

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Trabajo Fin de Grado

“Diseño de un procedimiento de Llegada Point Merge para el Aeropuerto de Tenerife Norte (GCXO)”

Luis Gómez-Huedo Ramírez

Tutor

Pedro Yuste Pérez

Valencia, 2019



INDICE DE CONTENIDOS

1. OBJETIVO	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Aeropuerto de Tenerife Norte.....	3
2.1.1 Introducción	3
2.1.2 Ubicación y Entorno del Aeropuerto	4
2.1.2 Historia del Aeropuerto.....	5
2.1.3 Características del Aeropuerto.....	8
2.1.4 Estadísticas del aeropuerto.....	11
2.1.5 Rutas de Llegada al Aeropuerto.....	15
2.2 Conceptos.....	19
2.3 Point Merge System (PMS)	20
2.3.1 Introducción al PMS	20
2.3.2 Descripción del PMS	22
2.4 Entidades y Recursos	25
2.4.1 Aena	25
2.4.2 FlightRadar24	26
Funcionamiento FlightRadar24	27
2.4.3 Eurocontrol	28
Network Operations Portal (NOP).....	29
3. TRAFICO Y CAPACIDAD TFN.....	30
3.1 Estudio Tráfico Diario TFN (GCXO).....	30
3.1.1 29 mayo 2019.....	30
3.1.2 30 mayo 2019.....	31
3.1.3 31 mayo 2019.....	32
3.2 Capacidad Máxima del Aeropuerto	34

4. CALCULOS	36
4.1 Dimensiones del PMS.....	36
4.2 Senda descenso y altitud PMS	37
4.3 Distancia entre arcos de secuenciación.....	40
5. SIMULACION DE LLEGADAS	42
5.1 Desarrollo del Programa de Simulación	42
5.2 Resultados de la Simulación	45
6. RESULTADOS	48
6.1 Representación PMS pista 12	48
6.2 Representación PMS pista 30	53
7. CODIGO MATLAB	58
7. 1 Funciones	58
7.1.1 Función crear_ruta	58
7.1.2 Función envolventePMS.....	59
7.1.3 Función secuencPMS.....	60
7.1.4 Función rutasPMS.....	63
7.2 Scripts	64
7.2.1 RutasLlegada	64
7.2.2 PMSTF12 y PMSTF30	65
8. pliego de condiciones.....	68
8.1 Introducción	68
8.2 Especificaciones de diseño	68
8.3 Especificaciones de compatibilidad.....	69
8.3.1 Compatibilidad con el entorno.....	69
8.3.2 Compatibilidad con Espacio Aéreo	69
8.3.3 Compatibilidad de requerimientos.....	70

8.4 Especificaciones de Capacidad y Tráfico	71
8.5 Conocimientos	71
9. PRESUPUESTO	72
9.1 Introducción	72
9.2 Desglose de costes	72
9.2.1 Mano de Obra	72
9.2.2 Recursos Materiales	73
9.2.3 Licencias de Software	74
9.2.4 Consumibles.....	75
9.3 Presupuesto final.....	75
10. CONCLUSIONES	76
11. BIBLIOGRAFIA	78
PLANOS	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aeropuerto de Tenerife Norte en planta. Google Earth.	3
Figura 2. Ubicación geográfica del aeropuerto de Tenerife Norte. Google Earth.....	4
Figura 3. Distribución de la población por municipios en 1998. Plan Director Aeropuerto Tenerife Norte.....	5
Figura 4. Aterrizaje del Arado VI, 5 diciembre 1929. Archivo de Lufthansa.....	6
Figura 5. Estado actual TFN. http://www.infraestructurasytransporte.sener	7
Figura 6. Mapa de destinos de Tenerife Norte. AENA.	8
Figura 7. Características físicas de las pistas TFN. AIP.....	9
Figura 8. Radio ayudas a la navegación y el aterrizaje TFN. AIP.	9
Figura 9. FIR's existentes en los territorios de España. OACI.....	10
Figura 10. Áreas de Control de Maniobra de España. OACI.	10
Figura 11. Rutas de llegada al Aeropuerto de Tenerife Norte. Google Earth.	16
Figura 12. Carta de aproximación por instrumentos ILS Z RWY 12, GCXO. AIP.....	17
Figura 13. Carta de aproximación por instrumentos ILS Z RWY 30, GCXO. AIP.....	18
Figura 14. Ubicación de los IAF de las rutas de llegada a GCXO. Google Earth.....	19
Figura 15. Navegación convencional vs RNAV/RNP. http://www.flap152.com	21
Figura 16. Esquema ejemplo PMS. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.	22
Figura 17. Esquema Point-Merge. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.	23
Figura 18. Descenso Constante vs Descenso en aproximación convencional. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.	24
Figura 19. Mapa de la red de Aena en España. Wikipedia.....	25
Figura 20. Información FlightRadar24 en un vuelo Frankfurt – New York.	27
Figura 21. Capacidad del Aeropuerto de Tenerife Norte. NOP	34

Figura 22. Tipo de tráfico en función de la categoría de estela turbulenta para hora pico en TFN. NOP.....	35
Figura 23. Perfil de altitud del PMS y de la aproximación. Elaboración propia.....	38
Figura 24. Perfil de altitudes de la aproximación ILS a la pista 30 TFN. AIP.....	39
Figura 25. Separación vertical entre entradas a los arcos PMS. Elaboración propia.	40
Figura 26. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.	42
Figura 27. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.	43
Figura 28. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.	44
Figura 29. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.	45
Figura 30. Resultado del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.....	45
Figura 31. Esquema PMS para pista 12 TFN. Google Earth.....	48
Figura 32. Perfil del esquema PMS para la pista 12 TFN. Google Earth.....	49
Figura 33. PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.	50
Figura 34. Planta PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.	50
Figura 35. Espacio de llegadas con PMS pista 12 TFN. Google Earth.	51
Figura 36. Espacio de llegadas con PMS pista 12 TFN, perspectiva. Google Earth.....	52
Figura 37. Esquema PMS para pista 30 TFN. Google Earth.....	53
Figura 38. Perfil del esquema PMS para la pista 30 TFN. Google Earth.....	54
Figura 39. PMS unión umbral de pista 30 TFN. Google Earth.	54
Figura 40. Planta PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.	55
Figura 41. Planta PMS con Segmentos iniciales para pista 30. Google Earth.	55
Figura 42. Espacio de llegadas con PMS pista 30 TFN. Google Earth.	56
Figura 43. Espacio de llegadas con PMS pista 30 TFN, perspectiva. Google Earth.....	57
Figura 44. Extracto de la función crear_ruta. Matlab.....	58
Figura 45. Extracto de la función crear_ruta. Matlab.....	59
Figura 46. Extracto de la función envolventePMS. Matlab.	60

Figura 47. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.	61
Figura 48. Extracto de la función circle. Matlab.	62
Figura 49. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.	62
Figura 50. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.	63
Figura 51. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.	63
Figura 52. Extracto del Script RutasLlegada. Matlab.	64
Figura 53. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.....	65
Figura 54. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.....	66
Figura 55. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.....	67
Figura 56. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.....	67
Figura 57. Bolsa económica mínima impuesta por la ETSID. ETSID, UPV.....	73

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO DE PASAJEROS EN EL AEROPUERTO DE TENERIFE NORTE.	13
TABLA 2. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍA EN KILOGRAMOS EN EL AEROPUERTO DE TENERIFE NORTE.	14
TABLA 3. NÚMERO MÁXIMO DE LLEGADAS POR HORA DURANTE LOS DÍAS 29, 30 Y 31 DE MAYO A TFN.	34
TABLA 4. DISTANCIA MÍNIMA DE SEPARACIÓN ENTRE AERONAVES QUE SE APROXIMAN EN SENTIDOS OPUESTOS.	40
TABLA 5. COSTE DE LA MANO DE OBRA.	73
TABLA 6. COSTE TOTAL RECURSOS MATERIALES.	74
TABLA 7. COSTE TOTAL LICENCIAS SOFTWARE.	75
TABLA 8. COSTE TOTAL CONSUMIBLES.	75
TABLA 9. COSTE TOTAL TRABAJO.	75

INDICE DE HISTOGRAMAS

Histograma 1. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 29 de mayo de 2019. ...	31
Histograma 2. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 30 de mayo de 2019. ...	32
Histograma 3. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 31 de mayo de 2019. ...	33
Histograma 4. Repetitividad tiempos de espera estudio Simulación Llegadas.	46

1. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el diseño de un procedimiento de llegada normalizado basado en un esquema Point Merge para las dos configuraciones de pista que podemos encontrar en el aeropuerto de Tenerife Norte (GCXO).

La elección del diseño de un procedimiento de llegada basado en un esquema Point Merge, PMS (Point Merge System) a partir de ahora, se fundamenta en el fin de gestionar de manera eficiente el tiempo y el espacio de separación entre aeronaves a la vez que disminuye la carga de trabajo del controlador, al tratarse de un procedimiento basada en Navegación de Área (RNAV). La navegación RNAV tiene como objetivo principal el vuelo de tramos lo más directo posibles basados en coordenadas de navegación, evitando así el seguimiento de una ruta por radio ayudas convencionales.

En primer lugar, se va a realizar una introducción al aeropuerto para conocer acerca de su ubicación, su entorno y su importancia en la isla de Tenerife.

Teniendo en mente la instalación de un PMS en el aeropuerto, se va a desarrollar un estudio de las características principales del mismo, características relacionadas con la disposición de las pistas de este, así como de los sistemas de aproximación de los que dispone en la actualidad y también el FIR y el TMA en el que está ubicado

Se elaborará además un estudio de las estadísticas anuales de tráfico aéreo de pasajeros y operaciones del aeropuerto de Tenerife Norte con el fin de justificar la implementación de este procedimiento. El aeropuerto de Tenerife Norte es un aeropuerto ubicado en el TMA de Canarias, una región con una gran congestión de tráfico aéreo y con una gran cantidad de rutas de salida y de llegada en todos los aeropuertos que engloba. Dentro del TMA de Canarias se concentran todos los aeropuertos de las diferentes islas que conforman el archipiélago, un total 8 aeropuertos ya que en Tenerife existen dos. Este hecho hace que la densidad de tráfico aéreo en la zona sea muy elevada y puedan generarse en ocasiones demoradas debido a una gran congestión del espacio aéreo. Además, el aeropuerto de Tenerife Norte ocupa el puesto 9 en el ranking de operaciones anuales en aeropuertos españoles, con una demanda de tráfico de pasajeros y carga que se encuentra en aumento en los últimos años, por lo que resulta interesante el diseño de un procedimiento de estas características ya que agiliza los flujos de llegada.

También se va a realizar un estudio de las diferentes rutas de llegada que existen en la actualidad en el aeropuerto con el fin de encontrar debilidades en ellas que justifiquen

el diseño de un procedimiento de llegada alternativo y así como referencias que nos faciliten la ubicación de implantación del procedimiento. Se podrá observar la necesidad de modificar la carta de llegadas actuales al no tener interés operacional los IAF existentes.

Con el objetivo de dimensionar físicamente el PMS se va a realizar una simulación de llegadas al aeropuerto, para así obtener la espera media de las aeronaves que se ven demoradas al alcanzar a la fase de llegada. La realización de esta simulación se va a basar en un estudio de las llegadas reales al aeropuerto en un determinado periodo de tiempo. Los datos para la realización de este estudio se podrán obtener de varias fuentes, como Aena, Eurocontrol o Flightradar.

Por último, se van a realizar los cálculos que nos permitan dimensionar el PMS, basándose estos en la demanda de tráfico de llegada del aeropuerto y teniendo a su vez en cuenta diversas consideraciones de diseño impuestas por la propia configuración del PMS, así como por requerimientos operacionales.

Finalmente se van a mostrar los resultados obtenidos del PMS resultante para las dos configuraciones de pista del Aeropuerto de Tenerife Norte.

2. ANTECEDENTES

2.1 Aeropuerto de Tenerife Norte.

2.1.1 Introducción

El aeropuerto de Tenerife Norte, antiguamente llamado Aeropuerto de Los Rodeos y Aeropuerto de Tenerife, es uno de los dos aeropuertos que sirven de servicios de tránsito aéreo a la isla canaria de Tenerife, junto con el aeropuerto de Tenerife Sur o Aeropuerto Reina Sofía.



Figura 1. Aeropuerto de Tenerife Norte en planta. Google Earth.

El código OACI del aeropuerto es GCXO, por su parte el código IATA es TFN. Se trata de un aeropuerto español gestionado por Aena y es el más antiguo de la isla de Tenerife. Pese a ello, es el segundo en cuanto a volumen de tráfico de pasajeros de la isla, por detrás del Aeropuerto Reina Sofía (Tenerife Sur) ya que es el que concentra casi la totalidad de los vuelos internacionales procedentes de toda Europa. Este hecho se debe al carácter turístico y vacacional de la zona del Sur donde se encuentra el clima más veraniego junto con las playas más concurridas y turísticas de la isla.

Se trata por tanto del 5º aeropuerto de las Canarias en cuanto a volumen de tráfico de pasajeros por detrás de los aeropuertos de Gran Canaria, Tenerife Sur, Lanzarote y Fuerteventura. Además de ocupar el puesto 13º entre todos los aeropuertos españoles con un número aproximado a los 5 millones de pasajeros anuales. Más adelante trataremos esta información con más rigor.

2.1.2 Ubicación y Entorno del Aeropuerto

El aeropuerto de Tenerife Norte está localizado en las coordenadas geográficas 28°29'17" N 16°20'45"O, pertenecientes al término municipal de San Cristóbal de la Laguna. Siendo esta la segunda ciudad más grande la isla de Tenerife, con aproximadamente 156000 habitantes, situada en el noreste de la isla junto a la ciudad de Santa Cruz de Tenerife con la que se encuentra tanto física como urbanísticamente unida. Ubicado, por tanto, en la provincia de Santa Cruz de Tenerife, formada por las islas de Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro.



Figura 2. Ubicación geográfica del aeropuerto de Tenerife Norte. Google Earth.

Situado a una altitud de 630 m (2077 pies), es el encargado de ofrecer los servicios de tránsito aéreo a la zona norte de la isla de Tenerife, donde se encuentran los principales núcleos de población de la isla tinerfeña como lo son Santa Cruz de Tenerife, San Cristóbal de la Laguna, La Orotava, Puerto de la Cruz o Icod de los Vinos entre otros.

A modo informativo, podemos observar a continuación un estudio demográfico de la distribución de población por municipios del Plan Director del Aeropuerto de Tenerife Norte, realizado en 1998.

Núcleos de población	Población de hecho (hab.)	Densidad (hab/km ²)	Porcentaje (% s/provinc.)	Porcentaje acumulado
S.C.Tenerife (capital)	211.930	1.407	27,17	27,17
Laguna, La	127.945	1.253	16,40	43,57
Orotava, La	35.775	173	4,59	48,16
Realejos, Los	32.469	569	4,16	52,32
Arona	26.312	322	3,37	55,69
Puerto de la Cruz	24.050	2.764	3,08	58,77
Icod de los Vinos	22.079	230	2,83	61,60
Resto de municipios	299.592	116	38,40	100,00
Total Provincia	780.152	231	100,00	-

FUENTE: Elaboración propia sobre datos del Instituto Nacional de Estadística




Figura 3. Distribución de la población por municipios en 1998. Plan Director Aeropuerto Tenerife Norte.

Se puede observar ya en los censos de 1998 como los núcleos de población mayoritarios de la provincia de Santa Cruz de Tenerife se encontraban en el norte de la isla de Tenerife, de los mostrados en la figura anterior, tan solo el municipio de Arona se encuentra en la zona sur de la isla tinerfeña. En 1998 aproximadamente el 44 % de la población de la provincia se concentraba en los municipios de Santa Cruz de Tenerife y La Laguna.

Por su parte el acceso al aeropuerto por tierra es sencillo, ya que la isla de Tenerife está prácticamente circunvalada por una red de autovías (Autovías TF) que van desde Los Realejos hasta Santiago del Teide rodeando toda la isla. El acceso directo desde estas autovías al aeropuerto de Tenerife Norte es la TF-5.

2.1.2 Historia del Aeropuerto

Ante el repentino auge del turismo en las Islas Canarias, en el verano de 1929, la compañía alemana Luft Hansa anuncia el deseo de volar de Berlín a Tenerife vía Marsella y Sevilla, es entonces cuando el Cabildo (Gobierno de Tenerife) decide la habilitación de un aeródromo provisional en el llano de los Rodeos en una superficie de 17 hectáreas con el fin de atender esta demanda de tráfico proveniente de Europa. Estas obras se finalizan a finales de verano, sin embargo, no es hasta el 5 de diciembre de 1929 cuando se produce el primer vuelo a Tenerife procedente de Berlín.

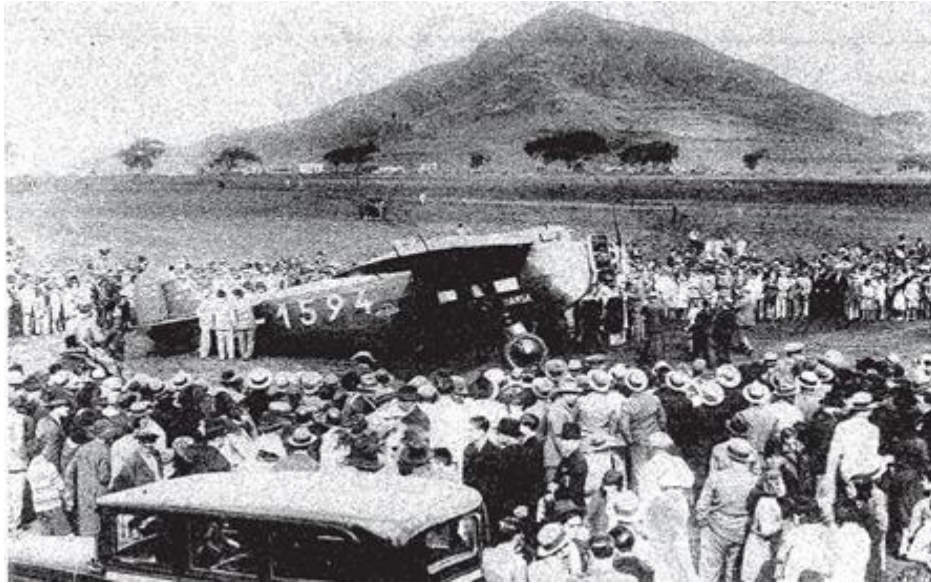


Figura 4. Aterrizaje del Arado VI, 5 diciembre 1929. Archivo de Lufthansa.

Con el objetivo de finalizar la construcción del aeropuerto, el Cabildo solicita al Gobierno la declaración de Aeropuerto Nacional tanto para el Llano de Los Rodeos como para la Bahía de Los Cristianos (donde posteriormente se construiría el aeropuerto de Tenerife Sur). La designación de ambas zonas como zonas de Aeropuerto Nacional sería una realidad el 14 de mayo de 1930 con una Real Orden que lo ratificaba.

Desde 1936, fecha en el Cabildo comienza las obras, el aeródromo ha sufrido numerosas ampliaciones y mejoras que han permitido aumentar su capacidad de tráfico aéreo. Durante la década de los 40 se producen varias de las mejoras más relevantes de su historia. En el verano de 1941 comienza la construcción del edificio de la terminal de pasajeros y un hangar para aeronaves, aprovechando las 43 hectáreas de las que disponía entonces del campo de Los Rodeos, obra que finalizaría en el verano de 1943. En 1945 se construye su primera pista pavimentada hecho que le confirió en 1946 la calificación de aeropuerto aduanero abierto a todo tipo de tráfico nacional e internacional. En 1949 se instalan ayudas a la navegación e iluminación de borde de pista, habilitando de este modo el aeródromo para vuelos nocturnos.

En el año 1963 se lleva a cabo la construcción de una nueva torre de control, así como de una zona de estacionamiento de aeronaves que permitía aumentar la capacidad del mismo. En otoño de 1964 se aprueba la ampliación de la pista existente y la instalación de nuevas ayudas a la navegación aérea con el objetivo de adaptar el aeródromo a las nuevas aeronaves del mercado y subsanar al mismo tiempo las inclemencias

meteorológicas de la zona. En 1971 se refuerza la pista para permitir el aterrizaje de B747 y se instala a su vez un sistema ILS.

Finalmente, en el año 1978 las autoridades aeroportuarias cierran el aeropuerto de Los Rodeos al tráfico internacional debido a la inminente construcción del aeródromo de Tenerife Sur el cual acogería en un principio la mayor parte de este tráfico. Sin embargo, siguió estando habilitado al tráfico nacional e interinsular. Con la construcción del aeropuerto de Tenerife Sur el Aeropuerto de Los Rodeos pasa a llamarse Aeropuerto de Tenerife Norte (IATA: TFN).

Este cierre del tráfico internacional en el aeropuerto de Tenerife Norte fue influido en gran parte por el accidente del 27 de marzo de 1977 conocido como el Accidente de Los Rodeos y reconocido como el accidente aéreo con mayor número de víctimas mortales en la historia de la aviación. Hecho que aceleró a su vez la construcción del aeropuerto de Tenerife Sur.

Como consecuencia de todo ello, el aeropuerto de Tenerife Norte perdió gran parte de su volumen de tráfico de pasajeros. Sin embargo, este siguió manteniendo importantes rutas nacionales e interinsulares hasta que en 2003 se recuperaran las rutas internacionales al establecerse un slot con Caracas. En ese mismo año se inauguró la nueva terminal del aeropuerto de Tenerife Norte, con el objetivo de cubrir la creciente demanda de tráfico aéreo de pasajeros que se estaba demandando.



Figura 5. Estado actual TFN. <http://www.infraestructurasytransporte.sener>

Actualmente dispone de una gran cantidad de rutas a destinos insulares y nacionales, además de algunos internacionales, entre los que podemos incluir vuelos a la costa de Marruecos (Casablanca y Agadir) y a Sudamérica con la ruta a Caracas que se ha

mencionado anteriormente. Dispone de una gran cantidad de rutas con la Península como Madrid, Bilbao, Vigo, Barcelona o Sevilla. Además, es el aeropuerto que conecta la isla de Tenerife con el resto de la provincia de Santa Cruz de Tenerife y con el resto del archipiélago canario.

A continuación, se va presentar una imagen en la que se pueden observar todos los destinos en los que opera el aeropuerto de Tenerife Norte:



Figura 6. Mapa de destinos de Tenerife Norte. AENA.

Como se puede observar a simple vista en la figura anterior la mayoría de los destinos se encuentran al este del aeropuerto de Tenerife Norte, pues provienen de Europa o la costa de Marruecos. Esto tendrá una gran influencia en el desarrollo del diseño del procedimiento de llegada Point Merge, pues lo más seguro es que se observe una importante cantidad de tráfico por dicha zona, unido a una gran congestión de rutas de llegada en la zona este de la isla de Tenerife. Se verá más adelante.

2.1.3 Características del Aeropuerto

En este apartado se presentan algunos datos de interés relativos las pistas del aeropuerto y las instalaciones de este, los cuales se pueden encontrar en las publicaciones del AIP y que serán útiles para el diseño del procedimiento que se va a realizar.

Con respecto a las pistas, el aeropuerto dispone de una única pista con dos sentidos disponibles y con orientaciones magnéticas de 116° y 296° , teniendo, por tanto, las pistas 12 y 30 respectivamente. Esta orientación se puede observar a simple vista en la figura 1 presentada anteriormente. El uso mayoritario de la pista es en configuración este, usando

la cabecera de la pista 12. A continuación, se muestran algunas de las características físicas de las pistas.

RWY	Orientación Direction	DIM (m)	THR PSN	THR ELEV TDZ ELEV	SWY (m)	CWY (m)	Franja (m) Strip (m)	OFZ	RESA (m)	RWY/SWY SFC PCN
12	110.57° GEO 116° MAG	3171 x 45	282915.92N 0162124.87W	THR: 628.6 m / 2062 ft TDZ: 633.0 m / 2077 ft	No	193 x 150	3291 x 150 (1)	No	133 x 150 (1)	RWY: Asfalto // Asphalt PCN 53/F/C/W/T SWY: No
30	290.59° GEO 296° MAG	3171 x 45	282839.71N 0161935.71W	THR: 611.6 m / 2007 ft TDZ: 618.8 m / 2030 ft	No	No	3291 x 150 (1)	Si // Yes	90 x 90 (1)	RWY: Asfalto // Asphalt PCN 53/F/C/W/T SWY: No

Figura 7. Características físicas de las pistas TFN. AIP.

En relación a los sistemas disponibles de ayudas a la navegación y el aterrizaje se puede apreciar a continuación como las dos configuraciones de la pista existente disponen de sistema de aterrizaje por instrumentos ILS.

Instalación (VAR) Facility (VAR)	ID	FREQ	HR	Coordenadas Coordinates	ELEV DME	Observaciones Remarks
DVOR (5° W)	TFN	117.700 MHz	H24	283212.6N 0161607.6W		
DME	TFN	CH 124X	H24	283212.9N 0161607.2W	1020 m	
DVOR (5° W)	LRO	116.200 MHz	H24	282905.7N 0162105.6W		U/S sector 010/025 CW debido al terreno // due to terrain.
DME	LRO	CH 109X	H24	282905.2N 0162105.8W	630 m	
L (5° W)	FP	420.000 kHz	H24	282930.8N 0162209.6W		
LOC 12 (5° W) ILS CAT I	INOR	108.700 MHz	H24	282837.1N 0161928.0W		116° MAG/93 m FM THR 30; COV 25 NM. NO AVBL BTN +5° +10° & -5°/-10° FM RCL BLW 7000 ft AMSL. NO AVBL AT 17 NM (15.4 NM DME) BTN +5°/+35° & -5°/-35° FM RCL BLW 7000 ft AMSL.
GP 12		330.500 MHz	H24	282909.3N 0162116.3W		3°; RDH 15.7 m; a // at 290 m FM THR 12 & 110 m FM RCL a la derecha en el sentido de APCH // on the right in the APCH direction.
ILS/DME 12	INOR	CH 24X	H24	282909.3N 0162116.3W	636 m	REF DME THR 12
LOC 30 (5° W) ILS CAT I	ITF	110.300 MHz	H24	282921.6N 0162141.9W		296° MAG/494 m FM THR 12; COV 25 NM
GP 30		335.000 MHz	H24	282839.8N 0161946.5W		3°; RDH 16.90 m; a // at 276 m FM THR 30 & 102 m FM RCL a la izquierda en el sentido de la APCH // on the left in the APCH direction.
ILS/DME 30	ITF	CH 40X	H24	282839.8N 0161946.5W	621 m	REF DME THR 30

Figura 8. Radio ayudas a la navegación y el aterrizaje TFN. AIP.

Sendas cabeceras de la pista del Aeropuerto de Tenerife Norte disponen de sistema ILS CAT I para el aterrizaje. Este hecho nos será de gran ayuda para el diseño y ubicación del procedimiento de llegada PMS, puesto que podremos utilizar los fijos (IF y FAP) de los sistemas ILS existentes para orientar y situar el procedimiento de llegada Point Merge con cada una de las orientaciones de la pista del Aeropuerto de estudio, es decir, el objetivo es orientar el Point Merge (Punto de confluencia) con la dirección de la pista en la que se va a aterrizar.

Por último, vamos a ubicar el Aeropuerto de Tenerife Norte en el espacio aéreo. En primer lugar, este pertenece al FIR de Canarias. El FIR son las diferentes regiones de información de vuelo en las que se divide el espacio aéreo.

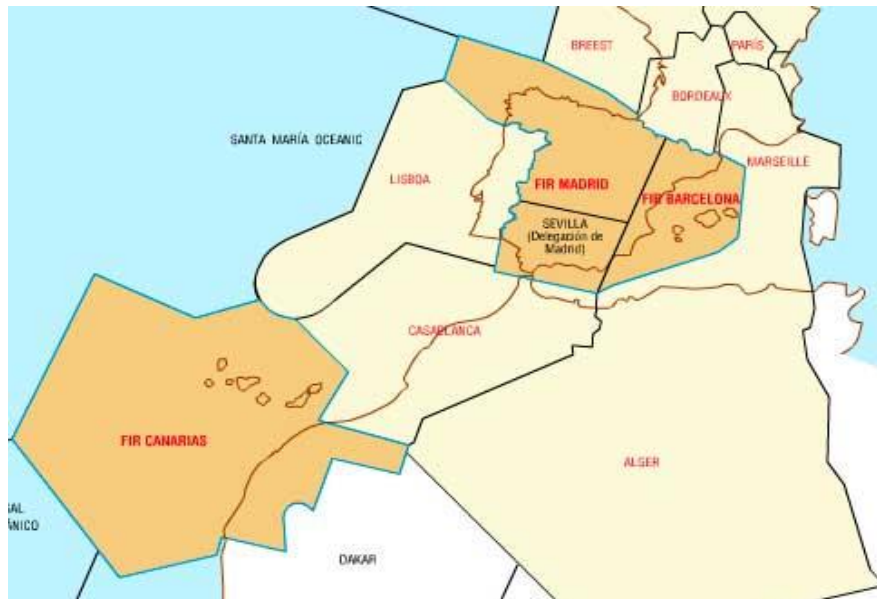


Figura 9. FIR's existentes en los territorios de España. OACI.

Cada país es responsable de los servicios prestados en las regiones en las que se encuentran sus territorios, aunque como se puede ver el FIR de un país no coincide exactamente con los límites territoriales de este.

Por su parte, el control del área terminal de maniobras (TMA) de la zona del aeropuerto de Tenerife Norte lo ejerce el TMA de Canarias. Se trata de una zona con una gran densidad de tráfico aéreo debido a la gran cantidad de vuelos interinsulares, así como de vuelos con la península y con el resto de Europa. Estamos hablando por tanto de un TMA bastante congestionado en cuanto a operaciones aéreas.



Figura 10. Áreas de Control de Maniobra de España. OACI.

Los TMA son áreas controladas que se pueden establecer sobre uno o varios aeropuertos, en función de la distancia entre estos, donde confluyen rutas de aproximación y rutas de salida. Este control TMA se ejerce sobre aeronaves en condiciones de vuelo instrumentales (IFR) que entran o salen del área TMA correspondiente.

Como se puede observar en la figura 10 el TMA de Canarias engloba todos los aeropuertos del archipiélago canario debido a la cercanía y a la confluencia de rutas de aproximación y salida y así como de aerovías entre estos.

2.1.4 Estadísticas del aeropuerto

En este apartado se va a tratar las estadísticas del aeropuerto de Tenerife Norte en cuanto a volumen de tráfico aéreo de pasajeros y de carga en años naturales y en meses. También se van a realizar comparaciones con el tráfico de otros aeropuertos y se van a deducir meses críticos en los que el aeropuerto está más saturado.

En la Tabla del Anexo A, se pueden observar las estadísticas de tráfico aéreo de pasajeros en los diferentes aeropuertos españoles del año 2018.

Estudiando los datos de dicha tabla, se puede ver como el aeropuerto de Tenerife Norte ocupa la posición 13 en el ranking de tráfico de pasajeros con una cifra de 5.493.994 pasajeros transportados. Esto le supone un incremento del 16.7% respecto al año 2017 en el que ocupaba la posición 14 con 4.706.827 pasajeros por detrás del aeropuerto de Bilbao. También el año 2017 experimento un crecimiento considerable aumentado la cifra de pasajeros en casi medio millón respecto al 2016 donde el tráfico fue de 4.219.633 pasajeros.

Si se estudian ahora las operaciones aéreas netas del aeropuerto en el año 2018, es decir, tanto de transporte de pasajero como de carga y transito se encuentran los datos de la Tabla Anexo B.

El termino *operaciones* implica todos aquellos vuelos que se han efectuado en el aeropuerto, ya sean vuelos destinados al transporte de pasajeros o destinados al transporte de carga y mercancía. Estudiando las operaciones del año 2018 se puede observar como el aeropuerto de Tenerife Norte se encuentra en el puesto 9 del ranking de operaciones con un total de 73.222 operaciones y un incremento del 19.8 % respecto al año 2017 donde la cantidad de operaciones del Aeropuerto de Tenerife norte fueron 61.102.

Además, también se puede apreciar esta tendencia entre los años 2016 y 2017 donde el número de operaciones se incrementó en un 9.8%.

Se puede ver como en este caso de estudio ocupa el puesto número 2 con respecto a los aeropuertos de las Islas Canarias, tan solo por detrás del Aeropuerto de Gran Canaria y un puesto por delante del aeropuerto de Tenerife Sur. El hecho de que el transporte de pasajeros sea muy superior en el Aeropuerto del Sur (pese a ser la zona menos poblada de la Isla) con respecto al del Norte, pero el número de operaciones sea menor, nos indica el fuerte carácter turístico del Aeropuerto de Tenerife Sur consecuencia de la gran cantidad de rutas con toda Europa. También podemos observar este hecho en otros aeropuertos de las Islas Canarias como el de Lanzarote o Fuerteventura.

Estudiando ahora la mercancía transportada en kilogramos en el año 2018 (Tabla Anexo C) en los aeropuertos de España, podemos confirmar esta teoría.

Se puede observar como tomando como referencia el transporte de mercancías en el año 2018, el aeropuerto de Tenerife Norte se sitúa de nuevo como segundo aeropuerto en las Islas Canarias y primero en la isla de Tenerife con 12.669.965 kilogramos de mercancía transportados, pese a haber disminuido la cantidad de kilogramos con respecto al año 2017 en un 4.3%.

Por tanto, del estudio de tráfico de pasajeros, operaciones y mercancía realizado en el año 2018, podemos deducir que el Aeropuerto de Tenerife Norte se postula como la puerta de entrada de productos y bienes peninsulares a la isla de Tenerife, adquiriendo un carácter algo menos turístico que el Aeropuerto Reina Sofía ubicado en la Bahía de Los Cristianos, debido a la ausencia de rutas con Europa, siendo sus rutas principales con la Península Ibérica y con el resto de islas del archipiélago canario.

Con el objetivo de determinar la estacionalidad del aeropuerto se va a estudiar el tráfico de pasajeros por meses durante los últimos 4 años. Consultando de nuevo los archivos de Aena.

TABLA 1. EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO DE PASAJEROS EN EL AEROPUERTO DE TENERIFE NORTE.

Mes	2015		2016		2017		2018	
	Pasajeros	Incr. %	Pasajeros	Incr. %	Pasajeros	Incr. %	Pasajeros	Incr. %
Enero	262.393	-1,80%	303.932	15,80%	313.155	3,00%	374.790	19,70%
Febrero	257.103	5,50%	304.123	18,30%	296.399	-2,50%	358.302	20,90%
Marzo	292.553	0,70%	358.789	22,60%	353.233	-1,50%	431.765	22,20%
Abril	308.626	2,60%	322.082	4,40%	379.116	17,70%	449.648	18,60%
Mayo	313.945	6,80%	376.825	20,00%	376.814	0,00%	489.399	29,90%
Junio	320.759	1,20%	361.259	12,60%	389.712	7,90%	475.226	21,90%
Julio	363.082	4,40%	382.974	5,50%	437.176	14,20%	526.271	20,40%
Agosto	396.923	8,60%	403.620	1,70%	463.201	14,80%	534.914	15,50%
Septiembre	335.284	6,20%	362.495	8,10%	428.258	18,10%	481.581	12,50%
Octubre	330.321	6,10%	365.088	10,50%	431.685	18,20%	475.763	10,20%
Noviembre	300.873	12,60%	332.120	10,40%	411.987	24,00%	437.267	6,10%
Diciembre	328.899	6,80%	339.726	3,30%	421.905	24,20%	450.135	6,70%
Total	3.810.761	5,00%	4.213.033	10,60%	4.702.641	11,60%	5.485.061	16,60%

Fuente: Aena.

Como se puede observar, de los meses de cada uno de los años estudiados, el mes de mayor tráfico aéreo de pasajeros coincide con el mes de agosto el cual aglutina aproximadamente el 10 % del tráfico anual para cada año estudiado. Por su parte, los meses con menos tráfico aéreo son enero o febrero donde el porcentaje del tráfico sobre el total ronda el 6-7%. Se puede deducir entonces, un cierto carácter estacional correspondiente a los meses de verano en el aeropuerto de Tenerife Norte. Pese a ello, esta diferencia refleja una estacionalidad baja, consecuencia probablemente del clima de las Islas Canarias, muy estable durante todo el año. Si se estudiase la estacionalidad del Aeropuerto de Tenerife Sur se obtendría la misma tendencia, aunque con un mayor número de tráfico de pasajeros.

Si se estudia los kilogramos de mercancía transportados durante los meses de los últimos 3 años se obtienen los siguientes datos.

TABLA 2. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍA EN KILOGRAMOS EN EL AEROPUERTO DE TENERIFE NORTE.

Mes	2016		2017		2018	
	Mercancía Total (Kg)	Inc %	Mercancía Total (Kg)	Inc %	Mercancía Total (Kg)	Inc %
Enero	906.183	10,20%	938.063	3,50%	994.061	6,00%
Febrero	859.403	-0,60%	1.077.045	25,30%	1.087.682	1,00%
Marzo	1.204.160	19,00%	1.416.933	17,70%	1.284.630	-9,30%
Abril	1.064.666	7,80%	1.053.033	-1,10%	909.850	-13,60%
Mayo	1.263.033	17,20%	1.217.448	-3,60%	967.103	-20,60%
Junio	1.302.378	-1,30%	1.213.502	-6,80%	1.142.200	-5,90%
Julio	905.308	-23,50%	998.584	10,30%	918.117	-8,10%
Agosto	961.555	-17,70%	1.107.133	15,10%	995.688	-10,10%
Septiembre	1.063.070	-18,30%	1.113.942	4,80%	1.019.635	-8,50%
Octubre	1.016.507	-15,70%	1.102.829	8,50%	1.333.078	20,90%
Noviembre	958.438	-4,50%	998.869	4,20%	1.057.891	5,90%
Diciembre	1.021.624	2,30%	1.041.588	2,00%	984.503	-5,50%
Total	12.526.325	-3,20%	13.278.969	6,00%	12.694.438	-4,40%

Fuente: Aena.

Se puede observar como el transporte de mercancías en kilogramos se reparte de manera aproximadamente uniforme a lo largo de los meses del año, con un carácter algo estacional en la temporada de marzo a octubre. Esta distribución aproximadamente uniforme del transporte de mercancías durante el año es consecuencia de la ubicación del aeropuerto en la isla, muy próximo a los principales núcleos de población de la provincia como Santa Cruz de Tenerife o San Cristóbal de la Laguna. Además, como se ha comentado anteriormente, el aeropuerto de Tenerife Norte es la puerta de entrada de bienes por parte de la Península Ibérica, ocupando con creces el primer puesto en cuanto a transporte de mercancías en los aeropuertos de la Isla.

Con el objetivo de determinar las rutas principales del aeropuerto de Tenerife Norte se va a estudiar el número de operaciones del aeropuerto en función del lugar de origen o destino, Tabla Anexo D.

Pese a que solo se han representado en dicha tabla los 25 aeródromos de origen/destino con más tráfico de operaciones con el Aeropuerto de Tenerife Norte, se puede apreciar como todos ellos, a excepción del aeropuerto de Casablanca y de Blaise Diagne INTL, son destinos nacionales. Entre los destinos nacionales, las operaciones más repetidas son los vuelos interinsulares con las Islas Canarias y con Madrid en la Península. Este estudio nos confirma el carácter nacional de este aeropuerto, encargado de enlazar la isla de Tenerife con la península Iberia y las islas del archipiélago canario.

Del estudio de las estadísticas de tráfico aéreo se derivan varias conclusiones:

- El aeropuerto de Tenerife Norte es el segundo aeropuerto Tenerife en cuanto a transporte anual de pasajeros por detrás del Aeropuerto de Tenerife Sur.
- El principal objetivo de las operaciones aéreas del aeropuerto de Tenerife Norte es la conexión de la Isla de Tenerife con otras Islas del archipiélago canario y con la Península Ibérica.
- Presenta una estacionalidad baja entre los meses de verano e invierno, debido a que es el encargado de servir a la zona norte de la Isla donde se encuentran los núcleos de población más multitudinarios y activos y también debido al clima estable que presenta la región durante todo el año.
- Es el segundo aeropuerto de las Islas Canarias y el primero de Tenerife en cuanto a operaciones aéreas y transporte de kilogramos de mercancía, lo que lo sitúa como el puerto de entrada de bienes y productos por parte de la Península a Tenerife.
- En los últimos años está experimentando un crecimiento tanto en el número de tráfico de pasajeros como en el número de operaciones aéreas, este hecho sumado a una gran congestión en el TMA de Canarias hace que el planteamiento de un procedimiento de llegada basado en una gestión eficiente de tiempos (como es el caso del procedimiento PMS) sea interesante para garantizar y agilizar una eficaz gestión del tráfico en la zona.

2.1.5 Rutas de Llegada al Aeropuerto

Puesto que el procedimiento que se quiere diseñar es un procedimiento de llegada normalizada basado en un esquema Point Merge es necesario conocer los procedimientos de llegada que existen en la actualidad en el aeropuerto de Tenerife Norte. También estudiaremos las aproximaciones existentes en ambas configuraciones para la pista del aeropuerto, con el objetivo de determinar la compatibilidad de estas con el procedimiento que se desea implantar. En primer lugar, vamos a presentar la carta de llegada normalizada para las pistas 12 y 30, ya que en este caso la carta es común para ambas. Esta carta se puede encontrar en el Anexo E.

Como se puede observar, se trata de una carta de llegada normalizada por instrumentos (STAR) basada en procedimientos convencionales, lo que supone una mayor carga de trabajo para el controlador al tener que realizar el guiado de la aeronave en su totalidad.

Además, se puede apreciar una gran cantidad de rutas procedentes Noreste. Estas rutas coinciden con las rutas de llegada de la península, que como se ha estudiado en el aparatado de estadísticas del aeropuerto son las rutas con más frecuencia de operaciones en un año natural junto con las rutas interinsulares. Todas estas rutas de llegada van al mismo IAF, el de Tenerife Norte, lo que puede suponer una congestión de dicha región del espacio aéreo y un aumento de carga de trabajo del controlador.

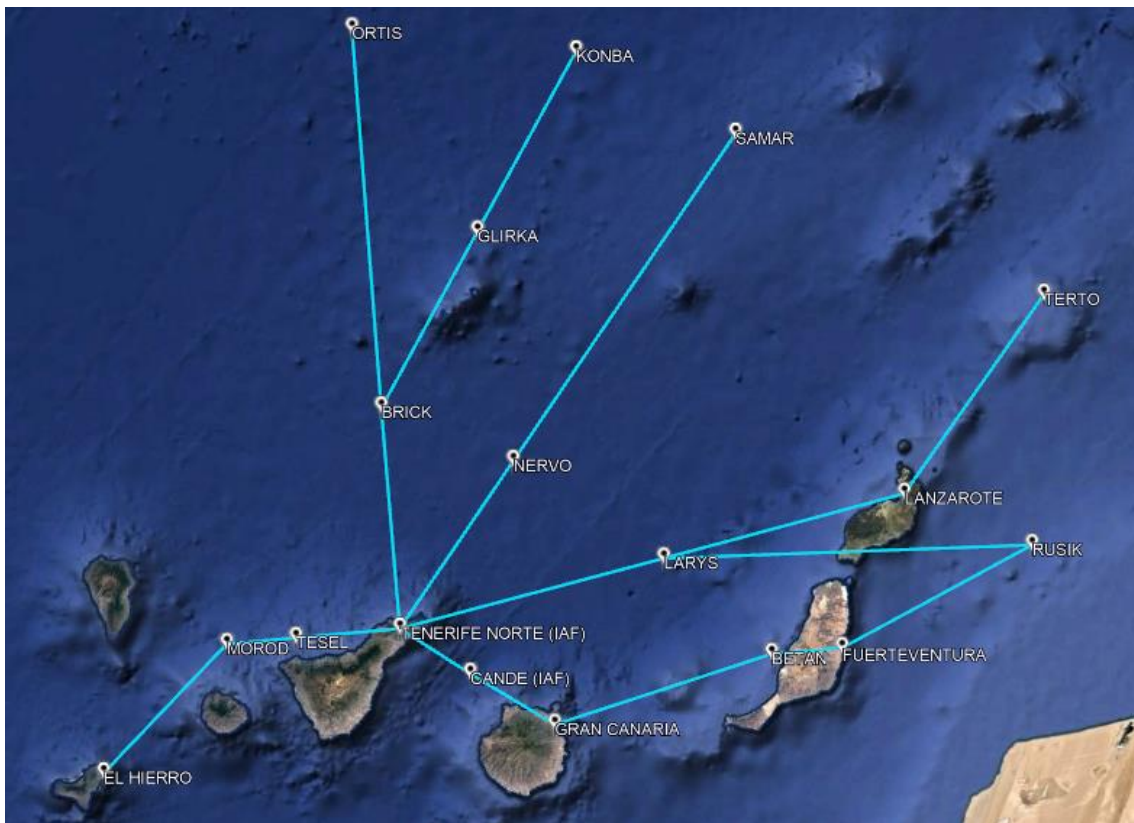


Figura 11. Rutas de llegada al Aeropuerto de Tenerife Norte. Google Earth.

Incluso las rutas procedentes de las Islas de la provincia de Santa Cruz de Tenerife (La Palma, La Gomera y El Hierro) tiene como IAF el VOR/DME de Tenerife Norte. Aunque no aparezcan las rutas de llegada desde La Palma y La Gomera se pueden comprobar en las cartas de salidas normalizadas de sus aeropuertos correspondientes.

Como se ha comentado anteriormente, ambas cabeceras de la pista del aeropuerto de Tenerife Norte están equipadas con ILS CAT I. Este hecho puede ser aprovechado para el diseño del PMS tomando como referencia algunos de los puntos del procedimiento de

aproximación ya existente. Presentamos en primer lugar la carta de aproximación por instrumentos para la cabecera de la pista 12.

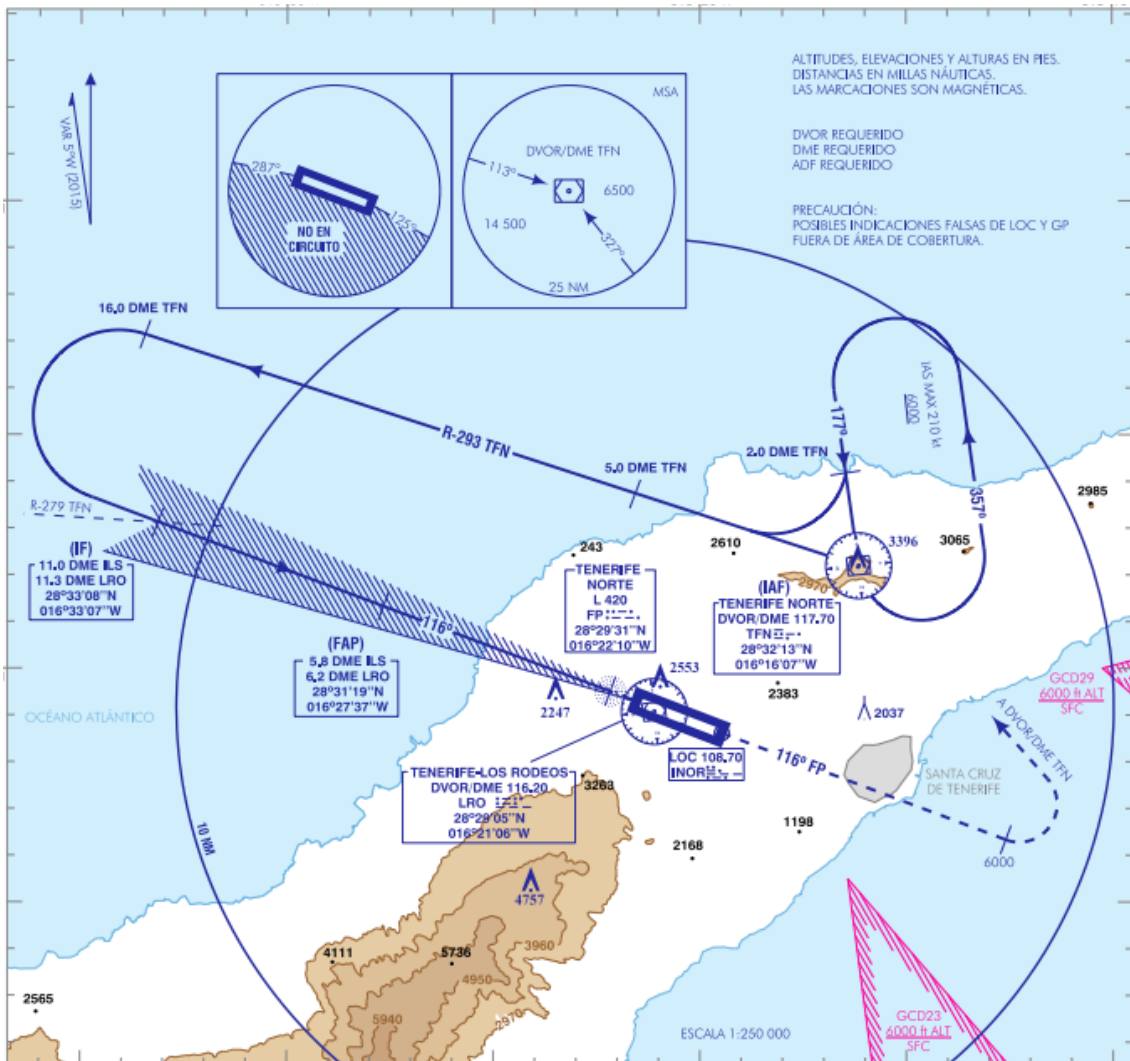


Figura 12. Carta de aproximación por instrumentos ILS Z RWY 12, GCXO. AIP.

Como se puede observar en la carta *ILS Z RWY 12* el IAF TENERIFE NORTE se encuentra muy próximo a la pista, por lo al llegar a este se debe realiza un alejamiento para posteriormente encarar la senda de planeo del ILS. Esta configuración puede resultar poco eficiente a la hora de gestionar el tiempo de espera de las aeronaves que pretender aterrizar, además de aumentar la carga de trabajo del controlador.

Tomaremos por tanto como referencia para el diseño de nuestro procedimiento el IF y el FAP del procedimiento ILS existente pero no el IAF debido a la ubicación que este presenta. Se pretenderá, por tanto, diseñar el esquema Point Merge de manera que la configuración de este permita que las aeronaves salgan del punto de confluencia encaradas con el IF y la senda de descenso del ILS, sin tener que realizar ningún

alejamiento para ello. Resulta por tanto necesario la reubicación del IAF para lograr este objetivo como se verá más adelante.

Presentamos a continuación la carta de aproximación por instrumentos para la pista 30.

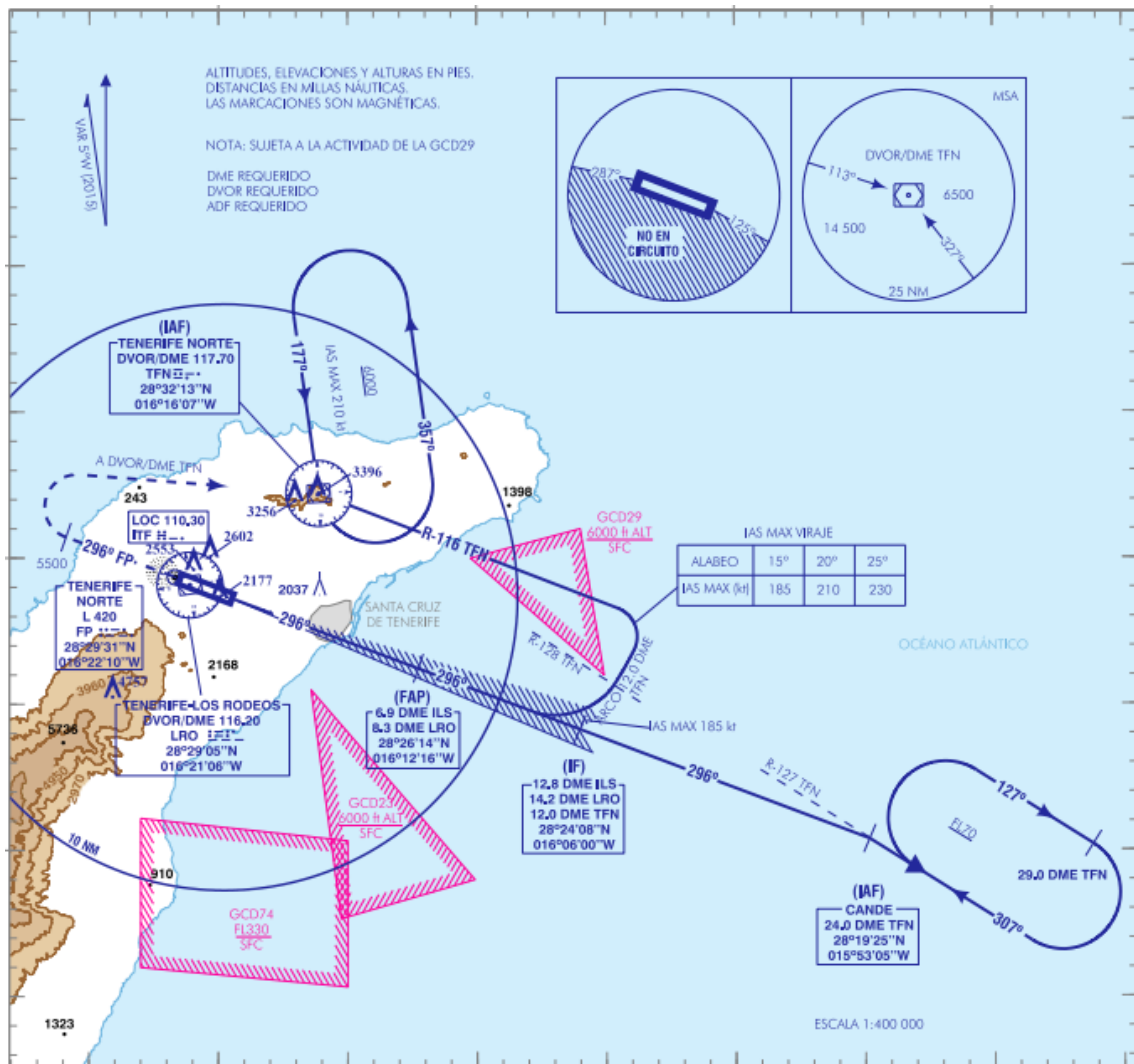


Figura 13. Carta de aproximación por instrumentos ILS Z RWY 30, GCXO. AIP

De nuevo nos encontramos en la misma situación, las rutas que utilizan el IAF de TENERIFE NORTE para realizar la aproximación a la pista 30 del aeropuerto han de realizar un alejamiento para encarar la senda de planeo del ILS e interceptar el localizador. Además, para aproximaciones sobre la pista 30 disponemos también de otro IAF (CANDE) para rutas que provienen de las islas de Gran Canaria, Fuerteventura o la costa oeste de Marruecos.

Para la cabecera de la pista 30, el diseño del procedimiento de llegada PMS se realizará de tal forma que permita la concentración de todas las rutas, que tienen como

destino la aproximación por la pista 30, en un único IAF prescindiendo de esta manera de los IAF existentes. Como se verá en la descripción del procedimiento PMS, el IAF se encontrará ubicado en uno de los extremos del arco del esquema Point Merge.

De igual forma que para la configuración de la pista 12, el diseño del procedimiento para la configuración 30 permitirá que, a la salida de este, las aeronaves se encuentren encaradas con la senda del ILS y el localizador.

Como conclusión a este apartado, se puede deducir que la ubicación de los IAF existentes TENERIFE NORTE y CANDE, no nos permiten la implementación del PMS puesto que se encuentran demasiado próximos al aeropuerto de Tenerife Norte.

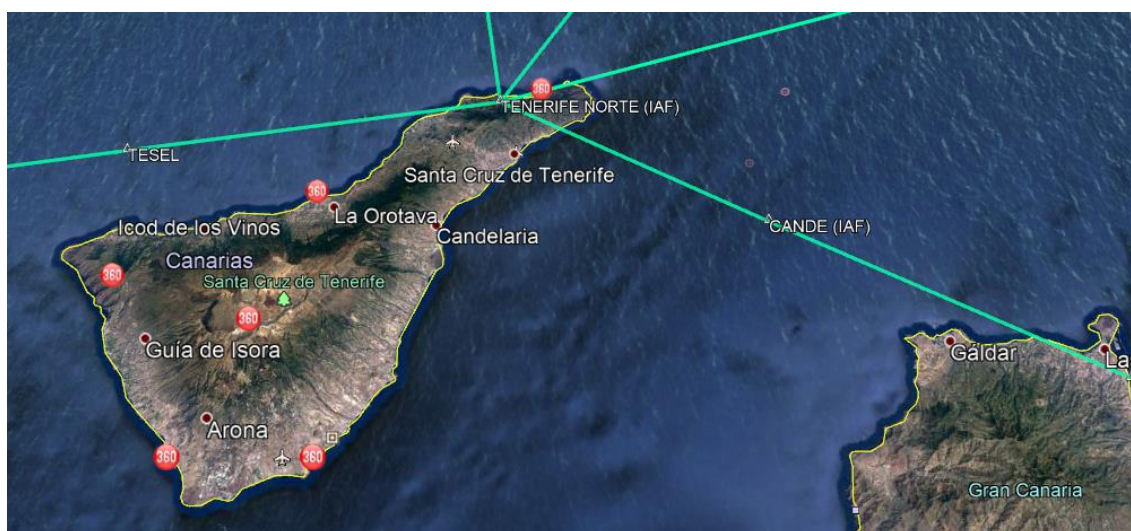


Figura 14. Ubicación de los IAF de las rutas de llegada a GCXO. Google Earth

Por tanto, resultará necesario el emplazamiento y creación de nuevos IAF para poder diseñar el PMS, lo que conlleva a su vez una modificación de las rutas de llegada en ambas configuraciones de pista, como se verá más adelante.

2.2 Conceptos

En este apartado se va a realizar una introducción a ciertos conceptos básicos que se van a utilizar en el desarrollo del trabajo y los cuales son necesarios para comprender el ciclo de vida de desarrollo del procedimiento.

Según el Manual de diseño de procedimientos de performance de navegación requerida con autorización obligatoria (RNP AR):

Llegada normalizada por instrumentos (STAR). “Ruta de llegada designada según reglas de vuelo por instrumentos (IFR) que une un punto significativo, normalmente en

una ruta ATS, con un punto desde el que se puede comenzar un procedimiento publicado de aproximación por instrumentos.”

Navegación de área (RNAV). “Método de navegación que permite las operaciones de las aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación terrestres o basadas en la separación o dentro de los límites de la capacidad de las ayudas autónomas o una combinación de ambas.”

Operaciones RNAV. “Operaciones de la aeronave utilizando un sistema de navegación de área para aplicaciones RNAV. Las operaciones RNAV incluyen el uso de la navegación de área para las operaciones que no se desarrollan de acuerdo con el Manual de navegación basada en la performance (PBN).”

Ruta de navegación de área. “Ruta ATS establecida para que la utilicen aeronaves capaces de emplear la navegación de área.”

Salida normalizada por instrumentos (SID). “Ruta de salida designada según reglas de vuelo por instrumentos (IFR) que une el aeródromo o una pista del aeródromo determinada, con un punto significativo determinado, normalmente en una ruta ATS, en el que comienza la fase en ruta de un vuelo.”

Sistema RNAV. “Sistema de navegación que permite las operaciones de las aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación por referencia a estación o dentro de los límites de la capacidad de las ayudas autónomas o una combinación de ambas. Puede incluirse un sistema RNAV como parte del sistema de gestión de vuelo (FSM).”

Superficie de franqueamiento de obstáculos (OCS). “Superficie de evaluación de obstáculos que se utiliza para determinar la altitud de franqueamiento de obstáculos mínima en un punto determinado.”

2. 3 Point Merge System (PMS)

A continuación, se va a realizar una introducción y una descripción del procedimiento que se va a diseñar, con el objetivo de entender las características principales del mismo.

2.3.1 Introducción al PMS

Hasta la aparición de la Navegación de Área (RNAV), la navegación aérea en si misma se ha realizado de manera convencional, es decir, a través de radioayudas en tierra

como lo son el VOR (VHF Omnidirectional Range), el NDB (Non-Directional Beacon) o el DME (Distance Measuring Equipment). A través de este método de navegación, la aeronave vuela de manera directa hacia la dirección indicada por la radioayuda y cuando desea cambiar de dirección selecciona otra radioayuda que le permite cambiar el rumbo y seguir una ruta definida.

Por su parte, los sistemas de navegación basados en RNAV nos permite obtener una posición fija para la aeronave en cada instante de tiempo. Esto hizo posible que la aeronave se desviara de la ruta convencional restringida en tierra y permitiera la navegación punto a punto a lo largo de un conjunto de waypoints.

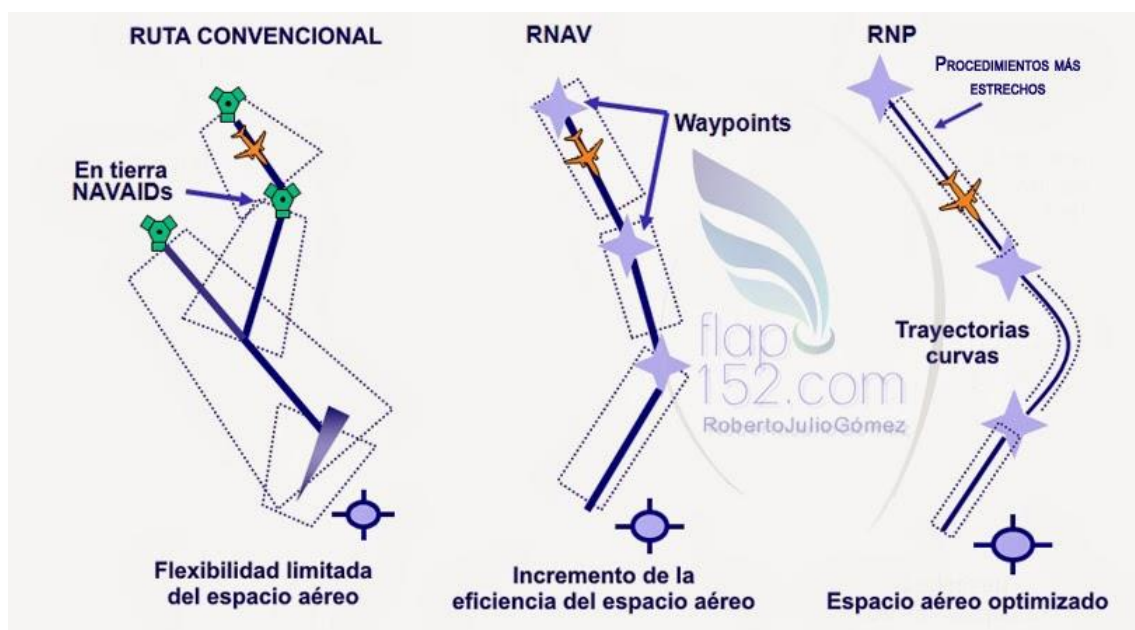


Figura 15. Navegación convencional vs RNAV/RNP. <http://www.flap152.com>

Como consecuencia de la aparición de la Navegación de Área RNAV, los servicios del ATC disponen de más opciones para la secuenciación de aviones al no tener que realizar el guiado completo de la aeronave hasta la aproximación como es el caso de la Navegación Convencional. Resultando en una menor carga de trabajo y posibilidad de error del ATC.

Por tanto, el uso de sistemas RNAV permite aumentar la capacidad ATC, lo que se traduce al mismo tiempo en una maximización de la capacidad del TMA en horas pico de tráfico. Para gestionar este aumento de volumen de tráfico en el TMA consecuencia de la Navegación de Área, surge el desarrollo de metodologías especiales para fusionar flujos.

Por ello, desde la aparición de RNAV, Eurocontrol ha propuesto nuevas tendencias para gestionar y fusionar flujo de tráfico de aeronaves entre los que se encuentra el Point Merge System.

2.3.2 Descripción del PMS

El PMS consiste en un punto de fusión donde diferentes flujos procedentes de rutas de llegada se fusionan en una única trayectoria de vuelo. En este esquema encontramos también lo que llamamos *Sequencing legs* o *Segmentos de secuenciación*. Estos segmentos forman un arco de círculo donde la distancia desde cualquier punto de estos al Point Merge es igual al radio del círculo que forman. Podemos observar un esquema del PMS en la siguiente imagen.

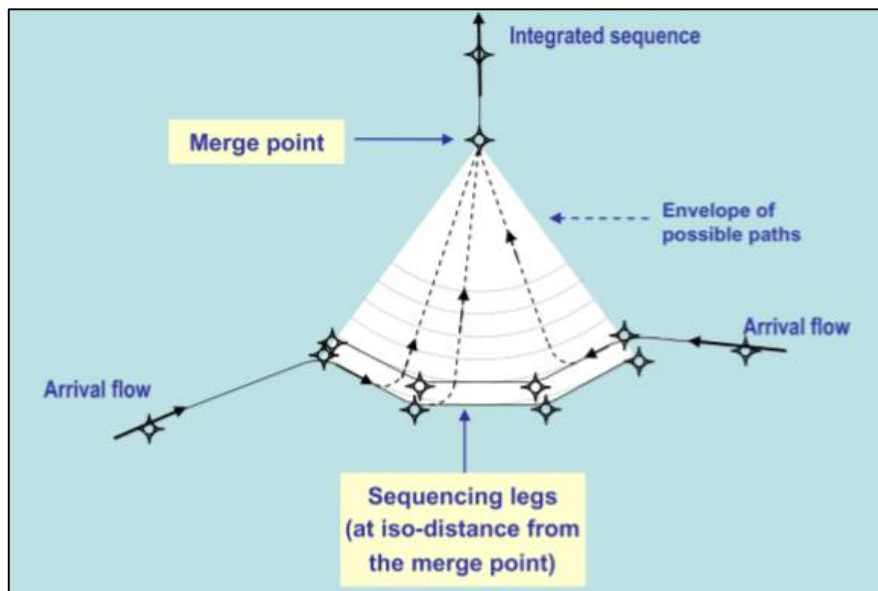


Figura 16. Esquema ejemplo PMS. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.

Como se puede observar en la figura anterior, los flujos de llegada son dirigidos al arco definido por el esquema PMS y vuelan sobre los segmentos de secuenciación para posteriormente ser fusionados a través del Point Merge. Por su parte, la distancia de estos segmentos va a definir las posibles rutas hasta el Point Merge. Esta distancia dependerá de los tiempos de espera medios, los tiempos de peor caso y el volumen de tráfico en la hora pico del aeropuerto de estudio, como se verá más adelante.

El objetivo del PMS es integrar los flujos de llegada, al tiempo que se crea y se mantiene un espaciado entre estos. El espaciado entre aeronaves en ruta de llegada que van a emplear el PMS, se logra dejando que la aeronave vuele sobre los tramos de

secuenciación hasta alcanzar un espaciado suficiente con aeronaves que le preceden o le siguen. Una vez se ha alcanzado el espaciado suficiente, el ATC da un *directo* al Point Merge a la aeronave, es entonces cuando esta girará hacia Point Merge y volará hacia el en línea recta manteniendo la separación con otras aeronaves y siguiendo una senda de descenso constante.

En muchas ocasiones, la inclusión de un PMS en un espacio aéreo de llegadas ya definido requiere rediseñar parte de las rutas de llegada, tomando como IAF de la aproximación un waypoint ubicado al comienzo del arco del esquema PMS. Por tanto, el Point Merge será el último waypoint antes del IF, punto de transición con el FAP que es donde comienza la senda de descenso del ILS.

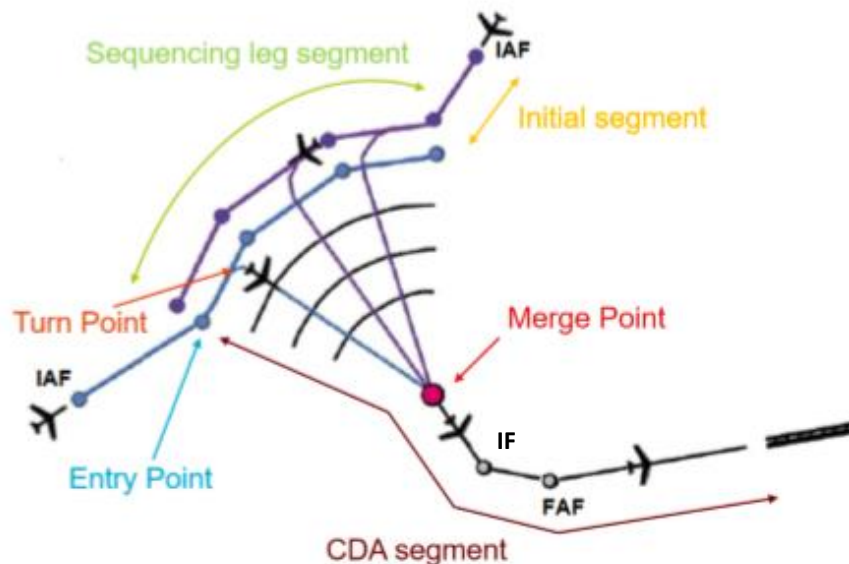


Figura 17. Esquema Point-Merge. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.

Como se puede observar además en la figura 17, la configuración del PMS permite la creación de dos arcos de tramos de secuenciación con dos IAFs distintos. El objetivo de esta componente de diseño radica en facilitar el acceso al PMS de rutas procedentes de direcciones contrarias.

Otro de los objetivos que pretende la implementación de un PMS es el seguimiento de una senda de descenso constante, es por ello que todas las rutas que unen los segmentos de secuenciación con el Point Merge poseen de una pendiente de descenso constante.

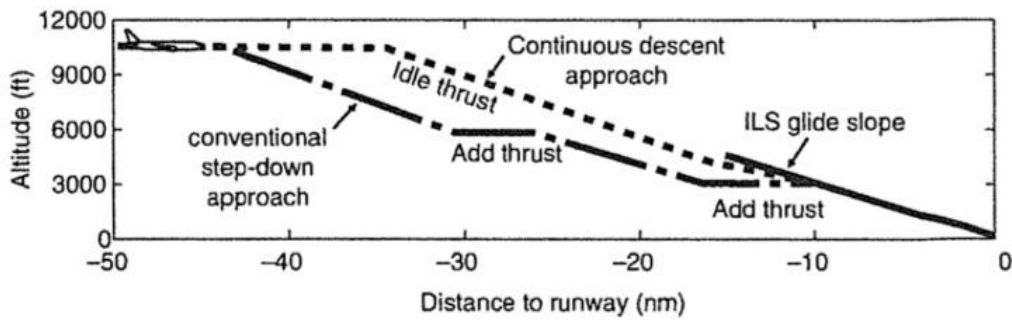


Figura 18. Descenso Constante vs Descenso en aproximación convencional. Implementing point merge system based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol, J.M. de Wild.

El seguimiento de una senda de descenso constante desde el arco del PMS hasta el PM, se traduce en una disminución del consumo de combustible y del nivel de emisiones de la aeronave. Una vez llegado al PM la aeronave realizará un vuelo horizontal hasta el FAP, pasando por el IF, con el objetivo de reducir la velocidad e interceptar la senda del ILS.

Se pueden deducir varias consecuencias del diseño e implementación del PMS en un espacio aéreo de llegadas:

- La carga de trabajo de los controladores disminuye, ya que al tratarse de un procedimiento basada en Navegación de Área (RNAV) el controlador interviene una única vez en el guiado de la aeronave, a la hora de dar el “directo” a esta para dirigirse hacia el Point Merge.
- Aumenta la eficiencia de las rutas de llegada, disminuyendo la distancia de estas hasta el IAF. Al tratarse de un procedimiento RNAV no es necesario volar las direcciones indicadas por las radioayudas como en la Navegación Convencional, sino que se emplean “directos” para realizar la ruta.
- Como consecuencia de una disminución de distancia en las rutas de llegada y una gestión eficiente del tiempo de espera a través del PMS, disminuye el tiempo de vuelo en un trayecto.
- Aumenta la seguridad operacional de las aeronaves en procedimientos de espera, al gestionarse la separación entre aeronaves en los tramos de secuenciación. Además, el PMS se trata de un sistema P-RNAV lo que asegura una precisión de ± 1 MN en el 95% del vuelo.

- Permiten maximizar la capacidad de los TMA, como consecuencia de la simplificación y fusión de las rutas de llegada y una disminución de carga de trabajo de los controladores. Esta disminución de carga de trabajo se traduce en un aumento de la capacidad de aeronaves que un controlador puede soportar con respecto a procedimientos de llegada convencionales.
- Por último, el uso de un PMS permite una CDA (Continuous Descent Approach), una ventaja operacional de gran importancia para las compañías al disminuir el consumo de combustible y las emisiones de gases debido a una menor potencia requerida por los motores en el tramo de llegada y aproximación.

2.4 Entidades y Recursos

2.4.1 Aena

Aena SME, S.A. es una sociedad mercantil estatal que gestiona los aeropuertos y helipuertos de interés general en España. Además, a través de su filial Aena Internacional participa en la gestión de aeropuertos en países de Europa y América.

Estas gestiones lo convierten en el primer operador aeroportuario del mundo por número de pasajeros con un total de 743 millones de pasajeros transitados por sus aeropuertos en los últimos 3 años. En la actualidad, la sociedad gestiona 46 aeropuertos en y 2 helipuertos en España y participa directa e indirectamente en la gestión de 17 aeropuertos en el extranjero, donde encontramos el aeropuerto londinense de Luton, considerado el cuarto aeropuerto del área de Londres y del cual posee el 51 % del capital.



Figura 19. Mapa de la red de Aena en España. Wikipedia.

Además, entre los aeropuertos que gestiona, también se incluyen algunos aeropuertos privados y algunas bases aéreas con régimen mixto con las Fuerzas Armadas de España, como lo son el Aeropuerto de Albacete y el de Cuatro Vientos en Madrid.

En cuanto a la propiedad de esta, cabe destacar que Aena, S.A. comenzó a operar el 7 de junio de 2011, desarrollando el conjunto de funciones y obligaciones que la entidad pública empresarial Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA), ejercía en materia de gestión y explotación de servicios aeroportuarios. El 5 de julio de 2014, comenzó a operar con su actual denominación de Aena, tras pasar a convertirse en propiedad al 51 % del ente público empresarial ENAIRE, encargado de la navegación aérea en España.

2.4.2 FlightRadar24

Flightradar24 es una web y aplicación que proporciona información en tiempo real de tráfico aéreo en numerosas regiones del mundo. Además, también permite rastrear vuelos en tiempo real que se encuentre en el aire o en posición de aterrizaje o despegue. Permite obtener gran cantidad de información del vuelo deseado en cuanto a:

- **Posición y actitud del avión.** Datos referidos a la latitud y longitud del avión, así como la velocidad del mismo (*Ground Speed*, *True Speed* y *Mach*) y el rumbo que está siguiendo en un determinado instante.
- **Características del avión.** También nos ofrece información relativa al tipo de avión, nacionalidad del mismo, matrícula, edad y callsign del vuelo que está efectuando.
- **Información de ruta.** Se puede visualizar también la ruta que está desarrollando un determinado vuelo (aeropuerto de origen y de destino). Permite conocer además que aerolínea está realizando el vuelo y a que distancia se encuentra este del aeropuerto de destino, mostrando la hora de llegada estimada.
- **Condiciones climatológicas.** Por último permite conocer las condiciones meteorológicas de la zona que está sobrevolando en cuanto a velocidad del viento y temperatura exterior.

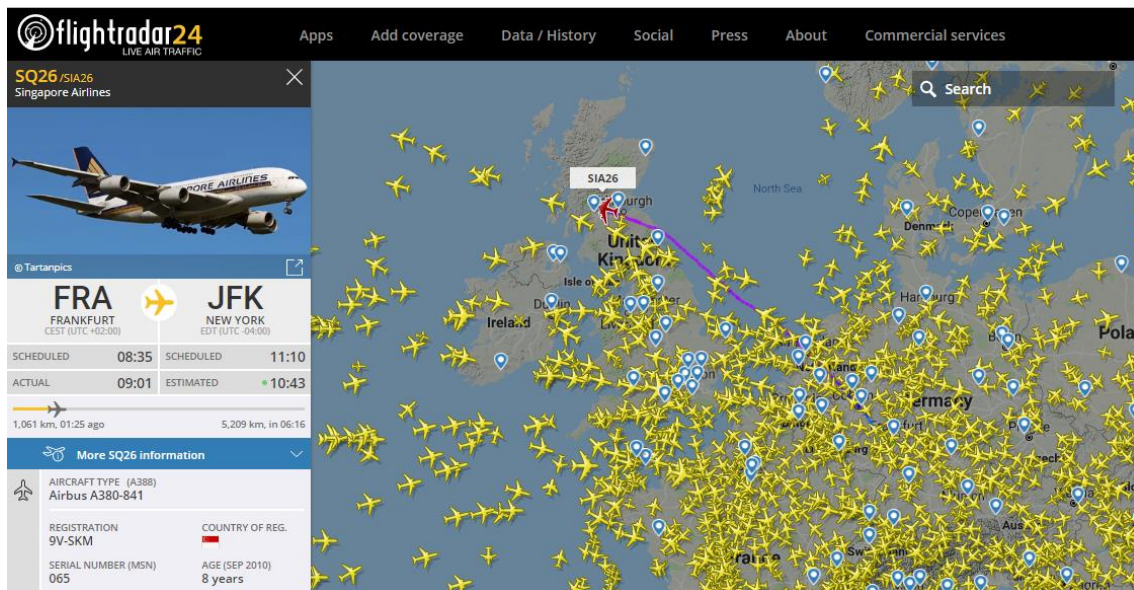


Figura 20. Información FlightRadar24 en un vuelo Frankfurt – New York.

Además de información de vuelo en tiempo real, Flightradar24 proporciona un histórico de tres días, de llegadas y salidas de un aeropuerto en concreto. Ofreciendo datos relativos al aeropuerto de origen, el callsign del vuelo, la matrícula del avión y el estado del mismo, es decir, la hora a la que aterrizó o si se canceló o derivó a otro aeropuerto.

Funcionamiento FlightRadar24

Para mostrar la posición de un avión en la web de Flightradar24, este debe estar equipado con un transpondedor ADS-B (*Automatic Dependant Surveillance-Broadcast*) el cual sea compatible y funcione con GNSS y transmita una señal que contenga posición, velocidad, rumbo y otros datos del vuelo. Estas señales transmitidas desde el avión son recibidas por una red de receptores en tierra conectados a tiempo real con Flightradar24.

Actualmente, los receptores son gestionados en su mayoría por personas voluntarias interesadas en el mundo de la aviación o por entidades como Universidades o Centros de Investigación. También existen receptores instalados en las instalaciones de los aeropuertos y gestionados por las autoridades de estos. En la actualidad casi el 70% de los aviones están equipados con ADS-B, resultado de una media entre Europa (80%) y EEUU (60%), sin embargo, en aviación general este porcentaje ronda el 20%.

Los receptores trabajan a una frecuencia de 1090 MHZ lo que hace que la cobertura desde cada receptor está limitada a un máximo de 450 km en todas las direcciones y dependiendo de la posición. Esta limitación de distancia dificulta la cobertura en ADS-B en los océanos.

Por su parte, Flightradar24 también obtiene información de otros sitios como la Administración Federal de Aviación Civil de los Estados Unidos y ciertos operadores aeroportuarios.

2.4.3 Eurocontrol

EUROCONTROL es la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea creada en 1963 siendo sus promotores los seis países siguientes: Alemania, Bélgica, Francia, Luxemburgo, Países Bajos y Reino Unido. Es una organización intergubernamental civil y militar que cuenta actualmente con 41 Estados miembros de toda Europa (más Israel y Marruecos) y que da apoyo a la Aviación Europea. Su principal sede se encuentra en Bélgica y cuenta con oficinas especializadas en tres países europeos, Holanda, Luxemburgo y Francia.

Como actividades principales de la organización encontramos las siguientes:

- Encargado de gestionar el flujo de tráfico de la red ATM europea, en colaboración con los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSPs), usuarios del espacio aéreo, militares y aeropuertos.
- Oficina Central de Tarifas Ruta, encargada de la facturación a las aerolíneas de las tasas de ruta en Europa.
- El centro de control de tráfico aéreo, “Maastricht Upper Area Control Centre” (MUAC), que proporciona el control de tráfico aéreo en Bélgica, Luxemburgo, Países Bajos y el noroeste de Alemania
- Actividades de I+D, incluida la participación en la empresa común SESAR.
- Coordinación de la aviación civil y militar europea.
- Apoyo a la Comisión Europea.

Network Operations Portal (NOP)

Network Operations Portal (NOP) es una aplicación de colaboración desarrollada por Eurocontrol que permite a las partes interesadas interactuar y colaborar con el Network Manager Operations Center (anteriormente CFMU Operations)

Los principales propósitos del portal NOP son monitorizar en tiempo real, el estado del tráfico aéreo, el espacio aéreo y el flujo de tráfico aéreo, así como las medidas de gestión de capacidad (ATFCM). Además de la planificación colaborativa de las operaciones paneuropeas desde la fase estratégica a la táctica, optimizando así el uso de la capacidad disponible del ATM.

El NOP permite una visión común de la situación de la red ATM europea para compartirla con toda la comunidad de la aviación. Es un medio de acceso interactivo a la situación de la red ATFCM europea, que incorpora la información existente y las solicitudes de los usuarios, proporciona planes de capacidad y demanda de tráfico, identifica “embotellamientos” y presenta las medidas ATFCM y ASMA planeadas para contrarrestarlos. El NOP proporciona total transparencia con respecto a la situación actual y esperada del tráfico aéreo europeo, gracias a la información constantemente validada y a los sólidos procesos de colaboración.

3. TRAFICO Y CAPACIDAD TFN

3. 1 Estudio Tráfico Diario TFN (GCXO)

Con el fin de dimensionar físicamente el PMS y obtener una longitud de los segmentos o tramos de secuenciación que nos permitan separar óptimamente las aeronaves que se encuentran en fase de llegada, se va a realizar un estudio de las llegadas diarias al aeropuerto de Tenerife Norte. Este estudio tiene como objetivo principal determinar las horas del día en el que el tráfico de llegadas es máximo y el número de llegadas en dichas horas.

Para ello se va a estudiar el número de llegadas por hora al aeropuerto de Tenerife Norte en una muestra de tres días consecutivos del mes de mayo de 2019, uno de los meses junto con agosto y julio donde el tráfico de pasajeros alcanza los máximos de todo el año en el aeropuerto como se puede observar en Antecedentes, Estadísticas del Aeropuerto.

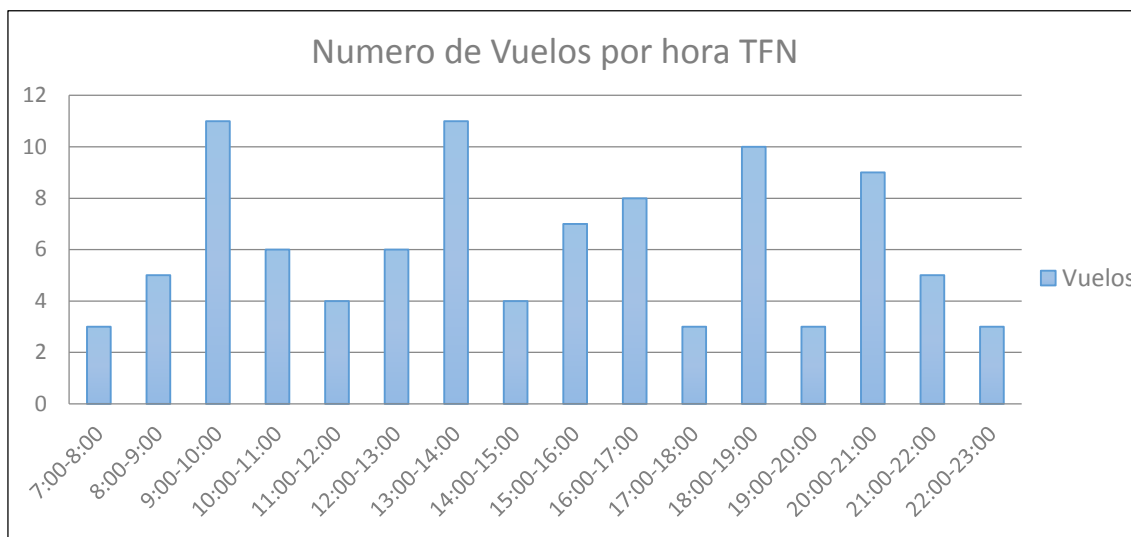
Para la realización de este estudio de llegadas por hora en el aeropuerto se va a hacer uso de la web Flightradar24, la cual permite obtener las llegadas al aeropuerto en un día natural y obtener varios datos sobre dichos vuelos. Sin embargo, esta información no es la información oficial proporcionada por el aeropuerto, por lo tanto, pese a ser de gran utilidad es necesario que se correlacione con la información prestada por Aena, operador aeroportuario y explotador del Aeropuerto Tenerife Norte. Esta correlación resulta necesaria, entre otras cosas, debido al funcionamiento para obtener información de vuelo por parte de Flightradar24 a través de transpondedores ADS-B, luego si un avión no lleva instalado dicho transpondedor o no establece cobertura con un receptor en tierra no se registrará como llegada al aeropuerto en Flightradar24.

3.1.1 29 mayo 2019

Habiéndose correlacionado los datos de llegadas al aeropuerto de Tenerife Norte de Flightradar24 con los datos de Aena para el día 29 de mayo de 2019 se obtiene el registro de vuelos de la Anexo F.

Un total de 98 vuelos, de los cuales 3 de ellos no llegaron a realizarse (fueron cancelados) y 1 de ellos fue derivado al aeropuerto de Tenerife Sur. Se puede observar la

hora real de llegada de cada vuelo al aeropuerto en la última columna de la tabla (Status). Con el objetivo de obtener las horas que acumulan un mayor número de llegadas y el valor de este, se ha desarrollado un histograma que permite visualizar esta información con facilidad.



Histograma 1. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 29 de mayo de 2019.

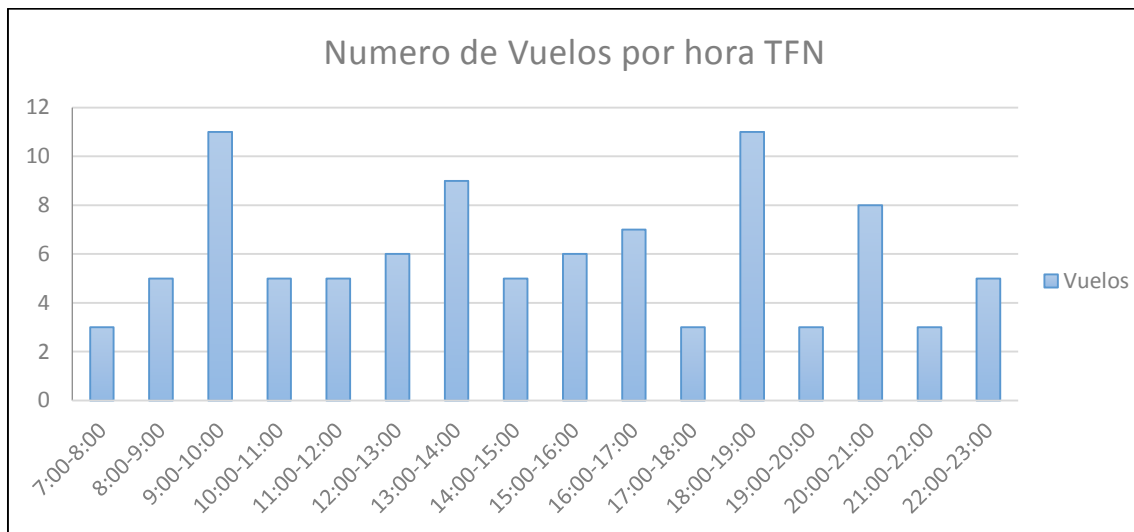
Como se puede apreciar, las franjas horarias que acumulan un pico en cuanto a operaciones de llegada en el día de estudio son de 9 AM a 10 AM y de 1 PM a 2 PM con un total de 11 llegadas al aeropuerto. Es interesante destacar que el histograma se ha realizado con respecto a las horas programadas de llegadas, y no con respecto a las horas reales a la que han aterrizado los aviones y teniendo en cuenta los vuelos que se han cancelado y el que se ha derivado al aeropuerto de Tenerife Sur. La realización del histograma de esta manera radica en que el historial de vuelos programados para un determinado día es representativo de la capacidad del aeropuerto, pese a que alguno de ellos no haya llegado a realizarse.

3.1.2 30 mayo 2019

Una vez se han correlacionado todos los datos de llegada al aeropuerto de Tenerife Norte de los que disponemos para el día 30 mayo de 2019, se obtiene el registro que se puede consultar en la Anexo G.

Un total de 94 vuelos de los cuales podemos observar en la columna *Status* la hora a la que aterrizaron y la demora que acumulan en la hora de llegada con respecto a la hora de llegada programada. De nuevo con el objetivo de obtener aquellas horas en las que

existe un pico en cuanto a operaciones de llegada a lo largo del día y determinar el número de llegadas correspondiente a dicho pico, se va a presentar un histograma para el día 30 de mayo de 2019 que nos permita visualizarlo con facilidad.



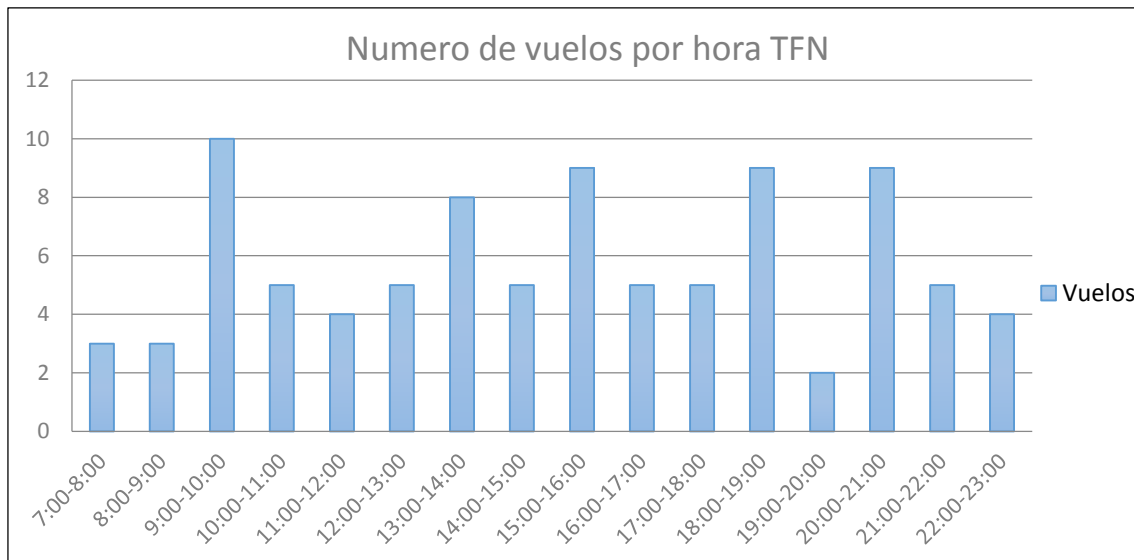
Histograma 2. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 30 de mayo de 2019.

Como se puede observar las franjas horarias que acumulan un pico en cuanto a operaciones de llegada en el día de estudio son de 9 AM a 10 AM y de 6 PM a 7 PM con un total de 11 llegadas al aeropuerto. De igual forma que antes, el histograma se ha realizado con respecto a las horas programadas de llegadas y no con respecto a las horas reales a la que ha aterrizado el avión, puesto que las horas programadas de llegada son representativas de la capacidad del aeropuerto.

3.1.3 31 mayo 2019

Por último, tras correlacionar los datos de llegada al aeropuerto de Tenerife Norte para el día 31 de mayo de 2019 se obtiene el registro de llegadas de la Anexo H.

Para el día 31 de mayo de 2019 se tiene un total de 91 llegadas al aeropuerto. Realizando de nuevo un histograma de llegadas en función de la hora para determinar los picos en cuanto operaciones de llegada lo largo del día 31 de mayo de 2019.



Histograma 3. Vuelos por hora en el aeropuerto de Tenerife el 31 de mayo de 2019.

Para el día de estudio, encontramos un pico de operaciones de llegada en la franja horaria de 9 AM a 10 PM con un total de 10 llegadas. De igual forma que en los dos estudios anteriores, el histograma se ha realizado con respecto a las horas programadas de llegada al aeropuerto.

Tras el estudio de tráfico de llegadas realizado al aeropuerto de Tenerife Norte durante los días 29, 30 y 31 de mayo se han determinado las horas en las que se alcanzan picos de operaciones de llegadas a lo largo del día, aunque más que la hora, la información verdaderamente relevante para dimensionar el PMS que se desea diseñar es el número de llegadas que se producen en dichas horas. Tanto para los días 29 y 30 de mayo se ha obtenido un pico de 11 operaciones de llegada en una hora, mientras que para el día 31 de mayo el pico en una hora ha sido de 10 operaciones. Por tanto, se puede afirmar que 11 operaciones de llegada en una hora es el peor caso con el que nos podemos encontrar para el tráfico de los días estudiados.

En la siguiente tabla se muestra el número máximo de llegadas al aeropuerto de Tenerife Norte para las horas en las que el aeropuerto está operativo y los días en los que se ha realizado el estudio.

TABLA 3. NÚMERO MÁXIMO DE LLEGADAS POR HORA DURANTE LOS DÍAS 29, 30 Y 31 DE MAYO A TFN.

Franja Horaria	Nº máx. Llegadas
7:00-8:00	3
8:00-9:00	5
9:00-10:00	11
10:00-11:00	6
11:00-12:00	5
12:00-13:00	6
13:00-14:00	11
14:00-15:00	5
15:00-16:00	9
16:00-17:00	8
17:00-18:00	5
18:00-19:00	11
19:00-20:00	3
20:00-21:00	9
21:00-22:00	5
22:00-23:00	5

Fuente: Elaboración Propia.

Por tanto, en principio 11 llegadas por hora es el dato que se va a emplear para dimensionar físicamente el PMS. A continuación, se va a realizar un estudio de la capacidad del aeropuerto, con el objetivo de determinar la separación mínima óptima que deben llevar las aeronaves en el caso de que el aeropuerto este trabajando capacidad máxima disponible que puede atender.

3.2 Capacidad Máxima del Aeropuerto

En el portal *Network Operations Portal* de Eurocontrol podemos obtener información acerca de los aeropuertos europeos, entre la que se incluye datos relativos a la capacidad de los mismos. Para el aeropuerto de Tenerife Norte tenemos la siguiente información relativa a la capacidad de este.

Runway Configuration	Max Arrivals (movements/hour)	Max Departures (movements/hour)	Global (movements/hour)
12	15	17	30
30	15	17	30

Figura 21. Capacidad del Aeropuerto de Tenerife Norte. NOP

Como se puede apreciar en la figura 21 el número máximo de llegadas en movimientos/hora que puede soportar el aeropuerto es 15, valor que se encuentra por encima del número máximo de llegadas por hora que se ha obtenido del estudio del tráfico de llegadas realizado para los días 29, 30 y 31 de mayo. Para las fechas estudiadas, en las

horas pico de llegadas el número de operaciones era de 11 mientras que la capacidad máxima de operaciones de llegada en una hora es de 15. Se puede deducir, por tanto, que el aeropuerto en dichas fechas no está trabajando al límite de su capacidad (en cuanto a operaciones de llegada) en las horas en las que se producen los picos de llegadas.

Por tanto, para determinar la separación mínima que puede existir entre las aeronaves que se encuentran en la fase de llegada al aeropuerto se va a tomar el dato de 15 llegadas por hora. De esta manera, se pueden minimizar los tiempos de espera de las aeronaves y maximizar la eficiencia en cuanto a gestión de tiempos y separación entre aeronaves.

Como información adicional, se presenta a continuación el tipo de tráfico en función de la categoría de estela turbulenta para la hora pico más restrictiva.

Aircraft	Average percentage in all traffic in peak hour [%]	Average number of flights [mvts/peak hour]
Heavy	2	2
Medium	95	18
Light	3	1

Figura 22. Tipo de tráfico en función de la categoría de estela turbulenta para hora pico en TFN. NOP.

4. CALCULOS

En este apartado se van a realizar los cálculos que nos permitan dimensionar de forma física el PMS que se va a diseñar.

4.1 Dimensiones del PMS

En primer lugar, hemos de tener en cuenta que el PMS se va a diseñar atendiendo a la separación óptima que deberían de llevar las aeronaves para el caso en el que el Aeropuerto estuviese trabajado a su capacidad máxima, es decir, 15 llegadas/hora. Por tanto, esta separación ideal entre operaciones de llegada en una hora sería:

$$t_{opt} = \frac{60 \text{ minutos}}{15 \text{ operaciones}} = 4 \text{ minutos/operación}$$

Luego, el PMS se va a diseñar buscando una separación mínima entre aeronaves de 4 minutos. Teniendo en cuenta que entre llegada y llegada deben existir 4 minutos de separación, lo más óptimo para facilitar la separación entre estas y simplificar el trabajo del controlador es dividir los segmentos de secuenciación en tramos de 2 minutos. Conociendo entonces el tiempo entre dos waypoint consecutivos del arco PMS y suponiendo que la velocidad con la que las aeronaves vuelan el arco es de 210 kts podemos obtener la longitud de los tramos de secuenciación.

$$long_{tramos} = Vel_{lleg} \cdot t_{tramos}$$

Luego:

$$long_{tramos} = 210 \text{ kts} \cdot \frac{1 \text{ km/h}}{0.54 \text{ kts}} \cdot 2 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 12.96 \text{ km}$$

Como se verá más adelante en el apartado de Simulación de Llegadas, la implementación de 4 tramos de secuenciación es suficiente para gestionar de manera eficiente las llegadas con sus correspondientes esperas en situaciones reales. Por tanto, la longitud del arco del PMS será:

$$long_{arco} = 4 \cdot long_{tramos} = 51.84 \text{ km}$$

Además, con el objetivo de facilitar la separación entre aeronaves de manera que no haya al mismo tiempo más de dos llegadas dirigiéndose hacia el Point Merge, el radio del arco del PMS será de 4 minutos a una velocidad de 210 kts. Por tanto, su longitud vendrá dada como:

$$radio_{PMS1} = Vel_{lleg} \cdot t_{radio}$$

Luego:

$$radio_{PMS1} = 210 \text{ kts} \cdot \frac{1 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{0.54 \text{ kts}} \cdot 4 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 26 \text{ km}$$

Teniendo la longitud del arco PMS y el radio de dicho arco podemos hallar su ángulo para así tener todas las magnitudes del PMS. Empleando la fórmula de la longitud de un arco de circunferencia en radianes:

$$long_{arco} = \theta_{PMS} \cdot radio_{PMS1}$$

Luego:

$$\theta_{PMS} = \frac{long_{arco}}{radio_{PMS}} = \frac{51.84 \text{ km}}{26 \text{ km}} = 1.994 \text{ rad} = 114.24^\circ$$

Se tienen así todas las dimensiones que nos permiten la construcción del procedimiento en planta. Vamos a calcular a continuación las altitudes absolutas del PMS.

4.2 Senda descenso y altitud PMS

Como se ha comentado en apartados anteriores, el objetivo del PMS, además de gestionar de manera eficiente la separación de llegadas al aeropuerto, es facilitar un descenso constante desde los tramos de secuenciación hasta el Point Merge.

En operaciones de llegada, el valor máximo que puede tomar la senda de descenso es de 8° . Para el diseño de este procedimiento se va a emplear un ángulo de descenso mínimo de 4° . Se podrá volar por tanto la senda de descenso del PMS con un rango de 4° a 8° .

Con el objetivo de conseguir una CDA de 4° (ángulo mínimo) en el PMS, se va a proceder al cálculo de la altitud absoluta que deberá tomar el arco del mismo. Para ello hemos de tener en cuenta la altitud del PM, el Point Merge estará ubicado a la misma altitud que el IF (4000 pies para la pista 12). Desde el tramo comprendido entre el PM (muy próximo al IF) y el FAP, la aeronave efectuará un vuelo vertical con el objetivo de reducir la velocidad e interceptar apropiadamente la senda de descenso del ILS una vez haya alcanzado del FAP. Por tanto, el perfil de altitudes tiene la siguiente forma.

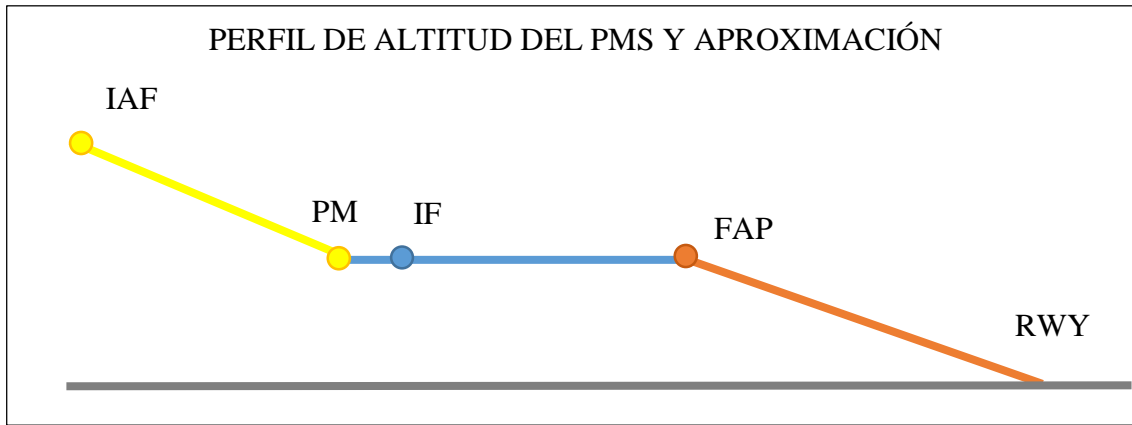


Figura 23. Perfil de altitud del PMS y de la aproximación. Elaboración propia.

El tramo amarillo se corresponde con el perfil del PMS, el tramo azul con el tramo que la aeronave emplea para reducir la velocidad, y por último la sección naranja es la senda de planeo del ILS que guía a la aeronave hasta la cabecera de la pista.

Hemos de tener en cuenta que el arco del PMS y como consecuencia los waypoints que delimitan los tramos de secuenciación, han de estar a una altitud que no incumpla los límites mínimos definidos por las aerovías existentes en la carta de llegadas, es por ello que para el cálculo de la altitud del arco PMS se va a tomar el ángulo de descenso mínimo impuesto, en este caso 4° . Si se observa la carta de llegadas normalizada del aeropuerto de Tenerife Norte (Anexo E), se puede apreciar como el circuito de espera asociado al IAF Tenerife Norte tiene una altitud mínima de 6000 pies (1829 m), mientras que la altitud mínima del circuito de espera asociado al IAF Cande es de 7000 pies (2133 m). Así mismo, en esta misma carta se puede apreciar como la mayor de las altitudes mínimas de las aerovías que confluyen en los IAF es 7000 pies. Como consecuencia de esto, la altitud mínima de los segmentos de secuenciación de espera del arco PMS1 estará limitada a 7000 pies.

Puesto que conocemos también el radio del arco PMS, el cual tiene un valor de 26 km, tenemos ya información suficiente para comprobar si la senda de descenso mínima de 4° cumple con las limitaciones de altitud mínima para el arco del PMS.

La altitud del arco PMS vendrá dado por tanto como:

$$alt_{arcoPMS} = \text{tang}(\alpha_{PMS_{min}}) \cdot radio_{PMS1}$$

configuraciones de pista de las que se dispone. Por tanto, el rango de descenso escogido de 4° a 8° es aplicable al PMS diseñado.

4.3 Distancia entre arcos de secuenciación

Como se ha mencionado en la descripción del Point Merge System, la configuración de este permite la creación de dos arcos con el objetivo de facilitar la entrada al procedimiento de aeronaves procedentes de direcciones distintas.

La distancia entre ambos arcos debe ser aquella que evite que los efectos de las estelas turbulentas de dos aeronaves que vuelan sus respectivos arcos en sentidos opuestos, afecte a la trayectoria o genere algún tipo de comportamiento en la aeronave que se aproxima por el otro arco en sentido opuesto.

Para cumplir con este objetivo se establece una distancia mínima horizontal y vertical. La aplicación de cualquiera de ellas es suficiente para evitar este efecto.

TABLA 4. DISTANCIA MÍNIMA DE SEPARACIÓN ENTRE AERONAVES QUE SE APROXIMAN EN SENTIDOS OPUESTOS.

Distancia Separación aeronaves			
Separación Horizontal		Separación Vertical	
nm	km	m	ft
5	9,26	305	1000

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a este criterio, el PMS que se va a diseñar para las configuraciones de pista 12 y 30 del aeropuerto de Tenerife Norte se va a hacer siguiendo el criterio de separación vertical.

Por tanto, el radio de este segundo arco será aquel que, cumpliendo el criterio de separación vertical, se encuentre en una senda de descenso de 4°.



Figura 25. Separación vertical entre entradas a los arcos PMS. Elaboración propia.

Luego, el radio del arco PMS 2 del IAF2 con respecto al PM vendrá dado como:

$$radio_{arcoPMS2} = \frac{305 + alt_{arcoPMS}}{tang(4^\circ)}$$

Sustituyendo:

$$radio_{arcoPMS2} = \frac{305 + 1820}{tang(4^\circ)} = 30.04km$$

Es interesante destacar que las medidas de radios a las que nos estamos refiriendo durante la realización de este apartado, es a su proyección en plano horizontal (de ahí el uso de tangentes). Esto es así debido a que la representación de los resultados se va a visualizar en Google Earth a través de funciones de Matlab, las cuales graficaran los resultados sobre la superficie terrestre de Google Earth para posteriormente darle altura en sentido vertical, de ahí que estemos hallando las proyecciones en el plano horizontal.

Por su parte, el límite inferior de altitud del arco PMS 2 será 8000 pies.

Disponemos ya por tanto de todos los datos de los que se precisan para la construcción y representación del procedimiento.

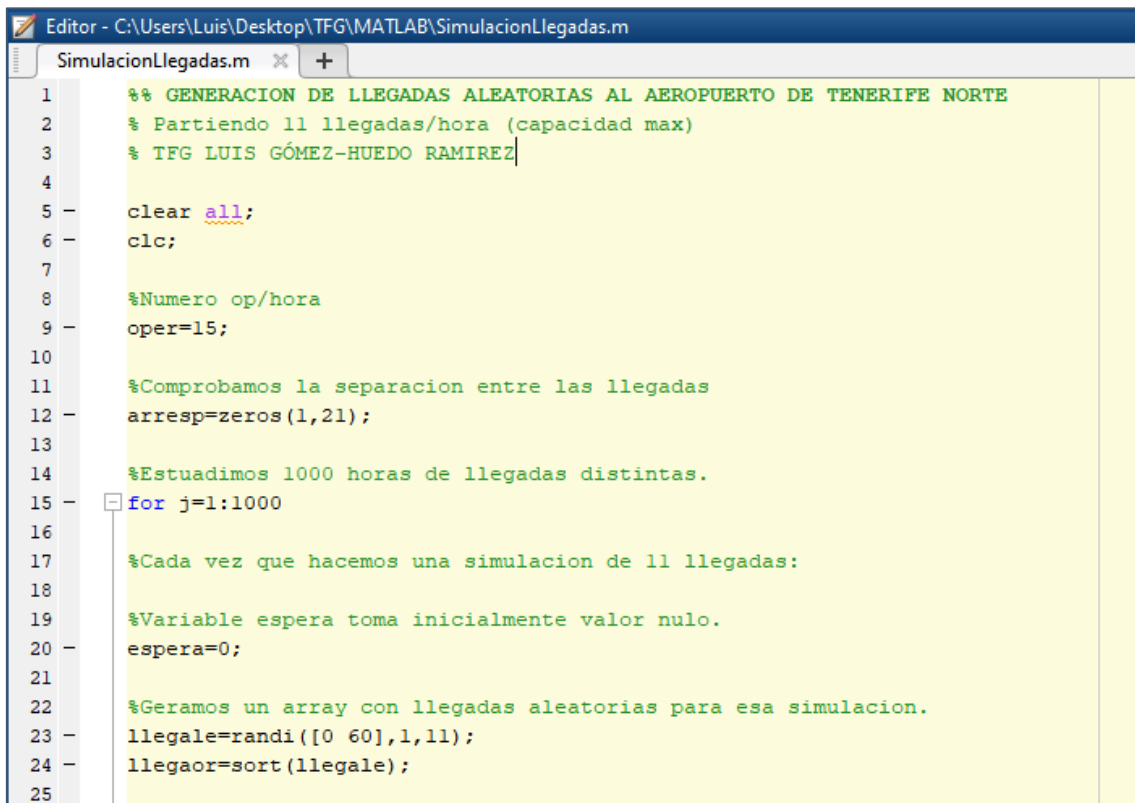
5. SIMULACION DE LLEGADAS

Con el objetivo de dimensionar la longitud de las esperas del PMS, es decir, los tramos de secuenciación que nos dividen el arco del procedimiento, se ha realizado una simulación de llegadas al aeropuerto de Tenerife Norte.

Para dar veracidad a esta simulación y dimensionar el PMS para el peor caso de estudio, se ha supuesto que el aeropuerto va a estar trabajando en su hora pico de llegadas, que como se ha podido ver en apartados anteriores es de 11 llegadas a la hora. El fin de esta simulación es obtener un tiempo espera medio de todas las llegadas estudiadas, así como deducir el tiempo de espera máximo para el que es viable diseñar el arco PMS.

5.1 Desarrollo del Programa de Simulación

Para la realización de este estudio se va a simular un bucle de 1000 horas de llegadas en las cuales se van a producir 11 operaciones de llegada por cada hora estudiada. Para ello se va a desarrollar un programa en Matlab que implemente esta simulación.



```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\SimulacionLlegadas.m
SimulacionLlegadas.m x +
1 %% GENERACION DE LLEGADAS ALEATORIAS AL AEROPUERTO DE TENERIFE NORTE
2 % Partiendo 11 llegadas/hora (capacidad max)
3 % TFG LUIS GÓMEZ-HUEDO RAMIREZ
4
5 - clear all;
6 - clc;
7
8 %Numero op/hora
9 - oper=15;
10
11 %Comprobamos la separacion entre las llegadas
12 - arresp=zeros(1,21);
13
14 %Estuadimos 1000 horas de llegadas distintas.
15 - for j=1:1000
16
17 %Cada vez que hacemos una simulacion de 11 llegadas:
18
19 %Variable espera toma inicialmente valor nulo.
20 - espera=0;
21
22 %Geramos un array con llegadas aleatorias para esa simulacion.
23 - llegal=randi([0 60],1,11);
24 - llegaor=sort(llegal);
25
```

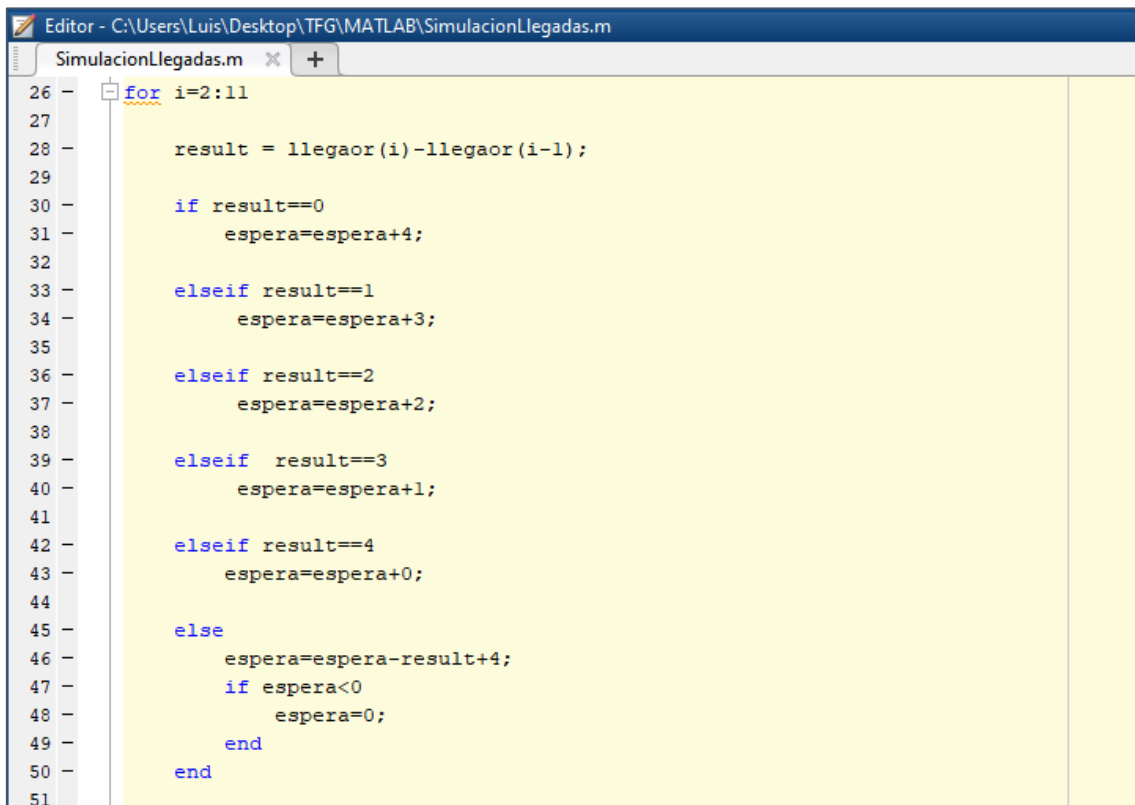
Figura 26. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab.

La distribución de los tiempos de llegada de las 11 aeronaves para cada una de las 1000 horas simuladas se va a determinar siguiendo una distribución aleatoria uniforme y

posteriormente ordenando estas llegadas según su hora, como se puede observar en la figura anterior.

El establecimiento de los tiempos de llegada de las aeronaves a través una distribución aleatoria permite que lleguen varias aeronaves en un mismo instante de tiempo, algo que se produciría en muy pocas ocasiones en una secuencia de llegadas real a un aeropuerto, sin embargo, si dimensionamos el PMS teniendo en cuenta esta distribución, estará dimensionado para cualquier distribución de llegadas que se puedan producir en una hora al cualquiera.

Para la determinación del tiempo de espera de las 11 aeronaves en cada una de las 1000 horas simuladas se ha implementado un bucle *for* encargado del cálculo de dichas esperas.



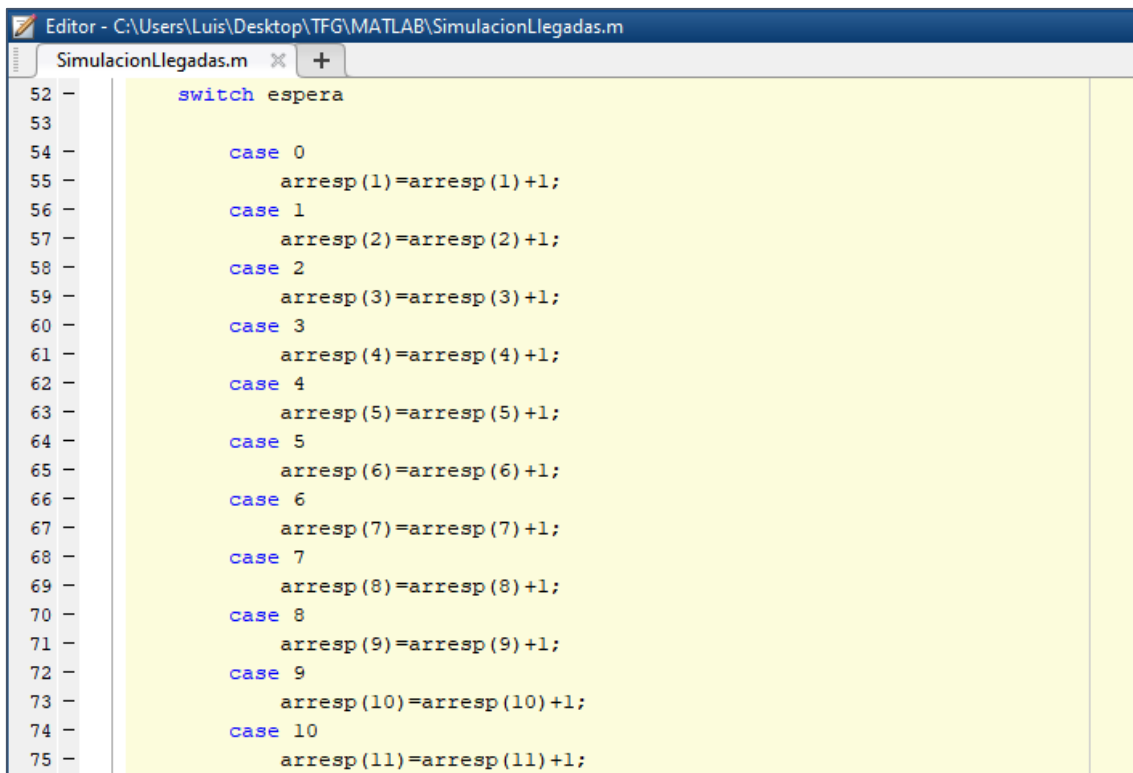
```
26 - for i=2:11
27 -
28 -     result = llegaor(i)-llegaor(i-1);
29 -
30 -     if result==0
31 -         espera=espera+4;
32 -
33 -     elseif result==1
34 -         espera=espera+3;
35 -
36 -     elseif result==2
37 -         espera=espera+2;
38 -
39 -     elseif result==3
40 -         espera=espera+1;
41 -
42 -     elseif result==4
43 -         espera=espera+0;
44 -
45 -     else
46 -         espera=espera-result+4;
47 -         if espera<0
48 -             espera=0;
49 -         end
50 -     end
51 - end
```

Figura 27. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab

El cálculo de los tiempos de espera para cada aeronave se efectúa realizando una comparación entre el tiempo de llegada al arco de dicha aeronave con respecto a la aeronave que le precede, la cual podría inducir ya una espera debido a su aeronave precedente. Por tanto, es importante tener en cuenta la acumulación de esperas a la hora de determinar el tiempo de espera de cada aeronave.

En cambio, si la separación entre dos aeronaves es superior a 4 minutos (separación mínima establecida), se producirá el efecto contrario a la acumulación de esperas. En este último caso se irá reduciendo la espera acumulada de una aeronave en un valor igual a la separación (en minutos) con su aeronave precedente. Hemos de tener en cuenta que la espera mínima, como es obvio, es de 0 minutos.

Con el objetivo de cuantificar cuantas esperas de cada tiempo (# minutos) se producen, se va a implementar un bucle *switch case* que evalúe el valor de la espera obtenida para cada vuelo realizado.



```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\SimulacionLlegadas.m
SimulacionLlegadas.m x +
52 -     switch espera
53 -
54 -         case 0
55 -             arresp(1)=arresp(1)+1;
56 -         case 1
57 -             arresp(2)=arresp(2)+1;
58 -         case 2
59 -             arresp(3)=arresp(3)+1;
60 -         case 3
61 -             arresp(4)=arresp(4)+1;
62 -         case 4
63 -             arresp(5)=arresp(5)+1;
64 -         case 5
65 -             arresp(6)=arresp(6)+1;
66 -         case 6
67 -             arresp(7)=arresp(7)+1;
68 -         case 7
69 -             arresp(8)=arresp(8)+1;
70 -         case 8
71 -             arresp(9)=arresp(9)+1;
72 -         case 9
73 -             arresp(10)=arresp(10)+1;
74 -         case 10
75 -             arresp(11)=arresp(11)+1;
```

Figura 28. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab

En función del valor de la espera, se va acumulando una unidad en una determinada posición de un vector formado inicialmente por ceros. De esta forma, estudiando este vector podemos cuantificar cuantas esperas se producen de cada tiempo en una simulación de 1000 horas y 11 vuelos por hora, es decir, 11000 vuelos en total.

Es interesante destacar que, pese a producirse un total de 11000 vuelos en esta simulación de llegadas, se van a generar 10000 esperas, puesto que no se va a considerar la espera del primer vuelo de cada hora, al no tener aeronave que le preceda.

Por último, conociendo los valores del vector de esperas generado se puede deducir la espera media de la simulación realizada.

```

98
99 -   espera_media=( (0*arresp(1)+1*arresp(2)+2*arresp(3)+3*arresp(4)+4*arresp(5)+5*arresp(6) ...
100     +6*arresp(7)+7*arresp(8)+8*arresp(9)+9*arresp(10)+10*arresp(11) ...
101     +11*arresp(12)+12*arresp(13)+13*arresp(14)+14*arresp(15)+15*arresp(16) ...
102     +16*arresp(17)+17*arresp(18)+18*arresp(19)+19*arresp(20)+20*arresp(21))/((1000*10)-arresp(1));
103
104 -   vuelos_esperan=0;
105 -   for t=2:21
106
107       vuelos_esperan =vuelos_esperan+arresp(t);
108
109   end
110
111   fprintf('El numero total de vuelos que han de esperar es %d. \n',vuelos_esperan);
112   fprintf('El tiempo de espera medio es %d minutos. \n',espera_media);
113
114

```

Figura 29. Extracto del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab

Llegados a este punto, hay que remarcar que los vuelos cuyo valor de espera es nulo, no se van a considerar como vuelos que han de esperar. Como consecuencia de ello, estos vuelos no se han considerado a la hora de calcular el tiempo de espera medio de las aeronaves puesto que acceden de manera directa y sin realizar esperas al Point Merge. El hecho de no considerar estos vuelos radica en que los tiempos de espera nulos no son representativos del valor medio de la espera de los vuelos que recorren el arco PMS y por tanto no son útiles para el dimensionado del mismo.

5.2 Resultados de la Simulación

Para la simulación realizada de 11 operaciones de llegada/hora para un total de 1000 horas se obtienen los siguientes resultados en cuanto al tiempo medio de las esperas y aeronaves que han de esperar:

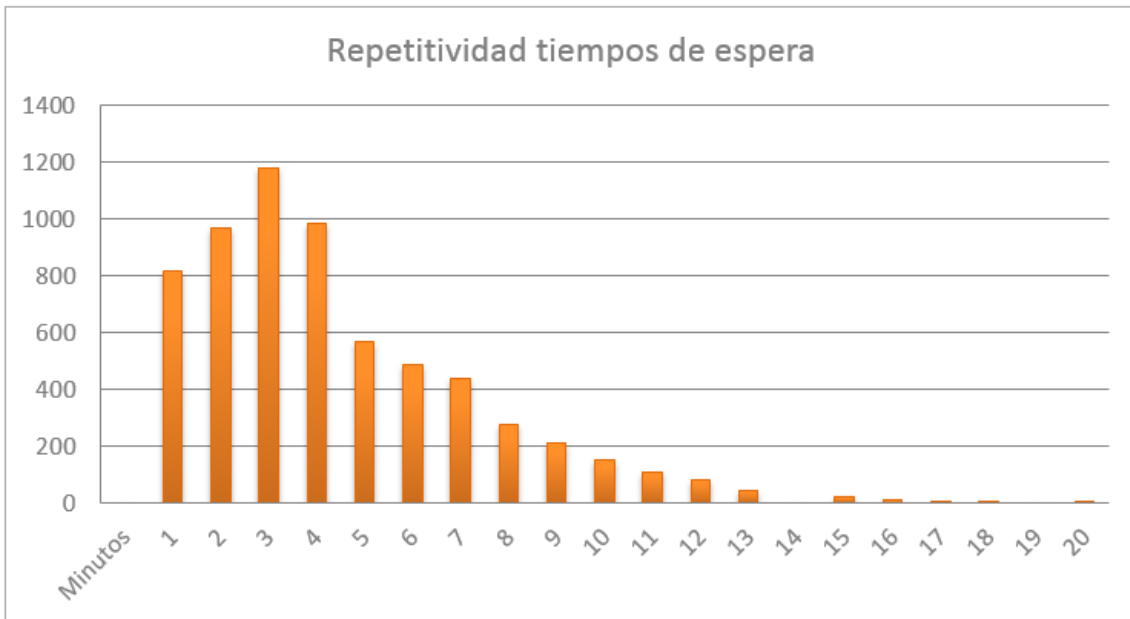
```

Command Window
El numero total de vuelos que han de esperar es 6354.
El tiempo de espera medio es 4.394338e+00 minutos.
fx >>

```

Figura 30. Resultado del Programa de Simulación de Llegadas. Matlab

Por su parte, con respecto a la repetición de los tiempos espera de los vuelos simulados, se presenta el siguiente histograma que permite visualizar esta información con facilidad.



Histograma 4. Repetitividad tiempos de espera estudio Simulación Llegadas.

Como se puede observar el rango de tiempos de espera que más se repiten es de 1 a 4 minutos, los cuales están por encima de las 800 repeticiones en los 6354 vuelos que han conllevado esperas y que como consecuencia han tenido que volar el arco del PMS. Se puede apreciar, además, como la repetición de los tiempos de espera por encima de los 8 minutos es bastante baja (por debajo de las 200 repeticiones) en relación con la cantidad de vuelos en los que se han inducido esperas.

Sabemos que el tiempo de los tramos de secuenciación es de 2 minutos a 210 kts, luego observando los resultados del histograma y teniendo en cuenta las conclusiones deducidas del mismo, se va a dimensionar el arco del PMS hasta un máximo de 8 minutos de espera. Tendremos por tanto un total de 4 tramos de secuenciación.

Con este dimensionado del arco, el PMS diseñado pueden atender con éxito más del 90 % de las esperas de la simulación realizada.

$$\%_{EsperaAtendidas} = \frac{n^{\circ} \text{ llegadas con espera} - n^{\circ} \text{ llegadas espera mas de 8 min}}{n^{\circ} \text{ llegadas con espera}} \cdot 100$$

Luego:

$$\%_{EsperaAtendidas} = \frac{6074}{6354} \cdot 100 = 90.05\%$$

Las esperas no atendidas por el PMS (esperas de más de 8 minutos) serán dirigidas a un circuito de espera convencional en forma de hipódromo al final de cada uno de los arcos del PMS.

6. RESULTADOS

En este apartado se van a mostrar los resultados y representaciones obtenidos de la construcción del procedimiento PMS para cada una de las orientaciones de pista del aeropuerto de Tenerife Norte. Para ello se va a hacer uso de los datos y dimensiones derivados del apartado de Cálculos.

Las representaciones que se van a mostrar en este apartado han sido implementadas a través de programas y funciones de Matlab en Google Earth, con el objetivo de facilitar su visualización y así como su ubicación con respecto al aeropuerto y la isla.

6.1 Representación PMS pista 12

Se va a comenzar mostrando los resultados obtenidos para la pista 12 del aeropuerto. En primer se va presentar en solitario el resultado de la construcción del esquema PMS para la pista 12.

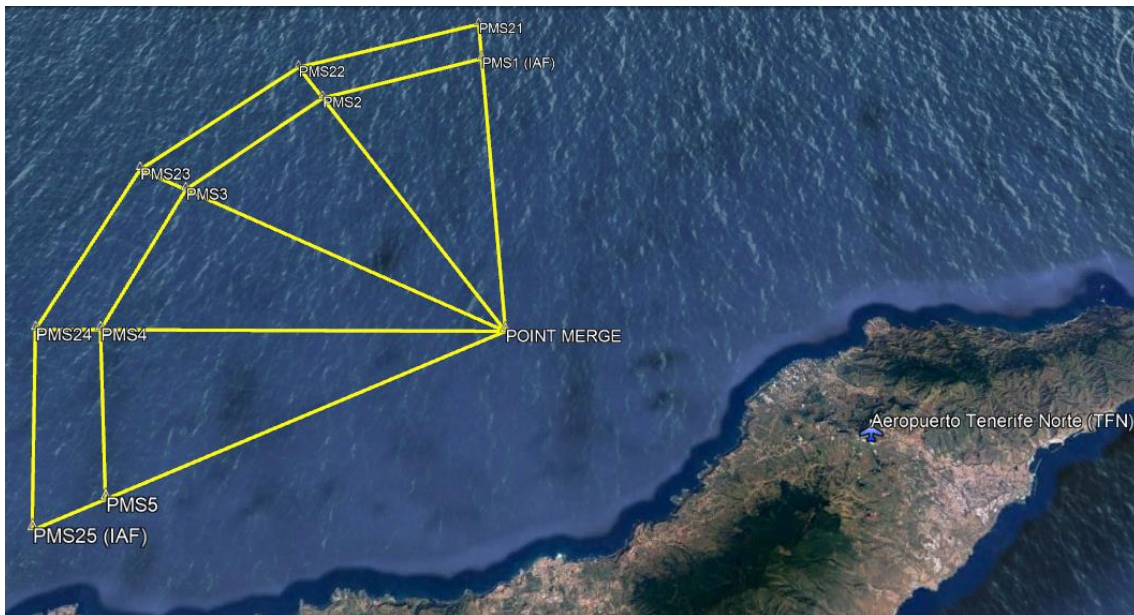


Figura 31. Esquema PMS para pista 12 TFN. Google Earth.

En la figura anterior se puede apreciar la configuración del PMS para la pista 12 del aeropuerto. Es interesante destacar que la elección de la ubicación del PM (Point Merge) tiene como objetivo la alineación de este con IF y el FAP del procedimiento de aproximación ILS ya existente en el aeropuerto. Por tanto, el PM está ubicado en la dirección 116° , radial que coincide con la dirección del localizador, y tiene como coordenadas:

$$lat_{PM} = 28^{\circ} 33' 40'' N$$

$$lon_{PM} = 16^{\circ} 35' 00'' W$$

Por otra parte, su altitud como ya se ha mencionado anteriormente, coincide con la altitud del IF, que en este caso 4000 pies.

Se puede observar también en la figura 30 como a cada waypoint que permite la entrada desde el arco del PMS hasta el PM se le ha asignado un nombre. En el caso del arco de entrada 1 (el más cercano al PM) el nombre asignado para los waypoints del arco es PMS1-PMS5. Para el arco de entrada 2 (el más alejado de PM) los nombres asignados a los waypoints van de PMS21-PMS25.

Con el objetivo de observar la pendiente de descenso establecida para el PMS se va a mostrar a continuación una imagen del perfil del PMS de la pista 12.

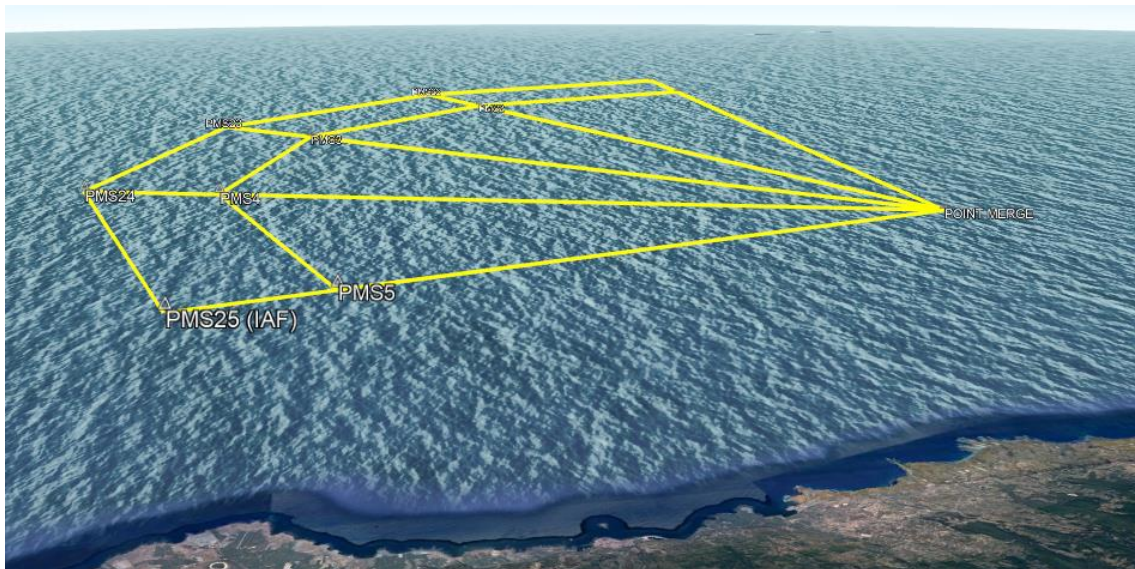


Figura 32. Perfil del esquema PMS para la pista 12 TFN. Google Earth.

En la figura anterior se puede apreciar la senda de descenso continua mínima de 4° establecida para este procedimiento, la cual permite un ahorro de combustible, así como una disminución en el nivel de emisiones de las aeronaves.

A continuación, se presentan las representaciones del conjunto del PMS para la pista 12 con el guiado hasta el umbral de pista definido por el IF y el FAP.

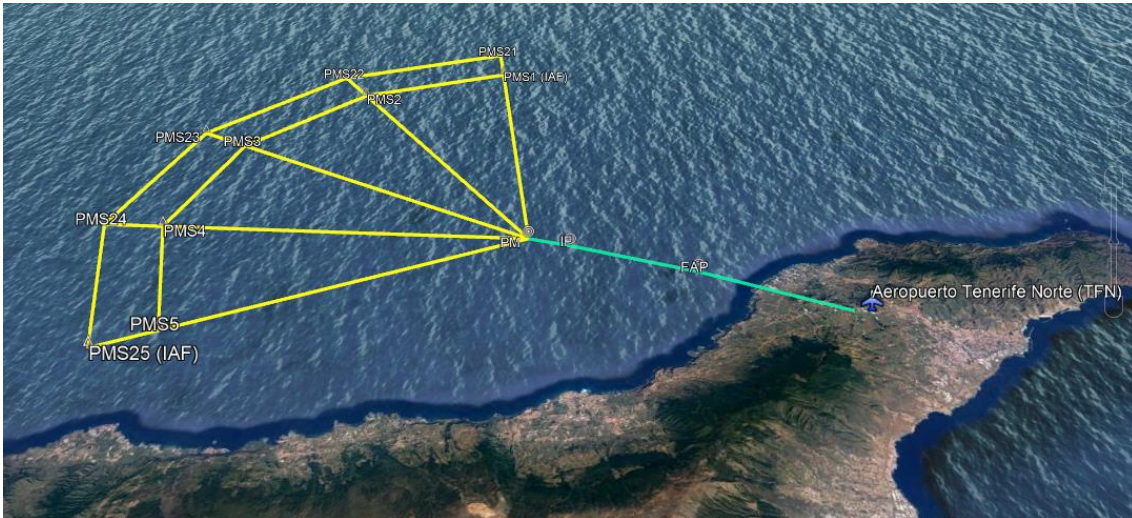


Figura 33. PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.

En esta última figura se puede percibir como una vez alcanzado el FAP comienza la senda de descenso del ILS de valor nominal 3° que guía a la aeronave hasta el umbral de la pista 12.

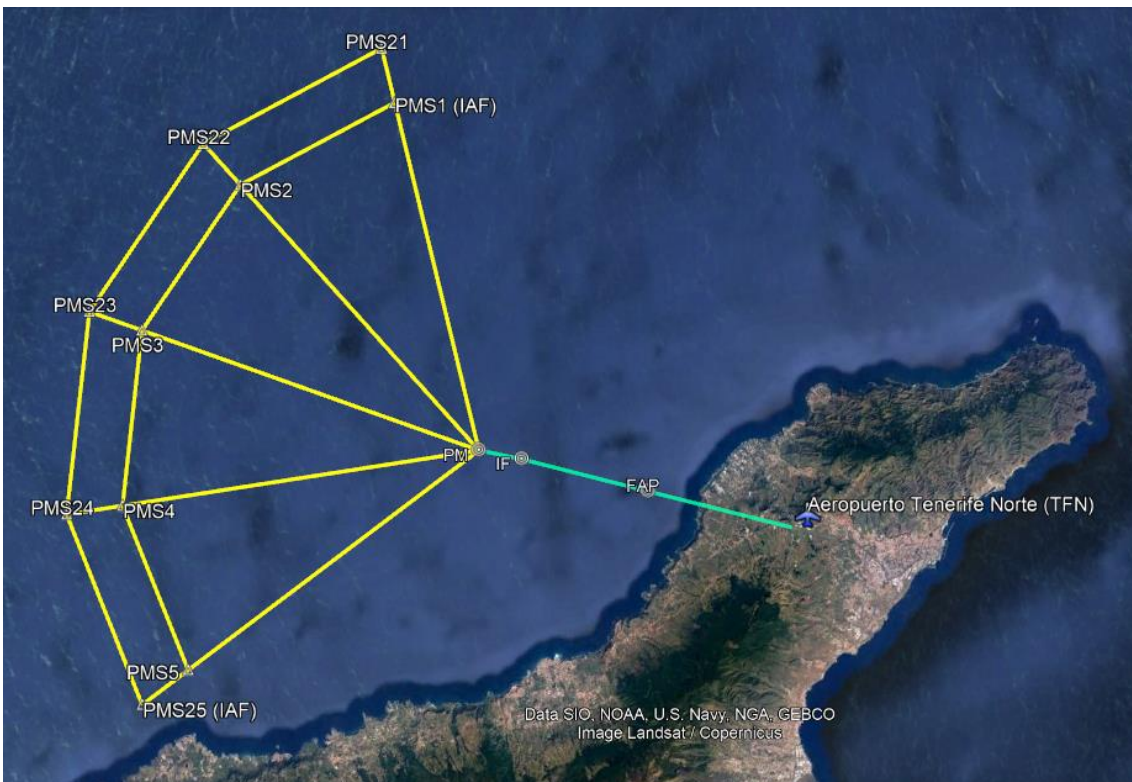


Figura 34. Planta PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.

Se puede observar la alineación entre el PM y el IF y FAP que se comentaba anteriormente.

Por último, para terminar con la presentación de los resultados obtenidos para la pista 12, se va a mostrar la unión de las rutas de llegada con el PMS diseñado para la pista 12.

La elección del arco del PMS que recorrerá cada ruta de llegada radica en las entradas al TMA de las que disponemos en Carta de Llegada Normalizada RWY 12/30 (Anexo E). Como se puede observar en esta, todas las entradas al TMA de las que disponemos provienen del noreste y del este, luego en principio se hará entrar a las aeronaves procedentes de rutas de llegada de esta zona por el arco PMS1 (el más próximo al PM), estas rutas recorrerán el arco de norte a sur, entrando al PMS por el IAF PMS1 (IAF). Dejando de esta manera el arco PMS 2 a las rutas que provengan del sur y suroeste entrando por el PMS21 (IAF).

Para el diseño del espacio de llegada es interesante tener en cuenta que al tratarse de un procedimiento de llegada RNAV, las aeronaves que estén equipadas para la realización del mismo, pueden dirigirse de manera directa desde el final de la aerovía, es decir, la entrada al TMA, hasta el IAF del arco correspondiente conociendo las coordenadas del mismo. Por lo tanto, estudiando las diferentes entradas al TMA de las que disponemos en la Carta de Llegada Normalizada RWY 12/30, tenemos las siguientes rutas hasta el IAF del PMS.

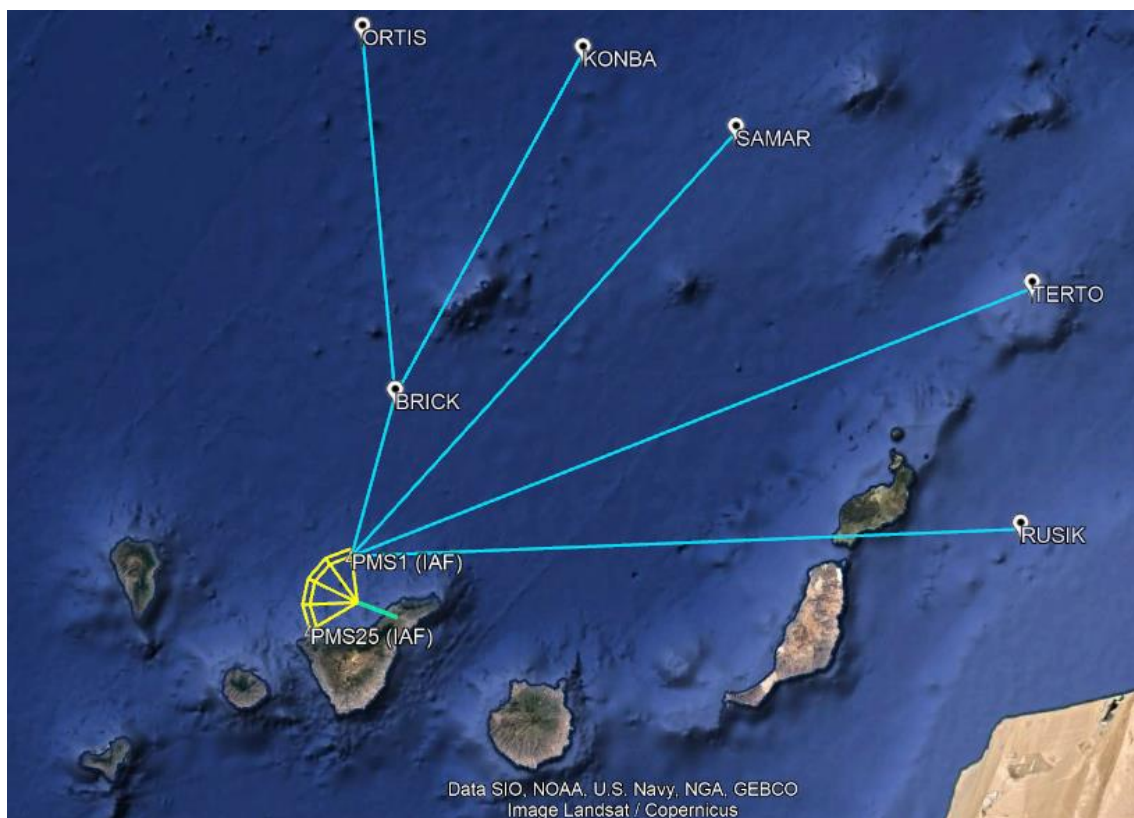


Figura 35. Espacio de llegadas con PMS pista 12 TFN. Google Earth.

Se pueden observar fácilmente los directos entre las entradas al TMA SAMAR, TERTO o RUSIK hasta el IAF. De esta manera, además de simplificar el esquema de la carta de llegadas, se reduce el tiempo de vuelo de las aeronaves lo que implica una disminución en el consumo de combustible del vuelo, al mismo tiempo que disminuye la carga de trabajo del controlador al no tener que estar efectuando el guiado hasta el IAF. Pese a ello, la inclusión de un waypoint intermedio como es el caso de BRICK tiene como objetivo fusionar dos rutas que van a discurrir muy juntas en un determinado momento, evitando así problemas de separación entre aeronaves o efectos derivados de las estelas turbulentas.



Figura 36. Espacio de llegadas con PMS pista 12 TFN, perspectiva. Google Earth.

6.2 Representación PMS pista 30

Se procede ahora con la presentación de los resultados del PMS diseñado para la orientación de pista 30 del aeropuerto de Tenerife Norte. De nuevo en primer lugar se muestra una representación del PMS en solitario.

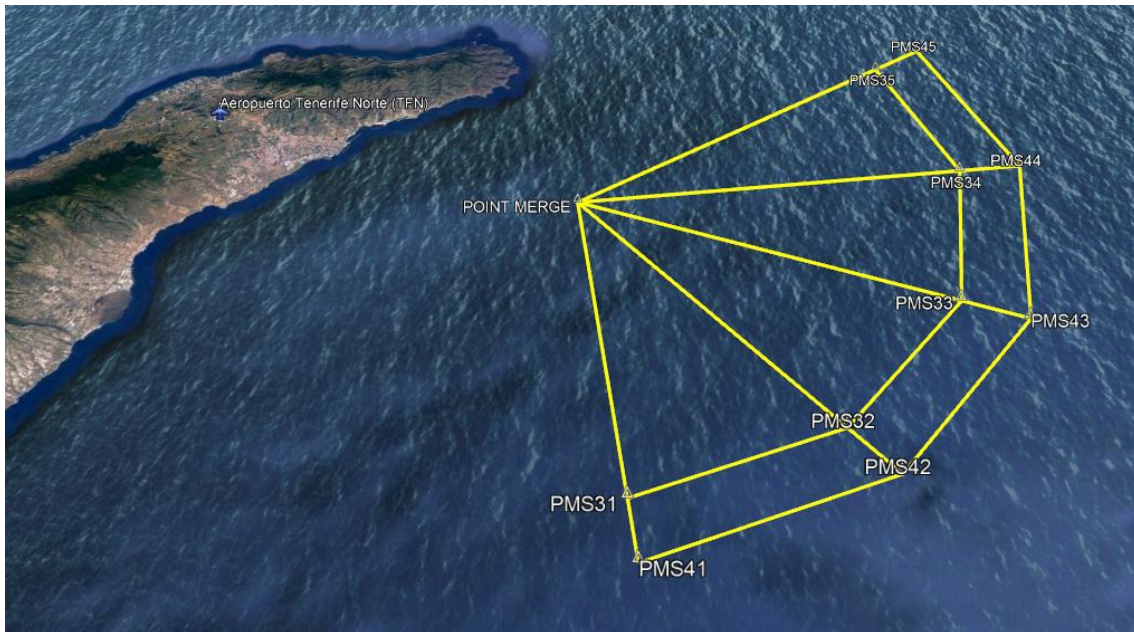


Figura 37. Esquema PMS para pista 30 TFN. Google Earth.

De nuevo se destaca que la elección de ubicación del PM (Point Merge) tiene como objetivo la alineación de este con IF y el FAP del procedimiento de aproximación ILS ya existente en el aeropuerto. Por tanto, el PM está ubicado en la dirección 296° , radial que coincide con la dirección del localizador, y tiene como coordenadas:

$$lat_{PM} = 28^\circ 23'30'' N$$

$$lon_{PM} = 16^\circ 04'00'' W$$

Siendo la altitud del mismo, en este caso, de 4300 pies, coincidiendo con la altitud del IF y del FAP de la aproximación.

Se puede apreciar además en la figura 36 como los waypoints del arco PMS 1 de la pista 30 (arco más próximo al PM) se han nombrado como PMS31-PMS35. Por su parte, para el arco de entrada 2 (el más alejado de PM) los nombres asignados a los waypoints van de PMS41 a PMS45.

Con el objetivo de observar la pendiente de descenso establecida para el PMS se va a mostrar a continuación una imagen del perfil del PMS de la pista 30.

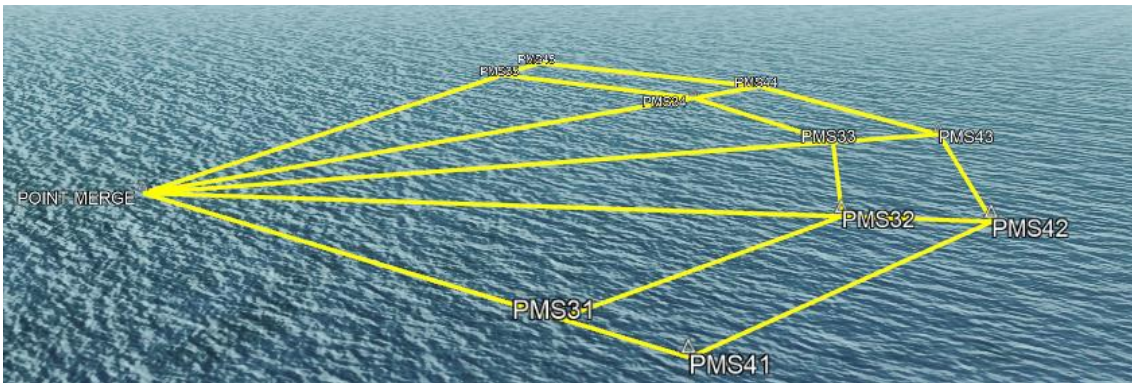


Figura 38. Perfil del esquema PMS para la pista 30 TFN. Google Earth.

En esta última figura se puede apreciar la senda de descenso continuo mínima de 4° definida para el PMS de la pista 30, la cual permite reducir la altitud de vuelo hasta los 4300 pies, altitud a la que se encuentran el PM seguido del IF y el FAP.

Como se hiciera anteriormente para la pista 12, a continuación, se va a mostrar el PMS junto con el guiado hasta el umbral ejercido por el tramo PM-FAP y posteriormente por la senda de descenso del ILS de la pista 30.

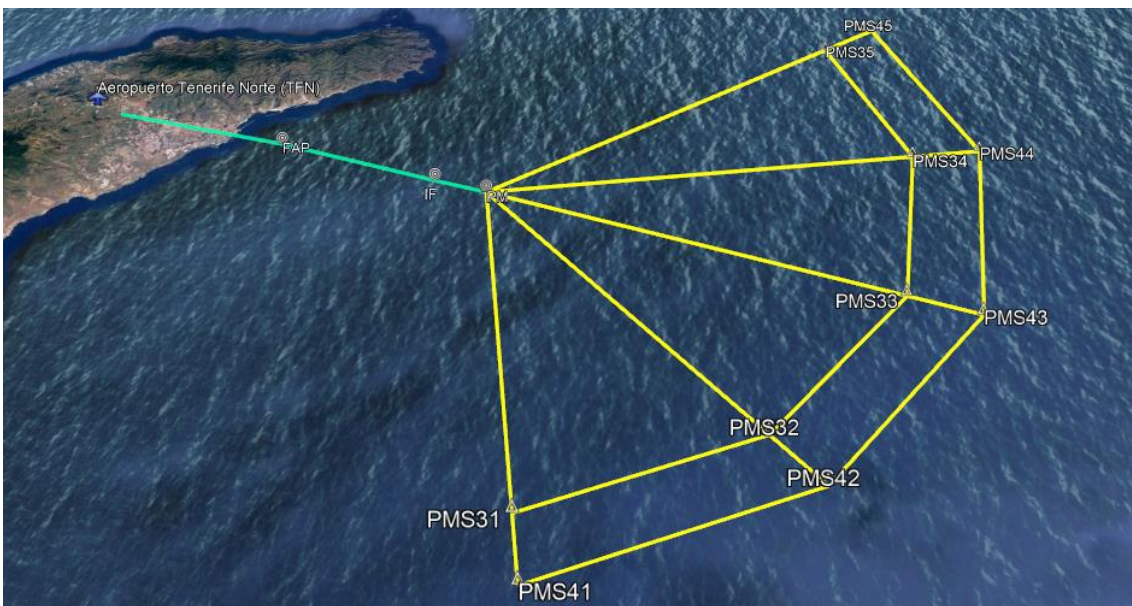


Figura 39. PMS unión umbral de pista 30 TFN. Google Earth.

Se puede apreciar mínimamente el cambio de pendiente del segmento de guiado hasta la cabecera de pista una vez alcanzado el FAP, punto donde se comienza a seguir la senda de descenso del ILS de la pista 30 definida con valor nominal de 3° . Visualizando el esquema anterior en planta se puede observar la alineación existente entre el PM definido para el PMS de la pista 30 y el IF y FAP.

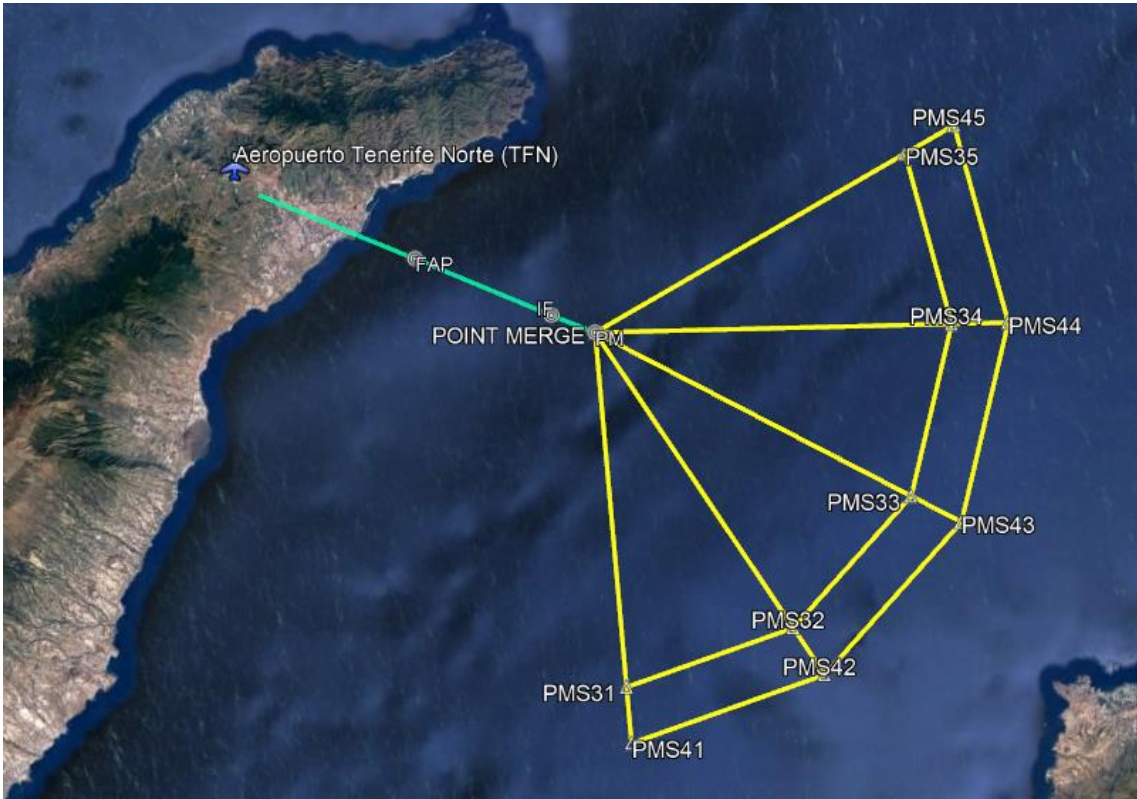


Figura 40. Planta PMS unión umbral de pista 12 TFN. Google Earth.

La configuración del diseño del PMS admite la implementación de un “Segmento Inicial” que permita y facilite la entrada a los respectivos arcos PMS del sistema, como se puede observar en el apartado Descripción del PMS (Figura 17). El objetivo de la implementación de este responde a la necesidad de acceso a los arcos de las rutas de llegada cuando este no sea del todo asequible. Se empleará para ambos arcos de este PMS.

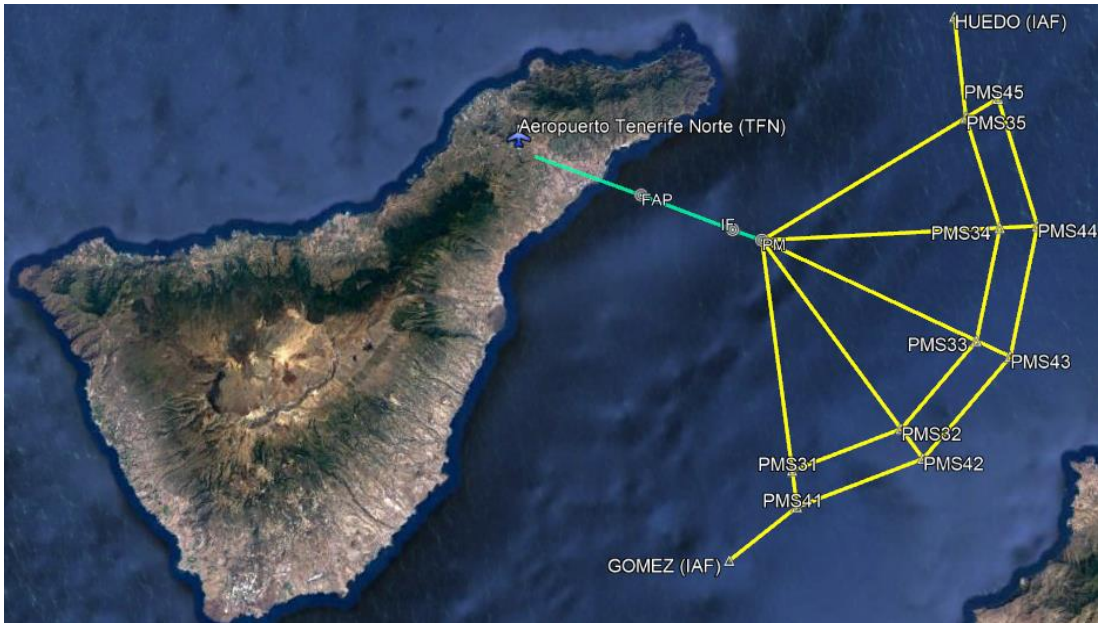


Figura 41. Planta PMS con Segmentos iniciales para pista 30. Google Earth.

Si el esquema PMS dispone de Segmentos Iniciales, el IAF de cada uno de los arcos se ubica en el extremo del segmento definido. Para el caso de diseño se le ha dado el nombre de GOMEZ al IAF correspondiente al segmento inicial del arco más alejado del PM y el nombre de HUEDO al IAF del segmento inicial del arco PMS 1, el más próximo a PM. La longitud de estos es de 12 km y su ángulo con respecto al arco y a primer camino de descenso hasta el PM debe ser tal que permita una fácil incorporación a estos.

Por último, para terminar con la presentación de los resultados obtenidos para la pista 30, se va a mostrar la unión de las rutas de llegada con el PMS diseñado para la pista 30. De igual forma que antes, las rutas que provengan del norte y noreste recorrerán el arco PMS 1 de norte a sur, entrando a dicho arco por el IAF HUEDO. Por otra parte, las rutas que provengan del sureste recorrerán el arco PMS 2 de sur a norte, entrando al arco por el IAF GOMEZ.

Diseñando de nuevo espacio de llegadas para procedimientos RNAV y de acuerdo a las entradas al TMA de las que disponemos:

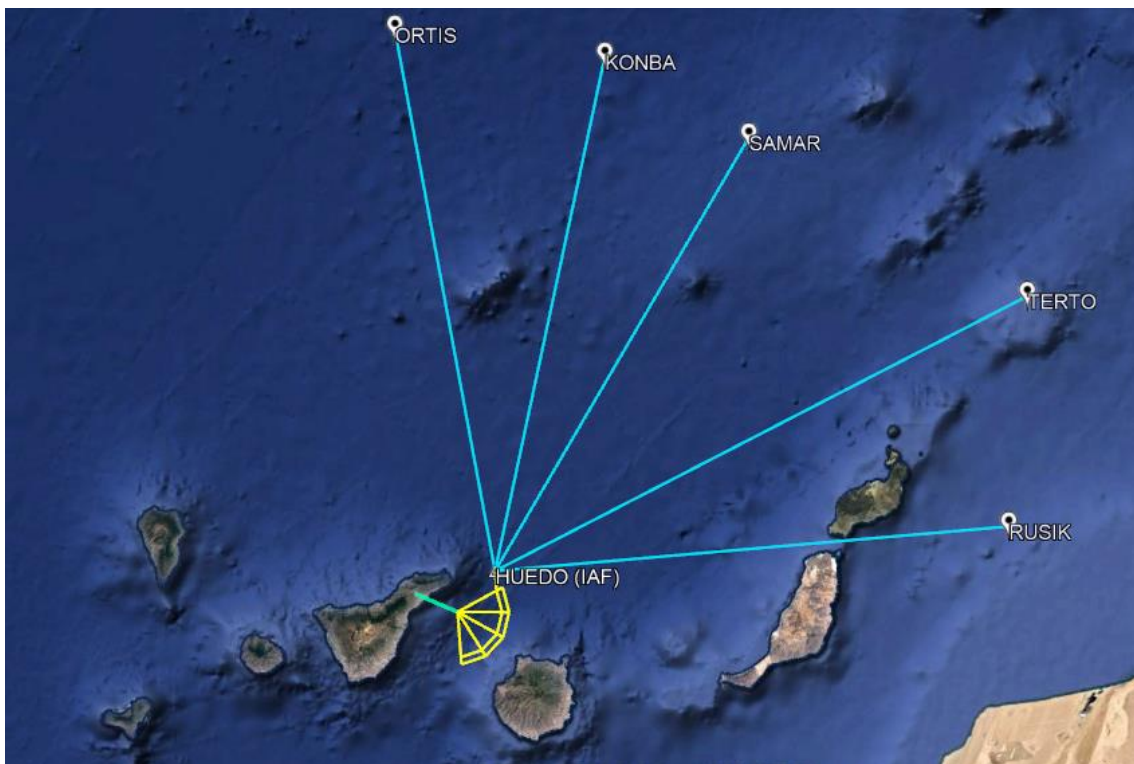


Figura 42. Espacio de llegadas con PMS pista 30 TFN. Google Earth.

En este caso, todas las llegadas al IAF se producen con directos desde los waypoints de entradas al TMA, sin necesidad de waypoints intermedios para garantizar la separación entre rutas de llegada.

Además, como se puede apreciar, de nuevo se da prioridad de entrada al PMS por el recorrido más corto (arco PM1) a las rutas procedentes del norte y noreste, ya que son las rutas mayoritarias.

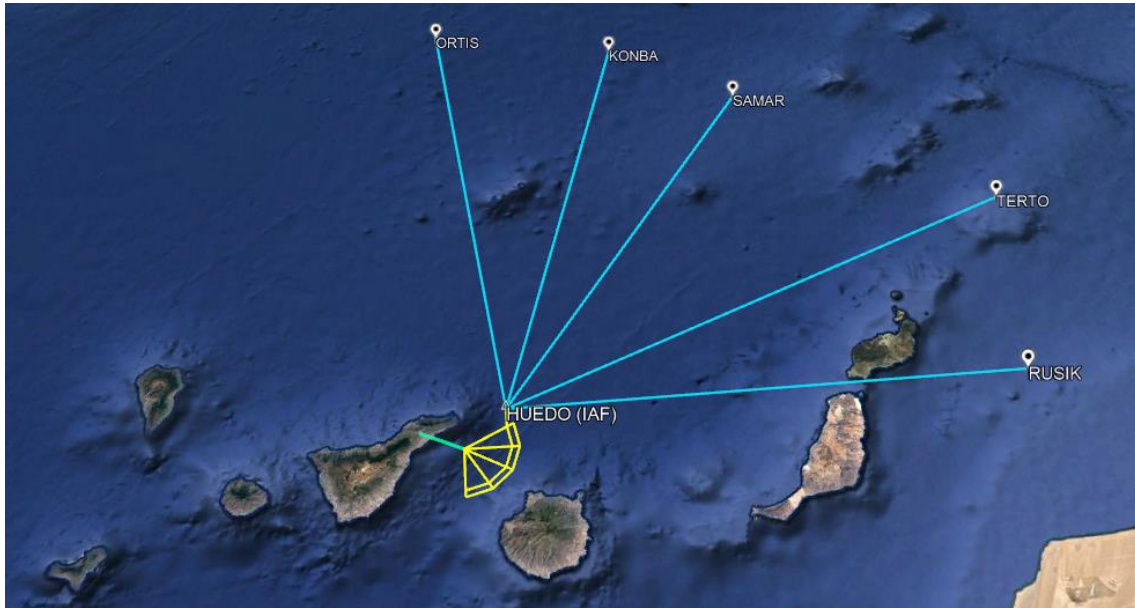


Figura 43. Espacio de llegadas con PMS pista 30 TFN, perspectiva. Google Earth.

7. CODIGO MATLAB

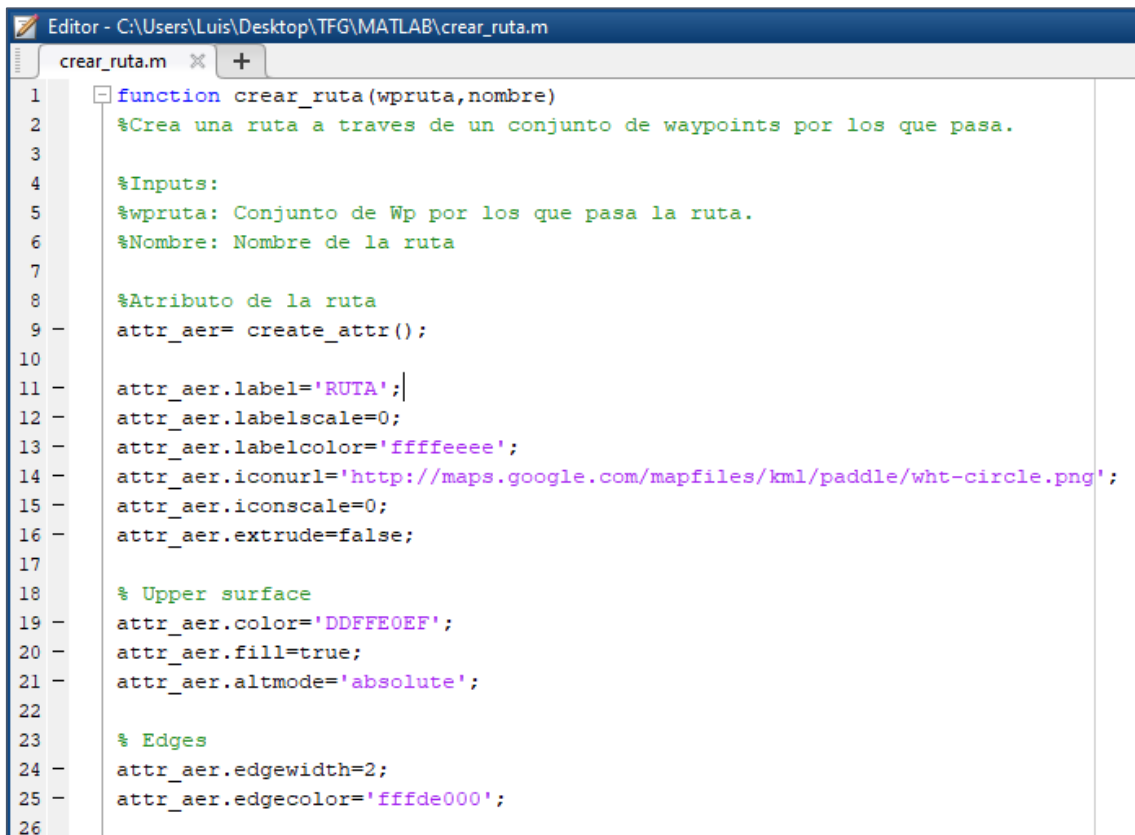
En este apartado se va a presentar y describir de manera resumida las funciones y scripts desarrollados e implementados en Matlab durante el transcurso y realización del trabajo. Estos códigos son los que nos han permitido la representación de los resultados obtenidos en Google Earth y así como el dimensionado de parte del PMS como ya se ha visto en el apartado de Simulación de Llegadas.

7.1 Funciones

En primer lugar, se va a comenzar con la explicación de las funciones desarrolladas.

7.1.1 Función crear_ruta

Esta función tiene la siguiente estructura: *crear_ruta (wpruta, nombre)*. Su función es crear y representar una ruta en Google Earth a partir de un conjunto de waypoints que se le pasa como argumentos de entrada y que son lo que definen de la ruta. Como argumento de entrada también se le pasa el nombre de la ruta.



```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\crear_ruta.m
crear_ruta.m x +
1 function crear_ruta(wpruta,nombre)
2 %Crea una ruta a traves de un conjunto de waypoints por los que pasa.
3
4 %Inputs:
5 %wpruta: Conjunto de Wp por los que pasa la ruta.
6 %Nombre: Nombre de la ruta
7
8 %Atributo de la ruta
9 attr_aer= create_attr();
10
11 attr_aer.label='RUTA';
12 attr_aer.labelscale=0;
13 attr_aer.labelcolor='ffffffeee';
14 attr_aer.iconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-circle.png';
15 attr_aer.iconscale=0;
16 attr_aer.extrude=false;
17
18 % Upper surface
19 attr_aer.color='DDFFE0EF';
20 attr_aer.fill=true;
21 attr_aer.altmode='absolute';
22
23 % Edges
24 attr_aer.edgewidth=2;
25 attr_aer.edgecolor='fffd000';
26
```

Figura 44. Extracto de la función crear_ruta. Matlab.

En el cuerpo de esta función se define un atributo para la ruta, el cual va a definir las características físicas de esta al representarla en Google Earth. Características en cuanto al color de la misma, simbología de los waypoints de la ruta, etc.

Para la representación de la ruta creada en Google Earth esta función llama a la función *kmlwrite_polyline* (*wp*, *filename*, *attr*), una función de la librería kml que representa una línea en Google Earth a través de un conjunto de waypoints y un atributo que se le pasan como argumento de entrada.

```
26
27     % Waypoints
28 -   attr_aer.wplabelscale=0.8;
29 -   attr_aer.wplabelcolor='ffffff';
30 -   attr_aer.wpiconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-circle.png';
31 -   attr_aer.wpiconscale=0.8;
32
33     %Representacion de la ruta
34 -   kmlwrite_polyline(wpruta, strcat(nombre, '.kml'), attr_aer);
35
```

Figura 45. Extracto de la función crear_ruta. Matlab.

A esta función también se le pasa como argumento el nombre del archivo. kml que se va a crear para guardar la ruta.

7.1.2 Función envolventePMS

Esta función tiene una estructura idéntica a la función crear_ruta descrita. Su estructura es la siguiente: *envolventePMS* (*PMS*, *nombre*). Su función es crear y representar en Google Earth la “envolvente” del PMS, entendiendo como envolvente al perímetro exterior del esquema PMS que va desde el Point Merge hasta los waypoints de los extremos de ambos arcos. Como argumento de entrada se le pasa el conjunto de waypoints que van a definir la envolvente y el nombre que se le va a dar ha dicho archivo.

```

1  function envolventePMS( PMS, nombre)
2  % Crea la envolvente de un PMS desde el PM hasta los extremos del arco.
3  %Inputs:
4  %-PMS: Conjunto de wp que definen la envolvente.
5  %-nombre: Nombre de la envolvente.
6
7  %Atributo envolvente PMS |
8  - attr_PMS= create_attr();
9
10 - attr_PMS.label='';
11 - attr_PMS.labelscale=0;
12 - attr_PMS.labelcolor='ffffff';
13 - attr_PMS.iconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-circle.png';
14 - attr_PMS.iconscale=0;
15 - attr_PMS.extrude=false;
16
17 % Upper surface
18 - attr_PMS.color='DDFF00';
19 - attr_PMS.fill=true;
20 - attr_PMS.altmode='absolute';
21
22 % Edges
23 - attr_PMS.edgewidth=3;
24 - attr_PMS.edgecolor='ff00ff';
25
26 - kmlwrite_polyline(PMS, strcat(nombre, '.kml'), attr_PMS)

```

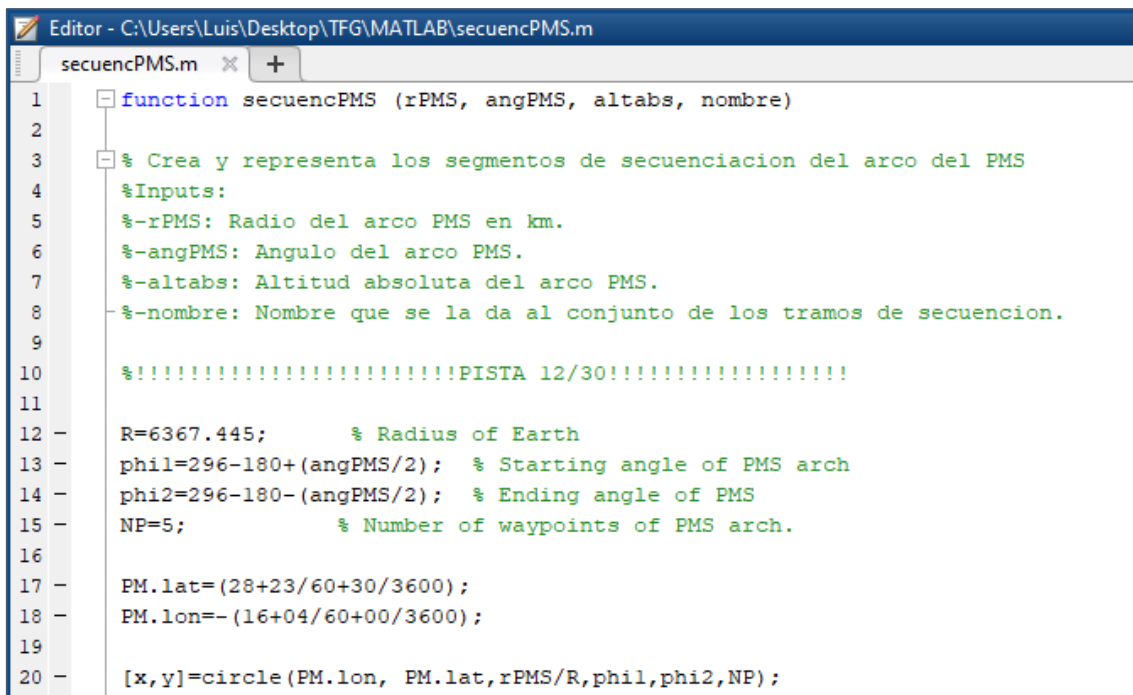
Figura 46. Extracto de la función envolventePMS. Matlab.

Como se puede observar en la última figura, la única diferencia con el cuerpo de la función `crear_ruta` es las características que se le da al atributo con de representación de la envolvente que se utiliza en la función `kmlwrite_polyline` (*wp, filename, attr*).

7.1.3 Función secuencPMS

La estructura de esta función es la siguiente: `secuencPMS` (*rPMS, angPMS, altabs, nombre*). Su función es crear y representar en Google Earth los tramos de secuenciación de un arco PMS del que conocemos el radio del mismo, el ángulo interno y la altitud absoluta a la que está ubicado, datos que se le pasan como entrada a la función.

Se presenta a continuación parte extractos del cuerpo de esta función:



```
1 function secuencPMS (rPMS, angPMS, altabs, nombre)
2
3 % Crea y representa los segmentos de secuenciacion del arco del PMS
4 %Inputs:
5 %-rPMS: Radio del arco PMS en km.
6 %-angPMS: Angulo del arco PMS.
7 %-altabs: Altitud absoluta del arco PMS.
8 %-nombre: Nombre que se la da al conjunto de los tramos de secuencion.
9
10 %!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!PISTA 12/30!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
11
12 R=6367.445; % Radius of Earth
13 phi1=296-180+(angPMS/2); % Starting angle of PMS arch
14 phi2=296-180-(angPMS/2); % Ending angle of PMS
15 NP=5; % Number of waypoints of PMS arch.
16
17 PM.lat=(28+23/60+30/3600);
18 PM.lon=-(16+04/60+00/3600);
19
20 [x,y]=circle (PM.lon, PM.lat,rPMS/R,phi1,phi2,NP);
```

Figura 47. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.

En el cuerpo de la función se definen los ángulos de comienzo y final del arco PMS haciendo uso del ángulo interno del arco PMS y conociendo la ubicación que va a ocupar el mismo. Se define también el número de waypoints del arco y la ubicación del centro del arco que se va a trazar, en este caso el Point Merge.

La función *circle* ya definida, la cual tiene la siguiente estructura, $[xp, yp]=circle(x, y, r, phi1, phi2, n)$, utiliza esta información como datos de entrada para crear un círculo o sector circular sobre la superficie de la tierra definido por n puntos.

Esta función retorna un array con las coordenadas de los puntos que definen el arco que se desea construir. A continuación, se presenta el cuerpo de dicha función.

```

Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\lib\kml\circle.m
circle.m x secuencPMS.m +
function [xp,yp]=circle(x,y,r,phil,phi2,n)
% Crea un circulo (o sector circular) sobre la superficie de la tierra
% definido por n puntos
% Retorna un array [xp, yp] con las coordenadas de los puntos.
% Tiene en cuenta la deformación por la latitud.
% Util para dibujar arcos DME en Google Earth.
% Parámetros:
%   x,y: coordenadas del centro del circulo.
%       Pueden ser longitudes y latitudes en radianes
%   r: radio del circulo.
%       Puede ser una distancia angular D/R, siendo R el radio de la tierra
%   phil: angulo de comienzo del sector circular
%   phi2: angulo final del sector circular
%   n: numero de puntos
-
ang=linspace(phil,phi2,n);
-
xp=x+(r*sind(ang)/cosd(y))*180/pi;
-
yp=y+r*cosd(ang)*180/pi;
-
end

```

Figura 48. Extracto de la función circle. Matlab.

Prosiguiendo con la descripción del cuerpo de la función *secuencPMS*, los valores del array obtenido de la función *circle* se emplean para crear una estructura de waypoints que podamos utilizar más adelante.

```

22 - for i=1:NP
23 -     wp(i).name='';
24 -     wp(i).desc='';
25 -     wp(i).lon=x(i);
26 -     wp(i).lat=y(i);
27 -     wp(i).alt=altabs;
28 - end

```

Figura 49. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.

Seguidamente, se crea el atributo de representación que va a contener las características físicas de los segmentos de secuenciación a la hora de representarlos en Google Earth y, por último, como ya se ha hecho en el resto de funciones presentadas, se llama a la función *kmlwrite_polyline* (*wp, filename, attr*) para que represente el arco en Google Earth.

Es importante remarcar que, a la hora de la definición del atributo de los diferentes componentes del PMS hay que definir el modelo de altitud como *absolute*, ya que todas las altitudes con las que se está trabajando están referidas al nivel del mar.

```

Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\secuencPMS.m
secuencPMS.m
30 %-----
31 attr_sec=create_attr();
32
33 attr_sec.label='SEG-SEC';
34 attr_sec.labelscale=0;
35 attr_sec.labelcolor='ffffffee';
36 attr_sec.iconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-circle.png';
37 attr_sec.iconscale=0;
38 attr_sec.extrude=false;
39
40 % Upper surface
41 attr_sec.altmode='absolute';
42
43 % Edges
44 attr_sec.edgewidth=3;
45 attr_sec.edgecolor='ff00fff';
46
47 % Waypoints
48 attr_sec.wplabelscale=1;
49 attr_sec.wplabelcolor='ffffffee';
50 attr_sec.wpiconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/triangle.png';
51 attr_sec.wpiconscale=1;
52
53 kmlwrite_polyline(wp, strcat(nombre, '.kml'), attr_sec);
54
55 end

```

Figura 50. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.

7.1.4 Función rutasPMS

La función rutasPMS tiene una estructura idéntica a la función crear_ruta. La estructura de esta función es la siguiente: *rutasPMS (PMSrutas, nombre)*. Esta función ha sido creada con el objetivo de crear y representar las rutas que van desde los waypoints de los segmentos de secuenciación hasta el PM. Toma como argumentos de entrada el conjunto de waypoints que definen la ruta y el nombre que se le da a la misma.

```

Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\rutasPMS.m
rutasPMS.m
1 function rutasPMS( PMSrutas, nombre )
2
3 %Crea las rutas desde los waypoints del arco del PMS hasta el PM
4 %Inputs:
5 %-PMSrutas: Estructura de waypoints que definen la ruta.
6 %-nombre: Nombre que se le da a la ruta.
7
8 %Atributo de PMSrutas
9 attr_PMSrutas= create_attr();
10
11 attr_PMSrutas.label='';
12 attr_PMSrutas.labelscale=0;
13 attr_PMSrutas.labelcolor='ffffffee';
14 attr_PMSrutas.iconurl='http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-circle.png';
15 attr_PMSrutas.iconscale=0;
16 attr_PMSrutas.extrude=false;

```

Figura 51. Extracto de la función secuencPMS. Matlab.

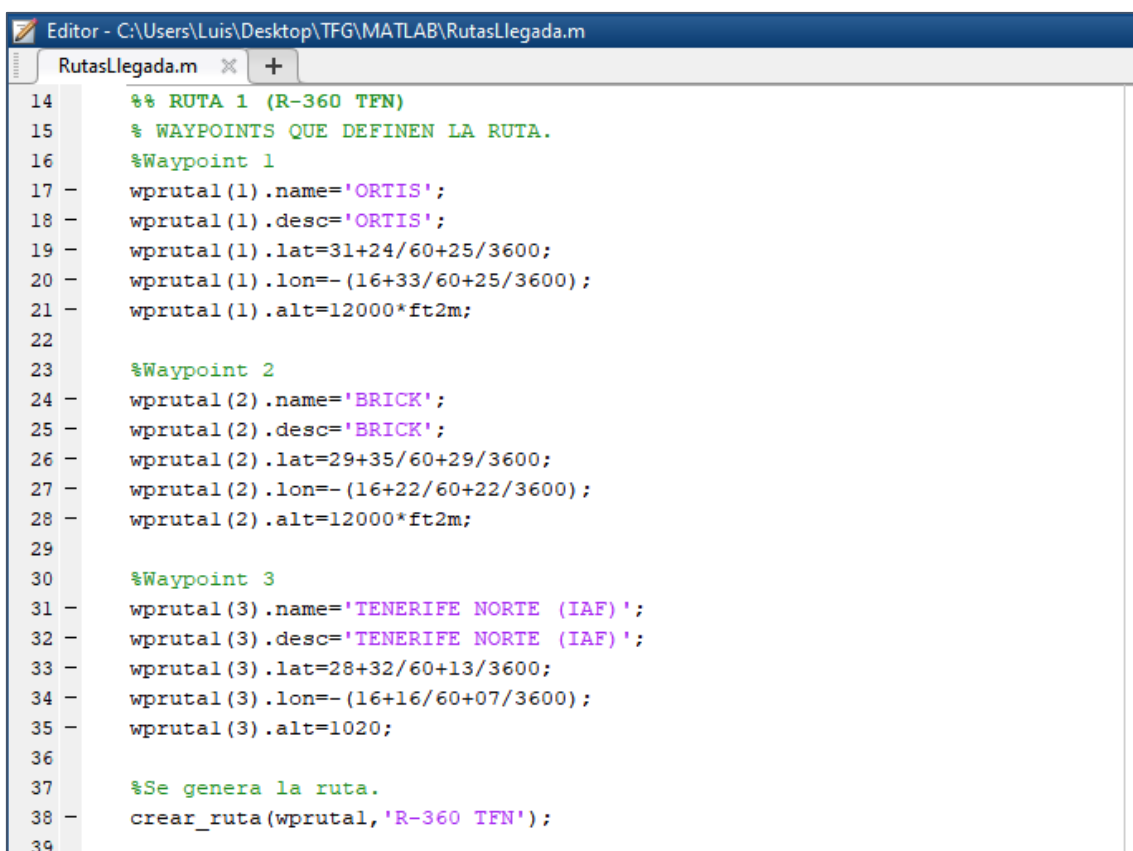
Como se puede observar en la figura 50, el cuerpo de la función es idéntico al de la función `crear_ruta`, únicamente cambia la definición del atributo de representación de la ruta, con el objetivo de diferenciar las rutas del PMS con las rutas de llegada. Por último, se llama a la función `kmlwrite_polyline` (`wp`, `filename`, `attr`) pasándole como argumentos de entrada los waypoints que definen la ruta, el nombre la misma y el atributo de esta

7.2 Scripts

El objetivo principal de la creación de los Scripts que se van a presentar a continuación es la definición en ellos de las características del conjunto de waypoints que se van a pasar posteriormente a las funciones que se acaban de describir.

7.2.1 RutasLlegada

Este Script permite introducir las características de los waypoints que definen las rutas de llegada al aeropuerto de Tenerife Norte, tanto para la pista 12 como para la pista 30. Una vez definida la estructura de waypoints se llama a la función `crear_ruta` (`wprutal`, `nombre`) para que cree y represente la ruta.



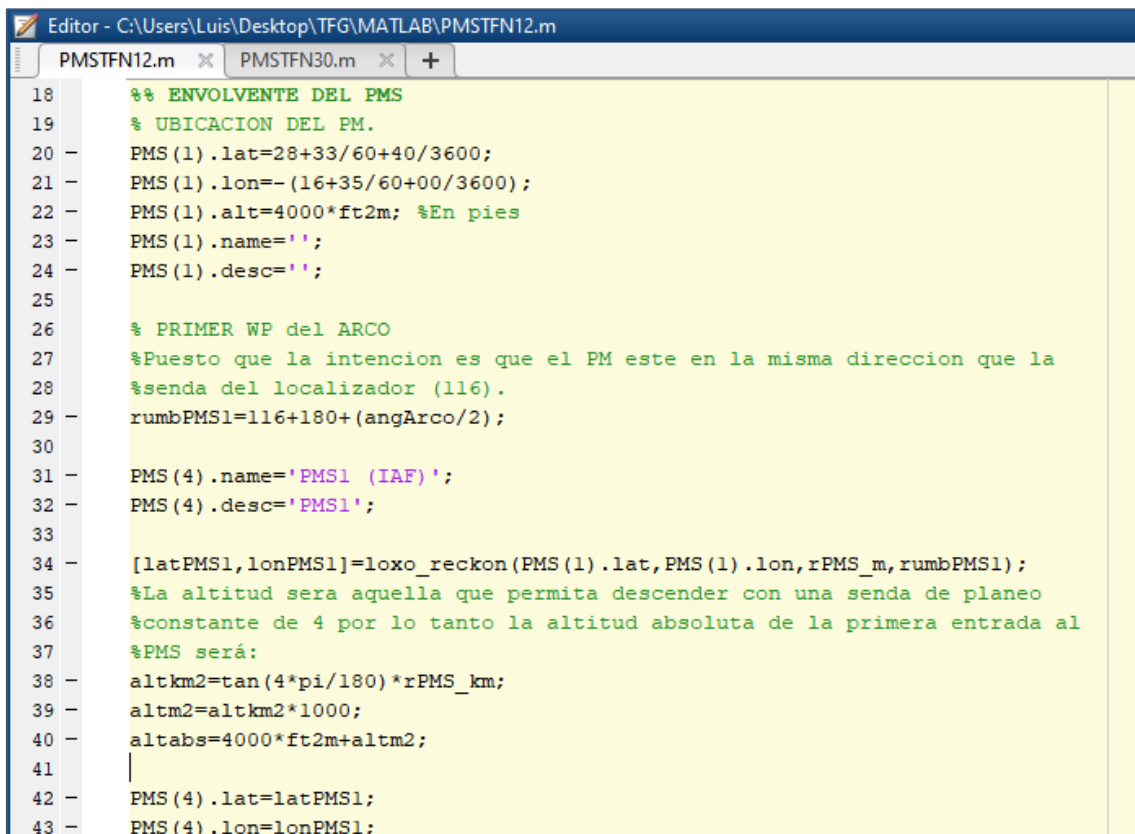
```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\RutasLlegada.m
RutasLlegada.m x +
14 %% RUTA 1 (R-360 TFN)
15 % WAYPOINTS QUE DEFINEN LA RUTA.
16 %Waypoint 1
17 - wprutal(1).name='ORTIS';
18 - wprutal(1).desc='ORTIS';
19 - wprutal(1).lat=31+24/60+25/3600;
20 - wprutal(1).lon=-(16+33/60+25/3600);
21 - wprutal(1).alt=12000*ft2m;
22
23 %Waypoint 2
24 - wprutal(2).name='BRICK';
25 - wprutal(2).desc='BRICK';
26 - wprutal(2).lat=29+35/60+29/3600;
27 - wprutal(2).lon=-(16+22/60+22/3600);
28 - wprutal(2).alt=12000*ft2m;
29
30 %Waypoint 3
31 - wprutal(3).name='TENERIFE NORTE (IAF)';
32 - wprutal(3).desc='TENERIFE NORTE (IAF)';
33 - wprutal(3).lat=28+32/60+13/3600;
34 - wprutal(3).lon=-(16+16/60+07/3600);
35 - wprutal(3).alt=1020;
36
37 %Se genera la ruta.
38 - crear_ruta(wprutal, 'R-360 TFN');
39
```

Figura 52. Extracto del Script RutasLlegada. Matlab.

Debido a la larga extensión de estos Scripts, se van a presentar únicamente fragmentos de ellos a modo de ejemplo.

7.2.2 PMSTF12 y PMSTF30

La estructura y el cuerpo de ambos Scripts son idénticos pero adaptados a las características de diseño del PMS de cada una de las orientaciones de pista del aeropuerto de Tenerife Norte. El objetivo del desarrollo de estos Scripts es la definición y cálculo de los parámetros de entrada de las funciones que se han descrito en el apartado Funciones. Parámetros como el radio del arco PMS, la altitud del mismo, estructura de waypoints que definen la envolvente, etc. De nuevo como ya se haya hecho antes, presentamos extractos del código a modo de ejemplo debido a la extensión del mismo.



```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\PMSTFN12.m
PMSTFN12.m x PMSTFN30.m x +
18 %% ENVOLVENTE DEL PMS
19 % UBICACION DEL PM.
20 - PMS(1).lat=28+33/60+40/3600;
21 - PMS(1).lon=-(16+35/60+00/3600);
22 - PMS(1).alt=4000*ft2m; %En pies
23 - PMS(1).name='';
24 - PMS(1).desc='';
25
26 % PRIMER WP del ARCO
27 %Puesto que la intencion es que el PM este en la misma direccion que la
28 %senda del localizador (116).
29 - rumbPMS1=116+180+(angArco/2);
30
31 - PMS(4).name='PMS1 (IAF)';
32 - PMS(4).desc='PMS1';
33
34 - [latPMS1,lonPMS1]=loxo_reckon(PMS(1).lat,PMS(1).lon,rPMS_m,rumbPMS1);
35 %La altitud sera aquella que permita descender con una senda de planeo
36 %constante de 4 por lo tanto la altitud absoluta de la primera entrada al
37 %PMS será:
38 - altkm2=tan(4*pi/180)*rPMS_km;
39 - altm2=altkm2*1000;
40 - altabs=4000*ft2m+altm2;
41 |
42 - PMS(4).lat=latPMS1;
43 - PMS(4).lon=lonPMS1;
```

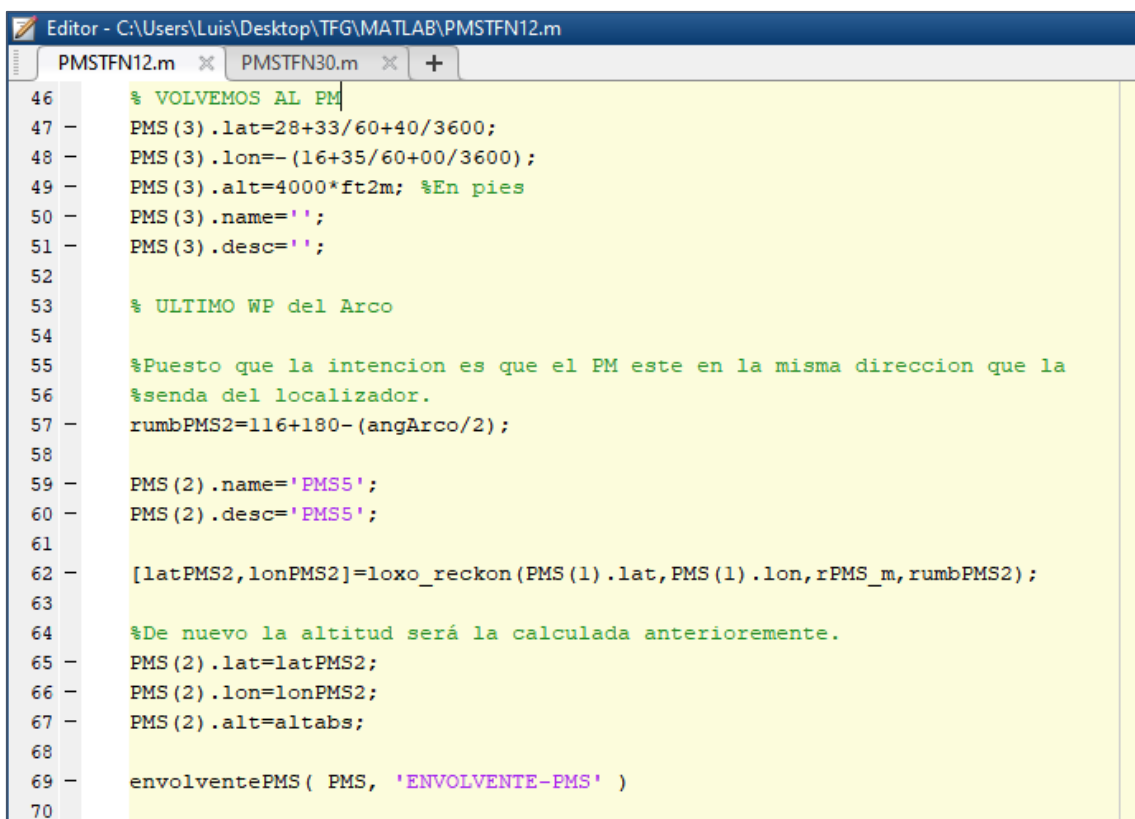
Figura 53. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.

En el extracto del Script PMSTFN12 presentado, se están definiendo y calculando las coordenadas de los waypoints que van a definir la envolvente del PMS para la pista 12. Se puede ver como se emplea la función $[lat2, lon2]=loxo_reckon(lat1, lon1, s, a12)$ de la librería Geo, para hallar las coordenadas del waypoint del extremo del arco. Esta función permite calcular la latitud y longitud de un punto concreto conociendo las

coordenadas del punto de partida, la distancia entre ambos puntos y el rumbo que hay que seguir para alcanzar el punto deseado.

En el extracto presentado, también se ha calculado la altitud absoluta de los waypoints que definen la cota superior de la envolvente, que coincide con la altitud del arco PMS ya que el último y el primer waypoint del arco PMS están definidos por la envolvente. Esta altitud se ha calculado para una senda de descenso constante de 4°.

Procediendo de la misma forma para el otro waypoint de la envolvente y llamando a la función `envolventePMS`:



```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\PMSTFN12.m
PMSTFN12.m x PMSTFN30.m x +
46 % VOLVEMOS AL PM
47 PMS(3).lat=28+33/60+40/3600;
48 PMS(3).lon=-(16+35/60+00/3600);
49 PMS(3).alt=4000*ft2m; %En pies
50 PMS(3).name='';
51 PMS(3).desc='';
52
53 % ULTIMO WP del Arco
54
55 %Puesto que la intencion es que el PM este en la misma direccion que la
56 %senda del localizador.
57 rumbPMS2=116+180-(angArco/2);
58
59 PMS(2).name='PMS5';
60 PMS(2).desc='PMS5';
61
62 [latPMS2,lonPMS2]=loxo_reckon(PMS(1).lat,PMS(1).lon,rPMS_m,rumbPMS2);
63
64 %De nuevo la altitud será la calculada anterioremente.
65 PMS(2).lat=latPMS2;
66 PMS(2).lon=lonPMS2;
67 PMS(2).alt=altabs;
68
69 envolventePMS( PMS, 'ENVOLVENTE-PMS' )
70
```

Figura 54. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.

De esta forma se han definido la estructura del conjunto de waypoints que van a formar la envolvente del PMS.

Por su parte para la creación de los tramos de secuenciación se procede llamando de manera directa a la función en el Script, ya que en él se han definido todos los datos y argumentos de entrada de la función.

```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\PMSTFN12.m
PMSTFN12.m x PMSTFN30.m x +
75 %% TRAMOS DE SECUENCIACION
76
77 - secuencPMS (rPMS_km, angArco, altabs, 'SEGI-SECUENCIACION')
78
```

Figura 55. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.

Como se ha visto en la explicación de la función *secuencPMS*, la estructura del conjunto de waypoints que definen los tramos de secuenciación se crea dentro de la propia función.

Por su parte, la unión de las rutas de llegada con el IAF del PMS se genera de la misma manera que hemos visto en el Script de RutasLlegada.

```
Editor - C:\Users\Luis\Desktop\TFG\MATLAB\PMSTFN12.m
PMSTFN12.m x PMSTFN30.m x +
385 %RUTA 3 (SAMAR-PMS1 (IAF))
386 - ruta3(1).name='SAMAR';
387 - ruta3(1).desc='SAMAR';
388 - ruta3(1).lat=30+53/60+59/3600;
389 - ruta3(1).lon=-(14+24/60+56/3600);
390 - ruta3(1).alt=12000*ft2m;
391
392 - ruta3(2).name='';
393 - ruta3(2).desc='IAF';
394 - ruta3(2).lat=latPMS1;
395 - ruta3(2).lon=lonPMS1;
396 - ruta3(2).alt=altabs;
397
398 - crear_ruta(ruta3, 'SAMAR-PMS1 (IAF) ');
399
```

Figura 56. Extracto del Script PMSTFN12. Matlab.

8. PLIEGO DE CONDICIONES

8.1 Introducción

En este apartado se van a detallar y exponer todos los factores condicionantes que se deben dar para el desarrollo e implementación del trabajo realizado. Estos factores pueden ser desde especificaciones técnicas relativas al diseño del procedimiento hasta especificaciones de tráfico o conocimientos necesarios.

Además, se ha de tener en cuenta que el trabajo desarrollado se trata de un procedimiento que tiene como objetivo su implementación en un espacio aéreo ya en uso. Como consecuencia de ello existirán condiciones en cuanto a la interacción y compatibilidad con otro procedimiento existentes.

Pasamos a continuación a presentar los diferentes tipos de condiciones que deben cumplirse para una correcta elaboración de este trabajo.

8.2 Especificaciones de diseño

En primer lugar, se ha de tener en cuenta que el procedimiento que se está diseñando se trata de un procedimiento de llegada, fase previa a la aproximación al aeropuerto.

Un procedimiento de llegada es el que realiza el guiado desde la fase en ruta hasta la aproximación, por lo que uno de los objetivos principales de este es comenzar el descenso, de este hecho se nos deriva una condición referida al diseño del PMS:

- La ubicación y diseño del PMS debe permitir la realización de un descenso lo más constante posible desde la fase en ruta. Como consecuencia de ello, la altitud de este debe ser tal que lo permita.

Otro de los objetivos principales de un procedimiento de llegada es facilitar a las aeronaves la conexión con el procedimiento de aproximación que guía a la aeronave hasta la pista, luego de esta consideración se nos deriva otra condición de diseño:

- La ubicación del PMS debe permitir, en la medida de lo posible, una fácil incorporación al procedimiento de aproximación existente.

Como ya se sabe, uno de los fines del diseño del PMS se basa en la gestión eficiente de los tiempos y distancias de separación entre aeronaves. Esta separación en tiempo y distancia se consigue induciendo esperas a las aeronaves que vuelan demasiado próximas

entre sí. Estas esperan se inducen en las aeronaves haciéndoles volar los tramos de secuenciación del PMS. Por tanto, de este fin se puede derivar una consideración en cuenta al diseño

- Las dimensiones del PMS deben ser tales que permitan la gestión de los tiempos de espera de la mayoría de las aeronaves en horas pico de llegadas.

Por último, otro de los objetivos que busca la implementación de un procedimiento basado en un esquema PMS es la disminución del consumo de combustible de las aeronaves y del nivel de emisiones a través del seguimiento de una senda de descenso constante, por tanto:

- La ubicación y disposición del PMS debe permitir el seguimiento de una CDA (Continuous Descent Approach).

8.3 Especificaciones de compatibilidad

Las especificaciones de compatibilidad pueden ser diversas, ya que se puede hablar de compatibilidad con el entorno, de compatibilidad con el espacio aéreo o de compatibilidad en cuanto a requerimientos.

8.3.1 Compatibilidad con el entorno

Las especificaciones de compatibilidad con el entorno están directamente relacionadas con la orografía de terreno de la zona en la que se desea implementar el PMS. Una zona con una orografía muy pronunciada o con una gran densidad de montañas dificultara en gran medida la implantación del PMS. También será muy complicado la implantación de este en una zona que implique sobrevolar núcleos de población. Luego de esta conclusión se puede obtener otra condición:

- El espacio físico donde se pretenda ubicar el PMS debe ser suficiente para implantación del mismo, además de ser compatible con el entorno que lo rodea.

8.3.2 Compatibilidad con Espacio Aéreo

Con compatibilidad del Espacio Aéreo se entiende la compatibilidad con otros procedimientos, rutas o áreas que no permitan la implantación de un procedimiento.

En primer lugar, la compatibilidad con las rutas de llegada resulta indispensable. El PMS se trata de un procedimiento basado en Navegación de Área (RNAV) por lo que en este caso se ha rediseñado el espacio de llegadas para generar rutas de llegada directas desde los waypoints de entrada al TMA hasta el IAF del PMS. Por lo tanto, la consecuencia que se puede derivar de la compatibilidad con las rutas de llegada es la siguiente:

- La disposición del PMS debe permitir un fácil acceso desde los waypoints de entrada al TMA hasta el arco de secuenciación/esperas del PMS.

En ocasiones un mismo TMA puede englobar varios aeropuertos que se encuentran relativamente próximos entre sí, es el caso del TMA en el que se ha desarrollado en trabajo, ya que el TMA de Canarias aglutina todos los aeropuertos de las islas. En este caso resulta necesario comprobar la compatibilidad del procedimiento que se va a diseñar con procedimientos de otros aeropuertos próximos. Por tanto:

- El procedimiento PMS diseñado no debe interferir con procedimientos de otros aeropuertos cercanos.

Por último, si se habla de compatibilidad con el espacio aéreo, es necesario hablar de las zonas o áreas de acceso restringido. Las zonas de acceso restringido son áreas en las que pueden ingresar exclusivamente aquellos vuelos que posean autorización otorgada por la autoridad competente y que por tanto no serán hábiles para la instalación de un procedimiento de estas características:

- La instalación del PMS no puede realizarse en zonas de acceso restringido.

8.3.3 Compatibilidad de requerimientos

El procedimiento de llegada basado en un esquema Point Merge se trata de un procedimiento fundamentado en la Navegación de Área, es por tanto un procedimiento RNAV. Luego la condición que se deriva es la siguiente:

- Las aeronaves que pretendan la utilización de este procedimiento han de estar equipadas con equipos que permitan este tipo de navegación.

Para la realización de este tipo de procedimiento, las aeronaves, además de estar equipadas con tecnología RNAV, deben ser capaces de recibir servicios de Navegación de Área por parte del controlador correspondiente.

8.4 Especificaciones de Capacidad y Tráfico

Esto tipo de especificaciones están referidas a las condiciones mínimas de tráfico que deben darse en un aeropuerto para la instalación del procedimiento PMS.

El PMS es un procedimiento empleado para gestionar grandes flujos de tráfico de llegadas, garantizando la separación entre las aeronaves de dichos flujos. Por lo tanto, la implantación de este tipo de procedimiento en un aeropuerto con un tráfico de llegadas bajo no sería viable, puesto que no se obtendría ninguna mejora en la separación de aeronaves o en la gestión de tiempos de llegada debido a la baja demanda del aeropuerto. Luego:

- La instalación del procedimiento PMS requiere unos mínimos en cuanto a tráfico de llegadas para que la implantación del mismo sea eficaz.

Por otra parte, si la capacidad del aeropuerto en el que se desea implantar el PMS es muy elevada, puede que no se puedan gestionar el 100% de los vuelos procedentes de flujos de llegada con un único arco de esperas. Es por ello que este procedimiento puede complementarse con esperas convencionales. Luego tenemos como condición:

- En el caso de que el PMS no pueda gestionar el 100 % de los vuelos procedentes de llegada, se compatibilizara este con una espera convencional tipo hipódromo al final del arco de esperas.

8.5 Conocimientos

Para el diseño de este tipo de procedimiento es necesario tener formación y/o conocimientos avanzados en el campo de Ingeniería Aeroespacial, y más en concreto en la construcción de procedimientos y el aérea de la navegación. Además, puesto que el diseño del PMS se ha desarrollado a través de programas informáticos, se debe estar familiarizado con softwares de programación como Matlab y alguna herramienta de análisis de datos como puede ser Excel.

9. PRESUPUESTO

9.1 Introducción

En esta parte del documento se especifican los costes derivados de la elaboración del trabajo realizado. Estos gastos responden al uso de todos los recursos materiales empleados durante el ciclo de desarrollo del estudio, así como a los recursos humanos y la mano de obra puesta a disposición de la elaboración del mismo. Por tanto, podemos desglosar los costes en los siguientes grupos:

- Mano de Obra
- Recursos materiales.
- Licencias de software.
- Consumibles

Además, hay que tener en cuenta diversas consideraciones para la elaboración de este:

- El trabajo realizado lo ha desarrollado una única persona con un nivel profesional equivalente al de un ingeniero en prácticas y que aún no dispone de una amplia experiencia laboral.
- El periodo de confección del trabajo ha sido de aproximadamente 2 meses de duración. En este tiempo se está teniendo en cuenta un periodo de estudio de la viabilidad del proyecto, así como un periodo inicial de búsqueda de información sobre el tema desarrollado. Durante estos dos meses la dedicación diaria no ha sido regular, pese a ello se ha podido realizar una estimación de la totalidad de horas dedicadas.

9.2 Desglose de costes

9.2.1 Mano de Obra

La mano de obra corresponde en su integridad a la totalidad de las horas dedicadas por el estudiante que ha consumado el trabajo. Durante los 2 meses de realización del mismo la dedicación ha sido máxima, donde se ha podido obtener una media de 5 horas diarias dedicadas. Por lo tanto, el total de horas del trabajo han sido:

$$horas_{TFG} = 5 \frac{horas}{dia} \cdot 60 dias = 300 horas$$

Por su parte, se va a considerar que el coste por hora de los recursos humanos se corresponde con el salario de un ingeniero en prácticas impuesto por la ETSID.

Horas al día	Bolsa Económica mínima (bruto)	La normativa establece un máximo de 40 horas semanales
4	350 €/mes	
5	425 €/mes	
6	500 €/mes	
7	575 €/mes	
8	650 €/mes	

Figura 57. Bolsa económica mínima impuesta por la ETSID. ETSID, UPV.

Considerando 20 días laborable en un mes, se puede obtener el coste por hora de los recursos humanos y mano de obra:

$$\text{Coste unitario } [€/h] = \frac{\text{salario/mes}}{\text{horas/mes}}$$

Puesto que se ha comentado antes que la media diaria de horas dedicadas eran 5 se va a calcular el coste unitario para una jornada de 5 horas diarias.

$$\text{Coste unitario } [€/h] = \frac{425}{20 \cdot 5} = 4.25 \text{ €/h}$$

Resumiendo lo anterior en una tabla:

TABLA 5. COSTE DE LA MANO DE OBRA

Tipo de mano de obra	Cantidad [horas]	Coste unitario [€/h]	Coste [€]
Ingeniero en Practicas	300	4,25	1275
COSTE TOTAL MANO DE OBRA			1275

Fuente: Elaboración propia.

9.2.2 Recursos Materiales

A continuación, se muestran en forma de tabla los costes asociados a la adquisición del material necesario para la elaboración del estudio. Dentro de los recursos materiales requeridos se engloba todo el hardware informático empleado para el desarrollo del trabajo, el cual será el principal gasto en cuanto a recursos materiales.

Para todos los recursos materiales empleados para la elaboración del trabajo se va a suponer un periodo de amortización de 4 años. Por lo tanto, el coste de cada uno de los recursos materiales utilizados durante las 300 horas del trabajo vendrá dado como:

$$Coste_{utilización} [€] = \frac{Coste_{total}[€] \cdot T_{utilización}}{T_{amortización}}$$

Para un periodo de utilización de 300 horas y un tiempo de amortización de 4 años:

$$Coste_{300\ horas} [€] = \frac{Coste_{total}[€] \cdot 300\ horas}{4\ años \cdot 365\ días \cdot 24\ horas}$$

Luego el coste de un recurso durante 300 horas será:

$$Coste_{300\ horas} [€] = 0,00856 \cdot Coste_{total}[€]$$

Por tanto, el desglose de recursos materiales será el siguiente:

TABLA 6. COSTE TOTAL RECURSOS MATERIALES.

Material para elaboración TFG	Concepto	Cantidad	Coste total [€]	Coste 300 h [€]
ASUS X540UB-GQ845T	Ordenador portátil	1	750	6,42
Ratón ASUS UX300	Ratón ordenador	1	34	0,29
Texas Instruments TI Nspire CX CAS	Calculadora gráfica	1	171	1,47
COSTE TOTAL RECURSOS MATERIALES				8,18

Fuente: Elaboración propia.

El coste de otros recursos materiales que no aparecen en la tabla como pueden ser impresiones de cartas de navegación o material de oficina puede considerar despreciable, por lo que no se va a considerar en el coste total del trabajo.

9.2.3 Licencias de Software

En esta parte del presupuesto se incluye el costo de todas las licencias de plataformas y softwares empleados para la realización del trabajo. Se destaca que valor del coste asociado a la adquisición de los recursos materiales empleados para el desarrollo del trabajo responden al precio de venta a usuarios particulares, a excepción de la licencia para el software Matlab.

Además, para las licencias de larga duración, como son las de Matlab y la de Microsoft Office, se va a suponer un periodo de amortización de 4 años. Para la licencia del software FlightRadar24, se va a considerar el importe íntegro de la suscripción mensual, ya que el

único propósito de su uso ha sido la realización de este trabajo. Luego con respecto al desglose de costes de las licencias de software empleadas se tiene:

TABLA 7. COSTE TOTAL LICENCIAS SOFTWARE.

Licencia de software	Tipo	Cantidad	Coste total unitario	Coste 300 horas [€]
Microsoft Office 2013	Licencia particular	1 u.	150 [€/u]	1,28
Matlab R2015b	Licencia profesional	1 u.	130 [€/u]	1,11
FlightRadar24	Subscripción Gold	2 mes.	5 [€/mes]	10
COSTE TOTAL SOFTWARE				12,39

Fuente: Elaboración propia

Otros softwares como Google Earth, Internet Explorer o NOP de Eurocontrol son de libre descarga y por tanto no se incluyen en el desglose del presupuesto.

9.2.4 Consumibles

Se entienden como consumibles aquellos costes derivados del uso o utilización de un recurso durante un tiempo definido. Por tanto, en el desarrollo del trabajo se tendrían dos consumible: Electricidad Consumida y Conexión a Internet. Se presenta en la siguiente tabla los costes asociados a los consumibles empleados.

TABLA 8. COSTE TOTAL CONSUMIBLES.

Tipo de consumible	Cantidad	Coste unitario	Coste [€]
Electricidad consumida	2 mes.	25 [€/mes]	50
Conexión a Internet	2 mes.	30 [€/mes]	60
COSTE TOTAL CONSUMIBLES			110

Fuente: Elaboración propia

9.3 Presupuesto final

Todo el desglose anterior lo resumimos en la tabla siguiente:

TABLA 9. COSTE TOTAL TRABAJO.

Tipo de Coste	Coste [€]
Coste Mano de obra	1275
Coste Recursos Material	8,18
Coste Licencias Software	12,39
Coste Consumible	110
COSTE TOTAL TRABAJO	1405,6

Fuente: Elaboración propia

10. CONCLUSIONES

En primer lugar, las conclusiones más relevantes que se han podido obtener del desarrollo de este procedimiento están directamente relacionadas con las mejoras operacionales que la implantación de este procedimiento confiere.

Por un lado, al tratarse (el PMS) de un procedimiento basado en Navegación de Área (RNAV) permite disminuir la carga de trabajo que implica el guiado de una aeronave a los controladores de tráfico de aproximación. Como consecuencia de esta disminución de carga de trabajo, los controladores son capaces de aumentar el número de vuelos que pueden gestionar simultáneamente, lo que se traduce en un aumento de la capacidad tanto del TMA como del aeropuerto en cuestión. Esta ventaja operacional puede resultar de vital importancia en épocas en las que el aeropuerto está congestionado, como pueden ser las horas pico del día o meses de los que se experimenta un aumento de demanda.

Además, se trata de un procedimiento basado, a su vez, en la fusión de flujos de tráfico, lo cual permite gestionar adecuadamente este aumento de capacidad del TMA consecuencia del desarrollo de la Navegación de Área.

Otra ventaja operacional que se deduce del desarrollo de este proyecto es la gestión eficiente de los tiempos de espera entre aeronaves en la fase de llegada. Puesto que se ha dimensionado el PMS para que la separación entre aeronaves sea la mínima posible en condiciones de capacidad máxima, el tiempo de espera de las aeronaves se reduce al mínimo. El diseño de una espera basada en un esquema PMS hace que todas las aeronaves en espera en el arco PMS se encuentren a la misma distancia del PM y del IF. De esta manera, las aeronaves pueden comenzar el vuelo hacia el IF en cuanto la separación con la aeronave que le precede sea la mínima estipulada. Este hecho no se podría dar en un circuito de espera tipo hipódromo ya que la aeronave que se encuentra en espera tendría que completar la vuelta al circuito y volver a pasar por el IAF para comenzar la aproximación. Se puede deducir, por tanto, como el PMS reduce al mínimo los tiempos de espera de las aeronaves, aumentando así la eficiencia del procedimiento de llegada.

Por último, la implantación de un procedimiento de llegada basado en un esquema PMS permite el seguimiento de una senda de descenso constante (CDA) desde el IAF hasta el PM. Este hecho se traduce en una disminución de la potencia entregada por los motores en la fase de aproximación, lo que conlleva una reducción del nivel de emisiones generadas por estos.

Todas estas ventajas operacionales mencionadas se traducen en una disminución de la distancia y tiempo volado por las aeronaves en comparación con la utilización de otro procedimiento de llegada, lo cual implica una disminución considerable del consumo de combustible.

Además, es interesante destacar varias consideraciones que se han tenido en cuenta para la construcción del procedimiento desarrollado. Por una parte, la elección del número de tramos de secuenciación se ha hecho en base a la simulación de llegadas realizada. Esta simulación de llegadas seguía una distribución aleatoria uniforme, distribución con carácter crítico para simular las llegadas a un aeropuerto, debido a que existe una planificación previa de los vuelos que hace complicado que dos o más aeronaves lleguen al mismo tiempo al IAF. Sin embargo, si se dimensiona el PMS ante esta situación crítica, se estará dimensionando también para situaciones de menos complejidad. Pese a ello, con el objetivo de no sobredimensionar el procedimiento PMS, este se ha diseñado para servir como mucho a esperas de 8 minutos (4 tramos de secuenciación) que como se ha podido ver son el 90.05% de las llegadas que han de esperar en el arco del PMS para la simulación realizada. Por tanto, se puede deducir que con la instalación de 4 tramos de secuencia se está garantizando el servicio por parte PMS a más del 90% de las aeronaves que han de esperar, sin estar sobredimensionándolo al mismo tiempo.

Por otra parte, para la determinación de la altitud mínima del procedimiento, se han tenido en cuenta las altitudes mínimas definidas por las rutas de llegada en la carta de llegada normalizada por instrumentos que se presenta en el Anexo E. Estableciéndose de esta forma una altitud mínima de 7000 pies para el arco PMS1 y 8000 pies para el arco PMS2, cumpliéndose así el criterio de separación vertical entre ambos arcos.

De gran importancia resulta también destacar el papel desempeñado por entidades y recursos como Aena, Eurocontrol o FlightRadar durante el desarrollo del proyecto. Estas han sido de gran utilidad para la obtención de datos relativos al tráfico del aeropuerto de Tenerife Norte y otros recursos e información de gran ayuda acerca del aeropuerto.

Por último, hay que resaltar la trascendencia de dos softwares que combinados han sido fundamentales para la realización del proyecto, como lo son Matlab y Google Earth. Estos nos han permitido obtener las representaciones visuales del procedimiento consumado y han sido de gran ayuda ubicar físicamente el PMS y conocer el entorno en el que se iba a desarrollar el mismo, prestando un servicio inestimable como dominio de visualización.

11. BIBLIOGRAFIA

Joan Vila Carbó. (2017). ATC arrival Sequencing. Apuntes Gestión del Espacio Aéreo II. Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

J.M. de Wilde. (agosto 2018). Implementing Point Merge System based arrival management at Amsterdam Airport Schiphol. Delft University of Technology.

EUROCONTROL. (2009-2010). Point Merge System in Extended Terminal Area (PMS-TE 2009-2010).

Ministerio de Fomento. (1999). Plan Director del aeropuerto de Tenerife – Norte.

Luis Utrilla Navarro, Juan Carlos Díaz Lorenzo. (Julio 2006). Historia del Aeropuerto de Tenerife Norte. Historia de los aeropuertos españoles. Aena Aeropuertos, S.A.

ENAIRE. Publicación de Información Aeronáutica (AIP). Recuperado de <https://ais.enaire.es/aip/>.

OACI. (2009). Manual de diseño de procedimientos de performance de navegación requerida con autorización obligatoria (RNO AR). Doc. 9905 AN/471.

Funcionamiento FlightRadar24. Recuperado <https://es.wikipedia.org/wiki/Flightradar24>.

EUROCONTROL. Network Operations Portal (NOP).

PLANOS

Plano 1. Carta Star TFN RWY 12.

Plano 2. Carta Star TFN RWY 30.

CARTA DE LLEGADA NORMALIZADA
 VUELO POR INSTRUMENTOS (STAR) RNAV1-OACI

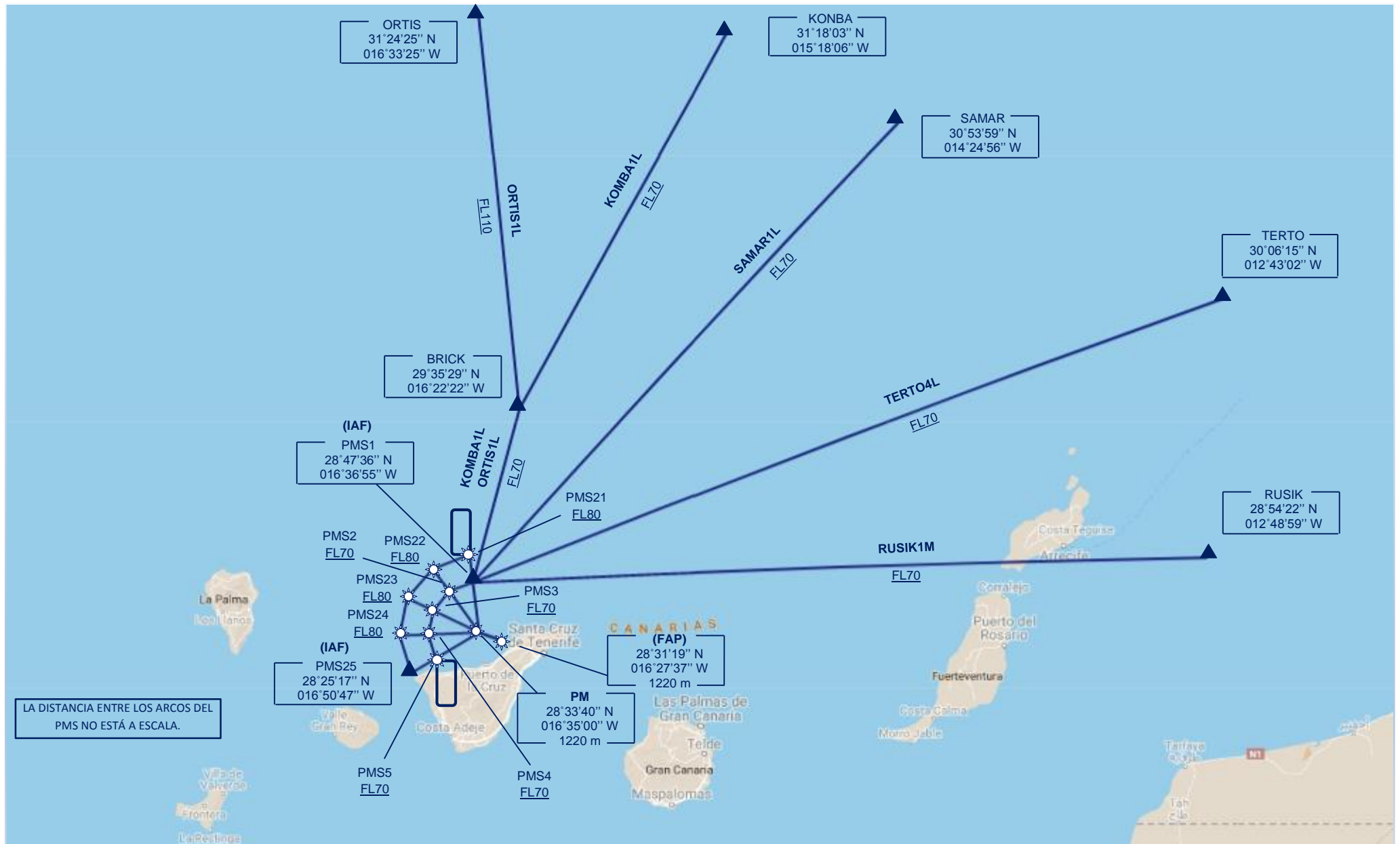
TA6000

APP 124.800
 TWR 118.700

TENERIFE NORTE

RWY 12

ORTIS1L SAMAR1L TERTO4L
 KOMBA1L RUSIK1M



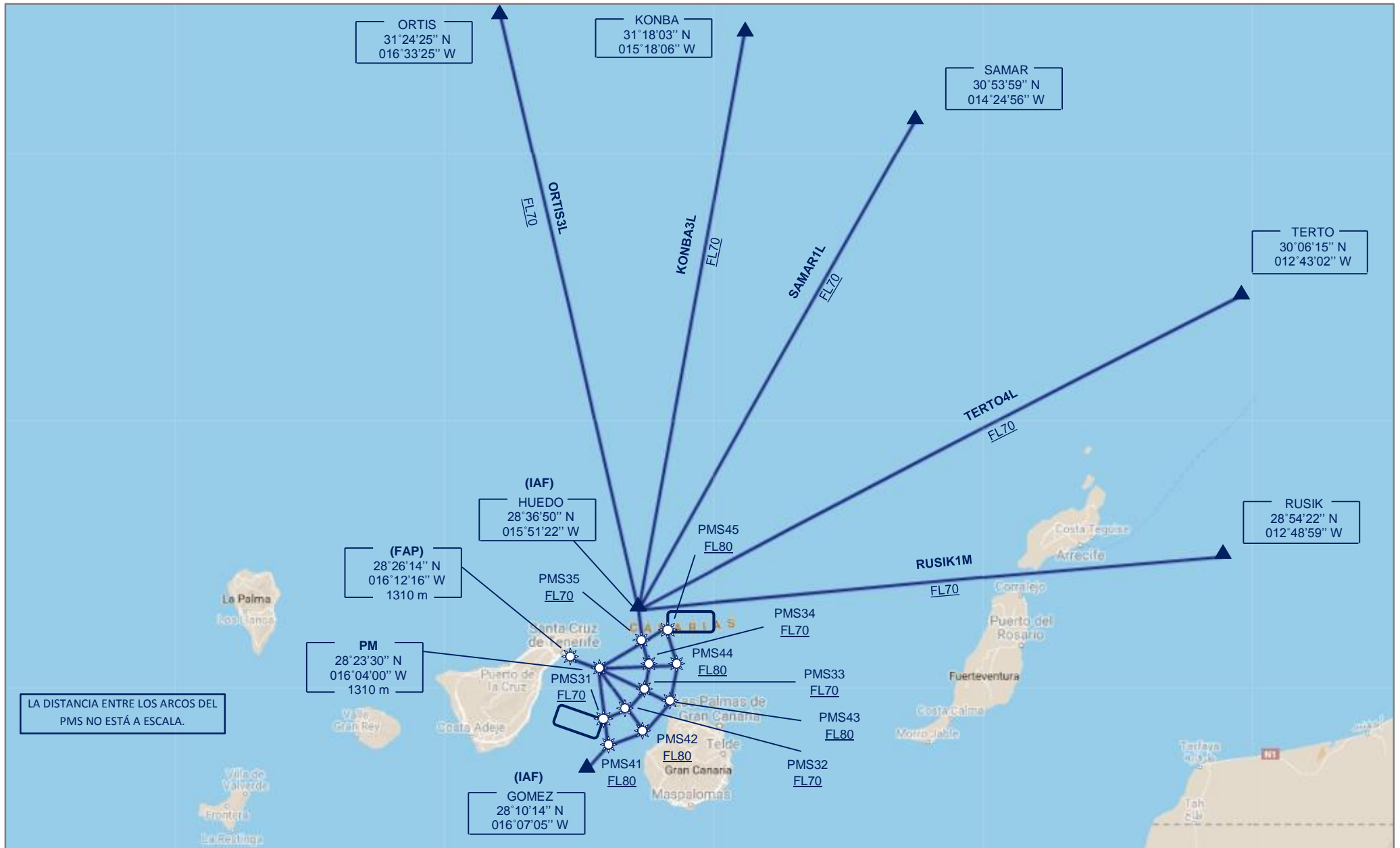
TA6000

APP 124.800
TWR 118.700

TENERIFE NORTE

RWY 30

ORTIS3L SAMAR1L TERTO4L
KOMBA3L RUSIK1M



ANEXOS

ANEXO A. TRAFICO PASAJEROS TFN 2018.

Aeropuertos	PASAJEROS	
	Total	% Inc. 2018 /s 2017
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	57.891.340	8,4%
BARCELONA-EL PRAT	50.172.457	6,1%
PALMA DE MALLORCA	29.081.787	4,0%
MALAGA-COSTA DEL SOL	19.021.704	2,1%
ALICANTE-ELCHE	13.981.320	2,0%
GRAN CANARIA	13.573.242	3,7%
TENERIFE-SUR	11.042.481	-1,8%
IBIZA	8.104.316	2,5%
VALENCIA	7.769.867	15,2%
LANZAROTE	7.327.019	-0,8%
SEVILLA	6.380.465	24,9%
FUERTEVENTURA	6.118.893	1,2%
TENERIFE-NORTE	5.493.994	16,7%
BILBAO	5.469.453	10,0%
MENORCA	3.442.752	0,2%
SANTIAGO	2.724.750	3,0%
GIRONA	2.019.876	3,8%
LA PALMA	1.420.277	9,0%
ASTURIAS	1.400.481	-0,5%
MURCIA-SAN JAVIER	1.273.424	6,4%
A CORUÑA	1.225.763	7,4%
JEREZ DE LA FRONTERA	1.133.621	8,3%
VIGO	1.129.689	6,0%
FGL GRANADA-JAEN	1.126.389	24,9%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.103.353	17,7%
REUS	1.037.576	1,8%
ALMERIA	992.043	-1,5%
ZARAGOZA	489.064	11,6%
MELILLA	348.121	7,3%
SAN SEBASTIAN	289.444	2,7%
VALLADOLID	253.271	11,4%
EL HIERRO	247.203	24,0%
PAMPLONA	205.503	24,1%
VITORIA	140.945	67,3%
LA GOMERA	61.944	27,2%
LEON	55.946	26,4%
CEUTA-HELIPUERTO	52.180	192,8%
BADAJOS	52.071	5,6%
ALGECIRAS-HELIPUERTO	31.129	194,5%
LOGROÑO	21.381	6,9%
SALAMANCA	14.649	-2,5%
BURGOS	10.341	73,7%
CORDOBA	8.255	2,4%
SABADELL	4.540	-0,1%
MADRID-CUATRO VIENTOS	3.347	0,2%
SON BONET	2.972	37,7%
HUESCA-PIRINEOS	1.473	473,2%
ALBACETE	1.295	-6,2%
TOTAL	263.753.406	5,8%

Fuente: Aena.

ANEXO B. OPERACIONES TFN 2018.

Aeropuertos	OPERACIONES	
	Total	% Inc 2018 /s 2017
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	409.832	5,7%
BARCELONA-EL PRAT	335.651	3,7%
PALMA DE MALLORCA	220.329	5,5%
MALAGA-COSTA DEL SOL	141.313	3,0%
GRAN CANARIA	131.030	10,5%
ALICANTE-ELCHE	96.734	1,5%
IBIZA	76.995	1,7%
VALENCIA	75.834	11,5%
TENERIFE-NORTE	73.222	19,8%
TENERIFE-SUR	69.910	0,1%
LANZAROTE	60.955	2,5%
SEVILLA	57.909	19,0%
FUERTEVENTURA	51.541	6,9%
JEREZ DE LA FRONTERA	51.195	5,3%
BILBAO	49.966	6,3%
MADRID-CUATRO VIENTOS	47.271	1,5%
SABADELL	44.055	6,8%
MENORCA	31.370	3,6%
LA PALMA	22.033	24,1%
SANTIAGO	21.839	1,5%
GIRONA	17.870	-7,2%
A CORUÑA	17.558	9,2%
REUS	16.855	5,2%
FGL GRANADA-JAEN	13.714	9,4%
VIGO	12.526	0,4%
ASTURIAS	12.444	-4,3%
SON BONET	11.954	-2,5%
ALMERIA	11.946	-2,2%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	11.258	2,4%
VITORIA	9.755	15,6%
SALAMANCA	9.584	-5,2%
HUESCA-PIRINEOS	9.477	22,2%
MURCIA-SAN JAVIER	9.179	6,5%
ZARAGOZA	8.991	12,9%
MELILLA	8.085	1,6%
CORDOBA	7.670	-1,1%
PAMPLONA	6.422	13,0%
SAN SEBASTIAN	6.415	-7,4%
CEUTA-HELIPUERTO	5.214	106,8%
EL HIERRO	5.114	22,1%
VALLADOLID	5.032	-1,3%
ALGECIRAS-HELIPUERTO	2.992	117,4%
LA GOMERA	2.652	43,0%
LEON	2.605	16,5%
BURGOS	2.111	-10,8%
LOGROÑO	1.376	-4,9%
ALBACETE	423	-1,6%
TOTAL	2.300.189	5,8%

Fuente: Aena.

ANEXO C. TRAFICO DE MERCANCIAS (KG) TFN 2018.

Aeropuertos	MERCANCÍA	
	Total	% Inc 2018 /s 2017
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	518.858.994	9,9%
BARCELONA-EL PRAT	172.939.998	10,8%
ZARAGOZA	166.833.763	17,3%
VITORIA	62.156.227	2,8%
GRAN CANARIA	19.166.163	5,8%
VALENCIA	14.499.793	10,5%
TENERIFE-NORTE	12.669.965	-4,3%
SEVILLA	12.561.953	17,2%
PALMA DE MALLORCA	10.018.045	-1,7%
ALICANTE-ELCHE	4.013.880	-25,2%
SANTIAGO	3.019.642	12,1%
MALAGA-COSTA DEL SOL	2.768.334	-3,4%
TENERIFE-SUR	2.482.906	-11,2%
IBIZA	1.616.512	-7,4%
LANZAROTE	1.606.594	-11,9%
MENORCA	1.221.808	-11,1%
BILBAO	1.216.385	-37,8%
VIGO	1.060.645	37,5%
FUERTEVENTURA	874.097	-7,7%
LA PALMA	565.091	-8,4%
A CORUÑA	163.907	4,3%
VALLADOLID	149.687	486,0%
GIRONA	132.962	5,9%
MELILLA	127.817	-5,3%
EL HIERRO	66.051	-0,1%
ASTURIAS	33.038	0,5%
PAMPLONA	29.302	301,8%
ALMERIA	9.059	343,9%
SAN SEBASTIAN	6.697	106,4%
LA GOMERA	1.804	-17,7%
BURGOS	1.600	---
FGL GRANADA-JAEN	336	-74,0%
JEREZ DE LA FRONTERA	288	-50,2%
MURCIA-SAN JAVIER	85	-50,0%
(*)	0	---
TOTAL	1.010.873.428	9,9%

Fuente: Aena.

(*) Los aeropuertos cuyo transporte de mercancías ha sido nulo a lo largo del año 2018 no se muestran en la tabla.

ANEXO D. TABLA DE DATOS. OPERACIONES ORI/DES TFN 2018.

AEROPUERTO ORI/DES	Operaciones Totales	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Total	73.222	5.550	5.041	5.929	6.088	6.361	6.161	6.603	6.607	6.240	6.328	6.097	6.217
GRAN CANARIA	19.689	1.614	1.466	1.752	1.734	1.730	1.689	1.614	1.520	1.574	1.722	1.671	1.603
LA PALMA	14.971	982	942	1.067	1.303	1.370	1.297	1.379	1.361	1.294	1.342	1.309	1.325
MADRID-BARAJAS	9.355	790	692	775	748	775	762	784	778	802	818	793	838
LANZAROTE	6.357	485	455	526	508	518	527	589	626	567	532	517	507
FUERTEVENTURA	4.842	371	338	382	381	380	374	495	504	470	396	378	373
EL HIERRO VALVERDE	3.712	314	274	316	322	326	303	312	311	318	328	275	313
BARCELONA-EL PRAT	3.337	253	233	264	241	309	285	298	296	288	299	283	288
LA GOMERA	1.504	109	90	115	122	138	122	136	140	132	151	119	130
SEVILLA	1.353	87	74	96	105	122	122	135	130	126	126	113	117
BILBAO	1.047	76	63	74	91	96	88	98	98	94	98	84	87
MALAGA	799	44	42	54	56	72	67	82	79	75	76	75	77
ALICANTE-ELCHE	548	18	26	40	54	56	40	55	89	38	37	40	55
SANTIAGO	511	37	34	37	44	44	29	57	105	27	25	32	40
CASABLANCA	381	26	24	30	35	28	30	34	36	34	32	36	36
ASTURIAS	307	17	8	26	31	28	27	30	60	18	2	36	24
VALENCIA	235	11	2	13	32	31	21	35	62	10	4	6	8
LISBOA	210	16	16	18	18	19	17	18	18	18	16	18	18
PALMA DE MALLORCA	143	--	--	1	--	18	19	16	18	18	18	17	18
BLAISE DIAGNE INTL	134	13	10	11	12	13	11	14	17	11	12	3	7
VIGO	127	--	--	1	10	18	10	18	18	16	2	18	16
FUNCHAL MADEIRA	110	--	1	--	1	2	8	22	26	22	10	8	10
TENERIFE SUR	106	2	9	10	11	4	15	7	8	7	9	9	15
EL BERRIEL (GRAN CANARIA)	94	2	3	8	5	6	6	4	14	8	5	15	18

Fuente: Aena.

ANEXO F. OPERACIONES TFN 29/05/2019.

Wednesday, May 29					
TIME	FLIGHT	FROM	AIRLINE	AIRCRAFT	STATUS
7:15	WT184	Madrid (MAD)	Bluebird Nordic	B733 (TF-BBG)	Landed 07:08
7:30	NT153	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-LOV)	Landed 07:35
7:30	UX9403	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 07:22
8:00	NT103	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 08:04
8:30	NT107	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MPI)	Landed 08:41
8:30	NT604	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 08:34
8:35	VY3247	Santiago (SCQ)	Vueling	A320 (EC-MJB)	Landed 08:19
8:55	UX9059	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-MKL)	Landed 08:38
9:00	NT105	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 09:03
9:00	NT606	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 09:07
9:05	FR5278	Madrid (MAD)	Ryanair	B738 (EI-FIE)	Landed 08:50
9:15	NT453	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 09:15
9:20	NT415	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 09:21
9:20	PM413	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT7	Canceled
9:25	UX9415	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 09:32
9:30	NT608	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 10:08
9:30	NT119	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-LOV)	Landed 09:46
9:40	NT656	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 09:35
9:40	VY3260	Bilbao (BIO)	Vueling	A320 (EC-MAH)	Landed 09:17
10:00	NT111	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 09:56
10:00	UX9462	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 10:02
10:30	NT109	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MYT)	Landed 10:30
10:30	NT612	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MTQ)	Landed 10:35
10:35	I23942	Madrid (MAD)	Iberia Express	A321 (EC-JEJ)	Landed 10:20
10:55	FR3063	Barcelona (BCN)	Ryanair	B738 (EI-DLW)	Landed 10:45
11:00	NT650	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 10:55
11:10	PM419	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT7	Canceled
11:30	NT610	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 10:50
11:30	UX9401	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 11:47
12:00	NT127	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 11:59
12:10	NT423	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 12:04
12:10	NT469	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 12:10
12:30	NT133	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 12:28
12:40	NT4771	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MTQ)	Landed 12:54
12:45	UX9464	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 12:45
13:10	UX7008	Bilbao (BIO)	Air Europa	B738 (EC-LQX)	Landed 12:48
13:20	I23946	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-MEG)	Landed 12:57
13:25	NT662	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MYT)	Landed 13:12
13:25	VY3114	Málaga (AGP)	Vueling	A320 (EC-MVD)	Landed 14:23
13:30	NT145	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 13:24
13:30	NT618	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 13:43
13:30	NT4731	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 13:35
13:35	UX9118	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-III)	Landed 13:27
13:40	VY3254	Sevilla (SVQ)	Vueling	A320 (EC-MVN)	Landed 14:05

13:45	PM335	Fuerteventura (FUE)	CanaryFly	AT7	Canceled
13:50	UX9417	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 13:52
14:25	D86361	Bilbao (BIO)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 14:14
14:30	NT147	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 13:25
14:30	NT622	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 15:04
14:30	VY3216	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 14:45
15:00	NT455	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 14:56
15:10	UX5404	Malanga (AGP)	Air Europa	B738 (EC-IDA)	Landed 15:13
15:25	PM653	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 15:24
15:30	NT135	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 15:30
15:40	I23940	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LVQ)	Landed 15:20
15:50	PM453	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 15:45
15:50	UX9466	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 15:52
16:00	NT664	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 15:55
16:00	UX9405	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 16:16
16:10	NT471	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 15:47
16:30	NT421	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 16:27
16:30	NT632	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 17:13
16:30	NT167	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MPI)	Landed 16:50
16:40	NT6351	Agadir (AGA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 16:49
16:55	UX9048	Madrid (MAD)	Air Europa	A332 (EC-JPF)	Landed 16:47
17:00	NT171	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 17:10
17:30	NT169	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 17:35
17:30	NT634	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 17:39
18:00	NT165	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRK	Landed 18:00
18:00	UX9419	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 18:20
18:10	UX9480	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 18:04
18:20	NT652	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 18:39
18:25	PM550	Lanzarote (ACE)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 18:30
18:30	NT636	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MPI)	Landed 18:59
18:30	NT173	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 18:37
18:35	NT674	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 19:07
18:40	IB3944	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-JFH)	Landed 18:50
18:40	PM667	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 18:42
19:30	NT179	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-MOX)	Landed 18:54
19:30	NT638	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 19:30
19:50	NT5151	Palma de Mallorca (PMI)	Binter Canarias	CRJX (9H-MPA)	Diverted TFS
20:00	NT183	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 20:00
20:00	UX9407	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 20:24
20:05	VY3208	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-KLB)	Landed 20:15
20:10	NT475	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 20:17
20:20	UX9057	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-LVR)	Landed 20:23
20:25	UX9468	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 20:19
20:30	NT191	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 20:27
20:30	NT640	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 20:38
20:45	PM468	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 20:48
21:20	NT429	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 21:17

21:20	NT485	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 21:49
21:25	UX5106	Sevilla (SVQ)	Air Europa	B738 (EC-IDA)	Landed 21:27
21:30	NT195	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 21:24
21:55	VY3203	Asturias (OVD)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 21:58
22:30	VY3218	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-MVD)	Landed 22:22
22:45	D86381	Madrid (MAD)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 22:25
22:45	I23938	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LVQ)	Landed 22:31

Fuente: FlightRadar24/Aena.

ANEXO G. OPERACIONES TFN 30/05/2019.

Thursday, May 30					
TIME	FLIGHT	FROM	AIRLINE	AIRCRAFT	STATUS
7:15	WT184	Madrid (MAD)	Bluebird Nordic	B733 (TF-BBG)	Landed 07:05
7:30	NT153	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-LOV)	Landed 07:27
7:30	UX9403	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 07:15
8:15	NT129	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MYT)	Landed 08:15
8:30	NT107	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 08:49
8:30	NT604	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 08:37
8:45	NT115	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 08:52
8:55	UX9059	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-LQX)	Landed 08:34
9:00	FR3063	Barcelona (BCN)	Ryanair	B738 (EI-FZM)	Landed 08:49
9:00	NT606	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 09:06
9:00	NT105	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 09:08
9:15	NT453	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 09:17
9:20	NT415	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 09:20
9:20	PM413	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 09:23
9:25	UX9415	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 09:33
9:30	NT119	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRK	Landed 09:37
9:30	NT608	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 09:30
9:35	NT656	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 09:35
9:40	VY3260	Bilbao (BIO)	Vueling	A320 (EC-MNZ)	Landed 09:13
10:00	UX9462	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 10:15
10:15	NT1031	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 10:22
10:30	NT109	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 11:02
10:30	NT612	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 10:31
10:35	I23942	Madrid (MAD)	Iberia Express	A321 (EC-JLI)	Landed 10:26
11:00	NT650	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT76 (EC-MTQ)	Landed 11:13
11:15	PM419	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 11:26
11:30	NT131	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 11:34
11:30	NT610	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 10:35
11:30	UX9401	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 11:46
12:00	NT662	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT7	Landed 11:55
12:10	NT469	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 12:14
12:30	NT618	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 12:52
12:40	NT423	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 12:29
12:40	NT5253	Vigo (VGO)	Binter Canarias	CRJX (9H-MPA)	Landed 14:11
12:45	UX9464	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 12:45
13:20	I23946	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LUC)	Landed 13:10
13:30	NT145	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 13:34
13:30	NT4271	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 13:19
13:30	PM629	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 13:28
13:35	UX9118	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-IDA)	Landed 13:34
13:40	VY3254	Sevilla (SVQ)	Vueling	A320 (EC-MVN)	Landed 13:37
13:45	PM335	Fuerteventura (FUE)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 13:45
13:50	NT6721	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 13:39
13:50	UX9417	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 13:58
14:10	VY3102	Alicante (ALC)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 13:53
14:30	NT622	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 14:28

14:30	VY3216	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-MVD)	Landed 14:38
14:40	D86383	Alicante (ALC)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 14:23
14:50	VY3276	Málaga (AGP)	Vueling	A320 (EC-MJC)	Landed 14:30
15:00	NT455	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 15:05
15:30	NT135	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 15:30
15:30	NT471	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 15:24
15:35	I23940	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-JFH)	Landed 15:20
15:50	PM453	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 15:48
15:50	UX9466	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 15:57
16:00	NT664	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 15:53
16:00	UX9405	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 16:06
16:30	NT421	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 16:43
16:30	NT632	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 16:36
16:30	NT167	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MIF)	Landed 16:40
16:35	NT5251	Vigo (VGO)	Binter Canarias	CRJX (9H-LOV)	Landed 16:34
16:55	UX9048	Madrid (MAD)	Air Europa	A332 (EC-JQQ)	Landed 16:49
17:00	NT177	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 16:58
17:30	NT634	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 17:38
17:35	NT425	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 17:33
18:00	UX9419	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 17:59
18:10	AT986	Casablanca (CMN)	Royal Air Maroc Express	AT76 (CN-COG)	Landed 18:09
18:10	UX9480	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 18:12
18:20	NT652	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT75 (EC-KGJ)	Landed 18:35
18:25	PM550	Lanzarote (ACE)	CanaryFly	AT75 (EC-KGI)	Landed 18:16
18:30	NT173	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 18:25
18:30	NT636	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 18:48
18:35	NT674	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 18:31
18:40	NT6811	Lisboa (LIS)	Binter Canarias	CRJX (9H-MPA)	Landed 19:53
18:40	IB3944	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LYE)	Landed 18:21
18:40	PM667	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 18:39
19:25	FR5278	Madrid (MAD)	Ryanair	B738 (EI-FIE)	Landed 19:26
19:30	NT179	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 19:30
19:30	NT638	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 19:35
20:00	UX9407	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MUJ)	Landed 20:11
20:05	VY3208	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-MUM)	Landed 19:48
20:10	NT475	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 20:16
20:20	UX9057	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-LUT)	Landed 20:34
20:25	UX9468	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 20:20
20:30	NT191	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 20:24
20:30	NT640	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 20:27
20:45	PM468	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 20:42
21:20	NT429	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSJ)	Landed 21:07
21:20	NT485	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 21:19
21:30	NT195	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 21:30
22:00	VY3117	Granada (GRX)	Vueling	A320 (EC-MVD)	Landed 21:25
22:10	NT457	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 22:30
22:25	D86381	Madrid (MAD)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 22:05
22:30	VY3218	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 22:16
22:45	I23938	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-JFH)	Landed 22:23

ANEXO H. OPERACIONES TFN 31/05/2019.

Friday, May 31					
TIME	FLIGHT	FROM	AIRLINE	AIRCRAFT	STATUS
7:15	WT184	Madrid (MAD)	Bluebird Nordic	B733 (TF-BBG)	Landed 07:04
7:30	NT101	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-LOV)	Landed 07:36
7:30	UX9403	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 07:22
8:15	VY3256	Sevilla (SVQ)	Vueling	A20N (EC-NCU)	Landed 08:03
8:30	NT604	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 08:30
8:55	UX9059	Madrid (MAD)	Air Europa	A332 (EC-KOM)	Landed 08:42
9:00	NT105	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 09:01
9:05	FR5278	Madrid (MAD)	Ryanair	B738 (EI-GJS)	Landed 09:04
9:15	D86306	Madrid (MAD)	Norwegian (Roald Dahl Livery)	B738 (EI-FJW)	Landed 08:57
9:15	NT453	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 09:13
9:20	NT415	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 09:16
9:20	PM413	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 09:18
9:25	UX9415	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 09:31
9:30	NT608	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 09:34
9:35	NT656	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 09:40
9:45	VY3260	Bilbao (BIO)	Vueling	A320 (EC-MNZ)	Landed 09:32
10:00	UX9462	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MZJ)	Landed 10:07
10:30	NT109	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-MOX)	Landed 10:28
10:30	NT612	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 10:35
10:35	I23942	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LEA)	Landed 10:36
10:55	FR3063	Barcelona (BCN)	Ryanair	B738 (EI-FZN)	Landed 10:41
11:00	NT650	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT75 (EC-KGJ)	Landed 10:56
11:10	PM419	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 11:07
11:30	NT614	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 11:27
11:30	UX9401	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 11:36
12:00	NT127	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 12:03
12:10	NT423	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT75 (EC-KSG)	Landed 12:09
12:20	NT469	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 12:28
12:30	NT662	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT7	Landed 12:21
12:45	UX9464	La Palma (SPC)	Air Europa Express	AT75 (EC-MZJ)	Landed 12:42
13:25	I23946	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-JFH)	Landed 13:18
13:30	NT145	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 13:28
13:30	NT620	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 13:26
13:35	UX9118	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-MUZ)	Landed 13:53
13:40	NT471	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 13:38
13:40	VY3254	Sevilla (SVQ)	Vueling	A320 (EC-KDG)	Landed 13:24
13:45	PM335	Fuerteventura (FUE)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 13:48
13:50	UX9417	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 13:42
14:15	VY3114	Málaga (AGP)	Vueling	A320 (EC-MVD)	Landed 13:58
14:30	NT147	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT75 (EC-KGJ)	Landed 14:35
14:30	NT622	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 14:31
14:30	VY3216	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 14:29
14:40	NT417	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 14:40
15:00	D86375	Barcelona (BCN)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 16:22
15:00	NT455	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 14:50

15:10	UX5404	Málaga (AGP)	Air Europa	B738 (EC-IDT)	Landed 14:52
15:25	PM653	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 15:40
15:30	NT135	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-MOX)	Landed 15:23
15:30	NT630	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 15:27
15:40	I23940	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-MEH)	Landed 15:19
15:50	PM453	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 15:45
15:50	UX9466	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 15:57
16:00	NT664	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MIF)	Landed 16:05
16:00	UX9405	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 16:08
16:30	NT167	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	CRJX (9H-MOX)	Landed 16:39
16:30	NT632	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 16:35
16:55	UX9048	Madrid (MAD)	Air Europa	B789 (EC-NBM)	Landed 16:43
17:25	NT421	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT75 (EC-KGJ)	Landed 16:34
17:30	NT169	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 17:30
17:30	NT634	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 17:38
17:40	NT457	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MOL)	Landed 17:44
17:50	PM248	El Hierro (VDE)	CanaryFly	AT7	Landed 17:50
18:00	UX9419	Gran Canaria (LPA)	Air Europa	AT7	Landed 18:05
18:20	NT674	El Hierro (VDE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MNN)	Landed 18:16
18:20	NT652	La Gomera (GMZ)	Binter Canarias	AT75 (EC-LGF)	Landed 18:12
18:25	PM550	Lanzarote (ACE)	CanaryFly	AT75 (EC-JEV)	Landed 18:21
18:30	NT636	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 18:36
18:30	NT173	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MMM)	Landed 18:43
18:40	I23944	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LUC)	Landed 18:20
18:40	PM667	Gran Canaria (LPA)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 18:36
18:50	UX9480	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 18:56
19:30	NT638	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MIF)	Landed 19:26
19:40	NT419	Fuerteventura (FUE)	Binter Canarias	AT76 (EC-MJG)	Landed 19:43
20:00	I23956	Madrid (MAD)	Iberia Express	A320 (EC-LYE)	Landed 19:41
20:00	NT626	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT7	Landed 20:07
20:00	UX9407	Gran Canaria (LPA)	Air Europa Express	AT75 (EC-MHJ)	Landed 20:11
20:05	VY3208	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-MAH)	Landed 19:47
20:20	UX9057	Madrid (MAD)	Air Europa	B738 (EC-III)	Landed 20:20
20:30	NT191	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT7	Landed 20:30
20:30	NT640	La Palma (SPC)	Binter Canarias	AT76 (EC-MIF)	Landed 20:32
20:30	PM375	Fuerteventura (FUE)	CanaryFly	AT7	Landed 20:36
20:45	PM468	La Palma (SPC)	CanaryFly	AT75 (EC-IZO)	Landed 20:42
21:00	UX9468	La Palma (SPC)	Air Europa	AT7	Landed 20:59
21:20	NT485	Lanzarote (ACE)	Binter Canarias	AT7	Landed 21:17
21:25	UX5106	Sevilla (SVQ)	Air Europa	B738 (EC-IDT)	Landed 20:57
21:30	NT195	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MTQ)	Landed 22:10
21:55	VY3100	Valencia (VLC)	Vueling	A320 (EC-LQZ)	Landed 21:44
22:30	NT193	Gran Canaria (LPA)	Binter Canarias	AT76 (EC-MSK)	Landed 22:35
22:30	VY3218	Barcelona (BCN)	Vueling	A320 (EC-MJC)	Landed 22:12
22:40	D86361	Bilbao (BIO)	Danish Air Transport	A321 (OY-RUU)	Landed 23:49
22:45	I23938	Madrid (MAD)	Iberia Express	A321 (EC-JLI)	Landed 22:41

Fuente: FlightRadar24/Aena.