



Trabajo Final de Grado

Grado Ingeniería Aeroespacial

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño de un procedimiento de Aproximación Basada en Prestaciones empleando GNSS y SBAS

Aeropuerto de Alicante

Tutor:

PEDRO YUSTE
PÉREZ

pyuste@disca.upv.es

Autora:

IRENE PAREJA
GONZÁLEZ

esp699irene@gmail.com

Junio 2019

*A mi madre y a mi hermano por
ese cariño y amor incondicional.
A mi padre por ser una fuente de
inspiración, sabiduría y
motivación para permitirme
llegar hasta aquí.*

ÍNDICE GENERAL

PARTE I – INTRODUCCIÓN

1.	Motivación.....	15
2.	Objetivos	15
3.	Planteamiento del problema	16
4.	Aeropuerto de Alicante	18
4.1.	Descripción	18
4.2.	Historia	20
4.3.	Geografía y clima	21
4.4.	Tráfico de pasajeros.....	25
4.5.	Rutas y espacios aeronáuticos.....	26
4.6.	Flota usuaria	28
4.7.	Descripción de las principales aeronaves usuarias del aeropuerto	28
4.7.1.	Descripción del B737-800	28
4.7.2.	Descripción del A320 Sharklets.....	30
4.7.3.	Descripción del B747	31

PARTE II – PROCEDIMIENTO RNP APCH LPV-200

5.	Navegación Basada en Prestaciones.....	33
5.1.	Concepto PNB, RNAV y GNSS.....	33
5.2.	Operaciones PBN	36
5.3.	Navegación PBN y sistemas GNSS.....	39
6.	Aproximación LPV-200.....	41
6.1.	Fases de una aproximación.....	41
6.2.	Descripción de una aproximación LPV-200.....	42
6.3.	Beneficios	43
6.4.	Requerimientos de la operación.....	44
7.	Procedimiento RNP APCH LPV-200	45

7.1.	Introducción	45
7.2.	Generalidades de la operación	46
7.3.	Descripción de los requerimientos de la operación	46
7.3.1.	Categoría de aeronave.....	47
7.3.2.	Velocidades IAS para cálculo del procedimiento	47
7.3.3.	Protección lateral	48
7.3.4.	Protección vertical.....	49
7.3.5.	Cálculo TAS	50
7.3.6.	Ángulo lateral, radio viraje y protección de los virajes	51
7.3.7.	Determinación de longitud mínima del tramo RNAV	53
7.4.	Descripción de las generalidades de los tramos de la operación.....	56
7.4.1.	Tramo de aproximación inicial.....	56
7.4.2.	Espera	58
7.4.3.	Tramo de aproximación intermedio	63
7.4.4.	Tramo de aproximación final (FAS).....	64
7.4.4.1.	Descripción OAS.....	65
7.4.4.2.	Descripción OCA/H	68
7.4.5.	Aproximación frustrada.....	69

PARTE III – DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO RNP APCH LPV-200 PARA LA PISTA 28

8.	Tramo de aproximación inicial.....	71
9.	ESpera.....	71
10.	Tramo de aproximación intermedio	73
11.	Tramo de aproximación final.....	75
11.1.	Descripción OAS.....	77
11.2.	Descripción OCA/H	79
12.	Aproximación frustrada.....	81
13.	Resumen de la ruta.....	84
14.	Superficies de protección horizontal de la ruta	85

PARTE IV - CONCLUSIÓN Y PRESUPUESTO

15.	Conclusiones.....	87
16.	Pliego de condiciones	88

17.	Presupuesto.....	89
17.1.	Obtención de información.....	89
17.2.	Diseño del procedimiento.....	89
17.3.	Licencias del software.....	90
17.4.	Total.....	90
18.	Representación gráfica y descripción de software	91
18.1.	Representación gráfica de la aproximación calculada	91
18.2.	Descripción del software	93

PARTE V - ANEXOS

ANEXO 1 – Cartas Aeronáuticas	95
ANEXO 2 – Ficheros Matlab	96
ANEXO 3 – Documentos Excel	97
ANEXO 4 – Archivos KML	97

PARTE VI - BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: punto de paso y de sobrevuelo.....	17
Figura 2: Aeropuerto de Alicante	19
Figura 3: pista Aeropuerto Alicante.....	19
Figura 4: rosa de vientos pista LEAL	24
Figura 5: diagrama de frecuencias vientos pista LEAL.....	24
Figura 6: B737-800.....	29
Figura 7: A320 Sharklets	30
Figura 8: B747-800.....	31
Figura 9: especificaciones dependiendo de la fase de ruta	34
Figura 10: proyecto implantación PBN	35
Figura 11: implantación PBN.....	36
Figura 12: diferencia entre tipos de rutas.....	37
Figura 13: diferencia y utilización especificaciones.....	38
Figura 14: infraestructuras dependiendo de especificación.....	38
Figura 15: sistemas de aumentación y satélites.....	40
Figura 16: Fases de aproximación OACI.....	42
Figura 17: tipos RNP APCH	43
Figura 18: alturas decisión	43
Figura 19: Doc 9613 AN/937	45
Figura 20: Doc 8168 OPS/611.....	46
Figura 21: Corte del área de tramo en línea recta, indicando las áreas primaria y secundaria	49
Figura 22: Protección viraje RF.....	52
Figura 23: Determinación de la distancia mínima de estabilización.....	53
Figura 24: aproximación barra en Y.....	57
Figura 25: carta VOR Z RWY28	63
Figura 26: Sistema de coordenadas.....	66
Figura 27: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos	67
Figura 28: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos — vista en perspectiva	67
Figura 29: aproximación barra en Y.....	70
Figura 30: diseño de la espera.....	72
Figura 31: aproximación barra en Y.....	73
Figura 32: mínimos requeridos en cada tramo de la aproximación.....	74
Figura 33: diseño aproximación	76
Figura 34: perfil elevación de la aproximación	76
Figura 35: PANS-OPS OAS	77
Figura 36: Situación de FPAP (no existe ILS para la aproximación).....	78
Figura 37: Plantilla superficies OAS 2D	78

Figura 38: aproximación frustrada	83
Figura 39: perfil elevación aproximación frustrada	84
Figura 40: ruta completa aproximación a la pista 28	85
Figura 41: aproximación con protección lateral	86
Figura 42: Ruta de aproximación vista cenital	91
Figura 43: Perfil elevación aproximación.....	91
Figura 44: Ruta de aproximación con área rectangular de espera vista cenital.....	92
Figura 45: Ruta aproximación frustrada vista cenital.....	92
Figura 46: Perfil elevación aproximación frustrada	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: humedad, presión y temperatura	22
Tabla 2: porcentajes de casos de visibilidad y altura de nubes	22
Tabla 3: Porcentaje de operaciones nacionales regulares de 2018 respecto del total .	25
Tabla 4: porcentaje de movimientos por tipo de aeronave	28
Tabla 5: características B737-800.....	29
Tabla 6: características A320 Sharklets	31
Tabla 7: características B747-800.....	32
Tabla 8: clasificación por velocidades IAS.....	47
Tabla 9: Velocidades (IAS) para el cálculo de procedimientos en kilómetros por hora (km/h)	48
Tabla 10: protección lateral según normativa	48
Tabla 11: protección lateral tomada	49
Tabla 12: valores intermedios.....	51
Tabla 13: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de paso (unidades del SI, 15° de ángulo de inclinación lateral).....	54
Tabla 14: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de paso (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral).....	54
Tabla 15: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 15° de ángulo de inclinación lateral).....	55
Tabla 16: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral).....	55
Tabla 17: Longitud mínima de un tramo RNAV limitado por, como mínimo, un punto de recorrido que no es punto de recorrido de viraje.....	56
Tabla 18: Velocidades aerodinámicas para la construcción del área de espera	60
Tabla 19: Margen mínimo de franqueamiento de obstáculos en el área tope por encima de terreno bajo y llano	60
Tabla 20: factor de conversión IAS a TAS.....	62
Tabla 21: coordenadas del sistema de referencia local obtenidos del soporte OAS.....	78
Tabla 22: obstáculos estudiados	80
Tabla 23: OCA y OCH.....	81
Tabla 24: resumen ruta.....	84
Tabla 25: Horas invertidas en obtención de información	89
Tabla 26: Horas invertidas en el diseño del procedimiento	89
Tabla 27: Licencias de software.....	90
Tabla 28: Total presupuesto.....	90

NOMENCLATURA

Abreviaturas y acrónimos	Significado	
	Inglés	Castellano
ABAS	Aircraft Based Augmentation System	Sistema de aumentación basado en la aeronave
AENA	-	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
AIP	Aeronautical Information Publication	Publicación de Información Aeronáutica
APCH	Approach	Aproximación
APV	Approach Procedure with Vertical Guidance	Procedimiento de aproximación con guiado vertical
ATC	Air Traffic Control	Control de tráfico aéreo
ATZ	Aerodrome Transit Zone	Zona de Tránsito de Aeródromo
CAT	Category	Categoría
CTR	Control	Zona de Control
DA/H	Decision Altitude/Height	Altitud/Altura de decisión
DME	Distance Measurement Equipment	
EGNOS	European Geostationary Ground System	Sistema geoestacionario europeo
ETSID	-	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño
FAP	Final Approach Point	Punto de aproximación final
FAS	Final Approach Segment	Tramo de aproximación final
GBAS	Ground Based Augmentation System	Sistema de aumentación basado en tierra
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema	Sistema de posicionamiento global
GNSS	Global Navigation Satellite System	Sistema global de navegación por satélite
GP	Glide Path	Trayectoria de planeo

GPS	Global Positioning System	Sistema de posicionamiento global
IAF	Initial Approach Fix	Fijo de aproximación inicial
IAS	Indicated Aerodynamic Speed	Velocidad aerodinámica indicada
IATA	International Air Transport Association	Asociación internacional de transporte aéreo
IF	Intermediate approach fix	Fijo de aproximación intermedia
ILS	Instrument Landing System	Sistema de aterrizaje instrumental
ISA	International Standard Atmosphere	Atmósfera estándar internacional
LOC	Localizer	Localizador
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance	Prestaciones de localizador con guiado vertical
MAPt	Missed Approach Point	Punto de Aproximación Frustrada
MOC	Minimum Obstacle Clearance	Margen mínimo de franqueamiento de obstáculos
NDB	Non-Directional Beacon	Baliza no direccional
NM	Nautical Mile	Milla náutica
NOTAM	NOtice To AirMen	Aviso a Navegantes
OACI/ICAO	International Civil Aviation Organization	Organización de Aviación Civil Internacional
OAS	Obstacle Assessment Surface	Superficie de evaluación de obstáculos
OCA/H	Obstacle Clearance Altitude/Height	Altitud/Altura de franqueamiento de obstáculos
PBN	Performance-Based Navigation	Navegación basada en prestaciones
RDH	Reference Datum Height	Altura del punto de referencia
RNAV	aRea NAVigation	Navegación de área
RNP	Required Navigation Performance	Prestaciones de navegación requeridas
RWY	Runaway	Pista
SBAS	Satellite Based Augmentation System	Sistema de aumentación basado en satélite
SID	Standard Instrument Departure Chart	Carta de salida normalizada por instrumentos

SI	International System	Sistema internacional
SOC	Start of Climb	Comienzo de ascenso
STAR	Standard Terminal Arrival Route	Carta de llegada normalizada por instrumentos
TAS	True Airspeed	Velocidad verdadera
THR	Threshold	Umbral
TMA	Terminal Maneuvering Area	Área de control terminal
TWR	Tower	Torre
UPV	-	Universidad Politécnica de Valencia
VOR	Very high frequency Omnidirectional Radio range	Radiofaro omnidireccional VHF

I. INTRODUCCIÓN

1. MOTIVACIÓN

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) recomienda la implantación de la Navegación Basada en Prestaciones a los Estados Contratantes, siendo España uno de ellos. El motivo de ello es incrementar la capacidad del espacio aéreo y aeropuertos, mejorar su eficiencia y mejorar el acceso a aeropuertos con orografía complicada.

La implantación de la Navegación Basada en Prestaciones en el aeropuerto de Alicante acarrearía una mejora en la eficiencia del tráfico ya que se obtendría una ventaja operacional debido a la disminución de los mínimos de altura y un ahorro en el consumo de combustible y emisiones de CO₂ debido a la optimización del procedimiento de aproximación a la pista 28 del aeropuerto de Alicante.

En 2014 se diseñó un plan estratégico para llevar a cabo la implantación de la Navegación Basada en Prestaciones en el territorio español. Este proyecto sería una aportación para el cumplimiento de este plan. Por ello, la solución se desarrollada para un problema real ya que el aeropuerto de Alicante es uno de los aeropuertos españoles con mayor número de pasajeros transportados.

Por ello, la principal motivación de este proyecto es modernizar el aeropuerto de Alicante y aportar mejoras operacionales y medioambientales en sus procedimientos.

2. OBJETIVOS

Este proyecto plantea el diseño un procedimiento de aproximación al aeropuerto de Alicante-Elche para la aeronave de diseño del aeropuerto B747-800. En este procedimiento se incorpora el sistema de navegación global por satélite o GNSS y el sistema de aumentación por satélite SBAS a la aproximación de la pista 28.

Los principales objetivos son reducir los mínimos de altura para obtener una ventaja operacional y optimizar al máximo la ruta de aproximación utilizando Navegación Basada en Prestaciones para reducir la ruta y con ello el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

Además, se pretende modernizar el aeropuerto de Alicante ya que a fecha de hoy no incorpora en sus procedimientos los últimos avances en navegación aérea, como son las rutas RNP, que optimizan al máximo las rutas ya que pueden incorporar tramos curvos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Aeropuerto de Alicante tiene ILS solamente para la pista 10 ya que es la cabecera más utilizada debido a la configuración de vientos predominante en la zona. Para la pista 28 los procedimientos solamente se basan en los dos VOR/DME que tiene el aeropuerto. Cuando está en uso RWY28, los procedimientos cuentan con 3 IAF's. En primer lugar, está ALT VOR/DME con STAR RESTU1N, utilizada para tráficos origen Canarias, zona Sur de Portugal (Faro...), Sevilla o Málaga. En segundo lugar, tenemos el Punto BESOR, que es utilizado para el resto de rutas. Es decir, para el 98 ó 99% de las llegadas. Por último, tenemos el Punto MAGAL, que no tiene definida ninguna STAR, y se utiliza solamente para tráficos atípicos como pueden ser aeronaves militares o de estado y para tráficos después de un MAP.

Cuando está en servicio RWY28, BESOR es el principal IAF. Desde este punto pueden utilizarse dos aproximaciones: VOR X RWY28 en ALT VOR/DME y VOR Z RWY28 en ATE VOR/DME. De estas dos aproximaciones a la cabecera de la pista 28, la VOR X RWY28 es la que presenta la ruta más corta, y por ello más económica para las compañías ya que reducen los tiempos de vuelo lo que conlleva un menor consumo de combustible. Además, el hecho de consumir menor cantidad de combustible hace que sea más interesante desde el punto de vista medioambiental ya que las emisiones de CO2 son menores que en la otra aproximación.

La OACI en su resolución A33-7 describe la necesidad de lograr un equilibrio adecuado entre el desarrollo de la aviación y la calidad del medio ambiente.

Por una parte, la aviación comercial es pionera en las soluciones tecnológicas adoptadas para reducir las emisiones de CO2 gracias a los desarrollos en el sistema propulsor, nuevos procedimientos y aerodinámica más eficiente. Por otra parte, es inevitable que las emisiones aumenten debido a que el transporte aéreo está en continuo crecimiento por la necesidad mundial de desplazarse.

Según datos de la Comisión Europea en 2006, la producción de CO2 en el sector de la aviación comercial supone el 2,5%. Aunque este porcentaje es pequeño frente al total de emisiones, los intentos de reducir las emisiones hay que tenerlos en cuenta porque el sector aeronáutico está en auge y cada vez los porcentajes son más representativos respecto al resto de transportes.

La forma de conseguir mejoras en el consumo energético es optimizando las operaciones de las aeronaves y utilizando la tecnología más innovadora. Los procedimientos de aproximación en descenso continuo son los que menos emisiones y ruido generan ya que son los que utilizan el mínimo empuje y por ello, la menor cantidad de combustible.

Por los motivos medioambientales mencionados previamente y por los motivos económicos de las compañías aéreas la aproximación VOR X RWY28, que es la más corta de las dos cuando está en servicio la pista 28, es económicamente interesante y reduce las emisiones de CO2. Por ello, es una aproximación atractiva para realizar.

Sin embargo, esta aproximación presenta un inconveniente que es un mínimo de altitud muy elevado para aeronaves de categorías C y D. El motivo de esta restricción es que las aeronaves deben realizar un viraje final de 20° para alinearse con el eje de pista por lo que las categorías C y D quedan restringidas a OCA/H de circuito por derrota entre FNA y RCL excesivo. En términos aeronáuticos se dice que la longitud de aproximación a estima no OACI (AD2-LEAL IAC 7.1) y FNA TR MOV 20° FM RCL.

El hecho de tener un mínimo de altitud elevado hace que cuando hay malas condiciones de visibilidad por niebla o calima se produzcan muchas aproximaciones frustradas y desvíos. Para evitar estos desvíos se instaló en VOR/DME ATE alineado con la pista y se publicó el procedimiento VOR Z RWY28 que más largo que el VOR X RWY28, pero sirve para poder operar en condiciones de baja visibilidad.

Gracias a los avances tecnológicos podemos diseñar aproximaciones GPS que no están tan encorsetadas por los procedimientos basados en radioayudas terrestres. Por ello, parece interesante el estudio de un nuevo procedimiento de aproximación a RWY28 basado en GPS con menores alturas de decisión. Este procedimiento englobaría lo mejor de los actualmente publicados:

- Ruta desde IAF BESOR lo más corta posible
- Tramo de aproximación final OACI
- OCA/H lo más bajo posible

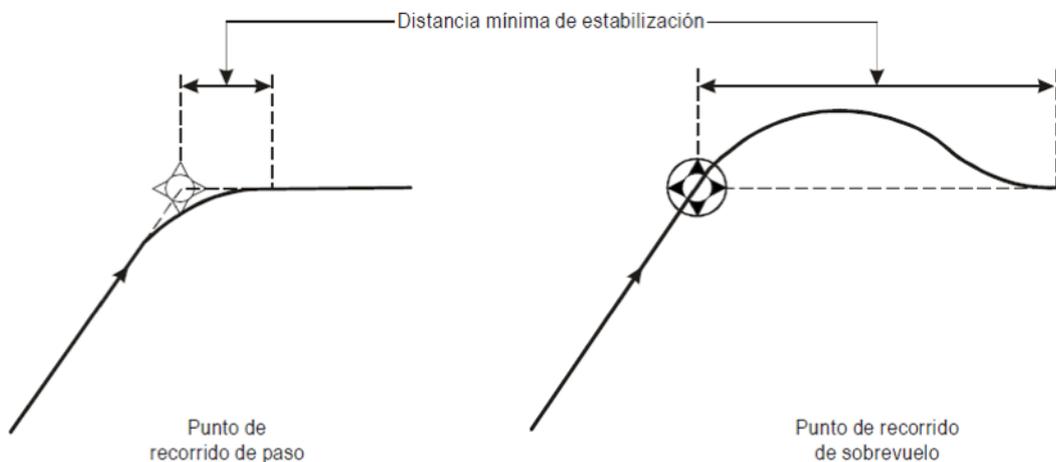


Figura 1: punto de paso y de sobrevuelo

4. AEROPUERTO DE ALICANTE

4.1. DESCRIPCIÓN

El Aeropuerto Internacional de Alicante-Elche es conocido popularmente como Aeropuerto El Altet. Su código IATA es ALC y su código OACI es LEAL. La letra L del código OACI hace referencia a la situación geográfica del sur de Europa, la letra E hace referencia a España y AL hace referencia a Alicante que es el nombre del aeropuerto.

La diversidad de nombres por los que se puede conocer al aeropuerto de Alicante viene dada por su situación geográfica, ya que se haya en la provincia de Alicante, a 9 kilómetros al suroeste de la capital, dentro del término municipal de Elche y en la pedanía de El Altet.

Debido a la situación geográfica de gran interés turístico, el aeropuerto de Alicante opera mayoritariamente con rutas internacionales. El ochenta por ciento del total de pasajeros son viajeros internacionales, principalmente hacia destinos como Reino Unido, Alemania y Holanda. En cuanto a los destinos nacionales, los vuelos con el Aeropuerto de Madrid, el Aeropuerto de Barcelona y el de Palma de Mallorca, son los aeropuertos con mayor número de conexiones.

Este aeropuerto, por su volumen de pasajeros y carga, ocupa actualmente la sexta posición en la red de aeropuertos españoles por delante incluso del Aeropuerto de Valencia, dentro de la misma comunidad y capital de la misma, y se sitúa dentro de los 50 primeros aeropuertos europeos. Además, es el de mayor tráfico de la Comunidad Valenciana.

La última reforma del aeropuerto se llevó a cabo con la "Nueva Área Terminal" (NAT) que a su vez repercutió en importantes mejoras en el resto de sus infraestructuras. Fue inaugurada el 23 de marzo del 2011. Con la inauguración de esta terminal, las terminales T1 y T2 permanecen fuera de servicio, pudiendo ponerse en funcionamiento en función de la demanda de viajeros.

El acceso por carretera al aeropuerto se realiza por las nacionales N-340 y N-332 y por la autovía A-70/E-15. La distancia del centro urbano de Alicante hasta el ramal que da acceso al aeropuerto es de 15min aproximadamente, 30min en hora punta. Los medios de transporte disponibles para acceder son el autobús urbano, autobuses de tour operadores, taxis, turismos de alquiler y turismos privados. No existe estación terminal de ferrocarril para el aeropuerto.

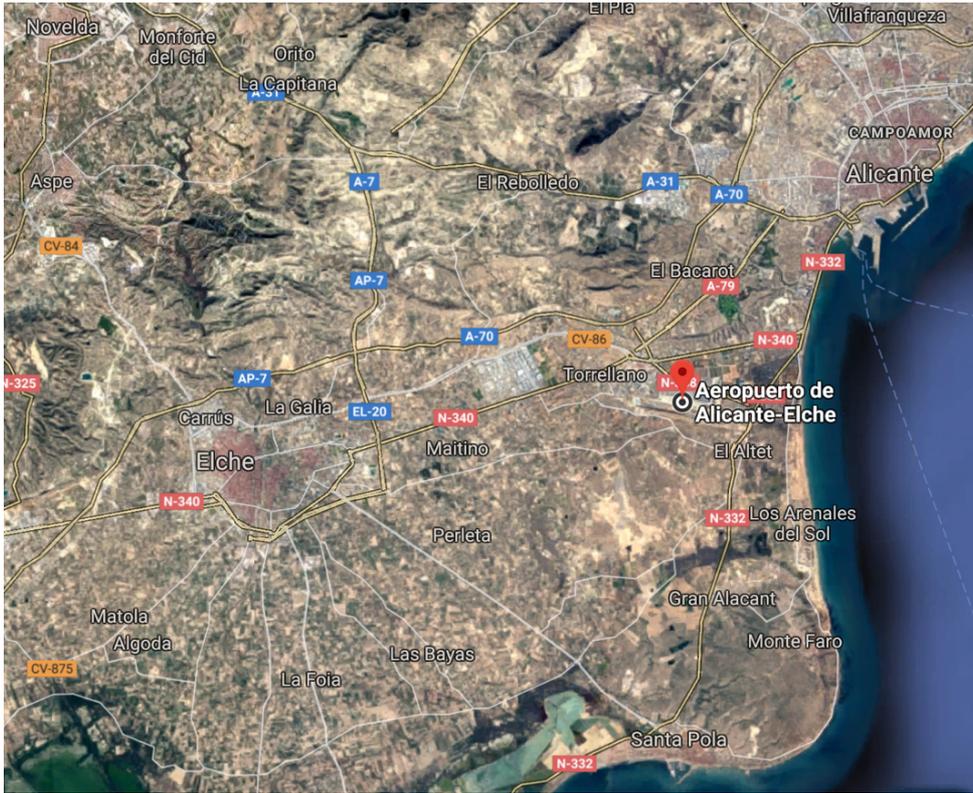


Figura 2: Aeropuerto de Alicante



Figura 3: pista Aeropuerto Alicante

El aeropuerto de Alicante dispone actualmente de una sola pista con orientación 10/28 (101°/279°) y longitud 3.000x45 metros. Su elevación es de 43 metros sobre el nivel del mar, su temperatura de referencia es de 31° y su operatividad es instrumental con un horario de operación 24h.

El Aeropuerto de Alicante cuenta con las siguientes infraestructuras:

- 1 pista: 10/28
- 3 terminales: T1, T2, NAT. Solo NAT operativa actualmente para uso de pasajeros.
- 1 zona de aviación general de 7.302m².
- 1 plataforma estacionamiento de 225.800m².
- 1 hangar para uso industrial.
- 1 zona de servicios que comprende: torre de control, bloque técnico, SEI, centro de emisiones y agentes de Handling.
- 3 almacenes para abastecimiento.

El tráfico de pasajeros registrado en el Aeropuerto de Alicante en el año 2018 es de 13.981.320 pasajeros lo que supone un aumento del 2% respecto al 2017. El tráfico de operaciones en el año 2018 es de 96.734 operaciones, siendo un 1,5% mayor que el año anterior. En cambio, el tráfico de mercancías de 2018 es de 4.013.880 lo que supone un descenso del -25,2% respecto del año 2017.

4.2. HISTORIA

La adquisición de los terrenos donde se ubica actualmente el aeropuerto de Alicante-Elche se inició en noviembre de 1964. Unos meses más tarde empezó construcción de una pista de vuelo de 2700 metros, una calle de rodadura, calles de salida rápida y la instalación de un ILS.

El 4 de mayo de 1967 se abre al tráfico nacional e internacional de pasajeros y mercancías el nuevo aeropuerto de Alicante, cerrándose al mismo tiempo el aeródromo de La Rabassa. La compañía Iberia se incorpora al tráfico del aeropuerto en noviembre de 1969 con sus líneas Alicante-Madrid y Alicante-Barcelona.

El crecimiento del tráfico es inmediato ya que todos los turistas con destino a la costa alicantina, que hasta la fecha hacían su entrada por el aeropuerto de Valencia, se trasladan ahora al de Alicante.

En 1970 el número de pasajeros se acerca al millón, lo cual hace necesaria la construcción de un nuevo terminal de pasajeros cuya primera fase es inaugurada en junio de 1972. El nuevo edificio se utiliza sólo para vuelos internacionales. La segunda fase se concluye en 1974, y se incorpora el tráfico nacional en marzo de 1975.

El crecimiento sostenido del tráfico hace posible alcanzar los dos millones de pasajeros en 1978, lo que obliga a reformar el terminal de pasajeros y ampliar el estacionamiento de aviones en 60.000 metros cuadrados. Por razones operativas, se amplía la longitud de la pista hasta los 3.000 metros.

En 1996 se llevó a cabo una profunda reforma, que permitió atender a los nueve millones de pasajeros anuales que utilizan sus instalaciones en un breve espacio de tiempo. Para el embarque se instalaron cinco pasarelas telescópicas, y se construyó un nuevo edificio de oficinas para compañías aéreas, centro de operaciones y área de negocios. También se amplió la capacidad del aparcamiento de vehículos, se construyó una nueva salida rápida hacia la cabecera 28, se amplió la plataforma pasando a una capacidad total de 27 puestos de estacionamiento y se construyó una nueva torre de control.

En marzo de 2011, se puso en servicio la Nueva Área Terminal, capaz de atender casi 6.000 pasajeros por hora y 20 millones de pasajeros al año, que incluye un nuevo edificio terminal, el dique de embarque, un edificio de aparcamiento, nuevos viales de acceso, y la ampliación de la plataforma de estacionamiento y de la calle de rodaje.

4.3. GEOGRAFÍA Y CLIMA

La provincia de Alicante está formada por la llanura litoral y las sierras y depresiones interiores. Las sierras forman parte de las cordilleras béticas teniendo tramos con altitudes entre 1.000 y 1.500m.

Las coordenadas del Aeropuerto de Alicante son: 38° 16' 55.81" N, 0° 33' 29.36" O.

La zona del aeropuerto es de tierra caliza con espesor variable sobre roca arenisca en formación. Debajo de esta roca hay una capa de limos y arenas asentadas sobre arcilla.

Los ríos provinciales son cortos, con pendiente, caudal y régimen irregular. En las cercanías de aeropuerto no hay ningún recurso natural de agua, solamente en las proximidades de la cabecera 10 se encuentra un canal artificial de riego agrícola.

El clima es mediterráneo, un subtipo del clima templado. El invierno es suave, aunque padece de largas sequías, lluvias torrenciales y heladas repentinas. El verano es seco y caluroso. La temperatura media anual es de 18.1°C con oscilación entre máximas de 10.9°C en el mes de enero y mínimas de 26.1°C en el mes de agosto. La variación entre las temperaturas medias máximas y mínimas es de 15.2°C. Las precipitaciones anuales rondan los 301.5 l/m² siendo octubre el mes más lluvioso y julio el más seco. La nieve y el granizo son excepcionales.

Tal y como podemos observar en la Tabla 1, la humedad media del aeropuerto de Alicante es del 65% y la presión media es de 1.013,5 hPa.

Cuadro 2.VI
HUMEDAD, PRESIÓN Y TEMPERATURA
(Resumen de los años 1968 a 1994)

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
Humedad relativa media (%)	67	64	63	62	62	62	62	65	66	67	68	68	65
Presión media (mb)	1.016,1	1.013,4	1.012,8	1.011,2	1.011,3	1.012,6	1.012,8	1.012,1	1.013,9	1.014,5	1.015,0	1.016,0	1.013,5
Máxima media	16,6	17,4	18,8	20,6	23,2	27,0	29,9	30,4	28,4	24,2	20,1	17,2	22,8
Media media	11,5	12,1	13,4	15,2	18,0	21,9	24,9	25,6	23,5	19,2	15,2	12,3	17,8
Mínima media	6,4	6,9	8,0	9,9	12,8	16,9	19,8	20,8	18,5	14,3	10,3	7,4	12,7
Máxima absoluta	26,8	29,2	33,0	33,6	31,4	35,2	39,6	39,8	37,4	34,2	31,0	27,0	39,8
Mínima absoluta	-2,6	-1,4	-0,2	1,7	6,4	10,4	13,6	14,0	10,0	5,0	0,7	-3,8	-3,8

Tabla 1: humedad, presión y temperatura

Los datos de la Tabla 2 se presentan en porcentaje de casos simultáneos de visibilidad y altura de la capa más baja de nubes que cubren más de 4/8 del cielo, expresados en metros. Podemos observar estos valores:

Cuadro 2.II
PORCENTAJES DE CASOS SIMULTÁNEOS DE VISIBILIDAD Y ALTURA DE NUBES
(Resumen de 10 años)

hh (m) vvv (m)	00-29	30-59	60-89	90-119	120-149	150-179	180-239	240-299	300-449	450-899	900-2399	X	TOTAL
0-199	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,04
200-299	0,02	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,03
300-399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
400-499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
500-599	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01	0,02
600-799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
800-899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
1.00-1.199	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,08
1.200-1.599	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,02	0,03
1.600-2.099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,08
2.100-2.499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01
2.500-4.799	-	-	-	0,01	-	-	0,02	0,02	0,05	0,04	-	0,51	0,65
4.800-8.999	0,01	-	-	-	0,01	-	0,01	0,05	0,21	0,57	0,09	8,12	9,07
9.000 o más	-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,03	0,21	1,45	0,79	87,42	89,93
TOTAL	0,07	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05	0,11	0,49	2,08	0,89	96,24	100,00

FUENTE: Instituto Nacional de Meteorología

Tabla 2: porcentajes de casos de visibilidad y altura de nubes

Los datos de visibilidad, humedad, presión y temperatura presentados en las Tablas 1, 2 se obtienen del Instituto Nacional de Meteorología. A partir de estos datos podemos observar que el aeropuerto de Alicante es operable en condiciones VFR en el 99.93% del tiempo total de utilización.

Las Tablas 1, 2 recogen el comportamiento de los vientos. Este estudio comprende el periodo de 1968 a 1994 y se utilizó para hacer una evaluación de la bondad de la orientación de la pista. Además, las Tablas 1, 2 recogen los datos para dos intensidades de las componentes transversales de viento. Ambos casos suponen un máximo de 10 nudos de viento en cola. La primera tabla recoge el porcentaje de utilización de la pista 10/28 para una componente transversal de 20 nudos el cual es del 99.35%. La segunda tabla recoge el porcentaje de utilización de la pista 10/28 para una componente transversal de 13 nudos. El porcentaje de utilización para este caso es del 95.50%.

Cuadro 2.VIII

**PORCENTAJES DE ABSORCIÓN
COMPONENTE TRANSVERSAL 20 NUDOS - VIENTO EN COLA 10 NUDOS
(Período 10 años)**

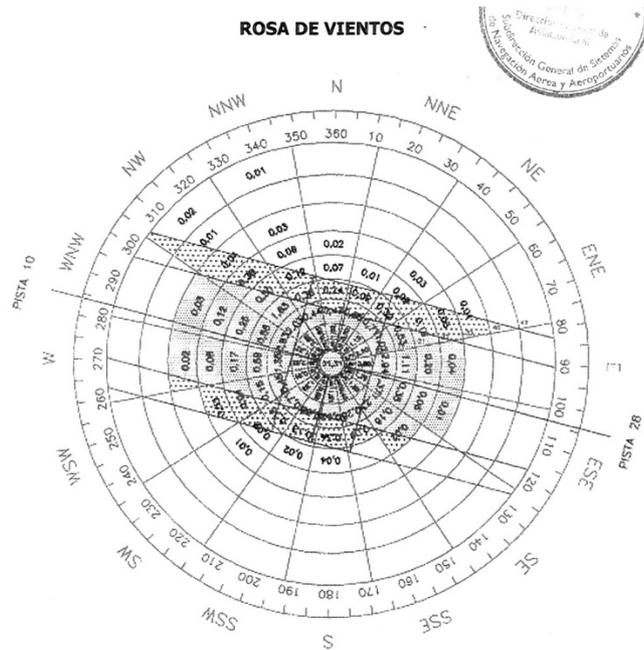
PISTA	CALMAS	ABSORCIÓN		TOTAL	
		Sin viento en cola	Con viento en cola	Sin viento en cola	Con viento en cola
10	31,31	32,50	59,15	63,81	90,47
28	31,31	35,54	59,41	66,86	90,72
10 - 28	31,31	68,04		99,35	

Cuadro 2.IX

**PORCENTAJES DE ABSORCIÓN
COMPONENTE TRANSVERSAL 13 NUDOS - VIENTO EN COLA 10 NUDOS
(Período 10 años)**

PISTA	CALMAS	ABSORCIÓN		TOTAL	
		Sin viento en cola	Con viento en cola	Sin viento en cola	Con viento en cola
10	31,31	30,66	56,2	61,97	87,51
28	31,31	33,53	56,03	68,84	87,35
10 - 28	31,31	64,19		95,5	

Las Imágenes 4, 5 representan la rosa de los vientos y el diagrama de frecuencias con las componentes transversales de 13 y 20 nudos recogidas como porcentajes de absorción en las Tablas 1, 2. La rosa de los vientos recoge los datos de intensidad y direcciones de viento del periodo que va desde 1968 a 1994. La representación de estos datos confirma la bondad de la orientación de la pista 10/28 del Aeropuerto de Alicante.



COMPONENTE TRANSVERSAL DE VIENTO:

- 13 NUDOS
- 20 NUDOS

Figura 4: rosa de vientos pista LEAL

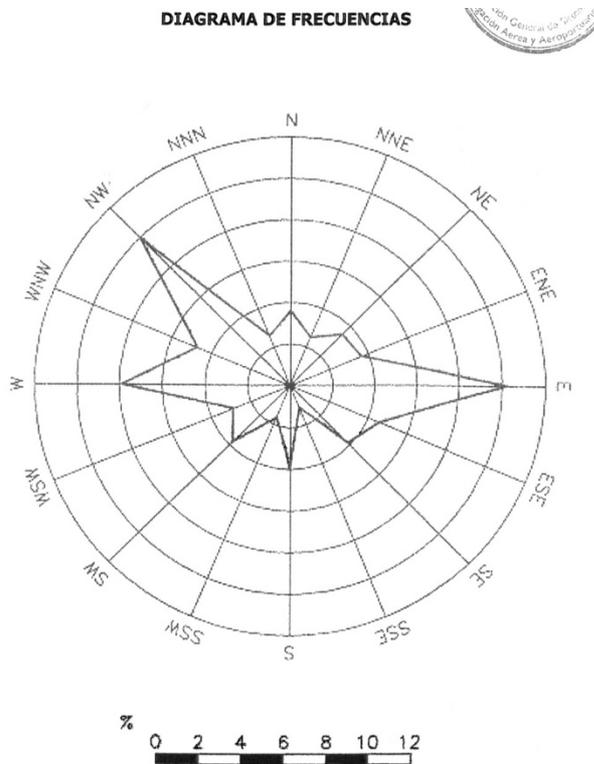


Figura 5: diagrama de frecuencias vientos pista LEAL

4.4. TRÁFICO DE PASAJEROS

En el año 2018 el Aeropuerto de Alicante registró un tráfico de 13.981.320 pasajeros, 96.734 operaciones y 4.013 toneladas de carga. Si lo comparamos con el registro de 2009 en el que el tráfico fue de 9.139.479 pasajeros podemos observar que ha habido un crecimiento del 52.97%.

En el Gráfico X podemos observar la evolución de pasajeros en un periodo que comprende los años 2013-2017. Podemos observar que la gran mayoría del tráfico es nacional regular y cabe destacar su tendencia al alza con el paso de los años.



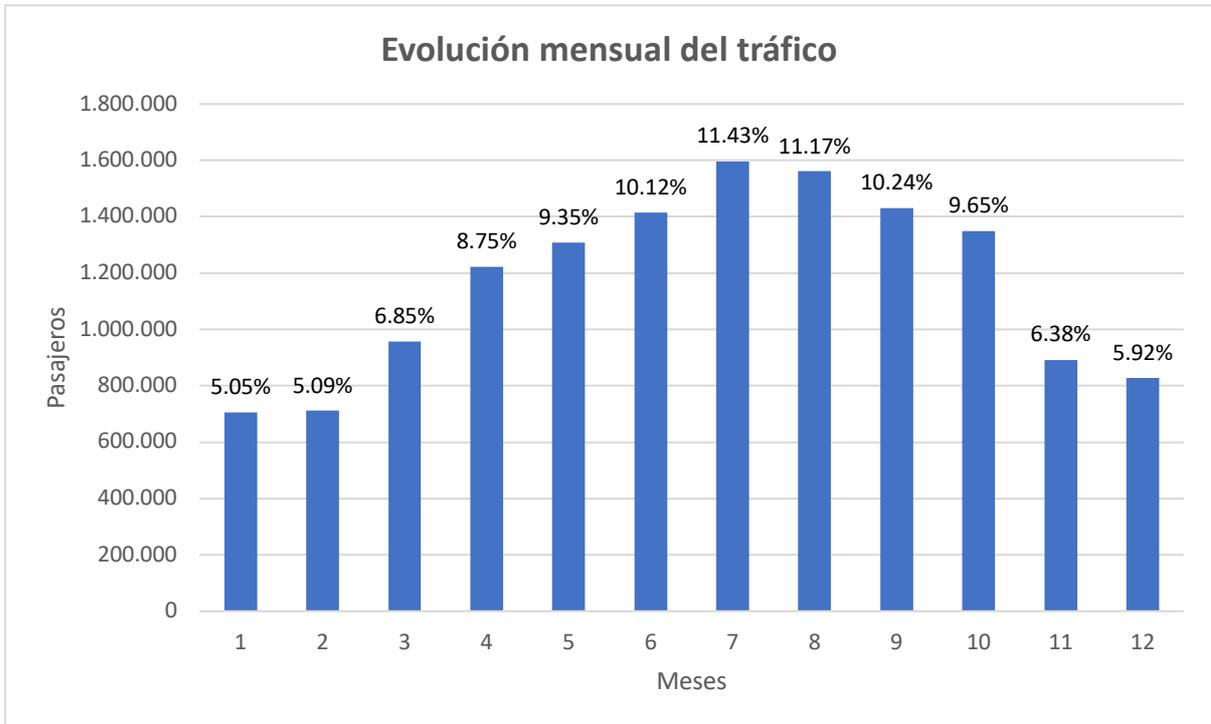
Gráfica 1: evolución del tráfico de pasajeros

La Tabla 3 muestra el registro de tráfico nacional regular del año 2018. Podemos observar que las líneas regulares con mayor número de operaciones son Madrid-Alicante, Palma de Mallorca-Alicante y Barcelona-Alicante.

AEROPUERTO	PORCENTAJE DE OPERACIONES
MADRID-BARAJAS	28.4%
PALMA DE MALLORCA	20.2%
BARCELONA-EL PRAT	20.2%
BILBAO	8.1%
IBIZA	7%

Tabla 3: Porcentaje de operaciones nacionales regulares de 2018 respecto del total

El gráfico 2 muestra la evolución mensual del tráfico en el año 2018. Podemos observar que el tráfico experimenta un crecimiento en la temporada de verano debido al turismo. Aun así, no podemos decir que el tráfico es estacional puesto que la diferencia entre el valor mínimo (enero) y máximo (julio) no supera el 30%.



Gráfica 2: evolución mensual del tráfico

4.5. RUTAS Y ESPACIOS AERONÁUTICOS

El Espacio Aéreo Español se clasifica según la normativa del Anexo 11 de la OACI. Puede dividirse en 7 niveles que van desde la letra A hasta la letra G. El Espacio Aéreo controlado se corresponde con las letras A, B, C, D, E y es el que proporciona servicio de control de tráfico aéreo para vuelos instrumentales, IFR, o para vuelos visuales, VFR. Cada uno de ellos tiene requerimientos distintos que se deben cumplir para poder volar en ellos. Las letras F, G son las que hacen referencia al espacio aéreo no controlado

El Espacio Aéreo Español puede dividirse en dos partes. Por una parte, el Espacio Aéreo Inferior que se extiende desde el suelo hasta el nivel de vuelo 245. A su vez, este puede dividirse en tres regiones de información de vuelo, FIR, que son Madrid, Barcelona y Canarias. Por otra, el Espacio Aéreo Superior que se extiende desde el nivel de vuelo 245 hasta el nivel 460 y puede dividirse en tres regiones superiores de información de vuelo, UIR, que son Madrid, Barcelona y Canarias.

El Aeropuerto de Alicante está integrado dentro del FIR/UIR de Barcelona y dispone de los siguientes espacios aéreos y dependencias para realizar sus funciones:

- Área de Control Terminal, TMA, de Valencia cuyo límite superior es nivel de vuelo 245 y 300m sobre el suelo.
- Zona de Control, CTR, de Alicante es el espacio aéreo comprendido por la línea que une 382724N 0010234W; 381947N 0001543W; arco 15 NM centrado en VOR/DME ALT hasta 380838N 0001741W; 381404N 0005624W, siguiendo el límite del TMA de Valencia hasta 382514N 0010348W; siguiendo arco 25 NM centrado en VOR/DME ALT hasta 382724N 0010234W y cuyo límite se encuentra a 5000 pies sobre el suelo.
- Zona de Tránsito de Aeródromo, ATZ, Espacio aéreo comprendido por la línea que une 382345N 0003942W; 382119N 0002441W; 381000N 0002715W; 381207N 0004218W; 382345N 0003942W y su límite vertical es 2500 pies sobre el suelo. La unidad responsable de este espacio es Alicante TWR.

Las llegadas al Aeropuerto de Alicante están apoyadas en los VOR/DME ALT y ATE. La aproximación final al aeropuerto puede realizarse mediante vuelo instrumental gracias a las radioayudas ILS y VOR/DME. En el AIP se encuentran publicadas las siguientes aproximaciones por instrumentos:

- ILS Z RWY 10
- ILS Y RWY 10
- VOR Z RWY 10
- VOR Y RWY 10
- VOR Z RWY 28
- VOR Y RWY 28
- VOR X RWY 28
- LOC A
- LOC B

Las salidas normalizadas de vuelo por instrumentos del aeropuerto de Alicante podemos dividir las en dos dependiendo de a qué pista correspondan. Para la pista 10 tenemos las siguientes salidas: ASTRO 4A y CATON 4A están sujetas a la actividad de la LED66, MAGAL3A, MITOS3A, RESTU3A y YES3A sujetas a la actividad de la LER63, SOPET2G y VLC4A. Para la pista 28 tenemos las siguientes: ASTRO4D, CATON3C, MAGAL2D, MITOS2C, RESTU2B y YES2D sujeta a la actividad de la LER63, SOPET2F y VLC3D.

En las inmediaciones del Aeropuerto de Alicante se encuentran las siguientes zonas peligrosas o restringidas: LER63 que es un área expresamente designada para vuelos supersónicos de aeronaves militares y LED66 que es un área de tiro terrestre cuya actividad se anuncia por NOTAM.

4.6. FLOTA USUARIA

La aeronave de diseño es tipo B-747 (categoría E) para ambas cabeceras de la pista Aeropuerto de Alicante y por ello, podemos considerar este tipo de aeronave como la flota usuaria principal. El aeropuerto dispone de una plataforma de estacionamiento con 27 puestos. Además, dispone de una zona para aterrizaje de helicópteros.

La plataforma actual posee tres puestos de estacionamiento para aeronaves de letra de clave E, de los cuales dos de ellos tienen capacidad para estacionar una aeronave de letra de clave F.

La plataforma también limita el tamaño de las aeronaves que puede admitir el aeropuerto puesto que la envergadura máxima que puede circular por la calle central es 52m.

La aeronave de diseño es la aeronave para la cual se ha dimensionado la pista, pero no tiene por qué coincidir con la que más frecuenta el aeropuerto.

En la Tabla 4 podemos observar el porcentaje de los movimientos respecto del total por tipo de aeronave. Los datos recogidos en ella son actuales por lo que podemos ver qué tipo de aeronave es más frecuente en el Aeropuerto de Alicante y de esta forma adaptar el procedimiento a este tipo de aeronaves.

TIPO	2012	2013	2014	2015	2016	2017
B737-800 WINGLETS	38.11%	43.4%	42.6%	47.2%	48.9%	54.4%
A320	19.38%	17.8%	17.9%	14.9%	14.5%	12.1%
A320 SHARKLETS	-	-	3.6%	5.9%	7.9%	10.4%
A319	13.14%	11.1%	10.7%	9.7%	8.2%	7%
OTROS	29.37%	27.69%	25.2%	22.3%	20.5%	16.1%

Tabla 4: porcentaje de movimientos por tipo de aeronave

Según la evolución mostrada en la Tabla 4 podemos ver que el B737-800 es la aeronave que representa la mitad de la flota usuaria del aeropuerto y que su porcentaje ha ido creciendo a lo largo de los años. Además, podemos observar también que el A320 Sharklets tiene una tendencia al alza y probablemente con los años tenga más peso respecto del total que el A320.

4.7. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES AERONAVES USUARIAS DEL AEROPUERTO

4.7.1. DESCRIPCIÓN DEL B737-800

La aeronave B737-800 representa más del 50% de la flota usuaria del Aeropuerto de Alicante y su participación va aumentando a medida que pasan los años. Por ello, en esta sección se va a describir dicha aeronave.

El B737-800 es una de las nuevas generaciones de la aeronave Boeing 737. El B737 se entró en servicio en 1964 y el B737-800 en 1998. El B737-800 es una aeronave comercial de fuselaje estrecho, bimotor, de corto a medio alcance y cuyo motor funciona a reacción. La diferencia con la serie anterior, B737-700, es que presenta una extensión del fuselaje. Puede acomodar hasta 189 pasajeros, lo cual hace que sea una de las principales aeronaves competidoras del A320.

En la Imagen 6 podemos ver el diseño de dicha aeronave:



Figura 6: B737-800

El B737-800 presenta las siguientes características generales y actuaciones:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Tripulación	2
Capacidad (pasajeros)	189
Volumen de carga (m ³)	44
Empuje máximo motores (lb)	27.300
Capacidad máxima de combustible (L)	26.020
Peso máximo al despegue (kg)	79.010
Longitud total (m)	39,5
Ancho cabina (m)	3,53
Envergadura con winglets (m)	35,8
Altura (m)	12,5
PERFORMANCE	
Velocidad crucero a 10.000m de altitud (Mach)	0,785 (853 km/h)
Alcance máximo (km)	5.765
Techo de servicio (m)	12.500

Tabla 5: características B737-800

La cabina del B737-800 incorpora las nuevas tecnologías en cabina haciéndola más eficiente y fácil de usar para la tripulación. Por ello, tiene la capacidad de volar con el sistema SBAS lo cual hace posible el desarrollo de este proyecto para dicha aeronave.

4.7.2. DESCRIPCIÓN DEL A320 SHARKLETS

En esta sección se va a describir la aeronave A320 Sharklets. Aunque en el año 2018 su porcentaje de participación respecto del total es parecido a la aeronave A320, 10.4% vs 12.1%, se puede observar en la Tabla 6 que su participación va creciendo conforme pasan los años y que la del A320 cada vez es menor. El motivo de esto es que la aeronave A320 es la precursora que fue puesta en servicio 1988 y la A320 sharklets es una versión mejorada de la misma cuyo primer vuelo fue en 2014. Esta aeronave incorpora sharklets con los cuales se consigue un mayor alcance debido a una reducción del 3.5% en el consumo de combustible.

El A320 Sharklets, al igual que el B737-800, es una aeronave comercial de fuselaje estrecho y de corto a medio alcance. Su fabricante es Airbus que es el principal competidor de Boeing, fabricante de la aeronave descrita en la sección anterior.

El A320 fue un avión muy avanzado tecnológicamente cuando entró en el mercado. La introducción del mando *fly-by-wire* permitió reducir el peso y una mayor protección de la aeronave en puntos extremos de la envolvente de vuelo. Además, con este mando se optimizó el consumo de combustible. La incorporación de sharklets de punta de ala permite un mayor alcance ya que reducen el consumo de combustible.



Figura 7: A320 Sharklets

La imagen 7 muestra el diseño de la aeronave A320 Sharklets que se pueden observar claramente en las puntas de las alas. A continuación, la Tabla 6 resume las características principales y actuaciones de la aeronave:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Tripulación	2
Capacidad (pasajeros)	194
Volumen de carga (m ³)	31,70
Empuje máximo motores (lb)	23.000 – 30.000

Capacidad máxima de combustible (L)	26.730
Peso máximo al despegue (kg)	79.000
Longitud total (m)	37,57
Ancho cabina (m)	3,70
Envergadura con winglets (m)	35,80
Altura (m)	11,76
PERFORMANCE	
Velocidad crucero a 10.000m de altitud (Mach)	0,78 (828 km/h)
Alcance máximo (km)	6.300
Techo de servicio (m)	12.000

Tabla 6: características A320 Sharklets

Al igual que la aeronave de la sección anterior, el A320 Sharklets incorpora las nuevas tecnologías en cabina. Por ello, tiene la capacidad de volar con el sistema SBAS y es posible utilizarla en el desarrollo de este proyecto.

4.7.3. DESCRIPCIÓN DEL B747

La aeronave B747 es la aeronave de diseño del aeropuerto de Alicante. Para el desarrollo del trabajo se va a considerar la aeronave B747-800 ya que es la nueva variante del modelo B747. Este nuevo modelo está diseñado para ser más silencioso, económico y más respetuoso con el medio ambiente. El B747-800 utiliza la misma tecnología del motor y el fuselaje se alarga 5.6 metros respecto del B747 inicial.



Figura 8: B747-800

Esta aeronave es propulsada por cuatro motores y no incorpora winglets al final de las alas lo cual es una característica para destacar. Esto puede ser observado en la Imagen 8. Las dimensiones de la aeronave se recogen en la Tabla 7 a continuación.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Tripulación	2
Capacidad (pasajeros)	467
Capacidad de carga (kg)	873,7
Empuje máximo motores (kN)	296
Capacidad máxima de combustible (kg)	181.536
Peso máximo al despegue (kg)	447.696
Longitud total (m)	76,25
Ancho cabina (m)	6,50
Envergadura (m)	68,40
Altura (m)	19,51
PERFORMANCE	
Velocidad crucero a 10.000m de altitud	908 km/h
Alcance máximo (km)	8.288
Techo de servicio (m)	13.000

Tabla 7: características B747-800

Al igual que el A320 Sharklets, el B747-800 incorpora la tecnología más novedosa como por ejemplo el *fly-by-wire* en los controles laterales. También, incluye fibra de carbono en su fuselaje lo cual permite ahorros en peso que suponen un menor gasto de combustible.

Cabe destacar que, a diferencia de su antecesor, esta nueva versión del B747 permite navegar con SBAS, por ello este tipo de aeronave es compatible con este proyecto.

II. PROCEDIMIENTO RNP APCH LPV-200

5. NAVEGACIÓN BASADA EN PRESTACIONES

5.1. CONCEPTO PNB, RNAV Y GNSS

La navegación convencional se fundamenta en rutas definidas en base a las posiciones geográficas de las radioayudas (VOR, NDB...), o por intersección de radiales de las mismas. Las aeronaves tienen que sobrevolar las radioayudas o los puntos que se definen para seguir sus rutas.

A partir de los años 90, con los sistemas de navegación integrados, la aeronave podía sobrevolar rutas basadas en puntos llamados waypoints y no solo rutas basadas en radioayudas.

En 1998, la Unión Europea introdujo el concepto de Navegación de Área mediante la Zona de Navegación Básica (B-RNAV) que exigía a la aeronave una precisión de ± 5 NM durante el 95% del tiempo de vuelo.

Para posicionar a la aeronave, los sistemas de a bordo utilizan la información de las radioayudas en tierra, el GNSS (Global Navigation Satellite System) o sistemas autónomos de navegación de la aeronave como IRS/INS (sistemas inerciales). La precisión y la consistencia para volar la ruta deseada, dependía de las performances de las aeronaves.

En el 2007, se introduce el concepto del RNP (Required Navigation Performance). La navegación RNP es la RNAV a la que se le exige una función de monitorización de integridad de los sistemas y que alerta siempre que la posición no cumpla con el requisito de precisión asociado a la fase de vuelo en curso.

Hoy en día, estos conceptos RNAV, y RNP están englobados por la OACI en un nuevo concepto llamado, Navegación Basada en Prestaciones, o PBN. El concepto PBN supone una evolución de la navegación de área que aprovecha la capacidad de navegación de las aeronaves, que tienen que cumplir unos requisitos de prestaciones, en vez de basarse en unos determinados sistemas de navegación. Este concepto se crea en la OACI para ordenar y homogeneizar las múltiples soluciones RNAV y RNP existentes.

El PBN especifica los requisitos de prestaciones (performance) del equipo embarcado para volar en un determinado espacio aéreo y prioriza el uso de la navegación por satélite (GNSS) sobre otras ayudas a la navegación convencionales. Además, supone

pasar de un requisito único basado en la precisión, a un concepto más extenso basado en: precisión, integridad, continuidad y disponibilidad. Adicionalmente posee cobertura, robustez y redundancia. En definitiva, supone el paso de la navegación basada en sensores específicos, a la navegación basada en prestaciones.

Aunque el sistema GPS es exacto, la integridad de la señal no proporciona alerta al piloto, es decir, no proporciona con un determinado sistema RNAV el grado de confianza y fiabilidad que se requiere. Por ello, se crean los siguientes sistemas de aumentación:

- **ABAS (Aircraft based augmentation system):** proporcionan la integridad requerida para utilizar el GPS como medio único suplementario y principal de navegación durante la salida, en ruta, llegada y aproximaciones de precisión y no-precisión. Es un sistema embarcado en la aeronave y su cobertura es local.
- **SBAS (Satellite based augmentation system):** comprende todos los sistemas de aumentación basados en estaciones terrestres. Son válidos para largo alcance ya que es un sistema de satélites que orbita en torno a la Tierra.
- **GBAS (Ground based augmentation system):** consiste en una serie de estaciones GBAS desplegadas en un área extensa interconectadas entre sí por sistemas de telecomunicaciones. Es un sistema situado en tierra y su cobertura es local.

Dependiendo de la fase del vuelo se deben cumplir unas especificaciones de navegación u otras. Hay dos tipos: RNAV que es la que no requiere alerta a bordo y RNP que es la que requiere monitorización y alerta a bordo. La utilización de las distintas especificaciones dependiendo de la fase de vuelo puede verse esquematizado en la Imagen 9:

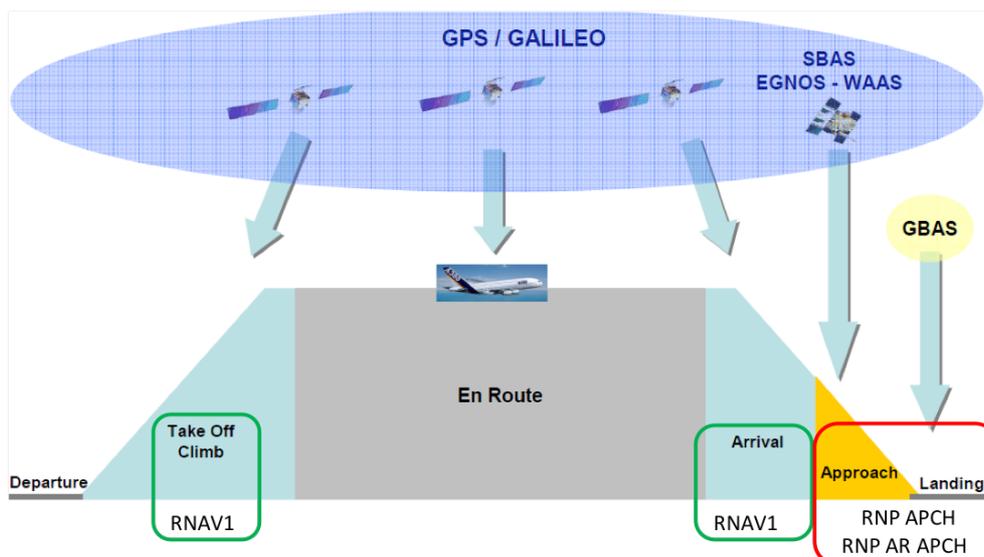
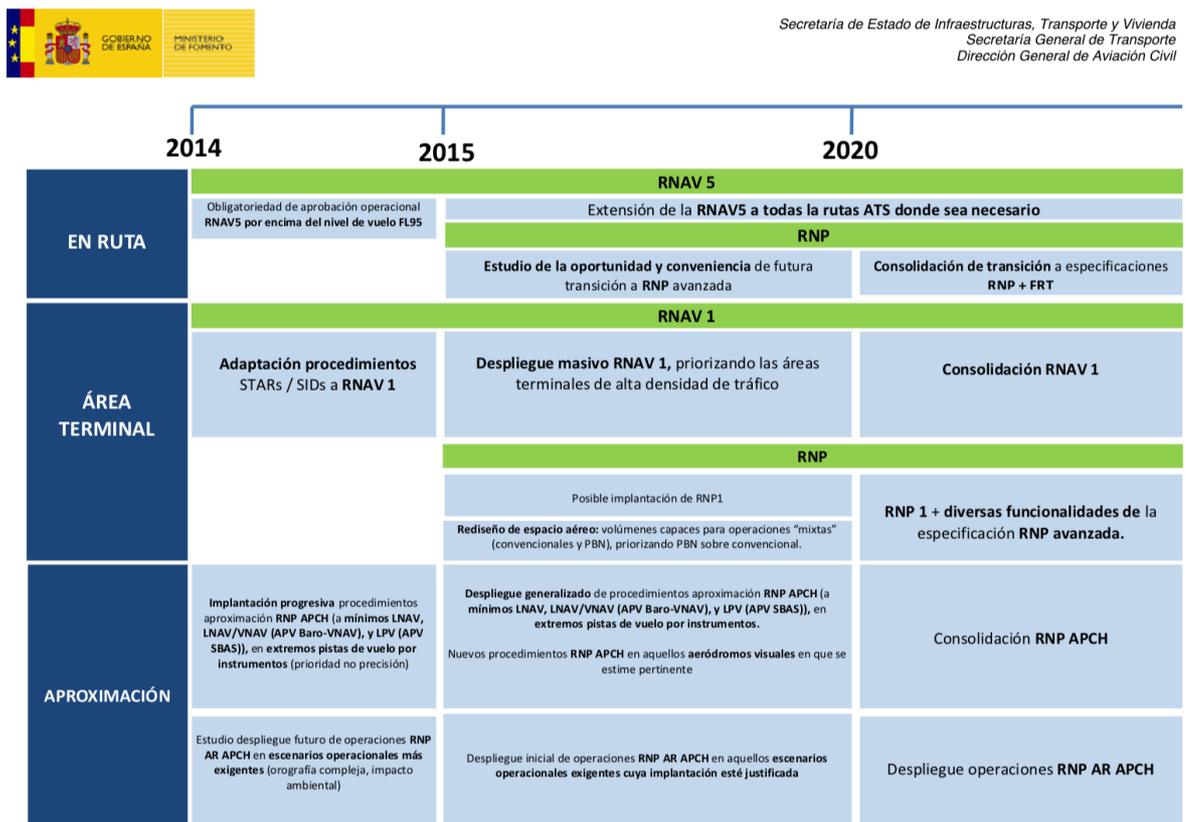


Figura 9: especificaciones dependiendo de la fase de ruta

La OACI recomienda la implantación de la Navegación Basada en Prestaciones a los Estados Contratantes, siendo España uno de ellos. En un contexto caracterizado por precios de combustible volátiles, presión medioambiental creciente y demanda de servicios de transporte aéreo creciente, los estados tienen que encontrar soluciones para incrementar de forma segura la capacidad del espacio aéreo-aeropuertos, la eficiencia del sistema e infraestructuras y mejorar el acceso a aeropuertos con orografía complicada. Por este motivo, la navegación PBN es una solución que, además, sirve para estandarizar la implantación de la Navegación de Área a escala global.

Para poder llevar a cabo la implantación de la navegación PBN se diseñó en 2014 un marco estratégico de referencia (2014-2020+) en el que se establecen unos plazos estimados para la introducción de procedimientos de navegación y diseño de espacio aéreo. Este marco constaba de tres etapas: corto plazo (2014), medio plazo (2015-2019) y largo plazo (2020 y posteriores). Actualmente nos encontramos a final del periodo medio plazo.

En la Imagen 10 podemos ver el plan estratégico que se diseñó en 2014 para llevar a cabo la implantación del PBN:



Política y Estrategia para la Implantación de la PBN en España

Página 7 de 39

Figura 10: proyecto implantación PBN

Durante los periodos establecidos, los objetivos y los medios para la consecución de estos se especifican para las diferentes fases de vuelo, que son ruta, área terminal y aproximación, en la Imagen 11:

Espacio aéreo	Corto plazo (2014)	Medio plazo (2015 - 2019)	Largo plazo (2020 +) ⁹
En Ruta	RNAV 5	RNAV 5	RNAV 5 RNP avanzada FRT
TMA	RNAV 1	RNAV 1 RNP 1	RNAV 1 RNP 1 RF, esperas RNAV, VNAV básica
Aproximación	RNP APCH	RNP APCH RNP AR APCH	RNP APCH RNP AR APCH

Figura 11: implantación PBN

El objetivo de este proyecto desarrolla una aproximación tipo RNP APCH con requerimientos LPV-200 (SBAS). Según los datos anteriores debería haberse implantado este tipo de aproximación en gran parte de los aeropuertos españoles, pero a 21 de abril de 2019 únicamente los aeropuertos de Almería, Fuerteventura, Lanzarote, Málaga, Palma de Mallorca, Pamplona, Santander, Sevilla y Valencia tienen procedimientos PNB. Por ello, este proyecto sería una aportación para el cumplimiento del requerimiento de la implantación de PBN en los aeropuertos españoles.

5.2. OPERACIONES PBN

Tal y como se ha mencionado en la sección anterior, dentro de la Navegación Basada en Prestaciones (PNB) hay dos tipos de navegación: RNAV y RNP. A su vez, cada uno de estos tipos de navegación viene seguido de un número que indica el nivel de precisión en millas náuticas (NM) que se mantiene durante el 95% del vuelo.

Como breve recordatorio de la sección anterior, RNAV es un tipo de navegación por waypoints y es menos precisa que RNP que permite crear rutas más complejas con tramos curvos. Además, existe RNAV en 2D que incluye vuelo horizontal solamente, 3D que incluye horizontal y vertical y 4D que añade el parámetro tiempo al RNAV 3D.

La Navegación Basada en Prestaciones (PNB) proporciona una mayor precisión en las prestaciones de navegación. Con esto se mejora la seguridad y se optimiza el espacio aéreo. La diferencia entre las rutas convencionales, RNAV y RNP puede verse en la imagen 12:

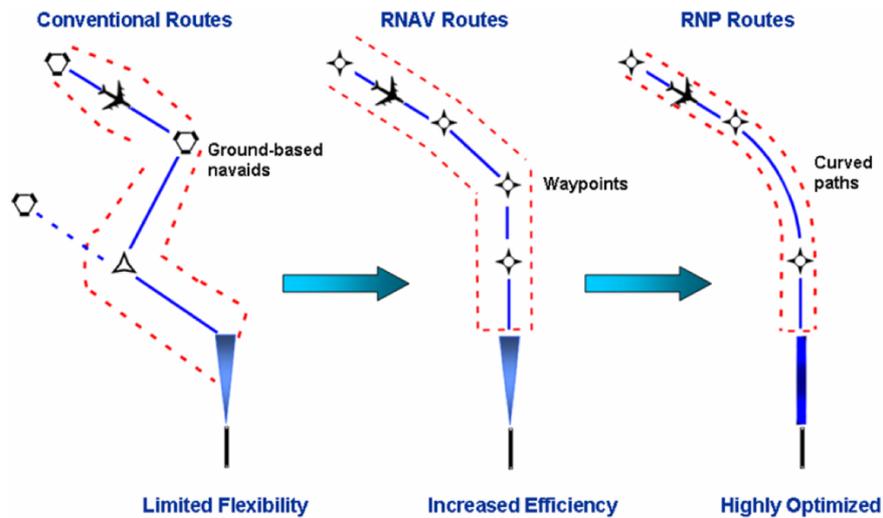


Figura 12: diferencia entre tipos de rutas

La navegación RNAV puede dividirse en los siguientes subtipos dependiendo de la precisión que proporciona: RNAV-10 usada en rutas oceánicas remotas puesto que el océano no dispone de VOR, DME, ..., RNAV-5 usada en vuelo en ruta ya que en esta fase no se requiere de tanta precisión como en una aproximación y, por último, RNAV-2/RNAV-1 usadas en vuelos en ruta, aproximaciones, despegues y arribadas.

También, la navegación RNP puede dividirse en varios subtipos: RNP 4, BASIC-RNP 1, RNP APCH y RNP AR APCH.

Como síntesis, puede decirse que las especificaciones de navegación detallan los requisitos exigidos a un sistema en términos de:

- Precisión, integridad, continuidad y disponibilidad
- Funcionalidades que debe tener el sistema a bordo
- Sensores de navegación
- Requisitos que se deben exigir a la tripulación

La diferencia y utilización de estas especificaciones puede verse esquematizada en la Imagen 13:

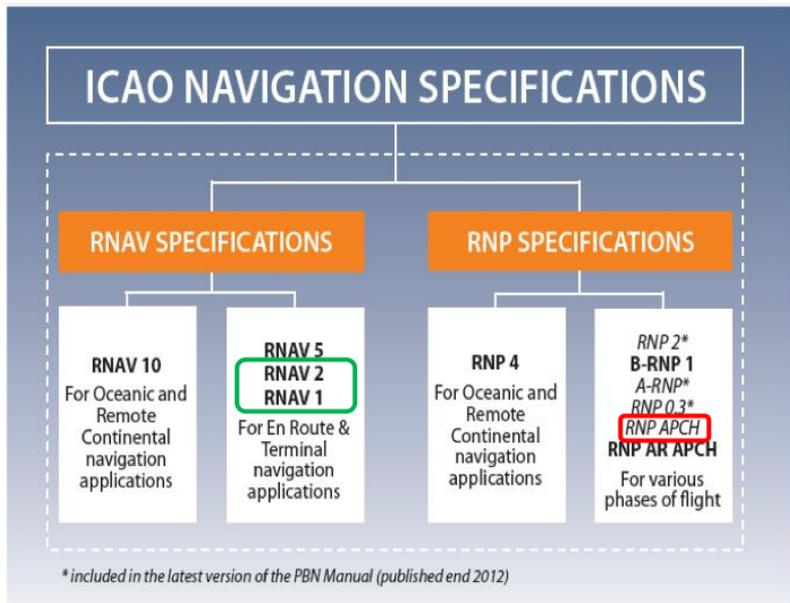


Figura 13: diferencia y utilización especificaciones

Como podemos observar en la subdivisión anterior, dependiendo de la precisión que proporcionan las diferentes especificaciones, se usan para unas fases u otras de vuelo. Esto dependerá también de las infraestructuras que se dispongan en las distintas fases de vuelo ya que, por ejemplo, las RNAV 5 usan todos los sensores. Las infraestructuras necesarias para cada tipo de especificación pueden observarse en la Imagen 14:

ESPECIFICACIONES	INFRAESTRUCTURAS				
	GNSS	IRU	DME/DME	DME/DME + IRU	DME/VOR
RNAV 10	✓	✓			
RNAV 5	✓	✓	✓	✓	✓
RNAV 2/1	✓		✓	✓	
RNP 4	✓				
BASIC-RNP 1	✓				
RNP APCH	✓				
RNP AR APCH	✓				

Figura 14: infraestructuras dependiendo de especificación

En la Imagen 14 podemos ver en horizontal las infraestructuras de navegación que incluyen todos los sensores posibles. En vertical tenemos las especificaciones de navegación RNAV o RNP con sus subtipos dependiendo de la precisión que proporcionan durante el 95% del vuelo.

Con la clasificación de la Imagen 14 se puede concluir que dependiendo de las radioayudas que se dispongan, se diseñará la aplicación de navegación que se necesite.

Por ejemplo, si se dispone de todos los sensores se podrá usar RNAV 5 pero si solamente se dispone de GNSS se deberá usar alguno de los subtipos RNP.

Las infraestructuras son ayudas a la navegación que proporcionan la posición de la aeronave y pueden estar basadas en tierra o en satélites. La posición horizontal y vertical de la aeronave se calcula con información que proviene de los sensores de navegación mencionados anteriormente y de plataformas inerciales.

La posición horizontal se calcula con los siguientes sensores en tierra: VOR, DME, TACAN y NDB. También se calcula con los siguientes satélites (GNSS): GPS, GLONASS, COMPASS y GALILEO o como hemos mencionado antes, con sistemas inerciales a bordo de la aeronave (IRS).

La posición vertical de la aeronave puede ser determinada con un sistema de aumentación satélite (SBAS), con una altimetría barométrica (Baro-VNAV) o con una aproximación con guía vertical (APV).

Dependiendo de la infraestructura que se utilice se tendrán unos mínimos de altitud u otros.

5.3. NAVEGACIÓN PBN Y SISTEMAS GNSS

Para concluir la sección de Navegación Basada en Prestaciones se va a ampliar la descripción de los sistemas GNSS ya que son una parte básica de la navegación PBN y también son necesarios para la implementación de este tipo de navegación con alta precisión.

El significado de las siglas GNSS es sistema global de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System). GNSS es una constelación de satélites que transmite señales utilizadas para la localización y el posicionamiento. La posición de la aeronave se calcula midiendo las distancias de tres satélites (como mínimo) con posición conocida. Si además se desea conocer la altitud es necesario conocer la distancia de un cuarto satélite.

La constelación GNSS engloba todos los sistemas de navegación por satélites. Hay algunos como GPS (EEUU) y (Rusia) que ya han sido implementados y otros como Galileo (Unión Europea), COMPASS (China), QZSS (Japón) e IRNSS (India) que están en proceso de desarrollo.

Los GNSS presentan una vulnerabilidad que es la interferencia de la señal. En aviación se precisa de un nivel alto de precisión por lo que si la señal presenta demasiadas interferencias la información dada por dicha señal no se podrá considerar válida debido a que puede introducir errores en el sistema de posicionamiento.

Para evitar la invalidez de las señales y garantizar que los GNSS cumplan los requisitos de las diferentes fases de vuelo se requiere de sistemas de aumentación. Hay tres tipos

de sistemas de aumentación: ABAS, SBAS y GBAS los cuales ya han sido descritos en la sección Concepto PBN, RNAV y GNSS. En la imagen 15 podemos ver los tres sistemas de aumentación y las constelaciones de satélites mencionadas anteriormente:

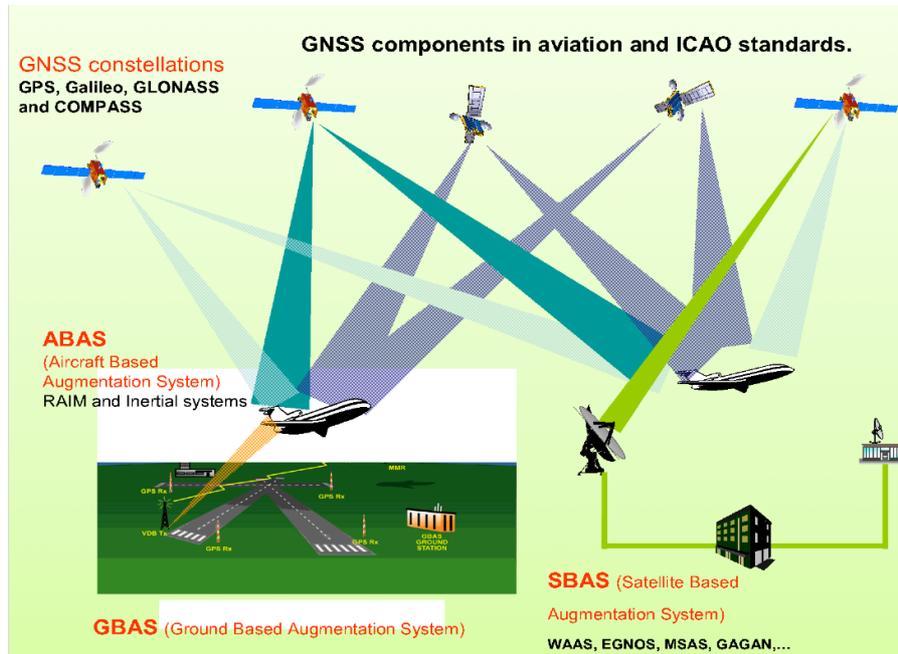


Figura 15: sistemas de aumentación y satélites

En la imagen 15 podemos observar que se mencionan varios sistemas SBAS. El sistema EGNOS es el que administra la Agencia Estatal Europea, WAAS es el gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, MSAS es el operado por Japón y GAGAN por India. Cabe destacar que cada potencia mundial tiene su sistema de navegación por satélite y su correspondiente sistema SBAS.

Los SBAS son de gran importancia en el control del espacio aéreo ya que incrementan la integridad del sistema, incrementan la exactitud del sistema GPS para cumplir con los requisitos para aproximaciones de precisión y aumentan la disponibilidad del sistema. Además, se reducen las posibilidades de accidente en fases de aproximación debido a la guía tridimensional, elimina los costes asociados a infraestructuras terrestres (NDB, VOR, DME), reduce los equipos a bordo de la aeronave lo que posibilita un vuelo más directo y conlleva a un ahorro de combustible.

Para sintetizar, como se puede observar en la imagen 14, las especificaciones RNP y RNAV requieren infraestructuras terrestres (VOR, DME) e infraestructuras GNSS. Dependiendo del grado de precisión que se requiera en la fase de vuelo en la que se encuentre la aeronave y de los sensores disponibles se deberá utilizar un tipo de infraestructura u otra.

6. APROXIMACIÓN LPV-200

La aproximación LPV (Localizer Performance with Vertical guidance) es aquella con mayor precisión dentro de las aproximaciones instrumentales GPS. Es una APV (Approach Procedure with Vertical guidance) volada hasta una DA (Decision Altitude) de 200 pies. Estos mínimos de altitud, 200 pies (61m) de altitud y 800 m de visibilidad sobre el umbral de la pista, son similares a los de un procedimiento CAT I ILS.

El hecho de que los mínimos de altitud de la RNP APCH LPV sean tan bajos es gracias a que se posiciona la aeronave con el sistema GNSS y el de aumentación SBAS. Por ello, el GNSS debe estar disponible al iniciar la aproximación. Para ello se debe comprobar la predicción de disponibilidad y si ocurre una alerta se debe ejecutar una aproximación frustrada volando su correspondiente procedimiento.

En las secciones siguientes se van a determinar las distintas fases de la aproximación LPV-200, se va a describir el procedimiento de aproximación, sus beneficios y requerimientos.

6.1. FASES DE UNA APROXIMACIÓN

Toda aproximación consta de cinco tramos independientes que están comprendidos entre dos puntos de referencia. Estos tramos son: llegada, tramo inicial, intermedio, final y tramo de aproximación frustrada.

La normativa especifica que únicamente se deben incluir los tramos necesarios debido a las condiciones locales del aeródromo, no hace falta incluir los cinco si no lo requiere el aeródromo.

La aproximación frustrada es necesario incluirla en el diseño del procedimiento de aproximación puesto que es el que se debe seguir cuando la aeronave frustra el aterrizaje y se va al aire. Una vez remontado el vuelo la aeronave podrá reintentar el aterrizaje o volará hacia otro aeródromo para aterrizar.

La fase de aproximación puede estar precedida o no de una llegada estandarizada STAR (Standard Arrival). Esto vendrá determinado por los requerimientos y el tráfico del aeródromo.

Los tramos de aproximación pueden describirse de manera más detallada a continuación:

- Tramo inicial: comprendido entre los puntos de referencia IAF (Initial Approach Fix) e IF (Intermediate approach Fix).
- Tramo intermedio: comprendido entre los puntos IF y FAP (Final Approach Point).
- Tramo final: comprendido entre el punto de referencia FAP y una DH.
- Tramo de aproximación frustrada: comprende un primer tramo de precisión en primer lugar y a continuación uno de no precisión.

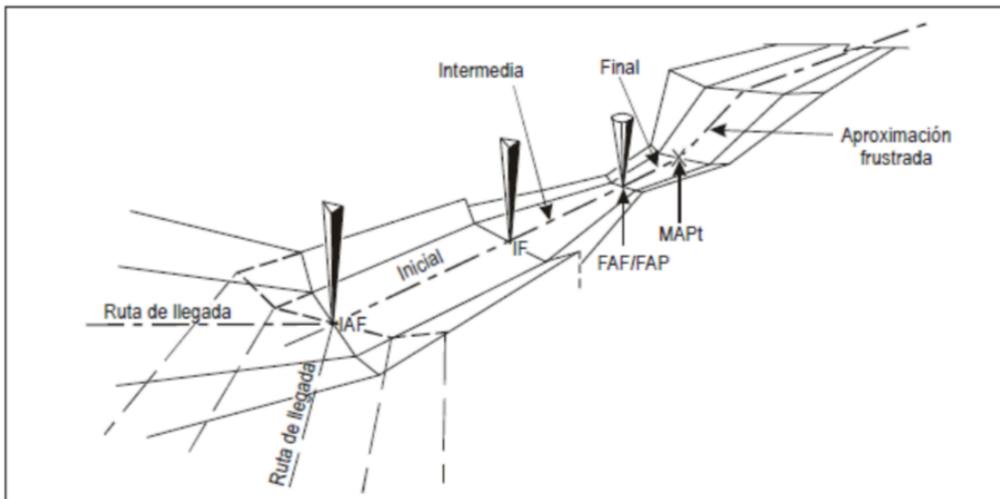


Figura 16: Fases de aproximación OACI

6.2. DESCRIPCIÓN DE UNA APROXIMACIÓN LPV-200

Dentro de la especificación RNP APCH existen cuatro tipos de aproximaciones, cada una de ellas con mínimos diferentes. Todas se basan en una *performance* lateral de 0.3 NM en el tramo de aproximación final y de 1 NM en el resto de tramos de la aproximación, incluida la frustrada.

Las aproximaciones RNP APCH se pueden ordenar de menor a mayor según los mínimos de operación: LPV, LNAV/VNAV que es navegación lateral con navegación vertical y LNAV cuyo mínimo correspondiente a sólo navegación lateral. Además, existe LP que solamente posee guiado 2D, es decir, tiene prestaciones de localizador. La aproximación LP es usada únicamente cuando no se pueden alcanzar las prestaciones de señal suficientes para tener una aproximación LPV dentro de la cobertura de los SBAS.

Se pueden ver estos conceptos de forma visual en la Imagen 17:

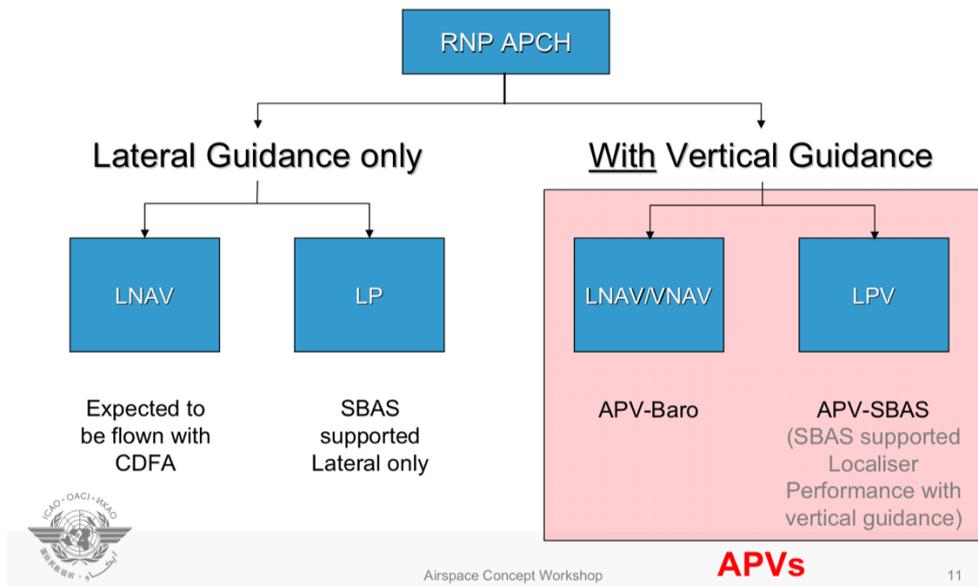


Figura 17: tipos RNP APCH

Este tipo de aproximación es llamado también aproximación APV SBAS, como se puede observar en la Imagen 18, ya que utiliza el sistema de aumentación basado en tres satélites geostacionarios logrando así una menor DH (altura de decisión).

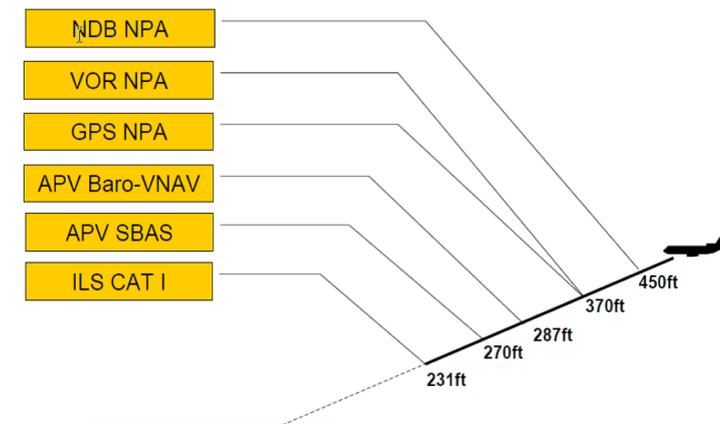


Figura 18: alturas decisión

6.3. BENEFICIOS

Este tipo de aproximaciones junto con APV Baro-VNAV y SBAS CAT I son una solución idónea, en términos económicos, para contar con aproximaciones tipo ILS CAT I sin requerir infraestructuras en tierra tipo ILS. Se pueden enumerar a continuación las ventajas asociadas a la aproximación LPV-200:

- Reducción del riesgo asociado a malas condiciones climatológicas en el aterrizaje.
- Aumento de la accesibilidad a aeropuertos debido a la precisión aportada.

- Reducción de retrasos, desvíos y cancelaciones en la navegación debido a condiciones climatológicas adversas, reduciendo los costes asociados a ello.
- Incremento de la capacidad del espacio aéreo y reducción de la carga de trabajo de los pilotos y ATC.
- Operaciones más eficientes lo que conlleva una disminución del impacto medioambiental debido a la reducción del consumo de combustible.
- Ahorro de la instalación ILS y problemas asociados a la senda de planeo que ocasionen perturbaciones.
- Reducción de la dependencia de otras radioayudas terrestres.

Además de los motivos económicos, la navegación PBN supone un avance en cuanto a la flexibilidad del espacio aéreo. Por todos estos motivos se puede concluir que las aproximaciones tipo LPV-200 son el futuro de la navegación aérea.

6.4. REQUERIMIENTOS DE LA OPERACIÓN

Los requerimientos de operación de la navegación PBN son: precisión, continuidad, disponibilidad e integridad del sistema. Estos requerimientos son establecidos por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) junto con la EASA (European Aviation Safety Agency).

A continuación, se van a describir los mínimos que se deben cumplir para llevar a cabo una operación LPV-200:

- Precisión: el HNSE (Horizontal Navigation System Error) debe ser menor de 16 m mientras que el VNSE (Vertical Navigation System Error) debe ser de 4 a 6 m.
- 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. De ahí que deba proporcionar un riesgo de continuidad $< 1 \text{ a } 8 \times 10^{-6} / 15 \text{ s}$.
- Disponibilidad: mide el tiempo en el que el sistema es utilizable en el área de cobertura. El sistema debe ser utilizable entre el 99% y el 99.9999% del tiempo.
- Integridad: existen varios términos para definir este requerimiento debido a que se trata del parámetro más complicado del sistema. A grandes rasgos, se debe cumplir que el índice de seguridad, definido como ratio entre el Error del Sistema de Navegación (xNSE) contra el Nivel de Protección (xPL) para cada segundo, debe ser menor que 1 siempre para que no se dé situación de información engañosa.

7. PROCEDIMIENTO RNP APCH LPV-200

7.1. INTRODUCCIÓN

Para diseñar un procedimiento RNP APCH LPV-200 es necesario hacer uso de tres documentos publicados por la OACI. La combinación de ambos proporciona la información necesaria para el diseño de este procedimiento para el aeropuerto de Alicante cumpliendo la precisión, seguridad y aeronavegabilidad requeridas. Los documentos OACI utilizados son los siguientes:

- Doc 9613 AN/937 Performance-Based Navigation (PBN) Manual. Este documento proporciona los requerimientos de la aproximación RNP APCH LPV-200.



Figura 19: Doc 9613 AN/937

- 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 las distancias y el resto de variables necesarias para la construcción de la aproximación RNP APCH LPV-200.

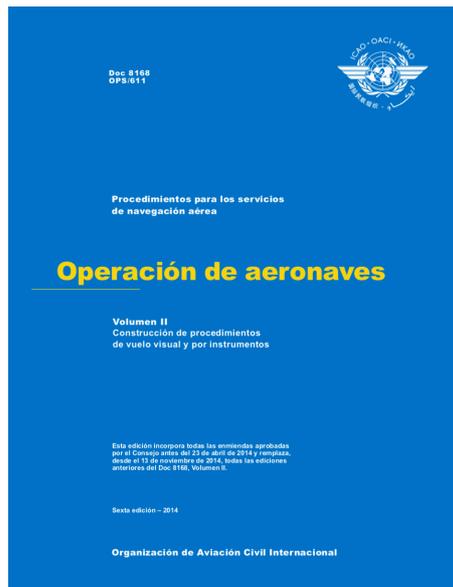


Figura 20: Doc 8168 OPS/611

De aquí en adelante, para simplificar las referencias de los dos documentos mencionados previamente, nos referiremos a ellos como Doc 9613 y Doc 8168.

7.2. GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN

El Manual de Navegación Basada en Prestaciones (doc 9613) en su Volumen II establece las bases para la implementación de operaciones RNAV y RNP de todos los tipos. Por ello, se va a recurrir a la guía de este documento para la implementación de la aproximación RNP APCH LPV-200 para la cabecera de la pista 28.

Los tramos de precisión de la aproximación mencionada anteriormente, cuya navegación es más delicada, son el tramo final y el inicial de la frustrada y serán diseñados con la ayuda del Doc 9613. El resto de tramos se consideran de no precisión y por este motivo, seguirán los criterios establecidos en el Documento 8168 que se desarrollarán más adelante.

7.3. DESCRIPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA OPERACIÓN

Los requerimientos que se van a describir en las secciones siguientes hacen referencia a los mínimos que se deben cumplir en la operación. Todos se extraen del Doc 8168 de la OACI.

Al tratarse de un procedimiento asociado a las aeronaves que operan en el aeropuerto de Alicante se van a definir, en primer lugar, las diferentes categorías de aeronaves. De esta forma, se tomarán los datos de la categoría de la aeronave de diseño de dicho aeropuerto a lo largo del desarrollo del procedimiento de aproximación. En segundo lugar, se desarrollan los requerimientos generales de la aproximación.

7.3.1. CATEGORÍA DE AERONAVE

A continuación, se va a desarrollar el criterio de velocidades utilizado para definir la categoría de la aeronave de diseño del aeropuerto de Alicante. Dicha aeronave es, como se ha mencionado anteriormente en la sección 4.7 Flota usuaria, el B747-800.

La clasificación de aeronaves se basa en que la velocidad inducida en el umbral (V_{at}) es igual a la velocidad de entrada en pérdida de la aeronave (V_{so}) multiplicada por 1.3 o la velocidad de pérdida (V_{sig}) multiplicada por 1.23 en la configuración de aterrizaje con la máxima masa certificada para el aterrizaje. En el caso de disponer de ambas, se tomará el valor máximo resultante de la velocidad inducida en el umbral, V_{at} .

La velocidad de entrada en pérdida (V_{sig}) del Boeing 747-800 en configuración de aterrizaje con la masa máxima certificada es de 161 knots, lo que equivale a 298.172 km/h en el sistema internacional. Tomaremos esta velocidad para el desarrollo del proyecto.

$$V_{at} = V_{sig} \cdot 1.23 = \text{km/h}$$

Según el Doc 8168 de la OACI a partir del valor de esta velocidad podemos clasificar la aeronave B747 como Categoría D. Cabe destacar que estas velocidades son de tipo IAS (Indicated Air Speed) y no TAS (True Air Speed). En la Tabla 8 podemos ver los valores de las velocidades IAS en km/h correspondientes a las diferentes categorías de aeronaves.

Categoría	A	B	C	D	E
IAS inferior	-	169	224	261	307
IAS superior	169	224	261	307	391

Tabla 8: clasificación por velocidades IAS

7.3.2. VELOCIDADES IAS PARA CÁLCULO DEL PROCEDIMIENTO

Una vez se ha determinado que la aeronave de diseño del aeropuerto es Categoría D, se puede obtener la gama de velocidades de cada fase de la aproximación. La gama de velocidades puede observarse en la Tabla 9 obtenida del Doc 8168:

Categoría de aeronaves	V_{at}	Gama de velocidades para aproximación inicial	Gama de velocidades para aproximación final	Velocidades máximas para maniobras visuales (en circuito)	Velocidades máximas para aproximación frustrada	
					Intermedia	Final
A	<169	165/280 (205*)	130/185	185	185	205
B	169/223	220/335 (260*)	155/240	250	240	280
C	224/260	295/445	215/295	335	295	445
D	261/306	345/465	240/345	380	345	490
E	307/390	345/467	285/425	445	425	510
H	N/A	130/220**	110/165***	N/A	165	165
Cat H (PinS)***	N/A	130/220	110/165	N/A	130 ó 165	130 ó 165

Velocidad en umbral V_{at} basada en 1,3 veces la velocidad de pérdida V_{so} o en 1,23 veces la velocidad de pérdida V_{stg} en configuración de aterrizaje con masa máxima certificada. (No aplicable a helicópteros).

* Velocidad máxima para procedimientos de inversión e hipódromo.

** La velocidad máxima para procedimientos de inversión e hipódromo hasta 6 000 ft inclusive es de 185 km/h, y de 205 km/h por encima de 6 000 ft.

*** Los procedimientos de aproximación a un punto en el espacio para helicópteros basados en GNSS básico se podrán diseñar con velocidades máximas de 220 km/h para los tramos de aproximación inicial e intermedia, y de 165 km/h para los tramos de aproximación final y frustrada o de 165 km/h para los tramos de aproximación inicial e intermedio y de 130 km/h para los tramos de aproximación final y frustrada dependiendo de las necesidades operacionales. Véase la Parte IV, Capítulo 2.

Nota.— Las velocidades V_{at} de la columna 2 de esta tabla son la conversión exacta de los valores de la Tabla I-4-1-2, puesto que aquellos valores determinan la categoría de las aeronaves. Las velocidades de las columnas restantes se han convertido y redondeado al múltiplo de cinco más próximo por razones operacionales y, desde una óptica de seguridad operacional, se consideran equivalentes.

Tabla 9: Velocidades (IAS) para el cálculo de procedimientos en kilómetros por hora (km/h)

En los tramos en los que se da un intervalo de velocidades se va a tomar la más alta para considerar el caso más desfavorable y, de esta forma, estar del lado de la seguridad.

7.3.3. PROTECCIÓN LATERAL

La protección lateral es el margen de seguridad que se deja a ambos lados de la aeronave para asegurar la posición y, por ello, seguridad durante su vuelo. Dependiendo de la fase del vuelo o tramo de la misma los márgenes varían.

Para el caso de estudio RNP APCH LPV-200 los requerimientos son los que se muestran a continuación en la Tabla 10. Estos datos han sido extraídos del Doc 8168:

RNP APCH LPV-200	Inicial	Intermedia	Final	Frustrada
	1 NM	1 NM	Angular	1 o 0.3 NM

Tabla 10: protección lateral según normativa

Sin embargo, los valores del tramo final y de la aproximación frustrada deben comentarse ya que tienen cierta particularidad:

- Tramo final: en la tabla aparece como angular debido a que la aproximación RNP APCH LPV-200 es equivalente a una aproximación de tipo ILS Cat I, no obstante, para mantener la continuidad con los dos tramos anteriores, tramo inicial e intermedio, se decide mantener 1 NM en el tramo final.

- Aproximación frustrada: en este tramo se va a añadir una protección lateral adicional por motivos de seguridad. La protección seleccionada es RNP 2 NM, 1 NM adicional al resto de tramos. El objetivo de esta disminución de precisión en este tramo es que si la aeronave se ve obligada a frustrar porque el sistema ha perdido la capacidad de cumplir los requerimientos LPV-200, se podrá realizar la frustrada con seguridad.

Se pueden expresar los requerimientos de protección lateral con las modificaciones anteriores en la Tabla 11:

RNP APCH LPV-200	Inicial	Intermedia	Final	Frustrada
	1 NM	1 NM	1 NM	2 NM

Tabla 11: protección lateral tomada

7.3.4. PROTECCIÓN VERTICAL

De manera análoga a la protección lateral, la protección vertical es la distancia de De manera análoga a la protección lateral, la protección vertical es la distancia de seguridad que se deja por encima y por debajo de la aeronave. La diferencia es que para el cálculo de las distancias en el tramo de precisión se requiere el conocimiento de las superficies de evaluación de obstáculos (OAS) y la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H).

Para los tramos de no precisión la OACI establece unos valores de margen mínimo de franqueamiento de obstáculos (MOC) para cada tramo de la aproximación. Además, variará su valor según se trate de área primaria o secundaria. Dependiendo de la derrota de la aeronave se considerará como primaria o secundaria. Los valores correspondientes a cada una de ellas pueden verse reflejados en la Imagen 21:

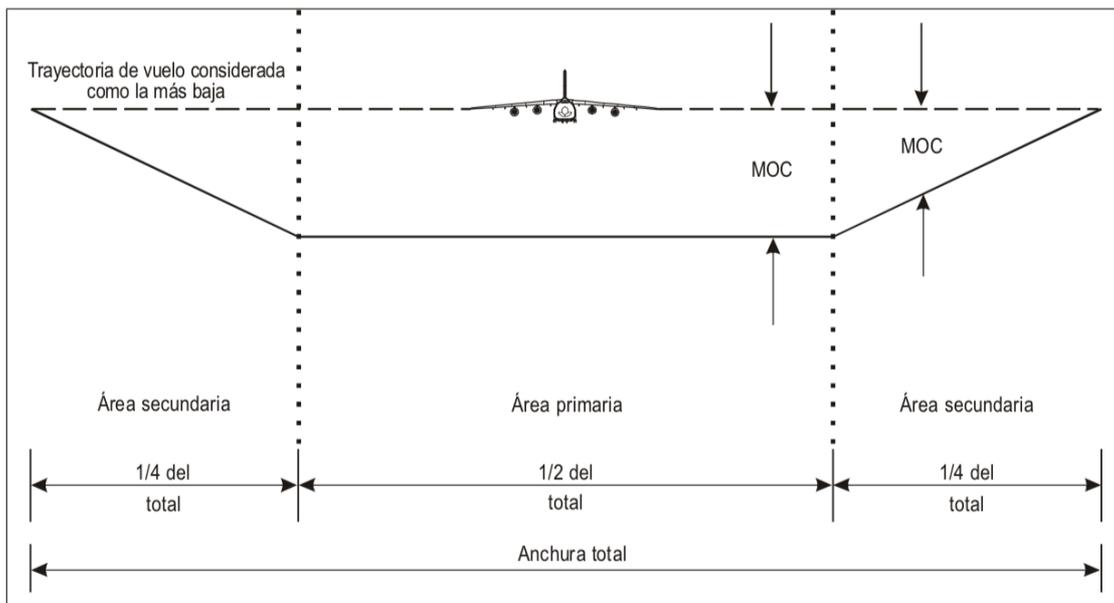


Figura 21: Corte del área de tramo en línea recta, indicando las áreas primaria y secundaria

Como se puede observar en la Imagen 21, el área primaria corresponde con la mitad del área en torno a la derrota. El área secundaria es el 25% restante situado a cada lado de la misma y disminuye hasta anularse.

Cada tramo de no precisión de la aproximación se corresponde con los valores de MOC siguientes que han sido extraídos del Doc 8168:

- Inicial y circuito de espera: el MOC en el área primaria es de 300 m para el franqueamiento de obstáculos en el borde interior y se va reduciendo hasta llegar a cero en el borde exterior.
- Intermedia: en el área primaria es de 150 m y en el área secundaria parte de este valor y se reduce a cero en el borde exterior.
- Frustrada intermedia: en el área primaria es de 30 m y en el área secundaria parte de este valor y se reduce a cero en el borde exterior.
- Frustrada final: en el área primaria es de 50 m y en el área secundaria parte de este valor y se reduce a cero en el borde exterior.

7.3.5. CÁLCULO TAS

En este apartado se pasará de las velocidades IAS a las velocidades TAS. Se van a tomar los valores de las velocidades de aeronaves Categoría D mencionados en los apartados anteriores.

Es necesario el paso de IAS a TAS para el desarrollo de los cálculos ya que el valor de la velocidad verdadera, TAS, depende de parámetros como la altura o la temperatura que varía respecto a la atmósfera estándar.

La conversión de una velocidad a otra se realizará mediante la ecuación siguiente:

$$TAS = IAS \cdot 171233 \cdot \frac{((288 \cdot VAR) - 0.006496 \cdot H)^{0.5}}{(288 - 0.006496 \cdot H)^{2.628}}$$

Donde:

- TAS: True Air Speed (km/h).
- IAS: Indicated Air Speed (km/h).
- VAR: variación de la atmósfera respecto a la estándar (ISA), la temperatura disminuye 6.5 °C por cada 1000 m.
- H: altitud (m).

Las conversiones de TAS a IAS han sido obtenidas de Doc 8168 OACI.

7.3.6. ÁNGULO LATERAL, RADIO VIRAJE Y PROTECCIÓN DE LOS VIRAJES

El ángulo lateral es el ángulo de inclinación lateral que debe tener la aeronave. La normativa establece que su valor debe ser de 25° o 3°/s (para aeronaves pesadas) en todas las fases de aproximación excepto en el de la frustrada que su valor debe ser 15°.

La mejor opción para realizar un viraje es utilizando el método del viraje RF. Este método consiste en mantener constante el radio de la trayectoria hasta alcanzar el punto de referencia. La protección de virajes está determinada por:

- Punto tangencial al fin del viraje.
- Centro del viraje.
- Radio del viraje.
- Valor XTT.
- Valor intermedio (BV), donde BV se define en función de la fase de la operación y si se trata de RNAV o RNP.

Los valores intermedios (BV) en la Tabla 12 se utilizan en todas las aplicaciones PBN excepto RNP AR. Para el caso de estudio hay que tomar los valores de la columna CAT A-E ya que la aeronave utilizada para el diseño del procedimiento se incluye en estas categorías.

<i>Fase de vuelo</i>	<i>BV para CAT A-E</i>	<i>BV para CAT H</i>
En ruta, SID y STAR [mayor o igual que 56 km (30 NM) respecto del ARP de salida o destino]	3 704 m (2,0 NM)	1 852 m (1,0 NM)
Terminal [STAR y aproximaciones inicial e intermedia menores que 56 km (30 NM) respecto del ARP; y SID y aproximaciones frustradas menores que 56 km (30 NM) respecto del ARP, pero mayores que 28 km (15 NM) respecto del ARP]	1 852 m (1,0 NM)	1 296 m (0,7 NM)
Aproximación final	926 m (0,5 NM)	648 m (0,35 NM)
Aproximaciones frustradas y SID de hasta 28 km (15 NM) respecto del ARP	926 m (0,5 NM)	648 m (0,35 NM)

Tabla 12: valores intermedios

A partir de la siguiente ecuación se determina el valor del radio de viraje de una aproximación:

$$r = \frac{(V + V_w) \cdot 2}{127094} \cdot \tan \theta$$

Donde:

- r: radio del viraje (km).
- V: velocidad aerodinámica verdadera máxima de la aeronave (km/h).
- V_w: velocidad máxima del viento (km/h).
- θ: ángulo de inclinación lateral máximo para la fase de vuelo (deg).

La Imagen 22 muestra la construcción de la protección del viraje RF.

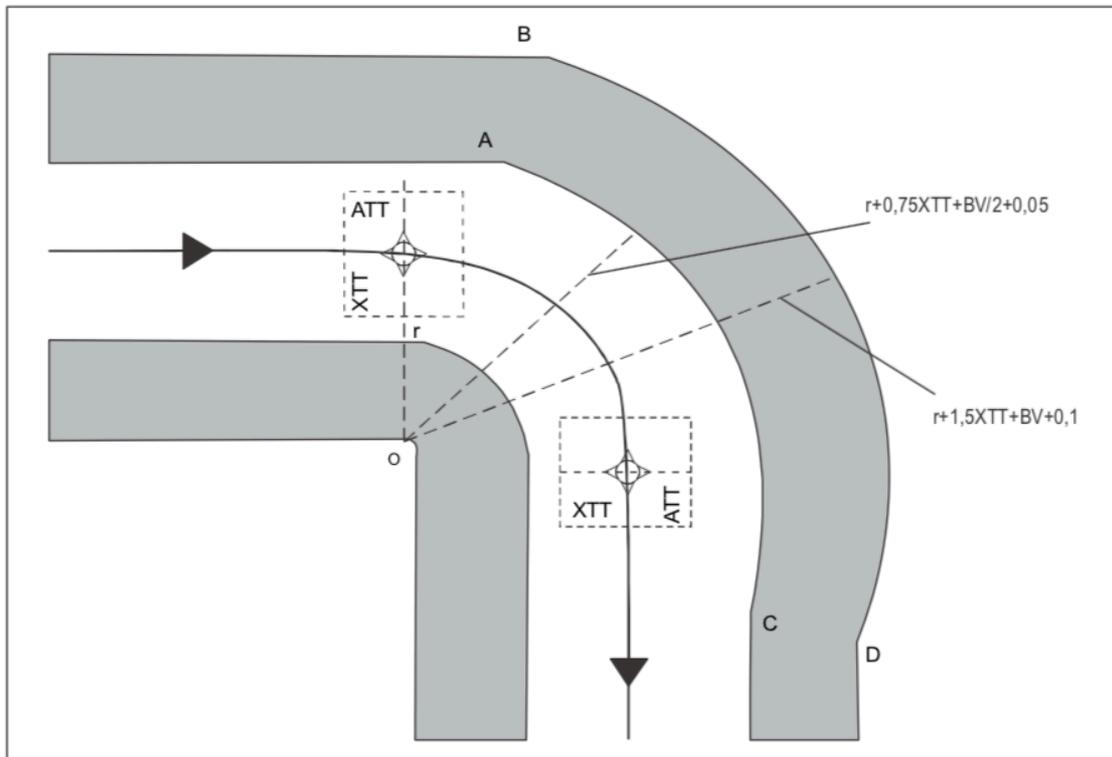


Figura 22: Protección viraje RF

El borde exterior del área primaria lo determina el segmento del círculo con:

- Centro en el punto O
- Radio de $r + 0,75 \cdot XTT + BV/2 + 93m$
- Delimitado por los bordes de los tramos en línea recta adyacentes que son los puntos A y C de la Imagen 22

El borde exterior área secundaria lo determina el segmento del círculo con:

- Centro en el punto O
- Radio de $r + 1,5 \cdot XTT + BV + 186m$
- Delimitado por los bordes de los tramos en línea recta adyacentes que son los puntos B y D de la Imagen 22

El borde interior área primaria y secundaria lo determina el segmento del círculo con:

- Centro en el punto O
- Radio de $r - [0,75 \cdot XTT + BV/2]$
- Delimitado por los bordes de los tramos en línea recta adyacentes

7.3.7. DETERMINACIÓN DE LONGITUD MÍNIMA DEL TRAMO RNAV

Para diseñar el procedimiento de aproximación es necesario calcular la distancia mínima de estabilización tras los giros. Este tramo de estabilización se denomina longitud mínima del tramo RNAV y es la distancia mínima para completar la maniobra de viraje y se utiliza para calcular la distancia mínima entre dos puntos de recorrido.

La distancia mínima de estabilización está tabulada en función de tipo de punto de recorrido, es decir, si es de paso o sobrevuelo.

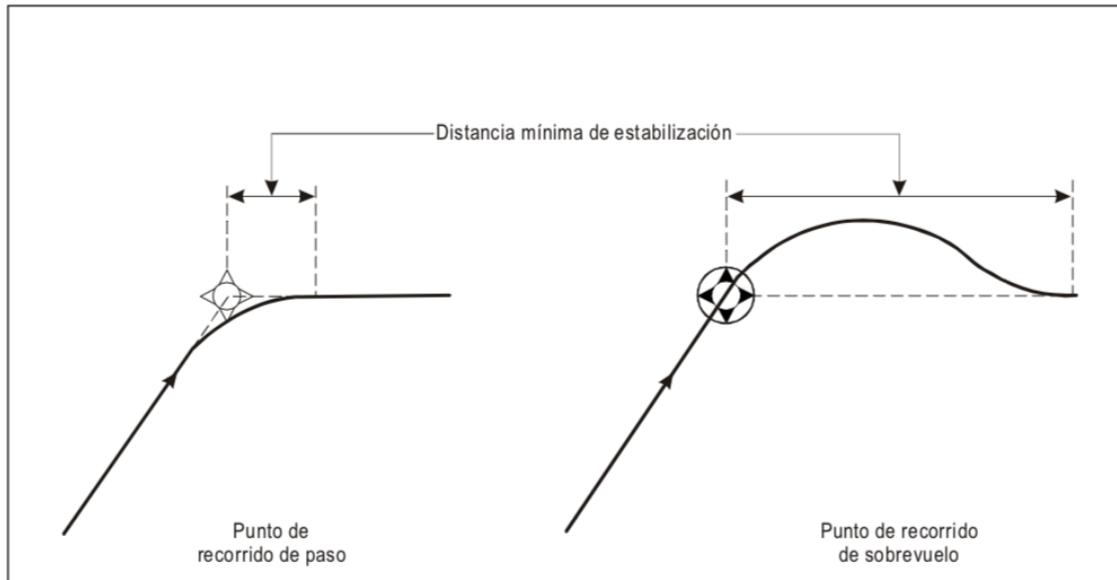


Figura 23: Determinación de la distancia mínima de estabilización

Pueden darse cuatro situaciones para un tramo limitado por dos puntos de recorrido:

- Dos puntos de recorrido de paso.
- Un punto de recorrido de paso, seguido de un punto de recorrido de sobrevuelo.
- Dos puntos de recorrido de sobrevuelo.
- Un punto de recorrido de sobrevuelo, seguido de un punto de recorrido de paso.

Para cada punto de recorrido se determina una distancia mínima de estabilización. Para puntos de recorrido sucesivos, la distancia mínima entre ellos es la suma de ambas distancias mínimas de estabilización. Las distancias mínimas de estabilización están tabuladas para diversos valores de velocidad verdadera y de cambio de rumbo en el punto de recorrido.

A continuación, se van a mostrar las tablas de distancia mínima de estabilización necesarias para ángulo de inclinación lateral de 15° y 25° ya que, como se ha mencionado anteriormente, estos son los valores utilizados en todas las fases de aproximación y en la frustrada.

Cambio de curso* (grados)	Velocidad verdadera (km/h)														
	< o = 240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	480	520	560	600	640
50	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	3,3	3,8	4,4	5,1	5,8	6,5
55	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,6	4,2	4,9	5,6	6,3	7,2
60	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,9	4,6	5,3	6,1	6,9	7,8
65	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	4,2	5,0	5,8	6,6	7,6	8,6
70	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,2	3,5	3,8	4,6	5,4	6,3	7,2	8,2	9,3
75	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	5,0	5,9	6,8	7,8	8,9	10,1
80	1,8	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	5,4	6,3	7,4	8,5	9,7	11,0
85	1,9	2,2	2,5	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,9	5,8	6,9	8,0	9,2	10,5	11,9
90	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,4	8,7	10,0	11,4	12,9
95	2,2	2,5	2,9	3,3	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,8	8,1	9,4	10,8	12,4	14,0
100	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	5,0	5,6	6,2	7,4	8,7	10,2	11,8	13,4	15,2
105	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	5,5	6,1	6,7	8,0	9,5	11,1	12,8	14,6	16,6
110	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,3	5,9	6,6	7,3	8,7	10,3	12,1	13,9	15,9	18,1
115	3,0	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,5	7,2	7,9	9,5	11,3	13,2	15,2	17,4	19,8
120	3,3	3,8	4,4	5,0	5,7	6,4	7,1	7,9	8,7	10,5	12,4	14,5	16,7	19,1	21,7

* Utilícese el valor de 50° para cambios de curso inferiores a 50°.

Tabla 13: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de paso (unidades del SI, 15° de ángulo de inclinación lateral)

Cambio de curso** (grados)	Velocidad verdadera (km/h)														
	< o = 240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	480	520	560	600	640
50	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,7	4,1
55	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	4,0	4,5
60	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,5	2,9	3,4	3,8	4,3	4,9
65	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	4,7	5,3
70	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,5	5,1	5,7
75	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	3,1	3,6	4,2	4,8	5,5	6,2
80	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,4	3,9	4,6	5,2	5,9	6,7
85	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,6	4,2	4,9	5,6	6,4	7,2
90	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,9	4,6	5,3	6,1	6,9	7,8
95	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	4,2	4,9	5,7	6,6	7,5	8,4
100	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,5	5,3	6,2	7,1	8,1	9,1
105	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3	3,7	4,1	4,9	5,7	6,7	7,7	8,7	9,9
110	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,3	3,6	4,0	4,4	5,3	6,2	7,2	8,3	9,5	10,8
115	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,5	3,9	4,4	4,8	5,7	6,8	7,9	9,1	10,4	11,7
120	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,9	4,3	4,7	5,2	6,3	7,4	8,6	9,9	11,4	12,9

* 25° o 3°/s

** Utilícese el valor de 50° para cambios de curso inferiores a 50°.

Tabla 14: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de paso (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral)

Cambio de curso* (grados)	Velocidad verdadera (km/h)															
	< o =	240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	480	520	560	600	640
50	3,9	4,5	5,2	5,9	6,7	7,5	8,3	9,2	10,1	12,1	14,3	16,7	19,2	22,0	24,9	
55	4,2	4,9	5,6	6,4	7,2	8,0	9,0	9,9	10,9	13,1	15,5	18,1	20,8	23,8	27,0	
60	4,5	5,2	6,0	6,8	7,7	8,6	9,6	10,7	11,8	14,1	16,7	19,4	22,4	25,6	29,1	
65	4,8	5,6	6,4	7,3	8,2	9,2	10,3	11,4	12,6	15,1	17,9	20,8	24,0	27,5	31,1	
70	5,1	5,9	6,8	7,7	8,8	9,8	11,0	12,1	13,4	16,1	19,0	22,2	25,6	29,3	33,2	
75	5,4	6,3	7,2	8,2	9,3	10,4	11,6	12,9	14,2	17,1	20,2	23,6	27,2	31,1	35,3	
80	5,7	6,6	7,6	8,6	9,8	11,0	12,2	13,6	15,0	18,0	21,3	24,9	28,7	32,9	37,3	
85	5,9	6,9	7,9	9,1	10,2	11,5	12,8	14,3	15,7	18,9	22,4	26,2	30,2	34,6	39,2	
90	6,2	7,2	8,3	9,5	10,7	12,0	13,4	14,9	16,5	19,8	23,4	27,4	31,6	36,2	41,1	
95	6,4	7,5	8,6	9,9	11,2	12,5	14,0	15,5	17,2	20,6	24,4	28,6	33,0	37,8	42,9	
100	6,7	7,8	9,0	10,2	11,6	13,0	14,5	16,1	17,8	21,4	25,4	29,7	34,3	39,2	44,5	
105	6,9	8,0	9,3	10,6	12,0	13,4	15,0	16,7	18,4	22,2	26,2	30,7	35,5	40,6	46,1	
110	7,1	8,3	9,5	10,9	12,3	13,8	15,5	17,2	19,0	22,8	27,0	31,6	36,6	41,8	47,5	
115	7,3	8,5	9,8	11,2	12,6	14,2	15,9	17,6	19,5	23,4	27,8	32,5	37,5	43,0	48,8	
120	7,4	8,7	10,0	11,4	12,9	14,5	16,2	18,0	19,9	24,0	28,4	33,2	38,4	44,0	49,9	

* Utilícese el valor de 50° para cambios de curso inferiores a 50°.

Tabla 15: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 15° de ángulo de inclinación lateral)

Cambio de curso** (grados)	Velocidad verdadera (km/h)															
	< o =	240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	480	520	560	600	640
50	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	5,1	5,6	6,2	6,8	8,1	9,6	11,1	12,8	14,5	16,4	
55	3,4	3,8	4,1	4,4	4,8	5,4	6,0	6,6	7,3	8,7	10,2	11,9	13,7	15,6	17,6	
60	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,8	6,4	7,1	7,8	9,3	10,9	12,7	14,6	16,6	18,8	
65	3,9	4,3	4,6	5,0	5,5	6,1	6,8	7,5	8,2	9,8	11,6	13,5	15,5	17,7	20,0	
70	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,4	7,2	7,9	8,7	10,4	12,3	14,3	16,4	18,8	21,2	
75	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,8	7,5	8,3	9,2	11,0	12,9	15,1	17,3	19,8	22,4	
80	4,5	5,0	5,4	5,8	6,3	7,1	7,9	8,7	9,6	11,5	13,6	15,8	18,2	20,8	23,5	
85	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,4	8,2	9,1	10,1	12,0	14,2	16,6	19,1	21,8	24,7	
90	4,9	5,4	5,9	6,3	6,9	7,7	8,6	9,5	10,5	12,5	14,8	17,3	19,9	22,7	25,7	
95	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	8,0	8,9	9,9	10,9	13,0	15,4	17,9	20,7	23,6	26,8	
100	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	8,3	9,2	10,2	11,2	13,5	15,9	18,6	21,4	24,5	27,7	
105	5,5	6,0	6,5	7,0	7,6	8,5	9,5	10,5	11,6	13,9	16,4	19,2	22,1	25,2	28,6	
110	5,6	6,1	6,6	7,2	7,8	8,7	9,7	10,8	11,9	14,3	16,9	19,7	22,7	26,0	29,4	
115	5,8	6,3	6,8	7,3	8,0	9,0	10,0	11,1	12,2	14,6	17,3	20,2	23,3	26,6	30,1	
120	5,9	6,4	6,9	7,5	8,1	9,1	10,2	11,3	12,4	14,9	17,7	20,6	23,8	27,2	30,8	

* 25° o 3°/s

** Utilícese el valor de 50° para cambios de curso inferiores a 50°.

Tabla 16: Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de sobrevuelo (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral)

La Tabla 17 muestra la longitud mínima de un tramo RNAV limitado por un punto de recorrido que no es un punto de recorrido de viraje.

<i>Fase de vuelo</i>	<i>D: distancia mínima al punto de recorrido*</i>
En ruta	
Más de 56 km (30 NM) respecto del ARP de salida o destino	9,3 km (5,0 NM)
STAR, inicial dentro de una distancia de 56 km (30 NM) respecto del ARP	5,6 km (3,0 NM)
SID dentro de una distancia de 28 km (15 NM) respecto del DER, la aproximación intermedia y la aproximación final	2,8 km (1,5 NM)
Aproximaciones frustradas y SID dentro de una distancia de 56 km (30 NM) respecto del ARP	5,6 km (3,0 NM)
* Cuando la distancia de estabilización sea mayor que D, D será igual a la distancia de estabilización.	

Tabla 17: Longitud mínima de un tramo RNAV limitado por, como mínimo, un punto de recorrido que no es punto de recorrido de viraje

7.4. DESCRIPCIÓN DE LAS GENERALIDADES DE LOS TRAMOS DE LA OPERACIÓN

En esta sección se van a describir las generalidades de los tramos de la aproximación con mínimos LPV-200 con SBAS para la pista 28 del aeropuerto de Alicante. Se va a tomar como aeronave de referencia el B747-800 que es la aeronave de diseño del aeropuerto y es categoría D. Dichos tramos son aproximación inicial, intermedia, final y frustrada, todas ellas descritas a grandes rasgos en la Parte III.

La aproximación inicial e intermedia tienen como objetivo principal suavizar el descenso de la aeronave desde el entorno en ruta hasta el FAS. En estos tramos, es necesario completar el descenso para interceptar la senda de planeo y la configuración de la aeronave para la aproximación final. La aproximación frustrada se diseña para cuando la aeronave debe abortar el aterrizaje y volver a ascender con seguridad.

La normativa de los tramos utilizada para la construcción de los distintos tramos de la aproximación se ha obtenido de los documentos Doc 8168 OACI. Además de la documentación OACI se ha hecho uso del software Matlab para la representación del procedimiento de aproximación. El programa utilizado se incluye en el anexo.

7.4.1. TRAMO DE APROXIMACIÓN INICIAL

El tramo de aproximación inicial está comprendido entre los puntos IAF (Initial Approach Fix) e IF (Intermediate Approach Fix). El IAF indica dónde comienza la aproximación instrumental y el IF indica el final de la aproximación inicial y el comienzo de la intermedia.

El tramo de aproximación inicial está comprendido entre los puntos IAF (Initial Approach Fix) e IF (Intermediate Approach Fix). El IAF indica dónde comienza la aproximación

instrumental y el IF indica el final de la aproximación inicial y el comienzo de la intermedia.

El objetivo de este tramo es reducir la altitud de vuelo de la aeronave y alinearla con la pista. La velocidad y la configuración de la aeronave dependerán de la distancia al aeródromo y del descenso requerido.

Un procedimiento APV que incorpora una disposición en barra T o Y se basa en un tramo final alineado con la pista, precedido por un tramo intermedio y hasta tres tramos iniciales dispuestos a cada lado y a lo largo de la derrota de aproximación final para formar una T o una Y. Esta disposición permite entrar directamente al procedimiento desde cualquier dirección.

Además, permite que la geometría del diseño de procedimientos de aproximación sea muy flexible de manera que la ruta sea lo más corta posible y se obtengan reducciones significativas en el consumo de combustible. El diseño de la aproximación debe suministrar la configuración menos compleja posible para conseguir la OCA/H mínima deseada.

La Imagen 24 muestra la aplicación de la T y de la Y en base.

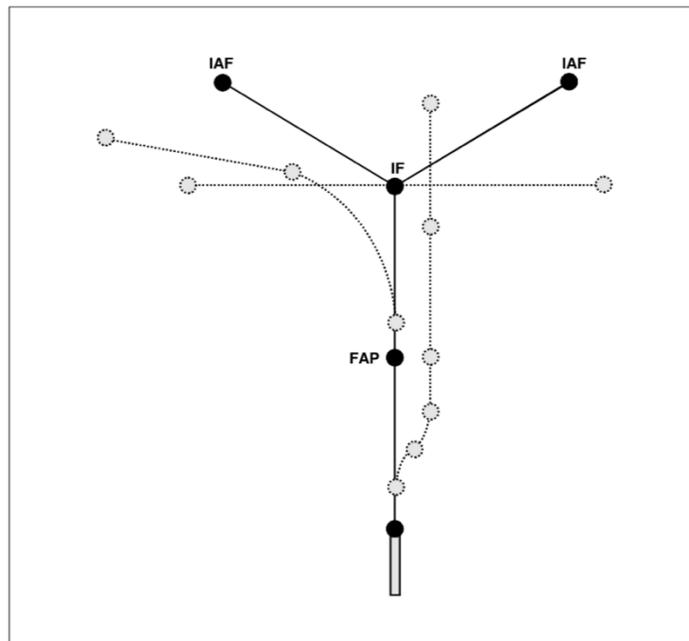


Figura 24: aproximación barra en Y

El ángulo de intercepción máximo del tramo de aproximación inicial hasta el IF no debe superar los 120° . Los cambios de más de 90° en un punto de recorrido deberán evitarse. Su longitud no está normalizada, pero debe ser suficiente como para permitir cambios de altitud cumpliendo con los requerimientos de la pendiente. El valor óptimo de longitud de este tramo son 9 km. Si el tramo inicial viene precedido por una ruta de llegada, la distancia mínima será de 11.1 km (6,0 NM) para permitir su fusión.

La pendiente del tramo de aproximación inicial tiene un valor óptimo del 4%. Se puede usar una pendiente del 8% como valor máximo para franquear obstáculos e incluso se puede usar una pendiente del 13.2% cuando la velocidad IAS esté restringida a 165 km/h.

Las altitudes mínimas en el tramo de aproximación inicial deben establecerse en incrementos de 50 m (100 ft), según corresponda. La altitud seleccionada deberá proporcionar como mínimo en el área primaria un MOC de 300 m (984 ft) sobre los obstáculos que se reduce lateralmente hasta cero en el borde exterior del área secundaria y no debe ser inferior a ninguna altitud especificada para cualquier parte de los tramos de aproximación intermedia o final.

Por último, las altitudes/alturas reglamentarias no deberán ser inferiores a la OCA/H y debe establecerse para permitir a la aeronave que intercepte la pendiente de descenso del FAS desde el interior del segmento intermedio.

7.4.2. ESPERA

Para el procedimiento de este proyecto se va a tomar el circuito de espera del IAF BESOR publicado en el AIP del aeropuerto de Alicante. El circuito de espera permite separar el tráfico de entrada al aeropuerto.

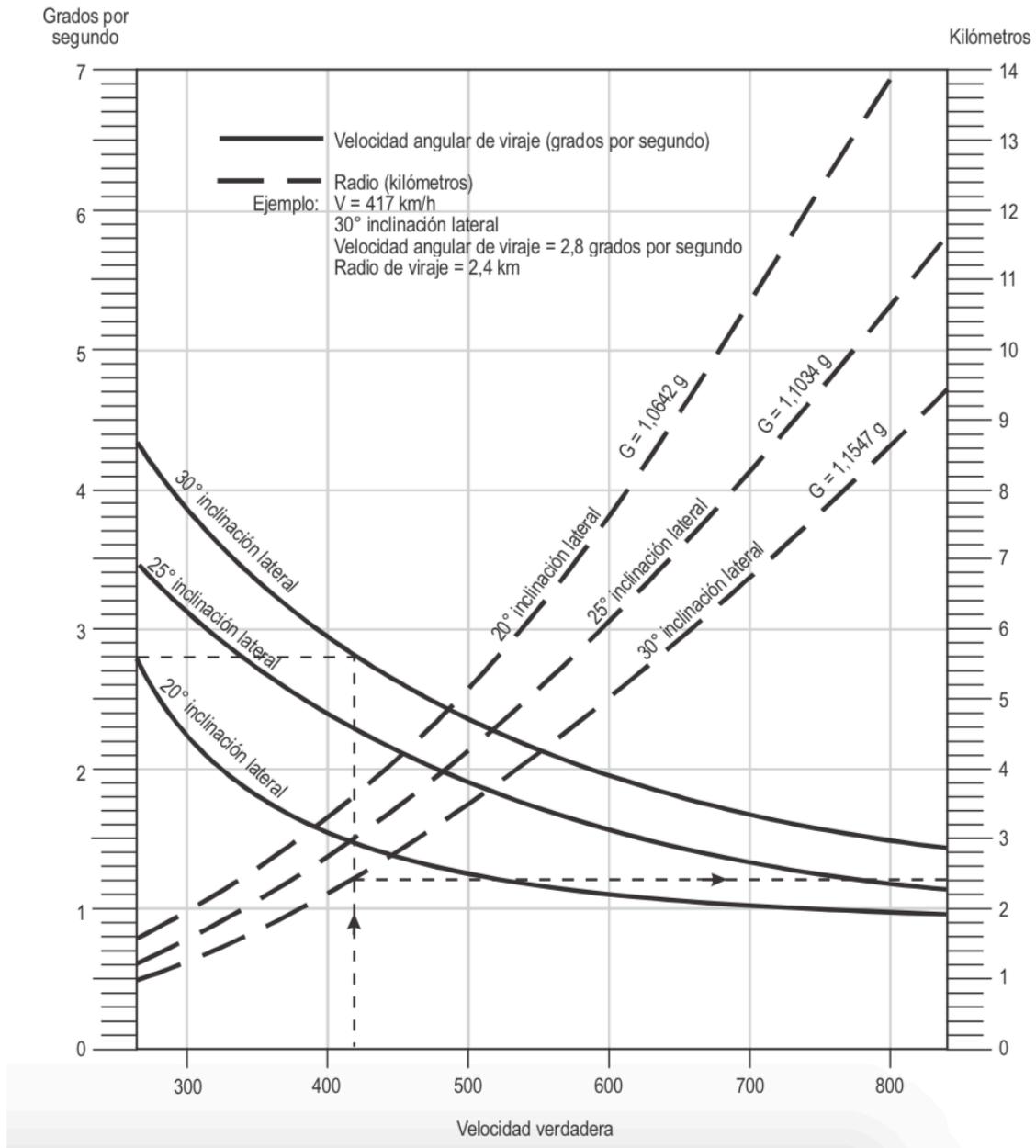
Consta de los siguientes tramos:

- Tramo de alejamiento: la aeronave se aleja del IAF que es el punto de referencia.
- Tramo de acercamiento: la aeronave se acerca al IAF. Este tramo es paralelo al de alejamiento.
- Virajes: hay dos, uno para situarse en el tramo de acercamiento y el otro para situarse en el de alejamiento.

Los tramos del circuito de espera no están definidos en distancias sino en tiempos. El cronometraje de alejamiento comienza sobre el IAF o al cruzarlo, lo que ocurra más tarde. Si no puede determinarse la posición de cruce, el cronometraje se inicia una vez completado el viraje de alejamiento.

El tramo de alejamiento es de un minuto dado que la altura del IAF es de menos de 4250 m. Una vez finalizado el viraje deben quedar, al menos, 30 segundos disponibles en la derrota de acercamiento.

Todos los virajes han de hacerse con un ángulo de inclinación lateral de 25°. La velocidad angular de viraje se puede obtener en función del ángulo de inclinación lateral tal y como se indica en la Gráfica 3.



Gráfica 3: Ángulo de inclinación lateral, velocidad de viraje, radio de viraje y valores de g a velocidades variables (unidades del SI)

La velocidad IAS que debe tener la aeronave dependiendo de su altitud se muestra en la Tabla 18 a continuación.

<i>Niveles¹</i>	<i>Condiciones normales</i>	<i>Condiciones de turbulencia</i>
Helicópteros hasta 1 830 m (6 000 ft) inclusive	185 km/h (100 kt)	
Hasta 4 250 m (14 000 ft) inclusive	425 km/h (230 kt) ² 315 km/h (170 kt) ⁴	520 km/h (280 kt) ³ 315 km/h (170 kt) ⁴
Más de 4 250 m (14 000 ft) hasta 6 100 m (20 000 ft) inclusive Más de 6 100 m (20 000 ft) hasta 10 350 m (34 000 ft) inclusive	445 km/h (240 kt) ⁵ 490 km/h (265 kt) ⁵	520 km/h (280 kt) o 0,8 Mach, lo que sea menor ³
Más de 10 350 m (34 000 ft)	0,83 Mach	0,83 Mach

1. Los niveles de esta tabla representan *altitudes* o los correspondientes *niveles de vuelo*, dependiendo del reglaje de altímetro utilizado.
2. Cuando al procedimiento de espera le sigue el tramo inicial de un procedimiento de aproximación por instrumentos promulgado para una velocidad superior a 425 km/h (230 kt), también deberá promulgarse la espera a esta velocidad superior, siempre que sea posible.
3. Véase 1.3.1.4, “Aeronaves en espera a 520 km/h (280 kt)/0,8 Mach”.
4. Solamente para esperas de aeronaves Cat A y B, y Cat H por encima de 1 830 m (6 000 ft).
5. Siempre que sea posible, para procedimientos de espera asociados con estructuras de aerovías deberá utilizarse una velocidad de 520 km/h (280 kt).

Tabla 18: Velocidades aerodinámicas para la construcción del área de espera

El mínimo margen que se debe dejar para el franqueamiento de obstáculos es de 300 m en el área primaria. En el área secundaria se reduce hasta cero en el borde exterior, al igual que en el tramo de aproximación inicial. En caso de terreno montañoso se debe dejar una distancia adicional para tener en cuenta los posibles efectos de la turbulencia, corrientes descendentes y otros fenómenos meteorológicos, siendo el MOC 600 m. La Tabla 19 recoge los valores de franqueamiento de obstáculos en espera.

<i>Distancia más allá del límite del área de espera</i>		<i>Margen mínimo de franqueamiento de obstáculos por encima de terreno bajo y llano</i>	
<i>Kilómetros</i>	<i>Millas marinas</i>	<i>Metros</i>	<i>Pies</i>
0 a 1,9	0 a 1,0	300	984
1,9 a 3,7	1,0 a 2,0	150	492
3,7 a 5,6	2,0 a 3,0	120	394
5,6 a 7,4	3,0 a 4,0	90	294
7,4 a 9,3	4,0 a 5,0	60	197
Categoría H			
0 a 3,7	0 a 2,0	lineal	lineal
		300 a 0	984 a 0

Tabla 19: Margen mínimo de franqueamiento de obstáculos en el área tope por encima de terreno bajo y llano

Una vez se han determinado las generalidades de la espera, para poder diseñarla hay que tener en cuenta las siguientes variables:

- Altitud: altitud del IAF.
- Temperatura: la correspondiente a dicha altitud para una atmósfera ISA + 15°.
- Velocidad verdadera: se calcula a partir de la velocidad IAS la correspondiente a la aeronave más rápida que en este caso de estudio es Categoría D. Para realizar la conversión a TAS hay que obtener la constante K que se obtiene haciendo uso de la Tabla 20 y aplicar la ecuación siguiente.

$$TAS = K \cdot IAS$$

- Tiempo cronometraje: 1 minuto para el tramo alejamiento.
- Velocidad del viento: depende de la altitud y su valor está normalizado por OACI con la ecuación siguiente. Las unidades de esta ecuación son kt y la h es la altitud expresada en miles de metros.

$$w = 12 \cdot h + 47$$

- Ángulo de inclinación lateral: su valor está establecido en 25°.
- Área de tolerancia del punto de referencia (IAF).
- Tolerancia técnica de vuelo:
 - Cronometraje de alejamiento: ±10 segundos.
 - Tiempo de reacción del piloto: 6 segundos.
 - Establecimiento del ángulo de inclinación lateral: 5 segundos.
 - Tolerancia de rumbo: ± 5°.

Altitud (metros)	Factor de conversión							
	ISA-30	ISA-20	ISA-10	ISA	ISA+10	ISA+15	ISA+20	ISA+30
0	0,9465	0,9647	0,9825	1,0000	1,0172	1,0257	1,0341	1,0508
500,0	0,9690	0,9878	1,0063	1,0244	1,0423	1,0511	1,0598	1,0770
1 000,0	0,9922	1,0118	1,0309	1,0497	1,0682	1,0774	1,0864	1,1043
1 500,0	1,0163	1,0366	1,0565	1,0760	1,0952	1,1046	1,1140	1,1325
2 000,0	1,0413	1,0623	1,0830	1,1032	1,1231	1,1329	1,1426	1,1618
2 500,0	1,0672	1,0890	1,1105	1,1315	1,1521	1,1623	1,1724	1,1923
3 000,0	1,0940	1,1167	1,1390	1,1608	1,1822	1,1928	1,2032	1,2239
3 500,0	1,1219	1,1455	1,1686	1,1912	1,2135	1,2245	1,2353	1,2568
4 000,0	1,1507	1,1753	1,1993	1,2229	1,2460	1,2574	1,2687	1,2910
4 500,0	1,1807	1,2063	1,2313	1,2558	1,2798	1,2917	1,3034	1,3266
5 000,0	1,2119	1,2385	1,2645	1,2900	1,3150	1,3273	1,3395	1,3636
5 500,0	1,2443	1,2720	1,2991	1,3256	1,3516	1,3644	1,3771	1,4022
6 000,0	1,2779	1,3068	1,3350	1,3627	1,3897	1,4031	1,4163	1,4424
6 500,0	1,3130	1,3430	1,3725	1,4013	1,4295	1,4434	1,4572	1,4843
7 000,0	1,3494	1,3808	1,4115	1,4415	1,4709	1,4854	1,4998	1,5281
7 500,0	1,3873	1,4201	1,4521	1,4835	1,5141	1,5292	1,5442	1,5737

Para valores que no aparecen en la tabla, se usa la siguiente fórmula:

$$TAS = IAS \times 171233 [(288 \pm VAR) - 0,006496H]^{0,5} \div (288 - 0,006496H)^{2,628}$$

donde: VAR = Diferencia de temperatura en relación con las de la ISA en °C, H = Altitud en metros.

Tabla 20: factor de conversión IAS a TAS

Por último, para realizar la construcción del área de espera se va a emplear el método simplificado del rectángulo cuya norma se ha extraído del Doc 8168 OACI. Este método consiste en construir el área básica de protección del hipódromo de espera mediante ecuaciones que están relacionadas con el sistema clásico de coordenadas x e y, con origen en la radiobaliza que en este caso es inexistente. Para solucionar esto se toma el origen del eje y en el punto IAF y el origen del eje x en el centro del arco del viraje de 180° más próximo. Al área primaria se le debe añadir la secundaria que es de 9.3 km.

El eje x es paralelo a la derrota de acercamiento. Los valores negativos de x se miden desde la instalación en la dirección de la derrota de acercamiento y los valores positivos de x se miden desde la instalación en dirección opuesta a la de la derrota de acercamiento. Los valores positivos de y se miden en el lado del eje x que contenga la derrota de alejamiento o la maniobra del procedimiento de inversión/hipódromo. El eje y se encuentra en ángulos rectos con el eje x.

Cabe destacar que para el cálculo del área se ha tomado el valor de TAS en km/h, viento también en km/h y tiempo de cronometraje de alejamiento en minutos calculados previamente. El conjunto de ecuaciones corresponde con los vértices del rectángulo del área de espera.

$$x_{m\acute{a}x} = TAS \cdot (0.0167 \cdot t + 0.0297) + w \cdot (0.0167 \cdot t + 0.0381) - 1.67$$

$$x_{m\acute{i}n} = TAS \cdot (-0.0241) + w \cdot (-0.037) + 2.04$$

$$y_{m\acute{a}x} = TAS \cdot (0.0012 \cdot t + 0.0266) + w \cdot (0.0158 \cdot t + 0.0368) + 0.843 \cdot t - 5.37$$

$$y_{m\acute{i}n} = TAS \cdot (-0.0015 \cdot t - 0.0202) + w \cdot (-0.0167 \cdot t - 0.027) + 1.3$$

A continuación, en la Imagen 25 se muestra la espera en el IAF BESOR que se ha tomado como referencia para la espera del procedimiento de aproximación de este proyecto.

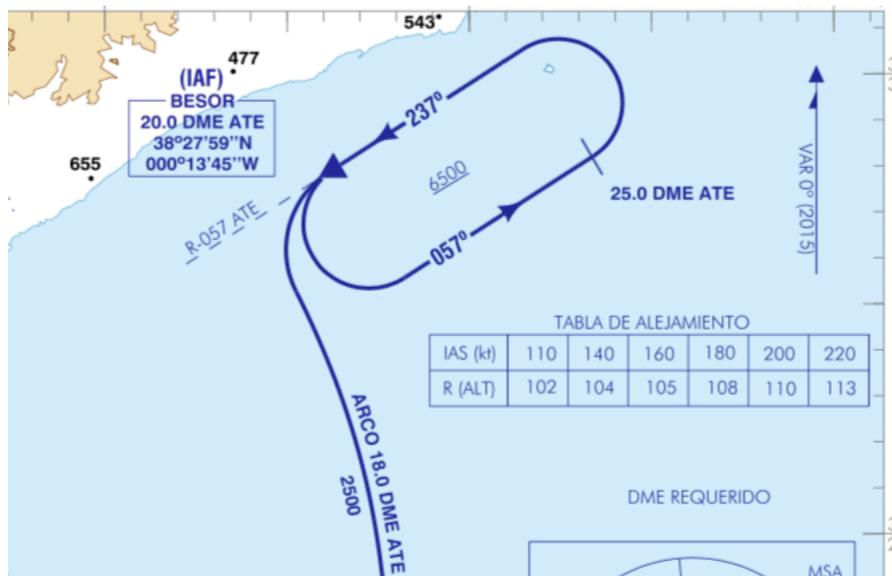


Figura 25: carta VOR Z RWY28

7.4.3. TRAMO DE APROXIMACIÓN INTERMEDIO

El tramo de aproximación intermedio está comprendido entre el IF (Intermediate Fix) y el FAP (Final Approach Point). Como se ha mencionado anterior, entre el IF determina el inicio del tramo intermedio y el final del tramo final. Este tramo intermedio combina el tramo de aproximación inicial en el FAS.

El objetivo de este tramo es proporcionar la guía en derrota de acercamiento al FAP, donde se inicia la aproximación final, y se da por finalizado el tramo de aproximación intermedio.

En el tramo de aproximación intermedio se realizan los ajustes de configuración, velocidad y posicionamiento de la aeronave para entrar en el FAS. El piloto prepara

configuración para el aterrizaje de la aeronave, es decir, ajusta los flaps, el tren de aterrizaje, ...

Respecto a la pendiente de descenso, la normativa establece que, dado que este tramo se emplea para adecuar la velocidad y configuración de la aeronave para el tramo de aproximación final, el tramo intermedio debe ser horizontal o al menos debe contener una sección horizontal. La pendiente óptima de descenso autorizada es de 5.2% o de 13.2%, si la velocidad de aproximación intermedia está restringida a 165 km/h IAS, con las altitudes/alturas necesarias del procedimiento en el tramo intermedio para que la aeronave intercepte la pendiente de aproximación final establecida.

Para un procedimiento empleando SBAS, la normativa establece que, aunque en el tramo de aproximación intermedia puede usarse todo tipo de sensor, la transición a la navegación con SBAS se debe hacer 3.7 km antes del FAP. La derrota en este tramo será la misma que la derrota del tramo final. La longitud del tramo de aproximación intermedia debe estar comprendida entre 28 km y 9.3 km, siendo la óptima 19 km.

Por último, en cuanto al margen de franqueamiento de obstáculos (MOC), el área primaria del tramo de aproximación intermedia el margen necesario para el franqueamiento de obstáculos se reduce a 150 m (492 ft) y en el área secundaria a 150 m en el borde interior y disminuyendo lateralmente hasta cero en el borde exterior del área secundaria. Por ello, la altitud/altura mínima es la del obstáculo más alto en el tramo intermedio más el MOC.

7.4.4. TRAMO DE APROXIMACIÓN FINAL (FAS)

El tramo de aproximación final es el tramo en el cual la aeronave sobrevuela la zona más crítica ya que es el tramo que la sitúa en la cabecera de la pista de aterrizaje. Está comprendido entre el FAP y la DH que es la altura de decisión a la que el piloto decide si aterriza o se va al aire. El objetivo principal del tramo final es realizar la alineación con la pista y descender. La aproximación final puede realizarse en dirección a una pista para un aterrizaje directo o hacia un aeródromo para una maniobra visual.

El sistema SBAS con mínimos LPV-200 proporciona una guía de derrota que, como se ha explicado anteriormente, tiene las características de una aproximación ILS CAT I pero sin los inconvenientes que ésta presenta.

La longitud óptima del tramo final es de 9.3 km, siendo 18.4 km la máxima. Además, cabe destacar que no se admiten aproximaciones finales desplazadas por motivos de atenuación de ruido, pudiendo realizarse sólo cuando los obstáculos no lo permitan.

La pendiente de descenso mínima para una aproximación con guía vertical es de 3° siendo 3.5° la máxima. No se deben exceder estos valores salvo que, tras el intento del

diseño por todos los medios no se haya podido mantener esta pendiente. El motivo de esta restricción es que una mayor pendiente puede conllevar a mayores velocidades verticales de descenso que excedan los límites recomendados en aproximación final. Cuando esto ocurra se deberá estudiar ese caso concreto.

Otro parámetro importante por determinar en este tramo es la DA/H que es la altitud/altura de decisión el cual ya viene dado por los requerimientos de la misma. Dado que la aproximación que se va a diseñar es de tipo LPV-200 y tiene una altura, respecto al umbral de pista, de decisión de 200 ft (61 m) la DA/H será de 61m.

Las altitudes/alturas reglamentarias de este procedimiento no deberán ser inferiores a la OCA/H que se define en la sección siguiente junto con la OAS. Ambas son dos superficies y parámetros importantes en el diseño de la aproximación.

7.4.4.1. DESCRIPCIÓN OAS

La OAS (Obstacle Assessment Surface) es la superficie prevista para determinar los obstáculos que hay que tener en cuenta al calcular la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos.

Las constantes y condiciones para definir las superficies OAS son las siguientes:

- Geometría del ILS: distancia localizador/umbral, ángulo de la trayectoria de planeo, RDH del ILS y anchura del sector del localizador. Como en este tipo de aproximación no se necesita localizador físico, se va a realizar el ajuste de estos valores para el uso de SBAS.
- Categoría de la operación ILS: en este caso es equivalente a ILS CAT I.
- Geometría de la aeronave y pendiente de ascenso en la aproximación frustrada.

La Imagen 26 muestra el sistema de coordenadas usado para definir la OAS. El origen de dicho sistema de coordenadas se encuentra en el umbral. El eje x es paralelo a la derrota del tramo de precisión y los valores positivos de x muestran la distancia antes del umbral. El eje y forma un ángulo recto con el eje x y el eje z toma valores positivos hacia arriba. En todos los cálculos asociados a la OAS a la coordenada y se considera como valor positivo.

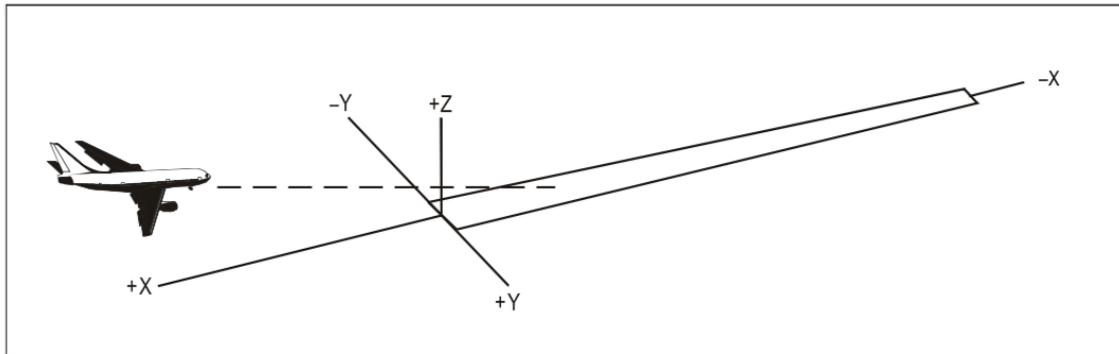


Figura 26: Sistema de coordenadas

Como se ha mencionado al principio de este apartado, las superficies OAS quedan definidas por las constantes de las ecuaciones de los planos que las definen o las coordenadas de los puntos que las delimitan. El soporte PANS-OPS que es un sitio web público de la OACI proporciona los coeficientes para los ángulos de trayectoria de planeo entre 2.5 y 3.5 grados en incrementos de 0.1 grados y para cualquier distancia localizador/umbral entre 2000 y 4500 m.

Las OAS están formadas por cuatro superficies planas en pendiente (X, Y, W, Z) y están dispuestas simétricamente alrededor de la derrota del tramo de precisión y por el plano horizontal que contiene el umbral. Las Imágenes 27, 28 muestran la distribución de las cuatro superficies en las diferentes vistas y en perspectiva.

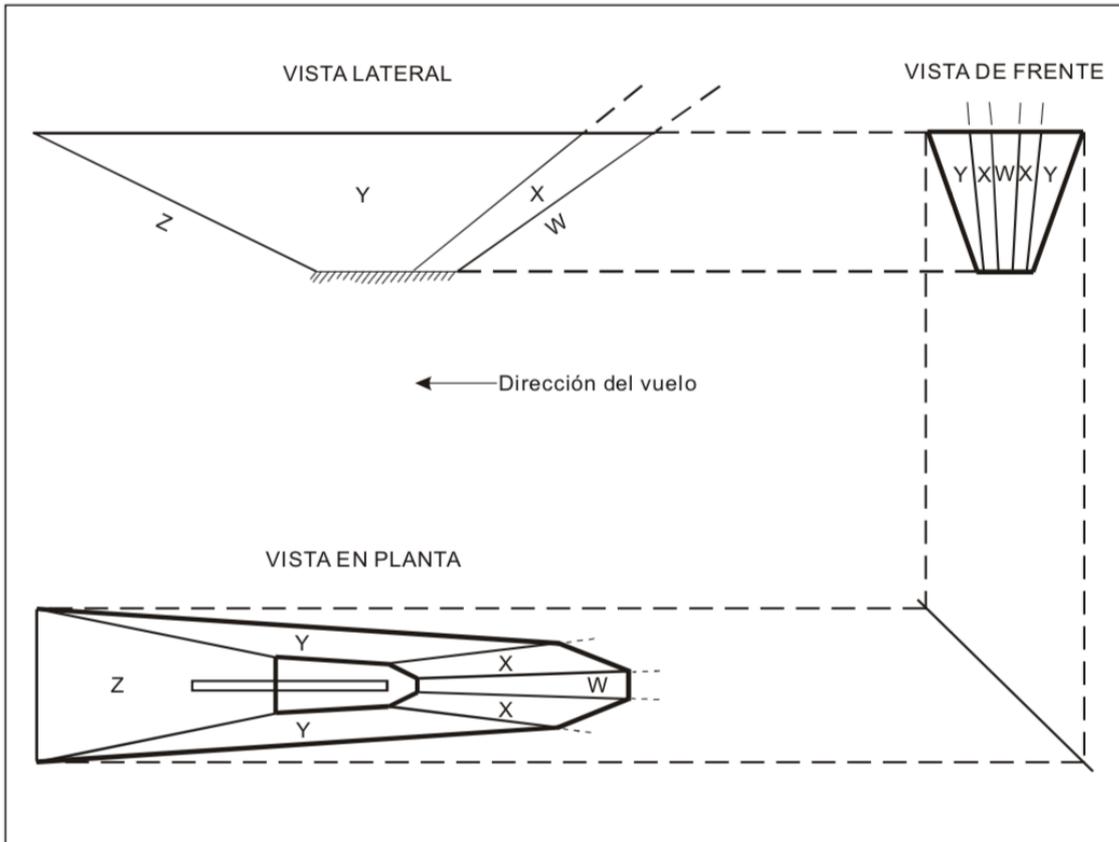


Figura 27: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos

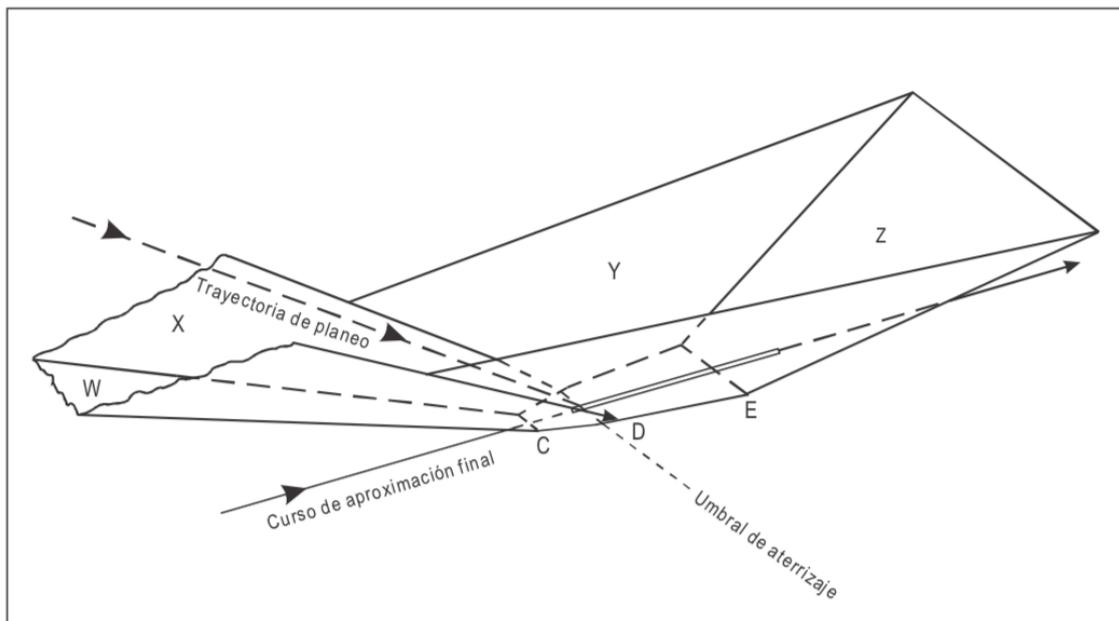


Figura 28: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos — vista en perspectiva

Las ecuaciones que definen la geometría de estas superficies son de tipo lineal. Tienen la forma de la Ecuación X donde x e y son las coordenadas de posición y z es la coordenada de la altura.

$$z = A \cdot x + B \cdot y + C$$

7.4.4.2. DESCRIPCIÓN OCA/H

La OCA/H (Obstacle Clearance Altitude/Height) es la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos. Se define como la altitud/altura más baja por encima del umbral de la pista, a la cual se debe comenzar el procedimiento de aproximación frustrada, para satisfacer los criterios de franqueamiento de obstáculos. Para cada categoría de aeronave se especifica una OCA/H.

Para calcular la OCA/H se requiere la OAS y las coordenadas y alturas de los obstáculos del aeródromo respecto del umbral de la pista. La OAS es diferente para cada categoría de aeronave. Para el caso de estudio se usa Categoría D ya que la aeronave de diseño del procedimiento de aproximación es el B747-800.

A partir de los obstáculos del aeródromo en coordenadas cartesianas locales respecto del umbral de la pista y haciendo uso del programa OAS de PANS-OPS, se puede determinar en qué superficie OAS está el obstáculo, su altura respecto al umbral y si perfora o no la superficie OAS o no. En caso de haber obstáculos en la zona de aproximación frustrada, se calcula su altura equivalente en esa zona. Después, se establece cuál es el obstáculo de mayor altura, es decir, el obstáculo determinante o altura equivalente si se encuentra en la zona frustrada.

La OCA/H se calcula sumando a la altura del obstáculo determinante el margen de vuelo del baroaltímetro. Este margen se toma desde el lado de la seguridad ya que es el caso de mayor desventaja si falla el piloto automático.

El diseño de la OCA/H se desarrolla con más detalle en las secciones siguientes.

7.4.5. APROXIMACIÓN FRUSTRADA

Durante la fase de aproximación frustrada el piloto se enfrenta a la modificación de la configuración de la aeronave, actitud y altitud. En esta fase el piloto debe remontar el vuelo y volver al IAF para reintentar el aterrizaje de forma segura. La aproximación frustrada consta de tres fases: inicial, intermedia y final.

La fase inicial comienza en el punto en el que se decide frustrar a una DH y termina en el punto SOC (Start of Climb) donde se inicia el ascenso. El SOC se determina con la altura y la distancia a las que el plano GP' alcanza la OCA/H. El plano GP' es el plano paralelo a la trayectoria de planeo y con origen en -900 m a nivel del umbral.

El tramo en el que la aeronave sobrevuela la superficie OAS se corresponde con el primer tramo de la frustrada de precisión. Según la norma, este tramo finaliza cuando la superficie Z alcanza una altura de 300 m por encima del umbral.

La pendiente óptima de ascenso en una aproximación frustrada es del 2.5%.

Finalmente, para añadir seguridad al procedimiento, una vez se ha superado la OAS se diseña la aproximación frustrada con un RNP lateral de 2 NM. Cabe recordar que se diseña la aproximación en sí con un RNP lateral de 1 NM. El objetivo de esta disminución de precisión es que si la aeronave se ve obligada a frustrar porque el sistema ha perdido la capacidad de cumplir los requerimientos LPV-200, se podrá realizar la frustrada con seguridad.

III. DISEÑO RNP APCH LPV-200 PARA LA PISTA 28

Esta Parte desarrolla la construcción del procedimiento RNP APCH empleando SBAS con requerimientos LPV-200 para la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante. Tal y como se ha venido haciendo hasta esta sección, el procedimiento se diseña para una aeronave categoría D a la cual pertenece el B747-800. En este proyecto, al igual que todas las clasificaciones de aeronaves realizadas hasta esta sección, el criterio de clasificación de la aeronave es la velocidad. La elevación del umbral de dicha cabecera es de 13 m respecto del nivel del mar.

Para el diseño detallado de las fases de aproximación se van a seguir las generalidades expuestas en la Sección 7.4 y se van a aplicar a la pista 28. A grosso modo, se va a seguir la disposición en barra Y tal y como muestra la línea oscura a continuación en la Imagen 29. Esto es, un tramo inicial recto, cambio de rumbo de 60°, tramo intermedio y final rectos y sin cambios de rumbo, es decir, la aeronave alineada con la pista.

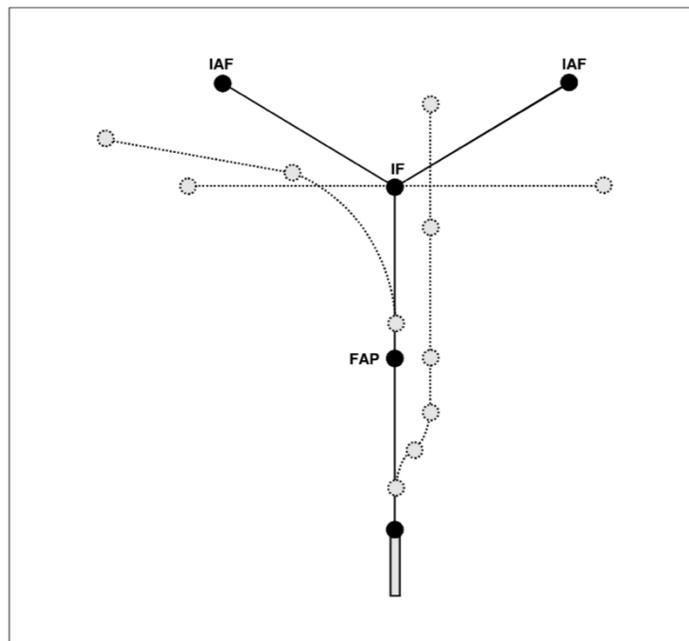


Figura 29: aproximación barra en Y

Para poder ilustrar el diseño de la aproximación se van a realizar dibujos en Google Earth mediante programas elaborados con el software Matlab. De esta forma, además de la descripción de la aproximación, se puede tener una idea de cómo sería la operación y la carta de navegación aérea.

8. TRAMO DE APROXIMACIÓN INICIAL

El tramo de aproximación inicial está comprendido entre los puntos IAF (Initial Approach Fix) e IF (Intermediate Approach Fix). El IAF, que en este caso se corresponde con el punto BESOR publicado en las cartas aeronáuticas del aeropuerto de Alicante, es un *waypoint* tipo *fly-by*. Esto quiere decir que no es obligatorio su sobrevuelo, solamente hay que pasar por él. También, el IF es un *waypoint* tipo *fly-by*.

En el diseño de la carta de aproximación se debe incluir si el piloto debe notificar o no su paso por estos *waypoints*. Se va a establecer el IAF como punto de notificación obligatoria pero no el IF. El motivo de esto es que para la seguridad del vuelo es suficiente con la notificación al control de tráfico aéreo de la posición al comenzar la aproximación inicial.

En este tramo es necesario que la aeronave vaya reduciendo la altitud de vuelo además de situarse con la derrota de aterrizaje. El rumbo de este tramo es de 202°.

La longitud del tramo se ha establecido en 22.65 km para permitir que el IAF sea el punto BESOR ya establecido en los procedimientos publicados en el AIP del aeropuerto de Alicante. La longitud óptima según la normativa es de 9.3 km lo cual garantiza la longitud mínima del tramo requerida para aeronaves con IAS de hasta 390 km/h, siendo esta velocidad casi 100 km/h superior a la de la aeronave de diseño de este procedimiento. La elección de este punto se debe a que de esta forma se tiene homogeneidad con las demás aproximaciones al aeropuerto y coherencia con las STAR.

La pendiente del tramo se establece en 1.75%, lo cual cumple con la normativa ya que la pendiente óptima es del 4% y se puede usar una pendiente del 8% como valor máximo para franquear obstáculos. De esta forma se sitúa el IAF a 6500 pies y el IF a 5200 pies, ambas alturas sobre el nivel del mar. Entre el IAF y el IF hay 1300 pies.

El IAF BESOR está definido a 6500 pies de altitud debido a las altitudes de llegada de las rutas que utilizan esta aproximación. Por ello, la entrada al procedimiento de aproximación para la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante es a 6500 pies de altitud.

El margen mínimo de franqueamiento de obstáculos es de 300 m en el área primaria y en la secundaria se reduce hasta cero en el borde exterior. Se han verificado los obstáculos y se cumple perfectamente el margen mínimo.

9. ESPERA

Para el procedimiento de aproximación a la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante se va a definir el área del hipódromo de espera con el método simplificado del rectángulo. Con este tramo se pretende asegurar la separación del tráfico aéreo en un área congestionada de tráfico.

El procedimiento de espera se diseña en el IAF BESOR cuyas coordenadas son N38°27'57" W00°13'45". Para realizarlo se han seguido las pautas y generalidades

mencionadas anteriormente en la Sección 7.4 de acuerdo con el Doc 8168 OACI. La normativa establece que el circuito de espera deberá estar alineado con la derrota del tramo inicial.

Para el diseño se establecen los siguientes parámetros:

- Altitud: se toma la del IAF, es decir, 6500 pies.
- Velocidad: se toma la mayor velocidad posible para que una aeronave sea considerada categoría D ya que el procedimiento es para este tipo de aeronaves. Esta velocidad se corresponde con IAS 306 km/h (velocidad indicada). Para obtener la TAS (velocidad verdadera) se debe obtener previamente el coeficiente K que en este caso es 1.4434. Con este valor la TAS es de 441.68 km/h.
- Velocidad del viento: usando la ecuación de la sección 7.4 se ha obtenido que para una altitud de 6500 pies sobre el nivel del mar la velocidad es de 125 kt.
- Tiempo: el tiempo cronometrado para el tramo de alejamiento es de 1 minuto.

A partir de estos parámetros y el conjunto de ecuaciones de la sección 7.4 se puede diseñar el área de la espera en forma de rectángulo.

$$x_{m\acute{a}x} = 16.25 \text{ NM} = 30.1 \text{ km}$$

$$x_{m\acute{i}n} = -8.33 \text{ NM} = -15.43 \text{ km}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 8.68 \text{ NM} = 16.1 \text{ km}$$

$$y_{m\acute{i}n} = -9.34 \text{ NM} = -17.3 \text{ km}$$

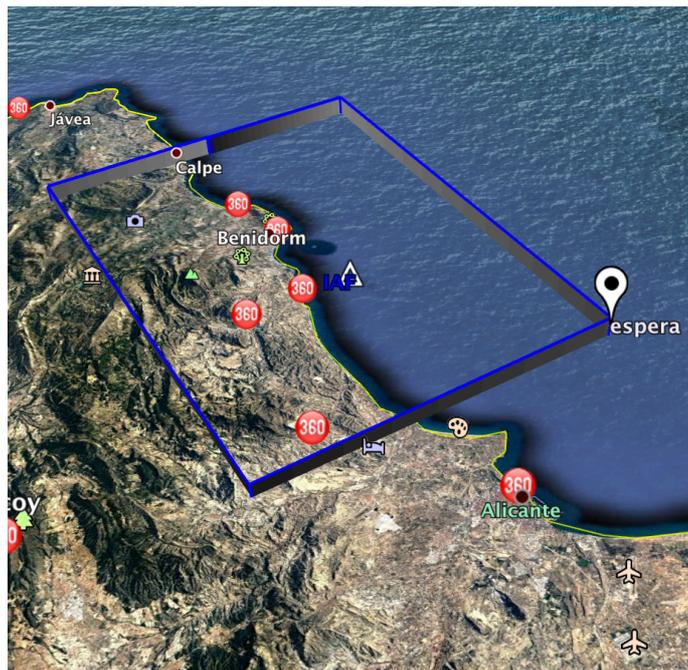


Figura 30: diseño de la espera

10. TRAMO DE APROXIMACIÓN INTERMEDIO

El tramo de aproximación intermedio está comprendido entre el IF (Intermediate Fix) y el FAP (Final Approach Point). Como se ha mencionado anteriormente, el IF es un *waypoint* tipo *fly-by* pero sin notificación obligatoria cuando se alcanza.

En la normativa se recomienda que la derrota del tramo intermedio sea la misma que la del tramo de aproximación final coincidiendo ambas con la pista para no tener que hacer ajustes de rumbo. Sin embargo, la normativa establece que, si fuera necesario, se permite un viraje en el FAP que no exceda los 30°.

En este caso se va a realizar el viraje de 30° en el FAP ya que de esta forma se consigue acortar la ruta. Cabe destacar que uno de los principales objetivos de este proyecto, además de reducir los mínimos de altura, es optimizar al máximo la aproximación a la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante.

El tramo intermedio consta de dos componentes, una componente de viraje que incorpora la distancia mínima de estabilización junto al IF seguido de una componente en línea recta inmediatamente antes del FAP. Esta componente en línea recta empieza en un *waypoint* tipo *fly-by* y su objetivo es estabilizar la aeronave antes del FAP.

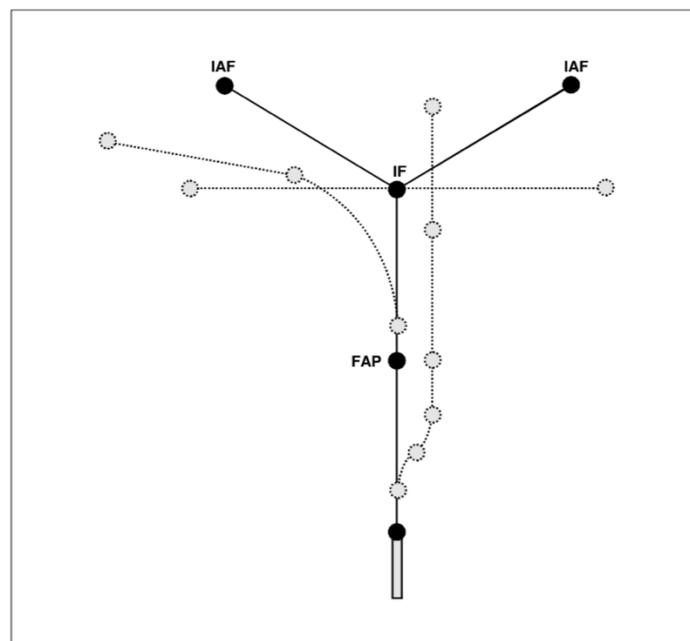


Figura 31: aproximación barra en Y

La longitud de la componente de viraje debe cumplir con la distancia mínima de estabilización para el viraje de 30° en el IF y se determina a partir de las generalidades mencionadas en la Sección 7.4. Por otra parte, la longitud de la componente en línea recta no debe ser inferior a 3.7 km para permitir la estabilización de la aeronave antes del FAP.

A partir de la Tabla 14, podemos obtener la distancia mínima de estabilización entre dos puntos de recorrido de paso tras un viraje de 30° para un ángulo de inclinación lateral

de 25° y una velocidad verdadera de 440 km/h. Esta distancia mínima de estabilización es 2.1 km.

En cuanto a la longitud de este tramo, la mínima total es la suma de la mínima distancia del tramo horizontal, 3.7 km, más la mínima distancia de estabilización, 2.1 km, siendo el mínimo total 5.8 km. En este caso se va a tomar la mínima longitud del tramo horizontal hasta el FAP, es decir, 3.7 km y un tramo de 2.35 km que cuenta con la pendiente recomendada y cumple con la distancia mínima de estabilización para una aeronave categoría D. La longitud total del tramo es de 6.05 km lo cual cumple con la longitud mínima total. No supone ninguna ventaja operacional hacer el tramo más largo por lo que se toman las longitudes mínimas para que la ruta sea lo más corta posible.

La Imagen 32 muestra de manera sintetizada los mínimos requeridos en cada tramo de la aproximación.

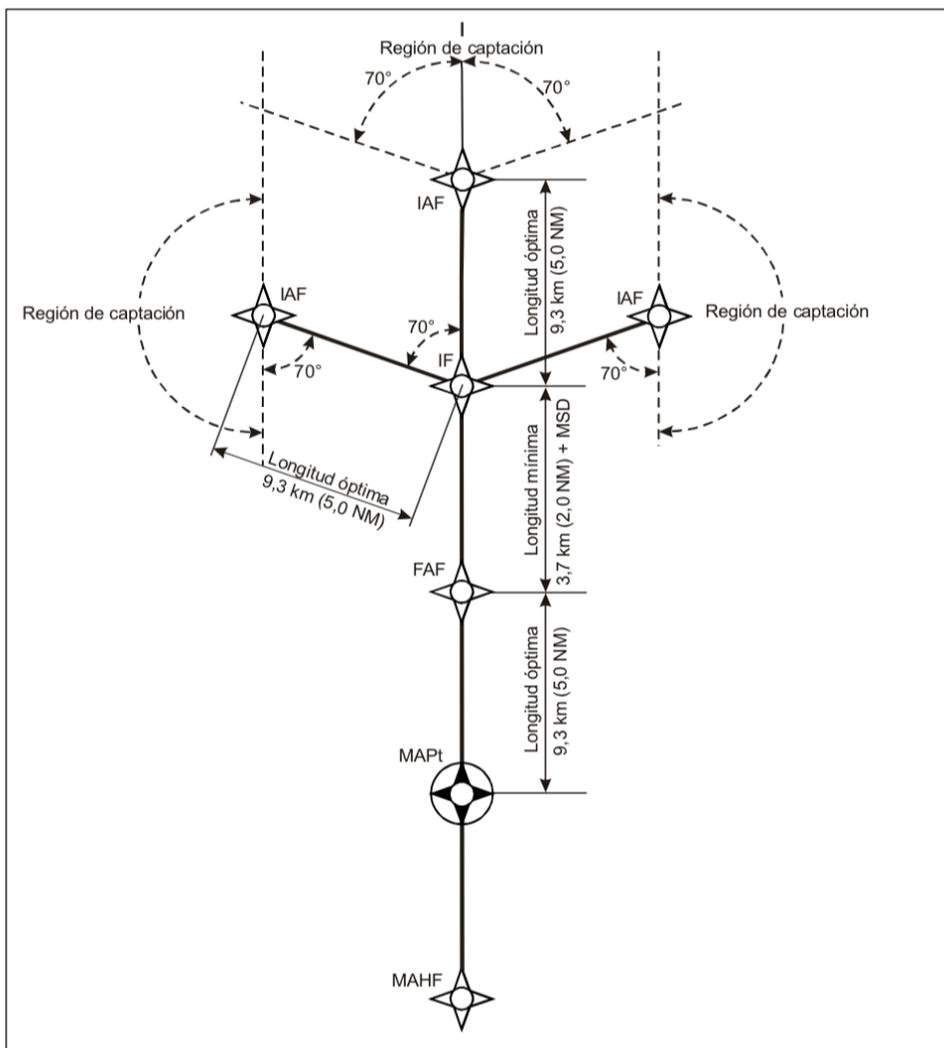


Figura 32: mínimos requeridos en cada tramo de la aproximación

La pendiente máxima del tramo de pendiente establecida por la norma es del 5.2%. Además de esta restricción, se calcula la altitud del IF de forma que los incrementos sean de 100 ft sin superar la pendiente máxima.

El resultado de estas restricciones es un tramo intermedio recto de 3.7 km justo antes del FAP y previamente, un tramo de 2.35 km con una pendiente del 5.2 %. La altitud del FAP respecto del nivel del mar es de 2300 pies. Además, en el FAP se establece un viraje de 30° para que la aeronave esté alineada con la pista en el tramo final. Este viraje que cumple con lo establecido en la normativa se ha mencionado previamente.

El mínimo de franqueamiento de obstáculos es de 150 m en el área primaria y en el área secundaria se reduce de 150 m en el borde interior hasta 0 m en el exterior. Para comprobar que se cumple la normativa de franqueamiento de obstáculos se ha utilizado Google Earth.

11. TRAMO DE APROXIMACIÓN FINAL

La aproximación final está comprendida entre el FAP y la DH que es la altura de decisión a la que el piloto decide si aterriza o se va al aire. Al final de este tramo la aeronave tiene dos opciones, o bien aterrizar o bien realizar la frustrada.

El FAP es un *waypoint* de sobrevuelo y con notificación obligatoria. La notificación por parte de la aeronave al control de tráfico aéreo cuando se sobrevuela este punto se debe a motivos de seguridad.

La longitud óptima establecida por la normativa en este tramo es de 9.3 km y la máxima es de 18.4 km. Cabe destacar que a la longitud óptima se le va a añadir la distancia mínima de estabilización de un viraje de 30° para un ángulo de inclinación lateral de 25° y una velocidad verdadera de 440 km/h. Esta distancia mínima de estabilización se va a añadir en un tramo recto horizontal inmediatamente después del FAP cuya longitud es 2.1 km. Por ello, se va a tomar una longitud de tramo total de 11.63 km. Además, se establece que la alineación óptima de este tramo es el eje de la pista.

La normativa recomienda que las altitudes mínimas se deben dar en incrementos de 50 m o 100 ft, según corresponda. Por ello, la altitud del FAP se establece en 2300 pies respecto del umbral de la pista. Con esta altitud la pendiente de la senda de planeo en el tramo de aproximación final es de 3° (5.24%). La normativa recomienda una senda de planeo óptima de 3°. Para determinar que se puede realizar esta operación se ha comprobado el franqueamiento de obstáculos.

A continuación, la Imagen 33 representa el dibujo de los tres tramos de la aproximación para la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante, es decir, inicial, intermedio y final. El diseño se ha realizado con el programa Matlab “aprox_entera.m”.



Figura 33: diseño aproximación

En Autodesk Fusion360 se ha generado el perfil de elevación de la ruta con los resultados obtenidos en los cálculos de la aproximación. El resultado de este perfil se muestra en la Imagen 34. Cabe destacar que la escala del eje vertical respecto del horizontal no es 1:1 para que se pueda ver claramente el perfil de elevación.

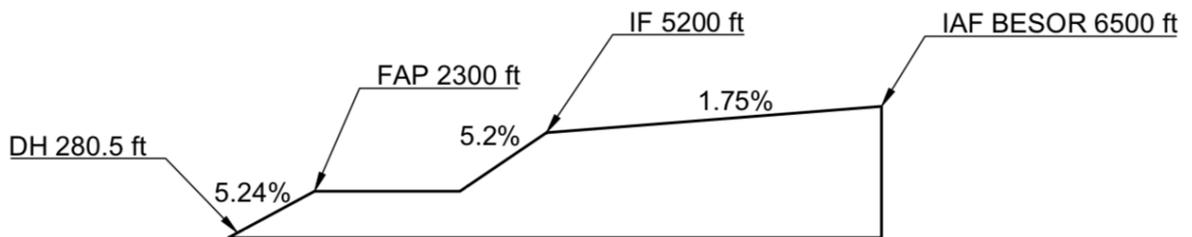


Figura 34: perfil elevación de la aproximación

11.1. DESCRIPCIÓN OAS

En esta sección se van a presentar las superficies OAS para la pista 28 del aeropuerto de Alicante. Estas han sido calculadas mediante el software OAS de los PANS-OPS que proporciona las coordenadas, respecto del sistema de coordenadas local mencionado anteriormente, de los puntos que conforman dichas superficies.

En el soporte lógico OAS se introducen los datos de la aproximación cuyas superficies OAS se quieren calcular. A continuación, se va a explicar el procedimiento y se puede observar el funcionamiento en la Imagen 35.

The screenshot shows the PANS-OPS_OAS software interface with the following sections:

- NAVIGATION AID DATA:**
 - Approach Category: APV II
 - GP/MPA (°): 3
 - RDH: 15 m
 - LOC THR Dist⁽¹⁾: 3305 m
 - Course width at THR: 210 m
- AIRCRAFT DATA:**
 - M/App CG (%): 2.5
 - CAT: D
 - STD:
 - Wing Semi Span: 32.5 m
 - GP Wheel / Antenna height: 7 m
- OAS constants:**

	A	B	C		A	B	C
W	0,028500	0,000000	-9,01	Y	0,024396	0,213983	-31,60
W'	APV W' surface not applicable			Z	-0,025000	0,000000	-26,32
X	0,028130	0,185459	-26,46				
- OAS Template coordinates -m (metres):**

THR Elevation			Upper coordinates			
	X	Y		X	Y	Z
C	316	94	C*	10842	115	300
D	-133	162	C**	Below THR elevation		
E	-1052	267	D*	5590	912	300
			E*	-7915	1852	171

Y surface template contours are parallel to line D-E.
- OAS height calculator:**
 - X: m
 - Y: m
 - Z: 0 m

(1) For MLS read: "Azimuth antenna to THR distance"; for GBAS/APV read: "GARP-LTP distance".

Figura 35: PANS-OPS OAS

En primer lugar, se introduce la categoría de la aproximación. En este caso es una aproximación con mínimos LPV-200 lo cual equivale a una tipo APV II.

A continuación, se introducen los datos correspondientes a la senda de planeo (GS). Los incrementos de esta son de 0.1° y la pendiente empleada en este caso es de 3°.

El soporte OAS está diseñado para aproximaciones tipo ILS por ello, se debe introducir la distancia entre el localizador y el umbral de la pista. En este caso, al usarse SBAS, no hay una distancia real ya que no es necesario tener localizador en tierra. Para poder utilizar el soporte lógico y obtener resultados coherentes se introduce una distancia de

3305 m. Este valor se ha obtenido a partir de la normativa del Doc 8168 donde se establece que el GARP, que es el punto de referencia en azimut del GBAS, en un procedimiento de aproximación donde no existe ILS debe estar a 305 m del extremo opuesto de la pista que en este caso mide 3000 m. La Imagen 36 muestra este concepto de manera sintetizada.

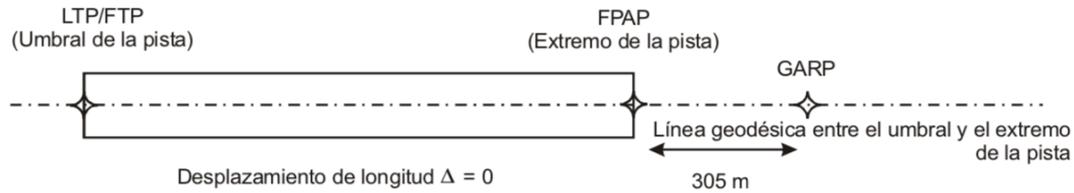


Figura 36: Situación de FPAP (no existe ILS para la aproximación)

El valor de la altura del punto de referencia (RDH) que es la altura de la trayectoria de planeo prolongada o de la trayectoria vertical nominal en el umbral de la pista y la anchura del rumbo en THR no se ha modificado, se han dejado los valores que vienen por defecto en el programa. Estos valores son RDH 15 m y THR 210 m.

Por último, los datos de la aeronave introducidos son para categoría D y se indica que la pendiente de ascenso de la aproximación frustrada (M/APP CG) es del 2.5%.

Con todos los datos anteriores el programa devuelve las constantes OAS de las ecuaciones que describen las superficies además de las coordenadas de las plantillas OAS en metros. La Imagen 37 muestra la localización de los puntos que definen cada superficie.

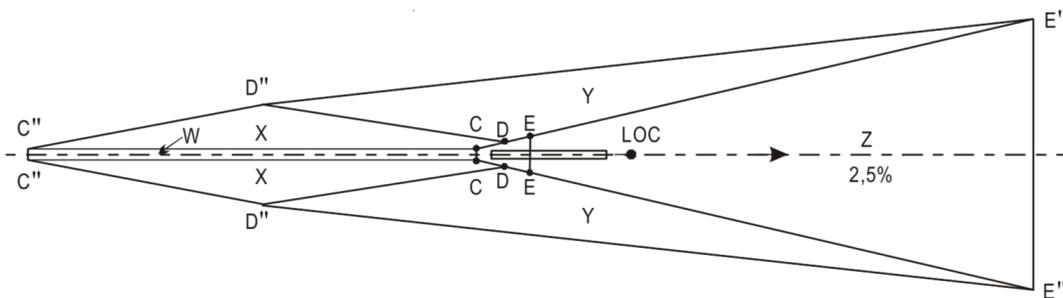


Figura 37: Plantilla superficies OAS 2D

A partir de los puntos dados en las tres coordenadas del sistema de referencia local obtenidos del soporte OAS. La Tabla 21 recoge las coordenadas de dichos puntos.

	C	D	E	C''	D''	E''
x (m)	316	-133	-1052	10842	5590	-7915
y (m)	94	162	267	115	912	1852
z (m)	-	-	-	300	300	171

Tabla 21: coordenadas del sistema de referencia local obtenidos del soporte OAS

11.2. DESCRIPCIÓN OCA/H

Tal y como se ha mencionado en la Sección 7.4, la OCA/H es la altitud/altura más baja por encima del umbral de la pista, a la cual se debe comenzar el procedimiento de aproximación frustrada, para satisfacer los criterios de franqueamiento de obstáculos.

Para su cálculo se necesitan las coordenadas de los obstáculos del aeródromo, que han sido obtenidos del AIP, junto con las superficies OAS calculadas en la sección anterior. El total de obstáculos del aeródromo asciende a 976 pero en este apartado se estudian solamente los que afectan al procedimiento de aproximación de este proyecto.

Haciendo uso del soporte lógico OAS se puede ver si los obstáculos del aeródromo perforan o no las OAS seleccionando el apartado “Calculador de altura OAS” en el soporte lógico. Para cada punto, dado en coordenadas, donde hay obstáculos se comparan ambas altitudes, la que da el programa y la del obstáculo, de forma que se puede saber si el obstáculo penetra o no la superficie OAS. A partir de esta información se puede calcular la OCA/H.

La OCA/H varía dependiendo de la categoría de la aeronave por lo que en este proyecto se presenta únicamente la OCA/H para categoría de aeronave D por ser la más restrictiva.

En este caso el total de obstáculos estudiados en la operación asciende a 43, los cuales son edificios, árboles, antenas, postes, ... La Tabla 22 recoge todos los obstáculos y recoge la siguiente información de cada uno de ellos: elevación, ubicación en coordenadas en el sistema de referencia usado para definir las OAS, superficie OAS en la que se encuentra, indicación de si perfora o no la OAS y altura equivalente si se encuentra en la frustrada.

OBSTÁCULO					OAS		Altura equivalente del obstáculo
Nº	Elevación (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Altura OAS (m)	¿Perfora?	
1	14,5	54,60	-167,23	1,5	37,31	No	-
2	13,5	0,00	0,00	0,5	4,55	No	-
3	14,5	86,00	-161,40	1,5	5,89	No	-
4	18	97,09	-210,53	5	6,2	No	-
5	18,5	295,82	-350,88	5,5	20,91	No	-
6	17,5	315,79	-57,54	4,5	51,19	No	-
7	34	321,05	-533,93	21	90,48	No	-
8	34,5	1533,33	266,67	21,5	120,06	No	-
9	36,5	1550,88	315,79	23,5	66,62	No	-
10	38	1578,95	471,23	25	76,52	No	-
11	40	1589,47	422,81	27	108,01	No	-
12	38	1614,04	278,00	25	98,25	No	-
13	41	1649,12	-1457,75	28	71,49	No	-

14	43	1684,21	331,58	30	112,35	No	-
15	44	-1457,75	0,00	31	10,12	Sí	23,83
16	53,5	-1485,92	278,17	40,5	10,83	Sí	29,79
17	55,5	-1514,08	376,76	42,5	11,53	Sí	30,66
18	45,5	-1535,21	82,75	32,5	12,06	Sí	23,53
19	56	-1549,30	-285,92	43	12,41	Sí	30,41
20	46	-1598,59	-116,20	33	13,64	Sí	22,80
21	58	-1609,15	338,03	45	13,91	Sí	30,75
22	48	-1647,89	0,00	35	14,88	Sí	23,32
23	66	-1718,31	514,08	53	16,64	Sí	34,32
24	48,5	-1739,44	0,00	35,5	293,65	No	22,11
25	66,5	-1848,59	323,94	53,5	19,89	Sí	32,46
26	52	-1915,49	0,00	39	21,57	Sí	21,51
27	55,5	-1947,18	134,51	42,5	22,36	Sí	23,34
28	57	-2056,34	-154,93	44	25,09	Sí	22,51
29	74	-2091,55	416,76	61	25,97	Sí	33,43
30	58	-2183,10	153,52	45	28,26	Sí	21,05
31	58,5	-2246,48	153,52	45,5	29,84	Sí	20,31
32	61	-2302,82	153,52	48	31,25	Sí	21,05
33	77,5	-2313,38	427,46	64,5	31,51	Sí	32,05
34	63	-2359,15	-211,27	50	32,66	Sí	21,46
35	84	-2369,72	524,65	71	32,92	Sí	35,50
36	65,5	-2408,45	169,01	52,5	33,89	Sí	22,32
37	70,5	-2507,04	98,59	57,5	36,36	Sí	24,03
38	76	-2549,30	-145,07	63	37,41	Sí	27,05
39	90,5	-2577,46	651,41	77,5	38,12	Sí	36,39
40	90,5	-2845,07	158,45	77,5	44,81	Sí	31,87
41	101	-3000,00	598,59	88	48,68	Sí	36,36
42	145	-5633,80	985,92	132	114,53	Sí	21,63
43	129,5	-5823,94	112,68	116,5	119,28	No	7,91

Tabla 22: obstáculos estudiados

Cabe destacar que la elevación del obstáculo es la altura respecto del nivel del mar y la coordenada z del obstáculo es la altitud respecto del umbral de la pista. Además, la altura equivalente del obstáculo para la aproximación frustrada se calcula con la ecuación siguiente. Esta altura se calcula únicamente para aquellos obstáculos que se sitúen en la zona de la aproximación frustrada y se considera que ésta empieza a 900 m antes del umbral de la pista.

$$h_a = \frac{h_{ma} \cdot \text{Cot } Z + (X_E + x)}{\text{Cot } Z + \text{Cot } \theta}$$

Donde h_{ma} hace referencia a la altura del obstáculo, z es el ángulo de la aproximación frustrada que en este caso es 2.5% (1.43°), x es la distancia al umbral, X_E es $900 + 38/\tan\theta$ y θ es el ángulo de planeo que en este caso es 3°.

A partir de los resultados de este cálculo se puede establecer cuál es el obstáculo determinante en la aproximación que es el que presente una mayor altura o altura equivalente en caso de que se encuentre en la zona de aproximación frustrada.

Para el cálculo de la OCA/H se debe sumar el valor de la altura del obstáculo determinante el margen de vuelo del baroaltímetro el cual varía en función de la aeronave. En este caso el margen de baroaltímetro para categoría de aeronave D es de 49,108 m. El cálculo se ha realizado según la normativa Doc 8168 OACI y se ha utilizado la máxima velocidad de aeronave para categoría D (306 km/h) para estar del lado de la seguridad.

Los cálculos realizados para elaborar la Tabla 23 se encuentran adjuntos en el Excel Cálculos de manera más detallada.

En la tabla anterior se puede observar que el obstáculo determinante que es el que presenta una mayor altura o altura equivalente en caso de que se encuentre en la zona de aproximación frustrada. En este caso es el obstáculo número 39.

A partir de este obstáculo se calculan los valores de OCA/H para categoría de aeronave D y con su correspondiente margen de baroaltímetro. Estos valores se recogen en la Tabla 23 a continuación.

	OCA D baroaltímetro (m)	OCA D baroaltímetro (ft)	OCH D baroaltímetro (m)	OCH D baroaltímetro (ft)
CAT I	98.50	323.16	85.50	280.51

Tabla 23: OCA y OCH

A partir de estos valores de OCA/H en pies y en metros se puede concluir que el valor de la OCH con el que se va a trabajar es de 85.50 m.

12. APROXIMACIÓN FRUSTRADA

La aproximación frustrada se diseña para que el piloto, en caso de tomar la decisión de remontar el vuelo, pueda dirigirse a un IAF, que en este caso no es el mismo que el de la aproximación inicial, sino que se va a tomar MAGAL que está establecido en la AIP del aeropuerto de Alicante, para reintentar el aterrizaje de forma segura. La aproximación frustrada consta de tres fases: inicial, intermedia y final.

El tramo inicial de la frustrada se va a calcular en el siguiente apartado ya que el publicado no puede ser utilizado porque los mínimos de la aproximación LPV-200 son menores que los del procedimiento de aproximación VOR Z, publicado en el AIP de dicho aeropuerto.

La fase inicial comienza en la DH y termina en el punto SOC (Start of Climb) donde se inicia el ascenso. El SOC se determina con la altura y la distancia a las que el plano GP'

alcanza la OCA/H. El plano GP' es el plano paralelo a la trayectoria de planeo, que es de 3° (5.24%), y con origen en -900 m a nivel del umbral.

El MAPt está situado antes del umbral de la pista. El emplazamiento del MAPt viene dado por el punto donde la OCH, que ha sido definida en la sección anterior, corta la trayectoria de una pendiente nominal de descenso del 5.2% a la pista. Con esto se obtiene un MAPt a 85.50 m de altura. La DH está a la misma altura que el MAPt.

Según la normativa, la pendiente óptima es del 2.5% y el último tramo de la aproximación frustrada acaba en un IAF, tal y como se ha mencionado anteriormente.

El primer tramo es el que sobrevuela y sobrepasa las superficies de seguridad OAS. Este tramo está comprendido entre el SOC y un *waypoint* tipo *fly-by* empleado para realizar el primer giro. Se van a tomar las coordenadas del VOR/DME ATE, N38°17'10.10" W000°35'12", para este *waypoint* para que pueda haber homogeneidad en todos los procedimientos del aeropuerto de Alicante. Tomando estos puntos la longitud del primer tramo es de 4.77 km y su altitud es de 205 m sobre el umbral de la pista. Al tratarse del primer tramo, la pendiente es del 2.5%.

El segundo tramo es horizontal y su objetivo estabilizar la aeronave tras el viraje de 90° y situar la aeronave en una zona donde se pueda realizar otro giro de 90° para poder dirigirse al nuevo IAF que, en este caso, como se ha mencionado anteriormente es MAGAL que es un IAF publicado en los procedimientos del AIP del aeropuerto de Alicante. Su longitud es de 4.5 km que cumple la distancia mínima de estabilización tras un viraje de 90° en frustrada para aeronaves categoría D.

El tercer y último tramo tiene como objetivo guiar a la aeronave hasta el IAF MAGAL. Este punto es tipo sobrevuelo por lo que se debe alcanzar lo cual quiere decir que la aeronave debe alcanzar tanto la posición como la altura de este punto que es de 4000 pies sobre nivel del mar, lo que supone un ascenso de 3000 pies aproximadamente. Para ello, el tramo debe tener una pendiente de 1.72° (2.72%) y una longitud de 37.25 km.

Para dibujar la aproximación frustrada se han empleado los ficheros Matlab "frustrada_tramo1.m", "frustrada_tramo2.m", "frustrada_tramo3.m", "frustrada_tramoinicial.m" los cuales generan el dibujo de la Imagen 38 Google Earth.

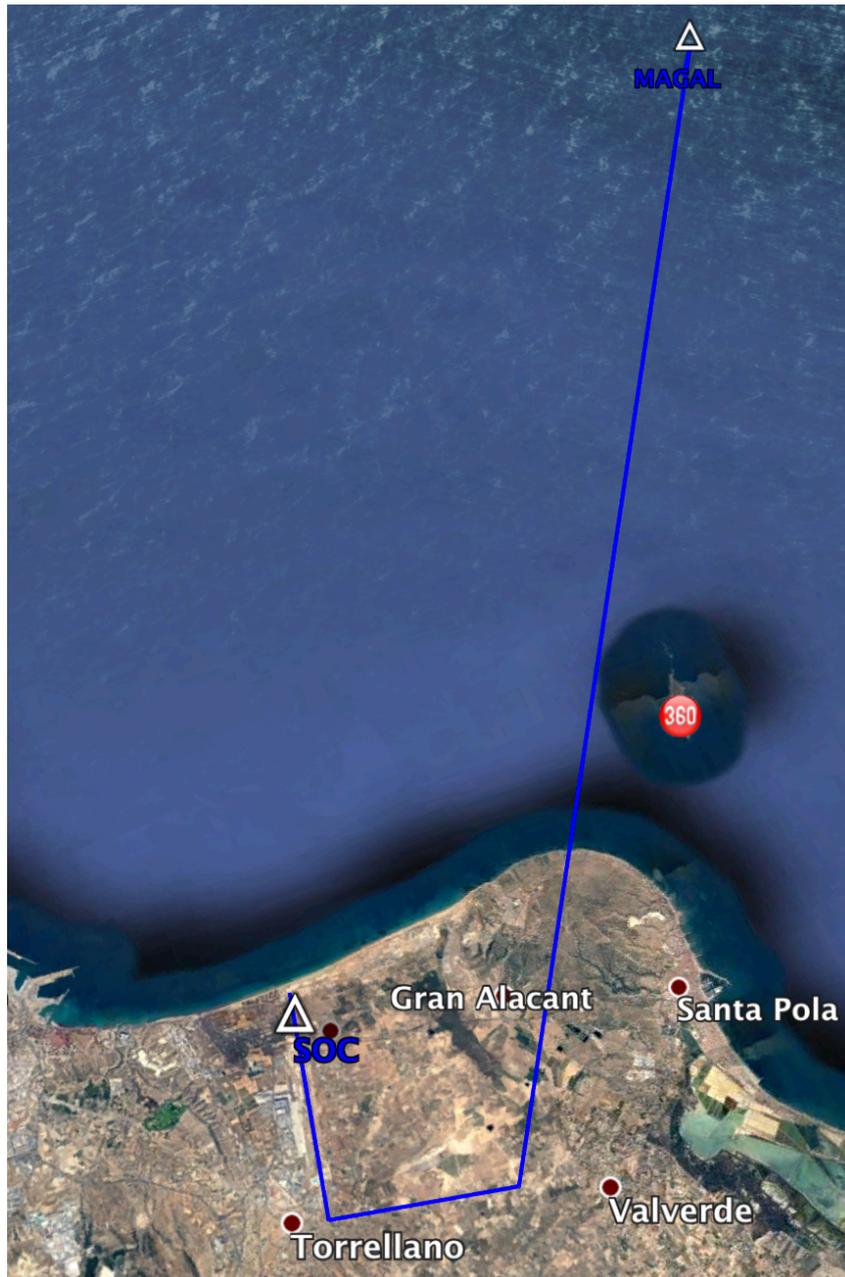


Figura 38: aproximación frustrada

El perfil de elevación de la aproximación frustrada que se muestra en la Imagen 39 a continuación se ha elaborado con el programa Autodesk Fusion360. Cabe destacar que la escala del eje vertical respecto del horizontal no es 1:1 para que se pueda ver claramente el perfil de elevación.

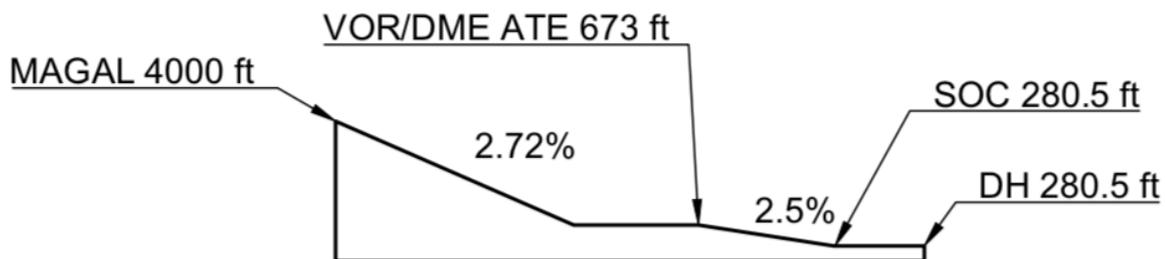


Figura 39: perfil elevación aproximación frustrada

13. RESUMEN DE LA RUTA

Para sintetizar el procedimiento realizado hasta ahora se van a recopilar los puntos más importantes en la Tabla 24 junto con sus coordenadas, altitud y simbología aeronáutica.

Punto de la ruta	Coordenadas	Altitud (ft)	Simbología
IAF BESOR	N38°27'57" W00°13'45"	6500	
IF	N38°16'39.44" W0°19'34.98"	5200	
FAP	N38°15'32.48" W0°23'29.43"	2300	
THR RWY 28	N38°16'47.30" W0°13'44.60"	42.65 (13m)	-
SOC	N38°16'43.11" W0°31'58.22"	280.5	-
P1 frustrada	N38°17'10.10" W0°35'12"	715	
P2 frustrada	N38°14'46.62" W0°35'44.21"	715	
P3 frustrada MAGAL	N38°04'23.90" W000°13'50.60"	4000	

Tabla 24: resumen ruta

Además, la Imagen 40 muestra la ruta completa, incluyendo la frustrada, junto con las OAS de la aproximación para la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante.



Figura 40: ruta completa aproximación a la pista 28

14. SUPERFICIES DE PROTECCIÓN HORIZONTAL DE LA RUTA

Al tratarse de una aproximación RNP 1, se ha diseñado con una protección lateral de 1 NM (1852 m) a cada lado. Esta protección está presente durante toda la operación hasta el comienzo de las superficies OAS. Para el hipódromo de espera se ha utilizado el método simplificado del rectángulo y se ha aplicado la normativa correspondiente para diseñar el área básica.

La aproximación frustrada tiene una protección lateral RNP 2 NM lo que equivale a 3704 m una vez se ha sobrepasado la OAS por motivos de seguridad. Esto se ha desarrollado en la Sección 7.4.

A continuación, en las Imagen 41 se muestran las protecciones laterales de todos los tramos de la ruta diseñada. Se puede observar claramente el aumento del margen en la aproximación frustrada respecto de la aproximación en sí.



Figura 41: aproximación con protección lateral

IV. CONCLUSIÓN Y PRESUPUESTO

15. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto ha sido el diseñar una aproximación al aeropuerto de Alicante utilizando la Navegación Basada en Prestaciones, trabajando con los últimos avances tecnológicos en navegación aérea para conseguir modernizar el aeropuerto.

Para ello, se ha recurrido a la extensa normativa vigente. Principalmente, se ha obtenido la información del Documento 8168 Operación de aeronaves Volumen II Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos OACI.

El diseño del procedimiento es compatible con las aproximaciones ya existentes publicadas en el AIP y se ha aplicado la normativa correspondiente a un procedimiento RNP APCH con mínimos LPV-200. La necesidad de que sea compatible con el resto de aproximaciones publicadas es facilitar la tarea de separación y coordinación del tráfico que entra al aeropuerto a los controladores aéreos.

La incorporación del sistema de navegación global por satélite (GNSS) y del sistema de aumentación por satélite SBAS ha conseguido mejorar los mínimos de altura, además de la capacidad del espacio aéreo y el incremento de la seguridad.

La reducción de los mínimos de altura es considerable ya que se ha pasado de 1230 pies a 280.5 pies sobre el umbral respecto de la aproximación VOR X RWY28 para aeronaves categoría D. Por ello, se ha obtenido una ventaja operacional. Esta disminución conlleva que aeronaves de dicha categoría puedan aterrizar en el aeropuerto de Alicante haciendo uso de la cabecera de la pista 28 cuando haya malas condiciones de visibilidad sin que se produzca un gran número de aproximaciones frustradas y desvíos. Al utilizar esta ruta que es más corta se consigue reducir el gasto de combustible y por ello, el impacto medioambiental es menor, ayudando así a cumplir con los compromisos internacionales para reducir emisiones.

El gran beneficio de este tipo de aproximaciones, además de disminuir los mínimos de altura y mejorar la seguridad operacional, es que cuenta con aproximaciones equivalentes a ILS CAT I sin necesidad de una gran inversión económica en infraestructura. El motivo de esto es que no requiere infraestructuras en tierra tipo ILS.

A lo largo del proyecto se ha diseñado la ruta de aproximación a la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante. Además, se ha desarrollado la protección lateral y vertical, junto con otros requerimientos establecidos por la normativa.

Para sintetizar, este procedimiento cuenta con numerosas ventajas tales como precisión, continuidad, disponibilidad, integridad, seguridad, capacidad y reducción de distancias y coste operacional. Por ello, se puede concluir que este procedimiento es altamente rentable y fácilmente aplicable. La implantación de esta operación es conveniente ya que la Navegación Basada en Prestaciones sustituirá a medio plazo a la navegación convencional a corto plazo por todos los motivos mencionados anteriormente.

16. PLIEGO DE CONDICIONES

Este pliego de condiciones comprende el conjunto de características que debería cumplir el procedimiento de aproximación tipo RNP APCH LPV-200 para la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante.

El procedimiento debe incorporar la Navegación Basada en Prestaciones. De forma más concreta, se debe introducir la navegación global por satélite (GNSS) y el sistema de aumentación por satélite SBAS en dicho aeropuerto para evitar la invalidez de las señales y garantizar que los GNSS cumplan los requisitos de las diferentes fases de vuelo.

Las infraestructuras que en este caso están basadas en satélites y proporcionan la posición de la aeronave. La posición horizontal y vertical de la aeronave se calcula con información que proviene de estas infraestructuras por lo que se debe cumplir que el nivel de precisión RNP APCH en millas náuticas (NM) se debe mantener durante el 95% del vuelo.

Teniendo en cuenta que la aproximación que se debe diseñar es tipo RNP APCH, la protección lateral debe ser de 1 NM en todos los tramos de la aproximación, incluyendo el tramo de aproximación frustrada, a excepción del tramo de aproximación final que su protección lateral debe ser de 0.3 NM.

Los requerimientos que se deben cumplir son LPV-200 para una aeronave categoría D tipo B747-800. Sin embargo, por motivos de seguridad se permite que el tramo de aproximación frustrada tenga una protección lateral RNP 2NM, es decir, mayor a lo establecido por la normativa.

Al tratarse de un procedimiento RNP APCH LPV-200 se deben cumplir los siguientes mínimos: precisión horizontal HNSE menor que 16 metros, precisión vertical VNSE de 4 a 6 metros, riesgo de continuidad menor que $1 \text{ a } 8 \times 10^{-6}/15$ segundos, en cuanto a disponibilidad el sistema debe ser utilizable entre el 99% y el 99.9999% del tiempo, para los requisitos de integridad se debe cumplir que el índice de seguridad debe ser siempre menor que 1.

La aproximación debe contar con un tramo inicial comprendido entre un IAF y un IF, un tramo intermedio comprendido entre un IF y un FAP, un tramo final comprendido entre un FAP y una DH y un tramo de aproximación frustrada que comienza en la DH y

que a su vez debe estar dividido en un primer tramo de precisión y otro a continuación de no precisión.

17. PRESUPUESTO

El presupuesto de este proyecto se basa en los costes relacionados con el software y las horas del personal necesario para su realización ya que no se ha requerido ningún material adicional que debe añadirse como coste. El desglose del mismo se va a dividir en dos grandes fases, obtención de la información y diseño del procedimiento.

Cabe destacar que, si este proyecto se llegara a realizar, habría que contabilizar los costes extra de un ensayo en tierra y de otro en vuelo ya que no se han tenido en cuenta a la hora de realizar el presupuesto debido a que no ha formado parte del proyecto. Además, en algunos casos, se han realizado estimaciones coherentes a la hora de realizar los cálculos.

Por otra parte, al tratarse de un proyecto académico no se ha incluido el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) pero el proyecto se hubiera realizado para una empresa sí que se debería de tener en cuenta este coste adicional.

17.1. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

En primer lugar, se ha tenido en cuenta el tiempo en horas invertido en la obtención de información. Se debe contabilizar el tiempo invertido por la persona que realiza el trabajo y por la que lo supervisa. Con esto se obtiene que:

	Horas invertidas	€/hora	Total (€)
Autor	180	30	5400
Supervisor	5	50	250
Total			5650

Tabla 25: Horas invertidas en obtención de información

El presupuesto de la fase de obtención de información es de 5650 €.

17.2. DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO

En segundo lugar, se ha tenido en cuenta el tiempo invertido para el diseño del procedimiento, así como las licencias de los programas utilizados para la realización de cálculos. Con esto se obtiene que:

	Horas invertidas	€/hora	Total (€)
Autor	135	30	4050
Supervisor	10	50	500
Total			4550

Tabla 26: Horas invertidas en el diseño del procedimiento

El presupuesto de la fase de diseño del procedimiento es de 5419€.

17.3. LICENCIAS DEL SOFTWARE

En tercer lugar, se ha tenido en cuenta el coste de las licencias del software utilizado para realizar este proyecto. A la hora de calcular el coste se han tenido en cuenta las horas invertidas en cada uno de ellos. Para la parte de obtención de información se ha utilizado Microsoft Office 365 y para la parte de diseño del procedimiento se ha utilizado Matlab, Google Earth y Autodesk Fusion360.

Software	Coste licencia (€)	Coste asociado proyecto (€)
Matlab	800	12.33
Microsoft Office 365	69	1.42
Google Earth	0	0
Autodesk Fusion360	502.15	7.74
Total		21.49

Tabla 27: Licencias de software

Las licencias de software tienen validez de un año. El presupuesto asociado a estas licencias acorde con las horas invertidas es de 21.49 €.

17.4. TOTAL

A continuación, con todos los gastos expuestos anteriormente se va a realizar una tabla con el coste total del trabajo.

Concepto	Coste (€)
Búsqueda de información	5650
Diseño del procedimiento	4550
Software	21.49
Total	10221.49

Tabla 28: Total presupuesto

El presupuesto total de este proyecto es de 10221.49 €.

18. REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE

18.1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA APROXIMACIÓN CALCULADA



Figura 42: Ruta de aproximación vista cenital

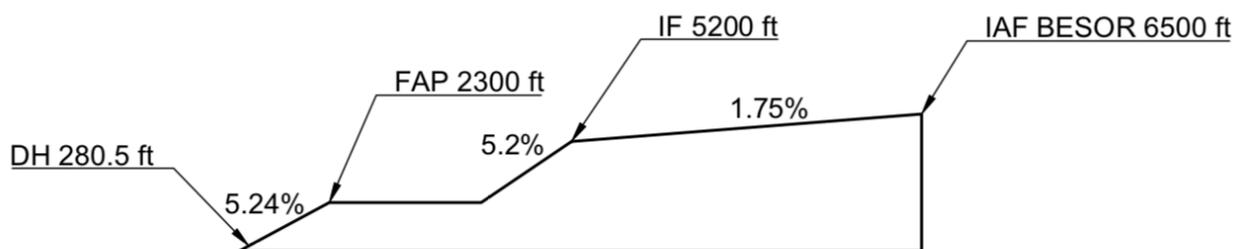


Figura 43: Perfil elevación aproximación

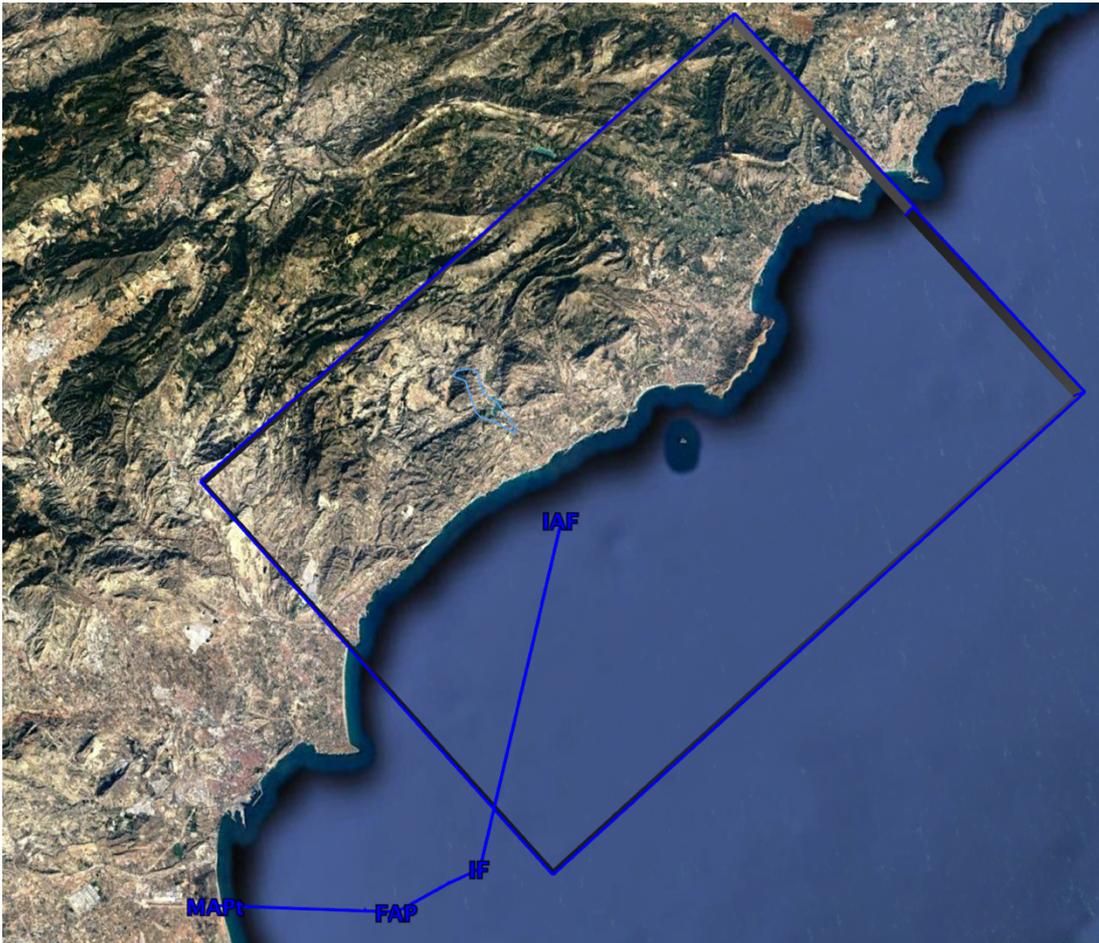


Figura 44: Ruta de aproximación con área rectangular de espera vista cenital

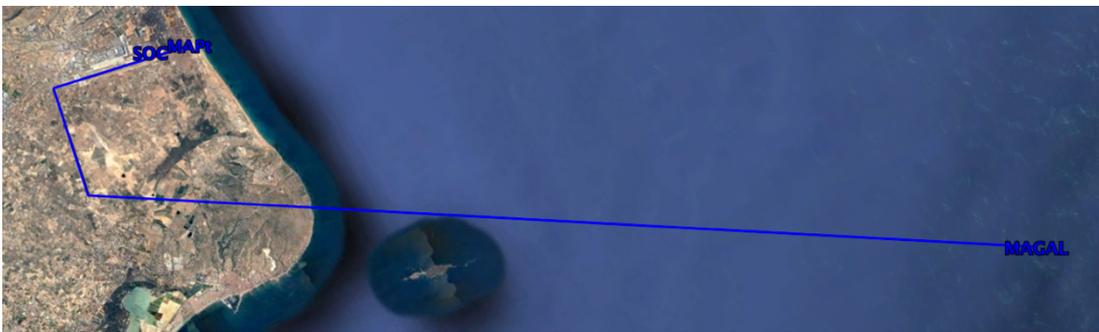


Figura 45: Ruta aproximación frustrada vista cenital

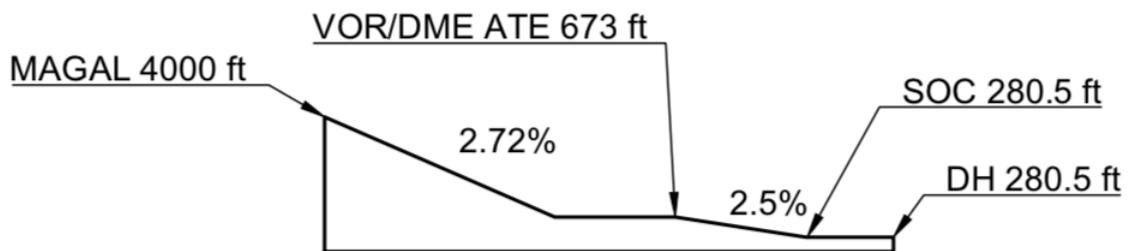


Figura 46: Perfil elevación aproximación frustrada

18.2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En esta sección se va a describir el tipo de programa Matlab utilizado para la representación de la ruta en Google Earth. Cabe destacar que es una descripción genérica ya que para cada tramo se ha creado un programa Matlab distinto con la intención de representar cada tramo en un archivo KML.

En primer lugar, se deben conocer las coordenadas de los puntos iniciales y finales de cada tramo de la aproximación. Hay algunos de estos puntos que tienen nombres propios como, por ejemplo, IAF BESOR, IF, FAP, MAPt y MAGAL, sin embargo, hay varios waypoints que no tienen nombre propio y se diferencian por las coordenadas únicamente.

Las coordenadas se pueden obtener de dos formas: extraerlas de las cartas publicadas en el AIP que es el caso de BESOR y MAGAL u obtenerlas con una función de la librería llamada "orto_distazi.m" a partir de la distancia y azimut del tramo en el que se encuentran que es el caso del resto de puntos.

Cabe destacar que para situar los waypoints en el espacio se deben tener las coordenadas de latitud, longitud y altitud. Una vez se tienen estas coordenadas, la latitud y longitud se deben pasar al sistema decimal con el programa "sex2dec.m" para que el software Matlab pueda hacer los cálculos. Matlab guarda esta información y genera un archivo en formato KML que será representado por Google Earth y visualizará la ruta.

En segundo lugar, una vez se tienen los waypoints situados en el espacio se representan mediante una función de la librería llamada "kmlwrite_polyline.m". Esta función toma los waypoints, los representa en Google Earth y los une mediante una línea que en este proyecto representa la trayectoria que debe seguir la aeronave.

La representación de la línea y los waypoints se puede personalizar cambiando color, espesor, título, extrusión, ... de la línea. Si no se desea personalizar la librería asigna unos valores por defecto.

Por último, una vez se tiene el programa Matlab se debe ejecutar y tras esta ejecución se abrirá automáticamente Google Earth representando la ruta de waypoints. Si se desea se puede guardar en "Mis Sitios" de Google Earth para poder visualizar todos los tramos conjuntamente una vez se hayan creado y ejecutado todos los programas de los diferentes tramos que forman la ruta completa.

V. ANEXOS

En este proyecto además de la memoria se adjuntan 4 anexos los cuales se incluyen en el formato digital del proyecto. Los anexos recogen todos los programas elaborados, la hoja Excel, los documentos e imágenes que se han analizado y creado. No se va a explicar el contenido de los programas, solamente su funcionalidad.

A excepción de las cartas aeronáuticas que han sido obtenidas del AIP de España el resto de programas, imágenes y archivos son de creación propia. Los programas Matlab usan la librería kml y geo proporcionada por el tutor.

ANEXO 1 – CARTAS AERONÁUTICAS

En este anexo se adjuntan las cartas aeronáuticas que se han utilizado para recabar información. Dichas cartas son:

- Carta del Aeródromo LEAL
- Carta del Procedimiento VOR X Pista 28
- Carta del Procedimiento VOR Z Pista 28
- Carta de Salida Normalizada de vuelo por Instrumentos (SID) Pista 10
- Carta de Salida Normalizada de vuelo por Instrumentos (SID) Pista 28
- Carta de Llegada Normalizada de vuelo por Instrumentos (STAR) Pista 10
- Carta de Llegada Normalizada de vuelo por Instrumentos (STAR) Pista 28
- Plano de Obstáculos de Aeródromo Pista 10
- Plano de Obstáculos de Aeródromo Pista 28

ANEXO 2 – FICHEROS MATLAB

En este anexo se adjuntan los ficheros Matlab. Estos ficheros son programas son de creación propia y han sido elaborados para poder representar en Google Earth todos los tramos de la aproximación RNP APCH LPV-200 para la cabecera de pista 28 del aeropuerto de Alicante. Los programas son:

- Programa aprox_entera.m: representación de la aproximación completa, IAF-DH.
- Programa aprox_final.m: representación de la aproximación final, FAP-DH.
- Programa aprox_intermedia.m: representación de la aproximación intermedia, IF-FAP.
- Programa aproximación_RNP1.m: representación de la protección lateral de en la aproximación.
- Programa calculo_distancias_coordenadas.m: cálculo de las coordenadas de un punto dado un punto inicial, la distancia del tramo y el azimut de dicho tramo.
- Programa calculo_rumbos_coordenadas.m: cálculo de la distancia y del azimut del tramo dadas las coordenadas de los puntos que lo delimitan.
- Programa espera_rectangulo.m: representación de la zona rectangular de la espera.
- Programa frustrada_RNP2.m: representación de la protección lateral de la aproximación frustrada.
- Programa frustrada_tramo1.m: representación del primer tramo de la frustrada.
- Programa frustrada_tramo2.m: representación del segundo tramo de la frustrada.
- Programa frustrada_tramo3.m: representación del tramo final de la frustrada.
- Programa frustrada_tramoinicial.m: representación del tramo inicial de la frustrada, DH-SOC.
- Programa MAPt.m: determinación del MAPt.
- Programa obstaculos.m: representación de obstáculos.

Los programas KML que se crean con la ejecución de estos programas Matlab se adjuntan en el Anexo 4 – Archivos KML.

Además, se han utilizado los siguientes programas que han sido proporcionados por el tutor y se utilizaron en la asignatura Transporte Navegación y Circulación Aérea del Grado Ingeniería Aeroespacial:

- Programa `créate_attr.m`: aplica atributos a los KML
- Programa `kmlwrite_polyline.m`: crea una polilínea a partir de waypoints en un fichero KML
- Programa `orto_distazi.m`: calcula la distancia y el azimut entre dos puntos
- Programa `orto_reckon.m`: dado un punto inicial, una distancia y un azimut, calcula las coordenadas del punto final
- Programa `sex2dec.m`: convierte coordenadas de sexagesimal a decimal

ANEXO 3 – DOCUMENTOS EXCEL

En este anexo se adjunta la hoja de cálculo Excel que ha sido utilizada para realizar ciertos cálculos de este proyecto tales como velocidades IAS y TAS, margen del baroaltímetro, vértices del rectángulo de espera, obstáculos y altura equivalente de la frustrada.

- Documento `Calculos.xlsx`

ANEXO 4 – ARCHIVOS KML

En este anexo se adjuntan los archivos KML generados por los programas Matlab del Anexo 2 – Ficheros Matlab. Al ejecutar dichos programas Matlab se generan los siguientes archivos KML en Google Earth que representan los distintos tramos y puntos de la ruta de aproximación a la cabecera de la pista 28 del aeropuerto de Alicante:

- Archivo `APCH-RWY28.kml`: representación del tramo inicial, intermedio y final de la aproximación.
- Archivo `aproximacion_RNP1.kml`: representación de la protección lateral del tramo inicial, intermedio y final de la aproximación.
- Archivo `espera_rectangular.kml`: representación del área rectangular de la espera.
- Archivo `frustrada_tramo1.kml`: representación del primer tramo de la aproximación frustrada.
- Archivo `frustrada_tramo2.kml`: representación del segundo tramo de la aproximación frustrada.
- Archivo `frustrada_tramo3.kml`: representación del tercer tramo de la aproximación frustrada.
- Archivo `frustrada_tramoinicial.kml`: representación del tramo inicial de la aproximación frustrada.
- Archivo `frustrada_RNP2.kml`: representación de la protección lateral de todos los tramos de la aproximación frustrada.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Organización de Aviación Civil Internacional, Volumen II: Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos. OACI, 2014.
- Organización de Aviación Civil Internacional, Manual de Navegación basada en la Performance (PBN). OACI, 2013.
- Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Publicación de Información Aeronáutica AENA.
- TFM Diseño y Validación de un Procedimiento de Aproximación empleando GNSS/SBAS para el Aeropuerto de Teruel. María del Carmen Furquet Gascón, 2018.

AIRBUS A320:

https://www.acta.es/medios/articulos/automocion_y_transporte/009001.pdf

AIRBUS A320: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html#details>

ENAIRES: https://ais.enaire.es/AIP/AIPS/AMDT_311_2019_AIRAC_01_2019/AIP.html

AENA: <http://www.aena.es/es/aeropuerto-alicante/presentacion.html>

AEROPUERTO LEAL: <https://www.aeropuertoalicante-elche.com/info-aeropuerto-alicante-elche.htm>

AEROPUERTOS: https://www.aeropuertos.net/aeropuerto-de-alicante/#Instalaciones_del_aeropuerto

BOEING: <https://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/737ng.page>

DIVULGA METEO: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Emisiones-CO2-aviación.pdf>

CLIMATE DATA: <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/alicante-105/>

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS: <https://www.gsa.europa.eu/news/egnospv-200-enables-safer-aircraft-landings>

HISPAVIACION: <http://www.hispaviacion.es/navegacion-basada-en-prestaciones-las-aproximaciones/>

ICAO: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2013/PBN2013/OPS10-sp.pdf>

ICAO: https://www.icao.int/MID/Documents/2014/PBN%20Workshop-Tunis/03%20Overview%20of%20PBN%20Nav%20Specs_vJUL13.pdf