



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



---

# Trabajo Fin de Grado

---

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Grado en Ingeniería Aeroespacial

---

Análisis de la cartografía y rutas de vuelo en  
función de los diferentes sistemas de navegación  
(convencional vs. GNSS) y generación de  
cartografía aeronáutica con ArcGIS

---



Autora: Valeria Palade Cherkásova  
Septiembre 2016

Tutor: Israel Quintanilla García  
Co-tutora: Áurea Cecilia Gallego Salguero



# Contenido

Índice de Ilustraciones.....	6
Acrónimos.....	9
1. Introducción y objetivos .....	13
1.1. Resumen.....	14
2. Desarrollo .....	15
2.1. Espacio aéreo. Gestión y Control.....	15
2.1.1. Regiones de Navegación Aérea.....	15
2.1.2. Fases de control de vuelo .....	18
2.2. Cartografía aeronáutica.....	20
2.2.1. Anexo 4 de la OACI. Cartas aeronáuticas.....	22
2.2.2. Elementos de las cartas aeronáuticas.....	27
2.2.2.1. Simbología en cartas aeronáuticas.....	33
2.2.3. Fases del vuelo y sus cartas aeronáuticas correspondientes.....	37
2.2.3.1. Cartas OACI obligatorias.....	40
2.2.3.2. Cartas OACI condicionales .....	42
2.2.3.3. Cartas OACI opcionales .....	44
2.2.3.4. Otra cartografía de utilidad .....	45
2.3. Sistemas de Navegación Aérea .....	45
2.3.1. Radionavegación de Corto Alcance .....	45
2.3.1.1. ADF/NDB.....	45
2.3.1.2. VOR.....	46
2.3.1.3. VOR/DME .....	47
2.3.1.4. TACAN – VOR/TAC .....	48
2.3.1.5. DME .....	48
2.3.1.6. ILS .....	49
2.3.1.7. MLS.....	52
2.3.1.8. LAAS/GBAS .....	53

2.3.2.	PBN.....	53
2.3.3.	SESAR.....	55
2.3.4.	NextGEN.....	56
2.3.5.	GNSS.....	57
2.3.5.1.	Sistemas de aumentación. SBAS.....	58
2.3.5.1.1.	EGNOS.....	60
2.3.5.1.2.	WAAS.....	61
2.3.5.1.3.	MSAS.....	62
2.3.5.1.4.	GAGAN.....	62
2.3.5.2.	GPS.....	63
2.3.5.3.	Galileo.....	63
2.3.5.4.	GLONASS.....	64
2.3.5.5.	Beidou.....	64
2.3.5.6.	QZSS y IRNSS / NAVIC.....	65
2.3.6.	Aeropuertos con SBAS en Europa.....	65
2.3.7.	Comparación cartas convencionales vs. GNSS.....	70
2.3.7.1.	Aeropuerto de Düsseldorf, Alemania.....	71
2.3.7.2.	Aeropuerto de Antwerpen, Bélgica.....	73
2.3.7.3.	Aeropuerto de Ciampino, Roma, Italia.....	75
2.3.7.4.	Aeropuerto de Gardermoen, Noruega.....	77
2.3.7.5.	Aeropuerto de París Le Bourget, Francia.....	79
2.3.7.6.	Aeropuerto de Bristol, Reino Unido.....	81
2.3.7.7.	Aeropuerto de Santander, España. ENAIRE.....	84
2.3.7.7.1.	ENAIRE.....	88
2.3.8.	Comparación rutas de vuelo convencional vs. GNSS.....	89
2.4.	Generación de cartografía aeronáutica.....	91
2.4.1.	Programa a utilizar: ArcGIS.....	95
2.4.2.	Metodología.....	96
2.4.3.	Resultado obtenido.....	101
3.	Conclusiones.....	102

Anexo 1 .....	105
Plano de aeródromo para movimientos en tierra.....	105
Aeropuerto de Teruel.....	105
Anexo 2 – Presupuesto .....	107
I. Introducción .....	107
II. Estado de Mediciones .....	108
III. Desglose de costes unitarios.....	109
III.1. Coste de material y software unitario .....	109
III.2. Coste de material y software unitario .....	110
III.3. Coste de oficina unitario .....	110
IV. Desglose de costes totales .....	111
IV.1. Coste de material y software total .....	111
IV.2. Coste de personal cualificado total.....	111
IV.3. Coste de oficina total.....	111
V. Resumen del presupuesto total .....	111
Anexo 3 – Pliego de Condiciones.....	113
I. Condiciones generales.....	113
I.1. General.....	113
I.2. Real Decreto 488/1997 de 14 de abril.....	114
II. Condiciones de especificaciones técnicas .....	119
II.1. Especificaciones de materiales y equipos .....	119

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Regiones de Navegación Aérea.....	16
Ilustración 2: FIR en España.....	16
Ilustración 3: Zonas de Control.....	17
Ilustración 4: Anexo 4. Página 1 del índice.....	22
Ilustración 5: Anexo 4. Página 2 del índice.....	23
Ilustración 6: Anexo 4. Página 3 del índice.....	24
Ilustración 7: Límites verticales.....	29
Ilustración 8: Cabecera de una carta aeronáutica.....	29
Ilustración 9: Pie de página de una carta aeronáutica.....	30
Ilustración 10: Cabecera de una ficha técnica de aeródromo.....	30
Ilustración 11: Pie de página de una ficha técnica de aeródromo.....	30
Ilustración 12: Cabecera en cartas únicas.....	31
Ilustración 13: Pie de página en cartas únicas.....	31
Ilustración 14: Cabecera en cartas con texto.....	31
Ilustración 15: Pie de página en cartas con texto.....	32
Ilustración 16: Pie de página del anverso o reverso de una carta.....	32
Ilustración 17: Simbología para aeródromos.....	33
Ilustración 18: Simbología para planos de aeródromo.....	33
Ilustración 19: Simbología para planos de obstáculos de aeródromo.....	34
Ilustración 20: Simbología para radioayudas para la navegación.....	34
Ilustración 21: Simbología para zonas.....	34
Ilustración 22: Simbología para servicios de tránsito aéreo.....	35
Ilustración 23: Simbología para notificación y funcionalidad "de paso / sobrevuelo" .....	35
Ilustración 24: Simbología para notificación y funcionalidad "de paso / sobrevuelo" .....	36
Ilustración 25: Simbología para obstáculos.....	36
Ilustración 26: Simbología para misceláneos.....	37
Ilustración 27: Cartas aeronáuticas para cada fase de vuelo.....	38
Ilustración 28: Fases de aproximación.....	39
Ilustración 29: Respuesta de los ADF en diferentes posiciones respecto a la estación NDB.....	46
Ilustración 30: Infraestructura de un VOR/DME.....	48
Ilustración 31: Infraestructura de un ILS.....	52
Ilustración 32: Arquitectura SBAS.....	59
Ilustración 33: Cobertura de los distintos sistemas SBAS.....	62

Ilustración 34: Aeropuertos operacionales con sistema GNSS .....	67
Ilustración 35: Número de aeropuertos con GNSS operacional en Europa.....	67
Ilustración 36: Evolución de la infraestructura de navegación en España .....	68
Ilustración 37: Aeropuertos planeados con sistema GNSS.....	69
Ilustración 38: Aeropuertos operacionales y planeados con sistema GNSS.....	70
Ilustración 39: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Düsseldorf, Alemania .....	71
Ilustración 40: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Düsseldorf, Alemania	72
Ilustración 41: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Antwerpen, Bélgica.....	73
Ilustración 42: Carta de aproximación VOR del aeropuerto de Antwerpen, Bélgica	74
Ilustración 43: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Roma Ciampino, Italia.....	75
Ilustración 44: Carta de aproximación VOR del aeropuerto de Roma Ciampino, Italia .....	76
Ilustración 45: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Gardermoen, Noruega .....	77
Ilustración 46: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Gardermoen, Noruega .....	78
Ilustración 47: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de París Le Bourget, Francia .....	79
Ilustración 48: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de París Le Bourget, Francia .....	80
Ilustración 49: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Bristol, Reino Unido .....	81
Ilustración 50: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Bristol, Reino Unido ..	82
Ilustración 51: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Santander, España.....	84
Ilustración 52: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Santander, España.....	85
Ilustración 53: Sección de la carta STAR del aeropuerto de Santander.....	86
Ilustración 54: Carta STAR del aeropuerto de Santander.....	87
Ilustración 55: Comparación de rutas convencional, RNAV y RNP .....	90
Ilustración 56: Despegue convencional vs. RNAV.....	90
Ilustración 57: Situación de Teruel en España .....	92
Ilustración 58: Situación del aeropuerto de Teruel con respecto a la ciudad de Teruel .....	92
Ilustración 59: Situación del aeropuerto de Teruel con respecto a Caudé.....	93

Ilustración 60: Aeropuerto de Teruel .....	93
Ilustración 61: Página web oficial ENAIRE.....	94
Ilustración 62: Datos y cartas del aeropuerto de Teruel proporcionados por ENAIRE .....	94
Ilustración 63: Ortofoto que se va a utilizar de base .....	97
Ilustración 64: Ortofoto con el plano en color.....	97
Ilustración 65: Ortofoto con el plano en blanco y negro .....	98
Ilustración 66: Plano sin ortofoto .....	99
Ilustración 67: Entorno de trabajo en ArcGIS.....	100
Ilustración 68: Plano obtenido.....	101

# Acrónimos

ABAS	Aircraft Based Augmentation System
AD	Aerodromes
ADF	Automatic Direction Finder
AENA	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
AFI	África
AIP	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
AIS	Servicio de Información Aeronáutica
AM	Amplitude Modulation
AMA	Altitud Mínima de Área
AOR-E	Atlantic Ocean Region East
APP	Approach
ASQF	Application Specific Qualification Facility
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
ATZ	Zona de Tránsito de Aeródromo
AWY	Airway
C/A	Coarse Acquisition
CAT	Categorías de aproximación
CCF	Central Control Facility
CDM	Collaborative Decision Making
CE	Comisión Europea
CPF	Central Processing Facility
CS	Commercial Service
CTR	Control Zone
D	Dangerous Area
DGPS	Differential GPS
DMA	Direct Memory Acces
DME	Distance Measuring Equipment
DME-N	Distance Measuring Equipment - Navigation
DME-P	Distance Measuring Equipment - Precision
DVOR	Differential VOR
EDAS	EGNOS Data Access Service
EAD	European AIS Database
EEUU	Estados Unidos
EGNOS	European Geostationary Ground System
EMEA	Europe Middle East Africa
ESA	European Space Agency
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989

ETSID	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
EUR	Europe
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation
FAA	Federal Aviation Administration
FAF	Final Approach Fix
FDE	Fault Detection and Exclusion
FIR	Flight Information Region
FM	Frequency Modulation
GAGAN	GPS Aided Augmented Navigation
GBAS	Ground Based Augmentation System
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GP	Glide Path
GPS	Global Positioning System
IAF	Initial Approach Fix
IBLS	Improved Beacon Landing System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDP	Interim Deployment Programme
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
IVAO	International Virtual Aviation Organization
LAAS	Local Area Augmentation System
LNAV	Lateral Navigation
LOC	Localizer
LP	Localizer Performance
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance
MAP	Missed Approach
MCC	Mission Control Centers
MLS	Microwave Landing System
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System
NAT	North Atlantic Region
NAVIC	NAVigation Indian Constellation
NDB	Non Directional Beacon
NLES	Navigation Land Earth Stations
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OS	Open System
P	Prohibited Area
PAC	Path Attenuation Compensation
PACF	Performance Assessment and Check-out Facility

PBN	Performance Based Navigation
PPS	Precise Positioning System
PRN	Pseudo Random Noise
PRS	Public Regulated Service
QZSS	Quasi-Zenith Satellite Sys
R	Restricted Area
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RBI	Relative Bearing Indicator
RMT	Remote Turning
RNAV	aRea NAVigation
RNP	Required Navigation Performance
RVR	Runaway Visual Range
SA	Selective Availability
SACTA	Sistema Automatizado de Control del Tránsito Aéreo
SAM	South American Region
SAR	Search And Rescue Service
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SES	Sirius-5
SESAR	Single European Sky ATM Research
SID	Standard Instrument Departure Chart
SJU	Empresa Común SESAR
SLS	Satellite Landing System
SOL	Safety of Life
SPS	Standard Positioning System
STAR	Standard Terminal Arrival Route
TACAN	Tactical Air Navigation
TFG	Trabajo de Fin de Grado
THR	Threshold
TMA	Traffic Management Advisor
UIR	Upper Information Region
UPV	Universidad Politécnica de Valencia
VFR	Visual Flight Rules
VHF	Very High Frequency
VNAV	Vertical Navigation
VOR	VHF omni-directional Radio Range
VOR-N	VHF omni-directional Radio Range - Navigation
VORTAC	VOR - TACAN
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS-84	World Geodetic System 1984
XTE	Cross Track Error



# 1. Introducción y objetivos

7000 aviones en el aire a cualquier hora. 23.911 vuelos comerciales al día, 2.246.004 pasajeros. 19.299 aeropuertos, y 476 torres de control, con 14.000 controladores aéreos.

Para que esto sea posible, eficiente, y sobre todo seguro, es necesario un inmenso y complejo sistema. Empezando por la división del espacio aéreo, la planificación de rutas y maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje, que requieren su propia cartografía aeronáutica; terminando por los sistemas de posicionamiento y de comunicación en vuelo; pasando por un análisis previo y en tiempo real del tráfico aéreo.

Todos estos elementos son fundamentales y requieren de una extraordinaria organización y precisión. Más todavía, si tenemos en cuenta que los números van creciendo, que el futuro se proyecta como un mapa de tráfico aéreo mucho mayor del que tenemos ahora, haciendo necesaria una gran optimización del espacio aéreo.

Por esta razón, en los últimos años se ha visto una tendencia cada vez mayor a usar sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), es decir, sistemas globales de navegación por satélite, que son más precisos, fiables y rentables. Su uso se extiende cada vez más a todo tipo de sectores además del aeronáutico, como son el transporte marítimo y terrestre, la vigilancia e incluso la agricultura. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos sistemas por sí mismos no son suficientes para cumplir los requisitos de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), por lo que se necesitan también los tres sistemas de aumentación: ABAS (Aircraft Based Augmentation System), SBAS (Satellite Based Augmentation System) y GBAS (Ground Based Augmentation System).

Acercándonos al tema de este proyecto, diremos que las aeronaves tienen que seguir rutas muy concretas, pasar por puntos en los que se registra su posición y que son muy importantes sobre todo a la hora de realizar las maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje. Para ello, se emplean cartas aeronáuticas, especialmente diseñadas para planificar y llevar a cabo el itinerario de vuelo.

La seguridad de la navegación aérea exige que estas cartas sean elaboradas y publicadas lo más actualizadas y precisas posible, siendo responsabilidad de cada Estado miembro de la OACI adoptar las disposiciones necesarias y proporcionar información del propio territorio para facilitar la gran tarea de cooperación que supone la producción y difusión de cartas aeronáuticas.

En estas cartas aparece información fundamental como los puntos por los que debe pasar la aeronave, llamados "waypoints", con sus respectivas coordenadas, los sistemas de posicionamiento disponibles, así como las altitudes necesarias en cada momento,

teniendo en cuenta el entorno de los aeropuertos, las ciudades cercanas, parques naturales, así como el relieve del terreno. Para regular todos estos aspectos de las cartas aeronáuticas, se utiliza como base el Anexo 4 de la OACI, del que obtendremos información y utilizaremos en varias secciones de este documento.

Con toda esta información, se pretende en este proyecto hacer una comparación entre las cartas aeronáuticas de navegación convencional y las que utilizan sistema RNAV (GNSS), así como de las rutas de vuelo. Como objetivo final, se va a proceder a generar una carta aeronáutica, en este caso un plano de aeródromo para movimientos en tierra para el aeródromo de Teruel, que no dispone de él. Para ello se va a necesitar acceder a sitios web oficiales que proporcionen la información relativa al aeropuerto, y utilizar un programa específico, ArcGIS, cuyo funcionamiento se debe descubrir y aprender previamente.

## 1.1. Resumen

En este proyecto se realizará un estudio de la cartografía y rutas de vuelo en función del sistema de navegación utilizado, convencional o GNSS y se llevará a cabo la generación de una carta aeronáutica utilizando el programa ArcGIS.

Para ello, se hará una explicación previa que recogerá conceptos y procedimientos relativos a la estructura, gestión y control del espacio aéreo, a la cartografía aeronáutica, sus tipos y elementos, y a la navegación aérea, sus diferentes clases, sistemas y organismos.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Espacio aéreo. Gestión y Control.

El medio que más ha revolucionado nuestra sociedad es el avión. La complejidad de este radica sobre todo en el medio en que se desenvuelve y el elevado número de operaciones que se realizan. Sin embargo, todos y cada uno de los vuelos que salen en un aeropuerto deben ser controlados y guiados hasta su destino con total seguridad.

En esto consiste el control del tráfico aéreo. La OACI es la encargada de regular todos los aspectos relativos al espacio aéreo y operaciones de las aeronaves e infraestructuras necesarias. Para gestionar todo el volumen de tráfico a nivel nacional, existe una entidad pública responsable de su funcionamiento, AENA en el caso de España, que se divide en dos áreas fundamentales: aeropuertos y navegación aérea. Navegación Aérea es la encargada de proporcionar a cada aeronave todos los medios imprescindibles para realizar su trayecto en perfectas condiciones de seguridad, orden y fluidez. Estos medios son materiales, como los sistemas de guiado, los de comunicaciones, los radares, SACTA o sistemas automatizado de control del tráfico aéreo, y todas las radioayudas en general que permiten saber en todo momento la ubicación exacta de los aviones.

La aeronave es guiada en todo momento por un controlador aéreo que la dirige por una de los cientos de aerovías existentes. Las aerovías son rutas invisibles, autopistas del cielo que sirven para unir gran variedad de destinos.

#### 2.1.1. Regiones de Navegación Aérea.

La tierra está dividida en distintas regiones de Navegación Aérea, son zonas que abarcan varios países, e incluso continentes enteros, y se corresponden con las siguientes áreas geográficas:

PAC – Océano Pacífico

NAM – América del Norte

CAR – América Central

SAM – América del Sur

NAT – Atlántico Norte

EUR – Europa

AFI – África

ASIA – Asia

MID – Oriente Medio

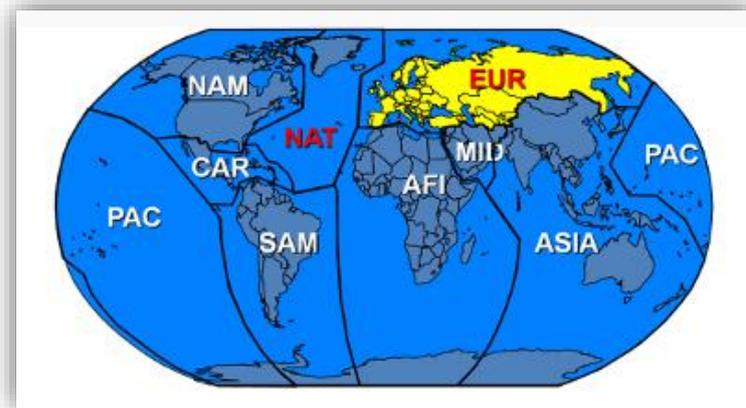


Ilustración 1: Regiones de Navegación Aérea

Cada país gestiona su propio espacio aéreo. En el caso de España, controla el espacio aéreo sobre su territorio y grandes porciones del mar Mediterráneo y el océano Atlántico. Para gestionar estas zonas eficientemente, se establecen diferentes regiones de información de vuelo, más conocidas como FIR. En España existen 4 FIR: FIR Barcelona, FIR Madrid, FIR Sevilla (que pertenece a FIR Madrid) y FIR Canarias.

La dirección regional de navegación aérea (región este), es responsable de la mayor parte del FIR Barcelona, cuyo tráfico aéreo es gestionado por el Centro de Control de Barcelona. La región este tiene 300 000 km<sup>2</sup> de superficie bajo su responsabilidad, incluyendo Cataluña, la Comunidad Valenciana, y partes de otras Comunidades cercanas, así como gran parte del Mar Mediterráneo.

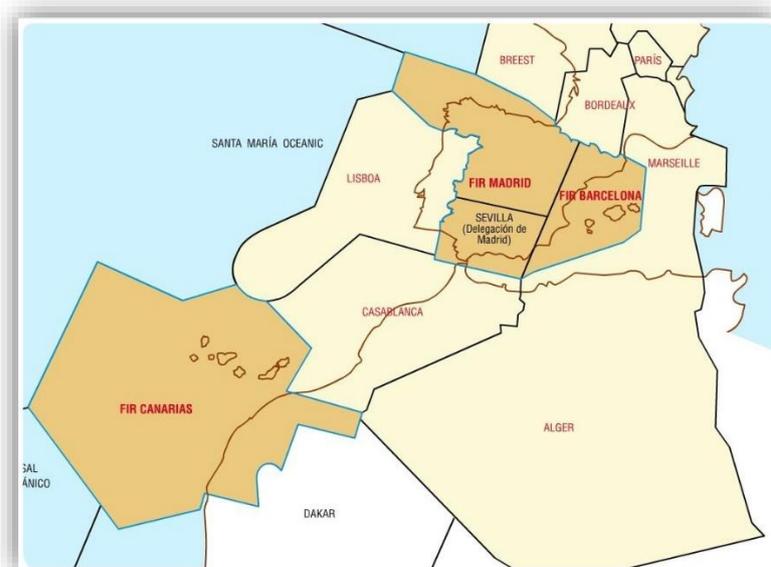


Ilustración 2: FIR en España

Dentro de un FIR podemos distinguir diferentes zonas de control. Las más pequeñas se denominan zonas de tránsito de aeródromo, más conocidas como ATZ, es la zona que rodea un aeropuerto, y están controladas por las Torres de Control. Desde la torre se dirigirán las maniobras de aterrizaje y despegue de las aeronaves, así como la rodadura desde su aparcamiento hasta la pista de despegue.

Las ATZ están envueltas por las denominadas Áreas de Terminal de Maniobra o TMA. En esta área los controladores guían a las aeronaves para realizar un acercamiento o alejamiento seguro de los aeródromos. Esta función es muy importante debido a que en los alrededores de los aeropuertos es donde se concentra un mayor tráfico aéreo. El FIR Barcelona, es controlado por tres Áreas Terminales o TMA: TMA Barcelona, TMA Valencia y TMA Palma de Mallorca.

La CTR (Controlled Traffic Region) es un espacio asociado a un aeródromo que tiene por objeto el proteger las entradas y salidas IFR. Cuando existen varios aeródromos próximos se suele definir un solo CTR que los incluya. Los límites laterales suelen circunscribirse a un cilindro de 5 NM medidas a partir del centro del aeropuerto.

El resto del espacio está cruzado por autopistas o aerovías (AWY, airways), y que se encuentran dentro del Área de Control de Ruta.

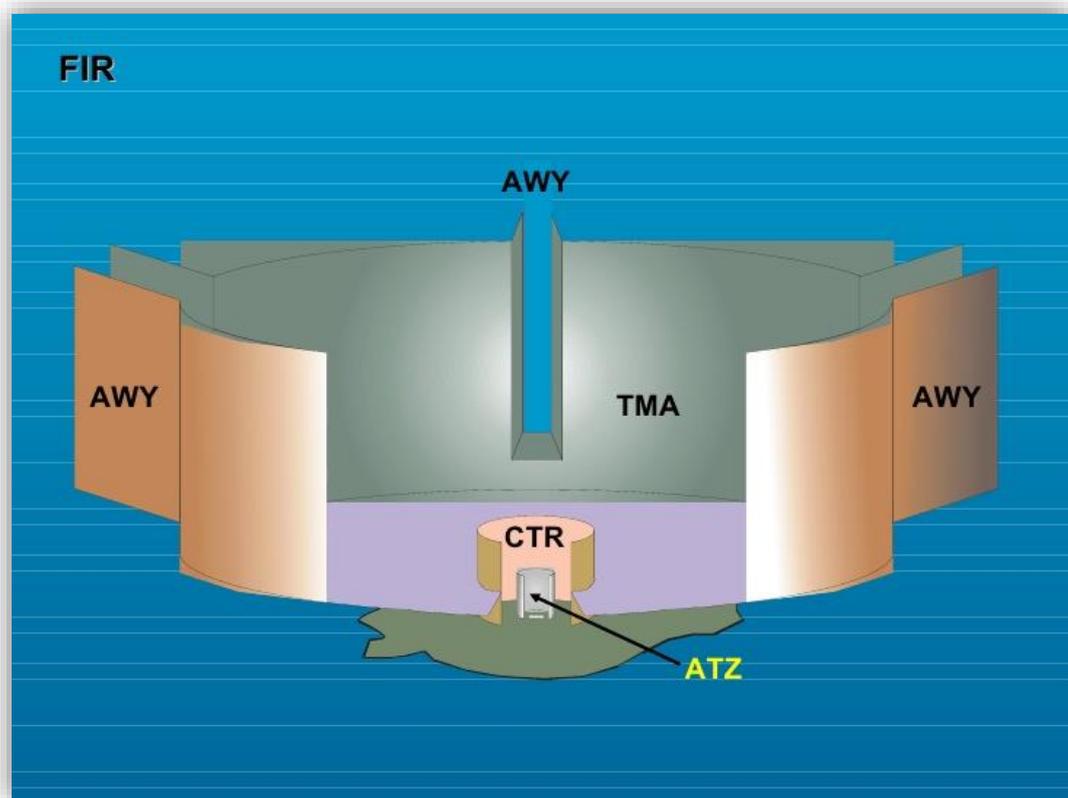


Ilustración 3: Zonas de Control

## 2.1.2. Fases de control de vuelo

Ahora veamos cómo se suceden las diferentes fases de control aéreo en un vuelo. Las fases del control aéreo las podemos diferenciar en Plan de Vuelo, Comprobación Inicial, Rodadura, Despegue, Aproximación Salida, Control de Ruta, Aproximación Llegada, Aterrizaje y Rodadura en el aeropuerto de llegada.

- Plan de Vuelo. Los pilotos, antes de volar, deberán cumplimentar un formulario donde plasman la información del plan de vuelo. Posteriormente, esta información estará disponible para cada controlador en el momento en que le sea necesario.
- Comprobación Inicial. Unos 30 minutos antes de la hora de salida, el piloto solicita autorización a la Torre de Control para la puesta en marcha. La torre comprueba los datos, activa el Plan de Vuelo, y autoriza el encendido de turbinas.
- Rodadura: El piloto debe dirigirse a la pista para el despegue, la torre de control le comunicará el camino a seguir para llegar a la misma. Como hay varios aviones dispuestos a despegar, nuestra aeronave deberá mantenerse en el punto de espera hasta que llegue su turno.
- Despegue. Una vez que el avión ha despegado, el piloto se pone en contacto con la Torre de Control para informar de que se dirige al primer punto de su ruta. La torre verifica que la maniobra de despegue ha sido correcta transfiriendo el control del vuelo a control de aproximación.
- Aproximación Salida. La aeronave ha salido de la Zona de Control de Aeródromo ATZ bajo la responsabilidad de la Torre de Control. Al cruzar ese límite se adentra en el Área TMA, con la responsabilidad del Centro de Control, y más concretamente, bajo la de un controlador de aproximación. En este momento, el avión se dirige hacia su aerovía correspondiente. La principal misión del controlador es garantizar la seguridad de las aeronaves. Por ello, deben respetar una separación mínima establecida en el reglamento de circulación aérea. El radar detectará a la aeronave y SACTA la presenta en las pantallas de los controladores. (recorte separación e imagen SACTA). Además, SACTA genera la ficha de progreso de vuelo que tendrán a su disposición cada uno de los controladores que deben velar por la aeronave. El avión abandona el área TMA. El controlador

de aproximación transfiere la supervisión del vuelo a un controlador de ruta, bajo cuya responsabilidad se encuentra ahora la aeronave.

- Control de Ruta. El avión ha entrado en la aerovía que le llevará a su destino. Para llegar a ella, el piloto ha empleado como guía una red de radioayudas entre las que se encuentra el sistema VOR, que es el equivalente a un faro para un barco. La aeronave cruza la línea que separa la FIR a la que pertenece el aeropuerto de partida para introducirse en la siguiente, y pasa a encontrarse bajo la responsabilidad de la región a la que pertenece el nuevo FIR. Durante su vuelo por la aerovía, el avión pasará por puntos de notificación, es decir, lugares preestablecidos donde deberá reportar al controlador de ruta que ha alcanzado dicho lugar.
- Aproximación Llegada. El avión está finalizando su ruta por la aerovía, por lo que entra en el área TMA que rodea al aeropuerto de llegada y se encuentra nuevamente bajo la responsabilidad de un controlador de aproximación. La maniobra es exactamente inversa a la de aproximación de salida, con una ligera diferencia, y es que, si hay una gran demanda de aterrizajes en el aeropuerto, la aeronave deberá esperar para aterrizar. Para ello, navegación aérea establece puntos de espera, es decir, los aviones deberán realizar vuelos en círculos a diferentes alturas. Esto hace de la Aproximación de Llegadas la fase más compleja del Control Aéreo, en la que se encuentran los controladores más experimentados.
- Aterrizaje. La aeronave entra en la Zona de Control de Aeródromo, ATZ, y pasa a ser controlada por la torre de control. Para realizar la aproximación a pista, el piloto se apoya sobre el sistema de aterrizaje por instrumentos o ILS. Este sistema permite identificar el eje de la pista y muestra el ángulo de descenso para tomar tierra adecuadamente.
- Rodadura. Finalmente, el controlador de Torre, indica al piloto el camino a seguir hasta el aparcamiento asignado para la aeronave. Otros medios apoyan al piloto, como los vehículos "Follow me" que guían al avión hasta en su proceso de rodadura hasta el aparcamiento.

## 2.2. Cartografía aeronáutica.

La cartografía es la disciplina que estudia la teoría y la confección de mapas geográficos y cartas. Para ello combina ciencia, técnica e incluso estética, partiendo de la premisa de que se puede comunicar información geográfica de forma efectiva modelando adecuadamente la realidad física.

Los principales problemas que encuentra la cartografía son seleccionar los aspectos geográficos que se muestran en una representación, eliminar la complejidad innecesaria o irrelevante, combinar los elementos representativos para comunicar de forma efectiva la información deseada y plasmar la representación de la realidad tridimensional sobre una superficie plana (el mapa o carta) mediante proyecciones.

En sentido genérico, un mapa es cualquier representación geométrica y proporcionada de un territorio, en las que las informaciones se expresan de forma selectiva, simplificada y convencional mediante símbolos. En un sentido más estricto, el mapa se diferencia del plano, en que supone la adopción de una determinada proyección cartográfica, debido a una mayor exigencia de precisión o al mayor alcance de la cobertura, por lo que los mapas suelen tener una escala menor que los planos.

Se diferencian de las cartas en que éstas son mapas destinados a la navegación tanto terrestre como aérea o marítima, así pues, se entiende por carta, un mapa especialmente diseñado para cubrir las necesidades de los navegantes, tanto náuticos como aéreos, que es el caso que nos ocupa. A diferencia de los mapas que se utilizan para ser observados, las cartas se diseñan para trabajar con ellas, trazando trayectorias, rumbos, etc.

Casi todos los Estados de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI / ICAO) producen cartas aeronáuticas. En España, la División de Información Aeronáutica de AENA se encarga de prestar el Servicio de Información Aeronáutica (AIS), y es la responsable de la producción de la cartografía aeronáutica necesaria utilizada por la aviación civil, tanto nacional como internacional, en territorio español y en aquellas zonas donde el Estado tenga la responsabilidad de suministrar servicios de tránsito aéreo. Esta cartografía se edita como parte integrante de la Publicación de Información Aeronáutica (AIP), que es el servicio básico de cartografía aeronáutica de nuestro país. Esta publicación, disponible en su totalidad en el portal Web de AENA, se divide en tres partes:

- Generalidades (GEN): cinco secciones de carácter administrativo e informativo.
- En ruta (ENR): siete secciones sobre el espacio aéreo y su utilización.
- Aeródromos (AD): cuatro secciones sobre los aeródromos y helipuertos del territorio español y su utilización.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI / ICAO) publica a través de la AIP en España: Anexo 4 - Cartas Aeronáuticas: normas y métodos recomendados para la elaboración de las mismas. Dichas normas y métodos fueron adoptados por primera vez por el Consejo de la OACI en 1948, y se designaron entonces como anexo 4 al Convenio de Aviación Civil Internacional. Se redactaron para que pudieran aplicarse, de manera general, a todos los tipos de cartas aeronáuticas. Posteriormente a la fecha de publicación del anexo 4, se han desarrollado reuniones de los grupos de expertos en materia de cartografía aeronáutica de los diferentes países integrantes de la OACI, en las que se han desarrollado nuevas normas y métodos recomendados que se han ido incorporando al texto inicial del anexo 4 a través de enmiendas y de nuevas ediciones Manual de Cartas Aeronáuticas: complemento y ayuda para la puesta en práctica de estas normas.

## 2.2.1. Anexo 4 de la OACI. Cartas aeronáuticas.

Para tener una idea de toda la información que se puede encontrar en el Anexo 4 de la OACI, se puede observar su índice:

ÍNDICE		<i>Página</i>	<i>Página</i>
PREÁMBULO .....	(vii)	4.2 Disponibilidad.....	4-1
		4.3 Unidades de medida.....	4-1
		4.4 Cobertura y escala.....	4-1
		4.5 Formato.....	4-1
		4.6 Identificación.....	4-1
		4.7 Construcciones y topografía.....	4-1
		4.8 Declinación magnética.....	4-2
		4.9 Datos aeronáuticos.....	4-2
		4.10 Exactitud.....	4-2
CAPÍTULO 1. Definiciones, aplicación y disponibilidad .....	1-1	CAPÍTULO 5. Plano topográfico y de obstáculos de aeródromo — OACI (Electrónico).....	5-1
1.1 Definiciones.....	1-1	5.1 Función.....	5-1
1.2 Aplicación.....	1-6	5.2 Disponibilidad.....	5-1
1.3 Disponibilidad.....	1-6	5.3 Identificación.....	5-1
		5.4 Cobertura del plano.....	5-1
		5.5 Cortenido del plano.....	5-1
		5.6 Exactitud y definición.....	5-3
		5.7 Funcionalidad electrónica.....	5-3
		5.8 Especificaciones del producto de datos cartográficos.....	5-3
CAPÍTULO 2. Especificaciones generales.....	2-1	CAPÍTULO 6. Carta topográfica para aproximaciones de precisión — OACI .....	6-1
2.1 Requisitos de utilización de las cartas.....	2-1	6.1 Función.....	6-1
2.2 Títulos.....	2-1	6.2 Disponibilidad.....	6-1
2.3 Información varia.....	2-1	6.3 Escala.....	6-1
2.4 Símbolos.....	2-1	6.4 Identificación.....	6-1
2.5 Unidades de medida.....	2-2	6.5 Información sobre la vista en planta y el perfil.....	6-1
2.6 Escala y proyección.....	2-2		
2.7 Fecha de validez de la información aeronáutica.....	2-2	CAPÍTULO 7. Carta de navegación en ruta — OACI .....	7-1
2.8 Ortografía de nombres geográficos.....	2-2	7.1 Función.....	7-1
2.9 Abreviaturas.....	2-2	7.2 Disponibilidad.....	7-1
2.10 Fronteras políticas.....	2-2	7.3 Cobertura y escala.....	7-1
2.11 Colores.....	2-2	7.4 Proyección.....	7-1
2.12 Relieve.....	2-2	7.5 Identificación.....	7-1
2.13 Zonas prohibidas, restringidas o peligrosas.....	2-3	7.6 Construcciones y topografía.....	7-1
2.14 Espacio aéreo para el servicio de tránsito aéreo.....	2-3	7.7 Declinación magnética.....	7-1
2.15 Declinación magnética.....	2-3	7.8 Marcaciones, derrotas y radiales.....	7-1
2.16 Tipografía.....	2-3	7.9 Datos aeronáuticos.....	7-2
2.17 Datos aeronáuticos.....	2-3		
2.18 Sistema Geodésico Mundial — 1984 (WGS-84).....	2-4	CAPÍTULO 8. Carta de área — OACI .....	8-1
		8.1 Función.....	8-1
		8.2 Disponibilidad.....	8-1
		8.3 Cobertura y escala.....	8-1
		8.4 Proyección.....	8-1
CAPÍTULO 3. Plano de obstáculos de aeródromo — OACI Tipo A (Limitaciones de utilización) .....	3-1		
3.1 Función.....	3-1		
3.2 Disponibilidad.....	3-1		
3.3 Unidades de medida.....	3-1		
3.4 Cobertura y escala.....	3-1		
3.5 Formato.....	3-1		
3.6 Identificación.....	3-1		
3.7 Declinación magnética.....	3-1		
3.8 Datos aeronáuticos.....	3-2		
3.9 Exactitud.....	3-3		
CAPÍTULO 4. Plano de obstáculos de aeródromo — OACI Tipo B .....	4-1		
4.1 Función.....	4-1		

Ilustración 4: Anexo 4. Página 1 del índice

	Página		Página
8.5	8-1	CAPÍTULO 13. Plano de aeródromo/heliporto —	
8.6	8-1	OACI .....	13-1
8.7	8-1	13.1	13-1
8.8	8-2	13.2	13-1
8.9	8-2	13.3	13-1
		13.4	13-1
		13.5	13-1
		13.6	13-1
CAPÍTULO 9. Carta de salida normalizada		CAPÍTULO 14. Plano de aeródromo para	
— Vuelo por instrumentos (SID) — OACI .....		movimientos en tierra — OACI .....	
9.1	9-1	14.1	14-1
9.2	9-1	14.2	14-1
9.3	9-1	14.3	14-1
9.4	9-1	14.4	14-1
9.5	9-1	14.5	14-1
9.6	9-1	14.6	14-1
9.7	9-2		
9.8	9-2	CAPÍTULO 15. Plano de estacionamiento	
9.9	9-2	y ataque de aeronaves — OACI .....	
		15.1	15-1
		15.2	15-1
		15.3	15-1
		15.4	15-1
		15.5	15-1
		15.6	15-1
CAPÍTULO 10. Carta de llegada normalizada		CAPÍTULO 16. Carta aeronáutica mundial —	
— Vuelo por instrumentos (STAR) — OACI .....		OACI 1:1 000 000 .....	
10.1	10-1	16.1	16-1
10.2	10-1	16.2	16-1
10.3	10-1	16.3	16-1
10.4	10-1	16.4	16-1
10.5	10-1	16.5	16-2
10.6	10-1	16.6	16-2
10.7	10-2	16.7	16-2
10.8	10-2	16.8	16-3
10.9	10-2	16.9	16-4
		CAPÍTULO 17. Carta aeronáutica —	
		OACI 1:500 000 .....	
		17.1	17-1
		17.2	17-1
		17.3	17-1
		17.4	17-1
		17.5	17-1
		17.6	17-2
		17.7	17-2
		17.8	17-3
		17.9	17-3
		CAPÍTULO 18. Carta de navegación aeronáutica —	
		OACI, escala pequeña .....	
		18.1	18-1
		18.2	18-2
CAPÍTULO 11. Carta de aproximación por instrumentos — OACI .....			
11.1	11-1		
11.2	11-1		
11.3	11-1		
11.4	11-1		
11.5	11-1		
11.6	11-1		
11.7	11-2		
11.8	11-2		
11.9	11-2		
11.10	11-2		
CAPÍTULO 12. Carta de aproximación visual — OACI .....			
12.1	12-1		
12.2	12-1		
12.3	12-1		
12.4	12-1		
12.5	12-1		
12.6	12-1		
12.7	12-1		
12.8	12-1		
12.9	12-1		
12.10	12-2		

Ilustración 5: Anexo 4. Página 2 del índice

<i>Índice</i>	<i>Página</i>	<i>Anexo 4 — Cartas aeronáuticas</i>	<i>Página</i>
18.3 Cobertura y escala.....	18-1	CAPÍTULO 21. Carta de altitud mínima de vigilancia	
18.4 Formato.....	18-1	ATC — OACI.....	21-1
18.5 Proyección.....	18-1	21.1 Función.....	21-1
18.6 Construcciones y topografía.....	18-2	21.2 Disponibilidad.....	21-1
18.7 Declinación magnética.....	18-3	21.3 Cobertura y escala.....	21-1
18.8 Datos aeronáuticos.....	18-3	21.4 Proyección.....	21-1
CAPÍTULO 19. Carta de posición — OACI.....	19-1	21.5 Identificación.....	21-1
19.1 Función.....	19-1	21.6 Construcciones y topografía.....	21-1
19.2 Disponibilidad.....	19-1	21.7 Declinación magnética.....	21-1
19.3 Cobertura y escala.....	19-1	21.8 Marcación, derrotas y radiales.....	21-1
19.4 Formato.....	19-1	21.9 Datos aeronáuticos.....	21-1
19.5 Proyección.....	19-1		
19.6 Identificación.....	19-1	<b>APÉNDICES</b>	
19.7 Construcciones y topografía.....	19-1	APÉNDICE 1. Disposición de notas marginales.....	AP 1-1
19.8 Declinación magnética.....	19-1	APÉNDICE 2. Símbolos cartográficos OACI.....	AP 2-1
19.9 Datos aeronáuticos.....	19-1	APÉNDICE 3. Guía de colores.....	AP 3-1
CAPÍTULO 20. Presentación electrónica de		APÉNDICE 4. Guía de tintas hipsométricas.....	AP 4-1
cartas aeronáuticas — OACI.....	20-1	APÉNDICE 5. Índice y disposición de las hojas	
20.1 Función.....	20-1	de la carta aeronáutica mundial OACI —	
20.2 Información disponible para su		1:1 000 000.....	AP 5-1
presentación.....	20-1	APÉNDICE 6. Requisitos de calidad de los	
20.3 Requisitos de la presentación.....	20-1	datos aeronáuticos.....	AP 6-1
20.4 Suministro y actualización de datos.....	20-2		
20.5 Ensayos de performance, alarmas e			
indicaciones del mal funcionamiento.....	20-2		
20.6 Arreglos de reserva.....	20-2		

Ilustración 6: Anexo 4. Página 3 del índice

A continuación, se recogen algunos puntos generales de la normativa expuesta en el Anexo 4 que son de interés para conocer el tipo de información que procura el mencionado documento, así como algunas aclaraciones, y que será de utilidad para la generación de una carta aeronáutica en la última parte de este proyecto.

## 2.5 Unidades de medida

2.5.1 Las distancias se calcularán como distancias geodésicas.

2.5.2 Las distancias se expresarán en kilómetros o millas marinas o en ambas unidades, a condición de que se indiquen claramente las unidades empleadas.

2.5.3 Las altitudes, elevaciones y alturas se expresarán en metros, o en pies, o en ambas unidades, a condición de que se indiquen claramente las unidades empleadas.

2.5.4 Las dimensiones lineales en los aeródromos y pequeñas distancias se expresarán en metros.

2.5.5 El grado de resolución de las distancias, dimensiones, elevaciones y alturas será el especificado para cada carta en particular.

2.5.6 Las unidades de medida utilizadas para expresar distancias, altitudes, elevaciones y alturas se indicarán de manera destacada en el anverso de cada carta.

2.5.7 Se proveerán escalas de conversión (kilómetros/ millas marinas, metros/pies) en las cartas en las que se indiquen distancias, elevaciones o altitudes. Las escalas de conversión figurarán de preferencia en el anverso de cada carta.

## 2.18 Sistemas de referencia comunes

### 2.18.1 Sistema de referencia horizontal

2.18.1.1 El Sistema Geodésico Mundial — 1984 (WGS-84) se utilizará como sistema de referencia (geodésica) horizontal. Las coordenadas geográficas aeronáuticas publicadas (que indiquen la latitud y la longitud) se expresarán en función de la referencia geodésica del WGS-84

### 2.18.2 Sistema de referencia vertical

2.18.2.1 La referencial al nivel medio del mar (MSL), que proporciona la relación de las alturas (elevaciones) relacionadas con la gravedad respecto de una superficie conocida como geoide, se utilizará como sistema de referencia vertical.

Nota 1.— El geoide a nivel mundial se aproxima muy estrechamente al nivel medio del mar (MSL). Según su definición es la superficie equipotencial en el campo de gravedad de la Tierra que coincide con el MSL inalterado que se extiende de manera continua a través de los continentes

Nota 2.— Las alturas (elevaciones) relacionadas con la gravedad también se denominan alturas ortométricas y las distancias de puntos por encima del elipsoide se denominan alturas elipsoidales.

2.18.2.2 Además de las elevaciones por referencia al MSL de las posiciones específicas en tierra objeto de levantamiento topográfico, se publicará también la ondulación geoidal (por referencia al elipsoide WGS-84) con relación a dichas posiciones, según lo especificado para cada carta en particular.

### 2.18.3 Sistema de referencia temporal

2.18.3.1 El calendario gregoriano y el tiempo universal coordinado (UTC) se utilizarán como sistema de referencia temporal.

2.18.3.2 Cuando en las cartas se utilice un sistema de referencia temporal diferente, así se indicará en GEN 2.1.2 de las publicaciones de información aeronáutica (AIP).

Superficie de Referencia Geodésica (AIP: GEN 2) Desde el 1 de enero 1998 las coordenadas aeronáuticas publicadas en el AIP ESPAÑA están referidas al sistema de referencia geodésico WGS 84, de acuerdo con lo establecido en el Anexo 15 de la OACI. Las coordenadas de las cartas publicadas en AIP con anterioridad al 1 de enero 1998 están en los sistemas de referencia ED50 en la Península e Islas Baleares y Pico de las Nieves en las Islas Canarias. Dichas coordenadas están publicadas en el sistema WGS 84 en los correspondientes listados del AIP (Ver ENR 4).

Las coordenadas de los umbrales, puntos de referencia de aeródromo y radioayudas civiles se han medido con GPS de doble frecuencia siguiendo las normas de Eurocontrol y cumplen con los requisitos de la OACI. Las coordenadas de los umbrales, puntos de referencia de aeródromo y radioayudas militares se han transformado. La exactitud de estas coordenadas es  $\pm 3$  m. Los puntos de notificación no balizados y los fijos de aproximación se han obtenido por cálculo matemático y cumplen los requisitos de la OACI. En algunos aeródromos las coordenadas de los estacionamientos y obstáculos se han transformado a partir de las coordenadas ED50 y por tanto se desconoce su exactitud. Estos casos están debidamente marcados.

Las elevaciones publicadas en AIP son ortométricas (H), es decir, están referidas al nivel medio del mar en Alicante para la península y en el mareógrafo de cada isla para Canarias y Baleares. Esta elevación se obtiene de  $h = H + N$  donde h es la elevación elipsoidal y N la ondulación del geoide.

## 2.6 Escala y proyección (Anexo 4)

2.6.1 En las cartas de áreas extensas se indicarán el nombre, los parámetros básicos y la escala de la proyección.

2.6.2 En las cartas de áreas pequeñas, sólo se indicará una escala lineal.

## 2.2.2. Elementos de las cartas aeronáuticas

En este apartado vamos a hablar de los elementos que constituyen las cartas aeronáuticas, que son numerosos y de suma importancia para que éstas garanticen utilidad y seguridad para las operaciones.

- Puntos significativos: pueden ser aeródromos, radioayudas (NDB, VOR/DME, ILS), puntos de notificación o puntos GPS que se utilizan como referencia. En la carta debe haber un recuadro con la información siguiente: Denominación (5 letras fácilmente pronunciables). tipo y frecuencia (solo radioayudas), secuencia morse que lo identifica (solo radioayudas), latitud y longitud.

En cuanto a clasificación, los puntos significativos que definen la ruta pueden ser balizados o no balizados y los puntos de notificación en los que el piloto proporciona información sobre su vuelo a las dependencias ATS pueden ser de notificación obligatoria o de notificación a petición.

Estos puntos se utilizan a la entrada y salida de los FIR/UIR en espacio aéreo, en puntos de transferencias de control y de sector de comunicaciones, en puntos de marcación de los tramos de ruta ATS, en puntos de cambio de ruta y/o de nivel, y puntos de intersección de rutas ATS.

- Altitud de obstáculos: el mapa se encuentra salpicado de números que indican la posición y altitud de un pico, monte, edificio o genéricamente obstáculo para la navegación aérea.
- Áreas peligrosas y restringidas.
- Puntos de notificación, que pueden ser obligatorios, en cuyo caso el piloto debe comunicar su paso por la vertical al controlador, facultativos, en los que se debe comunicar el paso sólo si el controlador así lo requiere, o puntos identificables mediante GPS, solo disponible para aeronaves con capacidad RNAV.
- Tramos, es decir, el segmento entre dos puntos significativos, que pueden especificar el rumbo o radial sobre la línea, la altura mínima bajo la línea, los puntos de referencia para indicar cambio de altitud u otras operaciones, inicio de un giro en mitad de un tramo, intersección del tramo con un radial, etc., giros (puede haber indicaciones de velocidad máxima de giro), arcos DME indicando el radio del arco con referencia a un VOR, o giros de procedimiento.

Los tramos tienen por características la dirección, longitud, anchura y límites verticales.

- Indicador de lugar: Un indicador de lugar es un grupo de clave formado por 4 letras que permite designar una determinada localización geográfica.

La primera letra identifica la región del mundo. Para localizaciones en España se utilizan dos letras: "L" para la península y Baleares, y "G" para Canarias, Ceuta y Melilla.

La segunda letra identifica el país, en el caso de España es "E" para la península, Baleares, Ceuta y Melilla, y "C" para Canarias.

Las dos últimas letras identifican el aeródromo: MD para Madrid-Barajas, SO para San Sebastián, XJ para Santander, JR para Jerez, CU para Madrid Cuatro Vientos (Civil) y CV para Madrid Cuatro Vientos (Militar), entre otros muchos.

- Designador de Zona: Todo espacio aéreo en el cual debiera restringirse temporal o permanentemente la operación de aeronaves civiles se clasifica en Zona Prohibida (P), Zona Restringida (R) y Zona Peligrosa (D). En las cartas, estas zonas estarán gráficamente señaladas mediante polígonos.

Cada zona se identifica con un designador formado por 3 letras seguidas de una serie numérica. La primera letra identifica la región del mundo, la segunda identifica la nacionalidad, y la tercera el tipo de zona (D, P, o R).

El número que sigue identifica la zona mediante unas series numéricas que se aplican correlativamente y sin tener en cuenta el tipo de zona. Es importante resaltar que el número asignado a una zona jamás se utilizará en otra.

- Límites verticales: Cuando una zona tiene sectores con distintos límites verticales, dichos sectores se identifican a través del designador de zona seguido por una letra (comenzando por A).



Ilustración 7: Límites verticales

- Cabecera y pie de página: Recogen datos relativos a la publicación a la que pertenece la carta, así como las fechas en las que se han realizado las últimas modificaciones. Estas referencias variarán dependiendo del tipo de carta.

Las secciones GEN, ENR, AD0 y AD1 del AIP contienen información de carácter administrativo, datos relativos al espacio aéreo y a los aeródromos.



Ilustración 8: Cabecera de una carta aeronáutica



Ilustración 9: Pie de página de una carta aeronáutica

Las fichas técnicas de aeródromo proporcionan información sobre los servicios e instalaciones de cada aeródromo.



Ilustración 10: Cabecera de una ficha técnica de aeródromo



Ilustración 11: Pie de página de una ficha técnica de aeródromo.

Las cartas únicas son documentos cartográficos formados por una única página.



Ilustración 12: Cabecera en cartas únicas



Ilustración 13: Pie de página en cartas únicas

Las cartas con texto son cartas aeronáuticas que incluyen una o varias páginas de texto en las que se especifican diferentes datos, necesarios para una correcta interpretación del documento.



Ilustración 14: Cabecera en cartas con texto



Ilustración 15: Pie de página en cartas con texto

El anverso y reverso de una página con el mismo tipo de carta tiene un pie de página.



Ilustración 16: Pie de página del anverso o reverso de una carta

## 2.2.2.1. Simbología en cartas aeronáuticas

AERÓDROMOS / AERODROMES			
Aeródromo Civil / Civil Aerodrome		Globo / Balloon	*
Aeródromo Militar / Military Aerodrome			*
Helipuerto / Heliport		Estación de radiosondeo meteorológico / Meteorological radiosonde station	*
Helipuerto Militar / Military Heliport	*	Zona de paracaidismo / Parachuting area	*
Aeródromo Mixto (civil y militar) / Joint civil and military aerodrome		Aeródromo en que se basa el procedimiento / Aerodrome on which the procedure is based	
Base militar de hidroaviones / Military hydroplanes base		Aeródromo que afecta a los circuitos de tránsito del aeródromo en que se basa el procedimiento / Aerodrome affecting the traffic pattern on which the procedure is based	
Aeródromo privado / Private aerodrome	*	*Nombre de aeródromo / Aerodrome name	
Aeródromo abandonado o cerrado / Abandoned or closed aerodrome		Elevación (ft) / Elevation (ft)	
Planeadores / Gliding area	*	MÁLAGA	
Ultraligeros / Microlight area	*	52 32 118.15	
		ATIS 118.05	
		Frecuencia de TWR (MHz) / TWR frequency (MHz)	
		Frecuencia ATIS (MHz) / ATIS frequency (MHz)	
		Longitud de la pista más larga (centenares de metros) / Length of the longest runway (hundreds of metres)	

Ilustración 17: Simbología para aeródromos

PLANOS DE AERÓDROMO / AERODROME CHARTS			
Anemómetro / Anemometre	*	Barrera de luces / Light bar	*
Punto de verificación del VOR / VOR check point		Punto de espera de la pista. Diseño A / Runway-holding position. Pattern A	
Pistas pavimentadas / Hard surface runway		Punto de espera de la pista. Diseño B / Runway-holding position. Pattern B	
Pistas sin pavimentar / Unpaved runway	*	Punto de espera intermedio / Intermediate holding point	
SWY Stopway	*	Luces de punto de espera intermedio / Intermediate holding point lights	*
CWY Customway		Barra de parada / Stop bar	
RESA Runway End Safety Area	*	Barrera de frenado / Arresting gear	*
Área de aterrizaje de helicópteros en un AD / Helicopter landing area on an AD		Pasarela telescópica / Boarding bridge	*
ARP Airport Reference Point		Lugar crítico / Hot spot	
Emplazamiento del punto de observación del RVR / Site of RVR observation point		Cable de frenado / Arresting gear	*
Emplazamiento del WDI / WDI site	*	Luces de identificación de umbral / Threshold identification lights	*
Luz puntiforme / Point light		Letreros PROHIBIDA LA ENTRADA / NO ENTRY boards	*

Ilustración 18: Simbología para planos de aeródromo

PLANOS DE OBSTÁCULOS DE AERÓDROMO / AERODROME OBSTACLE CHARTS			
Número de identificación de obstáculo / Obstacle identification number		Línea de transmisión o cable aéreo / Transmission line or overhead cable	
Árbol o arbusto / Tree or shrub		Curvas de nivel / Contours	
Poste, torre, aguja, antena, etc. / Pole, tower, spire, antenna, etc.		Terreno que penetra en el plano de obstáculos / Terrain penetrating obstacle plane	
Edificio o estructura grande / Building or large structure			

Ilustración 19: Simbología para planos de obstáculos de aeródromo.

RADIOAYUDAS PARA LA NAVEGACIÓN / RADIO NAVIGATION AIDS			
Símbolo básico de radio ayuda / Basic radioaid 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 en planta / Instrument landing system ILS in plan view	
		Sistema de aterrizaje por instrumentos ILS en perfil / Instrument landing system ILS in profile	

Ilustración 20: Simbología para radioayudas para la navegación

ZONAS P, R Y D / P, R AND D AREAS		
P Zona prohibida / Prohibited area		Zona de fauna sensible / Sensitive fauna area
R Zona restringida / Restricted area		
D Zona peligrosa / Danger area		

Ilustración 21: Simbología para zonas

SERVICIOS DE TRÁNSITO AÉREO / AIR TRAFFIC SERVICE		
Espacio aéreo / Airspace		Altitud / nivel de vuelo "a o por debajo de" / "At or below" altitude / flight level
		5000 FL50
Nombre / Name		Altitud / nivel de vuelo "obligatoria" / "Mandatory" altitude / flight level
Limite superior y Limite inferior / Upper limit and Lower limit		5000 FL50
FIR	Flight Information Region	Altitud de procedimiento / nivel de vuelo "recomendada" / "Recommended" procedure altitude / flight level
TMA, CTA, AWY	AirWay	5000 FL50
Sector TMA / TMA sector	*	Altitud/nivel de vuelo "prevista" / "Expected" altitude/flight level
CTR	Control Zone	Prevista 5000 Prevista FL50
ATZ, *FIZ	Air Traffic Zone	Distancia entre puntos de notificación (en AWY) / Distance between two reporting points (on AWY)
Aproximación frustrada / Missed approach	-----▶	*
RNAV	*	Fallo de comunicaciones / Communications failure
Interrupción de escalas (en rutas ATS) / Scale break (on ATS routes)	*	Pasillo VFR / VFR corridor
"Ventana" de altitud / nivel de vuelo / Altitude / flight level "window"		*
Altitud / nivel de vuelo "a o por encima de" / "At or above" altitude / flight level		Sector VFR / VFR sector
	7000 FL70	*
	17000 FL220 10000 10000	Altitud máxima de sector (ft) / Maximum sector altitude (ft)
		* 2000 ft
		Punto de referencia visual / Visual reference point
		*
		FAF Final Approach Fix

Ilustración 22: Simbología para servicios de tránsito aéreo

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		

Ilustración 23: Simbología para notificación y funcionalidad "de paso / sobrevuelo"

Navegación de área / Área navigation				
Punto / Point	De paso / Fly-by		De sobrevuelo / Fly-over	
Notificación Reporting	No obligatoria On request	Obligatoria Compulsory	No obligatoria On request	Obligatoria Compulsory
VORTAC				
TACAN				
VOR				
VOR/DME				
NDB				
Punto de recorrido / Way-point				

Ilustración 24: Simbología para notificación y funcionalidad “de paso / sobrevuelo”

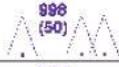
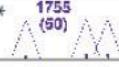
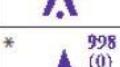
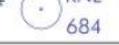
OBSTÁCULOS / OBSTACLES			
Obstáculo y grupo de obstáculos / Obstacle and group of obstacles		Obstáculo y grupo de obstáculos iluminado / Lighted obstacle and group of obstacles	
Obstáculo y grupo de obstáculos de más de 100 m / Obstacle and group of obstacles higher than 100 m	* 	Obstáculo determinante / Determining obstacle	* 
Elevación de la cota / Spot elevation		Obstáculo determinante cuando es una cota / Determining obstacle when is a spot elevation	* 
Emisora de radio comercial y frecuencia (kHz) / Commercial broadcasting station and frequency (kHz)	* 		

Ilustración 25: Simbología para obstáculos

MISCELÁNEO / MISCELLANEOUS				
Castillo / Castle	*		Túnel de carretera / Road tunnel	
Ruinas / Ruins			Ferrocarril vía única / Single track railroad	
Iglesia, ermita / Church, chapel			Ferrocarril (dos o más vías) / Railroad (two or more tracks)	
Monasterio, monumento, templo / Monastery, monument, temple			Río / River	
Depósito / Tank			Presa / Dam	
Fábrica, polígono industrial / Factory, industrial zone	*		Lago / Lake	
Mina / Mine			Salina, arrozal y marisma / Salt flat, rice field and marsh	
Luz marítima / Marine light			Línea isógona / Isogonic line	
Ciudad, población / City, town			Línea de costa / Shore line	
Autopista / Highway			Luz terrestre aeronáutica / Aeronautical ground light	
Carretera nacional / National road	*		Altitud mínima de área (AMA) / Area minimum altitude (AMA)	* 90
Carretera principal / Primary road			Curvas de nivel / Contour lines	
Carretera secundaria / Secondary road			Turbina no iluminada e iluminada / Not illuminated and illuminated wind	
Carretera local / Local road	*		Edificio / Building	
Puente de carretera / Road bridge				

\* No incluidos en el ANEXO 4 de OACI / Not included in ICAO ANNEX 4.

Ilustración 26: Simbología para misceláneos

### 2.2.3. Fases del vuelo y sus cartas aeronáuticas correspondientes.

Se trata de los periodos de tiempo en que se estructura un vuelo: despegue, salida (SID- ascenso inicial y ascenso), en ruta (crucero), llegada (STAR), aproximación (inicial, intermedia y final) y aterrizaje.

En este apartado, vamos a hablar de las cartas aeronáuticas específicas para cada una de estas fases.

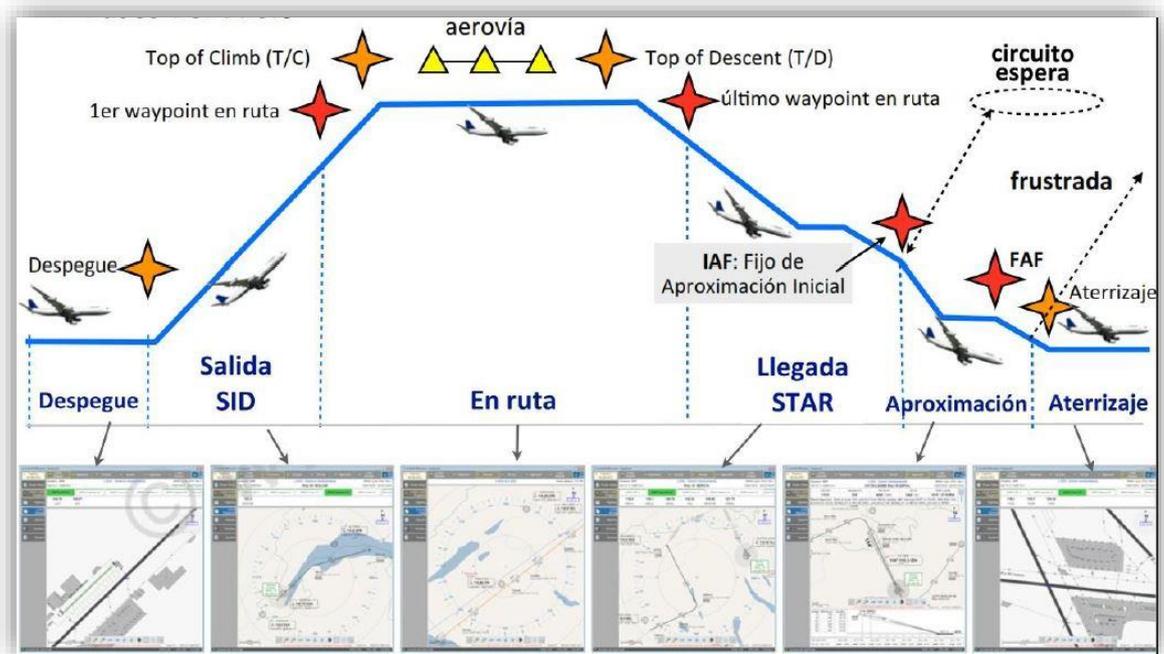


Ilustración 27: Cartas aeronáuticas para cada fase de vuelo

- El despegue engloba el taxi (la aeronave rueda por la pista) y el ascenso, una vez se alcanza cierta altura se considera que ha despegado y pasa a la fase de salida.
- Salida (SID, Standard Instrument Departure): la aeronave sigue ascendiendo por una de las denominadas rutas de salida (SID) hasta alcanzar la altura que se considere adecuada para el crucero. El final de la salida lo marca el primer punto (waypoint) del plan de vuelo. Las rutas de salida o SID, comprenden un conjunto de maniobras indicadas en una carta.
- Ruta de crucero (en route): se mantiene un nivel de vuelo idóneo en la mayor parte de la ruta. Las rutas de crucero convencionales se representan por tramos rectos que unen una serie de puntos significativos o waypoints. Las aerovías están especificadas en las cartas de navegación: espacio aéreo inferior (FIR) y espacio aéreo superior (UIR).
- Puntos significativos: pueden ser aeródromos, radioayudas, puntos de notificación (facultativa u obligatoria), puntos GPS que se utilizan como referencia. Y pueden ser balizados o no balizados.
- Llegada (STAR, Standard Arrival): conjunto de maniobras que llevan la aeronave desde el último punto del plan de vuelo hasta un punto de recalada donde, si la el

vuelo pudiera entrar en conflicto con otras aeronaves, se realizarán las esperas hasta que se autorice proseguir. Este punto se denomina IAF (Initial Approach Fix) o Fijo de Aproximación Inicial. Las rutas de llegada normalizadas o STAR, comprenden un conjunto de maniobras indicadas en una carta.

- Aproximación: conjunto de maniobras predeterminadas y apoyadas en radioayudas (normalmente ILS) que permiten a una aeronave evolucionar con seguridad, separada de los obstáculos terrestres, desde el IAF hasta un punto, determinado por los mínimos de aterrizaje en el cual: si se cuenta con referencias visuales, se continúa el descenso hasta finalizar con el aterrizaje; si no se da esa circunstancia, se suspende el descenso y se emprende la ruta de aproximación frustrada.

Consta de varias fases definidas por fijos: IAF (fijo de aproximación inicial), IF (fijo de aproximación intermedio), FAF (fijo de aproximación final) y MAP (punto de aproximación frustrada).

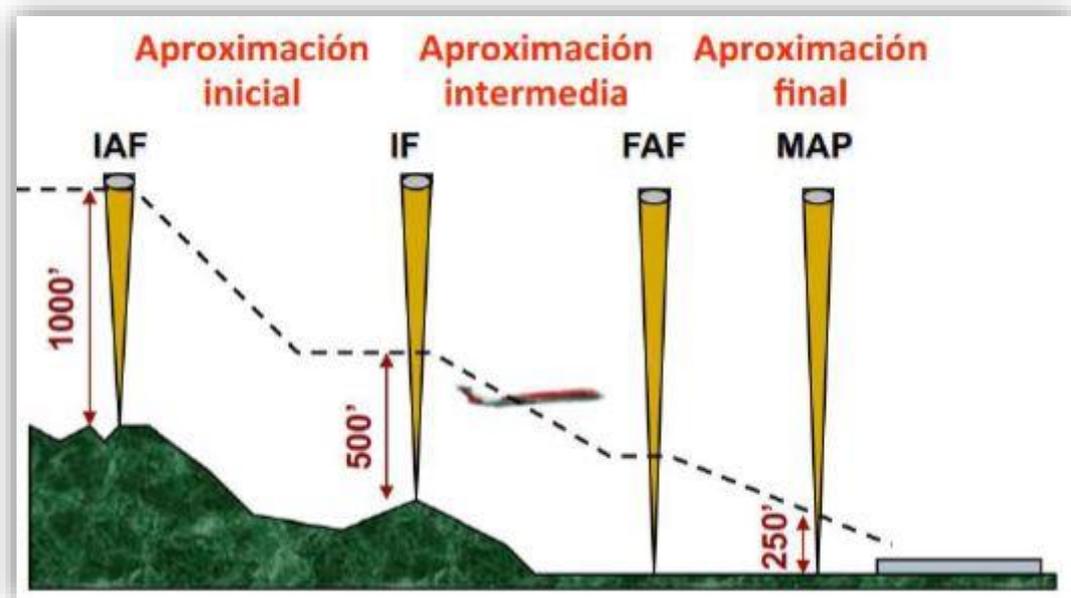


Ilustración 28: Fases de aproximación

A continuación, agrupan todas las cartas en cuatro divisiones:

- Cartas de Aeródromo. Proporcionan información exclusiva del aeródromo y son:

- Plano de aeródromo/helipuerto – OACI
  - Plano de aeródromo para movimientos en tierra – OACI
  - Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves – OACI
  - Plano de obstáculos de aeródromo – OACI
  - Carta topográfica para aproximaciones de precisión – OACI
- 
- Cartas visuales. Son aquellas necesarias para poder operar en condiciones visuales:
    - Carta 1:500.000.
    - Aproximación visual
  
  - Cartas instrumentales. Son aquellas en las que sólo se puede operar en condiciones instrumentales:
    - Carta de Radionavegación
    - Carta de área
    - Cartas de salida/llegada normalizada - vuelo por instrumentos – SID/STAR - OACI
    - Carta de aproximación por instrumentos – OACI
  
  - Otras cartas:
    - Carta para guía vectorial radar.

### 2.2.3.1. Cartas OACI obligatorias

De todas estas cartas OACI, son obligatorias las siguientes:

- Plano de obstáculos de aeródromo – OACI, Tipo A: para aquellos aeródromos donde hay obstáculos destacados en el área de la trayectoria de despegue. Este plano proporciona los datos necesarios para cumplir con las limitaciones de utilización de un aeródromo. La escala horizontal utilizada está comprendida entre 1:10 000 y 1:50 000. La escala vertical es diez veces la escala horizontal. Se incluyen en esta carta las distancias declaradas para cada sentido de la pista, el área de la trayectoria de despegue, los obstáculos en esta área, la declinación magnética, etc...
  
- Carta topográfica para aproximaciones de precisión - OACI: Esta carta facilita información sobre el perfil del terreno de determinada parte del área de

aproximación final correspondiente a las pistas en que se realizan aproximaciones de precisión CAT II y III. La escala horizontal es 1:2 500 ó 1:5 000 y la vertical 1:5000

- Carta de navegación en ruta – OACI: para todas las zonas donde se hayan establecido regiones de información de vuelo (FIR). Estas cartas están destinadas a las aeronaves que operan en IFR. El área representada en estas cartas corresponde a la totalidad del espacio aéreo asignado a España. Se publican cuatro cartas, dos para el espacio aéreo inferior y dos para el espacio aéreo superior. La escala utilizada es 1:2 000 000, a proyección Lambert conforme. En estas cartas aparecen representadas aerovías, radioayudas, aeródromos, zonas P, R D, puntos de notificación, FIR, TMA, AMA, distancias, rumbos magnéticos y demás información que pueda ser utilizada para una navegación IFR. Se publican en colores.
  
- Carta de aproximación por instrumentos – OACI: para aquellos aeródromos donde se hayan establecido procedimientos de aproximación instrumentales. Facilita la información necesaria para efectuar los procedimientos de aproximación instrumental a la pista de aterrizaje prevista, incluyendo los de aproximación frustrada y los de espera. Se confecciona para todos aquellos aeródromos en los que se establecen procedimientos de aproximación instrumental. Se publica una carta de aproximación para cada procedimiento, a escala entre 1:750 000 y 1:250 000. Además de los datos aeronáuticos necesarios para la navegación diinstrumental, la carta muestra los datos topográficos, indicando el relieve mediante cotas y curvas de nivel. Cuando la topografía excede en menos de 1000 ft a la elevación del AD, se representa únicamente mediante las cotas más destacadas. Se publican en colores.
  
- Plano de Aeródromo / Helipuerto- OACI: necesario para todos aquellos aeródromos/helipuertos regularmente utilizados por la aviación civil internacional. Este plano facilita la información necesaria para el movimiento de las aeronaves/helicópteros en tierra e información relativa a las operaciones de aeródromos / helipuertos. Se confecciona para todos los aeródromos / helipuertos gestionados por Aena. La escala que utiliza está entre 1:7 000 y 1:25 000 dependiendo de las dimensiones y área a representar. Los datos aeronáuticos suministrados en esta carta son especificados en el Anexo 4.

- Carta aeronáutica mundial – OACI, 1:1 000 000: publicada de acuerdo a lo indicado en el Apéndice 5 del Anexo 4. Esta carta facilitará información para satisfacer las necesidades de la navegación aérea visual y abarca la totalidad del espacio aéreo de cada país. En esta carta aparecen representados los espacios aéreos y zonas P, R, y D por debajo del nivel de vuelo 195, así como los datos topográficos y aeronáuticos necesarios para la planificación de un vuelo visual. Se publica en colores.

### 2.2.3.2. Cartas OACI condicionales

Ahora se van a especificar las cartas OACI condicionales, es decir, han de presentarse determinadas circunstancias para su publicación:

- Plano de obstáculos de aeródromo – OACI, Tipo C: necesario sólo si en el AIP no se publican los datos sobre obstáculos que requieren los explotadores para generar sus procedimientos. Este plano proporciona los datos necesarios para cumplir las limitaciones de utilización de un aeródromo. La escala horizontal utilizada está comprendida entre 1:10 000 y 1:50 000. La escala vertical es diez veces la escala horizontal. Se incluyen en esa carta las distancias declaradas para cada sentido de la pista, el área de la trayectoria de despegue, los obstáculos en esta área, la declinación magnética, etc...
- Carta de área – OACI: requerida si las rutas o los requisitos de notificación de posición son complicados y no pueden indicarse adecuadamente en la carta habitual para ello (Carta de navegación en ruta). Se publican varios tipos de cartas: rutas de llegada y rutas de salida. Estas cartas proporcionan información sobre los procedimientos a seguir por las aeronaves que operen en IFR en los TMA establecidos en el territorio español. Su fin es facilitar información para pasar de la fase de vuelo en ruta a la de aproximación, o de la fase de despegue a la fase en ruta. La escala es de 1:2 000 000, aunque puede variar según el área a cubrir. En estas cartas aparecen representados los aeródromos afectados por trayectorias terminales, así como el trazado de pistas, radioayudas, frecuencias de las radiocomunicaciones, puntos de notificación, distancias, circuitos de espera, rumbos magnéticos, zonas P, D, R, etc... Cuando la información a publicar es muy abundante, y su conclusión en una única carta pudiera crear confusión, los circuitos de espera se publican en una carta aparte.

- Carta de salida normalizada – vuelo por instrumentos – OACI: llamadas cartas SID, se publican cuando existe una salida normalizada de este tipo y no se pueda indicar con la claridad suficiente en la carta de área. Estas cartas están destinadas a las aeronaves que operan en IFR. Facilitan información sobre las rutas a seguir desde la fase de despegue hasta la fase de ruta. La escala es de 1:1 500 000 y 1:200 000. Incluyen información aeronáutica sobre radioayudas a la navegación, frecuencias de las radiocomunicaciones, rumbos, distancias, puntos de notificación de salida, altitudes mínimas de vuelo, zonas P, D, R, etc.
  
- Carta de llegada normalizada – vuelo por instrumentos – OACI: éstas son las cartas STAR y se publican cuando existe una llegada normalizada y no se pueda indicar con la claridad suficiente en la respectiva carta de área. Estas cartas están destinadas a las aeronaves que operan en IFR. Facilitan información sobre las rutas a seguir desde la fase de en ruta hasta la fase de aproximación. La escala es de 1:1 500 000 y 1:200 000. Incluyen información aeronáutica sobre radioayudas a la navegación, frecuencias de las radiocomunicaciones, rumbos, distancias, puntos de notificación de entrada, altitudes mínimas de vuelo, zonas P, D, R, etc.
  
- Carta de aproximación visual – OACI: necesaria para aquellos aeródromos en los que se cumple al menos una de las siguientes condiciones:
  - Sólo existen instalaciones y servicios de navegación limitados.
  - No existen servicios de radiocomunicaciones.
  - No existen cartas a la escala 1:500 000 del aeródromo y sus alrededores.
  - Se han establecido procedimientos de aproximación visual.

Carta destinada a las aeronaves que operan en VFR. Facilita la información necesaria para pasar de la fase de vuelo en ruta y descenso a la de aproximación a la pista de aterrizaje prevista. La escala es de 1:250 000 generalmente o a otra escala diferente cuando el área a representar lo requiere. En esta carta se representan las zonas de control y de tránsito de aeródromo del AD correspondiente, así como las radioayudas, frecuencias de las radiocomunicaciones, puntos de referencia visual y notificación, obstáculos destacados, procedimientos de entrada VFR, zonas P, D, R, esperas en fallo de comunicaciones, etc... Se incluyen otros datos como construcciones, carreteras, embalses, minas, ríos y todo cuanto sirva de referencia visual. El relieve se indica mediante cotas y curvas de nivel. No se indica el emplazamiento ni el tipo de sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación.

### 2.2.3.3. Cartas OACI opcionales

Por últimos, cabe hablar de las cartas OACI opcionales, de las cuales la OACI delega a las autoridades de cada país la decisión sobre su publicación si consideran que contribuirán a la seguridad, regularidad y eficiencia:

- Plano de obstáculos de aeródromo – OACI, Tipo B: se publica como ayuda para determinar las alturas críticas en algún procedimiento.
- Plano de aeródromo para movimientos en tierra – OACI: se publica sólo cuando en el Plano de Aeródromo / Helipuerto – OACI no puede indicarse con suficiente claridad los datos necesarios para el movimiento de aeronaves en las calles de rodaje. Este plano facilita información sobre el movimiento de aeronaves a lo largo de las calles de rodaje hacia y desde los puestos de estacionamiento y atraque. En él se indican los designadores de tramos de pista y rodadura. Escala entre 1:10 000 y 1:30 000 generalmente. Se confecciona para aquellos aeródromos cuyo volumen de información es tal que no se puede incluir en el plano de aeródromo – OACI. Los datos publicados están de acuerdo con las especificaciones del Anexo 4.
- Plano de estacionamiento y traque de aeronaves – OACI: publicado cuando, por la complejidad del terminal aéreo, no puede señalarse en el Plano de Aeródromo / Helipuerto – OACI ni el Plano de aeródromo para movimientos en tierra – OACI suficiente información con respecto al estacionamiento de las aeronaves. Este plano facilita información detallada para el movimiento de las aeronaves en tierra entre las calles de rodaje y puesto de estacionamiento y atraque de aeronaves. Escala 1:3 000 y 1:10 000 generalmente. En él se indican las plataformas, con sus puestos de estacionamiento, resistencia, iluminación, señales y demás ayudas para guía y control de las aeronaves. Se confecciona sólo para aquellos aeródromos cuyo volumen de información lo requiera.
- Carta aeronáutica – OACI 1:500 000: cuando los requisitos para la navegación visual indiquen que se puede sustituir o complementar a la carta aeronáutica mundial - OACI 1:1 000 000.
- Carta de navegación aeronáutica – escala pequeña: igual que la anterior.
- Carta de posición – OACI: son cartas útiles para mantener un registro continuo de la posición de una aeronave en vuelo sobre zonas oceánicas o escasamente pobladas.

#### 2.2.3.4. Otra cartografía de utilidad

- Carta de navegación de espacio aéreo superior-EUROCONTROL: publicada por la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea (Eurocontrol); suministra toda la información disponible sobre rutas ATS superiores, ayudas a la navegación, límites UIR, regiones de control, frecuencias, zonas peligrosas, restringidas y prohibidas, etc. requerida para la correcta planificación de un vuelo a través del espacio aéreo superior en la región EUR.
- Series de cartas publicadas por el DMA (Defense Mapping Agency): abarcan todas las áreas del mundo. Su información está orientada básicamente a las operaciones VFR. Incluyen información muy detallada del terreno en forma de curvas de nivel y cotas, así como todo tipo de referencias visuales e información aeronáutica necesaria.
- Carta de zonas prohibidas, restringidas y peligrosas: suministra información específica sobre dichas zonas, indicando claramente sus límites horizontales y verticales, el tipo de zona y su denominación.
- Carta visual 1: 500.000
- Carta de rutas migratorias de aves.
- Cartas de cobertura y guía vectorial radar.

### 2.3. Sistemas de Navegación Aérea

#### 2.3.1. Radionavegación de Corto Alcance

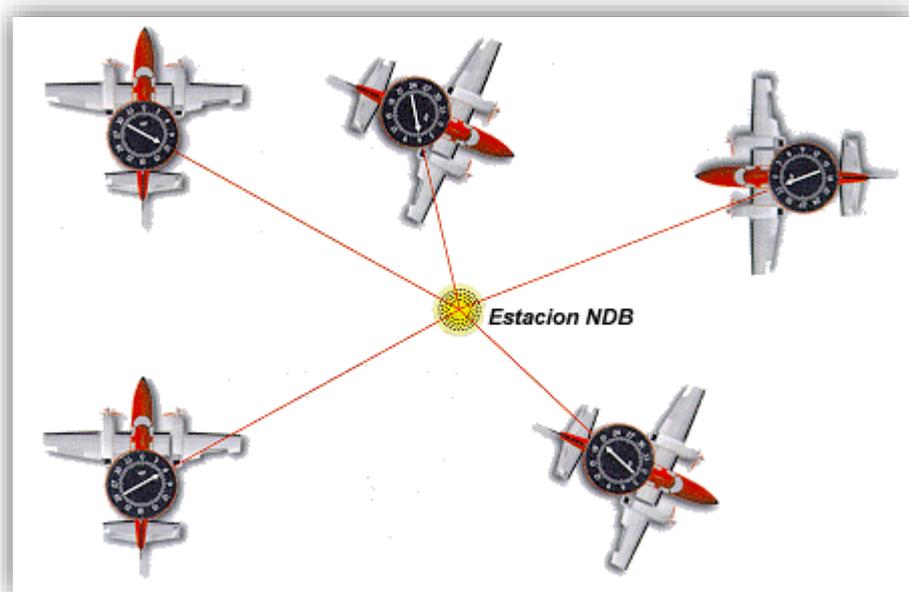
##### 2.3.1.1. ADF/NDB

El radiogoniómetro es un equipo embarcado capaz de detectar la dirección de la que proceden las señales de radio originadas en estaciones especiales para la navegación aérea (radiofaros no direccionales, NDB) o en emisoras de radiodifusión normales. Se considera a este equipo semi-autónomo, ya que puede basarse en equipos terrestres no especializados.

En el caso de que el radiogoniómetro sea automático, al conjunto se le llama ADF/NDB (“Automatic Direction Finder/Non Directional Beacon”). Si no es automático se le llama DF/NDB.

La emisora NDB (Non Directional Beacon) es una estación de radiodifusión en AM, y su señal es un código Morse de dos o tres letras (su identificativo). Las emisoras NDB están obsoletas, habiendo sido sustituidas en su mayor parte por el VOR. Con todo, son muy baratas de operar y al ser tan antiguas (se usan desde los años 30), están amortizadas, por lo que se mantienen como sistema de respaldo.

A bordo, el ADF se compone del receptor de radio AM y de un indicador de rumbo relativo (RBI, Relative Bearing Indicator).



**Ilustración 29: Respuesta de los ADF en diferentes posiciones respecto a la estación NDB**

### 2.3.1.2. VOR

El sistema VOR (“Very High Frequency Omnidrange” o RadioFaro Omnidireccional de VHF) es una radioayuda para la navegación en ruta de corto alcance (~200 mn). Fue desarrollado en EE.UU. y puesto por primera vez en servicio en 1949. El VOR determina el ángulo  $\theta$  entre la dirección que une la aeronave con la estación VOR y la dirección del Norte Magnético. Conocido el ángulo de VOR y la distancia a éste (por ej., mediante la radioayuda DME), es posible calcular la distancia lateral (o Cross Track Error, XTE) entre el avión y la aerovía.

Es la radioayuda más utilizada en la navegación continental, por existir muchas estaciones VOR distanciadas un máximo de 200 km, ya que la normativa OACI (Anexo 10) establece una cobertura óptima de VOR para estaciones distanciadas unos 200 km.

El VOR de Ruta o VOR-N marca la dirección de una aerovía. Cuando trabaja coordinado con un sistema DME, establece un vértice para una aerovía. Proporciona información de Navegación (azimut del radial que une la estación y la aeronave) y de Guiado (seguimiento del radial hacia o desde el VOR).

El VOR –T proporciona los mismos servicios en las rutas de aproximación al aeropuerto, aunque con mayor precisión angular (0.5° frente a los 2° típicos del VOR-N).

La señal del VOR es una señal de VHF compuesta por 4 señales moduladas en AM. Con un porcentaje de modulación del 30% se encuentran la señal variable y la señal de referencia. Además, tenemos la señal de identificación, con porcentaje de modulación del 20% y la señal de audio, con un 10% de porcentaje de modulación.

Si se trata de señal CVOR, la referencia es una señal de FM en la subportadora de 9.96 KHz y la variable es una señal de AM. Si se trata de DVOR ocurre lo contrario: la referencia es una señal de AM y la variable es una señal de FM en la subportadora de 9.96 KHz.

### 2.3.1.3. VOR/DME

El sistema de aerovías de un país se apoya actualmente en estaciones combinadas VOR-N/DME-N (N de navegación). Técnicamente la combinación se hace añadiendo una antena DME a la antena central del DVOR (o adjuntando una antena DME al grupo de antenas CVOR). Si el VOR proporciona una indicación de rumbo, el DME entrega una marcación de distancia hasta la estación, así como la velocidad y el tiempo estimado hasta el sobrevuelo de la estación. Con estos datos el piloto puede ubicarse con precisión y seguir el rumbo hacia el VOR/DME: esta trayectoria se denomina “volar sobre la aerovía”.

La sintonía de un canal VOR/DME se realiza captando la señal VHF del VOR. Existe una asignación fija del canal DME correspondiente a cada VOR de la carta de navegación por lo que es posible, en el receptor, automatizar la sintonía del DME: el piloto sólo tiene que sintonizar el canal VOR.



**Ilustración 30: Infraestructura de un VOR/DME**

#### 2.3.1.4. TACAN – VOR/TAC

El sistema TACAN (“Tactical Aid to Navigation”) es una radioayuda de navegación militar, aunque puede usarse por la navegación civil. Es compatible con el DME, por lo que puede usarse directamente por él.

El TACAN utiliza la polarización vertical y no es compatible por lo tanto por el VOR, aunque se puede instalar junto a un VOR para formar una estación conjunta VOR/TACAN (VORTAC), en cuya instalación se coloca la antena del TACAN sobre la del VOR.

De esta forma conjunta TACAN, DME y VOR, la estación puede usarse por los aviones equipados con TACAN (en general los militares) y los equipados con VOR/DME (civiles y militares).

En esencia el TACAN es un DME modulado en modulación espacial (con diagrama giratorio) para obtener la señal variable espacialmente del VOR, y cuya señal de referencia se emite en forma de impulsos codificados.

#### 2.3.1.5. DME

El DME (“Distance Measurement Equipment”) es un sistema de radar con respuesta activa (secundario), usado para medir la distancia entre el interrogador y un respondedor (transponder). Como uso secundario, el receptor DME también da una indicación de velocidad respecto al suelo (a partir de la tasa de cambio de la distancia medida) y de tiempo de vuelo hasta la estación transpondedora (a partir de la distancia oblicua y la

velocidad del avión). El interrogador es un equipo embarcado y el respondedor es la ayuda a la navegación en tierra. El alcance de un transpondedor DME típico coincide con la cobertura de un VOR, ~200 NM.

El receptor DME mide el tiempo de propagación de una señal de radio en banda L en su camino desde el interrogador a bordo de la aeronave hacia el transpondedor en tierra y vuelta al interrogador, es decir, mide la distancia usando la diferencia de tiempos entre transmisión y recepción.

La distancia medida es la distancia real R (o distancia oblicua) y no la distancia lateral D sobre el mapa.

La indicación del DME se utiliza para la navegación en ruta y para actualizar la medida de distancia del inercial (DME-N o DME de Navegación), así como para maniobras de aproximación y aterrizaje (DME-P o DME de Precisión). Generalmente se asocia el DME-N al VOR, formando así una estación combinada VOR/DME que da al avión la información de distancia a la estación y rumbo a la misma. Fue adoptado por la OACI en 1960 y es usado en todas las rutas de aerovías.

A cada frecuencia VOR le corresponde un canal DME determinado, por lo que el piloto sólo tiene que seleccionar una frecuencia VOR y el receptor DME, automáticamente seleccionará el canal DME asociado (modo de sintonía remota o RMT, Remote Tuning). El transpondedor DME de tierra se identifica a si mismo con una señal de identificación cada 30 segundos. La señal de identificación sirve para localizar en el mapa a cada estación transponedora DME.

En el receptor del interrogador de cada aeronave se realiza un proceso de defruiting para distinguir que los pulsos recibidos corresponden a la respuesta a su interrogación y no a la respuesta a la interrogación de otra aeronave cercana.

### 2.3.1.6. ILS

El ILS (Instrument Landing System, Sistema de aterrizaje por instrumentos) es un sistema de aproximación por instrumentos basado en haces de radiofrecuencia que proporciona posicionamiento en latitud, longitud y radial de precisión durante la fase de aproximación y aterrizaje.

En caso de aterrizaje en condiciones de visibilidad CAT III, también da guía a lo largo de la superficie de la pista. ILS sólo proporciona servicio en cada pista en que se encuentre instalado y no ofrece servicios de guiado para aeronaves en tierra haciendo taxi.

Al encontrarse el avión en un espacio tridimensional, necesita tres parámetros para definir su posición:

- En el plano horizontal, desplazamiento en acimut con respecto al eje de pista y su prolongación.
- En el plano vertical que pasa por el eje de pista, desplazamiento con respecto a la trayectoria de descenso establecida como segura por encontrarse por encima de todos los obstáculos.
- La distancia hasta el punto en que comienza la superficie de la pista que puede ser utilizada para el aterrizaje.

Para proporcionar esta información de forma continua al piloto, se utilizan dos sistemas radioeléctricos complementarios, el ILS y el DME-P, divididos cada uno en dos segmentos, los equipos de tierra instalados en el aeropuerto y los instrumentos de a bordo instalados en el avión.

El sistema ILS de tierra se divide en dos subsistemas, el Localizador y la Senda de Planeo:

- El Localizador (LOC) es una emisora que proporciona guía lateral mediante de dos haces de radio en VHF. Los dos haces definen un plano vertical que pasa por el eje de pista y su prolongación y proporciona la información de desplazamiento acimutal con respecto a ese plano. Las antenas del localizador se sitúan más allá del extremo de pista y dan información de guiado durante toda la maniobra de aproximación y aterrizaje e incluso durante el rodaje por la pista. El localizador además transmite en código Morse el indicativo de la estación.
- La Senda de Planeo (GP, Glide Path) define por medio de dos haces un plano inclinado que pasa de forma segura por encima de los obstáculos que pueda haber en la aproximación. Además la pendiente de este plano permite a las aeronaves realizar un descenso a 2.5°-3° de pendiente.

Las antenas de la senda de planeo se instalan próximas al umbral (THR: Threshold) a un lado de la pista y la información de guiado que proporcionan lleva a la aeronave hasta el punto de contacto con la pista.

El sistema DME de aterrizaje (DME-P o DME-Precision) proporciona a la aeronave de forma continua información de distancia hasta el umbral de la pista. Las antenas del DME-P se instalan próximas al umbral junto con las de la senda de planeo y su frecuencia se relaciona con la del localizador de modo único (para ahorrarse tener que sintonizarlo independientemente). La referencia de distancia cero se establece en el umbral.

Antiguamente la información de distancia se proporcionaba mediante una línea de radiobalizas a 75 MHz instaladas en puntos específicos e indicados en las cartas de aproximación. Los transpondedores DME de aterrizaje proporcionan estas ventajas:

- La información de distancia es continua, lo que mejora y facilita los procedimientos de aproximación.
- No requiere instalaciones en el exterior del aeropuerto, abaratando la instalación.

Con las tres informaciones de planos horizontal, vertical y distancia, el piloto es capaz de conocer su posición en el espacio y guiar instrumentalmente a la aeronave hasta la pista incluso en condiciones de baja visibilidad.

Si estas tres informaciones se introducen en el sistema del piloto automático, éste será capaz de guiar al avión de forma completamente automática y segura hasta la pista facilitando el trabajo del piloto durante esta crítica fase del vuelo.

En lo referente a la aproximación y el aterrizaje, las operaciones de baja visibilidad se dividen en categorías dependiendo de los mínimos meteorológicos y de los objetivos operacionales que se pretendan conseguir:

- Operación de Categoría I: Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión no inferior a 60 m y con una visibilidad no inferior a 800 m o un alcance visual en la pista (RVR: Runway Visual Range) no inferior a 550 m.
- Operación de Categoría II: Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos hasta una altura de decisión inferior a 60 m pero no inferior a 30 m y un RVR no inferior a 350 m.
- Operación de Categoría IIIA: Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 30 m, o sin altura de decisión; y con un RVR no inferior a 200 m.
- Operación de Categoría IIIB: Aproximación y aterrizaje de precisión por instrumentos: hasta una altura de decisión inferior a 15 m, o sin altura de decisión; y un RVR inferior a 200 m pero no inferior a 50 m.

- Operación de Categoría IIIC: Aproximación y aterrizaje por instrumentos sin limitaciones de altura de decisión ni de RVR.

Las antenas del ILS/MLS se sitúan al final de la pista (antenas del Localizador) y al inicio de ésta, en el lateral (antenas de la Senda de Planeo o Glide Slope). Si el aeropuerto mantiene las radiobalizas ILS, éstas se encuentran a lo largo del eje de la pista, en diferentes posiciones antes del inicio de ésta. En caso de que las radiobalizas estén suplementadas con un DME-P (Distance Measurement Equipment-Precision), éste se ubica adyacente a las antenas de Senda de Planeo. A lo largo del borde de la pista se sitúan tres transmisómetros. Un transmisómetro es un instrumento electroóptico para medir el grado de visibilidad y por tanto establecer la Categoría que corresponde en cada instante.



**Ilustración 31: Infraestructura de un ILS**

### 2.3.1.7. MLS

El Microwave Landing System, MLS, es un sistema de aterrizaje de precisión todo tiempo que emplea haces de radar para la guía del avión en su fase de aterrizaje. Originalmente (años 80) fue propuesto como sustituto del ILS. Se puede entender como la combinación de un DME-P para medir distancias radiales y de un radar biestático 3D, con emisores en tierra y receptor en el avión para marcar posición angular.

MLS proporciona guía de precisión no sólo en el área de aterrizaje (sobre 8 km hasta la cabecera de la pista) sino también en el área de aproximación terminal (sobre 40 km). Esta cualidad permite que las aeronaves se aproximen en rutas curvadas (en azimut y en elevación) hacia la cabecera de pista, aumentando la flexibilidad en la aproximación. MLS

permite operaciones en todas las categorías, incluido el enclavamiento con el piloto automático (aterrizaje automático en Cat III).

### 2.3.1.8. LAAS/GBAS

El Satellite Landing System, SLS (o LAAS/GBAS, Local Area Augmentation System/ Ground Based Augmentation System) será el sustituto del ILS, a mucho menor costo. En la aeronave no hay que añadir instrumento alguno porque vale el navegador GPS ya existente; en el aeropuerto la infraestructura se reduce a tres o más receptores GPS, un ordenador de cálculo de correcciones y una radio VHF para difundirlas. Además, presenta otras ventajas: un sólo sistema LAAS cubre todas las pistas, permite aproximaciones en rutas curvadas (como el MLS, con mayor cobertura aún) y proporciona servicios de navegación terrestre de precisión durante el taxi de las aeronaves. Al no estar basado en haces (como ILS/MLS) no tiene problemas con los multiecos provenientes de edificaciones cercanas.

El sistema IBLIS (Improved Beacon Landing System) consigue Cat III (aterrizaje automático, error de posicionamiento ~10 cm en la senda final de aterrizaje). Consiste en un DGPS aumentado con dos pequeñas radiobalizas en la senda de aproximación conocidas como pseudosatélites o pseudolites.

Un pseudolite es una emisora miniaturizada de corto alcance de señal GPS, perfectamente localizada en el suelo. La presencia de la señal del pseudolite está garantizada por los servicios aeroportuarios. Esa señal es recibida por el receptor DGPS (que ya ha eliminado los errores de ionosfera de la señal de GPS de los satélites) para eliminar el error de GDOP.

### 2.3.2. PBN

El sistema PBN (Performance Based Navigation) especifica que los resultados de la performance de los sistemas RNAV o RNP de las aeronaves se definen en función de la precisión, integridad, continuidad y funcionalidad necesarias para las operaciones de un espacio aéreo particular.

- **Precisión:** es una característica física intrínseca al sistema de navegación, y es la primera que se evalúa para certificarlo. Suele definirse como la diferencia entre la posición estimada y la posición real, y se expresa de forma estadística como un determinado percentil en la distribución (típica) de errores.

- Disponibilidad: probabilidad de que el sistema sea capaz de proporcionar la precisión requerida (con los correspondientes valores de integridad y continuidad) en la operación deseada. Suele expresarse como un porcentaje de tiempo, evaluado sobre largos periodos (p.ej.: 1 año), en el que el servicio se encuentra disponible al tener en cuenta tanto las interrupciones planeadas como las no planeadas.
- Integridad: medida de la confianza puesta en la validez de la información (p.ej.: precisión de navegación), proporcionada por el sistema total (incluyendo la función de navegación y guiado - p.ej.: autopiloto). La integridad comprende la habilidad de un sistema supervisor para proporcionar a tiempo alertas que adviertan cuándo el sistema no debe ser utilizado para la operación deseada (p.ej.: la precisión que proporciona excede un determinado nivel denominado Límite de Alarma). En este contexto, el tiempo de alerta viene definido como el máximo periodo de tiempo transcurrido entre la ocurrencia de un fallo (p.ej.: un parámetro fuera de tolerancias) y la notificación al usuario de que dicho fallo ha ocurrido.
- Continuidad: capacidad del sistema para realizar su función (p.ej.: proporcionar la precisión demandada con la requerida integridad), en ausencia de interrupciones no programadas. En términos RNP, la continuidad no es más que un tiempo medio entre interrupciones no programadas de disponibilidad.

Las especificaciones para la navegación son un conjunto de requisitos relativos a la aeronave y tripulación de vuelo, y definen el rendimiento requerido del sistema RNAV o RNP, así como todos los requisitos funcionales.

- RNAV (Area Navigation): No incluye el requisito de vigilancia y alerta del rendimiento a bordo. Las aeronaves pueden elegir cualquier ruta dentro de una red de balizas de navegación, siendo independientes de su posición. Para referirse a este sistema: RNAV seguido del nivel de precisión lateral durante el 95% del tiempo de vuelo (en NM). RNAV puede ser 2D, 3D y 4D, que añade el tiempo a RNAV 3D.
- RNP (Required Navigation Performance): Incluye el requisito de vigilancia y alerta del rendimiento a bordo. Para referirse a este sistema: RNP seguido del grado de precisión lateral durante el 95% del tiempo de vuelo e integridad requerida (en NM).

Tras la decimoprimer Conferencia de Navegación Aérea de 2004, RNP fue sustituido por el concepto PBN. Los beneficios de la navegación basada en requerimientos son:

- Reduce la necesidad de mantener rutas y procedimientos en función de sensores específicos, y los costos conexos.
- Evita tener que desarrollar operaciones en función de los sensores cada vez que evolucionan los sistemas de navegación, reduciendo un costo prohibitivo.
- Uso más eficiente del espacio aéreo (rutas, ahorro de combustible y reducción de ruido).
- Aclara la forma en que se usan los sistemas RNAV y RNP.
- Facilita el proceso de aprobación operacional de los explotadores proporcionando un conjunto limitado de especificaciones para la navegación previstas para uso mundial.

### 2.3.3. SESAR

SESAR (Single European Sky ATM Research) es un proyecto conjunto de la comunidad de transporte aéreo europea emprendido con el fin de implantar de una red ATM en Europa de altas prestaciones para 2020. El proyecto nació de la necesidad de crear una visión integrada y común sobre la evolución del sistema de gestión del tránsito aéreo, para así acomodar el incremento de demanda previsto para los próximos años mediante la implantación de nuevos procedimientos. Consta de las siguientes 3 fases:

- Fase de Definición: (2006 – 2008) Su objetivo principal es la elaboración de un Plan Maestro Europeo de Gestión del Tráfico Aéreo. Fue ejecutada a manos de un consorcio contratado por EUROCONTROL en el que estaban representadas las empresas y organizaciones de mayor relevancia dentro del sector de transporte aéreo europeo. Dichas empresas y organizaciones incluyen aerolíneas, fabricantes, aeropuertos y proveedores de servicios de Navegación Aérea.
- Fase de Desarrollo: (2009 – 2016) Esta fase se comprende la ejecución de las tareas de investigación, desarrollo y validación recogidas en el Plan Maestro ATM. Estas actividades se financian a través de la Empresa Común SESAR (SJU), responsable final del mantenimiento del Plan Maestro ATM y del desarrollo del futuro sistema ATM europeo.

En la SJU, además de los socios fundadores (CE y EUROCONTROL), están representados los principales actores del ATM europeo: proveedores de servicios de Navegación Aérea, miembros de la industria fabricante del sector, industrias y aeropuertos, siendo el área de operaciones aeroportuarias liderado por ENAIRE.

- Fase de Despliegue: (2014 – 2020) Esta fase engloba el despliegue de las actividades incluidas en el IDP (Interim Deployment Programme). La acción tiene como objetivo producir actividades de despliegue coordinado con la participación de los principales proveedores de servicio de Europa, dirigidas a la mejora de los beneficios de rendimiento de la red y de los usuarios finales. Con respecto a la implantación global del IDEP, el proyecto quiere fomentar la ejecución de cinco de las siete áreas de actividad incluidas en el IDP:
  - Área de actividad 2: Mejoras de la gestión del espacio aéreo e intercambio de datos.
  - Área de actividad 3: CDM en aeropuertos.
  - Área de actividad 4: Enlace de datos aire-tierra.
  - Área de actividad 5: Asistencia automatizada a los controladores para una coordinación, transferencia y diálogo sin discontinuidades.
  - Área de actividad 6: Aproximaciones RNP.

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

## 2.3.4. NextGEN

NextGEN es el proyecto análogo a SESAR en EEUU llevado a cabo por la FAA (Federal Aviation Administration). Su objetivo es la unificación del cielo americano, de la misma forma que el de SESAR es la unificación del cielo europeo. En 2011 entró en vigor el acuerdo que permitirá la interoperabilidad entre NextGEN y SESAR.

Entre los beneficios que respaldan este proyecto están el de ahorro de combustible, la reducción de tripulación y costes de mantenimiento, vuelos adicionales, mayor eficiencia de la FAA, mayor seguridad, reducción de los tiempos de vuelo a través de rutas de vuelo más directas, y disminución en las emisiones de dióxido de carbono. Beneficios que se traducen en 160.6 billones de dólares para 2030.

## 2.3.5. GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Los orígenes del GNSS se sitúan los años 70 con el desarrollo del sistema militar estadounidense GPS (Global Positioning System), destinado al guiado de misiles, localización de objetivos y tropas etc. A través de una red de satélites, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares.

Hoy en día, y gracias a que en el año 2000 EEUU eliminó la disponibilidad selectiva de su sistema GPS, este tipo de sistemas están presentes en la vida cotidiana, y en sectores como, principalmente, la aviación, cartografía, coordinación horaria, e incluso en la agricultura. Sin hablar de que el GPS forma parte de la vida de cualquier persona con un teléfono móvil, sin ir más lejos.

Los sistemas de referencia utilizados por los sistemas GNSS son inerciales, siendo el WGS84 (World Geodetic System 1984) el más extendido. Aunque en España es el ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), es compatible con el WGS84.

Los sistemas GNSS se componen por tres segmentos:

- Segmento espacial: se refiere a la constelación de satélites. Debe haber, al menos, cinco satélites visibles por el receptor para que se pueda calcular la posición del usuario en cada momento, obteniendo así las tres incógnitas de posicionamiento más el tiempo. La distribución de los satélites en el espacio está estructurada en varios planos orbitales con varios satélites en cada uno. En total, se necesitan unos 21-30 satélites.
- Segmento terrestre: se refiere al segmento de control, que monitoriza, actualiza, y corrige su posición y parámetros, comprobando así que todos los satélites funcionan correctamente. Está formado por estaciones que calculan continuamente su posición y la envían a los centros de control.
- Segmento usuario: se refiere a cualquier receptor que pueda captar señal GNSS. Está formado por una antena receptora GNSS y un receptor con un reloj estable que calcula los pseudorángos y resuelve las ecuaciones de navegación para la obtención de coordenadas.

### 2.3.5.1. Sistemas de aumentación. SBAS

Los sistemas de aumentación están diseñados para obtener mejores prestaciones en los sistemas globales de navegación por satélite, principalmente mayor precisión en las medidas. Se emplean dispositivos de los que se conoce la posición con gran precisión, y así es posible calcular la diferencia entre la medida real y la observada, aplicando ese error para obtener precisión en medidas de interés. Además, se utilizan las correcciones de las medidas de pseudorange de los satélites.

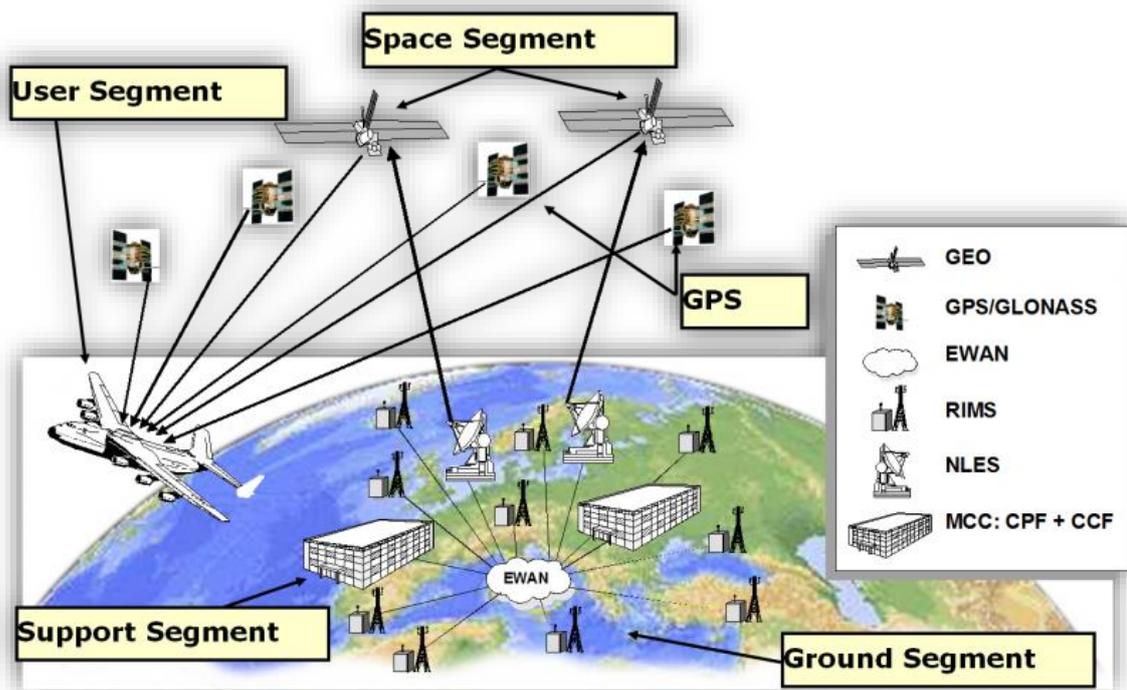
Los sistemas de aumentación desarrollados hasta la actualidad son tres.

- **ABAS:** (Aircraft Based Augmentation System) este sistema tiene todo el equipamiento necesario para la aumentación a bordo de la aeronave. Proporciona la integridad necesaria con los equipos RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), y esto permite detectar fallos en la integridad de algún satélite observable. Por otro lado, el equipo FDE (Fault Detection and Exclusion) excluye las medidas defectuosas de los cálculos. Este sistema de aumentación se utiliza en las fases de salida, en ruta y llegada.
- **GBAS:** (Ground Based Augmentation System) en este caso las correcciones son emitidas desde un conjunto de estaciones situadas en tierra. Este sistema se desarrolló para la aviación, ofreciendo precisiones muy altas, pero no tiene un alcance muy alto, no supera unos pocos kilómetros alrededor de la infraestructura. Se utiliza para aquellas aproximaciones que son de precisión, taxi y salidas.
- **SBAS:** (Satellite Based Augmentation System) que vamos a ver en más detalle a continuación. Este último sistema transmite correcciones mediante satélites, y es el que no es de mayor interés en este proyecto. Se utiliza en todas las fases de vuelo, incluso en aproximaciones con guiado vertical LPV-200. Es el sistema de aumentación más extendido para la aviación civil, y es necesario para cumplir los requisitos impuestos por la OACI para la navegación por satélite.

La base del funcionamiento de los sistemas SBAS está en la transmisión de correcciones diferenciales para mejorar la señal por satélites geoestacionarios. A éstos les llega la información por estaciones que calculan de manera continua estas correcciones.

Al igual que los sistemas GNSS, un SBAS está formado por tres segmentos:

- Segmento espacial: es el conjunto de satélites geoestacionarios que envían la señal aumentada a los receptores de señal GNSS en la misma frecuencia que la señal convencional de GNSS.
- Segmento tierra: está constituido por numerosas estaciones de referencia que reciben y monitorizan la señal GNSS, para enviar posteriormente las observaciones a una estación donde se calculan las correcciones y se genera el mensaje SBAS, que se envía a las estaciones Uplink Station, que a su vez envían este mensaje a los satélites.
- Segmento usuario: se trata de cualquier receptor SBAS que reciba los datos corregidos para un posicionamiento más preciso.



**Ilustración 32: Arquitectura SBAS**

En la actualidad, existen cuatro sistemas SBAS diferentes, cada uno de los cuales cubre determinadas áreas geográficas.

### 2.3.5.1.1. EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) es el sistema SBAS europeo, desarrollado por la Unión Europea, la ESA (European Space Agency) y EUROCONTROL. Su arquitectura es la de todos los sistemas SBAS, aunque con algunas particularidades que vamos a ver a continuación:

- Segmento espacial: como se ha explicado anteriormente, este segmento está compuesto por la constelación de satélites geostacionarios, y tiene el objetivo de transmitir las correcciones calculadas al área de Europa. La constelación está formada por dos satélites operativos, uno en pruebas y otro en fase de retirada, siendo cada uno de ellos identificado por su PRN (Pseudo Random Noise), que es único para cada satélite. A continuación, vemos información más detallada acerca de cada uno de ellos:
  - PRN 120: Inmarsat-3 AOR-E (Atlantic Ocean Region East) es uno de los satélites completamente operativos.
  - PRN 136: Astra SES (Sirius-5) es el segundo de los satélites completamente operativo.
  - PRN 126: Inmarsat-4 F2 EMEA (Europe Middle East Africa) está fase de pruebas.
  - PRN 124: Artemis está en fase de retirada.
- Segmento tierra: es el más complejo del sistema EGNOS, pero permite crear y enviar el mensaje SBAS de EGNOS. Está formado por cuatro tipos distintos de infraestructuras:
  - RIMS: (Ranging Monitoring Stations) son las encargadas de monitorizar las señales recibidas de las constelaciones GNSS (GPS, GLONASS y próximamente Galileo) en antenas de las que se conoce su posición con gran exactitud y enviar esta información a los MCC.

Hay dos tipos de RIMS: RIMS A, que recogen los datos y generan una corrección, y las RIMS B, que recogen datos y comprueban dicha corrección.

Las RIMS están situadas a lo largo de todo el continente europeo, en Canadá y Sudáfrica.

- MCC: (Mission Control Centres) son los centros de control. Existen cuatro, localizados en Madrid, Londres, Roma y Frankfurt. Su misión es realizar los cálculos necesarios a partir de los datos obtenidos por las RIMS. Dentro de los MCC existen dos tipos de módulos: el CPE (Central Processing Facility) destinado a elaborar las correcciones y estimar los errores en el mensaje, y el CCF (Central Control Facility), encargado de supervisar el sistema y guardar los datos generados.
  
- NLES: (Navigation Land Earth Stations) son las estaciones encargadas de enviar los mensajes de navegación a los satélites geoestacionarios. Existen dos de ellas por cada satélite geoestacionario operativo de EGNOS, estando situadas dos en Goonhilly (Reino Unido) y una en Aussaguel (Francia), Fucino y Scanzano (Italia) y Torrejón (España).
  
- PACF/ASQF: (Performance Assessment and Check-out Facility/Application Specific Qualification Facility) son infraestructuras de apoyo diseñadas para operaciones de mantenimiento y verificación. Hay dos, una de ellas en Madrid y la otra en Toulouse.
  
- Segmento usuario: está constituido por cualquier equipo equipado con un receptor capaz de captar la señal de EGNOS. Por otro lado, a través de EGNOS Data Access Service (EDAS) también se puede acceder a los datos proporcionados por EGNOS.

### 2.3.5.1.2. WAAS

El sistema WAAS (Wide Area Augmentation System) es el sistema de aumentación por satélite estadounidense. El programa comenzó su desarrollo en 1992 por la FAA (Federal Aviation Agency) y está especialmente diseñado para la navegación aérea. El sistema fue declarado completamente operacional en 2003.

Su estructura y objetivos de ofrecer precisión, integridad, continuidad y disponibilidad son la referencia para el resto de sistemas SBAS presentes en el mundo. Actualmente, WAAS cumple con los requisitos en los siguientes procedimientos de vuelo:

- LNAV/VNAV (Lateral Navigation/Vertical Navigation)
- LP (Localizer Performance)
- LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance)
- LPV-200 (Localizer Performance with Vertical Guidance para CAT I de precisión).

### 2.3.5.1.3. MSAS

El MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) es el sistema SBAS japonés, que utiliza los satélites de navegación japoneses para obtener las correcciones y dispone de las estaciones en tierra para generar el mensaje SBAS y de dos satélites geoestacionarios para enviar las correcciones al usuario. Está operativo desde 2007 y permite la interoperabilidad con el resto de sistemas SBAS.

### 2.3.5.1.4. GAGAN

GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) es el sistema de SBAS de la India, y es operativo desde principios del año pasado. También permite la interoperabilidad con el resto de sistemas SBAS, y posee tres satélites geoestacionarios para enviar los mensajes SBAS.

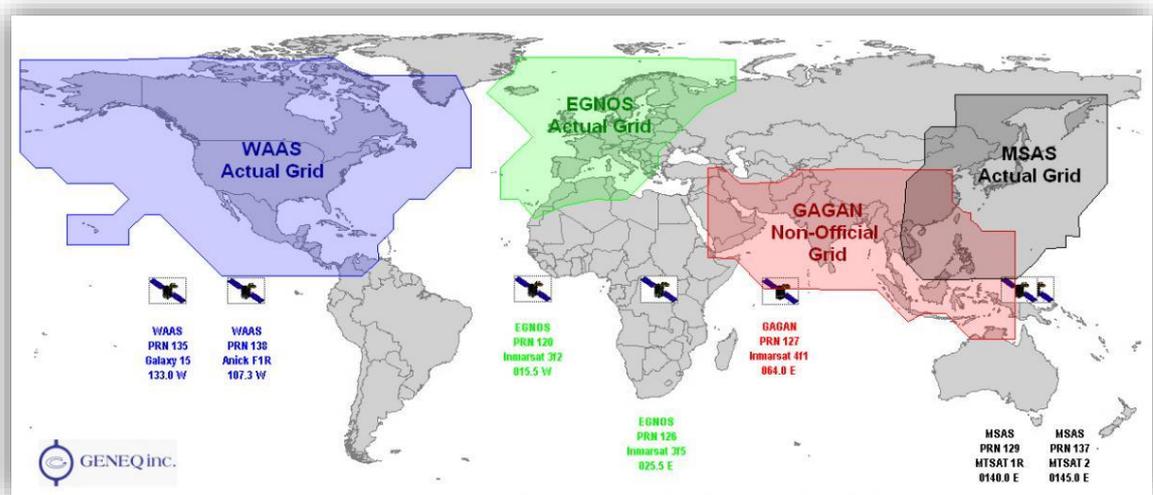


Ilustración 33: Cobertura de los distintos sistemas SBAS

### 2.3.5.2. GPS

Este sistema empezó a desarrollarse a principios de los años 70 en EEUU, siendo completamente operativo a partir del año 1995, aunque, como se menciona anteriormente, no fue hasta la eliminación de la disponibilidad selectiva en 2000 que el GPS se extendió a mayor cantidad de sectores y aplicaciones hasta ser el elemento indispensable que es hoy.

La disponibilidad selectiva se refiere al concepto "Selective Availability" (SA), que consiste en que la señal se distribuye en dos tipos de código y en dos bandas de frecuencia:

- C/A: (Coarse Acquisition) para uso civil, la señal se transmite por la banda de frecuencia L1, y tiene una precisión considerablemente limitada.
- P(Y): para uso estrictamente militar, la señal se transmite tanto por L1 como L2, consiguiendo una precisión mucho mejor.

Actualmente, el sistema GPS sigue mejorando sus prestaciones, y está siendo necesario utilizar una nueva frecuencia L5. Así, las nuevas señales civiles son L1C, L2C y L5, mientras que las militares son L1M y L2M.

### 2.3.5.3. Galileo

Europa, por su lado, tiene un sistema GNSS propio e independiente, aunque compatible con GPS y GLONASS, financiado por la Unión Europea. Todavía no es plenamente operacional, pero está previsto que lo sea en pocos años.

Galileo, por su parte, va a operar en cuatro frecuencias diferentes: E5a, E5b, E6 y E1, y va a dar servicio a distintos sectores de manera diferenciada:

- OS: (Open Service) será el servicio público y gratuito, con una precisión de aproximadamente un metro.
- CS: (Commercial Service) será un servicio encriptado de pago destinado a empresas que deseen un mejor rendimiento y precisiones centimétricas.

- PRS: (Public Regulated Service) estará disponible para aplicaciones gubernamentales (infraestructuras estratégicas energéticas, de telecomunicaciones o finanzas, y seguridad nacional), por lo que estarán también encriptadas.
- SAR: (Search and Rescue Service) estará destinado la búsqueda y rescate de personas, detectando señales de emergencia y enviando ayuda.
- SOL: (Safety of Life Service) será el servicio que más provecho puede proporcionar a la aviación, ya que mejora considerablemente el rendimiento del OS y permite cumplir los requisitos de precisión exigidos por este sector.

#### 2.3.5.4. GLONASS

El sistema GLONASS es la variante soviética del GPS, con su propia constelación de satélites. Se empezó a desarrollar en 1983, siendo operacional a partir de 1993, y aunque durante años decayó su infraestructura y operatividad por falta de financiación, en los últimos años se ha retomado su desarrollo, con toda una nueva generación de satélites para lanzar.

Este sistema tiene también bandas de frecuencia y códigos diferentes para uso civil y militar:

- SPS: (Standard Positioning Service) para uso civil transmite las señales por G1 y G2.
- PPS: (Precise Positioning Service) para uso militar y usuarios autorizados, utilizando dos señales distintas, aunque en las mismas frecuencias G1 y G2.

#### 2.3.5.5. Beidou

Éste es el sistema de navegación por satélite chino, que todavía no está operacional, pero prevé estarlo en pocos años, en 2020, año antes del cual deben lanzar los satélites restantes a su constelación.

Está previsto que Beidou sea compatible con los demás sistemas GNSS, y constará de un sistema público gratuito para cualquier usuario y otro más preciso para usuarios autorizados, como acostumbran a tener todos los sistemas GNSS.

### 2.3.5.6. QZSS y IRNSS / NAVIC

Agrupamos estos dos sistemas de navegación por satélite porque, a diferencia de todos los anteriormente mencionados, no son globales:

- QZSS es un sistema de origen japonés, y se trata de un sistema regional, que da cobertura al este de Asia y Oceanía. Está formado por solamente tres satélites en órbitas elípticas, de forma que siempre haya uno de ellos encima de Japón, reforzando la cobertura de esa región. Está previsto que el número de satélites aumente hasta siete.
- IRNSS es un sistema de origen indio y regional, cubriendo un área de aproximadamente 1500 km alrededor de la India. Posee siete satélites, y el proceso de lanzamiento se ha completado este año, por lo que ya es operativo, y recientemente conocido por el nombre NAVIC en vez de IRNSS. Como todos los demás, este servicio proporciona un servicio público gratuito y otro más preciso para usuarios autorizados.

### 2.3.6. Aeropuertos con SBAS en Europa

Los sistemas GNSS aportan grandes beneficios operacionales en la aviación civil:

- Cobertura mundial y posibilidad de operar en todo el planeta utilizando un solo equipo receptor.
- Mayor eficiencia en la utilización del espacio aéreo y de los aeropuertos.
- Mejoras de la seguridad operacional y la accesibilidad a los aeródromos.
- Reducción del impacto medioambiental.
- Posibilidad de racionalizar la infraestructura de radioayudas convencionales (reducción de costes, mayor eficiencia económica).

- Incremento de la capacidad y mejora de la previsibilidad.
- Mejora de las posibilidades para aeropuertos no equipados.

Por ello, desde hace unos años y cada vez más, los aeropuertos europeos habilitan sistemas GNSS. Los primeros en dar el paso fueron los alemanes en 2009, con ocho aeropuertos con navegación por satélite operacionales, y siguieron siendo los únicos hasta 2011, cuando, curiosamente, introdujeron el sistema GNSS en el aeropuerto de Aldernay, una de las Islas del Canal (con una dependencia de la corona británica). Fueron seguidos de Francia y Suiza al principio, y multitud de países después.

El servicio online de EGNOS User Support proporciona información detallada respecto a cuáles son estos aeropuertos. A continuación, se van a representar en un mapa todos los aeropuertos y helipuertos operacionales que tienen incorporado el sistema GNSS, con procedimientos LPV, es decir, aproximación con prestaciones de localizador y guiado vertical.

Según los mínimos de operación que se pueden alcanzar, el inferior es el SBAS de categoría I, equivalente a la categoría I de ILS; luego vendría el LPV, o aproximación con prestaciones de localizador y guiado vertical; a continuación, vendría el LNAV/VNAV, o navegación lateral con navegación vertical; y por último el LNAV, o mínimo correspondiente a sólo navegación lateral. Existe también un mínimo denominado LP, o de prestaciones de localizador, es decir con guiado 2D.

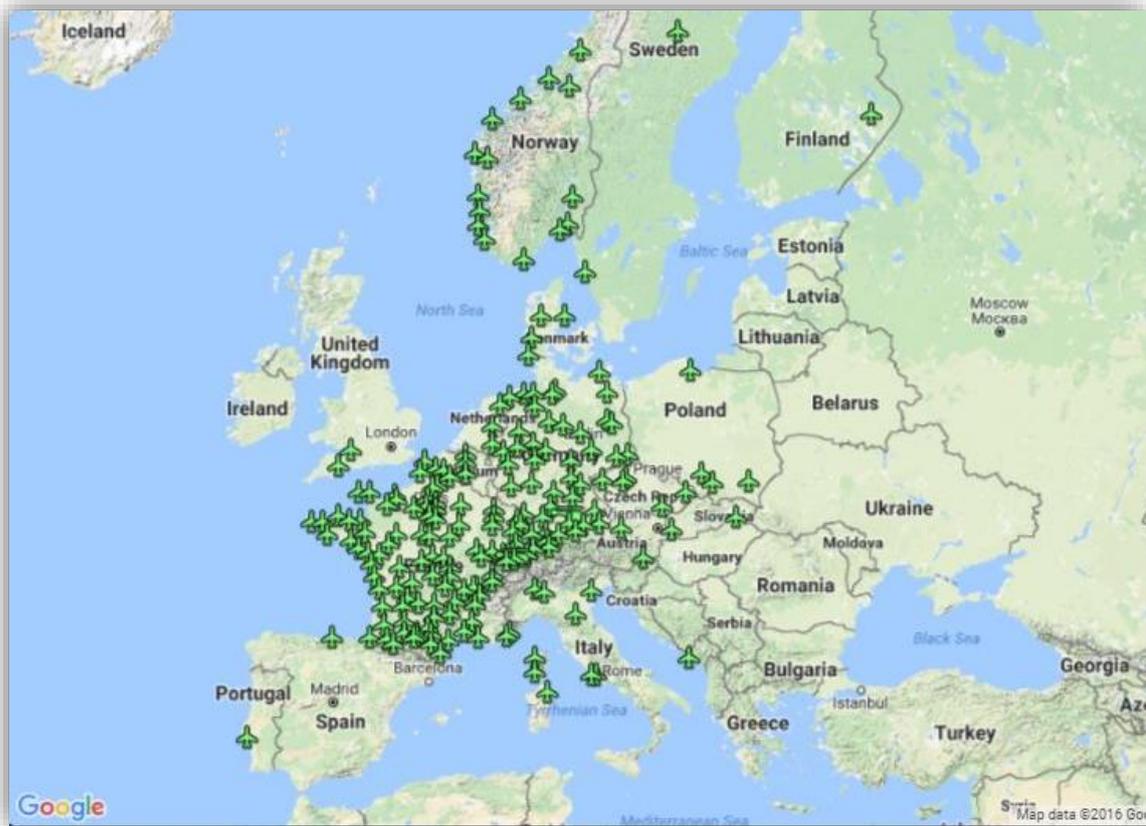


Ilustración 34: Aeropuertos operacionales con sistema GNSS

Como se puede observar, la mayor concentración de aeropuertos operacionales con sistema GNSS están en Alemania y Francia. Analizando más detalladamente, se ha encontrado la siguiente distribución:

País	Número de aeropuertos con sistema GNSS operacional
Alemania	44
Austria	2
Bélgica	1
Croacia	1
Dinamarca	3
Eslovaquia	2
España	1
Finlandia	1
Francia	85

País	Número de aeropuertos con sistema GNSS operacional
Italia	8
Noruega	9
Países bajos	2
Polonia	2
Portugal	1
República Checa	5
Suecia	2
Suiza	8
UK	3

Ilustración 35: Número de aeropuertos con GNSS operacional en Europa

Sin embargo, son muchos más los que planean implantar la navegación por satélite en sus aeropuertos. España, por ejemplo, que de momento solo cuenta con este sistema en el aeropuerto de Santander, tiene previsto implantarlo en 32 aeropuertos más.

La siguiente figura muestra la evolución prevista de la infraestructura de navegación incluyendo los sistemas convencionales y los basados en satélite en España. Además, se muestran las capacidades previstas en el ámbito de PBN y de las aproximaciones de precisión en los próximos años, en que se corresponde bloque 0 hasta 2018, bloque 1 hasta 2023, bloque 2 hasta 2028 y bloque 3 a partir de 2028.

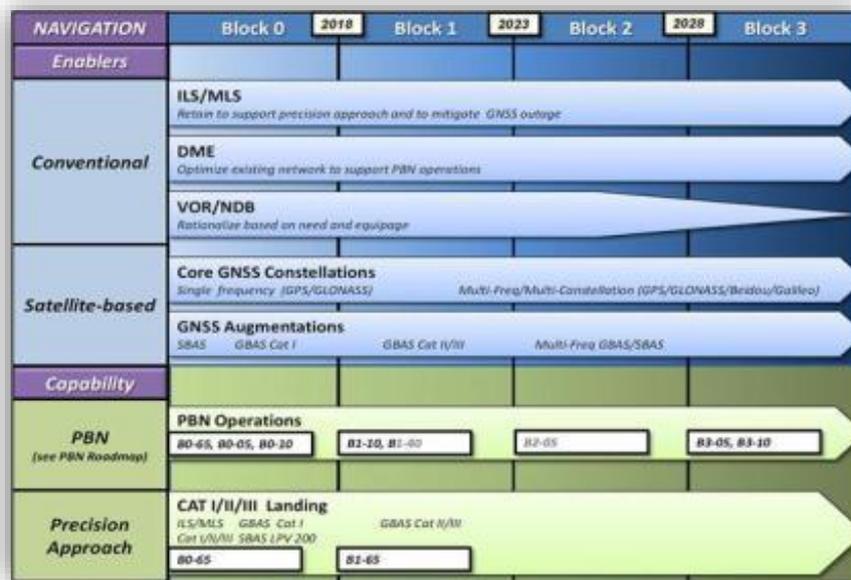


Ilustración 36: Evolución de la infraestructura de navegación en España

Como se puede observar, de los sistemas de navegación convencionales, se prevé que a partir de aproximadamente 2025 la utilización de sistemas VOR/NDB va a disminuir hasta desaparecer. En cambio, los sistemas basados en satélites van a estar cada vez más presentes, como avcina la cantidad de proyectos al respecto que hay en desarrollo.

A continuación, se van a representar todos aquellos aeropuertos que planean implantar la navegación por satélite:



**Ilustración 37: Aeropuertos planeados con sistema GNSS**

Así pues, en un futuro cercano, se prevé la utilización de sistemas GNSS para la navegación aérea en prácticamente todos los aeropuertos europeos y del mundo. A continuación, se representa el conjunto de aeropuertos con GNSS operacionales y planeados:

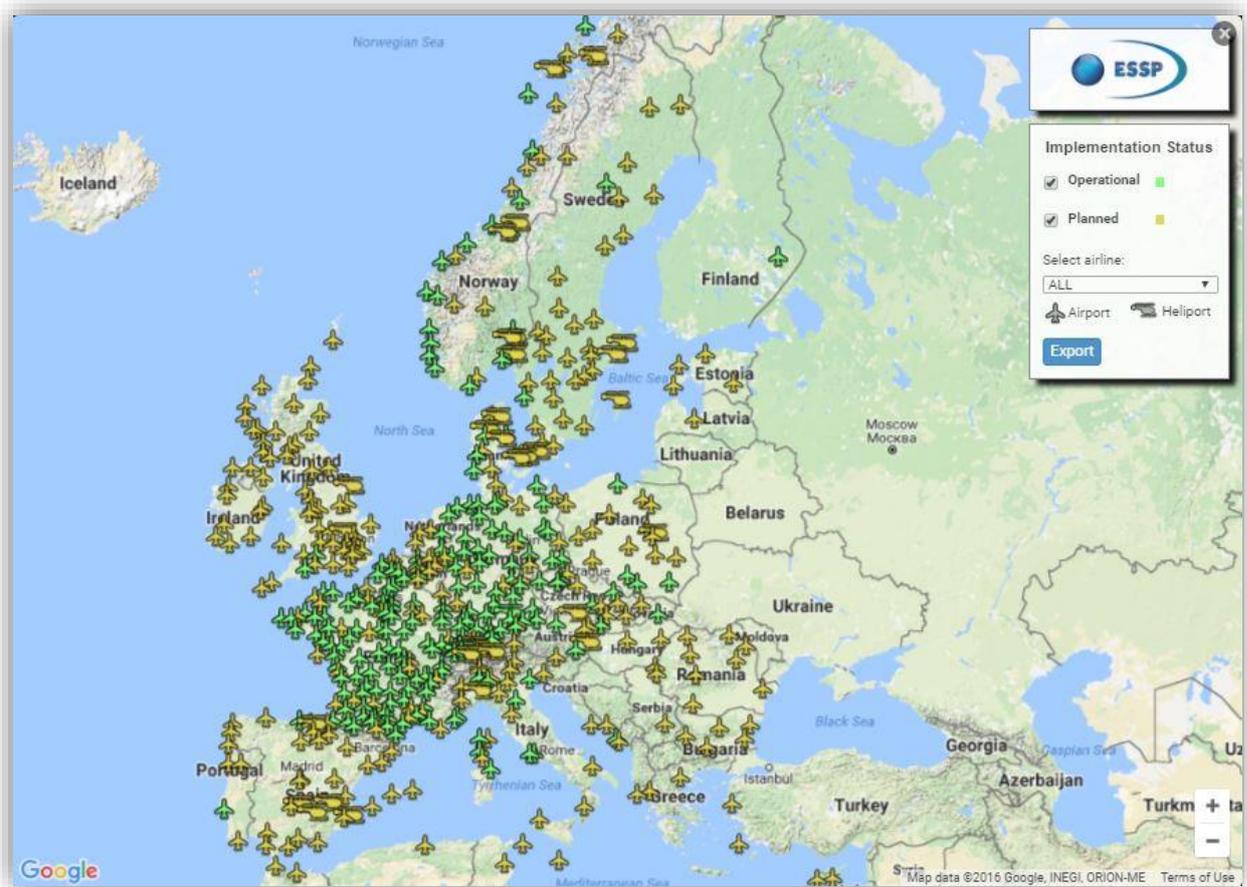


Ilustración 38: Aeropuertos operacionales y planeados con sistema GNSS

### 2.3.7. Comparación cartas convencionales vs. GNSS

En este apartado del proyecto se ha hecho un recopilatorio de las cartas aeronáuticas de aproximación por RNAV (GNSS) e ILS de ciudades de siete países europeos. A saber: Düsseldorf (Alemania), Antwerpen (Bélgica), Roma / Ciampino (Italia), Gardermoen (Noruega), París – Le Bourget (Francia), Bristol (Reino Unido) y Santander (España).

Posteriormente, se realizará una comparación entre cartas RNAV (GNSS) y convencionales de estos aeródromos.

En el caso de Düsseldorf, se han encontrado cartas RNAV (GPS) de aproximación, pero este tipo de navegación se usa también para la fase de despegue, y como transición a la Aproximación final.

## 2.3.7.1. Aeropuerto de Düsseldorf, Alemania

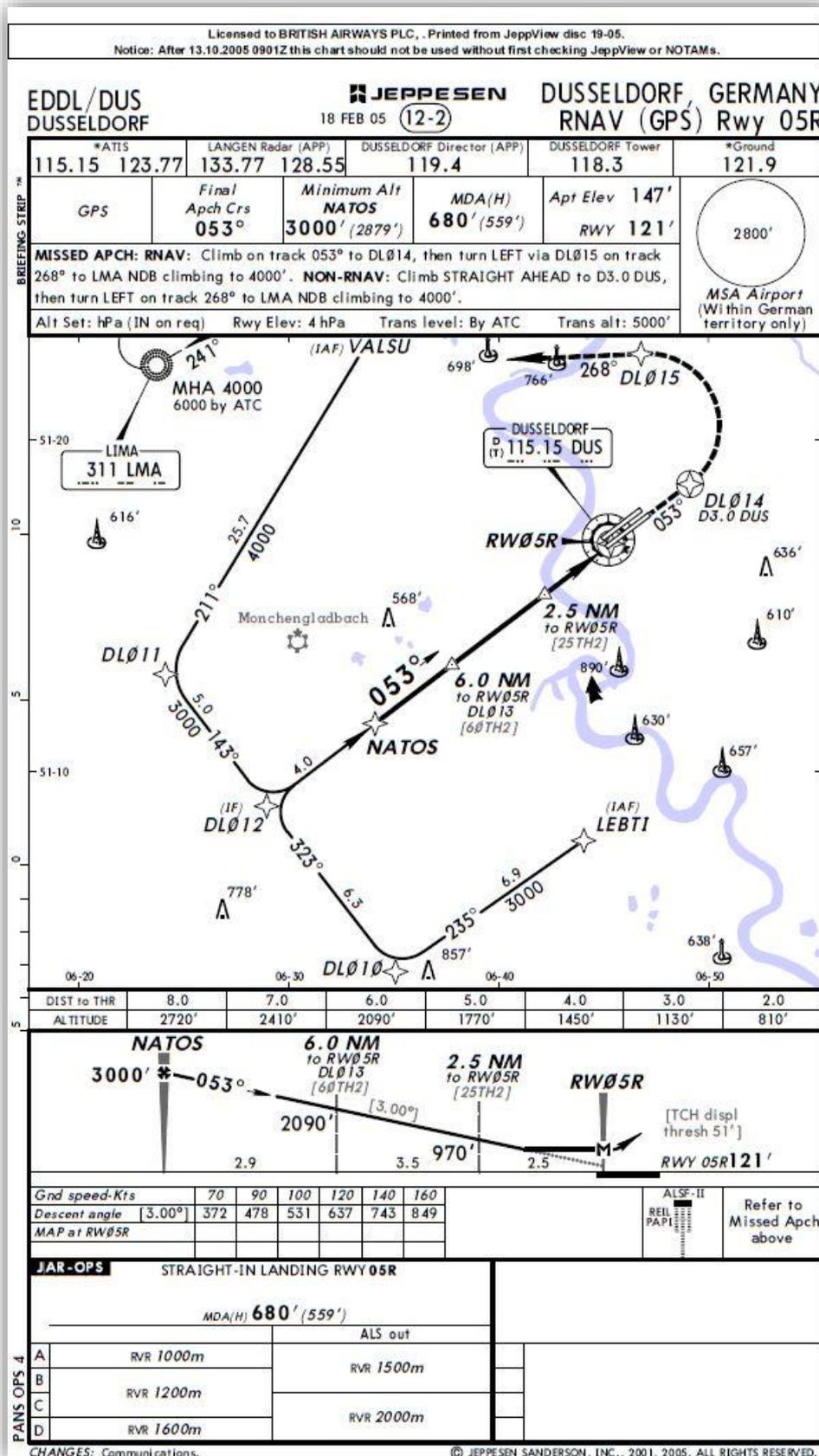


Ilustración 39: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Düsseldorf, Alemania

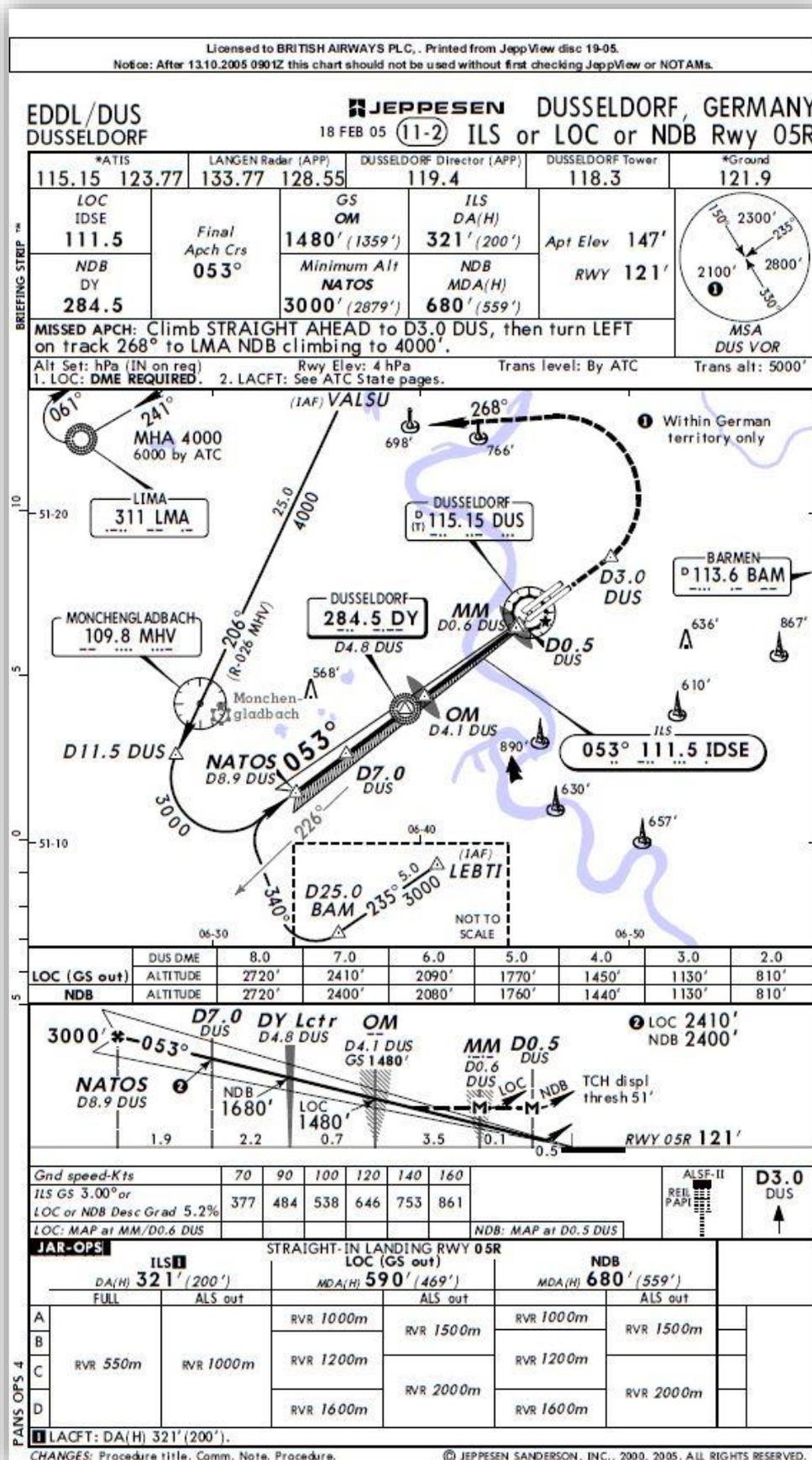


Ilustración 40: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Düsseldorf, Alemania

## 2.3.7.2. Aeropuerto de Antwerpen, Bélgica

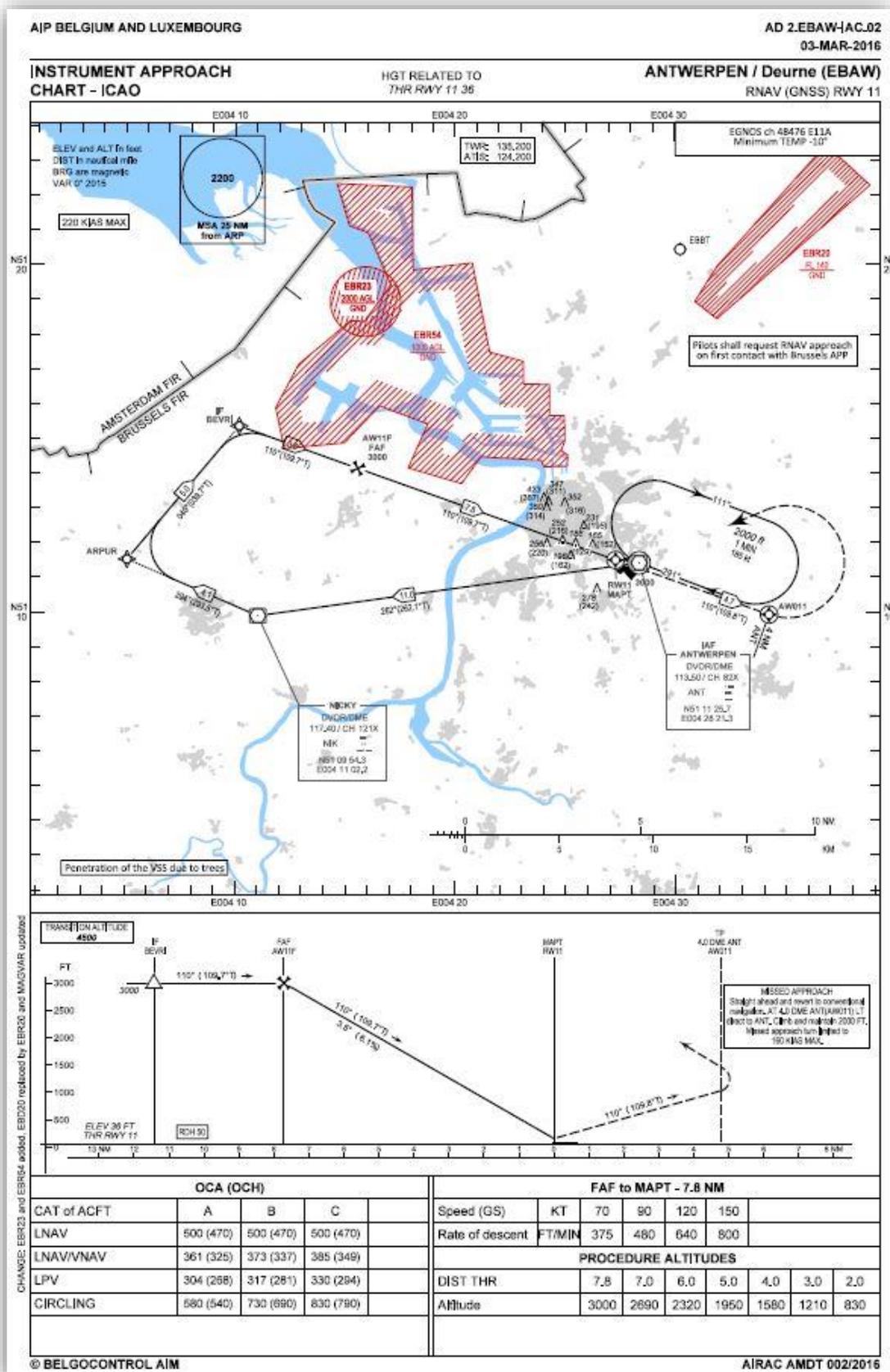


Ilustración 41: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Antwerpen, Bélgica



### 2.3.7.3. Aeropuerto de Ciampino, Roma, Italia

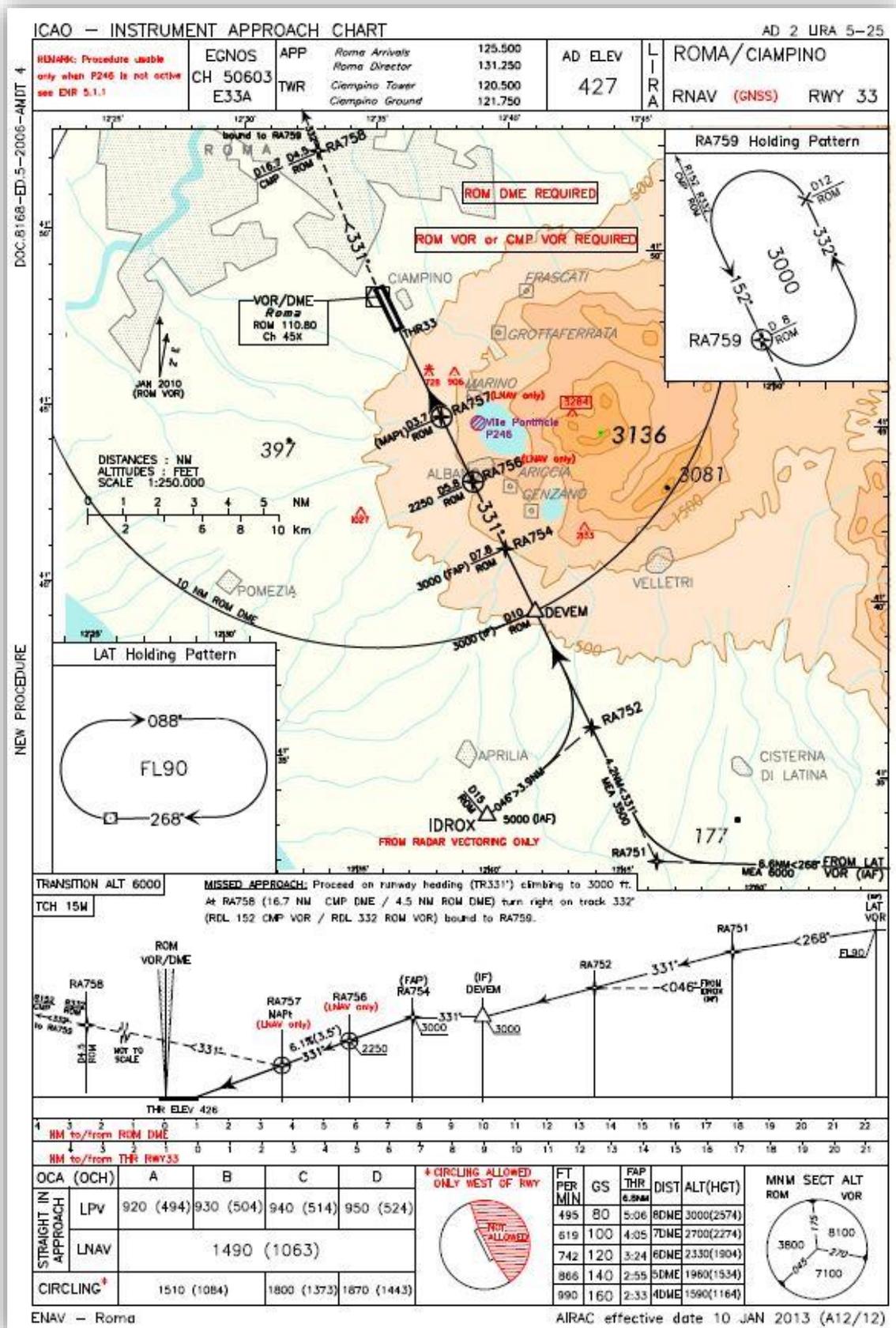


Ilustración 43: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Roma Ciampino, Italia

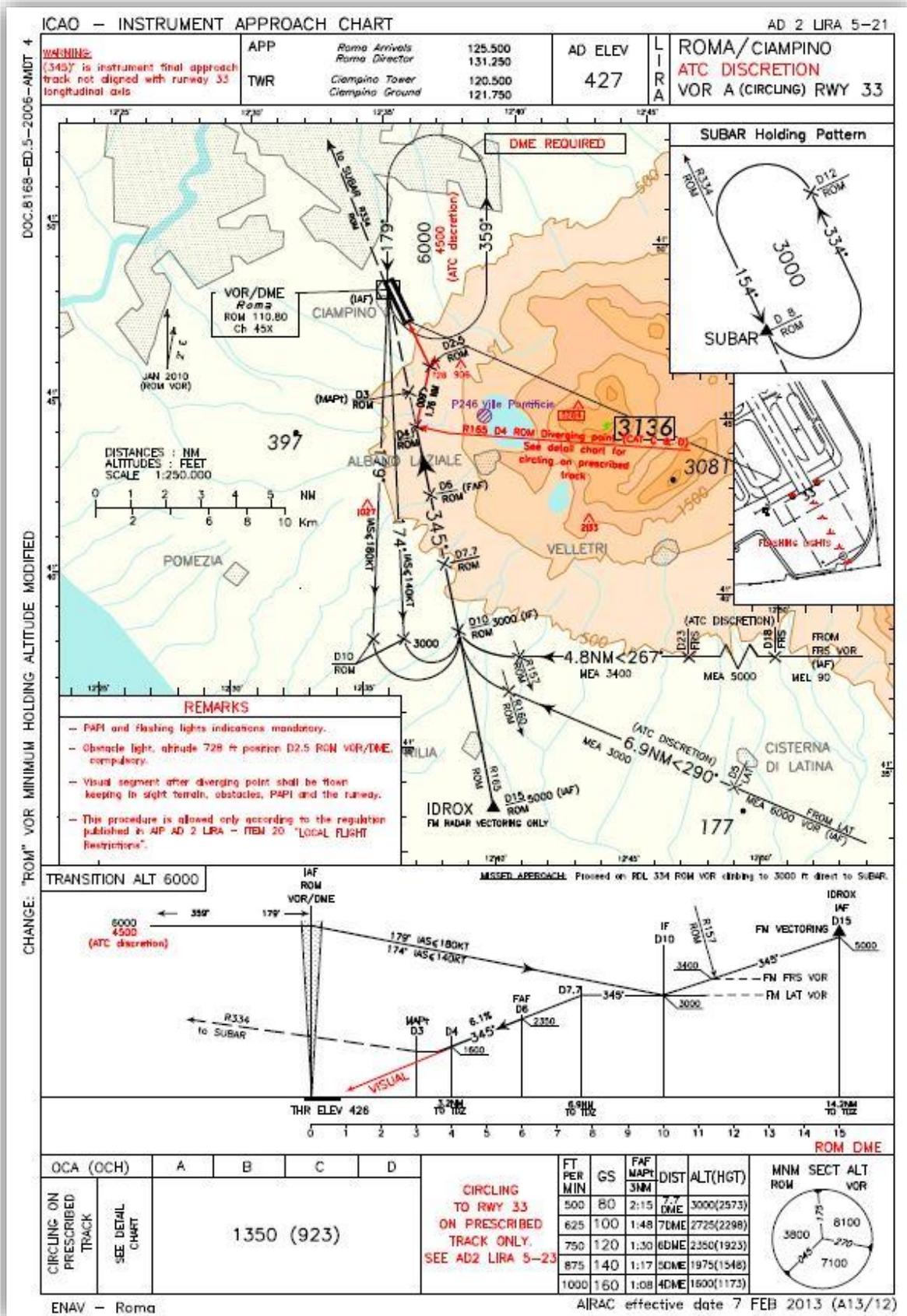


Ilustración 44: Carta de aproximación VOR del aeropuerto de Roma Ciampino, Italia

### 2.3.7.4. Aeropuerto de Gardermoen, Noruega

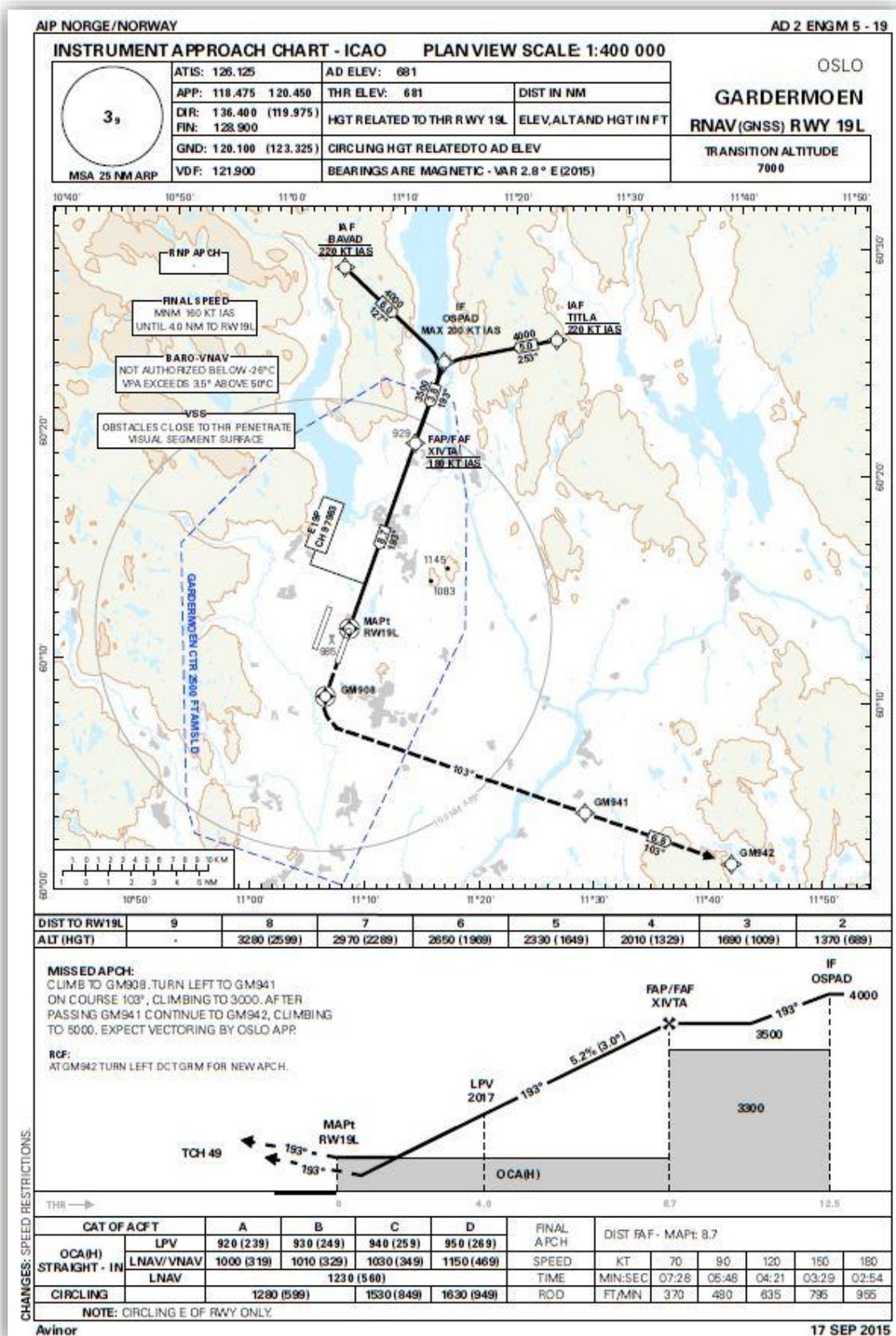


Ilustración 45: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Gardermoen, Noruega

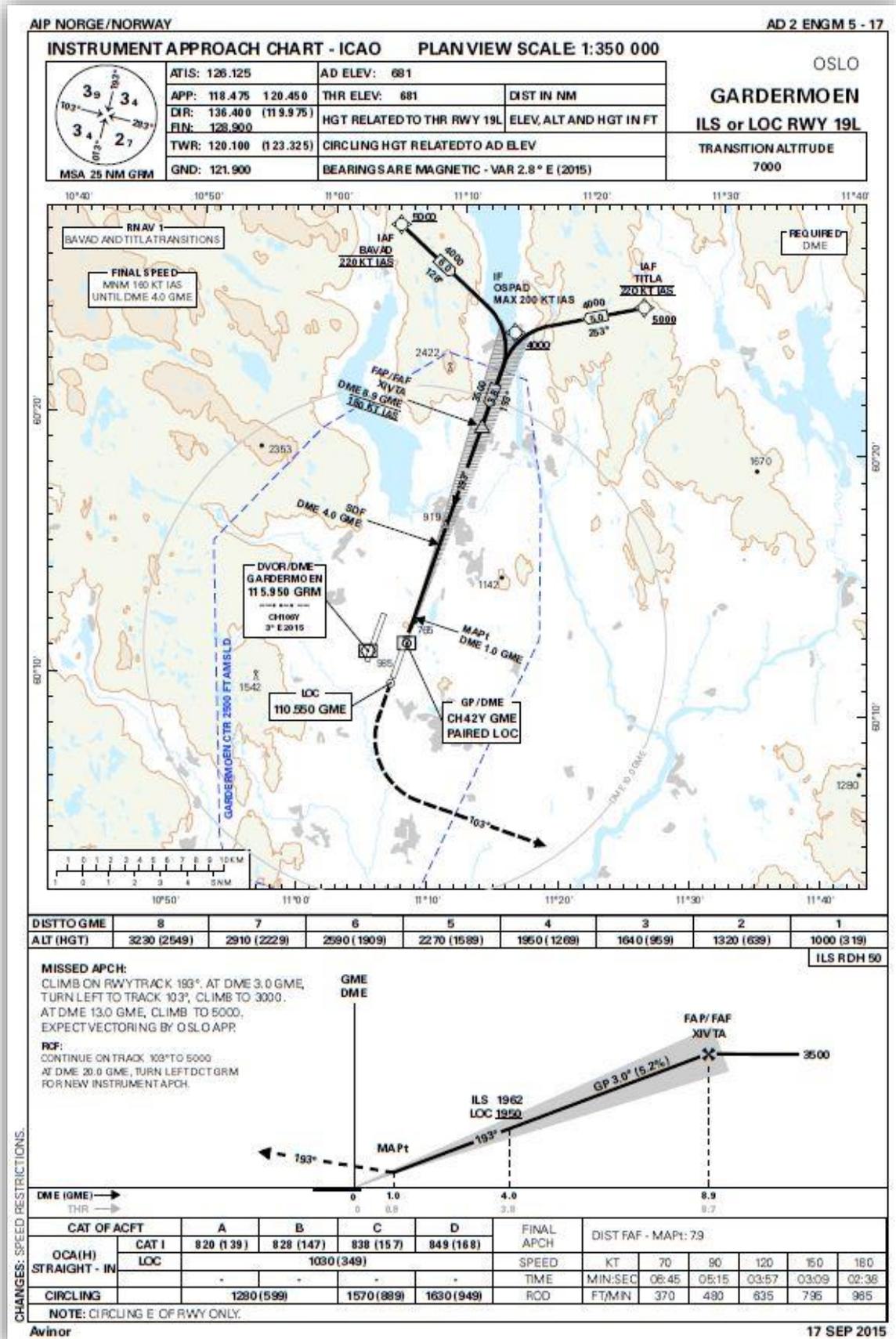


Ilustración 46: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Gardermoen, Noruega

## 2.3.7.5. Aeropuerto de París Le Bourget, Francia

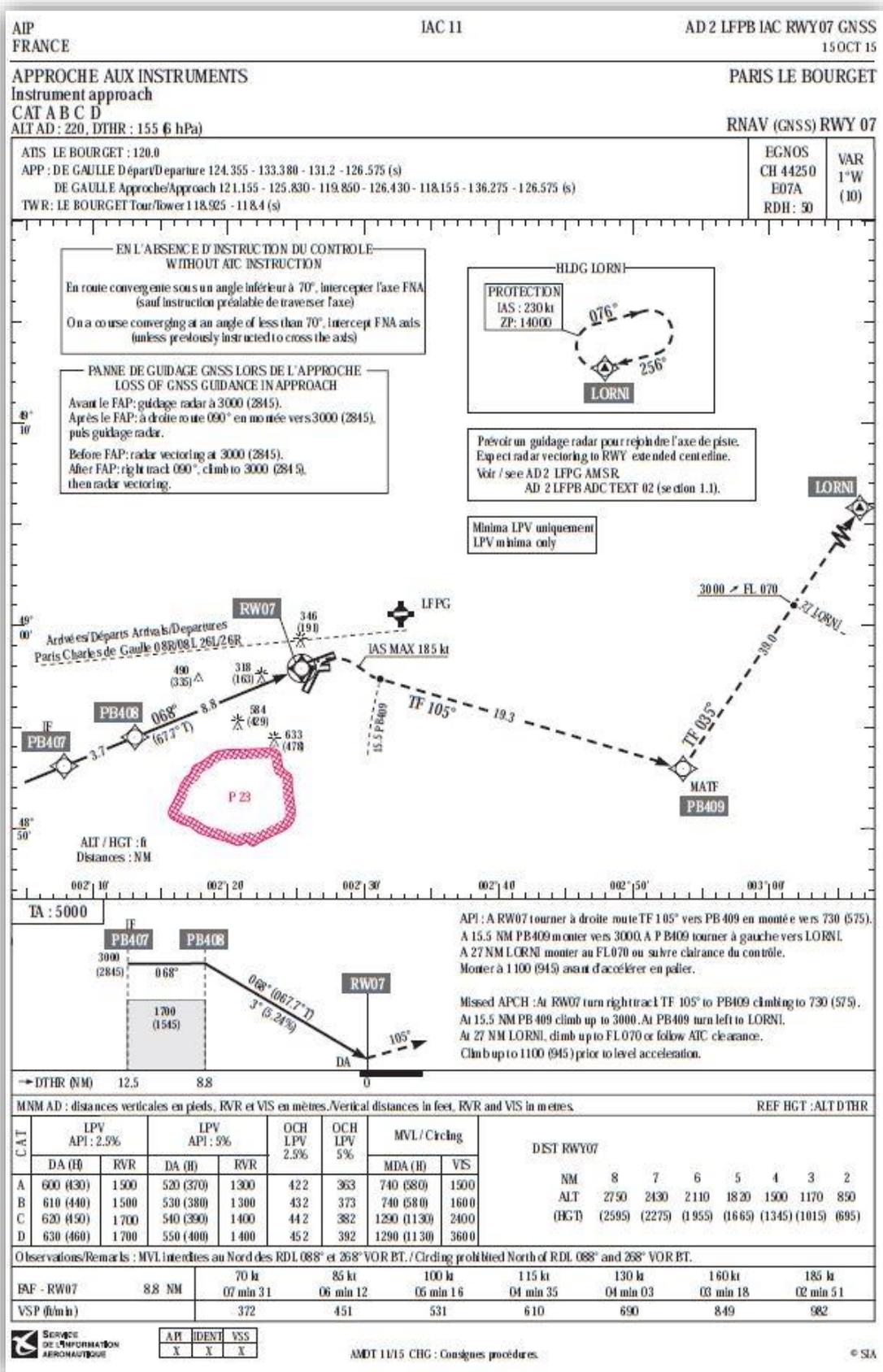


Ilustración 47: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de París Le Bourget, Francia

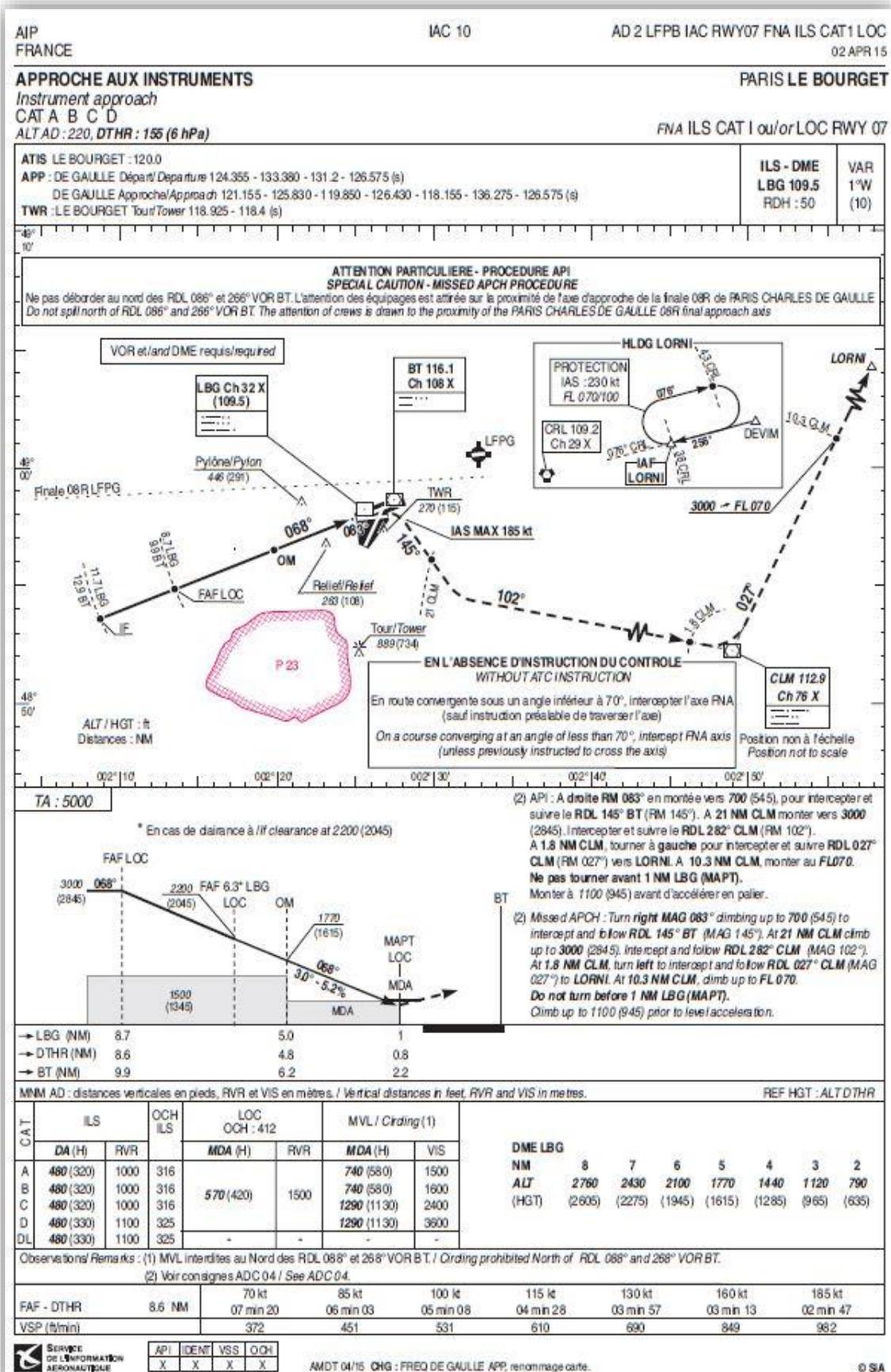


Ilustración 48: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de París Le Bourget, Francia

## 2.3.7.6. Aeropuerto de Bristol, Reino Unido

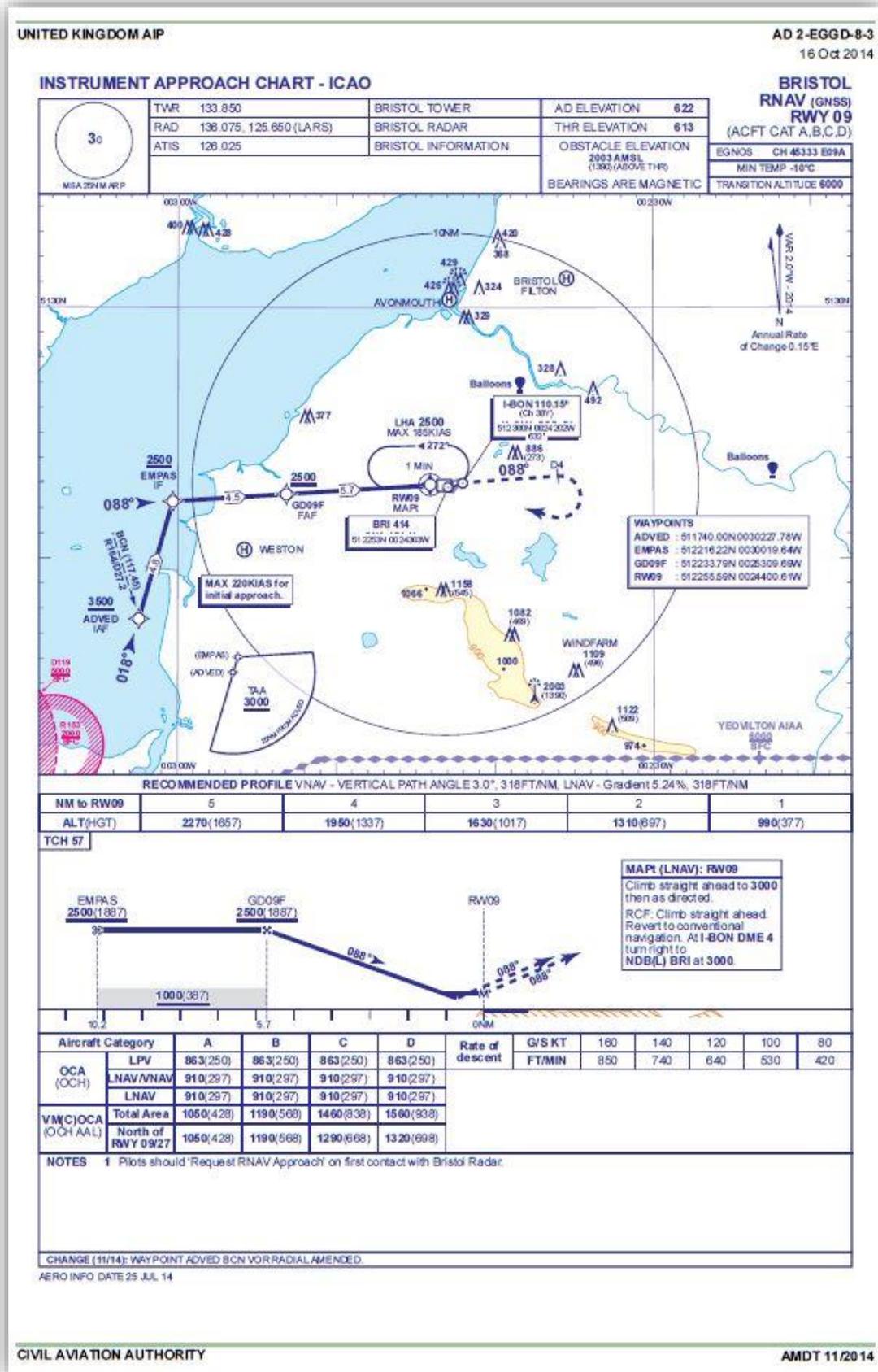


Ilustración 49: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Bristol, Reino Unido

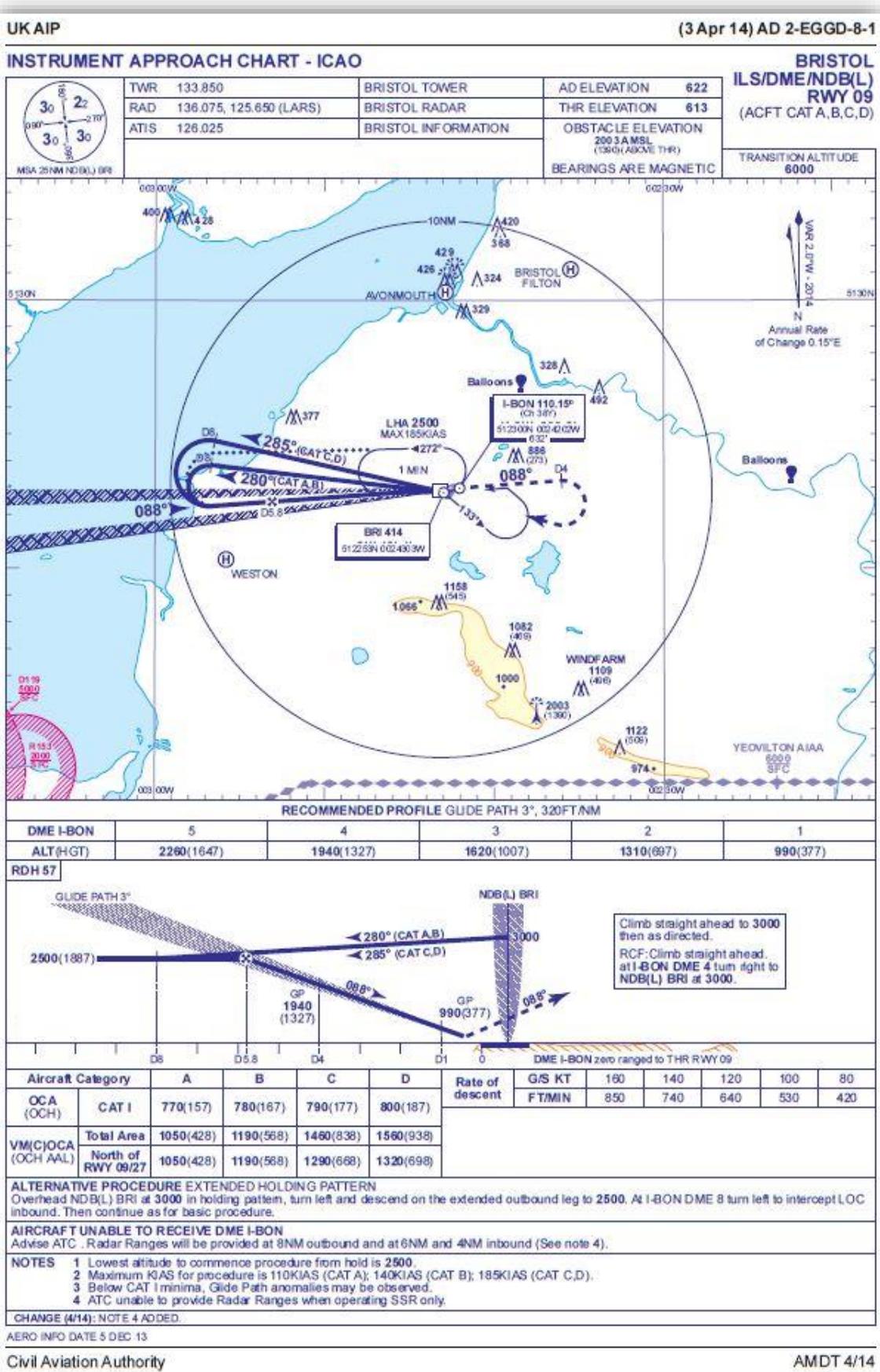


Ilustración 50: Carta de aproximación ILS del aeropuerto de Bristol, Reino Unido

Se va a proceder a continuación a la comparación entre cartas RNAV y convencionales antes mencionada.

En las cartas de Dusseldorf las modificaciones de la ruta en fase de aproximación no son demasiado acentuadas.

Lo más evidente es la desaparición de la senda de planeo y el "glide slope" propios de la navegación por ILS, pero la verdadera diferencia está en que, en vez de unas trayectorias dirigidas por las radioayudas y mediante arcos, se utiliza unos "waypoints" de paso no obligatorios que definen unas trayectorias más amplias, al igual que en la frustrada.

Además, gracias a la mayor precisión del sistema RNAV, en el perfil de inclinación podemos ver que la frustrada puede realizarse más tarde, cuando el avión está más cerca de la pista.

En el caso de Antwerpen, es bastante notable el cambio entre las rutas que llevan a la pista. Los waypoints que se utilizan están bastante distanciados, por lo que las maniobras son más simples, los virajes menos pronunciados.

Por otro lado, el circuito de espera queda alineado con la pista, a diferencia del caso de la carta VOR.

En el aeropuerto de Ciampino, Roma, vemos que la carta RNAV "recoge" a las aeronaves en dos waypoints distanciados y las alinea con la pista para la aproximación final. Para esta pista no existe una carta de navegación convencional, solamente un "rodeo" (circling) con sistema VOR, en que no llega a aparecer alineación con la pista. Hay mayor cantidad de cartas de aproximación convencionales para la otra pista, la 15, pero en cambio no tiene navegación RNAV.

En los dos siguientes aeropuertos, el de Gardermoen y París Le Bourget, los cambios son más sutiles, pero vienen ateniéndose al mismo principio, es decir, trayectorias más simples y amplias gracias a la mayor precisión de los sistemas RNAV, que permiten tener el tráfico aéreo mejor controlado y delimitado.

En el caso del aeropuerto de Bristol, en vez de distintos virajes en función de la categoría de la aeronave, la trayectoria se simplifica en un solo IAF, con un único trazado hasta el aterrizaje en pista.

Para obtener estas cartas, se ha recurrido a la página web de EUROCONTROL, que posee enlaces a las páginas oficiales de AIP de cada país. Par ayudarse en la tarea, también se han utilizado los organismos EAD (European AIS Database) e IVAO (International Virtual Aviation Organization).

### 2.3.7.7. Aeropuerto de Santander, España. ENAIRE

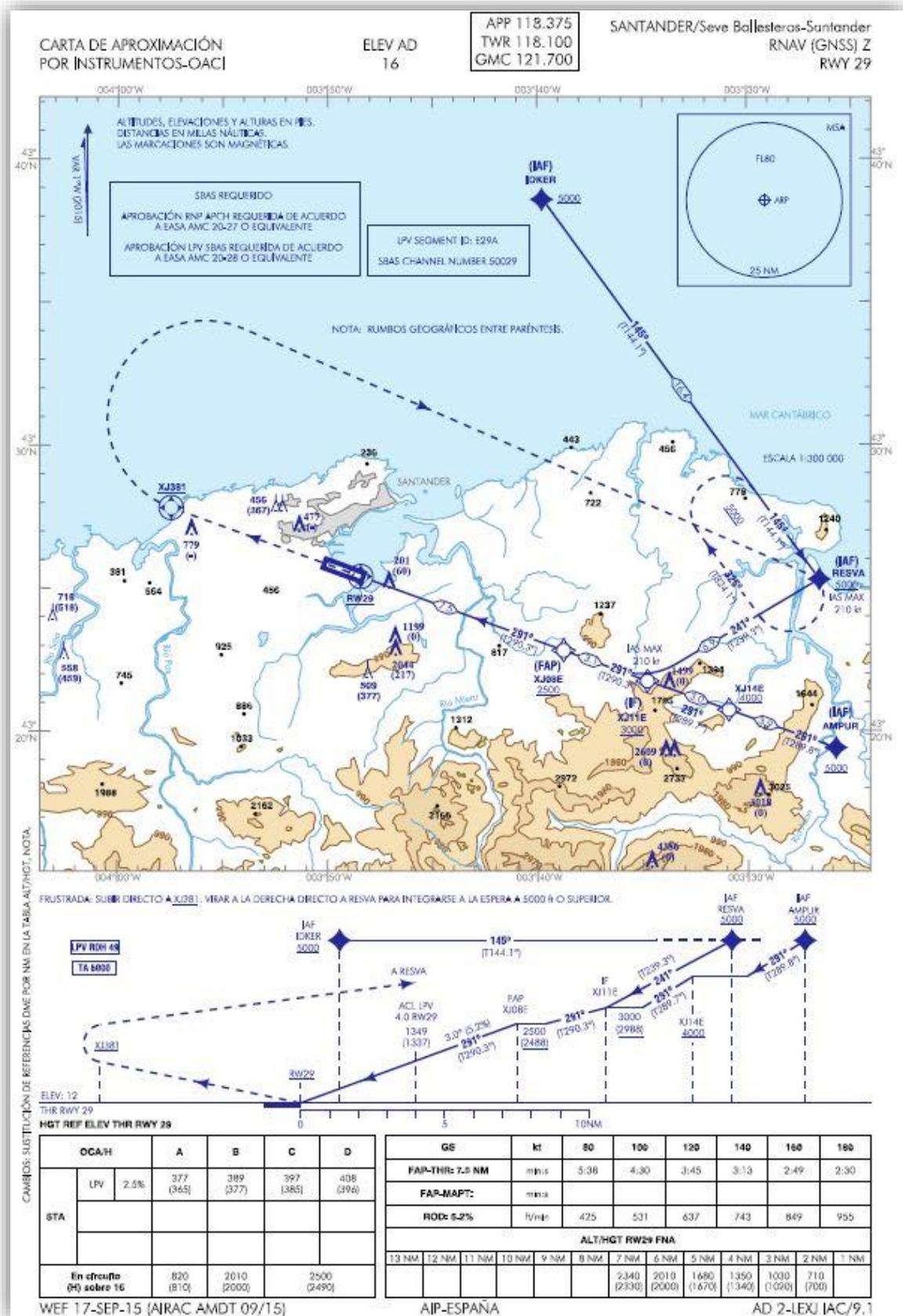


Ilustración 51: Carta de aproximación RNAV (GNSS) del aeropuerto de Santander, España



En cuanto al aeropuerto de Santander, se va a realizar un análisis algo más detallado, gracias a que se dispone de cierta práctica en el manejo de cartas aeronáuticas españolas, proporcionadas por ENAIRE, adquirida en diversas asignaturas.

Comparando la carta RNAV con la ILS, vemos que en la carta ILS los tres IAF (Initial Approach Fix) que hay están alineados con la pista, por lo que la aeronave debe hacer más maniobras. En cambio, en la carta RNAV (GNSS) queda un IAF alineado, y otros dos no, a cierta distancia, que permiten unas maniobras más amplias y fáciles, eliminando todos los arcos y circuitos de espera tan cercanos a la pista, y dejando un circuito de espera más desplazado.

Por otro lado, se ha comprobado si los dos IAF nuevos que aparecen en la carta RNAV están también en la carta STAR, como debería ser, y se ha descubierto que uno de ellos está, pero el otro no, lo cual nos sugiere que los procedimientos para la generación de una carta RNAV implican la creación de nuevos waypoints virtuales en caso de necesidad. Podemos ver una sección de la carta STAR del aeropuerto de Santander a continuación.



Ilustración 53: Sección de la carta STAR del aeropuerto de Santander

Subrayados en amarillo están los dos IAF que aparecen en la carta RNAV, y la cruz roja representan la situación aproximada del tercero.

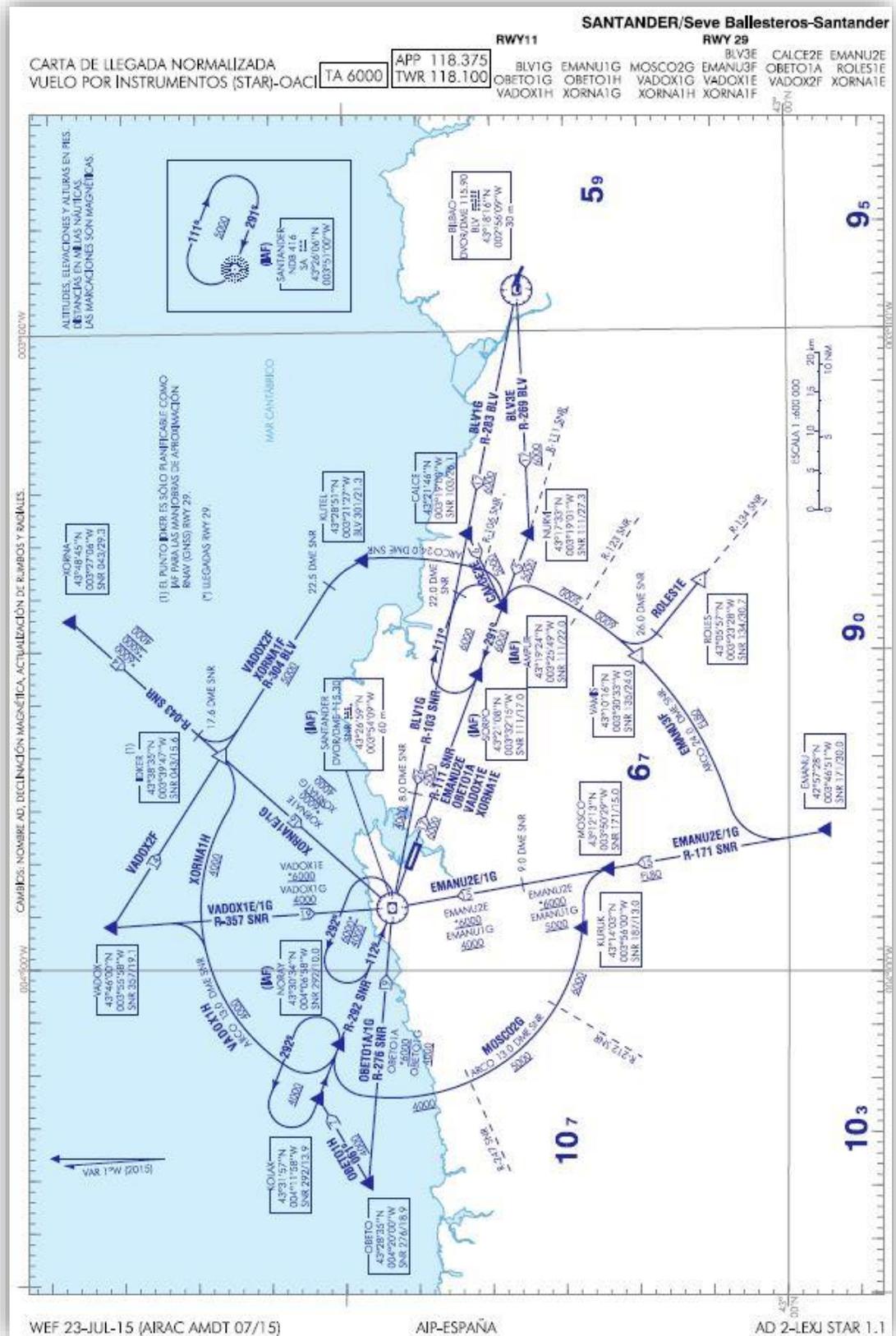


Ilustración 54: Carta STAR del aeropuerto de Santander

Los sistemas RNAV son especialmente útiles para aeropuertos situados en lugares con geografía accidentada, como es el aeropuerto de Santander, gracias a su gran precisión y seguridad en las operaciones.

### 2.3.7.7.1. ENAIRE

La entidad pública empresarial ENAIRE es la empresa designada por el Estado para el suministro de los servicios de tránsito aéreo en las fases de ruta y aproximación. Sus 5 centros de control y 22 torres de control gestionan cerca de 1,8 millones de vuelos al año, lo que le convierte en uno de los cuatro mayores gestores de navegación aérea de Europa.

ENAIRE controla un espacio aéreo de 2.190.000 kilómetros cuadrados, que comprende la península Ibérica (excepto Portugal), Canarias, Baleares, parte del Atlántico norte, del oeste del Mediterráneo y el Sahara Occidental.

ENAIRE realiza la coordinación operativa nacional e internacional de la red española de gestión del tráfico aéreo mediante una gestión eficiente del espacio aéreo y teniendo en cuenta el respeto al medio ambiente y las necesidades de los usuarios.

Adicionalmente, ENAIRE cuenta con el 51% del capital de Aena S.A., gestor de una red de 46 aeropuertos y 2 helipuertos en España, entre los que están Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Palma de Mallorca o Málaga-Costa del Sol. Esta red registra más de 207 millones de pasajeros al año. Asimismo, Aena S.A. participa en la gestión de 15 aeropuertos más en Reino Unido, Colombia y México.

La entidad pública empresarial Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), creada por el artículo 82 de la Ley 4/1990, de 29 de junio, de Presupuestos Generales del Estado para 1990, pasó a denominarse ENAIRE el 5 de julio de 2014.

Las funciones de ENAIRE en navegación aérea son:

- La planificación, dirección, coordinación, explotación, conservación y administración del tráfico aéreo, de los servicios de telecomunicaciones e información aeronáutica, así como de las infraestructuras, instalaciones y redes de comunicaciones del sistema de navegación aérea. El objetivo es que las aeronaves que se desplazan por el espacio aéreo español obtengan la máxima seguridad, fluidez, eficacia y puntualidad.

- La elaboración y la aprobación de distintos tipos de proyectos, además de la ejecución y gestión de control de las inversiones.
- La evaluación de las necesidades y propuestas para nuevas infraestructuras, al igual que las posibles modificaciones en la ordenación del espacio aéreo.
- La participación en la formación aeronáutica específica y sujeta a la concesión de licencias oficiales.

### 2.3.8. Comparación rutas de vuelo convencional vs. GNSS

La navegación por RNAV es el modo de navegación que permite la operación del avión en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a una estación terrestre, o dentro de los límites de las posibilidades de los equipos autónomos, o de una combinación de ambas.

El empleo de la navegación RNAV aporta una "mayor flexibilidad a las rutas", dado que no están restringidas a la ubicación geográfica de las radioayudas. Esta posibilidad de diseñar rutas más directas permite la descongestión del espacio aéreo y la disminución de los tiempos de vuelo.

A continuación, una representación comparativa de la idea que pretende implantar el sistema GNSS:

- A la izquierda, una ruta convencional con radioayudas basadas en tierra, trayectorias lineales y una flexibilidad limitada.
- En la posición intermedia, una ruta RNAV con waypoints virtuales y aunque utiliza también trayectorias lineales, están distribuidas de forma que incrementa altamente la eficiencia.
- A la derecha, una ruta RNP, con trayectorias curvas altamente optimizadas.

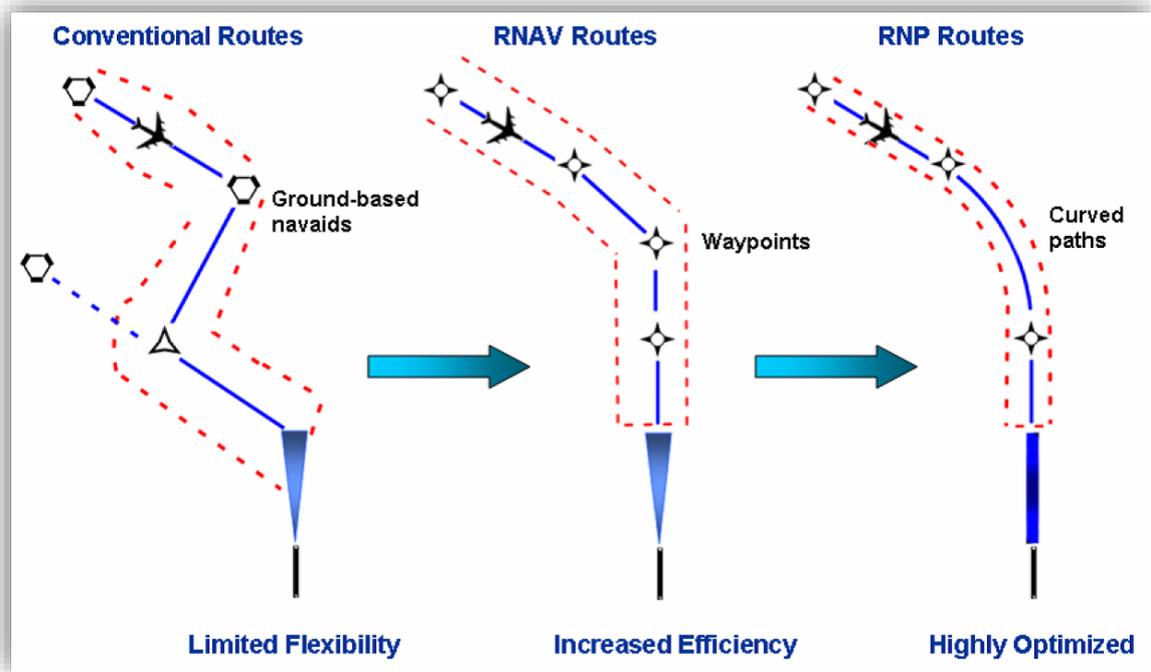


Ilustración 55: Comparación de rutas convencional, RNAV y RNP

Ahora, se va a presentar una imagen que compara el flujo de tráfico en fase de despegue de un aeropuerto con sistema convencional y RNAV.

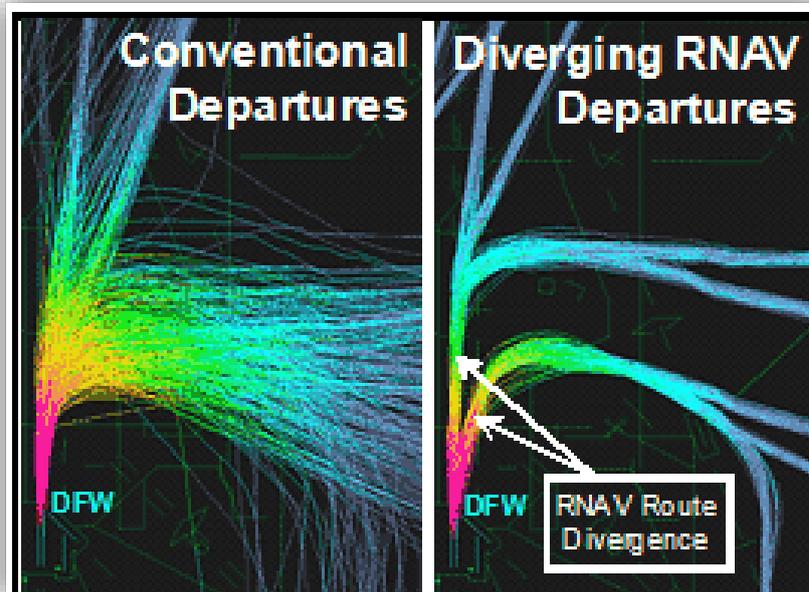


Ilustración 56: Despegue convencional vs. RNAV

Como se puede observar, el sistema RNAV permite un flujo mucho más definido y controlado, con menor margen de error, contribuyendo a una mayor seguridad, especialmente al sobrevolar terrenos accidentados.

## 2.4. Generación de cartografía aeronáutica

En esta parte del proyecto, se va a proceder a generar una carta aeronáutica, concretamente el plano de aeródromo para movimientos en tierra del aeropuerto de Teruel, que no dispone de éste.

El aeropuerto de Teruel es conocido bajo el nombre Plataforma Aeroportuaria-Teruel PLATA, su código OACI es LETL. Es un aeródromo situado muy cerca del Pueblo de Caudé (Teruel), entrando en servicio en febrero de 2013. Está destinado a ser un centro de mantenimiento y reciclado de aeronaves, así como almacenamiento de corta y larga duración, incluyendo el almacenamiento de aeronaves pesadas.

Las instalaciones de PLATA se asientan sobre el antiguo aeródromo de Caudé utilizado durante la guerra civil (1936-1939). Posteriormente pasó a usarse como Polígono de tiro por el Ejército del Aire español, abarcando una superficie de 2.043.600 m<sup>2</sup>, actualmente son 3.400.000 m<sup>2</sup>. El uso histórico de este enclave para actividades aeronáuticas con fines militares fue debido a sus excepcionales condiciones climatológicas y de localización, además de su baja densidad de tráfico aéreo.

La verificación del Aeropuerto de Teruel para uso público fue emitida por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) el 5 de febrero de 2013. La autorización para operaciones aéreas la concedió la DGAC y la Diputación General de Aragón el 28 de febrero 2013. En este aeropuerto se desarrolla el tráfico aéreo internacional ya que está habilitado como puesto fronterizo desde febrero 2014.

EL aeropuerto de Teruel posee una zona de plataforma de aeronaves delante del hangar de mantenimiento con dos puestos de estacionamiento aislado para aeronaves tipo B747, o seis puestos para tipo A320.

Además, el aeropuerto posee una plataforma para el estacionamiento de helicópteros, que actualmente es utilizada por el helicóptero de servicio 112 medicalizado y el helicóptero forestal.

El aeropuerto tiene una pista de 2825 metros de largo con una orientación de pista 18 – 36 y superficie de asfalto. Cuenta con una plataforma de mantenimiento de aeronaves de 2700 metros cuadrados y otra de estacionamiento de 120 hectáreas.

El aeropuerto está comunicado por carretera a través de la N-234 y de la A-23, se encuentra a 2 kilómetros del pueblo de Caudé y a 10 kilómetros de la ciudad de Teruel.

A continuación, se van a mostrar unas imágenes que permitan una situación visual de este aeropuerto:



Ilustración 57: Situación de Teruel en España

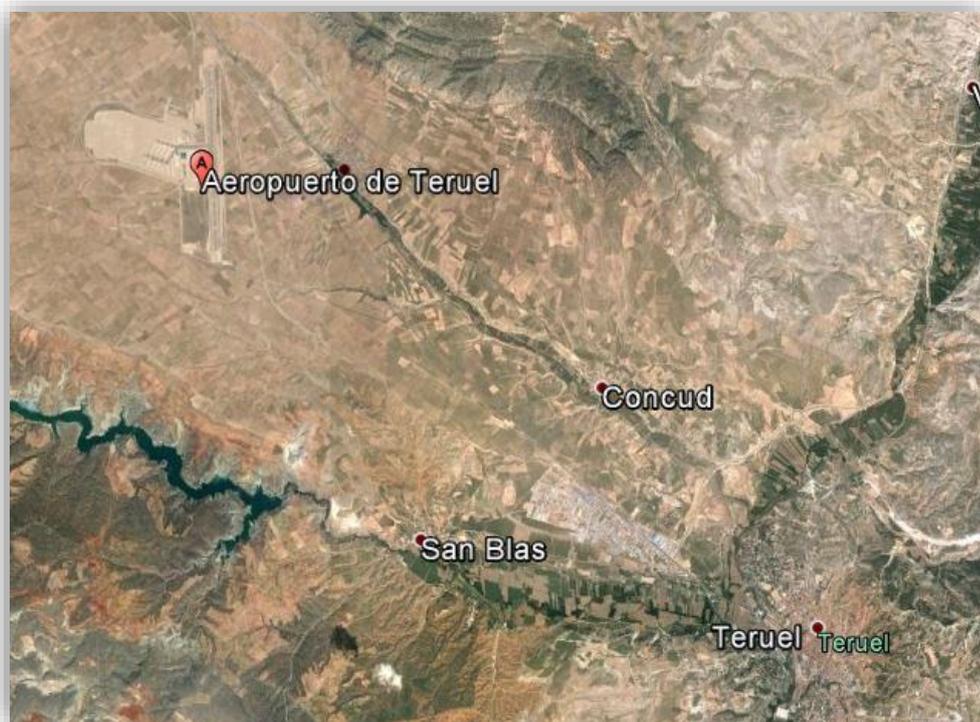
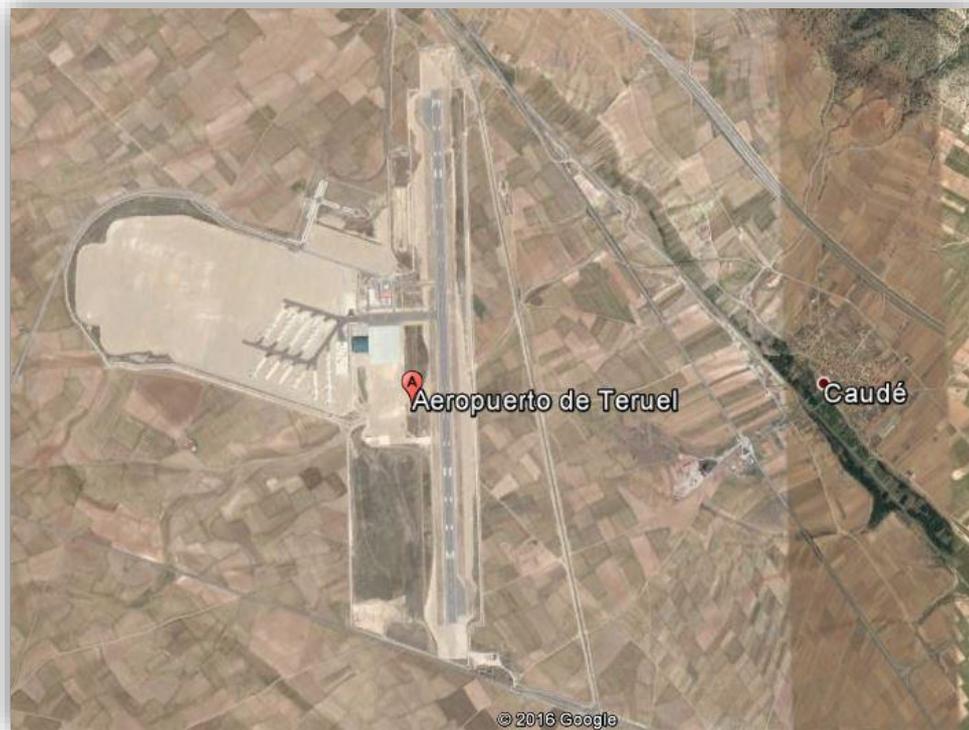


Ilustración 58: Situación del aeropuerto de Teruel con respecto a la ciudad de Teruel



**Ilustración 59: Situación del aeropuerto de Teruel con respecto a Caudé**



**Ilustración 60: Aeropuerto de Teruel**

La siguiente imagen es una captura de [www.enaire.es](http://www.enaire.es) que muestra los datos disponibles del aeropuerto de Teruel, a los cuales se ha accedido a través del apartado "Servicio de información aeronáutica (AIS) -> AIP España -> AD - Aeródromos -> AD 2 - Aeródromos -> Teruel - LETL.



Ilustración 61: Página web oficial ENAIRE

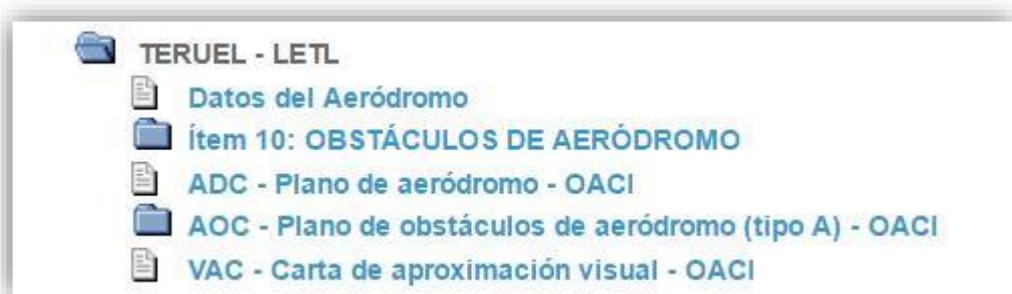


Ilustración 62: Datos y cartas del aeropuerto de Teruel proporcionados por ENAIRE

Como podemos ver, el aeropuerto de Teruel no dispone de un plano de aeródromo para movimientos en tierra.

Con los datos recogidos tenemos que tener en cuenta las dimensiones de la pista de aterrizaje, las de calles de rodaje y de plataformas, la situación de instalaciones como la terminal, la red eléctrica, depósitos, hangares e información sobre los pesos máximos exigidos en la plataforma para evitar hundimiento de la misma.

Basándonos en lo explicado en el apartado de Cartografía aeronáutica, sabemos que el plano a realizar debe de tener una escala entre 1:10000 a 1:20000.

### 2.4.1. Programa a utilizar: ArcGIS

ArcGIS es un conjunto de programas del campo de los Sistemas de Información Geográfica. La compañía que lo comercializa y lo produce es ESRI, donde se agrupan varias aplicaciones para hacer análisis, editar, capturar, tratar, diseñar, publicar e imprimir datos de información geográfica. Se engloban en familias temáticas como ArcGIS Móvil para gestionar y capturar información del campo o ArcGIS Server, para la publicación y gestión web.

El producto ArcGIS Desktop incluye en sus últimas ediciones herramientas como ArcMap, ArcCatalog, ArcReader, ArcScene y ArcGlobe. También se distribuye comercialmente en tres niveles de licencias que son ArcView, ArcEditor y ArcInfo.

ArcGIS nos va a permitir diseñar el plano descrito en el apartado anterior, el sistema de referencia oficial, en formato vectorial. De esta forma utilizando líneas, puntos y polígonos se puede identificar y georreferenciar cualquier objeto o superficie del aeropuerto, como por ejemplo las calles de rodaje y la pista de aterrizaje.

En primer lugar, se creará una "Geodatabase" con el sistema de referencia correspondiente donde se generarán varios "Feature Class" para puntos, líneas y polígonos, en función del tipo de elemento que contendrá.

- "Geodatabase" de ArcGIS es una colección de "datasets" geográficos de varios tipos contenidos en una carpeta de archivos común.
- "Feature Class" en ArcGIS es una colección de elementos geográficos con el mismo tipo de geometría (como punto, línea o polígono), los mismos atributos y la misma referencia espacial.

Una forma de capturar datos es la digitalización vectorial a partir de una ortofotografía. Para ello se ha descargado del centro de descarga de Centro Nacional de la Información Geográfica la ortofoto del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) más recientes disponibles, en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en su huso correspondiente.

## 2.4.2. Metodología

Para el diseño de los planos descritos se seguirán las normas expuestas en el Anexo 4 de la OACI.

ArcGIS, como hemos explicado en el apartado anterior, está compuesto por varios módulos. Los módulos a utilizar son ArcCatalog y ArcMap.

El primer módulo a utilizar es ArcCatalog, que se utilizará para crear una Geodatabase, en la que, a su vez, se generarán varios Feature Class con puntos, líneas y polígonos para las superficies y demás elementos que van a componer el plano a desarrollar.

El plano debe estar diseñado en blanco y negro, pero inicialmente se van a simbolizar en color a fin de disponer de una imagen más clara en las zonas críticas o que puedan provocar conflictos.

- En primer lugar, se abre el ArcCatalog y se selecciona la carpeta en que se va a trabajar:
- Se crea una Geodatabase, la cual se denominará "Caudé".
- Se crean varios Features Classes de polígonos, líneas y puntos para la pista, la pista de rodaje, la plataforma, los puntos de enlaces de pista de rodaje, los hangares, las zonas de espera en las cabeceras de pista y las entradas a pista. Se utilizará como sistema de coordenadas de referencia el ERTS89 UTM Zona 30N.
- En ArcMap asignaremos el sistema de referencia correspondiente al marco de datos "Layers", que contendrá los Feature Class.
- Se añaden las Feature Class creados en la Geodatabase a ArcMap.
- Añadimos la ortofoto descargada a la tabla de contenidos



**Ilustración 63: Ortofoto que se va a utilizar de base**

- Una vez cargada la ortofoto, activamos la barra de herramientas del editor y seleccionamos "start editing", empezando por la capa "pista", y siguiendo con todas las demás.
- A cada capa, que define un tipo de elemento del plano, se le da un color diferente para que sean claramente diferenciables.

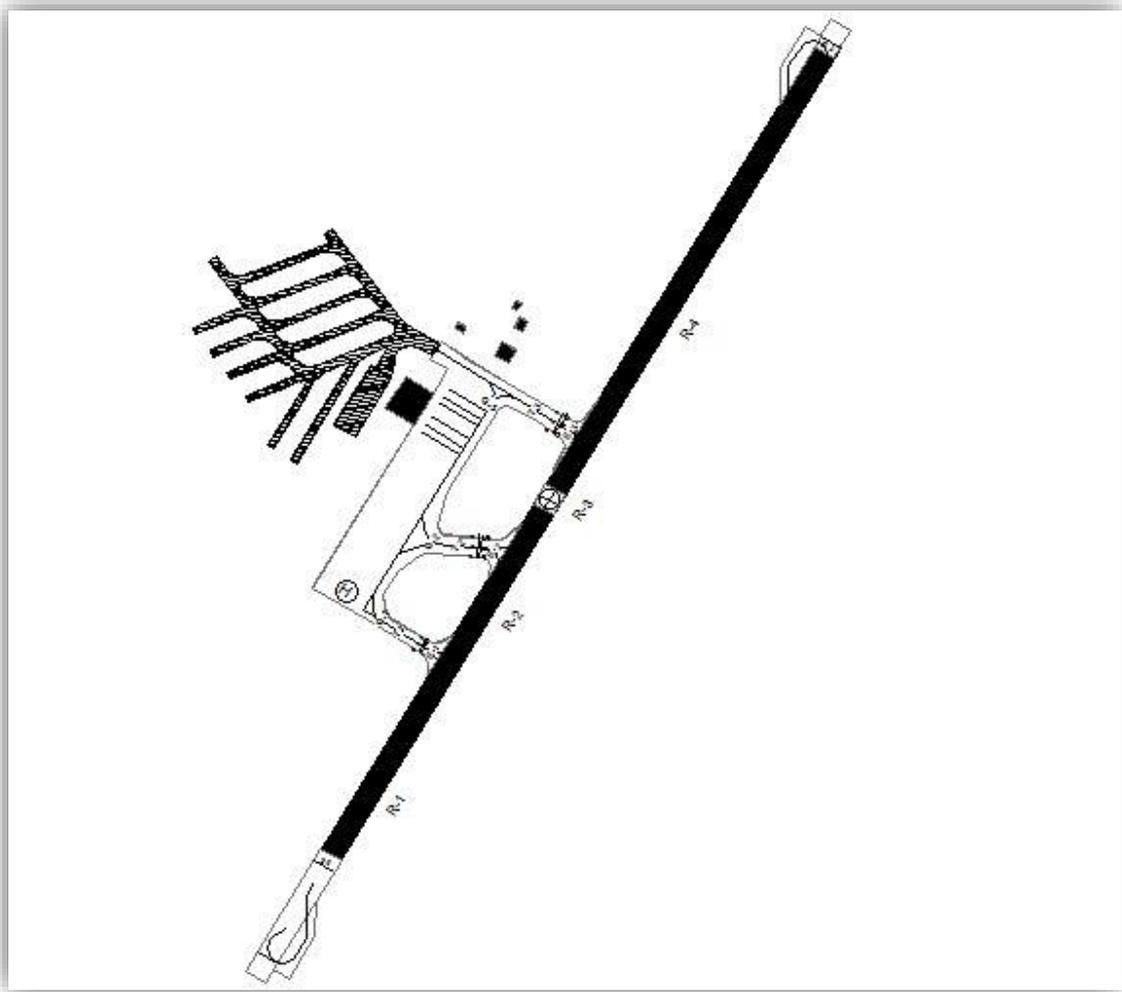


**Ilustración 64: Ortofoto con el plano en color.**

- Una vez se ha terminado la digitalización, se desactiva la ortofoto, quedando el plano sobre fondo blanco.
- Se añade la simbología correspondiente a distintos elementos del aeródromo, como el helipuerto, los extremos y números de pista, la distinta nomenclatura (formada por una letra y un número, como R-1, T-2...) asignada a cada parte del aeródromo, etc.
- Para que la simbología del plano tenga la misma escala que éste, se debe especificar una escala de referencia en las propiedades del marco de datos. Así se evita que, al alejar la vista del plano, la simbología mantenga su tamaño y quede desproporcionadamente grande en relación al plano, y viceversa.
- Finalmente, se realiza una copia del marco de datos, cambiándole los colores a blanco y negro, y se procede a construir el documento de la carta.



**Ilustración 65: Ortofoto con el plano en blanco y negro**



**Ilustración 66: Plano sin ortofoto**

- Se deben colocar los márgenes y la información pertinente respecto a las infraestructuras, las escalas, la orientación, fecha de creación, modificaciones...
- Por otro lado, ha de identificarse los puntos críticos del aeropuerto, e introducir la sección del plano en color que corresponda junto con una nota de la precaución que se debe tomar.

La siguiente imagen captura el entorno de trabajo del módulo ArcGIS que se ha utilizado para generar el plano.

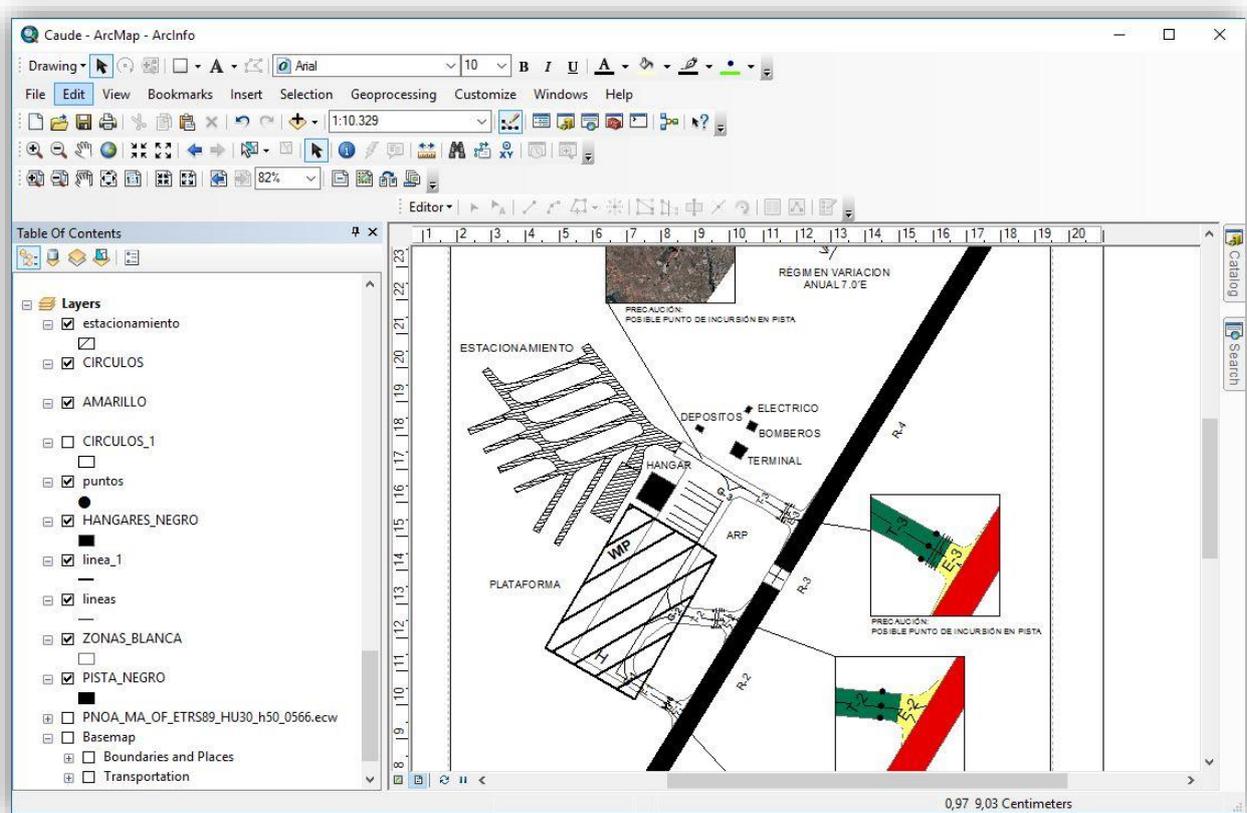


Ilustración 67: Entorno de trabajo en ArcGIS

## 2.4.3. Resultado obtenido

A continuación, se encuentran una captura del documento resultante, que queda anexo a este trabajo.

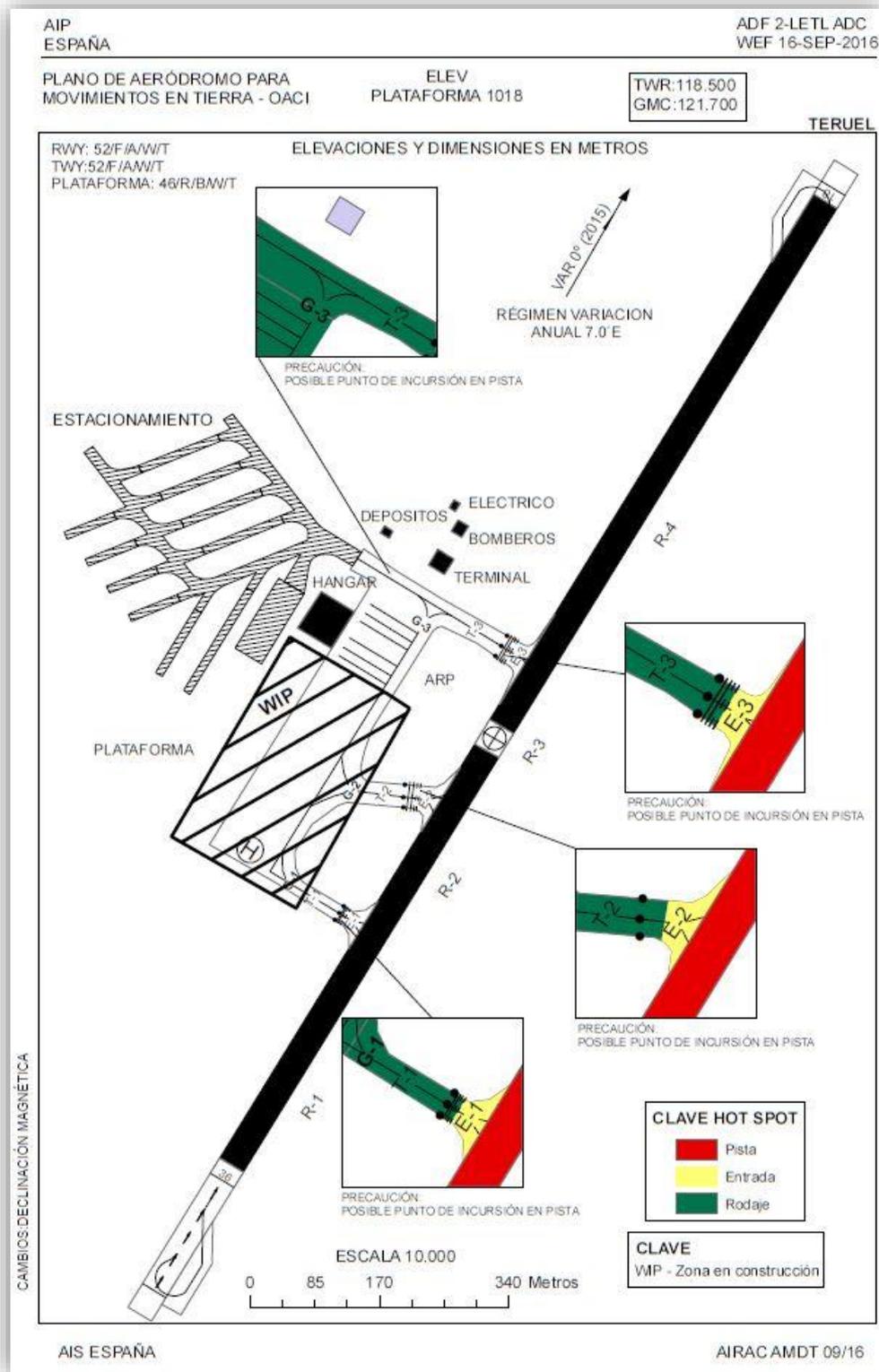


Ilustración 68: Plano obtenido

### 3. Conclusiones

Como se ha expuesto al inicio de este proyecto, para que la creciente red que es el transporte aéreo sea posible, eficiente y segura, es necesario un sistema complejo y preciso, especialmente en aquellas fases de vuelo más delicadas: despegue, aproximación y aterrizaje.

Así pues, para que sea posible hacer frente al creciente tráfico aéreo y para optimizarlo, cada vez más países optan por la navegación por satélite (GNSS). Esto se refleja en la cantidad de aeródromos con sistema RNAV operacional, y muchos más que planean implantarlo.

Para tener una visión más clara de la navegación aérea actual, se ha explicado en primer lugar la estructura, gestión y control del espacio aéreo. A continuación, se ha descrito aspectos de la cartografía aeronáutica como su normativa, los elementos que componen las cartas, la simbología, los tipos de cartas y a qué fase de vuelo corresponden.

Seguidamente, se ha procedido a exponer los tipos de sistemas de navegación aérea, empezando por la radionavegación de corto alcance basada en radioayudas como el VOR/DME y el ILS. Entonces se han descrito los sistemas PBN, SESAR, NextGEN, y más en detalle, el sistema GNSS, los sistemas de aumentación y los sistemas de posicionamiento por satélite desarrollados por diferentes países.

Una parte fundamental de la implantación de navegación RNAV es la renovación de la cartografía aeronáutica, y como se ha explicado anteriormente al comparar cartas de aproximación RNAV y convencionales de distintos países, ésta refleja perfectamente el principio de optimización que persigue la navegación por satélite.

El sistema de navegación RNAV presenta claras ventajas respecto a la navegación convencional, proporcionando trayectorias optimizadas y precisas, facilitando las maniobras que deben realizar las aeronaves y siendo especialmente útil al sobrevolar geografía accidentada.

Para ello, en vez de estar las aeronaves guiadas por las radioayudas basadas en tierra, se las hace pasar por una serie de waypoints virtuales, reduciendo el número de fijos de aproximación inicial, o reubicándolos de forma que simplifiquen las maniobras.

Así mismo, la navegación RNAV aporta una mayor flexibilidad a las rutas de vuelo, al no estar restringidas a la ubicación geográfica de las radioayudas, y permite diseñar rutas más directas que contribuyen a descongestionar el espacio aéreo y disminuir los tiempos

de vuelo. Es un sistema que incrementa destacadamente la eficiencia, aunque no se utilizan trayectorias curvas, como es el caso de las rutas RNP. Además, este tipo de navegación permite un flujo del tráfico aéreo mucho más definido, contribuyendo especialmente a una mayor seguridad al sobrevolar terrenos accidentados.

Como última parte de este proyecto, se ha generado una carta aeronáutica, concretamente el plano de aeródromo para movimientos en tierra del aeropuerto de Teruel, que no dispone de éste. Para ello, se ha empleado el programa ArcGIS, que ha sido necesario aprender a utilizar previamente, se ha extraído información de la página web oficial de ENAIRE y se ha obtenido y utilizado ortofotografía. Dicha carta se ha generado siguiendo lo establecido por la normativa del Anexo 4 de la OACI.

La generación de la carta ha pasado por varias etapas: en primer lugar, se ha confeccionado el plano en color, para que resulte claramente identificable cada elemento; entonces se ha generado ese mismo plano en blanco y negro, como establece la normativa; y finalmente se ha procedido a elaborar el documento que contiene el plano, el cual, aunque se utiliza el plano en blanco y negro, contiene secciones del mismo en color para hacer aclaraciones de los puntos críticos del aeropuerto, o que puedan generar conflicto.

La generación de esta carta ha permitido explorar de cerca todo lo referente a la cartografía aeronáutica, familiarizarse con la documentación proporcionada por entidades oficiales como la OACI, ENAIRE e IGN, así como adquirir una comprensión más profunda de la complejidad de la navegación aérea. Además, no se puede desestimar el conocimiento adquirido en el manejo de ArcGIS en dos de sus módulos, y que sin duda será de gran utilidad para posibles futuros proyectos.

Finalmente, decir que la mayor parte de países europeos ya cuentan con aeropuertos que utilicen el sistema RNAV de forma operacional, y se prevé que en un futuro próximo el número aumente hasta cubrir prácticamente la totalidad de aeropuertos del mundo.

El creciente tráfico aéreo mundial hace necesaria una optimización del espacio aéreo, y la utilización de sistemas más precisos y fiables, como son los sistemas de navegación por satélite. Es algo que ya está en progreso, las mayores potencias mundiales han desplegado o están en proceso de desplegar sus propias constelaciones de satélites para sus sistemas de posicionamiento.

Esto, junto a otras iniciativas como el Cielo Único Europeo (SESAR), cuyo fin es que la administración del espacio aéreo deje de contar con fronteras nacionales para pasar a utilizar bloques funcionales de espacio aéreo, sugiere un futuro tráfico aéreo de proporciones inmensas, pero altamente optimizado y eficaz.



## Anexo 1

Plano de aeródromo para movimientos en tierra

Aeropuerto de Teruel



# Anexo 2 – Presupuesto

## I. Introducción

El presente documento muestra los costes que ha supuesto la realización del Trabajo de Fin de Grado “Análisis de la cartografía y rutas de vuelo en función de los diferentes sistemas de navegación (convencional vs. GNSS) y generación de cartografía aeronáutica”.

En este capítulo se presentan los gastos de material, software, personal y de oficina. Más concretamente, en este proyecto no han sido necesarios materiales adicionales, sino tan sólo software y personal que lo haga funcionar. Forman parte de los presupuestos parciales que, en conjunto, constituyen el presupuesto total del proyecto. Los precios aplicados a los grupos de coste corresponden a tarifas legales vigentes, habiéndose realizado, en caso de necesidad, estimaciones coherentes. Debido a que el trabajo realizado en el presente proyecto está destinado a investigaciones internas del Departamento De Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría, en este precio no se incluye el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA). Si los resultados obtenidos fueran para un trabajo encomendado por alguna empresa externa al Departamento, sí que se hubieran añadido gastos generales, el beneficio económico y el IVA.

El coste de amortización se calcula como:

$$a = \frac{VC - VR}{n} ; \quad t_h = \frac{a}{h}$$

donde:

$a$  = amortización en euros/año

$VC$  = valor de compra en euros

$VR$  = valor residual al cabo del periodo de amortización, en euros

$n$  = periodo de amortización en años

$t_h$  = tasa horaria, en  $\frac{\text{euros}}{\text{hora}}$

$h$  = horas de trabajo al año

Los precios unitarios correspondientes al personal se calculan como:

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = \left( \frac{\text{sem}}{\text{año}} - \frac{\text{sem}_{\text{vacaciones}}}{\text{año}} - \frac{\text{sem}_{\text{festivos}}}{\text{año}} \right) \cdot \frac{\text{horas trabajadas}}{\text{sem}}$$

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = (52 - 6) \cdot 40 = 1840 \text{ horas/año}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{\frac{\text{salario bruto anual}}{\text{horas trabajadas}}}{\text{año}}$$

## II. Estado de Mediciones

Se definen en este apartado los recursos necesarios para la correcta realización del presente Trabajo de Fin de Grado:

- Conjunto de equipos informáticos y Software

Descripción	Unidades
Ordenador Portátil Toshiba	1
Licencia Microsoft Office 2016	1
Licencia ArcGis 10	1

- Montaje e instalación del equipo informático

Descripción	Unidades
Ordenador Portátil Toshiba	1

- Instalación del software específico

Descripción	Unidades
Licencia Microsoft Office 2016	1
Licencia ArcGis 10 Educational Edition	1

- Personal específico para el desarrollo del proyecto

Descripción	Unidades
Profesor - Tutor	1
Profesor – Co-tutor	1

- Oficina para la ubicación de los elementos y desarrollo del proyecto

Descripción	Unidades
Oficina	1
Permisos de oficina	1
Seguro de oficina	1

### III. Desglose de costes unitarios

#### III.1. Coste de material y software unitario

- Equipo informático
  - Portátil. Se ha estimado el valor residual del 20% y un periodo de amortización de 5 años.

$$a = \frac{500 - 100}{5} = 80$$

$$t_h = \frac{80}{1840} = 0.043 \frac{\text{euros}}{\text{hora}}$$

- Software. Se tiene en cuenta el coste anual del software y se consideran amortizados en ese año de licencia y sin valor residual:
  - Licencia Microsoft Office 2016. El valor de una licencia anual estándar es de 49 euros.

$$a = \frac{49}{1} = 49$$

$$t_h = \frac{49}{1610} = 0.027 \text{euros/año}$$

- Licencia ArcGIS Educational Edition. Gratis durante un año.

### III.2. Coste de material y software unitario

- Coste asociado al Profesor Titular.

$$\text{Salario bruto anual} = 35000 \text{ euros/año}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{35000}{1840} = 19.02 \text{ euros/hora}$$

- Coste asociado al Profesor Co-tutor.

$$\text{Salario bruto anual} = 35000 \text{ euros/año}$$

$$\text{Coste horario} = \frac{35000}{1840} = 19.02 \text{ euros/hora}$$

### III.3. Coste de oficina unitario

El lugar en el que se ha desarrollado el proyecto está ubicado en Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID), en la Universidad Politécnica de Valencia. El coste de alquiler de la oficina, se ha estimado en base a la media de alquiler de oficinas en la ciudad de Valencia con un valor de 900 euros. Además, el coste se divide entre 4 personas que la ocupan:

$$\text{Coste mensual oficina} = \frac{900}{4} = 225 \text{ euros/mes}$$

$$\text{Coste total} = 225 \text{ euros/mes} \cdot 3 \text{ meses} = 675 \text{ euros}$$

Los costes incluyen los permisos, gastos de luz, agua y calefacción, material de oficina y el seguro correspondiente.

## IV. Desglose de costes totales

### IV.1. Coste de material y software total

Descripción	Horas	Importe (euros)
Ordenador portátil	300	13,06
Licencia Microsoft Office 2016	300	8
Licencia ArcGIS	300	0
<b>TOTAL</b>		<b>21,04</b>

### IV.2. Coste de personal cualificado total

Descripción	Horas	Importe (euros)
Profesor Tutor	156	2967.40
Profesor Co-tutor	50	597.83
<b>TOTAL</b>		<b>3565.23</b>

### IV.3. Coste de oficina total

Descripción	Horas	Importe (euros)
Alquiler de oficina	3	675
<b>TOTAL</b>		<b>675</b>

## V. Resumen del presupuesto total

Descripción	Subtotal (euros)
Coste de material y software	21,04
Coste de personal cualificado	3565,23
Coste de oficina	675
<b>Coste total del proyecto</b>	<b>4261,27</b>

El presupuesto total del presente proyecto asciende a CUATRO MIL DOSCIENTOS SESENTA Y UN EUROS.



# Anexo 3 – Pliego de Condiciones

## I. Condiciones generales

### I.1. General

En cualquier puesto de trabajo en el que, habitualmente y durante una parte relevante del trabajo se haga uso de un equipo con pantalla de visualización, ya bien se trate de un ordenador o vigilancia de pantallas, está sujeto a unos riesgos bien definidos que se deben prevenir. Este tipo de trabajo constituye, probablemente, el ejemplo más característico de cómo una nueva tecnología puede suponer la introducción de nuevos riesgos tales como problemas en ojos y visión, posturales y lesiones por movimientos repetidos y estrés.

Para mitigar dichos efectos, el Real Decreto 488/1997 de 14 de abril establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización donde se aplican las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos laborales.

Las variables principales a las que se debe prestar especial atención para la prevención del tipo de riesgos a los que el trabajador puede enfrentarse en la realización del Trabajo de Fin de Grado son:

- Tiempo de permanencia requerida ante la pantalla, el cual puede ser de manera continua o discontinua.
- Tiempo de trabajo con la pantalla de visualización.
- Exigencia y grado de complejidad de la tarea que el operario tiene que realizar ante la pantalla de visualización.
- Necesidad de obtener información de manera rápida y precisa.

Los factores generales que se deben tener en cuenta para la prevención de riesgos laborales son:

- Seguridad (debido a contactos eléctricos, caída o golpes en el puesto de trabajo).
- Higiene industrial (iluminación, ruido y condiciones termo-higrométricas, transmisiones de virus en el ambiente de trabajo o bacterias nocivas a través del contacto en el teclado que podría acumular gran cantidad de estas).
- Ergonomía (fatiga visual, picores, percepción borrosa. Fatiga física y mental: ansiedad, irritabilidad o insomnio).

## I.2. Real Decreto 488/1997 de 14 de abril

### Artículo 1. Objeto.

1. El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.
2. Las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior.
3. Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este Real Decreto:
  - a. Los puestos de conducción de vehículos o máquinas.
  - b. Los sistemas informáticos embarcados en un medio de transporte.
  - c. Los sistemas informáticos destinados prioritariamente a ser utilizados por el público.
  - d. Los sistemas llamados portátiles, siempre y cuando no se utilicen de modo continuado en un puesto de trabajo.
  - e. Las calculadoras, cajas registradoras y todos aquellos equipos que tengan un pequeño dispositivo de visualización de datos o medidas necesario para la utilización directa de dichos equipos.
  - f. Las máquinas de escribir de diseño clásico, conocidas como máquinas de ventanilla.

### Artículo 2. Definiciones.

A efectos de este Real Decreto se entenderá por:

1. Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado.
2. Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provisto, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato.
3. Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización.

### Artículo 3. Obligaciones generales del empresario.

1. El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo.

En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.

2. A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos. La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre éstas, especialmente, las siguientes:
  - a. El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
  - b. El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
  - c. El grado de atención que exija dicha tarea.
3. Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de quipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máxima del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con otras o estableciendo las pausas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.
4. En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

#### Artículo 4. Vigilancia de la salud.

1. El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:
  - a. Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
  - b. Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.

- c. Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.
2. Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
3. El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

#### Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.

1. De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto,
2. El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
3. El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

#### Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.

La consulta y participación de los trabajadores o sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 18 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

#### Anexo

##### Disposiciones mínimas

Por todo lo dispuesto anteriormente, se va a definir el puesto de trabajo específico para la prevención de riesgos laborales y seguridad.

1. Equipo.
  - a. Observación general.

La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.

b. Pantalla.

Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad. El usuario de terminales con pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno. La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario. Podrá utilizarse un pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla. La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

c. Teclado.

El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos. Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización. Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.

d. Mesa o superficie de trabajo.

La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio. El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.

e. Asiento de trabajo.

El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable. La altura del mismo deberá ser regulable, el respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable. Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

2. Entorno

a. Espacio.

El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.

b. Iluminación.

La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado. El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.

c. Reflejos y deslumbramientos.

Los puestos de trabajo deberían instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla. Las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.

d. Ruido.

El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.

e. Calor.

Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.

f. Emisiones.

Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.

g. Humedad.

Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.

3. Interconexión ordenador / persona.

Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:

a. El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.

- b. El programa habrá de ser fácil de utilizar y deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo o cualitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
- c. Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
- d. Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptados a los operadores.
- e. Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

## II. Condiciones de especificaciones técnicas

### II.1. Especificaciones de materiales y equipos

#### Hardware

El Hardware requerido para este proyecto debe ser capaz de soportar cómodamente los procesos. De entre los diferentes softwares empleados, ArcGIS es el que presenta unos requisitos de Hardware más concretos. De este modo, la computadora empleada deberá disponer, como mínimo, de un procesador Intel Pentium-n de al menos 350 MHz de velocidad, de 60 MB de disco duro disponible para la instalación, al menos 1 GB de disco duro disponible para el procesamiento de datos, con 5 GB recomendados, así como 128 Mb de memoria RAM disponibles, recomendándose 256 Mb para mejor funcionamiento. Se ha empleado un ordenador portátil de marca Toshiba que cumple las especificaciones mencionadas anteriormente.

#### Software

El principal obstáculo del software utilizado, ArcGIS, es el total desconocimiento del mismo y la dificultad para acceder a determinados módulos. Los programas utilizados para la elaboración del proyecto:

- PDF reader
- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Microsoft PowerPoint
- Editor de textos
- Google Drive
- ArcGIS

## Trabajo Fin de Grado

### Conexión a internet

La conexión a internet ha sido necesaria y elemental en la evolución del proyecto. Se ha utilizado para acceder a la información que se detalla a lo largo de documento, así como de las cartas aeronáuticas empleadas. También se ha utilizado para buscar información sobre el funcionamiento del programa ArcGIS

### Conocimientos previos

Para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, se ha requerido de conocimientos previos en la rama de cartografía aeronáutica, convencional y GNSS, más concretamente en aquellos basados en SBAS. También eran necesarios conocimientos de Aeronavegación y en formato de transmisión de mensajes y archivos en el sector aeronáutico.

En el ámbito personal, son necesarias la autonomía, la perseverancia, predisposición y paciencia.

### Conocimientos informáticos

En el ámbito de la simulación, es necesaria la familiarización con las herramientas que contribuirán a la consecución del proyecto y solución de problemas de forma rápida y eficiente. El desconocimiento de programas como ArcGIS ha supuesto una evolución más lenta del proyecto. Es recomendable un aprendizaje concurrente y un proceder multitarea para evitar caer en bloqueos o congestiones.

### Material adicional

Es necesario acceder a documentos específicos del tema tratado, ya que la cartografía aeronáutica presenta unos requerimientos diferentes según el sistema a tratar. De este modo, dado que la mayoría de estos documentos no se encuentran traducidos al castellano, se recomienda el conocimiento del inglés para poder manejar la información.

### Supervisión

El supervisor encargado del proyecto deberá tener experiencia demostrada y contrastada en la ejecución de proyectos relacionados con la cartografía aeronáutica y procedimientos GNSS, así como en el uso del software principal empleado para el mismo. Además, un porcentaje importante (al menos el 90%) de dichos proyectos deberán haber sido llevados a cabo de forma satisfactoria en lo referido a plazos, presupuesto, cumplimiento de las especificaciones y aceptación por parte del cliente.