

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESEIAAT

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS AEROESPACIALES

Diseño de procedimientos aéreos de un nuevo aeropuerto

Memoria

Autor:
Gerard CARRERA

Director:
Aitor MARTÍN

10 de junio de 2019



Índice general

1. Introducción	9
1.1. Abstract	9
1.2. Declaración de honor	10
1.3. Objeto	11
1.4. Alcance	11
1.5. Requerimientos	11
1.6. Justificación y utilidad	12
1.7. Antecedentes, estado del arte y planteamiento	12
2. Introducción a las cartas aeronáuticas	14
2.1. Introducción	14
2.2. SIDs y STARs	15
2.3. IAC	15
2.4. Balizas de navegación: VOR, DME y NDB	16
2.5. Sistema de aterrizaje instrumental: ILS	16
2.6. RNAV y Waypoints	17
2.7. Simbología	17
2.8. Lectura de cartas aeronáuticas	20
2.8.1. Cabecera	21
2.8.2. Visualización general del plano	22
2.8.3. Descripción de una ruta	23
3. Compatibilidad de las rutas convencionales con el espacio aéreo	25
3.1. Introducción	25
3.2. Rutas preliminares	25
3.3. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 06. Caso 1	28
3.4. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 06. Caso 2	29
3.5. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 24. Caso 3	30
3.6. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 24. Caso 4	31
3.7. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 06. Caso 5	32
3.8. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 24. Caso 6	33
3.9. Conflictividad LETO Torrejón STAR 1,2; SID 1-5 y IAC 1-10 con la pista 06. Caso 7	34
3.10. Conflictividad LETO Torrejón STAR 1,2; SID 1-5 y IAC 1-10 con la pista 24. Caso 8	35
3.11. Resultados finales	36

4. Rutas Convencionales	38
4.1. Introducción	38
4.2. Standard Instrument Departures-SID	39
4.2.1. Pista 06	39
4.2.2. Pista 24	41
4.3. Standard Terminal Arrival Procedures-STAR	43
4.3.1. Pista 06	43
4.3.2. Pista 24	45
4.4. Instrumental Approach Chart-IAC	47
4.4.1. Pista 06	47
4.4.2. Pista 24	49
5. Introducción a la navegación de área	51
5.1. Introducción	51
5.2. Cobertura	52
5.3. Implementación	52
5.3.1. Aeropuertos con procedimientos IAC RNAV implementados	54
5.3.2. Aeropuertos con procedimientos RNAV copia	55
5.3.3. Aeropuertos con procedimientos RNAV completos	57
5.4. Comentario final	62
6. Compatibilidad de las rutas RNAV con el espacio aéreo	63
6.1. Introducción	63
6.2. Rutas preliminares	63
6.3. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 06. Caso 1	66
6.4. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 06. Caso 2	67
6.5. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 24. Caso 3	68
6.6. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 24. Caso 4	69
6.7. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 06. Caso 5	70
6.8. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 24. Caso 6	71
6.9. Conflictividad LETO Torrejón con la pista 06. Caso 7	72
6.10. Conflictividad LETO Torrejón con la pista 24. Caso 8	73
6.11. Descripción de las zonas de espera	74
6.11.1. Espera Toledo 06	74
6.11.2. Espera Villatobas 06	74
6.11.3. Espera Navas 06 y 24	74
6.11.4. Espera Villatobas 24	74
6.11.5. Espera Getafe 24	74
6.12. Resultados finales pista 06	75
6.13. Resultados finales pista 24	76
7. Rutas RNAV	77
7.1. Introducción	77
7.2. Standard Instrument Departures RNAV-SID RNAV	78
7.2.1. Pista 06	78
7.2.2. Pista 24	80
7.3. Standard Terminal Arrival Procedures RNAV-STAR RNAV	82

7.3.1. Pista 06	82
7.3.2. Pista 24	84
7.4. Instrumental Approach Chart RNAV-IAC RNAV	86
7.4.1. Pista 06	87
7.4.2. Pista 24	89
8. Resultados	91
8.1. Resumen económico	91
8.2. Implicaciones ambientales	91
8.3. Conclusiones y recomendaciones	92
8.4. Planificación y programación	93
Bibliografía	94

Índice de figuras

2.1. Radioayudas	18
2.2. Zonas sensibles	18
2.3. Símbolos de tránsito aéreo	19
2.4. Puntos de notificación	20
2.5. STAR Barajas pistas 32L y 32R	21
2.6. Cabecera STAR Barajas pistas 32L y 32R	22
2.7. Plano STAR Barajas pistas 32L y 32R	23
2.8. Ruta ZMR3C de llegada al aeropuerto de Barajas	24
3.1. Diseño preliminar rutas pista 06	26
3.2. Diseño preliminar rutas pista 24	27
3.3. Problema caso 1	28
3.4. Problema caso 2	29
3.5. Problema caso 3	30
3.6. Problema caso 4	31
3.7. Problema caso 5	32
3.8. Problema caso 6	33
3.9. Problema caso 7	34
3.10. Problema caso 8	35
3.11. Diseño rutas pista 06	36
3.12. Diseño rutas pista 24	37
4.1. SIDs pista 06	39
4.2. SIDs pista 24	41
4.3. STARs pista 06	43
4.4. STARs pista 24	45
4.5. IAC pista 06	47
4.6. IAC pista 24	49
5.1. Cobertura del sistema EGNOS. Imagen obtenida de [5]	52
5.2. Aeropuertos europeos con procedimientos RNAV implementados. Imagen obtenida de [5]	53
5.3. Aeropuertos españoles con procedimientos RNAV implementados. Imagen obtenida de [5]	53
5.4. Procedimientos RNAV IAC aeropuerto Santander (LEXJ). Imagen obtenida de [1]	54
5.5. Procedimientos IAC convencionales aeropuerto Santander (LEXJ). Imagen obtenida de [1]	55
5.6. Procedimientos RNAV Salidas aeropuerto Stuttgart (EDDS). Imagen obtenida de [2]	56
5.7. Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Stuttgart (EDDS). Imagen obtenida de [2]	57

5.8. Procedimientos RNAV Salida aeropuerto Almería (LEAM). Imagen obtenida de [1]	58
5.9. Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Almería (LEAM). Imagen obtenida de [1]	59
5.10. Procedimientos RNAV Salida aeropuerto Palermo (LICJ). Imagen obtenida de [2]	60
5.11. Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Palermo (LICJ). Imagen obtenida de [2]	61
6.1. Diseño preliminar rutas pista 06 RNAV	64
6.2. Diseño preliminar rutas pista 24 RNAV	65
6.3. Problema caso 1 RNAV	66
6.4. Problema caso 2 RNAV	67
6.5. Problema caso 3 RNAV	68
6.6. Problema caso 4 RNAV	69
6.7. Problema caso 5 RNAV	70
6.8. Problema caso 6 RNAV	71
6.9. Problema caso 7 RNAV	72
6.10. Problema caso 8 RNAV	73
6.11. Resultados finales pista 06 RNAV	75
6.12. Resultados finales pista 24 RNAV	76
7.1. SIDs pista 06 RNAV (GNSS)	78
7.2. SIDs pista 24 RNAV (GNSS)	80
7.3. STARs pista 06 RNAV (GNSS)	82
7.4. STARs pista 24 RNAV (GNSS)	84
7.5. IAC pista 06 RNAV (GNSS)	87
7.6. IAC pista 24 RNAV (GNSS)	89

Capítulo 1

Introducción

1.1. Abstract

El proyecto de construcción del nuevo aeropuerto de Madrid Sur lleva asociado el desarrollo de unas rutas de entrada y salida del aeropuerto que permitan un tráfico rápido, fluido y compatible con el espacio aéreo de los aeropuertos cercanos. Tratándose de un aeropuerto de nueva construcción, en este trabajo no solo se proporcionan las rutas convencionales sino que también se desarrollan y presentan los vanguardistas procedimientos RNAV, que permiten una reducción de las distancias y tiempo de vuelo así como una reducción del impacto sobre los habitantes en zonas próximas al aeropuerto. Para el desarrollo de este proyecto se toman como referencia los procedimientos ya existentes en aeropuertos españoles y europeos.

New Madrid's Sur airport construction project needs the development of some arrival and departure procedures which ensure a fluid and fast traffic, compatible with near airports' airspace. As this is a brand new airport, not only the conventional procedures are developed but also the new RNAV procedures are developed and presented. The RNAV procedures allow a reduction in flight distance and flight time as well as a noise impact reduction for the inhabitants in the surroundings of the airport. To develop the airport's procedures the existing routes for Spanish and European airports are used as a reference.

1.3. Objeto

El objetivo del trabajo es la redacción de los procedimientos de entrada, aproximación y salida del nuevo aeropuerto de Madrid Sur, tanto convencionales como RNAV que constituyen una de las últimas innovaciones en procedimientos aéreos.

Si bien es cierto que el objetivo principal del trabajo es desarrollar las rutas necesarias para el nuevo aeropuerto de Madrid Sur, este también contará con dos secciones explicativas donde se expondrán los aspectos más relevantes de la navegación aérea necesarios para entender todo el desarrollo de los procedimientos. Así se busca que el trabajo tenga una función educativa de modo que cualquiera pueda entender como funciona la navegación aérea.

Antes de empezar a redactar todos los documentos es importante conocer el tipo de aeropuerto para el que se están desarrollando los procedimientos. El nuevo aeropuerto de Madrid Sur está situado junto al aeródromo de Casarrubios (al límite entre la Comunidad de Madrid y Castilla-La Mancha) que dispone actualmente de una pista de 900m de largo, lo cual es insuficiente para un aeropuerto para vuelos comerciales, es por ese motivo que se decidió diseñar una nueva pista de 3200m de largo y 45m de ancho apta para aviones comerciales de tamaño pequeño y medio. La orientación de esta pista es 06-24 y está situada a una altitud de 625m. La pista dispone de un sistema de aterrizaje visual tipo PAPI y un sistema de aterrizaje instrumental ILS de categoría I. Finalmente resta comentar que el aeropuerto está diseñado para albergar alrededor de 10 millones de pasajeros al año.

Para diseñar los procedimientos de este nuevo aeropuerto es importante tener en cuenta que existen otros aeropuertos cercanos que pueden afectar potencialmente a su operativa. El más importante de ellos es el aeropuerto Adolfo Suárez-Madrid-Barajas (al que se pretende dar respaldo con la creación de este nuevo aeropuerto). Asimismo las bases aéreas de Getafe y de Torrejón también pueden afectar a la operativa. Otro aeropuerto cercano es el de Cuatro Vientos pero debido al tipo de vuelos que se realizan en él su afectación debería ser mínima.

1.4. Alcance

Como se ha comentado el objetivo principal es diseñar los procedimientos de salida, entrada y aproximación (SIDs, STARs e IAC) tanto convencionales como RNAV para el nuevo aeropuerto de Madrid Sur. Por cada uno de los tipos de procedimientos (convencionales y RNAV) primero se presenta una introducción para que el lector pueda conocer los aspectos más relevantes y poder seguir de forma correcta todas las explicaciones que se realizan posteriormente. A continuación se presentará un diseño preliminar que se comprobará si produce interferencias con los procedimientos de los aeropuertos cercanos. Finalmente una vez estos procedimientos sean correctos se va proporcionar una descripción concisa de ellos y se presentarán en los anexos de la memoria en un formato similar a las cartas aeronáuticas que se pueden encontrar en la AIP de España.

1.5. Requerimientos

Aunque se intentan diseñar unos procedimientos tan parecidos como sea posible a los que actualmente utiliza ENAIRE, hay diversos elementos que aparecen en ellos que no se van a abordar.

Uno de estos elementos son los obstáculos cercanos que pudiera haber como árboles, torres eléctricas, fanales, farolas... puesto que su inclusión llevaría mucho tiempo y se deberían tomar una gran cantidad de medidas que quedan fuera del alcance de este trabajo. Tampoco se van a proporcionar indicaciones para vuelos visuales ni para aproximaciones finales que no sean del tipo ILS o RNAV.

Por otro lado se intentarían diseñar unos procedimientos que sean tan óptimos como sea posible para el nuevo aeropuerto respetando siempre la legislación vigente, respetando los procedimientos existentes y también se intentará evitar el paso por zonas residenciales. Especialmente importante es evitar al máximo que el paso de los aviones pueda molestar a la población.

En relación a la legislación que se debe seguir para el desarrollo del proyecto hay tres documentos importantes: los anexos 4, 11 y 15 de la OACI. El Anexo 4 se puede consultar en [10], el 11 en [8] y el 15 en [9]. Aunque estos son documentos de referencia, en ellos no se especifica ninguna forma en la que deban desarrollarse estos procedimientos (pues solo se indica que los procedimientos desarrollados deben ser suficientes para el aeropuerto) y más bien dan información en relación a la presentación de la información. Para ejemplificar se puede decir que el Anexo 4 indica que las radioayudas deben ir identificadas por su nombre, frecuencia, coordenadas... El Anexo 11 indica que no se pueden utilizar las letras "I" ó "O" como identificador de ruta y finalmente el Anexo 15 indica que en la AIP deben aparecer los planos de aeródromo, cartas de salida normalizada, cartas de llegada normalizada... Así pues todos estos anexos guardan una relación estrecha con el trabajo pero no indican un procedimiento ni una normativa a seguir para el desarrollo de las rutas y por lo tanto sólo se van a tener en cuenta para el modo de publicar la información. No obstante, para facilitar el trabajo se van a utilizar como guía los procedimientos que ya están publicados y que por lo tanto son correctos.

1.6. Justificación y utilidad

Todos los aeropuertos necesitan diseñar unos procedimientos aéreos para asegurar que se puedan realizar aterrizajes y despegues de forma segura y fluida, es por eso que son elementos claves para su operatividad. Así pues, cada vez que se diseña un nuevo aeropuerto es necesario diseñar unos procedimientos ligados a él.

1.7. Antecedentes, estado del arte y planteamiento

En este trabajo no se puede hablar de unos antecedentes claramente definidos puesto que el control aéreo ha ido mejorando conforme la tecnología también ha mejorado. Según comenta el sindicato de controladores [13], desde que aparecieron los primeros aeropuertos, y la aviación civil en general, se hizo clara la necesidad de disponer de un control sobre las aeronaves. Al principio este control podía ser solo ondear una bandera pero rápidamente se empezó a utilizar la radio y se crearon las primeras rutas. Uno de los primeros procedimientos de salida creados fue en el aeródromo de Croydon y fue para evitar molestar a los vecinos. Conforme la tecnología ha ido avanzando también lo han hecho los procedimientos y uno de los mayores avances fue el uso del radar. Así, el control de las aeronaves viene desde los mismos inicios de la aviación y es por ese motivo que cualquier aeropuerto del mundo dispone de unos procedimientos que le permiten operar de forma segura. Como todos los aeropuertos disponen de estos procedimientos se pueden utilizar como base para desarrollar los procedimientos de este nuevo aeropuerto, especialmente útiles son los procedimientos de los aeropuertos españoles.

En lo que se refiere a estado del arte, las últimas innovaciones en relación a los procedimientos se encuentra en la utilización de los sistemas GNSS (procedimientos RNAV) para conseguir diseñar rutas con mucha más precisión y que transcurran por cualquier zona sin estar restringidos a la cobertura de las radioayudas tradicionales. Estos procedimientos están bastante desarrollados en otros países europeos pero no en España, donde son muy pocos los aeropuertos que los tienen implementados. Aunque estos procedimientos no estén muy implementados de forma generalizada en España, constituyen el futuro de la navegación aérea y por lo tanto ya que se diseña un nuevo aeropuerto es importante que se diseñen estos procedimientos de vanguardia. Más adelante se proporciona una amplia explicación de este tipo de procedimientos.

El procedimiento a seguir para desarrollar los procedimientos va a ser secuencial, partiendo de los convencionales para después diseñar los procedimientos RNAV. El primer paso va a ser recabar y presentar información de carácter general sobre la navegación aérea. A continuación se recabará información de los procedimientos de los aeropuertos cercanos, esto servirá por un lado para ver si se pueden compartir rutas con estos aeropuertos (para facilitar el trabajo de los controladores) o si no se pueden compartir se va a utilizar para ver si se producen incompatibilidades. Dentro de este proceso también se incluye la representación de todas la rutas en el programa utilizado para poder comprobar las interferencias. Una vez sentadas las bases se va a proceder al diseño preliminar de las rutas y se va a comprobar su compatibilidad con el espacio aéreo de los aeropuertos próximos. Una vez se haya comprobado la compatibilidad se va a proceder a describir los procedimientos y se van a presentar unas cartas aeronáuticas similares a las que se pueden encontrar en la AIP de España (y que cumple con los Anexos de la OACI), estas cartas se presentan en los anexos de la memoria. Este procedimiento se va a realizar tanto para los procedimientos convencionales como para los RNAV.

Capítulo 2

Introducción a las cartas aeronáuticas

2.1. Introducción

Las cartas aeronáuticas constituyen la representación de una porción de la superficie terrestre con el objetivo de proporcionar una guía para la navegación aérea, es decir, proporcionar una ruta a seguir por las aeronaves para conseguir un movimiento rápido, eficaz y seguro por todo el espacio aéreo de un territorio.

Existen diferentes tipos de cartas en función de cada situación de vuelo. Para la fase de despegue existen las cartas de salida normalizada por instrumentos (SID), para la fase de aproximación al aeropuerto existen las cartas de llegada normalizada (STAR) que se complementan con las cartas de aproximación final a la pista de aterrizaje (IAC). En relación al aeropuerto también existen otras cartas como son los planos de obstáculos o los planos del lado aire del aeropuerto. Además existen las cartas que sirven para la navegación en ruta y son las que permiten ir entre los puntos deseados, en estas cartas es donde aparecerán las aerovías que siguen los aviones durante la fase de crucero.

Como es ampliamente conocido, el mundo de la aviación tiene muchas regulaciones para asegurar el buen funcionamiento de cualquier tipo de operación, en relación a este aspecto las cartas aeronáuticas siguen la misma corriente y están reguladas por la OACI (Organización de la Aviación Civil Internacional). Básicamente hay tres anexos que se refieren a las cartas. Por un lado existe el Anexo 4 que describe como deben ser estas cartas, de modo que se fija una regulación para que sea igual por todo el mundo. El Anexo 11 básicamente fija las bases para poder controlar de forma correcta los aviones en el espacio aéreo. Por otra parte en el Anexo 15 se fija como se debe proporcionar esta información para asegurar que en todo momento esta información está actualizada. Por ejemplo, si hay un cambio puntual en alguna de las rutas que aparecen en una carta este deberá ser informado por una circular aeronáutica o una nota para aviadores. Cabe añadir que de forma general las cartas aeronáuticas son actualizadas aproximadamente cada 28 días, pero la mayoría de las veces los cambios son mínimos.

Para terminar este apartado introductorio solo queda comentar que las cartas aeronáuticas son publicadas por cada país en su AIP (Publicación de Información Aeronáutica) donde se incluye toda la información y las cartas necesarias para la navegación aérea. Este trabajo básicamente se va a centrar en las que hacen referencia a los aeródromos y especialmente en las SIDs, STARS e IAC recordando que de forma habitual estas son diferentes para todos los aeropuertos. Todas las cartas de navegación de España se pueden consultar en la página web de ENAIRE [1] y es de donde se van a obtener en este estudio.

2.2. SIDs y STARs

Las SIDs y las STARs constituyen los procedimientos básicos de movimiento alrededor de los aeropuertos. Las SIDs son las rutas estandarizadas de despegue por instrumentos y permiten a las aeronaves ir desde la pista desde la que se está realizando el despegue hasta un punto donde pueda conectarse con una aerovía que le permita seguir su trayecto. Por otra parte las STARs constituyen los procedimientos estandarizados de llegada y permiten a la aeronave ir desde un punto de la aerovía hasta el punto de inicio de la aproximación final, que normalmente es identificado con las siglas IAF. Una vez se ha llegado al punto IAF entran en juego las cartas de aproximación por instrumentos (IAC) que permiten realizar el aterrizaje y son distintas en función del tipo de aproximación (ILS, VOR...). Estos procedimientos se desarrollaron con el objetivo principal de evitar posibles conflictos en el aire pero también para facilitar el control en el caso de aeropuertos muy transitados y a su vez para evitar posibles zonas sensibles, como podrían ser zonas residenciales.

Básicamente se podría decir que las SIDs y STARs contienen un mapa donde aparecen las radiales de uno o varios VORs que se deben seguir para completar una determinada ruta, así como información sobre las distancias y límites de altitud de las diferentes rutas.

Mucha de la información que puede encontrarse en este apartado y en apartados siguientes se ha obtenido directamente de la página web de SKYbrary [3] que es una enciclopedia online creada por EuroControl, la OACI y la fundación para la seguridad aérea y que constituye una forma sencilla de acercarse a toda la información relacionada con la aeronáutica, así pues para cualquier duda que surja durante la lectura uno puede dirigirse a esta página y encontrará un amplio abanico de información.

En este apartado también es necesario mencionar que existen las cartas de llegada de vuelo por instrumentos de descenso continuo (CDA). Las rutas de estas cartas son prácticamente iguales a las STARs y la diferencia entre ellas es que en las CDA en lugar de hacer un descenso escalonado se baja de forma continua, lo que permite que los motores estén prácticamente todo el tiempo en *Idle* (que se podría traducir como ralentí) por lo que se reduce el consumo de combustible y el ruido. No obstante, estos procedimientos son mucho más difíciles de controlar por lo que suelen estar disponibles solo unas horas (normalmente de noche) y siempre bajo la aceptación del controlador aéreo. Una aproximación más detallada a estos procedimientos se puede encontrar en el documento de Eurocontrol: *Continuous Descent: A guide to implementing Continuous Descent* [4].

De forma general cada una de las pistas de un aeropuerto dispondrá de un número suficiente de SIDs y STARs que permita un tráfico fluido y sin retrasos y los pilotos deberán proporcionar información en su plan de vuelo sobre cual van a utilizar.

2.3. IAC

Las cartas de aproximación por instrumentos (IAC) indican los procedimientos necesarios para el descenso del avión desde un punto IAF, es decir, donde termina una STAR hasta el aeropuerto, así como los procedimientos a utilizar si se produce una aproximación frustrada.

Se podría decir que las cartas de IAC son muy similares a las STARs y las SIDs puesto

que también incluyen un mapa con distancias y radiales. No obstante al ser la aproximación un procedimiento que implica una mayor precisión, estas cartas también incluyen información del perfil de descenso, de las altitudes de decisión y del tiempo que se tarda en completar el proceso de aproximación final.

2.4. Balizas de navegación: VOR, DME y NDB

Las balizas de navegación constituyen la forma básica de construcción tanto de la rutas de salida como de llegada de los aeropuertos. De forma general estas rutas están formadas por diferentes segmentos rectos donde cada uno de ellos representa la unión entre diferentes balizas.

Básicamente se puede hablar de dos tipos de balizas. Por un lado existe el VOR (VHF Omnidirectional Radio Range) que es un radiofaro omnidireccional que opera en VHF y cuya señal emitida permite identificar al equipo receptor de la aeronave en que radial se encuentra respecto al VOR que se ha escogido a partir de seleccionar la frecuencia en la que opera. La última innovación del VOR consiste en el DVOR, que utiliza el efecto Doppler para mejorar la precisión de la posición. Además el VOR siempre suele estar acoplado con un DME (Distance Measuring Equipment) que básicamente permite a la aeronave saber la distancia respecto a la baliza. De este modo, con la radial y la distancia se puede conocer la posición de forma unívoca.

El otro tipo de baliza existente es la NDB (Non-Directional Beacon) que funciona de una manera similar al VOR pero en este caso no es capaz de proporcionar la radial en la que se encuentra el avión y solo proporciona información sobre hacia donde se encuentra la baliza, de modo que para saber exactamente el rumbo se suele relacionar esta lectura con la de una brújula.

También existen otras balizas para el uso militar, como por ejemplo el TACAN que es parecido al VOR pero ofrece más precisión.

2.5. Sistema de aterrizaje instrumental: ILS

Aunque el sistema de aterrizaje instrumental no entra directamente en el objeto de estudio de este trabajo resulta interesante conocer el sistema que se utiliza de forma habitual para conseguir un aterrizaje perfecto de los aviones.

El sistema ILS consta básicamente de dos antenas. Una primer antena (o conjunto de antenas) está situada al principio de la pista y es la encargada de proporcionar la guía lateral y permite que el avión esté centrado respecto al eje de la pista, mientras la segunda antena suele estar situada a unos 1000ft del inicio de la pista y proporciona una guía vertical, generalmente de 3º de pendiente de descenso, que permite que el avión pase a 50ft de altura en el inicio de la pista. Este sistema se debe utilizar en concordancia con un conjunto de sensores situados en el avión que son los encargados de procesar la señal recibida por las antenas.

En función de la precisión del sistema instalado se pueden distinguir cinco categorías de ILS:

- CAT I: Altura de decisión de 200ft o superior y alcance visual de 550m o superior.
- CAT II: Altura de decisión de 100ft o superior y alcance visual de 300m o superior.
- CAT IIIa: Altura de decisión inferior a 100ft y alcance visual de 200m o superior.

- CAT IIIb: Altura de decisión inferior a 50ft y alcance visual de 50m o superior.
- CAT IIIc: Altura de decisión de 0ft y alcance visual de 0m. Este sistema sería el más preciso pero no se utiliza debido a que el avión se debería remolcar una vez terminado el proceso de aterrizaje.

Si el piloto llega a los mínimos descritos para la categoría ILS del aeropuerto y no es capaz de ver la pista para realizar un aterrizaje deberá abortar y utilizar el procedimiento de aproximación frustrada.

Evidentemente el uso de los sistemas ILS también conlleva sus problemáticas. La primera de ellas es que la instalación y revisión del todo el sistema conlleva un elevado coste, además como más preciso es el sistema más distancia de separación se debe dejar entre los aviones y por lo tanto se perjudica la operativa del aeropuerto.

2.6. RNAV y Waypoints

En apartados anteriores se ha comentado que la forma básica de navegación consiste en hacer rutas entre radiobalizas, de modo que el tipo de rutas que se pueden hacer está directamente relacionado con el número de ayudas que estén disponibles, además de ser procedimientos bastante lentos. Es por eso que en los últimos tiempos y gracias especialmente al uso de los sistemas GPS se ha empezado a desarrollar un sistema de navegación que debería permitir operar cualquier plan de vuelo siempre y cuando haya una suficiente cobertura, no obstante de forma general estos procedimientos también están publicados por los diferentes aeropuertos y por lo tanto no se pueden hacer rutas libres. La diferencia principal con respecto a las rutas clásicas es que se pueden crear rutas más complejas, difíciles de seguir con los procedimientos habituales pero que permiten rutas más cortas y rápidas. Aunque el dispositivo más lógico para determinar la posición es el GPS también se pueden utilizar combinaciones de VOR y DME, pero que solo pueden proporcionar información en 2D. Más información sobre los procedimientos RNAV se puede consultar en el documento de la OACI: *RNAV Training for ATC* [11].

La navegación en RNAV se basa en los Waypoints, que son localizaciones específicas que definen la ruta a seguir por una aeronave en procedimiento RNAV. Existen dos tipos de Waypoints. Por un lado los "Flyover" que son aquellos que la aeronave pasa directamente por encima y a continuación empieza un giro para unirse al siguiente tramo. Por otra parte existen los "Fly-by" que son aquellos que no se pasan directamente por encima y que requieren un giro antes de llegar a ellos para unirse de forma tangencial al siguiente tramo. Cada uno de estos Waypoints se identifica de una forma distinta que se comentará posteriormente.

2.7. Simbología

Antes de proceder a la lectura de las cartas aeronáuticas es importante conocer la simbología que se utiliza en ellas. En las siguientes imágenes, obtenidas de la página web de ENAIRE [1], se pueden ver los símbolos que se utilizan en sus cartas con sus definiciones.

RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN / RADIO NAVIGATION AIDS			
Simbolo básico de radio ayuda / Basic radio aid symbol		TACAN	
NDB		VORTAC	
VOR		Radio baliza / Radiomarker beacon	
DME		Rosa de los vientos (utilizada en algunos casos en combinación con los símbolos de VOR, VOR/DME, TACAN y VORTAC) / Compass rose (used as appropriate in combination with VOR, VOR/DME and TACAN symbols)	
VOR/DME		Sistema de aterrizaje por instrumentos ILS y GBAS en perfil / Instrument landing system ILS and GBAS in profile	
Sistema de aterrizaje por instrumentos ILS y GBAS en planta / Instrument landing system ILS and GBAS in plan view			

Figura 2.1: Radioayudas

En la figura 2.1, se puede ver cual es la forma más habitual de representar los VOR, DME y NDB que se han descrito anteriormente. Cabe destacar que lo más habitual es que vayan acompañados también de la rosa de los vientos.

En la figura 2.2 se puede ver como se va a identificar una zona sobre la que el vuelo está limitado por algún motivo.

ZONAS / AREAS			
Zonas prohibidas, restringidas y peligrosas; espacios aéreos temporalmente segregados / Prohibited, restricted, danger and temporary segregated areas		Zona de fauna sensible / Sensitive fauna area	

Figura 2.2: Zonas sensibles

SERVICIOS DE TRÁNSITO AÉREO / AIR TRAFFIC SERVICE			
Espacio aéreo / Airspace	SANTANDER TMA D FL 145 / 300 m AGL - AMSL	Altitud/nivel de vuelo "a o por encima de" / "At or above" altitude/flight level	7000 FL70
Nombre / Name		Altitud/nivel de vuelo "a o por debajo de" / "At or below" altitude/flight level	5000 FL50
Límite superior y Límite inferior / Upper limit and Lower limit		Altitud/nivel de vuelo "obligatoria" / "Mandatory" altitude/flight level	5000 FL50
FIR		Altitud de procedimiento/nivel de vuelo "recomendada" / "Recommended" procedure altitude/ flight level	5000 FL50
AWY		Altitud/nivel de vuelo "prevista" / "Expected" altitude/flight level	Prevista 5000 Prevista FL50
TMA, CTA		Fallo de comunicaciones / Communications failure	* - - - - -
Parte de TMA (áreas y sectores) / Part of TMA (areas and sectors)	*	Pasillo VFR / VFR corridor	* 270°
CTR		Sector VFR / VFR sector	*
ATZ, *FIZ	Altitud de sector (ft) / Sector altitude (ft)	* 2000 ft
Aproximación frustrada / Missed approach		Punto de referencia visual / Visual reference point	*
Rumbo de penetración / Penetration track (Solo / Only HI-TACAN)	*224°.....	FAF	
RNAV		Prohibido sobrevuelo / Overflight prohibited	
Interrupción de escalas (en rutas ATS) Scale break (on ATS routes)			
"Ventana" de altitud / nivel de vuelo / Altitude / flight level "window"	17000 FL220 10000 10000		
Sector Prohibido a vuelos VFR / Sector Prohibited to VFR flights			

Figura 2.3: Símbolos de tránsito aéreo

En la imagen 2.3 se puede ver lo que se podría considerar anotaciones propias del servicio de tránsito. Los símbolos que son realmente importantes en esta tabla son los que hacen referencia a la representación de los diferentes límites de altitud: ventana, mínimo, máximo, recomendado y obligatorio. También es importante ver como se identifica una ruta RNAV.

Notificación y funcionalidad "de paso/sobrevuelo" / Reporting and fly-by/flyover

Navegación convencional / Conventional navigation				
Notificación Reporting	No obligatoria On request	Obligatoria Compulsory		
Punto de notificación VFR VFR reporting point				
Intersección / Intersection				
VORTAC				
TACAN				
VOR				
VOR/DME				
NDB				

Navegación de área / Area navigation				
Punto / Point	De paso / Fly-by		De sobrevuelo / Flyover	
Notificación Reporting	No obligatoria On request	Obligatoria Compulsory	No obligatoria On request	Obligatoria Compulsory
VORTAC				
TACAN				
VOR				
VOR/DME				
NDB				
Punto de recorrido / Waypoint				

Figura 2.4: Puntos de notificación

En la imagen 2.4 se puede ver básicamente las diferencias de representación entre los puntos de paso que se deben notificar a los servicios de control que se han cruzado y los que no. Especialmente son importantes los puntos de notificación e intersección de la tabla superior. En la tabla inferior se pueden ver los símbolos cuando se realiza un procedimiento RNAV y básicamente son los mismos que los convencionales. En este caso básicamente es importante la última fila que indica como se representan los Waypoints, que son la característica principal de la navegación de área (RNAV).

2.8. Lectura de cartas aeronáuticas

Finalmente y una vez conocida toda la información referente a las cartas aeronáuticas se va a proceder a la visualización de una carta y posteriormente se va a comentar. En este caso se ha escogido una STAR por ser la más completa, pero todos los comentarios son extrapolables a las SIDs pero también a la navegación RNAV. La STAR escogida corresponde a la carta de llegadas para las pistas 32L y 32R para el aeropuerto de Madrid-Adolfo Suárez-Barajas. Cabe destacar que para estas pistas hay dos STARS, una para llegadas por el este y otra por el oeste,

en este caso se comentan las llegadas por el oeste. Esta carta se puede visualizar en la figura 2.5 y se ha obtenido de la página web de ENAIRE [1].

Como se puede ver esta carta contiene mucha información, así que se va a ir desgranando. Se empezará por la cabecera, seguidamente se comentará a grandes rasgos el plano principal y después las rutas concretas.

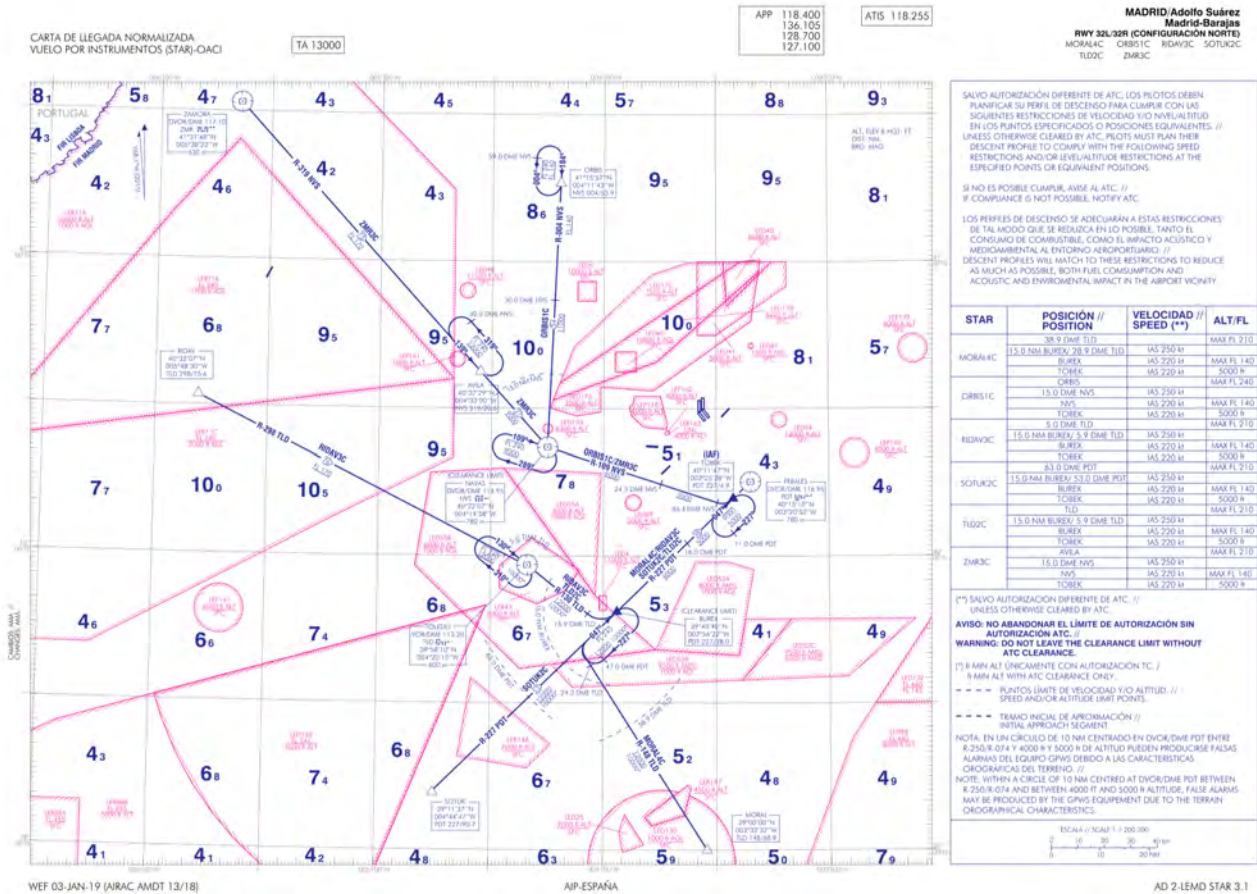


Figura 2.5: STAR Barajas pistas 32L y 32R

2.8.1. Cabecera

La cabecera de la carta se puede ver en la imagen 2.6. Básicamente se pueden ver cuatro tipos de informaciones. Empezando por la izquierda primero se indica la carta a la que se hace referencia, en este caso una carta de llegada normalizada de vuelo por instrumentos. A continuación aparece la altitud de transición que se corresponde con la altitud a la que se pasa de utilizar los pies como medida de la altitud a utilizar los niveles de vuelo (FL). Seguido aparecen las diferentes frecuencias en MHz que se utilizan en el aeropuerto, puede aparecer APP (que se corresponde con el control de aproximación), TWR (que se corresponde con el control de torre) y ATIS (que es la frecuencia del servicio automático de información terminal que proporciona básicamente información meteorológica). Finalmente en la parte más a la derecha figura el aeropuerto y las pistas a las que se refiere la carta así como la denominación de las diferentes rutas que aparecen en ella.

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

TA 13000

APP 118.400
136.105
128.700
127.100

ATIS 118.255

MADRID/Adolfo Suárez
Madrid-Barajas
RWY 32L/32R (CONFIGURACION NORTE)
MORALC ORB51C RIDAV3C SOTUK2C
TLD2C ZMR3C

Figura 2.6: Cabecera STAR Barajas pistas 32L y 32R

2.8.2. Visualización general del plano

Si a continuación uno se fija en lo que se podría denominar la parte del plano, que puede verse en la figura 2.7, lo primero que salta a la vista son la gran cantidad de números y zonas delimitadas por bordes rosas que aparecen. Por una parte los números hacen referencia a la altitud mínima de sector, es decir la altitud mínima que puede llevar una aeronave dentro de la zona que delimita el sector, esta viene expresada en centenas, por lo tanto 93 hace referencia a 9300ft. De forma general esta altitud se suele corresponder a una distancia mínima con el suelo de 300m.

Por otra parte las zonas delimitadas por bordes rosas hacen referencia a zonas de vuelo prohibidas, restringidas o peligrosas. Estas zonas se identifican de forma general por tres letras y tres números. Las dos primeras letras hacen referencia al país (LE en el caso de España) y la tercera letra al tipo de zona, P para zonas prohibidas, R para restringidas y D para peligrosas, esta información ha sido extraída del Anexo 15 [9]. Debajo de la denominación suelen aparecer las limitaciones superiores e inferiores de altitud. Si en la parte de alturas aparecen las siglas SFC significa que es hasta la superficie, en cambio si aparecen las siglas UNL significa que es ilimitado. Por otra parte las siglas ALT y AMSL hacen referencia a la altitud con respecto al nivel del mar y en cambio AGL se refiere a la altura sobre el nivel del suelo. En el caso de querer obtener más información sobre abreviaturas aeronáuticas se puede consultar la página web de Protección Civil, en la referencia [12].

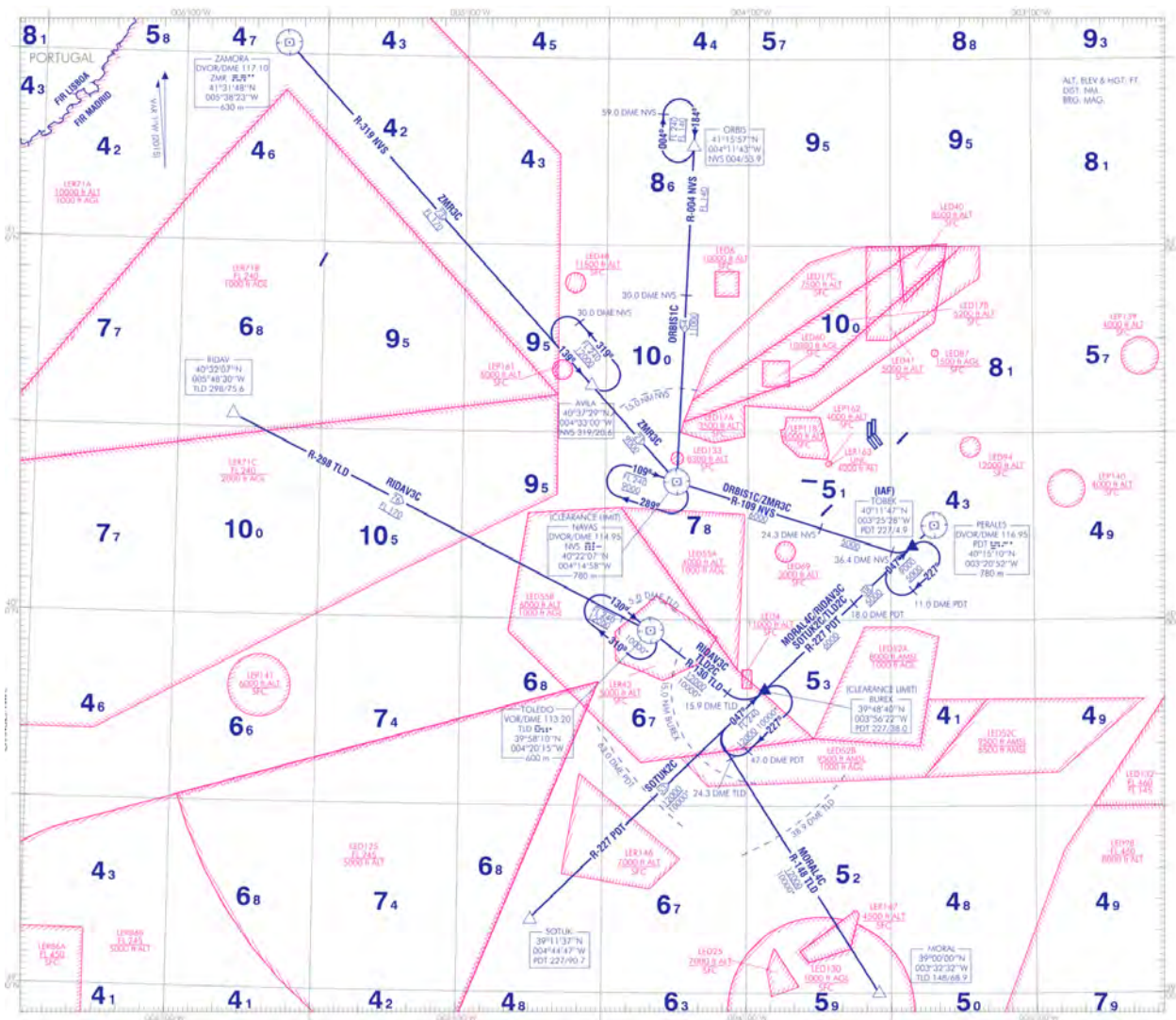


Figura 2.7: Plano STAR Barajas pistas 32L y 32R

2.8.3. Descripción de una ruta

Finalmente lo que resta es describir una ruta concreta que puede realizar un avión y para esto se va a utilizar la ruta ZMR3C que aparece en el plano y que se ha resaltado de color verde para una mejor visualización. Esto se puede ver en la imagen 2.8.

Como puede verse en la imagen, la ruta empieza en el VOR de Zamora, identificado con su símbolo correspondiente y con un cuadro donde aparece su información. En este recuadro primero aparece el nombre, a continuación el tipo de radioayuda que es y la frecuencia a la que emite en MHz. Seguidamente aparece su identificación tanto en letra como en código Morse. Finalmente aparece su posición y altitud.

Desde este VOR sale la ruta ZMR3C. En esta ruta primero aparece la identificación R-319 NVS, esto indica que la ruta sigue la radial 319 del VOR de Navas. A continuación aparece la denominación de la ruta, la distancia entre dos puntos significativos (en este caso corresponde a la distancia entre el VOR de Zamora y el punto de notificación no obligatoria de AVILA que son 73 millas náuticas) y la altitud que se debe llevar en la ruta (en este caso se indica que la altitud mínima es el FL170). La primera parte de esta ruta termina en el punto de notificación no obligatoria de AVILA que se caracteriza por su posición, la radial y distancia en millas náuticas

con respecto al VOR de Navas.

En el punto de AVILA aparece un circuito de espera, de forma general los circuitos de espera giran en sentido horario pero este gira en sentido antihorario. Estos circuitos están formados por cuatro tramos, cada uno de los cuales tiene una duración de un minuto. En este caso primero aparece un tramo rectilíneo con rumbo magnético 139° , a continuación el giro de 180° y otro tramo recto con rumbo 319° . Finalmente hay otro giro para volver a enlazar con el tramo inicial. A parte de los sentidos que se deben seguir, dentro del circuito también aparecen las altitudes máximas y mínimas que se pueden llevar en él. Estos circuitos se usan en el caso que haya mucho tráfico y algún avión deba esperarse para poder aterrizar.

Si se va siguiendo la ruta se puede ver que esta termina en el punto de paso de notificación obligatoria TOBEK. Encima del nombre del punto aparecen las siglas IAF lo que indica que constituye el punto inicial de la fase de aproximación final para la cual se deben utilizar las cartas de aproximación por instrumentos del aeródromo.

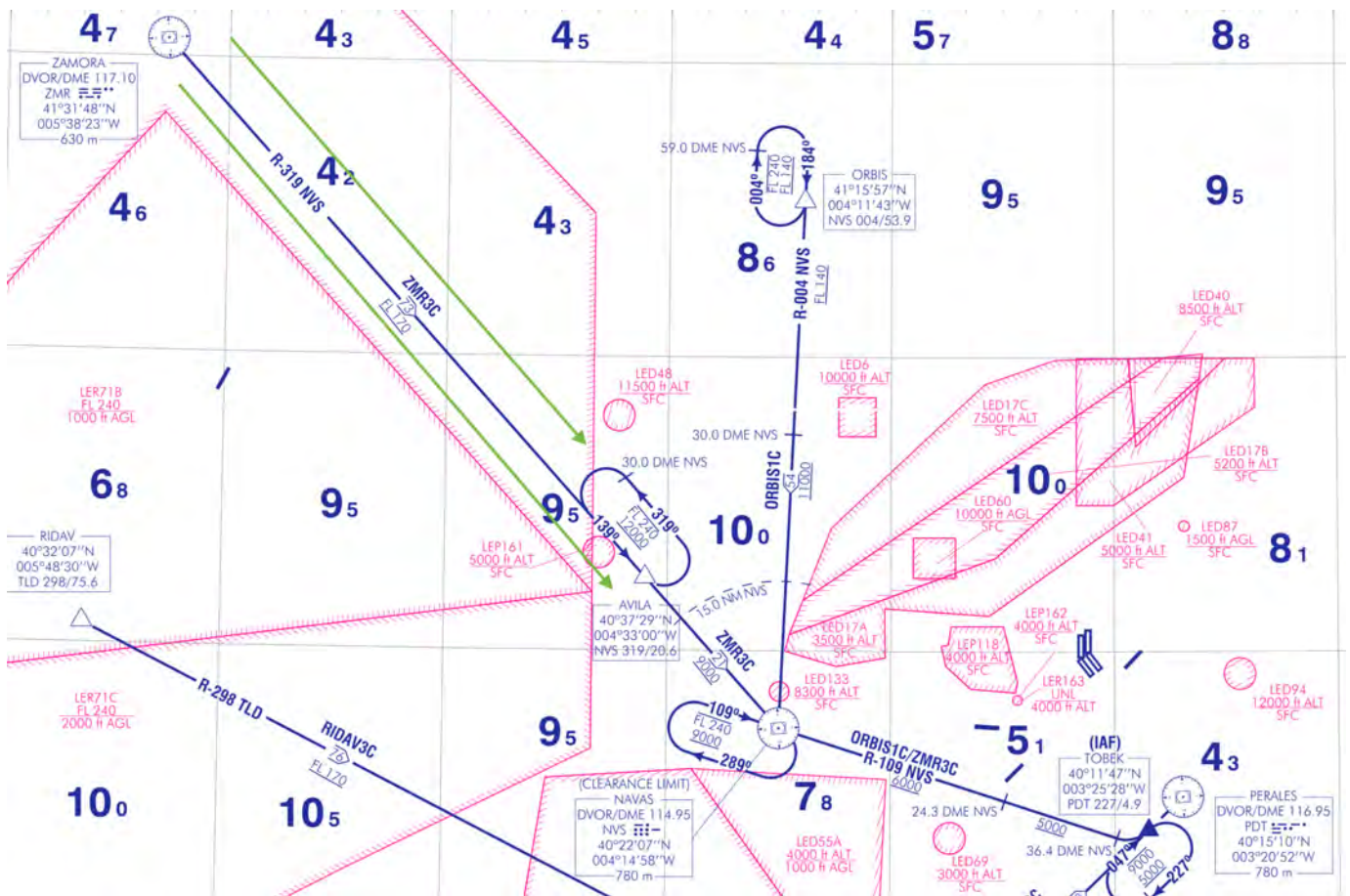


Figura 2.8: Ruta ZMR3C de llegada al aeropuerto de Barajas

Capítulo 3

Compatibilidad de las rutas convencionales con el espacio aéreo

3.1. Introducción

En los siguientes apartados se presentan las interferencias que se podrían producir entre el diseño preliminar de las rutas convencionales del nuevo aeropuerto y las rutas ya existentes de los aeropuertos más próximos.

Para facilitar la comprensión se han utilizado diferentes códigos de color. El color verde se corresponde con las SIDs de aeropuertos ya existentes, el color magenta se ha utilizado con las STARs y el color blanco se ha utilizado para las zonas de aproximación final. Con respecto al nuevo aeropuerto el color azul se corresponde con las STARs y aproximaciones finales y el color amarillo con las SIDs.

3.2. Rutas preliminares

Antes de empezar a ver cuales son las interferencias que se producen entre las diferentes rutas es necesario hacer una visualización del diseño preliminar que se ha realizado de las rutas para el nuevo aeropuerto, de este modo se dispone de un punto desde el que se puede partir para conseguir una mejora de las rutas.

El diseño preliminar de las rutas convencionales ha sido realizado por la empresa *iTOR MARTIN* en el marco de la redacción del proyecto para el nuevo aeropuerto de Madrid Sur y los ha proporcionado para realizar los primeros pasos de este trabajo.

Para la pista 06 el diseño preliminar se puede ver en la figura 3.1 y para la pista 24 se puede ver en la figura 3.2. Para el desarrollo de los procedimientos de estas dos pistas se han tomado como referencia las rutas ya existentes para el aeropuerto de Getafe, de este modo aparecerán muy pocos problemas porque estos procedimientos ya han sido validados.

Para la pista 06 se han desarrollado un total de cinco procedimientos de salida, que permiten la conexión desde los puntos de CASTEJON, NAVAS, PINAR, SOMOSIERRA y VILLATOBAS además de otros cinco procedimientos de llegada que permiten aproximarse al aeropuerto desde los puntos de AVILA, BARDI, CASTEJON, CRISA y ORBIS cuya aproximación final al aeropuerto se realiza desde dos puntos IAF situados cerca de los VOR de NAVAS y TOLEDO.

En relación a la pista 24 los procedimientos son muy similares a los de la pista 06. Para la salida se han desarrollado seis procedimientos, que permiten ir a los mismos puntos que la salida de la pista 06 y se añade una salida por TOLEDO. En los procedimientos de llegada hay cinco procedimientos que permiten llegar al aeropuerto desde los mismos puntos que la pista 06 aunque se prescinde de la llegada por CRISA y se sustituye por la de VILLATOBAS. Estos procedimientos van ligados a dos aproximaciones finales al aeropuerto desde NAVAS y GETAFE. Como se puede ver los procedimientos de las dos pistas son muy similares.

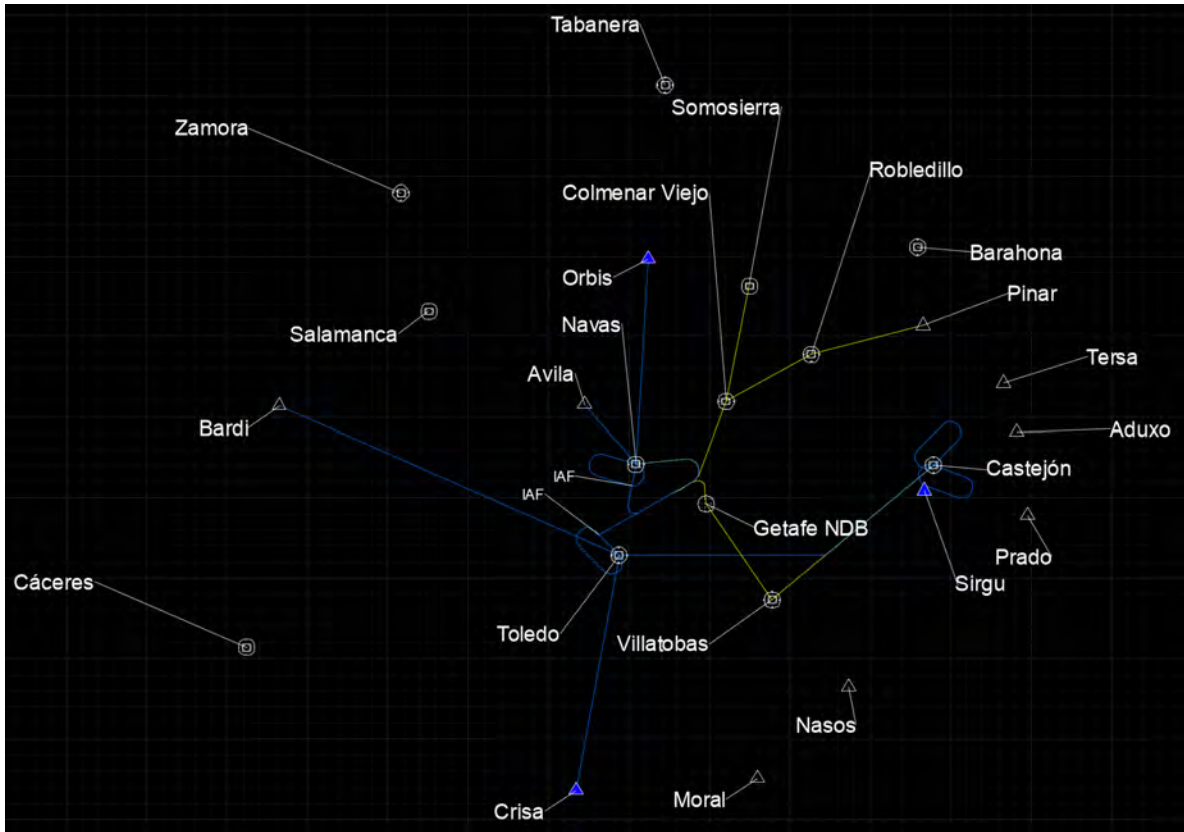


Figura 3.1: Diseño preliminar rutas pista 06

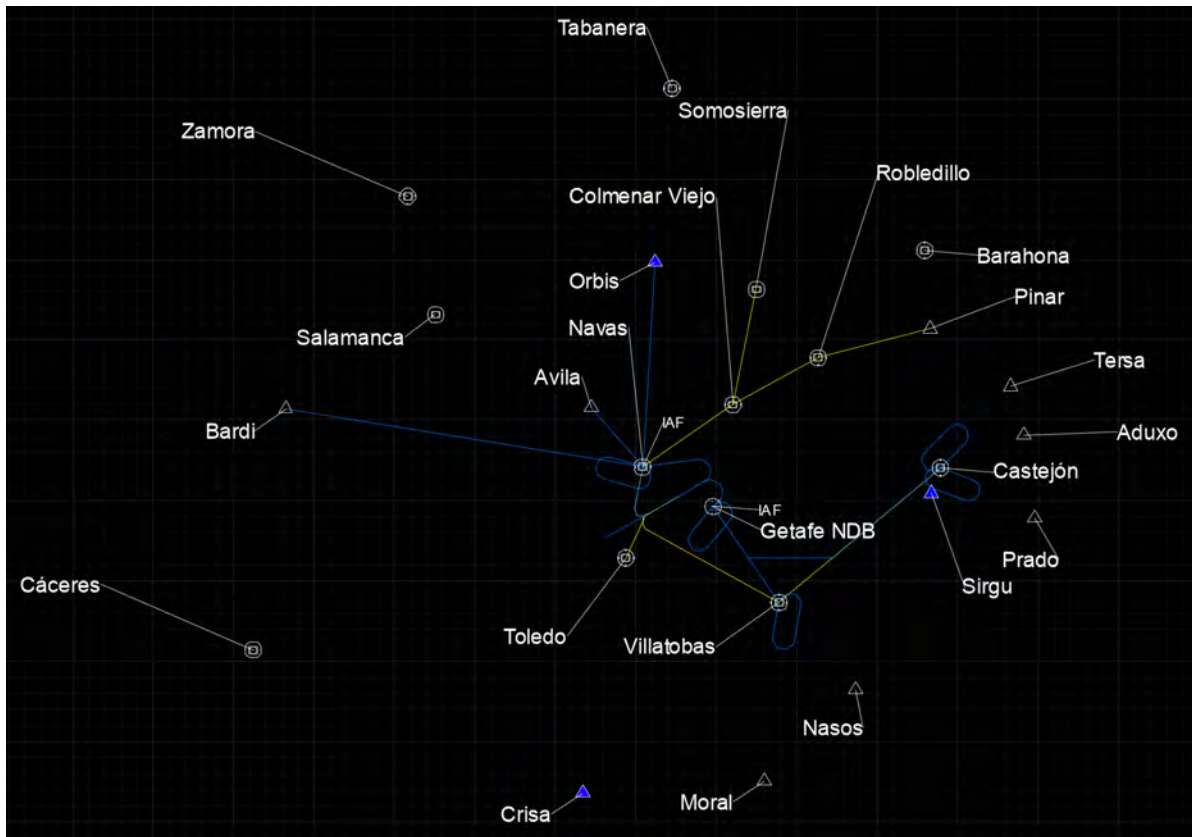


Figura 3.2: Diseño preliminar rutas pista 24

Una vez conocido el diseño preliminar que se ha hecho de las rutas se puede comprobar si los pequeños cambios realizados respecto los procedimientos de Getafe suponen una gran problemática.

3.3. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 06. Caso 1

En este caso se pueden ver dos problemas muy potenciales en las STARs del nuevo aeropuerto. Por un lado existe la ruta que viene desde ORBIS que en este caso tiene dificultades en su operatividad debido a la gran concentración de zonas de Barajas que atraviesa y además lo hace en sentido contrario. Por otra parte la aproximación final desde Navas podría parecer problemática porque se vuela en sentido contrario al de Barajas pero los aviones que se dirigen a Barajas vuelan a unos 12000ft y los del nuevo aeropuerto volarían a unos 7000-5000ft (por ser la zona de aproximación final) por lo que no habría grandes problemas. Hay que ser cauteloso en la llegada por AVILA porque se solapa con una salida de Barajas.

Por lo que respecta a las SIDs del nuevo aeropuerto, no existe una gran conflictividad. Se encuentra un ligero problema en la zona de SOMOSIERRA donde pasa por una zona muy concurrida (aunque cabe destacar que ciertas rutas de Barajas ya atraviesan esta zona). Otro problema muy similar ocurre en la zona de CASTEJON pero debido a la lejanía de ambos aeropuertos no debería provocar ningún problema. Finalmente destacar que la salida por PINAR es ideal.

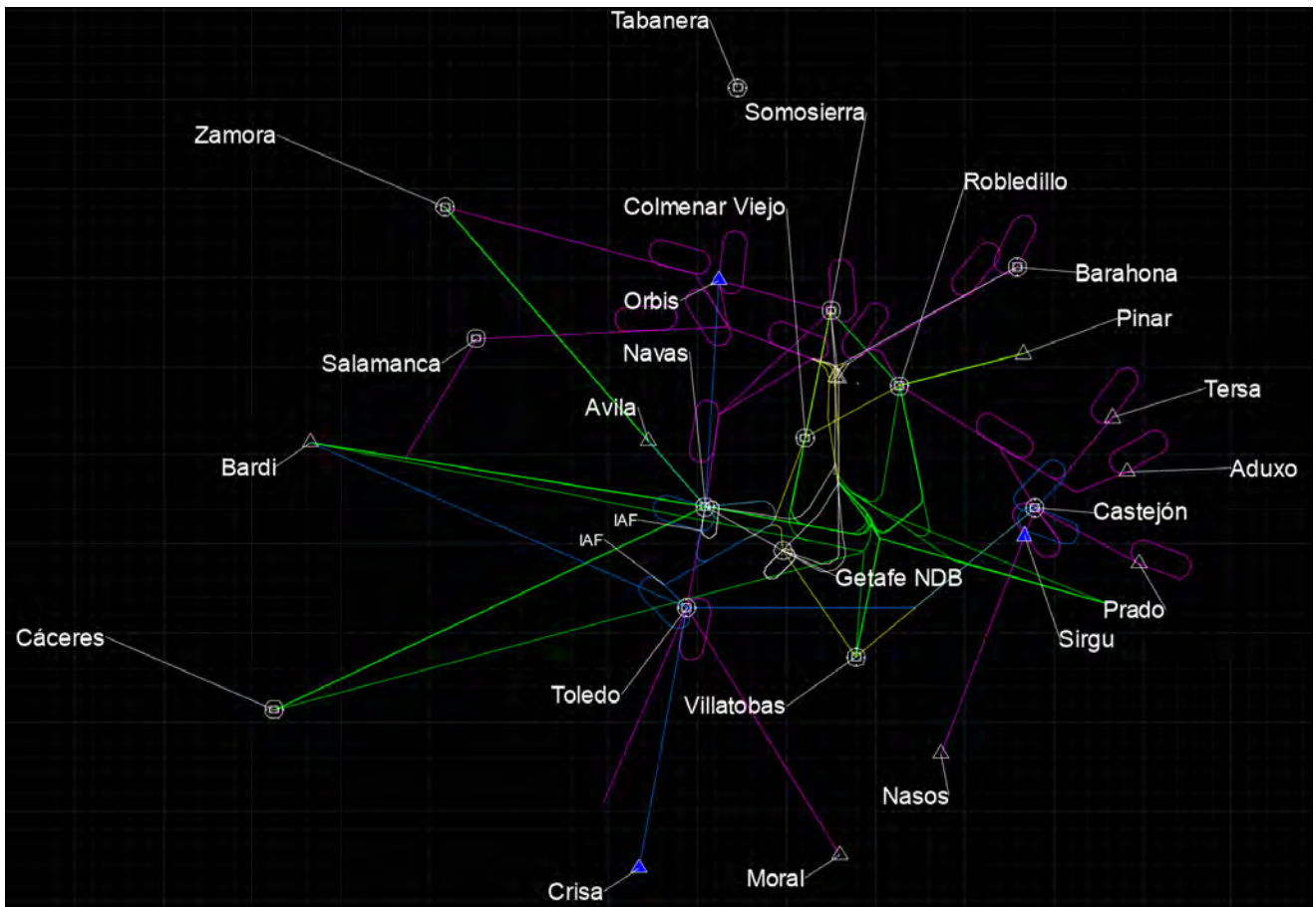


Figura 3.3: Problema caso 1

3.4. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 06. Caso 2

En este caso las STAR de los dos aeropuertos son prácticamente iguales por lo que no aparece ningún problema. Solo comentar que para evitar problemas potenciales sería bueno que se compartiera toda la zona de llegadas de CASTEJON.

Como sucedía anteriormente la salida del nuevo aeropuerto por CASTEJON podría conllevar problemas y sería bueno que esta salida se pudiera realizar por NASOS.

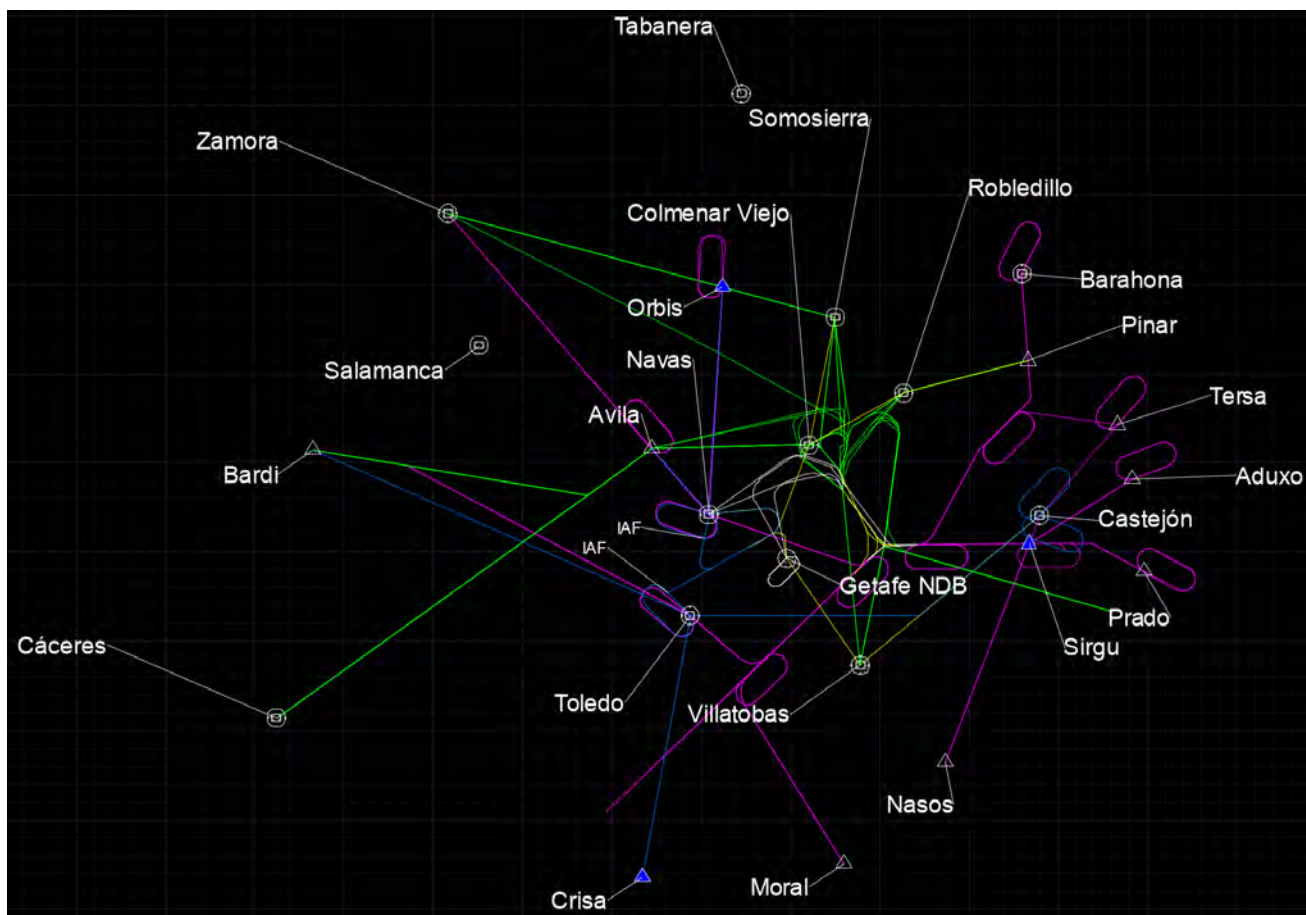


Figura 3.4: Problema caso 2

3.5. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 24. Caso 3

Analizando las STARS del nuevo aeropuerto se puede comprobar que la de ORBIS continua siendo una opción no muy buena, además que las otras dos llegadas por NAVAS coinciden con salidas de Barajas por lo que sería necesario un control de altitud. Por otra parte, también se podría compartir la zona de llegadas por CASTEJON.

No obstante, la problemática principal se encuentra en las aproximaciones finales del nuevo aeropuerto que cruzan SIDs y zonas de aproximación frustradas del aeropuerto de Barajas. Desgraciadamente poco se puede hacer, pues el nuevo aeropuerto está donde está y las aproximaciones finales admiten pocas variaciones, como mucho se puede controlar que las altitudes sean suficientemente diferentes.

Por lo que respecta a la SIDs del nuevo aeropuerto se pueden ver los problemas ya comentados en los casos anteriores, ya que tanto la salida por SOMOSIERRA como la de CASTEJON presentan bastantes interferencias y podrían crear problemas.

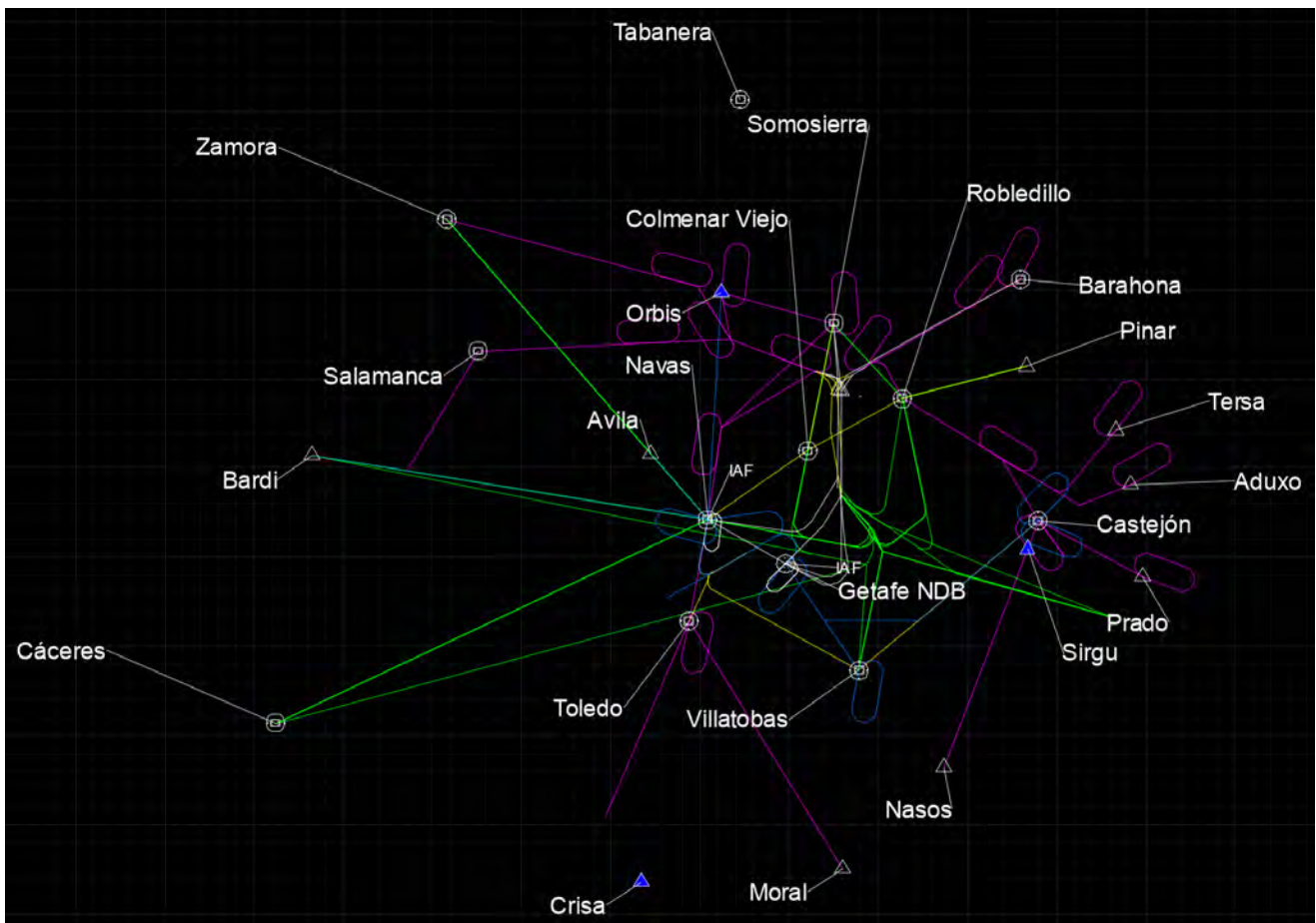


Figura 3.5: Problema caso 3

3.6. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 24. Caso 4

Bajo esta configuración se puede ver que se producen interferencias entre la zona de aproximación final del nuevo aeropuerto y una STAR y una zona de aterrizaje frustrado del aeropuerto de Barajas pero estas interferencias se producen a muy diferente altitud (4000ft de la IAC en comparación con los 12000ft de la STAR y la zona de aterrizaje frustrado) así que no debería de haber problemas en la operativa. Un problema más grande si que se produce en la zona de BARDI ya que una llegada del nuevo aeropuerto coincide con una salida de Barajas y a altitudes muy similares, por lo que esta llegada podría eliminarse y ser substituida por una a través de Navas-Salamanca-Tabanera.

En este caso las SIDs son muy correctas pero se puede crear alguna nueva, no obstante existe la problemática habitual en la zona de CASTEJON.

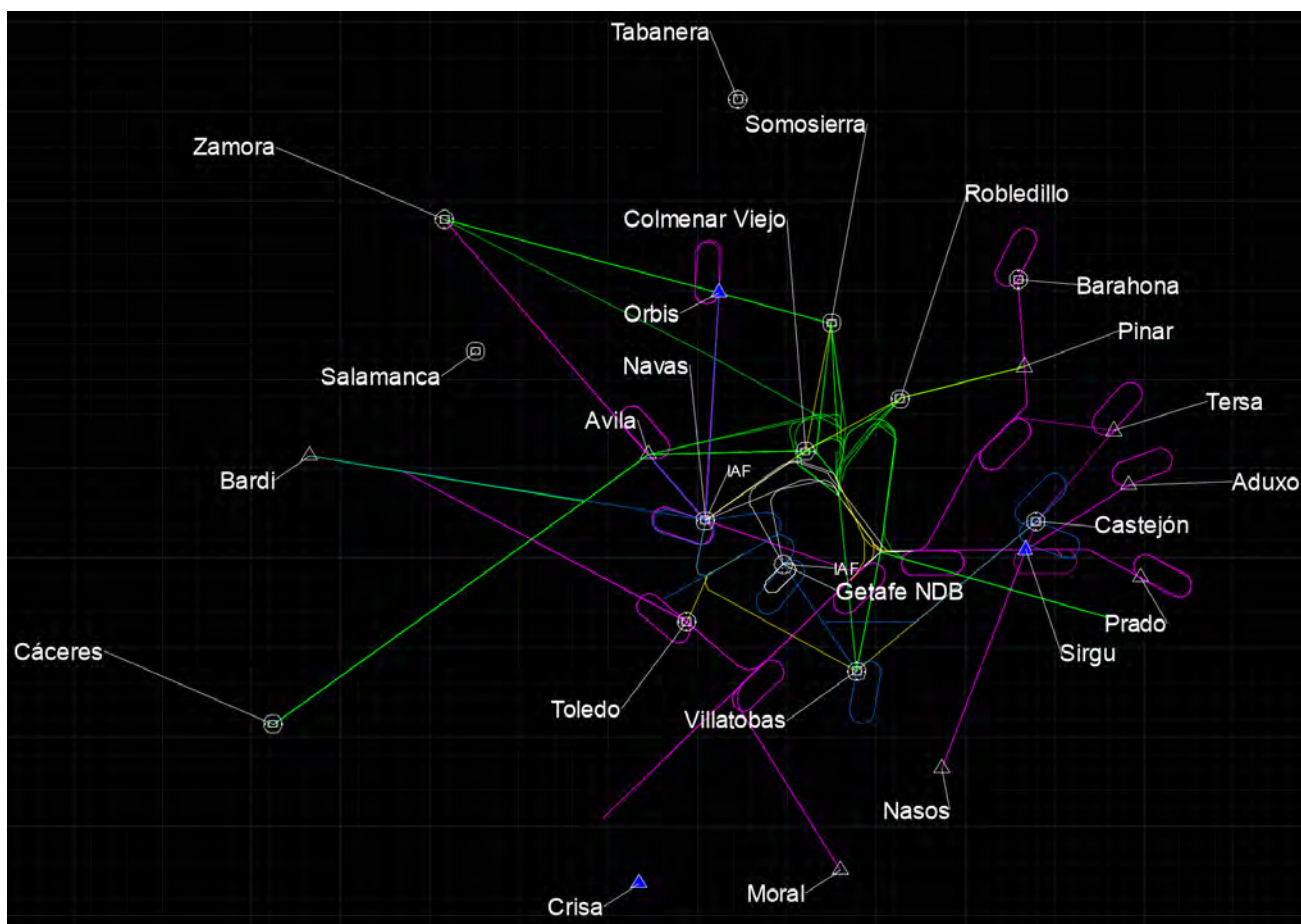


Figura 3.6: Problema caso 4

3.7. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 06. Caso 5

En este caso tanto las SIDs como STARs son compartidas entre las dos pistas por lo que no suponen ningún problema.

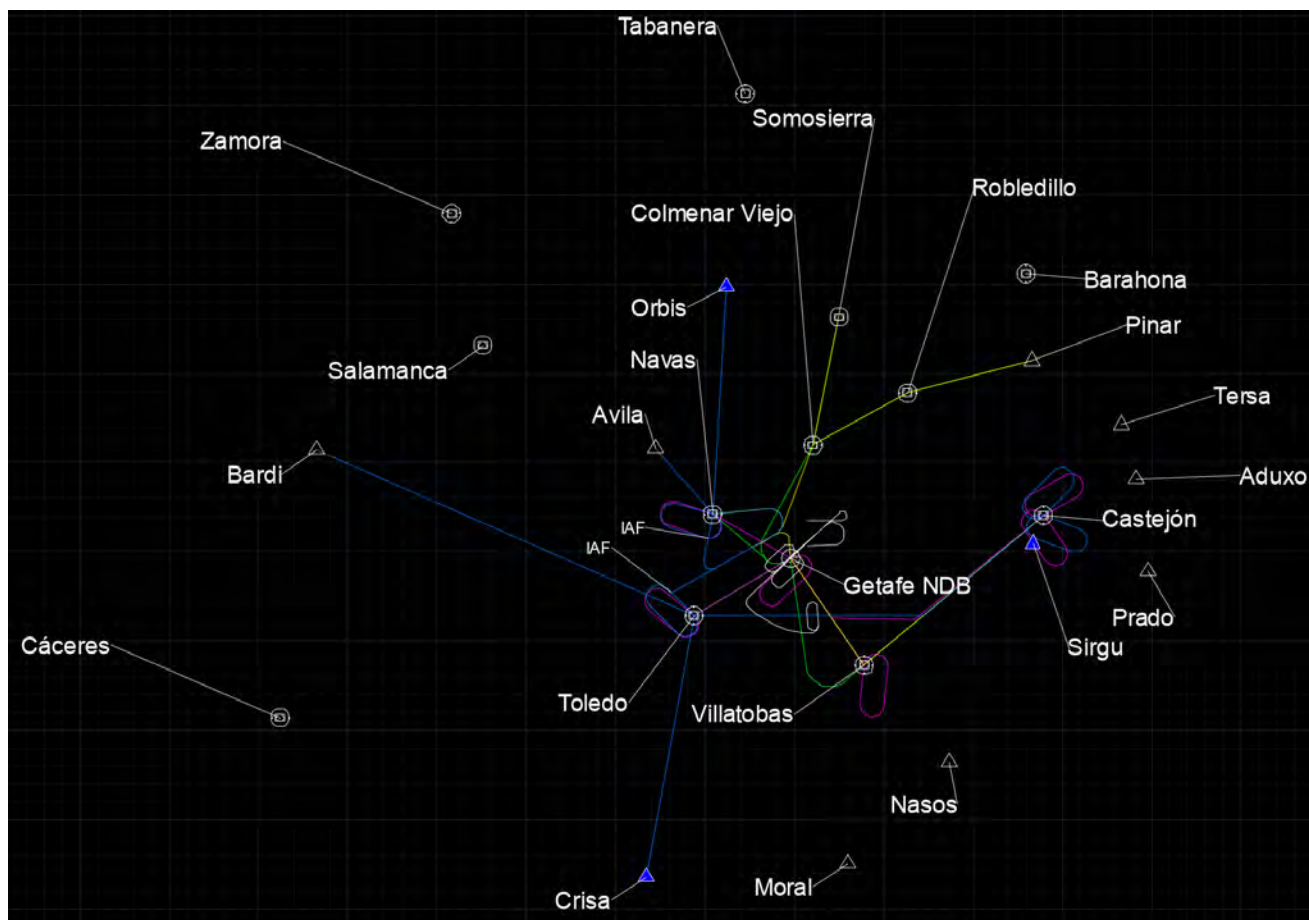


Figura 3.7: Problema caso 5

3.8. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 24. Caso 6

Como sucede en el caso 5 las interferencias que se producen son mínimas, no obstante cabe destacar que se produce un pequeño problema entre la aproximación final a Getafe y la parte inicial de la salida del nuevo aeropuerto, en la zona entre Toledo y Villatobas, debido a la radial que se coge para aproximarse al aeropuerto de Getafe.

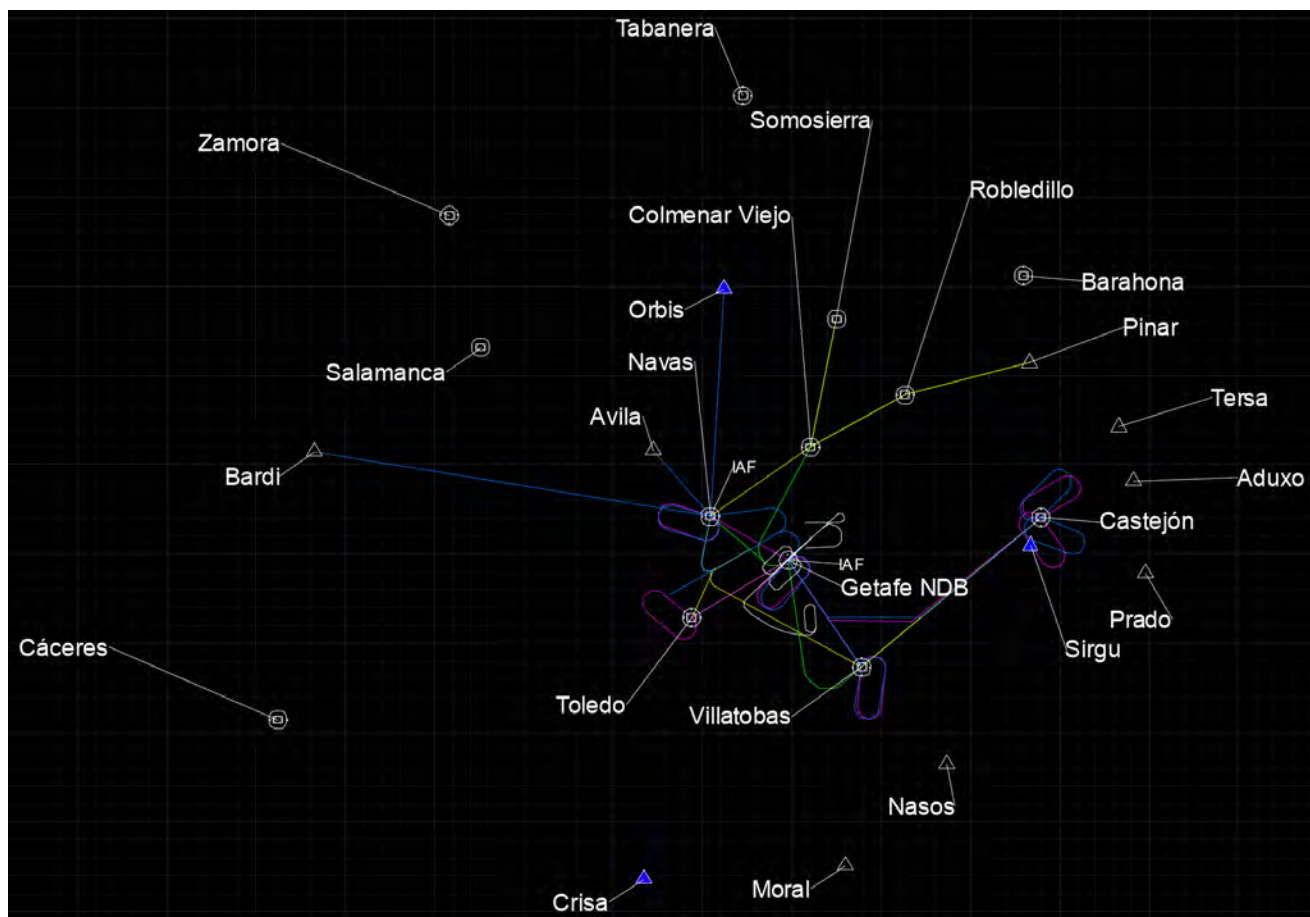


Figura 3.8: Problema caso 6

3.9. Conflictividad LETO Torrejón STAR 1,2; SID 1-5 y IAC 1-10 con la pista 06. Caso 7

Por lo que respeta al nivel de las STARs no existe ningún problema sustancial sobretodo ligado al hecho que muchas STAR son compartidas, por lo que no debería crearse ningún problema nuevo. Como siempre, cabe destacar que sería importante compartir la zona de espera de CASTEJON.

Por lo que respeta a las SIDs del nuevo aeropuerto sería importante destacar un cambio muy positivo que sería la creación de una nueva posible salida por BARAHONA y como siempre la supresión de la salida por CASTEJON y llevarla a NASOS.

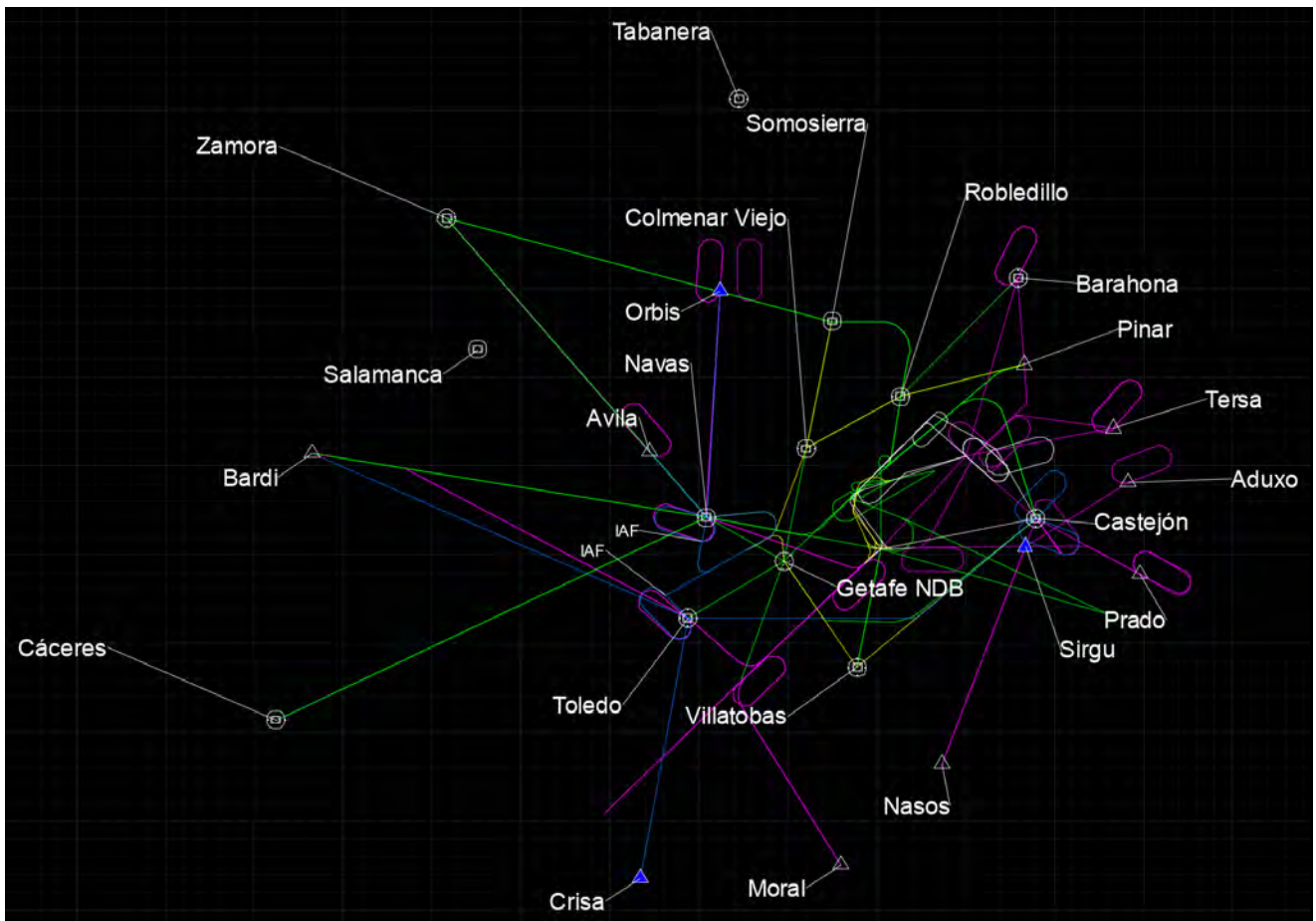


Figura 3.9: Problema caso 7

3.10. Conflictividad LETO Torrejón STAR 1,2; SID 1-5 y IAC 1-10 con la pista 24. Caso 8

En este caso las SIDs del nuevo aeropuerto no tienen un mínimo impacto sobre la operativa ya configurada, excepto como siempre la de CASTEJON. Por otra parte existe la posibilidad de añadir salidas por CACERES y SOTUK.

En las STAR se podrían aprovechar los procedimientos ya existentes.

Para este caso la problemática principal se concentra en la zona de IAC pues lleva a atravesar varias salidas del aeropuerto de Torrejón. No obstante si uno se fija en los mapas se indica que en esta zona la altitud de los aviones salientes de Torrejón oscila entre los 12000ft y los 13000ft, así pues, debido a la gran diferencia de altitud (los aviones del nuevo aeropuerto transitarían aproximadamente a 4000ft) estas rutas son perfectamente compatibles y no debería aparecer ningún problema.

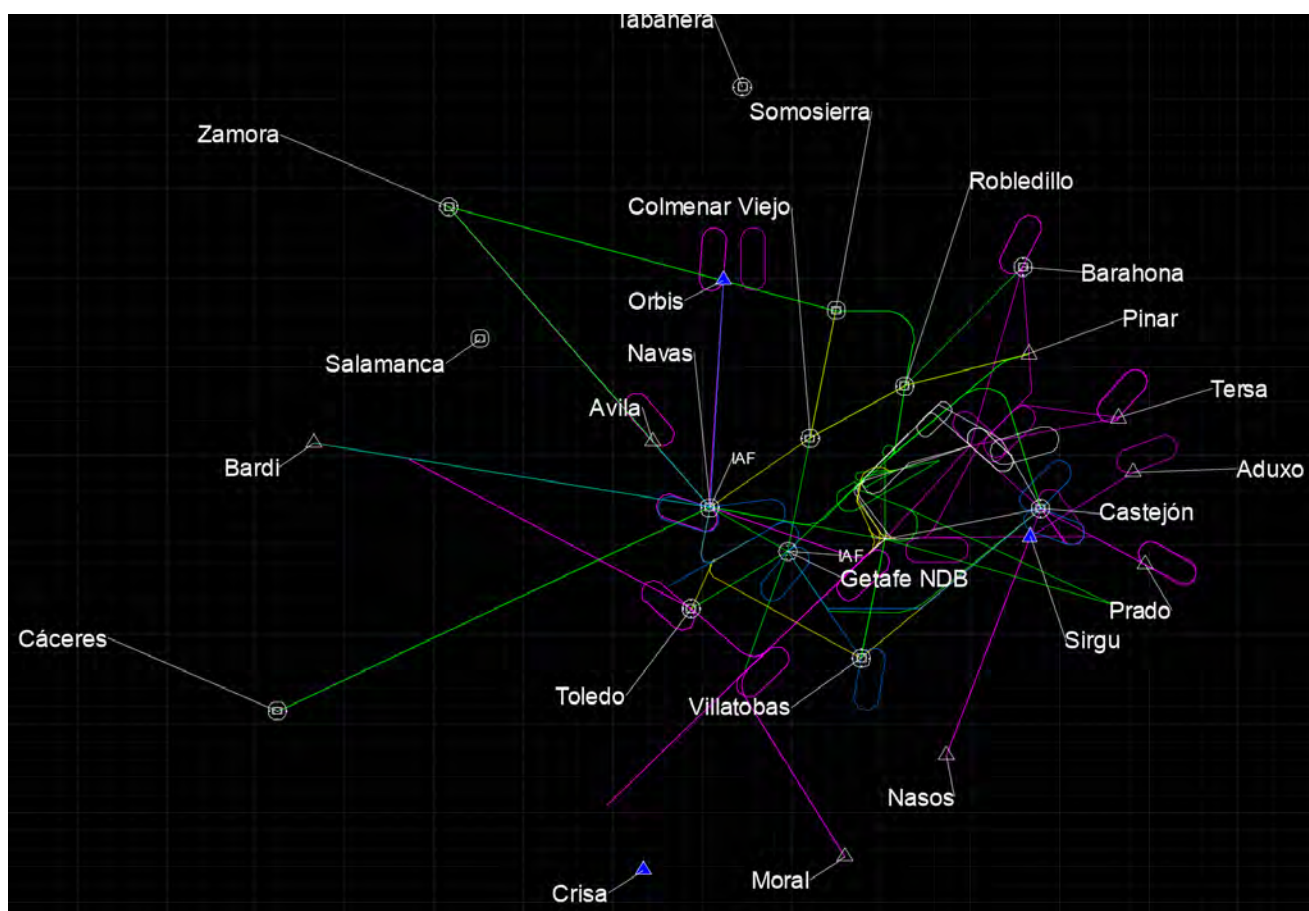


Figura 3.10: Problema caso 8

3.11. Resultados finales

Como ya se ha comentado anteriormente, el diseño de las rutas del nuevo aeropuerto está basado en las rutas del aeropuerto de Madrid-Getafe que es un aeropuerto de tipo militar y que tiene un tráfico muy bajo. Mediante la compartición de las rutas entre estos aeropuertos se consigue que no se tenga que realizar un estudio muy extenso para el nuevo aeropuerto, pues si estas rutas ya existen significa que han sido validadas por la autoridad y debido al bajo tráfico del aeropuerto de Getafe no hay que preocuparse por una conflictividad en cuanto a tráfico.

Sin embargo, también se ha podido comprobar que existen ciertas interferencias entre las nuevas rutas y las ya existentes, pero teniendo en cuenta que el tráfico de diseño del aeropuerto es bajo, no deberían producirse problemas de tráfico. Si en un futuro el tráfico del nuevo aeropuerto aumentará mucho si que podría ser que hubiera una problemática más grande y entonces sí se deberían tomar en consideración estas posibles incompatibilidades, pero por el momento se va a dejar como bueno el diseño preliminar.

Así el diseño de las rutas se va a mantener respecto al diseño preliminar. Para la pista 06 puede verse el diseño en la imagen 3.11 y para la pista 24 en la imagen 3.12.

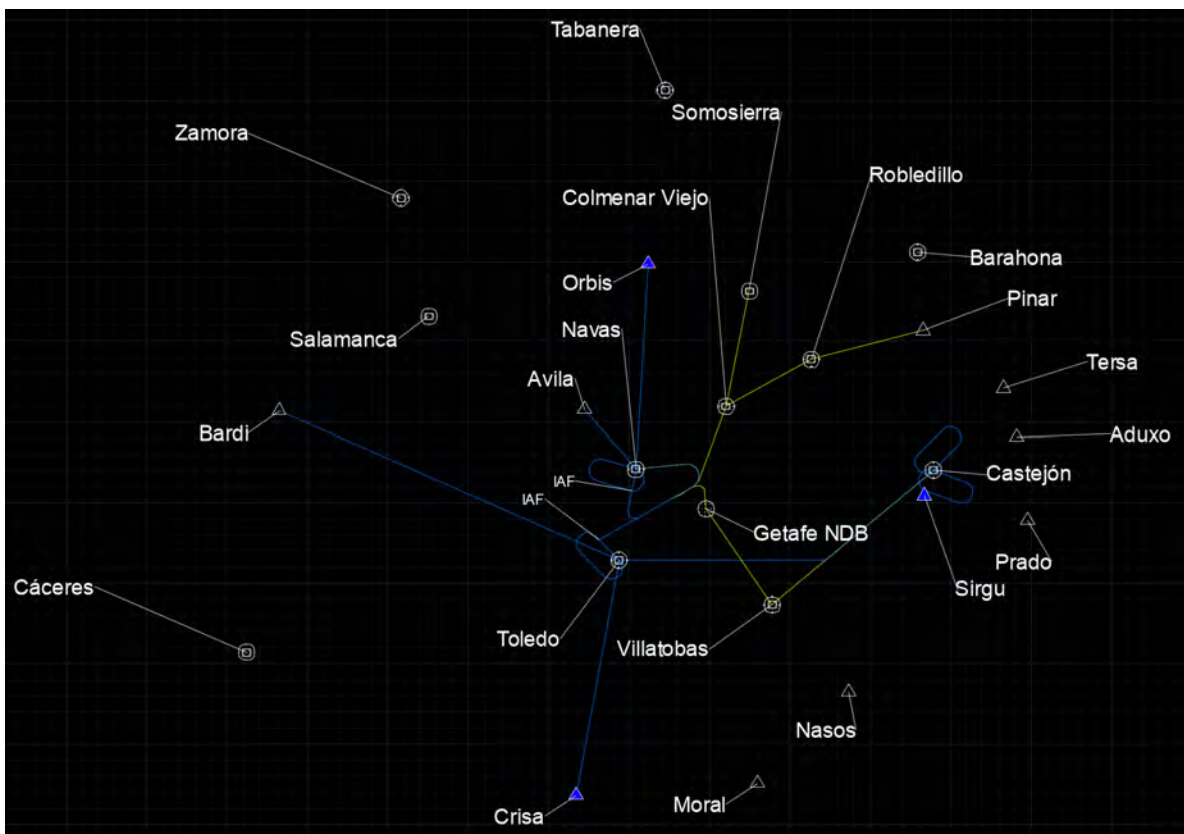


Figura 3.11: Diseño rutas pista 06

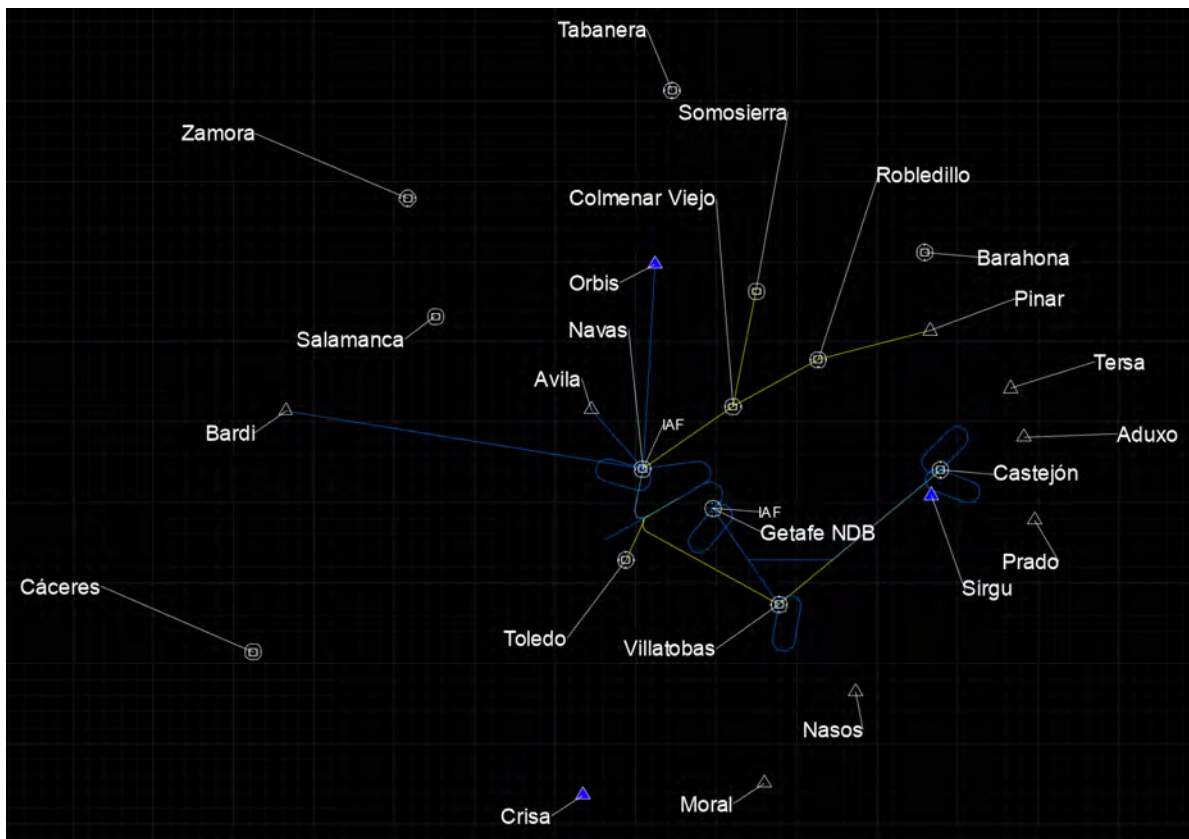


Figura 3.12: Diseño rutas pista 24

Capítulo 4

Rutas Convencionales

4.1. Introducción

En los siguientes apartados se presentan los procedimientos diseñados para el nuevo aeropuerto y de acuerdo con lo que se ha comentado en el apartado de compatibilidad del espacio aéreo. Las rutas se presentan en dos formatos diferentes. Primeramente se proporciona un formato de "proyecto aeronáutico" donde se pueden ver simplemente las rutas seguidas de su explicación y en los anexos se presentan en formato de carta aeronáutica, es decir, en el formato que se utilizaría para publicar en la AIP.

4.2. Standard Instrument Departures-SID

4.2.1. Pista 06

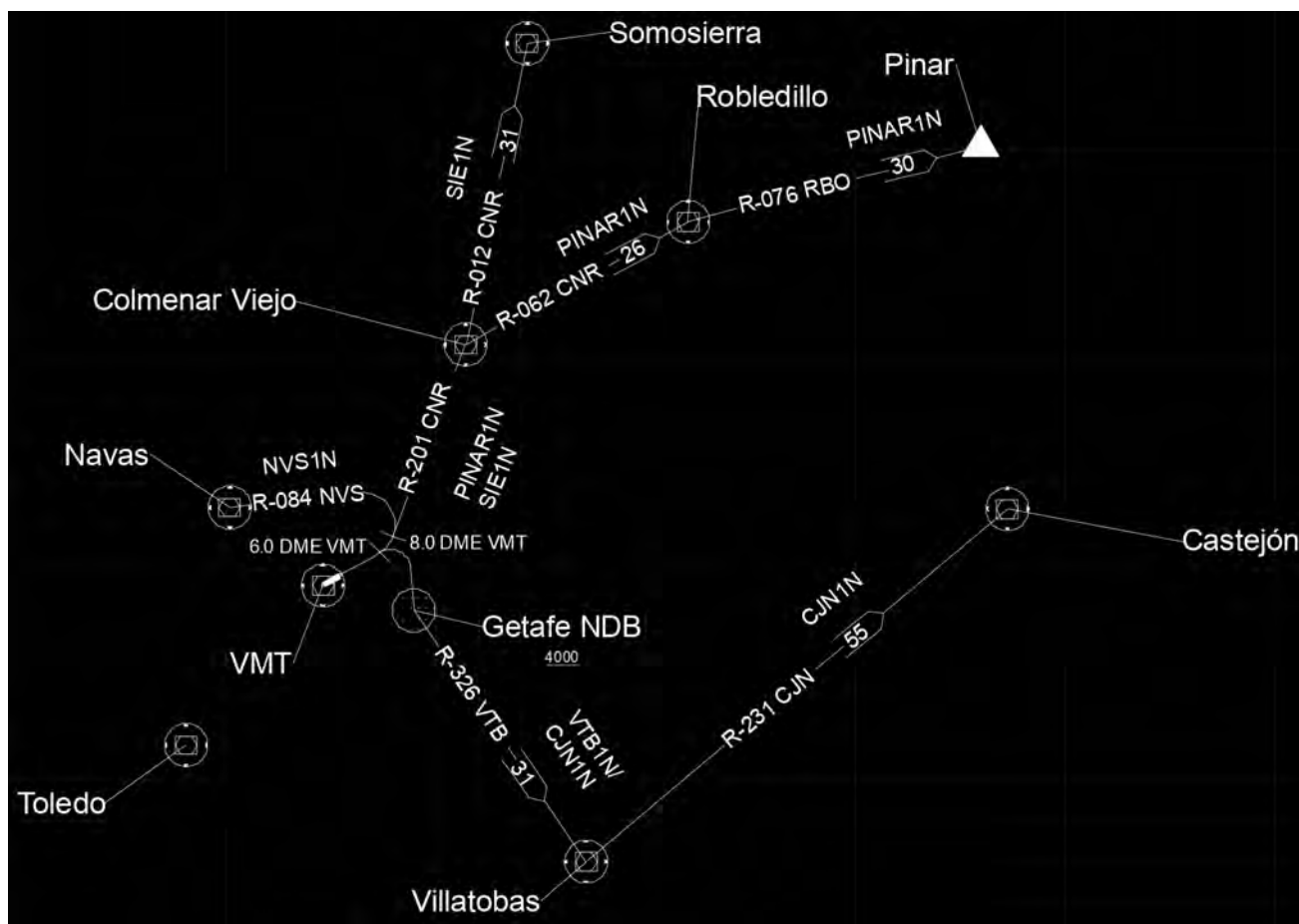


Figura 4.1: SIDs pista 06

Para la pista 06 hay un total de cinco rutas que permiten la salida, de las cuales cuatro dan servicio a la zona este del aeropuerto y una a la zona oeste. Dentro de las cuatro salidas hacia la zona este, dos de ellas (las rutas hacia SOMOSIERRA y PINAR) dan servicio a la zona norte y las salidas hacia CASTEJON y VILLATOBAS dan servicio a la zona sur. La salida hacia NAVAS es la que da servicio a la zona oeste.

La descripción de estas cinco rutas es la siguiente:

- **SALIDA CASTEJON UNO NOVEMBER (CJN1N)**

Esta ruta empieza siguiendo el rumbo de la pista hasta la marcación 6.0 DME VMT donde se realiza un viraje a la derecha hasta cruzar NDB GE como mínimo a 4000 pies. Desde este punto se coge el radial R-326 VTB hasta llegar al VOR VTB y a continuación se coge el radial R-231 CJN hasta llegar al VOR CJN que supone el punto de enlace. La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 4.6 % hasta 7000 pies.

- **SALIDA NAVAS UNO NOVEMBER (NVS1N)**

Subir en rumbo pista hasta llegar a la marcación 8.0 DME VMT donde se realiza un viraje a izquierdas para interceptar y seguir el radial R-084 NVS hasta llegar al VOR NVS que supone el punto de conexión de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0 %.

- **SALIDA PINAR UNO NOVEMBER (PINAR1N)**

Subir en rumbo pista hasta la marcación 8.0 DME VMT donde se realiza un ligero viraje a izquierdas para interceptar el radial R-201 CNR. Cruzar VOR CNR y seguir el radial R-062 CNR hasta cruzar VOR RBO por donde se sigue según el radial R-076 RBO y la ruta termina cuando se llega al punto PINAR.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0%.

- **SALIDA SOMOSIERRA UNO NOVEMBER (SIE1N)**

Subir en rumbo pista hasta la marcación 8.0 DME VMT donde se realiza un ligero viraje a izquierdas para interceptar el radial R-201 CNR. Cruzar VOR CNR y seguir el radial R-012 CNR hasta llegar al VOR SIE que supone el final de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0%.

- **SALIDA VILLATOBAS UNO NOVEMBER (VTB1N)**

La ruta empieza siguiendo el rumbo de la pista hasta la marcación 6.0 DME VMT donde se realiza un viraje a la derecha hasta cruzar NDB GE como mínimo a 4000 pies. Desde este punto se coge el radial R-326 VTB hasta llegar al VOR VTB.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 4.6% hasta 7000 pies.

4.2.2. Pista 24

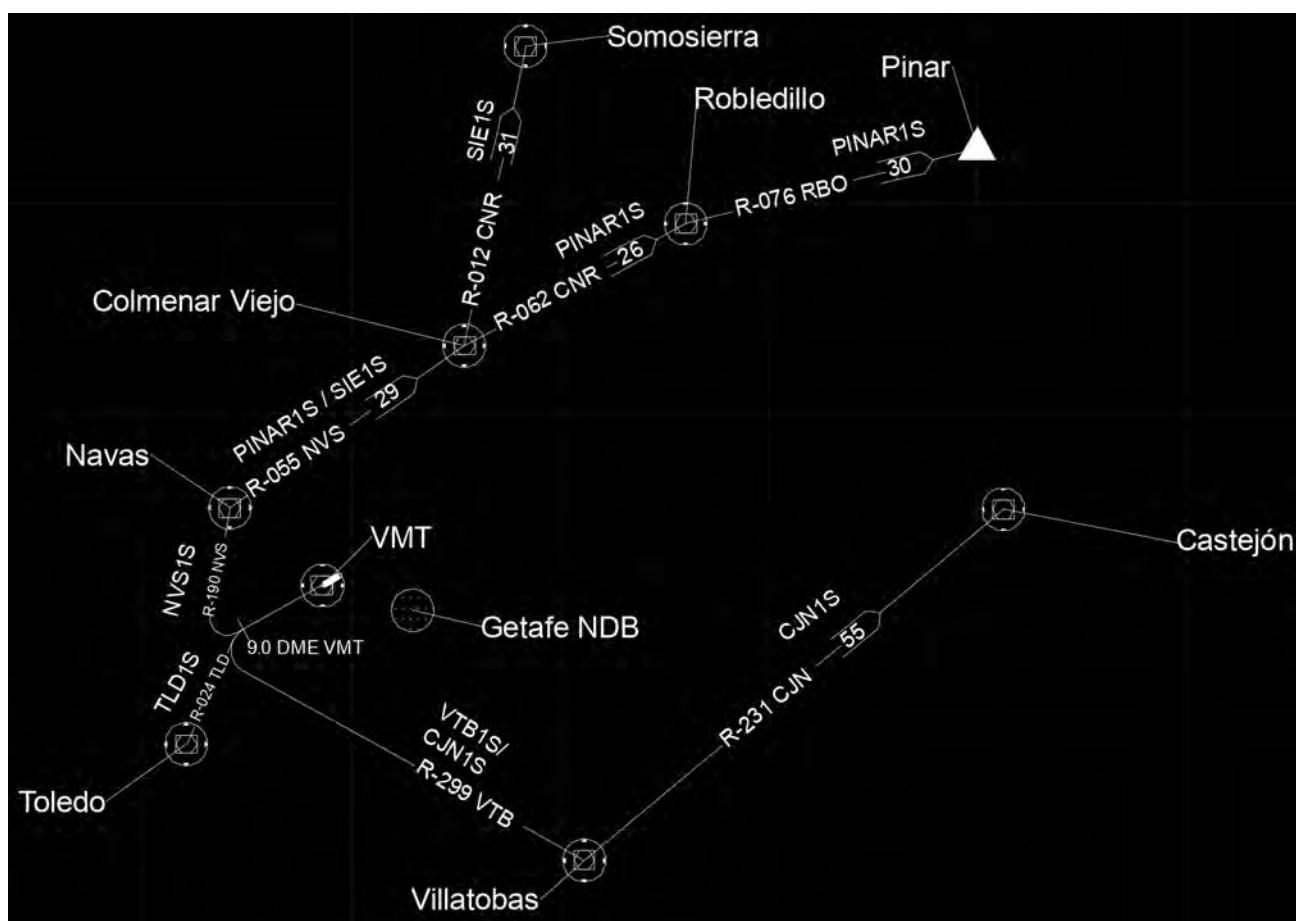


Figura 4.2: SIDs pista 24

Para esta pista se han desarrollado un total de seis procedimientos de salida que dan cobertura a las mismas zonas que la pista 06 (CASTEJON, NAVAS, PINAR, SOMOSIERRA y VILLATOBAS) y a los que debe sumarse la salida hacia la zona suroeste que se desarrolla a través de TOLEDO.

Aunque estas rutas conducen a los mismos puntos en ambos sentidos de la pista se producen pequeños cambios por lo que su descripción también es distinta. La descripción de los procedimientos para esta pista se puede leer a continuación:

- **SALIDA CASTEJON UNO SIERRA (CJN1S)**

Subir en rumbo pista hasta la marcación 9.0 DME VMT donde se realiza un viraje a izquierdas para interceptar el radial R-299 VTB hasta cruzar VOR VTB. En este punto se sigue el radial R-231 CJN para llegar al VOR CJN que supone el final de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0% hasta 7000 pies.

- **SALIDA NAVAS UNO SIERRA (NVS1S)**

La ruta empieza siguiendo el rumbo de la pista hasta cruzar la marcación 9.0 DME VMT donde se realiza un viraje a derechas para interceptar y seguir R-190 NVS y finalizar la ruta en el VOR NVS.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0%.

- **SALIDA PINAR UNO SIERRA (PINAR1S)**

Esta salida empieza siguiendo el rumbo de pista hasta cruzar 9.0 DME VMT para realizar

un viraje a derechas e interceptar el radial R-190 NVS. Seguir R-190 NVS hasta cruzar VOR NVS y continuar por R-055 NVS. Seguir el radial hasta cruzar VOR CNR para continuar por el radial R-062 CNR. Finalmente cruzar VOR RBO y seguir el radial R-076 RBO hasta llegar al punto PINAR que supone la finalización de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0 % hasta 7000 pies.

■ **SALIDA SOMOSIERRA UNO SIERRA (SIE1S)**

El procedimiento se inicia siguiendo el rumbo de pista hasta llegar a la marcación 9.0 DME VMT donde se realiza un viraje a derechas para coger el radial R-190 NVS. Continuar hasta cruzar VOR NVS y seguir el radial R-055 NVS hasta cruzar VOR CNR. En este punto se sigue el radial R-012 CNR para llegar hasta VOR SIE que supone el fin de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0 %.

■ **SALIDA TOLEDO UNO SIERRA (TLD1S)**

Subir en rumbo pista hasta cruzar 9.0 DME VMT para seguidamente realizar un ligero viraje a izquierdas para interceptar y seguir el radial R-024 TLD hasta VOR TLD que supone el punto de conexión con la red de aerovías.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra de 5.0 % hasta 7000 pies.

■ **SALIDA VILLATOBAS UNO SIERRA (VTB1S)**

Subir en rumbo pista hasta la marcación 9.0 DME VMT donde se realiza un viraje a izquierdas para interceptar el radial R-299 VTB hasta VOR VTB que supone el fin de la ruta.

La pendiente mínima de ascenso de la maniobra es de 5.0 % hasta 7000 pies.

4.3. Standard Terminal Arrival Procedures-STAR

4.3.1. Pista 06

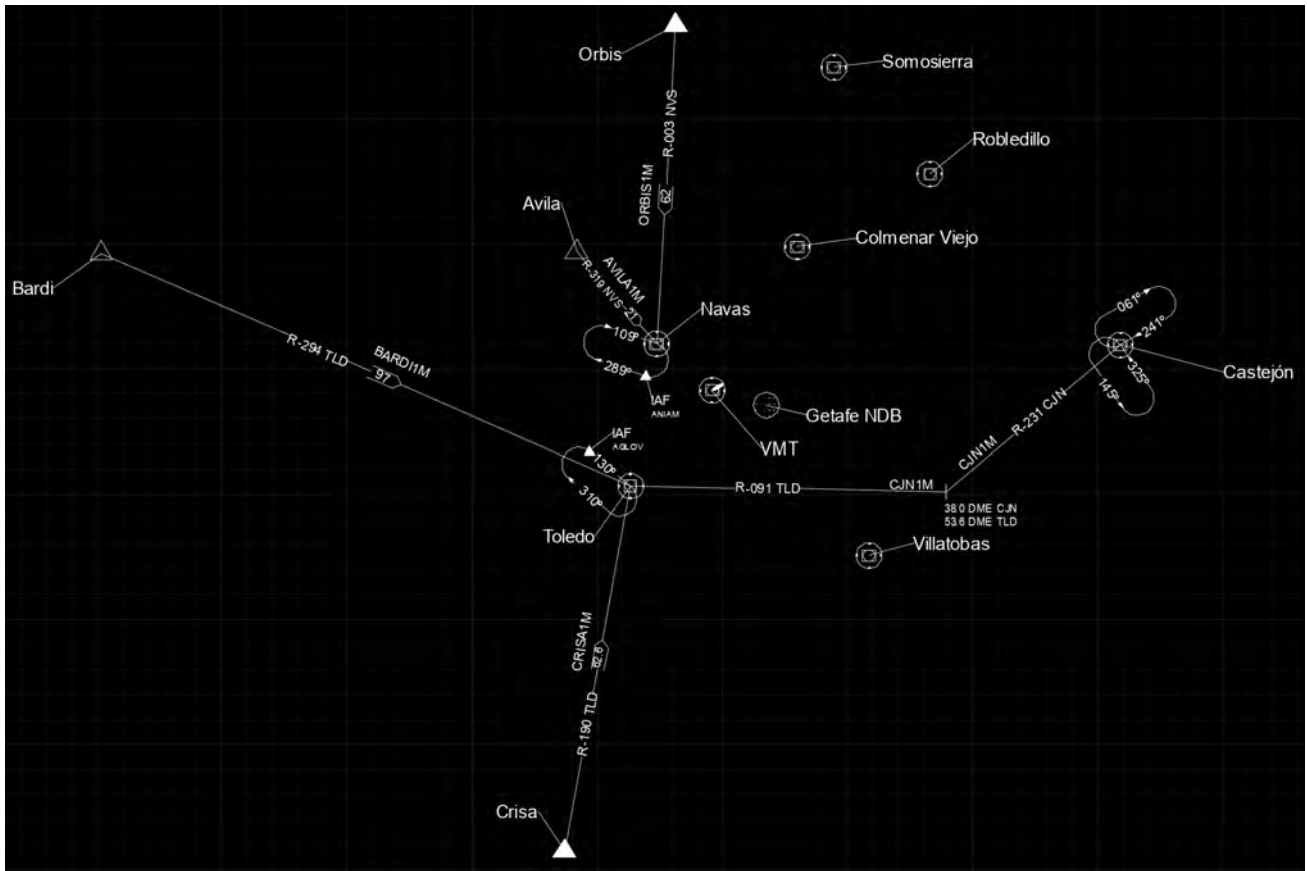


Figura 4.3: STARs pista 06

A diferencia de lo que sucede en el caso de las salidas para esta pista, las cinco rutas de llegada permiten acceder al aeropuerto desde puntos muy diferentes. Las rutas desde AVILA y ORBIS permiten acceder al aeropuerto desde la zona norte y utilizan el IAF ANIAM para su aproximación final. Desde el sur se puede llegar a través de la ruta de CRISA. La ruta que da servicio a la zona este es la de CASTEJON y a la zona oeste da servicio la ruta desde BARDI. Estas tres rutas realizan la aproximación final desde el IAF AGLOV.

Las rutas de llegada para la pista 06 se encuentra descritas a continuación:

- **LLEGADA AVILA UNO MIKE (AVILA1M)**
 AVILA, R-319 NVS, NVS (IAF)
 Empieza en el punto de AVILA que conecta con la red de aerovías y desde donde se sigue un tramo recto siguiendo el radial R-319 NVS hasta llegar al VOR NVS donde se entra en circuito hasta llegar al IAF ANIAM que supone el fin de la ruta.
- **LLEGADA BARDI UNO MIKE (BARDI1M)**
 BARDI, R-294 TLD, TLD (IAF)
 Esta ruta empieza en el punto de BARDI que conecta con la red de aerovías. Desde este punto se sigue el radial R-294 TLD hasta llegar al VOR TLD. La ruta termina en IAF AGLOV que se puede interceptar directamente o desde el circuito de espera.

- **LLEGADA CASTEJON UNO MIKE (CJN1M)**
DVOR/DME CJN, R-231/38.0 DME CJN, R-091 TLD, TLD (IAF)
Esta llegada empieza en el VOR CJN desde donde se sigue un tramo recto según el radial R-231 CJN hasta llegar a 38.0 DME CJN donde se intercepta el radial R-091 TLD hasta llegar al VOR TLD donde se entra en circuito hasta llegar al IAF AGLOV que supone el fin de la ruta.
- **LLEGADA CRISA UNO MIKE (CRISA1M)**
CRISA, R-190 TLD, TLD (IAF)
La ruta empieza en el punto de CRISA desde el que se sigue el radial R-190 TLD hasta llegar al VOR TLD donde se entra en circuito hasta llegar al IAF AGLOV que supone el fin de la ruta.
- **LLEGADA ORBIS UNO MIKE (ORBIS1M)**
ORBIS, R-003 NVS, NVS (IAF)
Esta llegada empieza en el punto de ORBIS donde se intercepta el radial R-003 NVS hasta llegar al VOR NVS. En el VOR NVS se entra en circuito para finalizar la ruta en el IAF ANIAM.

4.3.2. Pista 24

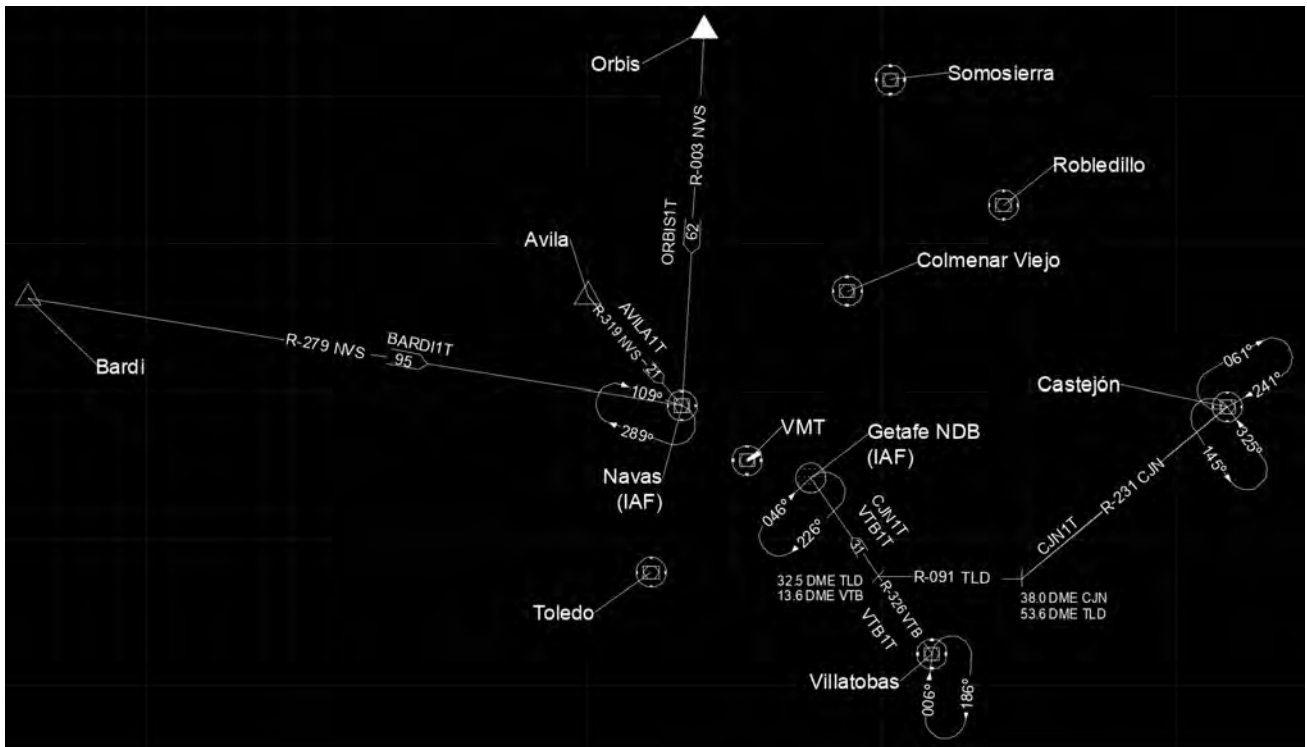


Figura 4.4: STARs pista 24

Tal y como sucede en la cabecera 06, en esta pista también se han desarrollado cinco rutas que permiten llegar al aeropuerto desde una amplia variedad de puntos. Las rutas desde ORBIS y AVILA permiten la llegada desde el norte y realizan la aproximación final desde NAVAS, en este caso la ruta que da servicio a la zona oeste también realiza la aproximación final desde este punto. Entonces hay solo dos rutas que realizan la aproximación final a través de GETAFE, la ruta de CASTEJON, que da servicio a la zona este, y la ruta desde VILLATOBAS que da servicio a la zona sur.

Para esta pista la descripción de las rutas creadas es la siguiente:

- **LLEGADA AVILA UNO TANGO (AVILA1T)**
 AVILA, R-319 NVS, NVS (IAF)
 La ruta empieza en el punto de AVILA que conecta con la red de aerovías desde donde se coge el radial R-319 NVS hasta conectar con el VOR NVS que coincide con el IAF ANOIM y supone la finalización de la ruta.
- **LLEGADA BARDI UNO TANGO (BARDI1T)**
 BARDI, R-279 NVS, NVS (IAF)
 Esta ruta empieza en el punto BARDI que conecta con la red de aerovías y desde donde se coge el radial R-279 NVS hasta llegar al VOR NVS que supone el final de la ruta y coincide con el IAF ANOIM.
- **LLEGADA CASTEJON UNO TANGO (CJN1T)**
 DVOR/DME CJN, R-231/38.0 DME CJN, R-091/32.5 DME TLD, R-326 VTB, NDB GE(IAF)
 La ruta empieza en el VOR CJN desde donde se coge el radial R-231 hasta llegar a 38.0 DME CJN, punto en el que se intercepta el radial R-091 TLD hasta una distancia de 32.5

DME TLD donde se intercepta el radial R-326 VTB para seguir hasta NDB GE que actúa como IAF LIRBA que supone el final de la ruta.

■ **LLEGADA ORBIS UNO TANGO (ORBIS1T)**

ORBIS, R-003 NVS, NVS (IAF)

Esta llegada empieza en el punto de ORBIS que conecta con la red de aerovías, en este punto se intercepta el radial R-003 NVS hasta llegar al VOR NVS que supone el fin de la ruta y coincide con el IAF ANOIM.

■ **LLEGADA VILLATOBAS UNO TANGO (VTB1T)**

VOR/DME VTB, R-326 VTB, NDB GE (IAF)

Esta llegada empieza en el VOR VTB donde simplemente se coge un tramo recto siguiendo el radial R-326 VTB hasta 31 DME VTB donde se intercepta el NDB GE que actúa como IAF LIRBA que supone el final de la ruta.

4.4. Instrumental Approach Chart-IAC

En este apartado se presentan las cartas de aproximación final por instrumentos al aeropuerto y es necesario comentar que en ciertos casos pueden aparecer distancias que parecen no coincidir con la descripción del procedimiento. En los casos en los que esto sucede es debido a que las distancias se toman siempre respecto al ILS de la pista (que básicamente se corresponde con su umbral) y por ejemplo en el caso de que se realicen giros, el avión puede no recorrer distancia en la dirección y/o sentido de la pista pero si en otra dirección lo que puede provocar que no exista una relación totalmente directa entre las diferentes distancias que se presentan.

4.4.1. Pista 06

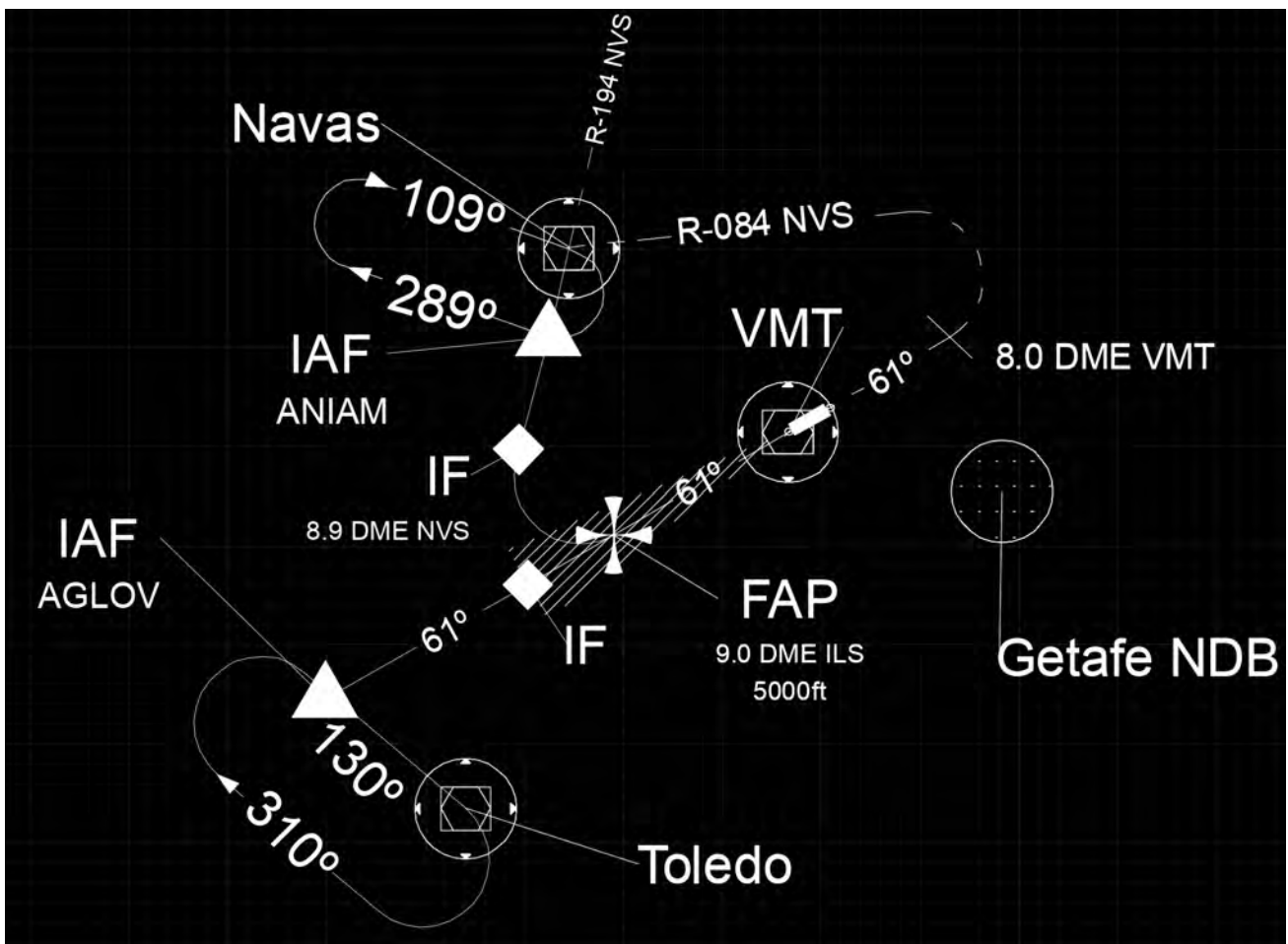


Figura 4.5: IAC pista 06

La pista 06 dispone de dos procedimientos de aproximación final. El procedimiento desde IAF ANIAM da servicio a las rutas de la zona norte y el procedimiento desde IAF AGLOV da servicio al resto de rutas. Ambos procedimientos de juntan en el FAP, situado a 9NM de la pista.

La descripción de los dos procedimientos es la siguiente:

- **Aproximación de precisión ILS desde IAF AGLOV**

La ruta empieza en IAF AGLOV situado a una distancia de 23.0 DME ILS y con una altitud mínima de 7000 pies. Se sigue el rumbo 061° (rumbo de pista) hasta 10 DME ILS donde empieza un primer descenso desde 7000 pies hasta 5000 pies a 9 DME ILS. A 9

DME ILS empieza la aproximación final manteniendo rumbo 061° y con pendiente de 3.0° (5.2%) hasta llegar al umbral de la pista. Para aproximación frustrada se sigue rumbo de pista hasta 8.0 DME VMT donde se realiza un viraje a izquierdas para interceptar R-084 NVS para llegar a VOR NVS donde se incorpora de nuevo al circuito de espera.

■ **Aproximación de precisión ILS desde IAF ANIAM**

La ruta empieza en IAF ANIAM situado a 11.67 DME ILS. Desde este punto se sigue el radial R-195 NVS durante 5 NM y bajando desde 7000 pies a 5000 pies para pasar por IF situado a 11.0 DME ILS a 5000 pies. En IF se realiza un viraje a izquierdas de aproximadamente 6 NM hasta alinearse con rumbo 061° en FAP a 5000 pies de altitud (altitud mínima de sector). Finalmente se inicia la aproximación final según rumbo 061° y pendiente de 3.0° hasta el umbral de la pista. Para aproximación frustrada se sigue rumbo de pista hasta 8.0 DME VMT donde se realiza un viraje a izquierdas para interceptar R-084 NVS para llegar a VOR NVS donde se incorpora de nuevo al circuito de espera. La distancia total de la aproximación es aproximadamente de 20 NM.

4.4.2. Pista 24

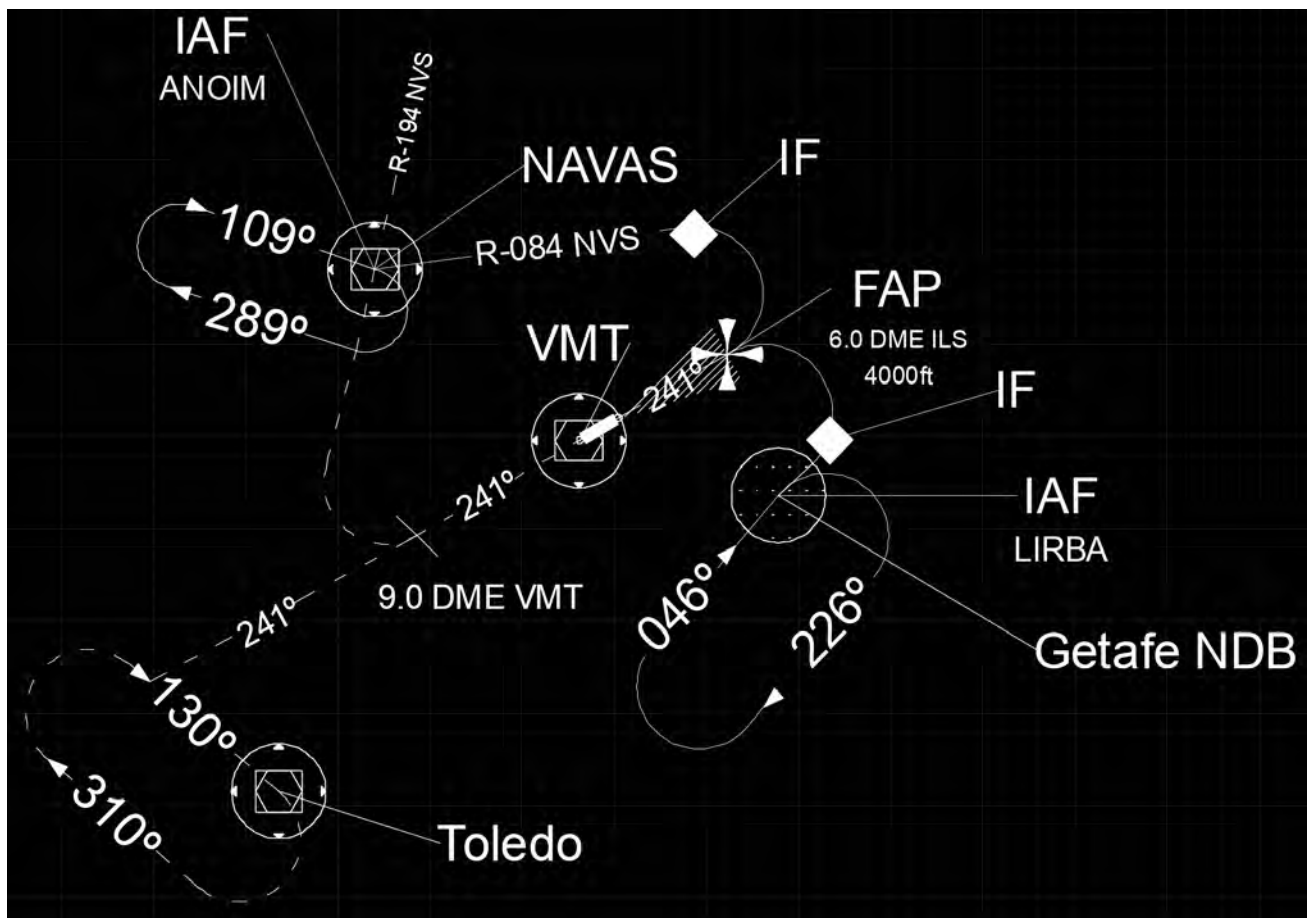


Figura 4.6: IAC pista 24

Esta pista también dispone de dos procedimientos de aproximación final. El procedimiento desde IAF ANOIM (que coincide con el VOR NAVAS) da servicio a las rutas de la zona norte y oeste. El procedimiento desde IAF LIRBA (que coincide con NDB GETAFE) da servicio a las rutas desde CASTEJON y VILLATOBAS. Los dos procedimientos se juntan en el FAP que en este caso se sitúa a 6NM de la pista.

La descripción de los dos procedimientos es la siguiente:

- **Aproximación de precisión ILS desde IAF ANOIM**

La ruta empieza en IAF ANOIM situado a 13 DME ILS a 7000 pies. Desde este punto se sigue el radial R-084 NVS durante aproximadamente 14.4 NM y bajando hasta 4000 pies hasta llegar a IF, situado a 9.5 DME ILS. En IF se realiza un viraje a derechas de aproximadamente 8.5 NM hasta llegar a FAP a altitud de 4000 pies y según rumbo de pista 241° . Desde FAP se sigue el rumbo de pista de 241° con una pendiente de descenso 3.0° hasta el umbral de la pista. Para aproximación frustrada existen dos procedimientos. El primer procedimiento consiste en seguir rumbo de pista hasta 23.0 DME VMT para integrarse en circuito de espera. El segundo procedimiento consiste en seguir rumbo de pista hasta 9.0 DME VMT para realizar un giro a derechas e interceptar R-195 NVS e incorporarse en el circuito de espera.

La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 29 NM.

- **Aproximación de precisión IAF desde LIRBA**

La aproximación empieza en IAF LIRBA situado a 8.23 DME ILS y a 4000 pies. Desde

este punto se sigue el radial R-216 RBO durante aproximadamente 2.5 NM hasta llegar a IF, situado a 9.87 DME ILS (mayor distancia porque se va en sentido contrario al de la pista). En IF se realiza un viraje a izquierdas hasta llegar a FAP con una altitud de 4000 pies y según rumbo de pista 241° . La longitud del viraje es aproximadamente 8.5 NM. Desde el punto de FAP, situado a 6 DME ILS, se realiza el descenso desde 4000 pies hasta el umbral de la pista según una pendiente de 3.0° . Para aproximación frustrada existen dos procedimientos. El primer procedimiento consiste en seguir rumbo de pista hasta 23.0 DME VMT para integrarse en circuito de espera. El segundo procedimiento consiste en seguir rumbo de pista hasta 9.0 DME VMT para realizar un giro a derechas e interceptar R-195 NVS e incorporarse en el circuito de espera .

La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 16.5 NM.

Capítulo 5

Introducción a la navegación de área

5.1. Introducción

Los sistemas de Navegación de Área (RNAV) constituyen las últimas innovaciones en la definición de procedimientos aéreos. Hasta el momento se han presentado rutas para el nuevo aeropuerto que están basadas en radioayudas, sobretodo el VOR y el DME, sin embargo estos sistemas presentan diferentes problemas para definir rutas. El problema principal reside en que de forma general las rutas solo se pueden definir uniendo dos radioayudas con una recta lo que provoca que las rutas terminen pasando por donde están las radioayudas (que suele ser no muy lejos de zonas habitadas) y no por otros lugares donde sería más óptimo. Si bien es cierto que en ciertos casos se pueden designar puntos de ruta a partir de la distancia y el radial a un VOR, esto dificulta enormemente tanto el trabajo del piloto como del controlador, por ese motivo se intenta evitar al máximo el uso de estos puntos. Otro de los problemas del sistema VOR es que su precisión no es muy grande, por eso no se pueden utilizar sistemas VOR para la aproximación final y se utiliza el sistema ILS (que es bastante más caro). Así pues se hace evidente la necesidad de contar con sistemas más precisos y que permitan desarrollar rutas más óptimas, en este punto es cuando aparece la Navegación de Área (RNAV).

El principio básico de funcionamiento del sistema RNAV es muy parecido al sistema de navegación que se utiliza en un automóvil o un teléfono móvil y se basa en un amplio abanico de satélites capaces de proporcionar la posición, lo que se conoce como GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) y que en Europa se basa en la constelación de satélites Galileo desarrollado por la GSA (*European Global Navigation Satellite Systems Agency*). Este sistema es capaz de proporcionar una gran precisión en cuanto a la posición (aproximadamente el error es como máximo de 1NM durante el 95% de la ruta) y por lo tanto es muy útil para las fases en ruta pero esta precisión no es útil cuando se está hablando de aproximaciones finales, donde actualmente el sistema de ILS es capaz de proporcionar aterrizajes de forma totalmente automática y sin visibilidad. Es por ese motivo que para poder utilizar el sistema RNAV en aproximaciones de precisión es necesario utilizar un sistema de mejora de la precisión de la señal, un SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*) y en Europa el sistema que se utiliza es EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*). Este sistema utiliza como base el sistema Galileo pero además utiliza tres satélites y estaciones de tierra que permiten aumentar la precisión, esto permite que actualmente la precisión de los sistemas RNAV sea equiparable a la de los sistemas ILS. En la página web de la GSA [6] se puede encontrar más información y vídeos sobre el funcionamiento de todo este sistema que no solo tiene usos en el campo aeronáutico.

Como se puede comprobar el sistema de RNAV permite la creación de cualquier tipo de ruta y

en un sistema que se podría considerar todo-en-uno debido a que no se necesita que los aeropuertos dispongan y mantengan los caros sistemas de ILS. Cabe destacar llegados a este punto que no solo es necesario que se disponga de la infraestructura de satélites necesaria sino que también se necesita que los aviones dispongan de los sistemas necesarios para recibir y procesar estas señales y que deben cumplir unos altos estándares de calidad (como todos los componentes utilizados en la aeronáutica). Estos sistemas son obligatorios para las aeronaves que sobrevuelan España desde el año 1998 y por lo tanto no es ninguna quimera implementar este tipo de procedimientos.

Finalmente cabe recordar que la navegación de área se basa en los Waypoints tal y como se ha comentado en el apartado de introducción a las cartas aeronáuticas.

5.2. Cobertura

En el apartado anterior se ha comentado que el sistema de RNAV se basa en Galileo y EGNOS en Europa y por lo tanto es importante conocer su cobertura. La cobertura se puede ver en la imagen 5.1. La zona que aparece de color rojo es la que proporciona una mayor precisión (200 pies de altura en aterrizaje) que es óptima prácticamente en todo el continente europeo hasta la zona de Rusia donde se utiliza el sistema GLONASS.

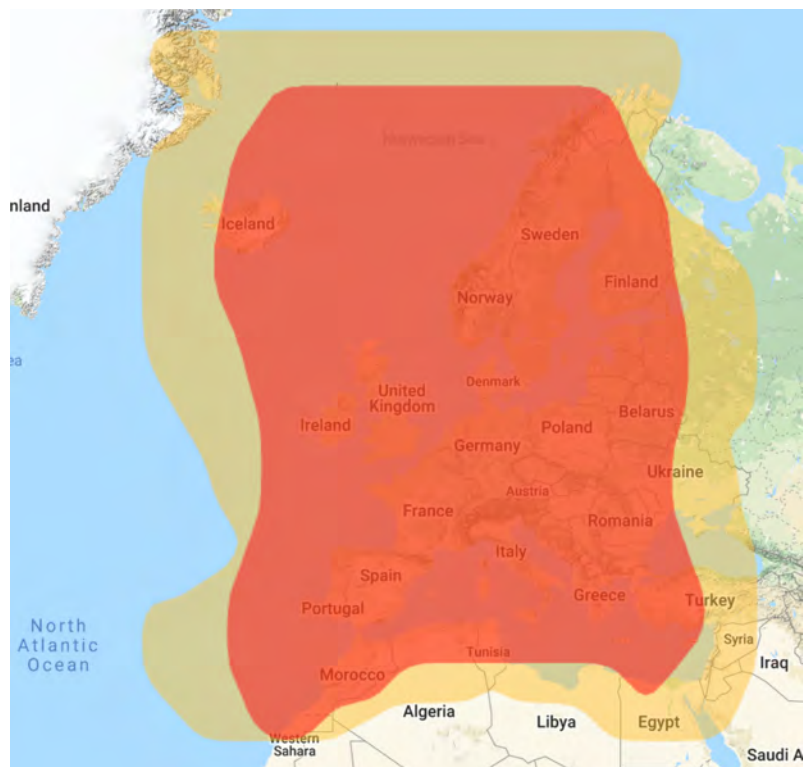


Figura 5.1: Cobertura del sistema EGNOS. Imagen obtenida de [5]

5.3. Implementación

Una vez es conocida la zona donde hay cobertura del sistema Galileo+EGNOS es importante conocer que aeropuertos tienen implementado este sistema. El conjunto de aeropuertos europeos puede verse en la imagen 5.2 y los de España en 5.3. En Europa hay muchos aeropuertos que tienen implementados los sistemas RNAV pero en España solo hay cuatro: Almería, Palma,

Santander y Valencia, aunque hay planes para muchos otros aeropuertos como Madrid-Barajas (LEMD) y Barcelona-El Prat (LEBL).

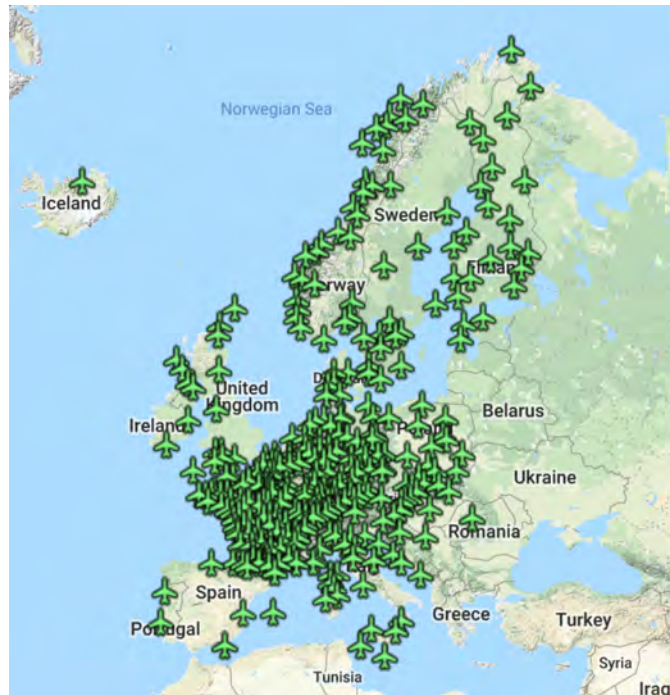


Figura 5.2: Aeropuertos europeos con procedimientos RNAV implementados. Imagen obtenida de [5]



Figura 5.3: Aeropuertos españoles con procedimientos RNAV implementados. Imagen obtenida de [5]

Aunque si bien es cierto que todos los aeropuertos que aparecen en las imágenes 5.2 y 5.3 tienen procedimientos implementados, no todos se puede decir que estén al mismo nivel, es por

eso que a continuación se van a comentar a grandes rasgos en que estado están los procedimientos de algunos aeropuertos, intentado poner especial atención en aeropuertos que estén alrededor de los 10 millones de pasajeros.

5.3.1. Aeropuertos con procedimientos IAC RNAV implementados

Dentro de este grupo aparecen todos aquellos aeropuertos que solo utilizan el sistema de RNAV para la fase final del vuelo. Este sistema evidentemente proporciona una mejora porque substituye el sistema del ILS pero no podría considerarse que estén aprovechando al máximo las posibilidades de este sistema. En España hay dos aeropuertos con este sistema: el aeropuerto de Valencia (LEVC) y el de Santander (LEXJ). Una imagen de los procedimientos IAC con RNAV de Santander se puede ver en 5.4.

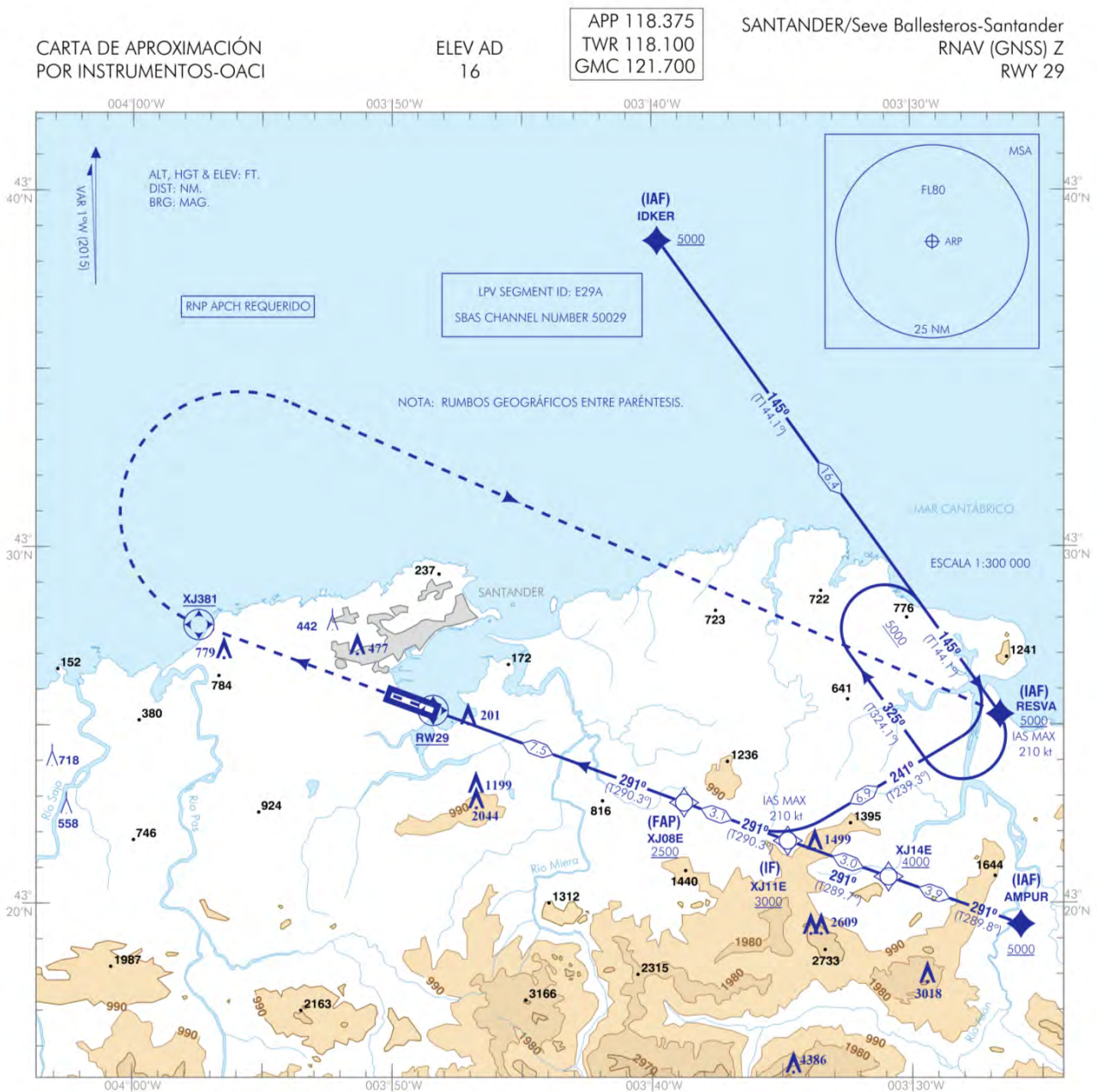


Figura 5.4: Procedimientos RNAV IAC aeropuerto Santander (LEXJ). Imagen obtenida de [1]

Si se comparan los procedimientos RNAV de la imagen 5.4 con los procedimientos IAC convencionales para la misma pista que se pueden ver en 5.5, se puede ver que a efectos prácticos

la zona final (aproximadamente desde FAP) es básicamente el mismo tramo recto y tiene la misma pendiente de 3° pero una ventaja de la utilización de los sistemas GNSS es que la zona de espera se puede situar en cualquier punto y en cambio con los procedimientos convencionales se hace necesaria la presencia de un VOR. Así una de las ventajas del sistema RNAV es poder situar las zonas de espera en lugares que puedan estar alejados de zonas pobladas o zonas peligrosas y en el caso que sea posible situarlas en el mar.

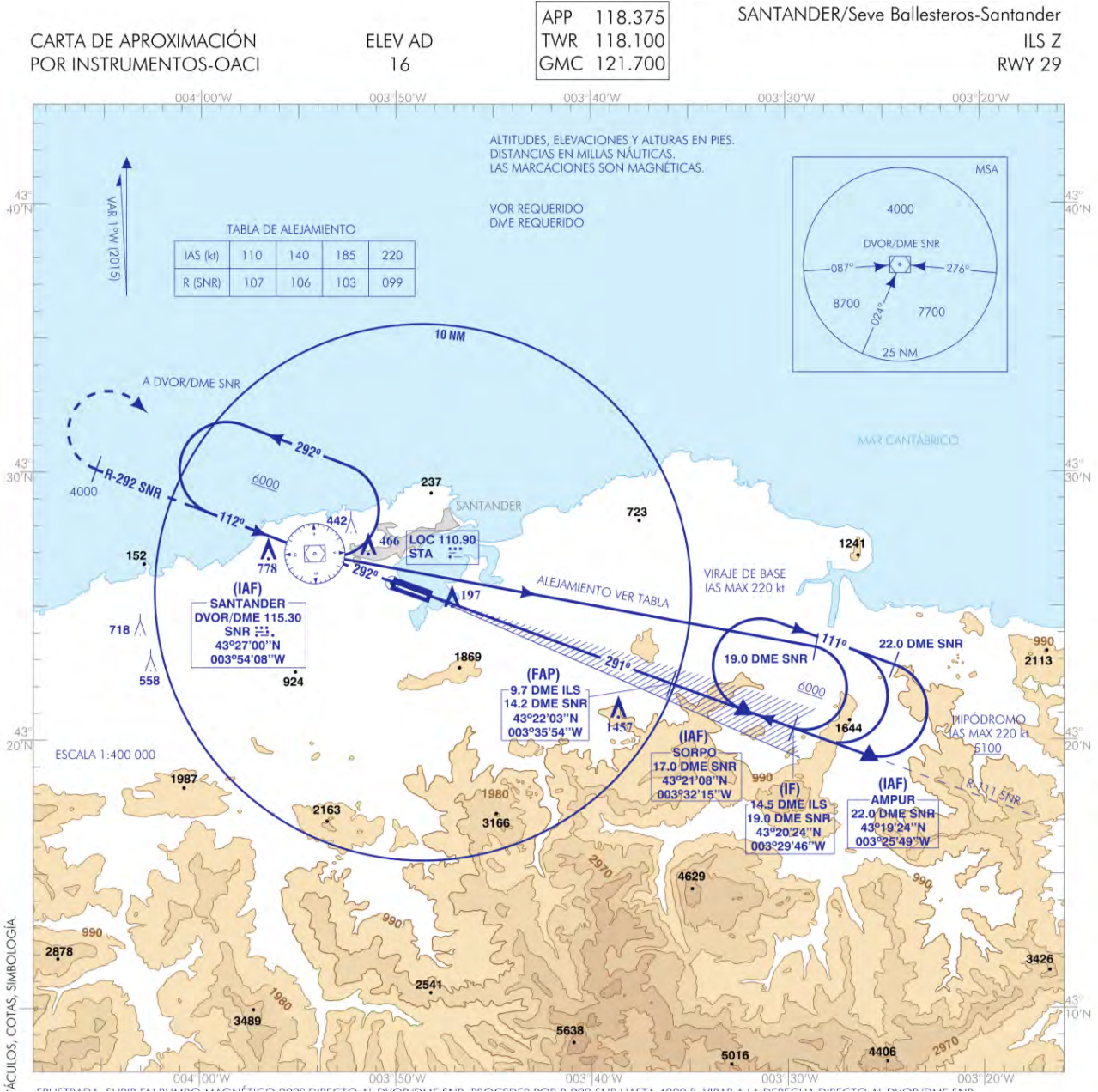


Figura 5.5: Procedimientos IAC convencionales aeropuerto Santander (LEXJ). Imagen obtenida de [1]

5.3.2. Aeropuertos con procedimientos RNAV copia

En este grupo se incluyen aeropuertos que tienen implementados procedimientos RNAV pero que son básicamente los mismos que los procedimientos convencionales. Como en los anteriores, esto supone un aumento de la precisión y disminución de la carga en los controladores pero tampoco se están aprovechando al máximo las prestaciones de este sistema. Un ejemplo de este tipo de aeropuerto son Stuttgart (EDDS) y Colonia (EDDK), que son dos aeropuertos

con aproximadamente 10 millones de pasajeros. En las imágenes 5.6 y 5.7 se puede ver una comparación entre los procedimientos convencionales y los procedimientos RNAV para las salidas del aeropuerto de Stuttgart. Como puede verse, las diferencias entre ambos procedimientos son mínimas y por lo tanto no se está sacando el máximo provecho a los procedimientos RNAV.

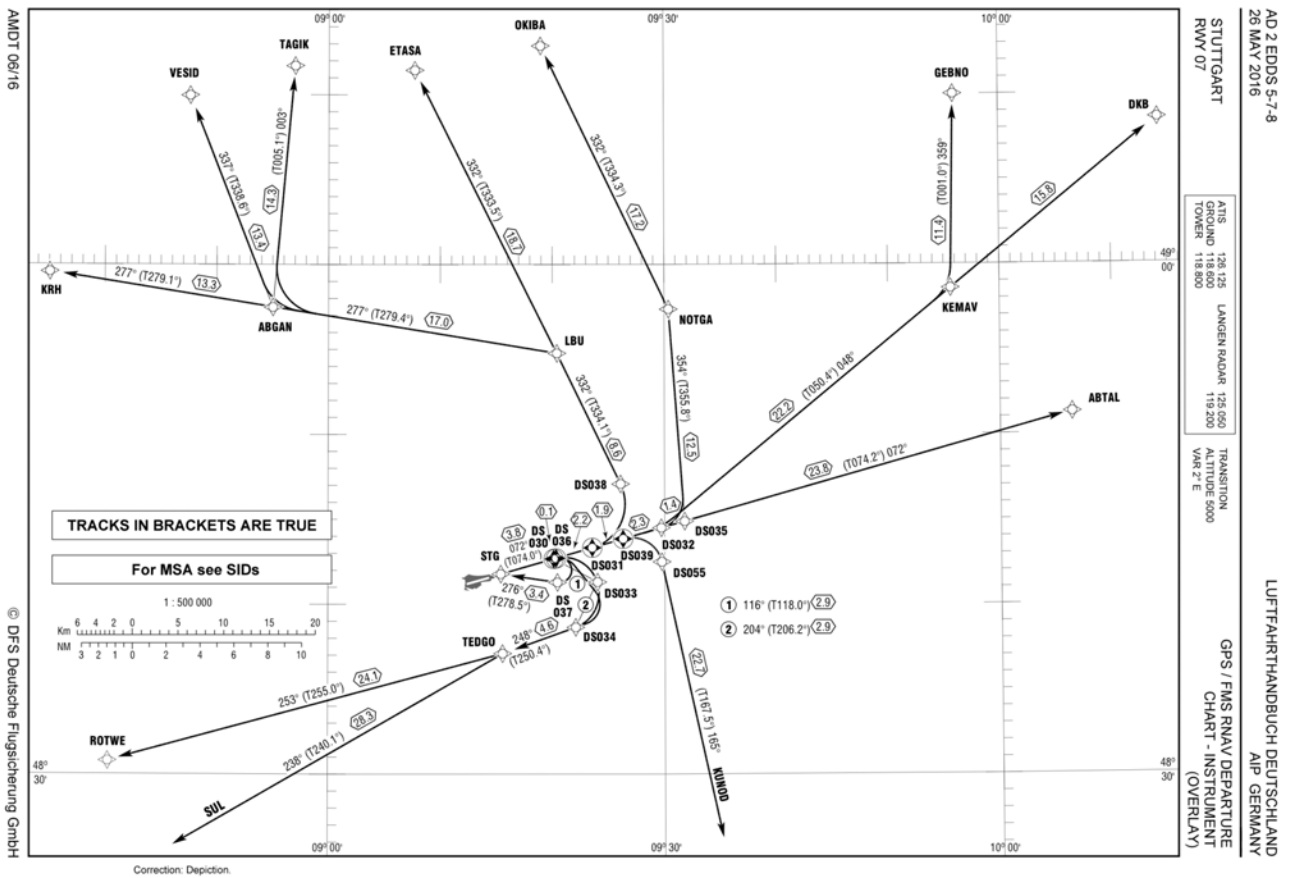


Figura 5.6: Procedimientos RNAV Salidas aeropuerto Stuttgart (EDDS). Imagen obtenida de [2]

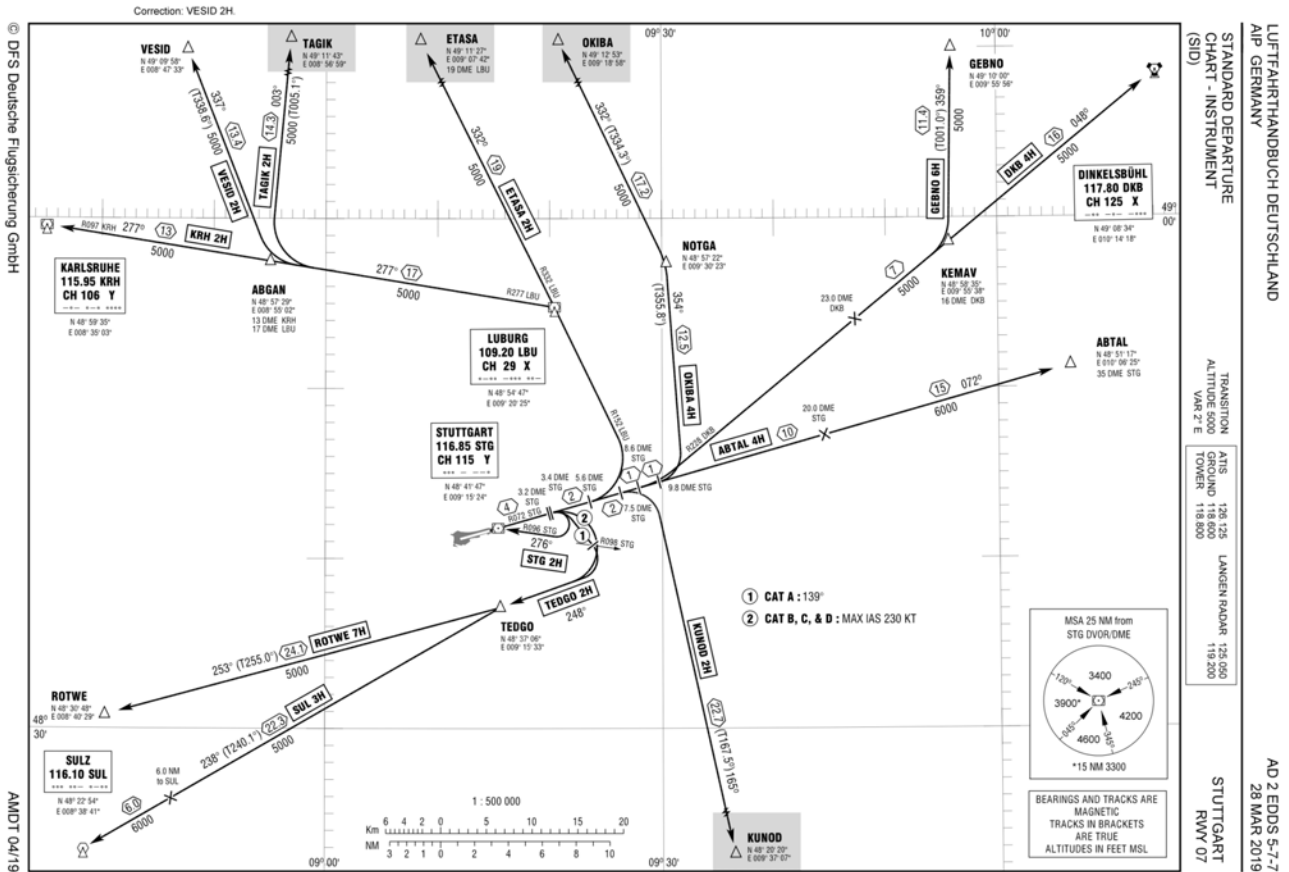


Figura 5.7: Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Stuttgart (EDDS). Imagen obtenida de [2]

5.3.3. Aeropuertos con procedimientos RNAV completos

Finalmente en este último apartado se presentan aquellos aeropuertos que realmente presentan unos procedimientos RNAV completamente desarrollados y que por lo tanto suponen una gran mejora respecto a los procedimientos convencionales, en estos aeropuertos hay unas grandes diferencias entre procedimientos convencionales y RNAV. En este apartado destaca mucho el aeropuerto de Oslo-Gardemoren (ENGM), que solo dispone de procedimientos RNAV. Otros aeropuertos muy desarrollados son el de Almería (LEAM) y el de Palermo (LICJ). Finalmente aeropuertos como el de Mallorca (LEPA) o el de Toulouse (LFBO) no llegan al nivel de Almería o Palermo pero también tienen unos procedimientos bastante desarrollados. En las siguientes imágenes de presentan comparaciones primero en el aeropuerto de Almería y después del de Palermo.

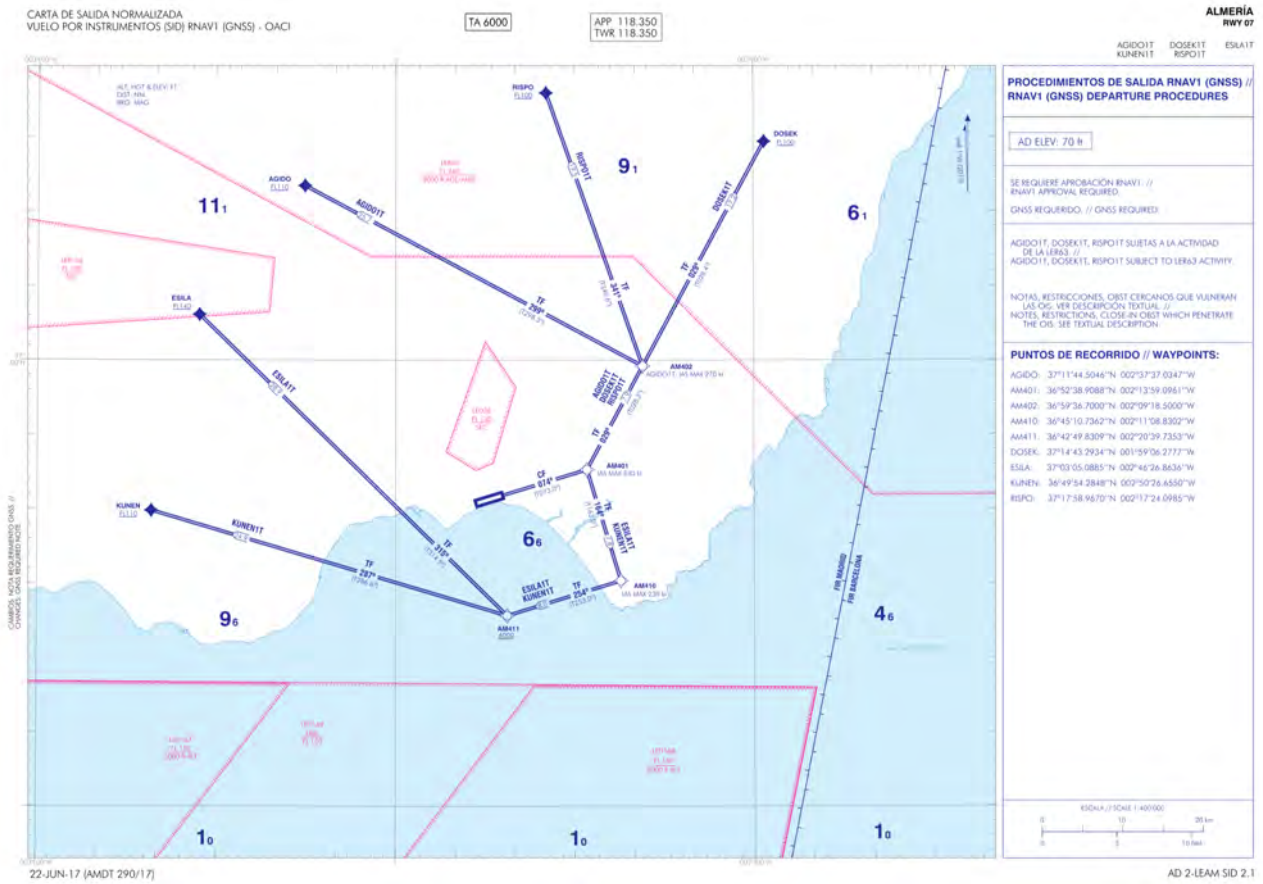


Figura 5.8: Procedimientos RNAV Salida aeropuerto Almería (LEAM). Imagen obtenida de [1]

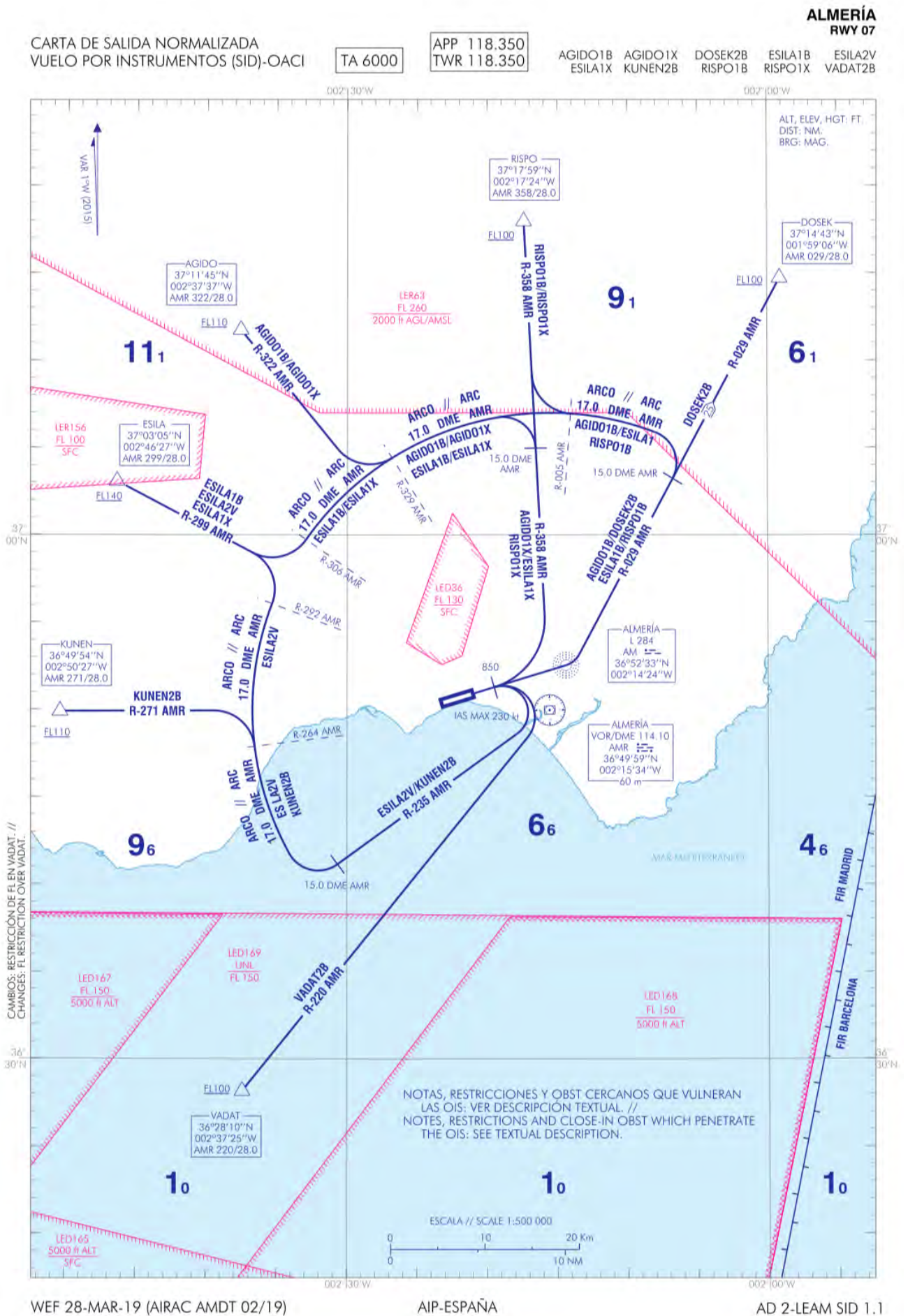


Figura 5.9: Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Almería (LEAM). Imagen obtenida de [1]

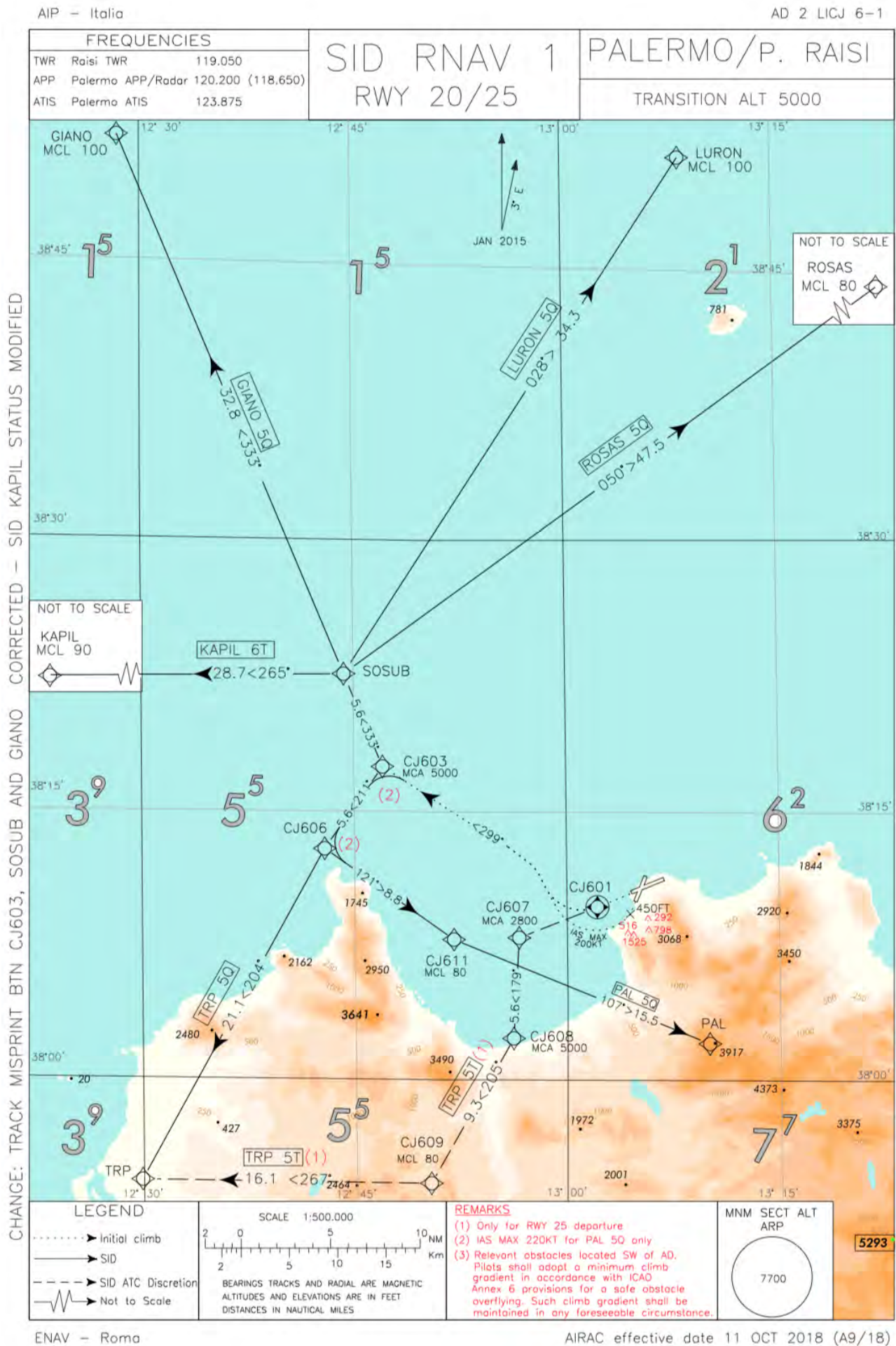


Figura 5.10: Procedimientos RNAV Salida aeropuerto Palermo (LICJ). Imagen obtenida de [2]

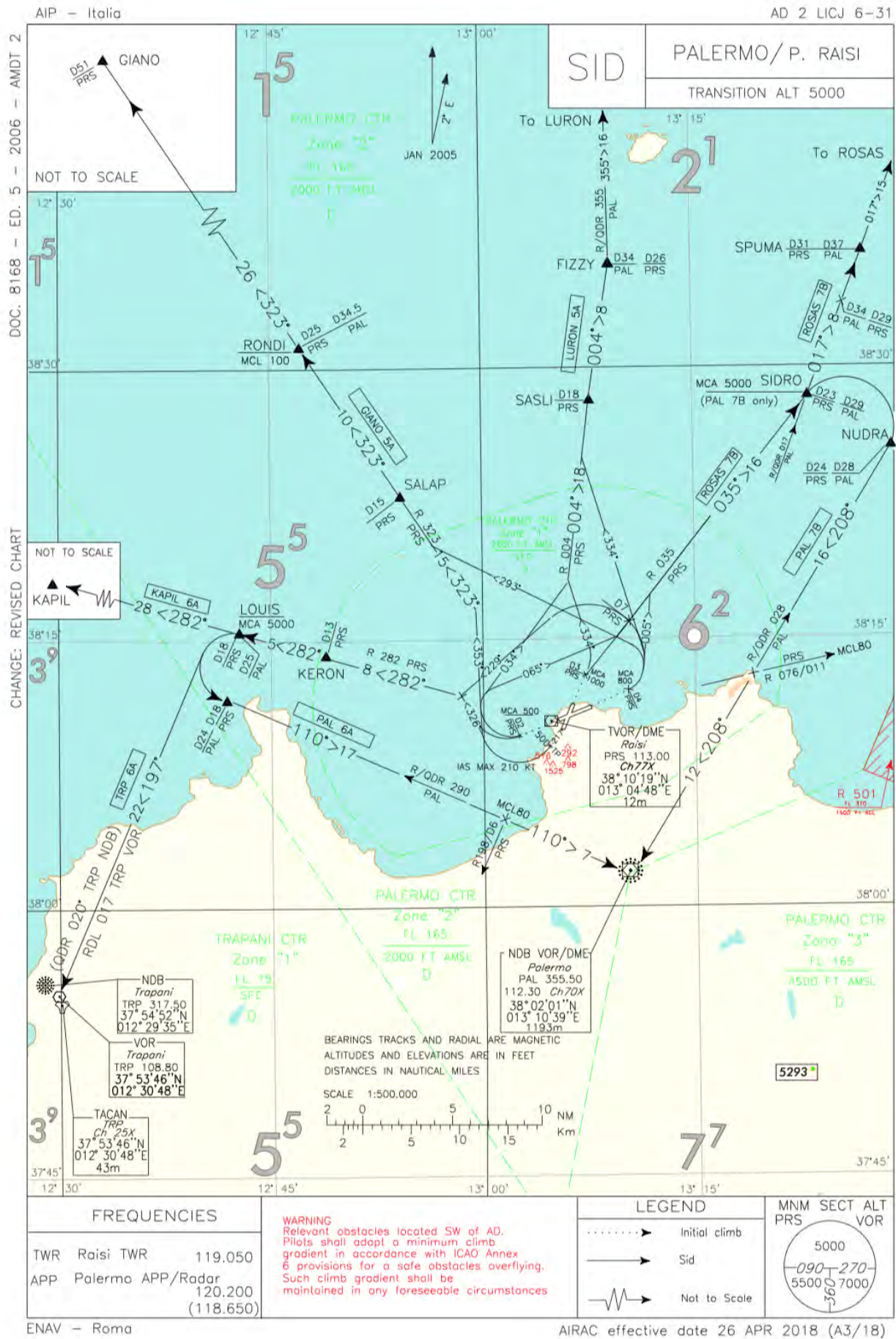


Figura 5.11: Procedimientos convencionales de salida aeropuerto Palermo (LICJ). Imagen obtenida de [2]

En estos dos aeropuertos puede verse que los procedimientos RNAV de forma general terminan en los mismo puntos que los procedimientos convencionales, esto es lógico porque son puntos de conexión con la red de aerovías que no dependen del tipo de procedimiento utilizado, pero se puede ver que los procedimientos RNAV son primeramente más rectos (rara vez incluyen tramos curvos) y lo más importante es que son mucho más sencillos y visuales en el momento de interpretarlos. Estos dos aeropuertos representan la transición perfecta entre procedimientos convencionales y procedimientos RNAV, motivo por el cual se van a utilizar como referencia para diseñar los procedimientos para el nuevo aeropuerto.

5.4. Comentario final

En los apartados anteriores se ha podido comprobar que los procedimientos RNAV son una de las últimas innovaciones en relación a las rutas que siguen los aviones y ofrecen muchas ventajas, sin embargo estos aún no están completamente desarrollados para todos los aeropuertos aunque se espera que en el futuro si lo estén.

Viendo los casos descritos para los aeropuertos de Almería y Palermo, el objetivo para el nuevo aeropuerto de Madrid Sur sería diseñar unos procedimientos que fueran más fáciles y simples de seguir tanto para pilotos como controladores pero que a su vez evitaran al máximo las zonas pobladas más próximas, disminuyendo el impacto acústico. Asimismo también es interesante que las nuevas rutas puedan ser más cortas y más rápidas que las originales, intentando reducir el impacto ambiental. Todas estas mejoras son posibles porque los procedimientos RNAV no están sometidos a la utilización de radioayudas y por lo tanto se pueden definir en las zonas que se consideren más óptimas.

Finalmente solo queda añadir que si se quiere profundizar más en el tema de la navegación de área resulta muy interesante el libro : "*Navegación. Sistemas y Equipos. Maniobras y Procedimientos*" del Comandante Martínez Vadillo [14] o en su defecto los artículos que ha publicado en la revista de la Unión Sindical de Controladores Áereos (USCA) [7] de los que se ha extraído mucha de la información para la realización de este apartado. Por otro lado los procedimientos de todos los aeropuertos europeos se pueden encontrar en la web de Eurocontrol [2] después de hacer un registro gratuito.

Capítulo 6

Compatibilidad de las rutas RNAV con el espacio aéreo

6.1. Introducción

Uno de los primeros pasos que se hizo al realizar el diseño de las rutas convencionales fue ver si los procedimientos creados eran compatibles con las rutas ya existentes para otros aeropuertos, es por eso que en el diseño de las rutas RNAV también resulta interesante ver esta compatibilidad. El código de color utilizado es el mismo que el que ya se utilizó: verde para SIDs de otros aeropuertos, magenta para STARs y blanco para IAC; para el nuevo aeropuerto se ha utilizado el amarillo para las SIDs y el azul para las STARs e IAC (en este caso como el diseño aun es preliminar no se han separado STARs e IAC).

6.2. Rutas preliminares

Antes de ver cuales son las interferencias que se producen es importante ver el diseño preliminar que se ha realizado para las diferentes rutas, de modo que se tenga un punto de partida desde el que poder empezar a ver posibles incompatibilidades. Para la pista 06 se pueden observar las rutas preliminares en 6.1 y para la pista 24 en 6.2. En estas imágenes se ha decidido dejar los puntos y VORs que aparecían en las rutas convencionales para poder orientarse de forma correcta.

Como puede observarse en estas imágenes y si se comparan con los procedimientos convencionales no pueden observarse grandes diferencias debido a que al final los puntos de conexión con el espacio aéreo superior son los mismos y por lo tanto no existe mucho juego, no obstante lo que si se ha intentado es reducir al máximo las distancias y alejar todas las zonas de espera de zonas residenciales. Una de las grandes mejoras que se ha intentado realizar es conseguir rutas que sean prácticamente directas desde las inmediaciones del aeropuerto hasta el punto de transición al espacio aéreo superior o desde el espacio aéreo superior hasta las inmediaciones del aeropuerto. Es posible que las rutas de salida más directas no puedan utilizarse en casos de mucho tráfico, puesto que no disponen de espacio para zonas de espera, pero resultan muy interesantes en periodos de poco tráfico ya que son mucho más cortas y rápidas.

En este afán de conseguir una mayor rapidez y una menor distancia recorrida se han desarrollado un total de once nuevas rutas, diez de las cuales permiten un acceso prácticamente directo al aeropuerto en las llegadas y un acceso prácticamente directo a los puntos de conexión con el espacio aéreo superior en las salidas. Estas rutas directas dan básicamente cobertura a las

salidas hacia CASTEJON y PINAR y a las llegadas desde BARDI, CASTEJON y ORBIS.

Debido al parecido entre las rutas convencionales y las RNAV se va a hacer hincapié en buscar posibles incompatibilidades entre las rutas que se han añadido en los procedimientos RNAV (la mayor parte de ellas directas) y los procedimientos de los aeropuertos cercanos, puesto que ya se ha determinado la compatibilidad de las rutas compartidas. Además también carece de sentido buscar posibles incompatibilidades entre las rutas del mismo aeropuerto por ser muy similares.

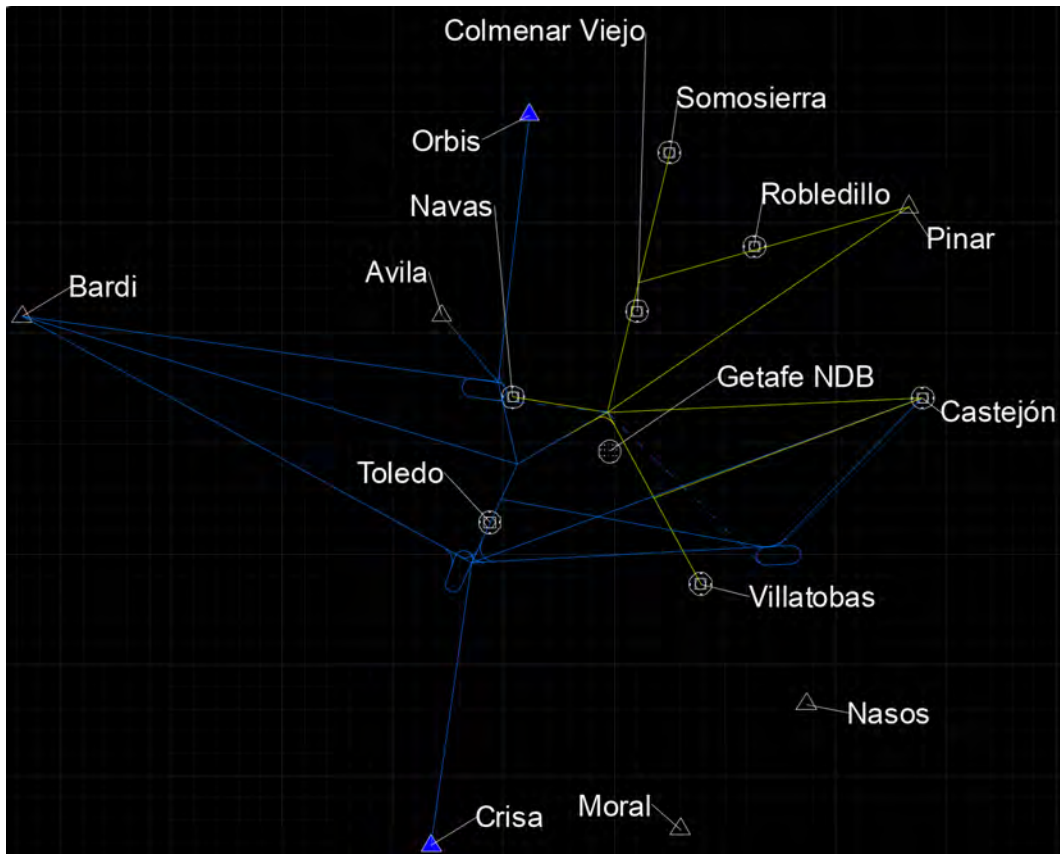


Figura 6.1: Diseño preliminar rutas pista 06 RNAV

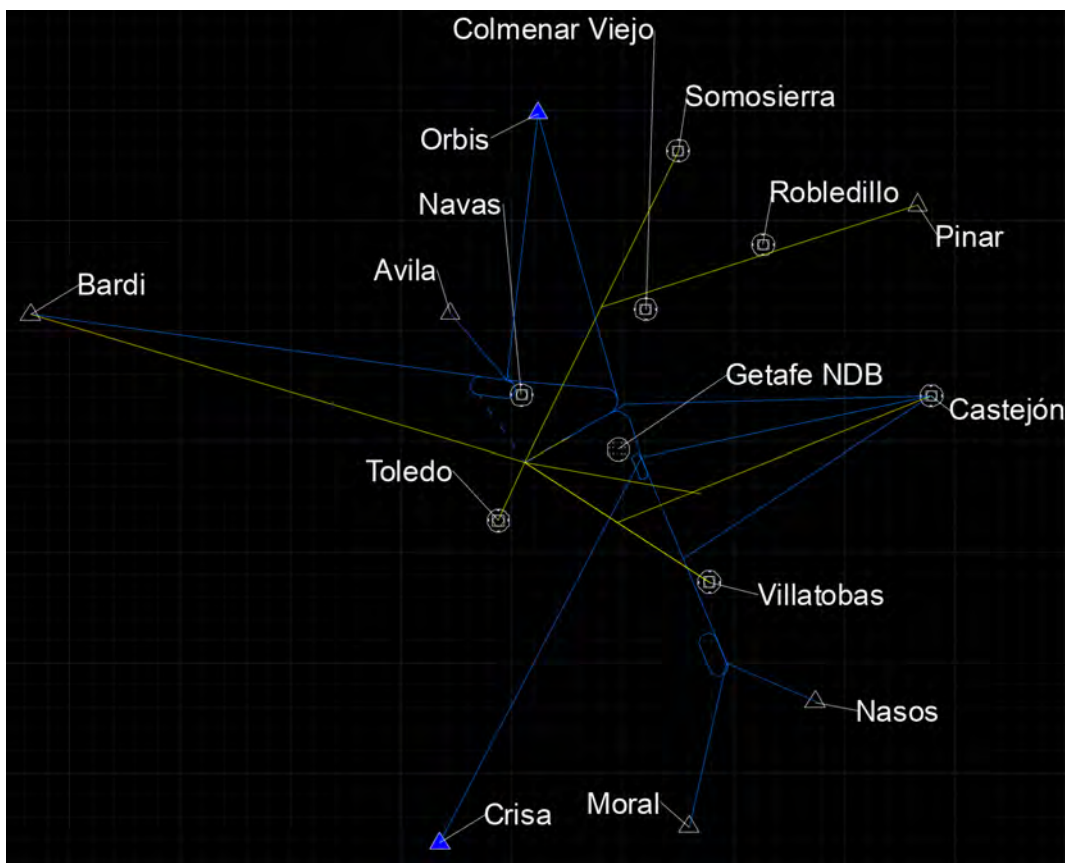


Figura 6.2: Diseño preliminar rutas pista 24 RNAV

6.3. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 06. Caso 1

Bajo esta configuración podría generar problemas la salida directa hacia CASTEJON que interfiere con ciertas SIDs del aeropuerto de Madrid y lo hace en tramos muy iniciales del vuelo. Es por eso que se recomendaría que los aviones pasaran por esta zona a una altitud mínima de 10000ft, que es muy factible atendiendo a la distancia respecto al aeropuerto de Madrid Sur.

Por otra parte la salida que va directa hacia PINAR pasa directamente por encima del aeropuerto, así, independientemente de la altitud, no debería generar problemas.

El último problema se produce en la segunda salida hacia CASTEJON (que se comparte también con una llegada) y se recomendaría que los aviones pasaran por la primera intersección con la SID de Barajas (que se corresponde con la última intersección de la STAR del nuevo aeropuerto) a una altitud mínima de 13000ft. Finalmente resta comentar que en el punto común de todas las SIDs los aviones deberían llevar una altitud alrededor de los 5000ft.

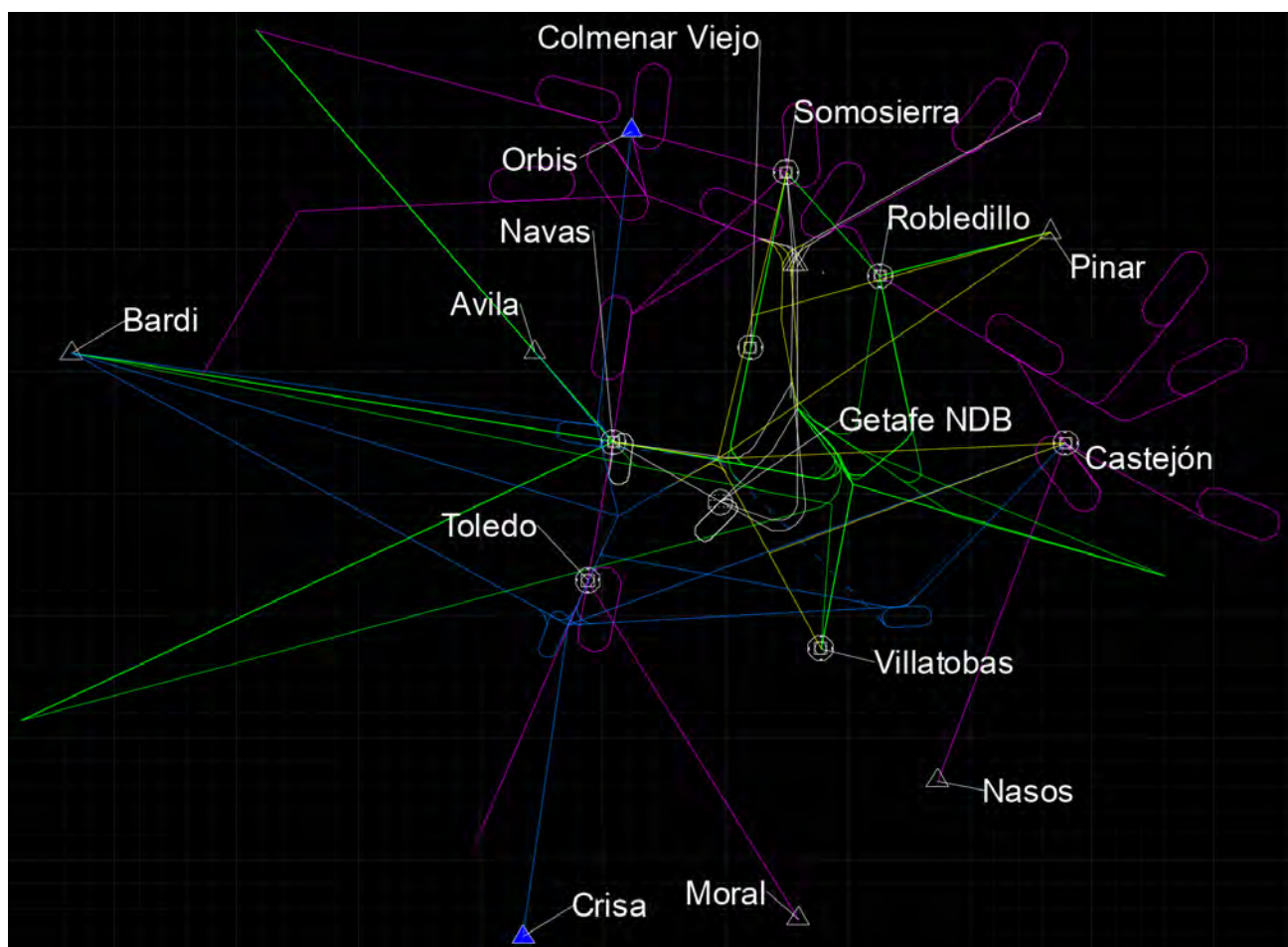


Figura 6.3: Problema caso 1 RNAV

6.4. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 06. Caso 2

En este caso se podrían generar problemas también en la salida y llegada compartidas hacia CASTEJON, pero atendiendo a las recomendaciones del caso 1 estas interferencias deberían estar resueltas. En este caso la salida directa hacia CASTEJON no genera problemas debido a que hay una gran diferencia entre las altitudes de vuelo.

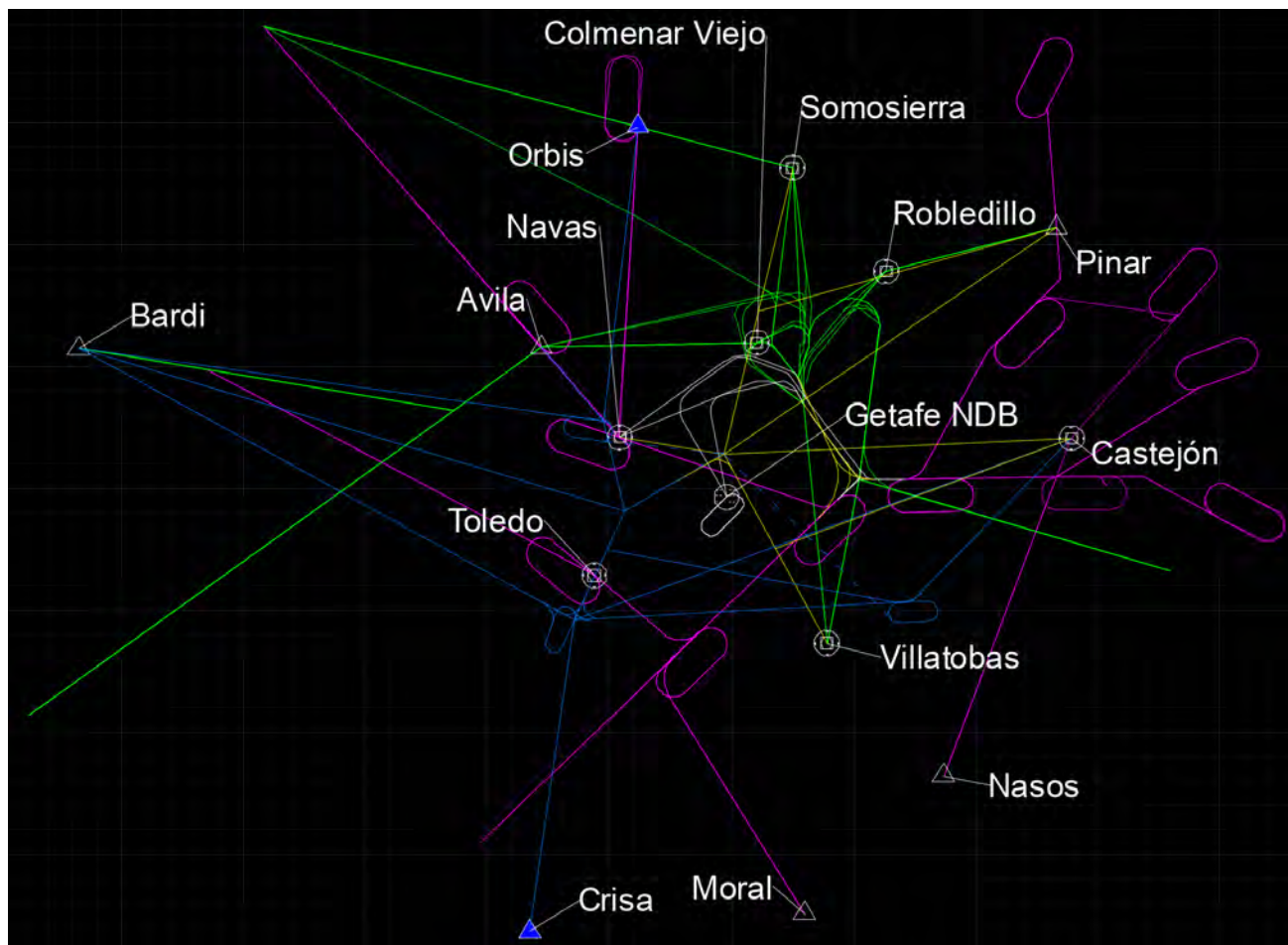


Figura 6.4: Problema caso 2 RNAV

6.5. Conflictividad LEMD Barajas configuración 14 salidas y 18 llegadas con la pista 24. Caso 3

Bajo esta configuración existen diversos puntos que son problemáticos. Por una parte la llegada directa desde ORBIS hacia la aproximación final debería pasar por la primera intersección a 11000ft o menos para evitar problemas. La problemática principal se produce en todas las llegadas a través de CASTEJON, que en este caso son tres (la superior, que es directa, la intermedia y la inferior).

En esta configuración de Barajas no se recomienda la utilización de la llegada directa puesto que se produce una intersección con las SIDs de Madrid en una fase muy inicial del vuelo y las altitudes serían muy similares, por lo que para evitar problemas potenciales a los controladores no se recomienda su utilización. En relación a la llegada intermedia debería pasarse a una altitud mínima de 10000ft en la zona del VOR Perales.

Para terminar con este apartado, la llegada inferior desde CASTEJON debería ser compartida con la salida también hacia CASTEJON y pasar con la última intersección de la llegada con las SIDs de Madrid a una altitud de mínima de 13000ft.

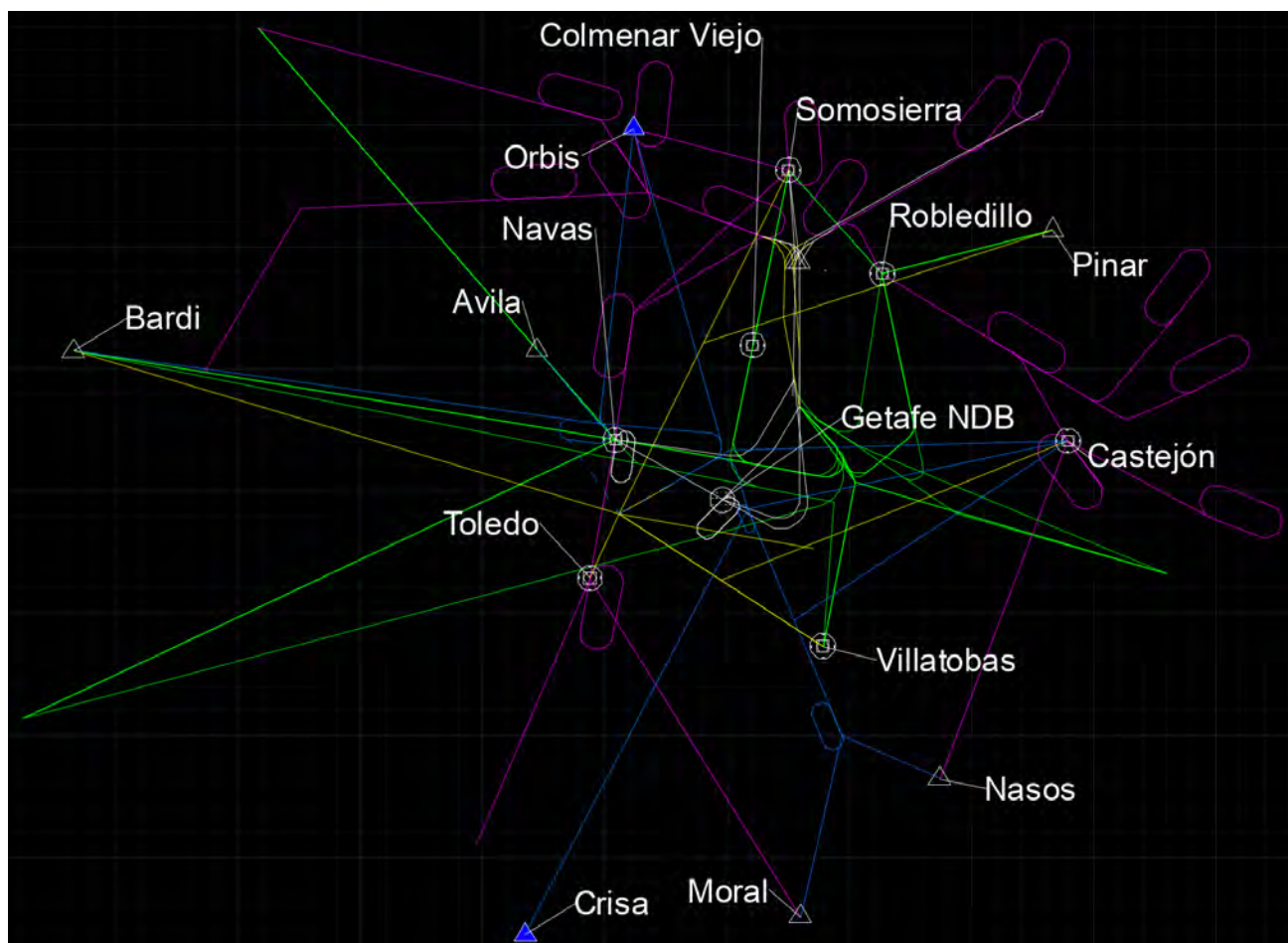


Figura 6.5: Problema caso 3 RNAV

6.6. Conflictividad LEMD Barajas configuración 36 salidas y 32 llegadas con la pista 24. Caso 4

En estas condiciones sucede el contrario que en el caso 3, puesto que no se recomienda la utilización de la llegada intermedia y si en cambio la llegada directa desde CASTEJON. Para la llegada más inferior desde CASTEJON y la llegada directa desde ORBIS son válidas las mismas consideraciones que en el caso 3.

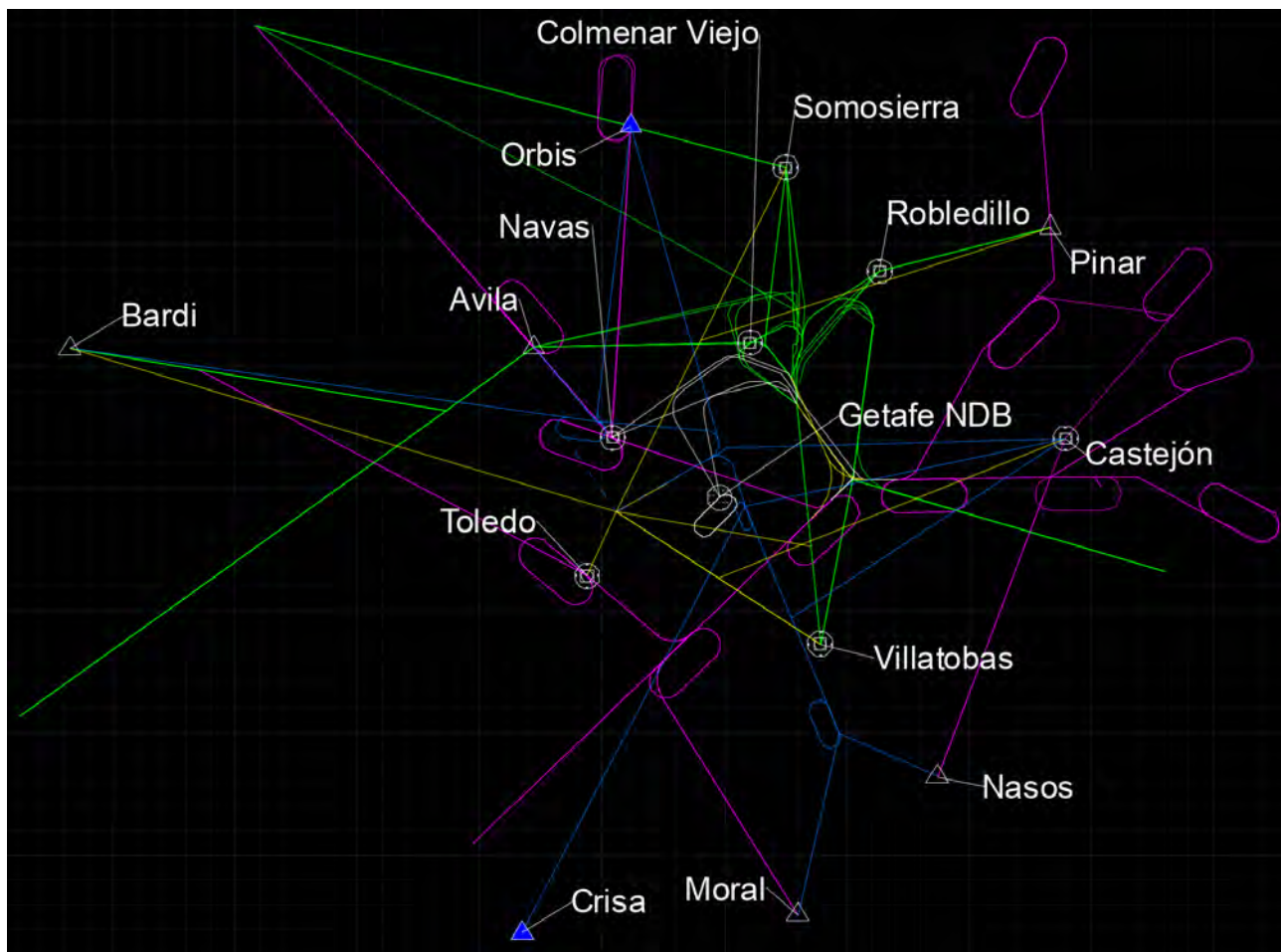


Figura 6.6: Problema caso 4 RNAV

6.7. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 06. Caso 5

En este caso no se puede apreciar ningún problema nuevo sustancial.

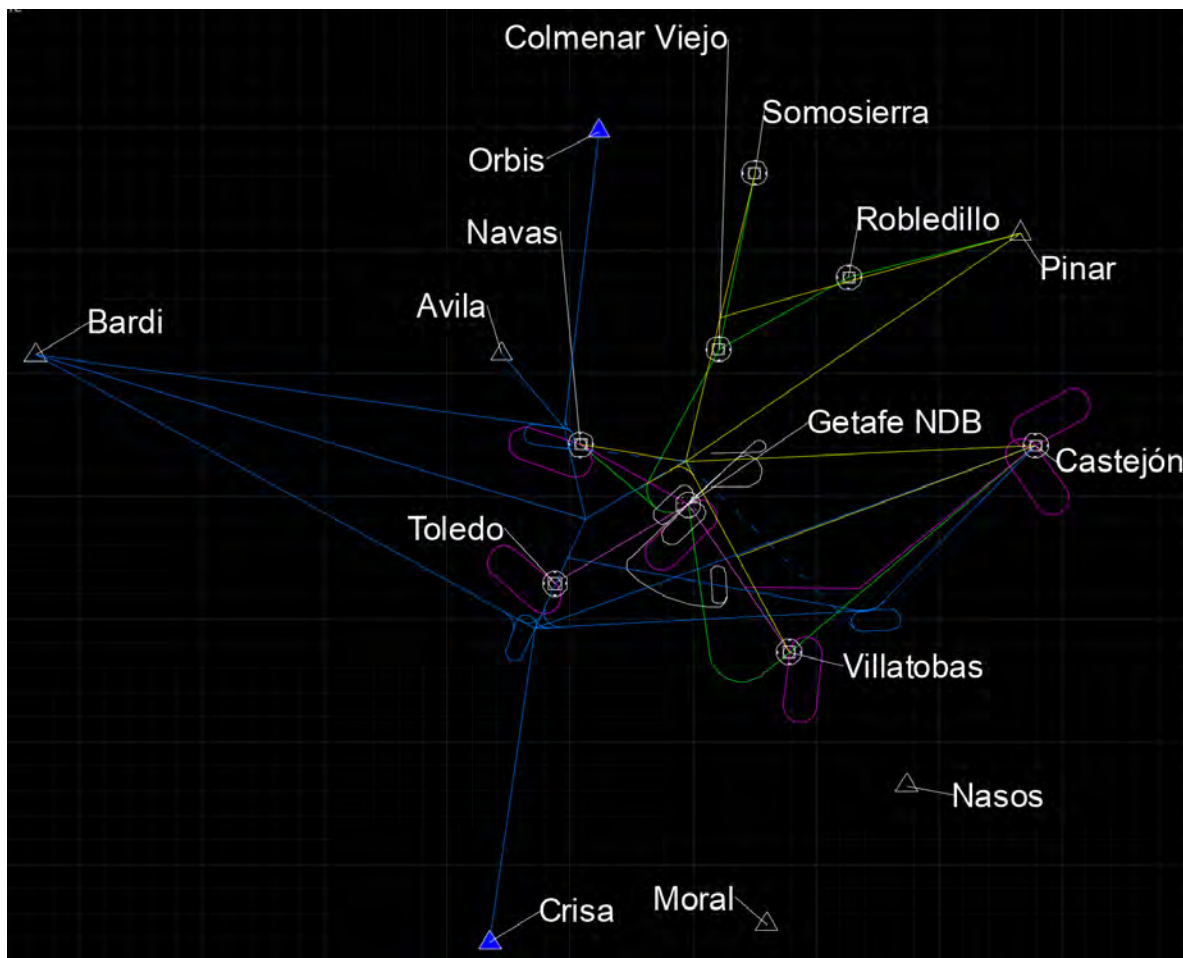


Figura 6.7: Problema caso 5 RNAV

6.8. Conflictividad LEGT Getafe con la pista 24. Caso 6

Bajo esta configuración solo comentar que podría bajarse la salida hacia VILLATOBAS para que no intercediera con el IAC de Getafe si no hay problemas en las otras rutas que lo desaconsejen.

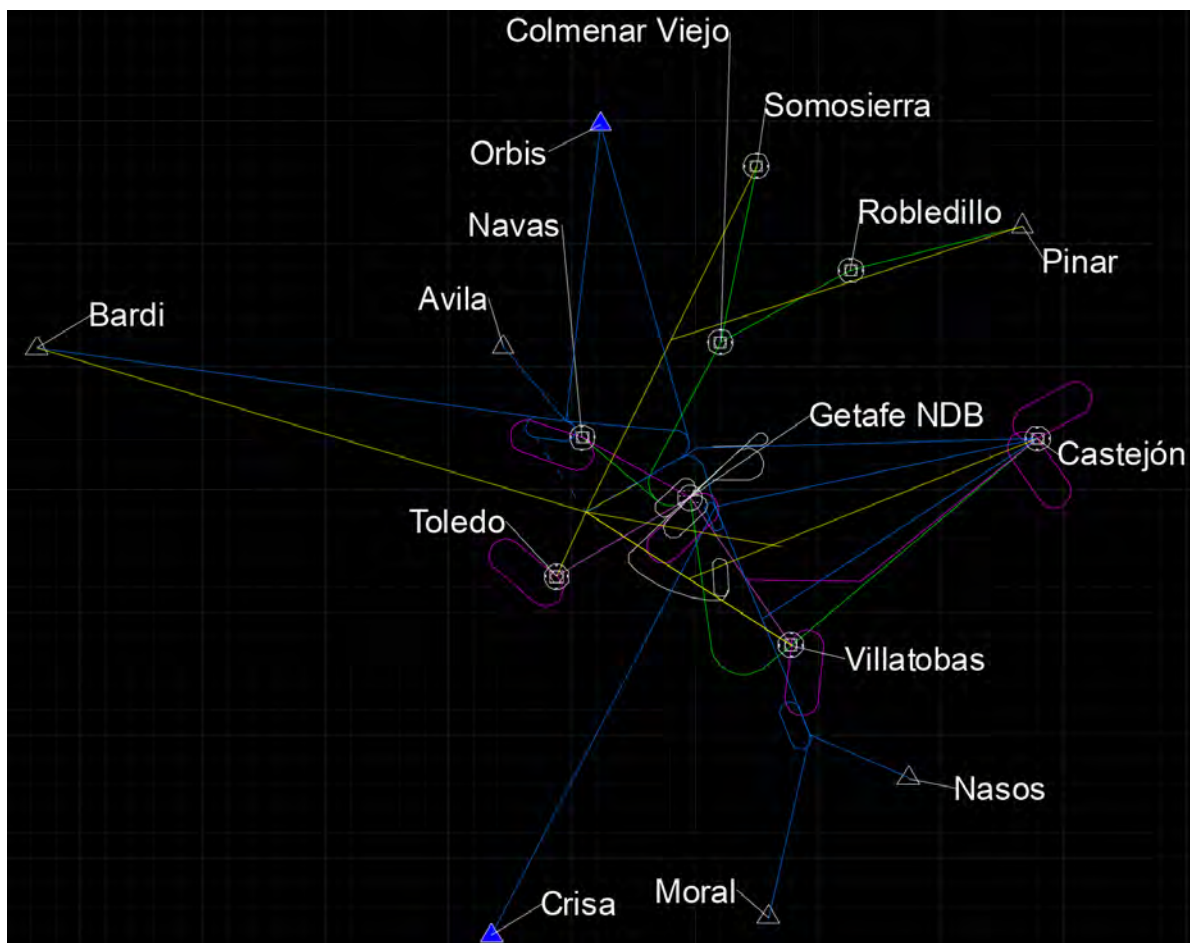


Figura 6.8: Problema caso 6 RNAV

6.9. Conflictividad LETO Torrejón con la pista 06. Caso 7

En este caso la mayoría de las rutas de Torrejón son compartidas con el aeropuerto de Barajas, así las consideraciones que ya se han comentado son válidas. Se pueden destacar solo dos problemas principales, uno se podría producir en la salida directa hacia CASTEJON, pero atendiendo a las consideraciones anteriores este problema también estaría resuelto. El otro problema se produce en la llegadas más directa desde VILLATOBAS que se resuelve con una limitación de altitud máxima de 9000ft en la zona intermedia.

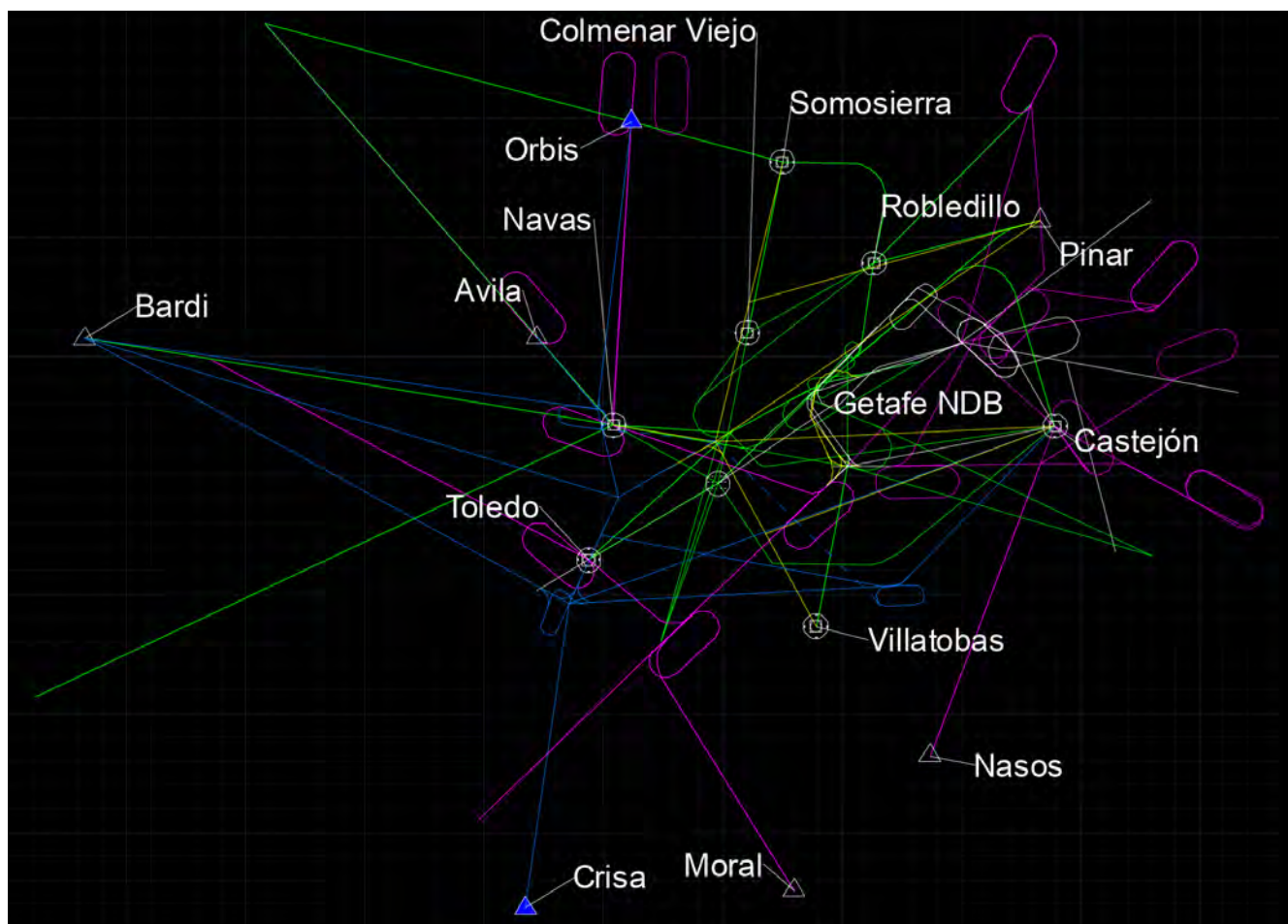


Figura 6.9: Problema caso 7 RNAV

6.10. Conflictividad LETO Torrejón con la pista 24. Caso 8

En esta última configuración podría parecer que la llegada intermedia desde CASTEJON podría generar problemas, no obstante se juega con el factor que el IAC de Torrejón empieza a una altitud muy baja, por este motivo y atendándose a las consideraciones ya hechas en la conflictividad con el aeropuerto de Barajas estos problemas deberían estar completamente resueltos.

La ruta que si genera problemas es la salida que permite ir a CASTEJON sin pasar por la ruta de VILLATOBAS debido a que se entrecorta demasiadas veces con salidas del aeropuerto de Torrejón pero también se corta con llegadas del propio aeropuerto de Madrid Sur por lo que genera una gran problemática.

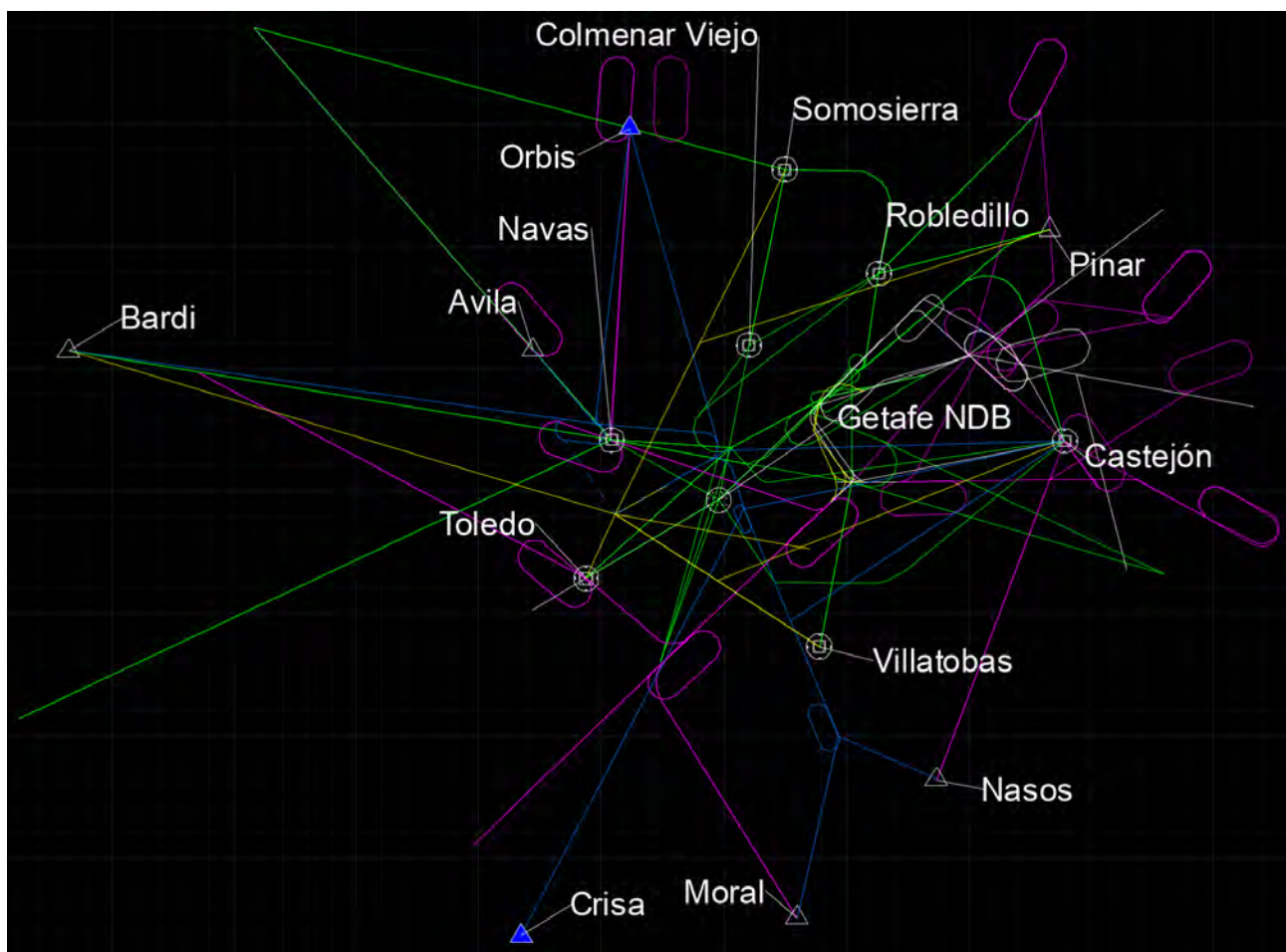


Figura 6.10: Problema caso 8 RNAV

6.11. Descripción de las zonas de espera

Para terminar esta sección de compatibilidad solo resta comentar el diseño de las nuevas zonas de espera. Se ha procurado que las zonas de espera para los procedimientos RNAV estuvieran cercanas a las que ya existían anteriormente (es por eso que por el momento se van a identificar según el VOR o NDB más próximo) pero a su vez también se ha procurado que estuvieran tan alejadas como fuera posible de zonas residenciales.

La posibilidad de poner zonas de espera en cualquier punto es una de las grandes mejoras que proporciona el sistema RNAV ya que no se necesita ninguna radioayuda como referencia para la espera. Las zonas de espera se pueden visualizar en la imagen 6.1 para la pista 06 y en la imagen 6.2 para la pista 24.

6.11.1. Espera Toledo 06

Esta zona de espera se sitúa en la zona del castillo de Montalbán donde abundan los campos de cultivo, la altitud mínima es de 7000ft.

6.11.2. Espera Villatobas 06

La zona se sitúa entre las poblaciones de Tarancón y Villatobas en una zona dominada por campos de cultivo y una altitud mínima de 8000ft.

6.11.3. Espera Navas 06 y 24

Esta espera se sitúa en la zona del embalse de San Juan a una altitud de 8000ft.

6.11.4. Espera Villatobas 24

Está situada entre las poblaciones de Villacañas y Madrilejos, en una zona donde la altitud mínima debe ser de 10000ft debido a la presencia de zonas restringidas. El entorno de la zona de sepera también está dominado por campos de cultivo.

6.11.5. Espera Getafe 24

La situación de esta zona de espera es entre Valdemoro e Illescas en una pequeña extensión de campos de cultivo. Debido al reducido espacio que hay, el circuito de espera tiene unas dimensiones más reducidas y se sitúa a una altitud mínima de 5500ft.

6.12. Resultados finales pista 06

Para la pista 06 se recomienda que la salida directa hacia CASTEJON pase por encima del aeropuerto de Barajas a una altitud mínima de 10000ft y que el punto común de todas las salidas se sitúe a una altitud de 5000ft. La salida/llegada por CASTEJON debería pasar por el punto de intersección más próximo al nuevo aeropuerto a como mínimo 13000ft. Para la llegada más directa desde VILLATOBAS y que cruza otras rutas del aeropuerto se ha fijado una limitación intermedia de altitud de 9000ft máximo.

Una vez realizados los cambios pertinentes, los resultados pueden verse en la imagen 6.11.

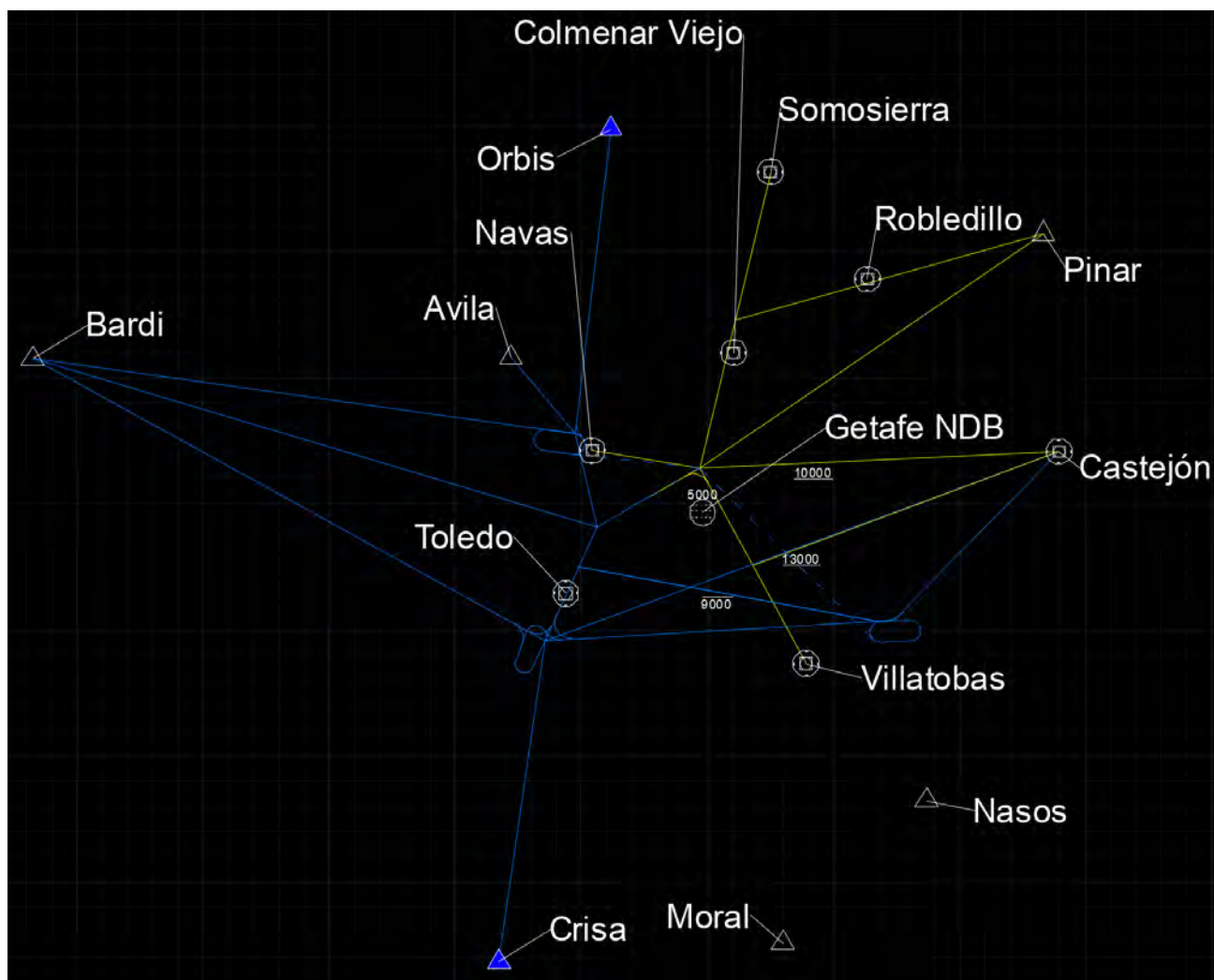


Figura 6.11: Resultados finales pista 06 RNAV

6.13. Resultados finales pista 24

En los procedimientos de esta pista se recomienda bajar ligeramente la salida hacia VILLATOBAS para evitar interferencias y juntar la salida y la llegada inferior hacia CASTEJON, que debería pasar por las intersecciones con las SIDs de Barajas como mínimo a 13000ft. La llegada directa desde CASTEJON solo puede utilizarse en configuración norte de Barajas y la llegada intermedia en configuración sur pasando por el VOR Perales como mínimo a 10000ft.

En relación a la ruta directa desde ORBIS debería pasar por la primera intersección como máximo a 11000ft, posteriormente al análisis de las interferencias se descubrió que esta ruta pasaba por encima zonas de prueba de tiro por lo que se decidió desplazar ligeramente esta ruta para evitar estas zonas peligrosas. Finalmente también se decidió eliminar la salida más directa hacia CASTEJON por ser demasiado conflictiva.

Teniendo en cuenta todos los cambios descritos, el resultado final se pueden encontrar en la figura 6.12

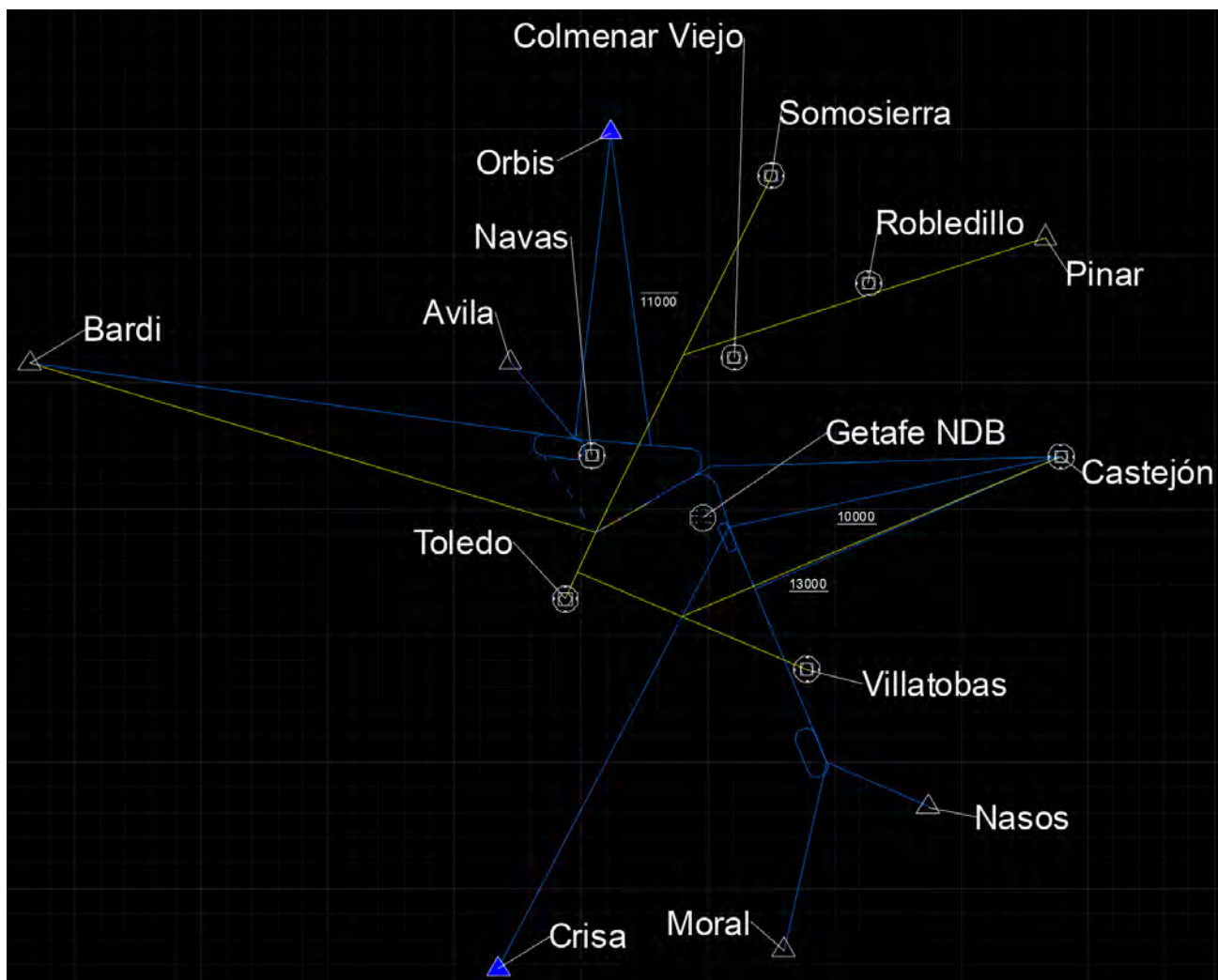


Figura 6.12: Resultados finales pista 24 RNAV

Capítulo 7

Rutas RNAV

7.1. Introducción

En los siguientes apartados se presentan los procedimientos RNAV diseñados para el nuevo aeropuerto y de acuerdo con lo que se ha comentado en el apartado de compatibilidad de espacio aéreo. Las rutas se presentan en dos formatos diferentes. Primeramente se proporciona un formato de "proyecto aeronáutico" donde se pueden ver simplemente las rutas seguidas de su explicación y en los anexos se presentan en formato de carta aeronáutica, es decir, en el formato que se utilizaría para publicar en la AIP.

Con el diseño de las rutas RNAV se intentan cumplir básicamente dos objetivos. Por una parte se intentan crear rutas que pasen tan alejadas como sea posible de zonas habitadas, ya que el problema de la coexistencia de zonas aéreas y zonas residenciales siempre surge en el momento de la construcción de un nuevo aeropuerto. Por otra parte también se procuran hacer rutas que sean más cortas, de modo que el tiempo se vea reducido y por lo tanto también las molestias, el consumo de combustible y las emisiones.

7.2. Standard Instrument Departures RNAV-SID RNAV

7.2.1. Pista 06

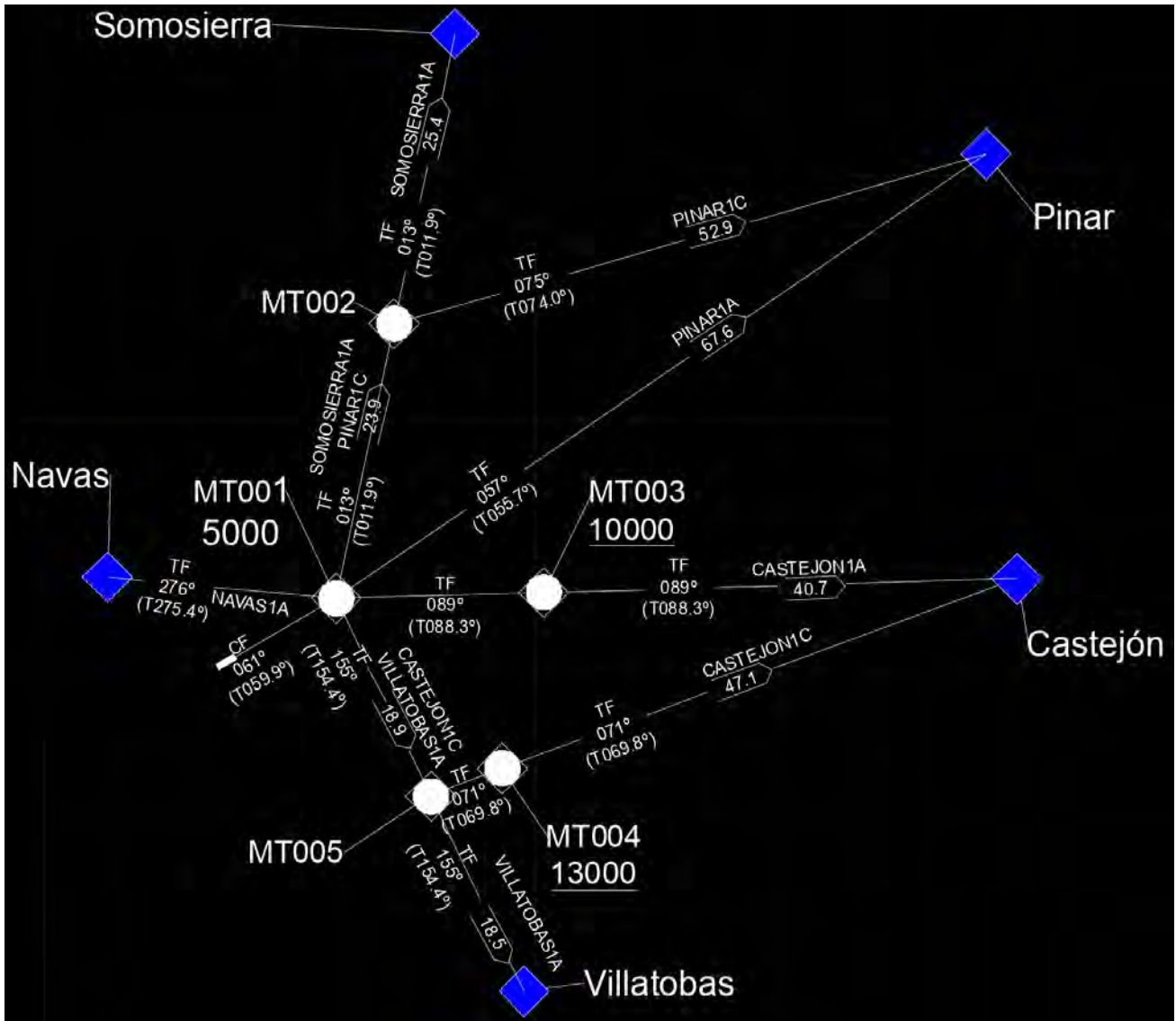


Figura 7.1: SIDs pista 06 RNAV (GNSS)

Como primera aproximación de las rutas de salida de esta pista se puede comentar que existen un total de siete rutas que permiten a las aeronaves llegar hasta los puntos de: NAVAS, SOMOSIERRA, PINAR, CASTEJON y VILLATOBAS. De estas siete salidas, cinco permiten llegar al punto de conexión realizando un solo viraje de modo que se puede llegar a todos los puntos de forma prácticamente directa.

La descripción de las rutas desarrolladas es la siguiente:

- **SALIDA CASTEJON UNO ALPHA (CASTEJON1A)**

La ruta empieza siguiendo el rumbo de pista 061° hasta llegar al punto MT001 a una altitud de 5000 pies. En este punto se realiza un ligero viraje a derechas para seguir el rumbo magnético 089° para cruzar MT003 a mínimo 10000 pies y continuar hacia CASTEJON. La pendiente mínima de ascenso es de 5.0% hasta 5000 pies.

- **SALIDA CASTEJON UNO CHARLIE (CASTEJON1C)**
Esta ruta empieza siguiendo el rumbo de pista hasta llegar al punto MT001 a una altitud de 5000 pies. En este punto se realiza un viraje a derechas para seguir el rumbo magnético 155° hasta MT005, donde se realiza un viraje a izquierdas para seguir rumbo magnético 071°. Atravesar MT004 a mínimo 13000 pies y seguir hasta CASTEJON.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.
- **SALIDA NAVAS 1 ALPHA (NAVAS1A)**
Se empieza siguiendo el rumbo de pista 061° hasta llegar a MT001 a una altitud de 5000 pies para realizar un viraje a izquierdas e interceptar el rumbo magnético 276° hasta NAVAS.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.
- **SALIDA PINAR UNO ALPHA (PINAR1A)**
Esta ruta empieza siguiendo el rumbo de pista 061° hasta cruzar MT001 a una altitud de 5000 pies. Realizar un ligero viraje a izquierdas para interceptar rumbo magnético 057° hasta PINAR.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.
- **SALIDA PINAR UNO CHARLIE (PINAR1C)**
La ruta empieza en rumbo de pista 061° hasta cruzar MT001 a 5000 pies para realizar un primer viraje a izquierdas para rumbo magnético 013° hasta MT002 donde se realiza un giro a derechas par interceptar rumbo magnético 075° hasta PINAR.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.
- **SALIDA SOMOSIERRA UNO ALPHA (SOMOSIERRA1A)**
Se empieza siguiendo el rumbo de pista 061° hasta llegar al punto MT001 con altitud 5000 pies donde se realiza un viraje a izquierdas hacia rumbo magnético 013°. Cruzar MT002 y seguir rumbo magnético 013° hasta SOMOSIERRA.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.
- **SALIDA VILLATOBAS UNO ALPHA (VILLATOBAS1A)**
Esta ruta se empieza siguiendo el rumbo de pista hasta cruzar MT001 a 5000 pies para realizar un viraje a derechas e interceptar rumbo magnético 155°. Cruzar MT005 y seguir hasta VILLATOBAS.
La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 5000 pies.

7.2.2. Pista 24

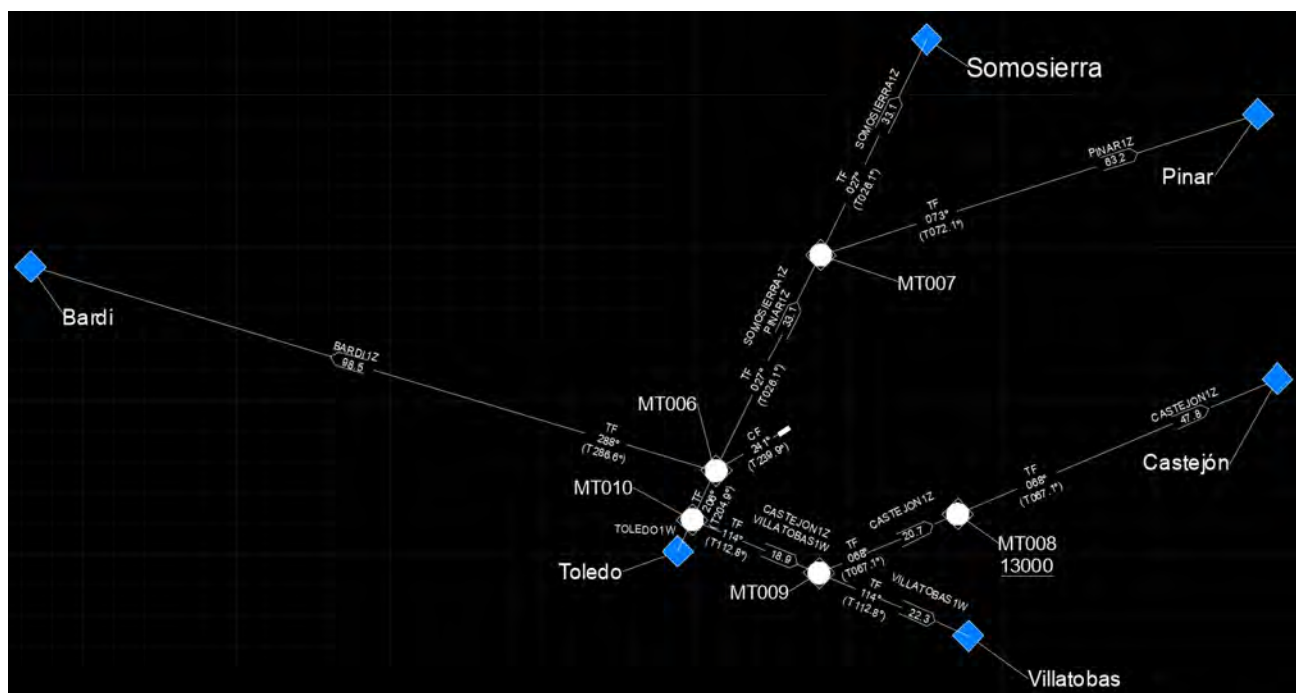


Figura 7.2: SIDs pista 24 RNAV (GNSS)

Para los procedimientos de salida de esta pista se han desarrollado un total de seis rutas que permiten llegar a los puntos de BARDI, SOMOSIERRA, PINAR, CASTEJON, VILLATOBAS y TOLEDO. Debido a la posición de estos puntos con respecto a la pista sólo hay tres rutas que permitan llegar al punto con un solo viraje.

Las seis rutas de salida desarrolladas se describen a continuación:

- **SALIDA BARDI UNO ZULU (BARDI1Z)**

La ruta empieza siguiendo el rumbo de pista 241° hasta MT006 donde se realiza un ligero viraje a derechas para interceptar rumbo magnético 288° hasta BARDI.

La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 24000 pies.

- **SALIDA CASTEJON UNO ZULU (CASTEJON1Z)**

Empezar siguiendo rumbo de pista 241° hasta MT006 para realizar un ligero viraje a izquierdas para rumbo magnético 206° hasta MT010. Realizar un giro a la izquierda para interceptar rumbo magnético 114° hasta MT009 donde se realiza otro viraje a izquierdas para rumbo magnético 068° . Cruzar MT008 a 13000 pies o más y seguir hasta CASTEJON. La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 7000 pies.

- **SALIDA PINAR UNO ZULU (PINAR1Z)**

Esta ruta empieza siguiendo rumbo de pista 241° hasta MT006 donde se realiza un viraje a derechas para rumbo magnético 027° . Seguir hasta MT007 donde se realiza un viraje a derechas hacia rumbo magnético 073° hasta PINAR.

La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 7000 pies.

- **SALIDA SOMOSIERRA UNO ZULU (SOMOSIERRA1Z)**

La ruta empieza siguiendo rumbo de pista 241° hasta MT006 donde se realiza un viraje

a derechas para interceptar rumbo magnético 027°. Cruzar MT007 y seguir hasta SOMO-SIERRA.

La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 7000 pies.

■ **SALIDA TOLEDO UNO WHISKEY (TOLEDO1W)**

Empezar siguiendo rumbo de pista 241° hasta MT006 para realizar un ligero viraje a izquierdas e interceptar rumbo magnético 206°. Cruzar MT010 y seguir hasta TOLEDO.

La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 7000 pies.

■ **SALIDA VILLATOBAS UNO WHISKEY (VILLATOBAS1W)**

Esta ruta empieza siguiendo rumbo de pista 241° hasta MT006 donde se realiza un ligero viraje a izquierdas para rumbo magnético 206°. Seguir hasta MT010 y girar a izquierdas para rumbo magnético 114°. Cruzar MT009 y seguir hasta VILLATOBAS.

La pendiente mínima de ascenso es de 5.0 % hasta 7000 pies.

7.3. Standard Terminal Arrival Procedures RNAV-STAR RNAV

7.3.1. Pista 06

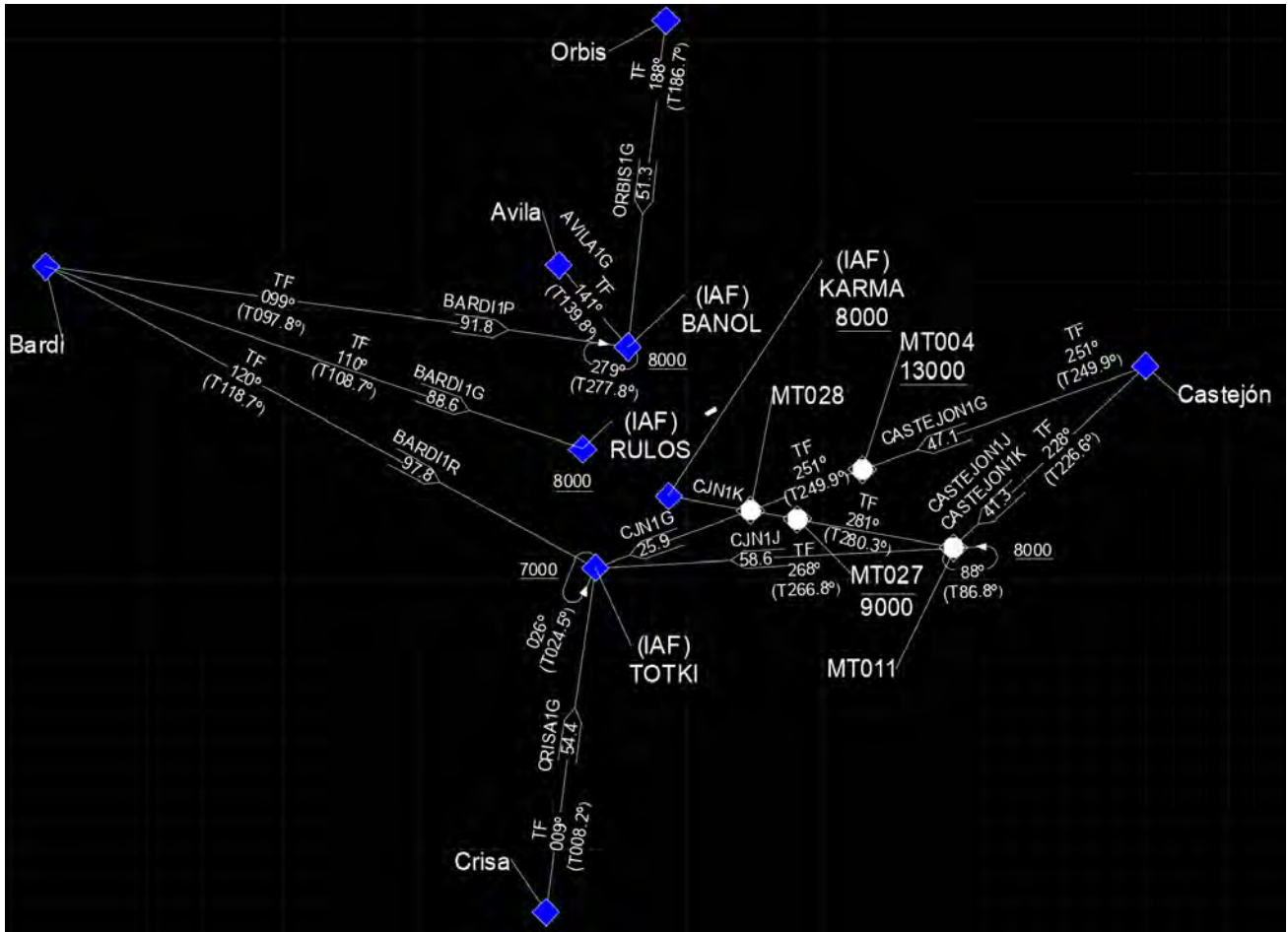


Figura 7.3: STARs pista 06 RNAV (GNSS)

Para esta pista se han realizado un total de nueve rutas que permiten llegar al aeropuerto desde los puntos de BARDI, AVILA, ORBIS, CASTEJON y CRISA. En este caso hay dos variables importantes, por una parte es importante crear rutas directas pero también son importantes las zonas de espera. Así pues si existía alguna ruta directa que no pasara por una zona de espera se decidió realizar otra que sí pasara por una zona de espera. De este modo se pueden adecuar las rutas a seguir a la cantidad de tráfico existente. Finalmente destacar que con el afán de conseguir la máxima fluidez y rapidez estas rutas llevan asociados cuatro procedimientos de aproximación final, esta gran cantidad de procedimientos permite que cada uno se adecue a unas rutas concretas para contribuir a la mejora de la fluidez.

Las nueve rutas que se han desarrollado son las siguientes:

- **LLEGADA AVILA UNO GOLF (AVILA1G)**
La ruta empieza en AVILA siguiendo el rumbo magnético 141° hasta llegar al punto IAF BANOL a 8000 pies o superior y que supone el fin de la ruta.
- **LLEGADA BARDI UNO GOLF (BARDI1G)**

Esta llegada empieza en BARDI desde donde se sigue el rumbo magnético 110° hasta llegar a IAF RULOS que supone el fin de la ruta a 8000 pies o superior.

■ **LLEGADA BARDI UNO PAPA (BARDI1P)**

Esta ruta empieza en BARDI desde donde se intercepta el rumbo magnético 099° hasta llegar al punto IAF BANOL, a 8000 pies o superior, que se corresponde con el fin de la ruta.

■ **LLEGADA BARDI UNO ROMEO (BARDI1R)**

La ruta empieza en el punto de conexión de BARDI para interceptar el rumbo magnético 120° hasta el fin de la ruta que se corresponde con el IAF TOTKI a 7000 pies o superior.

■ **LLEGADA CASTEJON UNO GOLF (CASTEJON1G)**

Esta ruta empieza en CASTEJON donde se intercepta el rumbo magnético 251°. Cruzar MT004 a 13000 pies o superior y a continuación cruzar MT028. Seguir hasta la finalización de la ruta en IAF TOTKI a 7000 pies o superior.

En MT028 se puede realizar un viraje a derecha e interceptar la ruta CASTEJON1K para disminuir la longitud y el tiempo de aproximación.

■ **LLEGADA CASTEJON UNO JULIETT (CASTEJON1J)**

Esta llegada empieza en el punto de conexión CASTEJON según el rumbo magnético 228°. Seguir hasta MT011 a 8000 pies o superior y donde se realiza un giro a la derecha para interceptar rumbo magnético 268° hasta llegar al punto final IAF TOTKI a 7000 pies o superior.

■ **LLEGADA CASTEJON UNO KILO (CASTEJON1K)**

Esta ruta empieza en el punto de CASTEJON según rumbo magnético 228°. Llegar hasta MT011 y realizar un viraje a derechas para interceptar rumbo 281°. Seguir y cruzar MT027 a 9000 pies o inferior. Cruzar MT028, punto desde el que se puede conectar la ruta CASTEJON1G. Continuar según rumbo 281° hasta llegar al punto IAF KARMA a una altitud de 8000 pies o superior y finalizar la ruta.

■ **LLEGADA CRISA UNO GOLF (CRISA1G)**

La ruta empieza en el punto de CRISA desde donde se sigue el rumbo magnético 009° hasta llegar a IAF TOTKI a 7000 pies o superior y que supone el fin de la ruta.

■ **LLEGADA ORBIS UNO GOLF (ORBIS1G)**

Esta ruta empieza en el punto de conexión de ORBIS para seguir según rumbo magnético 188° hasta llegar a IAF BANOL a 8000 pies o superior y finalizar la ruta.

7.3.2. Pista 24

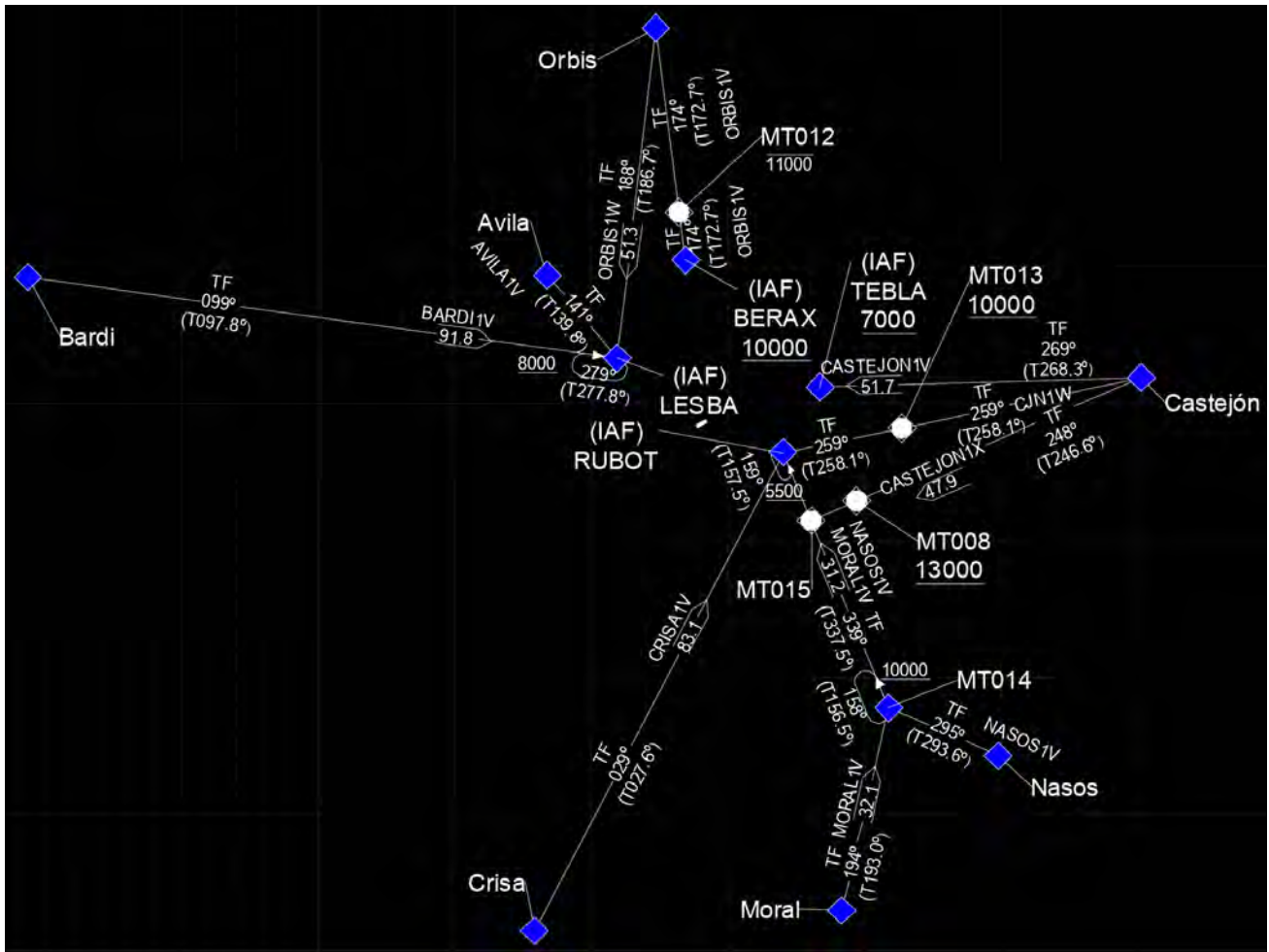


Figura 7.4: STARs pista 24 RNAV (GNSS)

Para el diseño de las rutas de llegada a esta pista se han utilizado los mismos principios que para la pista 06. En este caso también se han desarrollado nueve rutas y cuatro procedimientos de aproximación final que permiten acceder al aeropuerto desde los puntos de BARDI, AVILA, ORBIS, CASTEJON, NASOS, MORAL y CRISA, la descripción de estos procedimientos se encuentra a continuación:

- **LLEGADA AVILA UNO VICTOR (AVILA1V)**
La ruta empieza en el punto de AVILA para seguir rumbo magnético 141° hasta IAF LESBA a 8000 pies o superior y finalizar la ruta.
- **LLEGADA BARDI UNO VICTOR (BARDI1V)**
Esta llegada empieza en BARDI desde donde se intercepta el rumbo magnético 099° hasta finalizar el recorrido en IAF LESBA a 8000 pies o superior.
- **LLEGADA CASTEJON UNO VICTOR (CASTEJON1V)**
Esta ruta empieza en el punto de conexión de CASTEJON donde se intercepta el rumbo magnético 269° hasta llegar a IAF TEBLA a 7000 pies o superior y que supone el fin de la ruta.
Esta ruta está sujeta a la actividad de LEMD.
- **LLEGADA CASTEJON UNO WHISKEY (CASTEJON1W)**
Esta llegada empieza en el punto de CASTEJON para coger rumbo magnético 259°. Cruzar

y seguir MT013 a 10000 pies o superior y finalizar en IAF RUBOT a 5500 pies o superior. Esta ruta está sujeta a la actividad de LEMD.

■ **LLEGADA CASTEJON UNO XRAY (CASTEJON1X)**

La ruta empieza en CASTEJON para coger el rumbo magnético 248°. Cruzar MT008 a 13000 pies o superior y seguir hasta MT015. Realizar un viraje a la derecha e interceptar rumbo magnético 339° hasta IAF RUBOT a 5500 pies o superior y finalizar la ruta.

■ **LLEGADA CRISA UNO VICTOR (CRISA1V)**

Esta ruta empieza en CRISA donde se intercepta el rumbo magnético 029° hasta llegar al punto final IAF RUBOT a 5500 pies o superior.

■ **LLEGADA MORAL UNO VICTOR (MORAL1V)**

Esta llegada empieza en MORAL donde se intercepta el rumbo magnético 194° hasta MT014 a 10000 pies o superior. Realizar un giro a la izquierda y seguir según rumbo 339°. Cruzar MT015 y finalizar la ruta en IAF RUBOT a 5500 pies o superior.

■ **LLEGADA NASOS UNO VICTOR (NASOS1V)**

La ruta empieza en el punto de conexión de NASOS según rumbo magnético 295° hasta MT014. Llegar a MT014 a 10000 pies o superior y realizar un viraje a derechas para rumbo magnético 339°. Cruzar MT015 y seguir hasta IAF RUBOT a 5500 pies o superior y finalizar la ruta.

■ **LLEGADA ORBIS UNO VICTOR (ORBIS1V)**

Esta llegada empieza en el punto de ORBIS desde donde se coge el rumbo magnético 174°. Cruzar MT012 a 11000 pies o inferior y seguir hasta finalizar en IAF BERAX a 10000 pies o superior.

■ **LLEGADA ORBIS UNO WHISKEY (BARDI1W)**

La ruta empieza en el punto de conexión de ORBIS para continuar según rumbo magnético 188° hasta IAF LESBA que supone el fin de la ruta a 8000 pies o superior.

7.4. Instrumental Approach Chart RNAV-IAC RNAV

Para el diseño de las rutas de aproximación final uno de los parámetros que se ha tenido en cuenta es que el descenso pueda realizarse con un ángulo de 3.0° como mínimo. Por otra parte se puede comprobar que hay dos puntos que son coincidentes en coordenadas pero no en designación, esto es porque uno hace referencia a un procedimiento para la pista 06 y el otro para la pista 24 y por lo tanto si tuvieran el mismo nombre se podría crear confusión.

Como ya se ha comentado anteriormente se han desarrollado un total de ocho procedimientos de aproximación final, cuatro para la pista 06 y cuatro para la pista 24 que se adaptan a las diferentes STARs del aeropuerto. Aunque en un principio todas estas rutas son diferentes se unen en el FAP (que se sitúa a 8NM de la pista 06 y a 7NM de la pista 24), de este modo la parte final es compartida entre todas las aproximaciones y se facilita que los aviones puedan colocarse uno detrás de otro para facilitar el control de todo el proceso de aterrizaje.

También se ha tenido en cuenta que actualmente la altura de decisión para los sistemas RNAV (GNSS) es de 200 pies, equivalente al sistema ILS CAT I.

7.4.1. Pista 06

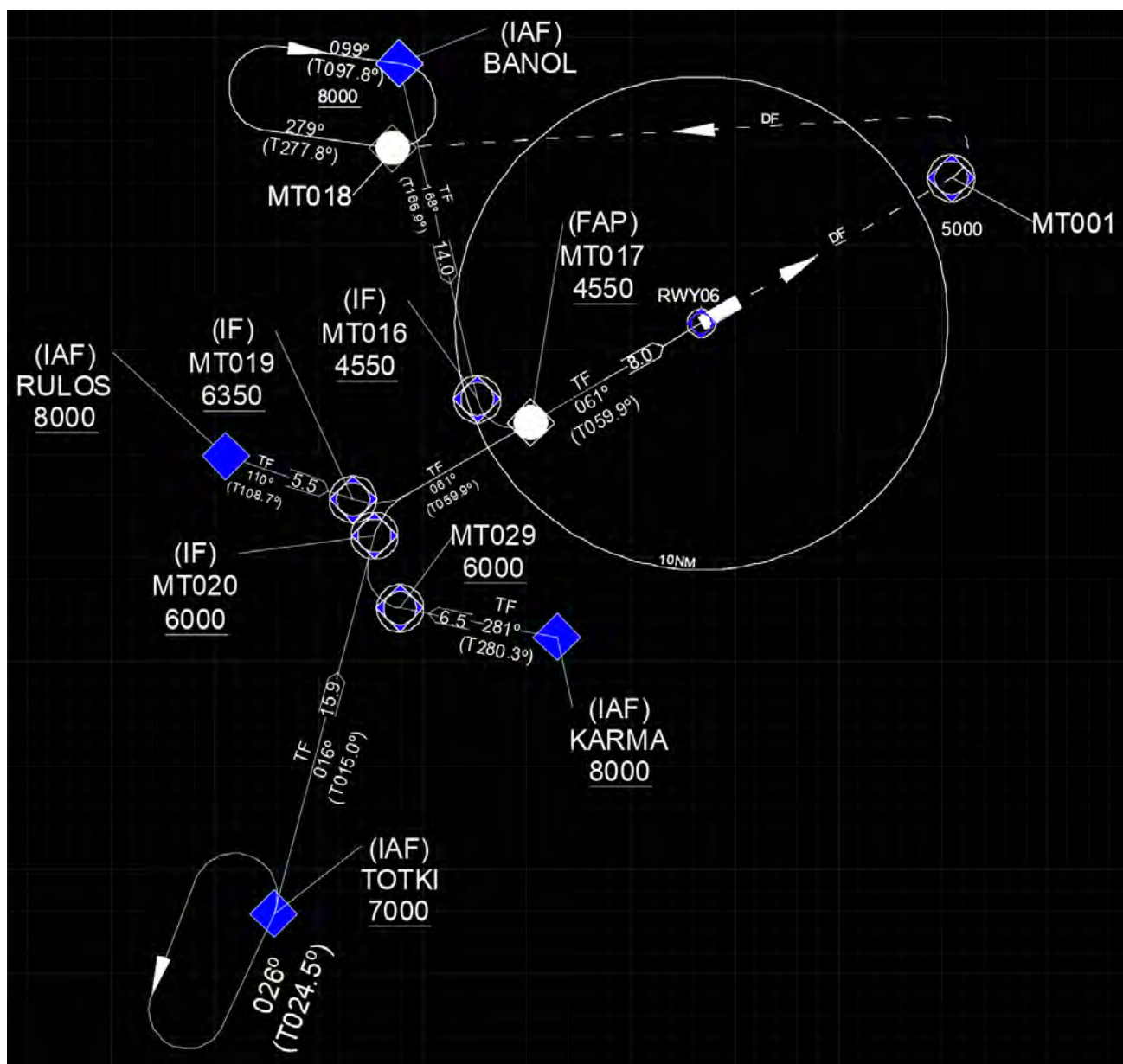


Figura 7.5: IAC pista 06 RNAV (GNSS)

A continuación se encuentra la descripción de los cuatro procedimientos de aproximación final para la pista 06 que se realizan desde BANOL, KARMA, RULOS y TOTKI.

■ **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF BANOL**

Esta aproximación final a la pista empieza a una distancia del THR RWY06 de 16.2NM en el punto BANOL y según rumbo magnético magnético 168° a una altitud de 8000 pies o superior. Seguir este rumbo magnético durante 14.0NM hasta MT016 (IF) donde se realiza un viraje a izquierdas de 2.8NM a una altitud mínima de 4550 pies hasta llegar a MT017 (FAP). Desde este punto se sigue rumbo magnético 061° durante 8.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY06. Para aproximación frustrada seguir rumbo magnético 061° hasta cruzar MT001 a 5000 pies. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT018 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera. La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 25NM.

- **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF KARMA**

El procedimiento empieza en el punto KARMA, a una distancia de 14NM del THR RWY06 y una altitud de 8000 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo magnético 281° durante 6.5NM para cruzar MT029 a 6000 pies o superior. Realizar un giro a derechas hasta cruzar MT020 (IF) a una altitud de 6000 pies o superior. Continuar girando a la derecha hasta interceptar rumbo magnético 061°. Seguir rumbo 061° y cruzar MT017 (FAP) a una altitud de 4550 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo 061° durante 8.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY06. Para aproximación frustrada seguir rumbo magnético 061° hasta cruzar MT001 a 5000 pies. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT018 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera. La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 26NM.

- **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF RULOS**

Esta aproximación empieza en el punto de RULOS, situado a una distancia de 20NM del THR RW06 y a una altitud de 8000 pies o superior. Desde este punto y durante 5.5NM se sigue rumbo magnético 110° hasta MT019 (IF) a una altitud de 6350 pies o superior. En este punto se realiza un giro a izquierdas de 2.3NM para interceptar rumbo 061° y seguir durante 5.8NM hasta FAP MT017 a una altitud de 4550 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo 061° durante 8.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY06. Para aproximación frustrada seguir rumbo magnético 061° hasta cruzar MT001 a 5000 pies. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT018 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera. La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 22NM.

- **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF TOTKI**

El procedimiento empieza en TOTKI a una altitud de 7000 pies o superior y una distancia de 29.6NM de THR RW06. Desde este punto se sigue rumbo magnético 016° durante 15.9NM hasta MT020 a una altitud de 6000 pies o superior. En este punto realizar un giro a derechas de 2.2NM para interceptar rumbo 061°. Seguir durante 5.8NM hasta cruzar MT017 a 4550 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo magnético 061° durante 8.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY06. Para aproximación frustrada seguir rumbo 061° hasta cruzar MT001 a 5000 pies. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT018 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera. La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 32NM.

7.4.2. Pista 24

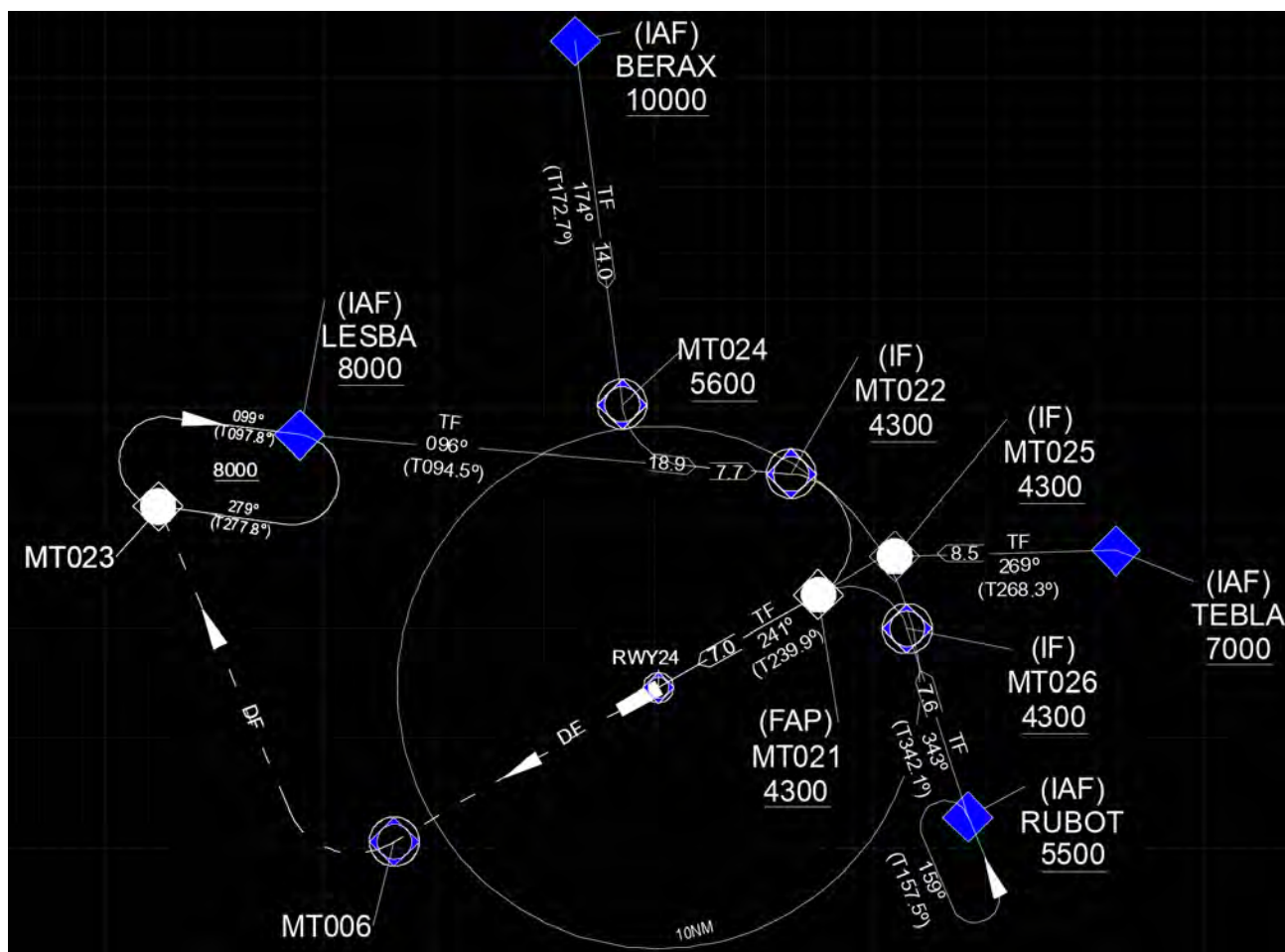


Figura 7.6: IAC pista 24 RNAV (GNSS)

La descripción de los procedimientos de aproximación final desde los puntos de BERAX, LESBA, RUBOT y TEBLA se encuentra a continuación.

■ **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF BERAX**

Esta aproximación empieza en el punto de BERAX situado a una distancia de 25.0NM de THR RWY24 y una altitud de 10000 pies o superior. Desde este punto seguir rumbo magnético 174° durante 14.0NM hasta llegar a MT024 a una altitud de 5600 pies o superior. En este punto realizar un giro a izquierdas de 3.7NM para interceptar rumbo magnético 096° durante 4NM. Cruzar MT022 (IF) a una altitud de 4300 pies o superior. En este punto se realiza un giro a derechas durante 6.3NM hasta cruzar MT021 (FAP) a una altitud de 4300 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo 241° durante 7.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY24. Para aproximación frustrada seguir rumbo magnético 241° hasta cruzar MT006. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT023 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera. La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 35NM.

■ **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF LESBA**

El procedimiento empieza en LESBA a una altitud de 8000 pies o superior y una distancia de 16.8NM a THR RWY24. Desde este punto seguir rumbo magnético 096° durante 18.9NM para llegar a MT022 (IF) a una altitud de 4300 pies o superior. En este punto se realiza un giro a derechas durante 6.3NM hasta cruzar MT021 (FAP) a una altitud de 4300 pies

o superior. Desde este punto se sigue rumbo 241° durante 7.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY24. Para aproximación frustrada seguir rumbo magnético 241° hasta cruzar MT006. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT023 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera.

La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 32NM.

■ **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF RUBOT**

La aproximación empieza en RUBOT a una distancia de 12.9NM de THR RW24 y una altitud de 5500 pies o superior. Desde este punto interceptar rumbo magnético 343° durante 7.6NM hasta llegar a MT026 a una altitud de 4300 pies o superior. En este punto realizar un giro a izquierdas de 4.2NM hasta llegar a MT021 (FAP) a una altitud de 4300 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo magnético 241° durante 7.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY24. Para aproximación frustrada seguir rumbo 241° hasta cruzar MT006. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT023 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera.

La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 19NM.

■ **Aproximación RNAV (GNSS) desde IAF TEBLA**

El procedimiento empieza a una altitud de 7000 pies o superior y a una distancia de 18.3NM de THR RWY24 en el punto de TEBLA. Desde este punto se sigue rumbo magnético 269° durante 8.5 NM hasta llegar a MT025 (IF) a una altitud de 4300 pies o superior. En este punto se realiza un giro a derechas de 0.8NM para seguir en rumbo 241° durante 2.5NM hasta cruzar MT021 (FAP) a una altitud de 4300 pies o superior. Desde este punto se sigue rumbo magnético 241° durante 7.0NM con ángulo de descenso 3.0° para llegar a THR RWY24. Para aproximación frustrada seguir rumbo 241° hasta cruzar MT006. Realizar un viraje a izquierdas y directo hacia MT023 a 8000 pies o superior para incorporarse en circuito de espera.

La longitud total de la aproximación es de aproximadamente 19NM.

Capítulo 8

Resultados

8.1. Resumen económico

En el documento del presupuesto se encuentra desglosado el coste del desarrollo del proyecto. Como primera aproximación se puede comentar que el coste de los honorarios profesionales se sitúa alrededor de los 18000€ y el coste del software son aproximadamente 2000€. Así el coste total del proyecto es de unos 20000€.

8.2. Implicaciones ambientales

Uno de los motivos principales para desarrollar unos procedimientos RNAV para el aeropuerto de Madrid Sur era la posibilidad de crear rutas directas y zonas de espera en zonas no pobladas además de ser una de las últimas innovaciones en lo que respeta a procedimientos aéreos.

Si se evalúan las rutas directas creadas se puede comprobar que el objetivo de la reducción de distancias está más que cumplido. Los dos ejemplos más claros se pueden encontrar en las SIDs para la pista 06 y las STARs para la pista 24. Para la pista 06 la ruta de salida CASTEJON1A (GNSS) tiene una longitud total de 68.5NM y la ruta CASTEJON1N (Convencional) tiene una longitud de 94.4NM. Así pues se produce una reducción próxima al 30 %, que se corresponden con unos 50km. En el caso de la pista 24 la llegada CASTEJON1N (GNSS) y su aproximación final desde TEBLA (GNSS) tienen una longitud total de 70.5NM, mientras que la llegada convencional CASTEJON1T y su aproximación final desde GETAFE tienen una longitud total de 106.4NM, lo que supone una reducción del 34 % o de 70km.

Aunque puede parecer que estas reducciones de 50km y 70km son pequeñas, es importante poner estas cifras en el contexto de consumo de un avión. Un avión pequeño (del tipo A320, B737) suele tener un consumo de 3kg/km lo que supone un ahorro de 150kg y 210kg respectivamente. Si este vuelo se realizara cinco veces por semana durante todo el año (una operativa muy habitual en todas las aerolíneas) se podrían ahorrar hasta 39000kg y 54600kg de combustible (aproximadamente 50000 litros y 70000 litros de combustible) que resulta ser alrededor del doble de la capacidad de combustible de un A320. El mismo procedimiento se podría aplicar para aviones de tipo mediano (como A330 y B787) con un consumo de 5.5kg/km y aviones más grandes (como A350 y B777) con un consumo de 8kg/km (los datos de consumo de combustible han sido obtenidos de [15]). Así, si estos resultados se aplicaran a todos los vuelos que se pueden producir a lo largo del año en el aeropuerto, se podría ver que el ahorro en combustible y por lo tanto la reducción las emisiones de CO_2 es muy notable.

Si bien es cierto que se han puesto los dos ejemplos más significativos, hay muchas otras rutas que también se ven reducidas en los procedimientos RNAV. Con esto se consigue que las nuevas rutas directas supongan en global una reducción de 113NM (aproximadamente un 16 %) con respecto a sus rutas convencionales equivalentes.

El otro punto muy importante para el desarrollo de las rutas RNAV es la situación de las zonas de espera. En los procedimientos convencionales estas zonas se sitúan alrededor de una radioayuda que debe ser accesible por si tiene que ser reparada y por lo tanto no suele estar alejada de zonas pobladas, pudiendo generar ciertas molestias. Por ese motivo las zonas de espera han sido claves en el desarrollo de los procedimientos RNAV. En una primera aproximación se buscaron zonas que estuvieran próximas a las zonas de espera de los procedimientos convencionales pero que a su vez estuvieran alejadas de zonas habitadas. Esto a permitido que al final haya una zona de espera que está situada en un embalse, otra zona está situada en una zona montañosa y el resto se han situado en zonas de campos de cultivo, minimizando el efecto que pueden tener estas zonas sobre la población.

8.3. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se presenta el desarrollo de los procedimientos de llegada, aproximación y salida del nuevo aeropuerto de Madrid Sur, tanto los procedimientos convencionales, que se basan en radioayudas, como también los más innovadores procedimientos RNAV basados en los sistemas GNSS. Al final se han desarrollado un total de once rutas de salida convencionales y trece de tipo RNAV (de las cuales ocho son directas), también se han desarrollado diez rutas de llegada convencionales ligadas a cuatro procedimientos IAC y dieciocho procedimientos de llegada RNAV (de los cuales siete son directos) y llevan asociados hasta ocho procedimientos de aproximación final. El desarrollo de procedimientos RNAV a llevado a una reducción de las distancias de vuelo y por consiguiente a una reducción tanto del consumo de combustible como de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Una vez han sido desarrollados y se ha comprobado la compatibilidad tanto de los procedimientos convencionales como de los procedimientos RNAV con el espacio aéreo de los aeropuertos más próximos, se han descrito y en los anexos se prestan las cartas con sus descriptores como se podrían encontrar en la AIP de España.

El objetivo de este trabajo no ha sido solamente de desarrollar los procedimientos para el nuevo aeropuerto sino que también se pretendía que desarrollara una función educativa y explicativa. Es por este motivo que antes de empezar a desarrollar los procedimientos se presentan unos apartados introductorios que permiten situar al lector en el contexto de la navegación aérea, de este modo se consigue que el trabajo pueda ser utilizado como referencia para introducirse en el mundo de la navegación y haciéndolo accesible a cualquier persona que no esté familiarizada con el mundo aeronáutico.

El primer paso que se debería hacer a continuación para poder completar el trabajo sería incluir las informaciones de obstáculos cercanos a partir de una visita al aeropuerto, aunque no podría completarse hasta que el aeropuerto esté en una fase muy avanzada de construcción. Asimismo también sería importante la redacción de las cartas visuales y de algún otro proceso de aproximación final si el promotor del aeropuerto y las autoridades lo consideraran oportuno.

Una vez terminado el proceso de redacción del proyecto de rutas sería importante que estas rutas fueran validadas por ENAIRE (la autoridad competente en navegación aérea en España) para poder utilizarlas cuando el aeropuerto entre en funcionamiento. Sin embargo, los documentos que se proporcionan en este proyecto no son suficientes para proporcionar toda la información relativa al aeropuerto y por lo tanto también se deben desarrollar y proporcionar los planos del aeródromo, plano de obstáculos... cuyo alcance queda fuera de los objetivos de este trabajo.

8.4. Planificación y programación

Como se comenta tanto en el apartado de recomendaciones como en el documento del presupuesto, sería necesario continuar la redacción del proyecto durante unas 150h más. Lo primero que debería realizarse sería el desarrollo de procedimientos alternativos, como los visuales o otros procedimientos de aproximación. Este proceso no debería ser muy largo y solo debería llevar unas 40h porque son bastante sencillos.

Una vez los procedimientos alternativos estuvieran desarrollados se debería esperar hasta que el aeropuerto esté en una fase muy avanzada de la construcción. Cuando se llegase a este punto sería necesaria la visita a la construcción para anotar todos los posibles obstáculos que pudiera haber. De cada obstáculo se debería anotar tanto su posición como su altura para después poder desarrollar tanto el plano de obstáculos del aeródromo como indicar su presencia en las cartas que ya se han desarrollado. Este proceso podría ser muy lento y llevar mucho tiempo, con lo que sería fácil que se fuera hasta las 70h.

Finalmente solo faltaría realizar los planos y documentos del aeródromo. Una vez todos estos documentos estuvieran finalizados se podrían hacer todas las gestiones pertinentes para que fueran validados por ENAIRE y realizar los cambios que fueran oportunos. Todo este proceso podría alargarse durante 40h.

Bibliografía

- [1] ENAIRE. *AIP España*. [en línea]. Disponible en: <https://ais.enaire.es/aip/aipcd.aspx>. 2019. (Visitado 25-02-2019).
- [2] Eurocontrol. *European AIS Database*. [en línea]. Disponible en: www.ead.eurocontrol.int. 2019. (Visitado 02-04-2019).
- [3] Eurocontrol, OACI y FSF. *SKYbrary Aviation Safety*. [en línea]. Disponible en: https://www.skybrary.aero/index.php/Main_Page#operational-issues. 2019. (Visitado 25-02-2019).
- [4] Eurocontrol y col. *A guide to implementing Continuous Descent*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-cd-brochure-web.pdf>. 2011.
- [5] GSA. *AIRPORTS AVAILABILITY | EGNOS User Support*. [en línea]. Disponible en: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/services/safety-life-service/real-time-performance/airports-availability. 2019. (Visitado 02-04-2019).
- [6] GSA. *European GNSS Agency*. [en línea]. Disponible en: <https://www.gsa.europa.eu/>. 2019. (Visitado 08-04-2019).
- [7] Juan Francisco Martínez Vadillo. “Navegación de Área (RNAV) I-IX”. En: (2010). [en línea]. Disponible en: <http://admin.usca.es>, Números del 64 al 72.
- [8] OACI. *Anexo 11*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: <http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-11.pdf>. 2016.
- [9] OACI. *Anexo 15*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: <http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-15.pdf>. 2016.
- [10] OACI. *Anexo 4*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: <http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-4.pdf>. 2009.
- [11] OACI. *RNAV Training for ATC*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: https://www.icao.int/safety/pbn/Documentation/States/Japan_RNAVTrainingforATC.pdf. 2007.
- [12] Protección Civil. *Abreviaturas OACI*. Inf. téc. [en línea]. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum17/vdm02515ar/abreviaturasycodigosOACI.pdf>. 2007.
- [13] USCA. *Historia del Control Aéreo*. [en línea]. Disponible en: <https://www.usca.es/profesion/historia-del-control-aereo/>. (Visitado 06-06-2019).
- [14] J F M Vadillo y R B Valiente. *Navegación: sistemas y equipos, maniobras y procedimientos*. [en línea]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=qIgwPQAACAAJ>. J.F. Martínez, 2003, pág. 930. ISBN: 9788460476962.
- [15] Wikimedia Foundation. *Fuel economy in aircraft*. [en línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft. 2019. (Visitado 05-06-2019).

