcar una “radial guía”, la cual debe de estar situada a no menos de 2 MN del IF y marcará el momento en que se debe de iniciar el viraje hacia el Tramo Intermedio. Cuando este tramo es un Arco DME, este no deberá de ser menor de 7 DME de radio y aplica la “radial guía” en caso de que el último viraje exceda de 90° .

Cuando se utiliza un viraje de procedimiento, ya sea de gota o de 45° o bien un patrón de espera, éste formará parte del tramo inicial y terminará en el FAF; sin embargo, en el momento en el que se intercepta la radial de entrada antes del FAF, ya se está volando en el tramo intermedio. Es importante aclarar que cuando se vuela este tipo de procedimientos en los que el VOR o en su caso el NDB están localizados en el aeropuerto, el tramo inicial técnicamente no existe; sin embargo, en la práctica podríamos en un momento dado considerarlo así, ya que como veremos más adelante en el Tramo Intermedio el libramiento de obstáculos se reduce a solo 500 pies, por lo que hacerlo así nos dará una mayor seguridad.

Cuando el IAF no forma parte de la aerovía, se designa un tramo llamado Ruta Alimentadora, (Feeder route) y se refiere a una derrota de transición entre la aerovía y el IAF, esto es llamado por algunos como el quinto tramo de una aproximación.

Una de las condiciones que determinan este tramo (el Inicial) es la velocidad, como se trata de canalizar a las aeronaves provenientes de las diferentes aerovías, es muy importante que estas mantengan ya una velocidad reducida e igual, para así poder mantenerlas a una distancia adecuada, es por eso que en esta parte de la aproximación se comience a disminuir la velocidad a la mínima de aproximación. Esto por supuesto dependerá de la distancia del tramo y del descenso requerido.

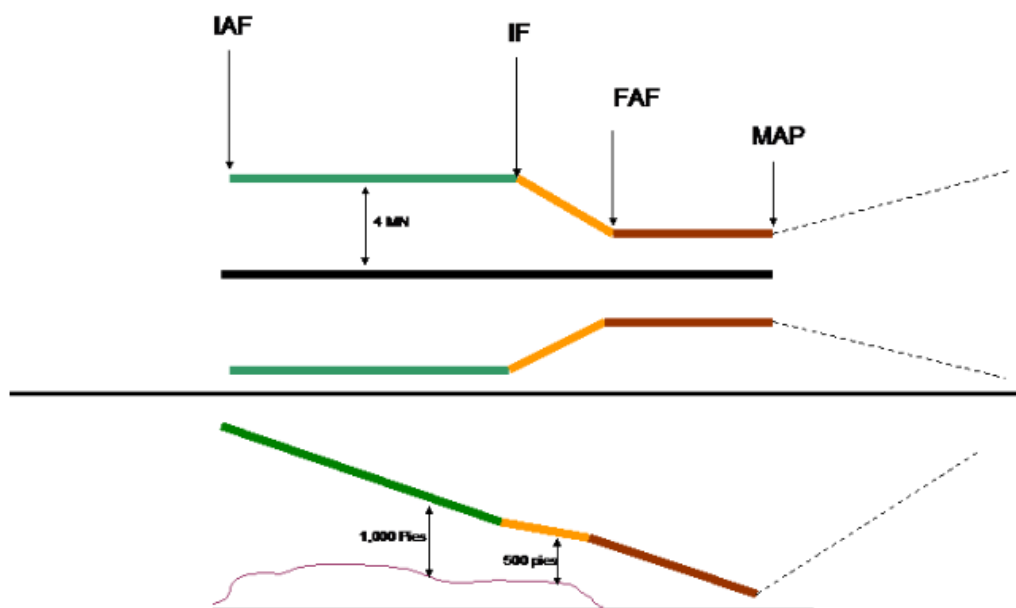


Imagen 25. Fases de una aproximación. Fuente: aerowiki

6.1.2. Tramo de aproximación intermedio

Este tramo marca el fin del tramo inicial y el comienzo del tramo intermedio y terminará en el tramo de aproximación final (FAF), como en el FAF ya se debe de tener el avión en configuración de aterrizaje, el tramo Intermedio se utilizará precisamente para preparar a la aeronave para esta configuración; esto quiere decir, que aquí es en donde se ajusta la velocidad de referencia (V_{ref}), los flaps, el tren de aterrizaje, las listas de comprobación adecuadas, etc.

Como podemos ver es un tramo especialmente importante, aunque si bien es cierto y tal como lo mencionamos, existen aproximaciones que no marcan el IF; sin embargo, y en términos generales, este tramo normalmente debe de estar alineado con el curso final de la aproximación; no obstante, en ocasiones y debido a las condiciones ortográficas o de obstáculos hechos por el hombre de algún aeropuerto en específico, esto no siempre es posible, por lo que si el rumbo de entrada al tramo Intermedio no es igual al del tramo final, este no podrá tener una diferencia mayor a 30° . Por otro lado, es de suma importancia que este tramo tenga un gradiente de descenso lo menos pronunciado posible, por lo que normalmente se diseñan con descensos de 150 pies por milla náutica, y nunca con más de 318 Ft/MN, a menos de que este tramo este ya unido a un ILS.

La distancia en esta parte de la aproximación varía entre 15 y 5 MN, la distancia óptima es de 10, y el ancho de protección en la zona primaria comienza con las 4 millas náuticas del tramo anterior y se va reduciendo al ancho de protección que corresponda al tipo de aproximación de que se trate en el FAF. Es importante mencionar que la protección del libramiento de obstáculos se reduce a 500 pies, por lo que ahora se requerirá de una mayor exactitud en las altitudes mínimas marcadas.

6.1.3. Tramo de aproximación final

Este tramo marca el final del IF y el comienzo del tramo final, el cual termina en el tramo de aproximación frustrada (MAP) y es marcado en las cartas con la “cruz maltesa”, normalmente en una aproximación ILS corresponde al marcador exterior (OM), esto significa que el FAF normalmente estará situado entre 4 y 7 MN del umbral de la pista. Como podemos ver la distancia de este sector es muy pequeña y además en forma de embudo, por lo que entre más nos acercamos al MAP, más precisos debemos de ser.

Durante este tramo la aeronave debe de estar ya en configuración de aterrizaje, esto es, con el tren abajo, la velocidad ajustada a V_{ref} , los flaps con los grados que marque el manual de operación del avión, las listas de comprobación terminadas, sin cambios en la velocidad indicada, sin cambios de rumbo, con un gradiente de descenso adecuado y sin cambios bruscos.

6.1.4. Tramo de aproximación frustrada

Este tramo, marca el final del tramo de aproximación final y por lo tanto el inicio de la aproximación frustrada, la cual es la continuación del procedimiento de aproximación. Es aquí en donde se toma la decisión de continuar con el procedimiento o bien, si todo está en orden, continuar con el aterrizaje. Esto no quiere decir que no podamos realizar una fallida antes del MAP o aún después de este, todo dependerá de las circunstancias.

Pero en términos de tramos, este último comienza en el MAP, identificado en las cartas con la letra “M” para las aproximaciones de No-precisión y en la DA (DH) para las de precisión y terminará en el patrón de espera designado para este procedimiento.

Es de suma importancia que antes de dar inicio a una aproximación se entiendan claramente las instrucciones a seguir y que la tripulación por medio de una lectura previa (briefing), detalle todos los tramos de ésta, así no tendremos dudas al momento de

ejecutarla, hay que recordar que la carga de trabajo en estos momentos es cuando más se eleva.

6.2. Descripción de una aproximación LPV-200

La agencia del GNSS europeo (GSA) ha puesto en marcha una nueva tecnología que ofrece a los pilotos instrumentos mejorados para aterrizajes de aviones más seguros, incluso en condiciones meteorológicas adversas de categoría I. El anuncio se realizó en el taller anual de EGNOS (Service provision workshop). (European Satellite Services Provider, 2017)

LPV-200 es un nivel de servicio EGNOS que permite las aproximaciones 3D instrumentales de tipo A o B basadas en SBAS de acuerdo con lo estipulado en el Anexo 10 de OACI para aproximaciones de precisión de Categoría I con requerimientos de SIS (Signal In Space) y VAL (Vertical Alert Limit) de 35 m (equivalente a ILS CAT I). La altura de decisión de dicho sistema es de 200 ft (61 m) y las aproximaciones realizadas empleando dicho sistema son, como ya se ha mencionado, de tipo instrumental y de precisión (IAP o Instrument Approach Procedure). Proporciona información precisa sobre el enfoque de una aeronave a una pista con el uso de tecnología de posicionamiento GNSS, así como guiado vertical y lateral sin la necesidad de contacto visual con el suelo de la aeronave hasta alcanzar una altura de 200 pies (61 metros). (European Satellite Services Provider, 2017)

La altura de 200 pies se corresponde con la altura de decisión. Estos sistemas de aproximación basados en sistemas EGNOS se consideran como aproximaciones con ILS, pero sin necesidad del enorme gasto que supone instalar el sistema de tierra. EGNOS LPV 200 proporciona todas las ventajas de una aproximación ILS CAT I, además de la flexibilidad de una aproximación basada en PBN. Este párrafo, y las siguientes ventajas

están recogidas en el documento citado a continuación. (European Satellite Services Provider, 2017)

- Reducción de los riesgos asociados con el aterrizaje en condiciones de mal tiempo.

- Mejor accesibilidad a los aeropuertos.

- Reducción de retrasos, desvíos y cancelaciones.

- Mantenimiento de los niveles de seguridad.

- Mayor robustez frente a perturbaciones ionosféricas, lo que supone un aumento de la cobertura.

Los requisitos de LPV-200 son más estrictos que los de APV-I. Como ya se sabe, LPV-200 pertenece a la APV. La diferencia entre APV-I y LPV-200 radica en que, el primero de ellos presenta mínimos menos restrictivos, es decir, menos precisión, aunque también hace uso de sistemas SBAS. (European Satellite Services Provider, 2017)

6.3. Requerimientos de la operación

Los mínimos que se deben cumplir para llevar a cabo una operación LPV-200 son los siguientes, y están recogidos en el documento citado a continuación. (Picasso Hernández, 2017)

- Precisión: El HNSE (Horizontal Navigation System Error) debe ser menor de 16 mn mientras que el VNSE (Vertical Navigation System Error) debe ser de 4 a 6 mn.

- Continuidad: Se considera que se ha dado un evento de continuidad cuando se produce un fallo en la misma. Se considera fallo cuando el sistema está disponible al

principio de una operación y en al menos uno de los siguientes 15 segundos pasa a no estarlo.

- Disponibilidad: Mide el tiempo en el que el sistema es utilizable en el área de cobertura. El sistema debe estar utilizable al menos el 99% del tiempo.

- Integridad: Se debe cumplir que el índice de seguridad, definido como ratio entre el Error del Sistema de Navegación contra el Nivel de Protección para cada segundo, debe ser menor que 1 siempre para que no se dé una situación de información engañosa.

6.4. Beneficios

Como ya se ha mencionado anteriormente, el sistema LPV-200 se emplea en aproximaciones instrumentales de precisión de tipo A o B, equivalentes a un ILS de CAT I. Se enuncian a continuación los beneficios que presenta dicho sistema en su funcionamiento, estos beneficios se encuentran recogidos en el siguiente documento citado. (Honeywell, 2019)

- Provee de guiado lateral y vertical sin contacto visual del suelo hasta una altura de decisión de 200 ft.
- Habilita RNP APCH con los mínimos de LPV hasta los 200 ft y proporciona ayuda en los procedimientos de aproximación 3D de tipo A y B de CAT I.
- Habilita las aproximaciones de precisión donde aún hoy no es posible realizarlas.
- Presenta mínimos en DH (Decision Height) menores que para APV-Baro.
- Presenta menor impacto operacional manteniendo los niveles de seguridad.

Todo esto se traduce en un mayor número de beneficios tanto directos como indirectos.

En cuanto a los requisitos de disponibilidad de LPV-200, se establece que para un nivel de protección (xPL) menor que el nivel de alerta (xAL), de acuerdo con la probabilidad de que el VNSE exceda los mínimos:

- 10 m en operación con condiciones de sistema nominal, establecidas a 10^{-7} / por aproximación.

- 15 m para operación con condiciones de sistema degradado a 10^{-5} /por aproximación. Los requisitos de continuidad son los mismos que los establecidos para disponibilidad.

Por otro lado, es importante hablar de los problemas que resuelve el sistema LPV-200:

- Seguridad en los horarios en vuelos chárter o programados debido a la ausencia de ayudas tradicionales de aproximación en tierra en destinos remotos.

- Coste de nueva infraestructura (ILS presenta en este aspecto mayor coste de infraestructura y mantenimiento).

- Gasto de combustible en aproximaciones de no precisión (ahorro).

- Debilidades de ILS: o Área “limpia”. o Alineación con la pista. o Fallos de equipamiento ILS en tierra. o Problemas ocasionales con la senda de planeo provocando perturbaciones.

- Reducción del mantenimiento del aeropuerto al eliminar instalaciones ILS.

- Sustitución de ILS CAT I. En cuanto a los beneficios operacionales:

- Se parece a ILS.

- Permite la implementación de requisitos RNAV.
- Se encuentra en un proceso de expansión global.
- Supone un ahorro inmediato con su implantación.
- La instalación en todas las aeronaves es razonable y alcanzable.
- Existencia del CMA-5024, un servicio certificado y probado de aerolíneas con LPV.

- Se reduce la dependencia de radioayudas terrestres
- Seguridad mejorada debido al guiado vertical.
- Ausencia de errores en la captura de la senda de planeo.
- Sin limitaciones debido al frío.

Y los beneficios que presenta la infraestructura incluyen la independencia de la variación en el terreno, que no afecta a la precisión de la aproximación. Por otro lado, no requiere mantenimiento al tratarse de un sistema basado en satélite. Además, presenta interoperabilidad con el resto de los sistemas SBAS, con lo que tan solo necesita un receptor para dichos sistemas.

6.5. Funcionamiento

El funcionamiento de un procedimiento LPV esta recogido en la siguiente publicación.
(GSA, 2019)

Como ya se ha mencionado, se trata de un sistema SBAS, concretamente de un servicio ofrecido por EGNOS. Esto implica que su funcionamiento es igual al de dichos sistemas de aumentación.

Se trata de funcionamiento conjunto con SBAS, sistema basado en aumentación por satélite. El usuario recibe la información de la aumentación de la constelación por medio de un satélite geoestacionario. El SBAS complementa a la constelación de satélites de GPS incrementando su precisión, continuidad y disponibilidad prevista dentro de un área de servicio.

Cuatro satélites geoestacionarios proporcionan datos corregidos al usuario, estos satélites, a diferencia de los de GPS, no tienen generadores de señal a bordo. Estos satélites geoestacionarios se encargan de retransmitir las señales corregidas en tierra por las estaciones RIMS. Estas estaciones miden las posiciones de cada satélite de EGNOS y comparan la precisión obtenida de la posición de cada satélite GPS con las medidas obtenidas de cada uno de los satélites.

Una vez corregido el error, las estaciones RIMS mandan las señales corregidas a las estaciones de control principal MCC, las cuales se encargan de enviar los datos corregidos a los satélites EGNOS por medio de estaciones en tierra llamadas NLES.

**PARTE III – DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO Y
COMPARACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

7. Aproximación actual Tenerife Norte

En el apartado anterior se ha descrito a fondo la aproximación RNP APCH LPV – 200 que es la aproximación idónea dadas las condiciones meteorológicas del aeropuerto. Para diseñar dicha aproximación sería necesario hacer uso de 2 documentos publicados por la OACI:

- Doc 9613 AN/937 Performance-Based Navigation (PBN) Manual. Este documento proporciona los requerimientos de la aproximación RNP APCH LPV-200.
- Doc 8168 OPS/611 Operación de aeronaves, Volumen II, Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos. Este documento aporta los datos para calcular distancias y el resto de las variables necesarias para la construcción de la aproximación.

La combinación de estos dos documentos permitiría la creación de la aproximación RNP APCH LPV – 200, pero este no es el objetivo del trabajo, ya que eso es algo más técnico y de cumplimiento de reglamentos, cuando lo que se busca es realizar un estudio y una comparativa de la propuesta realizada. Pero si alguien quisiera realizar la implementación de la aproximación, con esos dos documentos sería posible llevarla a cabo.

A continuación, mostraré y analizaré la aproximación actual del aeropuerto, y a raíz de la actual aproximación ILS, realizaré una serie de cambios, que permitirá mejorar la eficiencia de las aproximaciones de este aeropuerto.

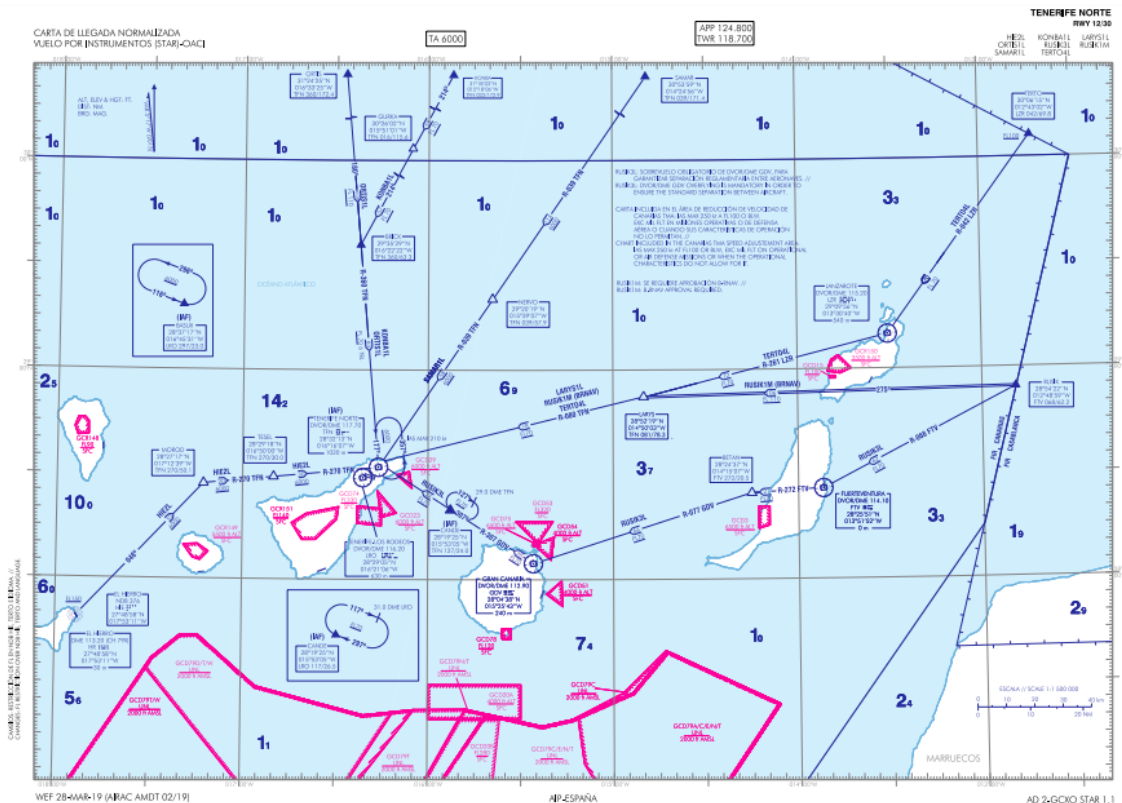


imagen 26. Carta de llegada normalizada vuelo por instrumentos STAR. Fuente: AIP

En la imagen 26 se puede ver la carta de llegada normalizada por instrumentos del aeropuerto de Tenerife Norte, dejando de lado los problemas comentados en apartados anteriores relacionados con las condiciones meteorológicas que se crean por la complejidad orográfica del aeropuerto, vamos a centrarnos en la gestión actual del espacio aéreo.

Se puede apreciar que actualmente el aeropuerto cuenta con 8 llegadas normalizadas por instrumentos:

- Llegada HIERRO DOS LIMA (HIE2L)
- Llegada KONBA UNO LIMA (KONBA1L)
- Llegada LARYS UNO LIMA (LARYS1L)
- Llegada ORTIS UNO LIMA (ORTIS1L)

- Llegada RUSIK TRES LIMA (RUSIK3L)
- Llegada RUSIK UNO MIKE (RUSIK1M) B-RNAV.
- Llegada SAMAR UNO LIMA (SAMAR1L)
- Llegada TERTO CUATRO LIMA (TERTO4L)

Analizar las distintas llegadas normalizadas por instrumentos resulta interesante ya que se aprecia que todas las llegadas excepto la llegada HIERRO DOS LIMA llegan desde una dirección similar a la IAF, lo que puede generar una gran densidad de aviones volando en un mismo sector del espacio aéreo en determinados momentos, lo que derivará en retrasos en los vuelos.

Ya que la mayoría del tráfico viene de una dirección similar, la llegada para que se van a proponer las mejoras son para la pista 30, que en este caso es la cabecera principal del aeropuerto, cabe decir, que, por el tráfico, el clima, o cualquier otra circunstancia pertinente, que así lo requiera, la pista de aterrizaje sería la 12 en vez de la 30.

A continuación, veremos las dos llegadas ILS Z y ILS Y publicadas para la pista 30 en la AIP.

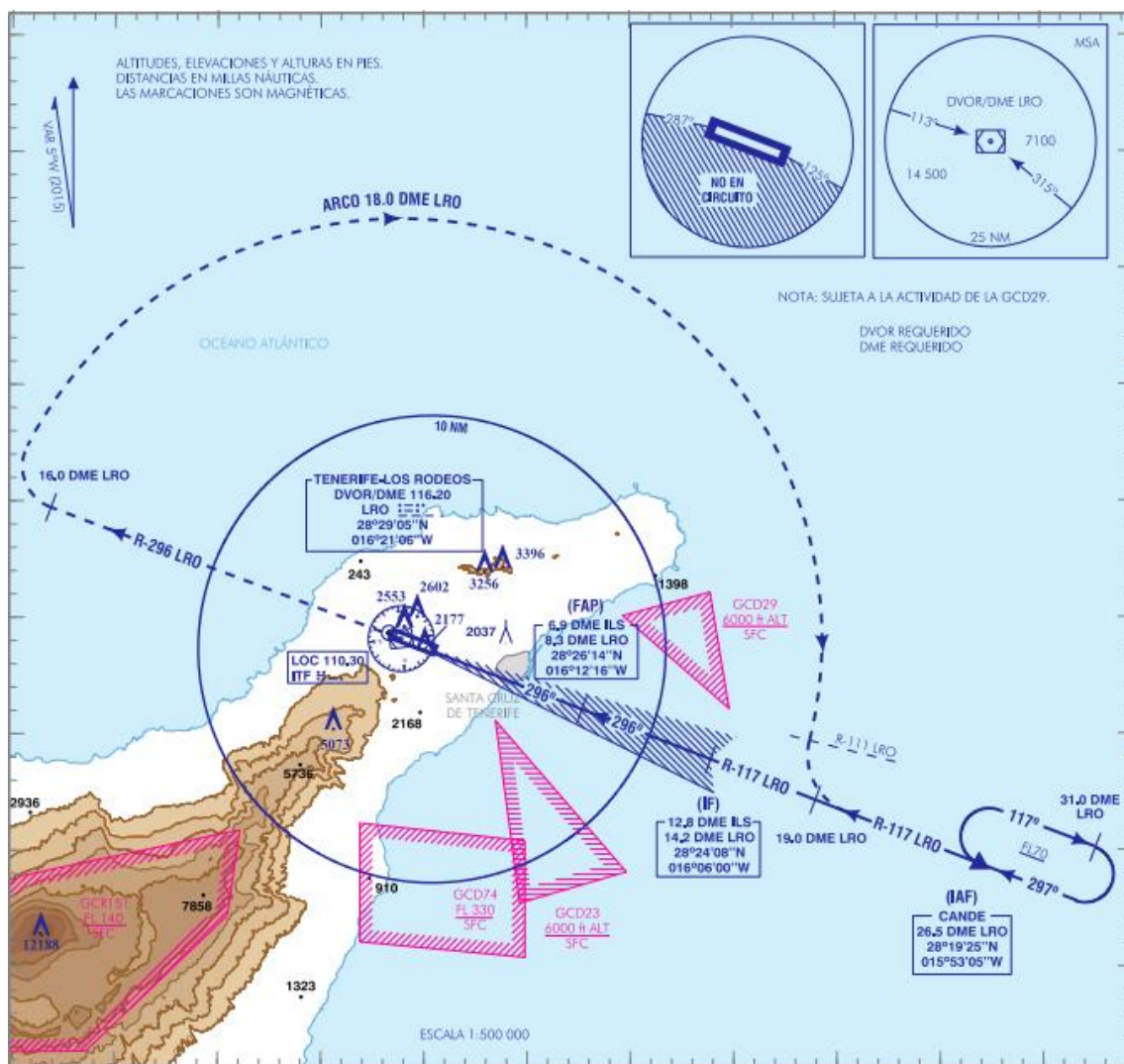


imagen 27. Carta de aproximación por instrumentos Tenerife Norte ILS Y RWY 30. Fuente: AIP

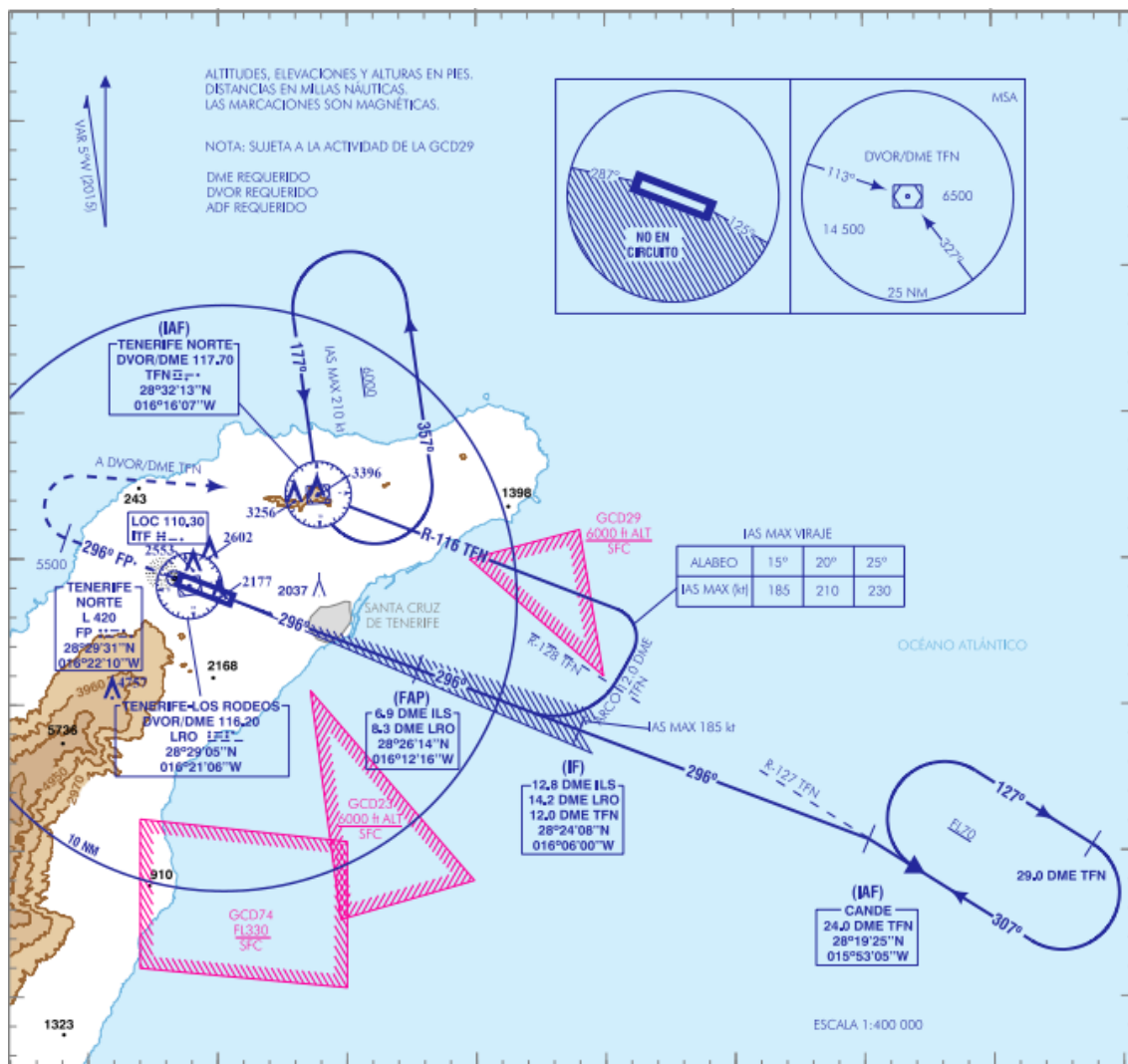


imagen 28. Carta de aproximación por instrumentos Tenerife Norte ILS Z RWY 30. Fuente: AIP

Empezaremos comentando las cosas que ya son óptimas de estas llegadas. Los tramos de aproximación IAF, IF, FAP desde el punto de vista de la eficiencia de la gestión del espacio aéreo ya son tramos óptimos gracias a su sencillez, como se puede ver prácticamente es una línea recta desde el IAF hasta la entrada a la pista, hay un aspecto que podría añadirle tensión a la llegada y es que para llegar a la pista el avión tiene que pasar entre dos zonas peligrosas. Estas zonas peligrosas son GCD 23 MORISCOS, en la cual se realizan ejercicios de tiro y dicha actividad está anunciada por NOTAM y cuenta con coordinación con la torre de Tenerife Norte. La otra zona peligrosa por la que tiene que pasar es la GCD 29 S.ANDRÉS, en la cual se realizan ejercicios de tiro de costa, al

igual que la anterior, la actividad está anunciada por NOTAM y cuenta con coordinación con la torre de Tenerife Norte.

Ambas llegadas son correctas, y posiblemente funcionen bien durante la mayoría del año, pero en épocas del año con un mayor volumen de tráfico, como por ejemplo en verano, ya que Tenerife es un destino muy solicitado, las actuales llegadas dejan de ser eficientes.

En la llegada ILS Y solo hay una zona de espera, lo cual provocaría que en picos de trabajo el tiempo de espera para aterrizar sea muy alto, y no solo eso, sino que imaginemos que algún avión tiene una aproximación frustrada, ese avión vuelve a la zona de espera, con lo cual podemos afirmar que tener una sola zona de espera para un aeropuerto con tanto tráfico no es compatible con tener una gestión eficiente del espacio aéreo.

Por otro lado, la llegada ILS Z sí que cuenta con dos zonas de espera, pero una de ellas es solo para cuando la aeronave tiene una aproximación frustrada, de las dos llegadas analizadas es la mejor, pero sigue sin ser una llegada eficiente ya que tiene los mismos problemas que la anterior. Cabe destacar que en esta llegada si tienes una aproximación frustrada el avión tiene que pasar por la zona peligrosa anteriormente descrita GCD29.

Con estas observaciones se puede afirmar que en momentos en los que muchas aeronaves quieran aterrizar en el aeropuerto de Tenerife Norte en un periodo de tiempo corto, el aterrizaje se demorará más tiempo de lo deseable.

Descritos los problemas que hacen estas llegadas poco eficientes, me dispongo a diseñar una aproximación RNP, que permite mejorar la eficiencia del espacio aéreo de Tenerife norte y que por supuesto permita el aterrizaje seguro en condiciones de baja visibilidad que son los principales objetivos de este trabajo.

7.1. Diseño aproximación RNP

Antes de comenzar con el diseño, hay que comentar que las aproximaciones actuales ILS del aeropuerto de Tenerife Norte son lo más eficientes posibles con la tecnología disponible en la actualidad.

Como se ha estudiado en este trabajo una de las posibilidades que te ofrece una llegada RNP es que prácticamente el avión puede pasar por cualquier lugar sin necesidad de radio ayudas, aprovecharemos este factor para colocar en vez de una, dos zonas de espera, en el lugar que más nos convenga, en este caso, la idea es colocar las dos zonas de espera a la altura de donde comienza el IAF, una a su izquierda y otra a su derecha, a continuación lo veremos visualmente, haciendo que las dos zonas de espera acaben en el tramo inicial de la aproximación.

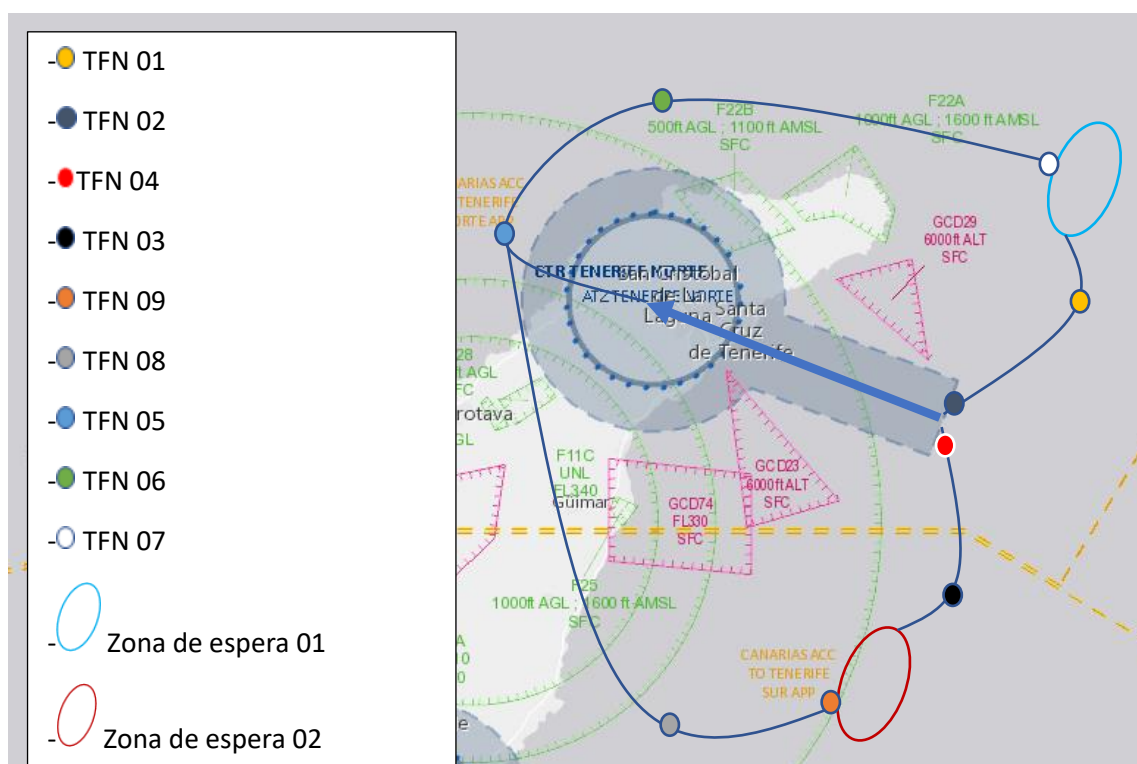


imagen 29. Propuesta de nueva aproximación.

Como podemos ver en la imagen 29, con esta idea conseguiremos dos zonas de espera mucho menos densas en cuanto a nivel de tráfico que en las cartas publicadas actualmente ya que tenemos dos zonas de espera en vez de una, y si un avión hace una aproximación frustrada el avión volvería a la misma zona de espera en la cual se encontraba anteriormente, para así no sobrecargar ninguna de las dos.

A que zona de espera irá cada avión lo decidirá el controlador, siempre teniendo la posibilidad de utilizar cualquiera de las dos, y escogiendo según su criterio lo mejor en cada momento. A continuación, describiré como se llevará a cabo esta aproximación.

Las aeronaves llegarán a la zona de espera 01 o 02, que como he comentado anteriormente, será el controlador quien lo decida.

Empezaremos con el ejemplo de que el avión llegue a la zona de espera 01, cuando el controlador le de el visto bueno, el avión saldrá rumbo a TFN 01, punto en el cual tendrá que virar para dirigirse hacia TFN 02, una vez llegado a este punto, el piloto comenzará a dirigir la aeronave hacia el IAF, y si todo va bien, aterrizará. Imaginemos que es necesaria una aproximación frustrada para un avión que viene desde la zona de espera 01, entonces la aeronave se dirigirá hacia el punto TFN 05, en el cual virará hacia su derecha para encontrarse con el punto TFN 06, una vez aquí la aeronave mantendrá el rumbo en línea recta hasta llegar a TFN 07, donde el avión volverá a entrar en su zona de espera designada, para repetir el proceso.

Ahora supongamos que el avión llegue a la zona de espera 02, una vez el controlador le haya dado el visto bueno, el avión se dirigirá hacia TFN 03, punto en el cual virará para dirigirse al punto TFN 04, zona en la cual comenzara el IAF, si todo sucede según lo previsto la aeronave aterrizará, pero, si por cualquier causa, fuera necesaria una aproximación frustrada para esta aeronave, entonces pondrá rumbo hacia TFN 05, punto

en el cual es donde difieren las dos rutas según el avión venga de zona de espera 01 o 02, y desde TFN 05 pondrá rumbo hacia TFN 08, punto en el cual virará hacia su izquierda para encontrarse con TFN 09. Una vez se llegue al punto TFN 09, el avión entrará en su zona de espera, y se dispondrá a repetir el proceso.

Con esta nueva aproximación, vamos a tener dos ventajas muy importantes con respecto a las actuales llegadas publicadas. Aunque también me gustaría destacar un aspecto importante, y es que ahora, con esta propuesta, se evita que los aviones pasen por zonas peligrosas, cosa que siempre es positiva.

Por un lado, tenemos que la aproximación LPV-200, descrita anteriormente, termina con los problemas de visibilidad que ocasionalmente se generan en el aeropuerto de Tenerife Norte por la niebla, evitando así la desviación de un gran número de vuelos. En términos técnicos esta operación permite llevar a cabo procedimientos de aproximación equivalentes a un procedimiento de aterrizaje por instrumentos CAT I. Esto permite la orientación vertical, lateral y angular durante la fase de aproximación final sin que sea necesario el contacto visual con el terreno hasta una altura de decisión de solo 200 pies por encima de la pista de aterrizaje.

Y, por otro lado, solucionando el principal problema que era la visibilidad, obtenemos una mejora considerable de la calidad de la llegada, obtenemos beneficios como reducción en demoras, desvíos y cancelaciones gracias a los mínimos más bajos durante el aterrizaje lo que reduce los costes operativos para no volar hacia aeropuertos alternos.

PARTE IV – CONCLUSIONES

8. Conclusiones

La realización del presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un nuevo procedimiento que mejore la navegación en condiciones de baja visibilidad y mejore la gestión del tráfico aéreo en el aeropuerto de Tenerife Norte, describiendo y utilizando los últimos avances tecnológicos en navegación aérea.

Indudablemente con la recomendación que ha realizado la OACI a los estados contratantes para la implantación de la Navegación Basada en Prestaciones, la tendencia por todos los estados contratantes es ir realizando el cambio hacia este tipo de navegación en su espacio aéreo poco a poco. Después de realizar este estudio, no cabe duda de que este nuevo tipo de navegación es un gran salto de calidad.

A lo largo del trabajo, como se ha ido mencionando, se ha realizado un diseño de la aproximación para la pista 30 del aeropuerto de Tenerife Norte, este diseño es posible gracias a la nueva Performance Based Navigation, tema muy importante en este trabajo también. Para conseguir hacer este diseño se ha tenido que entender y comprender todo este nuevo tipo de navegación, para así poder proponer algo coherente no solo desde el punto de vista de la PBN, sino también con el estado actual del tráfico en dicho aeropuerto.

Se puede concluir que el resultado de este proyecto es exitoso, alcanzándose los objetivos marcados antes de empezar este trabajo, que eran diseñar una nueva aproximación RNP que utiliza la navegación PBN, y realizar un estudio sobre este tipo de navegación.

Se ha demostrado que la implantación de la PBN en el aeropuerto de Tenerife Norte aportaría numerosas e importantes mejoras, lo que hace muy interesante plantear implementar este tipo de aproximación en la vida real.

9. Bibliografía

AENA. (2019). *Presentación del aeropuerto*.

AeroWiki. (2014). *Fases de una aproximación*.

Armendariz, L. (2019). *El Sistema Galileo*.

AVIACIÓN DIGITAL. (2018). *CPDLC*.

Blanco Hernández, J. (2018). *Fundamentos del GPS y aplicaciones con navegadores*.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2019). *El sistema ATM*.

Díaz, J. C., & Utrilla, L. (2006). *Historia del Aeropuerto de Tenerife Norte*.

Díaz Lorenzo, J. C. (2019). *El trágico accidente de Los Rodeos, 42 años después*.

DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL. (2011). *SISTEMAS DE VIGILANCIA Y ANTICOLISION*.

DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL. (2012). *RADIOAYUDAS A LA NAVEGACIÓN*.

Enaire. (2017). *Reglas de vuelo visual*.

Enaire. (2019). *Clasificación y descripción del espacio aéreo ATS*.

ENAIRES. (2018). *Reglas de vuelo por instrumentos*.

ENAIRES. (2019a). *Control de tráfico aéreo (ATC)*.

ENAIRES. (2019b). *Gestión de afluencia y capacidad (AFTCM)*.

ENAIRES. (2019c). *Gestión del espacio aéreo (ASM)*.

EOS LATAM. (2018). *QUE ES SBAS*.

Europea, C. (2012). *EGNOS y Galileo*.

- European Satellite Services Provider. (2017). *RNP APCH down to LPV minima*.
- Great bustard's flight. (2015). *La PBN dentro del concepto de espacio aéreo*.
- Great bustard's flight. (2018). *Clarificando los conceptos ABAS, SBAS Y GBAS*.
- GSA. (2019). *EGNOS LPV 200*.
- GSA. (2020). *GALILEO*.
- Hispaviación. (2019). *Comunicaciones aeronáuticas para el futuro*.
- Honeywell. (2019). *The benefits of LPV approach operations for the airline operator*.
- Huidobro, J. M. (2013). *Comunicaciones Aeronáuticas y Marítimas*.
- ICAO. (2013). *Guia de orientación para la implantación de aplicaciones de enlaces de datos aire-tierra en la region SAM*.
- María Represa Suevos, M. (2019). *CONCEPTOS RNAV-RNP Y PBN*.
- MORORCOM. (2020). *ATIS&VOLMET*.
- OACI. (2008). *Manual de Navegación Basada en la Performance*.
- Perera Ibrahim, A. (2015). *Sistema global de navegación por satélite*.
- Picasso Hernández, R. (2017). *Integración de los sistemas satelitales para la navegación mundial en la aviación mexicana*.
- Ramos, D. (2019). *Tenerife Norte, entre nieblas*.
- Romeo, V., & Marzol, V. (2015). *Analisis del viento y la niebla en el aeropuerto de los rodeos. Cambios y tendencias*.
- Secretaria de Estado de infraestructuras, Secretaria General de Transporte, & Dirección General de Aviacion Civil. (2014). *Política y Marco Estratégico de Referencia para la Implantación en España de la "Navegación Basada en las Prestaciones (PBN)."*

SESAR. (2020). *Single European sky atm research joint undertaking*.

UNED. (2018). *Sistema global de navegacion por satellite GNSS*.

Valero, B., Garrido Villén, J. L., & Romá, C. N. (2019). *GNSS: GPS, CALILEO, GLONASS, BEIDOU. Fundamentos y metodos de posicionamiento*.