



PROCEDIMIENTO DE APROXIMACIÓN GNSS AL AEROPUERTO DE CASTELLÓN



4º Ingeniería Aeroespacial

Alumno: Jose Ricardo García León

Tutor: Pedro Yuste Pérez

Cotutor: Israel Quintanilla García

Julio 2019

Agradecimientos

Pocas cosas en la vida pueden lograrse sin ayuda, y una ingeniería, especialmente ingeniería aeroespacial, no es una de ellas. Es por eso que con este trabajo, que se encarga de cerrar este ciclo, con estas últimas líneas escritas durante el grado, es momento de agradecer toda ayuda y todo apoyo que me han sido dados durante estos cuatro años.

Lo ideal es empezar dando las gracias a mi tutor, el Dr. Pedro Yuste Pérez, que ha hecho posible la elaboración de este proyecto. Gracias por hacer que la especialidad de aeronavegación haya sido tan interesante, pues pese a las reticencias con las que entré, me alegro de finalmente haber escogido esta rama. Gracias por haberme permitido hacer este proyecto contigo y por haberme guiado a lo largo de todo su desarrollo. Gracias por haber respondido todas mis preguntas y por ayudar con esa pasión y dedicación que tienes en lo concerniente a la navegación aérea. Tampoco puedo olvidarme de mi cotutor, el Dr. Israel Quintanilla García, que ha hecho que vea todas las cualidades de los sistemas RNAV, de nuevo con una pasión en las explicaciones que hacen que no puedas más que atender deseando saber cada vez más.

Cómo no, la familia tiene un lugar también reservado entre estas líneas.

Mamá, papá, yaya, gracias por haber aguantado mis cabreos o mis salidas de tono, por haber tenido siempre esas palabras de apoyo que lograban que siguiese adelante cuando todo estaba negro y yo no quería más que tirar la toalla. Gracias por haberme permitido hacer la carrera y haber aceptado todas las decisiones que he tomado, no ya a lo largo del grado sino durante toda mi vida, pues todas ellas han influido para llegar al punto en el que estoy.

Yayo, siento que solo me hayas acompañado el primer año de carrera y no me hayas visto acabarla, ni me hayas visto volar, pero gracias por todo lo que me diste en vida. Tanto que agradecer y tan pocas palabras con las que poder expresarlo, simplemente gracias.

Nada seríamos tampoco sin esa familia que sí escogemos, esos amigos que llevan años a tu lado y que pese a las discusiones que puedan aparecer, nunca se separan. Esta familia son Diego, Perrone y Dani. Amigos algunos desde el instituto y otros desde párvulos, amigos que nunca fallan y que te escuchan y comprenden. Gracias por apoyarme en esos momentos de estrés en los que la única solución que veía era abandonar el grado.

Por todo, por tanto, a tantos, muchas gracias.

Índice

PARTE I: Memoria del proyecto	7
1. Introducción	8
1.1. Contexto	8
1.1.1. Localización y áreas de influencia	8
1.1.2. Infraestructuras	8
1.1.3. Procedimientos existentes	9
1.1.3.1. Pista 06	9
1.1.3.2. Pista 24	10
1.2. Objetivos y motivación	10
2. Aproximación final	12
2.1. Definición	12
2.2. Datos iniciales	12
2.3. Puntos y constantes de las OAS	14
2.4. Dibujo de las superficies	15
2.5. Cálculo de la OCA	16
2.6. Posibilidad de APV I	20
2.7. Desplazamiento de umbral	21
2.8. Aumento del ángulo de descenso	21
3. Aproximación intermedia	22
3.1. Definición	22
3.2. Cálculo del FAP	23
3.3. Longitud y altitud de la aproximación intermedia	23
3.4. Área de protección	23
3.5. Unión con las superficies de aproximación final	25
3.6. Cálculo del IF	25
4. Aproximación inicial	26
4.1. Definición	26
4.2. IAF	26
4.3. Pendiente	26
4.4. Viraje	28
4.4.1. Distancia mínima de estabilización	29
4.5. Áreas de protección	31
4.5.1. Método de arco de círculo	31
4.6. Resultado	33
5. Aproximación frustrada	34

5.1.	Definición	34
5.2.	Fase inicial	34
5.2.1.	Cálculo del SOC	34
5.3.	Fase intermedia	35
5.3.1.	Áreas de protección	35
5.4.	Fase final	36
5.4.1.	Tramos horizontales	36
5.4.2.	Tramo ascendente	38
6.	Circuito de espera	40
6.1.	Definición	40
6.2.	Metodología	40
6.3.	Plantilla	41
6.4.	Área básica	43
6.5.	Área tope	46
6.6.	MOC	47
7.	Llegada	49
7.1.	Definición	49
7.2.	Diseño	49
7.2.1.	Aproximación a la llegada ya existente	49
7.2.2.	Llegada directa	51
7.3.	Áreas de protección	52
7.4.	Tramo nominal	52
8.	Circuito visual	54
8.1.	Definición	54
8.2.	Desarrollo	54
8.3.	Comparación de resultados	58
9.	Coordinación	60
9.1.	Salto de paracaídas	60
9.2.	Llegada desde SOPET	61
10.	Resumen procedimiento	63
10.1.	Puntos clave de la llegada	65
10.2.	Puntos clave de la aproximación	66
11.	Bibliografía	67
12.	Anexo	68
12.1.	Programa de MATLAB para calcular el obstáculo determinante	68
PARTE II: Pliego de condiciones		69
	Introducción	70

Trabajo Fin de Grado

Especificaciones de compatibilidad con los otros procedimientos	70
Especificaciones de sistemas en la aeronave	70
Especificaciones de diseño	70
Especificaciones de tráfico	71
PARTE III: Planos	72
Aproximación	73
Llegada	75
PARTE IV: Presupuesto	76
Introducción	77
Horas dedicadas	77
Amortización del equipo	77
Amortización del software	77
Resumen	78

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Vista aérea del aeropuerto de Castellón. Wikipedia	9
Ilustración 2. Medidas de la pista. Plan Director	9
Ilustración 3. Mapa LPV en Europa. EuroGA	10
Ilustración 4. Software PAN-OPS. Elaboración propia	13
Ilustración 5. Esquema de las OAS	15
Ilustración 6. OAS en planta para la pista 24. Elaboración propia	15
Ilustración 7. OAS de perfil para la pista 24. Elaboración propia	16
Ilustración 8. Plano W y obstáculo determinante. Elaboración propia	20
Ilustración 9. Áreas primaria y secundaria. OACI	22
Ilustración 10. Semianchura del área de protección. OACI	24
Ilustración 11. Tramo intermedio vista de perfil. Elaboración propia	24
Ilustración 12. Tramo intermedio vista de planta. Elaboración propia	24
Ilustración 13. Unión tramo final e intermedio. Elaboración propia	25
Ilustración 14. IF e IAF. Elaboración propia	28
Ilustración 15. IF e IAF con el WP 1 establecido. Elaboración propia	29
Ilustración 16. Distancias mínimas de estabilización para 25° de inclinación lateral. OACI	30
Ilustración 17. Distancia de estabilización. Elaboración propia	30
Ilustración 18. Esquema arco de círculo. Elaboración propia	32
Ilustración 19. Superficies de protección de la aproximación inicial. Elaboración propia	33
Ilustración 20. Unión de las superficies de las aproximaciones inicial e intermedia. Elaboración propia	33
Ilustración 21. Fase intermedia de perfil. Elaboración propia	35
Ilustración 22. Superficies de protección de frente. Elaboración propia	36
Ilustración 23. Método de espirales de viento. Elaboración propia	37
Ilustración 24. Método de círculos limitadores. Elaboración propia	37
Ilustración 25. Método arco de círculo. Elaboración propia	38
Ilustración 26. Tramo nominal de la aproximación frustrada. Elaboración propia	39
Ilustración 27. Plantilla en sucio. Elaboración propia	42
Ilustración 28. Plantilla en limpio. Elaboración propia	43
Ilustración 29. Área de tolerancia. Elaboración propia	44
Ilustración 30. Área básica en sucio. Elaboración propia	45
Ilustración 31. Área básica en limpio. Elaboración propia	45
Ilustración 32. Área básica con áreas tope. Elaboración	46
Ilustración 33. Representación del circuito de espera en Google Earth. Elaboración propia	47
Ilustración 34. Llegada para una situación de tráfico abundante. Elaboración propia	50
Ilustración 35. Combinación de la llegada con el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia	50
Ilustración 36. Llegada directa. Elaboración propia	51
Ilustración 37. Combinación de la llegada directa con el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia	52
Ilustración 38. Llegada con sus áreas de protección en planta. Elaboración propia	53
Ilustración 39. Áreas de protección de la llegada vistas de frente. Elaboración propia	53
Ilustración 40. Circuito visual para categoría A. Elaboración propia	56
Ilustración 41. Circuito visual para categoría D sin MOC. Elaboración propia	57
Ilustración 42. Circuito visual para categoría D con MOC aplicado. Elaboración propia	57

Trabajo Fin de Grado

Ilustración 43. Restricción del circuito en visual. STAR LECH RWY 24 del AIP	58
Ilustración 44. Protección del circuito visual aplicando las restricciones. Elaboración propia	59
Ilustración 45. Intersección de la delta LED108 con la aproximación frustrada y la llegada. Elaboración propio	60
Ilustración 46. Extracto de la descripción de la delta de Castellón. AIP.....	61
Ilustración 47. Combinación de la llegada desde SOPET con las aproximaciones y el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia	62
Ilustración 48. Superficies de protección de la aproximación en perspectiva. Elaboración propia.....	63
Ilustración 49. Tramo nominal de la aproximación en planta. Elaboración propia.....	64
Ilustración 50. Tramo nominal de la aproximación en perspectiva. Elaboración propia	64
Ilustración 51. Perfil de elevación de la aproximación. Elaboración propia	65
Ilustración 52. Definición de los parámetros de las OAS. Elaboración propia.....	68
Ilustración 53. Lectura del Excel con la información de los obstáculos. Elaboración propia	68
Ilustración 54. Cálculo de las alturas de las OAS de cada superficie. Elaboración propia ...	68

PARTE I:
Memoria
del
proyecto

1. Introducción

1.1. Contexto

1.1.1. Localización y áreas de influencia

El Aeropuerto de Castellón, cuyo código OACI es LECH, es un aeropuerto de clave 4D que se encuentra al este de la localidad de Benlloch. Este aeropuerto también recibe el nombre de Castellón-Costa Azahar.

El aeropuerto se encuentra a 30 km al Norte de Castellón de la Plana. La CV-13 conecta el aeropuerto con la CV-10, y esta a su vez conecta con las carreteras principales de la comunidad valenciana, la autovía AP-7 y la nacional N-340, las cuales recorren la costa mediterránea.

El principal argumento de los opositores a la construcción del aeropuerto es que está a menos de 15 minutos de vuelo del aeropuerto de Reus (al Norte) y del aeropuerto internacional de Valencia, los cuales tienen un historial de manejo de tráfico importante y bastante arraigado, lo que ha provocado que el aeropuerto en cuestión haya tenido muy difícil comenzar a operar vuelos. Sin embargo, algunas compañías como Ryanair han empezado a realizar vuelos desde este punto, ya que es un aeropuerto secundario que tiene unas tasas bajas y que sin embargo está a poca distancia de núcleos turísticos importantes como Peñíscola.

El área de influencia aérea se define como aquella zona geográfica donde se ubican los aeropuertos con los que estará unido mediante vuelos el futuro aeropuerto de Castellón.

Existe un mercado emergente dominado principalmente por países del Este en vías de Desarrollo como Polonia que en los últimos años ha ampliado el mercado potencial del turismo de la zona (aeropuertos como Reus comienzan a tener vuelos frecuentes con países como Ucrania). Esto ha hecho que el área de influencia haya aumentado a un círculo centrado en LECH con un radio de 2.000 millas náuticas.

1.1.2. Infraestructuras

Actualmente, el aeropuerto cuenta con una sola pista de orientación 06/24. La pista, de pavimento asfáltico, tiene unas dimensiones de 2700 x 45 m.

Tiene márgenes de 7.5 m a cada lado, una franja de 150m y una RESA en cada extremo de la pista de 90m de longitud. También cuenta con un CWY y un SWY de 70m de longitud en cada extremo de la pista.

En cuanto a su uso, la pista 06 es apta para aproximaciones instrumentales de precisión CAT I, mientras que la pista 24 es apta para aproximaciones únicamente mediante radiobalizas VOR.



Ilustración 1. Vista aérea del aeropuerto de Castellón. Wikipedia

Distancias declaradas	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
Pista 06	2700	2770	2770	2700
Pista 24	2700	2770	2770	2700

Ilustración 2. Medidas de la pista. Plan Director

Actualmente no cuenta con una calle de acceso a la cabecera 24, sino que en ese extremo tiene una raqueta normalizada que permite a las aeronaves girar 180°, como se puede observar en la ilustración 1. Sin embargo, en el plan director se plantea la construcción de una calle de rodaje paralela para aumentar la capacidad de la pista en caso de que fuese necesario.

Cuenta con una plataforma de estacionamiento de aeronaves de 70.000 metros cuadrados. Sin embargo, la existencia de un puesto de estacionamiento aislado es obligatoria en aeropuertos internacionales y es algo con lo que no cuenta en la actualidad. Por ello, al menos dentro del ámbito del Desarrollo Previsible del Aeropuerto de Castellón, se ha planificado que en un futuro se haga una calle de rodaje desde la plataforma cuya longitud sea tal que permita que el avión que allí se detenga permanezca a más de 100 metros de cualquier objeto, tal y como exige la normativa.

La terminal consta de dos plantas. La planta baja incluye una zona pública (80 %) con superficies de llegadas y salidas, de circulaciones y comercial; y una zona restringida. La planta superior está dedicada a zona de embarque, además de diversas estancias polivalentes que pueden servir para actos tales como exposiciones.

1.1.3. Procedimientos existentes

1.1.3.1. Pista 06

Esta pista es la pista preferente, y es por ello que es la que tiene sistemas de aproximación más avanzados y sofisticados. Estos procedimientos de aproximación son por ILS y por VOR.

1.1.3.2. Pista 24

Esta pista tiene únicamente el procedimiento de aproximación mediante VOR, es por ello que se ha elegido esta pista para implementar el sistema SBAS.

1.2. Objetivos y motivación

El objetivo de este trabajo es diseñar una aproximación SBAS para la pista 24 del aeropuerto de Castellón con el objetivo de modernizar los procedimientos de dicho aeropuerto. Para diseñar la aproximación se han seguido todas las pautas indicadas en el documento 8168 de la OACI, a la par de que se ha asegurado de que se cumplen los requisitos mínimos señalados por el mismo documento.

Se ha decidido una aproximación SBAS porque en primer lugar abarata en un porcentaje considerable el costo de las instalaciones para aproximaciones al aeropuerto. Mientras que en el ILS puede haber un desembolso de en torno al millón de euros, el sistema SBAS requiere únicamente que la aeronave esté habilitada para emplear dicho sistema, obviando el coste de lanzamiento de los satélites. En segundo lugar, únicamente se tarda el tiempo que cueste diseñar la aproximación, no hay que realizar ninguna instalación en el aeropuerto, por tanto, es otra ventaja.

Aparte del hecho del precio del SBAS, cabe decir que actualmente el SBAS es el sistema de aproximación del futuro, es decir, que es de lo mejor en relación precisión-precio que se puede encontrar en el mercado, y si no aparece ningún sistema que lo supere, este sistema será el reinante en todos los aeropuertos. En la ilustración 3 se ve el mapa de aeropuertos de Europa en los que hay instalados sistemas LPV (Verde) y en los que aún no hay pero está planeada su instalación (amarillo).

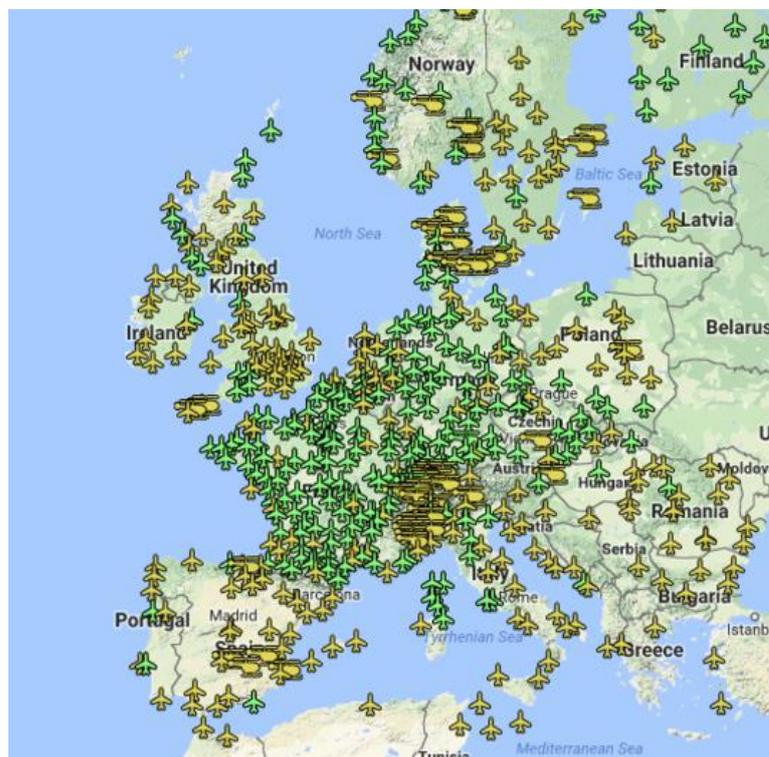


Ilustración 3. Mapa LPV en Europa. EuroGA

Se ha calculado cuántos días al año se usa la pista 24 a causa de los vientos. Para ello, se ha empleado el método de la rosa de los vientos con los datos por el ministerio de Fomento en el plan Director. Como resultado se ha obtenido que el 15% de los días del año no se puede utilizar la pista 06 a causa de los vientos, lo que justifica el diseño de un sistema SBAS en la otra pista, de forma que puedan aterrizar más aviones a cambio de una mínima inversión.

A lo largo del trabajo, en lo respectivo a la toma de decisiones, me he decantado en todo momento por favorecer el ahorro de tiempo y combustible, en establecer rutas directas y evitar trayectorias con rodeos. Esto es posible porque el aeropuerto de Castellón tiene muy poco tráfico, por tanto, la coordinación no es un problema. En caso de que en un futuro el número de tráfico aumentase, se han establecido, en los diversos tramos de la aproximación y en la llegada, opciones alternativas para favorecer que los controladores puedan reducir su carga de trabajo y abarcar más vuelos.

El trabajo se ha planteado como si se realizase el procedimiento para un aeropuerto de nueva construcción, es decir, uno que no tenga ningún otro procedimiento existente. Es por ello que se ha comenzado por la aproximación final, continuando con la intermedia y finalizando con la inicial, para después ya realizar los tramos restantes. Si bien es cierto que se ha hecho así para simular que no existiese ningún procedimiento alternativo, todo se ha calculado con la idea de que el IAF se posicionase en el mismo punto que el IAF del procedimiento VOR para que no hayan conflictos. Resumiendo, se ha realizado todo el diseño simulando que no existiese ningún procedimiento alternativo, pero sabiendo que el tramo inicial ha de iniciarse en el mismo punto que el mismo tramo en el procedimiento VOR.

Para el diseño del trabajo se ha empleado el software de dibujo AutoCad, el entorno de programación MATLAB y programas Office como Excel y Word para el cálculo y la redacción.

2. Aproximación final

2.1. Definición

La aproximación final es el último tramo de la aproximación. Una vez la aeronave inicia el tramo de la aproximación final ya ha de tener la configuración de aterrizaje, entendiendo ésto como tren desplegado, flaps desplegados, velocidad reducida, alineación con la pista completa y ángulo de ataque establecido para lograr la senda de descenso promulgada para la pista en la que se quiere aterrizar.

La aproximación final está comprendida entre el FAP y un tramo después del inicio de frustrada. Está protegida mediante 6 superficies diferentes para el caso del APV II, que son las superficies W, X, X*, Y, Y* y Z, conocidas como las OAS. Decir que la aproximación está protegida significa que hay una especie de canal conformado por las superficies, que garantiza que mientras la aeronave se encuentre volando dentro de sus límites, no se va a topar con ningún obstáculo que pueda poner en peligro la operación que se está llevando a cabo.

En función de los obstáculos que penetren en las superficies, se define la altitud mínima a la que podrá descender la aeronave sin tener visibilidad de la pista. Si alcanzada dicha altitud, el piloto sigue sin tener visibilidad directa de la pista, procederá a frustrar el aterrizaje y seguirá las directrices de frustrada indicadas en la carta de aproximación a la pista según el procedimiento de aterrizaje escogido.

Durante el inicio de la frustrada, la operación también se encuentra protegida por las OAS, pues los obstáculos que aquí se puedan encontrar también influyen en la altitud mínima durante el aterrizaje, garantizando que la aeronave sea capaz de esquivarlos al frustrar siempre que siga la pendiente mínima indicada en la carta antes mencionada.

Las superficies que protegen la aproximación final dependerán del procedimiento de aterrizaje escogido, pudiendo éstas ser más o menos restrictivas en función de la precisión con la que la aeronave sea capaz de volar.

En los siguientes puntos se muestra el procedimiento estipulado que se ha de seguir para obtener la aproximación final y las superficies que la protegen. Todos estos pasos se encuentran en el documento 8168 de la OACI.

2.2. Datos iniciales

Para calcular la superficie de aproximación final son necesarios una serie de datos que condicionan los parámetros que se han empleado para calcular dichas superficies.

La elevación del umbral se ha obtenido en “Datos del aeródromo” dentro del AIP de Enaire. La elevación del umbral de la pista 24 es de 360 m.

El ángulo de la trayectoria de planeo es el definido como óptimo por la OACI, cuyo valor es de 3°.

Se ha de determinar una distancia Localizador-Umbral, pero puesto que se trata de un procedimiento SBAS sin que ya exista un localizador, esta distancia queda al criterio del diseñador. Con una longitud de pista de 2700 m, se ha estimado que añadiendo 305 m adicionales sería una buena estimación, por ende, la distancia LOC-THR es de 3005 m.

Como anchura de rumbo y como RDH se han tomado los valores genéricos de 210 m y 15 m respectivamente.

Para la pendiente de frustrada también se ha tomado la óptima definida por la OACI, cuyo valor es de 2.5%.

La categoría de aeronave varía de A a D para tener completa la tabla a publicar. En la tabla 2.2-I se tienen resumidos todos los datos iniciales

Tabla 2.2-I

Elevación THR (m)	Ángulo GP (°)	Distancia LOC/THR (m)	Anchura Rumbo (m)	RDH (m)	Pendiente Frustrada (%)	Categoría
360	3	3005	210 m	15	2.5	A/B/C/D

Todos estos datos se introducen en el software de PAN-OPS, el cual permite calcular las constantes de las OAS y las coordenadas de los puntos que las delimitan. El programa tiene la apariencia que se ve en la ilustración 4.

The screenshot shows the PAN-OPS software interface with the following sections:

- DATOS DE AYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN:**
 - Categoría de aproximación: APV II
 - GP/VPA (°): 3
 - Dist LOC THR (1): 3005 m
 - RDH: 15 m
 - Anchura del rumbo en el THR: 210 m
- DATOS DE AERONAVE:**
 - M/App CG (%): 2.5
 - CAT: A
 - STD:
 - Semienvergadura: 30 m
 - GP Ruedas / Altura de antena: 6 m
- Constantes OAS:**

	A	B	C		A	B	C
W	0,028500	0,000000	-8,01	Y	0,023956	0,210125	-29,52
W	La superficie W APV no se aplica						
Z	-0,025000	0,000000	-26,32				
X	0,027689	0,182554	-24,73				
- Coordenadas de plantillas OAS-m (metros):**
 - Elevación THR:**

	X	Y
C	281	92
D	-133	155
E	-1052	260
 - Coordenadas superiores:**

	X	Y	Z
C*	10807	139	300
C**	Abajo la elevación del THR		
D*	5590	930	300
E*	-7883	1852	170
- Calculador de altura OAS:**
 - X: [] m
 - Y: [] m
 - Z: [] 0m

(1) Para MLS léase: "distancia entre la antena en azimut y el THR", para GBAS/APV léase: "distancia GARP-LTP".

Ilustración 4. Software PAN-OPS. Elaboración propia

2.3. Puntos y constantes de las OAS

Tras introducir los valores en el software de PAN-OPS, éste devuelve las coordenadas de los puntos que delimitan todas las OAS, y las constantes de las ecuaciones de los planos que conforman las superficies. Estas ecuaciones son las que posteriormente permiten detectar si determinados obstáculos penetran o no la superficie de protección.

Los resultados obtenidos se encuentran resumidos en las tablas que van desde la tabla 2.3-I hasta la tabla 2.3-IV

Tabla 2.3-I

	Constantes OAS CAT A/B		
	A	B	C
W	0.0285	0	-8.01
X	0.027689	0.182554	-24.73
Y	0.023956	0.210125	-29.52
Z	-0.025	0	-26.32

Tabla 2.3-II

	Coordenadas Puntos CAT A/B					
	C	D	E	C*	D*	E*
X	281	-133	-1052	10807	5590	-7883
Y	92	155	260	139	930	1852
Z	0	0	0	300	300	170

Tabla 2.3-III

	Constantes OAS CAT C/D		
	A	B	C
W	0.0285	0	-9.01
X	0.027689	0.182554	-26.18
Y	0.023956	0.210125	-31.19
Z	-0.025	0	-26.32

Tabla 2.3-IV

Coordenadas Puntos CAT C/D						
	C	D	E	C*	D*	E*
X	316	-133	-1052	10842	5590	-7849
Y	95	163	268	142	938	1852
Z	0	0	0	300	300	169

En la ilustración 5 se puede ver un esquema de cómo están posicionados estos puntos y las superficies en torno a la pista.

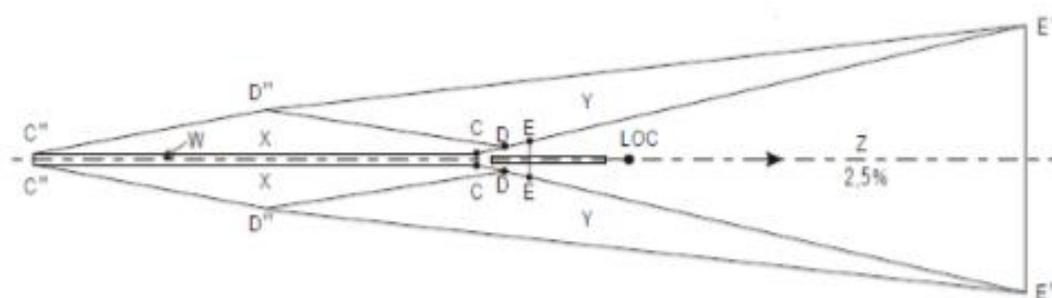


Ilustración 5. Esquema de las OAS

2.4. Dibujo de las superficies

Para representar las superficies se ha empleado AutoCad, cuyos resultados se han exportado a formato kml para poder ver los resultados en Google Earth.

En la ilustración 6 se pueden ver las superficies en planta. Los colores indican las diferentes superficies.

- Amarillo: Superficie W
- Rojo: Superficies X y X*
- Azul: Superficies Y e Y*
- Verde: Superficie Z

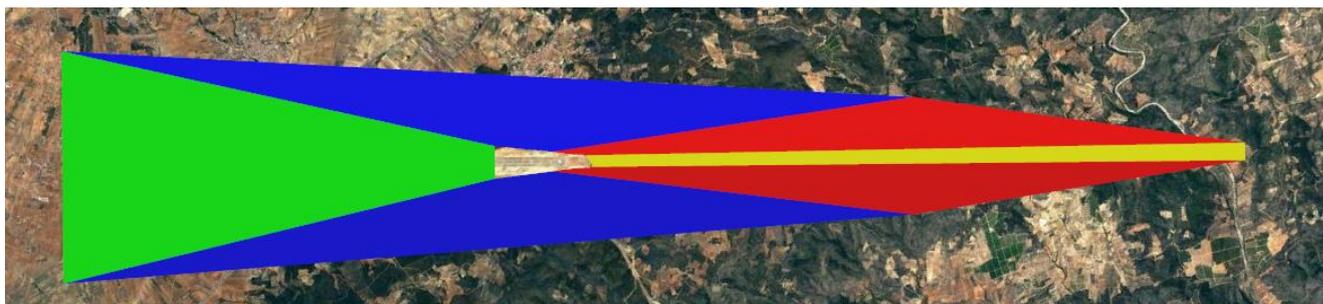


Ilustración 6. OAS en planta para la pista 24. Elaboración propia

En la ilustración 7 se pueden ver las superficies de perfil, si bien es cierto que solo es posible apreciar la inclinación relativa entre las diferentes superficies. La flecha roja indica la ubicación del umbral de la pista 24. Los colores indican lo mismo que en la imagen anterior.



Ilustración 7. OAS de perfil para la pista 24. Elaboración propia

2.5. Cálculo de la OCA

Se ha establecido un sistema de referencia propio cuyo origen se encuentra en el umbral de la pista 24. El eje X es coincidente al eje de la pista, pero en dirección contraria a ésta. El eje Z es perpendicular a la superficie terrestre, y finalmente se establece el eje Y perpendicular a ambos.

La lista de obstáculos del aeropuerto se encuentra en el AIP. Se ha descargado esta lista y se ha abierto con el Excel para poder tratar los datos y calcular con ellos la OCA.

Empleando las coordenadas de los obstáculos (Latitud y Longitud), se determinan sus coordenadas X, Y y Z para el sistema de referencia dado. Estas coordenadas pueden verse en la *Tabla 2.5-1*.

Es necesario recordar que la coordenada Z se ha obtenido como:

$$Z = \text{Elevación objeto} + \text{Altura objeto} - \text{Elevación umbral}$$

Una vez se han obtenido las coordenadas XYZ (Z es la altura del objeto), se ha de obtener la altura equivalente de obstáculo para aquellos obstáculos que se encuentran en la superficie de aproximación frustrada. Esto se realiza para ver como afectaría un objeto de dimensiones escaladas que estuviese bajo las superficies W o X. De esta forma es como se calcula la OCA necesaria para dicho objeto de frustrada.

Esta altura se calcula mediante:

$$h_a = \frac{h_{ma} \cot(Z) + (x_z + x)}{\cot(Z) + \cot(\theta)}$$

Donde:

h_a =Altura equivalente de obstáculo.

h_{ma} =Altura de obstáculo.

x_z =Distancia desde el umbral hasta el origen de la superficie Z (900 m).

θ =Ángulo de la trayectoria de planeo.

Z =Ángulo de la superficie de frustrada.

x =Distancia del obstáculo relativa al umbral.

Los resultados se encuentran en la *Tabla 2.5-1*.

Es preciso conocer también la altura de la OAS en esos puntos, para saber si la superficie es perforada o no por estos objetos. La altura de la OAS la proporciona directamente el programa al introducir las coordenadas X e Y del punto que se quiera conocer.

En el caso de Castellón se podrían meter uno a uno todos los obstáculos en el programa de PAN-OPS, pero si fuese otro aeropuerto que tuviese centenares de obstáculos, este método sería muy lento e improductivo. Por ello, se ha escrito un código en MATLAB que recoja las coordenadas X e Y del fichero Excel y calcule las OAS en esos puntos mediante las ecuaciones que tendrá al inicio del código.

Obviamente este programa habría que modificarlo para cada categoría de aeronave, para cada aeropuerto y para cada método de aproximación, estableciendo en cada caso las constantes de las ecuaciones que da el software de PAN-OPS.

El código de MATLAB puede verse explicado en el anexo.

Para saber si perfora o no, simplemente hay que mirar si la altura del objeto es mayor o menor a la altura de la OAS.

La altura de la OAS para cada punto se encuentra en la *Tabla 2.5-1*, al igual que se indica al lado si la superficie es perforada o no.

Con todos los pasos anteriores completados, solo resta calcular la OCA para cada uno de estos obstáculos. Para ello, se ha sumado un determinado valor a las altitudes de los objetos analizados, en función de si estamos tratando la aproximación para Categoría A (40 m), B (43 m), C (46 m) o D (49 m). Como se puede observar, se han empleado los márgenes para baroaltímetro, pues es más restrictivo que para radioaltímetro.

Tabla 2.5-1

OBSTÁCULO					Altura equiv. de Obstáculo	OAS A/B		Valor para OCA CAT A	Valor para OCA CAT B	OAS C/D		Valor para OCA CAT C	Valor para OCA CAT D
Nº	Elevación	x	y	z		Altura	¿Perfora?			Altura	¿Perfora?		
1	385	-1 118	-390	28	15	26	No	-	-	24	Sí	-	-
2	385	-1 118	-393	28	15	26	No	-	-	25	Sí	-	-
3	385	-1 104	-405	28	16	29	No	-	-	28	Sí	-	-
4	385	-1 104	-403	28	16	29	No	-	-	27	Sí	-	-
5	384	-101	-403	26	31	53	No	-	-	51	Sí	-	-
6	384	-1 101	-403	26	14	29	No	-	-	27	Sí	-	-
7	384	-1 121	-390	26	14	25	No	-	-	24	Sí	-	-
8	333	-2 435	-156	-26	-44	35	No	-	-	35	No	-	-
9	333	-2 436	-232	-26	-44	35	No	-	-	35	No	-	-
10	332	-2 504	-271	-27	-45	36	No	-	-	36	No	-	-
11	332	-2 604	-218	-27	-47	39	No	-	-	39	No	-	-
12	332	-2 554	-156	-27	-46	38	No	-	-	38	No	-	-
13	332	-2 657	-103	-26	-48	40	No	-	-	40	No	-	-

Trabajo Fin de Grado

14	333	-2 656	-86	-26	-47	40	Sí	-	-	40	Sí	-	-
15	333	-2 720	-86	-26	-48	42	No	-	-	42	Sí	-	-
16	335	-2 545	-34	-24	-44	37	No	-	-	37	Sí	-	-
17	349	-2 410	107	5	-22	34	No	-	-	34	Sí	-	-
18	336	-2 309	67	-23	-39	31	No	-	-	31	Sí	-	-
19	336	-2 309	59	-22	-39	31	No	-	-	31	Sí	-	-
20	337	-2 309	49	-22	-39	31	No	-	-	31	Sí	-	-
21	337	-2 309	40	-22	-39	31	No	-	-	31	Sí	-	-
22	347	-1 749	-80	-7	-19	17	No	-	-	17	Sí	-	-
23	357	-438	-38	-2	7	0	Sí	407	410	0	No	413	416
24	357	-438	-47	-2	7	0	Sí	407	410	0	No	413	416
25	357	-438	-56	-2	6	0	Sí	406	409	0	No	412	415
26	357	-438	-65	-2	6	0	Sí	406	409	0	No	412	415
27	361	61	-1	1	1	0	Sí	401	404	0	No	407	410
28	361	121	-1	2	2	0	Sí	402	405	0	No	408	411
29	363	194	-1	4	4	0	Sí	404	407	0	No	410	413
30	331	-2 092	-476	-21	-34	26	No	-	-	26	No	-	-
31	331	-2 128	-477	-18	-33	27	No	-	-	27	No	-	-
32	329	-2 647	-429	-27	-48	40	No	-	-	40	No	-	-
33	330	-2 647	-235	-26	-47	40	No	-	-	40	No	-	-
34	329	-2 648	-429	-28	-49	40	No	-	-	40	No	-	-
35	365	-2 569	-450	41	0	38	No	-	-	38	No	-	-
36	365	-2 462	-451	41	2	35	No	-	-	35	No	-	-
37	366	-2 355	-451	42	4	33	No	-	-	33	Sí	-	-
38	366	-2 248	-451	41	5	30	Sí	-	-	30	Sí	-	-
39	366	-2 141	-451	42	8	27	Sí	-	-	27	Sí	-	-
40	329	-2 558	-473	-20	-42	38	No	-	-	38	No	-	-
41	329	-2 513	-473	-20	-41	36	No	-	-	36	No	-	-
42	330	-2 393	-468	-16	-36	33	No	-	-	33	No	-	-
43	330	-2 299	-470	-16	-35	31	No	-	-	31	No	-	-
44	330	-2 376	-447	-21	-39	33	No	-	-	33	No	-	-
45	330	-2 365	-447	-21	-39	33	No	-	-	33	No	-	-
46	330	-2 347	-447	-21	-39	32	No	-	-	32	No	-	-

Trabajo Fin de Grado

47	330	-2 303	-468	-21	-38	31	No	-	-	31	No	-	-
48	333	-2 731	3	-26	-49	42	Sí	-	-	42	Sí	-	-
49	330	-2 648	-304	-27	-48	40	No	-	-	40	No	-	-
50	330	-2 648	-293	-28	-48	40	No	-	-	40	No	-	-
51	330	-2 648	-236	-27	-48	40	No	-	-	40	No	-	-
52	361	-474	80	7	12	0	Sí	412	415	0	Sí	418	421
53	368	421	-2	8	8	4	Sí	408	411	3	No	414	417
54	502	-2 211	-2 611	143	75	466	No	-	-	465	No	-	-
55	385	-1 118	-392	27	15	26	No	-	-	24	Sí	-	-
56	385	-1 118	-392	27	15	26	No	-	-	24	Sí	-	-
57	385	-1 124	-392	27	15	26	No	-	-	24	Sí	-	-
58	385	-1 124	-394	27	15	26	No	-	-	25	Sí	-	-
59	404	1 470	95	41	41	34	Sí	441	444	33	Sí	447	450
60	407	1 335	-216	62	62	52	Sí	462	465	50	Sí	468	471

De entre todas las OCAs calculadas, la que habrá que poner en la carta de aproximación es la más alta de todas, siendo en este caso la del objeto número 60, resultando en unas OCAs que se encuentran en la *Tabla 2.5-II*

Tabla 2.5-II

OCA/OCH (ft)	A	B	C	D
APV II	1516 / 335	1526 / 345	1536 / 355	1545 / 364

En la ilustración 8 se puede comprobar cuál es el objeto que provoca que sean éstos los mínimos. Este objeto es una montaña que se encuentra delante del umbral y que fue cortada para poder reducir los mínimos, si bien es cierto que si no se hubiesen cortado seguramente el aeropuerto no sería operativo. El objeto se encuentra debajo de la superficie X.

En la imagen aparece como que la montaña no penetra las superficies, pero hay que tener en cuenta dos cosas. La primera es que a la altura del objeto hay que sumarle 15 m de margen por vegetación, lo cual hace que la altura del obstáculo sí que penetre en la superficie. La segunda es que Google Earth es un programa que sirve de aproximación y orientación, pues la representación de la orografía que realiza no es fiable, sobretodo en lo concerniente a las alturas. Por ende, puesto que los resultados de los cálculos indican que dicho obstáculo interseca a las superficies, se ha tomado éste como el determinante.

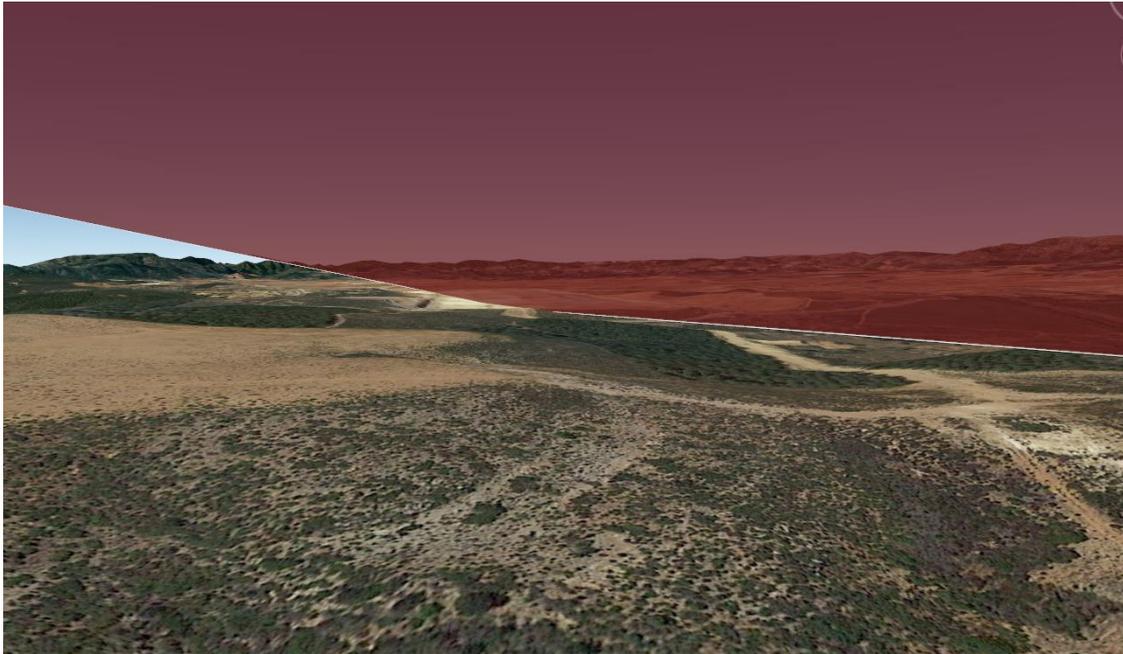


Ilustración 8. Plano W y obstáculo determinante. Elaboración propia

2.6. Posibilidad de APV I

Se contempló la posibilidad de implementar una aproximación APV I para lograr reducir los mínimos y poder por tanto permitir que un mayor número de aeronaves aterricen.

Para decantarse por el APV I los beneficios deberían compensar los gastos de implementación del APV I, no en el aeropuerto sino en las aeronaves que pretendan aterrizar en él. Esto se traduce en que los mínimos deberían ser suficientemente menores que con APV II como para permitir que en la mayor parte de los días en los que con APV II no se podría aterrizar por falta de visibilidad, sí que se pudiese con APV I.

Para ello se ha repetido todo el proceso realizado en este apartado: el cálculo de las constantes, de los puntos y de las OCAs. Como resultados se ha obtenido que el objeto determinante es el mismo, el objeto 60, que es la montaña que se encuentra justo delante de la cabecera de pista, concluyendo que los mínimos serían los mismos.

Es por ello que se descarta la posibilidad de emplear APV I, pues no ofrece ninguna ventaja operativa en lo concerniente a la aproximación en Castellón. Los requisitos de aterrizaje son por tanto los de APV II, que son más laxos.

2.7. Desplazamiento de umbral

Con el mismo objetivo de reducir los mínimos, se ha contemplado la posibilidad de desplazar el umbral de forma que el obstáculo determinante, la montaña, no penetre en las superficies. Se ha comprobado con un desplazamiento del umbral progresivo, empezando en 100 m y acabando en 300 m.

Con un desplazamiento del umbral de 300 m, el obstáculo ya deja de ser determinante y sería posible reducir los mínimos hasta los 1 350 pies para categoría A, lo cual siempre está mejor, pero la diferencia es muy pequeña, por ello también se ha descartado la posibilidad, pues tener que pintar en la pista el desplazamiento del umbral costaría tiempo y dinero, a la par que la pista tendría que estar cerrada durante el tiempo que estén los obreros en ella.

2.8. Aumento del ángulo de descenso

Este aumento es otro método para reducir los mínimos cambiando el objeto determinante. Si aumentando el ángulo de descenso se lograsen reducir los mínimos, sería interesante pues no implicaría ningún gasto adicional a la par que permite que un mayor número de vuelos aterrizasen en el aeropuerto.

Para ello, se ha ido aumentando el ángulo de descenso de decimal en decimal, comenzando en 3° y se ha ido comprobando mediante MATLAB si el objeto seguía penetrando la superficie de protección.

Tras alcanzar el máximo permitido por el software de PAN-OPS, 3.5°, se observa que el objeto aún penetra en las superficies, si bien es cierto que por muy poco. En caso de ser imperativo que los mínimos fuesen menores, el ángulo de la senda de planeo podría aumentar, siempre y cuando este aumento esté debidamente justificado ante la OACI. Puesto que en este caso no es necesario reducir los mínimos ni la pista es la principal, se descarta también es método de reducción de mínimos. Por tanto, los mínimos serían los mismos.

Si se hubiese dado el caso de que el objeto estuviese más alejado de la pista, habría sido posible esquivar el obstáculo con una mínima variación del ángulo de planeo, pero al estar tan cerca del umbral, estas ligeras variaciones apenas repercuten en el punto de la senda que se encuentra por encima del obstáculo.

3. Aproximación intermedia

3.1. Definición

La aproximación intermedia se encuentra comprendida entre los puntos IF y FAP. A lo largo de este tramo, el piloto tiene como objetivo establecer la configuración de aterrizaje en la aeronave, además de alinearse con la pista, de forma que lo único que tenga que hacer el piloto durante la aproximación final sea simplemente aterrizar la aeronave.

Puesto que el objetivo de este tramo es preparar la aeronave para aterrizar, preferentemente se tendrá una altitud constante, lo que permitirá que la aeronave pueda reducir velocidad de forma controlada.

Este tramo está protegido pues dos áreas de igual amplitud. Hay un área primaria y un área secundaria.

La primaria se encuentra justo debajo de del tramo nominal, y es la más restrictiva de las dos áreas a la par que su distancia vertical respecto al tramo nominal se mantiene constante.

El área secundaria se divide en dos, una a cada lado del área primaria. Este área tiene la misma distancia vertical respecto al tramo nominal que el área primaria en el borde en que ambas entran en contacto. Sin embargo, conforme el área secundaria se va alejando del eje por el que pasa el tramo nominal, su distancia vertical respecto a éste se va reduciendo hasta llegar a 0.

En la ilustración 9 se puede ver un esquema de cómo están distribuidas las áreas primaria y secundaria.

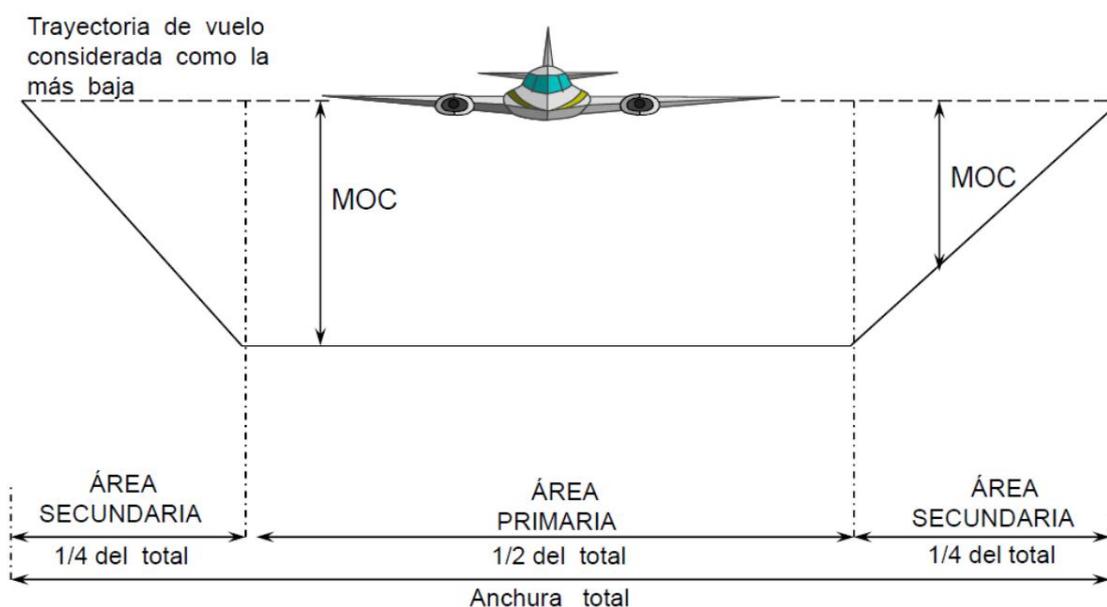


Ilustración 9. Áreas primaria y secundaria. OACI

3.2. Cálculo del FAP

Para calcular la aproximación intermedia es necesario en primer lugar obtener el FAP, que es punto en el que se inicia la aproximación final.

La distancia en el eje X entre el umbral y el FAP, a falta de razones que la restrinjan, es la óptima propuesta por la OACI, cuyo valor es de 9.3 Km (5 mn). Empleando este dato, es posible calcular la altitud del tramo de aproximación intermedia, la cual se ha decidido que sea constante. En caso de ser necesario, está permitido que el tramo intermedio tenga una ligera pendiente, pero lo óptimo, como se ha dicho anteriormente, es que este tramo sea completamente plano. Para calcular la altitud del FAP ello se ha empleado la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Altitud OCA} &= X_{FAP} * \text{Tan}(VPA) + RDH + THR_{ELEV} \\ \text{Altitud OCA} &= 9300 * \text{Tan}(3^\circ) + 15 + 360 = 863 \text{ m} \end{aligned}$$

Se obtiene por tanto que el FAP se encuentra a 9 300 m del umbral y a una altitud de 863 m.

3.3. Longitud y altitud de la aproximación intermedia

La altitud mínima de la aproximación intermedia, siguiendo el criterio de optimización del tramo, se ha decidido que sea constante y de valor igual a la del FAP, 863 m.

La OACI establece que la longitud óptima para la aproximación intermedia es de 19 Km (10 mn), y es la longitud que en un principio se estableció para el trabajo. Sin embargo, por razones concernientes a la aproximación inicial, que veremos posteriormente, la longitud se ha establecido de 10 Km, ligeramente superior al valor mínimo, cuyo valor según la OACI es de 9.3 Km. Es una distancia más que suficiente para reducir velocidad y poner a la aeronave en configuración de aterrizaje.

3.4. Área de protección

El área de protección del tramo de aproximación intermedia, como se dijo en el punto 3.1, se divide en dos. Por una parte, se tiene el área principal, cuyo margen de franqueamiento de obstáculos es constante e igual a 150 m. Por otra parte, está el área secundaria, de la misma anchura total que el área principal, pero repartida simétricamente a ambos lados de ésta. Su margen de franqueamiento de obstáculos parte de 150 m en el borde junto al área principal, y se reduce hasta los 0 m en el borde más alejado de la aproximación.

Para determinar la anchura que han de tener estas dos áreas, es necesario ir al documento 8168 de la OACI, exactamente a la Parte III, sección 1, capítulo 2. Ahí se encuentran una gran cantidad de tablas que determinan la semianchura de estas

áreas en función de las especificaciones de navegación empleadas. En este caso se emplea la tabla de RNP APCH.

En la ilustración 10 se puede observar la semianchura del área de protección, la cual a su vez está formada por las semianchuras de las áreas primarias y secundarias, es decir, que la semianchura del área primaria será la mitad de la semianchura del área de protección.

Tabla III-1-2-13. XTT, ATT y semianchura del área para RNP APCH (aviones) en las fases de vuelo de aproximación inicial/intermedia/final y de aproximación frustrada (m)

<i>IF/IAF/aproximación frustrada (<56 km del ARP)</i>			<i>FAF</i>			<i>MAPt/aproximación frustrada inicial en línea recta (LP/LPV solamente)</i>			<i>Aproximación frustrada (<28 km del ARP)</i>		
<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>½ A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>½ A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>½ A/W</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>½ A/W</i>
1 852	1 482	4 630	556	444	2 685	556	444	1 759	1 852	1 482	3 704

Ilustración 10. Semianchura del área de protección. OACI

Resumiendo, el área de protección a lo largo del tramo, exceptuando su fusión con las superficies del tramo final, tendrá un ancho total de 9 260 m. El resultado se puede ver en la ilustración 11 y en la ilustración 12.



Ilustración 11. Tramo intermedio vista de perfil. Elaboración propia

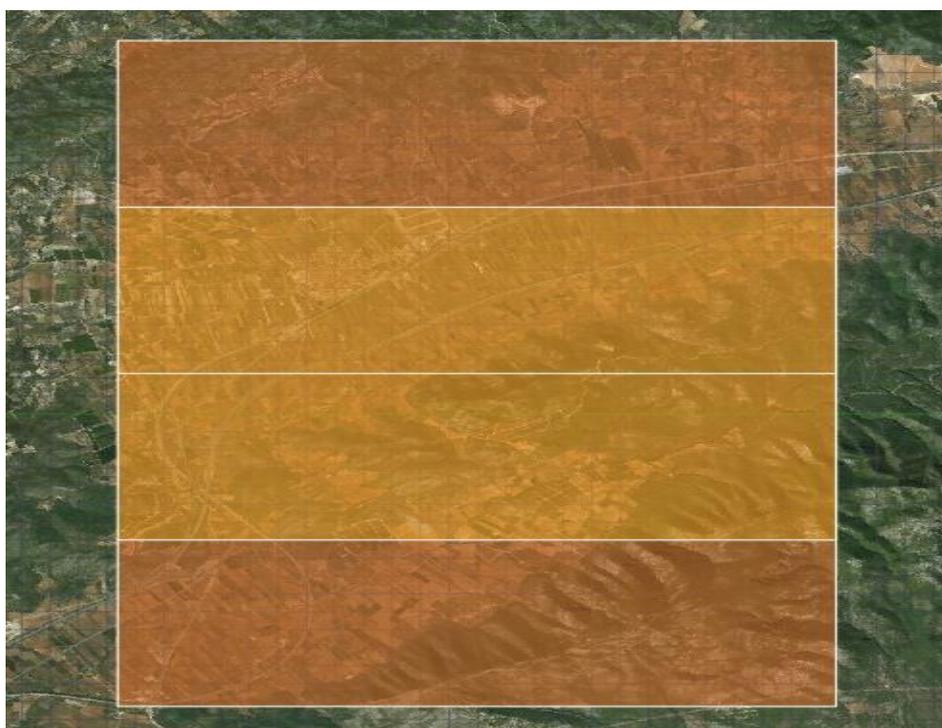


Ilustración 12. Tramo intermedio vista de planta. Elaboración propia

3.5. Unión con las superficies de aproximación final

Para poder juntar las superficies intermedia y final, en primer lugar se han alargado las superficies W, X y X* hasta que han intersectado con las superficies de protección del tramo intermedio.

A continuación, se ha cortado transversalmente la superficie intermedia a 3.7 Km del FAP. Desde ese punto, se ha hecho converger los bordes exteriores de las áreas secundarias y primarias a la altura del FAP con una separación entre los puntos a ambos lados del FAP de 3.5 Km. Desde aquí ya se ha juntado este punto con las superficies X y X* del tramo final.

El resultado de la unión puede verse en la ilustración 13.

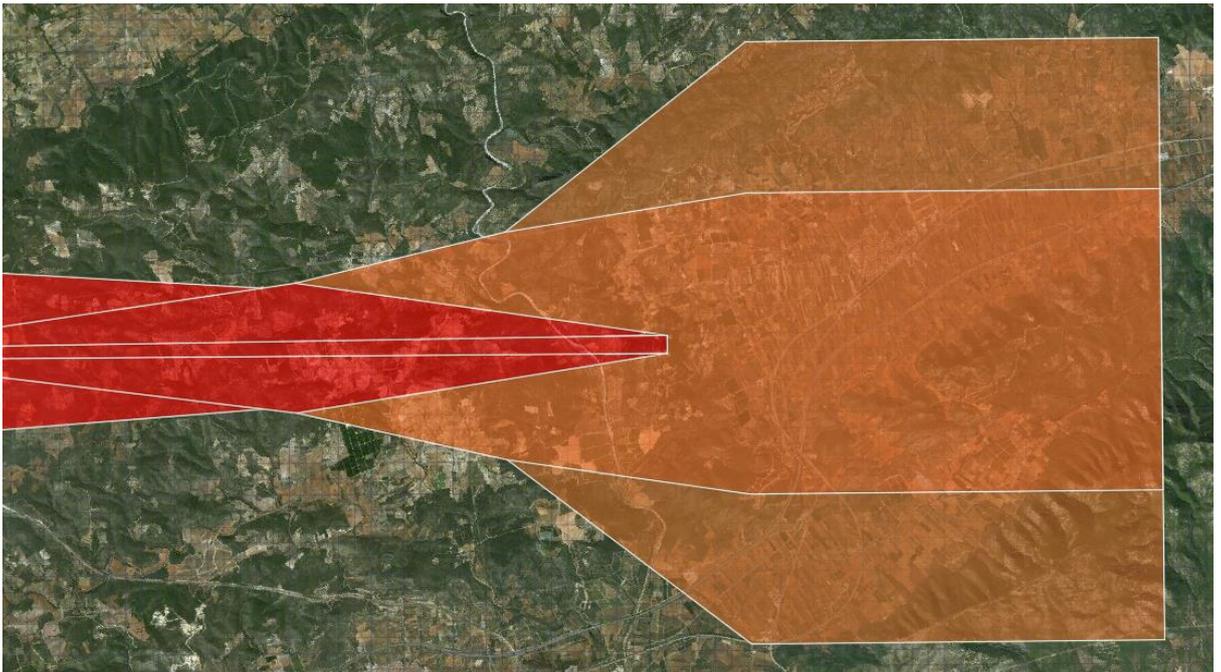


Ilustración 13. Unión tramo final e intermedio. Elaboración propia

3.6. Cálculo del IF

De la aproximación intermedia tan solo resta comentar cómo se ha calculado el inicio del tramo. Simplemente se ha trazado una recta concurrente al eje X desde el FAP con una longitud de 10 Km a una altura de 863 m. En el extremo de esta recta opuesto al FAP, se encuentra el IF.

4. Aproximación inicial

4.1. Definición

La aproximación inicial está comprendida entre el IAF y el IF. El objetivo de este tramo es simplemente perder altitud, pues como se ha visto, regular la velocidad y preparar la configuración de aterrizaje tienen lugar durante el tramo intermedio.

Al igual que el tramo intermedio, éste está protegido mediante dos áreas, una principal y otra secundaria. De nuevo, la distancia vertical desde el área principal hasta el tramo nominal se mantiene constante, mientras que la distancia vertical del área secundaria se va reduciendo conforme se aleja horizontalmente del tramo nominal. hasta llegar a 0.

Para ver un esquema de la distribución de las superficies de protección se puede acudir a la ilustración 9 vista en el punto anterior.

4.2. IAF

Debido al bajo tráfico que se recibe en el aeropuerto de Castellón, no es necesario realizar una aproximación inicial compleja, pues los controladores como norma general tendrán una carga de trabajo bastante baja. Por todo ello se han hecho converger las llegadas, las cuales se estudiarán posteriormente, a un único IAF, el de OSPES. De esta forma será necesario únicamente diseñar una aproximación inicial, no 3 diferentes como existen para la pista 06.

El IAF se encuentra en las coordenadas latitud $40^{\circ} 22' 21.2''$ N y longitud $00^{\circ} 20' 49''$ E a una altitud de 1 524 m. Este IAF ya existía para las aproximaciones VOR de la misma pista. Con esto se logra que los circuitos de espera de este procedimiento y el del procedimiento ya existente, el de VOR, sean coincidentes y por tanto no haya interferencias entre ambos. Además, se logra también que la aproximación inicial y las llegadas de ambos procedimientos sean muy similares, aliviando la carga de trabajo de los controladores en caso de que tengan que guiar a dos aeronaves a la vez que estén empleando dos procedimientos diferentes.

4.3. Pendiente

La aproximación inicial se ha diseñado de forma que tenga una pendiente constante, es decir, que en el momento en el que la aeronave intercepte el IAF, inicie un descenso constante y controlado hasta alcanzar el IF, finalizando así el tramo inicial.

Esto ha sido así para lograr una pendiente que esté dentro de los límites establecidos por la OACI, ya que si se impusiese un tramo de altitud constante, la pendiente requerida sería demasiado elevada pues la distancia horizontal es casi la justa para que entre en el rango de pendiente permitida. En caso de que aun siendo todo en descenso, la pendiente estuviese fuera de los límites, sería necesario acortar el tramo intermedio para que el tramo inicial pudiese extenderse horizontalmente y así reducir la pendiente.

El IAF está a una altitud de 1 524 m, mientras que el IF se encuentra a una altitud de 863 m. Si se realiza la resta se obtiene que la aeronave ha de descender 661 m a lo largo de todo el tramo inicial. Para comprobar la pendiente que resulta de este descenso, se ha calculado la distancia en línea recta desde el IAF hasta el IF, obteniendo un resultado de 8 738 m.

Calculando la pendiente:

$$Pendiente [\%] = \frac{661}{8738} * 100 = 7.56\%$$

Según la OACI, la pendiente óptima de descenso en un tramo cualquiera sería de un 4%, mientras que la pendiente máxima permitida es del 8%, por tanto, los valores están dentro del rango permitido, si bien es cierto que bastante cerca del límite superior. Hay que tener en cuenta que hay que realizar un viraje, el cual veremos en el siguiente apartado, y por tanto la distancia recorrida horizontalmente no es una línea recta, sino que es más larga y por tanto la pendiente se verá reducida. Esto es algo de lo que se encargaría de calcular el piloto automático de la aeronave en aproximación.

En caso de que la pendiente superase el 8%, o 7.56 % fuese excesiva por alguna razón, habría tres opciones posibles.

- Alejar el IAF. Esta solución permitiría extender la distancia horizontal del tramo inicial y por tanto haría que la pendiente se redujese hasta donde el diseñador quisiese.
 - El problema de esta opción es que habría que recalculer un circuito de espera que no interfiriese al ya existente para el VOR, lo cual provocaría que el IAF tuviese que alejarse bastante o aumentar o reducir su altitud lo suficiente. Si se redujese la altitud habría que ver de no encontrar ningún obstáculo, además de que se podría llegar a la paradoja de que el IAF estuviese por debajo del IF, lo que llevaría a recalculer este último. Aumentar su altitud es contraproducente porque generaría una mayor pendiente si la distancia que se ha alejado no es suficiente.
 - En segundo lugar, haría que las llegadas se alejaran de las ya existentes para el VOR, provocando que un controlador que llevase dos aproximaciones a la vez con diferentes procedimientos, tuviese mayor carga de trabajo.
- Acortar el tramo intermedio. Esta solución tan solo permitiría dar al tramo inicial 700 m más, pues actualmente el tramo intermedio mide 10 Km, y el mínimo estipulado es de 9.3 Km. No sería una mala solución, aunque se estaría recortando tiempo al piloto para que pusiese a la aeronave en configuración de aterrizaje.

- Dar pendiente al tramo intermedio. Es otra posible solución en caso de que las otras no fuesen aceptables. El problema que tiene ésta es que dificultaría la reducción de velocidad, el cual es uno de los principales objetivos para este tramo. es por ello que esta solución es aceptable pero no sería una de las primeras que escogiese.

Puesto que nada impide que la pendiente se quede con el valor que se ha obtenido, se estipula que la pendiente del tramo inicial sea de 7.56%, de nuevo puntualizando que sería una pendiente para una recta entre el IAF y el IF.

4.4. Viraje

Como se puede observar en la ilustración 14, es necesario introducir un viraje que permita partir desde el IAF y alinearse con el eje de la pista. En dicha imagen, la recta amarilla indica el eje de la pista, mientras que la recta verde es la recta que une los puntos IAF e IF.

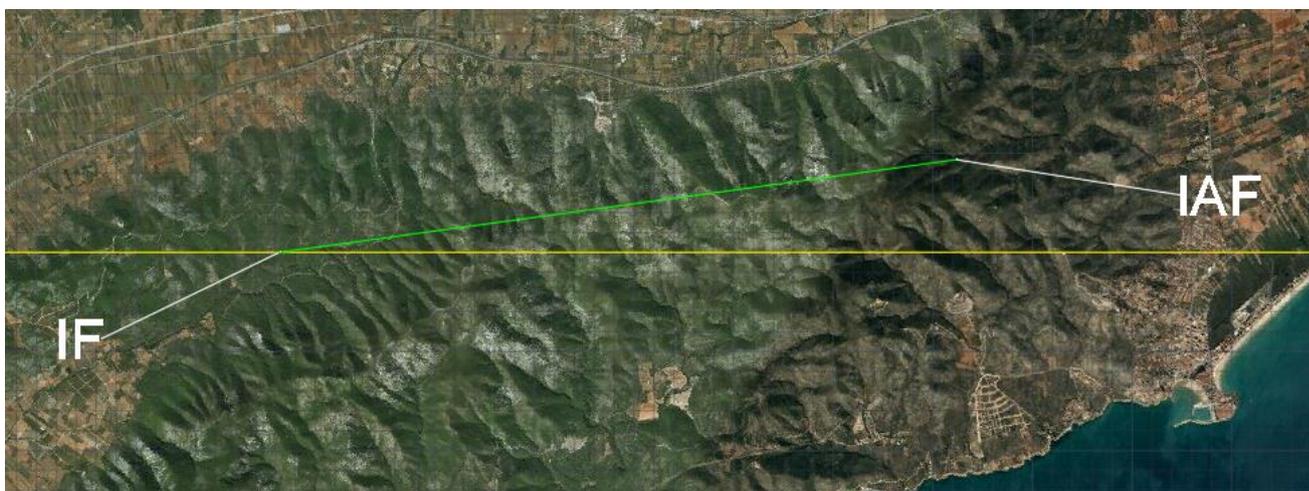


Ilustración 14. IF e IAF. Elaboración propia

Con el fin de enlazar el IAF con el IF, se ha determinado un rumbo inicial que forma un ángulo de 20° con el eje de la pista. Este rumbo tiene un valor de 220° , y es la recta de color blanco en la ilustración 15. Se ha escogido un ángulo de convergencia de 20° para poder emplear un método simplificado a la hora de diseñar las áreas de protección del procedimiento, como se verá a continuación. El punto en el que intersectan el eje de pista y el rumbo inicial ha sido nombrado como WP 1, y funcionará como un Waypoint Fly-by.



Ilustración 15. IF e IAF con el WP 1 establecido. Elaboración propia

4.4.1. Distancia mínima de estabilización

Todo viraje ha de tener una distancia mínima de estabilización que permita que la aeronave logre estabilizar el rumbo una vez se ha virado. Esta distancia se calcula en función del ángulo que se va a virar, en función de la velocidad de vuelo, en función del ángulo de inclinación lateral y en función de si el viraje es de paso o de sobrevuelo. En función de esta información se ha de ir a una u otra tabla del documento 8168 de la OACI para conocer la distancia mínima de estabilización para el caso dado.

Para estar siempre desde el lado de la seguridad, contemplando por ejemplo aterrizajes de emergencia, la velocidad se ha tomado como la mayor en la tabla, de 640 Km/h. Esto permitirá que las aeronaves que vayan más despacio tengan distancia de sobra para estabilizarse, y que las que vayan a una velocidad prácticamente de crucero puedan también tomar el rumbo correcto sin problemas.

Según el documento 8168, la inclinación lateral para procedimientos de aproximación es de 25° , el máximo contemplado por la OACI para los diferentes virajes. Esto genera que la distancia mínima de estabilización sea mayor que en un vuelo de crucero (salvando distancias en lo referente a la velocidad), donde la inclinación lateral puede ser mucho menor. Gracias a esta inclinación lateral, de nuevo se está trabajando desde el lado de la seguridad.

Con esta inclinación lateral hay que ir a la Tabla III-2-1-3 del documento 8168 de la OACI. Esta tabla puede verse en la ilustración 16.

Tabla III-2-1-3. Distancia mínima de estabilización entre puntos de recorrido de paso (unidades del SI, 25° de ángulo de inclinación lateral*)

Cambio de curso** (grados)	Velocidad verdadera (km/h)														
	< 0 =	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

Ilustración 16. Distancias mínimas de estabilización para 25° de inclinación lateral. OACI

El cambio de rumbo es de 20°, sin embargo, observando la ilustración 16, se observa que el mínimo cambio de rumbo que aparece en la tabla es de 50°, pero la OACI estipula que para cambios de rumbo menores a 20° se emplea el de 50°. De nuevo se trabaja desde el lado de la seguridad.

Tras tener todos los datos, la tabla indica que la distancia mínima de estabilización es de 4.1 Km. Como se aprecia en la ilustración 17, esta distancia mínima se cumple de forma holgada pues es de 5.3 Km (las medidas en la ilustración están en metros).

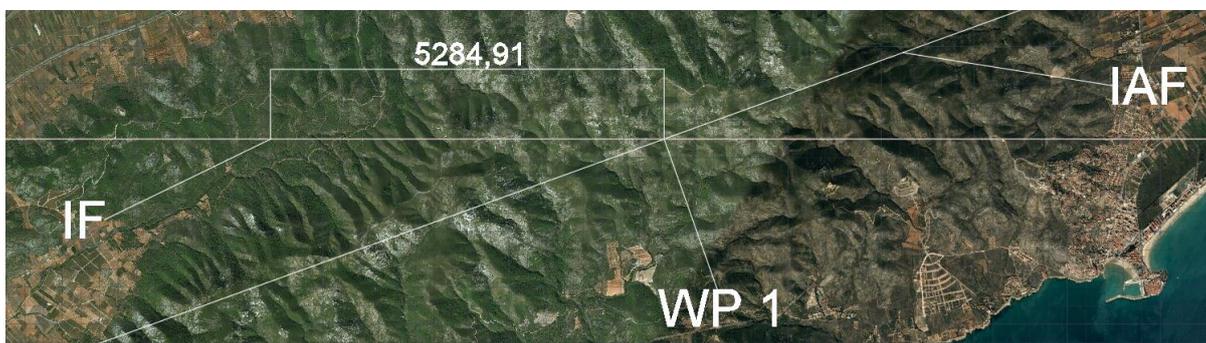


Ilustración 17. Distancia de estabilización. Elaboración propia

Como se ve en la ilustración 17, el punto que marca el viraje ha sido nombrado como WP 1.

4.5. Áreas de protección

Al igual que el tramo intermedio, el tramo está protegido por un área principal y un área secundaria, de igual anchura que las del tramo intermedio. En este caso, el área principal ha de encontrarse a 300 m por debajo del tramo nominal, mientras que el área secundaria de nuevo estará a la misma altura que la primaria en el borde colindante, e irá reduciendo su distancia vertical respecto al tramo nominal conforme se aleja horizontalmente de éste.

Además de la diferencia de margen de protección que tienen las áreas del tramo inicial respecto al tramo intermedio, hay otra que implica que se realicen un mayor número de cálculos, y es que las áreas de protección se encuentran en medio de un viraje. El hecho de que haya un viraje, implica que las áreas de protección se diseñarán de una u otra forma en función de la magnitud del cambio de rumbo que conlleva el viraje.

Para ver cómo está estipulado el diseño de las áreas de protección para un viraje, se ha acudido al documento 8168 de la OACI, donde se han encontrado dos procedimientos diferentes para diseñar dichas áreas.

En primer lugar, se tiene el método de espiral de viento, el cual puede simplificarse mediante el método de círculos limitadores. Este método se emplea para aquellos virajes que tengan un cambio de rumbo de más de 30° en un IAF o en un IF, para virajes que tengan un cambio de rumbo de más de 10° en el FAF, o para virajes que tengan lugar dentro de los tramos de aproximación frustrada o en las salidas. Este método ofrece una mayor protección que el siguiente que ofrece la OACI, pero conlleva un mayor número de cálculos que a veces no está justificado, es por ello que en el diseño del viraje del tramo inicial se ha empleado el siguiente método.

El método alternativo es conocido como método de arco de círculo, y se emplea para virajes que conlleven un cambio de rumbo menor a 30° en un IAF o un IF, o para virajes menores o iguales a 10° en el FAF. Aquí se tiene la justificación de que se haya diseñado un viraje de 20° , de forma que pueda emplearse este método. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al diseñar la protección de esta forma, se tiene una protección ligeramente menor, pues las áreas de seguridad son más reducidas.

4.5.1. Método de arco de círculo

El método de arco de círculo consiste en unir los puntos límite exteriores e interiores de las áreas de protección donde se inicia el viraje con los de las áreas donde acaba el viraje. Esta unión se realiza mediante una serie de arcos cuyos centros se encuentran en las intersecciones de las perpendiculares a las rectas que unen los puntos que quieren enlazarse con la recta perpendicular a la trayectoria del tramo anterior al viraje. El procedimiento puede observarse en la ilustración 18. En dicha imagen, la recta verde indica el rumbo a la salida del IAF y la amarilla indica el rumbo en el tramo intermedio. Para el diseño del procedimiento, la recta cian es la

perpendicular al tramo anterior (recta verde), y la recta violeta es la perpendicular a la línea que une los puntos límites del límite interior del área principal. En la intersección de las rectas magenta y cyan, se encuentra el punto naranja que es el indicativo del centro del arco de unión.

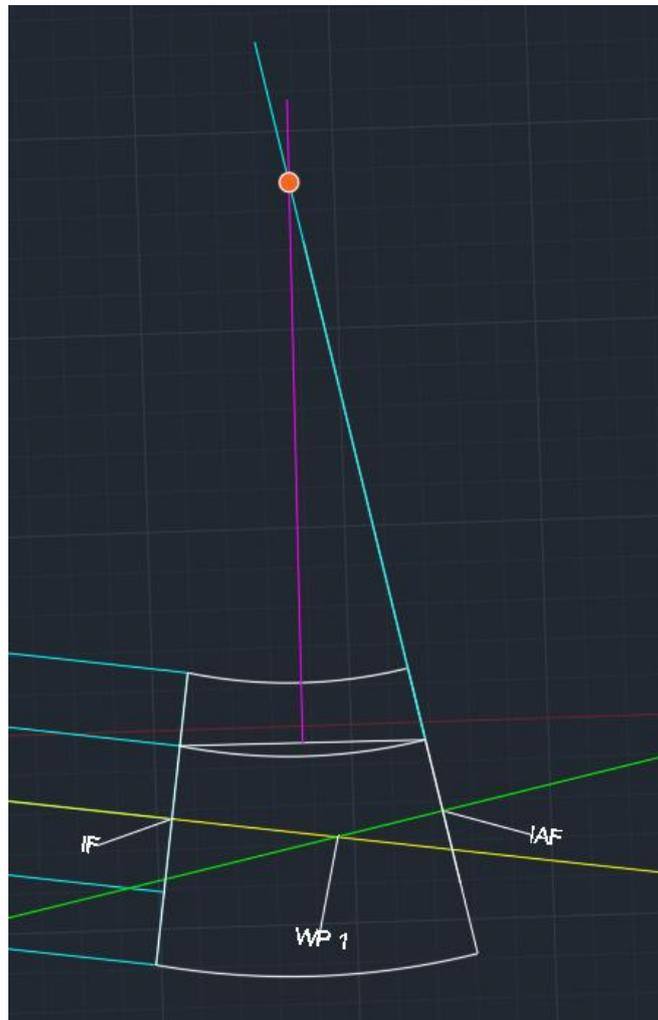


Ilustración 18. Esquema arco de círculo. Elaboración propia

4.6. Resultado

El resultado final del tramo inicial se puede ver en la ilustración 19.



Ilustración 19. Superficies de protección de la aproximación inicial. Elaboración propia

En la ilustración 20 se puede ver el tramo inicial unido al tramo intermedio, con los waypoints representados.

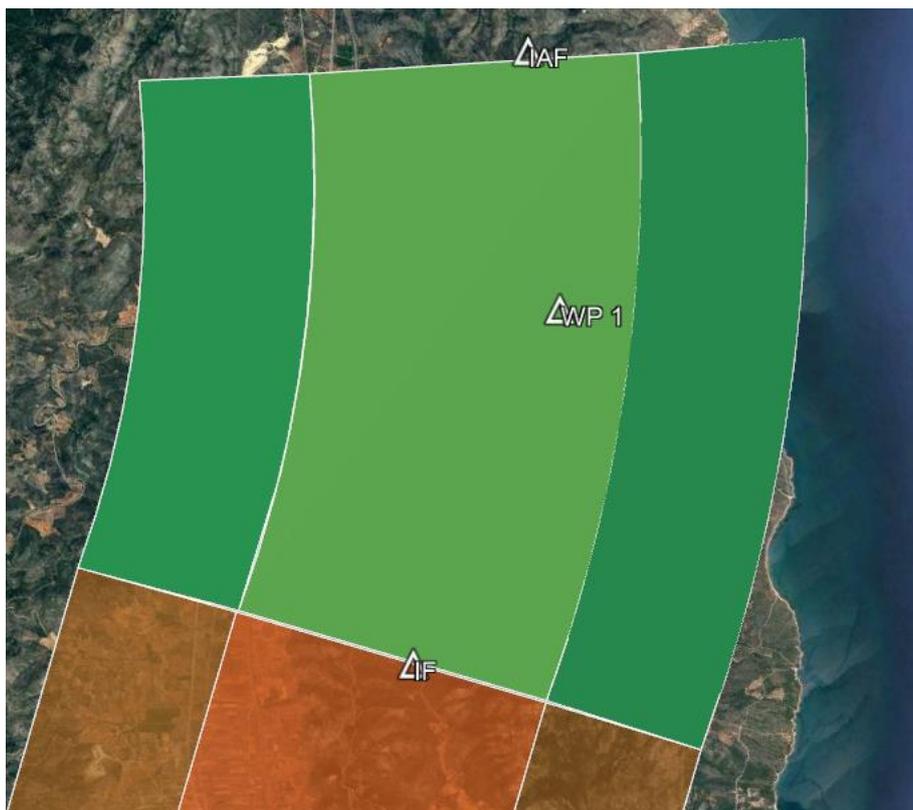


Ilustración 20. Unión de las superficies de las aproximaciones inicial e intermedia. Elaboración propia

5. Aproximación frustrada

5.1. Definición

La aproximación frustrada es un procedimiento que permite a una aeronave que está en la fase de aproximación final abortar el aterrizaje y volver a levantar el vuelo en condiciones seguras. El recorrido que sigue la aproximación frustrada parte del SOC, que es un punto que se explicará a continuación, y termina en el IAF a la altitud del mismo, es decir, durante la frustrada se realiza un ascenso que permite a la aeronave volver al punto de partida para intentar aterrizar de nuevo.

Las causas por las que una aeronave puede necesitar frustrar un aterrizaje son muchas, entre las que se encuentran desde razones comunes como que al alcanzar la altitud de decisión el piloto no vea la pista y se vea obligada a abortar, hasta que el viento haga muy difícil el aterrizaje por desalinearse la aeronave y el piloto tenga que realizar varios intentos.

La frustrada consta de tres partes que se verán en los siguientes puntos, cada una con sus propias normas, finalidades y restricciones.

La protección de la frustrada está compuesta de dos partes. La primera es la que ofrece la superficie Z de la aproximación final, que permite a la aeronave frustrar con suficiente antelación como para poder esquivar los obstáculos que penetren en dicha superficie. La segunda está compuesta por dos áreas idénticas a las que protegen los tramos de aproximación intermedia y final.

Los cálculos para toda la frustrada, principalmente para diseñar los virajes, se han realizado tomando una velocidad de 280 Km/h para permitir vuelos de categoría D.

5.2. Fase inicial

Este tramo no tiene mucho interés en lo respectivo a protecciones, pues está protegido por las superficies de la aproximación final.

El tramo es totalmente horizontal y está comprendido entre el punto de aproximación frustrada (MAPt) y el comienzo del ascenso (SOC).

5.2.1. Cálculo del SOC

El SOC se calcula en la intersección entre un plano paralelo a la senda de descenso pero desplazado 900 m en dirección a la pista y un plano horizontal a la altura de la OCA. Este punto es de gran importancia pues desde aquí parte la fase intermedia de la aproximación frustrada. Por tanto:

$$x_{SOC} = \frac{OCA}{\tan(GP)} - 900 = 1\,046 \text{ m}$$

Finalmente se ha obtenido que el SOC se encuentra a 1 046 m del sistema de referencia, a lo largo del eje X positivo, y a una altitud de 462 m. Cabe recordar que el sistema de referencia está centrado en el umbral de la pista 24.

5.3. Fase intermedia

La fase intermedia parte del SOC y finaliza cuando se ha alcanzado una altitud que garantice un margen de franqueamiento de obstáculos de 50 m para toda la frustrada. De aquí se extrae por tanto que la fase intermedia no es horizontal, si no que tiene una pendiente de ascenso.

Desde el SOC, la fase intermedia se alarga durante 12.95 Km manteniendo una pendiente de ascenso estándar constante de 2.5%. Una vez se ha llegado al final de la fase intermedia, se ha alcanzado una altitud de 811.5 m que garantiza un margen de franqueamiento de obstáculos mínimo de 50 m durante todo el resto de la frustrada.

Se ha decidido que la fase intermedia no tenga ningún tipo de viraje para facilitar que el piloto pueda preparar la frustrada a la par que asciende y no tenga que preocuparse por realizar el viraje. Con preparar la frustrada se quiere decir que se recoja el tren de aterrizaje, se replieguen los flaps y se mantenga una velocidad de ascenso constante entre otros.

En la ilustración 21 se tiene la fase intermedia en vista de perfil.



Ilustración 21. Fase intermedia de perfil. Elaboración propia

5.3.1. Áreas de protección

Este tramo está protegido por un área principal y un área secundaria de idéntico comportamiento a las ya vistas en los tramos de aproximación inicial e intermedia. En este caso, la distancia vertical entre el tramo nominal y el área principal es de 30m, y la secundaria se va reduciendo hasta los 0 m.

Para evitar tener que representar dos superficies diferentes, una a 30 m de distancia (MOC) y otra a 50 m (para indicar el fin de la intermedia), se ha representado únicamente una superficie a 50 m como si fuese su superficie de protección. En el momento en el que esta superficie es penetrada por algún obstáculo, inmediatamente se ha medido la distancia real entre dicho obstáculo y el tramo nominal. Si esta distancia es mayor a 30 m, se da por buena pues no entra en conflicto con el MOC. Si esta distancia es menor a 30 m, habría de variar la ruta o aumentar la pendiente. En el punto más alejado del SOC en el que esta superficie es penetrada por un

obstáculo, se termina la fase intermedia, pues ya no hay más obstáculos que no respeten los 50 m de seguridad.

En la ilustración 22 se ve de frente las superficies de protección (sin apreciar la pendiente, es decir, la imagen se ha tomado alineado con el tramo nominal).

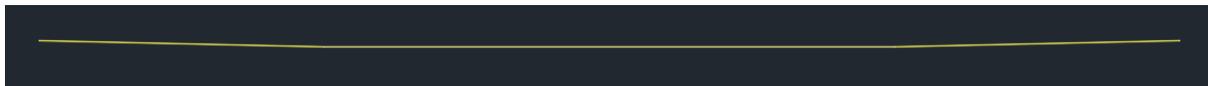


Ilustración 22. Superficies de protección de frente. Elaboración propia

5.4. Fase final

Esta fase está comprendida entre el final de la fase intermedia y el IAF. El objetivo de esta fase es acabar de ganar la altitud necesaria para poner a la aeronave al mismo nivel que el IAF. Otro de los objetivos es dirigir a la aeronave desde donde la haya dejado la fase intermedia hasta el IAF.

Se ha dividido esta fase en tres tramos, los cuales son dos horizontales y uno ascendente. La razón de que haya dos tramos horizontales es porque es en éstos donde se encuentran los cuatro virajes. A su vez, la razón por la que los virajes se hayan diseñado en horizontal es para que la aeronave sea capaz de realizar los virajes en las peores condiciones, de forma que no necesite un empuje adicional que le haga ascender y lo pueda emplear todo en lograr un viraje seguro.

5.4.1. Tramos horizontales

Como se ha dicho, es en estos tramos donde tienen lugar los virajes. Estos han sido diseñados 2 a 2, es decir, 2 a una altitud (la del final de la fase intermedia) y 2 a la altitud del IAF. A su vez, la conexión entre los virajes de cada par se realiza mediante un tramo recto horizontal. Exactamente, los tramos horizontales se encuentran entre los puntos FRU1 y FRU2, y entre el punto FRU3 y el IAF pasando por el FRU4.

Los virajes han sido diseñados siguiendo las directrices indicadas por la OACI, las cuales son, o mediante el método de espirales de viento o mediante el método de los círculos limitadores. Se han calculado los virajes mediante los dos procedimientos, para ver con cual de los dos se ofrecía una mayor seguridad. Los resultados se pueden ver en las ilustraciones 23 y 24.

Tras ver las imágenes, se puede concluir que el método de círculos concéntricos otorga un mayor área de seguridad que el de las espirales de viento. Ahora bien, se da el caso de que mediante el método de arco de círculo, ya explicado anteriormente, se obtiene un mayor margen de seguridad reduciendo la complejidad del diseño. Es por ello que se ha decidido que los cuatro virajes de la aproximación frustrada sean diseñados siguiendo este método. Si en algún momento hubiese habido algún

problema con algún obstáculo, se habrían empleado los dos primeros métodos para ver si el problema es salvable.

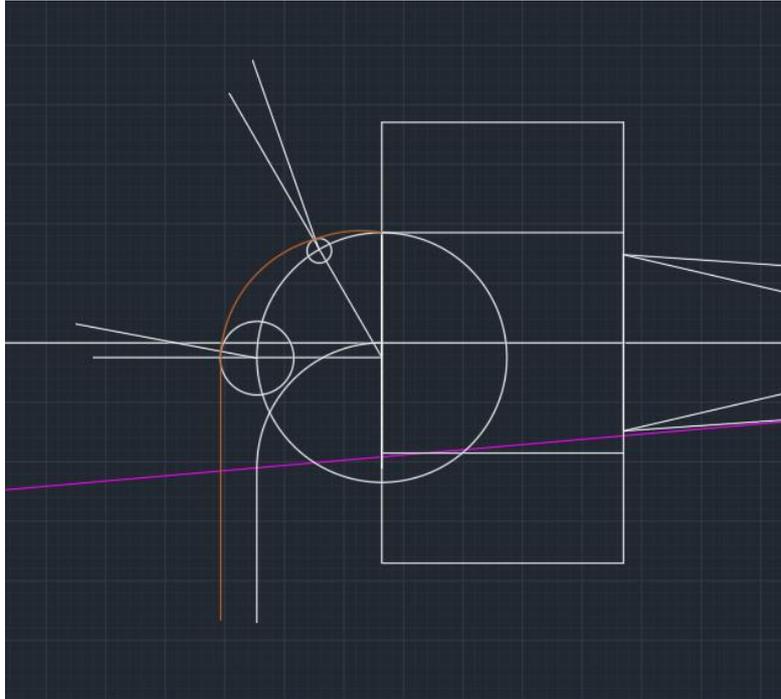


Ilustración 23. Método de espirales de viento. Elaboración propia

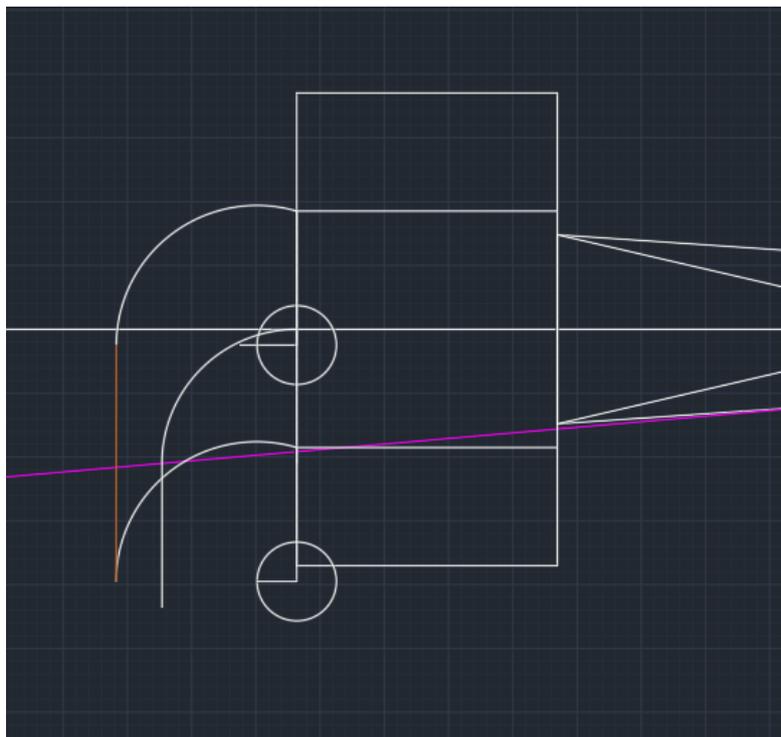


Ilustración 24. Método de círculos limitadores. Elaboración propia

En la ilustración 25 se tiene uno de los virajes acabado. La recta roja es el tramo nominal.

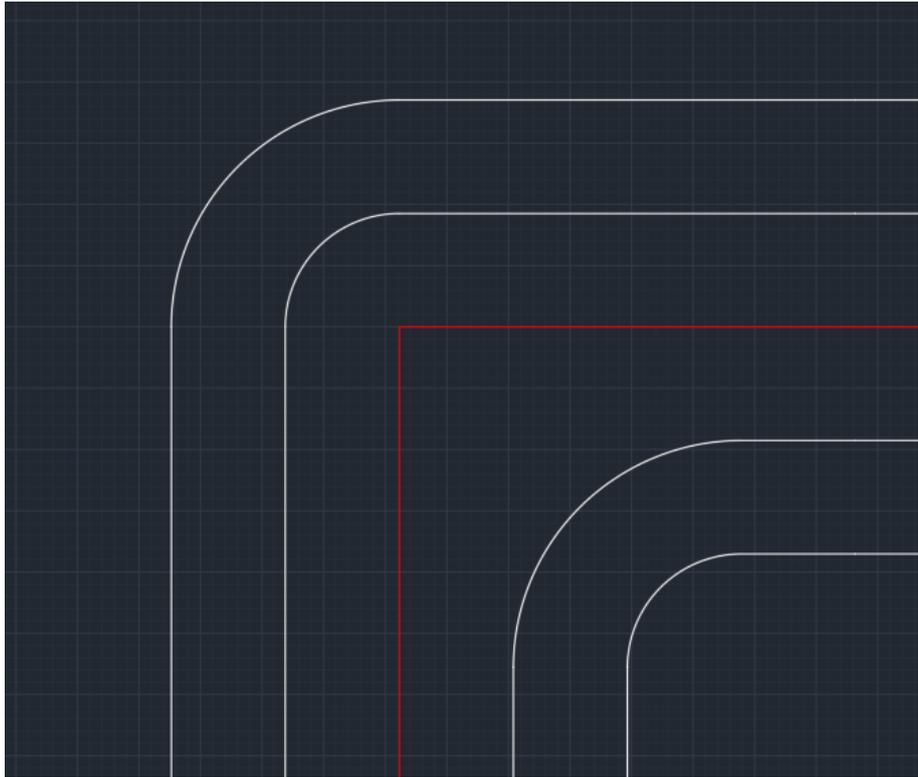


Ilustración 25. Método arco de círculo. Elaboración propia

5.4.2. Tramo ascendente

Este tramo es el paralelo a la pista y está comprendido entre los puntos FRU2 y FRU3. Se trata de un tramo de ascenso continuo con una pendiente del 1.28% . En caso de que la aeronave no pudiese lograr esta pendiente, no ocurre nada porque pese a que las superficies de protección se han calculado para la pendiente publicada, este tramo tiene lugar sobre el mar, por tanto no hay ningún peligro.

Con una longitud horizontal de 58 375 m y un incremento de altitud de 749 m, este tramo deja a la aeronave a la altitud del IAF. Cabe destacar que la gran distancia que ocupa este tramo se justifica con la idea de que en lugar de que el avión recorra este tramo hasta llegar a la altura (horizontalmente hablando) del IAF y entonces dirigirse a él, se ha alargado el tramo para que cuando la aeronave vuelve al IAF y lo alcance, el cambio siguiente de rumbo para interceptar la aproximación inicial sea muy pequeño.

En la ilustración 26 puede verse el tramo nominal de la aproximación frustrada.



Ilustración 26. Tramo nominal de la aproximación frustrada. Elaboración propia

6. Circuito de espera

6.1. Definición

El circuito de espera es una espera que se encuentra en el IAF y permite a los pilotos trazar órbitas o hipódromos de forma segura en dicho punto hasta que reciben autorización para iniciar el aterrizaje.

Un circuito de espera está protegido por diversas áreas, que son 1 área básica y 5 áreas topes, con diferentes altitudes entre sí.

6.2. Metodología

Para la elaboración del circuito de espera se han las pautas marcadas por la OACI en el Documento 8168 volumen II.

Primero se dibuja la plantilla, según se dice en la parte I-4-3.3.2, Apéndice C. Para la elaboración de esta plantilla es necesario hacer unos cálculos cuyas expresiones se pueden encontrar en la Tabla I-4-3-Ap C-4 del documento 8168 de la OACI. Es necesario determinar la IAS, la altitud, el tiempo de alejamiento y la temperatura. El resultado ha de ser similar al diagrama I-4-3-Ap C-6.

En segundo lugar se ha de calcular el área básica siguiendo los pasos de la parte I-4-3.3.3.1. Hay que realizar una serie de cálculos para dibujar el área básica, y para ello es necesario tener correctamente diseñada la plantilla, y contar con la distancia del IAF a las radiobalizas, así como las tolerancias de éstas últimas. Tras tener calculada el área básica, se le añade el área asociada para una entrada omnidireccional, cuya guía se encuentra en I-4-3.3.4.1.3. El resultado de esta segunda parte habrá de ser similar al diagrama I-4-3-Ap C-14.

En último lugar, se tienen que diseñar las áreas tope. Para ello se expande el área básica en cinco tramos de 1 milla náutica cada uno. Esto permite calcular el MOC.

Para realizar todos los cálculos, se ha empleado una hoja de cálculo, de forma que se pudiese modificar rápidamente cualquier dato y obtener un resultado corregido de forma inmediata. A continuación, se ha diseñado el circuito en AutoCAD.

Finalmente, el diseño final se representa de nuevo en Google Earth, y aquí se va modificando la altitud de las áreas para ver a qué altitud tienen algún obstáculo que los interseque, y saber por tanto la altitud mínima del circuito. Para asegurar que no hay ningún obstáculo, tras realizar la comprobación en Google Earth, se acude al Instituto Geográfico Nacional para ver si hay algún obstáculo que afecte al circuito.

Pese a que se está trabajando con una aproximación RNAV, el circuito de espera ha sido diseñado mediante radiobalizas convencionales, las cuales son el VOR y el DME. Esto es así para que el resultado coincida con el circuito de espera ya existente para la aproximación VOR, de forma que ambos circuitos no entren en conflicto.

6.3. Plantilla

Antes de comenzar a diseñar la plantilla, se tienen que realizar los cálculos pertinentes indicados en la tabla I-4-3-Ap C-4.

A continuación, en la tabla 6.3-I con las variables y sus valores pertinentes. Las expresiones se podrán encontrar en la tabla citada de la OACI.

Los cálculos se han realizado para una IAS de 405 Km/h y una altitud de 1524 m. Esta altitud es la que aparece en la carta de navegación para el IAF OSPES. El tiempo de alejamiento se ha tomado de 1 minuto. El resultado de los cálculos se puede encontrar en la tabla 6.3-I.

Tabla 6.3-I

K	1.10595	Wd	0.95 Km
V	447.91 Km/h	We	1.57 Km
v	0.1244 Km/s	Wf	2.20 Km
R	2.11 °/s	Wg	2.28 Km
r	3.39 Km	Wh	2.65 Km
h	1.52 Km	Wo	3.27 Km
w	105.29 Km/h	Wp	3.90 Km
w'	0.03 Km/s	Wi1=Wi3	4.43 Km
E45	0.62 Km	Wi2=Wi4	4.84 Km
t	60 s	Wj	5.46 Km
L	7.47 Km	Wk=Wi	6.09 Km
ab	0.62 Km	Wm	6.71 Km
ac	1.37 Km	Wn3	6.93 Km
<u>gi1=gi3</u>	6.84 Km	Wn4	7.34 Km
gi2=gi4	10.08 Km	XE	21.33 Km
Wb	0.15 Km	YE	10.90 Km
Wc	0.32 Km		

Una vez se ha completado el cálculo de todos los coeficientes, se ha procedido a diseñar la plantilla en AutoCAD. Primero de todo se ha establecido el punto del IAF OSPES y se ha georreferenciado a las coordenadas 40° 15' 22"N y 00° 11' 00" W. Se establece que el sistema de referencia sea el WGS84 de forma que cuando se represente en el mapa no haya distorsiones respecto a la realidad.

A partir de este momento se han seguido las pautas de la OACI indicadas en el apartado I-4-3-Ap C punto 3.3.2. Aquí se explica cómo dibujar la plantilla de forma que se tengan en cuenta las posibles desviaciones de la aeronave a causa de las radioayudas, de los aparatos de abordó (tolerancias de navegación) y sucesos imprevisibles como una deriva por culpa del viento.

Básicamente la plantilla consiste en dibujar una serie de arcos (por simplificar, en AutoCAD se han dibujado circunferencias) cuyos radios son los obtenidos con los cálculos previos. Una vez se han trazado todos los arcos indicados en el Documento 8168, se traza la envolvente de éstos, cuya traza representa la plantilla. Si se quiere ver con detenimiento todo el proceso seguido, se ha de consultar el punto del documento de la OACI indicado en el párrafo anterior.

En la ilustración 27 se ve la plantilla con todas las rectas auxiliares necesarias para su construcción, y en la ilustración 28 se puede ver la plantilla en limpio. El punto rojo es el IAF georreferenciado.

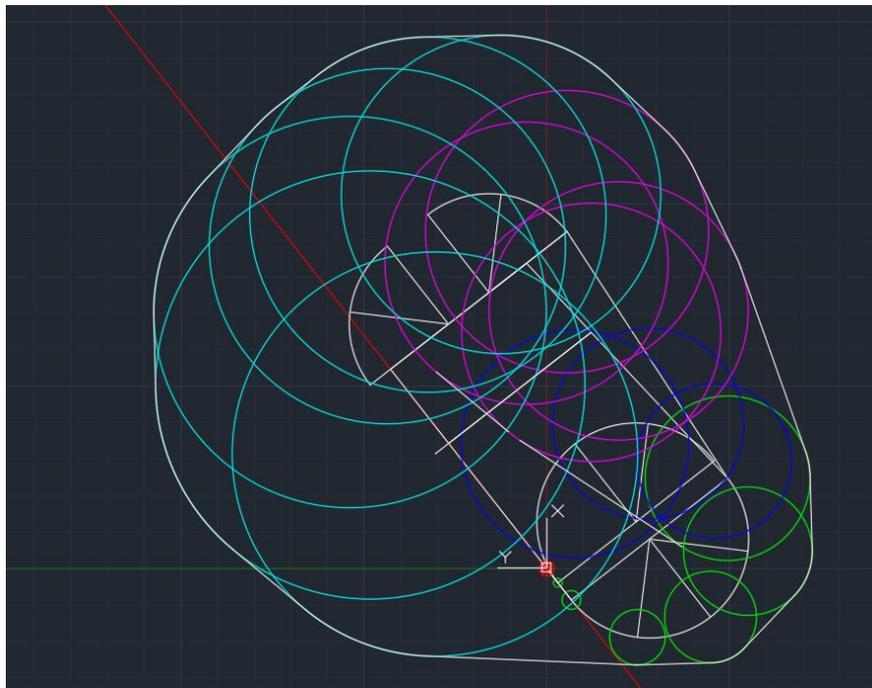


Ilustración 27. Plantilla en sucio. Elaboración propia

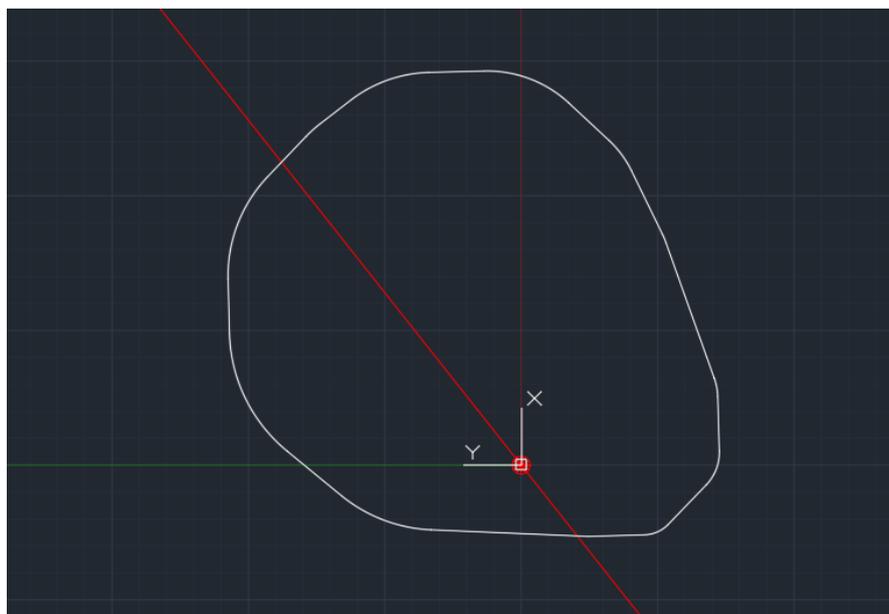


Ilustración 28. Plantilla en limpio. Elaboración propia

La recta auxiliar roja indica en ambas imágenes la dirección del radial 52, que es el que marca el tramo de aproximación.

En este momento, la plantilla ya está acabada y está lista para ser usada en la construcción del área básica que se verá en el siguiente punto.

6.4. Área básica

Para hacer el área básica hay que fijarse en cómo se determina el IAF del circuito de espera. En el caso de OSPES, se determina mediante la intersección del radial 52° del VOR/DME CTN y una circunferencia de radio 15 mn desde la misma radiobaliza.

Puesto que las radiobalizas pueden tener imprecisiones, se han dibujado unas tolerancias que permite determinar una zona en la que el IAF tiene una alta probabilidad de estar sin riesgo a equivocarse. Este área se define mediante las tolerancias del VOR y las del DME.

Las tolerancias del VOR pueden tener dos valores, 4.5° o 5.2° en función de que si el radial que determina el IAF coincide con el rumbo a seguir en el tramo de acercamiento. Puesto que en el circuito que nos atañe, el tramo de acercamiento tiene rumbo 232° (el mismo que el radial que determina el IAF), la tolerancia se tomará de 5.2°.

Las tolerancias del DME dependen de la distancia a la radiobaliza, y se calculan mediante las expresiones expuestas en el punto 3.3.4.1.1.1 del mismo apartado.

Tras dibujar las tolerancias, se obtiene el área expuesta en la ilustración 29.



Ilustración 29. Área de tolerancia. Elaboración propia

A continuación se ha colocado IAF de la plantilla, el cual se llamará a partir de ahora "a", sobre los cuatro vértices del área de tolerancia. Con las cuatro plantillas puestas, se ha trazado la envolvente para encerrar en su interior el área básica buscada.

Con esta envolvente, tan solo queda añadir la zona de protección para una entrada omnidireccional. Para ello, se han seguido las pautas indicadas en I-4-3-Ap C, punto 3.3.4.1.3.1, donde desplazando el punto "a" de la plantilla por un arco de circunferencia centrado en el DME, se obtiene la zona de protección para las entradas deseada.

En la ilustración 30 se puede ver el resultado del área básica y las entradas con todas las trazas auxiliares. En la ilustración 31 se puede observar esta misma figura pero estando únicamente con el resultado.

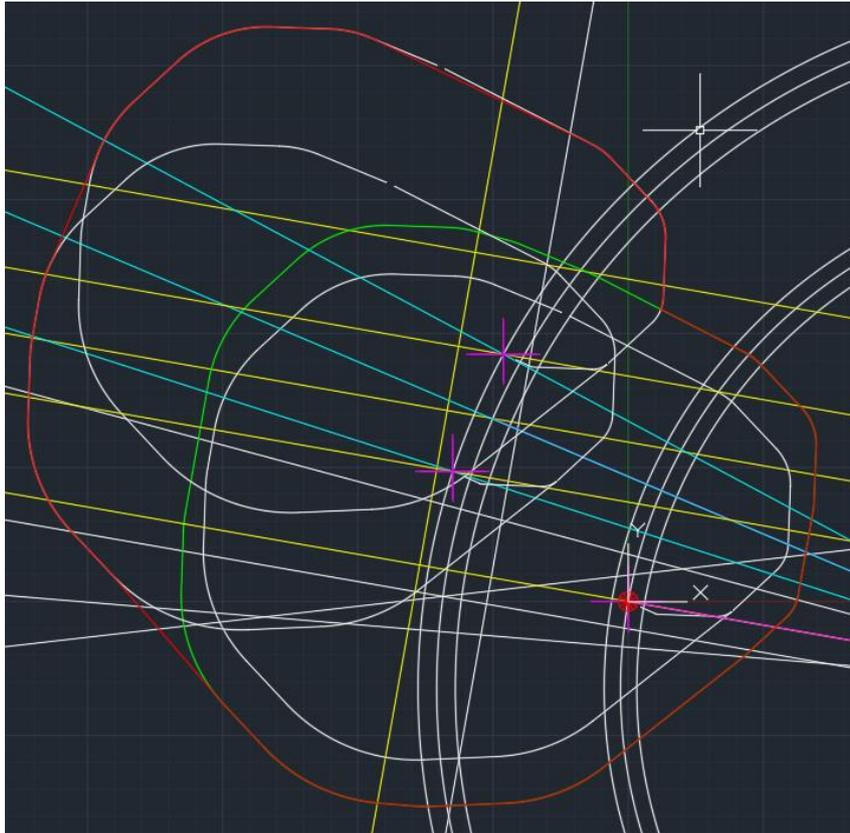


Ilustración 30. Área básica en sucio. Elaboración propia.

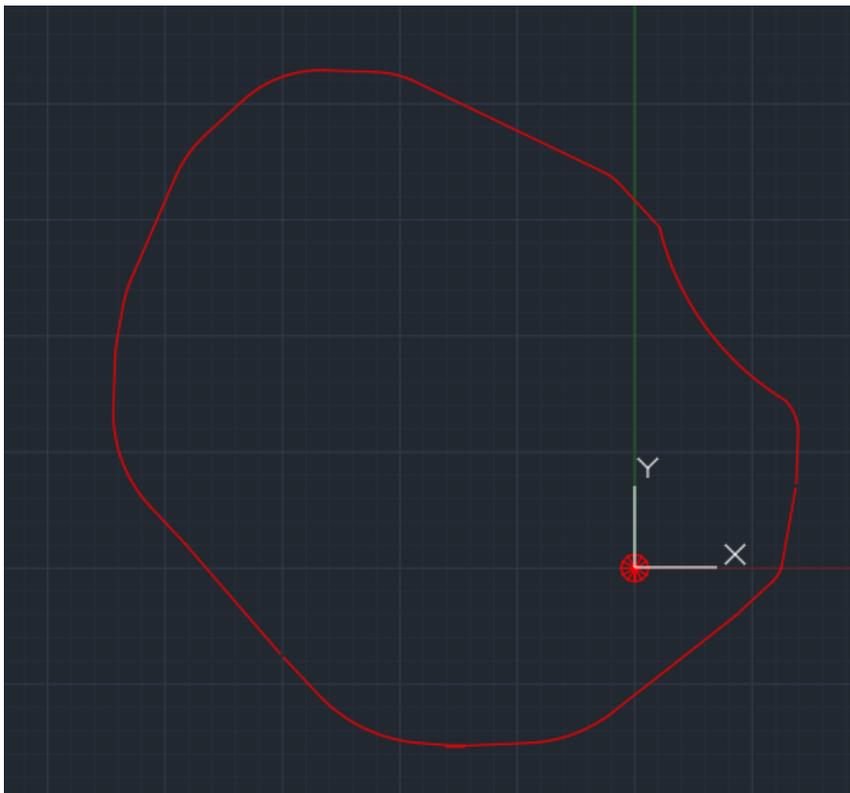


Ilustración 31. Área básica en limpio. Elaboración propia

Este resultado es el área básica, que es el área que protegerá todas las maniobras del circuito de espera. Tan solo falta añadir el área tope para proteger una mayor extensión, como se verá en el siguiente apartado.

6.5. Área tope

Para diseñar el área tope, simplemente se ha de expandir el área básica cinco veces en tramos de una milla náutica, es decir, por fuera del área básica se tendrán cinco zonas de una milla náutica de ancho con la misma geometría del área básica.

En la ilustración 32 se puede ver el resultado de agregar el área tope a al área básica.

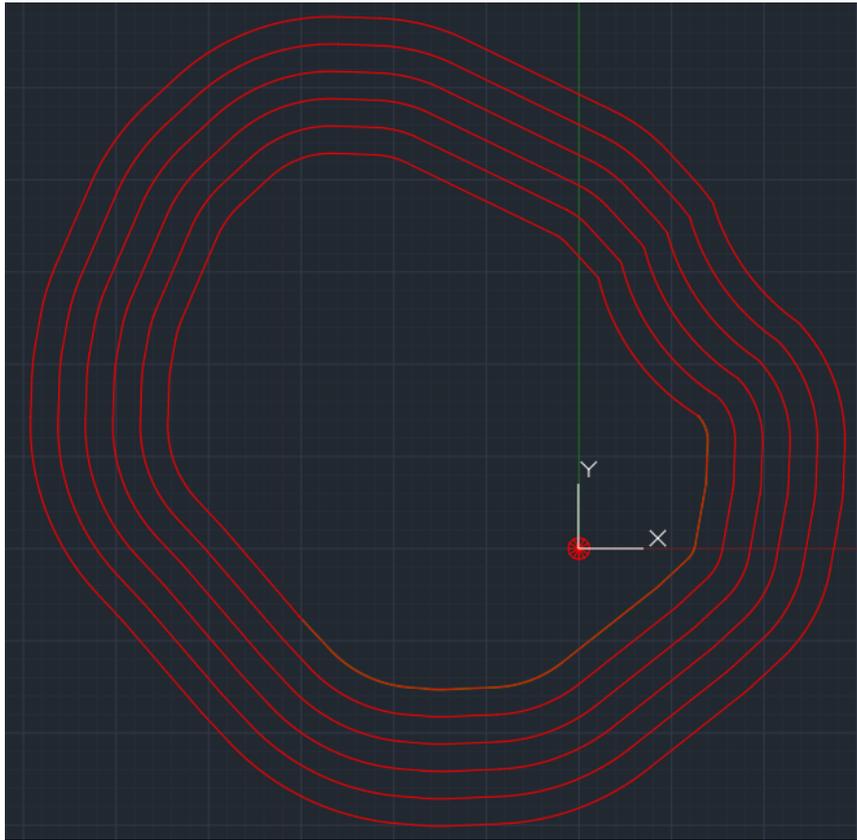


Ilustración 32. Área básica con áreas tope. Elaboración

Con el área tope ya representada, cada zona se convierte en una superficie independiente y se pintan de diferentes colores para posteriormente poder tratarlas por separado en el momento de medir las alturas para el margen de franqueamiento de obstáculos.

6.6. MOC

Separando el área básica y los diferentes tramos del área básica, se obtienen 6 archivos diferentes, los cuales se han convertido a kml para poder representarlos en el programa de visionado Google Earth.

En la ilustración 33 se observa la representación de estos ficheros en el mapa, teniendo a la suroeste el aeropuerto de Castellón señalado por una flecha roja.

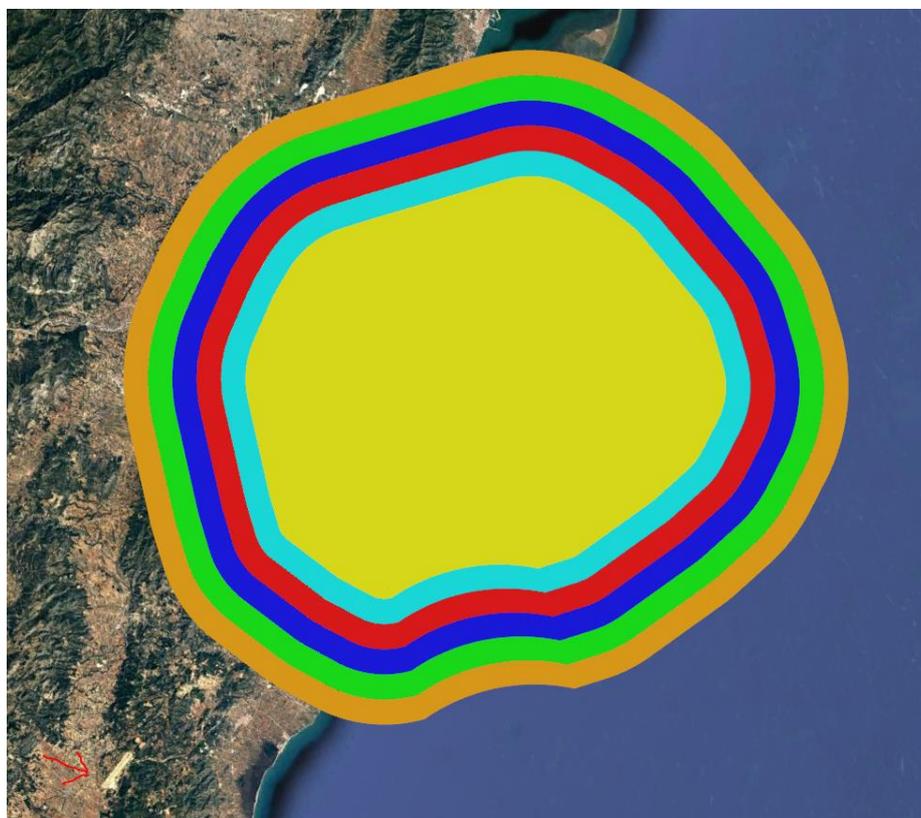


Ilustración 33. Representación del circuito de espera en Google Earth. Elaboración propia

Una vez se han tenido estas áreas representadas en el programa, se ha comprobado que las altitudes mínimas a las que podrían estar cada una respetando los márgenes de franqueamiento de obstáculos. Para ello se han ido bajando las altitudes de cada zona por separado hasta que algún elemento intersecte con éstas.

En la tabla 10.5.I se ven las altitudes a las que cada zona se encuentra con una prominencia, cual ha de ser el margen de dicha zona y cual sería por tanto su altitud mínima. Todas las medidas estarán en metros. Se cogerá la altitud mínima más alta de entre todas las altitudes, y en torno a ella se ajustarán el resto de áreas.

Tabla 6.6-1

Área	Altitud del pico más alto	MOC	Altitud mínima	Altitud final
Área básica	530	300	830	840
Área tope 1	540	300	840	840
Área tope 2	535	150	685	840
Área tope 3	620	120	740	840
Área tope 4	590	90	680	840
Área tope 5	690	60	750	840

Puesto que la altitud mínima más alta es 840 m, el circuito de espera debería tener una altitud de 840 m, ahora bien, puesto que el objetivo es que coincida con el circuito de espera ya existente, la altitud de se establecerá como la misma que la del ya existente, es decir, 1 524 m, que coincide con la altitud del IAF OSPES. Puesto que se ha aumentado de forma considerable la altitud del circuito respecto a los resultados obtenidos, no ha sido preciso consultar al Instituto Geográfico Nacional.

7. Llegada

7.1. Definición

La llegada es un procedimiento que enlaza el último punto significativo de una aerovía con el IAF que da inicio a todo el procedimiento de aproximación. El objetivo de este tramo es llevar a la aeronave desde la aerovía hasta el IAF, con esto se destaca que la aeronave no tiene por qué reducir la altitud, ni la velocidad ni realizar ninguna otra maniobra o acción más que volar dentro de los límites de protección establecidos.

Al igual que los tramos de aproximación inicial e intermedia, la llegada está protegida por dos áreas, la principal y la secundaria, siendo la segunda de nuevo la que va reduciendo su distancia vertical respecto al tramo nominal conforme se aleja en el plano horizontal de este.

7.2. Diseño

Para el diseño del tramo de llegada se tuvieron en cuenta dos posibilidades. Básicamente una pretendía aprovechar las bondades del sistema RNAV para volar directamente desde el punto final de la aerovía hasta el IAF, recortando distancia y con ello ahorrando tiempo y combustible en el vuelo. La otra opción consistía en intentar aproximar la llegada a la ya existente, la cual funciona mediante sistemas de navegación convencionales. A continuación se detallan las dos posibilidades.

7.2.1. Aproximación a la llegada ya existente

Esta fue la primera opción que se planteó en el momento de diseñar la llegada. La intención era que al aproximar la llegada a la ya existente, favorecería que el controlador tuviese menos carga de trabajo, pues le permitiría llevar dos aeronaves con distintos sistemas de navegación al mismo tiempo, pues la ruta de ambas sería similar. Esta opción sería la ideal para aeropuertos que tengan mucho tráfico. Además, el diseño de esta llegada se haría de forma que el último tramo coincidiese con el último tramo de frustrada, de forma que de nuevo el controlador tuviese menos carga de trabajo. En la ilustración 34 se puede ver el tramo nominal de la llegada siguiendo el método indicado.

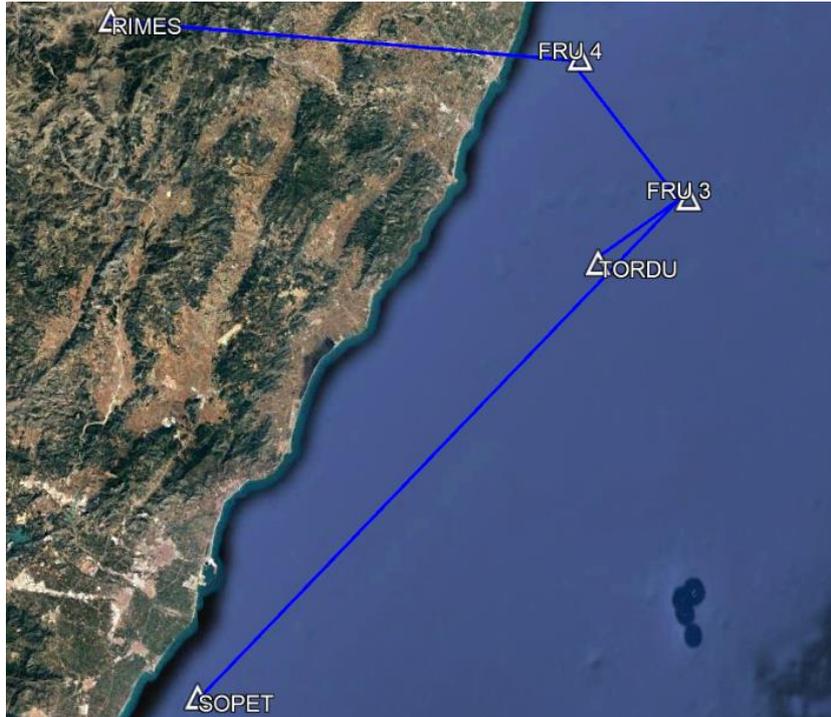


Ilustración 34. Llegada para una situación de tráfico abundante. Elaboración propia

En la ilustración 35 se puede ver como encajaría esta llegada en combinación con la aproximación completa.

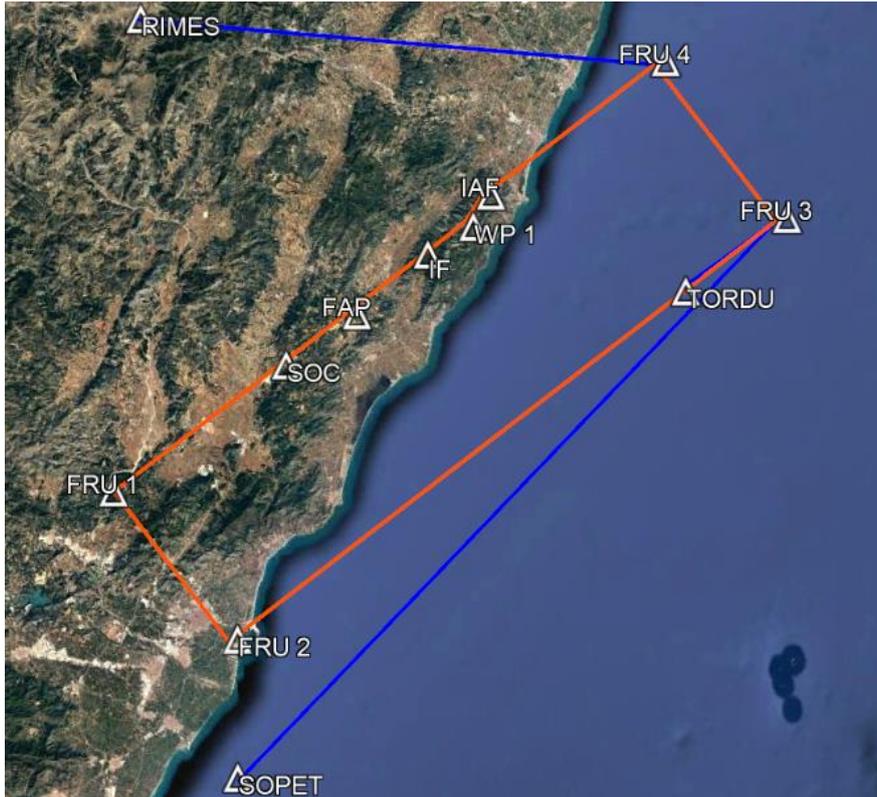


Ilustración 35. Combinación de la llegada con el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia

Finalmente, esta idea se ha descartado debido a la poca cantidad de tráfico que hay en el aeropuerto de Castellón, pues no compensa la nula carga que se ahorra el controlador (nula porque es extremadamente raro que actualmente coincidan diversos vuelos al mismo tiempo) con lo que se pierde en tiempo y combustible.

7.2.2. Llegada directa

Como su nombre indica, esta llegada consiste en una recta que une los puntos finales de las diferentes aerovías, con el IAF OSPES. Esta recta hace que cada aeronave que desea aterrizar en Castellón ahorre tiempo y combustible. En caso de que en un futuro el tráfico aumentase de manera considerable, simplemente habría que sustituir la llegada publicada por la llegada descrita en el punto anterior. El resultado de esta llegada puede verse en la ilustración 36.

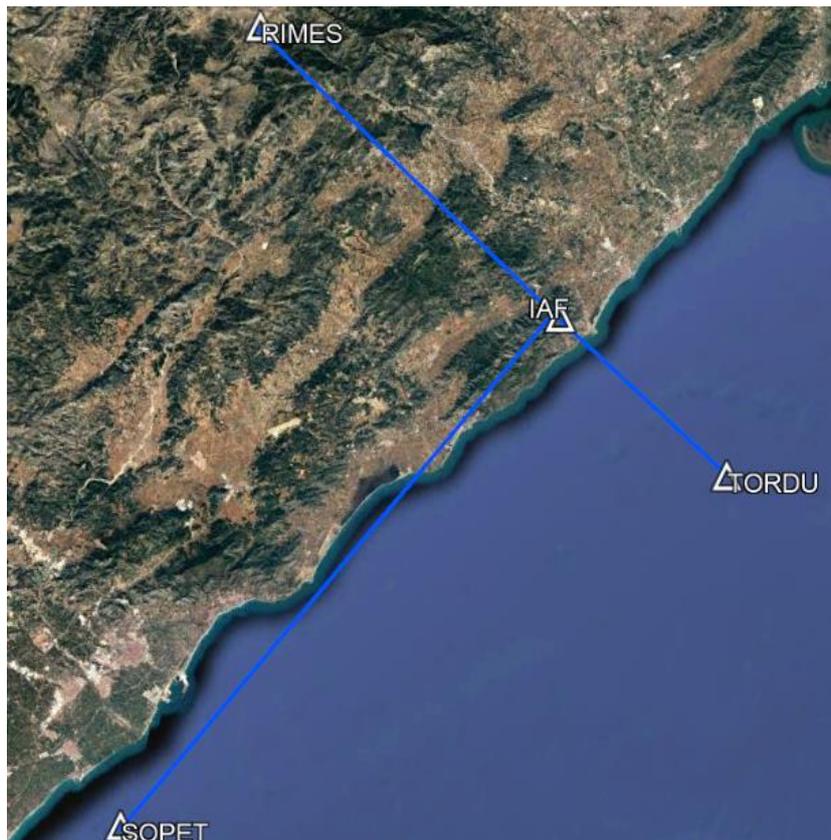


Ilustración 36. Llegada directa. Elaboración propia

En la ilustración 37 se tiene la llegada junto a la aproximación.

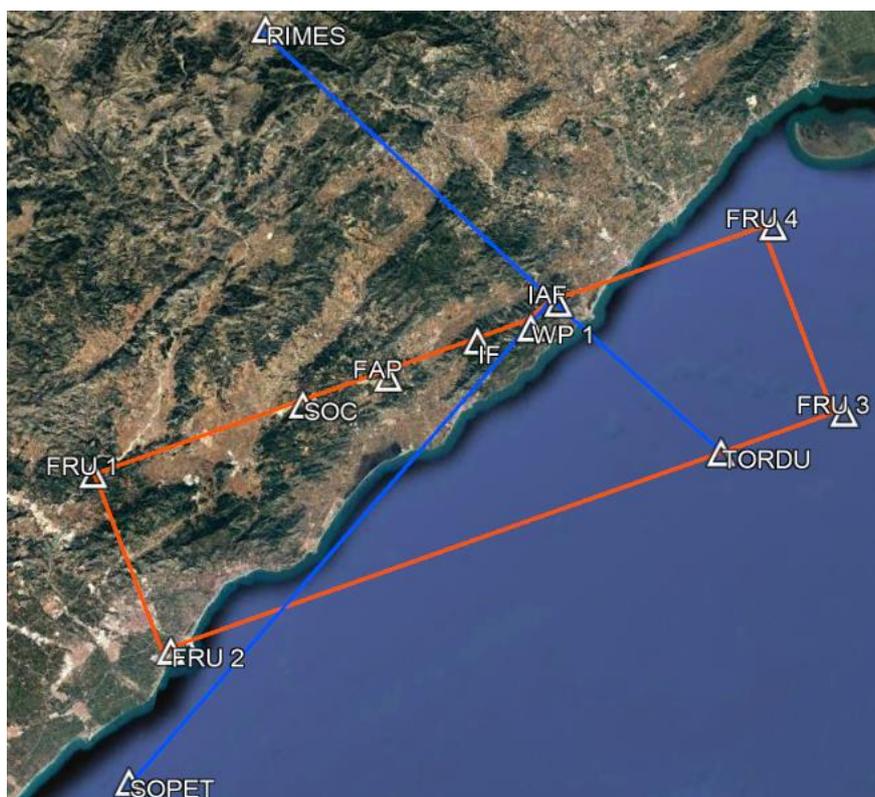


Ilustración 37. Combinación de la llegada directa con el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia

7.3. Áreas de protección

La protección del tramo de llegada está compuesta por un área principal y un área secundaria, ambas también de un ancho de 2315 m. El área principal tiene una distancia vertical respecto al tramo nominal de 300 m constantes, mientras que el área secundaria de nuevo tiene la misma distancia vertical respecto al tramo nominal que el área principal en el borde en el que ambas se tocan, pero va reduciendo dicha distancia conforme se aleja horizontalmente del tramo nominal.

Las áreas de protección de la llegada terminan al poco de entrar a la zona protegida por el circuito de espera.

7.4. Tramo nominal

Como se describió en el punto 7.2.2, la llegada se haría de forma directa al IAF, sin embargo no se mencionó la altitud de ésta. En un principio se estableció que las tres llegadas partirían de una altitud de 1 524 m, que es la altura que tiene el IAF OSPES.

Al trazar estos tramos en Google Earth y aplicar sus áreas de protección para tener una aproximación de los obstáculos que se pudiesen encontrar, se apreció que la llegada que partía de RIMES no respetaba los márgenes de seguridad, por lo que hubo que rectificar y elevar la altitud de partida de dicha llegada para que no interceptase con ningún obstáculo. Finalmente, la altitud inicial de la llegada que parte de RIMES es de 1 610 m, lo que le permite franquear el obstáculo que daba problemas. Puesto que en la llegada no están permitidas las pendientes, ha sido

necesario dividir la llegada desde RIMES en dos tramos. El primer tramo, que permitirá franquear los obstáculos, tendrá una altitud de 1 610 m y una longitud de 20 Km. Este tramo será seguido por un segundo cuya altitud ya será de 1 524 m y finalizará en el IAF. El punto en el que se cambia del tramo uno al dos se llama WP2.

La llegada desde SOPET también genera problemas, pues atraviesa el tramo de aproximación inicial. En el apartado 9.2 de coordinación se analiza este conflicto. Para evitarlo, se ha establecido que el tramo nominal tenga 1 000 pies más de altitud para garantizar la separación vertical con las aeronaves que estén realizando una aproximación, mientras que las superficies de protección se han mantenido a la altitud inicial, de forma que el controlador pueda autorizar un directo desde SOPET hasta el IAF sin miedo a que haya un obstáculo en medio que ponga en peligro la operación.

En la ilustración 38 se puede ver el resultado de aplicar las áreas de protección a las llegadas. En la ilustración 39 se pueden ver las mismas áreas de protección pero de frente, lo que permite apreciar la inclinación de las áreas secundarias.



Ilustración 38. Llegada con sus áreas de protección en planta. Elaboración propia

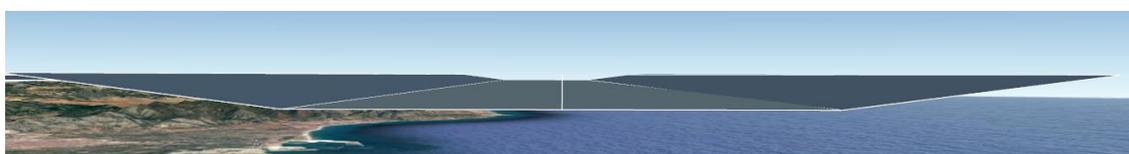


Ilustración 39. Áreas de protección de la llegada vistas de frente. Elaboración propia

8. Circuito visual

8.1. Definición

La maniobra de aproximación visual es la fase visual de un vuelo durante la cual la aeronave procede a aterrizar en una pista que no tiene en funcionamiento los sistemas que permiten una aproximación por instrumentos, considerando ésta como la alineación con la pista y la pendiente de descenso. También se da para aquellas aeronaves que no tengan ningún tipo de instrumento que les permita realizar aproximaciones de precisión o que solo vuelen en visual.

El circuito ha de estar protegido por una superficie que asegure que volando a las altitudes mínimas indicadas en la carta, la aeronave no se encuentre con ningún obstáculo que ponga en peligro su integridad.

Esta superficie consiste en dos circunferencias centradas en cada uno de los umbrales de la pista y unidas por rectas paralelas a la pista y tangentes a dichas circunferencias.

8.2. Desarrollo

Para diseñar el circuito se han seguido las pautas del apartado I-4-7 del Documento 8168 volumen II de la OACI. Ahí se encuentran todas las pautas a seguir para lograr diseñar el circuito visual respetando todas las reglas de seguridad establecidas.

Se ha partido de que la altitud del aeropuerto de Castellón es de 1181 pies según el AIP de ENAIRE. A esta altitud se le han sumado mil pies para obtener la altitud con la que realizar los cálculos del circuito visual.

La temperatura es la temperatura ISA a esa altitud, más 15°C, resultando en este caso en 25.84°C.

A continuación se ha obtenido la IAS de vuelo en función de la categoría de la aeronave, se ha convertido a velocidad verdadera (TAS) y se le ha añadido un valor adicional de viento de 46 Km/h establecido por la OACI. Castellón tiene capacidad para aeronaves de categoría A, B, C y D.

En la tabla 8.2-I se ve este proceso.

Tabla 8.2-I

Categoría	IAS (Km/h)	TAS (Km/h)	TAS+Viento (Km/h)
A	185	196.03	242.03
B	250	264.91	310.91
C	335	354.97	400.97
D	380	402.66	448.66

Con las velocidades calculadas, se procede a obtener los radios de unas circunferencias que se dibujan en los umbrales de pista para encerrar el área del circuito visual. Estos radios están expresados en función de la velocidad de vuelo y de la velocidad angular de giro. A su vez, la velocidad angular de giro depende de la velocidad de vuelo y del ángulo de inclinación lateral de la aeronave.

En el documento 8168 de la OACI se establece que el ángulo de inclinación lateral ha de ser tal que se garantice una velocidad angular de 3°/s. Si la inclinación necesaria fuese mayor a 20°, se tomaría una inclinación lateral de 20°, trabajando por tanto con la velocidad angular obtenida para dicha inclinación. La expresión seguida para resolver el problema es:

$$R = \frac{6355 \tan \alpha}{\pi V}$$

En la tabla 8.2-II se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 8.2-II

Categoría	Inclinación para 3°/s (°)	Velocidad angular para inclinación de 20° (°/s)	Inclinación final (°)	Velocidad angular final (°/s)
A	19.75	3.04	19.75	3
B	24.75	2.37	20	2.37
C	30.74	1.84	20	1.84
D	33.64	1.64	20	1.64

Con las velocidades angulares calculadas, se han obtenido los radios de viraje y los radios de los arcos a dibujar mediante las siguientes expresiones:

$$r = \frac{3V}{\pi R} \quad \text{Radio desde el umbral (R)} = 2r + \text{tramo recto.}$$

Una vez calculados los radios de viraje, se opera con ellos y con un tramo recto, constante para cada categoría e independiente de la altitud, para obtener el radio de nuestros arcos. En la tabla 8.2-III se encuentran los resultados:

Tabla 8.2-III

Categoría	Tramo recto (Km)	Radio de viraje (Km)	Radio de los arcos (Km)
A	0.56	1.28	3.13
B	0.74	2.09	4.92
C	0.93	3.48	7.88
D	1.11	4.35	9.81

Ahora simplemente queda dibujar arcos de los radios indicados en el centro de ambos umbrales y unirlos mediante tangentes. El dibujo se ha realizado en AutoCad, georreferenciando de nuevo el umbral de una de las dos pistas. Para este caso se ha georreferenciado el umbral de la pista 06. En la ilustración 40 se puede apreciar el trazado de las circunferencias y de los tramos rectos tangentes a estas que las unen y encierran el circuito visual para categoría A.

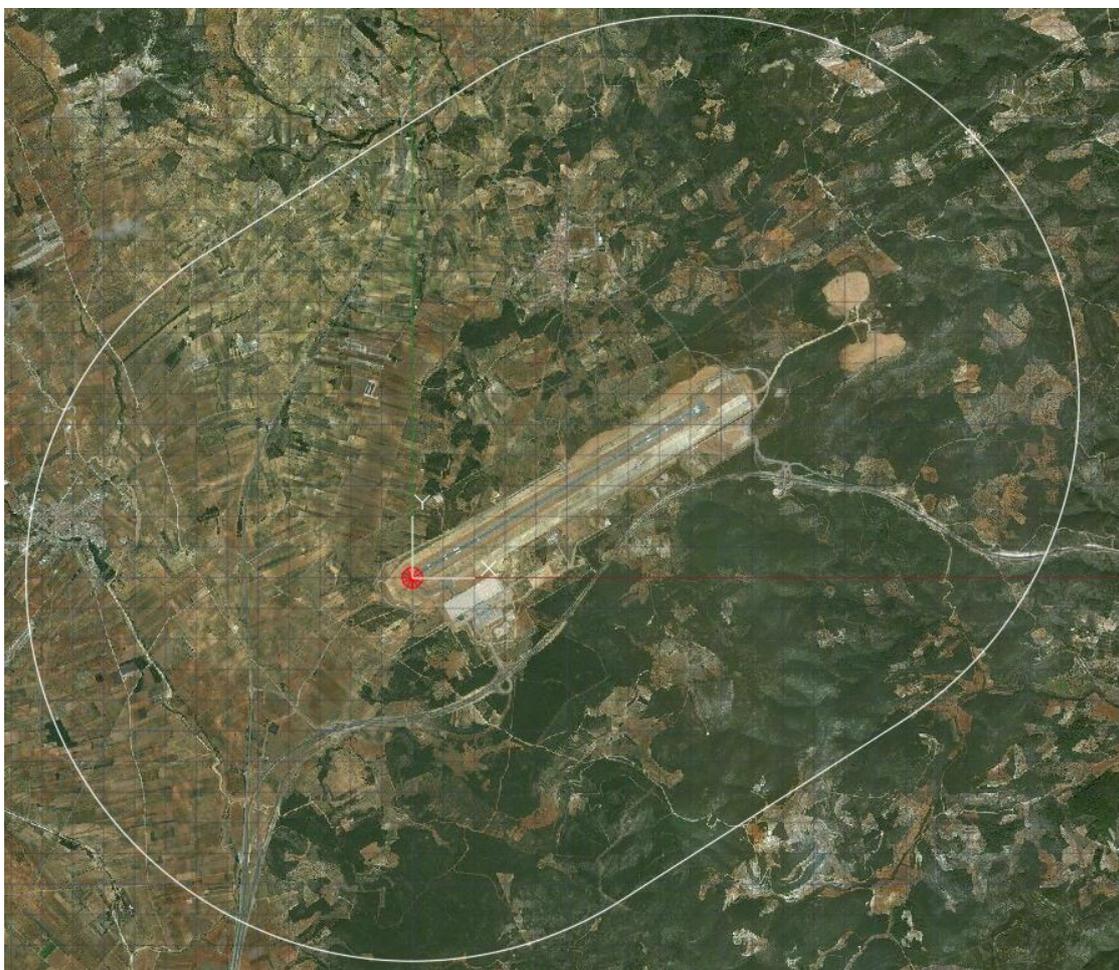


Ilustración 40. Circuito visual para categoría A. Elaboración propia

Una vez se han trazado los 4 circuitos visuales, uno por cada categoría de aeronave que puede aterrizar en el aeropuerto, y se han rellenado con una superficie sólida, se han exportado a formato kml para abrirlos con Google Earth. Una vez en dicho programa, se ha comprobado a qué altitud intersectan con algún obstáculo y entonces se han aplicado los márgenes de franqueamiento de obstáculos especificados por la OACI. En la ilustración 41 se puede ver la superficie del circuito visual de categoría D sin ajustar el MOC, es decir, a la altitud a la que se han realizado los cálculos. Como se puede apreciar, esta superficie es penetrada por la orografía del terreno en su lado noroeste, por tanto, se infringen los márgenes de seguridad. Es necesario elevar el circuito visual para salvar los obstáculos. En la ilustración 42, se puede ver el circuito visual una vez se ha elevado su altitud aplicando los criterios del MOC. En este caso, la superficie ya no es penetrada por ningún obstáculo, y por tanto puede darse por buena.



Ilustración 41. Circuito visual para categoría D sin MOC. Elaboración propia

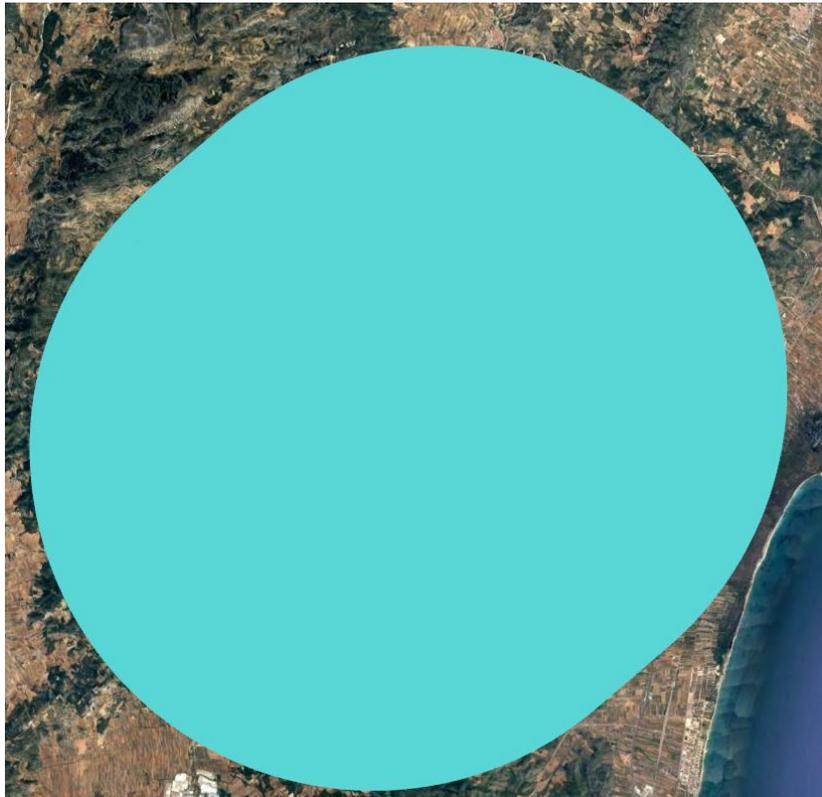


Ilustración 42. Circuito visual para categoría D con MOC aplicado. Elaboración propia

El proceso de exportar los dibujos a formato kml y comprobar en Google Earth si las superficies del circuito son penetradas por obstáculos se realiza para las cuatro categorías de aeronave, pues es necesario tener los valores mínimos para todas las categorías de cara a publicar la tabla de mínimos en el AIP. Como se dijo anteriormente durante el diseño de la aproximación de espera, Google Earth es meramente orientativo, por tanto se ha acudido al Instituto Geográfico Nacional para ver si hay algún pico que penetre las diferentes superficies a las altitudes que se han establecido mediante Google Earth. Los resultados han sido los mismos.

En la tabla se muestran los resultados obtenidos, además de compararlos con las altitudes indicadas en la carta de aproximación:

Tabla 8.2-IV

Categoría	Altitud pico más alto (pies)	MOC (pies)	Altitud final (pies)	Altitud carta (pies)
A	1640	295	1935	2000
B	1640	295	1935	2000
C	2500	394	2894	2100
D	2940	394	3334	2100

8.3. Comparación de resultados

Como se puede ver, los resultados obtenidos en los cálculos no coinciden con los publicados en la carta. Esto es debido a que en la carta de aproximación por pista 24 hay una zona en la que no está permitido el circuito, a diferencia de la aproximación por pista 06 en la que está permitido el circuito en todo el entorno de la pista. La restricción puede verse en la ilustración 43.

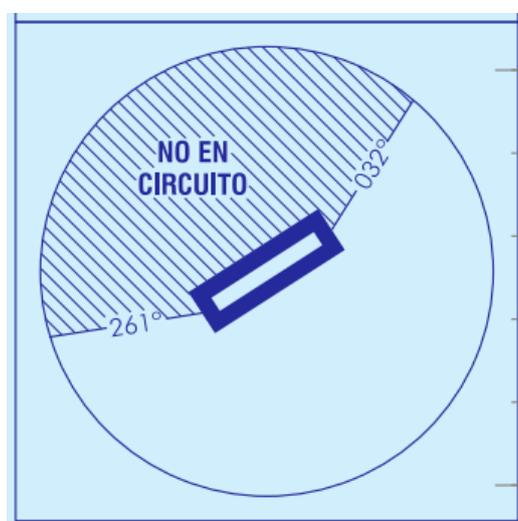


Ilustración 43. Restricción del circuito en visual. STAR LECH RWY 24 del AIP

Si no se tienen en cuenta los obstáculos de la zona restringida, las altitudes mínimas de circuito sí que se asemejan bastante a las publicadas en la carta. El resultado de aplicar la restricción al circuito puede verse en la ilustración 44. En dicha imagen, la zona oscura es la zona restringida mientras que la zona clara es la que se puede volar.

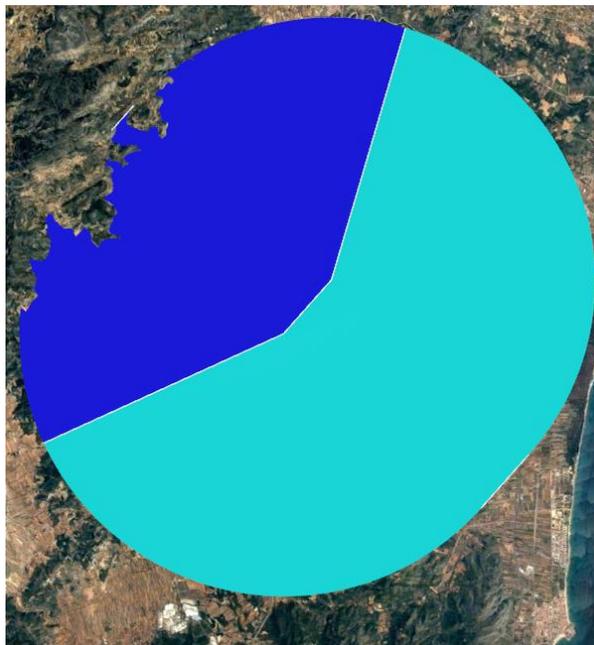


Ilustración 44. Protección del circuito visual aplicando las restricciones. Elaboración propia

Aplicando la restricción, se obtienen los resultados vistos en la Tabla 8.3-V.

Tabla 8.2-V

Categoría	Altitud pico más alto (pies)	MOC (pies)	Altitud final (pies)	Altitud carta (pies)
A	1640	295	1935	2000
B	1640	295	1935	2000
C	1640	394	2034	2100
D	1640	394	2034	2100

9. Coordinación

Para lograr que el procedimiento diseñado se lleve a cabo con altos márgenes de seguridad, es necesario que tenga lugar una coordinación liderada por el controlador de aproximación que evite conflictos. Exactamente hay dos puntos del procedimiento diseñado (uno en la frustrada y otro en la llegada) en los que la existencia de dicha coordinación es totalmente necesaria.

9.1. Salto de paracaídas

Al este de Castellón de la plana se encuentra una zona destinada para saltos de paracaidistas, con lo cual es una zona que puede llevar a conflictos y puede suponer un peligro para los que saltan y para la propia aeronave. Sin embargo, esta zona está definida como una delta, la cual se define como una zona peligrosa en la cual pueden desplegarse en determinados momentos actividades peligrosas para el vuelo de aeronaves. Su nombre concreto es LED108 Castellón, "LE" como indicativo de la península y "D" como indicativo de zona peligrosa. El hecho de que se defina como una delta permite que las aeronaves atraviesen esta zona solicitando previamente su entrada. Esta delta se eleva hasta los 3 000 m, atravesando por tanto todos los procedimientos que por ahí pasan.

En la ilustración 45 se ve como este cilindro de protección de la delta interfiere con la aproximación frustrada y con la llegada desde SOPET.

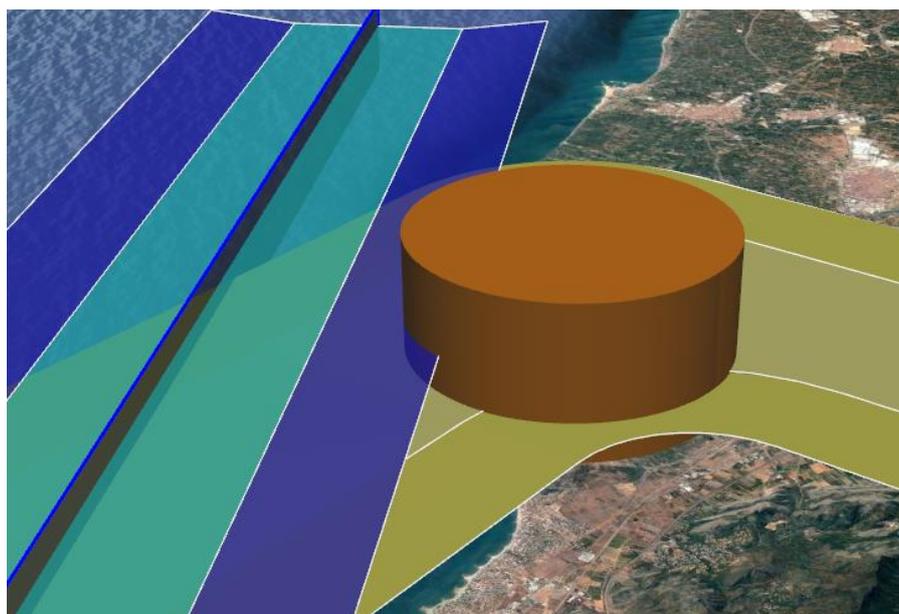


Ilustración 45. Intersección de la delta LED108 con la aproximación frustrada y la llegada. Elaboración propio

Si se observa el documento ENR_5_1 del AIP se puede observar que esta zona ya tiene una coordinación activa con el aeropuerto de Castellón, lo cual es ya una ventaja pues no es necesario establecer nuevos protocolos de coordinación. En la ilustración 46 se puede ver lo que se ha comentado.

LED108 CASTELLÓN

Círculo de 3 Km de radio con centro en / Circle with a
3 Km radius centred on 395940N 0000100E.

3000 m AGL
SFC

Paraclub / Skydiving club.
SAT & HOL: SR/SS
Coordinación con / Coordination with:
CASTELLÓN TWR (123.25 MHz).

Ilustración 46. Extracto de la descripción de la delta de Castellón. AIP

Cabe destacar que el tramo de aproximación frustrada del procedimiento VOR ya existente para pista 24 esquiva esta zona. Esta solución sería una opción con un gran peso en caso de que el aeropuerto de Castellón tuviese una gran cantidad de tráfico, pues aumentaría el número de veces en los que sería necesaria la coordinación entre los paracaidistas y aproximación de Castellón, habitualmente en detrimento de los paracaidistas. Sin embargo, el aeropuerto de Castellón tiene un tráfico pequeño, a la par que la pista 24 no es la pista preferente del aeropuerto, por ende, la opción de precisar una coordinación entre aproximación y los paracaidistas es una opción válida, afianzando la idea de que la frustrada sea un tramo rápido y corto.

Si se precisa una frustrada y fuese totalmente necesario evitar sobrevolar esa zona, se puede establecer un procedimiento de mitigación de riesgos que consista en que el piloto siga ascendiendo en línea recta hasta que sea autorizado a virar, bordeando la zona de conflicto y evitando por tanto entrar en la delta.

9.2. Llegada desde SOPET

El otro punto en el que se precisa una coordinación es en la llegada desde SOPET. Tal y como se diseñó en un principio, esta llegada tiene un punto en el que atraviesa el tramo de aproximación inicial, y es por ello que si hay una aeronave que está realizando la aproximación y hay otra aeronave que está realizando la llegada, es necesario que sea aproximación quien decida cómo evitar el conflicto. En la ilustración 47 se puede ver cómo tiene lugar el conflicto.



Ilustración 47. Combinación de la llegada desde SOPET con las aproximaciones y el tramo nominal de la aproximación. Elaboración propia

Para evitar este conflicto, como se explicó anteriormente, se ha elevado el tramo nominal de la aeronave 1 000 pies, de forma que mantenga un margen de seguridad respecto a la inicial suficiente para no generar conflicto. Sin embargo, las superficies de protección se han mantenido para un tramo nominal de 1 524 m, de forma que el controlador pueda autorizar un descenso continuado desde SOPET hasta el IAF. La coordinación radica en que el controlador autorice a la aeronave a realizar esta maniobra si no hay otra aeronave realizando la aproximación inicial. En caso de que hubiese, la aeronave en llegada simplemente llegaría al IAF y iniciaría el circuito de espera 1 000 pies por encima del punto en el que se inicia la aproximación inicial.

En la carta se indicarán dos altitudes para esta llegada. Una, la de 6 000 pies, es la predeterminada, es la altitud a la que se volará de forma habitual, mientras que la otra, la de 5 000 pies, está sometida a autorización del controlador. Esto se indica mediante un asterisco en la altitud de la llegada y con una nota en el lateral derecho de la carta.

10. Resumen procedimiento

En la parte de planos se verá el resultado de forma normalizada, pero a continuación se muestran los tramos nominales y las superficies de protección de la aproximación y de las llegadas, además del perfil de elevación de la aproximación y de una tabla con todos los puntos de ruta.



Ilustración 48. Superficies de protección de la aproximación en perspectiva. Elaboración propia

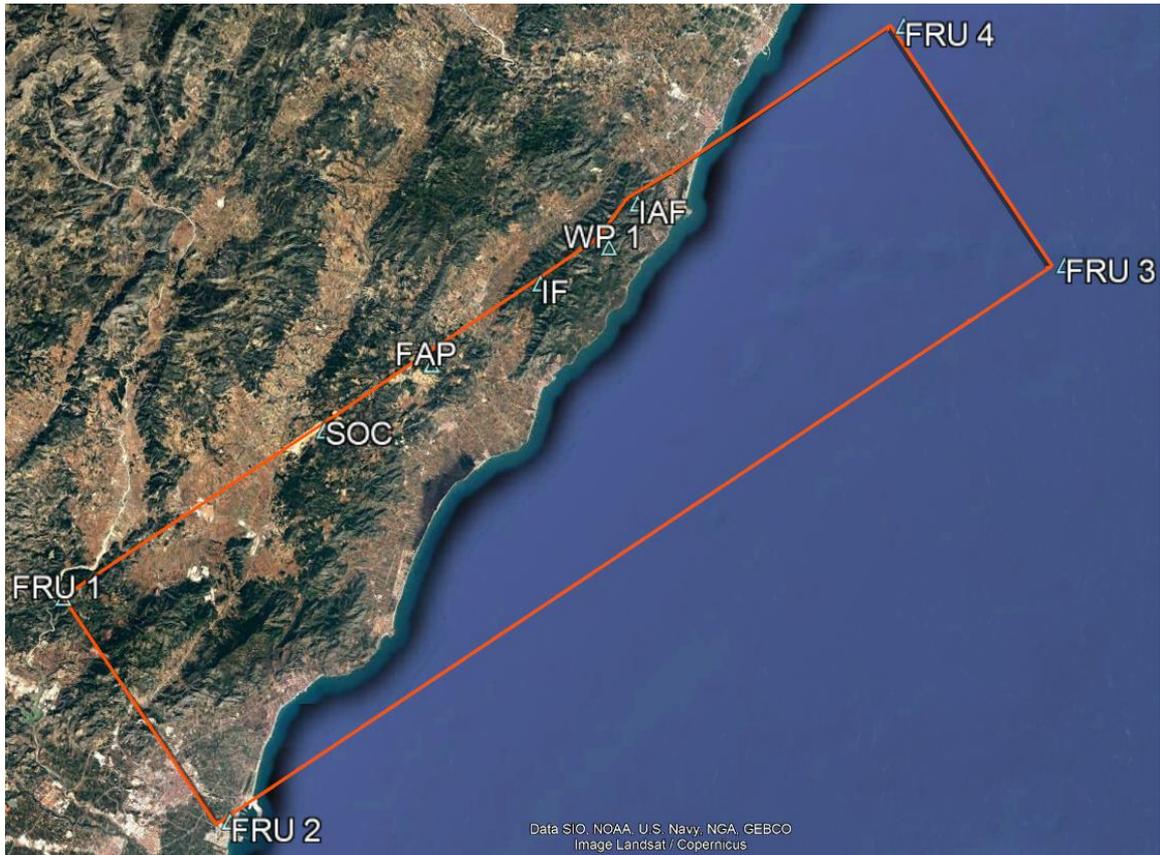


Ilustración 49. Tramo nominal de la aproximación en planta. Elaboración propia

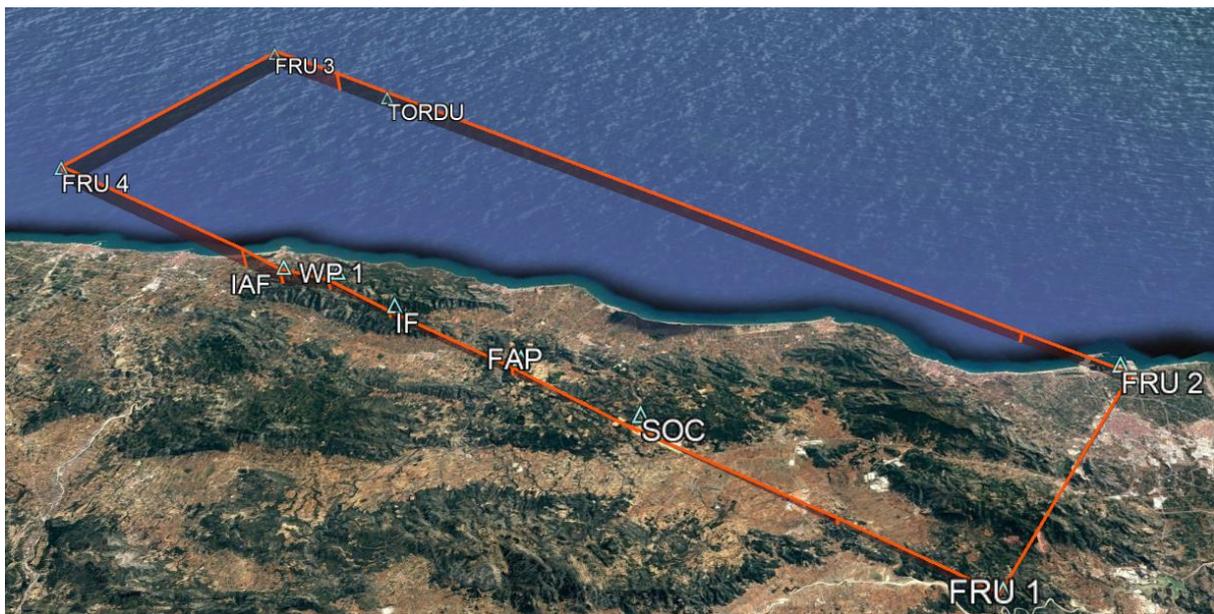


Ilustración 50. Tramo nominal de la aproximación en perspectiva. Elaboración propia

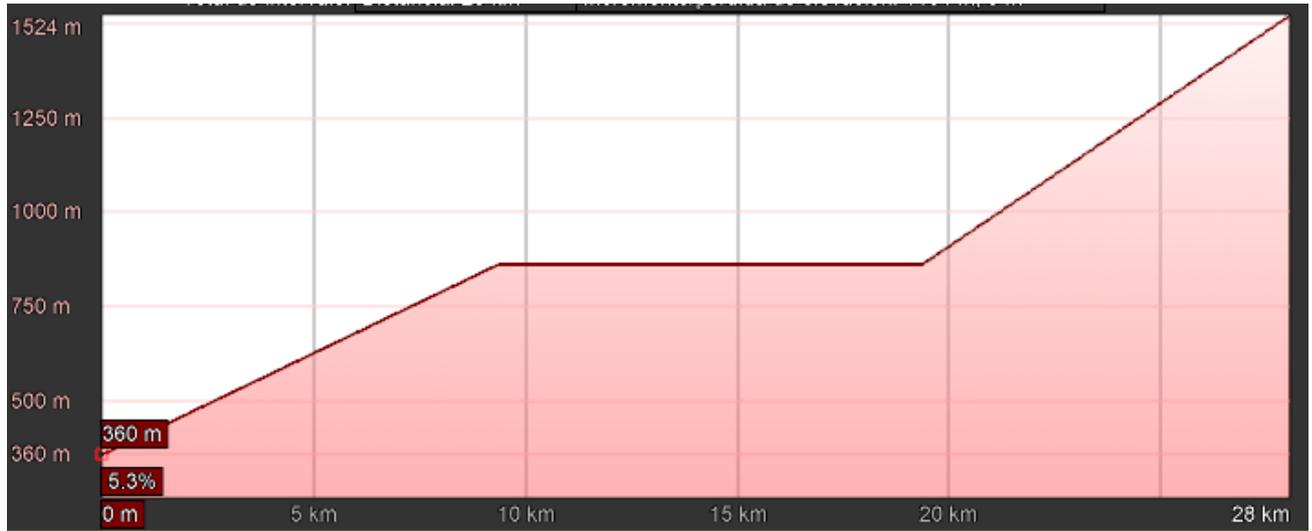


Ilustración 51. Perfil de elevación de la aproximación. Elaboración propia

10.1. Puntos clave de la llegada

Tabla 10-1

Punto clave	Coordenadas	Altitud (m)
RIMES	N 40° 33' 29" W 00° 03' 50"	1 610
SOPET	N 39° 50' 02" W 00° 00' 17"	1 829
TORDU	N 40° 15' 29" E 00° 35' 18"	1 524
WP2	N 40° 27' 54" E 00° 08' 15"	1 610

10.2. Puntos clave de la aproximación

Tabla 10-II

Punto clave	Coordenadas	Altitud (m)
IAF (OSPES)	N 40° 22' 21" E 00° 20' 49"	1 524
IF	N 40° 18' 55" E 00° 16' 40"	863
FAP	N 40° 16' 00" E 00° 10' 43"	863
THR RWY 24	N 40° 13' 15" E 00° 05' 13"	360
SOC	N 40° 13' 30" E 00° 05' 50"	462
WP1	N 40° 20' 25" E 00° 19' 46"	1 194
FRU1	N 40° 06' 43" W 00° 07' 53"	812
FRU2	N 39° 57' 42" W 00° 00' 16"	812
FRU3	N 40° 18' 58" E 00° 42' 43"	1 561
FRU4	N 40° 28' 30" E 00° 34' 10"	1 561

11. Bibliografía

- AIP: <https://ais.enaire.es/aip/>
- INSIGNIA: <https://ais.enaire.es/insignia/navegador/>
- Documento 8168 de la OACI, volumen II
- Soporte y foro de Autocad: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad?sort=score>
- Documentación de MATLAB: <https://es.mathworks.com/help/>
- Plan Director del aeropuerto de Castellón, ofrecido por el Ministerio de Fomento:
<https://www.fomento.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/integracion-territorial-aeroportuaria/planes-directores/plan-director-del-aeropuerto-de-castellon>

12. Anexo

12.1. Programa de MATLAB para calcular el obstáculo determinante

En primer lugar, se establecen todos los parámetros de las ecuaciones de las superficies de la OAS. Esto se observa en la ilustración 52.

```
if tipo==1
%%OCA A/B
Aw1=0.0285; Bw1=0; Cw1=-8.01;
Aw2=0; Bw2=0; Cw2=0;
Ax1=0.027689; Bx1=0.182554; Cx1=-24.73;
Ax2=Ax1; Bx2=-Bx1; Cx2=Cx1;
Ay1=0.023956; By1=0.210125; Cy1=-29.52;
Ay2=Ay1; By2=-By1; Cy2=Cy1;
Az=-0.025; Bz=0; Cz=-26.32;
```

Ilustración 52. Definición de los parámetros de las OAS. Elaboración propia

A continuación se indica al programa que ha de obtener una serie de valores (la posición “x” e “y” de los obstáculos) de un fichero excel llamado “Obstaculos”. Esto puede verse en la sentencia de la ilustración 53.

```
num = xlsread('Obstaculos.xlsx',2,'P3:Q62');
```

Ilustración 53. Lectura del Excel con la información de los obstáculos. Elaboración propia

Una vez se tienen los datos de los obstáculos, se establece un bucle que vaya almacenando las posiciones en diversas matrices (X,Y), a la par que se calculan las alturas de las OAS en las posiciones de los obstáculos. De estas alturas el programa se queda con la Z más baja, que será la de la superficie que afecta en ese punto. Esto puede apreciarse en la ilustración 54.

```
while n<length(num)
X=num(i,1);
Y=num(i,2);
Zw1=Aw1*X+Bw1*Y+Cw1;
Zw2=Aw2*X+Bw2*Y+Cw2;
Zx1=Ax1*X+Bx1*Y+Cx1;
Zx2=Ax2*X+Bx2*Y+Cx2;
Zy1=Ay1*X+By1*Y+Cy1;
Zy2=Ay2*X+By2*Y+Cy2;
Zz=Az*X+Bz*Y+Cz;
```

Ilustración 54. Cálculo de las alturas de las OAS de cada superficie. Elaboración propia

Finalmente se cierra el bucle y se pasan por pantalla las alturas de las OAS y de los obstáculos en cada punto, y por tanto puede determinarse que obstáculos penetran en las superficies y por tanto cuáles son los determinantes para el cálculo de la OCA.

PARTE II:
Pliego de
condiciones

Introducción

A lo largo del pliego de condiciones se verán todas las condiciones y requisitos que se han de cumplir para que el procedimiento diseñado pueda llevarse a cabo con la máxima seguridad posible.

Se verán condicionantes provenientes tanto de los otros procedimientos ya existentes como del manual de la OACI o de aspectos económicos. El primero de todos es de los más importantes, ya que es imprescindible que el nuevo diseño no entre en conflicto con los ya existentes.

Especificaciones de compatibilidad con los otros procedimientos

Puesto que el procedimiento ya existente funciona mediante radioayudas convencionales, la ruta de ambos procedimientos no coincidirá, y por tanto es preciso que se revise en profundidad la compatibilidad con el procedimiento VOR.

- Si ambos procedimientos tienen intersecciones en algún tramo, es preciso que el nuevo diseño se eleve 1 000 pies por encima del procedimiento VOR para evitar infringir los márgenes de seguridad. Otra posibilidad es mantener las altitudes tal y como se hayan obtenido, pero haciendo al controlador conocedor de que ahí pueden surgir conflictos que ha de solucionar.
- Siempre que sea posible y no suponga un cambio muy grande, lo ideal es que las rutas del nuevo procedimiento con la del ya existente sean coincidentes, de forma que la carga de trabajo del controlador sea menor.
- También se ha de tener en cuenta que el nuevo procedimiento no interfiera con los procedimientos de aeropuertos cercanos, como el de Reus al Norte.

Especificaciones de sistemas en la aeronave

Puesto que el procedimiento diseñado se basa en Navegación de Área, es preciso que las aeronaves que busquen aterrizar empleándolo, estén equipadas con sistemas de abordaje que permitan seguir puntos de ruta sin necesidad de radioayudas convencionales. Por tanto, es preciso que las aeronaves tengan capacidad para la navegación de área y de GNSS-SBAS.

Especificaciones de diseño

El procedimiento diseñado está compuesto por muchos apartados que tienen diferentes especificaciones indicadas por la OACI. Todas ellas han de cumplirse para garantizar la navegabilidad y la seguridad, y por supuesto que permitan la certificación del procedimiento. Entre estas especificaciones se encuentran:

- Márgenes de franqueamiento de obstáculos. Ha de garantizarse en todos los tramos que la aeronave pueda volar de forma segura sabiendo que tiene una especie de conducto en el que no se encontrará ningún obstáculo. Estos márgenes varían en función del tramo.
- Distancias de estabilización. En todo viraje ha de establecerse una distancia mínima de estabilización que permita a la aeronave realizar el viraje de forma segura y que pueda alinearse con el nuevo rumbo a la salida de este.
- Pendientes. La OACI estipula unas pendientes máximas que permitan a la aeronave descender sin acelerar, o acelerando de forma controlada, con el objetivo de que posteriormente sea capaz de reducir la velocidad con antelación para poder aterrizar.

Especificaciones de tráfico

Hay dos doctrinas a seguir para la elaboración del procedimiento en relación con el tráfico del aeropuerto.

La primera busca hacer coincidentes todos los tramos posibles para reducir la carga de trabajo del controlador, es por ello que este sería un diseño para un aeropuerto con elevada carga de trabajo. Para aplicar este procedimiento y que se aprovechen todas sus ventajas, será necesario que el aeropuerto tenga una cantidad de tráficos diarios notable.

La segunda busca simplificar el procedimiento realizando vuelos directos. Para que esta doctrina sea viable y no cause conflictos innecesarios entre aeronaves, será necesario que la cantidad de tráfico del aeropuerto sea baja, o al menos que los tráficos estén espaciados entre sí el tiempo necesario para que el controlador no tenga que solucionar conflictos.

Puesto que con este procedimiento se busca optimizar los trayectos y reducir el consumo de tiempo y combustible, es necesario que el tráfico del aeropuerto sea bajo.

PARTE III:

Planos

Aproximación

CARTA DE APROXIMACIÓN POR INSTRUMENTOS-OACI

ELEV AD
1 181

APP	120.100
TWR	120.675
	121.825

CASTELLÓN
SBAS
RWY 24



FRUSTRADA: SUBIR DIRECTO A FR1. VIRAR A LA IZQUIERDA A FR2 A 2665 ft. VIRAR A LA IZQUIERDA A FR3 A 5000 ft. VIRAR A LA IZQUIERDA A FR4. VIRAR A LA IZQUIERDA DIRECTO A OSPES PARA INTEGRARSE A LA ESPERA A 5000 ft O SUPERIOR

CAMBIOS: NUEVA CARTA



HGT REF ELEV THR 24

OCA/H		A	B	C	D
STA	LPV	1 516 (335)	1 526 (345)	1 536 (355)	1 545 (364)
En circuito (H) sobre 1 181		2 000 (819)		2 100 (1 214)	

GS	kt	80	100	120	140	160	180	
FAP-THR: 5.02 NM	min:s	3:46	3:01	2:31	2:10	1:53	1:41	
ROD: 5.2%	ft/min	425	531	637	743	849	955	
ALT/HGT RW35 FNA								
		7NM	6NM	5NM	4NM	3NM	2NM	
					1624 (1264)	1308 (948)	997 (637)	676 (316)

WEF 18-JUL-19 (AIRAC AMDT 08/19)

AIP-ESPAÑA

AD 2-LECH IAC/5.1

COORDENADAS WAYPOINTS / WAYPOINTS COORDINATES

WAYPOINT	COORDENADAS COORDINATES
OSPES (IAF)	40° 22' 21" N 000° 20' 49" W
IF	40° 18' 55" N 000° 16' 40" E
FAP	40° 16' 00" N 000° 10' 43" E
WP1	40° 20' 25" N 000° 19' 46" E
FRU1	40° 06' 43" N 000° 07' 53" W
FRU2	39° 57' 42" N 000° 00' 16" W
FRU3	40° 18' 58" N 000° 42' 43" E
FRU4	40° 28' 30" N 000° 34' 10" E

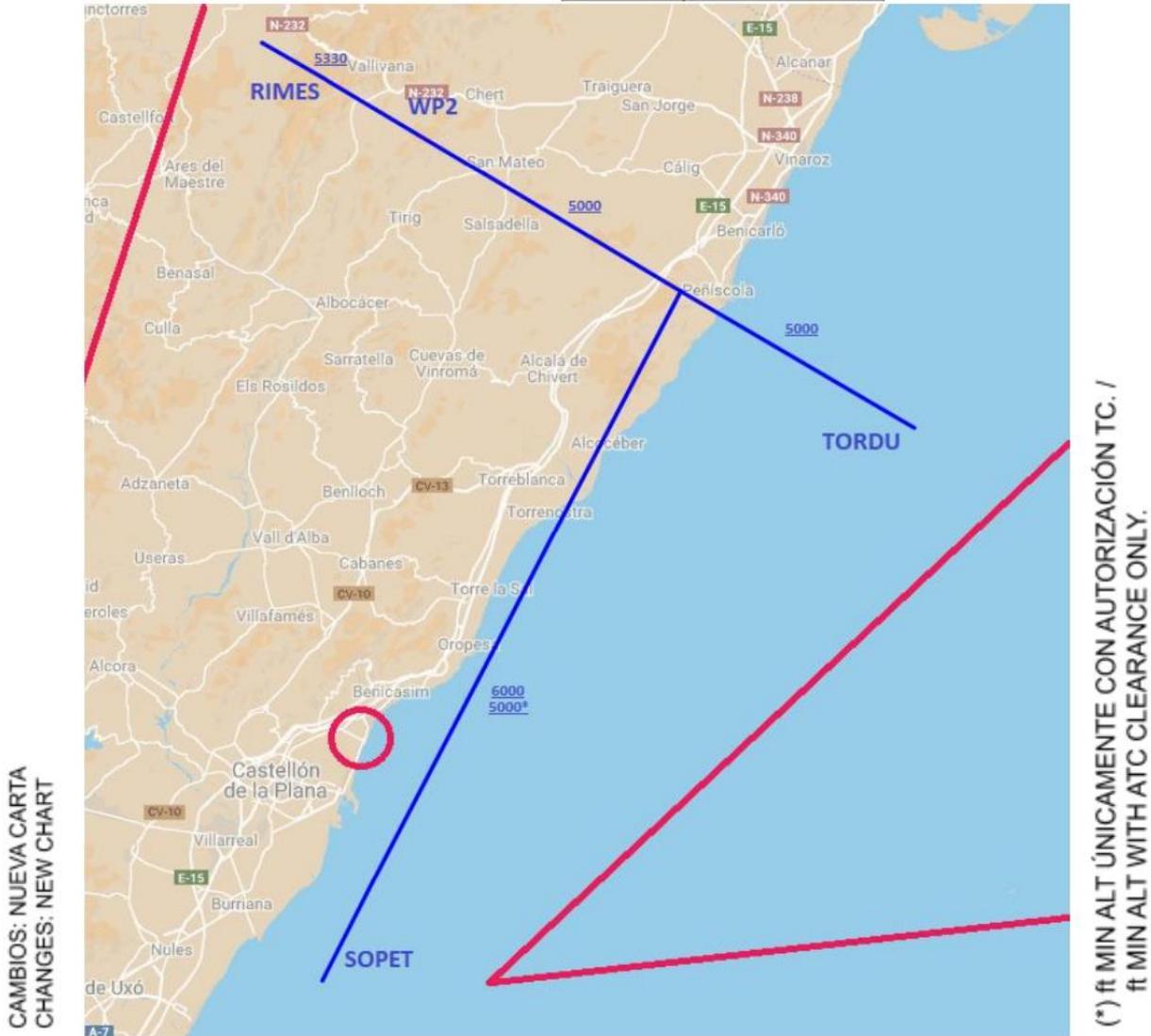
Llegada

CASTELLÓN
RWY 24

CARTA DE LLEGADA NORMALIZADA
VUELO POR INSTRUMENTOS
(STAR)-OACI

TA 6 000	APP 120.100 TWR 120.675
-------------	----------------------------

RIMES3C SOPET3C TORDU3C



WAYPOINTS	COORDENADAS COORDINATES
RIMES	40° 33' 29" N 00° 03' 50" E
SOPET	39° 50' 02" N 00° 00' 17" W
TORDU	40° 15' 29" N 00° 35' 18" E
WP2	40° 27' 54" N 00° 08' 15" E

PARTE IV: ***Presupuesto***

Introducción

Se ha calculado un presupuesto de lo ha costado realizar el proyecto de cara a que hubiese sido realizado para una empresa. Se han tenido en cuenta diversos aspectos como el ordenador empleado, software y horas dedicadas, entre otros. A continuación se tiene un desglose de los diversos parámetros.

Horas dedicadas

Se ha calculado que el número de horas dedicadas pueden girar en torno a las 300 h, si bien es cierto que al ser una estimación, el número de horas puede haber sido mayor o menor. Teniendo en cuenta que quien realiza el proyecto es un recién titulado, la hora de trabajo se ha establecido en unos 60€. A continuación se muestra la distribución de las horas y su precio.

Tabla IV-I

Tarea	Número de horas	Precio total (€)
Cálculos	130	7 800
Dibujo	95	5 700
Redacción	35	2 100
Desplazamientos	40	2 400

El precio final en horas dedicadas es de **18 000€**.

Amortización del equipo

El coste aproximado del equipo que se ha empleado para la realización del proyecto es de 2 500 €. Si se tiene en cuenta que la vida útil media de un ordenador es de 3 años, hay que ver cuánto de esta vida útil se ha empleado en el trabajo.

En un año hay 251 días laborables, con 8 h trabajadas cada uno de esos días, por tanto al año hay 2 008 horas laborables. Por ende, en 3 años se tienen 6 024 horas de trabajo. Si en el proyecto se han invertido 300 h, simplemente se realiza una regla de tres empleando 260h, pues se han descontado los desplazamientos. Por tanto, el coste del equipo es de **108€**.

Amortización del software

Se ha empleado el software para programación llamado MATLAB, con un coste anual de 800€. Si se realiza de nuevo la regla de tres, ahora únicamente con las horas empleadas en el cálculo, se obtiene que la influencia de MATLAB en el coste es de: **48€**.

También se ha empleado el programa de dibujo AutoCad, con el que se se han realizado todos los dibujos de la aproximación y la llegada. El coste de adquisición de la licencia del AutoCad Civil 3D, que es exactamente el que se ha empleado, es de 2904€ al año. De nuevo mediante la regla de tres, contando solo con las horas empleadas en el dibujo, se obtiene que la influencia de AutoCad en el coste es de: **130€**.

Otro software que se ha empleado ha sido el robot matemático Wolfram Mathematica. Este programa tiene un coste mensual de 3 545€ para la versión estándar de escritorio. Siguiendo el mismo procedimiento realizado hasta ahora y contando únicamente con las horas de cálculo, se obtiene un coste de **230€**

Resumen

A continuación se desglosa todo el presupuesto.

Tabla IV-II

Grupo de coste	Tipo de coste	Coste
Personal	Mano de obra	18 000 €
Software	MATLAB	52 €
	AutoCad Civil 3D	137 €
	Wolfram Mathematica	230 €
Hardware	Equipo	108 €
Coste Total		18 527 €