

# **PROYECTO 1: ESPACIO AÉREO**

Víctor Gracia Castillo

Ezequiel Miranda Piera

Eloi Moncho Roig

Alejandro Ramírez

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Performance Based Navigation (PBN).....	1
1.2 Sistemas RNAV y RNP.....	2
<b>2. SITUACIÓN ACTUAL EN LERS.....</b>	<b>5</b>
2.1 Cartas de aproximación actuales.....	5
2.1.1 Cartas de aproximación por instrumentos.....	6
2.2 Tipos de tráfico en LERS.....	9
<b>3. STAR RNAV 1.....</b>	<b>11</b>
3.1 Requisitos de la aeronave.....	11
3.2 Cálculo de coberturas DME-DME.....	11
3.2.1 Ubicación del IAF.....	11
3.2.2 Coberturas DME.....	12
3.2.3 Coberturas de parejas DME-DME.....	19
3.3 Estudio del nuevo holding.....	24
3.3.1 Terminología asociada al holding.....	24
3.3.2 Velocidades, ritmo de giro.....	25
3.3.3 Entrada en el Holding.....	26
3.3.3.1 Sector 1: parallel entry.....	26
3.3.3.2 Sector 2: offset entry.....	26
3.3.3.3 Sector 3: direct entry.....	27
3.3.3.4 Periodo de tiempo outbound.....	27
3.3.4 Obstacle clearance.....	27
3.3.4.1 Area del holding.....	27
3.3.4.2 Area del buffer.....	27
3.3.4.3 Nivel mínimo de holding.....	27
3.3.4.4 Obstacle clearance en terreno montañoso.....	28
3.3.5 Holding.....	28
3.4 Área de protección del holding.....	29
3.4.1 Construcción de la plantilla.....	30
3.4.2 Construcción del área básica.....	32
3.4.2 Aplicación del buffer.....	34
3.5 Análisis de la cobertura DME en el holding.....	36
3.6 Análisis de obstáculos en el holding.....	38
3.7 Tolerancia del holding fix.....	39
3.8 Diseño de las nuevas STAR.....	43
3.8.1 STAR 1.....	43
3.8.2 STAR 2.....	45
3.8.3 Áreas de protección.....	48
3.8.4 Análisis de obstáculos.....	54
<b>4. RNP APCH.....</b>	<b>55</b>

4.1 Parámetros de diseño General.....	56
4.1.1 Áreas secundarias.....	56
4.1.2 Obstacle clearance.....	56
4.1.3 Segmento de estabilización.....	58
4.1.4 Ancho de las áreas.....	60
4.1.5 Protección en el giro.....	62
4.2 Initial Approach Segment.....	62
4.3 Intermediate Approach Segment.....	63
4.4 Final Approach Segment.....	64
4.5 Obstáculos.....	65
4.5 Missed Approach Point.....	65
4.5 Dibujo de RNP APCH.....	65
4.5.1 RNP APCH LNAV para ambas RWY.....	65
5. Aproximación ILS CAT I.....	69
5.1 Segmento inicial.....	69
5.2 Segmento intermedio.....	70
5.3 Segmento de precisión.....	72
5.3 Diseño de la carta ILS.....	73
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>76</b>
<b>7. ANEXO.....</b>	<b>77</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión del tráfico en aproximación al Aeropuerto de Reus (LERS) presenta desafíos significativos cuando se activa la configuración ‘E’ (Este) en el Aeropuerto de Barcelona (LEBL).

En este contexto, se propone un proyecto que busca rediseñar las STARs, de LERS mediante la eliminación de los tres Puntos Iniciales de Aproximación (IAFs) en DISET, KERIP y VLA, reemplazándolos con un nuevo IAF al norte del Control de Tráfico (CTR) de LERS.

Asegurando que todas las STARs cumplan con las especificaciones de navegación RNAV 1 y simplificándolas según sea necesario. A partir de las llegadas a este nuevo IAF, se planifica la creación de dos nuevas maniobras de aproximación a LERS desde ambas cabeceras de pista (RWY07 y RWY25). Estas nuevas maniobras se implementarán como RNP (Required Navigation Performance) Approach con diferentes mínimas, incluyendo LNAV, LNAV/VNAV y LPV.

Además, se contempla la necesidad de rediseñar la maniobra de aproximación ILS convencional para la RWY25 a partir de este nuevo IAF, considerando la presencia de un DVOR/DME en VLA y otro en RES. En la actualidad, la RWY25 ya dispone de maniobras publicadas de aproximación ILS, LOC y VOR con los IAF RES y VLA, mientras que la RWY07 cuenta con maniobras publicadas de aproximación RNP y VOR.

Un aspecto crítico del proyecto es garantizar la prestación de servicio DME/DME en la espera de este nuevo IAF, manteniendo las altitudes mínimas requeridas. Se ha de identificar la existencia de DME críticos en la zona. Asimismo, se prestará especial atención a la adecuación del número de satélites GPS visibles y la dilución de la precisión para asegurar el cumplimiento de las nuevas maniobras RNP Approach.

### 1.1 Performance Based Navigation (PBN)

El concepto de navegación basada en el rendimiento (PBN) establece que los requisitos de rendimiento del sistema RNAV o RNP de una aeronave deben definirse en términos de precisión, integridad, continuidad y funcionalidad necesarios para las operaciones propuestas, considerando un concepto específico de espacio aéreo y respaldado por la infraestructura NAVAID correspondiente. El cumplimiento con los sistemas geodésicos mundiales y la calidad de datos prescrita en el Anexo 15 — Servicios de Información Aeronáutica es fundamental para la PBN.

En el pasado, los requisitos de navegación aérea se han definido principalmente en función de los sensores utilizados, como los radiofaros de navegación y los waypoints. Cuando se exige un control más estricto del rendimiento de la navegación a bordo y alertas adicionales, se establece una Especificación de Rendimiento Requerido en Navegación (RNP). Por otro lado,

cuando no se necesitan esos niveles de precisión, nos referimos simplemente al Requisito de Navegación de Área (RNAV).

Es decir, hay dos tipos de especificaciones de navegación:

- a) Especificación RNAV. Una designación de especificación de navegación que no incluye requisitos para monitoreo y alertas de rendimiento a bordo.
- b) Especificación RNP. Una designación de especificación de navegación que incluye requisitos para monitoreo y alertas de rendimiento a bordo.

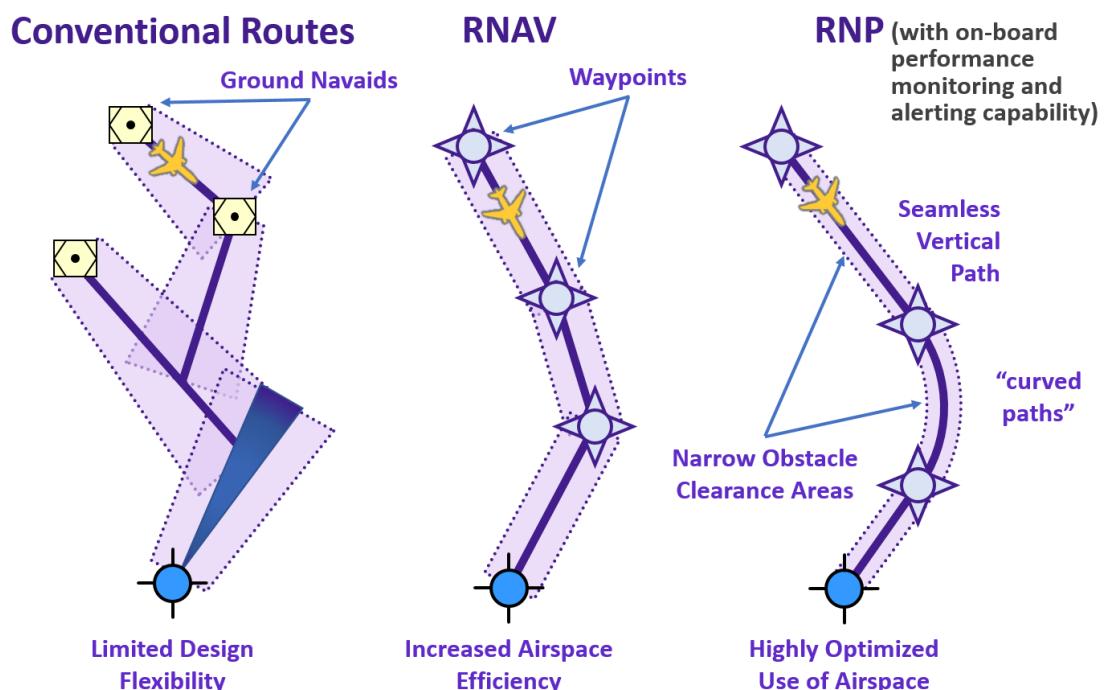


Figura 1: Comparación de rutas convencionales, RNAV y RNP. Fuente: <https://www.cad.gov.hk/english/pbn.html>

El concepto de PBN representa un cambio desde la navegación basada en sensores y requiere el uso de un sistema RNAV o RNP. Los requisitos operativos impulsan los requisitos de rendimiento, que luego se identifican en especificaciones de navegación y determinan las opciones especificadas de sensores y equipos de navegación que se pueden utilizar para cumplir con esos requisitos de rendimiento. Estas especificaciones de navegación ofrecen orientación específica para la implementación a los Estados y operadores, con el fin de facilitar la armonización global. Las necesidades operativas, como la precisión de navegación, la integridad, la continuidad y la capacidad de definición de la trayectoria de vuelo, constituyen la base del contenido de las especificaciones de navegación.

## 1.2 Sistemas RNAV y RNP

La navegación de área se define como un método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada dentro del alcance de los NAVAIDS

referenciados por estaciones o dentro de los límites de la capacidad de ayudas autónomas, o una combinación de ambos. Esto elimina la restricción impuesta en las rutas y procedimientos convencionales, donde las aeronaves normalmente deben sobrevolar NAVAIDs de referencia, permitiendo así flexibilidad y eficiencia operativa.

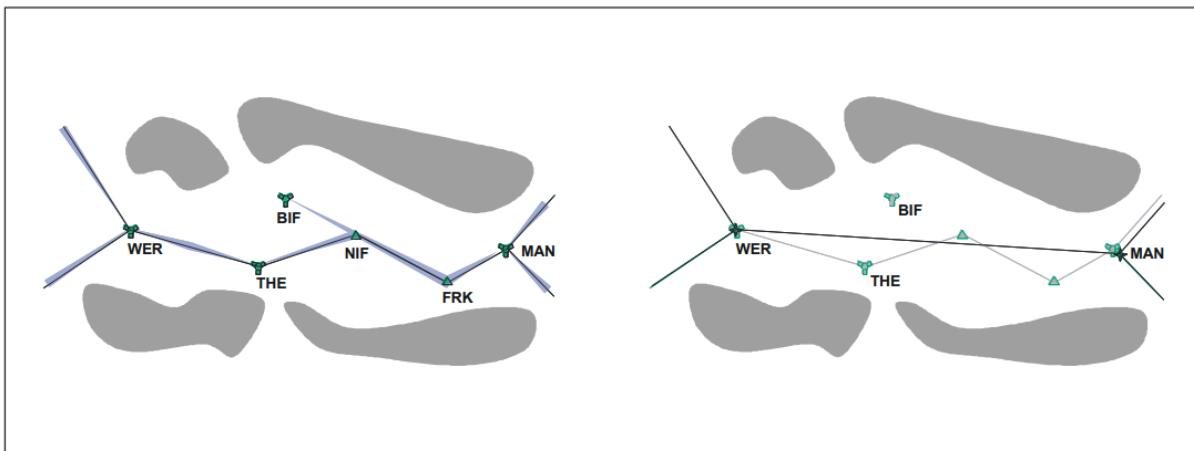


Figura 2: Comparación de navegación convencional con navegación PNB. Extraído de la presentación del proyecto.

Un sistema RNP es un sistema RNAV cuyas funcionalidades respaldan el monitoreo y las alertas de rendimiento a bordo. Los requisitos específicos actuales incluyen:

- Capacidad para seguir una ruta terrestre deseada con fiabilidad, repetibilidad y previsibilidad (incluyendo un camino curvo opcional)
- Capacidad opcional para seguir perfiles verticales utilizando ángulos verticales, restricciones de velocidad o restricciones de altitud especificadas para definir una trayectoria vertical deseada.

Para operaciones oceánicas, remotas, en ruta y terminales, una especificación de navegación RNP se designa como RNP X, por ejemplo, RNP 4. Una especificación de navegación RNAV se designa como RNAV X, por ejemplo, RNAV 1.

Para ambas designaciones de RNP y RNAV, la expresión "X" (donde se indica) se refiere a la precisión de la navegación lateral (error total del sistema (TSE)) en millas náuticas, que se espera se logre al menos el 95 por ciento del tiempo de vuelo por la población de aeronaves operando dentro del espacio aéreo, ruta o procedimiento.

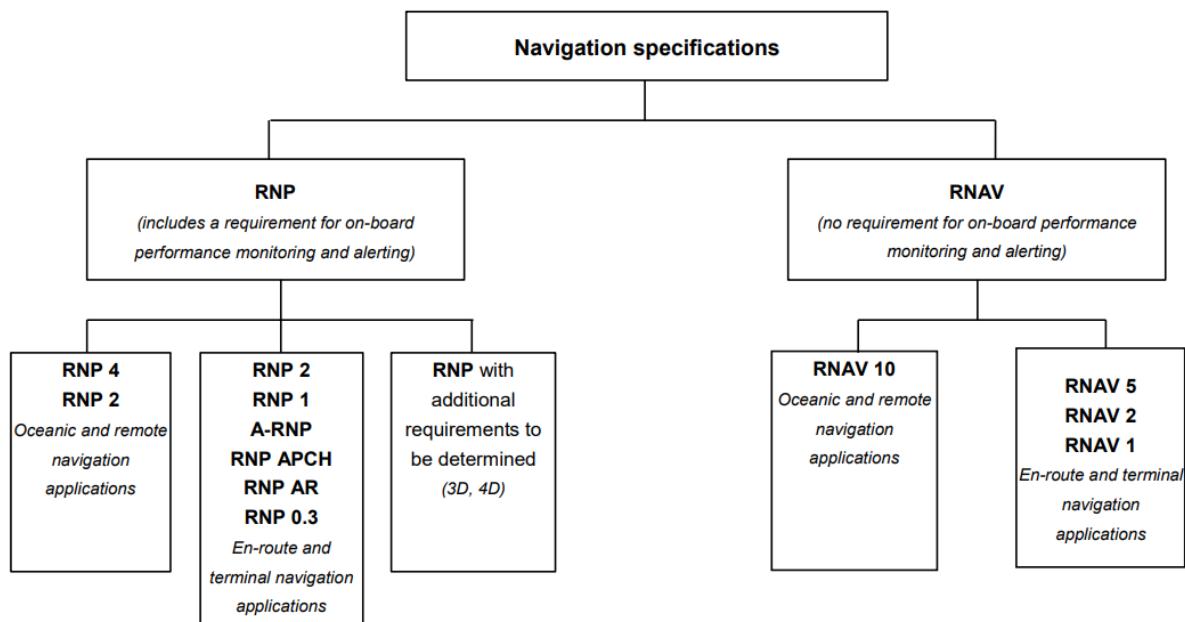


Figura 3. Tipos de navegación RNP y RNAV. Fuente:  
[https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/atpubs/aim\\_html/chap1\\_section\\_2.html](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap1_section_2.html)

Los tres errores principales con los que lida OBPMA son el error en la definición de la trayectoria (PDE), el error técnico de vuelo (FTE) y el error del sistema de navegación (NSE). El error total del sistema (TSE) es una función de PDE, NSE y FTE.

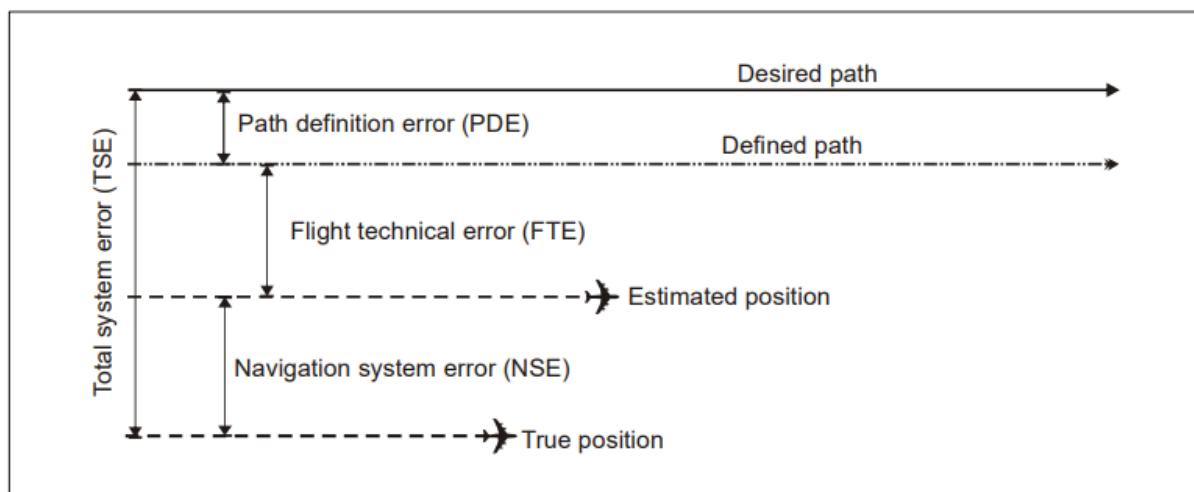


Figura 4. Errores laterales de navegación. Extraído de la presentación del proyecto.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL EN LERS**

El aeropuerto de Reus (LERS) cuenta actualmente con 4 IAFs (DISET, KERIP, REUS, VLA). Como se ha dicho, se deben eliminar los IADs de DISET, KERIP y VLA y crear uno nuevo al norte de LERS. Los IAFs a eliminar estan marcados en la siguiente figura del TMA de Barcelona:

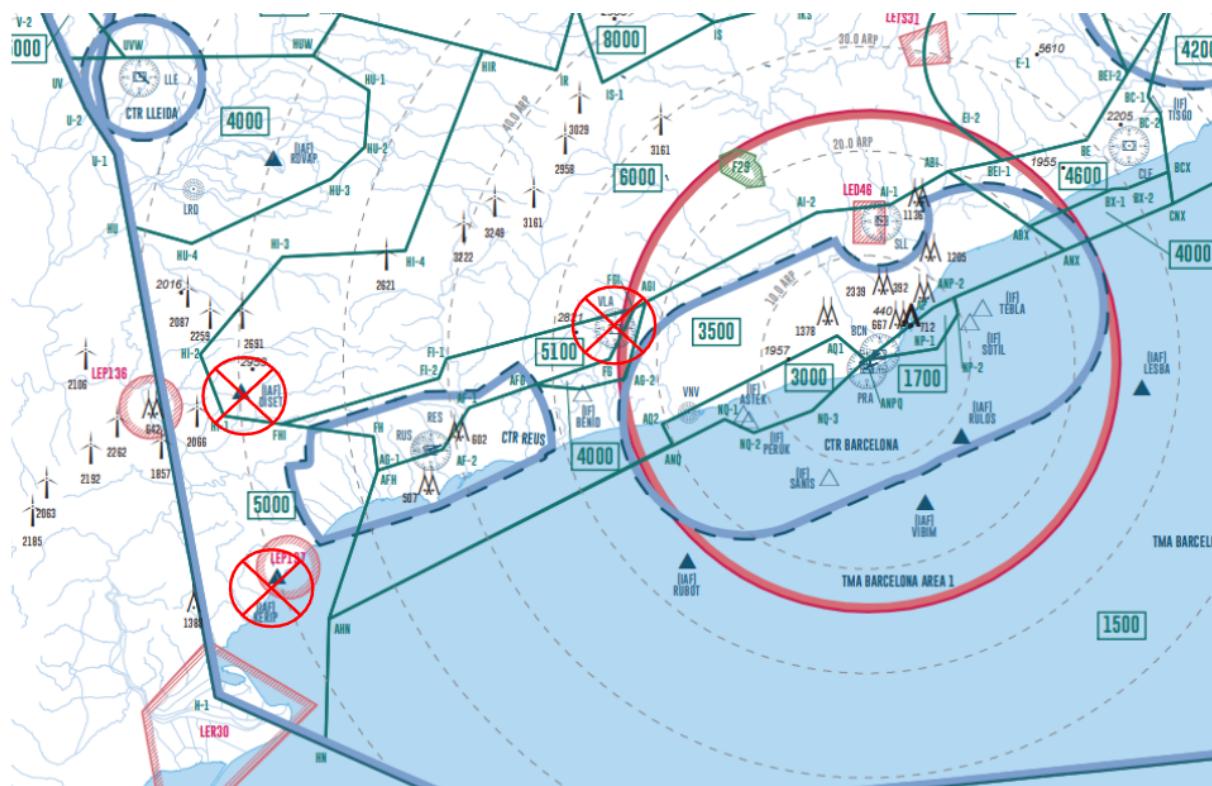


Figura 5: Situación actual en Reus, IAFs a eliminar.

## 2.1 Cartas de aproximación actuales

Actualmente, con los IAFs con los que cuenta Reus, hay 3 cartas de aproximación por instrumentos, una para la RWY25 y dos para la RWY07. Además, cuenta con 4 cartas de aproximación STARs (Standard Terminal Arrival Route) publicadas, dos para la RWY25 y dos para la RWY07.

## 2.1.1 Cartas de aproximación por instrumentos

Maniobra publicada de aproximación ILS Z para la RWY25.

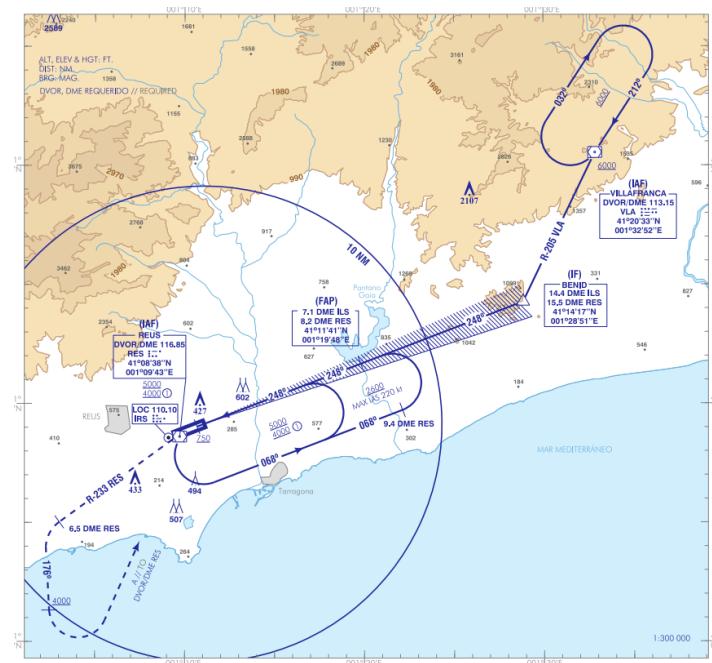


Figura 6: Carta publicada ILS RWY25.

Maniobra publicada de aproximación RNP approach APV SBAS para la RWY07.

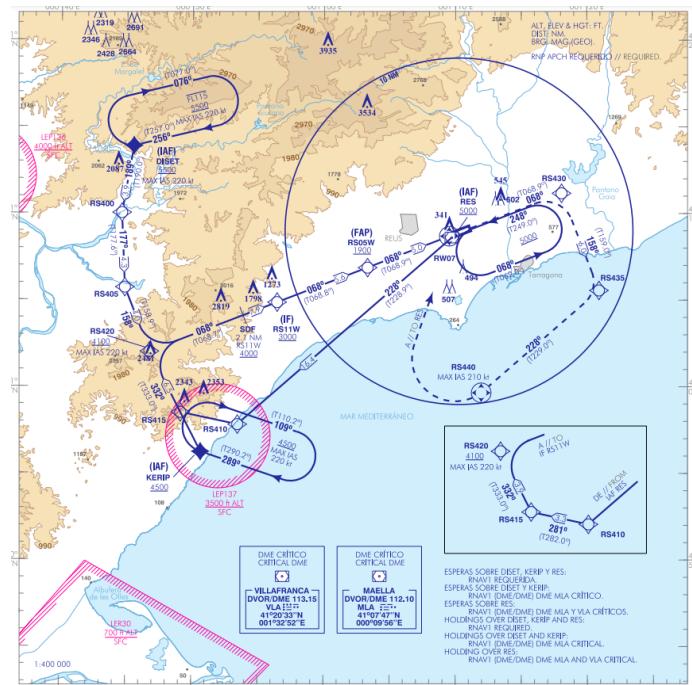


Figura 7: Carta publicada RNP approach LPV RWY07.

Maniobra publicada de aproximación RNP approach para la RWY07.

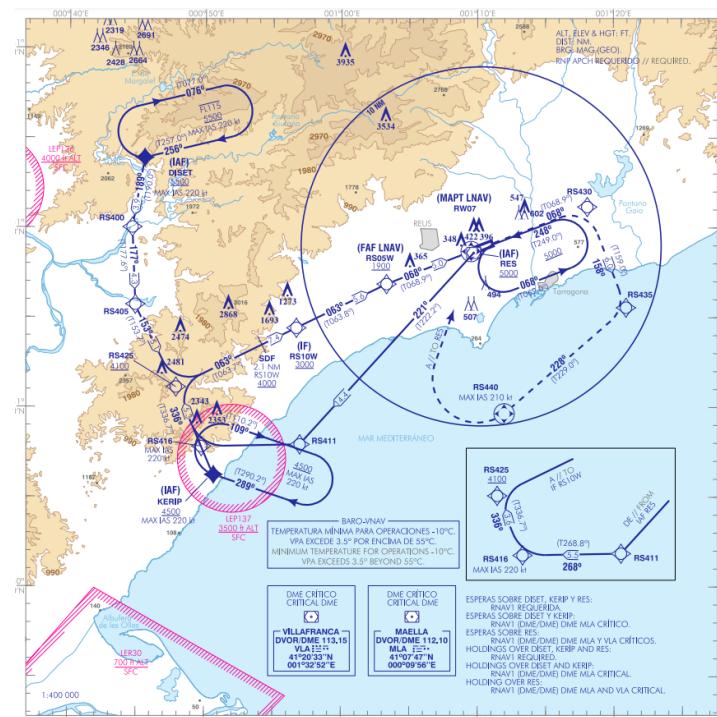


Figura 8: Carta publicada RNP approach LNAV, LNA/VNAV RWY07

### 2.1.2 Standard Terminal Arrival Route

- STAR 1 para la RWY07:

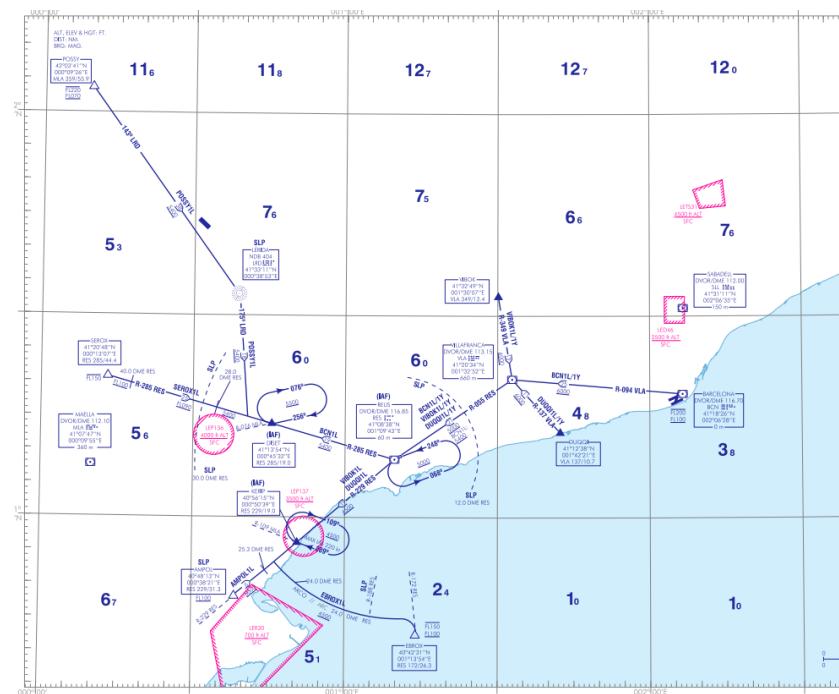


Figura 9: STAR 1 RWY07

- STAR 2 RNAV 1 para la RWY07:

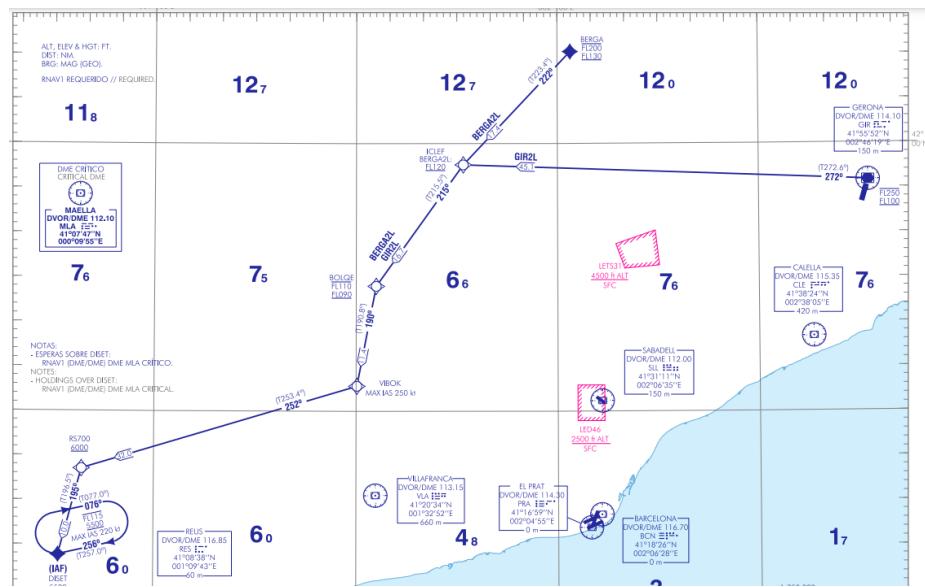


Figura 10: STAR 2 RWY07

- STAR 3 para la RWY25:



Figura 11: STAR 3 RWY25

- STAR 4 RNAV 1 para la RWY25:

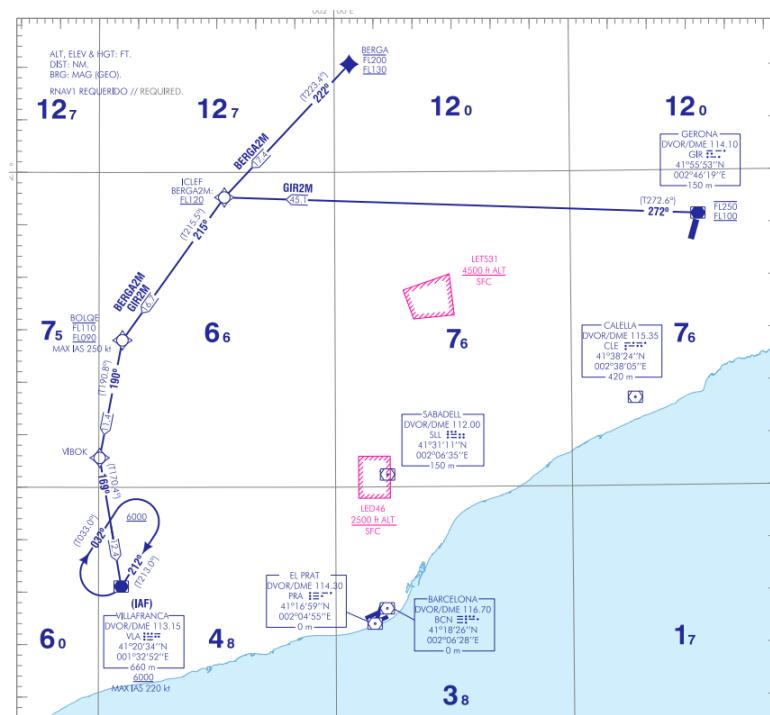


Figura 12: STAR 4 RWY25

## 2.2 Tipos de tráfico en LERS

Según las estadísticas de planes de vuelo del 1/1/2023 al 1/8/2023 hubo un total de 6273 llegadas a LERS.

2206 llegadas IFR por la RWY25.

112 llegadas IFR por la RWY07.

2881 llegadas VFR.

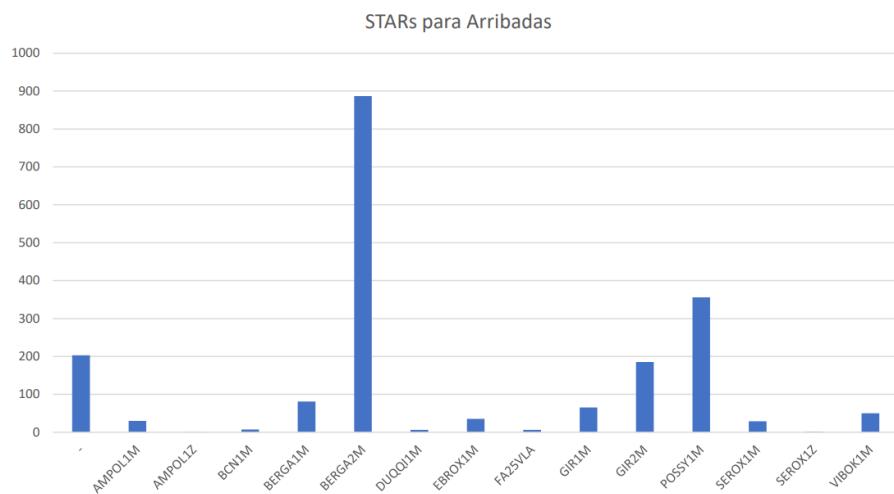


Figura 13: Gráfico de llegadas a diferentes waypoints de las STARs.

### 3. STAR RNAV 1

El RNAV 1 es un estándar de navegación aérea que se refiere a la capacidad de las aeronaves para seguir rutas precisas basadas en coordenadas, permitiéndoles navegar de manera autónoma y precisa sin depender exclusivamente de ayudas de navegación terrestre. Este estándar establece que las aeronaves deben ser capaces de mantenerse dentro de una desviación lateral de un radio de una milla náutica (NM) aproximadamente el 95% del tiempo durante su vuelo, lo que garantiza una alta precisión en la navegación. La implementación del RNAV 1 ha permitido vuelos más eficientes, trayectorias directas y una mayor flexibilidad en las rutas de vuelo.

#### 3.1 Requisitos de la aeronave

Las operaciones RNAV 1 y RNAV 2 se basan en el uso de equipos RNAV que determinan automáticamente la posición de la aeronave en el plano horizontal utilizando información de los siguientes tipos de sensores de posición (sin prioridad específica):

- a) GNSS.
- b) Sistemas RNAV con capacidad de navegación DME/DME.
- c) Sistemas RNAV con capacidad de navegación DME/DME/Inercial.

Los sistemas RNAV y RNP, si el GNSS no está disponible para calcular la posición/velocidad, pueden seleccionar automáticamente un modo de actualización de menor prioridad, como navegación inercial, DME/DME o VOR/DME. Si estos modos de actualización por radio no están disponibles o han sido deseleccionados, el sistema puede revertir automáticamente a un modo de inercia sin señal. En sistemas de un solo sensor, la falla del sensor puede llevar a un modo de operación de navegación estimada.

#### 3.2 Cálculo de coberturas DME-DME

##### 3.2.1 Ubicación del IAF

En este apartado veremos las coberturas que ofrecen las estaciones DME a nuestro IAF. El nuevo IAF debe estar ubicado al norte del CTR de LERS, el punto de IAF lo hemos ubicado en las Montañas de Prades, a una altitud de 6000 ft, como habíamos especificado anteriormente para obtener las coberturas y marcar la altitud del móvil.



Figura 14: CTR de Reus y el IAF que hemos marcado a grosomodo

### 3.2.2 Coberturas DME

La cobertura DME estará cubierta por parejas DME-DME como veremos más adelante. Para empezar debemos ver la cobertura de cada una de las antenas DME sobre el IAF que acabamos de ubicar. Primero debemos ubicar las estaciones DME.

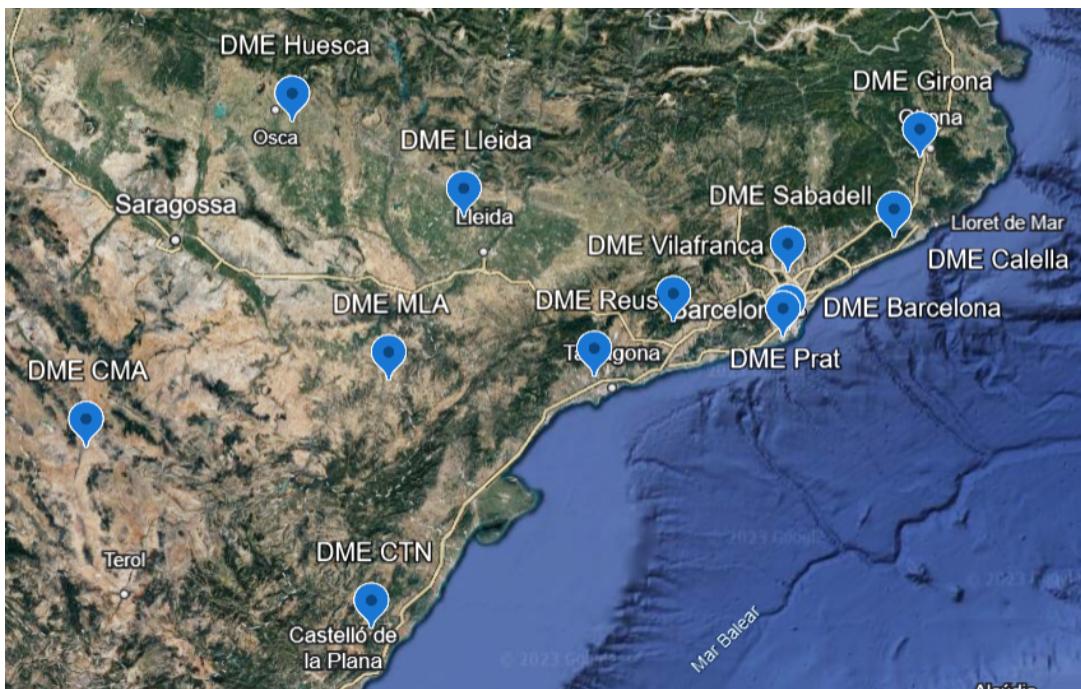


Figura 15: Ubicación de todas las estaciones DME

La altitud del IAF y su holding será de 6000 ft (1828,8 m). Después de poner en Radio Mobile las alturas correctamente, cuando ponemos la cobertura de cada DME, debemos realizar el resto de 6000 ft menos la altura de la estación para dar valor al parámetro de altura de la antena móvil.

Para todos los casos debemos completar los valores según se explica en la guía facilitada en Atenea para obtener las coberturas DME, cada cobertura debe tener los siguientes datos, excepto la altura de la antena móvil que cambiará en cada caso.

Posición central	DME Malella	
Altura de antena (m sobre suelo)	5	16.40 ft
Tipo de antena	Omni	
Azimuth de la antena (°)	0	
Tilt de la antena (°)	0	
Ganancia de la antena (dBi)	2	
Altura de la antena móvil (m)	1472	4829.40 ft
Ganancia de la antena móvil (dBi)	0	
Descripción	Cobertura DME MLA	
Frecuencia (MHz)	1240	
Potencia Tx (Watts)	1000	60.00 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	3	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Umbral Rx ( $\mu$ V)	4	-94.96 dBm
Fiabilidad necesaria (%)	70	
Margen de señal fuerte (dB)	10	
Color de señal fuerte		
Color de señal débil		
Opacidad (%)	50	
Rango máximo (km)	300	186.4113 mi
Renderizando	Alta Resolución	
Usar características del terreno	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 16: Ejemplo de valores en Radio Mobile

**DME VLA (Vilafranca):** Este DME está a una altura de 634 m, en este caso la altura de la antena móvil será de 1194 m. El resultado de la cobertura es:

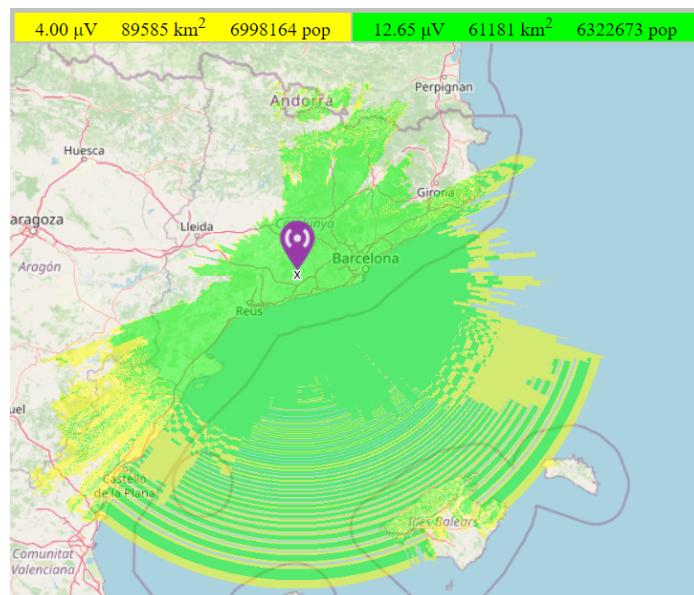


Figura 17: Cobertura obtenida con Radio Mobile de VLA

**DME MLA** → altitud: 356 m → altura de la antena móvil: 1472 m

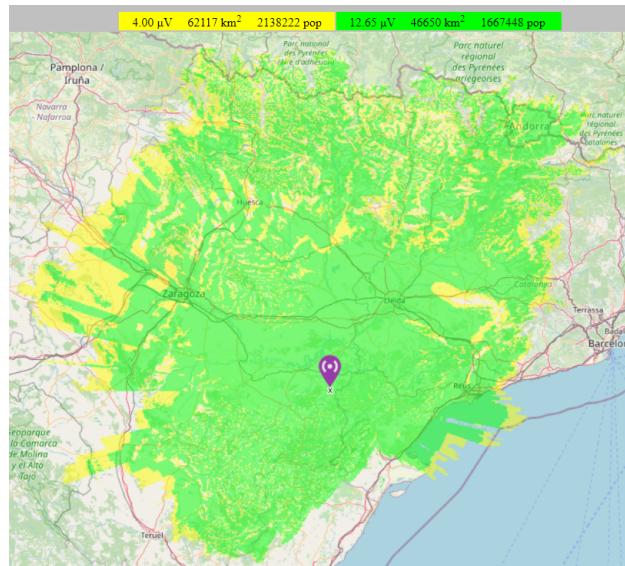


Figura 18: Cobertura obtenida con Radio Mobile de MLA

**DME Sabadell** → altitud: 140 m → altura de la antena móvil: 1688 m

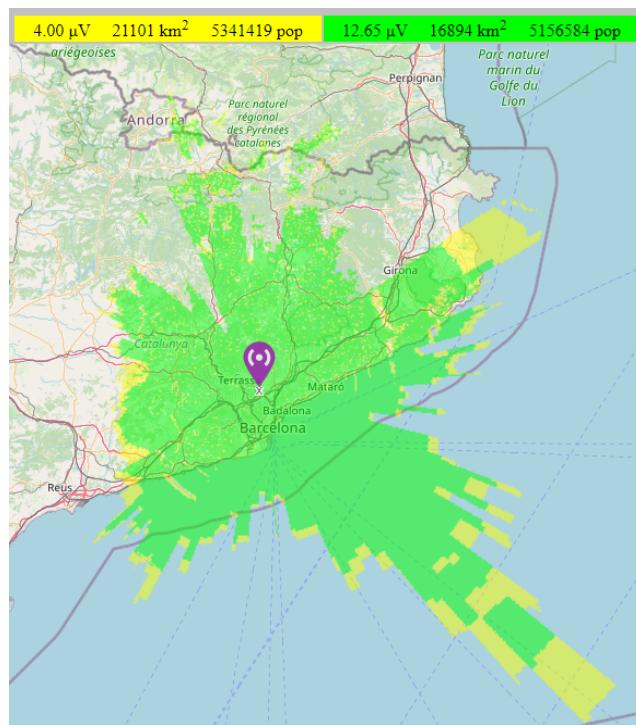


Figura 19: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Sabadell

**DME Girona** → altitud: 149 m → altura de la antena móvil: 1679 m

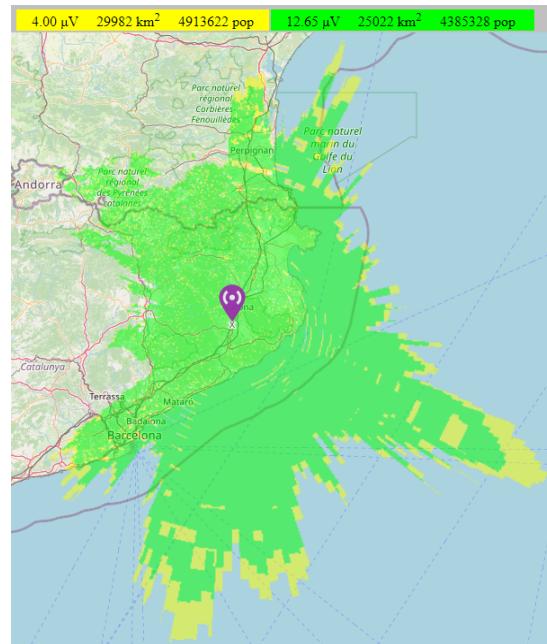


Figura 20: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Girona

**DME Calella** → altitud: 282 m → altura de la antena móvil: 1546 m

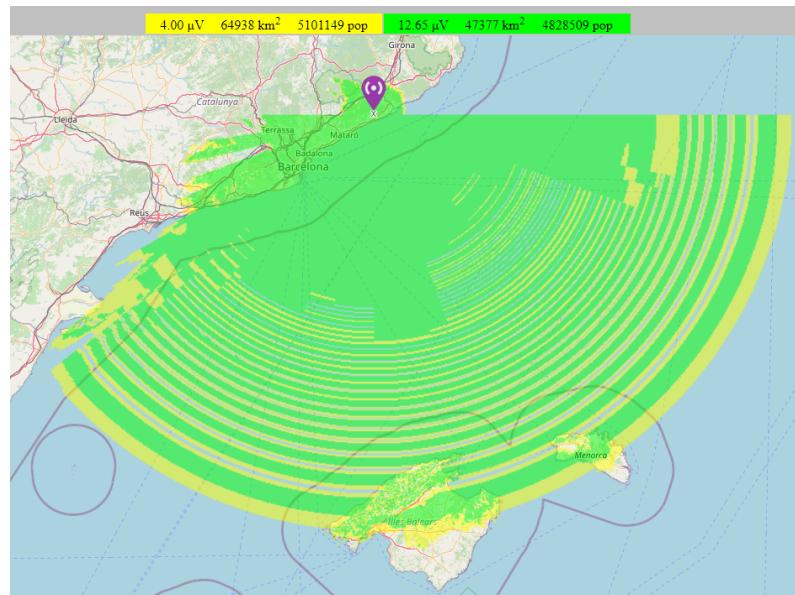


Figura 21: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Calella

**DME Prat** → altitud: 0m → altura de la antena móvil: 1828 m

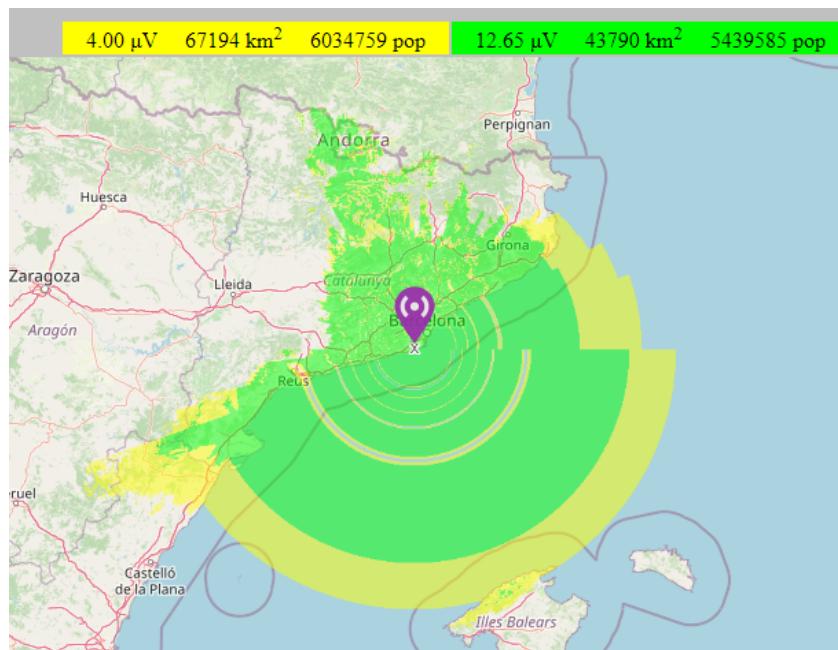


Figura 22: Cobertura obtenida con Radio Mobile de El Prat

**DME Barcelona** → altitud: 6 m → altura de la antena móvil: 1822 m

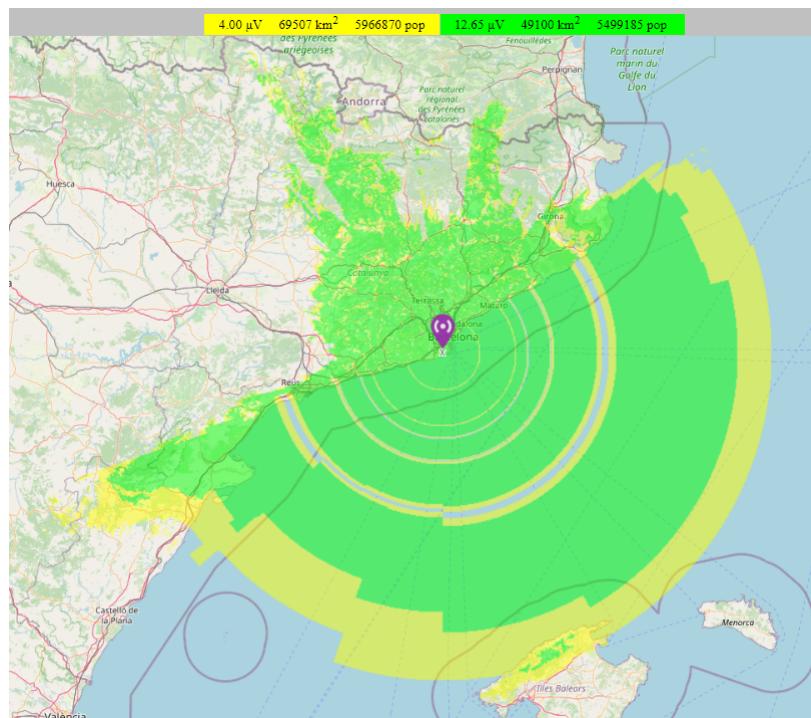


Figura 23: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Barcelona

**DME Reus** → altitud: 67 m → altura de la antena móvil: 1761 m

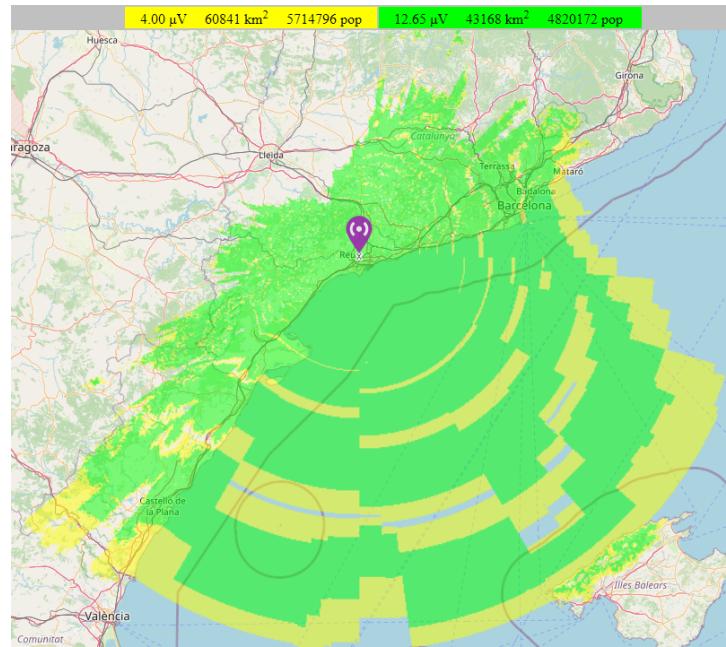


Figura 24: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Reus

**DME CTN** → altitud: 369 m → altura de la antena móvil: 1459 m.

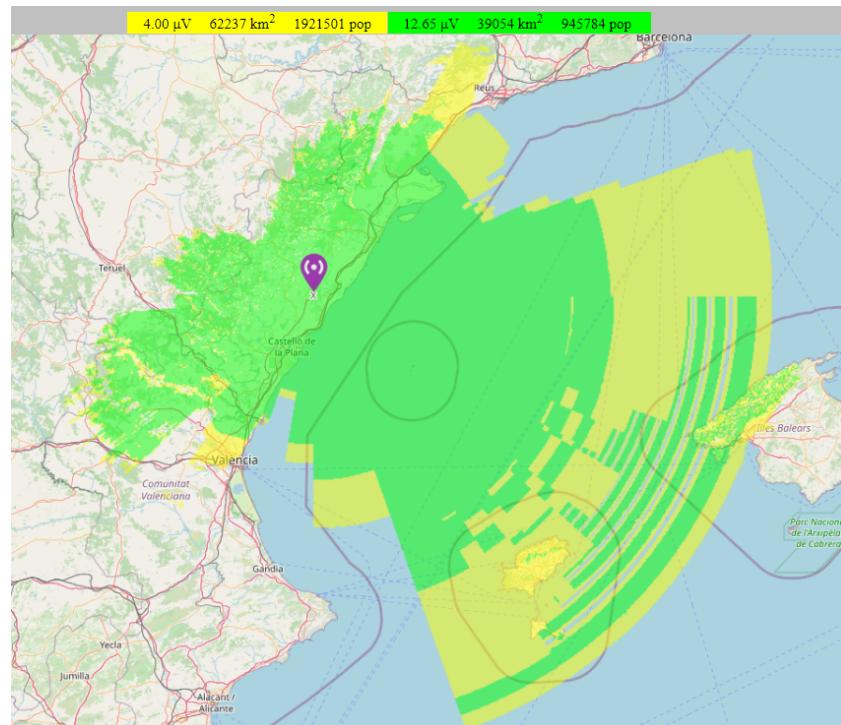


Figura 25: Cobertura obtenida con Radio Mobile de CTN

**DME CMA** → altitud: 947 m → altura de la antena móvil: 881 m.

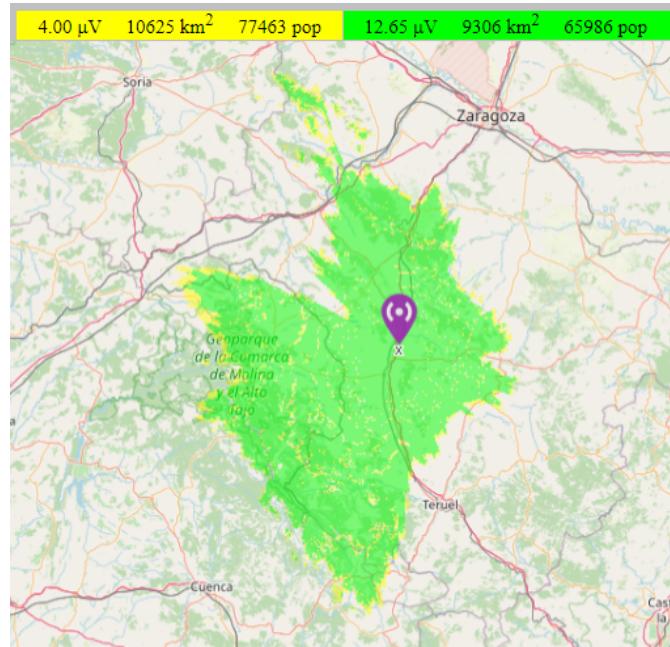


Figura 26: Cobertura obtenida con Radio Mobile de CMA

**DME Huesca** → altitud: 536 m → altura de la antena móvil: 1292 m

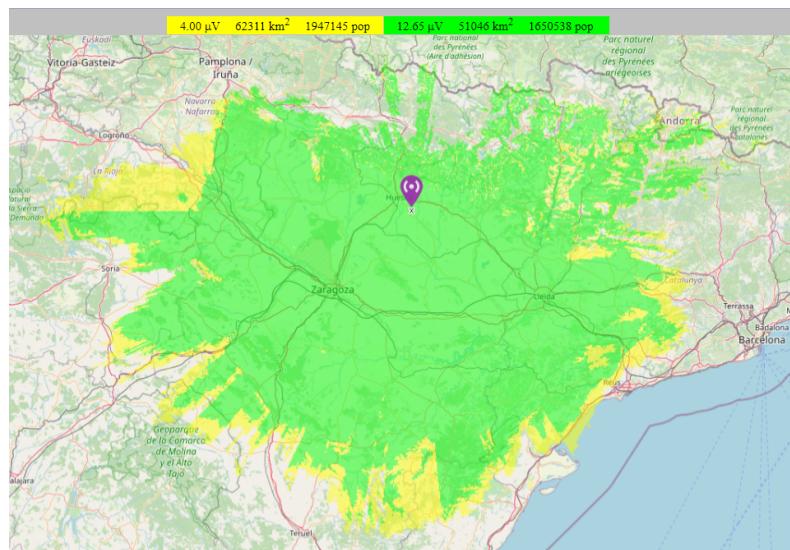


Figura 27: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Huesca

**DME Lleida** → altitud: 345 m → altura de la antena móvil: 1483 m

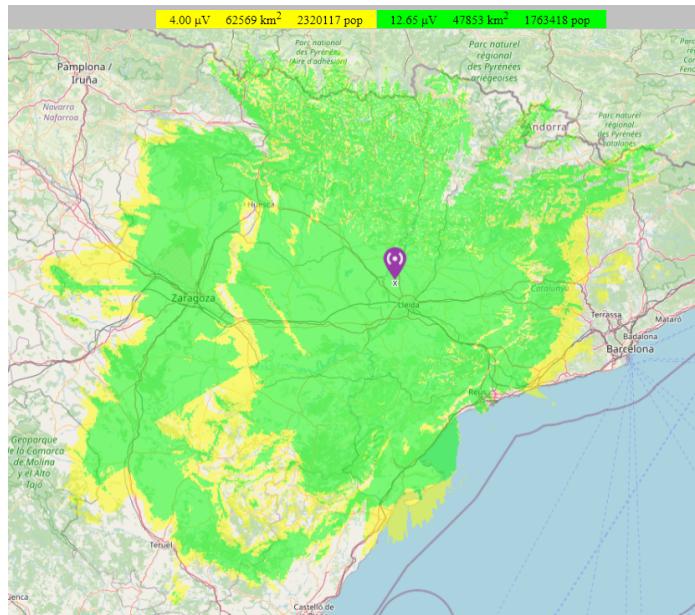


Figura 28: Cobertura obtenida con Radio Mobile de Lleida

### 3.2.3 Coberturas de parejas DME-DME

Una vez hemos obtenido la cobertura de los 12 DMEs empezamos a comprobar la cobertura de parejas de DME, empezamos por ejemplo con VLA-MLA ya que ambos hacen buena cobertura a LERS y coinciden en una franja. Para obtener una figura como la que se necesita para ver claramente en qué zonas se cumple la regla de 30°-150°, el ángulo de la nave con las antenas DME es lo bastante preciso para pensar que la posición de la nave cumple con las reglas de RNAV 1, es decir que se cumple que el error de la posición de la nave es de menos 1 NM.

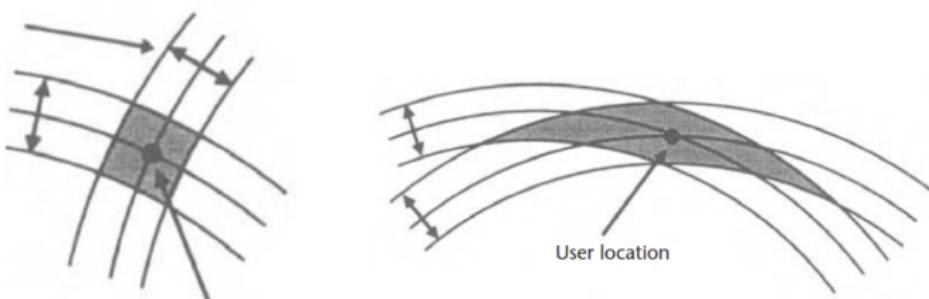


Figura 29: Zona de incertidumbre según los ángulos de la nave con los DME

En la imagen vemos el claro ejemplo de que según qué ángulos forme el avión con las estaciones DME se obtiene un error excesivo al dar la ubicación de éste.

Para ello utilizamos el siguiente dibujo donde se muestra el área dónde sí se cumple con dichas normas.

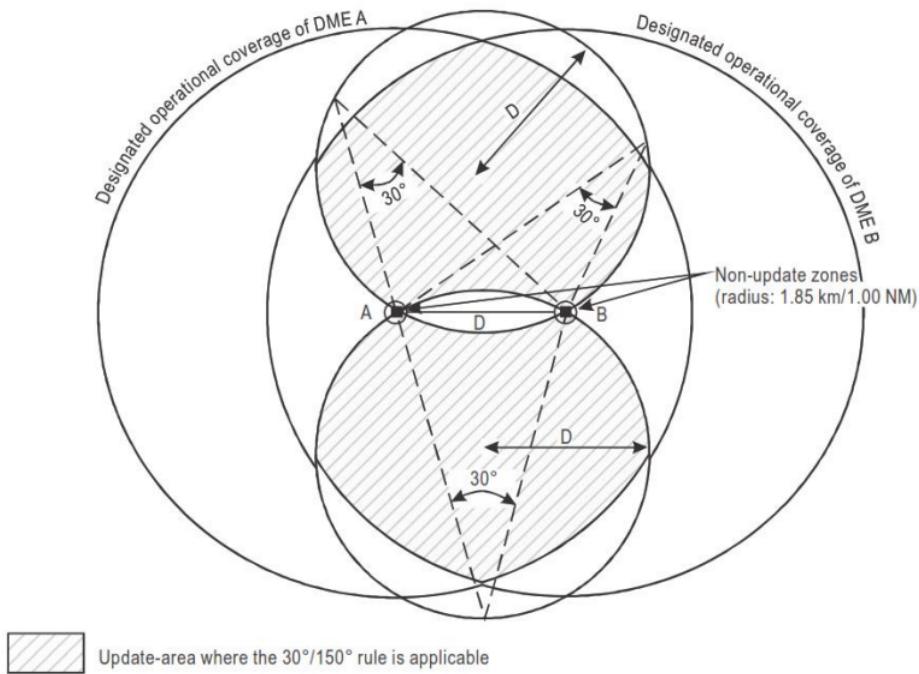


Figura 30: Proceso para encontrar los espacios factibles cumpliendo la norma de 30°-150°

Para hacer la réplica de este dibujo con nuestras coberturas, debemos hacer la exportación de las coberturas DME a fichero .kmz para poder visualizarlo en Google Earth Pro que nos servirá para hacer la réplica del dibujo sobre las coberturas como mostramos a continuación:

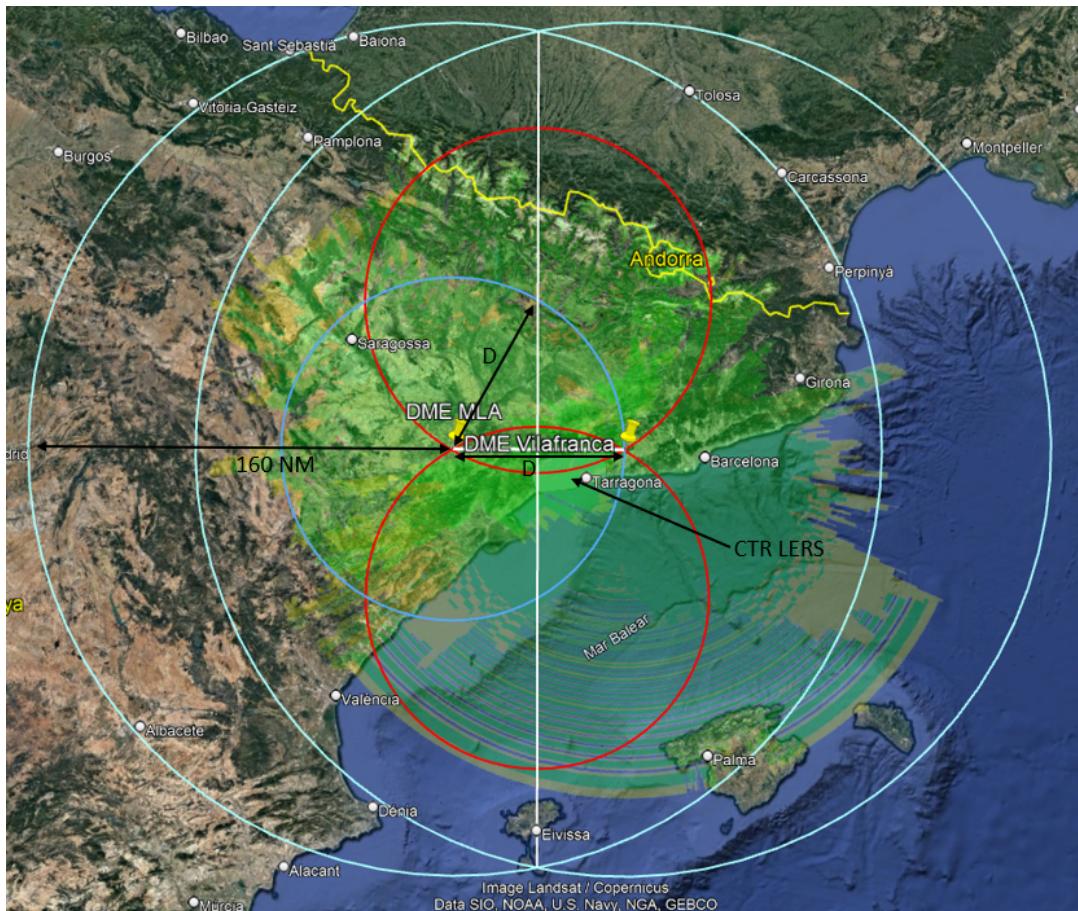


Figura 31: Réplica de la figura cumpliendo la norma 30º-150º en Google Earth

Para obtener esta figura, primero hemos dibujado las dos circunferencias de radio 160 NM que simulan el rango máximo de una antena DME, aprovechando la intersección de ambas, ponemos la mediatrix entre los dos puntos (línea vertical blanca). Luego, la zona donde se cumple la restricción de 30º-150º, es dentro de las circunferencias de radio D (distancia entre ambas estaciones) que pasan por las dos estaciones, para marcar los centros de las circunferencias, hemos trazado la circunferencia azul y sus dos puntos de intersección con la mediatrix, nos marcan los centros. En este caso no pasa como en la imagen de ejemplo que se interseccionan los rangos máximos con la regla de 30º-150º. También podemos ver marcado el CTR de LERS marcado y el punto de IAF queda al norte del CTR como se pide. Pasa que queda el IAF ubicado en la zona de intersección entre círculos rojos por tanto no nos serviría esta pareja dada la precisión que pueden dar en esta zona.

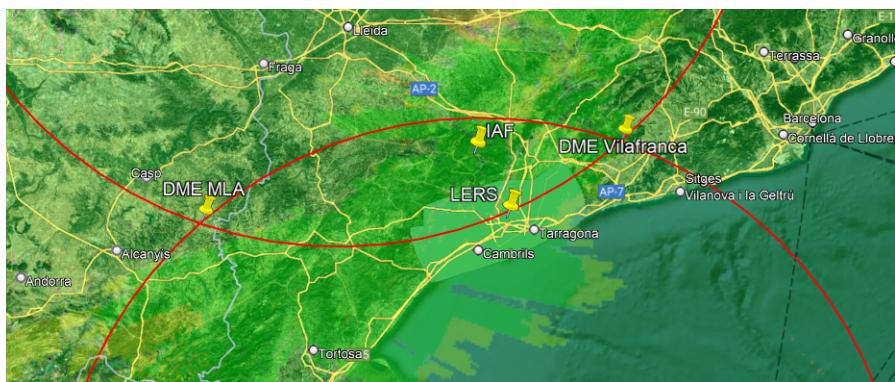


Figura 32: Ubicación del IAF (área no deseada)

Como la pareja comentada inicialmente no nos sirve para el CTR de LERS comprobamos otras parejas de DME. Hemos comprobado por ejemplo:

#### DME Reus-VLA

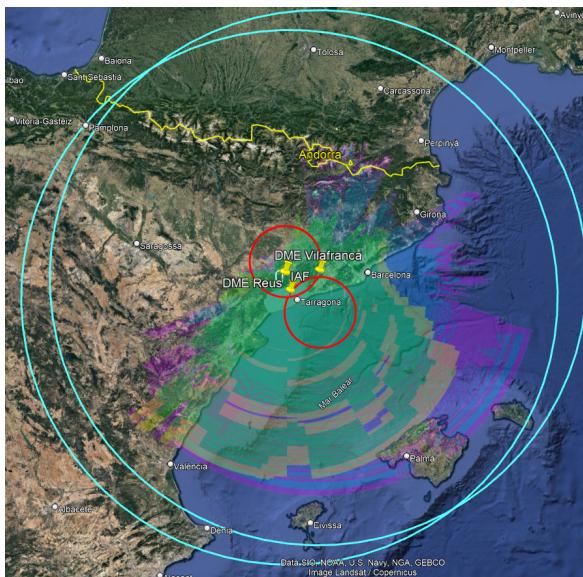


Figura 33: Circunferencias 160 NM

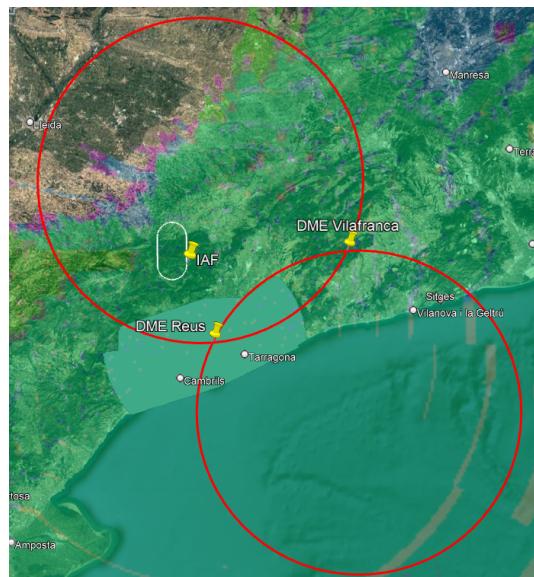


Figura 34: Región que cumple con cobertura DME

### DME MLA-Reus

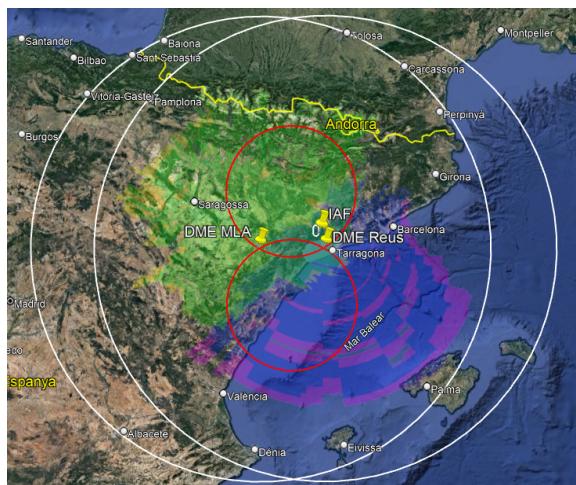


Figura 35: Circunferencia 160 NM

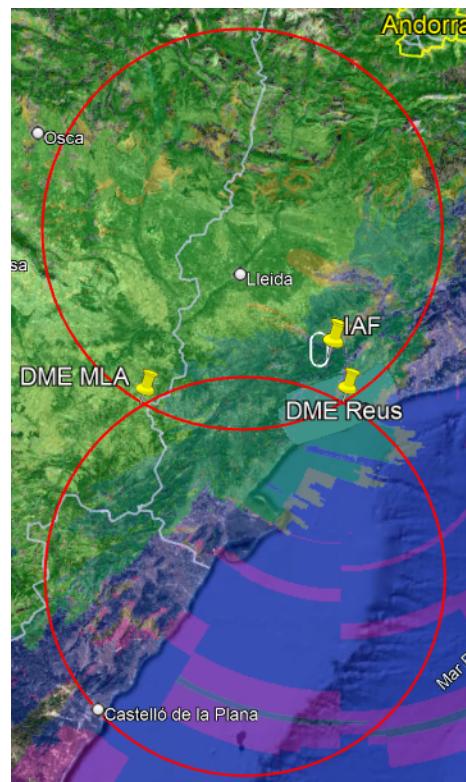


Figura 36: Región que cumple con cobertura DME

### DME Lleida-MLA:

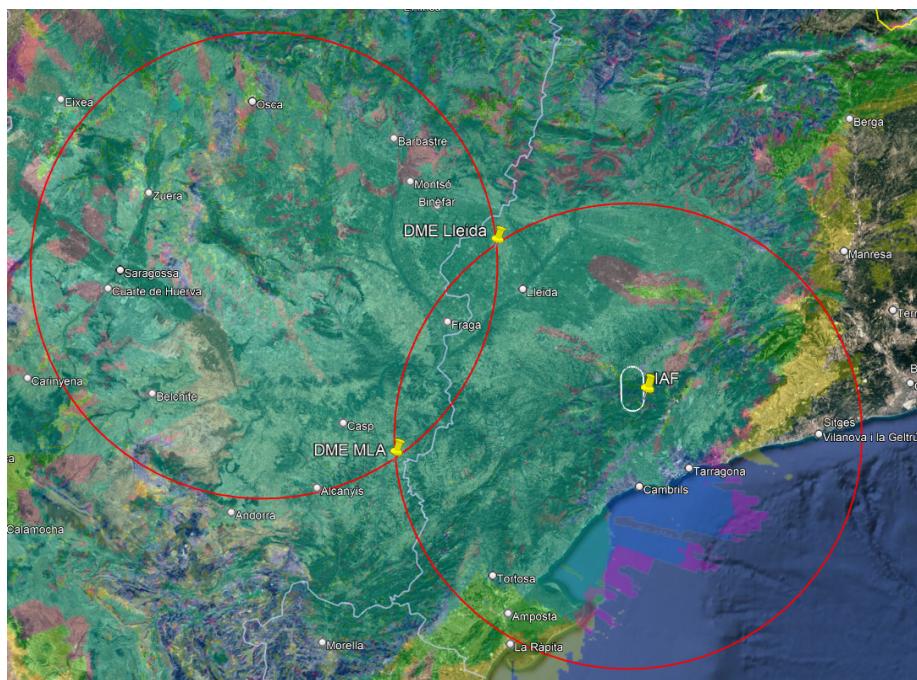


Figura 37: Región que cumple con cobertura DME

Como en los casos anteriores, en este, vemos que el IAF entra perfectamente dentro de la zona de cobertura de la pareja DME-DME. De modo que de los casos expuestos solamente la pareja MLA-VLA deja el IAF dentro de la zona donde intersección donde tendríamos menos precisión que conlleva un error inaceptable para RNAV 1, de modo que esta pareja nos podría servir perfectamente.

Vistas las coberturas podríamos usar como pareja principal de DMEs la de MLA y Reus, que proporcionan buena cobertura a la zona del IAF está bien cubierta por ambas estaciones. Pero podríamos usar cualquiera de las otras parejas ya que también dan cobertura al IAF. De esta manera no tendríamos ningún DME crítico, porque en un fallo del DME de Reus se podría sustituir con el de Lleida y un fallo del DME MLA se sustituirá con el DME de Vilafranca.

### 3.3 Estudio del nuevo holding

#### 3.3.1 Terminología asociada al holding

La terminología y forma usadas para describir el holding procedure están descritas en la siguiente figura:

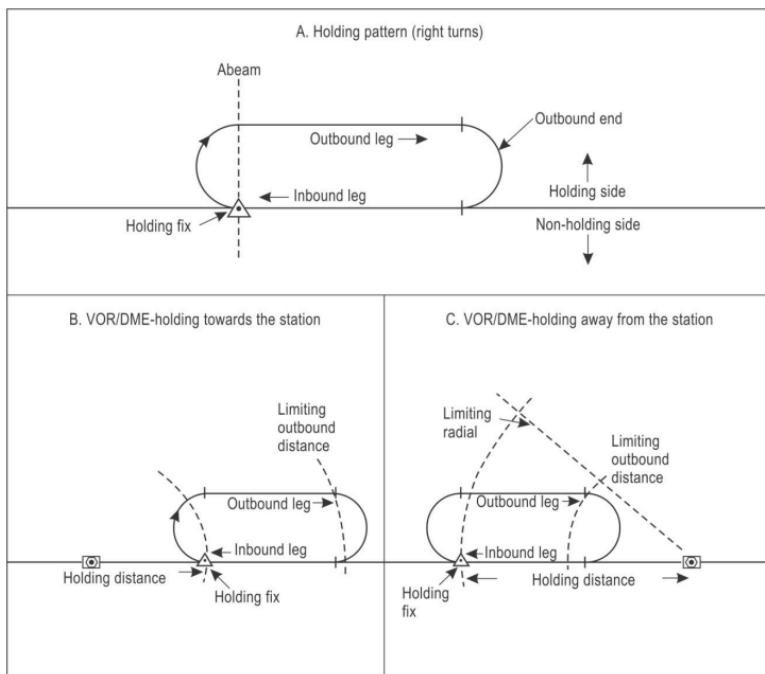


Figura 38: Terminología usada para describir el holding. Sacada del documento de la ICAO vol2.

En nuestro caso, el “holding fix” es nuestro IAF y es siempre un waypoint fly-over.

El holding PNB puede llevarse a cabo en patrones específicamente diseñados. Estos holding patterns utilizan los criterios y suposiciones de procedimientos de vuelo convencionales con orientaciones. Sin embargo, el patrón se establece en una ruta hacia el punto de espera. Estos

patrones asumen que la aeronave está aprobada para la especificación de navegación PBN asociada y se está operando de acuerdo con esa aprobación.

### 3.3.2 Velocidades, ritmo de giro.

- **Velocidades:** Los holding patterns deberán ser ingresados y volados a o por debajo de las velocidades indicadas en las tablas siguientes:

**Table II-6-2-1. Holding speeds — Categories A through E**

<i>Levels<sup>1</sup></i>	<i>Normal conditions</i>	<i>Turbulence conditions</i>
Up to 4 250 m (14 000 ft) inclusive	425 km/h (230 kt) <sup>2</sup> 315 km/h (170 kt) <sup>4</sup>	520 km/h (280 kt) <sup>3</sup> 315 km/h (170 kt) <sup>4</sup>
Above 4 250 m (14 000 ft) to 6 100 m (20 000 ft) inclusive	445 km/h (240 kt) <sup>5</sup>	520 km/h (280 kt) or 0.8 Mach, whichever is less <sup>3</sup>
Above 6 100 m (20 000 ft) to 10 350 m (34 000 ft) inclusive	490 km/h (265 kt) <sup>5</sup>	
Above 10 350 m (34 000 ft)	0.83 Mach	0.83 Mach

1. The levels shown represent altitudes or corresponding flight levels depending upon the altimeter setting in use.  
 2. When the holding procedure is followed by the initial segment of an instrument approach procedure promulgated at a speed higher than 425 km/h (230 kt), the holding should also be promulgated at this higher speed wherever possible.  
 3. The speed of 520 km/h (280 kt) (0.8 Mach) reserved for turbulence conditions shall be used for holding only after prior clearance with ATC, unless the relevant publications indicate that the holding area can accommodate aircraft flight at these high holding speeds.  
 4. For holdings limited to CAT A and B aircraft only.  
 5. Wherever possible, 520 km/h (280 kt) should be used for holding procedures associated with airway route structures.

**Table II-6-2-2. Holding speeds — Category H**

<i>Maximum speed up to 1 830 m (6 000 ft)</i>	185 km/h (100 kt)
<i>Maximum speed above 1 830 m (6 000 ft)</i>	315 km/h (170 kt)
<i>Note.— Minimum obstacle clearance (MOC) in secondary area for helicopter holding procedures is linear from zero to full MOC.</i>	

En este caso, debido a que nuestro IAF se sitúa a una altitud mínima de 6000 ft, deberíamos tomar la velocidad de 230 kt. Debido a que usar una velocidad demasiado alta implica un giro de un radio más grande, se decide limitar la velocidad a 220 kt, limitación que se usa en los holdings para RNAV 1 que hay actualmente en LERS.

- **Ángulo de inclinación/velocidad de giro:** Todos los giros deben realizarse con un ángulo de inclinación de 25° o a una tasa de 3° por segundo, utilizando el que requiera un ángulo de inclinación menor.

### 3.3.3 Entrada en el Holding

La entrada al Holding debe seguir la orientación del encabezado con respecto a los tres sectores de entrada mostrados en la figura siguiente, reconociendo una zona de flexibilidad de  $5^\circ$  a cada lado de los límites del sector.

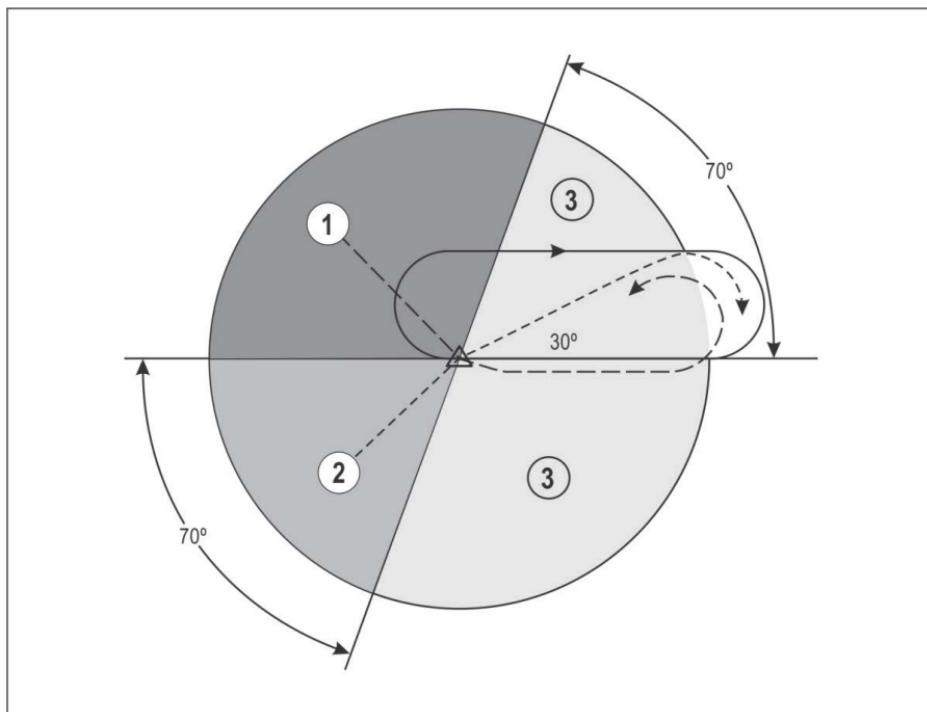


Figura 39: Sectores de entrada al holding.

#### 3.3.3.1 Sector 1: parallel entry

- En el fix (el IAF), la aeronave gira a la izquierda hacia una orientación de salida durante el periodo de tiempo adecuado especificado en el apartado 3.3.3.4.
- La aeronave gira hacia el lado de espera para interceptar la trayectoria de entrada o regresar directamente al punto fijo
- En la segunda llegada sobre el holding fix (IAF), la aeronave gira a la derecha para seguir el patrón de espera.

#### 3.3.3.2 Sector 2: offset entry

- En el holding fix, la aeronave gira hacia una orientación para mantener una trayectoria haciendo un ángulo de  $30^\circ$  respecto al recíproco del inbound track, en el lado del holding;
- la aeronave volará en sentido opuesto: durante el período de tiempo adecuado especificado en el apartado 3.3.3.4; o hasta alcanzar la distancia DME límite adecuada, cuando se especifique la distancia. Si también se especifica un radio límite, entonces la distancia de salida se determina ya sea por la distancia DME límite o el

radio límite, lo que ocurra primero; En nuestro caso se determinará usando el periodo de tiempo especificado.

- c) La aeronave gira a la derecha para interceptar el inbound holding track
- d) En la segunda llegada sobre el holding fix, la aeronave gira a la derecha para seguir el holding pattern.

### 3.3.3.3 Sector 3: direct entry

Una vez alcanzado el fix, la aeronave gira a la derecha para seguir el holding pattern.

### 3.3.3.4 Periodo de tiempo outbound

El tiempo estimado para volar en dirección de entrada en condiciones de calma no debe exceder:

- a) Un minuto si está a nivel o por debajo de 4,250 metros (14,000 pies); o
- b) Un minuto y medio si está por encima de 4,250 metros (14,000 pies).

En este caso, como se vuela a una altitud de 6000ft, tomaremos un minuto de inbound y un minuto de outbound.

## 3.3.4 Obstacle clearance

### 3.3.4.1 Área del holding

El área del holding incluye el área de holding básica y el área de entrada. El área del holding básica es el espacio aéreo necesario para un holding pattern a un nivel específico, considerando las tolerancias para: la velocidad de la aeronave, el efecto del viento, errores de tiempo, características del punto de espera, entre otros. El área de entrada es el espacio aéreo requerido para el procedimiento de entrada.

### 3.3.4.2 Área del buffer

Se extiende un área adicional a 9.3 km (5.0 NM) más allá del límite del área del holding. Se consideran los obstáculos significativos dentro de esta área al determinar el nivel mínimo de holding.

### 3.3.4.3 Nivel mínimo de holding

El nivel mínimo permisible de holding ofrece un margen de al menos 300 metros (984 ft) sobre los obstáculos en el área del holding, con una distancia que varía desde 300 metros (984 ft) en el borde del área del holding hasta un mínimo de 60 metros (197 ft) en el límite de 5.0 millas náuticas del área del buffer.

De modo que el MOC (minimum obstacle clearance) es de 984 ft en el área del holding y a lo largo del buffer área va de 984 ft decreciendo hasta los 197 ft.

Se puede ver ilustradas las área del holding y del buffer en la imagen siguiente:

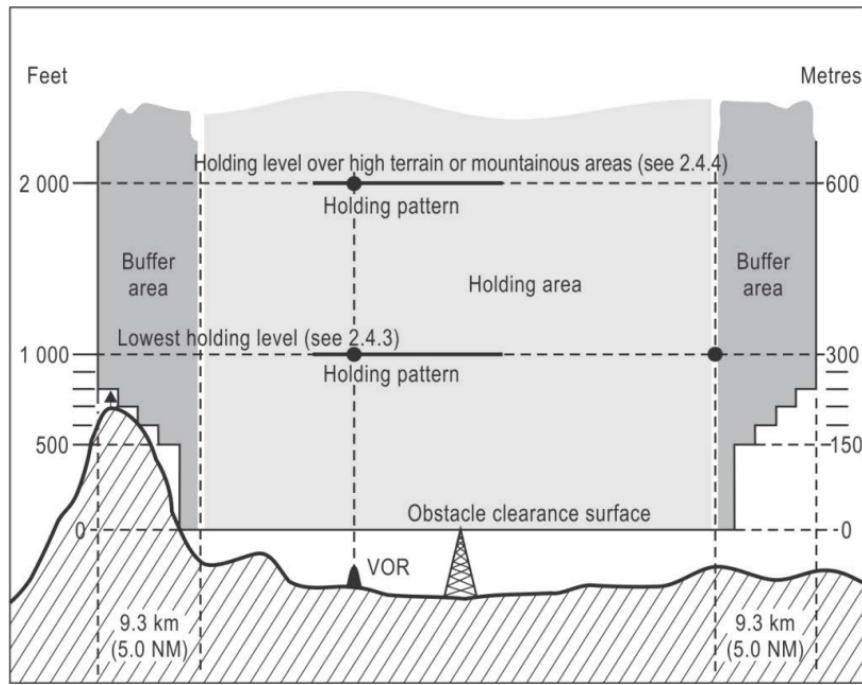


Figura 40: Área primaria y buffer área en el holding.

### 3.3.4.4 Obstacle clearance en terreno montañoso

Sobre terrenos elevados o en zonas montañosas, se proporciona un despeje adicional de obstáculos de hasta un total de 600 metros (1,969 ft) para dar cabida a los posibles efectos de turbulencia, corrientes descendentes y otros fenómenos meteorológicos en el rendimiento de los altímetros.

### 3.3.5 Holding

Como hemos indicado en los apartados anteriores, la velocidad a la que hay que circular por el holding debe ser de 220 kt. Cómo debemos permanecer 1 minuto en el inbound track y uno en el outbound track, la longitud de estos es de 6.79 km (3.66 NM).

Tomando una velocidad de giro de 3° por segundo, el radio de giro del holding debe ser de 2.16 km (1.16 NM).

Por otro lado, tomando un ángulo de alabeo de 25°, podemos sacar el radio de giro a partir de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{TAS^2}{g \cdot \tan(\alpha)}$$

Donde  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ;  $\alpha=\text{ángulo de alabeo } (25^\circ)$  y la TAS (true airspeed) se calcula como  $\text{TAS} = K \cdot \text{IAS}$ , donde IAS son 220 kt y la K es un factor de conversión obtenido de la tabla de conversión del apartado 3.4.1. La TAS nos da 454.86 km/h (126.35 m/s).

$r = \frac{126.35^2}{9.81 \cdot \tan(25)} = 3489.86 \text{ m}$  (3.5 km o 1.88 NM). Tomaremos este resultado como radio ya que nos da un radio de giro más grande y, por tanto, una tasa de giro (en °/seg) menor.

En la figura siguiente queda representado el holding:

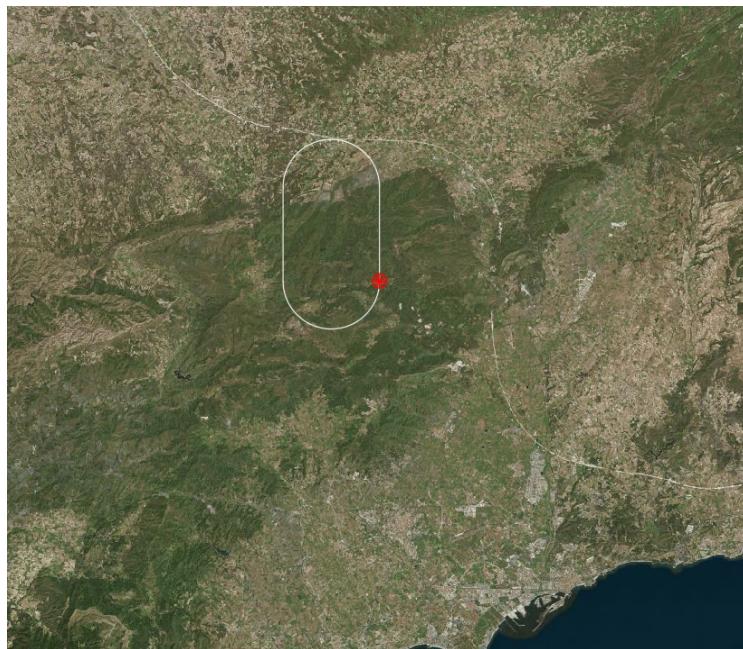


Figura 41: Holding diseñado en el Autocad

Donde el punto rojo es el holding fix (IAF). Se ha tomado esta orientación para facilitar el aterrizaje por las dos runways del aeropuerto de LERS al salir del holding y evitar maniobras de giro bruscas.

### 3.4 Área de protección del holding

El área de protección de un holding consiste en el área del holding y un área de buffer.

La construcción del área del holding (basic área) se hace en dos pasos:

1. El primer paso es construir una plantilla para el tiempo, la velocidad y la altitud adecuados. Esta plantilla abarca todos los factores que pueden hacer que una aeronave se desvíe del patrón nominal, excepto aquellos relacionados con el área de tolerancia del fix.
2. El segundo paso es dibujar el área básica del procedimiento moviendo el origen de la plantilla alrededor del área de tolerancia del fix para procedimientos sobre una

instalación o en la intersección de radiales VOR, o utilizando dicho origen para procedimientos VOR/DME, y añadiendo áreas para proteger las entradas según sea necesario.

Finalmente se añade un área secundaria de 4,6 km (2.5 NM) alrededor del área del holding y el área de buffer de 9.3 km (5 NM).

En resumen, la zona final de protección del holding es la suma de la basic area + buffer area.

### 3.4.1 Construcción de la plantilla

Para realizar todos los cálculos contenidos en la plantilla vamos a usar los siguientes datos (ya especificados anteriormente):

DATA		
	SI units	NON-SI units
IAS	405 km/h	220 kt
Altitud	1829 m	6000 ft
Tiempo (T)	1 min	1 min
Temperatura	ISA + 15°C	ISA + 15°C

		CÁLCULOS USANDO UNIDADES EN S.I.	CÁLCULOS SIN USAR UNIDADES EN S.I.		
Línea	Parámetro	Fórmula	Valor	Fórmula	Valor
1	K	Tabla de conversión	1.1231		
2	V	$V=K \cdot IAS$	454.86 km/h		
3	v	$v=V/3600$	0.1263 km/s		
4	R	$R=943.27/V$ , o $3^{\circ}/s$ , el que sea menor	2.07 °/s		
5	r	$V/62.83R$	3.50 km		
6	h	en miles de	1.829		

		metros		
7	w	w=12h+87	108.95 km/h	
8	w'	w'=w/3600	0.03026 km/s	
9	$E_{45}$	$E_{45}=45w'/R$	0.658 km	
10	t	t=60T	60 s	
11	L	L=v·t	7.578 km	
12	ab	ab=5v	0.63 km	
13	ac	ac=11v	1.39 km	
14	$g_{i1} = g_{i3}$	$g_{i1}=(t-5)v$	6.95 km	
15	$g_{i2} = g_{i4}$	$g_{i1}=(t+21)v$	10.23 km	
16	$W_b$	$W_b=5w'$	0.15 km	
17	$W_c$	$W_c=11w'$	0.33 km	
18	$W_d$	$W_d=W_c+E_{45}$	0.99 km	
19	$W_e$	$W_e=W_c+2\cdot E_{45}$	1.65 km	
20	$W_f$	$W_f=W_c+3\cdot E_{45}$	2.30 km	
21	$W_g$	$W_g=W_c+4\cdot E_{45}$	2.96 km	
22	$W_h$	$W_h=W_b+4\cdot E_{45}$	2.78 km	
23	$W_o$	$W_o=W_b+5\cdot E_{45}$	3.44 km	
24	$W_p$	$W_p=W_b+6\cdot E_{45}$	4.10 km	
25	$W_{i1} = W_{i3}$	$W_{i1}=(t+6)w'+4\cdot E_{45}$	4.63 km	
26	$W_{i2} = W_{i4}$	$W_{i2}=W_{i1}+14w'$	5.05 km	
27	$W_j$	$W_j=W_{i2}+E_{45}$	5.71 km	

28	$W_k = W_l$	$W_k = W_{i2} + 2 \cdot E_{45}$	6.37 km		
29	$W_m$	$W_m = W_{i2} + 3 \cdot E_{45}$	7.03 km		
30	$W_{n3}$	$W_{n3} = W_{i1} + 4 \cdot E_{45}$	7.26 km		
31	$W_{n4}$	$W_{n3} = W_{i2} + 4 \cdot E_{45}$	7.69 km		
32	XE	$XE = 2r + (t+15)v + (t+26+195/R)w'$	21.93 km		
33	YE	$YE = 11v \cdot \cos 20^\circ + r(1+\sin 20^\circ) + (t+15)v \tan 5^\circ + (t+26+125/R)w'$	11.26 km		

Altitude (feet)	Conversion factor							
	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
1 000.0	0.9601	0.9787	0.9969	1.0148	1.0324	1.0411	1.0497	1.0667
2 000.0	0.9740	0.9930	1.0116	1.0299	1.0479	1.0567	1.0655	1.0829
3 000.0	0.9882	1.0076	1.0266	1.0453	1.0637	1.0728	1.0818	1.0995
4 000.0	1.0027	1.0225	1.0420	1.0611	1.0799	1.0892	1.0984	1.1165
5 000.0	1.0175	1.0378	1.0577	1.0773	1.0965	1.1059	1.1153	1.1339
6 000.0	1.0327	1.0534	1.0738	1.0938	1.1134	1.1231	1.1327	1.1517
7 000.0	1.0481	1.0694	1.0902	1.1107	1.1307	1.1406	1.1505	1.1699
8 000.0	1.0639	1.0857	1.1070	1.1279	1.1485	1.1586	1.1686	1.1885
9 000.0	1.0801	1.1024	1.1242	1.1456	1.1666	1.1770	1.1872	1.2075

Tabla 1: Factor de conversión para convertir IAS en TAS.

### 3.4.2 Construcción del área básica

Para la construcción del área debemos localizar los puntos de construcción asociados a la plantilla anterior. Para ello debemos fijarnos en la figura siguiente:

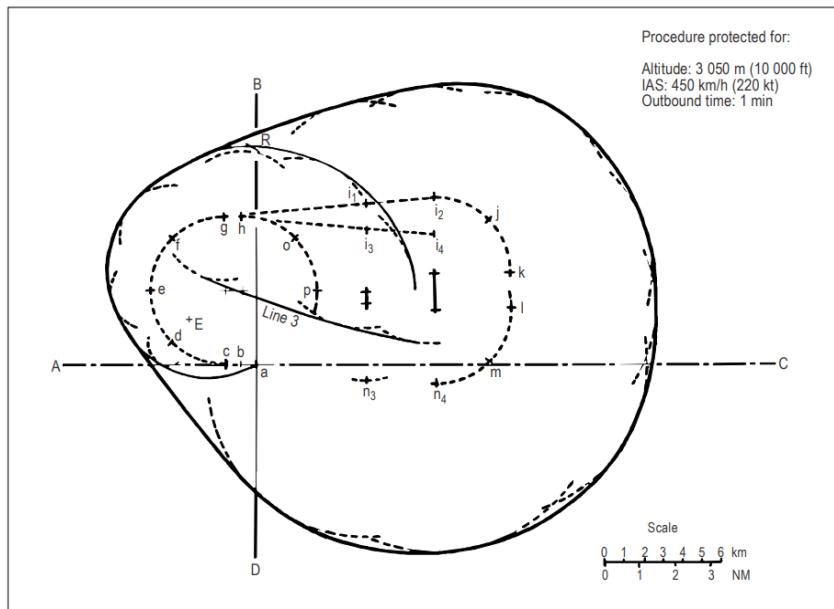


Figura 42: Ejemplo de diseño del área de protección del holding extraída del documento de la ICAO vol2.

Y ubicamos el punto 'a' en el holding fix. Después ubicamos los puntos b y c añadiendo las distancias calculadas en las líneas 12 y 13 de la tabla. A continuación dibujamos un arco de 180° de radio 'r' y localizamos los puntos d, e, f y g que están a 45, 90, 135 y 180 grados respectivamente.

Realizamos un procedimiento similar pero ahora centrado en el punto b. Dibujamos un arco de 270° y localizamos los puntos h, o, y p que están a 180, 225 y 270 grados respectivamente.

Desde el punto g dibujamos dos líneas, una a 5° y otra a -5° del outbound leg. En ellas localizamos los puntos i1, i2, i3 e i4.

Con un centro a una distancia r debajo de i2 en la línea perpendicular a la "outbound leg" nominal, y un radio r traza un arco de 180° comenzando en i2 y terminando en n2. Ubicamos los puntos j y k después de 45 y 90° de giro desde i2. Dibujamos el arco correspondiente comenzando en i4 y terminando en n4. Ubicamos los puntos l y m después de 90 y 135° de giro desde i4.

Seguidamente dibujamos arcos centrados en los puntos b, c, d, e, f, g, h, i1, i2, i3, i4, j, k, l, m, n4, n3, i y p con sus respectivos radios calculados en la tabla de la línea 16 a la 31.

Finalmente, unimos con líneas tangentes los arcos centrados en c, d, e, f, g, i1, i2, j, k, l, m, n4 y n3. Nos da como resultado la figura siguiente:

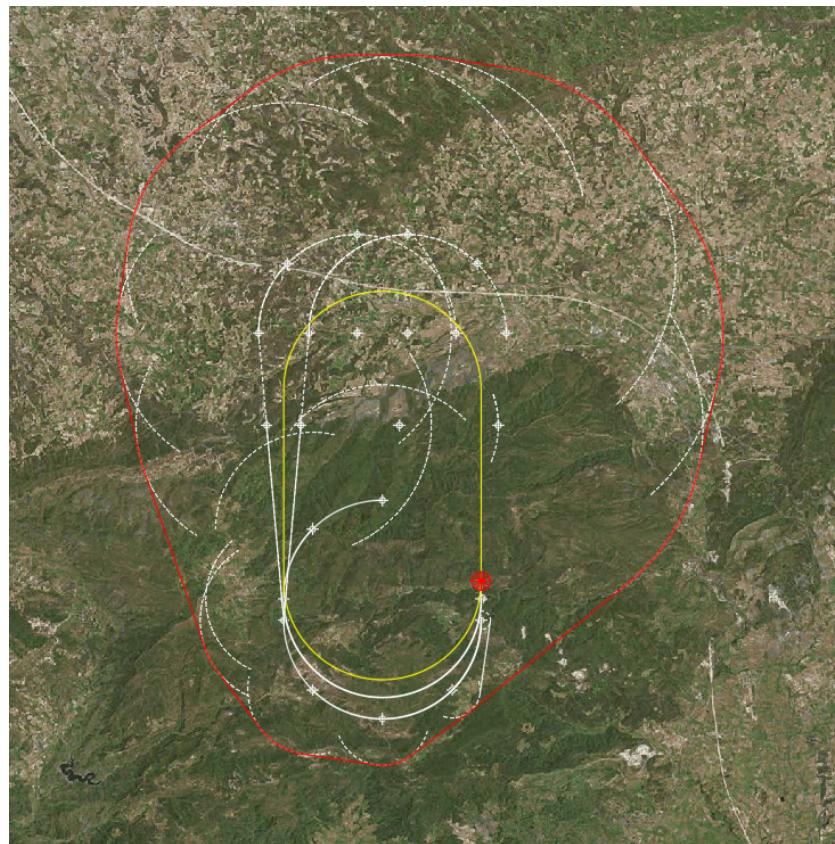


Figura 43: Diseño del área de protección del holding con Autocad.

### 3.4.2 Aplicación del buffer

Finalmente solo faltaría por añadir el área de buffer, que son un área adicional de 5 NM (9,3 km). Quedaría un área de protección del holding tal y como se ve en la siguiente figura:

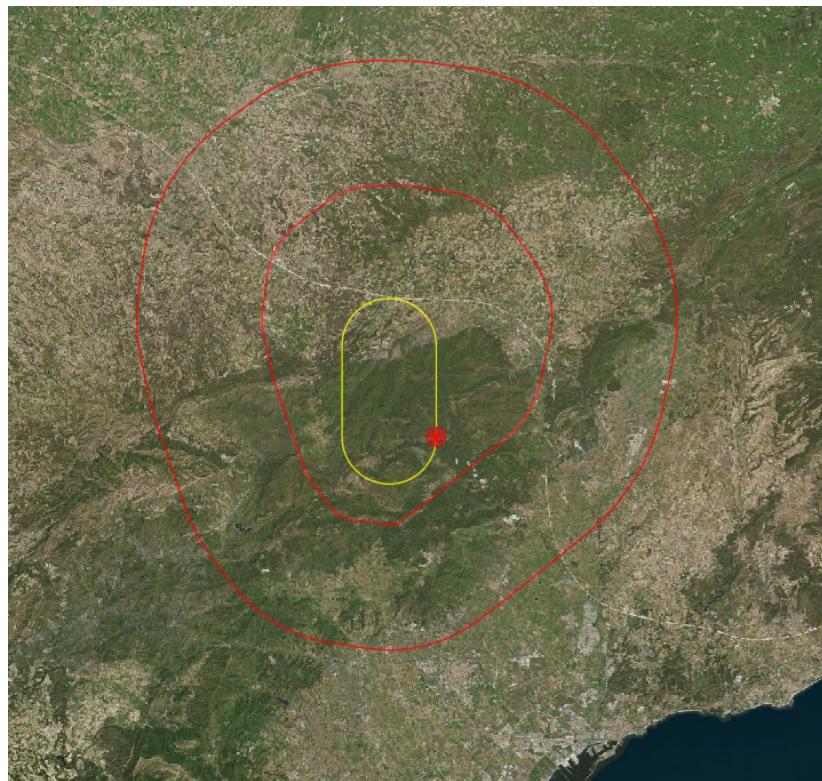


Figura 44: Diseño del área de protección del holding con el buffer área en Autocad.

Visto desde la aplicación google Earth sería:

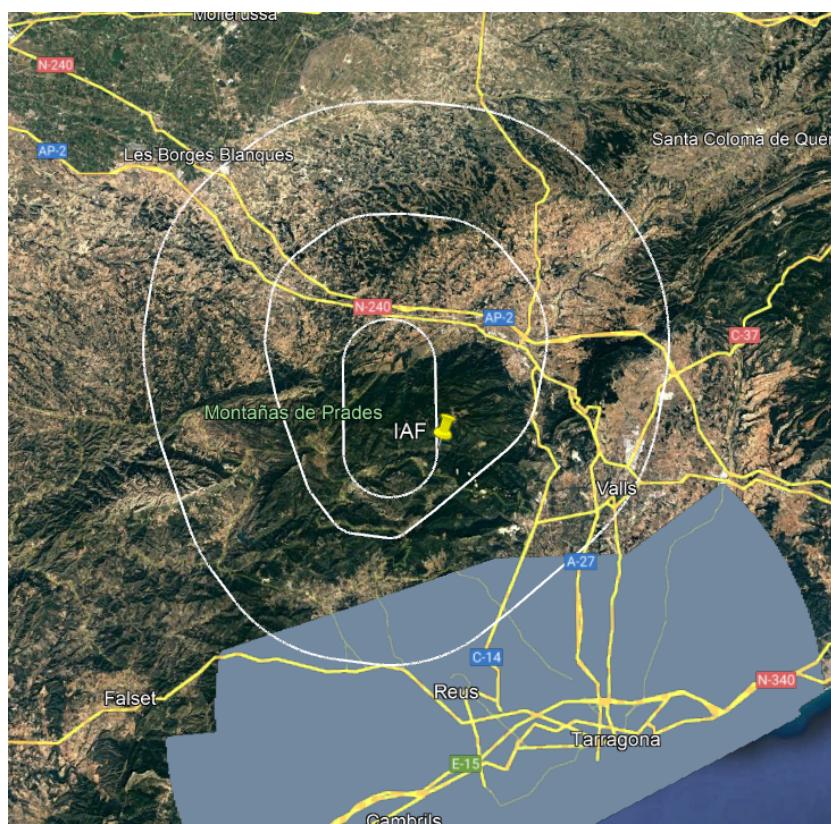


Figura 45: Área de protección del holding exportada a google Earth.

### 3.5 Análisis de la cobertura DME en el holding.

Debemos garantizar que los DME proporcionan una buena cobertura a lo largo del holding. Primeramente analizaremos el caso principal, que son los DMEs de MLA y Reus.

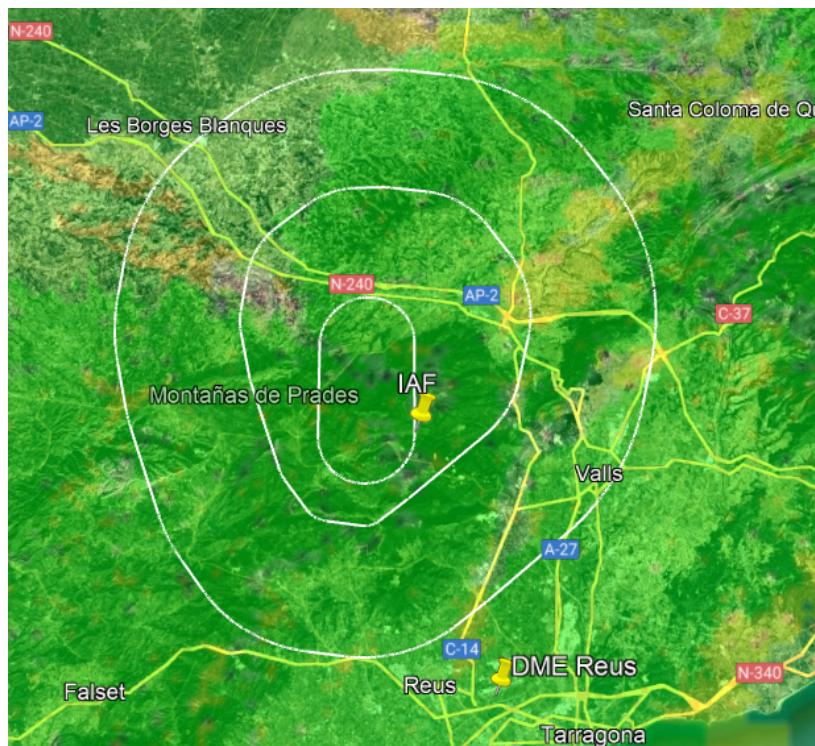


Figura 46: Medición de cobertura en el holding con Google Earth.

Como podemos observar, hay una zona de la protección del holding que queda descubierta de cobertura, pero el holding queda totalmente cubierto por esta pareja de DMEs, por tanto podemos garantizar que esta configuración va a funcionar.

Comprobamos ahora para el caso de Lleida-MLA(sustituimos el DME de Reus por el de Lleida).

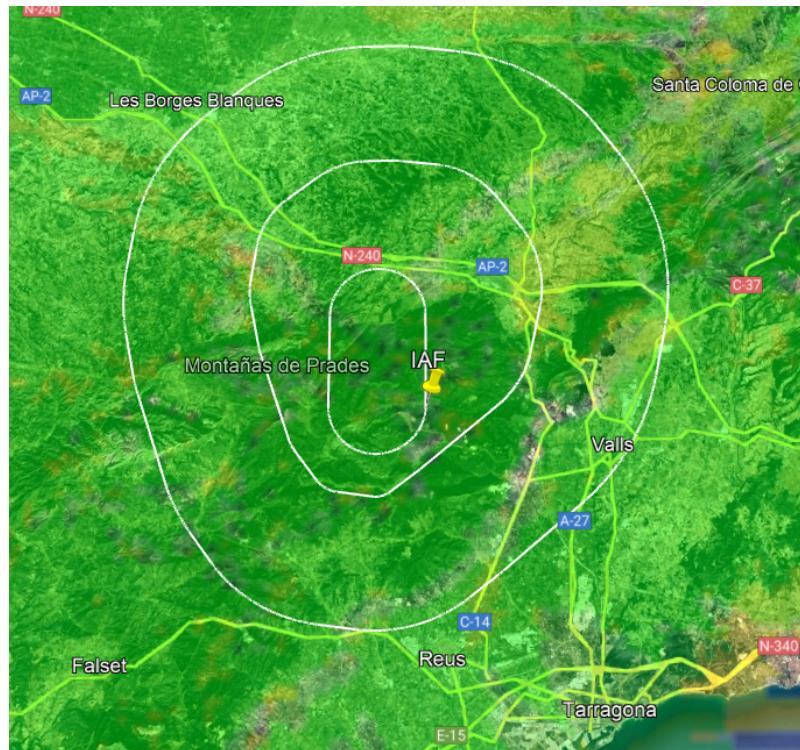


Figura 47: Medición de cobertura en el holding con Google Earth.

En este caso, podemos ver que tenemos cobertura completa en el holding y además, la zona de protección queda mejor cubierta con esta configuración.

Finalmente comprobaremos también para los DMEs de Reus y VLA (sustituimos el DME de MLA por el de VLA).

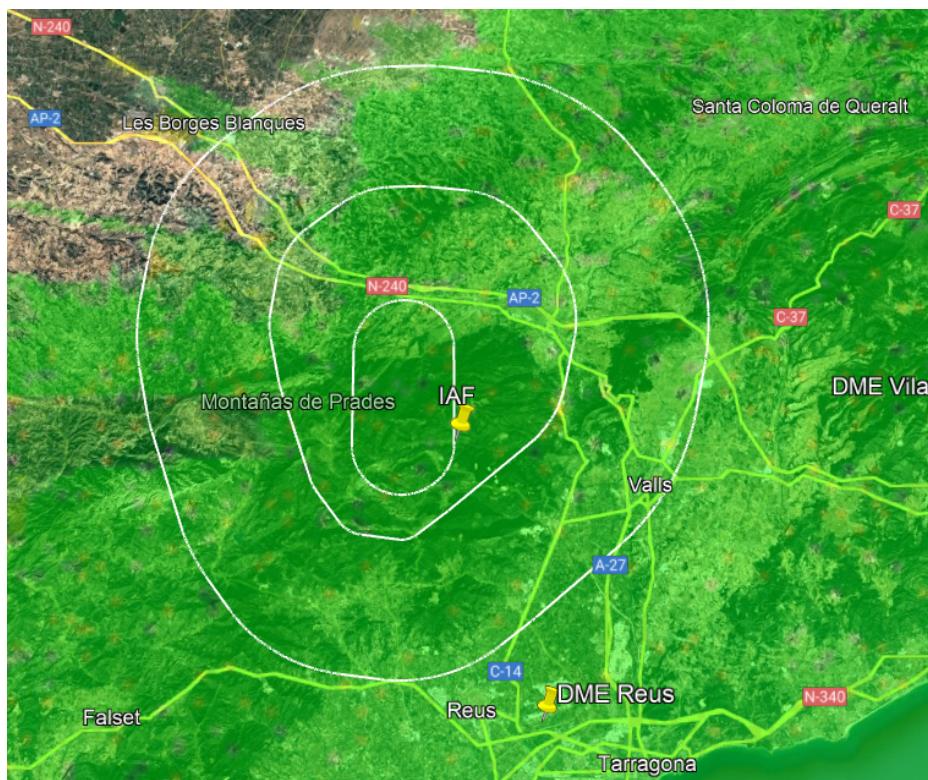


Figura 48: Medición de cobertura en el holding con Google Earth.

Seguramente esta sea la configuración que nos proporciona una mejor cobertura ya que, aunque hay un trozo de la zona de protección que no queda cubierto por los dos DMEs, la zona del holding queda perfectamente cubierta por los dos DMEs sin ninguna zona de sombra.

Por tanto, como podemos ver y del mismo modo que justificamos en el IAF, no hay ningun DME crítico para el holding ya que en caso de un fallo en el DME de Reus, se podría usar tambien el DME de Lleida y en caso de fallo en el DME de MLA, se podría usar perfectamente el DME de VLA.

### 3.6 Análisis de obstáculos en el holding

A continuación vamos a hacer el estudio de obstáculos del holding. Como vimos en el apartado 3.3.4 (obstacle clearance), el MOC (minimum obstacle clearance) en el área del holding es de 300 metros (984 ft), y a lo largo del buffer área va de 984 ft decreciendo hasta los 197 ft. En la imagen siguiente podemos ver un estudio de los obstáculos que están a más de 100 metros:



Figura 49: Holding procedure con los obstáculos significativos de la zona en Google Earth.

Dentro del área primaria del holding, el obstáculo a mayor altura es de 2621 ft. Como el avión vuela por el holding a unos 6000 ft de altura, no hay ningún obstáculo que se acerque a más de 984 ft del avión. Por otro lado, en la zona del buffer el obstáculo a mayor altitud es de 3222 ft, pero tampoco cruza el límite de los 984 ft, de modo que este holding cumple con el MOC establecido y no hay problema de obstáculos.

### 3.7 Tolerancia del holding fix

Para analizar la desviación de posición en relación con la cobertura DME/DME RNAV 1, se debe considerar la tolerancia en el plano horizontal, la cual varía según la fase del vuelo del procedimiento, la altitud y la distancia desde el punto al aeropuerto (ARP o punto de referencia del aeródromo).

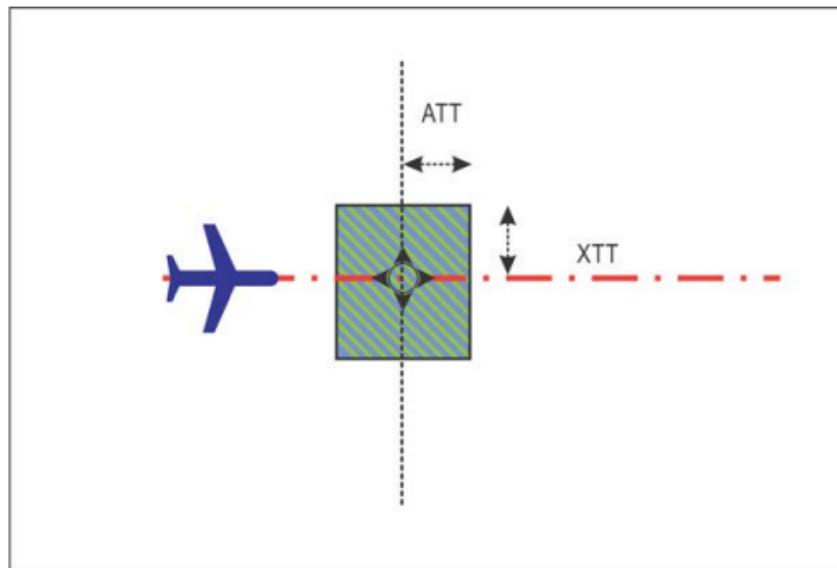


Figura 50: Descripción de la XTT y la ATT en el IAF.

La "Cross-track tolerance (XTT)" es una tolerancia de desviación lateral medida perpendicularmente a la trayectoria nominal, que resulta de las tolerancias del equipo aéreo y terrestre, así como del error técnico de vuelo (FTE, flight technical error).

La "Along-track tolerance (ATT)" es una tolerancia de desviación a lo largo de la trayectoria nominal, medida a partir de las tolerancias del equipo aéreo y terrestre.

Esta desviación puede ser evaluada utilizando la tabla proporcionada:

**Table III-1-3-2. XTT, ATT and area semi-width for DME RNAV (RNAV 1) in en-route, arrival, initial/intermediate approach and departure phases of flight (NM)**  
**Table based on availability of two DME update stations**

Altitude (ft)	En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)			STAR/IF/LAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM DER)			FAF		
	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W
15 000	For all altitudes			1.24	1.13	2.85	1.24	1.13	2.35			
14 000	1.24	1.13	3.85	1.20	1.10	2.81	1.20	1.10	2.31			
13 000				1.17	1.06	2.76	1.17	1.06	2.26			
12 000				1.14	1.02	2.71	1.14	1.02	2.21			
11 000				1.11	0.99	2.66	1.11	0.99	2.16			
10 000				1.07	0.95	2.61	1.07	0.95	2.11	0.98	0.95	1.97
9 000				1.04	0.91	2.55	1.04	0.91	2.05	0.94	0.91	1.91
8 000				1.00	0.86	2.50	1.00	0.86	2.00	0.90	0.86	1.85
7 000				0.96	0.82	2.44	0.96	0.82	1.94	0.86	0.82	1.79
6 000				0.92	0.77	2.38	0.92	0.77	1.88	0.81	0.77	1.72
5 000				0.88	0.72	2.32	0.88	0.72	1.82	0.76	0.72	1.65
4 000				0.83	0.67	2.25	0.83	0.67	1.75	0.71	0.67	1.57
1 000–3 000				0.79	0.61	2.18	0.79	0.61	1.68	0.66	0.61	1.49

Con los valores marcados, representamos ese área de tolerancia en nuestra plantilla del holding, ubicando el centro justamente en nuestro holding fix. El dibujo que nos queda es el siguiente:

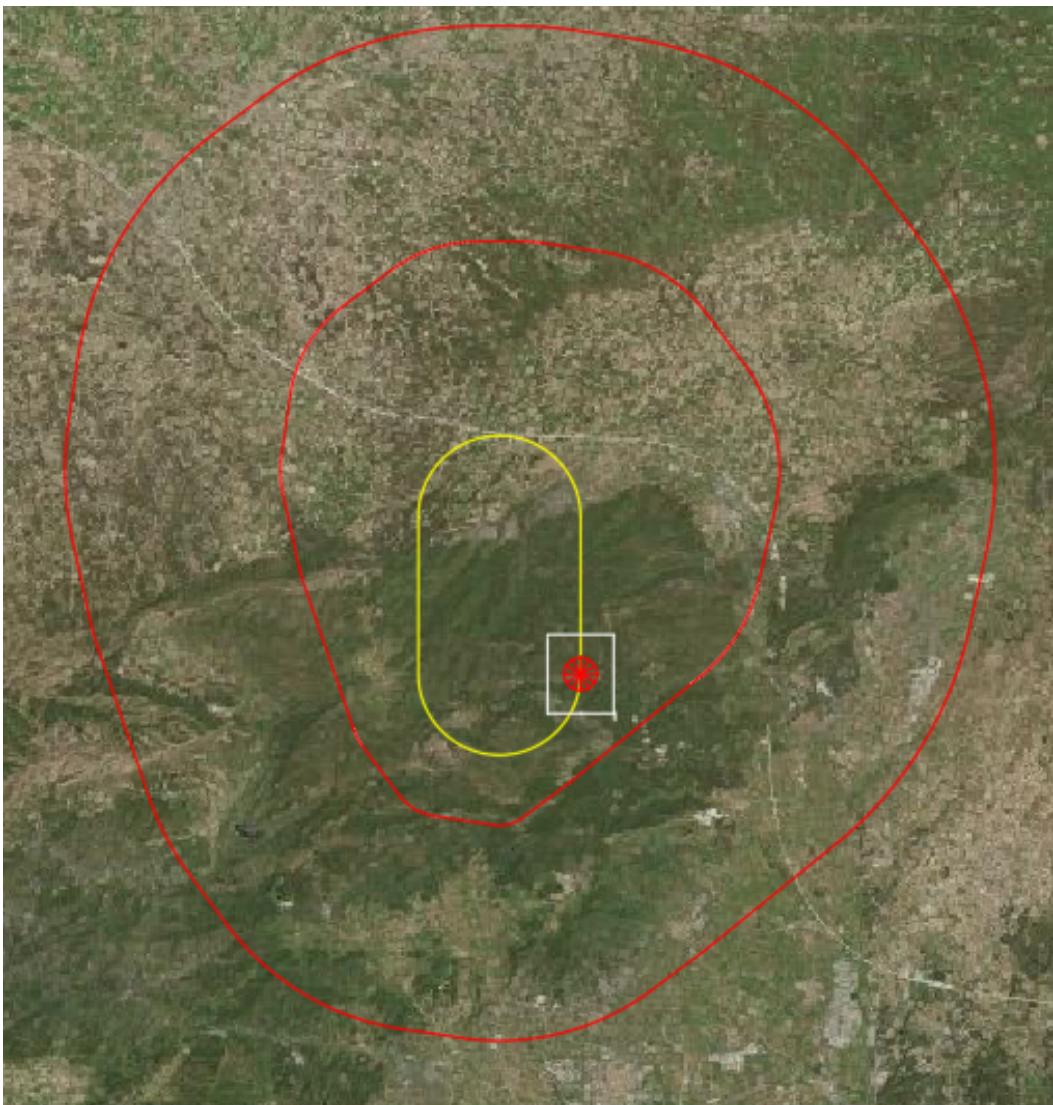


Figura 51: Holding procedure con área de protección y zona de tolerancia.

### 3.8 Diseño de las nuevas STAR

Antes de diseñar la nueva STAR debemos ver los puntos por los que pasan las aeronaves, de STAR actual y a partir de ahí veremos qué puntos no podemos eliminar, cuáles podemos cambiar o combinar, algunos los eliminaremos debido a la modificación del IAF.

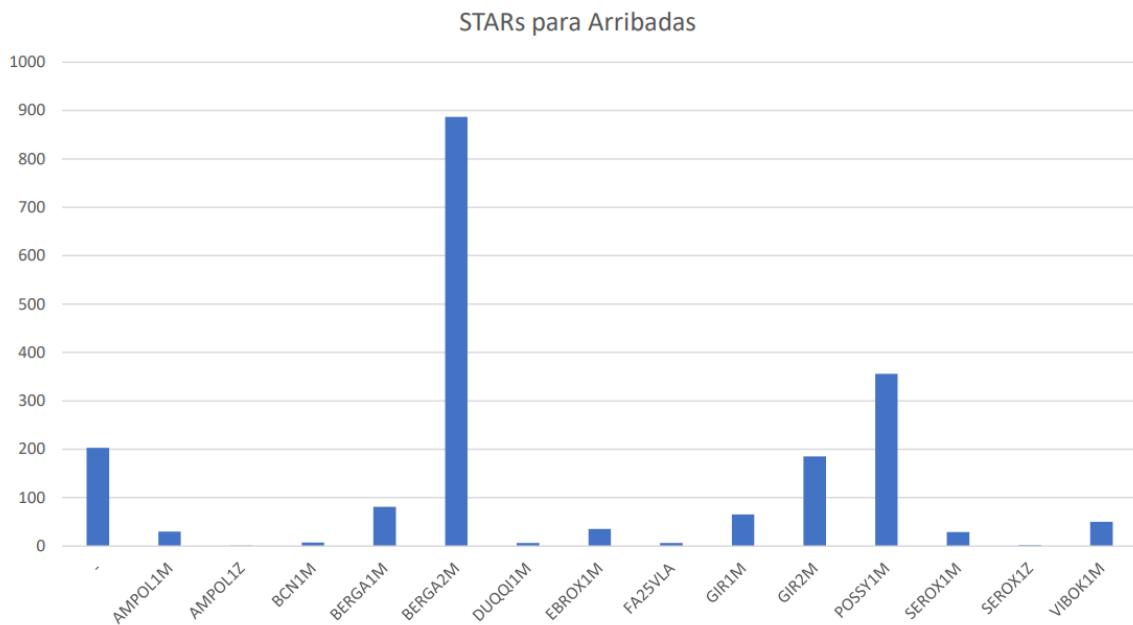


Figura 52: Utilización de los puntos en las STARs

En esta gráfica se muestra la utilización de los puntos en las STAR de LERS, vemos que el punto *BERGA* es el más utilizado con diferencia y por tanto no lo podremos eliminar, no es preocupante ya que es un punto que queda lejos del IAF y hay otros puntos entre medio. Hay puntos de muy poca utilización como *AMPOLIZ*, *BCN1M*, *DUQO1M*, *FA25VLA* y *SEROX1Z*, alguno de ellos lo podremos eliminar sin problema. Vamos a ver ahora las STARs actuales con nuestro IAF también en el mapa para luego decidir cómo modificar los procedimientos.

#### 3.8.1 STAR 1

Empezaremos por las STARs con RNAV1, es decir de las cartas proporcionadas, son la STAR 2 RNAV1 RWY07 y la STAR 4 RNAV1 RWY25.



Figura 53: STARs 2 y 4 vistas en Google Earth

En esta imagen están juntados pero ambos procedimientos tienen inicio en *GIR* y *BERGA*, en el caso de la STAR 2, acaba en el *IAF VLA* y la STAR 4 acaba en el *IAF DISET*. Por tanto de cara a las STARs con RNAV1 solo tendremos que eliminar los IAFs y el punto RS700, si utilizamos el IAF que hemos puesto nosotros, podemos hacer que desde VIBOK se vaya directamente al IAF y no hace falta crear un punto adicional.



Figura 54: STAR resultante (nuestra STAR 1)

### 3.8.2 STAR 2

El diseño de nuestra segunda STAR también puede ser el resultado de compactar las STARS 1 y 3 de los procedimientos de LERS. Su similitud es muy notable, la STAR 1 tiene en cuenta los IAFs *KERIP* y *DISET* en cambio en la STAR 3 van directamente al IAF de Reus pero pueden dirigirse al IAF *VLA*. También cabe destacar que en la STAR 1 los procedimientos que llegan de *BCN* y *DUQQI* terminan en Reus.



Figura 55: STARS 1 y 3 vistas desde Google Earth

En la captura vemos la similitud que se comentaba. En naranja vemos que la STAR 1 y en rojo la STAR 3 que se sobreponen la mayoría de caminos. Por la utilización de puntos eliminaremos el camino que pasa por *SLP* y *VIBOK* que ya lo contemplamos en nuestra primera STAR. Además el punto *VLA* no lo usaremos como *IAF* sino para ir directamente al punto de *Reus*.

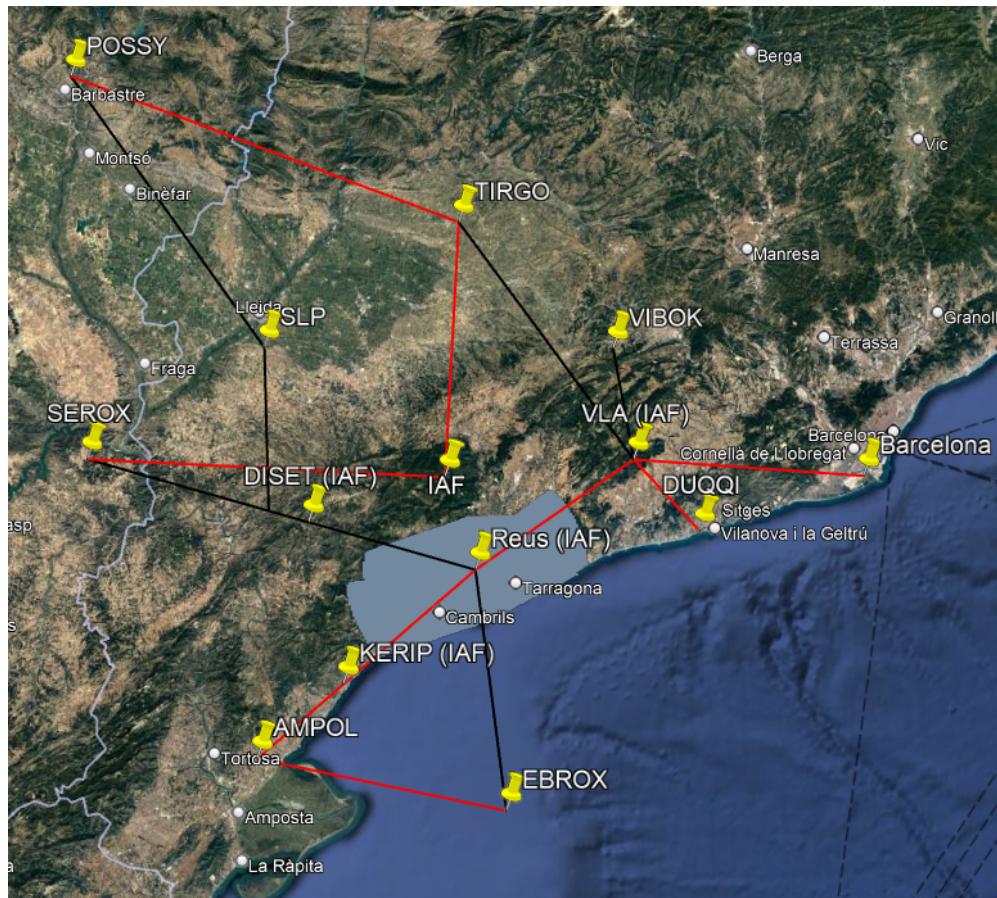


Figura 56: STAR resultante (nuestra STAR 2)

La STAR queda de modo que desde *POSSY* se va a *TIRGO* es el último punto hasta el IAF, desde *SEROX* se va directamente al IAF, luego *DUQQI* y *Barcelona* van a *VLA* que se dirige luego al IAF de *Reus*, igual que *AMPOL* donde hemos añadido el enlace de *EBROX* a éste. Los puntos *VIBOK*, *KERIP*, *DISET* y *SLP* quedan eliminados. Por tanto de esta STAR, nos salen 4 áreas de aproximación que deberemos calcular.

### 3.8.3 Áreas de protección.

En las áreas de protección tenemos que tener en cuenta que la protección será de 300 m (984 ft) en toda el área primaria y de 0 m en el último punto del área secundaria. a 6000 ft el IAF y las altitudes de vuelo de los waypoints utilizados, cumplen con dicha restricción.

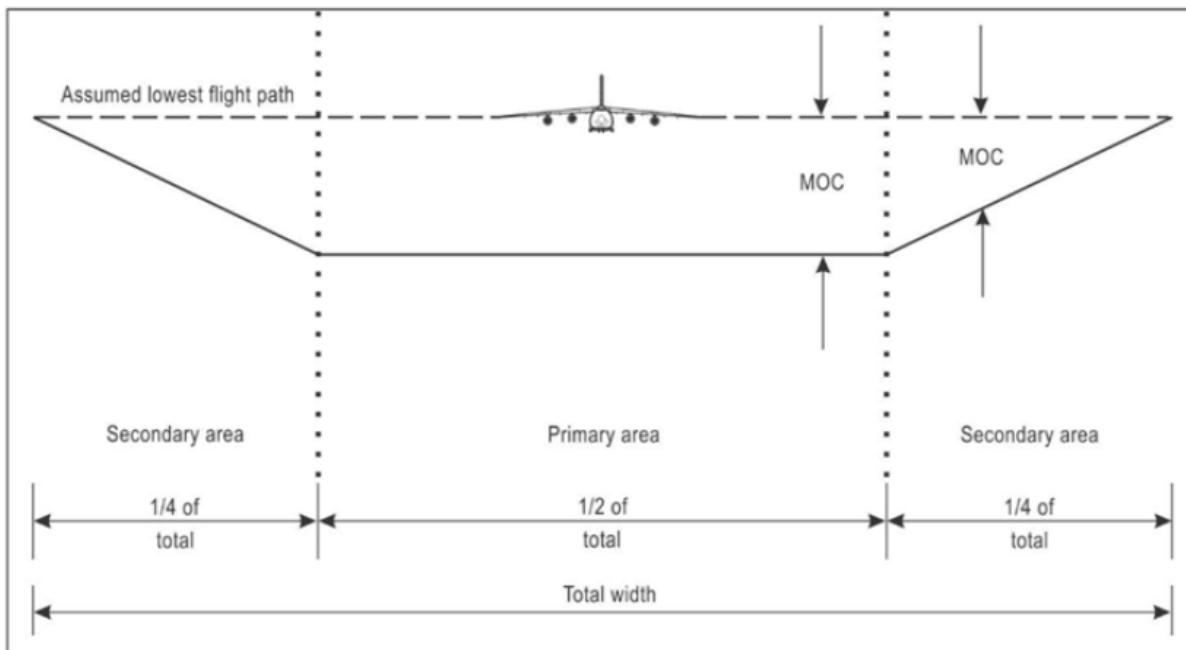


Figura 57: Áreas de protección vistas desde delante

Luego también debemos destacar que según la altitud del segmento y la distancia del mismo, cambiará la anchura del área de protección primaria y secundaria. En las siguientes imágenes vemos las restricciones de su forma según la longitud.

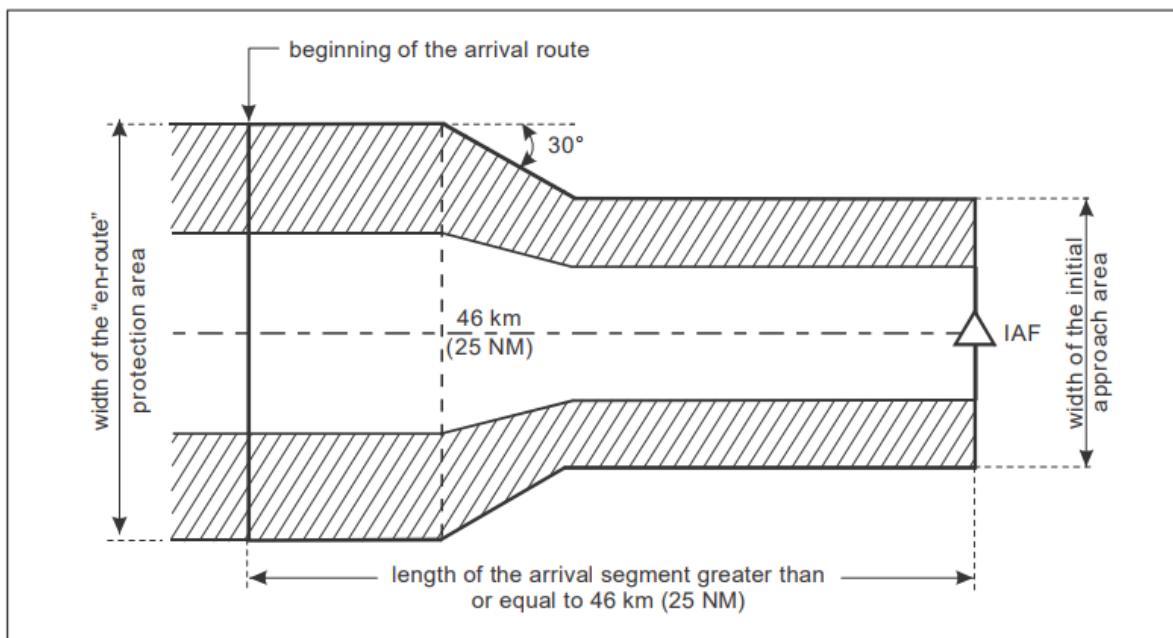


Figura 58: Área de protección vista desde arriba (caso más de 25 NM)

Vemos en esta primera imagen (Figura I-4-2-1 de PANS-OPS vol 2) que si la longitud del segmento de llegada es superior a 25 NM, debemos utilizar esta zona de protección.

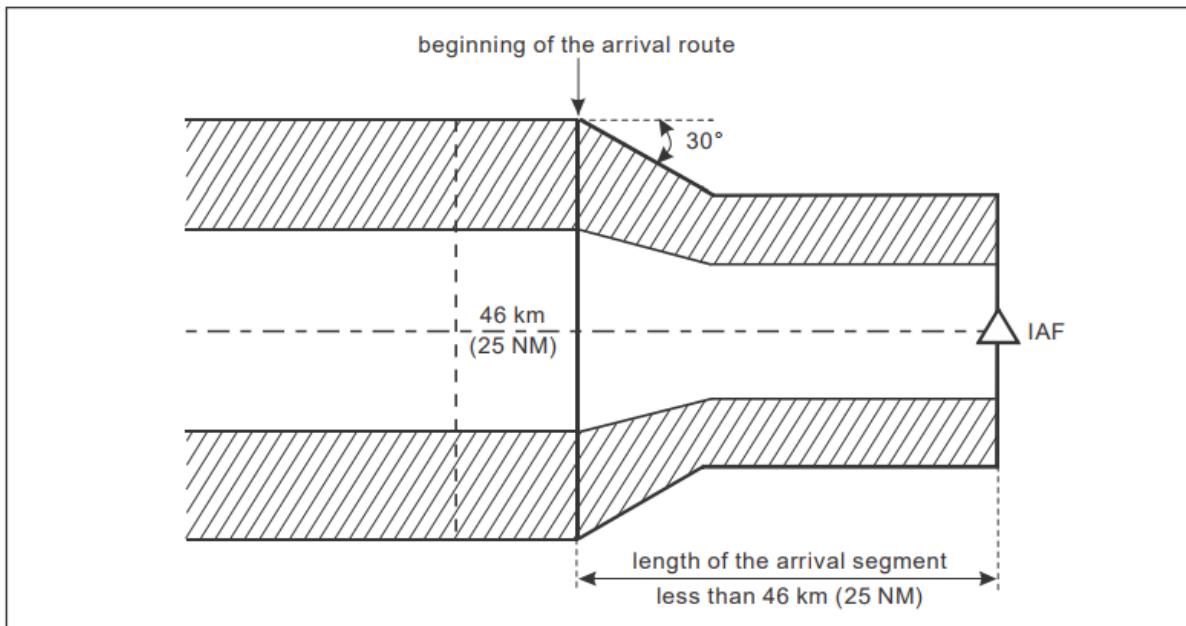


Figura 59: Área de protección vista desde arriba (caso menos de 25 NM)

Ahora hay que calcular el área de protección en el IAF, donde podemos utilizar las restricciones del área de protección en el IAF y la protección del área en ruta. Utilizamos la tabla III-1-3-2.

Altitud del IAF → 6000 ft

### - VIBOK - IAF

Como estamos en una distancia menor de 30 NM usamos igualmente la segunda columna de la tabla ya que la de En-route, no nos sirve. La altitud en el punto VIBOK la encontramos en la *DESCRIPCIÓN TABULAR DEL PROCEDIMIENTO* de cualquiera de las dos STARS:

DESCRIPCIÓN TABULAR DEL PROCEDIMIENTO PROCEDURE TABULAR DESCRIPTION											
Número de serie Serial number	Descriptor de trayectoria Path Terminator	Identificador de punto de recorrido Waypoint identifier	Sobrevuelo Fly-over	Curso/Derrota Course/Track °M (°T)	Variación magnética Magnetic variation	Distancia Distance (NM)	Dirección de viraje Turn direction	Altitud Altitude (ft)	Velocidad Speed (kt)	VPA/TCH ("/ft)	Especificación de navegación Navigation specification
<b>BERGA2L RNAV1</b>											
001	IF	BERGA	–	–	-1.0	–	–	+FL200 +FL130	–	–	RNAV1
002	TF	ICLEF	–	222 (223.4)	-1.0	17.4	–	+FL120	–	–	RNAV1
003	TF	BOLQE	–	215 (215.5)	-1.0	16.7	–	+FL110 +FL090	–	–	RNAV1
004	TF	VIBOK	–	190 (190.8)	-1.0	11.4	–	–	-250	–	RNAV1
005	TF	RS700	–	252 (253.4)	-1.0	32.0	–	+6000	–	–	RNAV1
006	TF	DISET	–	195 (196.5)	-1.0	10.0	–	+5500	-220	–	RNAV1

De esta tabla, entendemos que en el punto *VIBOK* debemos tomar la altitud con la que termina *BOLQE*, es decir, FL090. De modo que en la tabla, tomaremos el valor de área para esta altitud.

**Table III-1-3-2. XTT, ATT and area semi-width for DME RNAV (RNAV 1) in en-route, arrival, initial/intermediate approach and departure phases of flight (NM)  
Table based on availability of two DME update stations**

Altitude (ft)	En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)			STAR/IF/IAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM DER)			FAF		
	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W	XTT	ATT	% A/W
15 000	For all altitudes			1.24	1.13	2.85	1.24	1.13	2.35			
14 000	1.24	1.13	3.85	1.20	1.10	2.81	1.20	1.10	2.31			
13 000				1.17	1.06	2.76	1.17	1.06	2.26			
12 000				1.14	1.02	2.71	1.14	1.02	2.21			
11 000				1.11	0.99	2.66	1.11	0.99	2.16			
10 000				1.07	0.95	2.61	1.07	0.95	2.11	0.98	0.95	1.97
9 000				1.04	0.91	2.55	1.04	0.91	2.05	0.94	0.91	1.91
8 000				1.00	0.86	2.50	1.00	0.86	2.00	0.90	0.86	1.85
7 000				0.96	0.82	2.44	0.96	0.82	1.94	0.86	0.82	1.79
6 000				0.92	0.77	2.38	0.92	0.77	1.88	0.81	0.77	1.72
5 000				0.88	0.72	2.32	0.88	0.72	1.82	0.76	0.72	1.65
4 000				0.83	0.67	2.25	0.83	0.67	1.75	0.71	0.67	1.57
1 000–3 000				0.79	0.61	2.18	0.79	0.61	1.68	0.66	0.61	1.49

Debemos comparar esta tabla referida al DME RNAV con la siguiente que es referida al GNSS RNAV, esta no tiene en cuenta altitudes, solamente los segmentos o puntos:

**Table III-1-2-18. XTT, ATT and area semi-width for RNAV 1 and RNAV 2 (Cat A to E) in en-route, arrival, initial/intermediate approach and departure phases of flight (NM)**

En-route/STAR/SID (>30 NM ARP)			STAR/IF/IAF/SID (<30 NM ARP)			SID (<15 NM ARP)		
XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$
2.00	1.60	5.00	1.00	0.80	2.50	1.00	0.80	2.00

En este caso vemos que las área semi-width son más grandes de modo que ya que son el valor más restrictivo es el que debemos tomar en cuenta.

Ahora solamente nos falta dibujar las áreas teniendo en cuenta los siguientes valores:

	Área primaria [NM]	Área secundaria [NM]
IAF	2.5	1.25
VIBOK	5.00	2.5

El resultado del área según la longitud del segmento y altitud dada quedaría de la siguiente forma.

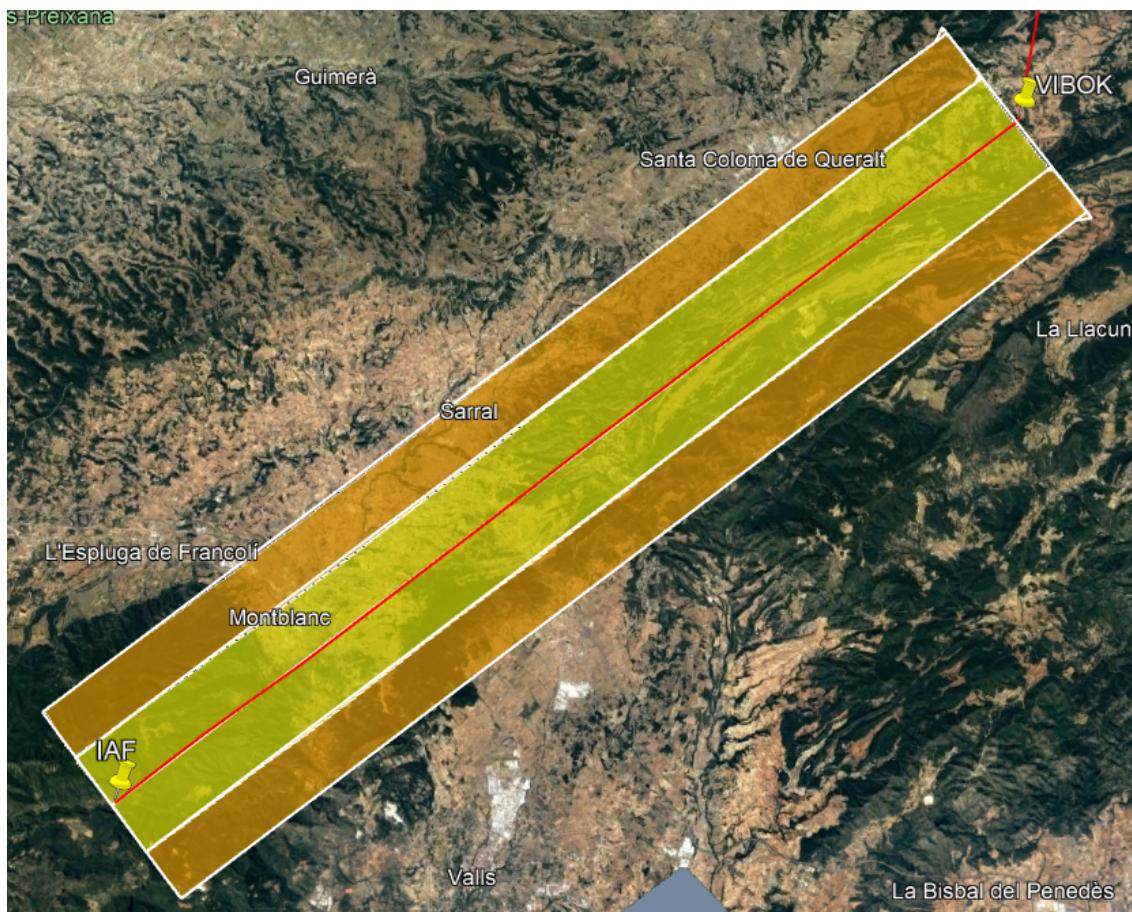


Figura 60: Último segmento de la STAR 1 con su área de protección

Vamos a ver el resto de casos de nuestra STAR 2.

#### - TIRGO - IAF

En este caso la distancia entre puntos es de 32.6 NM, de modo que según aquí no importa la altitud, el área primaria en TIRGO deberá ser de 3.85 NM y en el IAF será igual que antes, la tabla queda de la siguiente manera:

	Área primaria [NM]	Área secundaria [NM]
IAF	2.5	1.25
VIBOK	5.00	2.5

#### - SEROX - IAF

La distancia entre puntos, también es de más de 30 NM (45.4 NM).

	Área primaria [NM]	Área secundaria [NM]
IAF	2.5	1.25
SEROX	5.00	2.5

#### - AMPOL - REUS

La distancia entre puntos, también es de más de 30 NM (36 NM). Pero la altura del IAF de Reus no es de 6000 ft como hemos impuesto en el IAF que hemos creado, sinó que es de 5000 ft como vemos en el holding de la STAR, la altitud en AMPOL es FL100 aunque como hemos comentado, no es importante para el ancho del área de protección.

	Área primaria [NM]	Área secundaria [NM]
IAF Reus	2.5	1.25
AMPOL	5.00	2.5

#### - VLA - Reus

La distancia entre estos dos puntos es de 24.3 NM, de modo que de forma de área emplearemos otra vez la vista entre VIBOK - IAF, y tendremos en cuenta la altura de VLA que es de 6000 ft y miramos el área pertinente en la tabla III-1-3-2.

	Área primaria [NM]	Área secundaria [NM]
IAF Reus	2.5	1.25
VLA	5.00	2.5

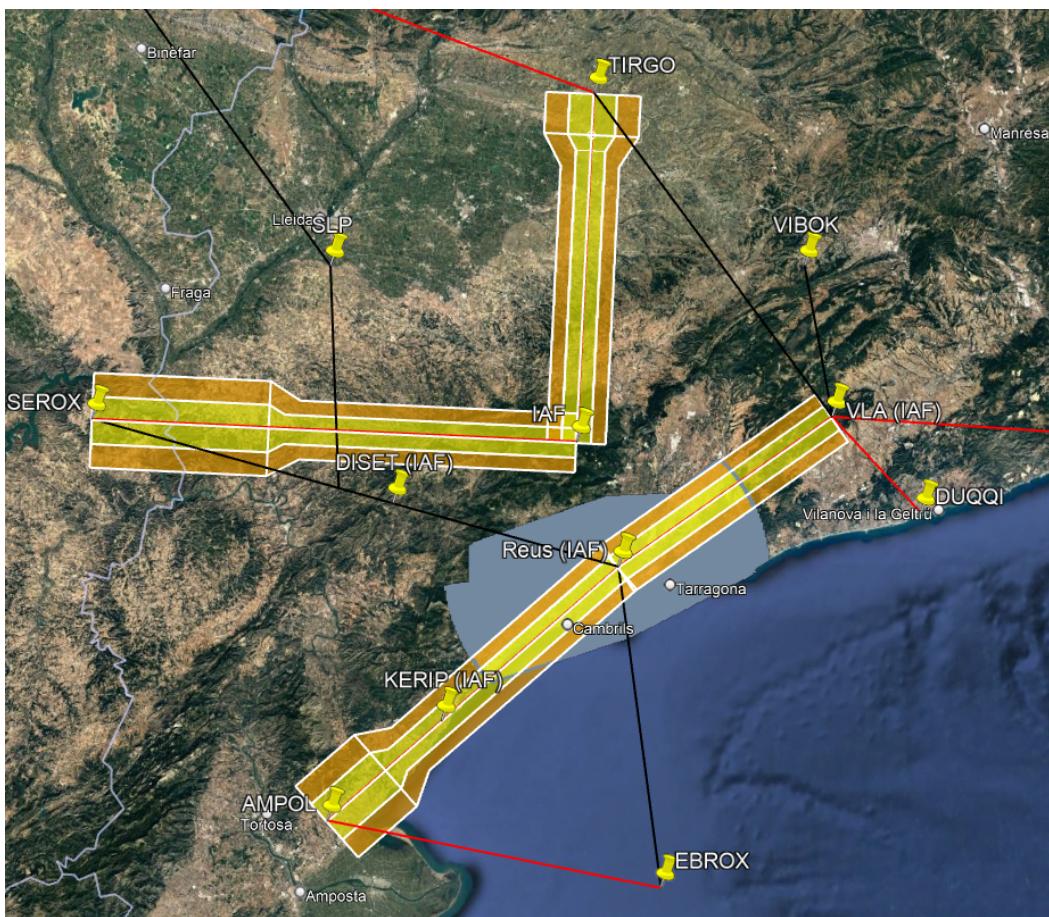


Figura 61: Últimos segmentos de la STAR 2 con su respectiva área de protección

### 3.8.4 Análisis de obstáculos

Para hacer un análisis de los obstáculos y ver si la altitud que hemos seleccionado es adecuada, hemos exportado el mapa de obstáculos que proporciona INSIGNIA en el enlace <https://insignia.enaire.es/> cuando seleccionamos la opción de *Obstáculos* y exportamos el fichero .kmz de manera que podemos sobreponerlo con la STAR que hemos generado anteriormente, el resultado es el siguiente:

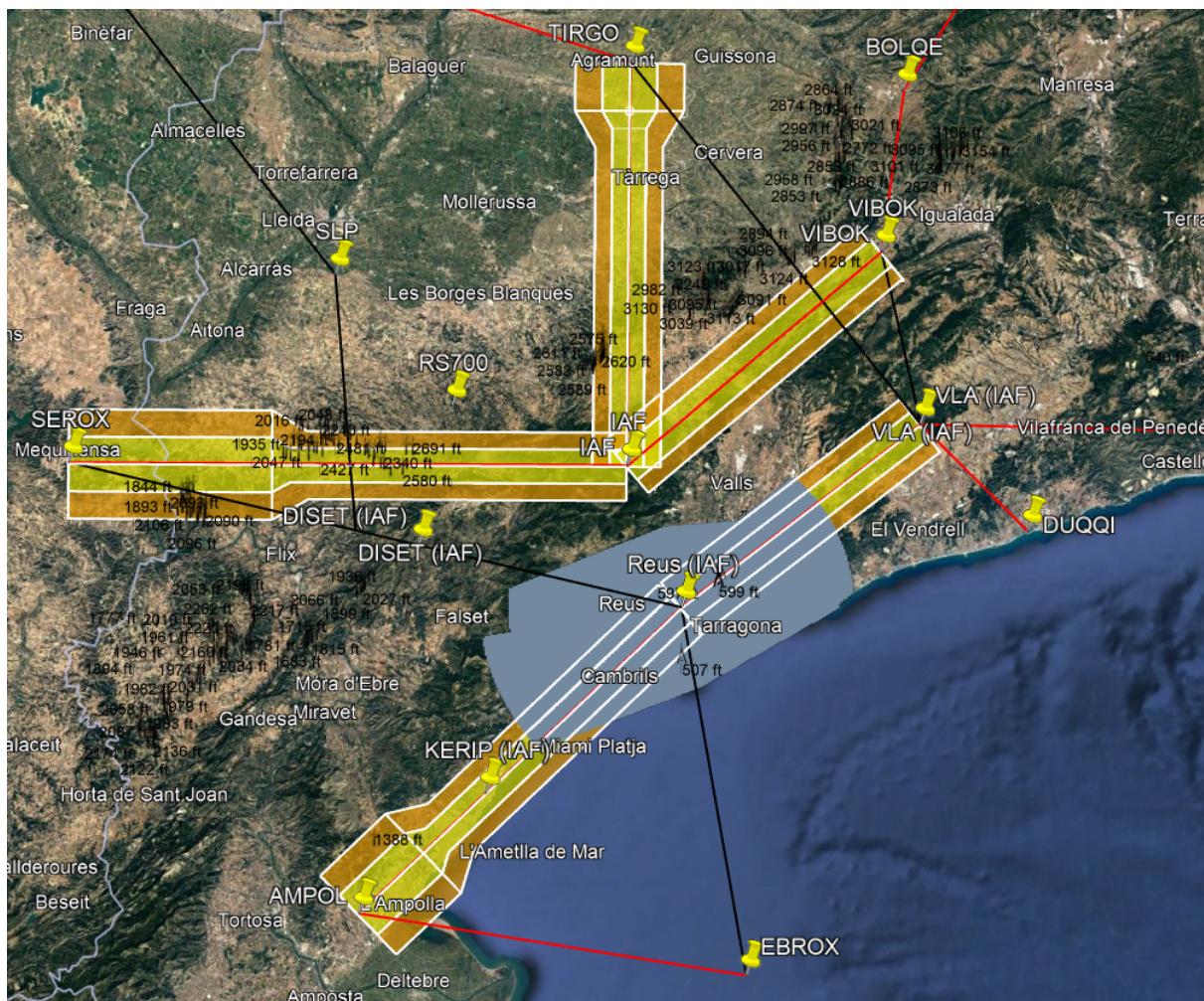


Figura 62: Vista de las dos STARs junto con los obstáculos obtenidos de INSIGNIA

En la imagen, vemos que los mayores obstáculos que se ven llegan a los 3000 ft aproximadamente. Teniendo en cuenta las altitudes que se mostraban en las tablas anteriores, ningún obstáculo parece un problema y son simplemente irrelevantes, es decir, que no tenemos que modificar la altitud prevista en ningún caso, además, lo veremos a continuación con el área de protección pero tampoco representará ningún problema.

## 4. RNP APCH

Required Navigation Performance –Approach, es un tipo de procedimiento de aproximación que utiliza RNAV para guiar la aeronave a lo largo de una trayectoria precisa durante la fase de aproximación, que empieza en el IAF. Se tiene en cuenta la mínima distancia de estabilización así como los obstáculos, la altitud y la velocidad a la hora de determinar el diseño de los procedimientos.

Hay cuatro tipos diferentes de RNP approach, dependiendo de sus mínimas y la tecnología utilizada. Podemos verlas en la siguientes imágenes:

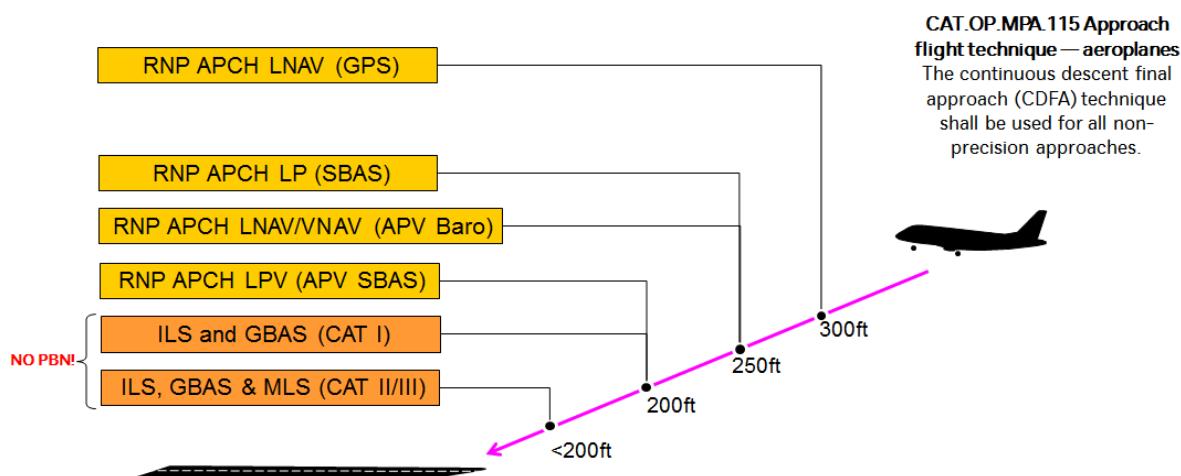


Figura 63: Altitud mínima donde la aeronave recibe servicio

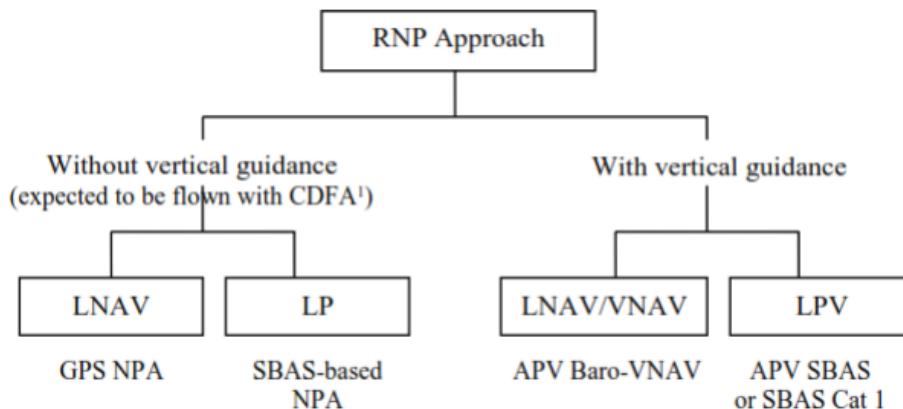


Figura 64: Esquema de distinción de los RNP Approach

Se pretende diseñar las cartas de aproximación por instrumento RNP APCH LNAV, LNAV-VNAV y RNP APCH LPV para cada RWY.

## 4.1 Parámetros de diseño General

### 4.1.1 Áreas secundarias

La anchura de las áreas secundarias en cualquier punto (p) entre dos fijos puede obtenerse mediante interpolación lineal a partir de las anchuras en estos fijos según la ecuación siguiente:

$$W_{sp} = W_{s1} + D_p/L (W_{s2} - W_{s1})$$

Donde:

$W_{s1}$  = ancho del área secundaria del primer fix.

$W_{s2}$  = ancho del área secundaria del segundo fix.

$W_{sp}$  = ancho del área secundaria del punto p.

$D_p$  = distancia del punto p al primer fix.

$L$  = distancia entre los dos fixes.

Podemos verlo ilustrado en la figura siguiente:

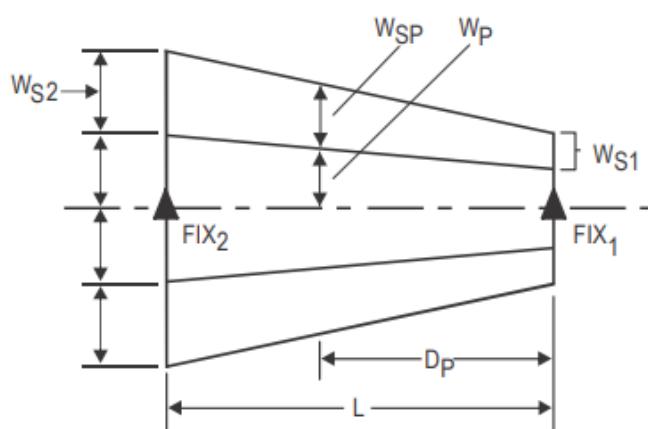


Figura 65: Evolución de la área de protección entre puntos

### 4.1.2 Obstacle clearance

Se proporciona despeje completo de obstáculos en toda la zona a menos que se identifiquen áreas secundarias. En este caso, se garantiza el despeje completo de obstáculos en el área

primaria y en el área secundaria, disminuyendo linealmente el despeje de obstáculos desde el despeje completo en el borde interior hasta cero en el borde exterior del área secundaria, tal y como podemos ver en la figura siguiente:

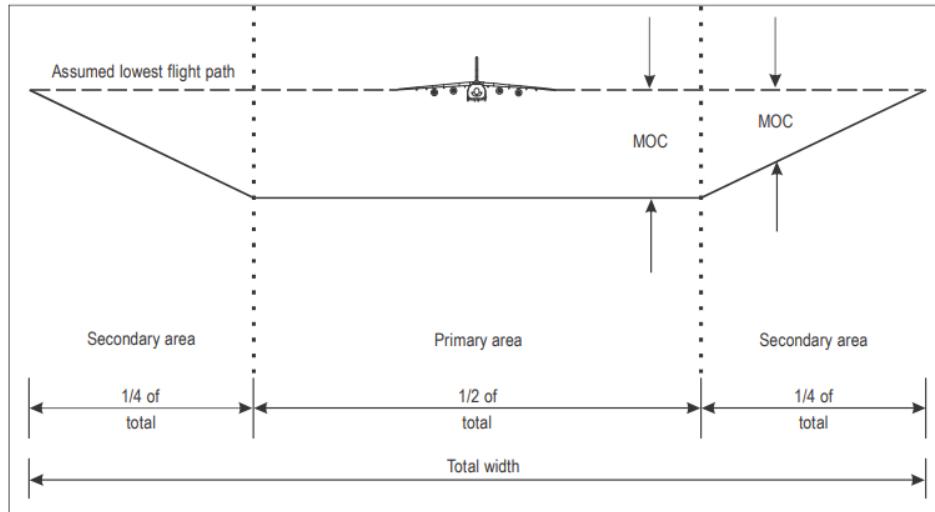


Figura 66: Vista vertical del área de protección

El MOC (Minimum Obstacle Clearance) en las áreas secundarias puede obtenerse mediante interpolación lineal desde el MOC completo en el borde exterior del área primaria hasta cero, según la ecuación siguiente:

$$MOC_{sy} = MOC_p * (1 - Y/W_s)$$

Donde:

$$MOC_p = \text{MOC en el área primaria.}$$

$$MOC_{sy} = \text{MOC en el área secundaria para un obstáculo a una distancia } Y \text{ del borde exterior.}$$

$$W_s = \text{ancho del área secundaria.}$$

$$Y = \text{distancia del obstáculo al borde exterior, perpendicular a la trayectoria.}$$

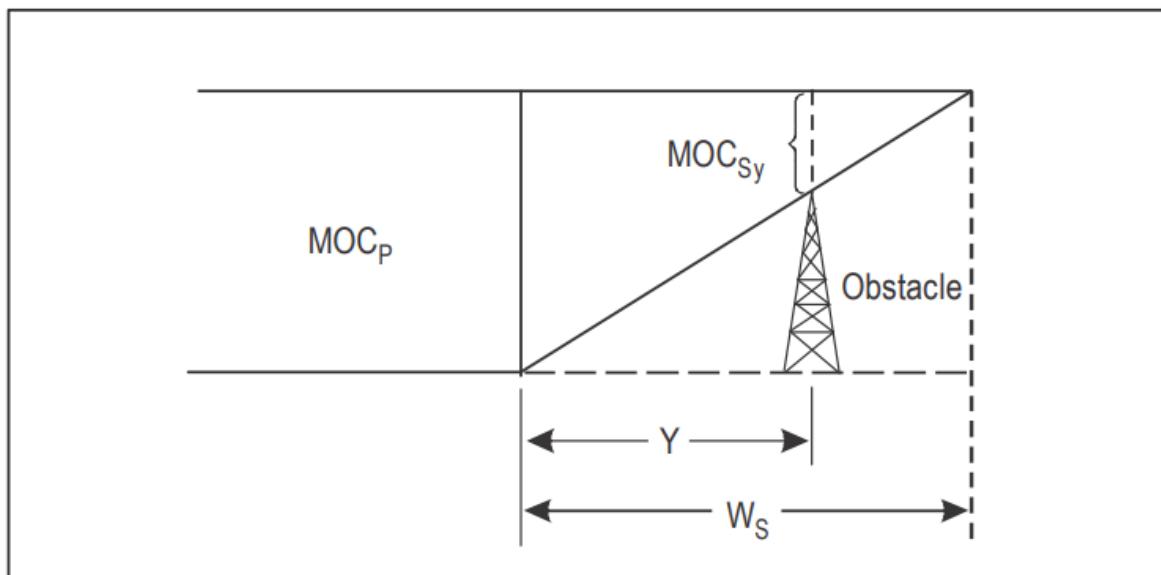


Figura 67: Distancia que debe cumplir un obstáculo en caso de estar en el área secundaria

#### 4.1.3 Segmento de estabilización

Para cada waypoint se determina una distancia de estabilización. Es la distancia entre waypoint y el punto donde la trayectoria se une tangencialmente a la vía (Figura III-2-1-1).

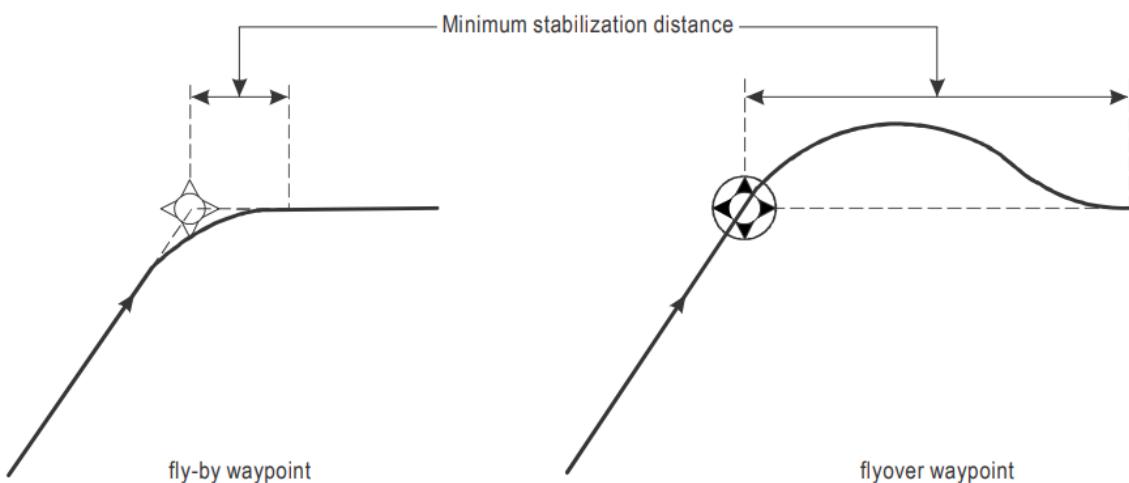


Figura 68: Distinción entre fly-by y flyover waypoints

El bank angle asumimos que siempre es de  $25^\circ$  en todas las fases del approach, excepto en el missed approach que se considera de  $15^\circ$ . En nuestro caso, que tenemos el IAF al norte de Reus, al hacer el diseño de los approach necesitaremos varios waypoints entre IF e IAF. La mínima distancia de estabilización entre waypoints es la primera distancia A1 y la segunda distancia A2, de acuerdo con el bank angle y true airspeed, teniendo en cuenta si son fly-by o flyover waypoints. Usaremos fly-by waypoints ya que la distancia de estabilización es más

pequeña, también tenemos en cuenta la velocidad del IAF eliminado más cercano al nuestro (DISET) que es de IAS 220 kt. Por tanto:

$TAS = 220 \cdot 0.02 \cdot 6000/1000 + 220 = 246.4 \text{ kt}$  de máxima TAS en el IAF, de modo que tomaremos los siguientes valores de la tabla III-2-1-1 dependiendo eso sí del ángulo de giro. La tabla mencionada está en km/h, es decir que debemos pasar la velocidad a km/h que son 456.3 km/h.

**Table III-2-1-3. Minimum stabilization distance between fly-by waypoints  
(SI units, 25° bank angle\*)**

Course change** (Degrees)	< or =	True airspeed (km/h)													
		240	260	280	300	320	340	360	380	400	440	480	520	560	600
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° or 3°/s

\*\* Use the value of 50° for course changes lower than 50°.

Luego debemos tener en cuenta las restricciones de distancias mínimas, por ejemplo entre el DER y el primer waypoint debe haber una distancia mínima de 3.5 km (1.9 NM).

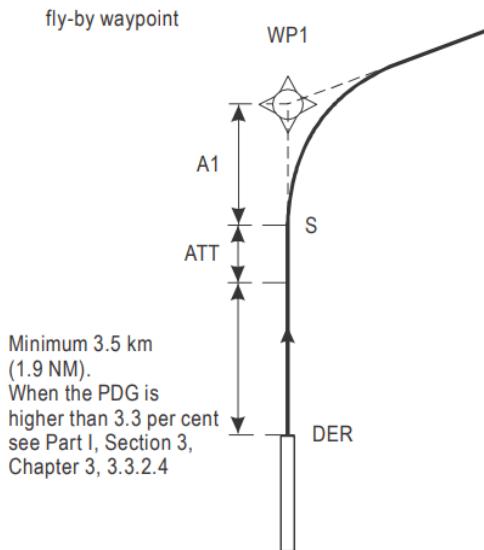


Figura 69: Distancias mínimas a cumplir en el inicio de un segmento

En la imagen anterior vemos que a la distancia mínima de 3.5 km se añade la distancia A1 que obtendremos de la tabla. Luego tenemos que a partir de menos de 56 km hasta el ARP la mínima distancia debe ser de 5.6 km, en el caso de más distancia hasta el ARP, es de 9.3 km.

#### 4.1.4 Ancho de las áreas

Para RNP APCH (LNAV LNAV/VNAV): El error total del sistema lateral (TSE, por sus siglas en inglés, Total System Error) y el error a lo largo de la trayectoria no excederán los  $\pm 1.9$  km (1 NM) durante el 95 % del tiempo total de vuelo durante los segmentos inicial e intermedio de la aproximación, y durante la aproximación fallida, cuando dicha aproximación fallida está basada en un requisito RNAV. El error total del sistema lateral (TSE) y el error a lo largo de la trayectoria no excederán los  $\pm 0.56$  km (0,3 NM) durante el 95 % del tiempo total de vuelo durante la aproximación final.

La cross-track tolerance XTT se define como  $XTT = TSE$  y la along-track tolerance como  $ATT = 0.8 \cdot TSE$ .

La semi-anchura de la superficie en un waypoint viene determinada por la ecuación siguiente:

$$\frac{1}{2} \cdot A/W = XTT \cdot 1.5 + BV$$

El Buffer Value viene dado por la tabla III-1-1-3 y depende de la fase de vuelo.

**Table III-1-1-3. Buffer values**

<i>Phase of flight</i>	<i>BV for CAT A-E</i>	<i>BV for CATH</i>
En-route, SIDs and STARs (greater than or equal to 56 km (30 NM) from departure or destination ARP)	3 704 m (2.0 NM)	1 852 m (1.0 NM)
Terminal (STARs, initial and intermediate approaches less than 56 km (30 NM) of the ARP; and SIDs and missed approaches less than 56 km (30 NM) of the ARP but more than 28 km (15 NM) from the ARP)	1 852 m (1.0 NM)	1 296 m (0.7 NM)
Final approach	926 m (0.5 NM)	648 m (0.35 NM)
Missed approaches and SIDs up to 28 km (15 NM) from the ARP	926 m (0.5 NM)	648 m (0.35 NM)

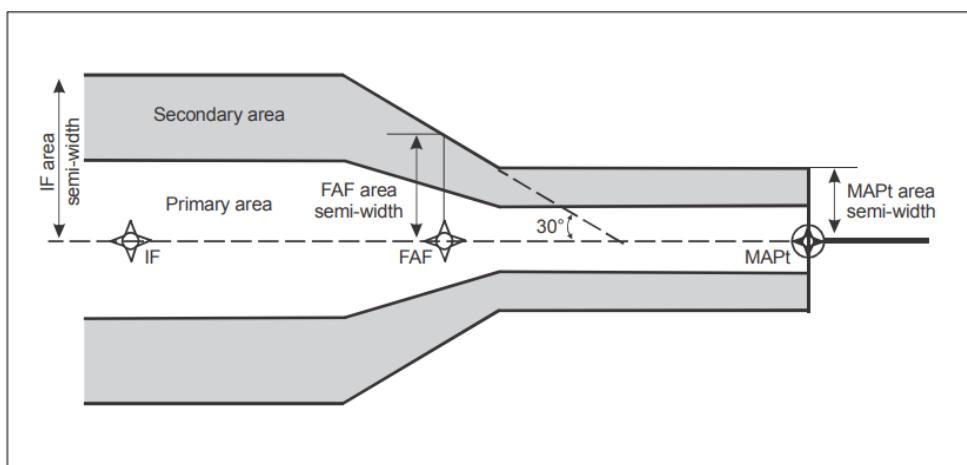
Como podemos ver, deberíamos usar 1 NM para el initial y intermediate approach, 0.5 NM para el final approach y missed approach.

El XTT y ATT vienen determinados por la tabla *III-1-2-14*.

**Table III-1-2-14. XTT and ATT, area semi-width for RNP APCH (aeroplane) in initial/intermediate/final approach and missed approach phases of flight (NM)**

IF/IAF/missed approach (<30 NM ARP)			FAF			MAPt/Initial Straight Missed Approach (LP/LPV only)			Missed approach (<15 NM ARP)		
XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$
1.00	0.80	2.50	0.30	0.24	1.45	0.30	0.24	0.95	1.00	0.80	2.00

Podemos verlo ilustrado en la figura siguiente:



**Figure III-1-1-2. Merging at phase-of-flight interfaces — FAF**

Figura 70: Evolución del área de protección desde el IF hasta el MAPt

#### 4.1.5 Protección en el giro

Hay varios métodos de protección en el giro, dependiendo del tipo de giro, el ángulo y el segmento del vuelo.

Para los giros de más de 30° deberíamos usar el método de wind spiral circles. Para el proyecto, no lo usaremos en giros de menos de 90°. Ya que es algo que complica bastante las cosas, evitaremos esos dichos giros.

Con esto ya podemos pasar a ver los requerimientos de cada segmento a la hora de dibujarlos.

### 4.2 Initial Approach Segment

Es la fase inicial de la aproximación al RNP. Este segmento va desde el initial approach fix (IPF) hasta el intermediate fix (IF).

Para el primer segmento, en los procedimientos de aproximación de precisión, es importante destacar la restricción en cuanto a los giros en los waypoints, no puede haber ningún giro de más de 90°. En caso de necesitar un giro mayor a 90°, deberemos acomodar este giro con más de un waypoint para evitar un giro de más de 90° en un mismo waypoint. Por consiguiente, el ángulo que unen el initial approach con el intermediate approach no debe exceder tampoco los 90°.

La longitud óptima del primer segmento de aproximación, es de 5 NM (9 km), aunque si le precede una ruta de llegada, tendría que ser de 6 NM.

El ancho total del área resulta de unir los diferentes anchos de área en los puntos fijos relevantes. El ancho del área primaria se extiende lateralmente 4.6 km (2.5 NM) a cada lado. El área secundaria añade otros 4.6 km (2.5 NM) a cada lado del área primaria. En la siguiente figura podemos ver el área primaria y secundaria en el initial approach segment en varios segmentos típicos de aproximación.

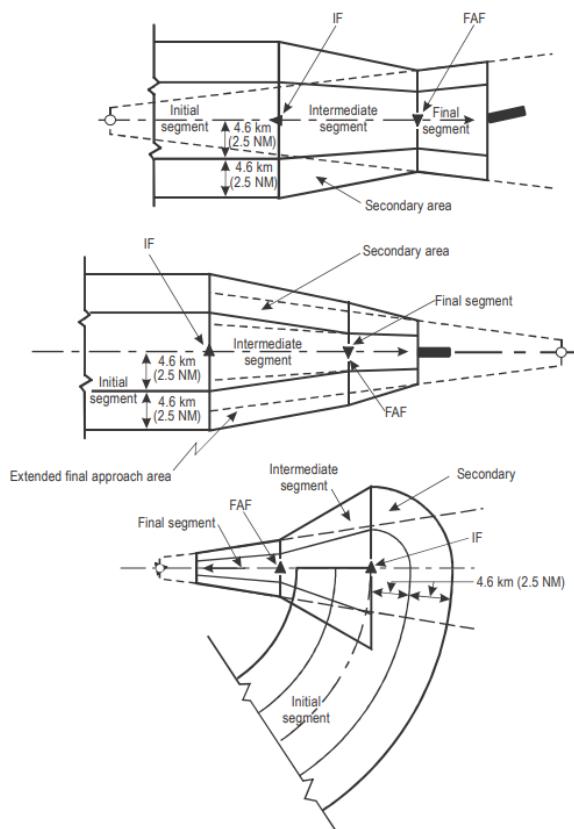


Figura 71: Diferentes maneras de hacer la protección en el IF según el caso

El obstacle clearance que hay que asegurar en el área primaria del initial approach debe ser por lo menos de 300 m (984 ft) y en el área secundaria se deben asegurar 300 metros en el borde interior y se reduce linealmente hasta 0 en el borde exterior.

De todos modos la longitud de cada segmento debe ser la necesaria para poder realizar el cambio de altitud con seguridad, es decir que el ratio de descenso no sea excesivamente elevado el adecuado es de 4% y el máximo para evitar obstáculos del 8%.

#### 4.3 Intermediate Approach Segment

Es la fase intermedia en una aproximación RNP. Empieza en el intermediate fix (IF) y termina en el final approach fix (FAF).

El segmento intermedio debe estar alineado con el Final Approach Segment, aunque si hay un giro en el FAF (Final Approach Fix) el giro final no debe ser mayor a 15°, ya que contamos el caso de aproximación con precisión. No se permiten fly-over turns.

Según el criterio de SBAS APV I, el segmento intermedio debe estar alineado con el segmento final y que no puede haber giros en el FAF/FAP.

Si el segmento intermedio contiene un radial fix segment (RF) que acaba en el FAF, el ángulo entre el segmento RF y el segmento

La longitud óptima del segmento de aproximación intermedio es de 10 NM, aunque siempre debería estar entre 5 y 15 NM. La anchura tendrá forma cónica y es fruto de la unión entre la máxima anchura en el punto del IF y la mínima del segmento que es en el punto FAF. Lo podemos ver en la figura siguiente:

**Table III-1-2-14. XTT and ATT, area semi-width for RNP APCH (aeroplane) in initial/intermediate/final approach and missed approach phases of flight (NM)**

IF/IAF/missed approach (<30 NM ARP)			FAF			MAPt/Initial Straight Missed Approach (LP/LPV only)			Missed approach (<15 NM ARP)		
XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$	XTT	ATT	$\frac{1}{2} A/W$
1.00	0.80	2.50	0.30	0.24	1.45	0.30	0.24	0.95	1.00	0.80	2.00

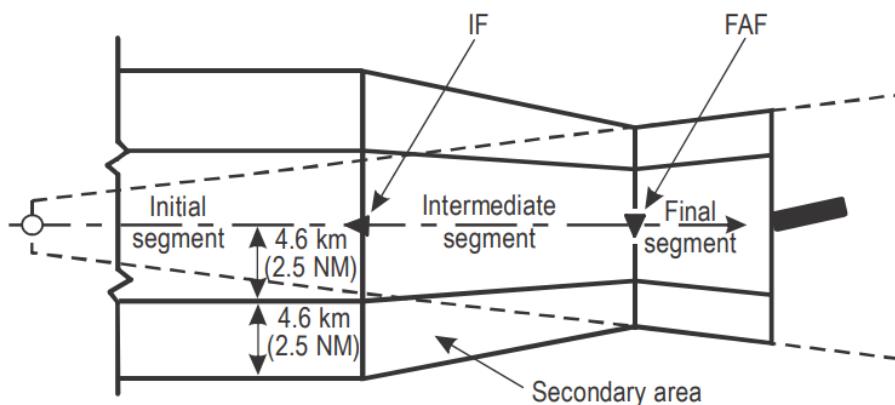


Figura 72: Área de protección en el segmento intermedio

El obstacle clearance que se debe asegurar es de 150 m (492 ft) en el área primaria, y en el área secundaria se debe asegurar 150 metros en el borde interior y se reduce linealmente hasta 0 en el borde exterior.

Este segmento debe ser plano, es decir, no debe haber ningún descenso, aunque si es necesario alguno este debe de ser de 5.2%.

#### 4.4 Final Approach Segment

El último segmento estará en la misma dirección que la pista de aterrizaje. Este segmento inicia en el Final Approach Fix y termina en el Missed Approach Point (MAPt). La mínima longitud del segmento es de 5.6 km (3 NM) siendo la distancia óptima de 9.3 km (5 NM). Si hubiera un giro en el FAF dependiendo del ángulo aumenta la distancia mínima. Nosotros

procuraremos no dar esta circunstancia. La distancia máxima no debe exceder los 18.5 km (10 NM). El área de protección el FAF viene dado también por la tabla *III-1-2-14*, debe quedar enlazada con el área de protección en el MAPt.

## 4.5 Obstáculos

Igual que se ha explicado anteriormente, en este caso también se debe dejar un espacio de 984 ft con los obstáculos que pueda encontrarse la aeronave en el primer segmento:

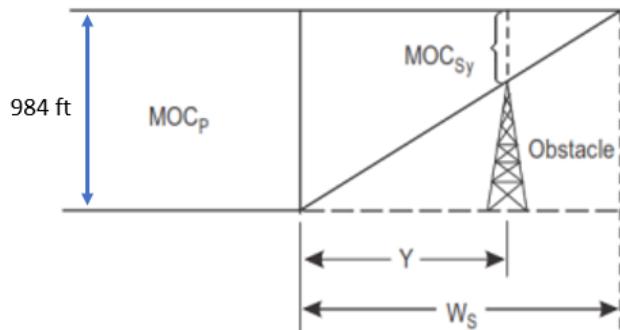


Figura 73: Distancia del obstáculo a la altitud del avión

En el segmento intermedio se reduce a 150 m (492 ft) en el área primaria y un decrecimiento como el que se muestra en la imagen anterior en la secundaria.

En el segmento final la distancia a los obstáculos en el área primaria es de 75 m.

## 4.5 Missed Approach Point

En un segmento final alineado con la runway, el MAPt puede estar ubicado en el inicio de la runway o antes.

## 4.5 Dibujo de RNP APCH

Tendremos que hacer cartas LNAV, LNAV/VNAV (APV) y LPV para las dos runways y una carta ILS para la RWY 25.

### 4.5.1 RNP APCH LNAV para ambas RWY

El procedimiento para realizar las aproximaciones desde el IAF utilizaremos las cartas ya existentes, es decir, aprovecharemos los puntos de aproximación IF y FAF de cada carta, a lo mejor con algún cambio para que todo se amolde mejor a la nueva ubicación del IAF pero la idea es no tocar mucho el segmento intermedio y final. Luego tendremos que unir el IAF con el IF, siempre cumpliendo las normas expuestas anteriormente.

Después de marcar los puntos existentes en AutoCAD, es decir, los puntos MAPt, FAF e IF, empezamos con el análisis de posibles modificaciones sobre los últimos que podríamos llevar

a cabo. El segmento intermedio tiene una longitud de 10.332 km que son 5.5788 NM, como hemos comentado en el apartado donde hablamos de este segmento su mínima longitud es de 5 NM o sea que no podemos tocarlo mucho. En cuanto al FAF, tiene un giro de  $5^\circ$  y una longitud hasta el MAPt de 5.0196 NM lo que sería la distancia óptima del segmento como también hemos comentado en su correspondiente apartado. Si vemos nos fijamos en la longitud del segmento de estabilización para un giro de  $5^\circ$  a una velocidad de IAS 210 kt. Por tanto:  $TAS = 210 \cdot 0.02 \cdot 1900/1000 + 210 = 217.98 \text{ kt}$  son 403 km/h. Mirando la tabla vemos que necesitaríamos 1.8 km de segmento de estabilización, o sea que podríamos reducir la longitud del segmento hasta 3 NM sin preocuparnos por esto. Aún así como ya está a la longitud óptima en principio mantendremos estas distancias ya que cumplen con un ROD adecuado. Vamos pues a ver el diseño del approach RNP\_APCH\_RWY07 (LNAV/VNAV), destacamos también que en cuanto a segmentos de estabilización hemos tenido en cuenta la tabla con su opción más restrictiva es decir de mayor longitud aunque tomáramos alguna velocidad ligeramente superior a la calculada. Ahora solo falta aplicar las protecciones que hemos visto anteriormente y este es el resultado:

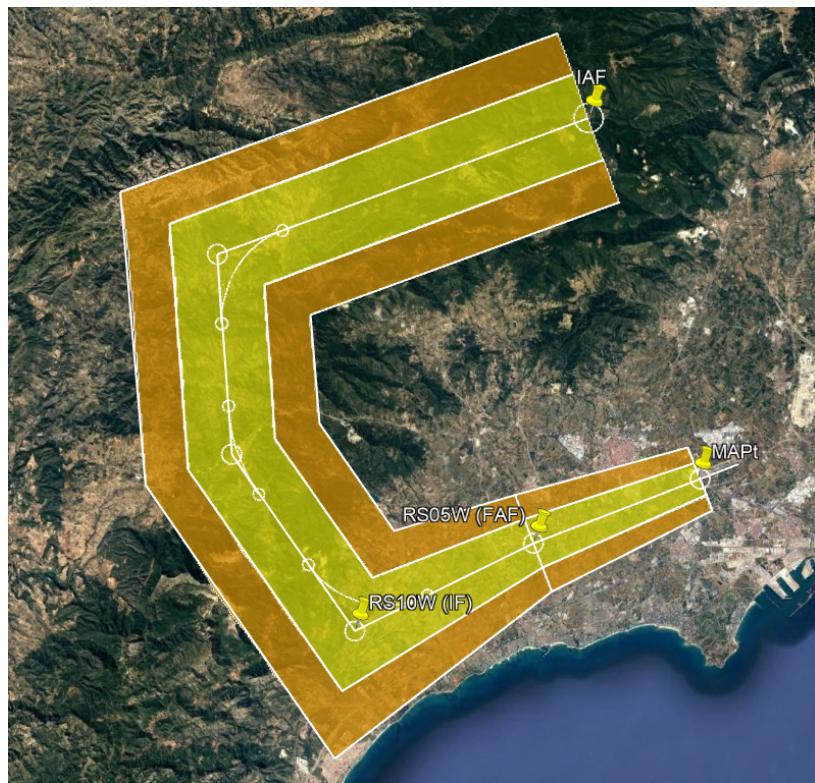


Figura 74: Approach por la RWY 07 con protecciones

Vemos marcados los puntos que limitan la estabilización y la curva aproximada que pondremos en la carta de navegación. No hemos diseñado el Missed Approach porque utilizamos el mismo que en el antiguo approach de modo que no hace falta dibujarlo.

El diseño de la RWY25 es más desde 0 ya que solo disponemos del approach ILS para esa RWY, aún así hemos basado los segmentos intermedio y final en la carta de la RWY07, FAF

(el cuál hemos nombrado RS25W) e IF (que hemos nombrado RS20W) están alineados con la pista de aterrizaje, y los segmentos son ligeramente más cortos de modo que en el tramo final cambia el ROD (rate of descent). El recorrido hasta el IF consta de 3 giros, todos inferiores a 90°, de modo que no hemos tenido que hacer la protección con el método de wind spirals. Por tanto con todo diseñado, solo ha hecho falta añadir las áreas de protección, de modo que el RNP\_APCH\_RWY25 (LNAV/VNAV) queda de la siguiente manera:



Figura 75: Approach por la RWY 25 con protecciones

Aquí hace falta añadir el Missed Approach, lo haremos hasta el IF dando la vuelta por el mar para evitar obstáculos. Recordamos que cuando diseñamos el Missed Approach el bank angle que tomamos es de 15° de modo que la tabla que utilizaremos será la *III-2-1-1*. La velocidad que tendremos en cuenta que la IAS es de 210 kt y la altitud de 300 que es la altitud del IF, por tanto TAS en este tramo es de:

$$TAS = 210 \cdot 0.02 \cdot 3000/1000 + 210 = 222.6 \text{ kt} \text{ que en km/h son } 412,25 \text{ km/h.}$$

**Table III-2-1-1. Minimum stabilization distance between fly-by waypoints  
 (SI units, 15° bank angle)**

Course change* (Degrees)	True airspeed (km/h)														
	< or = 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

\* Use the value of 50° for course changes lower than 50°.

El resultado del missed approach para la RWY 25 queda de la siguiente forma:

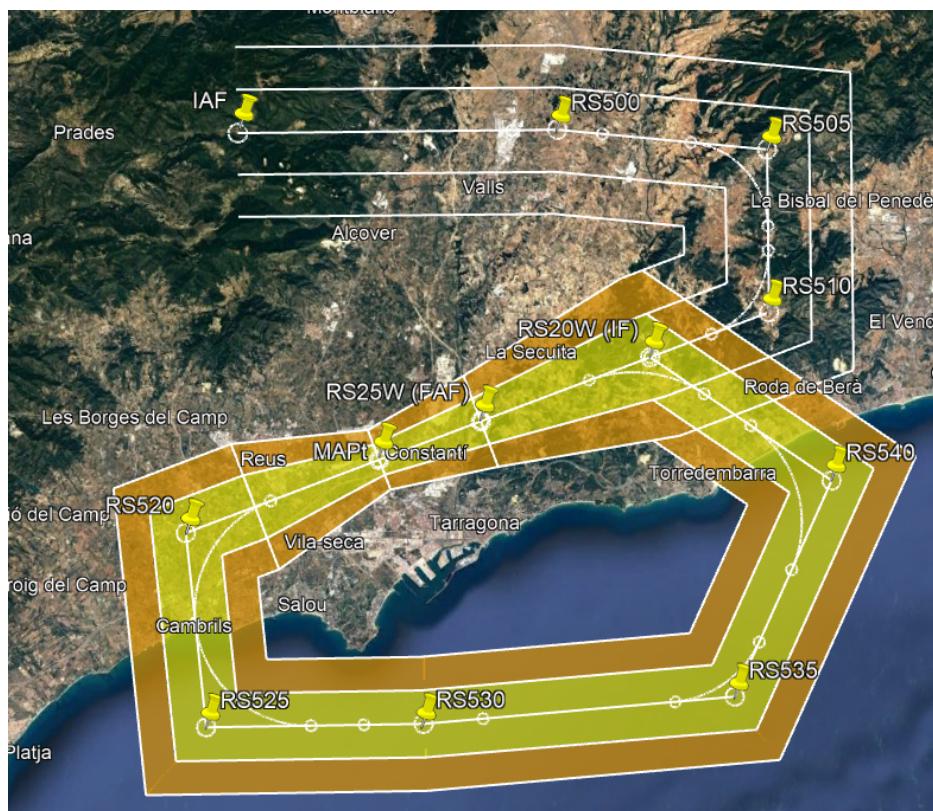


Figura 76: Missed Approach de la RWY 25 con protecciones

## 5. Aproximación ILS CAT I

El sistema de aterrizaje instrumental (ILS) CAT 1 es un método de navegación por instrumentos utilizado en aviación.

Este sistema utiliza radioseñales para proveer datos de dirección y altura al avión, ayudando a los pilotos a alinear la aeronave con la pista y mantener una trayectoria de descenso precisa hasta la aproximación final y el aterrizaje.

La precisión del ILS CAT 1 permite aterrizar con una visibilidad mínima de al menos 200 pies (60 metros) de altura y una distancia de 800 metros de visibilidad horizontal.

El ILS está compuesto principalmente por dos radioayudas:

1. Localizador (LOC): El localizador es una señal de radio que proporciona orientación lateral al piloto. Indica si la aeronave está a la izquierda o a la derecha de la trayectoria de aproximación ideal.
2. Glide Slope (GS): La pendiente de planeo (Glide Slope) es otra señal de radio que proporciona orientación vertical. Indica si la aeronave está por encima, por debajo o en la trayectoria de descenso ideal hacia la pista de aterrizaje.

A diferencia de las aproximaciones RNP que se definen las cartas a través de waypoints, en las cartas de aproximación ILS las trayectorias y giros se definen a través de radioayudas, como por ejemplo seguir radiales VOR o arcos DME.

Estas radioayudas permiten a los pilotos recibir información precisa y continua sobre su posición y trayectoria durante la aproximación.

### 5.1 Segmento inicial

El ángulo de intersección entre la ruta de aproximación inicial y la ruta intermedia no debe exceder los 90 grados. Para permitir que el piloto automático se acople al localizador, se prefiere un ángulo de intersección que no exceda los 30 grados. Cuando el ángulo excede los 70 grados en un radial, rumbo, vector de radar o información de DME proporcionando al menos 4 km (2 MN) de anticipación deberá ser identificado para ayudar en el giro hacia la ruta intermedia. Cuando el ángulo excede los 90 grados, se debe considerar el uso de un procedimiento de inversión, pista en forma de circuito o navegación estimada (DR).

El ancho de las áreas en las aproximaciones ILS es similar a la descrita en el apartado 4.2 sobre el segmento inicial en las RNP approach (4.6 km de área primaria y 4.6 km de área secundaria). La diferencia es que el intermediate approach fix (IF) en este caso debe estar

localizado dentro del volumen de servicio de la señal de curso del localizador ILS y la distancia a la antena del localizador no debe ser superior a 46 km (25 NM).

## 5.2 Segmento intermedio

El segmento intermedio del ILS debe estar alineado con la trayectoria del localizador. Su longitud óptima es de 9 km (5 NM). La longitud mínima debe ser la suficiente para permitir la estabilización del avión con la trayectoria del localizador. La distancia máxima no suele superar los 46 km (25 N).

La zona primaria se determina al unir la zona primaria de aproximación inicial con la superficie de aproximación final en el punto FAP. En la interfaz con el segmento de aproximación inicial, el ancho de cada zona secundaria es igual a la mitad del ancho de la zona primaria. El ancho de la zona secundaria disminuye a cero en la interfaz con las superficies de aproximación final. Esto lo podemos ver ilustrado en las figuras siguientes:

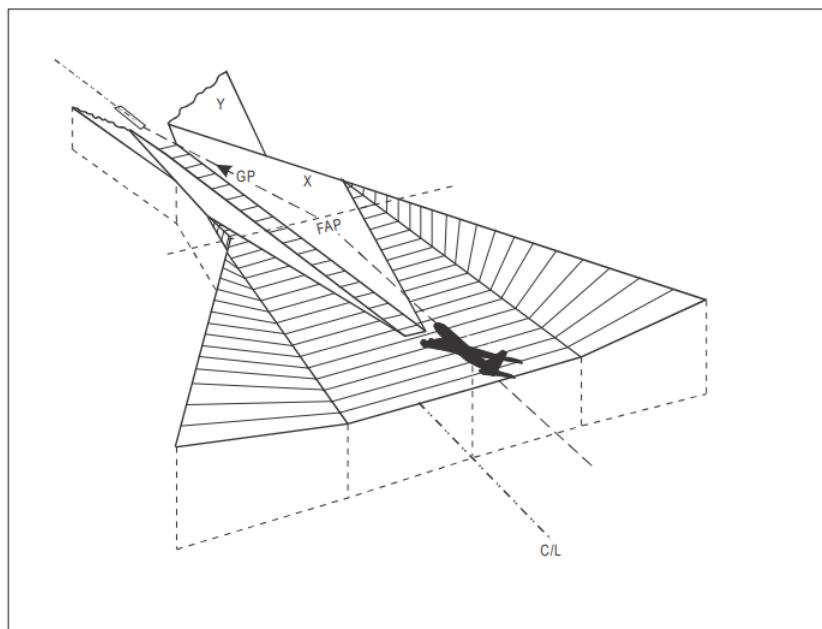


Figura 77: Segmento final del approach en ILS.

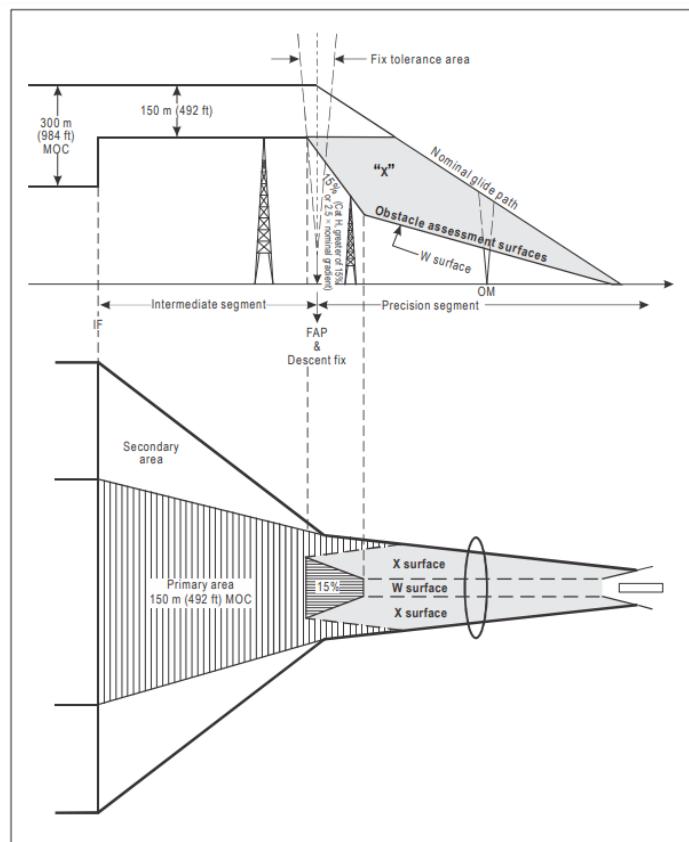


Figura 78: Segmento final del approach.

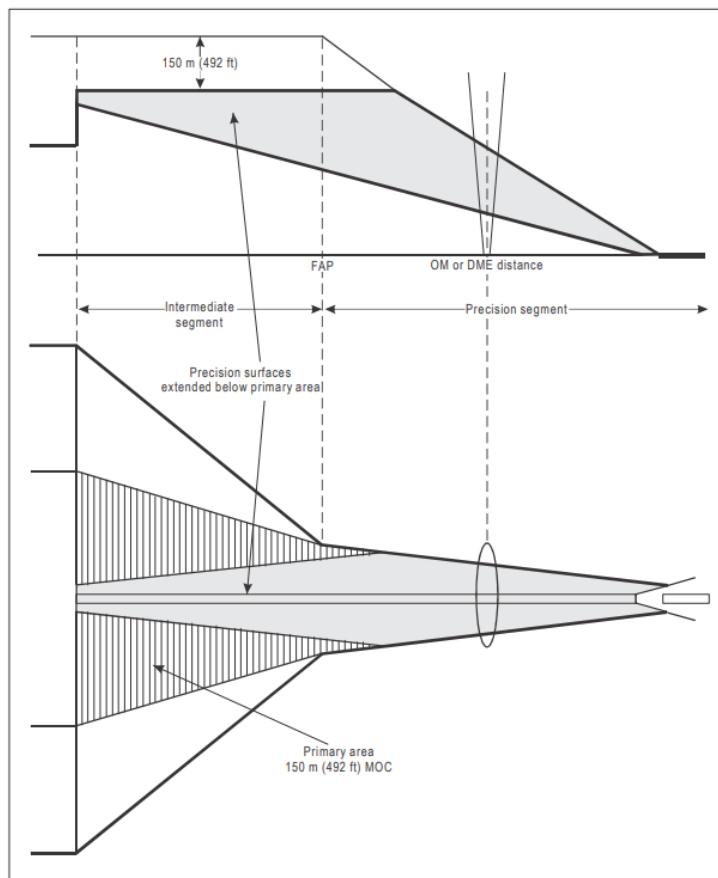


Figure II-1-1-3. Precision segment with no final approach fix

Figura 79: Segmento de precisión.

El espacio libre de obstáculos es igual que el definido en el apartado 4.5, que es de 150 metros en el área primaria y en el área secundaria decrece de 150 metros hasta 0.

### 5.3 Segmento de precisión

El segmento de precisión debe estar alineado también con la trayectoria del localizador y contiene el descenso final para el aterrizaje y las fases iniciales e intermedia del missed approach. Este segmento inicia en el FAP (final approach point), que es el punto de intersección del glide path y la altitud mínima especificada del segmento anterior. La distancia máxima de este punto al threshold no debe ser superior a 18.5 km (10 NM).

El glide path debe ser como mínimo  $2.5^\circ$ , máximo  $3.5^\circ$  y el óptimo es de  $3^\circ$ .

El punto de missed approach está definido por la intersección del glide path y la altitud de decisión (DH/A).

Finalmente en el missed approach el clima gradiente debe ser de 2.5 por ciento.

### 5.3 Diseño de la carta ILS

Para el diseño de la carta de ILS hemos aprovechado la carta que ya tenemos actualmente, donde el procedimiento hasta el IF es el mismo, usando las mismas mínimas (OCA/H) ya calculadas, un glide path de 3°, la misma posición del FAP y el mismo missed approach. La diferencia será que se elimina el IAF de Vilafranca y debemos hacer una carta que lleve a los aviones del IAF nuevo (GAMMA) hasta el IF usando radiales VOR y arcos DME como radioayudas. En la imagen siguiente podemos ver ilustrado lo que debemos hacer:

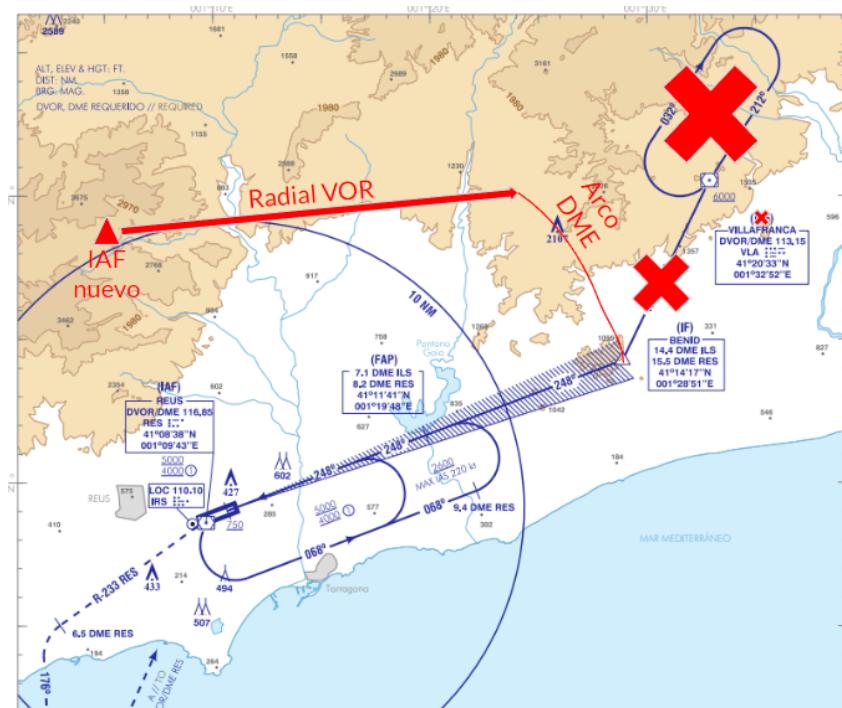


Figura 80: Cambios a realizar en la carta ILS.

Seguimos el radial VOR de VLA hasta llegar al arco DME que nos permite llegar al IF Benid. Para todo esto debemos tener en cuenta también las distancias de estabilización necesarias para realizar todos los giros.

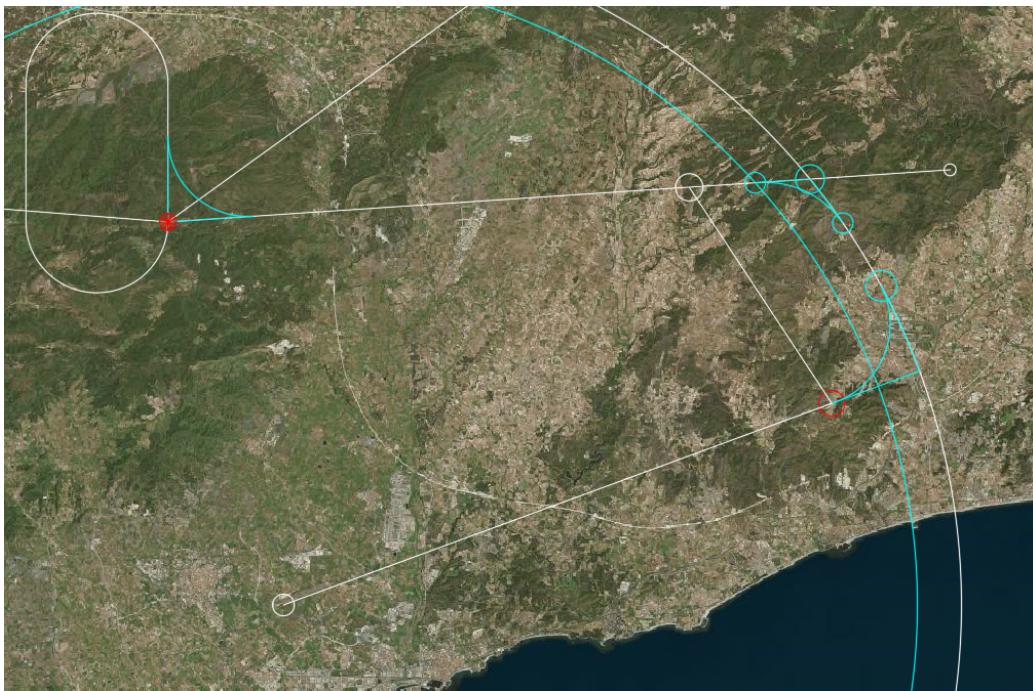


Figura 81: Diseño de la carta ILS en Autocad.

En la imagen de autocad todas las distancias de estabilización están marcadas en azul cyan. Como podemos ver en la figura superior, para salir del holding hay que dejar una distancia de estabilización correspondiente para un giro de  $85^\circ$  que son 4.2 km según la tabla III-2-1.3. La distancia de estabilización del giro que hay que hacer del radial VOR hasta el arco DME es de 2.7 km, ya que es un giro de unos  $55^\circ$ . Finalmente la distancia que hay que dejar entre el largo y el radial VOR Reus de  $68^\circ$  es de 4.6 km ya que el giro es prácticamente de  $90^\circ$ .

Para salir del holding, hay que marcar que el giro debe empezar cuando se encuentre a una distancia al DME de Reus de 23.7 Km (12.8 NM). Seguidamente hay que seguir el radial VOR de Vilanova de  $266^\circ$  hasta llegar a una distancia del DME de Reus de 16.8 NM, donde allí hay que empezar un giro para alcanzar el arco DME de Reus de 18 NM. Hay que seguir el arco hasta que el radial del VOR de Reus sea de  $62^\circ$ , que entonces hay que realizar un giro y llegar al IF, donde allí ya empieza el segmento intermedio siguiendo el radial de  $68^\circ$  al VOR de Reus. El resto de la aproximación, como ya hemos comentado, es idéntica a la ya publicada. Quedaría una aproximación como la siguiente:

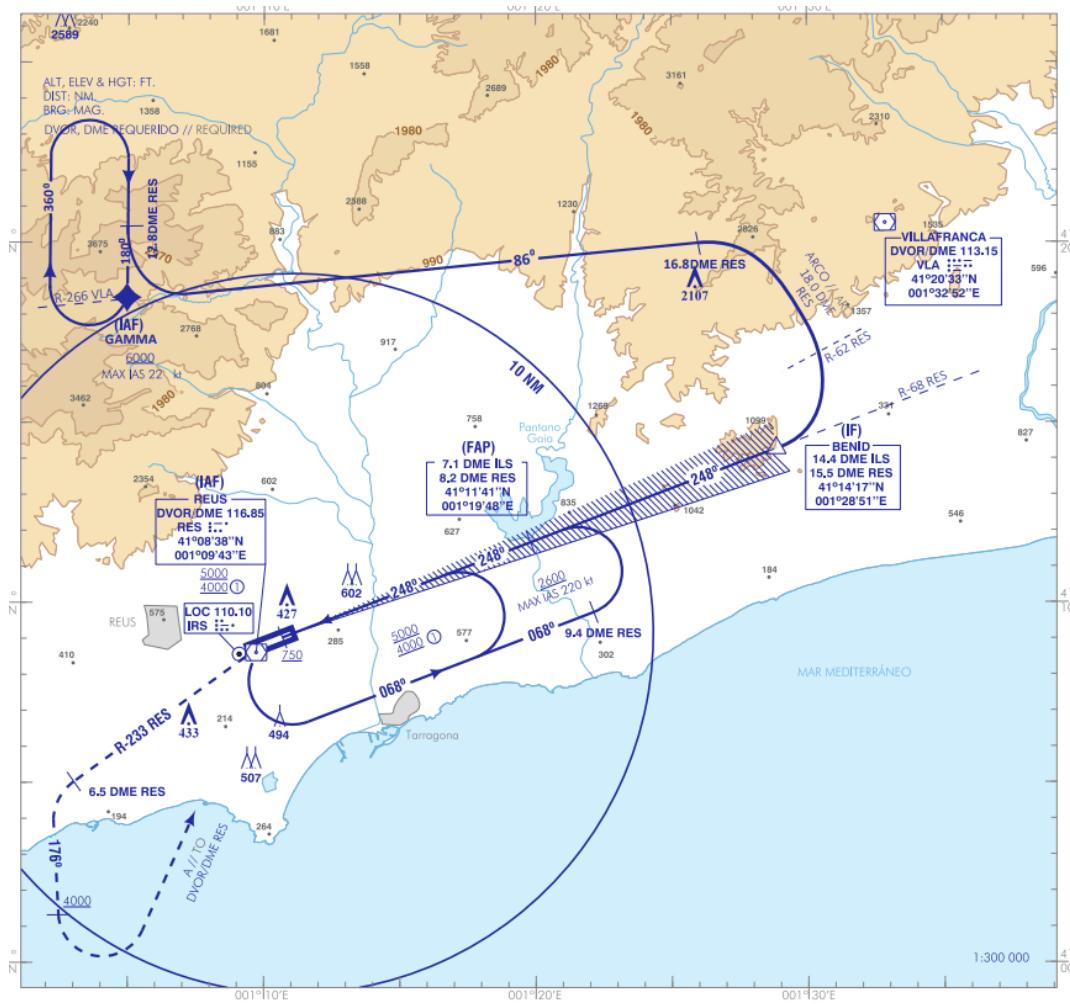


Figura 82: Carta final de la aproximación ILS RWY25.

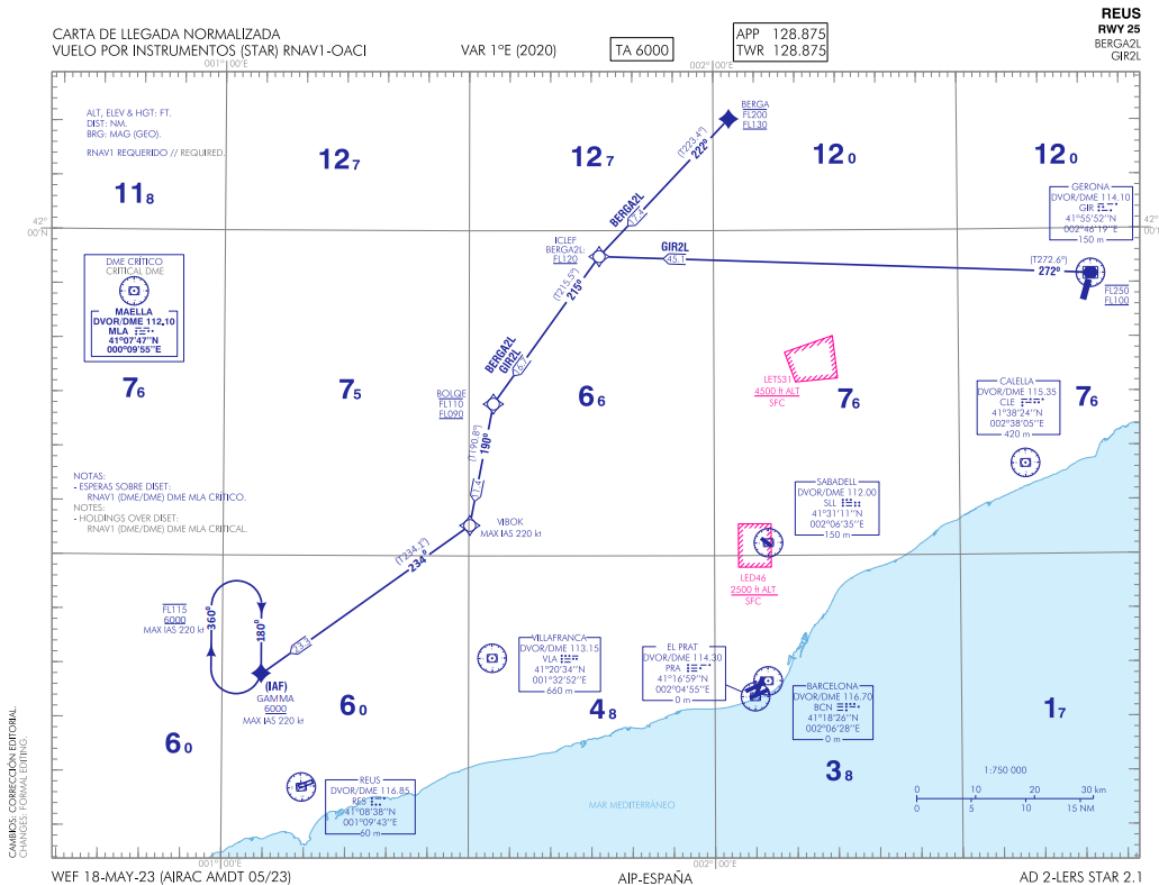
## 6. BIBLIOGRAFÍA Y HERRAMIENTAS

1. ICAO PANS-OPS (Procedimientos Operacionales Estándar de la OACI) Vol. 1 (2018).  
[https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod\\_folder/content/0/ICAO\\_PANS\\_OPS\\_8168\\_vol1\\_2018.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod_folder/content/0/ICAO_PANS_OPS_8168_vol1_2018.pdf)
2. ICAO PANS-OPS (Procedimientos Operacionales Estándar de la OACI) Vol. 2 (2018):  
[https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod\\_folder/content/0/ICAO\\_PANS\\_OPS\\_8168\\_vol2\\_2018.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod_folder/content/0/ICAO_PANS_OPS_8168_vol2_2018.pdf)
3. ICAO PBN Manual (Manual de Navegación Basada en el Rendimiento de la OACI) 9613 (2023).  
[https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod\\_folder/content/0/ICAO\\_PBN\\_manual\\_9613\\_2023.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod_folder/content/0/ICAO_PBN_manual_9613_2023.pdf)
4. EUR Doc 025 EUR RNP APCH GUIDANCE MATERIAL  
[https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod\\_folder/content/0/ICAO\\_RNP\\_APCH\\_Guidance\\_Material\\_2021.pdf](https://atenea.upc.edu/pluginfile.php/5695276/mod_folder/content/0/ICAO_RNP_APCH_Guidance_Material_2021.pdf)
5. INSIGNIA  
<https://insignia.enaire.es/>
6. Radio Mobile  
[https://www.ve2dbe.com/rmonline\\_s.asp](https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp)
7. AIP ENAIRE  
<https://aip.enaire.es/AIP/#LERS>
8. Google Earth Pro  
<https://www.google.com/intl/ca/earth/about/versions/#earth-pro>
9. AutoCAD  
<https://www.autodesk.mx/education/students>
10. InkScape  
<https://inkscape.org/es/>

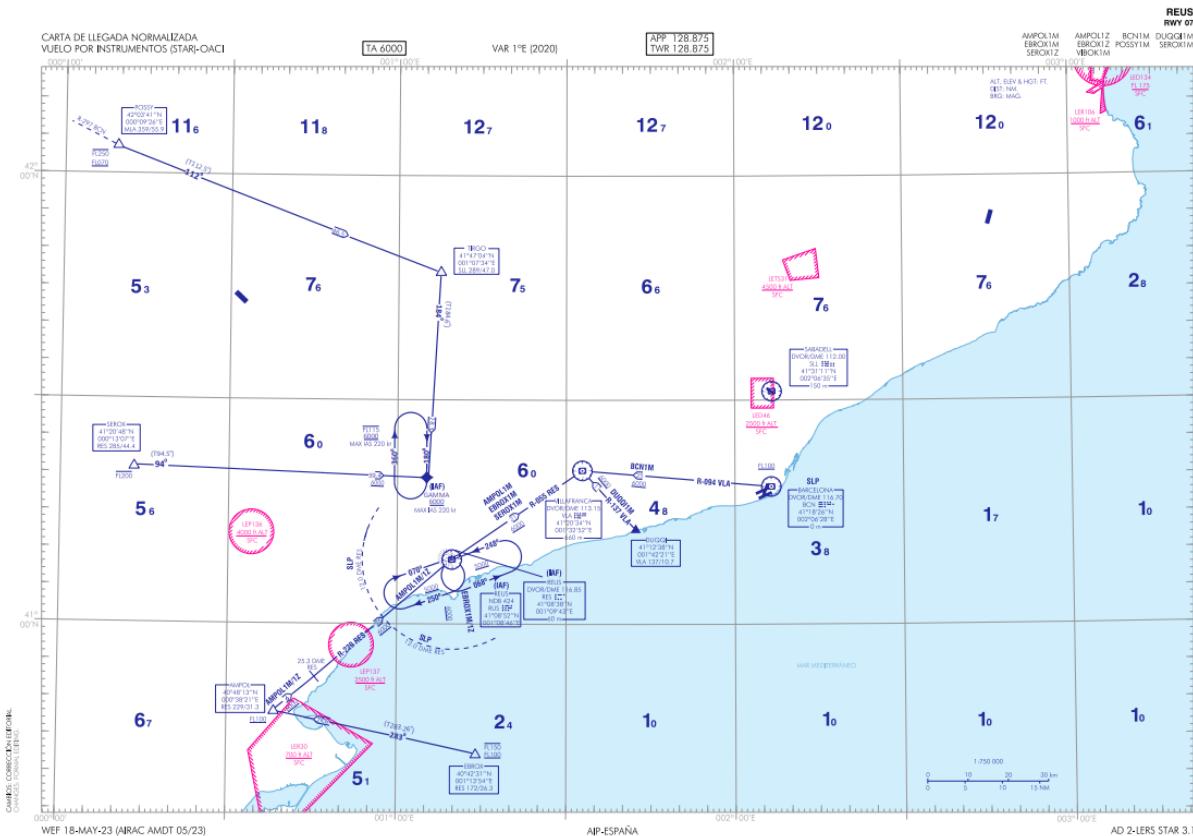
## **7. ANEXO**

A continuación se muestra el diseño final de las cartas STAR, RNP approach e ILS.

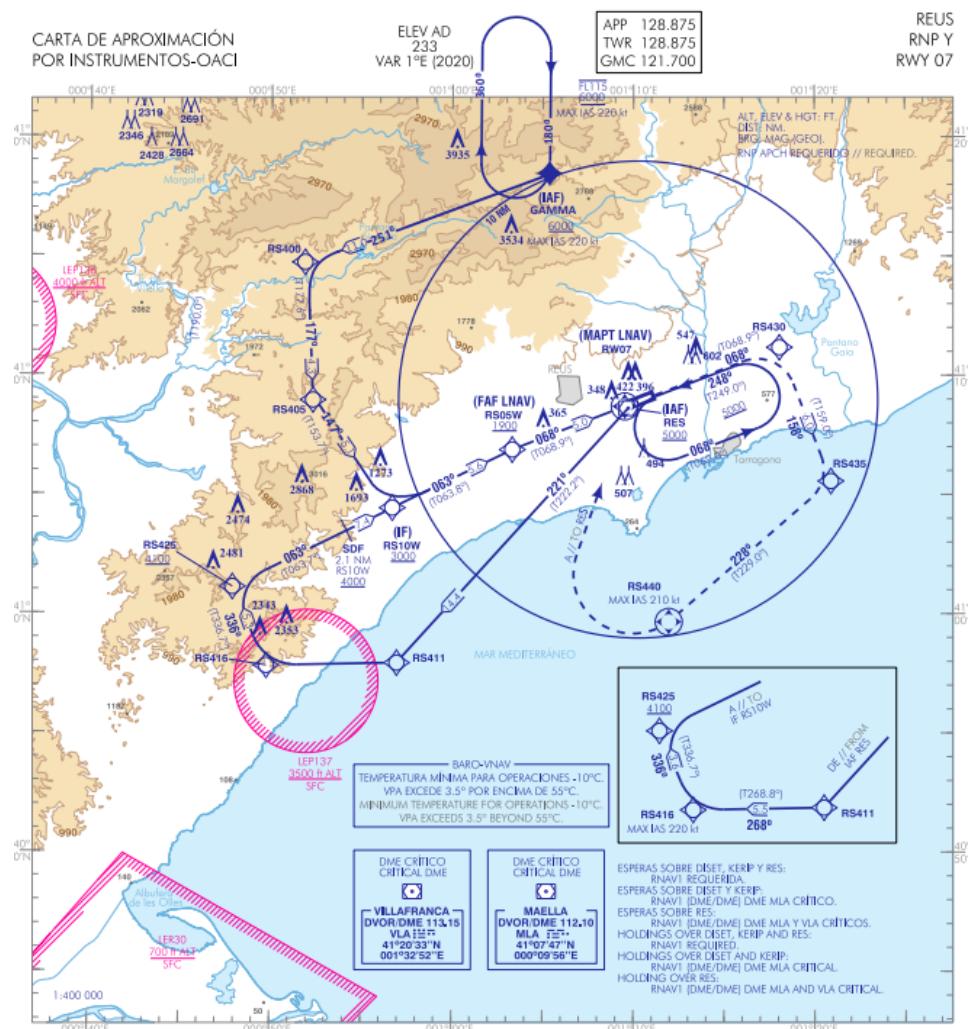
#### 1. STAR 1 RNAV RWY 25:



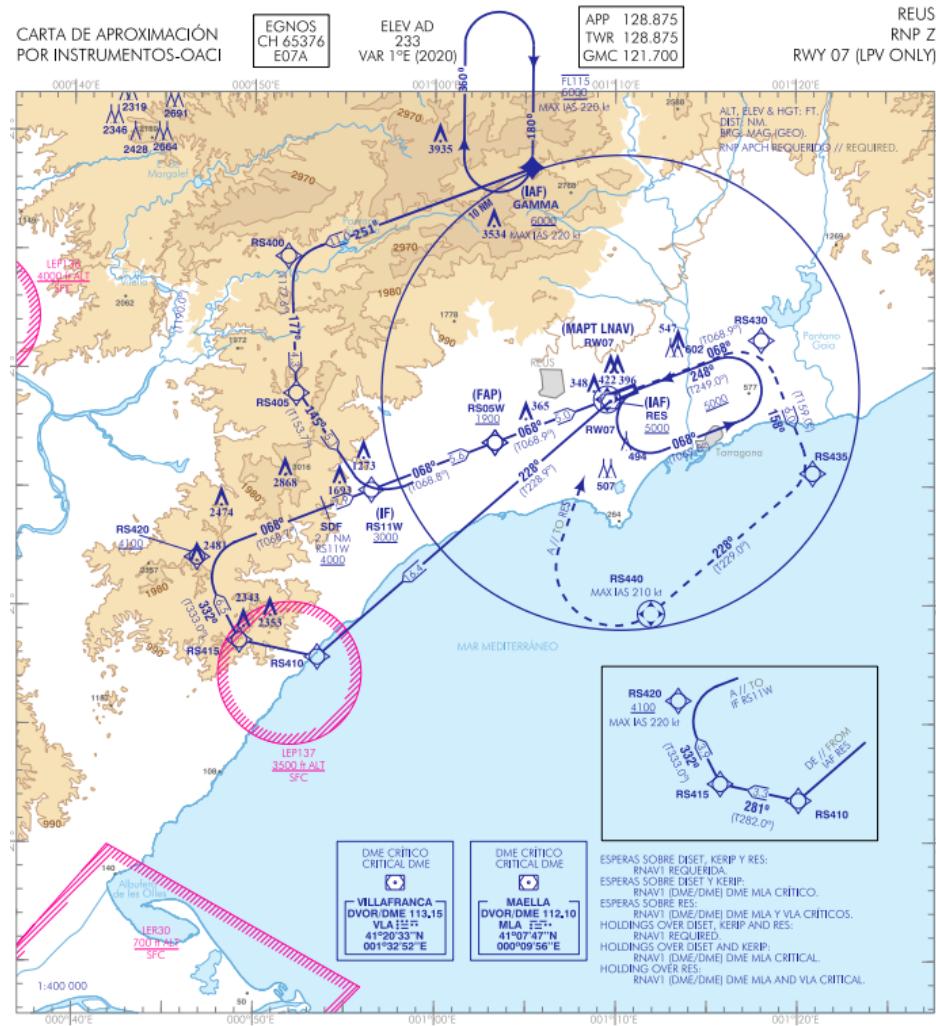
## 2. STAR 2 RNAV RWY 07:



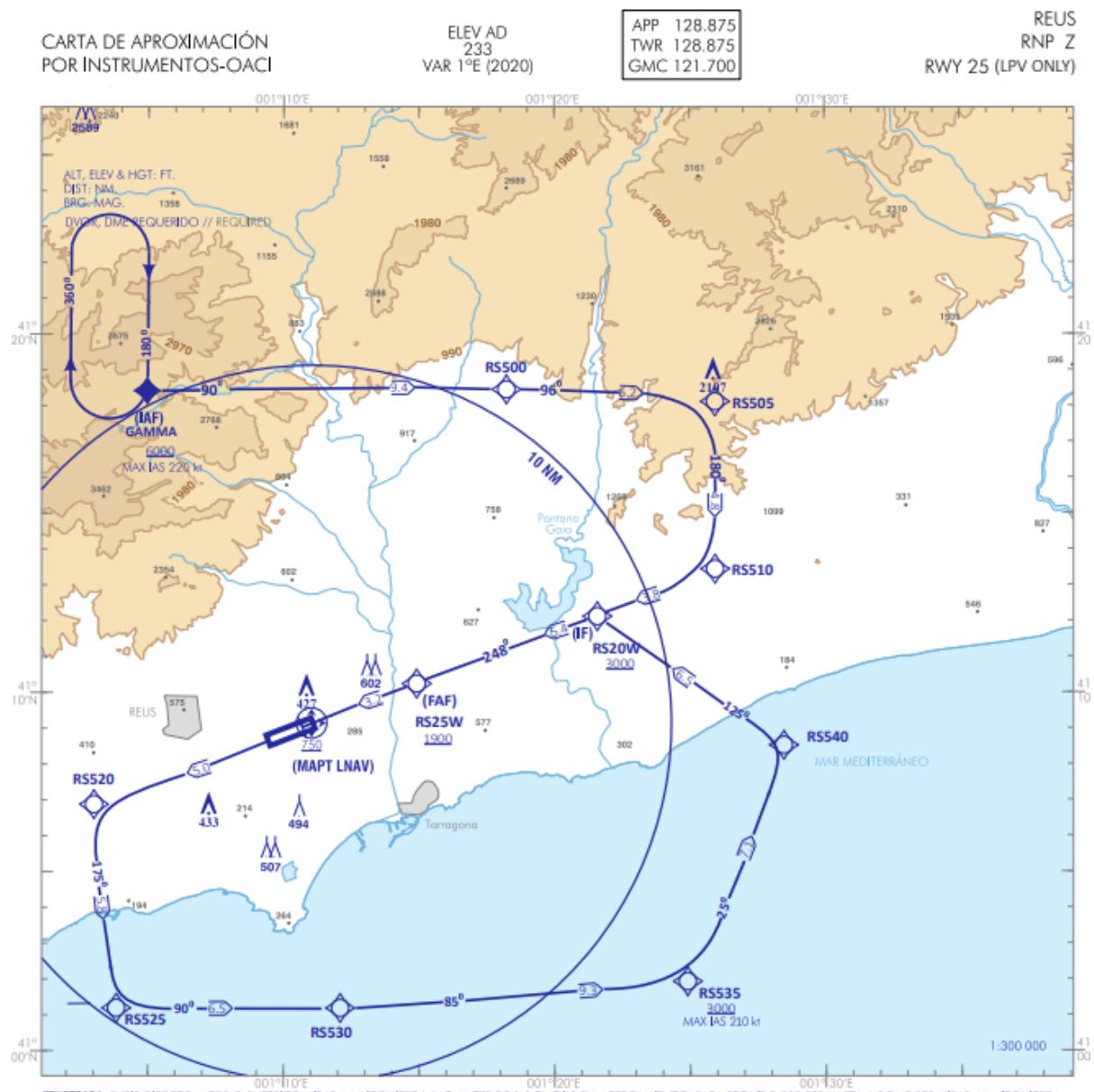
### 3. RNP APCH LNAV, LNAV/VNAV RWY07:



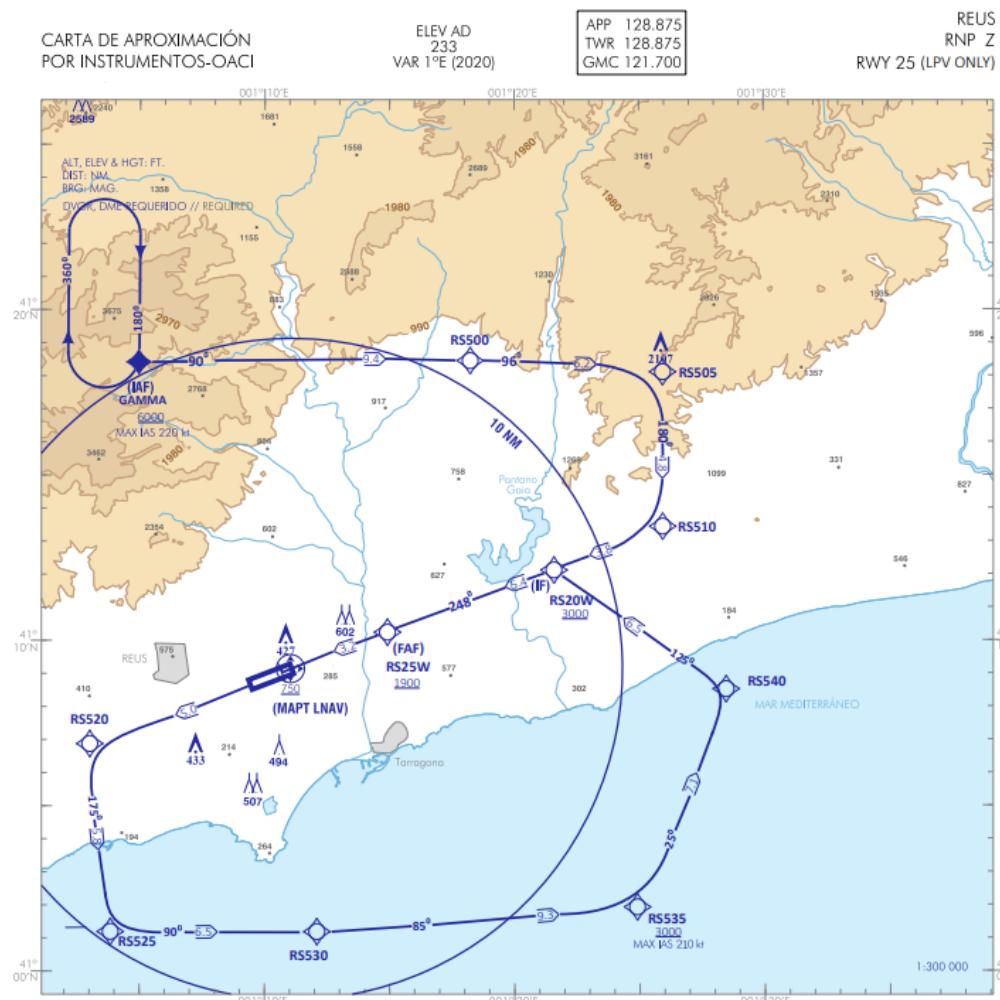
#### 4. RNP APCH LPV RWY07:



## 5. RNP APCH LNAV, LNAV/VNAV RWY25:



## 6. RNP APCH LPV RWY25:



## 7. ILS RWY25:

