

ESEIAAT

Trabajo de final de grado



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

---

## Estudio de adición de una nueva ruta a una compañía de transporte aéreo de pasajeros ya existente

---

Memoria

**Grado:** Ingeniería en vehículos aeroespaciales

**Fecha de entrega:** 10 de mayo de 2019

**Estudiante:** Granados de la Torre, Adrián

**Director:** Pérez Llera, Luis Manuel



## Resumen

Este proyecto tiene como finalidad la creación de una ruta comercial entre 2 ciudades las cuáles no se hallen conectadas actualmente. Hace años que la aviación se ha convertido en un medio de transporte indispensable, capaz de unir poblaciones en cuestión de horas que, de antaño, sería toda una odisea haberse realizado dicha conexión. El objetivo es ser capaz de diseñar una nueva línea aérea con rentabilidad a corto plazo y que sea capaz de competir las demás líneas aéreas que unan poblaciones cercanas a las propuestas o que, a través de la realización de una escala en un punto intermedio, acabe conectando las ciudades para las que se elabora este informe.

La metodología para llevar a cabo esta actividad se basa en primer lugar en el conocimiento de la normativa respecto a operaciones aéreas. Una vez tenida en cuenta esta última, debe realizarse tanto la elección del aeroplano escogido para dicha operación y de la ruta que desea operarse, todo ello a partir de un elaborado y minucioso estudio. A partir de aquí, puede determinarse físicamente la ruta a realizar para, finalmente, concluir realizando un análisis de costes, de la planificación horaria que se debe llevar, de las tarifas que se piensan aplicar y acerca de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos se han analizado al finalizar el desarrollo del informe: en líneas generales, los mismos han sido bastante satisfactorios. Tal vez, el único pero que puede ponerse es el referente a las tarifas: la idea original era implantar una línea aérea *low cost*, pero tras el análisis de datos esto se antojaba imposible. A pesar de este detalle, y reparando en el *cash flow* a lo largo de los primeros 10 años, siempre y cuando se obtenga un factor de ocupación mayor al 70 %, el modelo de aerolínea si que puede ser reconducido al de una *low cost*, pues el amplio margen de beneficios obtenidos así lo permite.

Finalmente, destacar que en los últimos puntos se incluyen una serie de conclusiones y mejoras a realizar del trabajo. Estas mejoras podrían haberse aplicado de haberse dispuesto del tiempo necesario para realizar las modificaciones oportunas y ayudarían en gran manera a la fiabilidad, versatilidad y originalidad del trabajo.



## Agradecimientos

Me gustaría agradecer a toda mi familia el apoyo incondicional prestado durante estos largos 8 meses, en especial a mis padres, que nunca han dejado de darme alas ni ánimos para poder finalizar este proyecto. También agradecer a Luis Manuel la ayuda que me ha prestado, así como la comprensión a la hora de aceptar mi propuesta para prorrogar mi trabajo.



# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>1.1 Objeto</b> .....	2
<b>1.2 Alcance</b> .....	2
<b>1.3 Especificaciones</b> .....	3
<b>1.4 Utilidad</b> .....	3
<b>2. Desarrollo</b> .....	4
<b>2.1 Normativa a aplicar</b> .....	4
<b>2.1.1 Normativa EASA referente a operaciones aéreas</b> .....	5
<b>2.1.1.1 Anexo I : definiciones</b> .....	5
<b>2.1.1.2 Anexo IV : parte-CAT</b> .....	5
<b>2.1.2 Normativa general de la OACI</b> .....	6
<b>2.1.3 PANS-OPS</b> .....	7
<b>2.1.3.1 Volumen I: Procedimientos de vuelo</b> .....	7
<b>2.1.3.2 Volumen II: construcción de procedimientos de vuelo visuales e instrumentales</b> .....	7
<b>2.1.3.2.1 Parte I: general</b> .....	8
<b>2.1.3.2.2 Parte II: procedimientos convencionales</b> .....	8
<b>2.1.3.2.3 Parte III: procedimientos RNAV y basados en satélite</b> .....	9
<b>2.1.3.3 Conceptos distintos en las TERPS respecto los PANS-OPS</b> .....	9
<b>2.1.4 Normativa ETOPS</b> .....	10
<b>2.1.5 Explicación del concepto PBN (Performance-Based Navigation)</b> .....	17
<b>2.1.6 Normativa referente a operaciones aéreas sobre el Océano Atlántico</b> .....	18
<b>2.1.6.1 Explicación teórica sobre vuelos en el Atlántico norte</b> .....	18
<b>2.1.6.2 Explicación teórica sobre vuelos en el Atlántico sur</b> .....	22
<b>2.2 Elección de la aeronave</b> .....	24
<b>2.2.1 Comparación de distintas aeronaves ETOPS</b> .....	24
<b>2.2.2 Estudio de las flotas de las principales aerolíneas</b> .....	26
<b>2.2.3 Estimación de costes operativos</b> .....	28
<b>2.2.4 Selección final</b> .....	29
<b>2.3 Selección de la ruta</b> .....	38
<b>2.3.1 Estudio de los aeropuertos europeos y americanos</b> .....	38
<b>2.3.1.1 Aeropuertos europeos</b> .....	39
<b>2.3.1.2 Aeropuertos en Canadá y EEUU</b> .....	42
<b>2.3.1.3 Aeropuertos en América central y el Caribe</b> .....	43

2.3.1.4 Aeropuertos en América del sur .....	44
2.3.2 Elección del aeropuerto de salida y de llegada .....	46
2.3.2.1 Aeropuerto de Roma-Fiumicino (LIRF) .....	51
2.3.3.2 Aeropuerto de Bogotá-el Dorado (SKBO).....	52
2.3.3 Elección de aeropuertos alternativos e intermedios .....	54
2.3.3.1 Alternativos a LIRF.....	55
2.3.3.2 Alternativos a SKBO.....	57
2.3.3.3 Aeropuertos intermedios.....	58
2.4 Organización del espacio aéreo, navegación y radioayudas.....	59
2.4.1 Espacio aéreo y navegación según la OACI.....	59
2.4.2 Espacio aéreo y navegación en países que atraviesa la ruta .....	62
2.4.2.1 Espacio aéreo y navegación en Colombia.....	63
2.4.2.2 Espacio aéreo y navegación en Europa. ....	64
2.4.2.3 Espacio aéreo y navegación en lugares intermedios de la ruta.....	66
2.4.3 Simbología utilizada .....	68
2.5 Determinación de la ruta .....	69
2.5.1 Vuelo de ida .....	72
2.5.1.1 Procedimiento de salida instrumental .....	72
2.5.1.1.1 SID para despegue por 16L: SOSAK 6C.....	73
2.5.1.1.2 SID para despegue por 34R: SOSAK 7X.....	74
2.5.1.1.3 SID para despegue por 16R: SOSAK 6B .....	75
2.5.1.1.4 SID para despegue por 34L: SOSAK 5Y.....	76
2.5.1.1.5 Continuación de las SID: ESINO 5H .....	77
2.5.1.2 Fase de ascenso .....	78
2.5.1.3 Fase de crucero.....	80
2.5.1.4 Fase de descenso .....	92
2.5.1.5 Procedimiento de llegada instrumental .....	94
2.5.1.5.1 STAR para aterrizaje por 13L/13R: SIRUG 2E. ....	96
2.5.1.5.2 STAR para aterrizaje por 31L/31R: SIRUG 2W .....	97
2.5.1.5.3 STAR para aterrizaje por 31L/31R: SIRUG 1S.....	98
2.5.1.6 Distancias, velocidades, niveles de vuelo y tiempo .....	99
2.5.1.6.1 Distancia recorrida .....	99
2.5.1.6.2 Velocidades empleadas.....	104
2.5.1.6.3 Niveles de vuelo .....	106
2.5.1.6.4 Tiempo estimado.....	110
2.5.2 Vuelo de vuelta.....	112

2.5.2.1 Procedimiento de salida instrumental .....	112
2.5.2.1.1 SID para despegue siguiendo el procedimiento DANSA 1R .....	112
2.5.2.1.2 SID para despegue siguiendo el procedimiento OSUSU 1R .....	116
2.5.2.2 Fase de ascenso .....	118
2.5.2.3 Fase de crucero .....	120
2.5.2.4 Fase de descenso .....	129
2.5.2.5 Procedimiento de llegada instrumental .....	130
2.5.2.5.1 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2A .....	130
2.5.2.5.2 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2B .....	131
2.5.2.5.3 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2C .....	132
2.5.2.5.4 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2D .....	133
2.5.2.5.4 Aproximación final para cada una de las pistas .....	135
2.5.2.6 Tiempos, distancias, velocidades y niveles de vuelo .....	139
2.5.2.6.1 Distancia recorrida .....	139
2.5.2.6.2 Velocidades empleadas .....	141
2.5.2.6.3 Niveles de vuelo .....	142
2.5.2.6.4 Tiempo estimado .....	145
2.6 Planificación de vuelos y aeronaves .....	148
2.6.1 Horario semanal LIRF-SKBO .....	148
2.6.2 Horario semanal SKBO-LIRF .....	149
2.7 Cálculo de costes operativos .....	151
2.7.1 Costes directos .....	152
2.7.1.1 Leasing .....	152
2.7.1.2 Combustible .....	155
2.7.1.3 Mantenimiento .....	159
2.7.1.4 Tripulación .....	159
2.7.1.5 Costes aeronáuticos .....	162
2.7.1.5.1 Costes aeronáuticos en LIRF .....	163
2.7.1.5.2 Costes aeronáuticos en SKBO .....	165
2.7.1.5.3 Costes aeronáuticos totales anuales .....	167
2.7.1.6 Servicios a los pasajeros .....	168
2.7.1.7 Handling de la aeronave .....	168
2.7.1.8 Seguros, depreciación y amortización .....	168
2.7.1.9 Costes directos totales .....	169
2.7.2 Costes indirectos .....	169
2.7.2.1 Generales y administrativos .....	169

2.7.2.2 Marketing y ventas.....	169
2.7.2.3 Financieros.....	170
2.7.2.4 Costes indirectos totales .....	170
2.7.3 Costes totales .....	170
2.8 Determinación de tarifas.....	171
<b>3. Resultados.....</b>	<b>172</b>
<b>3.1 Estudio de viabilidad económica .....</b>	<b>172</b>
<b>3.2 Implicaciones ambientales .....</b>	<b>177</b>
3.2.1 Emisiones .....	177
3.2.2 Nivel de ruido .....	178
<b>3.3 Continuación del proyecto y mejoras .....</b>	<b>178</b>
3.3.1 Recomendaciones.....	178
3.3.2 Planificación y programación .....	179
3.3.3 Posibles mejoras.....	180
<b>3.4 Conclusiones .....</b>	<b>181</b>
<b>3.5 Bibliografía .....</b>	<b>182</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. Aprobaciones ETOPS y áreas de aplicabilidad para aviones bimotores.....	16
Tabla 2. Niveles de vuelo en la estructura OTS. ....	21
Tabla 3. Rutas predefinidas del corredor Europa-América del sur.....	23
Tabla 4. Pedidos y entregas efectuados según modelo. [27][28].....	27
Tabla 5. Costes por hora de los diferentes modelos. ....	29
Tabla 6. Peso dado a cada factor. [47].....	30
Tabla 7. Resultados del método OWA. ....	30
Tabla 8. Resultados del método OWA específico.....	31
Tabla 9. Especificaciones del Boeing 787-9. ....	33
Tabla 10. Posibles configuraciones de 3 clases en el Boeing 787-9. ....	34
Tabla 11. Posibles configuraciones de 2 clases en el Boeing 787-9. ....	34
Tabla 12. Precio medio de un billete de tercera clase. ....	35
Tabla 13. Precio medio de un billete de segunda clase. ....	35
Tabla 14. Precio medio de un billete de primera clase. ....	35
Tabla 15. Comparación de beneficios según configuración de clases. ....	35
Tabla 16. Elección de la mejor configuración de asientos. ....	36
Tabla 17. Especificaciones del modelo del Boeing 787-9 escogido. ....	37
Tabla 18. Pasajeros promedio diarios y horarios en función del grupo de aeropuertos.....	39
Tabla 19. Capacidad de todas las aeronaves comerciales en activo. ....	40
Tabla 20. Aeropuertos europeos seleccionados para analizar. ....	42
Tabla 21. Aeropuertos de México según número de pasajeros. ....	43
Tabla 22. Aeropuertos de América central y Caribe según tráfico de pasajeros. ....	44
Tabla 23. Aeropuertos según tráfico de pasajeros de América del sur. ....	44
Tabla 24. Oferta máxima de vuelos entre los aeropuertos preseleccionados. ....	46
Tabla 25. Oferta mínima de vuelos entre aeropuertos preseleccionados. ....	47
Tabla 26. Porcentajes de crecimiento, vuelos estimados y distancia de las rutas propuestas. .....	48
Tabla 27. Rutas internacionales a Europa más transitadas desde SKBO.....	53
Tabla 28. Aeropuertos alternativos para LIRF. ....	57
Tabla 29. Aeropuertos alternativos para LIRF. ....	57
Tabla 30. Aeropuertos intermedios de la ruta. ....	58
Tabla 31. Gradiente de ascenso mínimo para SOSAK 7X. ....	75
Tabla 32. Descripción de la fase de ascenso del vuelo LIRF – SKBO. ....	78
Tabla 33. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO. (I).....	80
Tabla 34. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO. (II).....	82
Tabla 35. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (III).....	84
Tabla 36. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (IV).....	86
Tabla 37. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (V).....	88
Tabla 38. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VI).....	90
Tabla 39. Descripción de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO.....	92
Tabla 40. Descripción del procedimiento SIRUG 2E. ....	96
Tabla 41. Descripción del procedimiento SIRUG 2W. ....	97
Tabla 42. Descripción del procedimiento SIRUG 1S. ....	98
Tabla 43. Distancias estimadas recorridas en los diferentes procedimientos SID escogidos.....	100
Tabla 44. Distancias empleadas en futuros cálculos.....	101
Tabla 45. Distancia recorrida en los procedimientos STAR para el vuelo de ida. ....	103

Tabla 46. Velocidades según el procedimiento SID escogido para el vuelo de ida.....	104
Tabla 47. Especificaciones acerca de la performance del Boeing 787-9 en fase de ascenso y de descenso. ....	104
Tabla 48. Velocidades utilizadas durante la fase de ascenso del vuelo LIRF - SKBO.....	104
Tabla 49. Velocidades utilizadas durante la fase de descenso del vuelo LIRF - SKBO. ....	105
Tabla 50. Velocidades utilizadas durante los procedimientos STAR del vuelo LIRF - SKBO. .	105
Tabla 51. Niveles de vuelo para el vuelo LIRF-SKBO durante el SID. ....	107
Tabla 52. Gradientes de descenso a utilizar en las STAR del vuelo de ida. ....	109
Tabla 53. Gradientes de descenso en los distintos procedimientos STAR para el vuelo de ida. ....	110
Tabla 54. Tiempo empleado para cada fase del vuelo LIRF-SKBO. ....	110
Tabla 55. Duración del vuelo en función de la SID y STAR escogida. ....	111
Tabla 56. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 13L. ....	114
Tabla 57. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 13R. ....	114
Tabla 58. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 31L. ....	114
Tabla 59. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 31R. ....	115
Tabla 60. Gradiente de descenso mínimo para el procedimiento DANSA 1R. ....	115
Tabla 61. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 13L. ....	116
Tabla 62. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 13R. ....	117
Tabla 63. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 31L. ....	117
Tabla 64. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 31R. ....	117
Tabla 65. Gradiente de descenso mínimo para el procedimiento OSUSU 1R. ....	117
Tabla 66. Descripción de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF. ....	118
Tabla 67. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (I). ....	120
Tabla 68. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (II). ....	122
Tabla 69. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (III). ....	123
Tabla 70. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IV). ....	126
Tabla 71. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (V). ....	127
Tabla 72. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VI). ....	128
Tabla 73. Descripción del procedimiento VALMA 2A para aterrizaje por las pistas 16L/16R. ....	131
Tabla 74. Descripción del procedimiento VALMA 2B para aterrizaje por las pistas 16L/16R. ....	132
Tabla 75. Descripción del procedimiento VALMA 2C para aterrizajes por las pistas 34L y 34 R. ....	133
Tabla 76. Descripción del procedimiento VALMA 2D para aterrizajes por las pistas 34L y 34R. ....	134
Tabla 77. Distancias estimadas recorridas en los diferentes procedimientos SID escogidos. ....	139
Tabla 84. Distancia recorrida en los procedimientos STAR para el vuelo de vuelta. ....	140
Tabla 79. Velocidades máximas según el procedimiento SID escogido para el vuelo de vuelta. ....	141
Tabla 80. Tiempo empleado para cada fase del vuelo SKBO-LIRF. ....	145
Tabla 81. Duración del vuelo en función de la STAR escogida despegando mediante DANSA 1R. ....	146
Tabla 82. Duración del vuelo en función de la STAR escogida despegando mediante OSUSU 1R. ....	147
Tabla 83. Planificación semanal de vuelos para LIRF-SKBO. ....	148
Tabla 84. Planificación semanal de vuelos para SKBO-LIRF. ....	149

Tabla 85. Disposición de la aeronave para 2020. ....	150
Tabla 86. Disposición de la aeronave 1 para 2021. ....	150
Tabla 87. Disposición de la aeronave 2 para 2021. ....	150
Tabla 88. Costes de combustible para 1 avión. ....	158
Tabla 89. Propuesta de rotación de la tripulación para 2020. ....	160
Tabla 90. Propuesta de rotación de la tripulación para 2021. ....	161
Tabla 91. Costes mensuales en tripulación. ....	162
Tabla 92. Tasas aeroportuarias anuales a pagar en LIRF. ....	167
Tabla 93. Tasas aeroportuarias anuales a pagar en SKBO. ....	167
Tabla 94. Costes en handling anuales por operación. ....	168
Tabla 95. Costes directos totales. ....	169
Tabla 96. Costes indirectos totales. ....	170
Tabla 97. Costes totales anuales para la línea aérea (aproximados a millones de dólares). ....	170
Tabla 98. Tarifas según meses. ....	171
Tabla 99. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (1). ....	172
Tabla 100. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (2). ....	172
Tabla 101. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (3). ....	172
Tabla 102. Ingresos anuales (€) en función del factor de ocupación. ....	173
Tabla 103. Ingresos anuales (\$) en función del factor de ocupación. ....	173
Tabla 104. Balance de los 2 primeros años. ....	173
Tabla 105. Balance de los 2 primeros años sin butacas premium. ....	174
Tabla 106. Cash flow anual (I). ....	175
Tabla 107. Cash flow anual (II). ....	175
Tabla 108. Cash flow anual (III). ....	175
Tabla 109. Cash flow anual (IV). ....	175
Tabla 110. Cash flow anual (V). ....	175
Tabla 111. Cash flow anual (VI). ....	175
Tabla 112. Cash flow anual (VII). ....	176
Tabla 113. Cash flow anual (VIII). ....	176
Tabla 114. Cash flow anual (IX). ....	176
Tabla 115. Cash flow anual (X). ....	176
Tabla 116. Emisiones por vuelo (en kg). ....	178
Tabla 117. Emisiones anuales (en toneladas). ....	178
Tabla 118. Nivel de ruido para el Boeing 787-9 escogido. ....	178

## Lista de figuras

Figura 1. Representación gráfica de EDTO genérico para aviones bimotores. ....	10
Figura 2. Normativa ETOPS 60. ....	12
Figura 3. Normativa ETOPS 120. ....	12
Figura 4. Normativa ETOPS 180. ....	12
Figura 5. Esquema gráfico de EEP, EXP y ETP .....	14
Figura 6. Organización del espacio aéreo sobre el océano Atlántico. ....	18
Figura 7. Decodificación de un mensaje NAT. ....	19
Figura 26. Situación de LIRF en Europa. ....	51
Figura 27. Situación de LIRF en Italia. ....	51
Figura 28. Situación de SKBO en Colombia. ....	52
Figura 11. Rango del Boeing 787-9 en función de su MTOW. ....	55
Figura 12. Longitud de la pista de despegue necesaria para despegar un Boeing 787-9 en función de su alcance. ....	56
Figura 13. Longitud de la pista de aterrizaje en función del MLW y la altura. ....	56
Figura 14. Clases de espacio aéreo, servicios suministrados y requisitos de vuelo. ....	59
Figura 15. Excepciones para el FL de transición entre espacio aéreo inferior y superior. ....	60
Figura 16. Cartas de navegación a elevada altitud en Europa. ....	64
Figura 17. Cartas de navegación a baja altitud en Europa. ....	65
Figura 18. Esquema de orientación en función del nivel de vuelo. ....	66
Figura 19. Miniatura de la carta de navegación del Atlántico norte. ....	66
Figura 20. Cartas de navegación a alta altitud en América central y el Caribe. ....	67
Figura 21. Cartas de navegación a baja altitud en América central y el Caribe. ....	67
Figura 22. Miniatura de la carta de navegación en el Caribe y América central. ....	68
Figura 23. Vuelo bajo ETOPS 60 minutos. ....	69
Figura 24. Vuelo bajo ETOPS 75 minutos. ....	69
Figura 25. Vuelo bajo ETOPS 90 minutos. ....	70
Figura 26. Vuelo bajo ETOPS 120 minutos. ....	70
Figura 27. Vuelo bajo ETOPS 138 minutos. ....	70
Figura 28. NATS publicados para el 27 de febrero de 2019. ....	71
Figura 29. SID para despegue por pista 16L. ....	73
Figura 30. SID para despegue por pista 34R. ....	74
Figura 31. SID para despegue por pista 16R. ....	75
Figura 32. SID para despegue por pista 34L. ....	76
Figura 33. Continuación de las SID usadas desde LIRF. ....	77
Figura 34. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (I). (L-12). ....	79
Figura 35. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (II). (ERC 08) ....	79
Figura 36. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (III). (ERC 08) ....	79
Figura 37. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (I). [128] ....	80
Figura 38. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (II). [128] ....	81
Figura 39. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (I). [128] ....	81
Figura 40. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (IV). [128] ....	82
Figura 41. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (V). [128] ....	82
Figura 42. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VI). [128] ....	83
Figura 43. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VII). [128] ....	83
Figura 44. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VIII). [128] ....	84
Figura 45. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (IX). [128] ....	85

Figura 46. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (X). [128]	85
Figura 47. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XI). [128]	86
Figura 48. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XII). [128]	87
Figura 49. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIII). [128]	87
Figura 50. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIV). [128]	87
Figura 51. Localización de ULMET, BUTUX , BOXIT y ADAMS, de derecha a izquierda. [116]	88
Figura 52. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XV). [128]	89
Figura 53. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVI). [128]	89
Figura 54. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVII). [128]	89
Figura 55. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVIII). [128]	90
Figura 56. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIX). [128]	91
Figura 57. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XX). [128]	91
Figura 58. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XXI). [128]	91
Figura 59. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (I). [128]	92
Figura 60. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (II). [128]	93
Figura 61. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (III). [128]	93
Figura 62. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (IV). [128]	93
Figura 63. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (V). [128]	93
Figura 64. Altitudes mínimas sobre SKBO.	94
Figura 65. STAR para aterrizaje por pista 13L/13R.	96
Figura 66. STAR para aterrizaje por la pista 31L/31R.	97
Figura 67. STAR para aterrizaje por pista 31L/31R.	98
Figura 68. Representación del procedimiento para llegar a SOSAK en [133].	99
Figura 69. Escala de la figura 94.	100
Figura 70. Niveles de vuelo a usar en vuelo IFR sin aplicar RVSM.	107
Figura 71. Niveles de vuelo a usar en vuelo IFR aplicando RVSM.	107
Figura 72. Procedimiento DANSA 1R.	113
Figura 73. Procedimiento OSUSU 1R.	116
Figura 74. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (I). [128]	118
Figura 75. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (II). [128]	119
Figura 76. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (III). [128]	119
Figura 77. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (I). [128]	120
Figura 78. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (II). [128]	121
Figura 79. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (III). [128]	121
Figura 80. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IV). [128]	122
Figura 81. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (V). [128]	122
Figura 82. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VI). [128]	123
Figura 83. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VII). [128]	124
Figura 84. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VIII). [128]	124
Figura 85. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IX). [128]	125
Figura 86. Navegación oceánica del vuelo SKBO-LIRF (I). [116]	125
Figura 87. Navegación oceánica del vuelo SKBO-LIRF (II). [116]	126
Figura 88. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (X). [128]	126
Figura 89. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XI). [128]	127
Figura 90. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XII). [128]	127
Figura 91. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIII). [128]	128
Figura 92. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIV). [128]	128
Figura 93. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XV). [128]	128

Figura 94. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVI). [128] .....	128
Figura 95. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVII). [128] .....	129
Figura 96. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVIII). [128] .....	129
Figura 97. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIX). [128].....	129
Figura 98. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XX). [128].....	129
Figura 99. Procedimiento VALMA 2A.....	130
Figura 100. Procedimiento VALMA 2B.....	131
Figura 101. Procedimiento VALMA 2C.....	132
Figura 102. Procedimiento VALMA 2D. ....	133
Figura 103. Procedimiento de aterrizaje por la pista 16L. ....	135
Figura 104. Procedimiento de aterrizaje por la pista 16R.....	136
Figura 105. Procedimiento de aterrizaje por la pista 34L. ....	137
Figura 106. Procedimiento de aterrizaje por la pista 34R.....	138
Figura 131. Incremento del leasing entre 1970 y 2015. ....	152
Figura 108. Gráfica de payload vs range específicos para el trayecto con un factor de ocupación 1.....	155
Figura 109. Promedios de datos meteorológicos en Roma. ....	157
Figura 110. Promedios de datos meteorológicos en Bogotá. ....	157
Figura 111. Longitud de la pista de despegue necesaria para el trayecto propuesto.....	157
Figura 112. Longitud de la pista de despegue necesaria para el trayecto propuesto.....	158
Figura 113. Tarifas de LIRF para aterrizajes y despegues.....	163
Figura 114. Cargos a los pasajeros en LIRF. ....	164
Figura 115. Cargos por el uso de pasarelas telescópicas en LIRF.....	165

## Lista de abreviaturas

- ✈ ACI: Airport Council International
- ✈ ADS: Automatic Dependent Surveillance
- ✈ AFM: Aircraft Flight Manual
- ✈ APV: Approach Procedure with Vertical guidance
- ✈ ASDA: Accelerate-Stop Distance Available
- ✈ ATC: Air Traffic Control
- ✈ ATS: Air Traffic Services
- ✈ CAT: *Commercial Air Transport*
- ✈ CP: Critical Point
- ✈ CPDLC: Controller-Pilot Data Link Communications
- ✈ CTA: ConTrol Area
- ✈ CTR: ConTRol Zone
- ✈ DER: Departure End of the Runway
- ✈ EASA: European Aviation Safety Agency
- ✈ EDTO: Extended Diversion Time Operations
- ✈ EEP: ETOPS Entry Point
- ✈ ETP: ETOPS Equal Time Point
- ✈ EXP: ETOPS Exit Point
- ✈ ERA: En-Route Alternate
- ✈ ETOPS: Extended-Range Twin-engine Operation Performance Standards
- ✈ FAF: Final Approach Fix
- ✈ FANS: Future Air Navigation System
- ✈ FC: Flight Costs
- ✈ FIR: Flight Information Region
- ✈ FL: Flight Level
- ✈ ft: feet
- ✈ GC: Ground Costs
- ✈ GNSS: Global Navigation Satellite System
- ✈ IAF: Initial Approach Fix
- ✈ IAF: Initial Approach Fix
- ✈ IAS: Indicated Air Speed
- ✈ IF: Intermediate Fix
- ✈ IFR: Instrumental Flight Rules
- ✈ INS: Inertial Navigation System
- ✈ IRS: Inertial Reference System
- ✈ IRU: Inertial Reference Units
- ✈ kt: knot
- ✈ LDA: Landing Distance Available
- ✈ LNAV: Lateral NAVigation
- ✈ LRNS: Long Range Navigation System.
- ✈ MLS: Microwave Landing System
- ✈ MLW/LW: Maximum Landing Weight
- ✈ MNPS: Minimum Navigation Performance Specification

- ✈ MOPSC: Maximum Operational Passenger Seating Configuration
- ✈ MSA: Minimum Sector Altitudes
- ✈ MSLW/SLW: Maximum Structural Landing Weight
- ✈ MTOW/TOW: Maximum Take-Off Weight
- ✈ MTW/MRW: Maximum Taxi Weight / Maximum Ramp Weight
- ✈ MZFW/ZFW: Maximum Zero Fuel Weight
- ✈ NAT: North Atlantic Track
- ✈ NDB: Non Directional Beacon
- ✈ NM: Nautical Miles
- ✈ NPA: Non-Precision Approach
- ✈ NSC: Non-Systems Costs
- ✈ OACI: Organización de Aviación Civil Internacional
- ✈ OCA: Obstacle Clearance Altitude
- ✈ OCH: Obstacle Clearance Height
- ✈ OEI: One Engine Inoperative
- ✈ OTS: Organised Track System
- ✈ PA: Precision Approach procedure
- ✈ PANS-OPS: Procedures for Air Navigation Services- aircraft Operations
- ✈ PDG: Procedure Design Gradient
- ✈ RNAV: Random NAVigation
- ✈ RNP: Required Navigation Performance
- ✈ RP: Rotation Point
- ✈ RVSM: Reduced Vertical Separation Minima
- ✈ SAO: Special Area of Operation
- ✈ SC: Systems Costs
- ✈ SI: Sistema Internacional
- ✈ SID: Standard Instrumental Departure
- ✈ SOP: Standard Operating Procedures
- ✈ STAR: Standard Terminal Arrival Route
- ✈ TAA: Terminal Arrival Altitudes
- ✈ TCP: Tripulante de Cabina de Pasajeros
- ✈ TERPS: TERminal instrument ProcedureS
- ✈ TMA: Terminal Manoeuvring Area/ Terminal Control Area
- ✈ TODA: Take-Off Distance Available
- ✈ TORA: Take-Off Run Available
- ✈ TP: Turning Point
- ✈ TRD: TRack Distance
- ✈ TSA: Temporary Segregated Areas
- ✈ UIR: Upper Information Region
- ✈ UTC: Universal Time Coordinated
- ✈ VFR: Visual Flight Rules
- ✈ VOR: Very high frequency Omnidirectional Range
- ✈ WGS: World Geodesic System



# 1. Introducción

La aviación es una forma de transporte que cada año incrementa su volumen de pasajeros, el número de operaciones realizadas y añade nuevas líneas a las ya existentes. Tal y cómo se presenta actualmente la sociedad, la creación de nuevas rutas año tras año es algo prácticamente necesario. El mundo cambiante, el desarrollo de nuevas tecnologías y la necesidad de cubrir grandes distancias, ya sea por temas de ocio, comercio u otros, demanda que las aerolíneas cada vez deban abrirse hueco en nuevos mercados, a fin de explotar sus rutas comercialmente y obtener beneficios económicos gracias a ello.

En este proyecto se pretende diseñar una ruta no operada para una compañía ya existente. Esto no implica directamente que la ruta en cuestión no exista, pues puede estar operada por otra u otras aerolínea/s. En caso de no estarlo, el trayecto será comparable a los ya existentes con escalas. La metodología aplicada para el viene estructurada por los siguientes puntos:

- ✈ Normativa aplicable al caso estudiado, concretamente aquella referente a operaciones de vuelo y ETOPS. Localizar aquellos puntos donde la normativa EASA difiere de la FAA.
- ✈ Elección de la aeronave a utilizar. La aeronave puede adquirirse o alquilarse mediante un contrato de *leasing*. Se realiza una comparativa de costes operativos entre los distintos modelos que cumplan con las especificaciones propuestas más adelante.
- ✈ Elección de la ruta. Para determinarla, se realiza un estudio de las principales rutas que conectan Europa con América, con el objetivo de encontrar un nicho de mercado donde explotar una ruta resultaría interesante económicamente.
- ✈ Organización del espacio aéreo y radioayudas. Se trata de localizar aquellas cartas de navegación que cubren el espacio aéreo por donde debe transcurrir el vuelo. Con ellas en mano, se localizan los diferentes puntos y elementos de interés a utilizar durante el trayecto.
- ✈ Determinación de la ruta. A partir de las cartas de navegación ya mencionadas, se unen las 2 ciudades escogidas. Es necesario plantear el vuelo de ida y el de vuelta.
- ✈ Planificación de vuelos. Se decide día y hora de los vuelos que conecten ambas ciudades.
- ✈ Determinación de costes operativos. Disponiendo de aeronave, ruta y horario comercial, se puede determinar cuánto costará poner en marcha la ruta propuesta.
- ✈ Determinación de tarifas. Comparando con demás aerolíneas y tratando de buscar beneficios, se determinan las tarifas que propone la aerolínea. En este punto se decide si la aerolínea ofertará vuelos *low cost* o no.
- ✈ Resultados obtenidos. Realización de un análisis de los ingresos generados para determinar la viabilidad económica del proyecto durante los primeros años, así como plantear las implicaciones ambientales, sugerencias de mejora, etc...

En un proyecto como este, resulta ventajoso la libertad de elección a la hora de la toma de decisiones, siempre y cuando se actúe cumplimentando las leyes y normas establecidas. En el lado opuesto, las desventajas se pueden presentar a la hora de realizar las estimaciones oportunas y los cálculos pertinentes. Al tratarse de datos no oficiales a los utilizados por la compañía o compañías realmente, pues estos son difíciles o imposibles de encontrar, estos pueden diferir de los reales.

## 1.1 Objeto

Se pretende analizar la viabilidad técnica y económica de incorporar una nueva ruta diferente de las ya ofertadas por una aerolínea ya existente.

## 1.2 Alcance

A fin de lograr el objetivo presentado en el punto anterior, es necesario establecer una serie de puntos que se necesitarán completar para ello. Estos son :

- ✕ Determinación de la normativa ICAO, IATA, EASA y FAA relevante referente al caso estudiado, es decir, vuelos transatlánticos bajo normativa ETOPS. Al ser normativas con una voluminosa extensión, se trata de focalizarse en aquellos aspectos más relevantes e importantes de las mismas.
- ✕ Determinación de los costes operativos de distintas aeronaves transatlánticas presentes en el mercado, preferiblemente las más comunes. Estos costos son estimados a partir de datos extraídos de fuentes adecuadas. Desgraciadamente y muy posiblemente, difieran de los reales utilizados actualmente.
- ✕ Determinación de la organización del espacio aéreo y la distribución de las radioayudas disponibles. Este paso es necesario para conocer los diferentes trayectos que la aeronave puede atravesar.
- ✕ Cálculo de los costes totales. Estimación, más aproximada que la realizada en la comparativa, previa a la determinación de tarifas. Esto último, previo al estudio de viabilidad.
- ✕ Realización del estudio de viabilidad económica, aplicando un factor de ocupación a concretar más adelante.
- ✕ Realización de la carta de navegación de la ruta, donde se mostrará el resultado del proyecto. Además del trayecto, se cree conveniente aportar el perfil de la ruta, así como una proposición de velocidades y niveles de vuelo.

## 1.3 Especificaciones

El presente proyecto ha sido realizado bajo los requisitos especificados a continuación y dictados por el tutor del mismo:

- ✘ La ruta implementada debe ser transatlántica. Concretamente, cruzará el Océano Atlántico para unir Europa con América.
- ✘ La ruta debe pertenecer a una compañía aérea existente. Esta no debe ser concretada y la finalidad de este requisito es evitar el diseño y creación de una nueva aerolínea de pasajeros.
- ✘ La ruta sugerida debe presentarse en un mapa, concretamente una carta de navegación siguiendo el formato presentado comúnmente.
- ✘ El proyecto se ha realizado suponiendo y cumpliendo con la normativa ETOPS. Este hecho implica que, obligatoriamente, la aeronave escogida debe ser bimotor<sup>1</sup>. Esto explica la exclusión de aviones de 4 motores en la selección de aeronaves presentada a lo largo de las próximas páginas.
- ✘ En la realización de la ruta, se suponen libres las rutas, niveles de vuelo y puntos de notificación al no poder adquirir la información acerca de su disponibilidad o no.

## 1.4 Utilidad

Este proyecto presenta una finalidad puramente académica. Esto no quita que pueda ser útil en caso de que alguna aerolínea pretenda incorporar la ruta sobre la que finalmente versa el trabajo y éste cumpla verdaderamente con todas las normativas y procedimientos habituales y necesarios para ello. Para resultar más o menos útil, resultan fundamentales los puntos críticos afrontados: encontrar un nicho a explotar en el mercado, focalizar una cartera de clientes interesados en la ruta diseñada y determinar óptimamente la ruta, realizándola de la manera más rápida, ecológica, económica y rentable posible.

---

<sup>1</sup> El Boeing 747 modelo 8 y el Airbus A340 son las excepciones existentes. De igual manera y acordado como requisito, se excluirá de la selección aparecida más adelante.

## 2. Desarrollo

A lo largo y ancho de los siguientes apartados, discurre la propuesta desarrollada para la solución al problema planteado. Para un mayor entendimiento, se encuentra separada en sus diferentes apartados, la mayoría de ellos acorde a los propuestos en el *project charter*. Las secciones o subsecciones que difieran de las propuestas en el mismo, son debido a modificaciones que se han creído oportunas durante la realización del proyecto.

### 2.1 Normativa a aplicar

La normativa necesaria a aplicar puede dividirse en:

- ✘ **Normativa Air Ops según la EASA y OACI.** Se explican los conceptos básicos referentes a la normativa de operaciones aéreas promulgadas por diferentes órganos y que sean de utilidad para el propósito buscado. Se trata de publicaciones y anexos extensos, con lo cual se focaliza en aquellos aspectos más relevantes e importantes.
- ✘ **Normativa Pans-Ops de OACI.** Esta normativa hace referencia a los procedimientos de navegación aérea y operaciones de las aeronaves.
- ✘ **Normativa ETOPS.** Aquí se expone el concepto que hay detrás de estas siglas y se definen los conceptos más importantes de esta normativa. También se intenta crear una guía acerca del procedimiento para diseñar una ruta perteneciente a este tipo de vuelos.
- ✘ Explicación del concepto **PBN**, que incluye el concepto RNAV y RNP.
- ✘ **Normativa sobre operaciones aéreas oceánicas.** En el último apartado referente a las normativas, se habla acerca de aquella que hace referencia exclusivamente a vuelos que atraviesan océanos. Para el caso propuesto, también se hace mención en aquellos aspectos de importancia referentes a la navegación sobre el Océano Atlántico.

En las normativas explicadas se han hecho varias suposiciones:

- ✘ Vuelo bajo reglas IFR
- ✘ Pista de aterrizaje/despegue seca
- ✘ No se tienen en cuenta factores meteorológicos
- ✘ Los aterrizajes y despegues son de precisión
- ✘ No existen emergencias durante el vuelo
- ✘ No hay utilización de publicaciones aeronáuticas referentes a 1 día en concreto
- ✘ No se tienen en cuenta posibles técnicas de vuelo
- ✘ No hay mínimos de visibilidad ni alturas de decisión
- ✘ Se trabaja con SIDs y STARs normales. No se incluyen procedimientos de reversa, de pista u otros. Tampoco se incluyen procedimientos referentes a circuitos de espera, aproximaciones fallidas y similares.
- ✘ Se pretende volar bajo RNAV y PBN, en caso de que la aeronave escogida finalmente cumpla los requisitos. Por eso se expone tanto la normativa general como la exclusiva para este tipo de operaciones.

## 2.1.1 Normativa EASA referente a operaciones aéreas

Debido a la extensión de este apartado, se encuentra separado según los anexos a los cuales hacen referencia. Estos anexos son referentes a la normativa de operaciones aéreas de EASA [1], la cual es reconocida por la ICAO y conforme a su normativa. Además, es utilizada por muchos legisladores en el mundo. La normativa está conformada por:

- ✘ **Anexo I: definiciones.** Se explican conceptos útiles para el correcto entendimiento de la normativa explicada en los siguientes anexos.
- ✘ Anexo II: parte-ARO. Es la parte de la normativa referente a los requisitos por parte de la autoridad (*Authority Requirements for Air Operations*). No entra dentro de la competencia del proyecto, se trata de una aerolínea (operador), no una autoridad.
- ✘ Anexo III: parte-ORO. Es la parte de la normativa referente a los requisitos por parte de la organización (*Organisation Requirements for Air Operations*). No entra dentro de la competencia del proyecto, se trata de una aerolínea (operador), no una organización.
- ✘ **Anexo IV: parte-CAT.** Es la parte de la normativa referente al transporte aéreo comercial. En el caso propuesto, este es el anexo al que se debe acudir.
- ✘ Anexo V: parte-SPA. Es la parte de la normativa referente a las aprobaciones específicas (*Specific Approvals*). Estas se consideran fuera del alcance del proyecto, pues trata de aspectos como volar con poca visibilidad, separación vertical reducida... En general, trata de aspectos no considerados en el proyecto.
- ✘ Anexo VI y VII: partes-NCC y NCO. Es la parte de la normativa referente a operaciones aéreas no comerciales, por lo tanto no son necesarios tampoco.
- ✘ Anexo VIII: parte-SPO. Es la parte de la normativa referente a operaciones especiales (*Specialised Operations*). Estas operaciones son las que efectúan los servicios de emergencia, bomberos, policía... con lo que de nuevo, no incumbe al proyecto.

A continuación, se muestran los apartados de los anexos I y IV considerados de utilidad para la finalidad buscada.

### 2.1.1.1 Anexo I : definiciones

Se definen todos los conceptos que aparecen en el apartado 2.1. Aquellos términos donde queda explícito su significado, tan solo aparecen el desglose de sus siglas. Estas definiciones son las proporcionadas por [1] y [2]. La lista de definiciones puede encontrarse en el anexo 1.1.1

### 2.1.1.2 Anexo IV : parte-CAT

Este es el anexo de EASA de importancia en este proyecto, pues es el referente a operaciones de transporte aéreo comercial. Para facilitar la lectura, se utiliza una metodología similar a la presente en el documento: se encuentra organizada en párrafos, iniciados por las iniciales que indican su referencia en los textos. Cuando se habla del operador se hace mención, en este caso, a la aerolínea. Los puntos más importantes se encuentran en el anexo 1.1.2.

## 2.1.2 Normativa general de la OACI

Se procede a explicar esta narrativa de la misma manera empleada en el apartado 2.1.1.2. En el caso de la OACI, la normativa se divide en 18 anexos:

- ✈ Anexo 1: licencias al personal
- ✈ **Anexo 2: reglamento del aire** [4]
- ✈ Anexo 3: servicio meteorológico para la navegación aérea internacional
- ✈ Anexo 4: cartas aeronáuticas\* [5]
- ✈ **Anexo 5: unidades de medida que se emplearán en las operaciones aéreas y terrestres** [6]
- ✈ **Anexo 6: operación de aeronaves** [7]
- ✈ Anexo 7: marcas de nacionalidad y de matrícula de las aeronaves
- ✈ Anexo 8: aeronavegabilidad
- ✈ Anexo 9: facilitación
- ✈ Anexo 10: telecomunicaciones aeronáuticas
- ✈ Anexo 11: servicios de tránsito aéreo
- ✈ Anexo 12: búsqueda y salvamento
- ✈ Anexo 13: investigación de accidentes e incidentes de aviación
- ✈ Anexo 14: aeródromos\* [8]
- ✈ Anexo 15: servicios de información aeronáutica
- ✈ Anexo 16: protección del medio ambiente\* [9]
- ✈ Anexo 17: seguridad, protección de la aviación civil internacional contra los actos de interferencia ilícita
- ✈ Anexo 18: transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea

De igual manera que con los anexos de EASA, la mayoría de ellos no son necesarios a aplicar o escapan al alcance del proyecto. En negrita, se marcan aquellos cuyo contenido puede ser relevante e importante desde ya, comentados a continuación. Aparecen con un asterisco aquellos que, en futuros apartados<sup>2</sup>, pueden ser de utilidad.

Lo más relevante puede encontrarse en el anexo 1.2.

---

<sup>2</sup> [5] utilizado en el apartado 2.5, al igual que [8]. [9] se utiliza para evaluar el apartado 3.2.

### 2.1.3 PANS-OPS

Los PANS-OPS consisten en 2 volúmenes.

El volumen I describe los procedimientos operacionales recomendados para la orientación del personal de operaciones de vuelo y la tripulación. También describe los diversos parámetros en los que se basan los criterios del Volumen II para ilustrar la necesidad de adherirse estrictamente a los procedimientos publicados para lograr y mantener un nivel aceptable de seguridad en las operaciones. [10]

El volumen II está destinado a la orientación de especialistas de procedimientos y describe las áreas esenciales y los requisitos de eliminación de obstáculos para lograr seguras y regulares operaciones de vuelo por instrumentos. Además, proporciona las directrices básicas para los estados, operadores y organizaciones que producen cartas de vuelo por instrumentos que resulten en prácticas uniformes en todos los aeródromos donde los procedimientos de vuelo por instrumentos sean llevados a cabo. [11]

En el anexo 1.3 se muestra lo más relevante de ellos. En negrita, aparecen las partes mencionadas en ellos:

#### 2.1.3.1 Volumen I: Procedimientos de vuelo

Este volumen se divide en 3 partes:

- **Parte I: procedimientos de vuelo- general**
- **Parte II: procedimientos de vuelo- RNAV y basados en satélite**
- Parte III: procedimientos operativos de las aeronaves

#### 2.1.3.2 Volumen II: construcción de procedimientos de vuelo visuales e instrumentales

Este segundo volumen consta de 4 partes:

- **Parte I: general**
- **Parte II: procedimientos convencionales**
- **Parte III: procedimientos RNAV y basados en satélite**
- Parte IV: helicópteros

Al tratarse de procedimientos en muchos casos resulta engorroso explicarse con palabras, así que se decide ilustrar lo que se expone tal y como aparece en [11].

### 2.1.3.2.1 Parte I: general

#### ✂ Sección 2. Principios generales

##### Apéndice al capítulo I. Conversión de IAS a TAS

En las tablas I-2-1-App-1 y I-2-1-App-2 se proporcionan unos factores, según la altitud y la temperatura, para pasar de IAS a TAS. Estas altitudes llegan hasta los 24000 ft, nivel que se supone más bajo al que se volará. Por lo tanto, acudimos a la fórmula que se nos proporciona:

$$[1] \quad TAS = \frac{IAS * 171233[(288 \pm VAR) - 0.006496H]^{0,5}}{(288 - 0.006496H)^{2,628}}$$

$$[2] \quad TAS = \frac{IAS * 171233[(288 \pm VAR) - 0.00198H]^{0,5}}{(288 - 0.00198H)^{2,628}}$$

El último término mostrado es un cálculo aproximado. En la fórmula [1], la H es la altitud en metros y VAR es la variación de la temperatura respecto a la ISA estándar. En la fórmula [2], la H viene dada en ft. En ambas fórmulas no se tienen en cuenta efectos de compresibilidad.

#### ✂ Sección 3. Procedimientos de despegue.

##### Capítulo 2. Conceptos generales

Un despegue omnidireccional permite girar en cualquier dirección una vez alcanzada una altura especificada. Un despegue directo, en cambio, permite girar tan sólo 15° o menos. Una aeronave debe mantener la dirección de la pista de despegue hasta alcanzar una altitud mínima de 120 metros sobre la pista, antes de comenzar un giro.

El PDG estándar es del 3.3 % y comienza a 5 metros sobre el DER. El procedimiento de despegue comienza en el DER y finaliza cuando el PDG alcanza la altitud mínima de la siguiente fase del vuelo.

### 2.1.3.2.2 Parte II: procedimientos convencionales

Esta segunda parte aborda las siguientes materias:

- Aproximaciones de precisión: ILS, MLS, PAR.
- Aproximaciones no precisas. LLZ, MLS con solo azimut, VOR/NDB sin FAF, VOR/NDB con FAF, DF y SER.
- Criterios en ruta para rutas NDB / VOR.
- Criterios de espera.

Transcurre desde la página 302 hasta la 498 de [11]. Como ya se dijo al introducir 2.1, se pretende volar con la última tecnología de navegación como es la RNAV y se considera una pérdida de tiempo introducir conceptos aquí que no se usarán.

### 2.1.3.2.3 Parte III: procedimientos RNAV y basados en satélite

Este apartado se desarrolla en el anexo 1.3.2.1.

### 2.1.3.3 Conceptos distintos en las TERPS respecto los PANS-OPS

Las diferencias existentes entre las PANS-OPS de la OACI y las TERPS de la FAA son escasas y se pueden recoger en los siguientes puntos. No se les dará una mayor importancia, pues la mayoría de las diferencias aparecen en aspectos como los patrones de espera, las altitudes para evitar obstáculos... es decir, aspectos que no han sido tratados en los apartados anteriores. Las diferencias más notables que se pueden encontrar son [:

- ✘ Unidades de medida. Las TERPS utilizan las unidades típicas en los Estados Unidos.
- ✘ Diferencia en el concepto DER. Esta diferencia se halla explicada en la definición de DER.
- ✘ El PDG, los gradientes de ascenso necesarios, son diferentes en ambas normativas. Esto se debe a que el procedimiento para calcular este mismo no es el mismo y utiliza otras variables a las que se utilizan en las PANS-OPS.
- ✘ El ancho de las áreas de despegue varía sensiblemente.
- ✘ El concepto de despegue omnidireccional no existe en las TERPS.
- ✘ Según las TERPS, el MSA es para emergencias solo y no garantiza la recepción de ayudas a la navegación. En cambio, las PANS-OPS no se pronuncian acerca de esto.
- ✘ Los procedimientos de espera varían.
- ✘ Las TERPS no distinguen entre una entrada estándar o omnidireccional, simplemente propone unas maniobras para alinearse con la pista.
- ✘ Las velocidades de aproximación y el gradiente óptimo de descenso varían.
- ✘ Los procedimientos de reversa difieren según ambas normativas.
- ✘ Las TERPS obligan en la mayoría de casos a ejecutar una especie de giro en concreto, a diferencia de las PANS-OPS.
- ✘ En las aproximaciones de rodeo al aeropuerto de llegada, los parámetros propuestos para la velocidad, visibilidad, altitud respecto a los obstáculos... no es la misma en ambos órganos.
- ✘ El procedimiento a seguir en una aproximación fallida no es exactamente igual.
- ✘ El gradiente de despegue es el mismo, pero se mide desde sitios diferentes.
- ✘ El significado de MSA es diferente según ambos órganos.
- ✘ Las máximas velocidades de procedimiento son muy diferentes.

## 2.1.4 Normativa ETOPS

La información expuesta aquí se extrae del Adjunto C de [7], de [13] y de [14].

La normativa ETOPS es la necesaria para cumplir con los requisitos previamente acordados. Actualmente, se trata de extender el remplazo de estas siglas por las nuevas EDTO. Las regulaciones ETOPS se aplican a rutas transatlánticas, así como en áreas remotas, y su objetivo principal es proporcionar la seguridad necesaria a aeronaves bimotoras para completar trayectos que anteriormente sólo podían realizarse con aviones de 3 o 4 motores.

El requisito básico para obtener la aprobación operativa ETOPS para una aeronave bimotora es el de operar una ruta específica estando el aeródromo adecuado alternativo más cercano, volando con un motor inoperativo a velocidad de crucero bajo condiciones ISA y aire en calma, con un tiempo de desvío mayor al umbral de tiempo que establezca la autoridad. En este tipo de operaciones, los aeródromos de salida y llegada también se consideran alternativos.

El tiempo de desvío es el tiempo máximo durante el cual la aeronave puede mantener este tipo de vuelo. Dependiendo del estado, este criterio puede ampliarse a 75, 90, 120, 138, 180, 207, 240 o 330 minutos. Esto significa que la aeronave, bajo estas condiciones, está capacitada para poder llegar a un aeropuerto, que cumpla con los requisitos básicos de la normativa ETOPS, en los intervalos de tiempo mostrados anteriormente. Asimismo, la tripulación de vuelo también necesita presentar una habilitación específica para realizar estos desplazamientos. Gráficamente, una EDTO genérica de 60 minutos para un bimotor se representaría así:

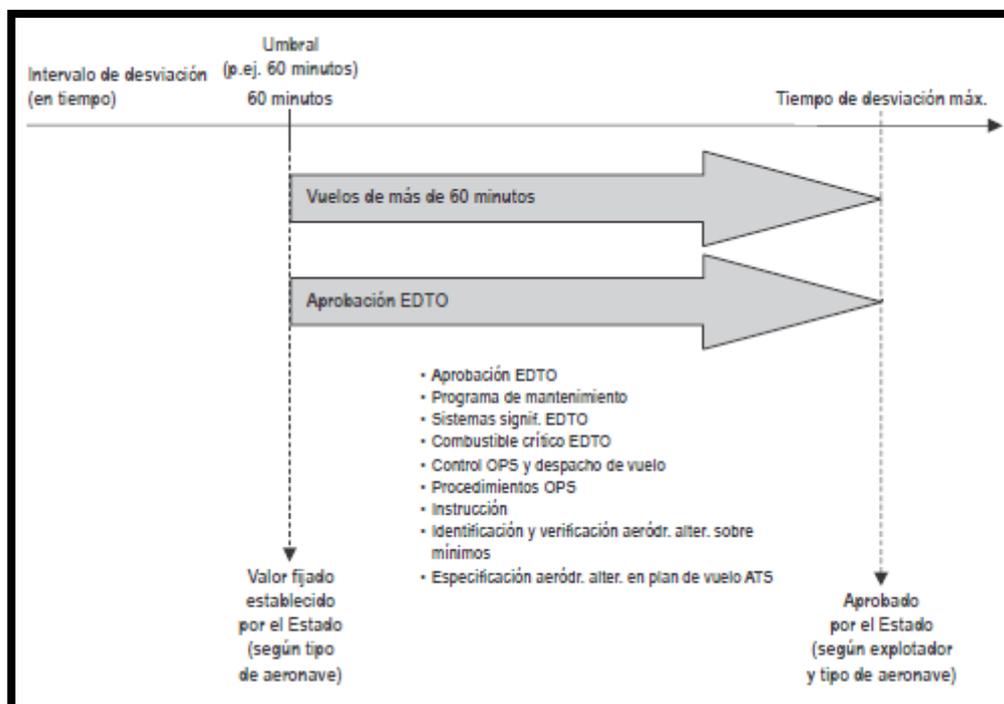


Figura 1. Representación gráfica de EDTO genérico para aviones bimotores.

Hay 2 tipos de operaciones EDTO:

- ✈ *In-service*: se da cuando el operador acumula más de un año de experiencia en el servicio con la aeronave (si el tiempo máximo de desvío es de 120 minutos) o cuando el operador acumula más de un año de experiencia volando bajo normativa EDTO (hasta 120 minutos de tiempo de desvío). Si a este último se le añade haber volado bajo normativa ETOPS con la aeronave en cuestión, este tiempo de desvío puede ascender a los 180 minutos.
- ✈ *Accelerated*: se da cuando el operador planea comenzar a utilizar la normativa EDTO con menos de un año de experiencia con la aeronave en cuestión o cuando se planea utilizar EDTO sobre los 120 minutos de tiempo de desvío, contando con menos de un año de experiencia volando con este valor. Este tipo de operación es el que se debe realizar.

Como se puede comprobar, para obtener certificaciones ETOPS de una mayor cantidad de tiempo máximo de desvío, es necesario acumular experiencia volando bajo esta normativa. Con esto, se puede gradualmente ir pasando de un menor tiempo de desvío a un mayor. Obviamente esto también dependerá del tipo de nave con el que se realiza la operación. Concretamente:

- ✈ Tiempo de desvío de 90 minutos. Se requiere un mínimo de 3 meses operando con la misma combinación avión-motor.
- ✈ Tiempo de desvío de 120 minutos. Se requiere haber operado un mínimo de 6 meses con la misma combinación avión-motor.
- ✈ Tiempo de desvío de 138 minutos<sup>3</sup>. Se requiere un mínimo de 3 meses operando con la misma combinación avión-motor bajo EDTO 120.
- ✈ Tiempo de desvío hasta 180 minutos. Se requiere haber operado 12 meses consecutivos la misma combinación avión-motor en 120 minutos.
- ✈ Tiempo de desvío de 240 minutos. Se requiere haber operado la misma combinación avión-motor en 180 minutos.
- ✈ Tiempo de desvío superior a 240 minutos. Solo se otorga entre ciudades específicas y se requiere haber operado la misma combinación avión-motor en 180 minutos o más durante 24 meses consecutivos, al menos 12 de ellos en 240 minutos.

---

<sup>3</sup> Existente según la FAA, bien como extensión de EDTO 120 o como un uso simplificado de EDTO 180.

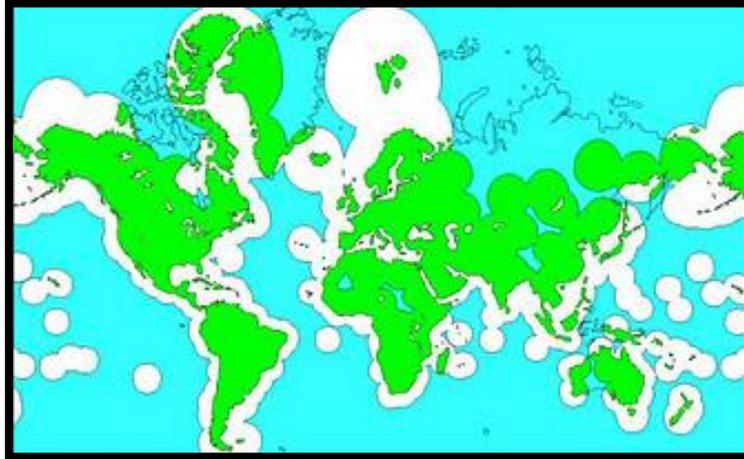


Figura 2. Normativa ETOPS 60.

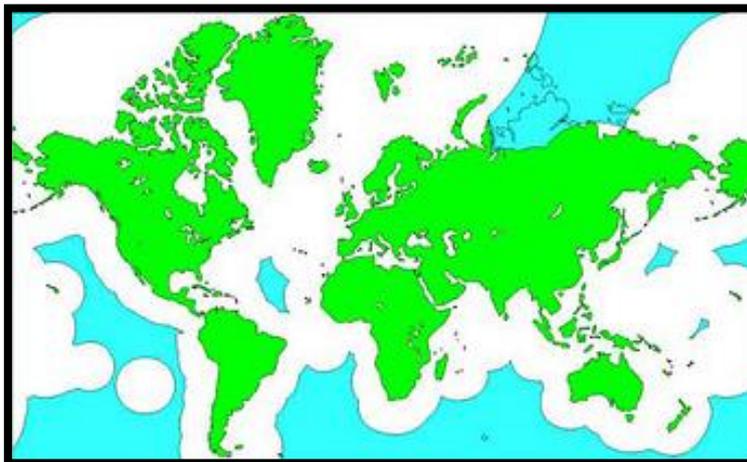


Figura 3. Normativa ETOPS 120.

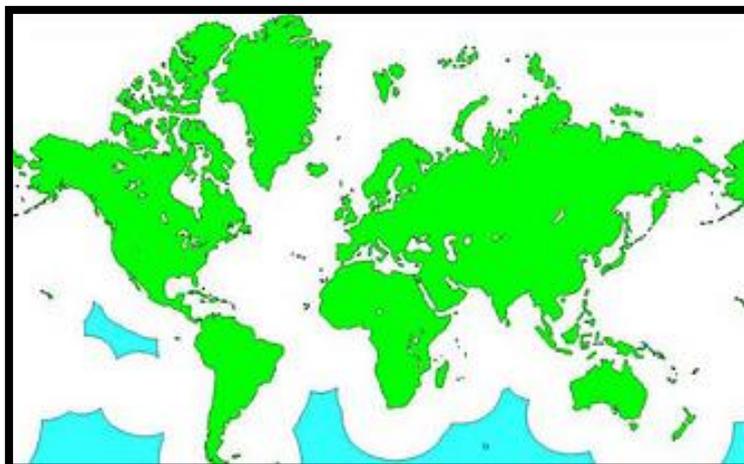


Figura 4. Normativa ETOPS 180.

Una ruta ETOPS viene definida por diversos elementos<sup>4</sup> :

- ✈ **Aeropuerto de salida.** Es el aeropuerto desde el cual despegó la aeronave.
- ✈ **Aeropuerto de llegada.** Es el aeropuerto donde tiene previsto aterrizar la aeronave.
- ✈ **Aeropuertos intermedios.** Aquí es donde la normativa y el umbral de tiempo especificado cobran vital importancia. La elección de estos aeropuertos intermedios tiene que cumplir con la normativa ETOPS del país correspondiente, es decir, cumplir con la regla del tiempo de diversión máximo. Estos aeródromos deben de ser adecuados al tipo de operación realizada.
- ✈ **Adequate airport.** Aeropuerto que satisfaga los siguientes requisitos: disponibilidad, autorización para sobrevolar y aterrizar, disponibilidad de ayudas de navegación (al menos 1 de ellas compatible con la aeronave en uso), cumplimiento de la performance de la aeronave para aterrizar con el LW esperado, asistencia operacional en tierra (ATC, luces...), equipos de rescate y contra incendios y, opcionalmente, asistencia técnica, *handling*, *catering* y acomodación de pasajeros.
- ✈ **Suitable airport.** Es un *adequate airport* donde las condiciones climatológicas son superiores a las mínimas permitidas, en el intervalo de tiempo que transcurre desde 1 hora antes del ETA hasta 1 hora después de la misma.
- ✈ **Área de operaciones.** Superficie donde se está autorizado para volar bajo este tipo de regulación. Se define con la distancia máxima de desvío y se representa con círculos centrados en los *adequate airports*. El radio de estos círculos se corresponde con la distancia máxima de desvío.
- ✈ **Tiempo máximo de desvío.** Tiempo otorgado por las autoridades de aviación desde un aeropuerto alternativo en ruta. Se utiliza para determinar el área de operaciones y no impone ninguna limitación de tiempo para llevar a cabo este desvío. Algunos factores, como las malas condiciones meteorológicas, podrían influir en él.
- ✈ **Distancia máxima de desvío.** Distancia cubierta con aire en calma, en condiciones ISA *standard*, dentro del tiempo máximo de desvío. Se calcula a la altitud de crucero asociada y teniendo en cuenta la variación de la velocidad con un motor inoperativo, explicada posteriormente. Se utiliza para dimensionar el área de operaciones.
- ✈ **Segmento ETOPS.** Línea trazada desde EEP y que finaliza en un punto de la ruta que permanece dentro del área de 60 minutos hasta un aeropuerto adecuado. Una ruta determinada puede presentar diferentes segmentos ETOPS sucesivos.
- ✈ **EEP: ETOPS Entry Point.** Es el comienzo de un segmento ETOPS. En este punto el aeropuerto adecuado más cercano se encuentra exactamente a 60 minutos.
- ✈ **EXP: ETOPS Exit Point.** Es el final de un segmento ETOPS. De la misma manera que EEP, éste se encuentra a exactamente 60 minutos del aeropuerto adecuado más cercano.
- ✈ **ETP: ETOPS Equal Time Point.** Punto de la ruta situado al mismo tiempo de 2 aeropuertos adecuados alternativos.
- ✈ **CP: Critical Point.** Punto crítico de la ruta con respecto a los requisitos de combustible. Usualmente es el último ETP dentro del segmento ETOPS. El último

---

<sup>4</sup> Cuando se habla de 60 minutos o 1 hora como tiempo de desvío se hace referencia a una regulación ETOPS 60 min. Si fuera un tiempo de desvío diferente el utilizado, las definiciones variarían con la cantidad correspondiente.

ETP no es necesariamente el ETP existente entre los 2 últimos aeropuertos alternativos.

- ✈ **Critical Fuel Scenario.** Combustible necesario suponiendo un vuelo normal bajo 2 escenarios distintos: despresurización y fallo de motor con despresurización. Aquel que requiera una mayor cantidad de combustible es el usado.
- ✈ **One engine out diversion speed.** Es una combinación de Mach e IAS seleccionada por el operador y la autoridad. El Mach se selecciona al comenzar el descenso por desviación hasta el punto de transición donde se asume la IAS. Esta velocidad debe estar dentro de los límites certificados operativos de la aeronave, entre la velocidad mínima de maniobra y  $V_{MO}$  o  $M_{MO}^5$ , y con el motor operativo trabajando al empuje máximo continuo (MCT). Esta velocidad se utiliza para establecer el área operacional, el *critical fuel scenario*, la altitud neta nivelada para sobrevolar obstáculos con el margen obligatorio y el desvío tras un fallo de motor.

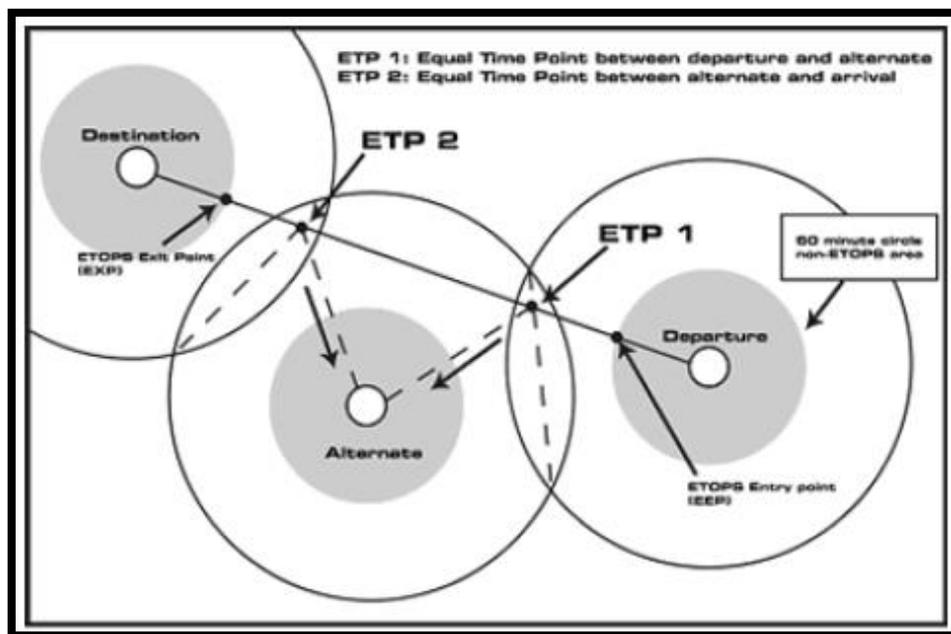


Figura 5. Esquema gráfico de EEP, EXP y ETP

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar una ruta bajo la regulación ETOPS son las condiciones meteorológicas mínimas que deben presentar los aeropuertos alternativos en ruta en caso de ser necesario la desviación de la aeronave. Estos mínimos se especifican a continuación:

- ✈ Aeropuertos con 2 o más ILS en pistas separadas: deben presentar un techo de 400 ft y una visibilidad de 1600 m. También es posible que presenten un techo de 200 ft y una visibilidad de 800 m sobre las mínimas de aterrizaje ILS autorizadas.
- ✈ Aeropuertos con ILS en una única pista: deben presentar un techo de 600 ft y una visibilidad de 3200 m. También es posible que presenten un techo de 400 ft y una visibilidad de 1600 m sobre las mínimas de aterrizaje ILS autorizadas.

<sup>5</sup> Son las velocidades máximas operativas, en unidades de velocidad (V) o al Mach (M)

- ✘ Aeropuertos sin aproximaciones de precisión: deben presentar un techo de 800 ft y una visibilidad de 3200 m. También es posible que presenten un techo de 400 ft y una visibilidad de 1600 m sobre las mínimas de aterrizajes sin precisión autorizadas.

Otro de los aspectos de vital importancia son los referentes al combustible. El mínimo necesario será el mayor entre el fuel *standard* planeado y el fuel ETOPS planeado. El segundo de ellos se compone del *standard* más el *critical scenario*. El *critical fuel scenario* se aplica desde el punto crítico hasta el aeropuerto alternativo de desvío. Para este cálculo, se supone:

- ✘ Descenso a una velocidad predeterminada al nivel de vuelo de desvío requerido.
- ✘ Fase de crucero a una velocidad predeterminada.
- ✘ Descenso hasta 1500 ft sobre el aeropuerto alternativo.
- ✘ 30 minutos de espera a 1500 ft.
- ✘ Primera aproximación y motor al aire (procedimiento IFR).
- ✘ Segunda aproximación y maniobra de aterrizaje (procedimiento VFR).

Como comentamos anteriormente, hay 2 posibles escenarios críticos: la despresurización de la aeronave y lo mismo incorporando un fallo de motor. En ellos es necesario tener en cuenta:

- ✘ Despresurización: descenso de emergencia, a  $V_{MO}$  o  $M_{MO}$  con los aerofrenos extendidos, hasta FL100. Además, se debe contar con una fase de crucero a la velocidad de crucero de largo alcance (LRC).
- ✘ Despresurización + fallo de motor: descenso de emergencia, a  $V_{MO}$  o  $M_{MO}$  con los aerofrenos extendidos, hasta FL100. Además, se debe contar con una fase de crucero a la velocidad planeada en el área de operación y teniendo en cuenta las limitaciones establecidas para el vuelo de crucero con un solo motor.

De ambos, el que precise de una mayor cantidad de combustible se definirá como el *ETOPS critical fuel scenario*. Por último y referente al combustible, es necesario hablar de las reservas que se deben añadir a este hipotético escenario [14]:

- ✘ Combustible del punto crítico al aeropuerto alternativo.
- ✘ 5% de contingencia.
- ✘ 30 minutos de espera a 1500 ft a velocidad mínima de maniobra.
- ✘ Aproximación IFR y procedimiento de motor y al aire.
- ✘ Aproximación VFR.
- ✘ Fuel de penalización del MEL.
- ✘ Utilización de la APU de ser necesario

Para concluir y una vez conocidos todos los requisitos y elementos necesarios para crear una ruta ETOPS, falta concretar la zona de operaciones. Según ésta misma y el número de aeropuertos con condiciones ETOPS disponible, el tiempo de diversión será uno u otro. Al no conocerse aún la ruta seleccionada, esto se concretará más adelante. De igual manera, se presenta una tabla donde se muestra el área de aplicabilidad de la normativa EDTO según el tiempo de desvío aprobado:

Aprobación (minutos)	Área de aplicabilidad
75	Caribe / Atlántico oeste / Otras áreas
90	Micronesia
120	Sin restricciones
138	Sin restricciones
180	Sin restricciones
207	Pacífico norte / América del norte
240	Polo norte / Norte del Pacífico norte / Costa oeste de Australia, Nueva Zelanda y Polinesia / Atlántico sur / Océano Índico / Pacífico sur / Polo sur

**Tabla 1. Aprobaciones ETOPS y áreas de aplicabilidad para aviones bimotores.**

## 2.1.5 Explicación del concepto PBN (Performance-Based Navigation)

A continuación, se describe resumidamente a qué hace referencia este concepto, cómo se interpreta y cómo se trabaja con él. La información ha sido extraída de [15]. Este es un manual, al estilo de los ya vistos, así que se estructurará de la misma manera que se ha venido haciendo hasta ahora. Consta de 2 volúmenes, divididos en partes a su vez.

El volumen I versa acerca del concepto y de la guía de implementación del mismo. En la primera parte se explica el concepto, las especificaciones, las diferencias entre RNAV y RNP y cómo es utilizado este concepto por los diferentes usuarios. En la segunda se explica su implementación a partir de 3 procesos: la determinación de requisitos, la identificación de las especificaciones y la implementación final.

El volumen II versa acerca de la implementación de RNAV y RNP y se encuentra dividido en 3 partes: una general, la segunda acerca de la implementación de RNAV 10, RNAV 5, RNAV 1 y RNAV 2 y la tercera acerca de la implementación de RNP 4, RNP 1 básico, RNP APCH, RNP AR APCH, RNP 2 y RNP 1 avanzado.

En el anexo 1.4 se recoge lo más interesante acerca de este concepto.

Básicamente, en los procedimientos RNAV y PBN se utilizan 2 tipos de *waypoints*: los *fly-by* y los *fly-over*, conceptos ya vistos anteriormente. Además, hay que añadir el concepto de *leg*. Una *leg* describe una trayectoria deseada entre 2 *waypoints* en un procedimiento RNAV. Estos se determinan con un código de 2 letras que describe la trayectoria (rumbo, dirección...) y el punto final (una determinada altitud, una distancia, un fijo...). Algunos tipos de *leg* son:

- ✕ Trayectoria a un fijo (TF). Trayectoria al siguiente *waypoint*. Se trata de seguir la ruta directa de un *waypoint* a otro.
- ✕ Directo a un fijo (DF). Trayectoria descrita desde un área inicial al siguiente *waypoint*, sin necesidad de partir de un fijo en concreto.
- ✕ Rumbo a un fijo (CF). Trayectoria que finaliza en un fijo siguiendo un rumbo concreto en ese fijo.
- ✕ Radio a un fijo (RF). Trayectoria circular con radio constante alrededor de un punto determinado que finaliza en un fijo.
- ✕ *Heading*. Se define como el *heading* hasta una altitud, hasta el rango de un DME, hasta un vector concreto...

## 2.1.6 Normativa referente a operaciones aéreas sobre el Océano Atlántico

El último apartado de la normativa hace referencia a aquella acerca de vuelos que sobrevuelan océanos, concretamente el Atlántico.

En primer lugar, se introducen los conceptos básicos relacionados con la navegación sobre el Atlántico norte [16][18]. Debido a la gran cantidad de tráfico existente entre el continente europeo y el norteamericano, este espacio aéreo se estructura de una manera concreta, explicada aquí [21].

En segundo lugar, se habla acerca de los conceptos básicos de navegación sobre el Atlántico sur. Este es un aspecto bajo lupa y cambiante en las últimas reuniones de los principales órganos, así que se explica lo avanzado en últimas reuniones y como se piensa proceder [19][20].

### 2.1.6.1 Explicación teórica sobre vuelos en el Atlántico norte

El océano Atlántico se divide en 4 grandes FIRs: Gander (CZQX<sup>6</sup>), Shanwick (EGGX), Santa María (LPPO) y Nueva York este (KZWY). Las 2 primeras regiones nombradas discurren desde los 44N<sup>7</sup> hasta los 61N, ascendiendo hasta los 64N en el caso de Gander. En cuanto a la normativa, es usual referirse a la región conocida como NAT HLA, formada por los FIRs de Bodo (ENOB), Gander, Nueva York este, Reykjavik (BIRD), Santa María y Shanwick, entre FL285 y FL420.

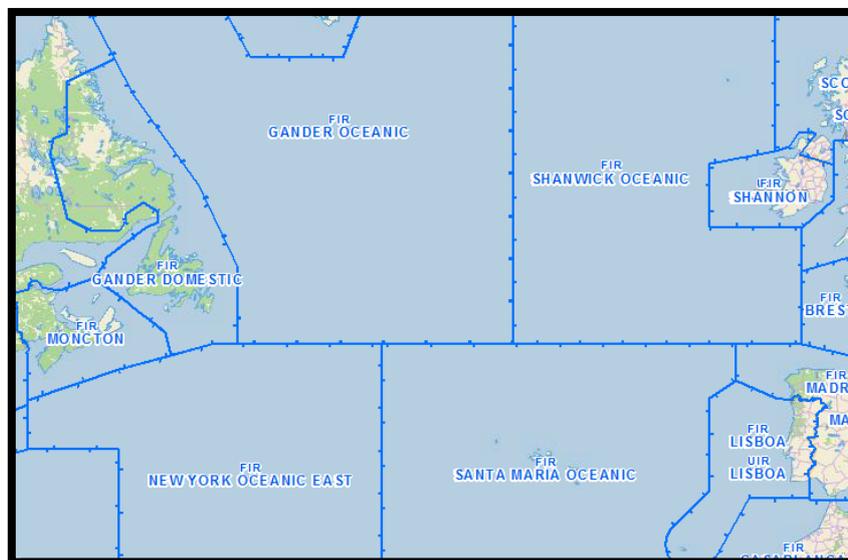


Figura 6. Organización del espacio aéreo sobre el océano Atlántico.

Se podría pensar que las rutas realizadas sobre el mismo son aleatorias y siguiendo unos rumbos concretos, pero no es así. Existen una serie de rutas por las cuales se sobrevuela el océano y que son variables cada día. Estas parten y finalizan en diferentes puntos de notificación, a banda y

<sup>6</sup> Todas las designaciones en forma de código a lo largo de la memoria se corresponden con códigos ICAO.

<sup>7</sup> Formulación que indica el número de grados y la dirección (N=Norte, S=Sur, E=Este, O=Oeste)

banda del océano. Se establecen 2 tipos: las *westbound tracks* y los *eastbound*. Las primeras parten desde suelo europeo por la mañana y cruzan la longitud 30W entre las 11.30 UTC y las 19.00 UTC, siendo su estructura publicada por el FIR de Shanwick a las 22.00 UTC del día previo. Las segundas parten de norte América durante la tarde y noche y cruzan la longitud 30W, concretamente entre las 01.00 UTC y las 08.00 UTC. En este caso, la estructura temporal viene publicada por el FIR de Gander a las 14.00 UTC del mismo día. Para ambas, se establecen unos niveles de vuelo mínimo y máximos: entre FL310 y FL400. Estas rutas son unidireccionales y dependen de diversos patrones meteorológicos, como la presión y las corrientes de chorro. Esto hace que diariamente la ubicación de estas pistas pueda variar. Como resultado, diariamente se organizan una serie de estructuras, en un sentido u otro, conocido como *Organised Track System* (OTS).

El uso de estas no es obligatorio y alrededor de la mitad de los vuelos que atraviesan la zona del Atlántico norte siguen rutas aleatorias. Esto quiere decir que una aeronave puede volar en una ruta fuera de la OTS o en una que se una o salga de una pista externa al mismo. La problemática se presenta ante los cambios significativos en el nivel de vuelo y en la inclusión de nuevas rutas, donde todas las aeronaves deberán adaptarse a las nuevas condiciones. Las OTS tienen en cuenta las restricciones del espacio aéreo, las áreas de peligro y prestan atención al mensaje de ruta preferida (por sus siglas, Preferred Route Message en inglés) por parte de las aerolíneas. También incorporan requisitos provenientes de otras áreas de control, como la de Nueva York, Reykjavik y Santa María. Las OTS se publican a las 22.00 UTC en el caso de los *westbound* y a las 14.00 UTC en el caso *eastbound*. Las diferentes pistas o *tracks* que se establecen vienen dados en los conocidos como mensajes de pistas NAT. Para el caso *westbound*, las pistas vienen denominadas empezando por la A para la pista situada más al norte, y prosiguiendo alfabéticamente a medida que disminuye la latitud. Para el caso *eastbound*, las pistas vienen denominadas empezando por la Z aquella que se sitúe más al sur, y prosiguiendo el orden alfabético a la inversa a medida que aumenta la latitud<sup>8</sup>.

En los conocidos como mensajes NAT, la manera de proceder para identificar la ruta que se debe seguir es la mostrada a continuación:



Figura 7. Decodificación de un mensaje NAT.

<sup>8</sup> Al decir aumento de latitud se quiere expresar que se buscan puntos más al norte del primero propuesto.

Respecto a la *figura 7* deben definirse los conceptos de punto oceánico de entrada<sup>9</sup> y salida. Estos son aquellos puntos límite de los FIR donde la aeronave entra o deja la primera o última área de control oceánica, según sea de entrada o salida. Estos puntos son muy importantes, pues una vez dentro del área de control oceánica, la velocidad no se puede cambiar. Entre el punto oceánico de entrada y el de salida, se va pasando por pares de latitud/longitud como se observa en la *figura 7*. Las siguientes acciones se recomiendan en esos puntos:

- ✈ Peso actual
- ✈ Altitud y velocidad
- ✈ Aeropuerto alternativo actual
- ✈ Proximidad a la ruta OTS (de no volar en una de ellas)
- ✈ Altitud para estar por debajo de OTS (de no volar en una de ellas)
- ✈ Comprobar la distancia y rumbo al siguiente *waypoint*

Normalmente los niveles de vuelo se estructuran tal y como se muestran en la *tabla 2*.

Además, en el caso de estos vuelos que sigan rutas aleatorias (no OTS):

- ✈ A o al sur de 70N. Se debe reportar el último punto de paso previo al punto oceánico de entrada. Se debe reportar los puntos donde se entra y sale de cada uno de los FIR mencionados en la *figura 24*. Se deben reportar puntos significativos, concretamente los formados por la intersección de medios o enteros grados de latitud con meridianos espaciados a intervalos de 10° de longitud desde el meridiano de Greenwich hasta 70W. Finalmente, debe reportarse el primer punto de paso después de salir del océano. Además, el número de Mach y el FL debe especificarse en el último punto de reporte previo al punto oceánico de entrada o al límite del área de control oceánica. En cualquier punto donde se cambie uno u otro, también debe especificarse.
- ✈ Al norte de 70N. Exactamente igual a lo anterior excepto en lo siguiente: la ruta debe especificarse en puntos significativos formados por la intersección de latitudes en grados y minutos con longitudes espaciadas en intervalos de 20° desde el meridiano de Greenwich hasta 60W,
- ✈ Generalmente en rutas dirección norte o sur. Exactamente igual a lo anterior excepto en lo siguiente: la ruta debe especificarse en puntos significativos formados por la intersección de grados enteros de longitud con latitudes espaciadas en intervalos de 5°, desde 20N hasta 90N.

---

<sup>9</sup> En los mensajes, DINIM significa punto oceánico de entrada y VODOR punto oceánico de salida.

FL	Tiempo	Dirección <sup>10</sup>
FL430	H24 <sup>11</sup>	W
		E (no RVSM)
FL410	H24	E
FL400	08.01 – 22.29	W
	22.30 – 00.59	W (no OTS), E (OTS) <sup>12</sup>
	01.00-08.00	W (no OTS), E (OTS)
FL390	19.01 – 10.29	E
	10.30 – 11.29	E (no OTS), W (OTS) <sup>13</sup>
	11.30 – 19.00	E (no OTS), W (OTS)
FL380	03.00 – 07.00	W
	08.01 – 22.29	W
	22.30 – 00.59	E <sup>46</sup>
	01.00 – 08.00	E (OTS y ODL <sup>14</sup> )
FL370	19.01 – 10.29	E
	10.30 – 11.29	E (no OTS), W (OTS) <sup>47</sup>
	11.30 – 19.00	E (no OTS), W (OTS)
FL360	08.01 – 22.29	W
	22.30 – 00.59	W (no OTS), E (OTS) <sup>46</sup>
	01.00 – 08.00	W (no OTS), E (OTS)
FL350	19.01 – 09.59	E
	10.00 – 11.29	E (no OTS), W (OTS) <sup>47</sup>
	11.30 – 20.00	E (no OTS), W (OTS)
FL340	08.01 – 22.29	W
	22.30 – 00.59	E (OTS y no OTS) <sup>46</sup>
	01.00 – 08.00	E (OTS y ODL)
FL330	19.01 – 09.59	E
	10.00 – 11.29	W <sup>47</sup>
	11.30 – 19.00	W (OTS y ODL)
FL320	08.01 – 22.29	W
	22.30 – 00.59	W (no OTS), E (OTS) <sup>46</sup>
	01.00 – 08.00	W (no OTS), E (OTS)
FL310	H24	W (ODL)
FL300	H24	W
FL290	H24	E

Tabla 2. Niveles de vuelo en la estructura OTS.

<sup>10</sup> W=westbound, E=eastbound.

<sup>11</sup> Significa las 24 horas del día.

<sup>12</sup> Sujeto a los westbounds.

<sup>13</sup> Sujeto a los eastbounds.

<sup>14</sup> Opposite Direction Levels. Para más información véase Att 5, apartado 3 del NAT Doc 007 [21].

### 2.1.6.2 Explicación teórica sobre vuelos en el Atlántico sur

Esta parte del océano Atlántico es mucho menos concurrida y no tiene un sistema como el explicado en 2.1.6.2. En las últimas reuniones de la ICAO acerca de las mejoras de los servicios de tráfico aéreo sobre el Atlántico sur, se ha ido hablando acerca de la incorporación de la navegación RNP4 en el corredor Europa-América del sur. Los avances que se han ido haciendo son:

- ✕ SAT14/TF1/Decisión 11 (2009, Cabo Verde): se acuerda la necesidad de implementar una estrategia para introducir la navegación RNP4.
- ✕ SAT15/FIT5/Decisión 3 (2010, Lisboa): se motiva a las aerolíneas al uso de operaciones CPDLC y ADS-C para asegurar la seguridad y eficiencia dentro del corredor Europa-América del sur.
- ✕ SAT16 (Brasil). Se requiere la instalación de FANS en las aeronaves antes de implementar RNP 4. Se realiza un análisis de coste-beneficios basado en las siguientes hipótesis: resultados en términos de tiempo y media de los aviones equipados con FANS y certificados como RP4 en el aumento de tráfico esperado, impacto de las restricciones propuestas en las aeronaves, incremento de los niveles óptimos por periodo y un impacto en la carga de trabajo de los operadores y pilotos.
- ✕ SAT17/ Conclusión 11: para conseguir la implementación de RNP 4, se inicia el estudio para obligar a las aeronaves en las rutas del corredor a tener equipamiento FANS.
- ✕ SAT18/ Conclusión 14: para conseguir la implementación de RNP 4, se establece un plan de implementación basado en especificar las responsabilidades y tareas de cada usuario, los *timelines* y los medios para cumplir con la normativa de seguridad propuesta.
- ✕ SAT19/ Conclusión 17: se establece un órgano con representantes de Brasil, Cabo Verde, Senegal, España, la IATA e ICAO para analizar el mapa de ruta a seguir, desarrollar el concepto de espacio aéreo basado en RNP 4, ADS-C y CPDLC y trabajar por teleconferencias.
- ✕ Decisión 20/11. Se presenta un plan de acción por parte de Portugal aceptado, pero se le manda revisar el concepto, el mapa de ruta, las fases propuestas y una mayor explicación de los detalles. Todo esto se organiza en una videoconferencia.
- ✕ Conclusión 20/06. Se plantea la urgencia de obtener aprobaciones RNP 4 a aquellos operadores que no las tienen.

El concepto presentado en el SAT20 fue aceptado y para el SAT21 se seguirían 2 fases:

- ✕ Fase 1. Implementación de RNP 10. Proporcionar una táctica de aplicación para la separación longitudinal de RNP 10 estableciendo segmentos para períodos de baja demanda. Cada estado debe determinar sus gastos y beneficios aplicando su reglamento de seguridad interno. Esto quiere decir que no se debe realizar un estudio global.
- ✕ Fase 2. Proponer FL preferentes para aquellas aeronaves que dispongan de FANS. Esta fase debe iniciarse una vez finalizado el análisis de conclusiones de la fase 1.

Hasta que este concepto no se implemente en este corredor, se realizan vuelos con rutas aleatorias. Igualmente, existen una serie de rutas a seguir, tanto en procedimientos normales como en emergencias ya prefijados, mostrados a continuación:

<b>Ruta</b>	<b>Waypoints</b>	<b>FL</b>	<b>Dirección</b>	<b>Emergencia</b>
UN741	ROSTA NORED EDUMO GAMBA KENOX SAGRO DIGUN NANIK DIKEB OUGSO JOBER	300 340 360 380	Sur	No
UN873	BAROK BENTU NEVEL MITLA SAMAR GDV LIMAL ISOKA IPERA CVS POMAT SAGMA ASEBA TASIL ORARO SALPU INTOL FEMUR IBAGA NTL RODES SEVIL ISUSO VACAR EVPAB AVILA TOMAS ADOLF BORPA KOGBU KODSA DEDOR ELEFA GONZA BUXER FERMA MORGA EVPAD	300 340 360 380	Sur	Sí
UN866	MAGNO SAKSI OBKUT DEKON BUXON NELTO AMDOL IREDO TENPA USOTI APASO ORVEK GOMER BRICK GURKA KONBA LUPEX KUBIL BEXAL	290 330 350 370 390	Norte	No
UN857	BIDEV IRUMI ESLIB MEDIT RUBEN AMBET FNQ NEURA PUGUN NOISE ERUTU MARAO DELAX BOTNO ORABI GUNET ETIBA BIPET DEREV LZR TERTO VEDOD	290 330 350 370 390	Norte	Sí
UL 206	REGIS ARUNA BUTAP KODOS TAROT	370	Norte	Sí
UL 375	BUXIR OSEPA BOLUM USENA BUTOG ETAXO Siset LOKIM ISUPA ETIMO UDIGA ARUNU DIGOR PUGSA NOISE BODAK ORARO OBKUT DIKEB EGIMI	320 / 310	Oeste / Este <sup>15</sup>	No
UA 611	ONTAR BOSNI ITPIK AVIGI EGOLI EGNOS APRAS BUTOG ILGER EKALO TENIG LOBIK KIGOL	260 300 / 270 370	FIR Luanda a América del sur / viceversa	No
UL 224	VULGO ROKAD CIDER ITMEK APKIN ITGIV GERAM ETULA ITMEK	270 370 / 280 360 380	América del sur a Johannesburgo FIR / viceversa	No

Tabla 3. Rutas predefinidas del corredor Europa-América del sur.

<sup>15</sup> Orden inverso de los waypoints.

## 2.2 Elección de la aeronave

Una vez conocida la normativa a aplicarse para la realización de operaciones aéreas ETOPS, es hora de escoger la aeronave con la que se va a realizar la ruta. El presente apartado se ha estructurado de la siguiente manera:

- ✈ Comparación de distintas aeronaves ETOPS. Se presenta el abanico de aeronaves que cumplen con esta normativa junto a sus especificaciones.
- ✈ Estudio de las flotas de las principales aerolíneas. Se analiza que modelos son los más usados entre las principales aerolíneas que ofrecen vuelos transatlánticos conectando Europa con América. Se realiza con el fin de observar las tendencias actuales del mercado y las apuestas, en cuanto a modelos de aeronaves se refiere, de las aerolíneas hoy en día.
- ✈ Estimación de costes operativos. A partir de las aeronaves comparadas en el primer apartado, se realiza una estimación de los costos operativos de cada una de ellas.
- ✈ Selección final. A partir de la realización del método OWA con diferentes características recogidas en el primer apartado y con los costes estimados en el tercer apartado, se escoge la aeronave utilizada finalmente.

### 2.2.1 Comparación de distintas aeronaves ETOPS

Como aparece reflejado en la introducción, uno de los requisitos a aplicar es el uso de un avión bimotor. A partir de esta premisa, se realiza un estudio de las aeronaves bimotoras disponibles en el mercado.

El primer paso consiste en localizar a los grandes fabricantes que se dedican a la aviación comercial de hoy en día. Se han excluido los modelos de los fabricantes que han dejado de producir actualmente, por considerarse esto último motivo suficiente para no ser considerados. Las famosas marcas de antaño absorbidas hoy día por la competencia tampoco aparecen (p. ej. McDonnell Douglas fue absorbida por Boeing en 1997), pero esto no implica que más adelante no aparecerán sus modelos.

Aquí se muestran los más conocidos ordenados alfabéticamente:

- ✈ Airbus (FRA)
- ✈ Boeing (USA)
- ✈ Bombardier (CAN)
- ✈ Embraer (BRA)
- ✈ United Aircraft Corporation (RUS)

En estos fabricantes, al igual que en otros tantos no mencionados, podemos localizar un buen número de aeronaves que han sido certificadas para la realización de operaciones ETOPS. Analizarlas todas es innecesario, pues algunas de estas son simplemente jets privados, pequeñas

aeronaves para vuelos *charter* y regionales o aeronaves que, por el objetivo de sobrevolar el Atlántico, no serían capaces de cruzar el *gran charco*. Es por eso que de todos los aviones que podrían compararse, se decide optar por aquellos pertenecientes a los 2 grandes fabricantes de aeronaves: Airbus y Boeing. Los aviones bimotores con certificación ETOPS de estos fabricantes son:

- ✈ Airbus A220
- ✈ Airbus A300
- ✈ Airbus A310
- ✈ Airbus A318
- ✈ Airbus A319
- ✈ Airbus A320
- ✈ Airbus A321
- ✈ Airbus A330
- ✈ Airbus A350
- ✈ Boeing 737
- ✈ Boeing 757
- ✈ Boeing 767
- ✈ Boeing 777
- ✈ Boeing 787

Para sobrevolar el Atlántico se estima un mínimo y un máximo de kilómetros a recorrer:

- ✈ Mínimo: 5400 km. Estimación realizada conectando Lisboa y Nueva York.
- ✈ Máximo: 14000 km. Estimación realizada conectando Moscú y Santiago de Chile.

A partir de la autonomía máxima de las aeronaves enumeradas anteriormente, los Airbus A220, A300, A310, A318, A319, A320 y A321, y los Boeing 737 y 757 limitarían mucho el amplio abanico de rutas posibles conectando Europa y América, pues son aeronaves que difícilmente superan los 7000 km de alcance con carga máxima, a excepción del A310. El A310 ha sido descartado porque, en comparación con las aeronaves escogidas a comparar, es palpable la diferencia en cuanto a especificaciones se refiere. Por lo tanto, las aeronaves escogidas para la comparación son los Airbus A330 y A350 y los Boeing 767, 777 y 787.

Cada una de estas familias de aeronaves tiene diferentes designaciones, surgidas a raíz de rediseños, nuevas mejoras introducidas con el tiempo... Estas designaciones, a su vez, presentan diferentes modelos en sus filas. No se han incluido aquellos modelos que aún no han efectuado su primer vuelo comercial. Se cree conveniente aplicar una serie de criterios de selección, a fin de reducir a 1 el número de candidatos por parte de cada una de las distintas designaciones de cada familia. Los criterios de selección son los siguientes<sup>16</sup>:

1. Modelo de la familia con un mayor MTOW.
2. Modelo de la familia con un mayor MZFW.

Las *tablas* del anexo 2.1 muestran la comparativa de los modelos estudiados.

---

<sup>16</sup> En el caso de coincidir el criterio número 1, se pasa al criterio número 2.

## 2.2.2 Estudio de las flotas de las principales aerolíneas

Se procede a analizar las flotas usadas para vuelos transatlánticos por las aerolíneas más relevantes. En las tablas del anexo 2.2 se muestran diferentes aerolíneas estudiadas y los diferentes modelos de aeronaves que utilizan para la realización de trayectos de medio y largo alcance. Se indica el modelo de la familia y el valor mostrado es el correspondiente a aeronaves en propiedad/de *leasing* en activo, mientras que entre paréntesis se indica si existe algún pedido por realizar. El asterisco indica que van a ser próximamente sustituidos por otros modelos. Se realiza el estudio de las aerolíneas con mayor volumen de pasajeros transportados en todo el mundo, independientemente de su zona de operación, pues el único objetivo de esta tabla es encontrar que aviones de los comparados son los más operados. Cabe esperar que se observen 2 tendencias: la primera es como las aerolíneas están introduciendo los últimos modelos que se han introducido en el mercado y el éxito de los mismos. La segunda, es ver como aquellos modelos que llevan más años operando se mantienen en flota o si su presencia está mermando.

De la primera tabla del anexo 2.2 se pueden extraer una serie de conclusiones:

- ✕ Los modelos A330-800neo y A330-900neo, el segundo de ellos siendo lanzado al mercado por TAP Portugal, no presenta un elevado número de pedidos en activo entre las principales aerolíneas. El primero de ellos de hecho, no presenta ningún pedido por parte de las grandes aerolíneas.
- ✕ Los modelos de la familia 767 de Boeing son los que están presentando una mayor tendencia a ir siendo retirados gradualmente, estando ya inactivos en muchas de las aerolíneas estudiadas.
- ✕ Los modelos de la familia A350 se están introduciendo poco a poco en el mercado. Sumando los pedidos, la serie 900 tiene más mercado que los A330 por separado.
- ✕ Los modelos de las familias A330-200, A330-300 y los Boeing 777 siguen estando presentes en las aerolíneas hoy en día, copando en la mayoría de situaciones el mayor número de aeronaves en activo de las mismas.
- ✕ Los modelos de la familia Boeing 787 *Dreamliner* gozan de una buena aceptación, sobre todo los modelos que se han introducido hace mayor tiempo en el mercado (8 y 9). El 787-9 es la segunda aeronave del mercado con un mayor número de aviones en activo y pedidos entre las mayores aerolíneas. Solo la supera el Boeing 777-300ER en aeronaves en activo y el A350-900 en número de pedidos.

Estos datos pueden informarnos acerca de las tendencias del mercado actual, pero se cree conveniente realizar adicionalmente un estudio acerca del número de pedidos y entregas que han tenido cada una de las aeronaves estudiadas en los últimos años:

	Primer año de entregas	Pedidos	Pedidos en 2018	Pedidos desde 2014	Entregas	Entregas en 2018	Entregas desde 2014 <sup>17</sup>
Airbus A330-200	1998	665	6	474	633	14	109
Airbus A330-300	1993	789	3		765	32	268
Airbus A330-800neo	-	8	2		-	-	- <sup>18</sup>
Airbus A330-900neo	2018	230	16		3	3	3*
Airbus A350-900	2014	724	39	82	221	79	235
Airbus A350-1000	2018	170	1		14	14	
Boeing 767-200ER	1984	121	0	0	121	0	
Boeing 767-300ER	1988	583	0	0	583	0	
Boeing 767-400ER	2000	38	0	0	38	0	
Boeing 777-200ER	1997	422	0	0	422	0	0
Boeing 777-200LR	2006	60	1	1	59	0	3
Boeing 777-300ER	2004	844	13	123	799	32	347
Boeing 787-8	2011	444	26	53	360	10	246
Boeing 787-9	2014	790	105	352	406	120	406
Boeing 787-10	2018	169	0	40	15	15	15*

Tabla 4. Pedidos y entregas efectuados según modelo. [27][28]

A partir de esta tabla, podemos concluir lo siguiente:

- ✘ Tanto la familia Boeing 767, como los Boeing 777 de la serie 200 han caído en desuso. Esto se debe a que, de los mostrados anteriormente, son la flota que más años lleva en activo.
- ✘ En la familia Boeing 787, a excepción de la serie 10 que se introdujo a finales de 2018, la serie 9 es claramente preferible a la serie 8.

<sup>17</sup> El asterisco significa que ese modelo no lleva 5 años entregándose y por lo tanto el valor de esta columna carece de interés.

<sup>18</sup> Se excluye por no haber sido implementado aún en el mercado.

- ✘ Los Airbus A330-200 y 300, a pesar de llevar más de 20 años en el mercado, siguen gozando de una buena cartera de clientes. Igualmente, la inclusión de los nuevos modelos parece tener buena acogida en el mercado.
- ✘ La familia Airbus A350 parece, a priori, el mayor competidor contra la serie 787 de Boeing.

A partir de estas conclusiones y de las extraídas de la *Tabla 23*, se marcan en verde aquellos aviones que se prevé tienen mayor posibilidad de ser escogidos como el que va a operar la ruta a proponer.

### 2.2.3 Estimación de costes operativos

A partir de la información recabada en el apartado 2.2.1 y de las conclusiones que se han podido extraer en el apartado 2.2.2, se decide finalmente realizar una estimación de los costes operativos de los siguientes modelos:

- ✘ Airbus A330-200
- ✘ Airbus A330-300
- ✘ Airbus A330-900neo
- ✘ Airbus A350-900
- ✘ Airbus A350-1000
- ✘ Boeing 777-200ER
- ✘ Boeing 777-300ER
- ✘ Boeing 787-8
- ✘ Boeing 787-9
- ✘ Boeing 787-10

Previo a la estimación de costes, es necesario plantear qué costes se asocian a la adquisición de una aeronave. Estos serían:

1. Costes directos: dentro de este tipo de costes, se incluye el precio de la aeronave, combustible, mantenimiento, tripulación, tasas aeroportuarias, servicios a los pasajeros, servicios de *handling*, seguros, intereses, depreciación y amortización.
2. Costes indirectos: dependen de la compañía.

De todos los costes que se pueden asociar a una aeronave, para realizar la estimación de costes hay algunos de los que se puede prescindir, pues su valor sería igual para todos los modelos propuestos. Por eso, de todos los nombrados anteriormente, se tienen en cuenta:

- ✘ Precio de la aeronave
- ✘ Combustible
- ✘ Tripulación
- ✘ Mantenimiento
- ✘ Tasas aeroportuarias y de ruta

Además, para ser una comparación justa debe realizarse para una misma ruta y en las mismas condiciones. Para el caso estudiado, se toma la ruta Barcelona – Nueva York, de 6146 km a la velocidad de crucero propuesta en las tablas de 2.2.1, tomando el consumo que se ha calculado anteriormente.

Después de realizar todas las estimaciones en el anexo 2.3, se procede a la suma final de los costes en la *tabla 5*.

Modelo	Coste (\$/h)	Coste <sup>19</sup> (\$/h)
A330-200	14229,25	<b>6605,25</b>
A330-300	15750,07	<b>7304,53</b>
A330-900neo	16099,90	<b>6625,04</b>
A350-900	16907,97	<b>6266,89</b>
A350-1000	18920,51	<b>6633,31</b>
777-200ER	17350,89	<b>7568,99</b>
777-300ER	19945,96	<b>7826,39</b>
787-8	14231,16	<b>6218,5</b>
787-9	15631,07	<b>6190,21</b>
787-10	17821,02	<b>6898,32</b>

**Tabla 5. Costes por hora de los diferentes modelos.**

## 2.2.4 Selección final

Con las especificaciones de 2.2.1, el estudio de las flotas rivales de 2.2.2 y la estimación de costes de 2.2.3, se procede a la selección final de la aeronave que va a operar la ruta a diseñar a partir de un método OWA. Se supone un factor de ocupación del 100 % y el uso de los modelos con el MOPSC. El procedimiento a seguir para la realización de este método es:

1. Definir los factores a considerar en el método
2. Asignar un peso a cada uno de los factores considerados (W)
3. Asignar un ratio a cada uno de los candidatos considerados, para cada factor (P)
4. Calcular el peso relativo a partir de la siguiente ecuación:

$$Peso\ relativo = P_i * W_i$$

5. Sumar todos los pesos relativos y dividir por la suma de los pesos y la mayor ratio posible

$$OWA = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * W_i}{P_{max} * \sum_{i=1}^n W_i}$$

El primer paso es decidir qué factores tendremos en cuenta para el análisis. Estos serán:

---

<sup>19</sup> Esta columna muestra la suma de los costes en mantenimiento, combustible y tripulación. Al suponer que la aeronave se paga en 6 años, aquellas de mayor valor suman una mayor cantidad y el coste total puede llevar a confusión.

- ✈ Los costes por hora de la *tabla 5*, los que no tienen en cuenta el precio de la aeronave
- ✈ El coste por hora de la aeronave de la *tabla 23* del anexo
- ✈ Los costes por asiento/pasajero, que se calcula más adelante con la ruta propuesta
- ✈ Los costes por km, que se calcula más adelante con la ruta propuesta
- ✈ El consumo por hora, que se calcula más adelante con la ruta propuesta
- ✈ El alcance máximo
- ✈ El MTOW
- ✈ El número máximo de pasajeros
- ✈ La máxima velocidad
- ✈ El número de aeronaves de la competencia

Ahora que se han definido los factores, se les debe asignar un peso a cada uno de ellos. Se proponen los siguientes factores:

Factor	Peso
\$/h	50
\$/h (aeronave)	20
\$/PAX	50
\$/km	50
Consumo/h	25
Alcance	10
MTOW	20
PAX	10
Máxima velocidad	25
Aeronaves competencia	5
<b>Total</b>	<b>265</b>

Tabla 6. Peso dado a cada factor. [47]

Una vez dado los pesos a cada uno de los factores, es hora de poner las ratios. Se decide poner el máximo ratio (el mejor) en 10, y a partir de reglas de 3, inversas o directas según correspondan, calcular el resto. El método OWA se desarrolla en el anexo 2.4. Los resultados obtenidos son:

Modelo	OWA
Boeing 787-9	0,9563
Airbus A350-900	0,9422
Boeing 787-8	0,9399
Airbus A330-200	0,8972
Airbus A330-900neo	0,8869
Airbus A350-1000	0,8806
Boeing 787-10	0,8671
Airbus A330-300	0,8450
Boeing 777-300ER	0,8344
Boeing 777-200ER	0,8146

Tabla 7. Resultados del método OWA.

De estos resultados, se pueden obtener conclusiones bastante interesantes:

- ✘ Se puede apreciar que, con diferencia, las aeronaves más adecuadas a elegir por una aerolínea que desee adquirir un modelo hoy en día son los modelos de las nuevas series, el Airbus A350 y el Boeing 787. Un poco más abajo se encuentran los modelos 1000 y 10 de estas series, respectivamente, ya que llevan un menor tiempo en el mercado y no se han estabilizado.
- ✘ En segunda línea, podemos observar que los modelos “antiguos” de Airbus tienen un mejor resultado en líneas generales que los de Boeing, sobre todo los modelos 200 y 900 de la serie A330.
- ✘ Sorprende ver en penúltima posición al Boeing 777-300ER, el más utilizado actualmente por las aerolíneas.

La decisión final debe estar entre los 2 modelos del Boeing 787, el 8 y el 9, y el Airbus A350-900. Para acabar de decantarnos entre ellos, nos centraremos en los aspectos más importantes a tener en cuenta. Estos son los más ponderados en el OWA, que eran:

- ✘ \$/h
- ✘ \$/PAX
- ✘ \$/km

Si contamos solo con estos aspectos, el OWA quedaría de la siguiente manera:

Modelo	$P_i \cdot W_i$ (\$/h)	$P_i \cdot W_i$ (\$/PAX)	$P_i \cdot W_i$ (\$/km)	$\sum_{i=1}^n P_i * W_i$	$\sum_{i=1}^n W_i$	OWA
A350-900	4939	5000	4942,5	14881,5	150	0,9921
787-8	4977,5	4363	4978	14318,5	150	0,9546
787-9	5000	4831,5	5000	14831,5	150	0,9889

Tabla 8. Resultados del método OWA específico.

De esta nueva aplicación del método OWA podemos extraer que el avión a seleccionar debe ser o el Airbus A350-900 o el Boeing 787-9. Se procede a analizar por puntos, a partir de los resultados de las *Tablas 53 y 54*, así como de las especificaciones de ambos:

- ✘ Como se ha comprobado, el Airbus A350-900 tiene un menor número de costes operativos. En cambio, costaría unos 318 millones de \$, a diferencia del Boeing 787-9, que costaría unos 281.
- ✘ En este último OWA no se ha tenido en cuenta el consumo: en este aspecto, el Boeing 787-9 presenta mejores prestaciones.
- ✘ En cuanto a pedidos, el Boeing 787-9 ha recibido 790 frente a los 724 del Airbus A350-900. En las principales aerolíneas, hay más de 200 Boeing con respecto al número de Airbus, pero también Airbus tiene más de 130 pedidos de diferencia con su competidora.
- ✘ El alcance de ambos es similar: 15000 el Airbus, 14140 el Boeing. Para el propósito buscado, cualquiera de los 2 sirve. Por lo tanto, no parece necesario pagar de más por los casi 1000 kilómetros extra de autonomía que ofrece Airbus respecto a su rival.
- ✘ Finalmente, la capacidad de asientos: a pesar que el Airbus tiene un MOPSC mayor que el Boeing, su configuración típica de asientos para una clase no supera a la de su rival. Esto implica, además, que el valor en la *tabla 54* para \$/PAX cambiase, incrementando su valor el Boeing y disminuyéndolo el Airbus.

A partir de este último análisis, se decide que la aeronave a comprar o alquilar (esto se decidirá más adelante) sea el Boeing 787-9. La *Tabla 55* recoge todas las especificaciones que puedan ser de utilidad, extraídas de [26], [32] y [44]. Antes de presentarla, es conveniente hablar de los motores. Este modelo puede volar con 2 motores distintos: el GE GENx-1B de General Electrics y el RR Trent 1000 de Rolls Royce. Ambos son evoluciones de otras series e incorporan una serie de incorporaciones tecnológicas respecto a los usados con anterioridad. En el caso del GE GENx-1B<sup>20</sup>, las innovaciones tecnológicas incorporadas son [48]:

- ✘ Combina el composite utilizado en las palas del turbofan del modelo GE90 con los últimos avances en aerodinámica de barrido.
- ✘ Utiliza un composite de nueva generación, capaz de reducir considerablemente el peso de la aeronave.
- ✘ Reducción importante de las emisiones producidas a partir de una mejora en el sistema de combustión. Esto a su vez, permite alargar la vida útil de las turbinas.
- ✘ Presenta unos *coolers* en la superficie que ayudan a rechazar el calor proveniente del aceite utilizado en el motor.
- ✘ En las últimas 2 etapas, de las 7 de baja presión que presenta la turbina, cuenta con palas de titanio y aluminio, reduciendo así el peso respecto a las aleaciones de níquel tradicionales. Esta reducción de peso se estima en unas 400 lbs.
- ✘ El empuje en el despegue es de 74100 lbf, que se corresponde con unos 330 kN.
- ✘ De los pedidos en activo que tienen los B787, más de la mitad de ellos se corresponden a este modelo.

En el caso del RR Trent 1000, las innovaciones más destacables son:

- ✘ Evolución de la aerodinámica de palas respecto a su predecesor, el Trent 900.
- ✘ Presencia de *coolers* en la superficie, con el mismo propósito que el explicado para el GENx-1B.
- ✘ Se beneficia de la arquitectura *three-spool*. Este diseño le proporciona una mayor operatividad al motor a potencias bajas, así como un menor gasto de combustible.
- ✘ El B787 tiene todos los sistemas eléctricos. Esto requiere que no se utilice aire comprimido de los motores. Este motor, hasta los 500 kW de potencia, extrae ese aire para la utilización de los sistemas de la aeronave.
- ✘ El bypass ratio es de 10:1, el mayor valor ofrecido jamás por este fabricante. Se estima que un 85% del empuje generado por el motor lo realiza el ventilador de 2.8m de diámetro. Además, este alto valor del bypass permite al motor ser el menos notorio en cuanto a comportamiento se refiere.
- ✘ Tiene un sistema avanzado de protección contra el hielo, permitiendo así reducir la carga operacional en los ambientes más fríos.
- ✘ La turbina de alta presión se ha diseñado con 2 notorios avances: el primero de ellos un sistema de enfriamiento adaptable, que permite reducir la cantidad de combustible a quemar, proporcionando así una mejor *performance* del motor. El segundo, es un sistema de enfriamiento adaptable que ayuda a incrementar el empuje producido, así como la eficiencia del mismo.

---

<sup>20</sup> Los puntos desarrollados para este motor y el Rolls Royce se han extraído del *aeromagazine* de Boeing, 2012 q3, así como de las webs de ambos fabricantes.

- ✈ El empuje varía según los modelos. El de despegue, varía entre 277 kN y 360 kN.
- ✈ El 33% de los pedidos actuales de B787 montan estos motores. El porcentaje restante, está por decidir.

Acudiendo a [49], el mercado asiático, que copa un 35 % de las órdenes de bimotores a nivel mundial, ha ordenado más de 250 unidades de diferencia de motores GE respecto a los RR. Además, de acudir a [28], se observa que los pedidos a Boeing con motores GE prácticamente doblan a los de RR. Por lo tanto, se decide montar motores General Electrics. Concretamente, el modelo es el GEnx-1B74/75 y sus especificaciones se pueden consultar en [50].

<b>Boeing 787-9</b>	
Tripulación de cabina	2
TCP	6 - 9
Asientos máximos	420
Asientos con 3 clases <sup>21</sup>	<i>Tabla 56</i>
Asientos con 2 clases <sup>22</sup>	<i>Tabla 57</i>
Asientos con 1 clase	406
MTW (kg)	254692
MTOW (kg)	254011
MLW (kg)	192777
MZFW (kg)	181437
OEW (kg)	128850
Capacidad de fuel (L)	126372
Velocidad de crucero (km/h) (M)	903 / 0,85
Velocidad máxima (km/h)	956 / 0,9
Rango (km)	14140
Carrera de despegue <sup>23</sup> (m)	2800
Techo de vuelo (ft)	43100
<i>Performance</i> clase	A
Motores	GEnx-1B74/75
Empuje en el despegue (kN)	341,2
Empuje máximo continuo (kN)	305,1
Pendiente máxima de la pista (%)	±2
Certificación ETOPS	330

**Tabla 9. Especificaciones del Boeing 787-9.**

Al existir un gran abanico de opciones en elegir asientos de 3 clases, se realiza una comparativa con los modelos cotejados y se extrae un **valor medio**. La comparativa se realiza con los modelos de las aerolíneas que tienen Boeing 787-9 en sus flotas, amén de otras aerolíneas con menor volumen de pasajeros, que no fueron estudiadas ahí pero tienen este modelo en su flota:

<sup>21</sup> Existen muchas configuraciones diferentes para 3 clases. [51]

<sup>22</sup> Existen muchas configuraciones diferentes para 2 clases. [51]

<sup>23</sup> Con MTOW a condiciones ISA.

Aerolínea	3ª clase	2ª clase	1ª clase
Aeroméxico	211	38	27
Air Canada	247	21	30
Air China	229	34	30
Air France	225	21	30
Air New Zealand	215	33	27
	263	21	18
Air Tahiti Nui	232	32	30
ANA	146	21	48
	192	14	40
American Airlines	234	21	30
British Airways	127	39	50
EL AL	222	28	32
Etihad Airways	195	28	8
Japan Airlines	116	35	44
	116	52	35
KLM	216	48	30
Korean Air	247	18	6
LATAM	232	51	30
LOT Polish Airlines	249	21	24
Qantas	166	28	42
United Airlines	116	88	48
Vietnam Airlines	211	35	28
Virgin	198	35	31
WestJet	276	28	16
<b>MEDIA</b>	<b>203</b>	<b>33</b>	<b>31</b>

Tabla 10. Posibles configuraciones de 3 clases en el Boeing 787-9.

Al ocurrir lo mismo con la configuración para 2 clases, se repite el procedimiento. En este caso el problema es que, algunos modelos ofertan asientos de 3ª y 2ª clase, mientras que otros lo hacen de 1ª y de 3ª:

Aerolínea	3ª clase	2ª clase	1ª clase
ANA	377	18	-
Etihad Airways	271	28	-
Gulf Air	256	26	-
Hainan Airlines	258	30	-
Norwegian Air	288	-	56
	315	-	35
	309	35	-
Oman Air	258	30	-
Saudi Arabian Airlines	274	24	-
Scoot Airlines	330	45	-
Thai Airways	268	30	-
Thomson Airways	282	63	-
Vietnam Airlines	283	-	28
Xiamen Airlines	260	30	-
<b>MEDIA</b>	<b>288</b>	<b>26</b>	<b>9</b>

Tabla 11. Posibles configuraciones de 2 clases en el Boeing 787-9.

Este valor medio de configuración de 3 y 2 clases será el que se toma para la siguiente comparación. En verde, aparecen aquellos valores que más se repiten en cada tipo de clase.

El último aspecto que falta por conocer sobre la aeronave a utilizar es la configuración de sus asientos. Para ello, se hace un análisis de los beneficios que se obtendrían en las 3 posibles situaciones. Es necesario definir una serie de precios para el vuelo propuesto. En este caso y por disponibilidad de datos, la ruta realizada para los cálculos es un Pekín-Shanghái. Estos precios vienen dados en euros, son los mostrados a continuación y se han obtenido a partir de realizar la media aritmética de 4 compañías escogidas al azar a través de [51]<sup>24</sup> :

✈ Precio por asiento de tercera clase:

Shanghai Airlines	Air China	China Southern	Hainan	Media
76	200	124	201	<b>150</b>

Tabla 12. Precio medio de un billete de tercera clase.

✈ Precio por asiento de segunda clase:

Shanghai Airlines	Air China	China Southern	Hainan	Media
446	200	183	-	<b>276</b>

Tabla 13. Precio medio de un billete de segunda clase.

✈ Precio por asiento de primera clase:

Shanghai Airlines	Air China	China Southern	Hainan	Media
641	742	456	744	<b>646</b>

Tabla 14. Precio medio de un billete de primera clase.

Si juntamos los datos de las *tablas 57, 58 y 59* y con los datos de asientos de las *tablas 55 y 56*, obtenemos los siguientes resultados:

Configuración	Asientos 1ª	Asientos 2ª	Asientos 3ª	Beneficios (€)
Asientos máximos	-	-	420	<b>63000</b>
1 clase	-	-	406	<b>60900</b>
2 clases <sup>25</sup>	288	26	9	<b>56190</b>
3 clases	203	33	31	<b>59584</b>

Tabla 15. Comparación de beneficios según configuración de clases.

<sup>24</sup> La consulta se efectúa en vuelos del 23 de febrero, sin escalas.

<sup>25</sup> Al hacerse una media con todas las aerolíneas, por el motivo dado anteriormente, aparecen asientos de las 3 clases.

Viendo los resultados obtenidos, se puede concluir que la configuración que reporta unos mayores beneficios es la que equipa 3 clases y la clase única. Hay que añadir las tarifas propuestas se han basado en viajes nacionales y de menor duración, que implica una menor necesidad de comodidad por parte de los pasajeros. En cambio, el que hay a realizar como mínimo presentará una duración de unas 7 horas y ahí se puede jugar con las tarifas de los asientos más valorados. Para acabar de decidirnos entre ambas opciones, se calculan los beneficios reportados a partir de los precios de las *tablas 58, 59 y 60* obtenemos para cada una de las configuraciones propuestas:

Aerolínea	3ª clase	2ª clase	1ª clase	PAX	Beneficios (\$)
Aeroméxico	211	38	27	276	59580
Air Canada	247	21	30	298	62226
Air China	229	34	30	293	63114
Air France	225	21	30	276	58926
Air New Zealand	215	33	27	275	58800
	263	21	18	302	56874
Air Tahiti Nui	232	32	30	294	63012
ANA	146	21	48	215	58704
	192	14	40	246	58504
American Airlines	234	21	30	285	60276
British Airways	127	39	50	216	62114
EL AL	222	28	32	282	61700
Etihad Airways	195	28	8	231	42146
Japan Airlines	116	35	44	195	55484
	116	52	35	203	54362
KLM	216	48	30	294	65028
Korean Air	247	18	6	271	45894
LATAM	232	51	30	313	68256
LOT Polish Airlines	249	21	24	294	58650
Qantas	166	28	42	236	59760
United Airlines	116	88	48	252	72696
Vietnam Airlines	211	35	28	274	59398
Virgin	198	35	31	264	59386
WestJet	276	28	16	320	59464

Tabla 16. Elección de la mejor configuración de asientos.

En verde, se marcan aquellas configuraciones que tienen un valor superior a la configuración con una única clase y a la configuración de MOPSC. En amarillo, aquellas que sobrepasan los beneficios de una única clase pero no de MOPSC. De la *tabla 62* se concluye:

- ✘ Se puede observar que de las 5 configuraciones que sobrepasan a los beneficios de clase única, en 4 de ellas se tienen 30 asientos de primera clase/*business*. Este número es el elegido para asientos de esta 1ª clase.
- ✘ La configuración de United Airlines, pese a ser la que mayores beneficios reporta, va a ser descartada. Aún no se conoce la ruta, con lo que es muy probable que resulte más ventajoso ofertar asientos de 3ª clase que de 1ª y 2ª. Esta configuración presenta 20 asientos más de 1ª y de 2ª que de 3ª, una estrategia difícil de entender a menos que el nivel adquisitivo de tus clientes sea bastante elevado.

- ✈ Del resto de aerolíneas en verde tenemos: Air China, Air Tahiti Nui, KLM y LATAM, seguidos de cerca por Air Canadá. A pesar de que LATAM es una compañía que opera entre Europa y América del sur, lo cuál nos resulta interesante, el hecho de tener más de 300 pasajeros significa incorporar 1 miembro extra a la tripulación. Además, implica tener un mayor MTOW, y por lo tanto pagar unas tasas en los aeropuertos mayores. Así pues, de las 4 opciones restantes, todas por debajo de los 300 pasajeros, se decide tomar la de KLM.

Finalmente, las especificaciones del modelo elegido y las usadas a partir de ahora son las mostradas en la *tabla 63*. No se incluyen los costes operativos estimados, pues se hicieron como una estimación inicial y se concretarán mejor cuando convenga (apartado 2.7):

<b>Boeing 787-9</b>	
Precio (mill. \$)	281,6
Tripulación de cabina	2
TCP	6
Asientos	294 (216 – 48 – 30)
MTW (kg)	254692
MTOW (kg)	254011
MLW (kg)	192777
MZFW (kg)	181437
OEW (kg)	128850
MPL (kg)	52587
Capacidad de fuel (L)	126372
Velocidad de crucero (km/h) (M)	903 / 0,85
Velocidad máxima (km/h)	956 / 0,9
Rango (km)	14140
Techo de vuelo (ft)	43100
<i>Performance</i> clase	A
Motores	GEnx-1B74/75
Empuje en el despegue (kN)	341,2
Empuje máximo continuo (kN)	305,1
Carrera de despegue <sup>26</sup> (m)	2800
Pendiente máxima de la pista (%)	±2
Certificación ETOPS	330

**Tabla 17. Especificaciones del modelo del Boeing 787-9 escogido.**

<sup>26</sup> Con MTOW a condiciones ISA.

## 2.3 Selección de la ruta

Una vez conocido el vehículo a usar, es hora de escoger el trayecto. En esta sección se escogen los aeropuertos de llegada y salida, elegidos concienzudamente a partir de un análisis de rutas realizado entre los vuelos que operan entre Europa y América. Ya conocidos los puntos de origen y final de la ruta se pasa a estudiar los aeropuertos alternativos e intermedios. Básicamente se trata de:

- ✈ Estudio de las rutas existentes entre Europa y América. Analizar qué rutas operan las aerolíneas con mayor tráfico de pasajeros, la frecuencia con las que se realizan, las rutas estacionales existentes y las futuras rutas que se tiene constancia empezarán a operar a lo largo de los próximos meses. Esto se realizará una vez encontrados aquellos aeropuertos considerados más apropiados o interesantes a analizar.
- ✈ Elección de los aeropuertos de origen y destino. Con los datos disponibles del estudio anterior, se realiza un análisis para ver qué posibles rutas podrían generar una mayor cantidad de beneficios, ya sea por falta de existencia o por una necesidad de incrementar el número de vuelos a la destinación en concreto.
- ✈ Elección de los aeropuertos alternativos e intermedios. Una vez se conoce la ruta, se estudian aquellos aeropuertos a lo largo de la misma que puedan seguir como aeropuertos de diversión ETOPS en caso de emergencia, así como los alternativos disponibles tanto en el de despegue como el de llegada.

### 2.3.1 Estudio de los aeropuertos europeos y americanos

La manera de proceder es la siguiente:

- ✈ Distribución en 4 apartados de la información a analizar referente a aeropuertos: una para aeropuertos europeos, otra para aeropuertos de Canadá y EEUU, otra para América Central y Caribe (México se incluye aquí) y la última para el continente sudamericano.
- ✈ Estudio de aerolíneas, destinos y frecuencia ofertados en cada uno de los aeropuertos considerados para tal.
- ✈ Preseleccionar una serie de rutas potenciales a analizar en 2.3.2

Para el primer paso, se localizan los aeropuertos con mayor tráfico de pasajeros/operaciones en Europa y América, así como el crecimiento experimentado por los mismos a lo largo de los últimos años. A partir de diversos órganos citados en la bibliografía de este documento, se presentan estadísticas anuales referentes al tráfico de pasajeros, de mercancía y de movimientos de aeronaves (operaciones de vuelo). De todos ellos, tomamos el tráfico de pasajeros y el número de operaciones comerciales como el criterio a utilizar, así como la variación porcentual respecto a los últimos años. Normalmente, un mayor crecimiento en tráfico de pasajeros u operaciones comerciales implica que el aeropuerto en cuestión toma una mayor importancia año tras año, así como una mayor demanda tanto por parte de los pasajeros, como del transporte de mercancías. Esto se traduce en la generación nuevas rutas.

Hay que tener en cuenta un pequeño apunte en el porcentaje de variación, pues es un dato bastante relativo y puede llevar a interpretaciones erróneas: a menor número de pasajeros mayor variación experimentas para un igual incremento de número total de pasajeros. Así pues, el global de pasajeros transportados también debe ser un factor a tener en cuenta.

### 2.3.1.1 Aeropuertos europeos

Para el caso de Europa, se comienza extrayendo datos de [53] y [54], ambos documentos de la ACI. La ACI es el órgano de donde ha decidido extraerse la información, pues es la asociación de aeropuertos internacionales a nivel europeo. Este organismo divide a los aeropuertos de Europa en 4 grandes grupos:

1. Aeropuertos con un tráfico de pasajeros anuales mayor a 25 millones. Si se observan detenidamente estos aeropuertos, todos ellos presentan vuelos internacionales hacia América.
2. Aeropuertos con un tráfico de pasajeros anuales de entre 10 y 25 millones. Si se observan detenidamente estos aeropuertos, la mayoría de ellos presentan vuelos internacionales hacia América.
3. Aeropuertos con un tráfico de pasajeros anuales de entre 5 y 10 millones. Si se observan detenidamente estos aeropuertos, hay un grupo reducido de ellos que presentan vuelos internacionales hacia América (la mayoría estacionales).
4. Aeropuertos con un tráfico de pasajeros anuales menor a 5 millones. Apenas se observan vuelos internacionales hacia América.

En la siguiente tabla se muestra cuánto supone eso a diario de media<sup>27</sup>:

	Mínimo (día-hora)	Máximo	Media
Grupo 1 +25 millones	68493 2854	201727 8405	135110 5630
Grupo 2 10 a 25 millones	27397 1441	68493 2854	47945 2148
Grupo 3 5 a 10 millones	13699 571	27397 1441	20548 712
Grupo 4 -5 millones	0	13699 571	6849 285

Tabla 18. Pasajeros promedio diarios y horarios en función del grupo de aeropuertos.

Teniendo en cuenta que las principales aeronaves comerciales:

Modelo	Mínimo	Máximo
A220	108	160
A318	107	117
A319	124	185
A319neo	124	156
A320	150	186
A320neo	185	230
A321	185	199
A321neo	185	185
A330	253	230
A340	261	293
A350	314	419
A380	480	550
B717	106	656
B727	180	117
B737	126	220
B737 MAX	138	204
B747-8	410	-
B757	200	243
B777	317	396
B787	242	300
<b>MEDIA 1</b>	<b>210</b>	<b>267</b>
<b>MEDIA 2</b>	<b>238</b>	

Tabla 19. Capacidad de todas las aeronaves comerciales en activo.

Esto implica que, relacionando las *tablas 18 y 19*:

- ✘ Grupo 1. De 12 a 35 aviones por hora
- ✘ Grupo 2. De 6 a 12 aviones por hora
- ✘ Grupo 3. De 2 a 6 aviones por hora
- ✘ Grupo 4. Menos de 3 aviones por hora

Se consideran aeropuertos sin interés aquellos del grupo 3 y grupo 4 pues no presentan destinos internacionales<sup>28</sup>. Para realizar la primera preselección de candidatos, se observan los aeropuertos de los grupos 1 y 2 en las *tablas 66 y 67*. Se muestra:

- ✘ Tráfico de pasajeros a lo largo de 2017 y 2018<sup>29</sup> extraídos de [53] para el año 2017 y de [56] para el año 2018, junto a su variación porcentual.
- ✘ Operaciones comerciales hasta noviembre de 2018 y su variación porcentual respecto al 2017 [54].
- ✘ Número de destinos internacionales (en suelo americano) que ofertan. [55]
- ✘ Los pasajeros se dan en millones (M) y las operaciones en cientos de miles (k)<sup>30</sup>.

<sup>28</sup> Excepciones: Glasgow, Keflavík y Nápoles.

<sup>29</sup> Datos hasta noviembre de 2018, los últimos disponibles en la web de la ACI.

<sup>30</sup> Aproximados a la baja hasta 4, a la alta a partir de 5.

- ✘ Aquellos aeropuertos con 0 destinos americanos no se muestran (numeración saltada).
- ✘ Aquellos aeropuertos con destinos estacionales americanos no se muestran.
- ✘ Los destinos entre paréntesis y marcados con \* son aquellos que, o bien se trata de rutas nuevas operativas, o bien se trata de rutas ya existentes donde nuevas aerolíneas han comenzado a operar.

Las tablas se recogen en el anexo 3.1. Entre ambas tablas, existen un total de 44 aeropuertos con destinos a otros países. Analizar todas las aerolíneas que vuelan cada una de las rutas encontradas de todos ellos supondría un esfuerzo innecesario, con lo cual se plantean una especie de conclusiones – restricciones para reducir el número de candidatos que hay. Los candidatos prescindibles se muestran en rojo en el anexo.

- ✘ **Aeropuertos con un decrecimiento en cuanto al número de pasajeros transportados o al número de operaciones realizadas**, independientemente de cuánto la variación y de la envergadura del aeropuerto en cuestión. Se cree que un dato así puede significar una pérdida de interés general por volar hacia ese destino, bien sea porque su rentabilidad está lejos de lo que era anteriormente o, por ejemplo, por la construcción de otro aeropuerto en las cercanías que esté atrayendo más a las aerolíneas.
- ✘ **Aeropuertos con un volumen de operaciones menor a 15 operaciones horarias**. Se realiza la siguiente tabla entre los aeropuertos seleccionados y se eliminan aquellos.
- ✘ **Aeropuertos con menos de 5 destinos internacionales hacia América**. La gran mayoría de los casos estudiados tan sólo presentan vuelos hacia EEUU o Canadá, un mercado bastante controlado por las aerolíneas bandera de ambos países.
- ✘ **Aquellos aeropuertos con más de 25 vuelos horarios o con un 11 % de crecimiento en cualquiera de ambos porcentajes (sin necesidad de cumplir con los 25 vuelos horarios)**. Esta restricción viene acorde con la idea de buscar aquellos aeropuertos que están experimentando mayores crecimientos en los últimos años.
- ✘ **Aeropuertos sin adición de nuevas rutas o incremento de aerolíneas que operan una ya operativa en 2019**. Aquellos aeropuertos con mejores expectativas de futuro seguro que tiene al menos 1 de estos nuevos aspectos.
- ✘ **Aeropuertos con un tráfico de pasajeros menor a los 70 millones aproximadamente**. Se considera que por encima de esa cifra la oferta ya es excesiva, siendo difícil encontrar un hueco a explotar, a excepción de la creación de una nueva ruta. El problema es el alto coste operativo que supondría operar en alguno de estos aeropuertos.<sup>31</sup>

Con todas estas restricciones, nos quedamos 9 candidatos. Para redondear y comparar al mismo nivel todos los continentes, se decide repescar a uno de esos restringidos para tener 10 aspirantes (las condiciones 1,3 y 6 han de cumplirse). El elegido sale de analizar el tráfico de pasajeros de estos aeropuertos entre 2014 y 2018, calculando su variación porcentual a lo largo de los últimos 5 años. Este cálculo también se encuentra en el anexo.

---

<sup>31</sup> Estos pasajeros, pese a no ser estudiados, servirán como pista para la creación de posibles nuevas rutas que si operan en estos destinos.

Finalmente, los 10 aeropuertos seleccionados a estudiar son los siguientes:

Aeropuerto	Código IATA	Código OACI
Adolfo Suárez Madrid-Barajas	MAD	LEMD
Josep Tarradellas Barcelona-el Prat	BCN	LEBL
Múnich	MUC	EDDM
Sheremétievo	SVO	UUEE
Leonardo da Vinci Fiumicino	FCO	LIRF
Copenhague	CPH	EKCH
Humberto Delgado Lisboa	LIS	LPPT
Viena	VIE	LOWW
Atenas Eleftherios Venizelos	ATH	LGAV
Varsovia Frederic Chopin	WAW	EPWA

**Tabla 20. Aeropuertos europeos seleccionados para analizar.**

En el anexo 3.1 se analizan los distintos aeropuertos, de manera que se estudia cada una de las rutas existentes: aerolíneas que la operan y frecuencia. Para facilitar la lectura, a partir de aquí al referirse al aeropuerto se hace a través de su código OACI. En ningún caso, y esto es válido a los análisis posteriores en 2.3.2, 2.3.3 y 2.3.4, se citan vuelos que efectúen una parada en su trayecto, es decir, vuelos que aterrizan en un aeropuerto intermedio donde pueden desembarcar pasajeros y luego continúan hasta el destino final.

### 2.3.1.2 Aeropuertos en Canadá y EEUU

Se procede de una manera similar a la propuesta en 2.3.1.1. En este caso, no se dispone del dato acerca de los pasajeros y operaciones para 2018 así que, se realiza una comparación global del número total de pasajeros transportados desde el 2014 hasta el 2017 [64][65]. No se han tenido en cuenta las operaciones aéreas porque se considera que sería un dato engañoso, pues debido a la extensión de ambos países se efectúan muchas operaciones domésticas. Estos datos se recogen en el anexo 3.2

Para reducir la cantidad de seleccionados a estudiar primeramente, se imponen una serie de restricciones muy similares a las propuestas para el caso europeo, pero adaptadas a las cifras norteamericanas:

- ✈ **Aeropuertos con 5 o más destinos internacionales hacia Europa.**
- ✈ **Aquellos aeropuertos con más del 15% de crecimiento.**
- ✈ **Aeropuertos con un tráfico de pasajeros menor a los 70 millones aproximadamente.**

Aplicando las restricciones (rojos en la *tabla 62* del anexo), nos quedan 10 candidatos a analizar:

- ✈ Aeropuerto de San Francisco (KSFO)
- ✈ Aeropuerto de Toronto-Pearson (CYYZ)
- ✈ Aeropuerto de Seattle-Tacoma (KSEA)
- ✈ Aeropuerto de Orlando (KMCO)
- ✈ Aeropuerto de Newark (KEWR)
- ✈ Aeropuerto de Boston-Logan (KBOS)
- ✈ Aeropuerto de Fort Lauderdale (KFLL)
- ✈ Aeropuerto de Vancouver (CYVR)
- ✈ Aeropuerto de Montréal (CYUL)
- ✈ Aeropuerto de Oakland (OAK)

Se realiza el mismo procedimiento realizado en 2.3.1.1 en adelante. En el caso de referirse respecto a una ruta anteriormente descrita (pese a tener un indicativo de vuelo diferente), no se muestra información detallada. Las tablas pueden encontrarse en el anexo 3.2

### 2.3.1.3 Aeropuertos en América central y el Caribe

En esta región se encuentran islas caribeñas y países de tamaño pequeño con un volumen de tráfico de pasajeros alejado de lo tratado hasta ahora. Operar vuelos en estas zonas obligaría a realizar operaciones estacionales o no diarias. En las siguientes 2 tablas se muestran los aeropuertos de México con más de 10 millones de pasajeros anuales y los principales de América central y el Caribe con más de 5 millones de pasajeros anuales. De cada una de estas tablas se realizan las selecciones oportunas. Los datos se han obtenido de [66],[67] y [68]. Si en estas fuentes faltaba algún dato ha sido extraído de los sitios webs de los organismos del estado correspondiente.

Aeropuerto	Código IATA	Código OACI	PAX 14	PAX 18	Variación	Dest
México DF	MEX	MMMX	34,3	47,7	42	8
Cancún	CUN	MMUN	17,5	25,2	44	15
Guadalajara	GDL	MMGL	8,7	14,3	64,4	0
Monterrey	MTY	MMMY	7,1	10,7	50,7	0

**Tabla 21. Aeropuertos de México según número de pasajeros.**

De esta primera tabla y acudiendo al número de destinos europeos ofertados actualmente, se seleccionan para estudiar MMMX y MMUN.

Aeropuerto	Código IATA	Código OACI	PAX 16	PAX 17	Variación	Dest
Ciudad de Panamá	PTY	MPTO	14,7	15,6	5,9	5
San Juan	SJU	TJSJ	9	8,4	-6,6	2
Punta Cana	PUJ	MDPC	7,3	7,9	8,2	12
La Habana	HAV	MUHA	5,7	-		13
San José	SJO	MROC	4,6	5,1	10,8	6

Tabla 22. Aeropuertos de América central y Caribe según tráfico de pasajeros<sup>32</sup>.

Con los resultados mostrados en esta tabla y si se sigue investigando en las fuentes propuestas, se observa que los aeropuertos de Punta Cana y la Habana son los que presentan un mayor número de destinos a Europa. A pesar de la gran diferencia en tráfico de pasajeros respecto a Panamá y a la variación porcentual vista en MROC, se decide estudiar MDPC y MUHA.

En el anexo 3.3 se estudian los aeropuertos seleccionados.

#### 2.3.1.4 Aeropuertos en América del sur

Finalmente, se muestran los aeropuertos del continente sudamericano. Los datos se han obtenido de [58] y [71]. Al igual que para Europa y América del norte, se muestran aquellos aeropuertos con un tráfico de pasajeros anual mayor a 10 millones de pasajeros.

Nº	Aeropuerto	Código IATA	Código OACI	PAX 14	PAX 18	%	Dest
1	Sao Paulo - Guarulhos	GRU	SBGR	39,6	42,8	8,1	13
2	Bogotá	BOG	SKBO	27,4	32,7	19,3	6
3	Lima	LIM	SPJC	16,2	23,7	46,3	5
4	Santiago de Chile	SCL	SCEL	16,1	23,3	44,7	5
5	Sao Paulo - Congonhas	CGH	SBSP	18,1	21,5	18,8	0
6	Brasília	BSB	SBBR	18,1	17,6	- 2,8	1
7	Río de Janeiro	GIG	SBGL	17,3	15	- 13,3	10
8	Jorge Newbery	AEP	SABE	10,3	13,6	32	0
9	Ministro Pistarini	EZE	SAEZ	8,6	11,2	30,2	9
10	Belo Horizonte	CNF	SBCF	10,8	10,6	-1,9	1

Tabla 23. Aeropuertos según tráfico de pasajeros de América del sur.

<sup>32</sup> No se incluyen vuelos chárter.

Para realizar la primera preselección se imponen una serie de restricciones muy similares a las propuestas para el caso europeo y norteamericano, pero adaptadas a las cifras sudamericanas:

- ✈ **Aeropuertos con 5 o más destinos internacionales hacia Europa.**
- ✈ **Aquellos aeropuertos con más del 15% de crecimiento.**

Se analizan los candidatos preseleccionados. SBGR ha sido escogido pese a presentar un porcentaje de crecimiento menor del 15 %. Esto se debe a que este aeropuerto en 2016 llegó a caer a los 36,6 millones de pasajeros anuales, y en tan sólo 2 años ha conseguido aumentar esta cifra en un 16,9 %. Los candidatos a analizar son:

- ✈ Aeropuerto de Sao Paulo – Guarulhos
- ✈ Aeropuerto de Bogotá – El Dorado
- ✈ Aeropuerto de Lima – Jorge Chávez
- ✈ Aeropuerto de Santiago de Chile – Comodoro Arturo Merino Benítez
- ✈ Aeropuerto de Buenos Aires – Ministro Pistarini

Estos aeropuertos se analizan en el anexo 3.4.

Antes de iniciar la elección de la ruta, se presenta información acerca de las nuevas rutas que el Boeing 787-9 ha generado a lo largo de 2018, conectando 2 de los aeropuertos preseleccionados [72]:

- ✈ EKCH – KFL
- ✈ EKCH – KMCO
- ✈ EKCH – KOAK
- ✈ LEBL – KFL
- ✈ LEBL – KOAK
- ✈ SKBO – EDDM

### 2.3.2 Elección del aeropuerto de salida y de llegada

A continuación, se analizan los resultados obtenidos tras el estudio de rutas en el apartado 2.3.1. Son 10 aeropuertos europeos y 19 americanos. Trabajar sobre 190 rutas posibles es inviable con lo que, restricción a restricción, se acabarán reduciendo las candidatas.

Para ello, primeramente se realiza las *tablas 24 y 25*, donde se muestra la existencia o no de rutas entre todos los candidatos seleccionados, y de existir, la frecuencia mínima y máxima con la que operan. Los marcados con asterisco se corresponden con vuelos chárteres.

	LEMD	LEBL	EDDM	UUEE	LIRF	EKCH	LPPT	LOWW	LGAV	EPWA
CYUL	3	12	7		13		8	7	13	
CYVR			7							
CYYZ	7	13	14		21	7	15	12	13	19
KBOS	10	3	7		11	7	14			
KEWR	7	13	14		14	13	14	7	14	5
KFLL		3				2				
KMCO						1				
KOAK		3			3	2				
KSEA										
KSFO	3	3	14			7	5			
MDPC	11		4	*		*	3			*
MMMXX	38	3	5		7					
MMUN	16		2	*	1	*	2			*
MUHA	18		2	5	3					
SAEZ	32	9			14					
SBGR	23	7	4		21		23			
SCEL	17	4			5					
SKBO	35	7	5							
SPJC	27	3								

Tabla 24. Oferta máxima de vuelos entre los aeropuertos preseleccionados.

	LEMD	LEBL	EDDM	UUEE	LIRF	EKCH	LPPT	LOWW	LGAV	EPWA
CYUL	1		4				1			
CYVR										
CYYZ	4		7			4	5			6
KBOS	3	3	7				5			
KEWR	4	10	14		10		11	7	7	3
KFLL		3				2				
KMCO										
KOAK		2								
KSEA										
KSFO		2	6			7	3			
MDPC	5			*		*				*
MMMX	24	3	4		7					
MMUN	9			*	1	*				*
MUHA	17			5	1					
SAEZ	31	7			14					
SBGR	23	7			18		23			
SCEL	17				5					
SKBO	35	7	5							
SPJC	24	3								

Tabla 25. Oferta mínima de vuelos entre aeropuertos preseleccionados.

La primera restricción de las tablas anteriores será la realización de una nueva ruta, que no conecte ambos aeropuertos. A partir de esta premisa se pueden encontrar varias rutas interesantes, observando relaciones entre las áreas de operación y tamaño de los aeropuertos. Para cada aeropuerto americano, se escoge aquel destino europeo que mejor se adapte a lo último dicho. Con esto, en caso de repetirse algún destino en Europa, se decide con cuál quedarse haciendo el proceso inverso. En caso de repetirse algún país en los destinos, se decide quedarse con uno de los 2. Los resultados son:

- ✈ CYUL – EKCH
- ✈ MMMX – LPPT
- ✈ SAEZ – EDDM
- ✈ SKBO – LIRF

Si para esta serie de vuelos observamos el crecimiento porcentual de ambos aeropuertos entre 2014 y 2018, tenemos lo siguiente [56][66][71][73]:

- ✈ CYUL ha crecido un 30,9 % en tráfico de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que EKCH ha incrementado un 18,2 % el tráfico de pasajeros entre 2014 y 2018.
- ✈ MMMX ha crecido un 42 % en tráfico de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que LPPT ha incrementado un 57,6 % el tráfico de pasajeros entre 2014 y 2018.
- ✈ SAEZ ha crecido un 30,2 % en tráfico de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que EDDM ha incrementado un 16,5 % el tráfico de pasajeros entre 2014 y 2018.
- ✈ SKBO ha crecido un 19,3 % en tráfico de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que LIRF ha incrementado un 11,7 % el tráfico de pasajeros entre 2014 y 2018.

Si ahora observamos estos mismos porcentajes para vuelos internacionales, tenemos lo siguiente [74][75][76][77][78]:

- ✈ CYUL ha crecido un 41,4 % en tráfico internacional de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que EKCH ha incrementado un 28,4 % el tráfico internacional de pasajeros entre 2014 y 2018.
- ✈ MMMX ha crecido un 49,6 % en tráfico internacional de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que de LPPT no se ha podido obtener el dato requerido.
- ✈ SAEZ ha crecido un 25,9 % en tráfico internacional de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que EDDM ha incrementado un 20,6 % el tráfico internacional de pasajeros entre 2014 y 2018.
- ✈ SKBO ha crecido un 34,6 % en tráfico internacional de pasajeros desde 2014 hasta 2018, mientras que LIRF ha incrementado un 16,1 % el tráfico internacional de pasajeros entre 2014 y 2018.

En la siguiente tabla, se recogen los datos mostrados anteriormente y la previsión de vuelos, mínimos y máximos según la época del año, que tendría cada ruta de las propuestas:

	CYUL	EKCH	MMMX	LPPT	SAEZ	EDDM	SKBO	LIRF
<b>% PAX</b>	30,9	18,2	42	57,6	30,2	16,5	19,3	11,7
<b>% INT PAX</b>	41,4	28,4	49,6	-	25,9	20,6	34,6	16,1
<b>% medio</b>	36,2	23,3	45,8	-	28,1	18,5	27	13,9
<b>Vuelos</b>	0 - 3		5 - 7		7		7	
<b>Distancia</b>	5778		8666		11510		9368	

Tabla 26. Porcentajes de crecimiento, vuelos estimados y distancia de las rutas propuestas.

De cada ruta, adicionalmente, podría comentarse:

- ✈ EKCH sólo presenta destinos canadienses y a los EEUU. Sus operaciones a EEUU han caído en número de pasajeros en los últimos años, mientras que su vuelo a CYYZ ha visto involucrado su número de pasajeros. Comparado con otros aeropuertos similares de la tabla, de crearse una ruta directa con CYUL sería estacional. Esta ruta, pero, se vería perjudicada por la proximidad de aeropuertos como EDDF y EHAM, además de contar ya con el vuelo directo a CYYZ. Por su parte, CYUL vuela prácticamente a la mayoría de destinos de Europa estacionalmente, exceptuando los países nórdicos (Finlandia, Noruega y Suecia).
- ✈ MMMX vuela al TOP 8 de aeropuertos europeos, excepto LTBA, más LIRF. Lo hace de manera seguida durante todo el año, variando su frecuencia en función de su destino. Es uno de los aeropuertos que mayor crecimiento ha experimentado a nivel mundial en los últimos años, junto con LPPT. Este último vuela a MMUN y MDPC de forma estacional, pero no presenta ningún vuelo más a países hispanoparlantes. Igualmente, es de los aeropuertos europeos con un mayor crecimiento en los últimos años y, al haber alcanzado su capacidad operativa, se ha decidido ampliar sus instalaciones y construir un nuevo aeropuerto en la ciudad, pudiendo incrementar así su número de operaciones.
- ✈ EDDM vuela a SBGR, MMUN y Cuba estacionalmente y a SKBO y MMMX diariamente. La ruta con SBGR, inaugurada este año, está pensada para conectar con otros destinos como SCEL y SAEZ [79]. EDDF no presenta ruta con SAEZ, con lo cual este podría ser un indicativo de que esta ruta no es operacionalmente beneficiosa, pues en aquellos aeropuertos donde opera EDDF también opera EDDM, en todos los aeropuertos estudiados en todos los apartados excepto KMCO y KSEA.
- ✈ LIRF tiene vuelos directos con los principales aeropuertos de América del sur, y de carácter estacional con aeropuertos caribeños y de América central. Recientemente se ha inaugurado el vuelo que conecta esta capital con ciudad de Panamá, otro de los aeropuertos con un crecimiento considerable en los últimos años. Por su parte, SKBO tiene vuelos a LFPG, EGLL, LEMD, LEBL, EDDF y EDDM, este último inaugurado recientemente [80]. Según el presidente de AVA, la compañía encargada de la realización de este vuelo, existen intereses por parte de la compañía de llegar a ciudades como LSZH o LIRF. De realizarse este vuelo, podría presentar una frecuencia constante anualmente y diaria.

A partir de los comentarios realizados, se concluye:

- ✈ CYUL – EKCH. Ruta descartada. Motivo: el modelo de aeronave seleccionado presenta un rango mucho mayor al necesario para cubrir esta ruta. Si a esto se le añade el carácter estacional de la ruta y el número de vuelos diarios, 3, costaría mucho tiempo recuperar la inversión inicial.
- ✈ MMMX – LPPT. Ruta descartada. Motivo: pese a ser 2 de los aeropuertos con mayor crecimiento en ambos continentes en los últimos años, se cree que la alta frecuencia de vuelos que presenta MMMX con LEMD, aeropuerto situado a menos de 1 hora de LPPT, perjudicaría gravemente la ocupación de los supuestos vuelos MMMX-LPPT.
- ✈ SAEZ – EDDM. Ruta descartada. Motivo: la no existencia de la ruta SAEZ – EDDF, además del alejado número de pasajeros anuales de SAEZ.
- ✈ SKBO – LIRF. Ruta seleccionada. Motivo: [80]. Creación reciente de una ruta SKBO – EDDM, aeropuertos de tamaño similar al nuestro, y la falta de conexión entre la capital italiana, uno de los aeropuertos que más destinos presenta a América del sur.

A continuación, se añade una pequeña descripción de ambos.

### 2.3.2.1 Aeropuerto de Roma-Fiumicino (LIRF)

El aeropuerto Leonardo da Vinci- Roma-Fiumicino se encuentra en Fiumicino, localidad a 34 kilómetros del centro histórico de Roma. Tiene una elevación de 5 metros respecto al nivel del mar y es un aeropuerto público y civil. Su localización exacta es latitud 41° 48' 16,11" N y longitud 12° 15' 2,87" E. Se encuentra en el uso horario UTC + 1. Tiene 8 pistas:

- ✈ La 07/25 de asfalto, con ILS y una longitud de 3309 metros por 45 metros de amplitud. Es la común para despegar.
- ✈ La 16R/34L de asfalto, con ILS y una longitud de 3900 metros por 60 metros de amplitud.
- ✈ La 16L/34R de asfalto, con ILS y una longitud de 3900 metros por 60 metros de amplitud. Es la común a utilizar para aterrizar.
- ✈ La 16C/34C de asfalto, con ILS y una longitud de 3600 metros por 45 metros de amplitud. Normalmente se utiliza como calle de rodaje, pero puede activarse mediante NOTAM. Si esta se activa, 16L/34R se cierra.

Tiene un VOR-DME y un NDB de nombre OSTIA. Se puede cargar combustible Jet A1+ y Jet A1 con inhibidor de hielo. [81]

Las rutas más largas que presenta son precisamente al continente sudamericano: AZA conecta con SCEL y SAEZ, destino también volado por ARG, ambos vuelos superando las 6000 NM [82]. El tercero vuelo de mayor longitud también es a un país americano y además hispanoparlante, concretamente a MMMX llevado a cabo nuevamente por AZA. Además, también cuenta con 2 rutas más hacia destinos americanos que superan las 5000 NM de distancia: su ruta hacia KLAX y a SBGR, de nuevo llevadas a cabo por AZA. La compañía Alitalia, compañía bandera de Italia, utiliza este aeropuerto como *hub* principal para sus operaciones.

En el año 2018, los movimientos internacionales de aeronaves se han situado en 72553 operaciones, lo que representa un 12% más respecto al año 2017. Las cifras en cuanto a pasajeros, muestran que en 2018 se han transportado a 12608705, una cifra 14% más elevada de la que tenía en 2017. [76] Entre las 20 rutas intercontinentales más transitadas, se encuentran las que parten hacia KJFK, CYYZ, SAEZ, KATL, KORD, SBGR, KMIA y SBGL [83]

Las tasas a pagar en el aeropuerto se pueden encontrar en [84] y en [85]. La carta de aproximación del aeropuerto puede obtenerse en [86]. Estos datos serán mostrados en el apartado de costes operativos, ya que por ahora no son necesarios.



Figura 8. Situación de LIRF en Europa.



Figura 9. Situación de LIRF en Italia.

### 2.3.3.2 Aeropuerto de Bogotá-el Dorado (SKBO)

El aeropuerto internacional el Dorado es el que sirve a la capital de Colombia, Bogotá, y su área metropolitana durante las 24 horas del día. El Dorado es el tercer aeropuerto de América latina en tráfico de pasajeros, el segundo en número de operaciones aéreas y el más ocupado en términos de transporte de carga. Refiriéndose a aerolíneas con vuelos internacionales, es el *hub* de Avianca y LATAM Colombia, siendo la primera de ellas la aerolínea bandera del país.



Figura 10. Situación de SKBO en Colombia.

Tiene una elevación de 2548 metros sobre el nivel del mar y es un aeropuerto tanto público como militar. Su localización exacta es latitud 04° 42' 5,74" N y longitud 74° 8' 49,01" W. Se encuentra en el uso horario UTC - 5. Tiene 4 pistas:

- ✈ La 13R/31L de asfalto, con ILS y una longitud de 3800 metros por 45 metros de amplitud. Normalmente se aterriza por 13R y se despega por 31L.
- ✈ La 13L/31R de asfalto, con ILS y una longitud de 3800 metros por 45 metros de amplitud. Normalmente se aterriza por 13L y se despega por 31R.

Tiene un VOR-DME de nombre ZIPAQUIRA, situado a 9,9 NM de la pista a un rumbo de 206,9°. Tiene un NDB de nombre TECHO, situado a 4,3 NM de la pista a un rumbo 6,2°. Se puede cargar combustible Jet A1 sin inhibidor de hielo. [74][87]

Las rutas más largas que presenta en este caso son aquellas que vuelan al continente asiático. Tiene una ruta directa con LTBA, pero presenta una parada en MPTO. Por lo tanto, la ruta más larga hacia continente europeo es la que conecta este aeropuerto con EDDF, de casi 5000 NM. Por encima de las 4000 NM también se encuentran sus vuelos a LFPG, EGLL, LEMD y LEBL. Durante el año 2019, se incrementará la frecuencia de los vuelos a 2 de estas destinos, concretamente a LEMD y LTBA [88].

En el año 2018, los movimientos internacionales de aeronaves se han situado en 95163 operaciones, lo que representa un 3,5% más respecto al año 2017. Las cifras en cuanto a pasajeros, muestran que en 2018 se han transportado a 11143806, una cifra un 7,1% más elevada de la que tenía en 2017 [89]. A partir de [90] y con los datos registrados hasta el 31 de octubre de 2018, las rutas internacionales más transitadas a Europa han sido las siguientes, junto con su factor de ocupación:

Ruta	PAX 2018	% respecto 2017	Factor de ocupación	Variación respecto 2017
SKBO – LEMD	730625	11,74	88,83	3,29
SKBO – LFPG	136955	4,76	85,23	0,19
SKBO – EDDF	123234	-0,39	87,92	0,83
SKBO – LEBL	138835	-0,2	92,93	-0,65
SKBO – EGLL	135756	3,98	91,32	3,31
SKBO – EHAM	33750	21,79	69,57	-1,46
SKBO – LTBA	23007	0,21	70,79	-0,96

Tabla 27. Rutas internacionales a Europa más transitadas desde SKBO.

Las tasas a pagar en el aeropuerto se pueden encontrar en [91]. La carta de aproximación del aeropuerto puede obtenerse en [92]. Estos datos serán mostrados en el apartado de costes operativos, ya que por ahora no son necesarios.

### 2.3.3 Elección de aeropuertos alternativos e intermedios

Los aeropuertos alternativos e intermedios para la ruta deben cumplir con un mínimo de especificaciones para poder realizar operaciones ETOPS. Los aeropuertos de desviación ETOPS, ya comentados bajo el nombre de *adequate y suitable* (2.1.4), deben ser capaces de acoger una aeronave bajo certificación ETOPS durante un aterrizaje de emergencia y la distancia a los mismos no debe exceder del tiempo de desvío ETOPS para el cual ha estado certificado la aeronave. Es por ello que cuando se realice la ruta, no necesariamente deben aparecer todos los propuestos. Además, los aeródromos deben acomodar las necesidades para poder proporcionar apoyo a la aeronave en particular y disponer de unas condiciones meteorológicas que garanticen un aterrizaje seguro en caso de malfuncionamiento del motor u otros sistemas.

Los aeropuertos de desviación se clasifican en función de su localización a lo largo del globo terrestre: los pertenecientes a las rutas que sobrevuelan el Atlántico, el Pacífico, el Índico, el círculo polar Ártico... Para nuestro caso, los aeropuertos que nos interesan son aquellos considerados como de desviación ETOPS en las rutas transatlánticas.

Un aeródromo alternativo es aquel donde un avión ha de ser redirigido en el caso de haber problemas en el aeropuerto de destino, ya sean de índole meteorológica o de otro tipo. Asimismo, también puede tratarse de un aeropuerto que sea operacionalmente adecuado para realizar un aterrizaje de emergencia con la aeronave usada.

Estos aeropuertos pueden ser bases militares y deben estar a una distancia lo suficientemente cercana como para ser alcanzado con la cantidad de combustible que lleve el avión cargado a bordo, deben tener NOTAMs y METARs horarios, una aproximación instrumental distinta del GPS y un mínimo de índice ARFF A<sup>33</sup> o una categoría 4 de la ICAO. No es necesario que sea un aeropuerto operativo las 24 horas del día, pero debe tener un plan de reapertura de los servicios básicos para casos de emergencias.

Según las categorías de la ICAO, el Boeing 787-9, con una longitud del fuselaje de 62,8 metros y 5,77 metros de amplitud de fuselaje máxima, pertenece a la categoría 9 por parte de la OACI y a la E de la FAA [93] en cuanto a equipos de lucha contra incendios. Tiene una categoría de aproximación D y un código de referencia del aeródromo 4E.

Según [94], para tiempos de diversión ETOPS 180, los alternativos deben tener una capacidad equivalente a la categoría 4 de la OACI. Para aeronaves bimotores y ETOS 207, los alternativos deben tener la capacidad 4 y, además, debe existir al menos 1 aeropuerto a menos de 207 minutos de desvío con categoría 7 de la OACI. Por encima de los 180 minutos de operación, debe tener una categoría ICAO 7.

---

<sup>33</sup> La regulación de la FAA que lo regula es la FAR part 139.

### 2.3.3.1 Alternativos a LIRF

Primero, debemos calcular las longitudes mínimas de las pistas de despegue y aterrizaje. Para ello, suponemos un vuelo que despegue de LIRF con MZFW y MTOW, la mayor carga con la que se puede despegar. Si nos vamos a [26], tenemos la siguiente gráfica, que corresponde al alcance del Boeing 787-9 en función de su MZFW y su MTOW, en un día estándar, sin viento, con la pista de aterrizaje seca, volando a  $M=0,85$ , realizando ascensos con incrementos de 2000 ft y utilizando los motores en su modo de funcionamiento normal:

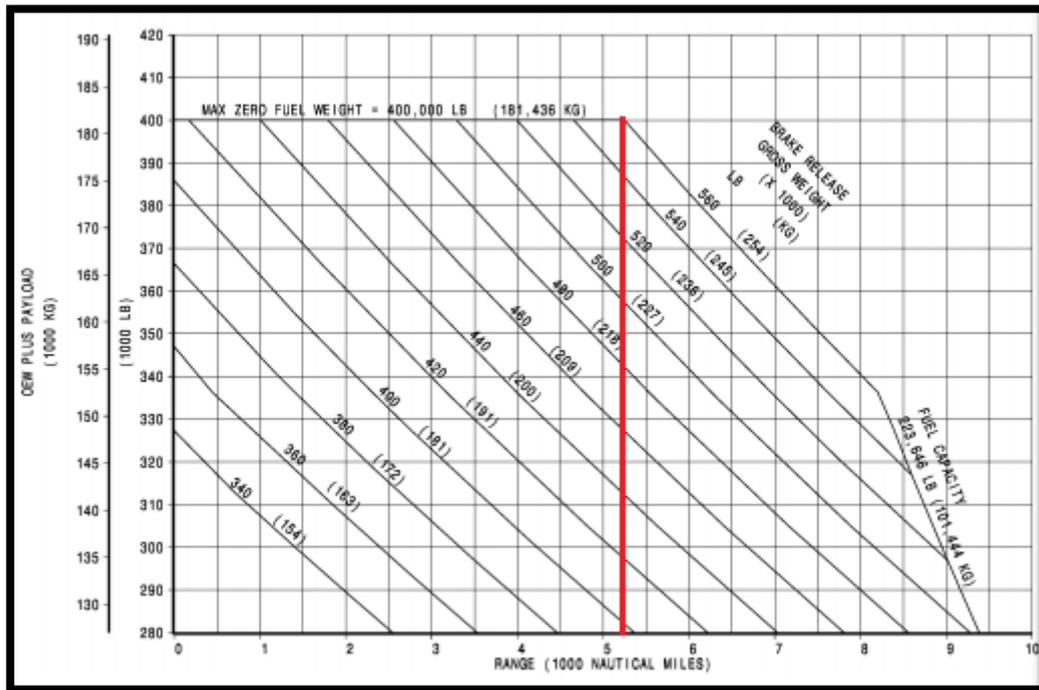


Figura 11. Rango del Boeing 787-9 en función de su MTOW.

Según esta gráfica, el alcance máximo de nuestro Boeing sería de 5250 NM. Si con este dato de rango, nos vamos a la siguiente gráfica de [26], que hace referencia a la distancia necesaria para despegar un avión a partir de su MTOW y de la altitud del aeropuerto, con la pista de despegue seca:

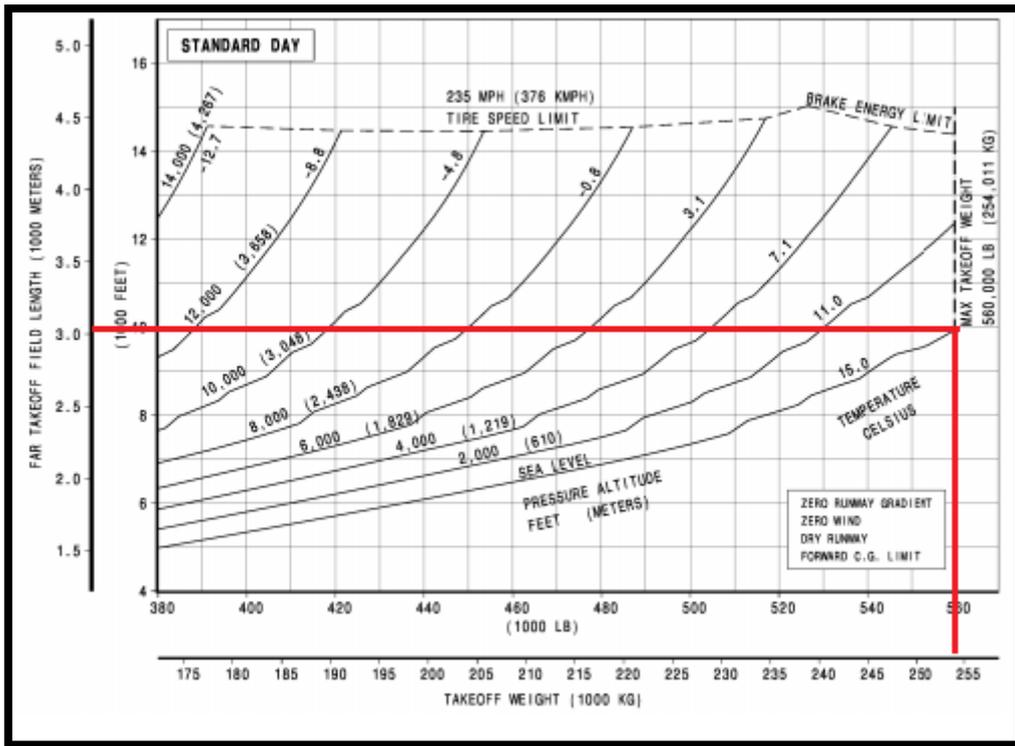


Figura 12. Longitud de la pista de despegue necesaria para despegar un Boeing 787-9 en función de su alcance.

Será necesaria, por lo tanto, una pista de despegue con un mínimo de 3000 metros de longitud. Con esto, se observa que se puede despegar desde LIRF. Si vamos a la pista de aterrizaje, en las mismas condiciones (en este caso MLW), con los *spoilers* operativos, sin gradiente de pista:

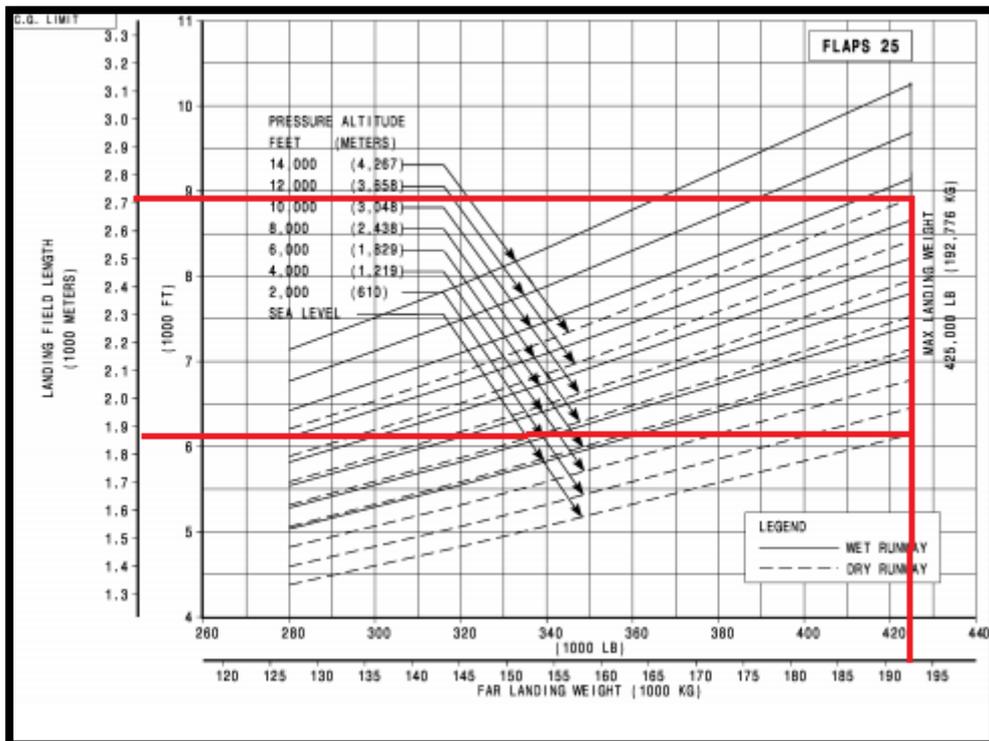


Figura 13. Longitud de la pista de aterrizaje en función del MLW y la altura.

Con esta tabla obtenemos que para aeropuertos a nivel del mar se necesita una pista de 1850 metros como mínimo para efectuar un aterrizaje con MLW. Si la pista se encontrara sobre los 4000 metros, esta longitud subiría hasta los 2700 metros. Hay que tener en cuenta que la envergadura del Boeing 787-9 es de 60 metros. Por lo tanto, se buscarán aeropuertos con una longitud de pista en torno a los 2500 metros (hay que dejar un margen de seguridad) y de 45 metros de ancho hacia arriba. A continuación, se muestra una tabla con los aeropuertos más cercanos a Roma que cumplen con estas especificaciones. Se consideran todos aquellos más importantes que se encuentren en un radio menor en torno a 500 km [81][82]:

Aeropuerto	Código OACI	Distancia (km)	Altura (m)	Longitud·Amplitud de pista (m) <sup>34</sup>
Falconara	LIPY	220	15	2962 · 45
Pisa	LIRP	257	2	2993 · 45
Alghero	LIEA	356	27	3000 · 45
Génova Sestri	LIMJ	356	4	2915 · 45
Palermo	LICJ	409	20	3326 · 60
Venezia Tessera	LIPZ	411	2	3300 · 45
Villafranca	LIPX	413	73	3068 · 45
Montichiari	LIPO	430	109	2990 · 45
Ronchi dei legionari	LIPQ	457	31	3000 · 45
Nice	LFMN	459	4	2960 · 45
Dubrovnik	LDDU	502	161	3300 · 45
Milán – Malpensa	LIMC	509	234	3920 · 60
Torino	LIMF	528	301	3300 · 60
Zagreb	LDZA	533	108	3252 · 45

Tabla 28. Aeropuertos alternativos para LIRF.

Como vemos todos los aeropuertos cumplen con los requisitos sacados de la *figura 31*. Los aeropuertos prioritarios se muestran en verde en la tabla anteriormente mostrada. Son aquellos que, por condiciones, presentarían la categoría de aeropuertos necesaria para llevar a cabo la misión [96]

### 2.3.3.2 Alternativos a SKBO

De igual manera a la procedida en 2.3.3.1, se encuentran los aeropuertos alternativos a SKBO. Para el caso de Bogotá, debido a su altura, aterrizando con MLW se necesitarían unos 2300 metros de pista para aterrizar. Por lo tanto, se buscarán aquellos alternativos que puedan superar holgadamente esta longitud:

Aeropuerto	Código OACI	Distancia (km)	Altura (m)	Longitud·Amplitud de pista (m)
Jose María Córdova	SKRG	215	2120	3500 · 45
Alfonso Bonilla Aragón	SKCL	278	964	3000 · 45
Ernesto Costisoz	SKBQ	691	30	3000 · 45
Tocumén	MPTO	754	41	3050 · 45

Tabla 29. Aeropuertos alternativos para LIRF.

<sup>34</sup> Datos de la pista más larga disponible.

### 2.3.3.3 Aeropuertos intermedios

En cuanto a los aeropuertos intermedios, los conocidos como de diversión ETOPS, a continuación se muestran los más comunes a utilizar en rutas transatlánticas. Los mostrados en verde son categoría 9 ICAO:

Aeropuerto	Código OACI	Altura (m)	Longitud·Amplitud de pista (m)
Barcelona	LEBL	4	3552 · 45
Madrid	LEMD	610	4350 · 60
Lisboa	LPPT	114	3805 · 45
Lajes	LPLA	55	3313 · 60
Santa María	LPAZ	94	3048 · 60
Gran Canaria	GCLP	24	3100 · 45
Tenerife norte	GCXO	632	3400 · 45
Tenerife sur	GCTS	64	3200 · 45
Amílcar Cabral	GVAC	54	3272 · 45
Cayenne – Félix Eboué	SOCA	8	3196 · 45
Pointe-à-Pitre	TFFR	11	3505 · 45
Le Lamentin	TFFF	5	3300 · 45
Grantley Adams	TBPB	52	3353 · 46
Luis Muñoz	TJSJ	3	3049 · 61
Punta Cana	MDPC	14	3100 · 48
Las Américas	MDSD	18	3353 · 61
Arturo Michelena	SVVA	432	3000 · 50
Hato	TNCC	9	3410 · 60
Simón Bolívar	SVMI	72	3500 · 45
Flamingo	TNCB	6	2880 · 45
La Chinita	SVMC	72	3000 · 45

Tabla 30. Aeropuertos intermedios de la ruta.

## 2.4 Organización del espacio aéreo, navegación y radioayudas

Se explican aquí los conceptos necesarios para la comprensión de las cartas aeronáuticas que se muestran en el siguiente apartado.

2.4.1 introduce los conceptos que hay detrás de cada terminología y, 2.4.2, relaciona la simbología de las cartas con cada uno de los elementos.

### 2.4.1 Espacio aéreo y navegación según la OACI

#### ✈ Espacio aéreo

A partir de [98] se extraen los conceptos desarrollados a continuación. Según la OACI, podemos clasificar el espacio aéreo en:

Clase	Tipo de vuelo	Separación proporcionada	Servicios suministrados	Limitaciones de velocidad*	Requisitos de radiocomunicación	Sujeto a autorización ATC
<b>A</b>	Sólo IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
<b>B</b>	IFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Todas las aeronaves	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
<b>C</b>	IFR	IFR de IFR IFR de VFR	Servicio de control de tránsito aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	VFR de IFR	1) Servicio de control de tránsito aéreo para la separación de IFR; 2) Información de tránsito VFR/VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
<b>D</b>	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito aéreo, información de tránsito sobre vuelos VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Ninguna	Información de tránsito IFR/VFR y VFR/VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
<b>E</b>	IFR	IFR de IFR	Servicio de control de tránsito aéreo y, en la medida de lo posible, información de tránsito sobre vuelos VFR	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	Si
	VFR	Ninguna	Información de tránsito en la medida de lo posible	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	No	No
<b>F</b>	IFR	IFR de IFR siempre que sea factible	Servicio de asesoramiento de tránsito aéreo; servicio de información de vuelo	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	No
	VFR	Ninguna	Servicio de información de vuelo	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	No	No
<b>G</b>	IFR	Ninguna	Servicio de información de vuelo	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	Continúa en ambos sentidos	No
	VFR	Ninguna	Servicio de información de vuelo	250 kt IAS por debajo de 3 050 m (10 000 ft) AMSL	No	No

\* Cuando la altitud de transición es inferior a 3 050 m (10 000 ft) AMSL, debería utilizarse el nivel FL 100 en vez de 10 000 ft.

Figura 14. Clases de espacio aéreo, servicios suministrados y requisitos de vuelo.

El espacio aéreo controlado comprende las áreas de control (CTA/TMA), aerovías (AWY) y zonas de control (CTR), y se clasifica en clase A, B, C, D y E. El no controlado comprende el resto del espacio aéreo y se clasifica en F y G. De coexistir 2 tipos de espacio aéreo en un mismo punto verticalmente, siempre se opera bajo aquel menos restrictivo (G). Cuando una parte se sitúa dentro de la otra, se cumplen los requisitos del más restrictivo (A).

- ✈ El espacio aéreo se puede descomponer verticalmente en dos niveles: las rutas que tienen lugar en el espacio aéreo inferior (FIR) y las rutas que tienen lugar en el espacio aéreo superior (UIR). Los FIR normalmente se extienden desde el suelo o el mar hasta FL240, mientras que el superior lo hace de FL250 hasta FL460. Las excepciones para el nivel de transición se muestran a continuación:

FL195: Estonia, France, Italy, Lithuania, Malta, Monaco and Switzerland
FL245: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Former Yugoslav Republic Of Macedonia, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Luxembourg, Morocco, Netherlands, Norway, Portugal, Slovak Republic, Slovenia, Spain and United Kingdom
FL275: Ukraine
FL285: Albania, Bosnia and Herzegovina, Croatia, Denmark, Finland, Latvia, Moldova, Poland, Romania, Serbia, Montenegro, Sweden and Turkey

Figura 15. Excepciones para el FL de transición entre espacio aéreo inferior y superior.

- ✈ Las CTR se extienden hacia un límite específico superior desde la superficie terrestre y puede incluir una o varias zonas de llegadas y salidas de un aeropuerto.
- ✈ Las CTA se extienden hasta un límite superior desde un límite especificado sobre el terreno en las cercanías de un aeropuerto.
- ✈ Las TMA es un CTA para aeropuertos con elevado volumen de tráfico que se divide en varias áreas.
- ✈ Las AWY son áreas de control en forma de corredor y equipadas con radioayudas para la navegación.

Dentro de los espacios aéreos, existen las llamadas zonas reservadas:

- ✈ Zonas prohibidas (P): espacio aéreo dentro del cual está prohibido el vuelo de las aeronaves, excepto las autorizadas por el estado correspondiente.
- ✈ Zonas restringidas (R): espacio aéreo dentro del cual está restringido el vuelo de las aeronaves de acuerdo con determinadas condiciones específicas.
- ✈ Zonas peligrosas (D): espacio aéreo donde en determinados momentos pueden llevarse a cabo actividades peligrosas para el vuelo de la aeronave. Se ha de obtener información sobre las actividades de la misma y el horario en que tendrán lugar.
- ✈ Zonas D y R manejables: zonas militares D y R que se pueden gestionar en periodos determinados.
- ✈ Áreas temporalmente segregadas (TSA): espacio aéreo cuya activación requiere una reserva de espacio aéreo para uso exclusivo de usuarios específicos durante un tiempo determinado.

## ✈ Radioayudas – nav aids

Son equipos electrónicos que se encuentran en tierra y emiten señales que son recibidas por las aeronaves a través del equipo de a bordo. Hay diferentes tipos [99]:

- ✈ Dirección a un punto fijo: ADF y NDB. Se indican con una aguja apuntando hacia la dirección a la que debería volar el piloto para llegar a un punto de referencia dado.
- ✈ Azimutales: VOR, ILS y LLC. Indican el azimuth, que es el ángulo horizontal formado entre un eje de referencia y el vector radioayuda de la aeronave. De otra manera, determina el ángulo entre la dirección que une la aeronave con la estación VOR y la dirección del norte magnético. Los VOR se pueden clasificar en 3 tipos según el alcance que tengan y su función: terminales, desde 1000 ft hasta 12000 ft, con un alcance de 25 NM; los de baja altitud, desde 1000 ft hasta 18000 ft, con un alcance de 40 NM; y los de alta altitud, desde 1000 ft hasta 14500 ft para un alcance de 40 NM, desde 14500 ft hasta 60000 ft para un alcance de 100 NM y desde 18000 ft hasta 45000 ft para un alcance de 130 NM. Los TACAN son radioayudas militares que pueden ser usadas por la navegación civil, siendo compatible con el DME, y puede aparecer en una instalación junto a un VOR (VORTAC).
- ✈ Cenitales: ILS y GS. Proporciona un ángulo vertical entre el eje de referencia radioayuda horizonte y el vector radioayuda de la aeronave.
- ✈ De distancia: DME. Proporcionan la distancia, la velocidad respecto al suelo y el tiempo de vuelo entre la radioayuda y la aeronave.

## ✈ Rutas

Las rutas ATS son segmentos dentro de unas altitudes específicas y un ancho determinado entre puntos fijos, ayudan a la radionavegación o la intersección de radiales específicos de dos ayudas. por las que se circula tienen un designador que consiste en:

- ✈ Designador básico: letra del alfabeto seguida de un número entre el 1 y el 999.
- ✈ A, B, G, R para rutas que formen parte de las redes regionales de rutas ATS y que no sean rutas de navegación aérea.
- ✈ L, M, N y P para rutas de navegación aérea que formen parte de las redes regionales de rutas ATS.
- ✈ H, J, V y W para rutas que no formen parte de las redes regionales de rutas ATS y que no sean rutas de navegación de área.
- ✈ Q, T, Y y Z para rutas de navegación de área, que no formen parte de las redes regionales de rutas ATS.
- ✈ K indica una ruta de nivel bajo, principalmente para helicópteros.
- ✈ U indica que la ruta está establecida en el espacio aéreo superior.
- ✈ S indica una ruta exclusivamente para ser usada por aeronaves supersónicas durante la aceleración, deceleración y durante el vuelo supersónico.
- ✈ F indica que la ruta solo proporciona servicio de asesoramiento.
- ✈ G indica que la ruta solo proporciona servicio de información de vuelo.

Hay 3 grandes tipos de rutas:

- ✈ Convencionales: definidas por puntos que están bien balizados por radioayudas o se pueden identificar visualmente. Los *navaids* usados son NDB, VOR y DME. No es adecuada por los siguientes motivos:
  1. Es inflexible, ya que depende de la posición geográfica de los *navaids* que son fijos.
  2. Es costoso, ya que se acaba consumiendo más combustible.
  3. Crea retrasos y, por lo tanto, se invierte una mayor cantidad de tiempo en su viaje.
- ✈ RNAV: se explicaron en el apartado 2.1.5. Se definen por *waypoints*, un conjunto de coordenadas que identifican un punto en concreto. Algunas de sus mejoras respecto a las convencionales son:
  1. Son flexibles y se pueden modificar rápida y fácilmente.
  2. Son rutas más directas.
  3. Tienen procedimientos SID y STAR optimizados.
  4. Menor impacto ambiental, por ahorro de combustible (rutas más cortas) y reducción del ruido (procedimientos más óptimos).
- ✈ Condicionales: rutas o tramos de carácter no permanente, planificados y usados bajo unas condiciones concretas en un periodo acordado. Se dividen en:
  1. CDR1. Disponibles la mayor parte del tiempo y se pueden planificar permanentemente en los planes de vuelo.
  2. CDR2. No se pueden planificar permanentemente en los planes de vuelo, excepto que se especifique lo contrario para un día en concreto.
  3. CDR3. No se pueden planificar en plan de vuelo, excepto si se tiene una autorización ATC y coordinación civil-militar.

Estas rutas atraviesan TSA y zonas manejables D y R. Los periodos para rutas CDR2 y CDR3 deben coincidir con los periodos de actividad de las zonas atravesadas.

## 2.4.2 Espacio aéreo y navegación en países que atraviesa la ruta

Aquí se muestran los documentos a los que se debe acudir para localizar los diferentes espacios aéreos existentes en los países que forman parte de la ruta, las rutas existentes, las radioayudas, los *waypoints*, las zonas de distinta consideración y las cartas de navegación que deberían ser usadas.

### 2.4.2.1 Espacio aéreo y navegación en Colombia.

El nivel de transición sigue siendo FL245 y sus cartas de navegación se clasifican en:

- ✘ Nivel inferior: de FL240 para abajo. Todas las rutas que se pueden utilizar, junto sus puntos de notificación y especificaciones se encuentran en [100]. La carta de navegación a utilizar se puede obtener en [101].
- ✘ Nivel superior: de FL250 para arriba. Todas las rutas que se pueden utilizar, junto sus puntos de notificación y especificaciones se encuentran en [102]. La carta de navegación a utilizar se puede obtener en [103].
- ✘ RNAV: de FL250 para arriba para esta especificación de navegación. Todas las rutas que se pueden utilizar, junto sus puntos de notificación y especificaciones se encuentran en [104]. La carta de navegación a utilizar se puede obtener en [105].

En cuanto a los elementos que aparecen en las cartas de navegación utilizadas en 2.5:

- ✘ Todas las radioayudas existentes se muestran en [106]. Aquellos utilizados se explicitan en 2.5.
- ✘ Todos los puntos significativos existentes se muestran en [107]. Aquellos utilizados se explicitan en 2.5.
- ✘ Todas las zonas prohibidas, restringidas y peligrosas se muestran en [108]. Aquellas atravesadas se explicitan en 2.5.
- ✘ Todas las zonas de maniobras e instrucción civil y militar se muestran en [109].
- ✘ Todas las zonas de actividades aéreas deportivas y de recreo se muestran en [110].

En caso de ser necesario acudir a las cartas de navegación de alguna de las siguientes CTA o TMA se acude a [111]:

- ✘ TMA Amazónica
- ✘ TMA Andes
- ✘ TMA Barranquilla
- ✘ CTA Barranquilla sector norte
- ✘ CTA Barranquilla sector sur
- ✘ TMA Bogotá
- ✘ TMA Bogotá sectorización
- ✘ TMA Bucaramanga
- ✘ TMA Cali
- ✘ CTA Cali
- ✘ TMA Cúcuta
- ✘ TMA Yopal
- ✘ TMA Medellín
- ✘ CTA Medellín
- ✘ TMA Neiva
- ✘ TMA Pereira
- ✘ TMA San Andrés
- ✘ TMA Villavicencio
- ✘ TMA Palanquero

#### 2.4.2.2 Espacio aéreo y navegación en Europa.

La carta general a nivel europeo para navegar a altas altitudes se puede encontrar en [112]. Esta carta visualmente está muy superpoblada de rutas, pues a ser a nivel europeo hay centenares de ellas. Es por ello que se cree conveniente, dividirla en las siguientes partes. El índice L indica carta a baja altitud, mientras que H indica que se trata de una carta a alta altitud:

- ✈ H-7 y H-15<sup>35</sup>. Se corresponden a las cartas de navegación en ruta a elevada altitud que sobrevuelan LIRF.
- ✈ H-1, H-3 y H-16. Se corresponden a las cartas de navegación en ruta a elevada altitud que sobrevuelan el espacio aéreo previsible a atravesar sobre Europa posteriormente al abandono de los espacios indicados en las cartas H-7 y H-15.

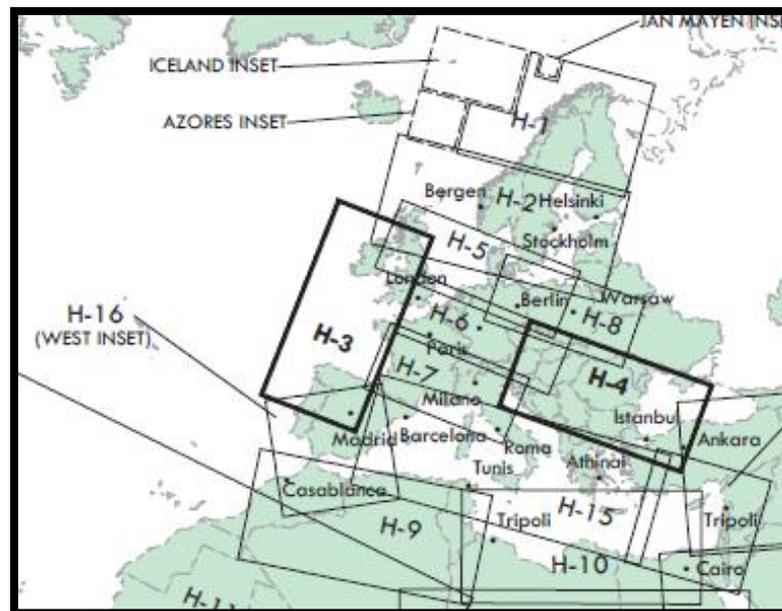


Figura 16. Cartas de navegación a elevada altitud en Europa.

- ✈ L-12. Se corresponde a la carta de navegación en ruta a baja altitud que sobrevuela LIRF.
- ✈ L-1, L-7, L-8, L-9 y L-11. Se corresponde a las cartas de navegación en ruta a baja altitud que sobrevuelan el espacio aéreo previsible a atravesar sobre Europa posteriormente al abandono del espacio indicado en la carta L-12. Debería añadirse también la T-1, donde se hace referencia al sector Atlántico norte.

<sup>35</sup> Esta denominación es la propuesta por la FAA en sus cartas de navegación en ruta. Pueden obtenerse de [113].

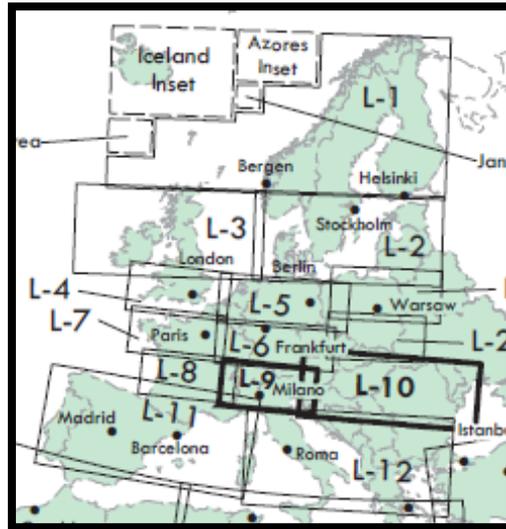


Figura 17. Cartas de navegación a baja altitud en Europa.

- ✈ ERC-03 y ERC-07<sup>36</sup>, tanto las versiones a baja como a alta altitud, se corresponden con las cartas de navegación del espacio aéreo que sobrevuela Italia.
- ✈ ERC-02 y ERC-08, tanto las versiones a baja como a alta altitud, se corresponden con las cartas de navegación del espacio aéreo que sobrevuela el espacio previsible a atravesar sobre Europa posteriormente al abandono de los espacios indicados en las cartas ERC-03 y ERC-07. Estas últimas 4 cartas citadas son las que se recogen, junto a las 8 demás existentes en el documento [112].

Tienen preferencia las cartas proporcionadas por ERC pues son las que tienen una fecha de vigencia más actual (a fecha de la realización del proyecto son vigentes).

En Europa, los niveles de vuelo y las direcciones en las que se puede volar en ellos, varían en función de los países y el espacio aéreo sobrevolado [115]. En la siguiente figura se muestran:

- ✈ En azul, los espacios aéreos donde los niveles impares implican volar en una dirección entre 0° y 179°, mientras que los pares se utilizan para volar entre las direcciones 180° y 359°.
- ✈ En verde, los espacios aéreos donde los niveles impares implican volar en una dirección entre 90° y 269°, mientras que los pares se utilizan para volar entre las direcciones 270° y 89°.

<sup>36</sup> Esta denominación es la propuesta por Eurocontrol. Pueden obtenerse de [114].

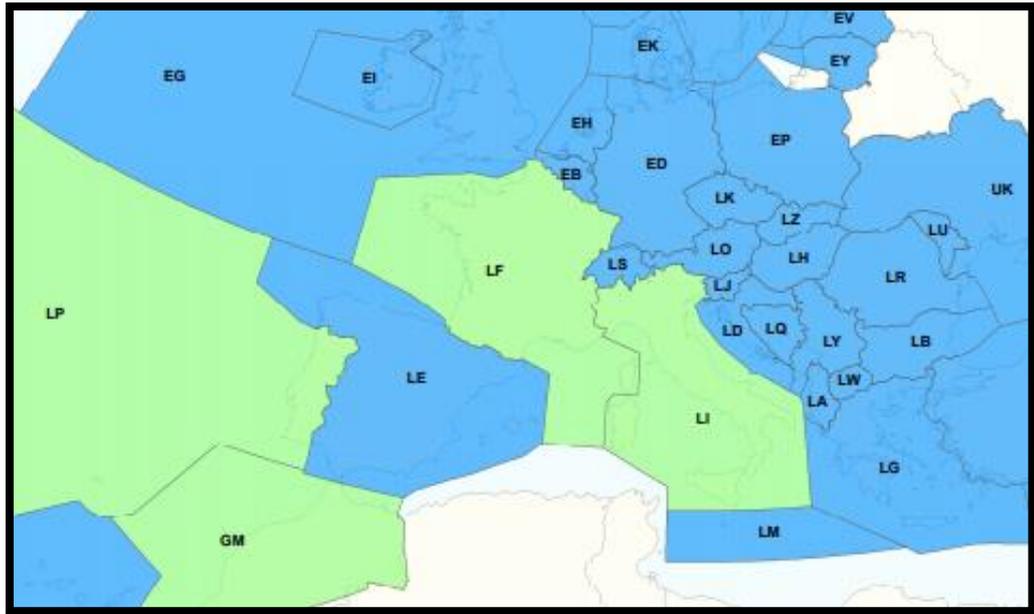


Figura 18. Esquema de orientación en función del nivel de vuelo.

#### 2.4.2.3 Espacio aéreo y navegación en lugares intermedios de la ruta.

##### ✈ Vuelo oceánico

Los respectivos al sobrevuelo de las islas Azores se han nombrado en 2.4.2.2. Además, debe añadirse la conocido como *North Atlantic route planning chart*, de la FAA [116]. En esta carta de navegación encontramos todos los puntos de notificación para entrar en áreas oceánicas, así como las rutas que atraviesan todo el Atlántico norte. Para ubicarlo en el mapa se muestra en miniatura el mismo, junto con las posibles trayectorias de ruta (en función de los tiempos de diversión ETOPS que se calculan en 2.5).

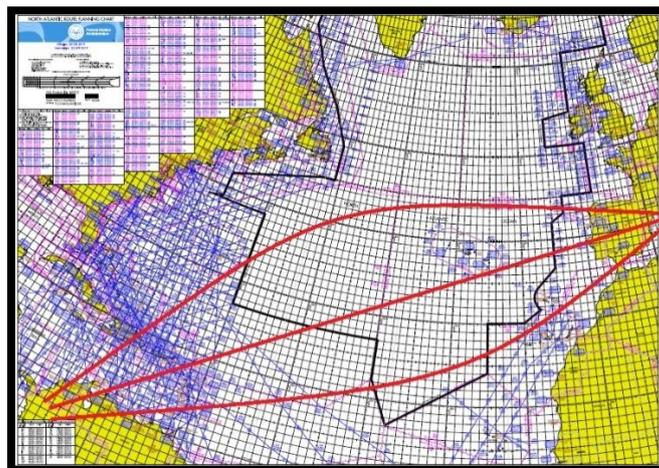


Figura 19. Miniatura de la carta de navegación del Atlántico norte.

✈ **El Caribe y América central**

Por último, es necesario citar las cartas de utilidad al salir/entrar de espacio aéreo colombiano. Estas son las cartas de navegación en ruta, a alta y baja altitud, de nuevo promulgadas por la FAA [117], serían las:

- ✈ H-2, que comprende la parte oeste del Atlántico previa a llegar a SKBO y el aeropuerto.

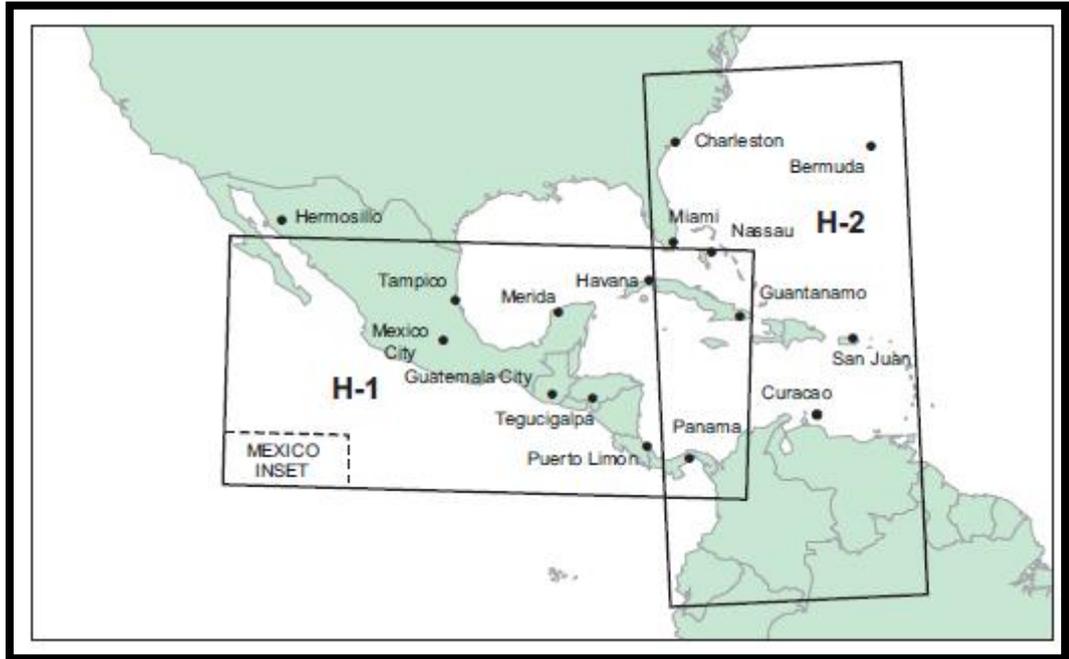


Figura 20. Cartas de navegación a alta altitud en América central y el Caribe.

- ✈ L-5 y L-6, que comprenden las partes de esta zona previas a llegar a espacio aéreo colombiano.

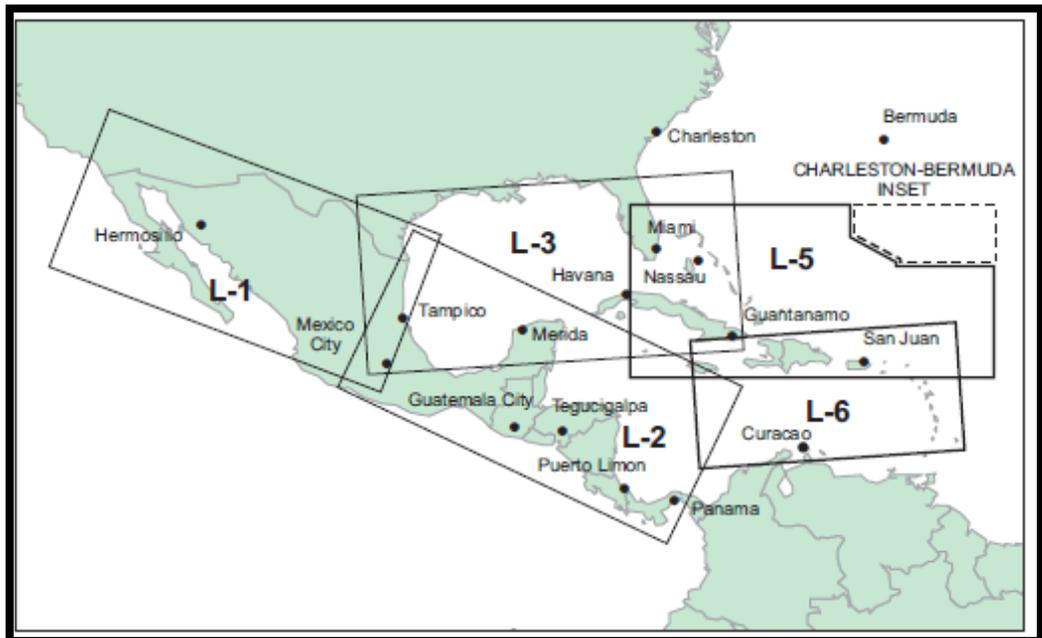


Figura 21. Cartas de navegación a baja altitud en América central y el Caribe.

- ✈ *Western Atlantic route chart.* Se corresponde con la parte izquierda inferior de la *North Atlantic route chart.*

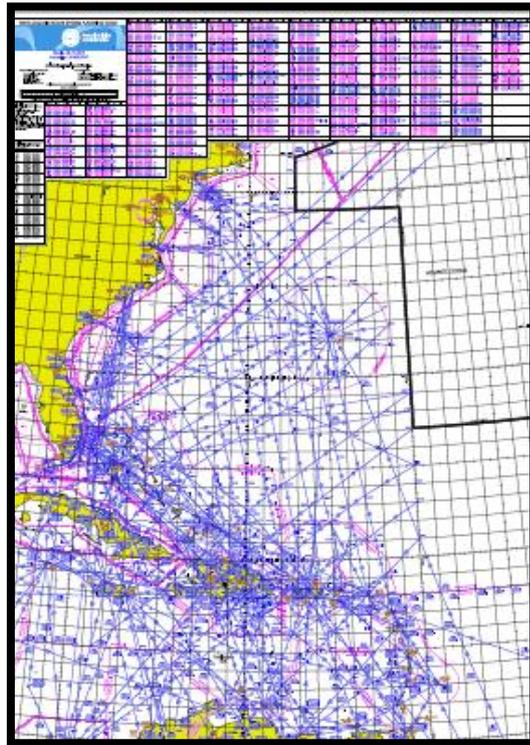


Figura 22. Miniatura de la carta de navegación en el Caribe y América central.

A estas últimas cartas mostradas, a nivel oceánico del Atlántico y el Caribe también se le añade el documento [118]. En este documento se pueden ver las velocidades y direcciones medias de los vientos en el océano Atlántico. Esta será de gran utilidad a la hora de calcular el tiempo empleado en la navegación, pues se tomarán los valores medios para realizar cálculos de desviación de la trayectoria.

### 2.4.3 Simbología utilizada

La simbología utilizada se recoge en el anexo 4 a este documento.

## 2.5 Determinación de la ruta

Con la utilización de los mapas de [122], se muestra el alcance del avión volando a la velocidad OEI. Con las siguientes figuras se observa hasta donde llegaría el Boeing 787-9 propuesto en función de la normativa ETOPS que se aplique. Para ello, ha sido necesario calcular una OEI. A partir de la estimación que se realiza en [123] para un Boeing 757, donde se propone para este modelo una OEI de 389 kts (720 km/h), se realiza una estimación utilizando la velocidad máxima de este modelo y del escogido:

$$\left(\frac{V_{MO}}{OEI}\right)_{757} = \left(\frac{V_{MO}}{OEI}\right)_{787} ; OEI_{787} = (V_{MO})_{787} \cdot \left(\frac{OEI}{V_{MO}}\right)_{757} = 956 \cdot \frac{720}{918} = 750 \text{ km/h} = 405 \text{ kts}$$

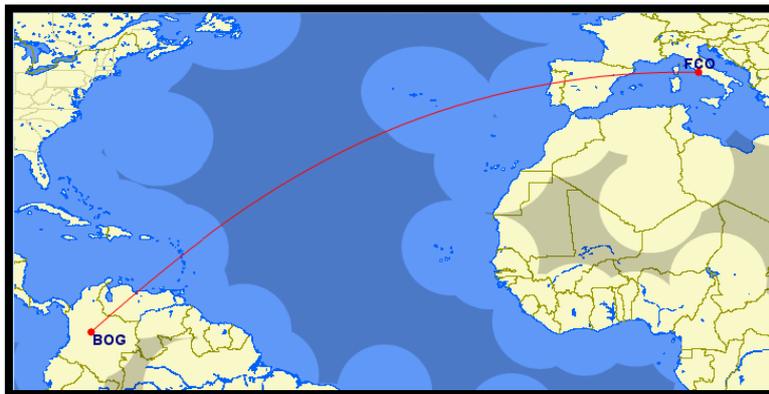


Figura 23. Vuelo bajo ETOPS 60 minutos.



Figura 24. Vuelo bajo ETOPS 75 minutos.

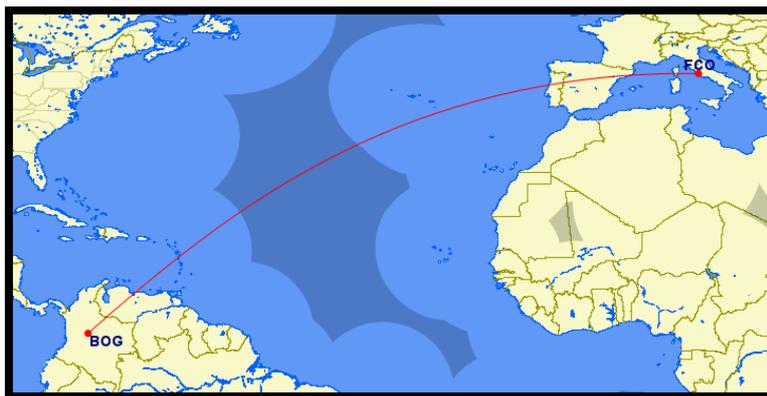


Figura 25. Vuelo bajo ETOPS 90 minutos.

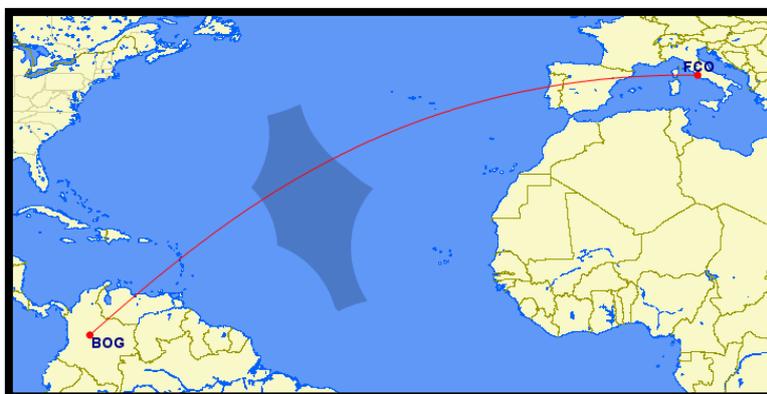


Figura 26. Vuelo bajo ETOPS 120 minutos.



Figura 27. Vuelo bajo ETOPS 138 minutos.

Las normativas ETOPS mayores a 180 minutos no se muestran pues abarcan la totalidad del océano. A partir de la *tabla 1*, se observa que volar bajo normativa ETOPS 138 o 180 no tienen ninguna restricción de área, con lo que se puede aplicar a esta zona del Atlántico. Al no concretar la aerolínea para la que se diseña el proyecto, se podría utilizar normativa hasta ETOPS 330, la máxima certificada para el Boeing 787-9. Viendo las *figuras 23 a 27*, se decide la creación de una ruta ETOPS 180, pues el diseño de una ETOPS de menor tiempo de desvío implicaría tomar una trayectoria de mayor longitud para evitar la zona central que aparece oscurecida en las imágenes.

Si se acude a un mapa diario de NATs, como el de [125]:

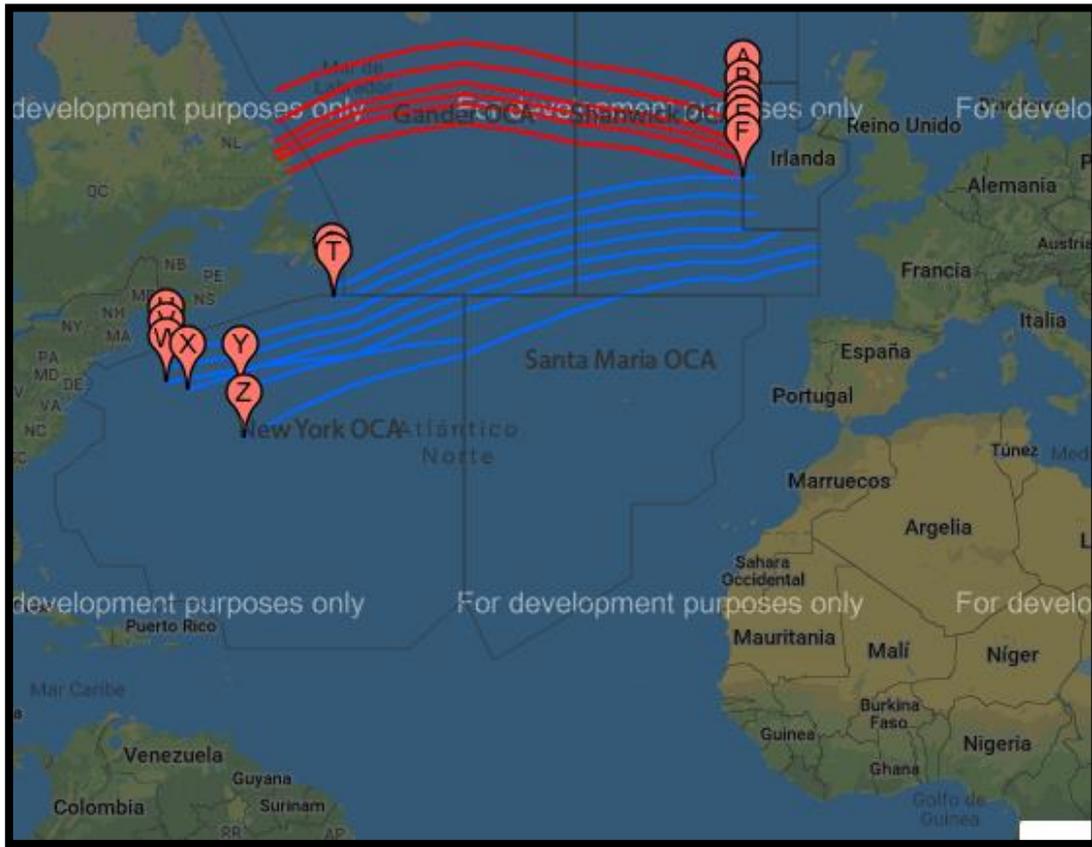


Figura 28. NATs publicados para el 27 de febrero de 2019.

Aquí se observa que no será necesario operar en un NAT, pues también aumentaría notablemente la longitud a recorrer y, por lo tanto, generar un mayor gasto de combustible. Así pues, la mejor manera sería la navegación libre mediante la utilización de la tecnología RNAV.

En esta sección primero se diseña el procedimiento de vuelo completo para el vuelo desde LIRF a SKBO. Una vez completo, se realiza el de vuelta, indicando las modificaciones oportunas por ejemplo por las diferencias de SID y STAR.

## 2.5.1 Vuelo de ida

La manera de proceder tanto aquí como en 2.5.2 es:

1. Elección de una SID para cada una de las pistas de despegue que se vaya a utilizar. Las SID buscada para cada una de las posibles pistas de despegue deben finalizar en el mismo punto de notificación o en puntos lo suficientemente cercanos entre ellos. Esto se debe a que debe encontrarse un punto común a todos los procedimientos a partir del cual, iniciar el siguiente apartado.
2. Fase de ascenso. Se describe la trayectoria a seguir desde el punto de salida del procedimiento SID hasta alcanzar el techo de vuelo.
3. Fase de crucero. Se describe la trayectoria a seguir en vuelo de crucero, hasta el inicio del descenso.
4. Fase de descenso. Se describe la trayectoria a seguir hasta alcanzar el punto de entrada al procedimiento STAR.
5. Elección de una STAR para cada una de las pistas de aterrizaje que se puedan utilizar. Al igual que para las SID, deben buscarse para cada pista procedimientos que inicien en el mismo punto de notificación o cercanos entre ellos.
6. Cálculo de distancias, velocidades, niveles de vuelo y tiempos.

Por lo tanto y *a grosso modo*, de los subapartados 1 al 5 de este y el siguiente apartado se describe la trayectoria que realiza la aeronave, mientras que en el 6 se realizan todos los cálculos. Todos los *heading* mostrados a continuación no han sido corregidos por la desviación magnética.

### 2.5.1.1 Procedimiento de salida instrumental

En el apartado 2.3.2.1, se explica las 8 pistas de las que dispone LIRF:

- ✘ Pista 25. Es la común de despegue, pero si recordamos la longitud mínima de pista necesaria para despegar con MTOW en este aeropuerto, en torno a los 3000 metros, se considera que es demasiado justa para el propósito buscado. Por lo tanto, no se presenta ningún procedimiento de salida instrumental con ella.
- ✘ Pistas 16C/34C. Se utilizan como pista de aterrizaje para operaciones hasta Boeing 747-400 y para operaciones hasta aeronaves de clase C, respectivamente, y han sido creadas para el tráfico internacional. Por lo tanto, se presenta un procedimiento de llegada instrumental por la 16C, pues el Boeing 787-9 tiene la misma categoría que el Boeing 747-400 y una mayor a C [126]. Se pueden utilizar también en casos de despegue, siempre y cuando no haya contaminación o lluvia fuerte. No se presentan procedimientos de salida instrumental con ellas pues nos quedamos con las de mayor longitud.
- ✘ Pista 16L/34R. La primera de ellas se utiliza como pista de aterrizaje habitual. Se utilizan como pista de despegue para aquellas aeronaves las cuales no tienen suficiente con la longitud de la pista 25 para realizar la operación de despegue.

- ✈ Pistas 16R/34L. Se utiliza como pista de aterrizaje para aterrizajes paralelos al anterior. Se utiliza como pista de despegue para aquellas aeronaves las cuales no tienen suficiente con la longitud de la pista 25 para realizar la operación de despegue, pero sólo se utiliza en aquellos casos donde se hayan razones técnicas o de seguridad.

Por lo tanto, deben buscarse 4 procedimientos de salida: los habituales por las pistas 16L/34R y los otros posibles por las pistas 16R/34L. Estos procedimientos e informaciones se han obtenido de [127]. Al volar con RNAV se estudian tan sólo las rutas RNAV. Se debe buscar aquellas SID que partan hacia sitios situados al oeste del aeropuerto, más o menos sobre el radial 270° inicialmente [122]. Por esto último, se cogen aquellos procedimientos de SID que coinciden en SOSAK y finalizan en ESINO<sup>37</sup>.

#### 2.5.1.1.1 SID para despegue por 16L: SOSAK 6C

Se utiliza la carta 10-3K con el procedimiento a seguir para alcanzar SOSAK despegando por la pista 16L.



Figura 29. SID para despegue por pista 16L.

El *routing* concreto a seguir sería:

- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF602 a una altitud mayor a 510 ft. El *heading* es de 161°. La velocidad máxima permitida es de 210 kt.
- ✈ Hasta sobrepasar FL100 debe volarse a un máximo de 250 kt.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF603.

<sup>37</sup> Es el procedimiento que mejor acaba encarando el rumbo inicial hacia SKBO.

- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio SOSAK a una altitud mayor a 3000 ft. El radial a interceptar es el 217° desde OSTIA.

### 2.5.1.1.2 SID para despegue por 34R: SOSAK 7X

Se utiliza la carta 10-3T con el procedimiento a seguir para alcanzar SOSAK despegando por la pista 34R.

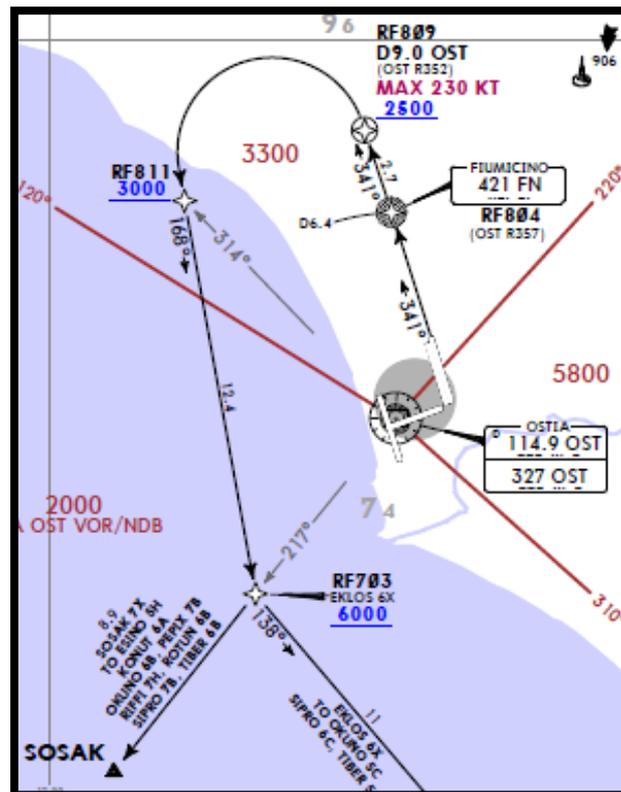


Figura 30. SID para despegue por pista 34R.

El *routing* concreto a seguir sería:

- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF804. El *heading* es de 341°. Se encuentra en el radial 357° desde OSTIA.
- ✈ Hasta sobrepasar FL100 debe volarse a un máximo de 250 kt.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF809 a una altitud mayor a 2500 ft. La velocidad máxima permitida es de 230 kt.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF811 a una altitud mayor a 3000 ft. El radial desde OSTIA es el 314°.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF703 a una altitud mayor a 6000 ft. El radial desde OSTIA es el 217°.
- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio SOSAK. El radial desde OSTIA es el 217°.

Este *routing* tiene un gradiente de ascenso mínimo hasta 3000 ft en función de su *ground speed*:

<b>Ground speed (kt)</b>	75	100	150	200	250	300
<b>Gradiente (ft/m)</b>	531	708	1063	1417	1771	2125

Tabla 31. Gradiente de ascenso mínimo para SOSAK 7X.

### 2.5.1.1.3 SID para despegue por 16R: SOSAK 6B

Se utiliza la carta 10-3G con el procedimiento a seguir para alcanzar SOSAK despegando por la pista 16R.



Figura 31. SID para despegue por pista 16R.

El *routing* concreto a seguir sería:

- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF601 a una altitud mayor a 620 ft. El *heading* es de 161°. La velocidad máxima permitida es de 220 kt.
- ✈ Hasta sobrepasar FL100 debe volarse a un máximo de 250 kt.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF603.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF703. El radial desde OSTIA es el 217°.
- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio SOSAK a una altitud mayor a 3000 ft. El radial desde OSTIA es el 217°.

#### 2.5.1.1.4 SID para despegue por 34L: SOSAK 5Y

Se utiliza la carta 10-3Q con el procedimiento a seguir para alcanzar SOSAK despegando por la pista 34L.

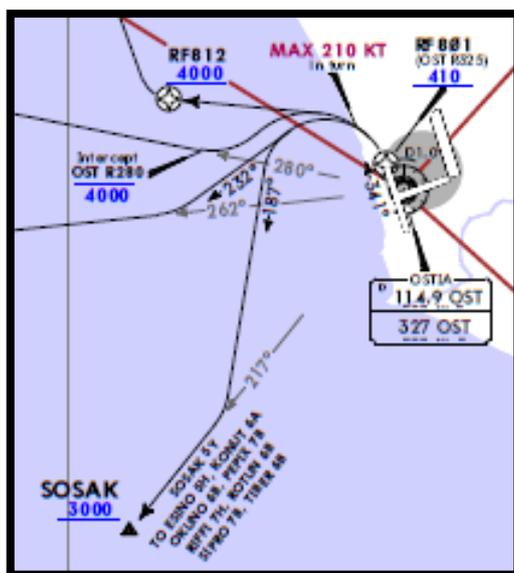


Figura 32. SID para despegue por pista 34L.

El *routing* concreto a seguir sería:

- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF801 a una altitud mayor a 410 ft. El *heading* es de 341°. La velocidad máxima permitida es de 210 kt.
- ✈ Hasta sobrepasar FL100 debe volarse a un máximo de 250 kt.
- ✈ Sobrevolar el *waypoint* RF703. El radial desde OSTIA es el 217°.
- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio SOSAK a una altitud mayor a 3000 ft. El radial desde OSTIA es el 217°.

### 2.5.1.1.5 Continuación de las SID: ESINO 5H

Se utiliza la carta 10-3x3 con el procedimiento a seguir para continuar desde SOSAK.

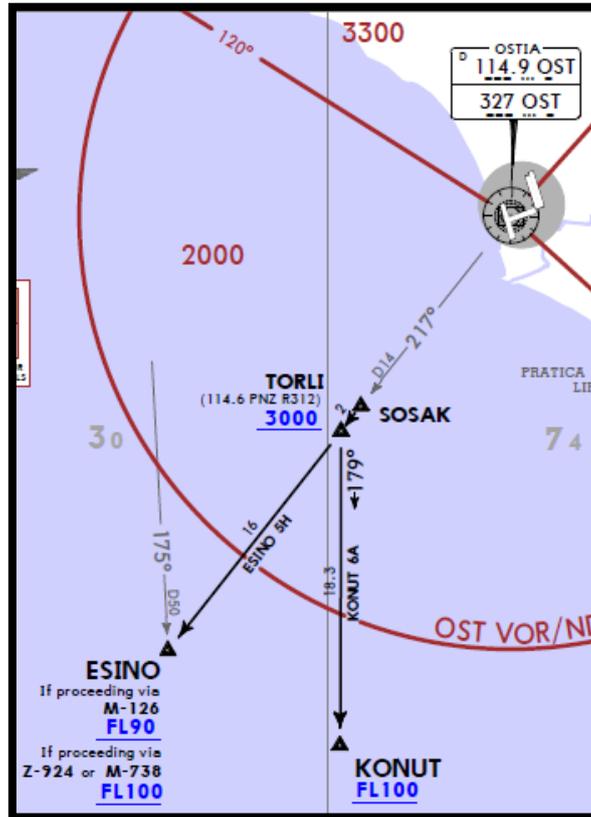


Figura 33. Continuación de las SID usadas desde LIRF.

El *routing* concreto a seguir sería:

- ✈ Hasta sobrepasar FL100 debe volarse a un máximo de 250 kt.
- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio TORLI a una altitud mayor a 3000 ft. El *heading* es 217° y la distancia es de 2 NM.
- ✈ Sobrevolar el punto de notificación obligatorio ESINO a una altitud mayor a FL100. El *heading* es 308°.

El procedimiento completo sería completar uno de los procedimientos SOSAK 5Y, 6B, 6C y 7X seguidos del procedimiento ESINO 5H.

### 2.5.1.2 Fase de ascenso

La fase de ascenso continúa a partir de ESINO. Aquí se comienza utilizando la ERC-07 a baja altitud y la L-12. Posteriormente, se utilizan las cartas ERC-08 y la H-15. Además, se cuenta con la ayuda de los mapas de [128]. La ruta a seguir a partir de ESINO sería la mostrada en la *tabla* 32. En las figuras posteriores se muestra esta ruta en el mapa. Cada figura parte de su esquina superior derecha hacia su esquina inferior izquierda, empezando y acabando en los puntos facilitados por la tabla.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia <sup>38</sup> (NM)	Heading	FL <sup>39</sup>		
DVOR	OSTIA	41° 48,2' N 12° 14,25' E						
Punto de notificación	SOSAK	41° 37' N 12° 2,6' E		14	217 (OSTIA)	Sobre 3000		
Waypoint	ESINO	41° 23,1' N 11° 47,7' E	Z924 / UZ924	18	216 (OSTIA)	FL210 FL100		
	GITRI	40° 55,7' N 10° 09,5' E		79	249 (ESINO)			
	KOLUS*	40° 43,1' N 09° 26,5' E		35				
	SUTAD	40° 40' N 08° 43,4' E		23				
	USEPI	40° 26,8' N 08° 23,1' E		28				
Punto de notificación	SUPUX	40° 25,5' N 08° E			18		-	
	KUPIM	40° 20,1' N 07° 17,9' E			33		-	
	RIPAL	39° 58,7' N 04° 46,3' E			118		256 (ALG)	
Punto de notificación VORTAC	ALGHERO (ALG)	40° 37,7' N 08° 14,6' E						
Punto de notificación VOR/DME	MORSS	39° 57,4' N 04° 40' E		UZ924	5		254 (MHN)	Sobre FL210
Punto de notificación VOR/DME	MENORCA (MHN)	39° 51,8' N 04° 13' E	UM603	22	Sobre FL195			

Tabla 32. Descripción de la fase de ascenso del vuelo LIRF – SKBO.

<sup>38</sup> Desde el punto anterior.

<sup>39</sup> Muestra el límite superior e inferior o el inferior. Los niveles de vuelo de cada tramo se concretan en 2.5.1.6

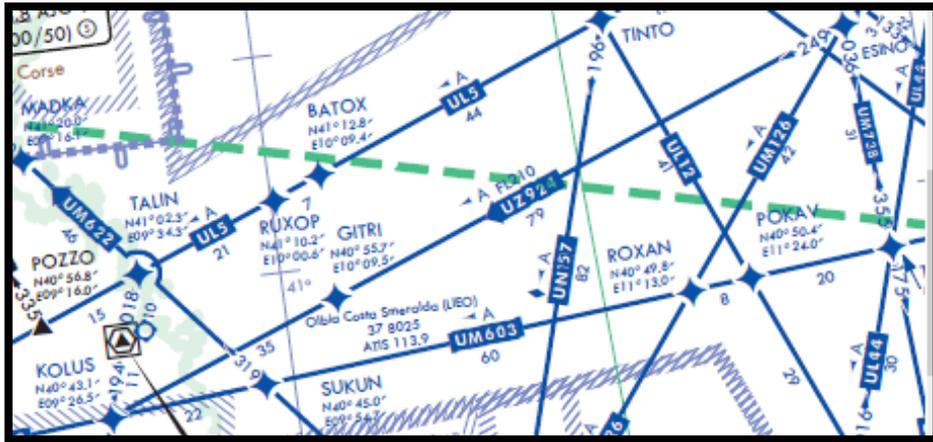


Figura 34. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (I). (L-12)

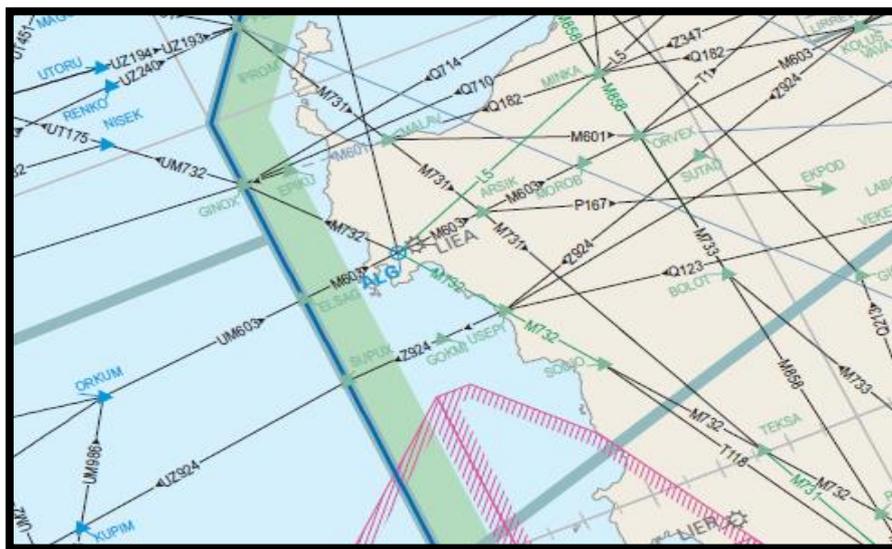


Figura 35. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (II). (ERC 08)

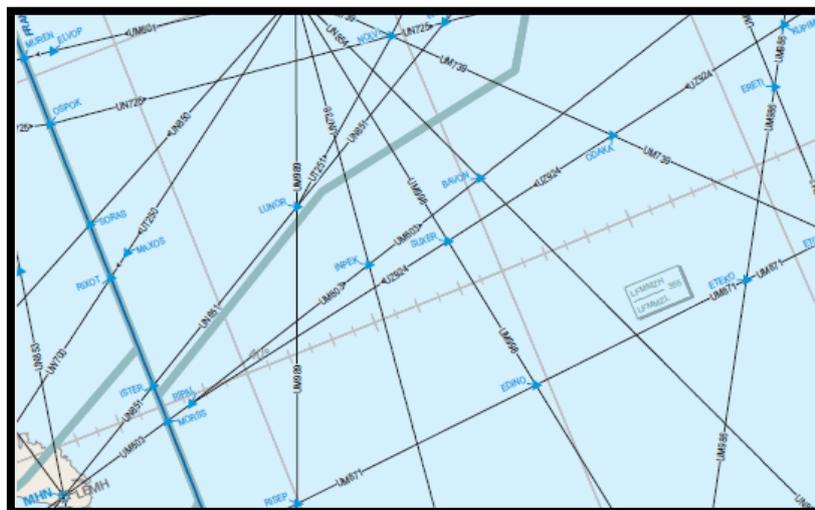


Figura 36. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo LIRF-SKBO (III). (ERC 08)

### 2.5.1.3 Fase de crucero

Realmente, a estas alturas de vuelo ya se habría sobrepasado a nivel superior de vuelo y se entra en la fase de crucero. Más adelante en el proyecto se determina que la fase de ascenso realmente finaliza en algún punto entre GITRI y KOLUS y, por lo tanto, parte de la información mostrada como apartado 2.5.1.2 realmente debería incluirse aquí. Siguiendo tal y como se ha propuesto, la fase de crucero continúa a partir de MENORCA. Aquí se comienza utilizando la ERC-02 y la H-16. Además, se cuenta con la ayuda de los mapas de [128]. La ruta a seguir a partir de MENORCA se muestra en las siguientes tablas y figuras posteriores. Cada figura parte de su esquina superior derecha hacia su esquina inferior izquierda, empezando y acabando en los puntos facilitados por la tabla. Al ser el apartado de fase de crucero el más largo, se divide la información en varias tablas y sus respectivas figuras.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading (desde)	FL
Punto de notificación VOR/DME	MENORCA (MHN)	39° 51,8' N 04° 13' E	UM603	37,4	254 (MHN)	Sobre FL245
	CAPDEPERA (CDP)	39° 41,9' N 03° 26,1' E				
Punto de notificación	LULAK	-		30	249 (CDP)	
	EDULI	-		20		
	OKITI	-		48		
Waypoint	IBEBBA	-		25		
Punto de notificación	BAVER	-		14		
	GERVU	-		10		
Punto de notificación VOR/DME	ALTET (ALT)	38° 16,1' N 00° 34,1' W		60	236	

Tabla 33. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO. (I)



Figura 37. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (I). [128]

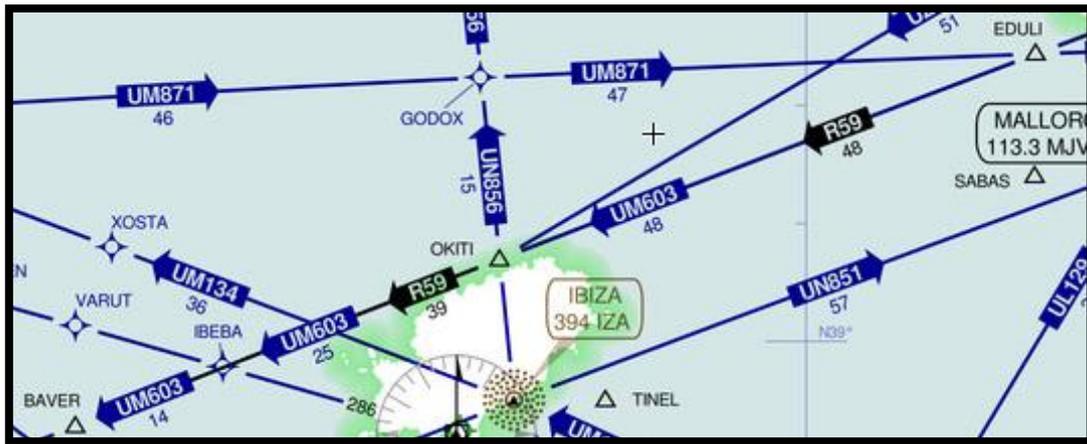


Figura 38. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (II). [128]



Figura 39. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (I). [128]

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR/DME	ALTET (ALT)	38° 16,1' N 00° 34,1' W				
Waypoint	RESTU	37° 54,5' N 01° 33,5' W	UN851	52	246 (ALT)	Sobre FL245
	TOSGA	37° 37,5' N 02° 18,4' W		39	245 (RESTU)	
	ROLAS	37° 24,9' N 02° 51,3' W		29	244 (MGA)	
Punto de notificación VOR/DME	MALAGA (MGA)	36° 48,9' N 04° 22,2' W	39			
Waypoint	PIMOS	36° 09' N 04° 53,6' W	UN869	47	213 (MGA)	
Punto de notificación	GALTO	36° 48,9' N 04° 22,2' W	UN869	23	213 (MGA)	

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR/DME	RABAT SALE (RBT)	34° 03' N 06° 44,8' W	UN869	133	217 / 220 (RBT)	Sobre FL245

Tabla 34. Descripción de la fase de cruceo del vuelo LIRF-SKBO. (II)



Figura 40. Carta aeronáutica de la fase de cruceo del vuelo LIRF-SKBO (IV). [128]

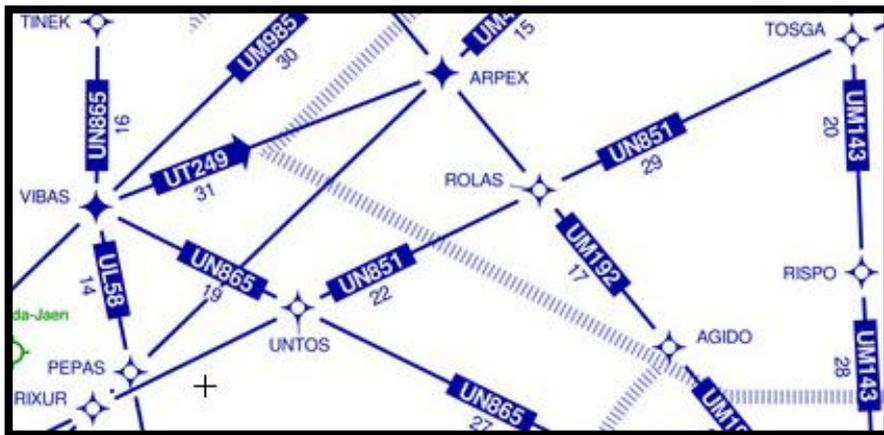


Figura 41. Carta aeronáutica de la fase de cruceo del vuelo LIRF-SKBO (V). [128]

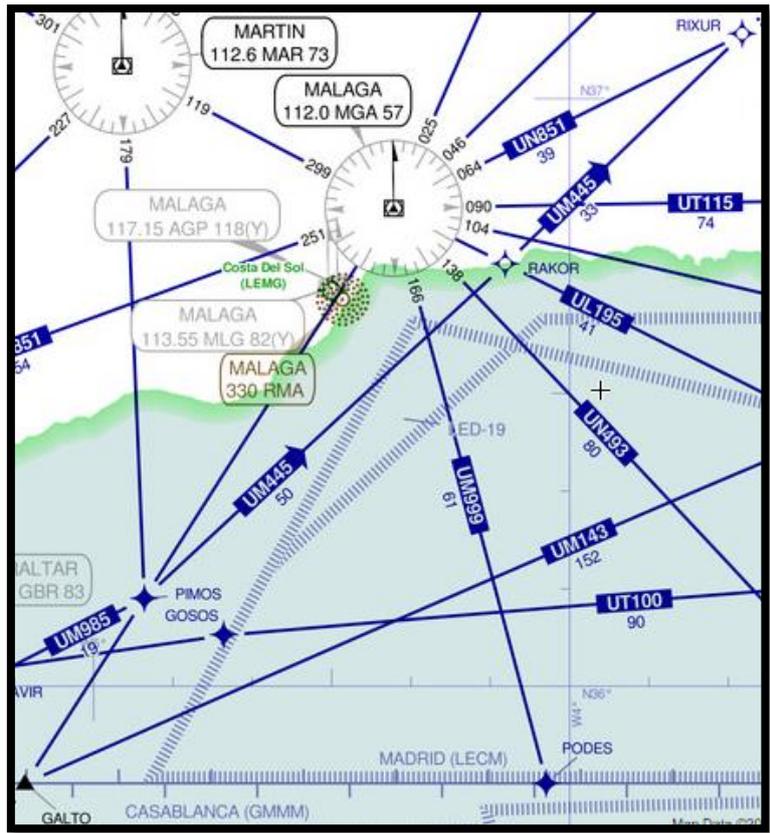


Figura 42. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VI). [128]

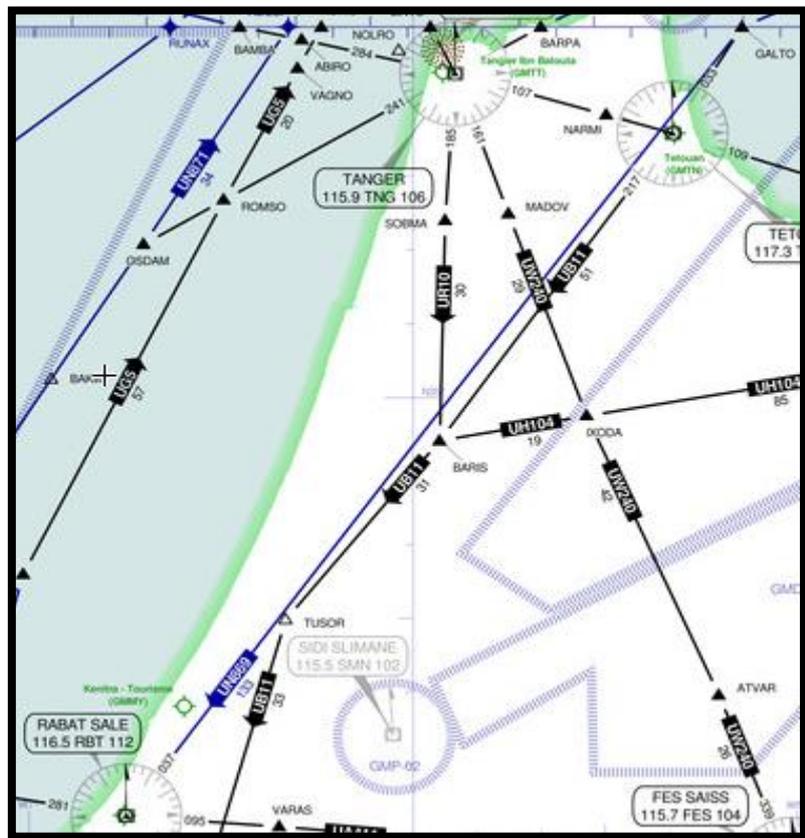


Figura 43. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VII). [128]

A partir de ahora, se utiliza la carta H-11 junto con la ERC-1, [116] y [128]:

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR/DME	RABAT SALE (RBT)	34° 03' N 06° 44,8' W	UN869	68	216 (RBT)	Sobre FL245
	CASABLANCA (SLK)	33° 06,9' N 07° 30,4' W				
Waypoint	PELAX	32° 51,2' N 07° 41,4' W		18,2	212 (SLK)	
Punto de notificación	MABAP	-		51		
Punto de notificación VOR/DME	AGADIR AL MASSIRA (ADM)	30° 19,3' N 09° 23' W	UG850	124	032 (ADM)	
Punto de notificación	BULOK	30° 10,9' N 09° 50,3' W		25	255 (ADM)	
	SOMOM	30° 04,4' N 10° 12' W		20		
	DEVLA	29° 14,9' N 12° 43,1' W	140	254 (ADM)		
Punto de notificación VOR/DME	LANZAROTE (LTE)	28° 56,5' N 13° 37' W	UM157	50	073 (LTE)	

Tabla 35. Descripción de la fase de cruceo del vuelo LIRF-SKBO (III).



Figura 44. Carta aeronáutica de la fase de cruceo del vuelo LIRF-SKBO (VIII). [128]

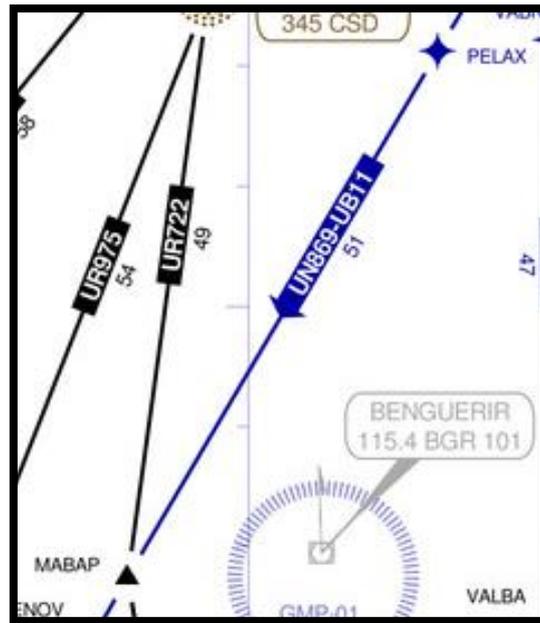


Figura 45. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIR-SKBO (IX). [128]



Figura 46. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIR-SKBO (X). [128]

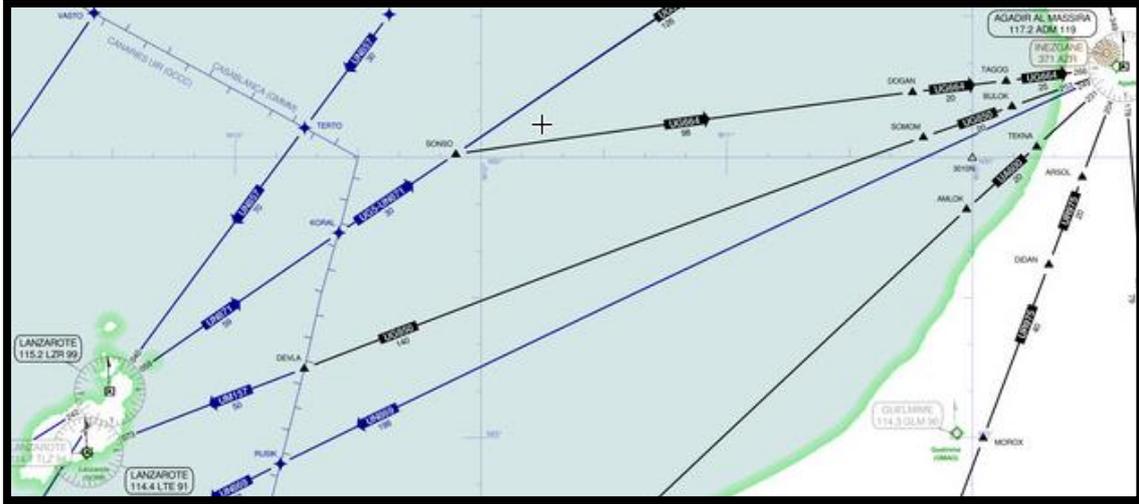


Figura 47. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XI). [128]

En este punto, se decide interceptar el *heading* 254 de LTE con el radial 243 de LZR para llegar a la ruta UN871.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR/DME	LANZAROTE (LZR)	29° 10' N 13° 30,6' W				
	GRAN CANARIA (GDV)	28° 04,6' N 15° 25,7' W	UN871	120	243 (LZR)	Sobre FL245
Punto de notificación	VIDRI	26° 53,7' N 17° W	UN871	111	236 (GDV)	
Waypoint	NORED	24° 38,3' N 22° 28,8' W	No se navega por ninguna ruta (Figura 50) <sup>40</sup>			
Punto de notificación	ULTEM	21° 29,6' N 29° 48,1' W				
Navegación oceánica <sup>98</sup>						Sobre FL285 (NAT)

Tabla 36. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (IV).

<sup>40</sup> Cálculos de distancia y rumbos en 2.5.1.6.



Figura 48. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XII). [128]

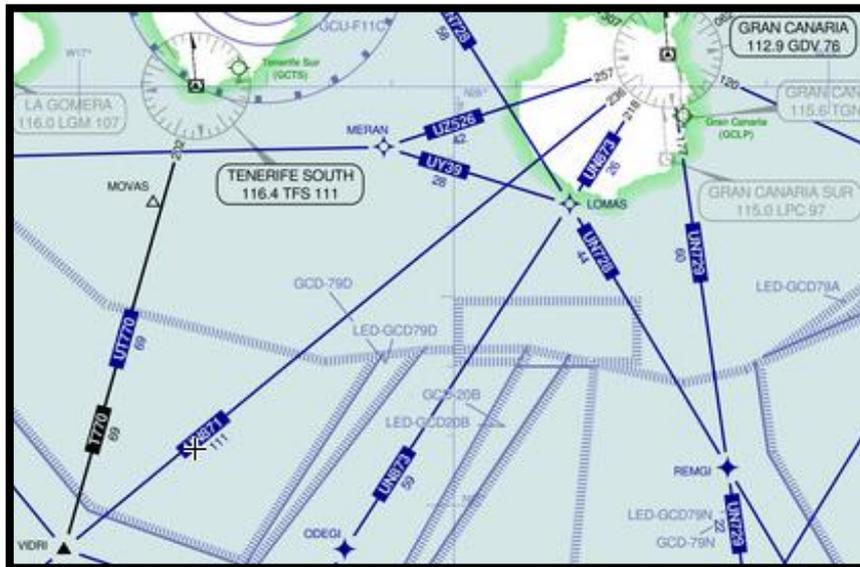


Figura 49. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIII). [128]

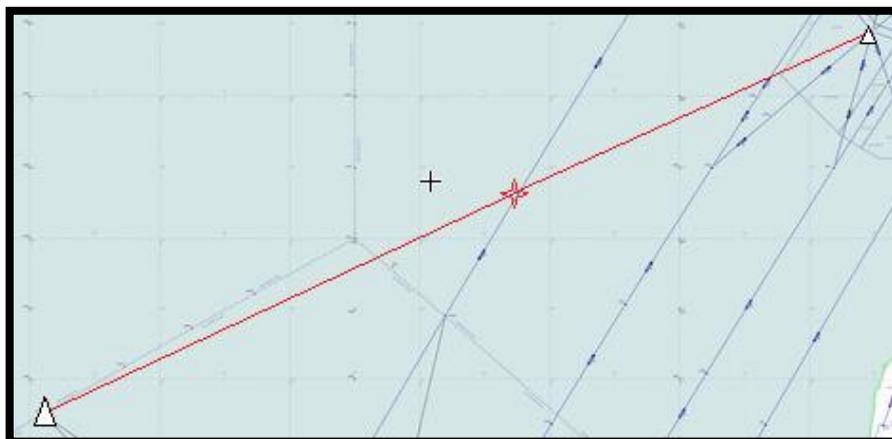


Figura 50. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIV). [128]

Respecto a la tabla 36, vale la pena mencionar lo siguiente. Las rutas que aparecen partiendo de GDV lo hacen dirección a Cabo Verde. En cambio, para llegar a SKBO interesa un rumbo que vaya más hacia el Oeste. Por lo tanto, una vez sobrevolado VIDRI, se intercepta el *waypoint* NORED, marcado en rojo en la *figura 50*. Finalmente, antes de entrar en navegación oceánica, se navega hacia ULTEM, el punto de entrada oceánica del Atlántico norte más al sur posible que parte del Atlántico oriental.

A partir de este punto, con la ayuda de [116], tal y como se aprecia en la *figura 51* donde aparece ULTEM a su derecha, se carece en un espacio notable de rutas interesantes a seguir para llegar a nuestro objetivo. Por lo tanto y hasta la aparición de las mismas, se navega entre *waypoints*, *nav aids* y puntos de notificación.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Waypoint	BUTUX	18° N 45° 22,8' W	No se navega por ninguna ruta (Figura 51) <sup>98</sup>			
	BOXIT	14° 16,4' N 55° W				
Punto de notificación VOR/DME	ADAMS (BGI)	13° 04,5' N 59° 29' W				
Waypoint	YOLKK	12° 27,4' N 60° 49' W	UA561	86,5	260 (BGI)	Sobre FL245
Punto de notificación VOR/DME	MAURICE BISHOP INTL (GND)	12° 00,1' N 61° 47,1' W		149	079 (GND)	
Punto de notificación	PERGA	11° 48,1' N 62° 11,5' W		27	258 (GND)	
	DAREK	11° 29,7' N 62° 48,2' W		40	257 (GND)	
Waypoint	UDIMA	10° 33' N 63° 42,5' W	UM662	78	238 (DAREK)	
Punto de notificación	VURAN	10° 00,6' N 64° 13,4' W		44	237 (UDIMA)	

Tabla 37. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (V).

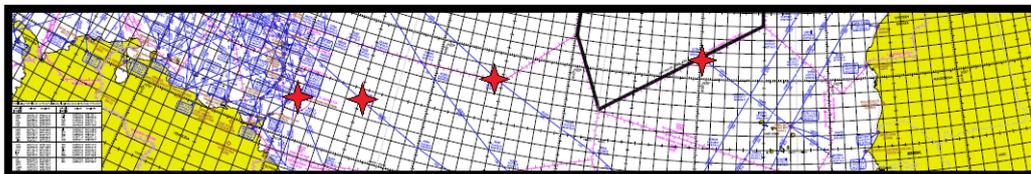


Figura 51. Localización de ULMET, BUTUX, BOXIT y ADAMS, de derecha a izquierda. [116]

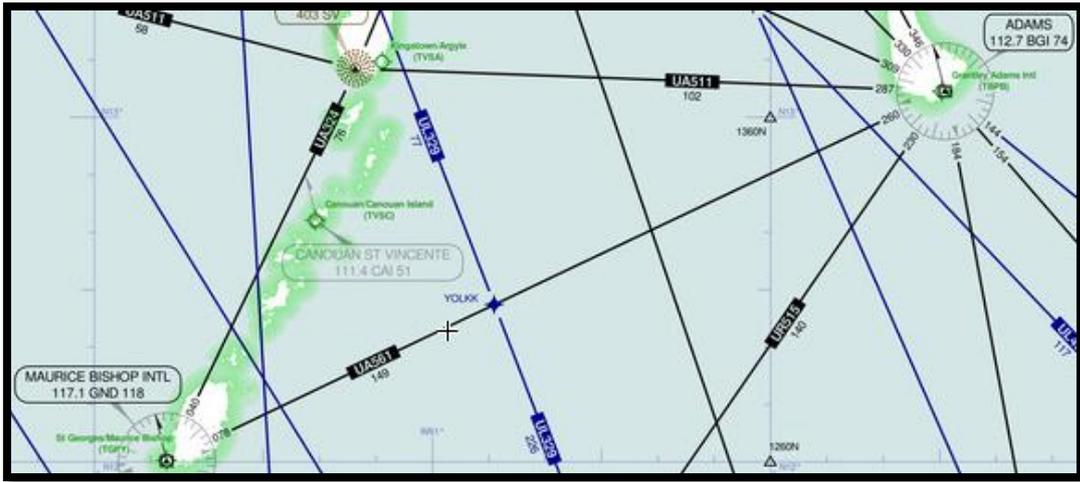


Figura 52. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XV). [128]

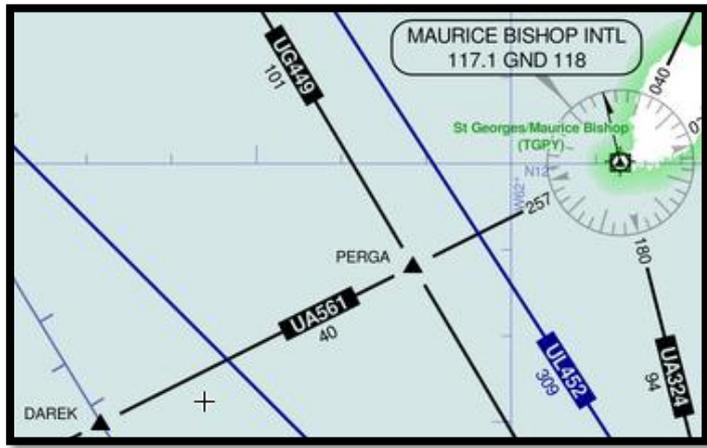


Figura 53. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVI). [128]



Figura 54. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVII). [128]

Ahora, se trabaja con la carta H-2 de la FAA y [128].

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL	
Punto de notificación	USOMI	09° 27,3' N 64° 44,8' W	UM662	45	236 (USOMI)	Sobre FL245	
	OROSU	09° 19' N 64° 52,6' W		11			
Waypoint	TEPER	09° 00,9' N 65° 09,9' W		25			
	PORDI	08° 25,5' N 65° 43' W		48			
	EGOSU	07° 57,9' N 66° 08,7' W		37			
	OPNAL	07° 07' N 67° 05,7' W		76			
	ITADI	06° 58,6' N 67° 15,1' W		13			
	EDSEM	06° 44' N 67° 31,5' W		22			
Punto de notificación	AMAYA	06° 09,8' N 68° 09,5' W		51	240 (EGOSU)		239 (ITADI)

Tabla 38. Descripción de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (VI).

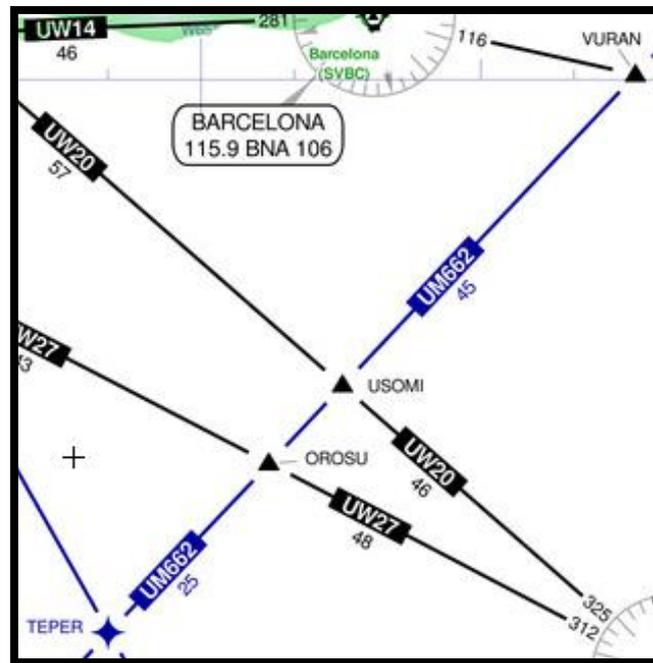


Figura 55. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XVIII). [128]

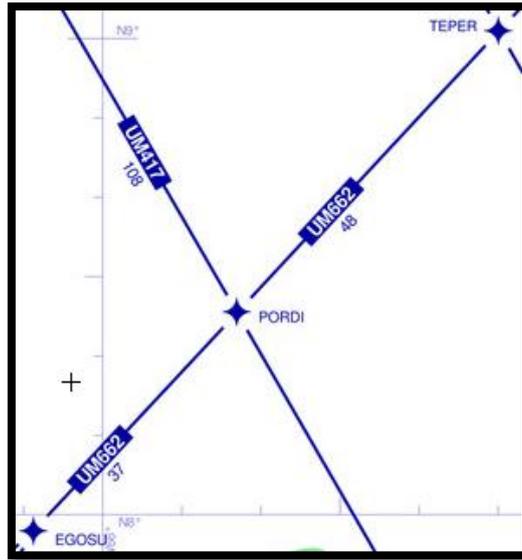


Figura 56. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XIX). [128]

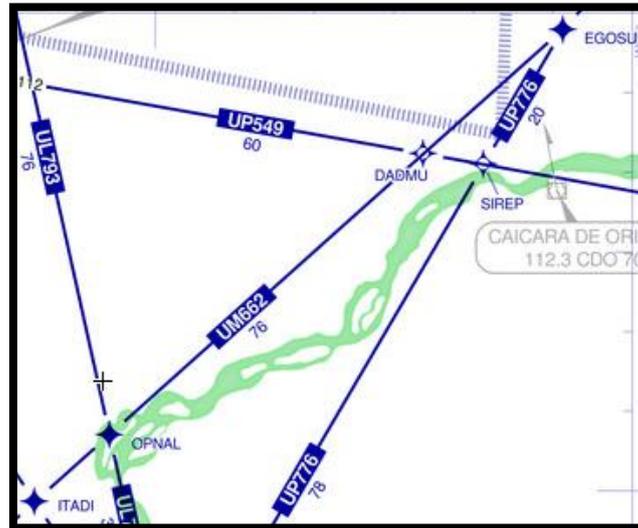


Figura 57. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XX). [128]



Figura 58. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo LIRF-SKBO (XXI). [128]

### 2.5.1.4 Fase de descenso

Esta fase comienza en AMAYA, primer punto por el que se pasa en espacio aéreo colombiano. Por lo tanto, debe volarse a una altitud inferior a FL245.

El primer paso a seguir es interceptar la ruta W24. La *tabla 39* muestra la llegada al punto de entrada a las STAR de SKBO. Concretamente, se ha escogido iniciar la STAR desde SIRUG. Se trabaja con [101], [106], [107], [125] y [129].

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia <sup>41</sup> (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR	PUERTO CARREÑO (PTC)	06° 55,8' N 67° 29,8' W				
Punto de notificación	SIDUN	05° 10,9' N 68° 54,8' W	W24	86	270 (PTC)	FL245 5500
	PAMAG	05° 44' N 70° 0,3' W		66		FL245 6500
	TOBSU*	05° 26' N 71° 39,1' W		100		FL245 8500
Punto de notificación VOR	EL YOPAL (EYP)	05° 16,6' N 72° 25,6' W		47	086 (EYP)	FL245 5500
Punto de notificación	SUPNU	05° 13,3' N 72° 45,6' W		20	087 (ZIP)	FL245 13500
	SIRUG	05° 07,7' N 73° 19,8' W		34		FL245 14500
Punto de notificación VOR	ZIPAQUIRA (ZIP)	05° 01,1' N 73° 59,2' W	40			FL245 14000

Tabla 39. Descripción de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO.

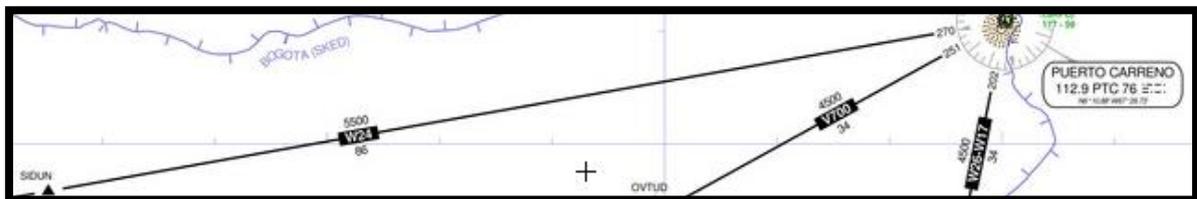


Figura 59. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (I). [128]

<sup>41</sup> Desde el punto anterior.

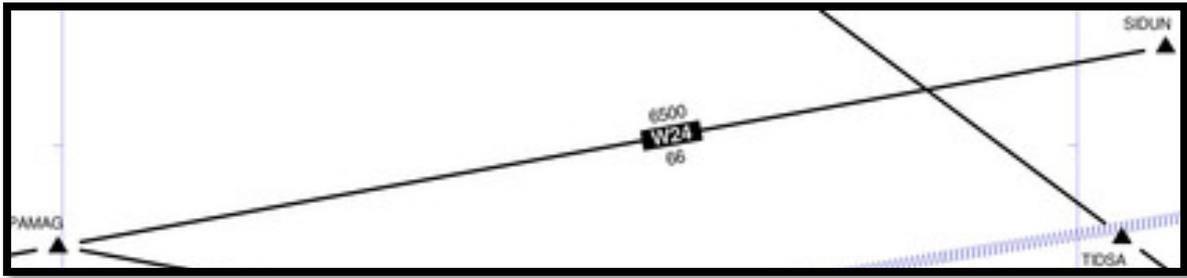


Figura 60. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (II). [128]

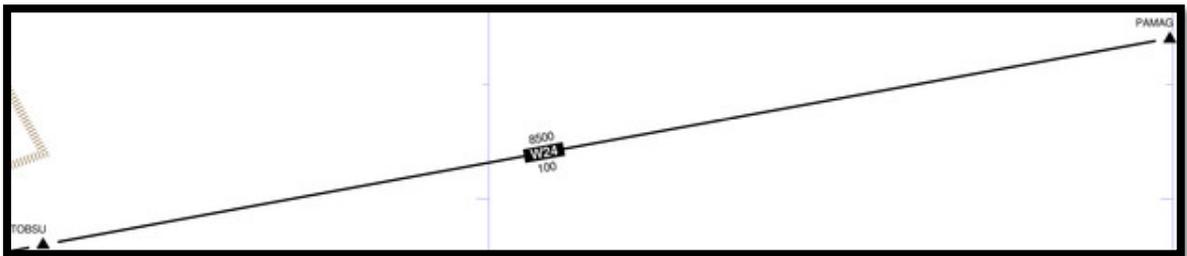


Figura 61. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (III). [128]

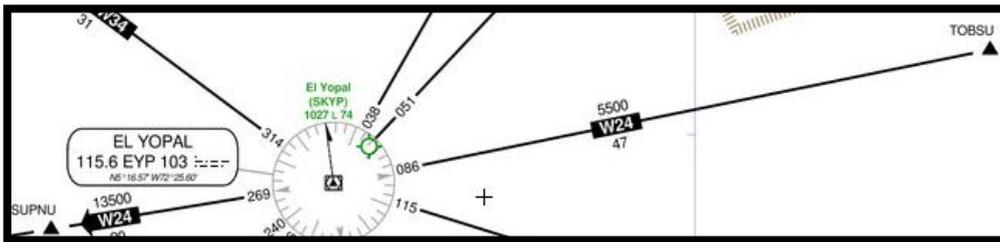


Figura 62. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (IV). [128]

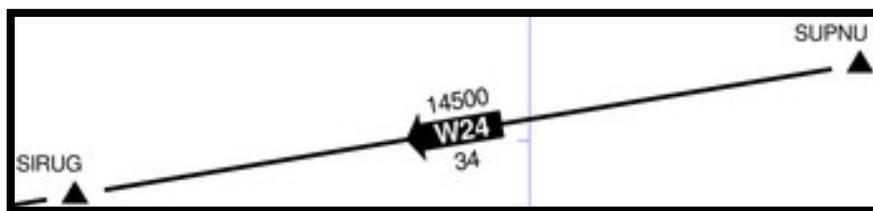


Figura 63. Carta aeronáutica de la fase de descenso del vuelo LIRF-SKBO (V). [128]

Con esto, concluye la fase de descenso y se inicia la fase de aproximación a partir de SIRUG. Después de la realización de los cálculos, se demuestra que esta fase realmente se inicia en algún punto entre TOBSU y EL YOPAL.

### 2.5.1.5 Procedimiento de llegada instrumental

En el apartado 2.3.2.2, se explican las 4 pistas de las que dispone SKBO:

- ✈ 13L/31R.
- ✈ 13R/31L. Cerrada de 03.00 a 11.00 UTC.

Como se hizo para LIRF, se estudian sólo las STAR con RNAV. Los procedimientos se obtienen de [129]. Tanto para estas STAR como para las del vuelo de vuelta, se ignoran los circuitos de espera y los tiempos y recorridos adicionales derivados de los mismos, tratándose estos con un factor de seguridad en apartados posteriores. Antes de explicar los procedimientos de llegada para cada una de las pistas, se muestra a continuación en imágenes algunas de las características y los valores a tener en cuenta durante esta fase. Estos valores también serán útiles en 2.5.2.2.

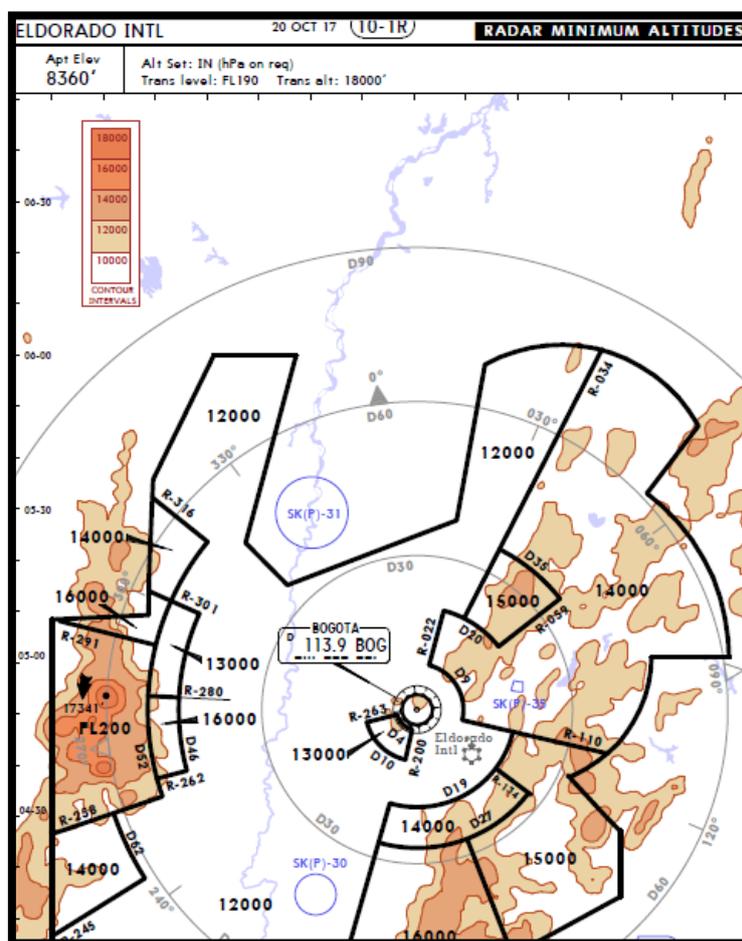


Figura 64. Altitudes mínimas sobre SKBO.

En el TMA de Bogotá, las salidas, llegadas y aproximaciones se especifican las velocidades a utilizar. Vienen dadas en forma de IAS [130]. El Boeing 787-9 es un avión de categoría D [126]:

- ✈ 230 kt. En los giros y sobre o a FL140.
- ✈ 190 kt. Velocidad de aproximación a BOGOTÁ (BOG), el VOR del aeropuerto.
- ✈ 170 kt. Velocidad de aproximación a 13L/13R.
- ✈ 270 kt. A 40 NM del VOR BOG o por debajo de FL250.
- ✈ 250 kt. En ABL, VULUM y PUNPU.
- ✈ 185 kt. En los circuitos de espera de 31L y 31R.

Estando en uso las pistas 13L/13R:

- ✈ 250 kt. En los procedimientos de llegada y arcos de espera hasta 6 NM antes de AMVES.
- ✈ 215 kt. Sobre AMVES o a 6 NM de BOG.
- ✈ 185 kt. Sobre VOR BOG para aproximación RNAV.
- ✈ 160 kt. Sobre el marcador exterior de la pista 13L.
- ✈ 160 kt. Sobre el ILS de la pista 13R.

Si en cambio, la pista en uso es la 31R/31L:

- ✈ 250 kt. Sobre AMVES.
- ✈ 215 kt. Sobre el IF en cualquier procedimiento circular RNAV.
- ✈ 185 kt. Sobre el FAP en cualquier procedimiento circular RNAV.



### 2.5.1.5.2 STAR para aterrizaje por 31L/31R: SIRUG 2W

Se utiliza la carta 10-2F con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 31L/31R, llegando a SKBO desde SIRUG.

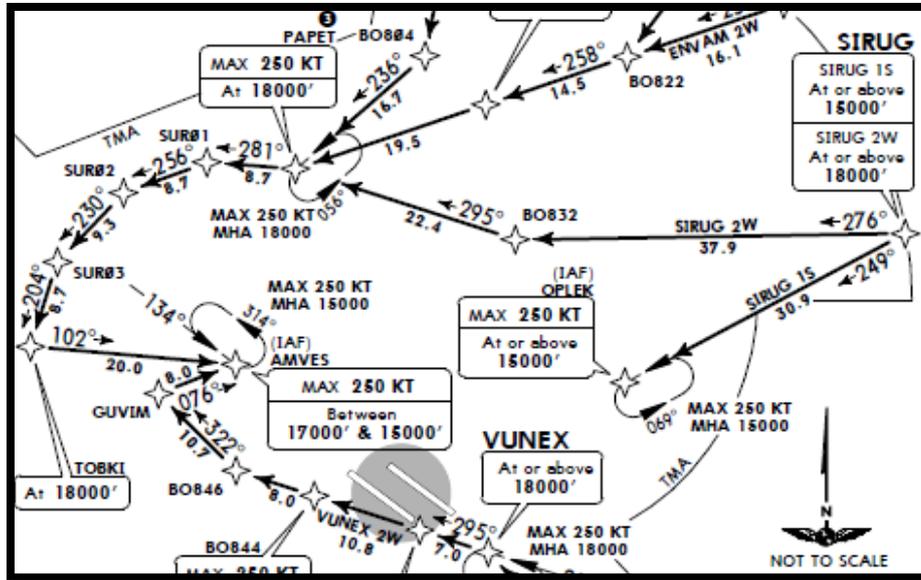


Figura 66. STAR para aterrizaje por la pista 31L/31R.

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO832	37,9	276°	-	Sobre FL180
PAPER	22,4	295°	250	FL180
SUR01	8,7	281	-	
SUR02	8,7	256	-	
SUR03	9,3	230	-	
TOBKI	8,7	204	-	
AMVES	20	102	250	FL170 FL150

Tabla 41. Descripción del procedimiento SIRUG 2W.

### 2.5.1.5.3 STAR para aterrizaje por 31L/31R: SIRUG 1S

Se utiliza la carta 10-2F con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 31L/31R, llegando a SKBO desde SIRUG.

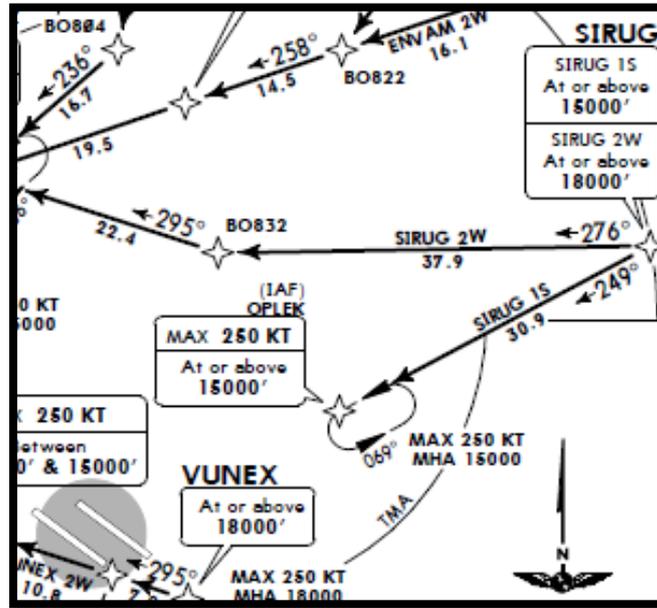


Figura 67. STAR para aterrizaje por pista 31L/31R.

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
OPLEK	30,9	249°	250	Sobre FL150

Tabla 42. Descripción del procedimiento SIRUG 1S.

Con esto, queda completado el trayecto a realizar para la ida. Lo único que no se ha explicado son las carreras de despegue y los aterrizajes a partir del IAF.

### 2.5.1.6 Distancias, velocidades, niveles de vuelo y tiempo

Una vez tenemos la ruta definida es hora de realizar los cálculos pertinentes al tiempo necesario para cubrir ese trayecto, la distancia total volada, estimar un perfil de velocidades a lo largo del vuelo, así como definir los ascensos y los descensos y, si fuera necesario, un *step climb*.

#### 2.5.1.6.1 Distancia recorrida

Para calcular la distancia recorrida se acude a las diferentes tablas presentadas en 2.5.1.1, 2.5.1.2, 2.5.1.3, 2.5.1.4 y 2.5.1.5. Los valores se dan en las tablas mencionadas anteriormente, algunos obtenidos a partir de la información en las cartas y otros, se han tenido que calcular. Igualmente, existen casillas que pueden aparecer en blanco. Esto se debe a que, con el dato de las coordenadas y el *heading*, o el rumbo y el *heading* desde un punto en concreto ya se pueden realizar los cálculos necesarios y, por lo tanto, dejan de ser necesarios todos los datos (p. ej, en una misma ruta con un rumbo fijo, conociendo este rumbo y las distancias entre puntos las coordenadas se pueden obviar).

#### ✈ SID

Para el caso de las SID, se calcula la distancia entre OSTIA, la primera radioayuda utilizada, y SOSAK, el primer punto de notificación por el que se pasa. Para ello, se tiene en cuenta la trayectoria que se realiza en cada una de las SID escogidas. Para calcular la situación del punto de notificación SOSAK, se toma el siguiente mapa como referencia [133]:

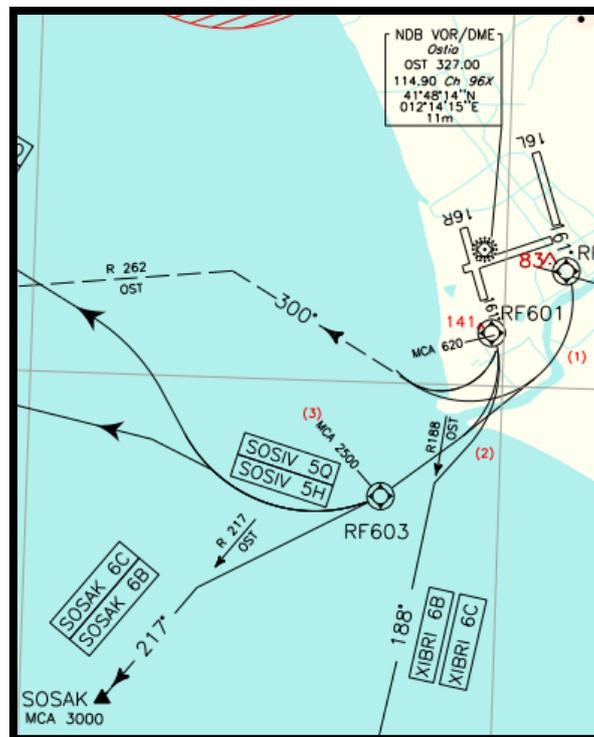


Figura 68. Representación del procedimiento para llegar a SOSAK en [133].

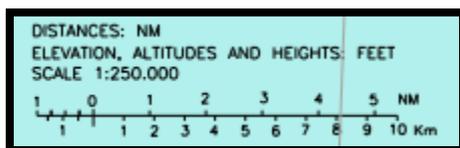


Figura 69. Escala de la figura 94.

La distancia entre SOSAK y OSTIA es aproximadamente de 14,2 NM. Esto se verifica con la indicación D14 de las cartas SID mostradas en 2.5.1.1. En el mismo documento se obtienen las coordenadas geográficas de los puntos de notificación comentados anteriormente<sup>43</sup>. La distancia ha sido calculada a partir de introducir las coordenadas de los puntos en [135].

Procedimiento	Punto	Coordenadas	Distancia (NM) <sup>44</sup>
SOSAK 5Y PISTA 34L	RF801	Anexo	2,26
	RF703		7,34
	SOSAK		7,25
	TOTAL		<b>16,85</b>
SOSAK 6B PISTA 16R	RF601		2,83
	RF603		4,74
	SOSAK		8,35
	TOTAL		<b>15,92</b>
SOSAK 6C PISTA 16L	RF602		3,05
	RF603		6,98
	SOSAK		8,35
	TOTAL		<b>18,38</b>
SOSAK 7X PISTA 34R	RF809		8,81
	RF811		5,94
	RF703		12,44
	SOSAK		7,25
	TOTAL	<b>34,44</b>	

Tabla 43. Distancias estimadas recorridas en los diferentes procedimientos SID escogidos.

Los valores para las pistas 34L y 34R no deben tomarse como buenas aproximaciones, pues al partir hacia el norte y variar su rumbo hacia el sureste realizan un giro cuyo recorrido es mayor al calculado. Para las pistas 16R y 16L también es necesario hacer ciertas modificaciones<sup>45</sup>:

<sup>43</sup> Usando la terminología ARINC 424. Se ha obtenido la información para utilizarla de [134].

<sup>44</sup> Para el primer punto: respecto a las coordenadas de la pista de despegue que corresponda. Para los siguientes de cada procedimiento, respecto el que le precede en la tabla.

<sup>45</sup> Estas modificaciones se hacen a partir de la observación de [133] y sus mapas a escala.

- ✘ **SOSAK 5Y:** previo a llegar a SOSAK, hay un giro a izquierdas para alcanzar el punto de notificación. A partir de herramientas de medida básicas y [133], se concluye que una mejor aproximación de la distancia sería mayorando esta cantidad en un 15 %. Por lo tanto, esta distancia será de **19,38 NM**.
- ✘ **SOSAK 6B:** aproximación bastante fiel a la realidad. Por el giro a realizar, se supone un 10 % de incremento de la longitud recorrida a modo de factor de seguridad. Por lo tanto, se considera una distancia de **17,51 NM**.
- ✘ **SOSAK 6C:** aproximación bastante fiel a la realidad. Por el giro a realizar, se supone un 10 % de incremento de la longitud recorrida a modo de factor de seguridad. Por lo tanto, se considera una distancia de **20,22 NM**.
- ✘ **SOSAK 7X:** previo a llegar a SOSAK, hay un giro a izquierdas para alcanzar el punto de notificación. A partir de herramientas de medida básicas, se concluye que una mejor aproximación de la distancia sería mayorando esta cantidad en un 30 %. Por lo tanto, esta distancia será de **44,77 NM**.

Con estos resultados, podemos realizar una estimación de la distancia recorrida durante las SID de unos 19 NM. Se ha de hacer mención a que en el caso de SOSAK, deben adicionarse 25 NM de más a recorrer. Finalmente, debe añadirse la distancia a ESINO. Esta distancia, junto a otras que no se han encontrado en las tablas, se han calculado con el mismo método. Las que no han sido encontradas por falta de la localización de los puntos, su localización se obtiene de [136]. Empleando el mismo método la distancia entre SOSAK y ESINO es de **17,9 NM**.

Como resumen, incluyendo la distancia a ESINO:

Procedimiento	Distancia (NM)
SOSAK 5Y	37,3
SOSAK 6B	35,4
SOSAK 6C	38,1
SOSAK 7X	62,7

Tabla 44. Distancias empleadas en futuros cálculos.

#### ✘ Ascenso

Se suman las distancias obtenidas en el apartado 2.5.1.2, desde ESINO hasta KOLUS. Estas distancias son las que aparecen en la *tabla 32*. La suma de todas ellas arroja un valor de **114 NM**<sup>46</sup>. Este valor se modifica posteriormente hasta el punto exacto de transición entre la fase de ascenso y la de crucero

<sup>46</sup> Esta distancia, junto a la de descenso, varía ligeramente a partir de las consideraciones efectuadas en 2.5.1.6.3

## ✈️ Crucero

Se suman las distancias de las *tablas 32* a la *39*, en conjunto y por separado.

1. *Tabla 32*: de KOLUS a Menorca. La distancia recorrida es de **247 NM**.
2. *Tabla 33*: de Menorca a Alicante. La distancia recorrida es de **174,4 NM**.
3. *Tabla 34*: de Alicante a Rabat. La distancia recorrida es de **362 NM**.
4. *Tabla 35*: de Rabat a Lanzarote. La distancia recorrida es de **496,2 NM**.
5. *Tabla 36*: de Lanzarote a ULTEM. Para ello, es necesario calcular la distancia de LTE a GDV (108,8 NM), de VIDRI a NORED (323,9 NM) y de NORED a ULTEM (446,4 NM). La distancia recorrida es de **990,1 NM**.
6. *Tabla 37*: de ULTEM a VURAN. Para ello, es necesario calcular las distancias que transcurren fuera de rutas: de ULTEM a BUTUX (904,8 NM), de BUTUX a BOXIT (598,3 NM), de BOXIT a ADAMS (271,3 NM) y de ADAMS a YOLKK (86,5 NM). La distancia recorrida es de **2198,9 NM**.
7. *Tabla 38*: de VURAN a AMAYA. La distancia recorrida es de **328 NM**.
8. *Tabla 39*: de AMAYA a TOBSU. La distancia recorrida es de **240,2 NM**.

Por lo tanto, en toda la fase de crucero, que transcurre aproximadamente desde la entrada en espacio aéreo español hasta la llegada a espacio aéreo colombiano se recorren **5036,8 NM**.

## ✈️ Descenso

Se suman las distancias de la *tabla 39*, desde TOBSU hasta SIRUG. Primero, es necesario calcular la distancia recorrida para interceptar el radial 270 de PTC, viniendo desde AMAYA, para acabar llegando a SIDUN. Para ello, se calcula la distancia entre ambos puntos de notificación (74,2 NM), cuyo dato se utiliza en el apartado anterior. La distancia recorrida total es de **101 NM**.

## ✈️ STAR

Se calcula la distancia recorrida para cada uno de los procedimientos escogidos. Para ello, se suman los valores que aparecen en las *tablas 40*, *41* y *42*, además de la distancia del IAF a la pista en uso:

1. SIRUG 2E. La distancia recorrida de SIRUG a AMVES (IAF) es de **115,7 NM**.
2. SIRUG 2W. La distancia recorrida de SIRUG a AMVES es de **115,7 NM**.
3. SIRUG 1S. La distancia recorrida de SIRUG a OPLEK es de **30,9 NM**.

Para calcular la distancia de los IAF a la pista es necesario volver a acudir a [129] y observar las cartas de aproximación final, donde se definen las altitudes a seguir, la distancia y las velocidades a las que se debe volar. Para el caso que nos ocupa, las distancias, los valores son<sup>47</sup>:

1. De AMVES a 13L. La distancia recorrida es de **19,8 NM**.
2. De AMVES a 13R. La distancia recorrida es de **19,2 NM**.
3. De AMVES a 31L. La distancia recorrida es de **41,8 NM**.

---

<sup>47</sup> Se escogen las llegadas RNAV basadas en RNP y GNSS para tomar las distancias. De AMVES a 13L se toma el procedimiento 12-1, a 13R el 12-2, a 31L el 12-22 y a 31R el 12-25. De OPLEK a 31R la 12-24 y a 31L la 21.

4. De AMVES a 31R (visual). La distancia recorrida es de **41,7 NM**.
5. De OPLEK a 31L. La distancia recorrida es de **27 NM**.
6. De OPLEK a 31R. La distancia recorrida es de **25,7 NM**.

Por lo tanto, añadiendo ambas cantidades obtenemos:

Procedimiento	Distancia (NM)
SIRUG 2E (13L)	135,5
SIRUG 2E (13R)	134,9
SIRUG 2W (31L)	157,5
SIRUG 2W (31R)	157,4
SIRUG 1S (31L)	57,9
SIRUG 1S (31R)	56,6

**Tabla 45. Distancia recorrida en los procedimientos STAR para el vuelo de ida.**

Si se realiza el añadido de todas las distancias, tomando mínimos valores de SID y STAR para un caso y los máximos para otro:

- ✈ **Distancia mínima: 5343,8 NM**, despegando por la pista 16R en LIRF, siguiendo el procedimiento SOSAK 6B y aterrizando por la pista 31R en SKBO siguiendo el procedimiento SIRUG 1S.
- ✈ **Distancia máxima: 5472 NM**, despegando por la pista 34R en LIRF, siguiendo el procedimiento SOSAK 7X y aterrizando por la pista 31L en SKBO, siguiendo el procedimiento SIRUG 2W.
- ✈ **Distancia media<sup>48</sup>: 5407,9 NM**

<sup>48</sup> Será la usada en cálculos de combustible. La distancia a añadir en caso de desvío aparece en 2.5.1.7.

### 2.5.1.6.2 Velocidades empleadas<sup>49</sup>

En este apartado se proponen las velocidades a llevar en cada una de las fases de vuelo. Con este dato y con las distancias calculadas anteriormente, podrá calcularse el tiempo total que comprenderá la operación finalmente:

- ✈ **SID:** hasta FL100 se puede volar a una velocidad máxima de 250 kt, así que se supone que se llega a SOSAK a esa altitud exactamente (puede variar ligeramente en el siguiente apartado). En los procedimientos se volará a la máxima velocidad permitida. Según el procedimiento:

Procedimiento	Velocidades máximas (kt)
SOSAK 5Y	210 hasta realizar el giro, 250 hasta FL100
SOSAK 6B	220 hasta RF601, 250 hasta FL100
SOSAK 6C	210 hasta RF602, 250 hasta FL100
SOSAK 7X	230 hasta RF809, 250 hasta FL100

Tabla 46. Velocidades según el procedimiento SID escogido para el vuelo de ida.

Hasta ESINO se propone volar también a 250 kt.

- ✈ **Ascenso:** para este apartado y el de descenso, se tendrá en cuenta la siguiente tabla obtenida de [137]

	Nivel de vuelo	Velocidad (kts)	Ratio (ft/min)
<b>Ascenso</b>	FL00 – FL100	240 – 270	1250 – 2000
	FL100 – FL200	385 – 420	1430 – 2000
	FL200 – FL300	345 – 360	1000 – 1430
	FL300 – FL400	240 – 250	670 – 1000
	FL400 – FL430 <sup>50</sup>	240 – 270	500 – 670
<b>Descenso</b>	FL00 – FL100	250	1670
	FL100 – FL200	420	2000
	FL200 – FL300	480	2000
	FL300 – FL400	480	2000
	FL400 – FL430	450	1000

Tabla 47. Especificaciones acerca de la performance del Boeing 787-9 en fase de ascenso y de descenso.

Se tienen en cuenta los valores medios de cada variable. Por lo tanto, la fase de ascenso que transcurre desde SOSAK hasta MENORCA se ejecuta de la siguiente manera:

Nivel de vuelo	Velocidad (kt)
FL100 - FL200	402
FL200 – FL300	352
FL300 – FL crucero	245

Tabla 48. Velocidades utilizadas durante la fase de ascenso del vuelo LIRF - SKBO.

<sup>49</sup> Se desprecian las transiciones entre una y otra velocidad.

<sup>50</sup> Techo máximo de servicio de la aeronave.

✈ **Crucero:** en esta fase todo el vuelo se realiza a la velocidad de crucero, que tiene un valor de 488 kt.

✈ **Descenso:** de igual manera que la fase de ascenso, con los valores de la *tabla 47*:

Nivel de vuelo	Velocidad (kt)
FL300 – FL crucero	480
FL200 – FL300	480
FL180 <sup>51</sup> – FL200	420

Tabla 49. Velocidades utilizadas durante la fase de descenso del vuelo LIRF - SKBO.

✈ **STAR:** al igual que para las SID. En este caso, es necesario acudir a los procedimientos de aproximación final<sup>106</sup> para tener una mayor información sobre las velocidades.

Procedimiento	Velocidades máximas (kt)
SIRUG 2E	250 en PAPET, 215 en AMVES. A 5,4 NM de AMVES, 185 para 13L. A 7.9 NM de AMVES, 185 para 13R.
SIRUG 2W	250 en PAPET y AMVES. A 17,9 NM 215, y a 3,2 NM, 185 para 31L y 31R. A 4,2 NM de la pista, 165 para 31R.
SIRUG 1S	250 en OPLEK. A 6,3 NM 185 para 31L. A 5 NM 185 para 31R. A 6,4 NM de la pista, 165 para 31L. A 5,3 NM de la pista, 165 para 31R

Tabla 50. Velocidades utilizadas durante los procedimientos STAR del vuelo LIRF - SKBO.

<sup>51</sup> Altitud mínima de entrada al punto de entrada a los procedimientos STAR.

### 2.5.1.6.3 Niveles de vuelo

La proposición de niveles de vuelo se basa en la obligación de tomar X niveles de vuelo según el rumbo que presenta la aeronave (un rumbo que varía, aproximadamente, entre los 180° y 270°).

- ✂ **SID.** Todos los procedimientos SID se inician a la altitud de la pista en uso (aproximadamente 0), para finalizar en FL150<sup>52</sup> al sobrevolar ESINO. Así que para cada uno de los procedimientos SID escogidos, existirá un gradiente u otro de ascenso, dependiendo de la distancia recorrida y la velocidad. En todos ellos hay una limitación de velocidad para un primer punto
1. SOSAK 5Y: existe la limitación de velocidad 210 kt durante el giro. Viendo la *figura 56*, se estima que comprende 1/3 de la longitud total del procedimiento (hasta SOSAK). Por lo tanto, se supone que se recorren 6,46 NM a 210 kt y el resto del procedimiento, 30,84 NM, se realiza a 250 kt. Esto se corresponde a 9,2 minutos de vuelo. Calculando el gradiente como la altitud elevada entre el tiempo necesario para ello, se obtiene un valor de 1622 ft/min. Con este gradiente de ascenso se sobrevuela RF801 a 1047 ft, por lo tanto, es correcto emplear este valor.
  2. SOSAK 6B: existe la limitación de velocidad 220 kt hasta alcanzar RF601. Esto implica recorrer las primeras 3,11 NM a esta velocidad, y las 32,29 NM restantes a 250 kt. Esto se corresponde a 8,6 minutos de vuelo. El gradiente de ascenso es de 1744 ft/min. Con este gradiente de ascenso se sobrevuela RF601 a 1346 ft, por lo tanto, es correcto emplear este valor.
  3. SOSAK 6C: existe la limitación de velocidad 220 kt hasta alcanzar RF602. Esto implica recorrer las primeras 3,36 NM a esta velocidad, y las 34,74 NM restantes a 250 kt. Esto se corresponde a 9,3 minutos de vuelo. El gradiente de ascenso es de 1621 ft/min. Con este gradiente de ascenso se sobrevuela RF602 a 1348 ft, por lo tanto, es correcto emplear este valor.
  4. SOSAK 7X: obliga a seguir unos valores entre los propuestos en la *tabla 117*. Existe la limitación de velocidad 230 kt hasta alcanzar RF809 y la de 250 kt hasta FL100. Por lo tanto, se decide tomar un valor de los que aparecen en la tabla anteriormente mencionada, concretamente 1630 ft/min hasta RF809, donde ya se sobrepasan los 3000 ft indicados, volando a 230 kt. Esto implica que se recorren las primeras 8,81 NM a 230 kt (2,3 minutos) y 35,95 NM a 250 kt (8,6 minutos). Esto se corresponde a 10,9 minutos de vuelo. En el primer tramo de ellos se asciende a una altitud de 3746 ft, por lo que, para llegar a FL150 en ESINO deben ascenderse 11254 ft en 8,6 minutos. Esto equivale a un gradiente de 1308,6 ft/min. Este valor se contradice con los propuestos en la *tabla 135*, ya que a partir de FL100 la ratio de ascenso debe ser de un mínimo de 1430 ft/min. Por lo tanto, se propone este valor a pesar de llegar a ESINO a una altitud diferente. Con este gradiente, se llega a ESINO a una altitud de 16044 ft, es decir, FL160. Por lo tanto, la diferencia de este procedimiento respecto a los demás es que en este punto vuela 1000 ft por encima.

---

<sup>52</sup> Inicialmente se realizaron los cálculos para alcanzar FL100 en este punto, pero los valores no alcanzaban los mostrados por la *tabla 135*, amén que imponiendo las restricciones de gradiente del procedimiento SOSAK 7X este último finalizaba ESINO en FL230. Por lo tanto, se decide finalizar todos los procedimientos a una altitud que permita cumplir con las restricciones de SOSAK 7X.

A modo de resumen:

Procedimiento	Gradiente de ascenso (ft/min)	FL final
SOSAK 5Y	1622	FL150
SOSAK 6B	1744	FL150
SOSAK 6C	1621	FL150
SOSAK 7X	1630 - 1430	FL160

Tabla 51. Niveles de vuelo para el vuelo LIRF-SKBO durante el SID.

### ✈ Ascenso

Volar sobre espacio aéreo italiano implica que a partir de FL195 se vuela en espacio aéreo superior. Además, han de seguirse las siguientes indicaciones:

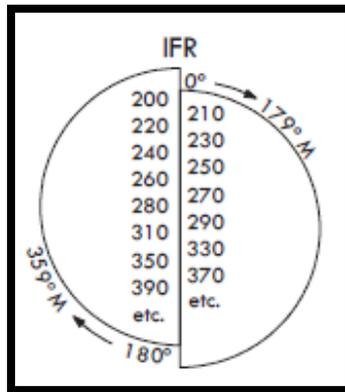


Figura 70. Niveles de vuelo a usar en vuelo IFR sin aplicar RVSM.

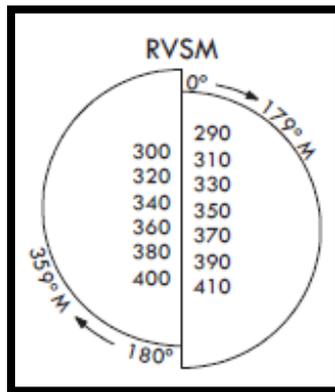


Figura 71. Niveles de vuelo a usar en vuelo IFR aplicando RVSM.

Como en vuelo oceánico se debe volar con RVSM, el tramo hasta salir de GDV se expone usando la *figura 70*, mientras que a partir de ese punto y hasta llegar a zona continental americana se utiliza la *figura 71*. Con los datos de la *tabla 47* y tomando sus valores medios, se decide volar:

1. **ESINO – FL200.** Se vuela con un gradiente de 1715 ft/min. La velocidad es de 402 kt, por lo tanto, se necesitan 2,9 minutos de vuelo para alcanzar esta altitud. Esto significa que, en este intervalo de tiempo, se recorren 19,53 NM. Para el caso del procedimiento SOSAK 7X, se necesitan 2,33 minutos de vuelo para alcanzar esta altitud, recorriendo 15,63 NM en ese intervalo de tiempo.
2. **FL200 – FL300.** Se vuela con un gradiente de 1215 ft/min. La velocidad es de 352 kt, por lo tanto, se necesitan 8,23 minutos de vuelo para alcanzar esta altitud. Esto significa que, en este intervalo de tiempo, se recorren 48,29 NM.
3. **FL300 – FL350.** Hasta salir de GDV se escoge este nivel de vuelo como el nivel de vuelo a emplear en crucero. Se vuela con un gradiente de 835 ft/min. La velocidad es de 245 kt, por lo tanto, se necesitan 6 minutos de vuelo para alcanzar esta altitud. Esto significa que, en este intervalo de tiempo, se recorren 24,45 NM.

Si se añaden estas cantidades, se tarda en alcanzar FL350 17,13 minutos, y en ese tiempo se recorren 92,27 NM. Para el caso de SOSAK 7X, esta cantidad varía ligeramente, tardando 16,56 minutos y recorriendo 88,37 NM. En este punto el avión de encontraría entre los *waypoints* GITRI y KOLUS, volando por UZ924 (*Tabla 32*).

#### ✈ **Crucero**

Esta fase se desarrolla a FL350 desde KOLUS hasta GDV. Después de llegar a este último punto, se vuela a FL360, hasta llegar a BGI. En este punto, de nuevo, se decide volar a FL350, hasta llegar al punto donde se inicia el descenso.

#### ✈ **Descenso**

Esta fase transcurre desde algún punto situado en W24 entre TOBSU y EYP hasta SIRUG. A este último punto ha de llegarse a FL180, por lo tanto:

1. **FL350 – FL300.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 480 kt. Se necesitan 2,5 minutos para completar ese descenso, recorriendo 20 NM en ese tiempo.
2. **FL300 – FL200.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 480 kt. Se necesitan 5 minutos para completar ese descenso, recorriendo 40 NM en ese tiempo.
3. **FL200 – FL180.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 420 kt. Se necesita 1 minuto para completar ese descenso, recorriendo 7 NM en ese tiempo.

Por lo tanto, se tardan 8,5 minutos en descender de FL350 a FL180, y se recorren 67 NM en ese tiempo.

## ✈ STAR

Para no rebasar los límites permitidos, la primera parte de este procedimiento se realiza a 250 kt. Los 2 procedimientos que se vuelan hacia PAPET, vuelan desde SIRUG hasta TOBKI a una altitud de FL180 y a una velocidad de 250 kt. Para llegar a AMVES, se vuela a 215 kt y FL130 en el caso de SIRUG 2E, mientras que para SIRUG 2W este trayecto se realiza a 250 kt en FL160.

1. SIRUG 2E. Se vuela a 250 kt en FL180 desde SIRUG hasta TOBKI. Desde TOBKI hasta AMVES, se vuela a 215 kt para llegar a este último punto en FL130.
2. SIRUG 2W. Se vuela a 250 kt en FL180 desde SIRUG hasta TOBKI. Desde TOBKI hasta AMVES, se vuela a 250 kt para llegar a este último punto en FL160.
3. SIRUG 1S. Se vuela a 250 kt desde SIRUG hasta OPLEK, para llegar a este último punto en FL150.

Por lo tanto, los gradientes de descenso a utilizar desde TOBKI hasta AMVES (en los procedimientos 2E y 2W) y desde SIRUG hasta OPLEK (en el procedimiento 1S) serían:

Procedimiento	Gradiente de descenso (ft/min) <sup>53</sup>	FL final
SIRUG 2E	896	FL130
SIRUG 2W	417	FL160
SIRUG 1S	405	FL150

Tabla 52. Gradientes de descenso a utilizar en las STAR del vuelo de ida.

Por último, se definen los niveles de vuelo y los gradientes de descenso en la aproximación final a SKBO, según el procedimiento [129]:

1. SIRUG 2E. Pista 13L. Desde BO613 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 994 ft/min.
2. SIRUG 2E. Pista 13R. A partir de AMVES y hasta BO612, el gradiente de descenso debe ser de 454 ft/min. Desde BO612 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 995 ft/min.
3. SIRUG 2W. Pista 31L. Desde BO708 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 990 ft/min.
4. SIRUG 2W. Pista 31R. A partir de BO757 y hasta BO751, el gradiente de descenso debe ser de 996 ft/min. Desde BO751 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 877 ft/min.
5. SIRUG 1S. Pista 31R. A partir de BO758 y hasta BO752, el gradiente de descenso debe ser de 1001 ft/min. Desde BO752 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 851 ft/min.
6. SIRUG 1S. Pista 31L. A partir de BO707 y hasta BO701, el gradiente de descenso debe ser de 992 ft/min. Desde BO701 hasta la cabecera de la pista, el gradiente de descenso debe ser de 878 ft/min.

<sup>53</sup> Para calcularlo: se calculan los minutos que se tarda en recorrer el trayecto TOBKI-AMVES o SIRUG-OPLEK, para después dividir los ft a descender entre este tiempo, obteniendo el gradiente de descenso.

Procedimiento	Punto inicial	Gradiente de descenso I	Punto final	Gradiente de descenso II
SIRUG 2E (13L)	BO613	994		-
SIRUG 2E (13R)	AMVES	454	BO612	995
SIRUG 2W (31L)	BO708	990		-
SIRUG 2W (31R)	BO757	996	BO751	877
SIRUG 1S (31R)	BO758	1001	BO752	851
SIRUG 1S (31L)	BO707	992	BO701	878

Tabla 53. Gradientes de descenso en los distintos procedimientos STAR para el vuelo de ida.

#### 2.5.1.6.4 Tiempo estimado

A partir de las distancias recorridas y las velocidades propuestas se calcula la duración total estimada del vuelo. Para ello, en la siguiente tabla se recogen las distancias y velocidades empleadas en los diferentes puntos del trayecto para, finalmente, calcular el tiempo total necesario de vuelo. Es a modo resumen, pues se encuentra explicado con detalle en 2.5.1.6.1, 2.5.1.6.2 y 2.5.1.6.3.

Fase	Situación	Distancia (NM)	Velocidad/es (kt)	Tiempo (')
SID	SOSAK 5Y	37,3	210/250	9,2
	SOSAK 6B	35,4	220/250	8,6
	SOSAK 6C	38,1	220/250	9,3
	SOSAK 7X	62,7	230/250	10,9
Ascenso	Tabla 118	92,27/88,37	402/352/245	17,1/16,6 <sup>54</sup>
Crucero	Tablas 118 a 125	5092,53/5096,43	488	626,1/626,6
Descenso	Tabla 125	67	480/420	8,5
STAR	SIRUG 2E (13L)	135,5	250/215/185	34 <sup>55</sup>
	SIRUG 2E (13R)	134,9		33,7
	SIRUG 2W (31L)	157,5	250/215/185	39,7
	SIRUG 2W (31R)	157,4	250/215/185/165	39,9
	SIRUG 1S (31L)	57,9	250/185/165	16,1
	SIRUG 1S (31R)	56,6		15,5

Tabla 54. Tiempo empleado para cada fase del vuelo LIRF-SKBO.

<sup>54</sup> La segunda cifra se corresponde al tiempo empleado siguiendo SOSAK 7X.

<sup>55</sup> Estos tiempos no aparecen calculados anteriormente, pero se dispone de las distancias y las velocidades de cada uno de los procedimientos, realizándose directamente aquí el cómputo global.

A partir de estos datos y con todas las combinaciones posibles de vuelos que se pueden dar:

SID	STAR	Duración (')
SOSAK 5Y	SIRUG 2E (13L)	694,9
	SIRUG 2E (13R)	694,6
	SIRUG 2W (31L)	700,6
	SIRUG 2W (31R)	700,8
	SIRUG 1S (31L)	677
	SIRUG 1S (31R)	676,4
SOSAK 6B	SIRUG 2E (13L)	694,3
	SIRUG 2E (13R)	694
	SIRUG 2W (31L)	700
	SIRUG 2W (31R)	700,2
	SIRUG 1S (31L)	676,4
	SIRUG 1S (31R)	675,8
SOSAK 6C	SIRUG 2E (13L)	695
	SIRUG 2E (13R)	694,7
	SIRUG 2W (31L)	700,7
	SIRUG 2W (31R)	700,9
	SIRUG 1S (31L)	677,1
	SIRUG 1S (31R)	676,5
SOSAK 7X	SIRUG 2E (13L)	696,6
	SIRUG 2E (13R)	696,3
	SIRUG 2W (31L)	702,3
	SIRUG 2W (31R)	702,5
	SIRUG 1S (31L)	678,7
	SIRUG 1S (31R)	678,2
	<b>Duración media</b>	<b>691 = 11h 31'</b>

Tabla 55. Duración del vuelo en función de la SID y STAR escogida.

## 2.5.2 Vuelo de vuelta

Para el vuelo de vuelta, se propone la realización del mismo siguiendo una trayectoria alternativa y ver así, cual de las 2 propuestas sería la mejor a aplicar. Por falta de tiempo sería imposible corregir la trayectoria de la ida, así que en este caso se intentan tomar rutas bidireccionales, y así en el caso de resultar una mejor trayectoria la de vuelta, poder ser aplicada para el vuelo de ida sin ningún problema adicional. De acortarse el trayecto, pero no poder acoplarlo al vuelo de ida, se propone la mejora de ese mismo vuelo con tal de reducir al mínimo posible los costes.

El principal problema detectado para 2.5.1 ha sido que, en la parte del trayecto correspondiente al Atlántico oriental, se ha realizado un trayecto demasiado afín a la línea costera definida por Marruecos, tomando un rumbo más al sur del que interesa. Por lo tanto, ahora se pretende tomar una trayectoria más recta y eso pasa por introducirse en navegación oceánica en un punto más al norte, tanto de entrada como de salida.

A pesar de esta nueva trayectoria, no se ha conseguido acortar ni en longitud recorrida ni en tiempo de vuelo.

### 2.5.2.1 Procedimiento de salida instrumental

Al igual que se hizo para el vuelo de ida, se buscan aquellas SID que sean RNAV. Hay distintos procedimientos para cada una de las pistas, pero se han seleccionado 2 de ellos. Son 2 procedimientos que finalizan en los mismos puntos, de los cuales se elige uno de ellos para finalizar la SID en cuestión. Ambos procedimientos se pueden realizar despegando desde cualquiera de las pistas, así que en total se tienen 2 procedimientos para cada pista. Al denominarse igual y de manera común, se organiza en 2 apartados, uno para cada procedimiento, y dentro de los mismos se encuentran 4 subapartados para cada una de las pistas utilizadas. Todos los procedimientos son RNAV 1 y requieren GNSS para su realización. Debido a la elevación de SKBO, estos procedimientos finalizan en espacio aéreo superior. La información necesaria ha sido obtenida de [129], [130] y [138].

#### 2.5.2.1.1 SID para despegue siguiendo el procedimiento DANSA 1R

Se utiliza la carta 10-3H con el procedimiento a seguir para alcanzar KOMBO.

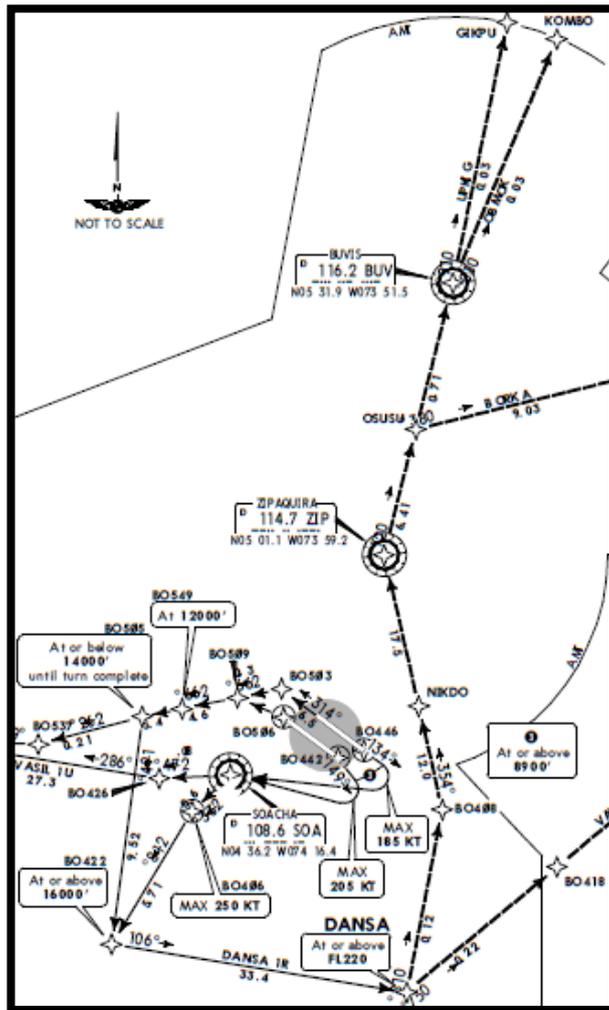


Figura 72. Procedimiento DANSA 1R.

El *routing* concreto a seguir desde cada una de las pistas sería:

✈ Pista 13L

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL <sup>56</sup>
BO446	2,1	134	-	-
SOACHA (SOA)	Se trata de la realización de un giro a derechas al alcanzar los 8900 ft con rumbo 134°, a una velocidad máxima de 185, hasta alcanzar este VOR			
BO406	6	233	250	-
BO422	17,5	218	-	FL160
DANSA	33,4	106	-	FL220
BO408	21	018	-	-
NIKDO	12	354	-	-
ZIP	17,5	354	-	-
BUVIS (BUV)	31,6	021	-	-
KOMBO	30	030	-	-

Tabla 56. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 13L.

✈ Pista 13R

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO442	2,2	134	-	-
SOACHA (SOA)	Se trata de la realización de un giro a derechas al alcanzar los 8900 ft con rumbo 149°, a una velocidad máxima de 205, hasta alcanzar este VOR			
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 56</i>				

Tabla 57. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 13R.

✈ Pista 31L

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO506	2,2	314	-	-
BO509	5,7	-	-	-
BO549	6,4	266	-	FL120
BO505	4,5		-	FL140 <sup>57</sup>
BO422	25,9	194	-	FL160
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 56</i>				

Tabla 58. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 31L.

<sup>56</sup> Se refiere a la altitud mínima a la cual se debe sobrevolar el punto.

<sup>57</sup> En este caso este es el FL máximo al que se puede sobrevolar este punto.

✈ Pista 31R

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO503	6,5	314	-	-
BO509	9,4	266	-	-
BO549			-	FL120
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 56</i>				

Tabla 59. Descripción del procedimiento DANSA 1R para despegue por la pista 31R.

Además, existe la obligación de cumplir con un gradiente de ascenso mínimo tal y como se muestra en la *tabla 60*, donde se muestra el procedimiento y su gradiente de ascenso mínimo en función de la *ground speed*:

	75	100	150	200	250	300
Pista 13L <sup>58</sup>	418	557	835	1114	1392	1671
Pista 13R <sup>117</sup>	380	506	760	1013	1266	1519
Pista 31L <sup>59</sup>	311	415	623	830	1038	1246
Pista 31R <sup>60</sup>	281	375	562	749	937	1124

Tabla 60. Gradiente de descenso mínimo para el procedimiento DANSA 1R.

<sup>58</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 8900 ft.

<sup>59</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 11400 ft.

<sup>60</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 11500 ft.

### 2.5.2.1.2 SID para despegue siguiendo el procedimiento OSUSU 1R

Se utiliza la carta 10-3N con el procedimiento a seguir para alcanzar KOMBO.

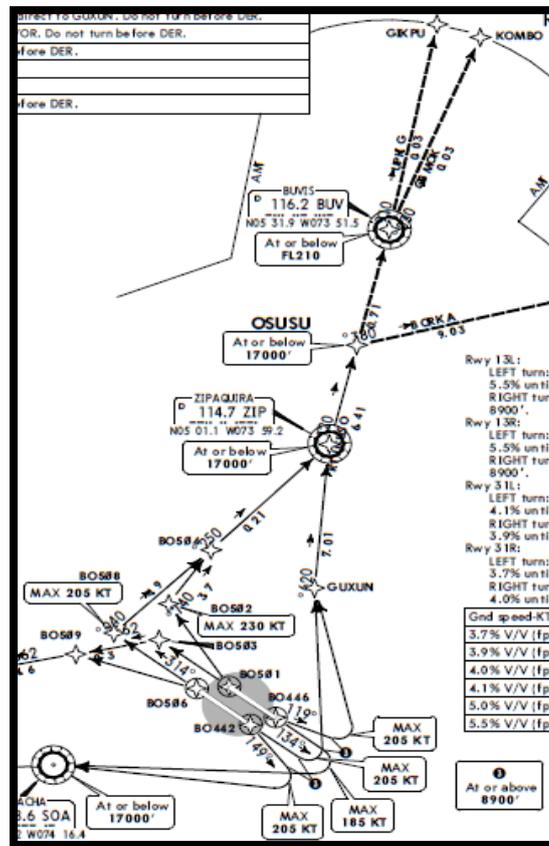


Figura 73. Procedimiento OSUSU 1R.

El *routing* concreto a seguir desde cada una de las pistas sería:

#### ✈ Pista 13L

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL <sup>61</sup>
BO446	2,1	134	-	-
GUXUN	Se trata de la realización de un giro a izquierdas con rumbo inicial 119°, a una velocidad máxima de 205, hasta alcanzar este <i>waypoint</i>			
ZIP	10,7	026	-	FL170
OSUSU	31,6	021	-	FL170
BUV			-	FL210
KOMBO	30	030	-	-

Tabla 61. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 13L.

<sup>61</sup> Para este procedimiento, el FL mostrado en todos los casos es el máximo permitido.

✈ Pista 13R

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO442	2,2	134	-	-
GUXUN	Se trata de la realización de un giro a izquierdas con rumbo inicial 134°, a una velocidad máxima de 205, hasta alcanzar este <i>waypoint</i>			
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 61</i>				

Tabla 62. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 13R.

✈ Pista 31L

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO506	2,2	314	-	-
BO508	4,6	314	205	-
BO504	9,4	049	-	-
ZIP	12	052	-	FL170
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 61</i>				

Tabla 63. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 31L.

✈ Pista 31R

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
BO501	2,1	314	-	-
BO502	-	-	230	-
BO504	7,3	047	-	-
Procedimiento idéntico al descrito por la <i>tabla 63</i>				

Tabla 64. Descripción del procedimiento OSUSU 1R para despegue por la pista 31R.

Además, existe la obligación de cumplir con un gradiente de ascenso mínimo:

	75	100	150	200	250	300
Pista 13L <sup>62</sup>	418	557	835	1114	1392	1671
Pista 13R <sup>63</sup>						
Pista 31L <sup>64</sup>	296	395	592	790	987	1185
Pista 31R <sup>123</sup>	304	405	608	810	1013	1215

Tabla 65. Gradiente de descenso mínimo para el procedimiento OSUSU 1R.

<sup>62</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 10700 ft.

<sup>63</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 10800 ft.

<sup>64</sup> El gradiente debe mantenerse hasta los 11000 ft.

### 2.5.2.2 Fase de ascenso

La fase de ascenso se inicia en KOMBO y finaliza al abandonar tierra firme. Todas las cartas aeronáuticas mostradas para el vuelo de vuelta deben observarse desde la esquina inferior izquierda a la superior derecha, al contrario que en el vuelo de ida. La carta utilizada para esta fase ha sido la CH02 de [117].

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia <sup>65</sup> (NM)	Heading	FL <sup>66</sup>
Punto de notificación	KOMBO	05° 59,6' N 73° 39,9' W				
Punto de notificación VOR/DME	PIE DE CUESTA (PIE)	06° 53' N 73° 5,5' W	UW1	63	220 (PIE)	FL120
Punto de notificación VOR/DME	CUCUTA (CUC)	07° 56' N 72° 30,8' W	UW34	72	037 (PIE)	FL130
Punto de notificación	ENPUT	08° 12,4' N 72° 22,4' W	UW1	18	036 (CUC)	
Punto de notificación VOR/DME	SANTA BARBARA (STB)	08° 58,8' N 71° 56,4' W	UG431	53	218 (STB)	
Punto de notificación	DALEX	09° 43,3' N 71° 50,1' W	UW1	45	017 (STB)	

Tabla 66. Descripción de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF.

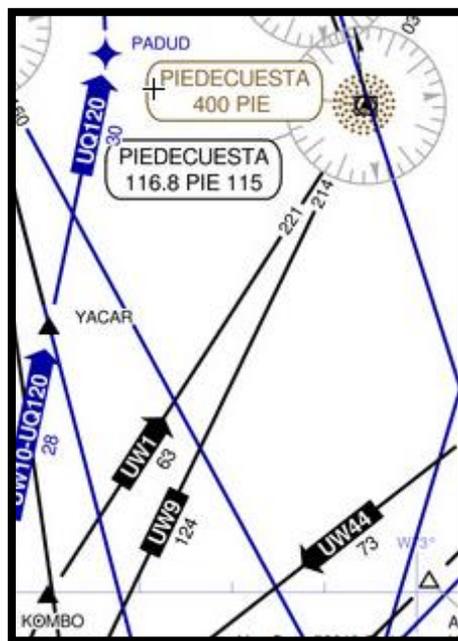


Figura 74. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (I). [128]

<sup>65</sup> Desde el punto anterior.

<sup>66</sup> Para esta tabla el FL mostrado es el mínimo para estar volando en espacio aéreo superior.

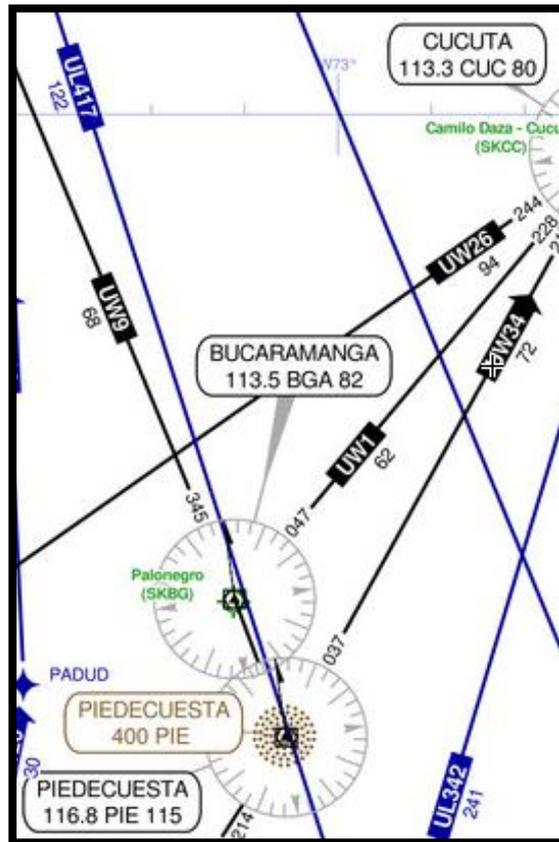


Figura 75. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (II). [128]



Figura 76. Carta aeronáutica de la fase de ascenso del vuelo SKBO-LIRF (III). [128]

### 2.5.2.3 Fase de crucero

La descripción de la fase de crucero se inicia en DALEX y finaliza en algún punto aún por concretar entre Córcega y Roma. Se sigue con la utilización de la carta CH02, además de la WATRS y la carta de navegación del Atlántico norte.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación	DALEX	09° 43,3' N 71° 50,1' W				
Waypoint	UGPIL	10° 22,3' N 71° 34,5' W	UL342	42	031 (DALEX)	FL245
	ISIGO	10° 37,2' N 71° 28,5' W		16		
	OGLIN	10° 42,1' N 71° 26,5' W		5		
	PUGRO	11° 46,5' N 71° 00,6' W		69		
Punto de notificación VOR/DME	ARUBA (ABA)	12° 30,3' N 69° 56,6' W	Se intercepta la ruta UA574 tras pasar por PUGRO. La distancia es de 76,4 NM.			

Tabla 67. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (I).

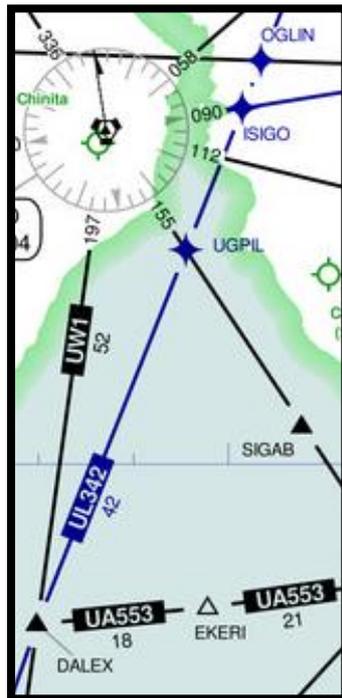


Figura 77. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (I). [128]



Figura 78. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (II). [128]

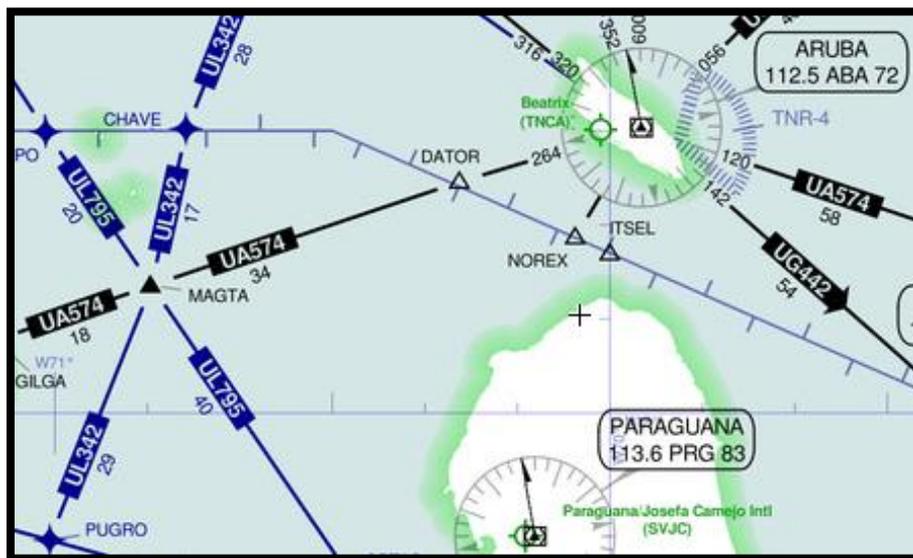


Figura 79. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (III). [128]

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación VOR/DME	ARUBA (ABA)	12° 30,3' N 69° 56,6' W				
Punto de notificación	ONDAS	13° 02,5' N 69° 23,4' W	UG885	46	055 (ABA)	FL245
	KERLI	13° 17,9' N 69° 07,4' W		22	057 (ABA)	
	GUDEL	13° 48' N 68° 36,1' W		43		
	PITOS	13° 57,6' N 68° 26' W		14		
	BEXER	14° 11,7' N 68° 11,3' W		20		

Tabla 68. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (II).

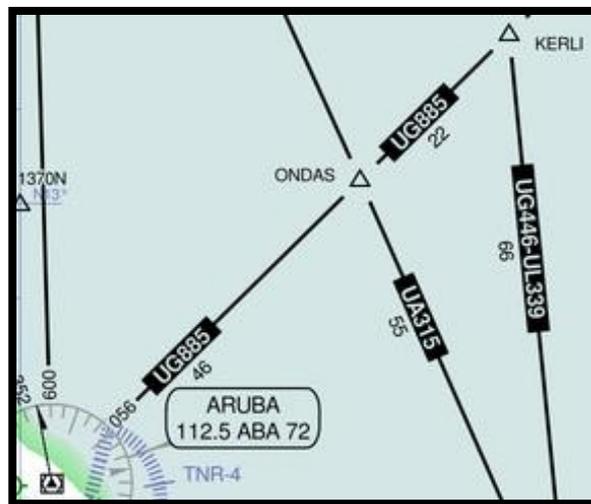


Figura 80. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IV). [128]

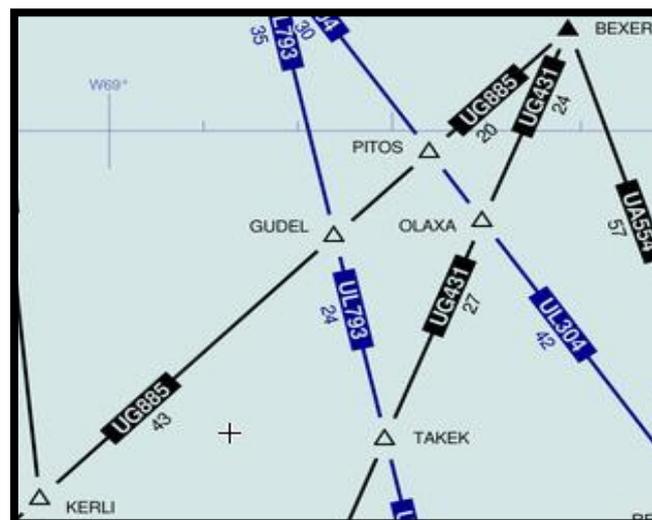


Figura 81. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (V). [128]

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación	BEXER	14° 11,7' N 68° 11,3' W				
Punto de notificación	BOSCO	14° 41' N 67° 59,1' W	UG431	32	033 (BEXER)	FL245
	SCAPA	15° 50' N 67° 30' W		74	034 (BOSCO)	
Waypoint	TRNKY	18° 25,2' N 63° 11,4' W	L335	292	070 (SCAPA)	
	OBIKE	19° 20,5' N 61° 46,0' W		98		
Punto de notificación	RKDIA	21° N 60° W	A516	140	240 (RKDIA)	

Tabla 69. Descripción de la fase de cruceo del vuelo SKBO-LIRF (III).

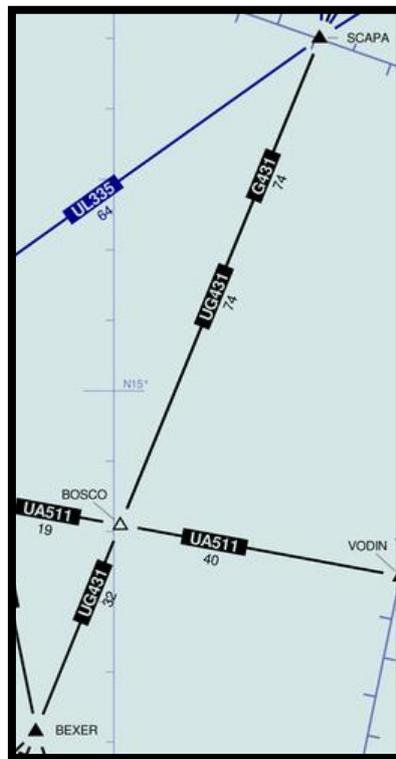


Figura 82. Carta aeronáutica de la fase de cruceo del vuelo SKBO-LIRF (VI). [128]

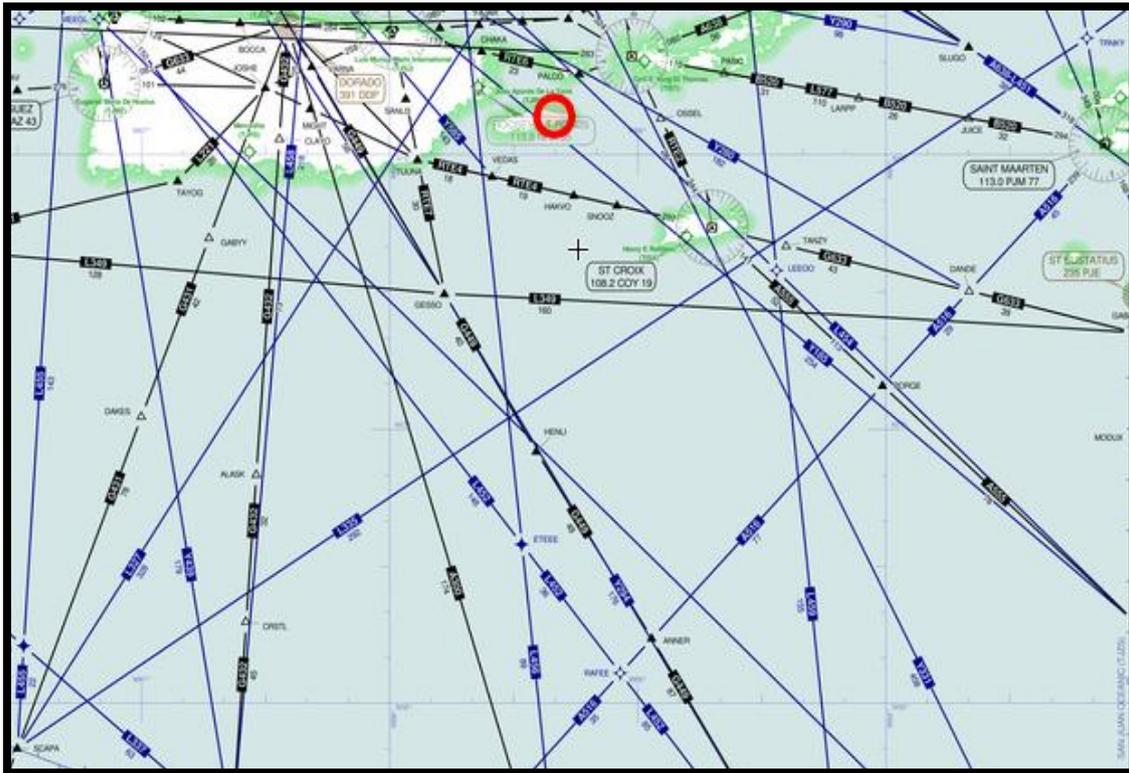


Figura 83. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VII). [128]

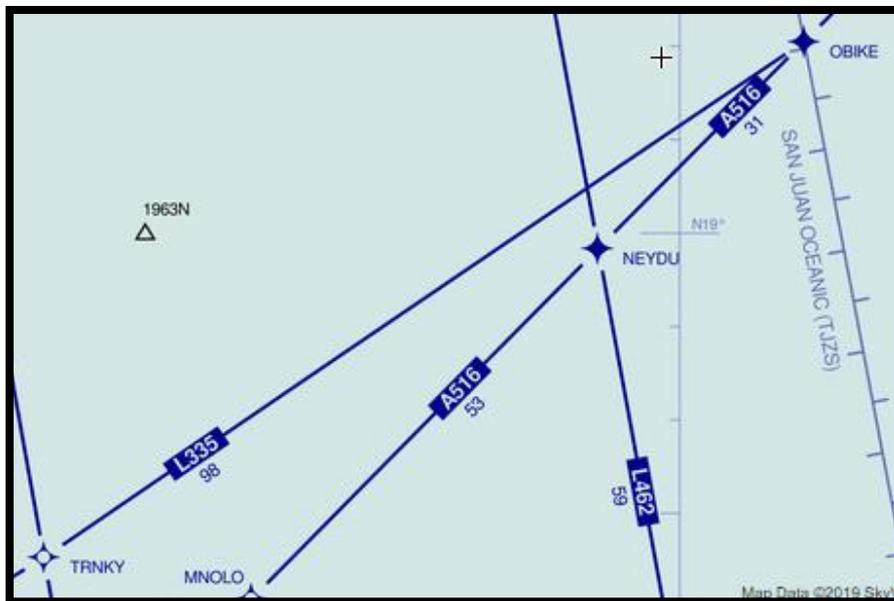


Figura 84. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VIII). [128]

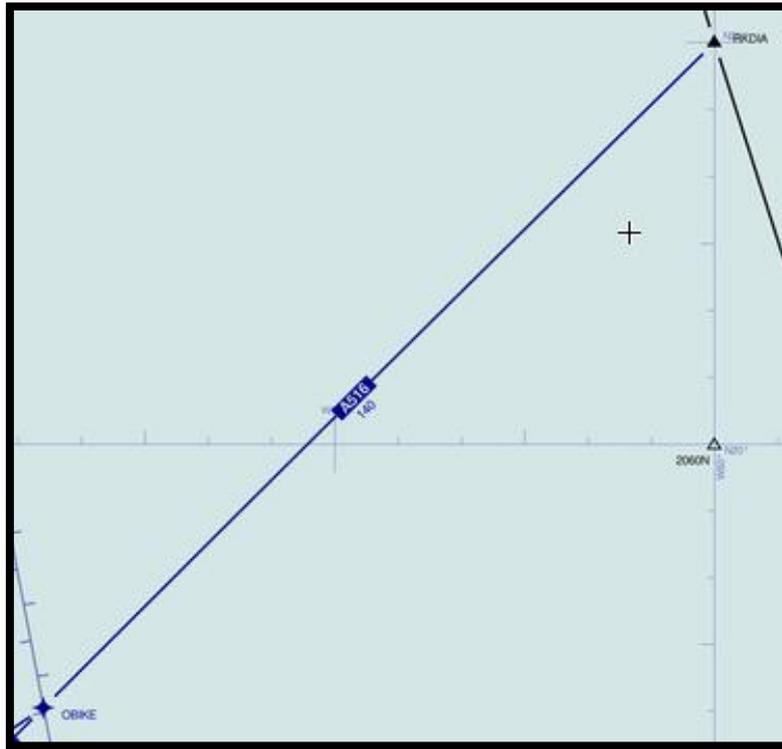


Figura 85. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IX). [128]

Llegados a este punto, se decide iniciar la navegación oceánica. En este caso, se entra en espacio aéreo oceánico en el punto RKDIA y se abandona el mismo al llegar a ETROX, que es un *waypoint* ubicado al sur de las Azores. En la siguiente figura se muestra la ubicación de ambos puntos. La distancia entre ellos es de 2092 NM.

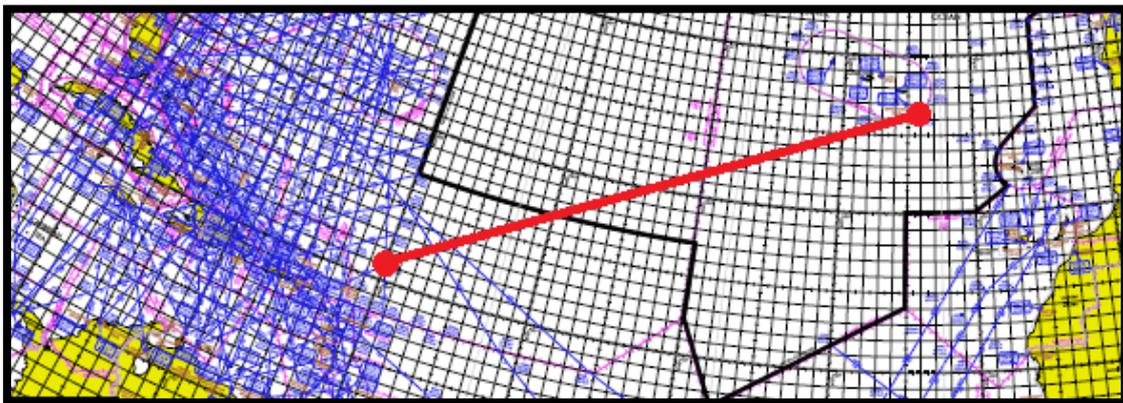


Figura 86. Navegación oceánica del vuelo SKBO-LIRF (I). [116]

Una vez llegado a ETROX, se continua en navegación oceánica, sin seguir ninguna ruta determinada hasta alcanzar el punto ERPES, tal y como se muestra en la siguiente figura. La distancia recorrida es de 477,3 NM. A partir de este punto, las cartas utilizadas son la H-3, H-15 y H-16 de [117] y la [112].

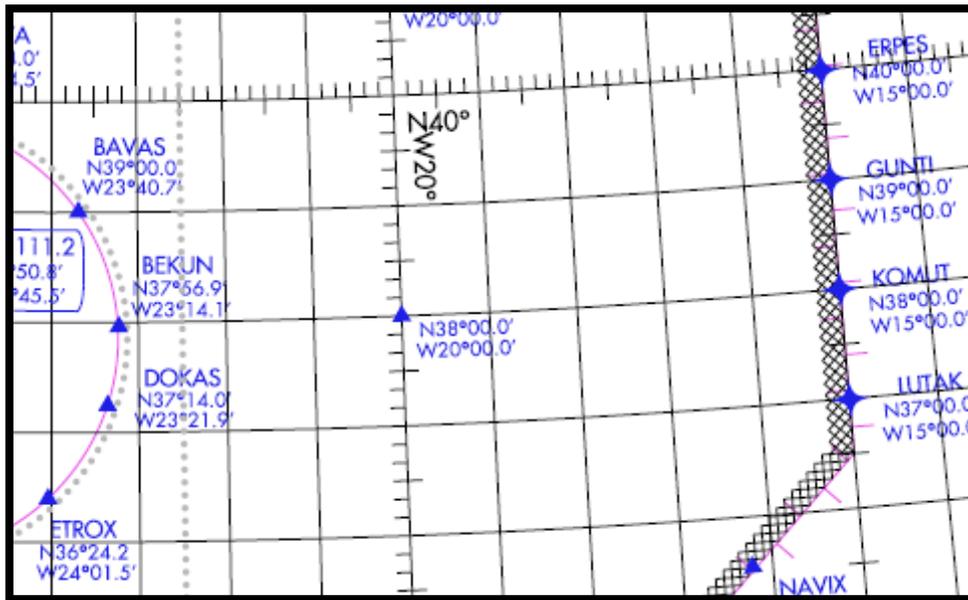


Figura 87. Navegación oceánica del vuelo SKBO-LIRF (II). [116]

Tipo	Nombre	Coordenadas	Ruta	Distancia (NM)	Heading	FL
Punto de notificación	ETROX	36° 24,2' N 24° 01,5' W	Navegación oceánica			
Waypoint	ERPES	40° N 15° W				
Punto de notificación	SOPOP	40° 26,4' N 12° 23,2' W	UZ25	123	083 (ERPES)	FL245
Waypoint	DIRMA	40° 51,1' N 12° 23,2' W		134	084 (SOPOP)	

Tabla 70. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (IV).

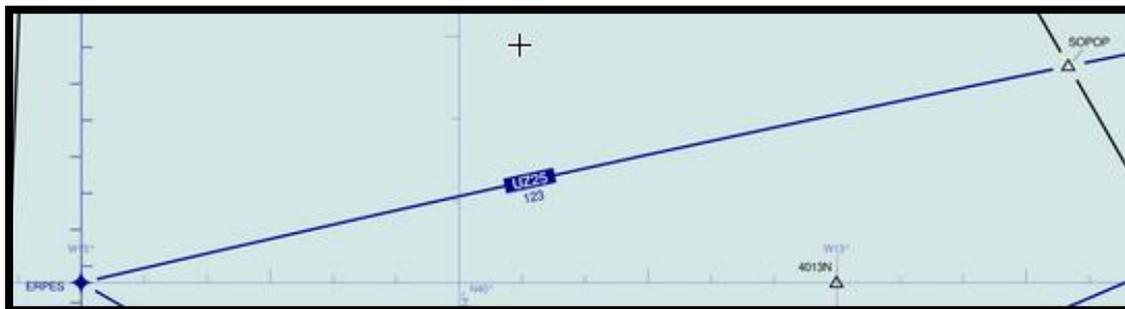


Figura 88. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (X). [128]

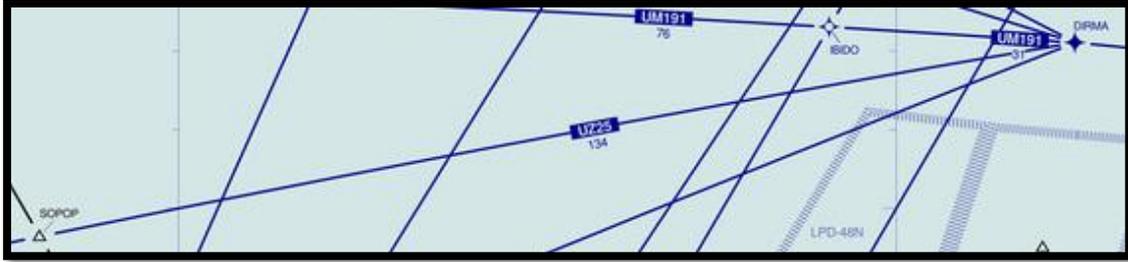


Figura 89. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XI). [128]

Llegados a este punto y frente a la costa de Portugal, no existe ninguna ruta que permita atravesar la península Ibérica de manera que no se recorran kilómetros de más. Por eso, desde este punto hasta llegar al VOR/DME de Gerona, se navega entre *waypoints* no conectados entre sí por ninguna ruta. Todo esto se realiza a una altitud superior a FL245.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Distancia (NM)
Waypoint	DIRMA	40° 51,1' N 12° 23,2' W	-
	BABEX	41° 2,4' N 07° 5,0' W	240,8
	ZANKO	41° 17,3' N 04° 57,9' W	96,9
	HERMI	41° 28,4' N 02° 32,0' W	110,1
Punto de notificación VOR/DME	ZARAGOZA (ZAR)	41° 39,5' N 01° 1,9' W	69
Waypoint	DIRMU	41° 47,1' N 00° 9,6' E	54
Punto de notificación VOR/DME	GERONA (GIR)	41° 55,9' N 02° 46,3' E	117,1

Tabla 71. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (V).



Figura 90. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XII). [128]

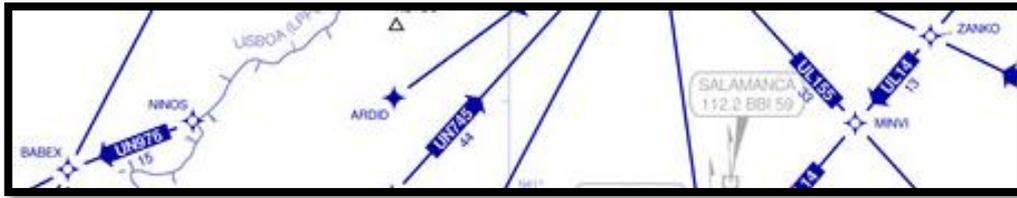


Figura 91. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIII). [128]



Figura 92. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIV). [128]



Figura 93. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XV). [128]

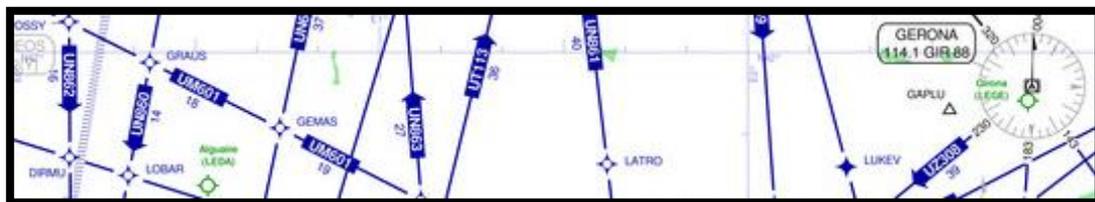


Figura 94. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVI). [128]

A partir de aquí y hasta la entrada en el procedimiento STAR, de nuevo aparece la problemática de la no existencia de ninguna ruta que se ajuste a nuestras necesidades. Por lo tanto, se navega entre *waypoints* y puntos de notificación.

Tipo	Nombre	Coordenadas	Distancia (NM)
Punto de notificación VOR/DME	GERONA (GIR)	41° 55,9' N 02° 46,3' E	-
Waypoint	PIVUS	41° 55,4' N 03° 56' E	51,9
Punto de notificación	OKSER	42° 0,9' N 06° 20,6' E	107,8
	URATO	41° 56,7' N 08° 9,5' E	81,1
Waypoint	IBROS	41° 47,7' N 10° 2,9' E	85

Tabla 72. Descripción de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (VI).

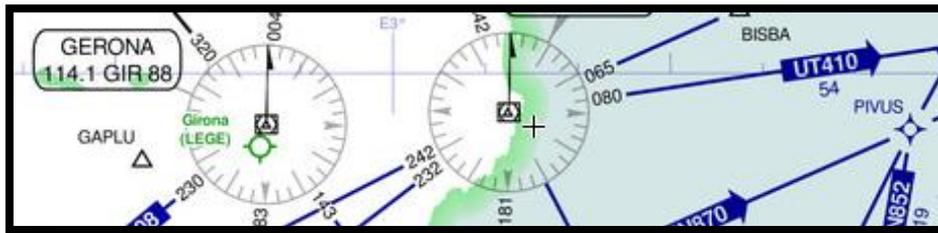


Figura 95. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVII). [128]



Figura 96. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XVIII). [128]

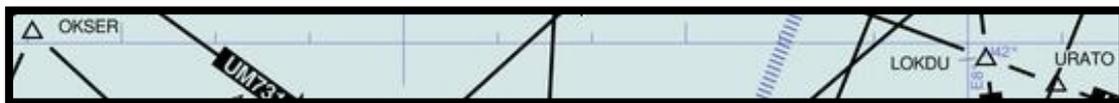


Figura 97. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XIX). [128]

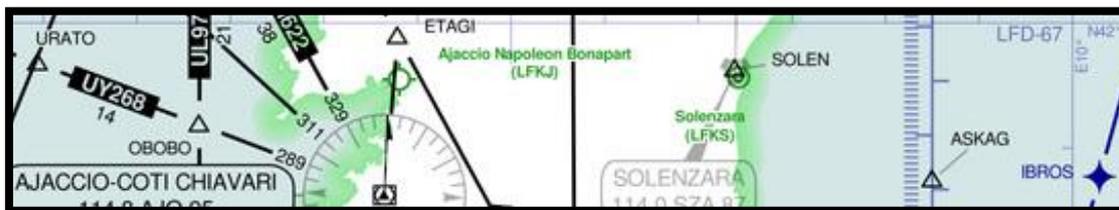


Figura 98. Carta aeronáutica de la fase de crucero del vuelo SKBO-LIRF (XX). [128]

#### 2.5.2.4 Fase de descenso

En este caso la fase de descenso comprende el espacio que la aeronave recorre desde el sobrevuelo de IBROS hasta la llegada a VALMA. La distancia a recorrer es de 63 NM. Tras la realización de los cálculos en 2.5.2.6, se aprecia que realmente la fase de descenso comienza en algún punto entre URATO e IBROS.

Si en este punto se hace incidencia en la longitud recorrida se puede observar que se ha reducido el número de kilómetros considerablemente a través de esta ruta. Toda la fase de ascenso, crucero y descenso se ha realizado o bien utilizando rutas bidireccionales o bien navegando entre radioayudas, con lo cual se podría aplicar la misma trayectoria al vuelo de ida, siempre y cuando los procedimientos de SID y STAR coincidan en su punto de inicio y finalización respectivamente.

### 2.5.2.5 Procedimiento de Llegada instrumental

Según vimos en 2.5.1.1, se utiliza como pista de aterrizaje habitual la 16L, pero también se pueden utilizar la 34R y las 16R/34L. Por lo tanto, en este caso se han de seleccionar 4 procedimientos STAR. Acudiendo a [127], puede observarse la existencia de 2 procedimientos distintos para cada una de las pistas de aterrizaje posible, siendo el punto común de entrada a todos ellos VALMA.

#### 2.5.2.5.1 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2A

Se utiliza la carta 10-2C con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 16L y 16R en LIRF entrando por VALMA.



Figura 99. Procedimiento VALMA 2A.

El *routing* concreto a seguir sería:

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL <sup>67</sup>
VALMA	-	-	270	-
LUNAK	21,5	067	250	FL90 FL130
BITNI	8		230	FL90
GIPAP	21	341	220	FL90 FL110
RF422	5			FL60
RF423	5			
RF424	5			
RF426	7	071	210	
RF427	5	161		
RF428	5		200	FL40
SUVOK	5			

Tabla 73. Descripción del procedimiento VALMA 2A para aterrizaje por las pistas 16L/16R.

#### 2.5.2.5.2 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2B

Se utiliza la carta 10-2H con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 16L y 16R en LIRF entrando por VALMA.



Figura 100. Procedimiento VALMA 2B.

<sup>67</sup> M indica que la altitud es máxima. 2 valores indican un intervalo a seguir. Si no aparece una M ni un segundo valor se trata de la altitud mínima.

El routing concreto a seguir sería:

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
VALMA	-	-	270	FL60
LUNAK	21,5	067	250	
AKILI	21,5		-	
TUVEL	7,5	055	-	
OGTOM	10	026	230	
ESALU	11	341	220	
VAKAB	7	251		
RF442	5	341		
RF443	5			
RF444	5			
RF446	7	251	210	
RF447	5	161		
RF448	5			
EXAMA	5		200	FL40

Tabla 74. Descripción del procedimiento VALMA 2B para aterrizaje por las pistas 16L/16R.

### 2.5.2.5.3 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2C

Se utiliza la carta 10-2L con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 34L y 34R en LIRF entrando por VALMA.



Figura 101. Procedimiento VALMA 2C.

El routing concreto a seguir sería:

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
VALMA	-	-	270	FL150 (M)
ASKUV	23	080	230	FL50
RONIV	15	160		
ANAXA	9	071		
RF461	5	161	220	FL50
RF462	5			
RF463	6	071	210	FL45
RF466	5	341		
RF467	5			
NEVUX	4		200	FL25

Tabla 75. Descripción del procedimiento VALMA 2C para aterrizajes por las pistas 34L y 34 R.

#### 2.5.2.5.4 STAR para aterrizaje siguiendo el procedimiento VALMA 2D

Se utiliza la carta 10-2Q con el procedimiento a seguir para aterrizar por las pistas 34L y 34R en LIRF entrando por VALMA.

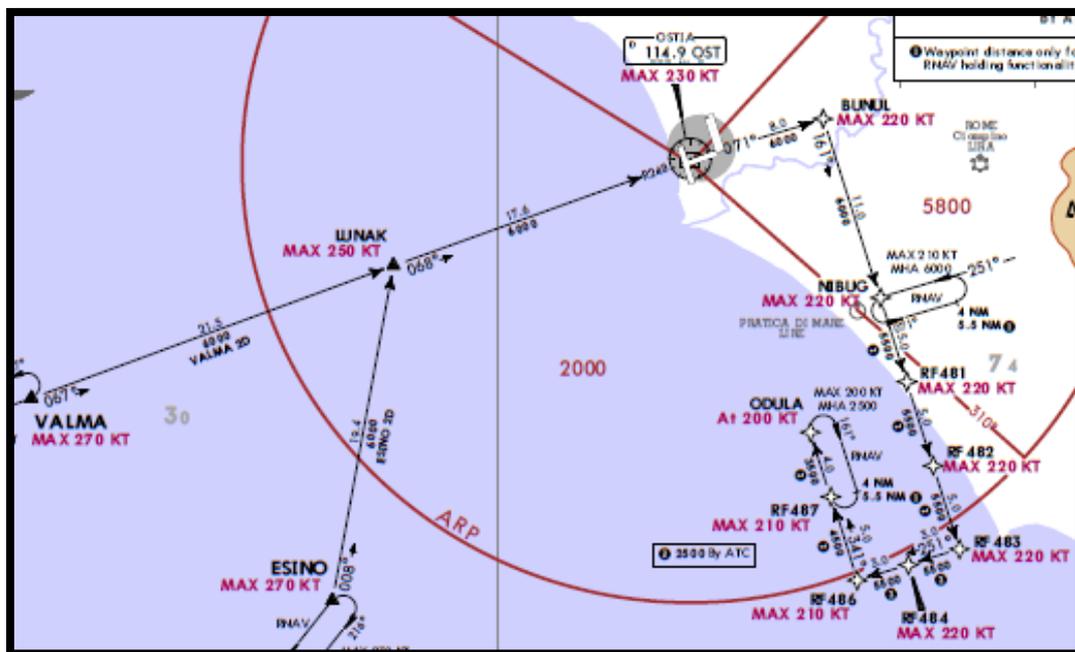


Figura 102. Procedimiento VALMA 2D.

El *routing* concreto a seguir sería:

Nombre	Distancia (NM)	Heading	Velocidad máxima (kt)	FL
VALMA	-	-	270	FL60
LUNAK	21,5	067	250	
OST	17,6	068	230	
BUNUL	8	071	220	
NIBUG	11	161		FL55
RF481	5			
RF482	5			
RF483	5	251		
RF484	3			
RF486	3	341	210	FL45
RF487	5		200	FL35
ODULA	4			

Tabla 76. Descripción del procedimiento VALMA 2D para aterrizajes por las pistas 34L y 34R.

#### 2.5.2.5.4 Aproximación final para cada una de las pistas

Finalmente, se añade el recorrido a seguir desde los puntos IAF para cada una de las pistas de aterrizaje. Las figuras se corresponden con las cartas 12-1, 12-3, 12-4 y 12-6 respectivamente

#### ✈ Pista 16L

Se puede aterrizar partiendo de SUVOK y EXAMA.

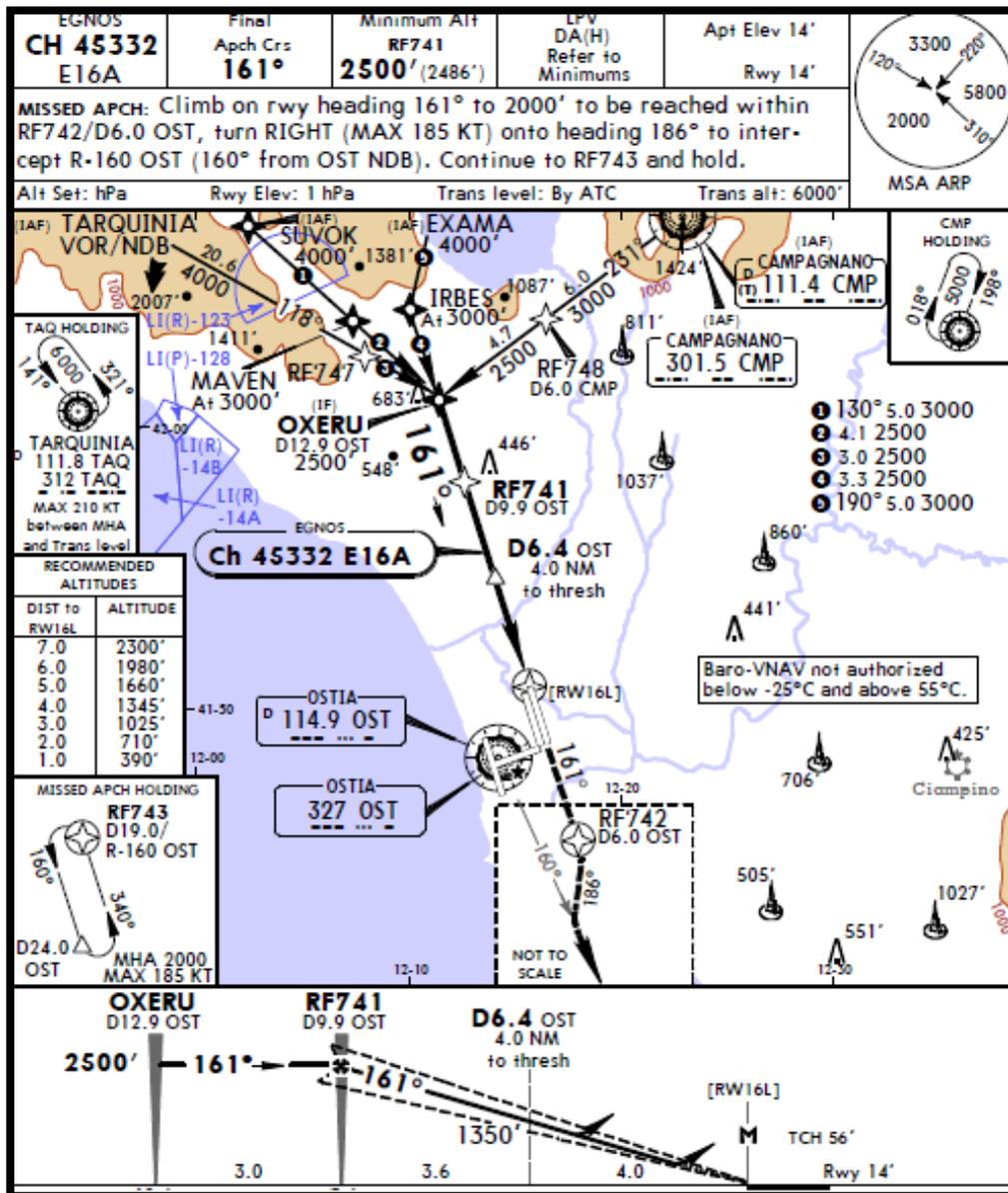


Figura 103. Procedimiento de aterrizaje por la pista 16L.

✈ Pista 16R

Se puede aterrizar partiendo de SUVOK y EXAMA.

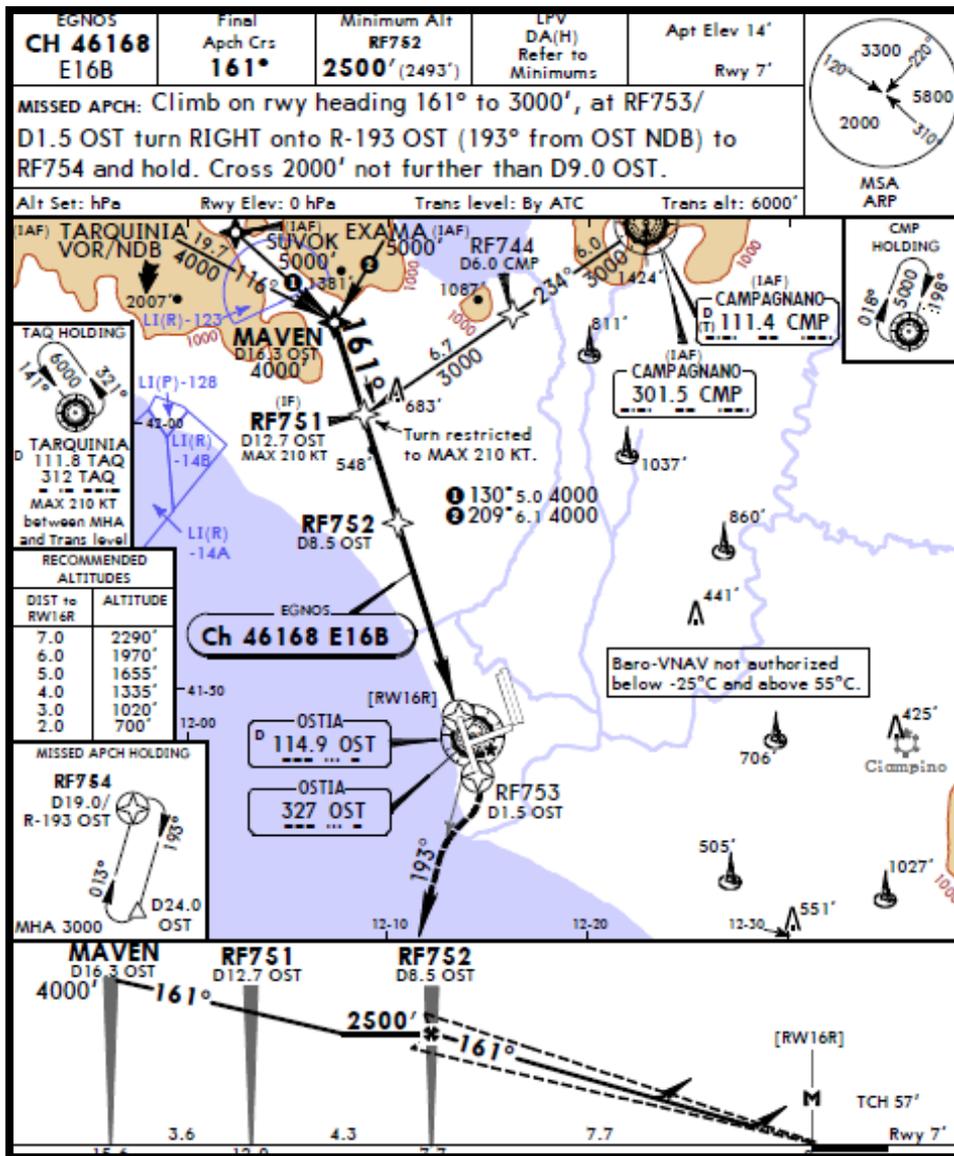


Figura 104. Procedimiento de aterrizaje por la pista 16R.



✈ Pista 34R

Se puede aterrizar partiendo de NEVUX y ODULA.

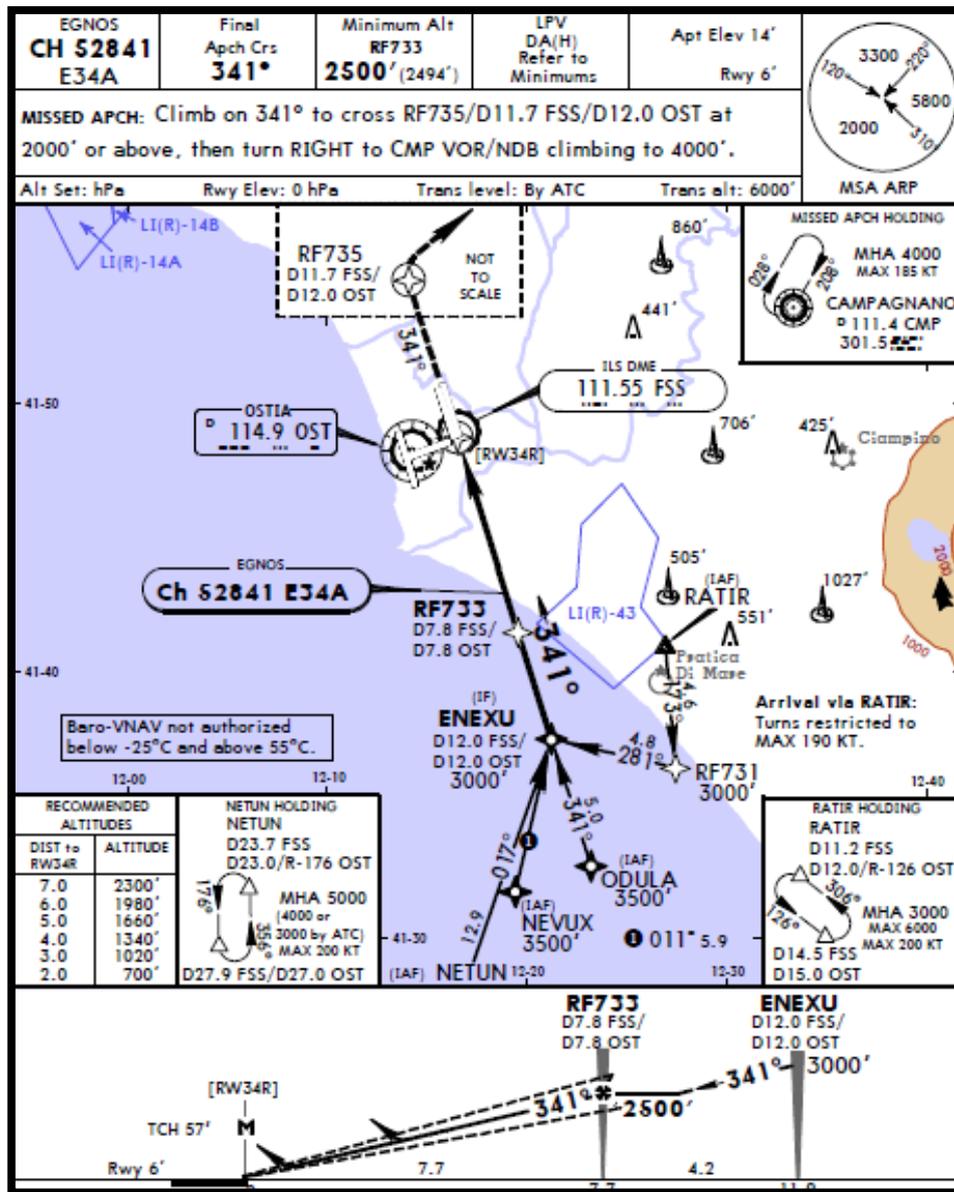


Figura 106. Procedimiento de aterrizaje por la pista 34R.

## 2.5.2.6 Tiempos, distancias, velocidades y niveles de vuelo

Se procede de la misma manera que en 2.5.1.6.

### 2.5.2.6.1 Distancia recorrida

SID: coordenadas DANSA 4 11 28 N 73 56 43 W. Distancia aproximada de DANSA A ZIP y de ZIP a KOMBO. Estimar el resto a partir de los datos dados para las distintas pistas.

#### ✈ SID

Existen 2 procedimientos, cada uno de los cuáles pueden ejecutarse desde cada una de las pistas. Por lo tanto, es necesario calcular 8 distancias.

Además, en el caso de DANSA 1R, es necesario determinar, con los datos de [138][135] :

1. La distancia de BO442 a SOACHA: 9,5 NM.
2. La distancia de BO446 a SOACHA: 10,4 NM.

En el caso de OSUSU 1R, es necesario estimar:

1. La distancia de BO446 a GUXUN: 10,5 NM.
2. La distancia de B0442 a GUXUN: 11,2 NM.
3. La distancia de BO501 a BO502: 5,2 NM.

Con estos datos y los de las distintas tablas a consultar:

Procedimiento	Pista	Tabla	Distancia
DANSA 1R	13L	56	181,5
	13R	57	180,7
	31L	58	190,2
	31R	59	198,2
OSUSU 1R	13L	61	84,9
	13R	62	85,7
	31L	63	89,8
	31R	64	88,2

Tabla 77. Distancias estimadas recorridas en los diferentes procedimientos SID escogidos.

#### ✈ Ascenso

Se suman las distancias obtenidas en el apartado 2.5.2.2, desde KOMBO hasta DALEX. Estas distancias son las que aparecen en la *tabla 66*. La suma de todas ellas arroja un valor de **251 NM**. Este valor puede modificarse posteriormente hasta el punto exacto de transición entre la fase de ascenso y la de crucero.

### ✈️ Crucero

Se suman las distancias de las *tablas 67 a 72*, en conjunto y por separado:

1. *Tabla 67*: de DALEX a ARUBA. La distancia recorrida es de **208,4 NM**.
2. *Tabla 68*: de ARUBA a BEXER. La distancia recorrida es de **145 NM**.
3. *Tabla 69*: de BEXER a RKDIA. La distancia recorrida es de **636 NM**.
4. De RKDIA a ERPES (navegación oceánica). La distancia recorrida es de **2569,3 NM**.
5. *Tabla 70*: de ERPES a DIRMA. La distancia recorrida es de **257 NM**.
6. *Tabla 71*: de DIRMA a GERONA. La distancia recorrida es de **687,9 NM**.
7. *Tabla 72*: de GERONA a IBROS. La distancia recorrida es de **325,8 NM**.

Por lo tanto, en toda la fase de crucero, que transcurre desde la entrada en espacio aéreo venezolano hasta la llegada a espacio aéreo italiano se recorren **4829,4 NM**.

### ✈️ Descenso

La distancia desde IBROS hasta VALMA es de **63 NM**.

### ✈️ STAR

Se calcula la distancia recorrida para cada uno de los procedimientos escogidos. Para ello, se suman los valores que aparecen en las *tablas 73 a 76* y se añaden las correspondientes distancias que aparecen entre las *figuras 127 a 130*.

Procedimiento	Pista	Tabla	Figura	Distancia
VALMA 2A	16L	73	103	107,2
	16R		104	108,1
VALMA 2B	16L	74	103	134,4
	16R		104	137,2
VALMA 2C	34L	75	105	92,7
	34R		106	94,8
VALMA 2D	34L	76	105	104,2
	34R		106	105

Tabla 78. Distancia recorrida en los procedimientos STAR para el vuelo de vuelta.

Si se realiza el añadido de todas las distancias, tomando mínimo valores de SID y STAR para un caso y los máximos para otro:

- ✈️ **Distancia mínima:** saliendo mediante OSURU 1R por la pista 13L y acabando mediante VALMA 2C por la pista 34L, se recorren **5321 NM**
- ✈️ **Distancia máxima:** saliendo mediante DANSA 1R por la pista 31R y acabando mediante VALMA 2B por la pista 16R, se recorren **5478,8 NM**
- ✈️ **Distancia media:** **5399,9 NM**, unos 10000 km.

Con los resultados obtenidos, se observa que tanto para la trayectoria que se eligió para la vida como para esta, a pesar de navegar sobre zonas diferentes, la distancia recorrida es muy similar.

### 2.5.2.6.2 Velocidades empleadas

Se muestra la propuesta de velocidades, bien sea por limitaciones, por *performance* o por la utilización de un valor concreto en el tramo correspondiente:

#### ✈ SID

En la siguiente tabla se muestran las distintas limitaciones de velocidad para cada procedimiento. El resto de los mismos, hasta llegar a KOMBO, se realiza a las velocidades propuestas por la *tabla 47*.

Procedimiento	Pista	Velocidad
DANSA 1R	13L	Hasta SOA 185
	13R	Hasta SOA 205
	31L	-
	31R	-
OSUSU 1R	13L	Hasta GUXUN 205
	13R	
	31L	-
	31R	-

Tabla 79. Velocidades máximas según el procedimiento SID escogido para el vuelo de vuelta.

- ✈ **Ascenso:** para este apartado y el de descenso, se tienen en cuenta los valores de la *tabla 47*. En este caso, los utilizados coinciden con los proporcionados por la *tabla 48*.
- ✈ **Crucero:** en esta fase todo el vuelo se realiza a la velocidad de crucero, que tiene un valor de 488 kt.
- ✈ **Descenso:** se utilizan los valores de la *tabla 49*.
- ✈ **STAR:** de igual manera que se explica para las SID. En este caso, se hace referencia a los datos proporcionados por las *tablas 73 a 76*, aplicando las limitaciones que se van proponiendo en cada uno de los puntos y en la aproximación final.

### 2.5.2.6.3 Niveles de vuelo

✈ **SID.** Todos los procedimientos SID se inician a la altitud de la pista en uso, que se toma el valor de 8360 ft que tiene de altitud el aeródromo. Para cada uno de los procedimientos SID escogidos, existirá un gradiente u otro de ascenso, dependiendo de la distancia recorrida y la velocidad. Además, existen unos gradientes mínimos de ascenso a cumplir (*tablas 60 y 65*):

1. DANSA 1R (13L): los primeros 540 ft de vuelo deben ejecutarse con un gradiente de 1030 ft/min. Esto prácticamente simboliza los primeros 30 segundos de vuelo. Ahora se toman los valores medios de *performance*. Los 1100 ft restantes hasta FL100, se realizan a 1625 ft/min (0,67 minutos), hasta FL200 a 1715 ft/min (5,83 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370, el escogido como nivel de crucero, a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 23,15 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
2. DANSA 1R (13R): los gradientes son los mismos que en el anterior.
3. DANSA 1R (31L): los primeros 3040 ft de vuelo deben ejecutarse con un gradiente de 1038 ft/min (2,93 minutos). Hasta FL200 a 1715 ft/min (5,01 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370 a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 24,08 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
4. DANSA 1R (31R): los primeros 3140 ft de vuelo deben ejecutarse con un gradiente de 937 ft/min (3,35 minutos). Hasta FL200 a 1715 ft/min (4,96 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370 a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 24,45 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
5. OSUSU 1R (13L): los primeros 12,6 NM se recorren a 205 kt (3,69 minutos) y el resto a 250 kt. El ascenso se realiza a 1142 ft/min hasta 10700 ft (2,05 minutos), hasta FL200 a 1715 ft/min (5,42 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370 a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 23,61 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
6. OSUSU 1R (13R): el ascenso se realiza a 1142 ft/min hasta 10800 ft (2,14 minutos), hasta FL200 a 1715 ft/min (5,36 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370 a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 23,64 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
7. OSUSU 1R (31L): el ascenso se realiza a 810 ft/min hasta 11000 ft (3,26 minutos), hasta FL200 a 1715 ft/min (5,25 minutos), hasta FL300 a 1215 ft/min (8,23 minutos) y hasta FL370 a 885 ft/min (7,91 minutos). Por lo tanto, se tarda 24,65 minutos en alcanzar el nivel de crucero.
8. OSUSU 1R (31R): idénticos gradientes a los anteriores.

## ✈ Ascenso

En este caso, como se ha visto, con los procedimientos SID ya se incluye la fase de ascenso alcanzándose una altitud de crucero, con lo cuál este apartado se da por realizado.

## ✈ Crucero

Esta fase se desarrolla a FL370 desde: algún punto entre BO408 y NIKDO siguiendo DANSA 1R; algún punto entre KOMBO y PIE siguiendo OSUSU 1R; hasta el punto donde se inicia el descenso (a concretar posteriormente).

## ✈ Descenso

Realizando previamente los cálculos:

1. **FL370 – FL300.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 480 kt. Se necesitan 3,5 minutos para completar ese descenso, recorriendo 28 NM en ese tiempo.
2. **FL300 – FL200.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 480 kt. Se necesitan 5 minutos para completar ese descenso, recorriendo 40 NM en ese tiempo.
3. **FL200 – FL150<sup>68</sup>.** El gradiente de descenso es de 2000 ft/min y la velocidad de 420 kt. Se necesitan 2,5 minutos para completar ese descenso, recorriendo 17,5 NM en ese tiempo.

Por lo tanto, se tarda 11 minutos en descender de FL370 a VALMA, y se recorren 85,5 NM en ese tiempo.

Con estos datos, se encuentra que el descenso debe iniciarse en un punto entre URATO e IBROS.

## ✈ STAR

Para el cálculo de gradientes, se inicia el procedimiento a FL150 en VALMA y se pasa por cada uno de los puntos en el FL propuesto a continuación. Por las limitaciones del procedimiento de llegada, no se pueden usar los gradientes anteriormente utilizados.

1. VALMA 2A. De VALMA a LUNAK se desciende a FL130, con un gradiente de descenso de 387,6 ft/min. De LUNAK a GIPAP se desciende a FL90, a 511,9 ft/min. De GIPAP a RF428 se desciende a FL60, a 335,3 ft/min. De RF428 a SUVOK se desciende a FL40, a 1333,3 ft/min.
2. VALMA 2B. De VALMA a RF448 se desciende a FL60, a 308,3 ft/min. De RF448 a EXAMA se desciende a FL40, a 1333,3 ft/min.
3. VALMA 2C. De VALMA a ANAXA se desciende a FL60, a 717,4 ft/min. De ANAXA a RF462 se desciende a FL50, a 366,7 ft/min. De RF462 a RF466 se desciende a FL45, a 159,1 ft/min. De RF466 a RF467 se desciende a FL35, a 700 ft/min. De RF467 a NEVUX se desciende a FL25, a 833,3 ft/min.

---

<sup>68</sup> Se escoge este nivel de vuelo para llegar a VALMA pues en uno de los procedimientos es el máximo permitido.

4. VALMA 2D. De VALMA a NIBUG se desciende a FL60, a 602,7 ft/min. De NIBUG a RF486 se desciende a FL55, a 86,7 ft/min. De RF486 a RF487 se desciende a FL45, a 700 ft/min. De RF487 a ODULA se desciende a FL35, a 833,3 ft/min.

Por último, se definen los niveles de vuelo y los gradientes de descenso en la aproximación final a LIRF, según pista de aterrizaje (se utilizan los 200 kt de velocidad propuesta como máxima para todos los procedimientos):

1. VALMA 2A. Pista 16L. Desde SUVOK hasta MAVEN se desciende a FL30, a 666,7 ft/min. Desde MAVEN hasta RF741, se desciende a FL25, a 234,7 ft/min. Desde RF741 hasta la pista 16L, se desciende a FLO, a 1096,5 ft/min.
2. VALMA 2A. Pista 16R. Desde SUVOK hasta RF752 se desciende a 2500 ft, a 387,6 ft/min. Desde RF752 hasta la pista 16R, se desciende a FLO, a 1082,2 ft/min.
3. VALMA 2B. Pista 16L. Desde EXAMA hasta IRBES se desciende a 3000 ft, a 666,7 ft/min. Desde IRBES hasta RF741, se desciende a FL25, a 264,55 ft/min. Desde RF741 hasta la pista 16L, se desciende a FLO, a 1096,5 ft/min.
4. VALMA 2B. Pista 16R. Desde EXAMA hasta RF752 se desciende a 2500 ft, a 387,6 ft/min. Desde RF752 hasta la pista 16R, se desciende a FLO, a 1082,2 ft/min.
5. VALMA 2C. Pista 34L. Desde NEVUX hasta la pista 34L se desciende a FLO, a 530,79 ft/min.
6. VALMA 2C. Pista 34R. Desde NEVUX hasta la pista 34R se desciende a FLO, a 468,16 ft/min.
7. VALMA 2D. Pista 34L. Desde ODULA hasta OKUBU se desciende a FL30, a 378,8 ft/min. Desde OKUBU hasta la pista 34L se desciende a FLO, a 854,7 ft/min.
8. VALMA 2D. Pista 34R. Desde ODULA hasta ENEXU se desciende a FL30, a 333,3 ft/min. Desde ENEXU hasta la pista 34R se desciende a FLO, a 840,3 ft/min.

## 2.5.2.6.4 Tiempo estimado

A partir de los datos obtenidos, se puede calcular el tiempo empleado para cada fase. Estas fases no vienen dadas según la organización de 2.5.2.1, 2.5.2.2, 2.5.2.3, 2.5.2.4 y 2.5.2.5, si no según las diferencias explicadas en 2.5.2.6.1, 2.5.2.6.2 y 2.5.2.6.3 referente a los puntos de transición entre una y otra fase:

Fase	Situación	Distancia (NM) <sup>69</sup>	Velocidad/es (kt)	Tiempo (') <sup>70</sup>
SID y ascenso	DANSA 1R (13L)	112,82 + 68,68	185 / 402 / 352 / 245 / 488	23,23 + 8,44
	DANSA 1R (13R)	116,24 + 64,46	205 / 402 / 352 / 245 / 488	23,14 + 7,93
	DANSA 1R (31L)	129,91 + 60,3	255 / 402 / 352 / 245	24,08 + 7,41
	DANSA 1R (31R)	129,49 + 68,71		24,08 + 8,45
	OSUSU 1R (13L)	84,9 (118,51)	205 / 402 / 352 / 245	23,61
	OSUSU 1R (13R)	85,7 (118,72)		23,64
	OSUSU 1R (31L)	89,8 (131,07)		230 / 402 / 352 / 245
OSUSU 1R (31R)	88,2 (132,12)			
Crucero <sup>71</sup>	<i>Tablas 154 a 159</i>	5057,9	488	621,87
Descenso <sup>72</sup>	-	85,5	480 / 480 / 420 / 250	11
STAR	VALMA 2A (16L)	107,2	Limitaciones del circuito	43,12
	VALMA 2A (16R)	108,1		44,02
	VALMA 2B (16L)	134,4		49,59
	VALMA 2B (16R)	137,2		52,39
	VALMA 2C (34L)	92,7		36,74
	VALMA 2C (34R)	94,8		38,84
	VALMA 2D (34L)	104,2		39,43
	VALMA 2D (34R)	105		40,23

Tabla 80. Tiempo empleado para cada fase del vuelo SKBO-LIRF.

A partir de estos datos y con todas las combinaciones posibles de vuelos que se pueden dar, se construye la siguiente tabla. En ella, ha de tenerse en cuenta que para el procedimiento OSUSU 1R, el tiempo mostrado alcanza más allá de KOMBO y, por lo tanto, el tiempo de crucero debe modificarse. Por lo tanto, es necesario para cada uno de los procedimientos realizar las modificaciones oportunas en los valores:

<sup>69</sup> Para las SID: para el procedimiento DANSA 1R, la primera distancia es la viajada en ascenso; la segunda distancia es la realizada en crucero. Para el procedimiento OSUSU 1R, la primera distancia es la del procedimiento y la mostrada entre paréntesis, la total necesaria para alcanzar el FL de crucero.

<sup>70</sup> Para las SID: para el procedimiento DANSA 1R, el primer tiempo es el necesario para alcanzar el FL de crucero. El añadido, el total en completar el procedimiento SID. Para el procedimiento OSUSU 1R, el tiempo que aparece es el necesario en alcanzar la altitud de crucero.

<sup>71</sup> En esta tabla, aparecen los datos para un vuelo de crucero desde KOMBO hasta el punto exacto de descenso.

<sup>72</sup> El tiempo de descenso y la distancia entre paréntesis se corresponde al calculado desde el punto de inicio de descenso. Esto implica que no se corresponde exactamente con IBROS.

SID	STAR	Tiempo
DANSA 1R (13L)	VALMA 2A (16L)	707,66
	VALMA 2A (16R)	708,56
	VALMA 2B (16L)	714,13
	VALMA 2B (16R)	716,93
	VALMA 2C (34L)	701,28
	VALMA 2C (34R)	703,38
	VALMA 2D (34L)	703,97
	VALMA 2D (34R)	704,77
DANSA 1R (13R)	VALMA 2A (16L)	707,06
	VALMA 2A (16R)	707,96
	VALMA 2B (16L)	713,53
	VALMA 2B (16R)	716,33
	VALMA 2C (34L)	700,68
	VALMA 2C (34R)	702,78
	VALMA 2D (34L)	703,37
	VALMA 2D (34R)	704,17
DANSA 1R (31L)	VALMA 2A (16L)	707,48
	VALMA 2A (16R)	708,38
	VALMA 2B (16L)	713,95
	VALMA 2B (16R)	716,75
	VALMA 2C (34L)	701,1
	VALMA 2C (34R)	703,2
	VALMA 2D (34L)	703,79
	VALMA 2D (34R)	704,59
DANSA 1R (31R)	VALMA 2A (16L)	708,52
	VALMA 2A (16R)	709,42
	VALMA 2B (16L)	714,99
	VALMA 2B (16R)	717,79
	VALMA 2C (34L)	702,14
	VALMA 2C (34R)	704,24
	VALMA 2D (34L)	704,83
	VALMA 2D (34R)	705,63
<b>Duración media</b>		<b>707,605 = 11h 48'</b>

Tabla 81. Duración del vuelo en función de la STAR escogida despegando mediante DANSA 1R.

SID	STAR	Tiempo
OSUSU 1R (13L)	VALMA 2A (16L)	695,47
	VALMA 2A (16R)	696,37
	VALMA 2B (16L)	701,94
	VALMA 2B (16R)	704,74
	VALMA 2C (34L)	689,09
	VALMA 2C (34R)	691,19
	VALMA 2D (34L)	691,78
	VALMA 2D (34R)	692,58
OSUSU 1R (13R)	VALMA 2A (16L)	695,57
	VALMA 2A (16R)	696,47
	VALMA 2B (16L)	702,04
	VALMA 2B (16R)	704,84
	VALMA 2C (34L)	689,19
	VALMA 2C (34R)	691,29
	VALMA 2D (34L)	691,88
	VALMA 2D (34R)	692,68
OSUSU 1R (31L)	VALMA 2A (16L)	695,57
	VALMA 2A (16R)	696,47
	VALMA 2B (16L)	702,04
	VALMA 2B (16R)	704,84
	VALMA 2C (34L)	689,19
	VALMA 2C (34R)	691,29
	VALMA 2D (34L)	691,88
	VALMA 2D (34R)	692,68
OSUSU 1R (31R)	VALMA 2A (16L)	695,24
	VALMA 2A (16R)	696,14
	VALMA 2B (16L)	701,71
	VALMA 2B (16R)	704,51
	VALMA 2C (34L)	688,86
	VALMA 2C (34R)	690,96
	VALMA 2D (34L)	691,55
	VALMA 2D (34R)	692,35
<b>Duración media</b>		<b>695,3875 = 11h 35'</b>

Tabla 82. Duración del vuelo en función de la STAR escogida despegando mediante OSUSU 1R.

Si tomamos los valores mínimos, máximos y medios de ambas tablas podemos concluir que:

- ✈ **Duración mínima:** con OSUSU 1R por la pista 31R como SID en uso, y VALMA 2C por la pista 34L como STAR, el vuelo tiene una duración de **11h y 29 minutos**.
- ✈ **Duración máxima:** con DANSA 1R por la pista 31R como SID en uso, y VALMA 2B por la pista 16R como STAR, el vuelo tiene una duración de **11h y 58 minutos**.
- ✈ **Duración media:** entre todos los procedimientos, la duración media del vuelo es de **11h y 42 minutos**.

## 2.6 Planificación de vuelos y aeronaves

Se procede a planificar los horarios a implementar para la nueva línea aérea. Para ambos vuelos se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

1. Ocupación de horarios actual en el aeropuerto de salida. Se trata de buscar posibles huecos en los cuales se podría implementar una nueva operación.
2. Planificación de vuelos similares entre Europa y América del Sur. Se trata de observar la planificación de vuelos similares, a partir de los datos recopilados durante la selección de aeropuertos y así, definir el número de operaciones semanales y el número de aparatos necesarios para la operación.
3. Procedimiento de implantación de la nueva línea. Se trata de proponer el calendario de implementación de estos nuevos vuelos, con el incremento de frecuencias propuesto.

El procedimiento puede encontrarse en el anexo 6, mientras que el resultado final se muestra aquí.

### 2.6.1 Horario semanal LIRF-SKBO

Para iniciar y finalizar la operación en el mismo día y, con la previsión de posibles retrasos puntuales por deficiencias de la gestión aeroportuaria de LIRF, se decide que el vuelo partirá de LIRF a las **16:05**. Esta elección también ha sido influenciada por el horario de vuelo del vuelo LEBL – SKBO, el cual parte a las 15:55 de suelo catalán.

Tan sólo es necesario añadir una variación, que se debe al hecho de volar en jueves y en viernes. Para poder utilizar una sola aeronave durante el primer año, el vuelo de los viernes debe permitir al avión que viene de vuelta del vuelo efectuado el día antes llegar a LIRF para poder partir de nuevo. Saliendo a las 16:05 el jueves, se llegaría a SKBO sobre las 20:45. Si estimamos unas 2 horas en cada aeropuerto para embarcar/desembarcar pasajeros y añadimos el trayecto de vuelta, se volvería a estar en LIRF sobre las 18:00 del viernes. Huyendo de nuevo de las horas pico, el próximo horario que mejor conviene a la situación es a las **22:25**.

El *timetable* a seguir suponiendo la implantación de esta nueva línea el 1 de enero de 2020:

Año	L	M	X	J	V	S	D
2020		16:05		16:05	22:25		16:05
2021 <sup>73</sup>	16:05						
		16:05		16:05	16:05		16:05
2022	16:05 (posibilidad de incrementar la frecuencia)						
	Suspensión de la línea aérea						

Tabla 83. Planificación semanal de vuelos para LIRF-SKBO.

<sup>73</sup> La fila superior indica el horario comercial de 2021 en el supuesto de que la línea aérea presente una buena rentabilidad. La fila inferior el caso contrario. Para 2022, significa lo mismo.

## 2.6.2 Horario semanal SKBO-LIRF

Evitando las últimas horas de las horas finales del día y dejando un margen lo suficientemente amplio para posibles imprevistos, el vuelo de vuelta durante el primer año despegará de SKBO a las **23:00**. Al igual que para la ida, el vuelo del jueves presenta un problema. Por la hora de despegue del vuelo del viernes de LIRF, es imposible realizar la operación de vuelta nada más llegar. Evitando las horas pico y buscando un horario con poca actividad, las 18:35 es la hora escogida para este movimiento.

En cuanto al segundo año, la elección ha de modificarse. Como se ha comentado, son necesarias 2 aeronaves e interesa que el *slot* que el avión ocupa mientras está en tierra pueda ser el mismo que utiliza el otro. Por lo tanto, lo ideal sería un vuelo que parta poco antes de la llegada del vuelo de ida a su destino. Para poder disponer más o menos del mismo tiempo para embarcar y desembarcar pasajeros, el avión debería salir con una antelación aproximada a las 2 horas respecto a la llegada del de ida: esto implica que el horario debe situarse sobre las 20:00. Buscando escapar de las horas pico, el horario que mejor se adapta es a las **19:10**. Despegando a esa hora de SKBO y teniendo en cuenta la duración media del vuelo y la diferencia horaria entre ambos países, se aterrizaría en LIRF a las 14:00:

Año	L	M	X	J	V	S	D
2020		23:00		23:00		18:35	23:00
2021	19:10						
		23:00		23:00		18:35	23:00
2022	19:10 (posibilidad de incrementar la frecuencia)						
	Suspensión de la línea aérea						

Tabla 84. Planificación semanal de vuelos para SKBO-LIRF.

### 2.6.3 Disposición de aeronaves

Como se ha venido hablando a lo largo de este apartado, el primer año de implantación sería necesaria 1 aeronave mientras que, en años posteriores (y con rentabilidad favorable), se debería añadir otro vehículo a la flota. En el caso favorable, se muestra la rotación de aparatos para los 2 primeros años de la línea aérea nueva:

2020: avión 1							
Ruta	L	M	X	J	V	S	D
LIRF – SKBO		16:05		16:05	22:25		16:05
SKBO - LIRF		23:00		23:00		18:35	23:00

Tabla 85. Disposición de la aeronave para 2020.

2021: avión 1							
Ruta	L	M	X	J	V	S	D
LIRF – SKBO		16:05		16:05		16:05	
SKBO - LIRF	19:10		19:10		19:10		19:10

Tabla 86. Disposición de la aeronave 1 para 2021.

2021: avión 2							
Ruta	L	M	X	J	V	S	D
LIRF – SKBO	16:05		16:05		16:05		16:05
SKBO - LIRF		19:10		19:10		19:10	

Tabla 87. Disposición de la aeronave 2 para 2021.

Respecto a las últimas 2 tablas, es necesario puntualizar que tanto el avión 1 como el avión 2 deben pasar por los mismos horarios: una semana el avión seguirá el *planning* de la *tabla 86*, mientras que a la siguiente seguirá el de la *tabla 87*.

Finalmente, destacar el hecho de que el avión pasa el mínimo tiempo posible parado en LIRF, mientras que en SKBO pasa casi 24 horas parado. Esto se debe a que el precio de estacionamiento, comentado en el apartado 2.7, es mucho mayor en LIRF que en SKBO y, de esta manera, se recortan costes.

## 2.7 Cálculo de costes operativos

Con las características de la ruta disponibles, la aeronave a utilizar y la planificación horaria realizada, pueden calcularse los costes asociados a la implantación de la nueva línea aérea. Previo a la realización de los costes, se exponen cuáles son estos y a que se corresponden cada uno de ellos.

Una vez presentados los costes relacionados con los aeropuertos, se explican los asociados a las aerolíneas y aeronaves. Estos costes se separan en directos e indirectos. Están relacionados con las características de las aeronaves y su operación, afectando a su diseño y la producción.

Con todo esto, los costes se han clasificado de la siguiente manera [146]:

1. **Costes directos.** Asociados con la producción de transporte de los que tienen relación con el esfuerzo de venta y la gestión de esta producción.
  - ✘ *Leasing*
  - ✘ Combustible
  - ✘ Mantenimiento
  - ✘ Tripulación
  - ✘ Costes aeronáuticos
  - ✘ Servicios a los pasajeros
  - ✘ *Handling* de la aeronave
  - ✘ Seguros, intereses y amortización
  
2. **Costes indirectos.** Asociados con las operaciones en tierra y la administración del resto de la aerolínea. No se producen como efecto directo de la operación o mantenimiento de la aeronave.
  - ✘ Costes generales y administrativos
  - ✘ Costes financieros
  - ✘ *Marketing* y ventas

Además, los costes pueden clasificarse en:

- ✘ **Fijos.** Todos los costes en que incurre la aerolínea para realizar su operación y que no cambian por el tiempo de vuelo y/o el número de operaciones que se realicen durante el período reportado.
- ✘ **Variables.** Todos los costes en que incurre la aerolínea para realizar su operación y que cambian por el tiempo de vuelo y/o el número de operaciones que se realicen durante el período reportado.

## 2.7.1 Costes directos

Se calculan para 1 sola aeronave.

### 2.7.1.1 Leasing

Debido al desconocimiento del futuro de la línea aérea se ha creído conveniente ejecutar la opción de un *leasing* antes que la adquisición de un nuevo vehículo [147]. Además, la evolución de esta forma de operar aeronaves ha evolucionado favorablemente a lo largo de los últimos 45 años [148]:

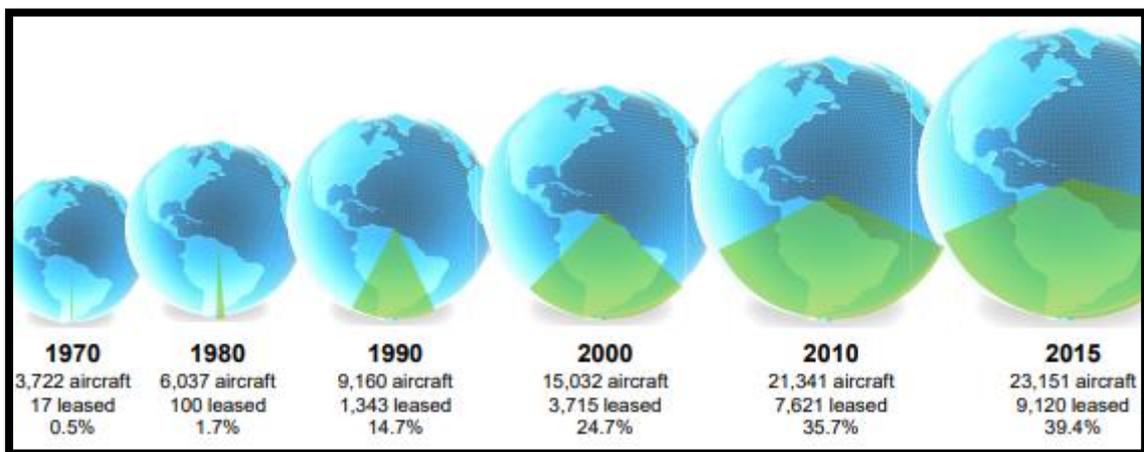


Figura 107. Incremento del leasing entre 1970 y 2015.

Consiste en la concesión del uso de un bien determinado, en este caso la aeronave, por un plazo de cumplimiento forzoso, pagando un canon de arrendamiento y otros costes establecidos por el arrendador. Al finalizar el plazo propuesto, el arrendatario puede ejecutar una opción de compra de ese bien, devolverlo o prorrogar la duración del mismo.

Existen 4 tipos de *leasing*:

1. Financiero. Se da cuando el arrendatario pretende utilizar la aeronave durante la mayor parte de su vida, incurriendo esto en el pago total del precio del aparato. Algunas de sus características son:
  - ✘ Tiene una duración de entre 12 y 20 años.
  - ✘ En el caso de una cancelación debe abonarse una multa considerable.
  - ✘ El arrendatario puede ejercer una opción de compra sobre la aeronave.
  - ✘ El arrendador simplemente es un intermediario: adquiere un avión de la industria y lo explota comercialmente a base de alquilarlo.

2. *Wet lease* o charter. Se da cuando el arrendatario pretende disponer de la aeronave sin ser el operador de la misma. Esto significa que el operador del avión sigue siendo el arrendador. Algunas de sus características son:
  - ✘ Período corto de *leasing*: puede comprender de 3 a 12 meses, e incluso, se dan casos de utilización para vuelos puntuales.
  - ✘ En el *leasing* viene incluido la aeronave, su mantenimiento, la tripulación y el seguro.
  - ✘ El arrendador en estos casos suele ser una compañía aérea.
  
3. *ACMI lease*. Es muy similar al *wet lease*, variando en que en este caso el arrendatario es el operador de la aeronave.
  
4. Operativo. Es la opción que ha crecido más en los últimos años. En este caso, los arrendadores son intermediarios entre las compañías de alquiler, instituciones financieras, fabricantes y otras compañías aéreas. Algunas de sus características son:
  - ✘ Inclusión de *marketing*.
  - ✘ Periodos con distinta relación de pagos, pagando al final de cada uno de ellos.
  - ✘ El alquiler puede finalizar al final de cada período. El alquiler completo suele durar entre 1 y 7 años.
  - ✘ Una cancelación del servicio no incurre en una penalización.
  - ✘ El mantenimiento recae en ambas partes.
  - ✘ La aerolínea dispone de la aeronave sin pagar el precio completo, mientras que el arrendador obtiene beneficios a partir de los 15 años.

En este caso se decide que lo más apropiado es:

1. Renunciar a un *leasing* financiero. Son de larga duración y al desconocer el futuro de la nueva ruta, se cree la peor opción a contratar
2. Un *wet lease* implica que las operaciones a llevar a cabo no son controladas por la aerolínea, si no por otra. Habiendo planificado una operación por cuenta propia, tampoco se ajusta al propósito buscado
3. Con el *ACMI lease* ocurre lo mismo que con el *wet*
4. Por lo tanto, se cree que la opción que más se ajusta al buscado es un **leasing operativo**. Esta elección se basa en la duración de este tipo de *leasing* y la ausencia de la penalización en caso de cancelación.

Para calcular los costes del *leasing* se proponen 3 variantes:

1. La primera es a partir de [148], donde se divide el coste del *leasing* en 3 secciones:
  - ✘ *Leasing*. Sobre el 0.8 % y el 1 % del valor de la aeronave por mes.
  - ✘ Reservas de mantenimiento. Esto se paga al arrendador y es el dinero disponible para el mantenimiento programado. Por lo tanto, se calcula en 2.7.1.3.
  - ✘ Depósito de seguridad. Normalmente es igual a 3 meses de pago. Se devuelve a la aerolínea al finalizar el *leasing*.

Con esto, se determina que el coste del *leasing* mensual del avión escogido es<sup>74</sup>:

$$\text{Leasing máximo} = 0,01 \cdot \text{Precio aeronave} = 2,925 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Leasing mínimo} = 0,008 \cdot \text{Precio aeronave} = 2,34 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

Para tomar un coste medio:

$$\text{Leasing medio} = 0,009 \cdot \text{Precio aeronave} = 2,63 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

2. La segunda se obtiene del dato de que los arrendadores empiezan a obtener beneficios a partir de los 15 años. Esto significa que:

✂ Precio de la aeronave: 292,5 millones de \$

✂ Meses: 180

$$\text{Leasing} = \frac{\text{Precio aeronave}}{180} = 1,625 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

3. La tercera opción se basa en acudir a [150]. Ahí, se proponen una lista de precios de las aeronaves totales y de *leasing* para febrero de 2017. Comparándolos con los actuales:

$$\left( \frac{\text{Precio}}{\text{Leasing}} \right)_{2017} = \left( \frac{\text{Precio}}{\text{Leasing}} \right)_{2019}$$

$$\text{Leasing} = \frac{\text{Precio 2019} \cdot \text{Leasing 2017}}{\text{Precio 2017}} = 1,99 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

Si tomamos la media de estos 3 valores, el coste estimado del *leasing* mensual para cada aeronave es:

$$\text{Leasing} = 1,985 \text{ mill} \frac{\$}{\text{mes}}$$

Adicionalmente, deben pagarse los 3 meses de pago en forma de depósito de seguridad:

$$\text{Depósito de seguridad} = 3 \cdot \text{Leasing} = 5,955 \text{ mill} \$$$

Como este coste se devuelve al finalizar el *leasing*, no se contabiliza para los cálculos.

---

<sup>74</sup> El precio se ha actualizado al mercado del 3 de abril de 2019 [149].

### 2.7.1.2 Combustible

Se calcula el coste para un trayecto.

Para poder realizar el cálculo de costes es necesario hablar de pesos. Para ello, se acuden a las gráficas proporcionadas por Boeing [26]. De ellas, se acude en primer lugar a la gráfica *Payload vs Range*. Tomamos el valor máximo de los valores del vuelo de ida y vuelta: este se corresponde con el de la ida, 5478,8 NM viajadas.

Tomando el valor máximo del factor de ocupación (para poner al límite las especificaciones del trayecto) se puede estimar:

- ✈ 294 pasajeros
- ✈ Cada pasajero pesa de media unos 75 kg
- ✈ Cada equipaje pesa de media unos 20 kg
- ✈ El **PL** total es de **27,93** toneladas
- ✈ El **ZF** máximo para la línea aérea es **156,78** toneladas
- ✈ Se toma directamente el **OEW** de los datos que vale **128,85** toneladas
- ✈ El **BRGW** máximo que se debería utilizar es de unas **222** toneladas

Definiendo el FW como el BRGW menos el ZFW se obtiene:

- ✈ El **FW** necesario para completar el trayecto es de **65,32** toneladas.

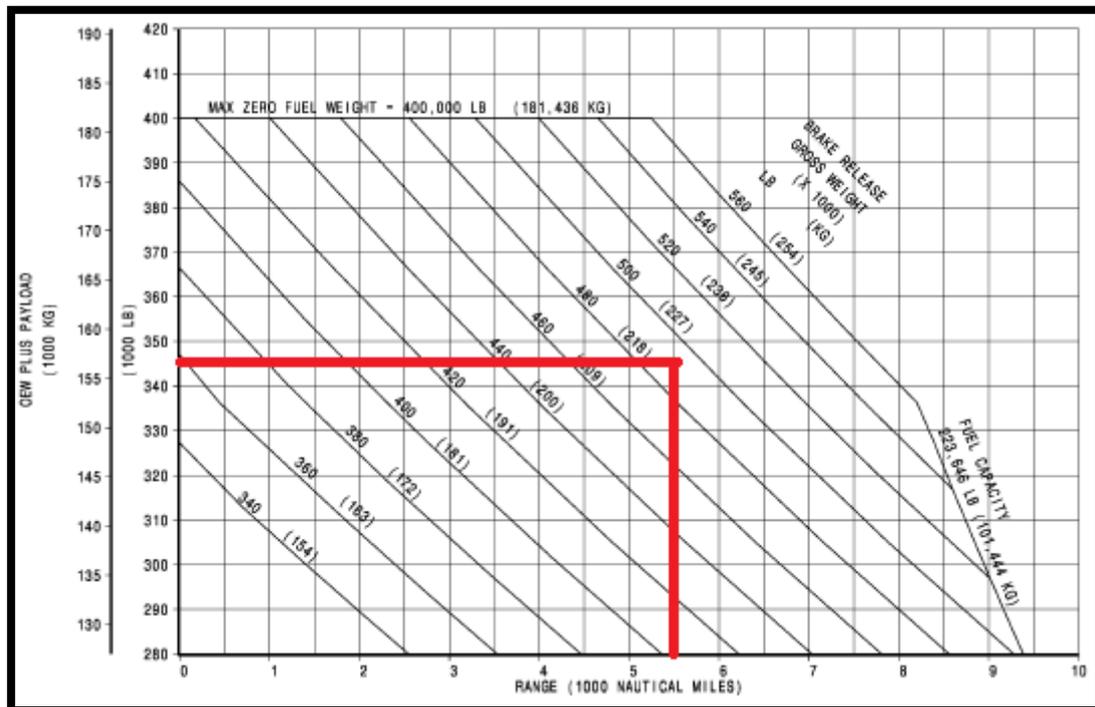


Figura 108. Gráfica de payload vs range específicos para el trayecto con un factor de ocupación 1.

Si la densidad del combustible se toma como 0,804 kg/L, la capacidad máxima a cargar de combustible es de **81244** litros.

Existe un amplio margen, pues la capacidad total de fuel del avión es de 126372 litros. Además, tomando datos vistos sobre el Boeing 787-9 en sus rutas transatlánticas, presenta un consumo de 2,27 L/km-PAX. Tomando un factor de ocupación de 1 y aplicándolo sobre el alcance de la ruta, se obtiene que serían necesarios **58453 L** de combustible para lograr la operación.

Utilizando [83], a precio de 29 de marzo de 2019, tomando la media de los datos de Europa y Colombia:

- ✂ Europa: 193,23 cts/gal
- ✂ América Latina: 198,79 cts/gal
- ✂ Valor medio: 196,01 cts/gal

Si 1 galón estadounidense equivale a 3,78541 L, esto se queda en 51,78 cts/L. Se toma un precio del Jet A1 de **0,5178 \$/L**. Por lo tanto, el precio máximo de combustible en el que un avión incurrirá en vuelo es de **30267 \$**.

Este coste de combustible, al haber sido calculado en forma de BRGW y ZFW, incluye los diferentes tipos de combustible estipulados por CAT.OP.MPA.150:

- ✂ Taxi
- ✂ Vuelo
- ✂ Contingencia
- ✂ Alternativo
- ✂ Reserva final
- ✂ Adicional

El fuel de vuelo incluye el necesario para:

- ✂ Carrera de despegue
- ✂ Despegue
- ✂ Ascenso
- ✂ Crucero
- ✂ Descenso
- ✂ Aproximación
- ✂ Aterrizaje

Para comprobar que todos los datos utilizados se corresponden a las características de los aeropuertos en uso, es necesario conocer los requisitos para la pista de despegue y aterrizaje. Para cada uso debe evaluarse LIRF (verde) y SKBO (rojo). Estas figuras se obtienen de [26] y las utilizadas se corresponden con la más restrictiva de las estudiadas. Las gráficas estudiadas son con el pavimento seco, que es el dato que Boeing proporciona.

Hay 2 modelos de Boeing: el motor típico o el *hi-thrust*. Se escoge la primera configuración. En cada uno de ellos, se estudian 4 temperaturas: la *standard* (15° C), 30 ° C, 40° C y 49 °C respectivamente. Recordando que LIRF está a nivel del mar y SKBO a 8361 ft, y buscando información acerca de sus temperaturas medias<sup>75</sup>:

---

<sup>75</sup> Gráficas obtenidas gracias a los promedios de datos meteorológicos de Google.

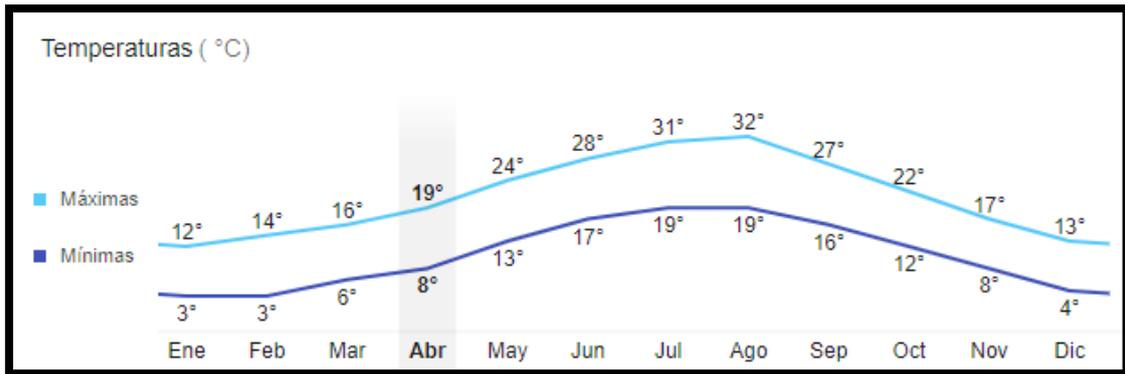


Figura 109. Promedios de datos meteorológicos en Roma.

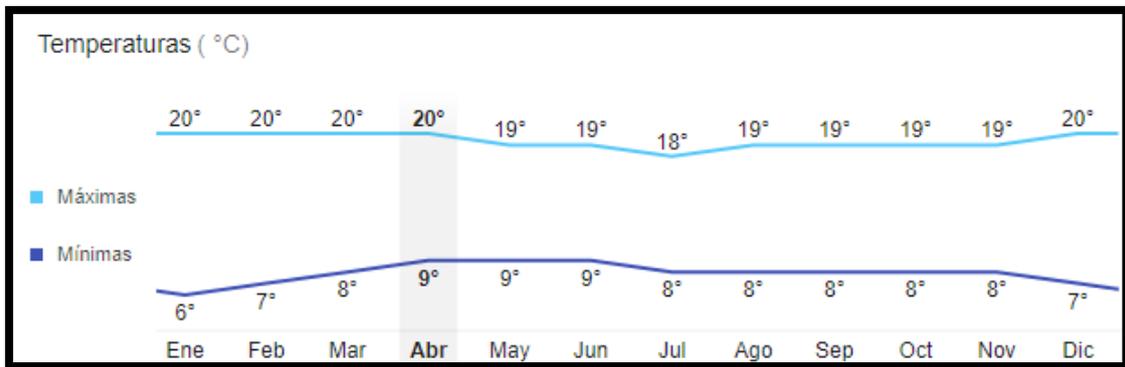


Figura 110. Promedios de datos meteorológicos en Bogotá.

Se toma el valor más restrictivo para LIRF en las gráficas de 15° C y 30° C. Para Bogotá, basta con el primero de ellos.

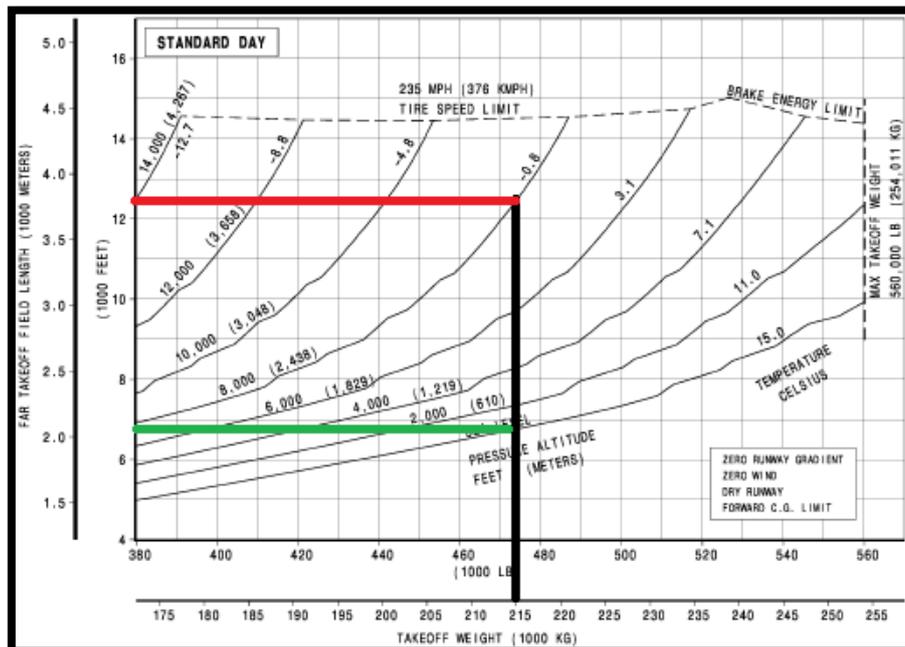


Figura 111. Longitud de la pista de despegue necesaria para el trayecto propuesto.

Como estos valores se toman para el caso más restrictivo (volar con BRGW máximo), entran dentro de las especificaciones (3900 metros las pistas de LIRF, 3800 las de SKBO).

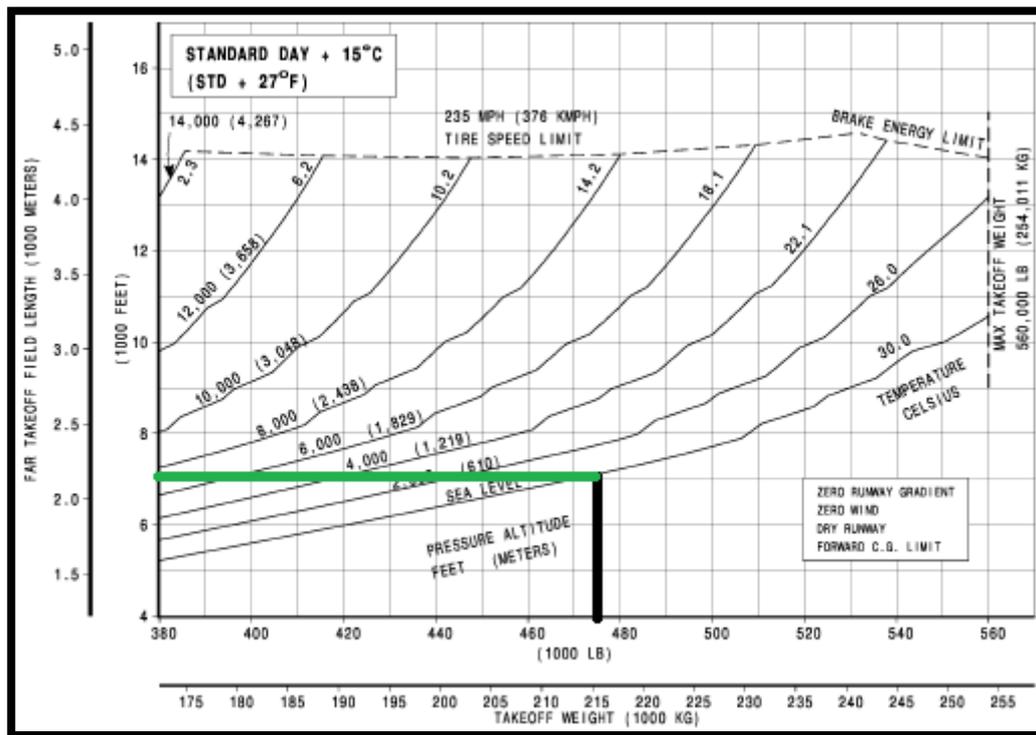


Figura 112. Longitud de la pista de despegue necesaria para el trayecto propuesto.

LIRF vuelve a reunir las condiciones necesarias.

Para la distancia de aterrizaje, existen 2 configuraciones: *flaps* 25 o 30. De nuevo, se opta por la más restrictiva, que en este caso es la de *flaps* 30. Para el LW con el que entrar a la gráfica, se recuerda que el **MLW** es de **192,78** toneladas. De introducirse esta información en la gráfica correspondiente, se observa que se puede realizar la operación con garantías.

Con este último se calcula para 1 aeronave:

- ✈ **2020.** El avión realiza 416 vuelos anuales.
- ✈ **2021.** Un avión realiza 365 vuelos anuales.

Año	Coste anual (\$)
2020 / 2021 <sup>76</sup>	<b>12740832</b>
2021	<b>11178855</b>

Tabla 88. Costes de combustible para 1 avión.

<sup>76</sup> Si no presenta rentabilidad económica.

### 2.7.1.3 Mantenimiento

En tierra y de vuelo

Dentro de este coste se incluye el mantenimiento de los aviones, motores, componentes y repuestos. También se incluye las reparaciones y el mantenimiento del equipo de vuelo al ser realizados, en este caso en parte, con la empresa de *leasing*. Se puede clasificar en:

- ✘ Directo: costes directos de mano de obra y materiales. Servicios externos y reparación.
- ✘ Indirecto: estos costes son los de dirección, administrativos o generales relacionados con mantenimiento y se detallan en futuros apartados.

Normalmente el mantenimiento de una aeronave puede dividirse en:

- ✘ **6-year event**: es la primera gran revisión, ocurrida a los 6 años de vida de la aeronave
- ✘ **12-year event**: es la segunda gran revisión, a los 12 años
- ✘ **APU overhaul**: son las reparaciones del APU
- ✘ **Landing gear overhaul**: son las reparaciones del tren de aterrizaje
- ✘ **Engine performance restoration**: es la restauración del rendimiento del motor
- ✘ **Life-limited parts**: son las piezas del motor con ciclo de vida, tras el cual deben ser reemplazadas

Es una difícil tarea encontrar los gastos asociados a cada una de estas operaciones por separado, pero en [34] se obtienen los costes de mantenimiento para diferentes Boeing 787-9 de compañías norteamericanas. De ellos, se toma el mayor (para volver a ponerse en la situación más crítica). Esto equivale a 2187 \$/BH.

Por lo tanto, por **cada vuelo** efectuado, el coste en **mantenimiento** asciende a **25981,56 \$**:

- ✘ **2020: 10838022,17 millones \$**
- ✘ **2021: 9483269,4 millones \$**

### 2.7.1.4 Tripulación

Aquí debe incluirse el salario, las dietas, las prestaciones sociales y los costes de entrenamiento e instrucción de la tripulación de cabina y la auxiliar. Se estableció para cada aeronave la necesidad de incorporar 2 tripulantes de cabina y 6 TCP.

En este punto, es necesario tener en cuenta la gestión de la fatiga. Como se introdujo en la normativa, existe un máximo de horas estipulado a cumplir:

- ✘ **Horas mensuales: menos de 90**
- ✘ Jornada diurna: menos de 8
- ✘ Jornada nocturna: menos de 7
- ✘ Jornada mixta: menos de 7,5
- ✘ **7 días consecutivos: menos de 30**
- ✘ **Horas anuales: menos de 1000**

Si tenemos en cuenta la longitud de nuestro vuelo, hay 3 condiciones que no podrían cumplirse: de ahí el hecho de ser necesarios 2 pilotos. Además, recordando datos:

- ✂ Con la primera frecuencia implantada, cada una de las aeronaves suma **2482,92 BH** anuales (A)
- ✂ Con la segunda frecuencia implantada suma **4336,2 BH** anuales (B)

Aplicando las 3 restricciones remarcadas en negrita en la lista anterior, para el **caso A**:

- ✂ Para no sobrepasar las 1000 horas anuales, es necesario tener como mínimo 2 empleados para cada puesto.
- ✂ Para no sobrepasar las 90 horas mensuales y teniendo en cuenta la duración del vuelo, cada empleado debe realizar el trayecto un **máximo de 8 veces al mes**. Se ha de ampliar la tripulación a **8 pilotos y 24 TCP**. Esto significa que serán necesarios 6 pilotos y 18 TCP. Por disposición de horarios y cumplir con la normativa, se necesita una tripulación añadida. Por lo tanto, se necesitan **4 tripulaciones**.
- ✂ En este caso no afecta la restricción de 7 días consecutivos.

Para el **caso B**, con las restricciones aplicadas, se obtiene el mismo número de tripulaciones.

Siendo verde el vuelo hacia Bogotá y rojo el vuelo hacia Roma, el ciclo completo de rotación de tripulaciones para cumplir con la normativa sería:

Semana 1	L	M	X	J	V	S	D
1		Verde		Rojo			Verde
2				Verde		Rojo	
3		Rojo			Verde		Rojo
4							
<b>Semana 2</b>							
1				Verde		Rojo	
2		Rojo			Verde		Rojo
3							
4		Verde		Rojo			Verde
<b>Semana 3</b>							
1		Rojo			Verde		Rojo
2							
3		Verde		Rojo			Verde
4				Verde		Rojo	
<b>Semana 4</b>							
1							
2		Verde		Rojo			Verde
3				Verde		Rojo	
4		Rojo			Verde		Rojo

Tabla 89. Propuesta de rotación de la tripulación para 2020.

Semana 1	L	M	X	J	V	S	D
1	Green					Red	
2		Red			Green		
3			Green				
4				Red			Green
<b>Semana 2</b>	Black						
1		Green					Red
2			Red			Green	
3	Red			Green			
4					Red		
<b>Semana 3</b>	Black						
1			Green				
2				Red			Green
3		Red			Green		
4	Green					Red	
<b>Semana 4</b>	Black						
1	Red			Green			
2					Red		
3			Red			Green	
4		Green					Red
<b>Semana 5</b>	Black						
1		Red			Green		
2	Green					Red	
3				Red			Green
4			Green				
<b>Semana 6</b>	Black						
1			Red			Green	
2		Green					Red
3					Red		
4	Red			Green			
<b>Semana 7</b>	Black						
1				Red			Green
2			Green				
3	Green					Red	
4		Red			Green		
<b>Semana 8</b>	Black						
1					Red		
2	Red			Green			
3		Green					Red
4			Red			Green	

Tabla 90. Propuesta de rotación de la tripulación para 2021.

Los costes de tener a 4 tripulaciones son [45]<sup>77</sup>:

Puesto	Empleados	Salario mensual (\$)	Total mensual (\$)
Piloto	4	7812	31248
Copiloto	4	5208	20832
TCP	24	3275	78600
<b>Total mensual</b>			<b>130680</b>
<b>Total anual</b>			<b>1568160</b>

Tabla 91. Costes mensuales en tripulación.

### 2.7.1.5 Costes aeronáuticos

Acudiendo al *Manual sobre los aspectos económicos de los aeropuertos* [151], se puede extraer información que es bastante útil para reconocer los gastos procedentes de las tasas aeroportuarias, los servicios ofrecidos a los pasajeros y los servicios contratados por la aerolínea. En esta fuente, dividen los derechos a pagar en un aeropuerto de la siguiente manera<sup>78</sup>:

- ✘ Derechos de aterrizaje: en concepto de utilización de las pistas, calles de rodaje y plataformas. Se basan en el peso de la aeronave, concretamente la masa máxima certificada de despegue.
- ✘ Derechos por servicios a los pasajeros: en concepto de servicios prestados a los pasajeros, añadiendo el uso de la terminal y otras instalaciones como las salas de embarque.
- ✘ Derechos de carga: en concepto del uso de instalaciones y zonas del aeropuerto destinadas a la carga de aeronaves.
- ✘ Derechos de estacionamiento y hangar: en concepto del estacionamiento de las aeronaves y de guarecerlas en los hangares del aeropuerto, incluyendo el arrendamiento de estos y los derechos de remolque.
- ✘ Derechos en concepto de seguridad de la aviación: por la prestación de servicios de seguridad para protección de los pasajeros y otras personas en el aeropuerto, las aeronaves y otros bienes.
- ✘ Derechos relacionados con el ruido: aquellos recaudados para financiar las medidas de atenuación y prevención del mismo.

Es necesario saber el tiempo que cada aeronave va a permanecer en cada uno de los aeropuertos. Para ello, se calculan las horas que una aeronave pasa en cada uno de los aeropuertos durante 1 ciclo completo. Con esto, se calcula una media por vuelo utilizada posteriormente para los cálculos. Para redondear, se toma una duración de LIRF – SKBO de 11 horas y 30 minutos, mientras que para SKBO-LIRF 11 horas y 40 minutos.

<sup>77</sup> Para el piloto se toma el valor medio encontrado en esta web. El del copiloto es 2/3 del último valor. El de TCP también se obtiene como media de la citada fuente.

<sup>78</sup> Los ingresos generados por un aeropuerto incluyen aspectos directamente relacionados con las aerolíneas y, por lo tanto, pueden mostrar los gastos de esta para operar en él.

Durante 2020, se permanece durante 1 ciclo (1 semana, 8 vuelos, 1 aeronave):

- ✈ 52 horas y 25 minutos en LIRF. De estas, el tiempo necesario para utilizar *fingers* y demás instalaciones se estima en 8 horas.
- ✈ 23 horas y 10 minutos en SKBO. El tiempo para utilizar *fingers* y demás instalaciones se estima en 8 horas.

Durante 2021, se permanece durante 1 ciclo (2 semanas, 14 vuelos cada aeronave):

- ✈ 15 horas y 45 minutos en LIRF. En estas 2 semanas, se estima el tiempo necesario para los servicios aeroportuarios en 14 horas.
- ✈ 158 horas y 5 minutos en SKBO.

### 2.7.1.5.1 Costes aeronáuticos en LIRF

A partir de [140]:

#### 1. Tasa de aterrizaje y despegue

	<b>PEAK HOURS</b> from 11:30 to 15:00 and from 19:00 to 21:00	<b>OFF PEAK HOURS</b> from 15:01 to 18:59 and from 21:01 to 11:29
	<i>All Flights</i>	<i>All Flights</i>
♦ Fixed Charge per movement	€ 55,72	€ 41,19
♦ The first 25 tons or fraction thereof (€ per ton)	€ 4,81	€ 3,55
♦ 26-75 tons or fraction thereof (€ per ton)	€ 5,13	€ 3,79
♦ 76-150 tons or fraction thereof (€ per ton)	€ 3,42	€ 2,53
♦ 151-250 tons or fraction thereof (€ per ton)	€ 2,61	€ 1,93
♦ Each ton or fraction thereof, over 250 tons (€ per ton)	€ 1,63	€ 1,20

Figura 113. Tarifas de LIRF para aterrizajes y despegues.

Tomando el MTOW de 254 toneladas:

- ✈ **Operación en hora pico: 956,49 €**
- ✈ **Operación fuera de horas pico: 706,99 €**

#### 2. Tasa de parking

Las **primeras 2 horas es gratuita**. A partir de la segunda, se pagan **15 céntimos por cada hora y tonelada** aparcada.

#### 3. Cargas por pasajeros

Es necesario descomponer los pasajeros de manera esquemática para calcular este coste. Debe clasificarse a los pasajeros en adultos, niños (de 2 a 12 años) y bebés. Además, los 2 primeros deben descomponerse en pasajeros que embarcan y desembarca o que vienen de una transferencia. Para ello, de los 294 pasajeros:

- ✈ Se propone un 60 % de pasajeros de embarque (176) y un 40 % de transferencia (118)

- ✈ El 10 % de los pasajeros serán niños (29)
- ✈ 4 de los pasajeros serán bebés
- ✈ El resto de pasajeros serán adultos.

Por lo tanto:

- ✈ 157 adultos que embarcan o desembarcan
- ✈ 17 niños que embarcan o desembarcan
- ✈ 104 adultos de transferencia
- ✈ 12 niños de transferencia
- ✈ 4 bebés

	<i>Domestic &amp; EU Flights</i>	<i>Extra EU Flights</i>
♦ Adults originating in Rome	€ 17,10	€ 27,58
♦ Children originating in Rome (ages 2-12)	€ 8,55	€ 13,79
♦ Transfer Pax Adults <i>Transfer pax from domestic to domestic exempted</i>	€ 5,98	€ 9,65
♦ Transfer Pax Children (ages 2-12) <i>Transfer pax from domestic to domestic exempted</i>	€ 2,99	€ 4,83
♦ Infants	Free of charge	Free of charge
♦ Additional Tax <i>Transfer pax from domestic flights exempted</i>		€ 6,50
♦ Additional Tax for "Roma Capitale" <i>Transfer pax from domestic to domestic exempted</i>		€ 1,00

Figura 114. Cargos a los pasajeros en LIRF.

Tomando este estereotipo, **cada operación** tiene un coste de **7831,05 €**.

#### 4. Cargos por seguridad

Tienen un coste de **3,2 € por pasajero**

#### 5. Cargos por equipaje

Tienen un coste de **2,46 € por pasajero**

#### 6. Cargos por embarcar/desembarcar

Tienen un coste de 0,0129 €/kg. Tomando 20 kg de equipaje para cada uno de los pasajeros, esto equivale a **75,85 €/operación**.

## 7. Tasas para el uso de pasarelas telescópicas

		<b>PEAK HOURS</b> from 7:00 to 11:00 and from 18:00 to 22:00	<b>OFF PEAK HOURS</b> from 11:01 to 17:59 and from 22:01 to 06:59
<b>A. AIRCRAFT SERVICEABLE WITH ONE LOADING BRIDGE - 1 finger - (B737, MD80, B767, ...)</b>			
<b>FIRST PERIOD</b>	For the FIRST 60 minutes or part thereof of parking	<b>€ 86,10</b>	<b>€ 57,39</b>
- 1st successive 15' period or part thereof		€ 34,85	€ 24,60
- 2nd successive 15' period or part thereof		€ 38,95	€ 26,65
- 3rd successive 15' period or part thereof		€ 41,00	€ 28,70
- 4th successive 15' period or part thereof		€ 43,05	€ 30,75
- 5th successive 15' period or part thereof		€ 45,10	€ 32,80
- 6th successive 15' period or part thereof		€ 47,15	€ 32,80
- Each other successive 15' period or part thereof		€ 49,19	€ 34,85

Figura 115. Cargos por el uso de pasarelas telescópicas en LIRF.

Si se toma que para cada operación se necesita media hora del uso de este elemento:

- ✈ **Operación en horas pico: 73,8 €**
- ✈ **Operación fuera de horas pico: 51,25 €**

## 8. Tasas para deshielo

Para una aeronave de más de 80 toneladas y suponiendo 1 hora de uso para cada operación su coste es de **412 €**.

## 9. Cargos por ruido

Clasificando el Boeing 787-9 como capítulo 4 de esta normativa según la ICAO, cada tonelada tiene un coste de 0,4 €. Por lo tanto, para cada operación el costo asciende a **101,6 €**.

### 2.7.1.5.2 Costes aeronáuticos en SKBO

A partir de [152] se toman los datos disponibles. Los no existentes se calculan en comparación con los mismos en LIRF.

#### 1. Tasa de aterrizaje y despegue

No se proporciona el dato. A partir de los datos reales obtenidos en 2,3 y 7, se estima un 50 % más barato que los costes en LIRF. Por lo tanto y tomando la media de valores al no existir diferencia entre horas pico o no, se estima en **415,5 € por operación**.

#### 2. Tasa de parking

Tienen un coste de **21,95 € por hora**.

### **3. Cargas por pasajeros**

Tiene un coste de 4,53 € por pasajero, siendo el máximo a pagar de **1330,72 € por operación.**

### **4. Cargos por seguridad**

No se proporciona el dato. Se toma el dato de **1,6 € por pasajero.**

### **5. Cargos por equipaje**

No se proporciona el dato. Se toma el dato de **1,23 € por pasajero.**

### **6. Cargos por embarcar/desembarcar**

No se proporciona el dato. Se toma el dato de **37,93 € por operación.**

### **7. Tasas para el uso de pasarelas telescópicas**

Tiene un coste de **47,14 € por operación.**

### **8. Tasas para deshielo**

No se proporciona el dato. Se toma el dato de **206 € por operación.**

### **9. Cargos por ruido**

No se proporciona el dato. Se toma el dato de **51 € por operación.**

### 2.7.1.5.3 Costes aeronáuticos totales anuales

Para LIRF en 1 ciclo:

- ✈ **2020.** Para las tasas de aterrizaje y despegue se realizan 7 operaciones fuera de horas pico y 1 en ellas. Para *fingers*, todas las operaciones se realizan fuera de horas pico.
- ✈ **2021.** Para las tasas de aterrizaje y despegue se realizan 7 operaciones fuera de horas pico y 7 en ellas. Para *fingers*, todas las operaciones se realizan fuera de horas pico.

Para SKBO en 1 ciclo:

- ✈ **2020.** 8 operaciones
- ✈ **2021.** 14 operaciones

Si en 2020 se realizan 8 vuelos a la semana (834 operaciones) y en 2021 365 vuelos (730 operaciones), anualmente:

	2020 (€)	2021 (€)
<b>Aterrizaje y despegue</b>	616341	606630
<b>Parking</b>	176480,1	1738,3
<b>Pasajeros</b>	6546716	5716630
<b>Seguridad</b>	786508,8	686784
<b>Equipaje</b>	604628,64	527965,2
<b>Embarque</b>	63410,6	55370,5
<b>Pasarelas telescópicas</b>	42845	37412,5
<b>Deshielo</b>	344432	300760
<b>Ruido</b>	85272	74460
<b>TOTAL</b>	<b>9266634,14</b>	<b>8007750,5</b>

Tabla 92. Tasas aeroportuarias anuales a pagar en LIRF.

	2020 (€)	2021 (€)
<b>Aterrizaje y despegue</b>	347358	303315
<b>Parking</b>	53030,16	90466,01
<b>Pasajeros</b>	1112481,92	971425,6
<b>Seguridad</b>	393254,4	343392
<b>Equipaje</b>	302314,32	263982,6
<b>Embarque</b>	31705,3	27685,25
<b>Pasarelas telescópicas</b>	39409,04	34412,2
<b>Deshielo</b>	172216	150380
<b>Ruido</b>	42636	37230
<b>TOTAL</b>	<b>2494405,14</b>	<b>2222288,66</b>

Tabla 93. Tasas aeroportuarias anuales a pagar en SKBO.

Si se cambia el factor de ocupación, las tasas a los pasajeros, de seguridad, equipaje y de embarque varían, variando las cantidades calculadas. Por cada **10 % de reducción** en el número de pasajeros, el **coste total desciende un 8,72 %**

### 2.7.1.6 Servicios a los pasajeros

Incluyen todos los consumibles a bordo por parte de los pasajeros: comidas, bebidas, revistas, entretenimiento.... Se estima en unos 1000 \$ por vuelo, lo que equivale a **416000 \$ anuales para 2020** y **365000 \$ anuales para 2021 por aeronave**.

### 2.7.1.7 Handling de la aeronave

Estos costes incluyen todos los servicios en tierra: chequeo y movilización de pasajeros, carga y correo, desde su reconocimiento por parte de las aerolíneas hasta el embarque y desde el desembarque a la terminación del contrato. Incluye los costos de seguridad. Al ser difíciles de encontrar citaciones de ellos, se han estimado y separado como sigue:

Servicio	Coste por operación (\$)
Llegada	100
Carga	200
Limpieza	40
Complementarios	100
Aguas	250
Remolque	300
Embarque	40
Check-in	30
<b>TOTAL</b>	<b>1060</b>

Tabla 94. Costes en handling anuales por operación.

Se tiene:

✂ 2020: 442171,43 \$

✂ 2021: 386900 \$

### 2.7.1.8 Seguros, depreciación y amortización

Estos costes son difíciles de estimar. Sin una referencia clara, se realizan estimaciones. Se propone que entre todos sean igual al 1 % del resto de costes totales, estimándose en unos **600000 \$ anuales**.

### 2.7.1.9 Costes directos totales

Si se añaden todos los costes para cada uno de los años y teniendo en cuenta el uso de 2 aeronaves a partir de 2021, proponiendo un *leasing* con un plazo de 2 años, con el coste total en dólares se tiene:

Tipo de coste	2020	2021
<i>Leasing</i>	23820000	47640000
Combustible	12740832	22357710
Mantenimiento <sup>79</sup>	5419011	9983270
Tripulación	1568160	1568160
Costes aeronáuticos <sup>80</sup>	13248222	23047255
Servicios a los pasajeros	417000	730000
<i>Handling</i>	442171	773800
Seguros, depreciación y amortización	600000	1200000
<b>Total</b>	<b>58255396</b>	<b>107293595</b>

Tabla 95. Costes directos totales.

### 2.7.2 Costes indirectos

Acerca de los costes indirectos también resulta difícil encontrar información al respecto así que se estiman como un 5 % del total de los costes directos recientemente calculados:

#### 2.7.2.1 Generales y administrativos

Estos gastos incluyen auditoría, contabilidad, alquiler de oficinas y almacenes, las nóminas de aquellos empleados que no forman parte de la tripulación, el material de oficina, RRFF, los gastos en agua y luz, así como los impuestos a las autoridades correspondientes. Estos costes se estiman en un 2 % de los costes directos.

#### 2.7.2.2 Marketing y ventas

Estos gastos incluyen las reservas, venta, comisiones y publicidad. Se estiman en un 2 % de los costes directos.

<sup>79</sup> Compartido con el arrendador: se propone pagar el 50 % de lo calculado.

<sup>80</sup> Para ser realistas se coge el dato de media que proporciona [153] de un factor de ocupación de 0,8.

### 2.7.2.3 Financieros

Aquí se incluyen los intereses y las tasas de impuesto sobre la renta. Se estima en un 1 % de los costes directos.

### 2.7.2.4 Costes indirectos totales

Estimando, esto se corresponde a:

<b>Tipo de coste</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Generales y administrativos	1165108	2145872
<i>Marketing</i> y ventas	1165108	2145872
Financieros	582554	1072936
<b>Total</b>	<b>2912770</b>	<b>5364680</b>

Tabla 96. Costes indirectos totales.

### 2.7.3 Costes totales

Añadiendo los costes directos y los indirectos:

<b>2020</b>	<b>2021</b>
61168166	112658275
<b>61,17</b>	<b>112,67</b>

Tabla 97. Costes totales anuales para la línea aérea (aproximados a millones de dólares).

## 2.8 Determinación de tarifas

Para determinar las tarifas y el modelo de aerolínea a implantar:

1. Se estudian los precios de algunas de las rutas transatlánticas existentes conectando Europa con SKBO. Se buscan los valores mínimos y máximos de precios encontrados para cada trayecto, con el fin de hacerse una idea del abanico de precios que se puede ofertar. Esta información está disponible en el anexo 7.
2. Conociendo los resultados de los apartados previos, se muestra la propuesta de tarifas propia.

A partir del estudio realizado en el anexo 7, se decide:

- ✈ 3 tipos de tarifas: 216 *economy*, 48 *premium economy* y 30 en primera clase.
- ✈ Existen 3 épocas tarifarias anuales: (1), (2) y (3) mostrados en el anexo 7.
- ✈ El primer 50 % de las plazas se venderá al mínimo precio.
- ✈ A partir de ese porcentaje, cada 10 % vendido el precio del boleto se incrementa en un 10 % sobre su valor actual.

El precio inicial de cada tarifa (en €) en función de la época es de:

	<b><i>Economy</i></b>	<b><i>Premium economy</i></b>	<b><i>Business</i></b>
<b>(1)</b>	749	849	1499
<b>(2)</b>	499	549	999
<b>(3)</b>	399	449	799

Tabla 98. Tarifas según meses.

Con estos datos se realiza el estudio de viabilidad económica y el balance anual de ingresos.

### 3. Resultados

Con el proyecto desarrollado, es hora de analizar los resultados. En los siguientes apartados, se lleva a cabo el estudio de viabilidad económica del proyecto, la proyección de ingresos y balances anuales, el impacto en el medioambiente que podría tener, así como las conclusiones extraídas y las posibles mejoras de cara a la continuidad del proyecto.

#### 3.1 Estudio de viabilidad económica

Con los valores propuestos en la *tabla 98*, se calcula la recaudación por vuelo (en €) en función de su factor de ocupación:

##### 1. Para los meses (1)

<b>Factor de ocupación</b>	<b><i>Economy</i></b>	<b><i>Premium economy</i></b>	<b><i>Business</i></b>	<b>Total</b>
<b>0,5</b>	80892	20376	22485	<b>123753</b>
<b>0,6</b>	98196	25046	27432	<b>150674</b>
<b>0,7</b>	118128	30181	32874	<b>181183</b>
<b>0,8</b>	140062	34701	38859	<b>213622</b>
<b>0,9</b>	163099	40916	45444	<b>249459</b>
<b>1</b>	189631	47751	52686	<b>290068</b>

Tabla 99. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (1).

##### 2. Para los meses (2)

<b>Factor de ocupación</b>	<b><i>Economy</i></b>	<b><i>Premium economy</i></b>	<b><i>Business</i></b>	<b>Total</b>
<b>0,5</b>	53892	13176	14985	<b>82053</b>
<b>0,6</b>	65421	16196	18282	<b>99899</b>
<b>0,7</b>	78709	19156	21909	<b>119774</b>
<b>0,8</b>	93317	22440	25899	<b>141656</b>
<b>0,9</b>	108668	26460	30288	<b>165416</b>
<b>1</b>	126356	30880	35115	<b>192351</b>

Tabla 100. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (2).

##### 3. Para los meses (3)

<b>Factor de ocupación</b>	<b><i>Economy</i></b>	<b><i>Premium economy</i></b>	<b><i>Business</i></b>	<b>Total</b>
<b>0,5</b>	43092	10776	11985	<b>65853</b>
<b>0,6</b>	52311	13246	14622	<b>80179</b>
<b>0,7</b>	62937	15961	17523	<b>96421</b>
<b>0,8</b>	74619	18353	20712	<b>113684</b>
<b>0,9</b>	86883	21638	24222	<b>132743</b>
<b>1</b>	101029	25253	28083	<b>154365</b>

Tabla 101. Ingresos por vuelo en función del factor de ocupación (3).

Anualmente:

- ✈ **2020.** Hay 173 vuelos en (1), 104 en (2) y 139 en (3).
- ✈ **2021.** Hay 304 vuelos en (1), 182 en (2) y 244 en (3).

Factor de ocupación	2020	2021
0,5	39096348	68622690
0,6	47600979	83550190
0,7	57203674	100405224
0,8	67490906	118461376
0,9	78810948	138330540
1	91643003	160853614

Tabla 102. Ingresos anuales (€) en función del factor de ocupación.

Pasando los valores a dólares<sup>81</sup>:

Factor de ocupación	2020	2021
0,5	44178873	77543640
0,6	53789106	94411715
0,7	64640152	113457903
0,8	76264724	133861355
0,9	89056371	156313510
1	103556593	181764584

Tabla 103. Ingresos anuales (\$) en función del factor de ocupación.

El balance anual, en millones de dólares, en función del factor de ocupación queda:

Factor de ocupación	2020	2021
0,5	-16,99	-36,11
0,6	-7,38	-18,25
0,7	+3,47	+0,81
0,8	+15,1	+21,19
0,9	+27,89	+34,66
1	+42,39	+69,11

Tabla 104. Balance de los 2 primeros años.

Viendo estos resultados, para que el proyecto se considere viable el primer año y, por lo tanto, pase a operarse con 2 aeronaves en 2021, el factor de ocupación debería ser mayor a 0,67. Para que siguiera siendo operable a partir de este año, el factor de ocupación debería ser mayor a 0,7. El factor de ocupación medio en rutas transatlánticas ronda el 0,8, con lo cual se obtendrían beneficios para este valor.

Hay que hacer hincapié en las butacas *premium*, pues de no venderse pueden significar hasta un 18 % de pérdidas respecto a los ingresos calculados. Sin tener en cuenta este tipo de butacas los balances quedarían:

<sup>81</sup> A 10 de abril de 2019: 1 € = 1,13 \$.

Factor de ocupación	2020	2021
0,5	-24,94	-29,07
0,6	-17,06	-35,24
0,7	-8,16	-19,62
0,8	+1,37	+2,89
0,9	+11,86	+15,52
1	+23,75	+61,4

Tabla 105. Balance de los 2 primeros años sin butacas premium.

Por lo tanto, para considerar el proyecto viable y teniendo en cuenta el valor medio para el factor de ocupación:

- ✘ La clave está en las butacas *premium*: con un factor 0,8 producen más de 12 millones de \$ anuales, importantes para el balance global de la empresa. Si las butacas *premium* no se vendieran, se tiene la opción de realizar de un *leasing* de un Boeing 787-9 el cual tenga 2 configuraciones de asientos.
- ✘ **Que anualmente se sobrepase el 70 % de ocupación.** Es muy importante mantener este factor de ocupación una vez se opera con 2 aeronaves, con lo cual de no alcanzarse el mismo con 2 aeronaves operando, lo más recomendable sería cerrar la ruta.
- ✘ **Si no se llega a este factor de ocupación en los 3 primeros años, se cancela la ruta.**

A continuación, se realiza una serie de balances de los 10 primeros años del proyecto, cada uno con diferentes suposiciones acerca del factor de ocupación.

Los balances mostrados suponen viabilidad del proyecto, es decir, que en el tercer año se ha alcanzado un factor de ocupación del 0,7. Se muestra el año, el *cash flow* acumulado a finales del mismo, el factor de ocupación supuesto y el número de aviones operativos. Se encuentran ordenados de menos beneficioso a más beneficioso.

Los de la primera página se corresponden a balances donde el factor de ocupación 0,7 no se logra hasta el tercer año. Los de la segunda, a aquellos donde ese factor de ocupación se obtiene antes.

El análisis de estos balances permite obtener una visión a largo plazo de la viabilidad económica del proyecto en función de su factor de ocupación.

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,5		0,7							
1			2						
-16,99	-33,98	-30,51	-29,7	-28,89	-28,08	-27,07	-26,46	-25,65	-24,84

Tabla 106. Cash flow anual (I).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,5		0,7				0,8			
1			2						
-16,99	-33,98	-30,51	-29,7	-28,89	-28,08	-6,89	+14,3	+35,49	+56,68

Tabla 107. Cash flow anual (II).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,5	0,6	0,7							
1			2						
-16,99	-24,37	-20,9	-20,09	-19,28	-18,47	-17,66	-16,85	-16,04	-15,23

Tabla 108. Cash flow anual (III).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,5	0,6	0,7				0,8			
1			2						
-16,99	-24,37	-20,9	-20,09	-19,28	-18,47	+2,72	+23,91	+45,1	+66,29

Tabla 109. Cash flow anual (IV).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,6		0,7							
1			2						
-7,38	-14,76	-11,29	-10,48	-9,67	-8,86	-8,05	-7,24	-6,43	-5,62

Tabla 110. Cash flow anual (V).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,6		0,7				0,8			
1			2						
-7,38	-14,76	-11,29	-10,48	-9,67	-8,86	+12,33	+33,52	+54,71	+75,9

Tabla 111. Cash flow anual (VI).

Las conclusiones que se pueden extraer acerca de estos balances son:

1. Es muy importante la llegada a factor de ocupación 0,8. En todas las tablas anteriores, de aparecer antes este valor, prácticamente en todos los casos el *cash flow* acumulado pasarían a ser positivos.
2. El factor de ocupación 0,7 permite tener un *cash flow* anual positivo, pero cuesta mucho de recuperar el acumulado. Cada punto en que se supera este valor es muy importante, pues permite ir recuperando lo perdido en un menor tiempo.
3. A grandes rasgos y atrasando la llegada a 0,8, se tarda unos 6 años en empezar a obtener beneficios con la línea aérea.
4. La viabilidad de la ruta a largo plazo depende del punto en el cual el factor de ocupación comienza a sobrepasar el 70 %.

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,7									
1	2								
+3,47	+4,28	+5,09	+5,9	+6,71	+7,52	+8,33	+9,14	+9,95	+10,76

Tabla 112. Cash flow anual (VII).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,7					0,8				
1	2								
+3,47	+4,28	+5,09	+5,9	+6,71	+27,9	+49,09	+70,28	+91,47	+112,66

Tabla 113. Cash flow anual (VIII).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,7			0,8						
1	2								
+3,47	+4,28	+25,47	+46,66	+67,85	+89,04	+110,23	+131,42	+152,61	+173,8

Tabla 114. Cash flow anual (IX).

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0,8									
1	2								
+21,19	+42,38	+63,57	+84,76	+105,95	+127,14	+148,3	+169,5	+190,7	+211,9

Tabla 115. Cash flow anual (X).

En estos balances puede observarse como la línea aérea sería rentable desde su primer año de implantación, pero no sería realista pues es difícil alcanzar una ocupación tan elevada durante los primeros años del servicio.

Para concluir:

- ✘ La viabilidad de la línea aérea depende de alcanzar lo más rápido posible un 70 % de ocupación. Cuanto más tiempo se tarda en alcanzar este valor, mayores serán las pérdidas al inicio del proyecto.
- ✘ Para incrementar las ganancias, interesa aproximarse o alcanzar lo antes posible el 80 % de ocupación.
- ✘ De alguna manera se podría definir que el tiempo que se tarda en alcanzar el factor de ocupación 0,7 definen las pérdidas iniciales; mientras que el tiempo que se tarda en alcanzar el factor de ocupación de 0,8 define la rapidez en la recuperación de estos gastos.

## 3.2 Implicaciones ambientales

El impacto medioambiental de este proyecto se puede descomponer en 2 bloques:

- ✘ Las emisiones producidas a la atmosfera de distintos tipos de elementos
- ✘ Los niveles de ruido ocasionados por los motores

### 3.2.1 Emisiones

Es hora de evaluar las emisiones producidas por las aeronaves a lo largo de un año. A partir de [155] se obtiene el fuel que consume un Boeing 787-9 en un viaje con la distancia del nuestro. Con este dato, de [156] se obtiene la cantidad de cada uno de los distintos emisores que se encuentran presente en las emisiones de la aeronave.

Según los datos proporcionados, para la duración de nuestra línea aérea se necesitan 55286 kg de combustible. Para vuelos internacionales, por cada tonelada de fuel consumida se consume en crucero:

- ✘ 1 kg de SO<sub>2</sub>
- ✘ 5 kg de CO
- ✘ 3150 kg de CO<sub>2</sub>
- ✘ 11 kg de NO<sub>x</sub>
- ✘ 0,7 kg de NMVOCs
- ✘ 0,1 kg de N<sub>2</sub>O

Para vuelos internacionales, por cada tonelada de fuel consumida se consume durante la fase de descenso, aterrizaje, taxi y despegue se consumen:

- ✘ 1 kg de SO<sub>2</sub>
- ✘ 17 kg de CO
- ✘ 3150 kg de CO<sub>2</sub>
- ✘ 9 kg de NO<sub>x</sub>
- ✘ 3,7 kg de NMVOCs<sup>82</sup>
- ✘ 0,4 kg de CH<sub>4</sub>
- ✘ 0,1 kg de N<sub>2</sub>O

Si el 10 % del gasto en combustible se corresponde a las fases iniciales y finales y el resto a crucero, en nuestro caso 5529 kg de fuel se queman durante estas fases, mientras que 49757 lo hacen en las otras. Con estos datos, las emisiones obtenidas en kilogramos por vuelo son:

---

<sup>82</sup> En castellano son COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano.

Fase	SO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOCS	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Inicial y final	5,529	93,993	17416,35	49,761	20,4573	2,2116	0,553
Crucero	49,757	248,785	156734,55	547,327	34,83	0	4,976
<b>TOTAL</b>	<b>55,286</b>	<b>342,778</b>	<b>174150,9</b>	<b>597,088</b>	<b>55,2873</b>	<b>2,2116</b>	<b>5,529</b>

Tabla 116. Emisiones por vuelo (en kg).

Año	SO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOCS	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2020	23,00	142,60	72446,77	248,39	23,00	0,92	2,30
2021	40,36	250,23	127130,16	435,87	40,36	1,61	4,04

Tabla 117. Emisiones anuales (en toneladas).

### 3.2.2 Nivel de ruido

El segundo impacto ambiental importante es el ejercido debido al ruido. Este impacto se mide en EPNdB y para el modelo escogido son los siguientes [157]:

	<i>Lateral/Full-power</i>	<i>Approach</i>	<i>Fly-over</i>
Nivel de ruido	91,8	97,7	90,8
Límite de ruido	101,3	104,7	98,6
Margen	9,5	7	7,8

Tabla 118. Nivel de ruido para el Boeing 787-9 escogido.

## 3.3 Continuación del proyecto y mejoras

Si se quisiera seguir desarrollando este proyecto, se describen a continuación los puntos clave en forma de:

- ✘ Recomendaciones: aquellos aspectos futuros que pueden intervenir directamente en la operación y que deben ser tenidos en cuenta para llevar algún tipo de modificación a cabo.
- ✘ Planificación y programación: se expone como deberían planificarse cada una de las posibles modificaciones que podrían llevarse a cabo.
- ✘ Posibles mejoras: se presentan aquellos aspectos donde sería bueno introducir mejoras que ayudarían a incrementar la viabilidad del proyecto.

### 3.3.1 Recomendaciones

A continuación, se muestra en forma de lista los aspectos que han de tenerse en cuenta a lo largo de los años para mejorar la explotación de la línea aérea:

1. Normativa. La normativa puede cambiar y debe tenerse siempre en cuenta a la hora de crear una línea aérea. Se recomienda mantenerse al tanto de las nuevas ediciones de las principales fuentes bibliográficas consultadas para este proyecto.
2. Aeronave. Actualmente el Boeing 787-9 es de las aeronaves más fiables y eficientes del mercado, pero al ritmo de innovación y desarrollo en materia aeroespacial es probable que con el tiempo aparezcan modelos que, por ejemplo, permitan un mayor ahorro de combustible.
3. Planificación de vuelos y aeronaves. Es importante tener en cuenta la posibilidad de haber de cambiar algunos de los horarios en los trayectos y también la posibilidad que, de demostrarse ser así, otros horarios podrían propiciar en un mayor factor de ocupación, por ejemplo.
4. Costes operativos. Al fin y al cabo, aquí se ha realizado una estimación de los costes operativos. Este valor exacto se podría encontrar al finalizar el primer año y, a partir de los datos obtenidos, reevaluarse y considerar calcularlos de nuevo para ver así la viabilidad o no del proyecto.
5. Tarifas. En función de los beneficios que se obtengan y del desarrollo a lo largo de los años de la línea aérea, así como del *precio de la vida* en general, las tarifas también pueden verse afectadas anualmente: tanto para un incremento como para una reducción.

### 3.3.2 Planificación y programación

Acerca de los distintos puntos comentados en 3.3.1, la planificación y programación para los 3 últimos sería:

1. Planificación de vuelos y aeronaves. Para septiembre u octubre de 2020, se pueden llevar a cabo los primeros análisis acerca del factor de ocupación para cada uno de los vuelos. Se pueden observar aquellos horarios con una tendencia a ser más ocupados y aquellos asociados a una menor ocupación, y ser capaz de jugar con ellos. El procedimiento a llevar a cabo sería el mismo tenido en cuenta hasta ahora, contando con que ello podría afectar a la rotación de la plantilla y, por lo tanto, esta debería cambiarse también.
2. Costes operativos. Al final del primer año de operación, puede hacerse el balance global de ese año. A partir de una comparación con los valores aquí calculados, en función del factor de ocupación real que se haya obtenido, se pueden volver a calcular todos los balances realizados conociendo los gastos y las ganancias reales obtenidos en un periodo.
3. Tarifas. Se tiene que evaluar la utilidad del procedimiento de propuesta de tarifas propuesto: si, por ejemplo, se observa un factor de ocupación bajo, puede ser porque la subida del precio de las butacas en función de las ya vendidas es demasiado elevada y, reduciéndose en algún punto, se podría incrementar el factor de ocupación a costa de obtener un menor beneficio por asiento.

### 3.3.3 Posibles mejoras

Las posibles mejoras que podrían desarrollarse en este proyecto y hacerlo más competente serían:

- ✈ Programar un algoritmo que muestre la ruta más corta entre ambos puntos, volando entre *navaid*s y, siempre que se pueda, en aerovías existentes.
- ✈ Realizar los cálculos de combustible a partir de las fórmulas correspondientes, definiendo mejor las velocidades a llevar durante el trayecto, sus transiciones y cómo el nivel de vuelo puede afectar negativa o positivamente al consumo de combustible.
- ✈ Realizar los cálculos para las maniobras de la aeronave: esto es, calcular los radios de giro cada vez que se intercepta una aerovía o *navaid* concreto, así como en los procedimientos de salida y llegada a los aeropuertos.
- ✈ Si la opción de tener 3 clases en la aeronave no fuera la más adecuada, hacer una reelección de la configuración de asientos, en este caso, con sólo 2 tipos de asientos.
- ✈ Compartir el *leasing* del avión escogido con alguna línea aérea y evitar así, estar un mayor tiempo parado en los aeropuertos, que incurre en un mayor gasto en costes aeronáuticos.
- ✈ Realización de las rutas de desvío a cada uno de los aeropuertos alternativos propuestos. Escogiendo realizar una operación ETOPS 180 no ha habido limitaciones acerca de zonas que no se pueden sobrevolar para esta ruta, pero no se han calculado los desvíos que se deberían realizar en caso de emergencia en el punto más crítico de la ruta.
- ✈ Realizar un estudio de viabilidad económica más profundo. Tomando un factor de ocupación concreto, calcular todos los parámetros que pueden derivarse de la viabilidad de un proyecto: *breakeven point*, *payback time*, *net present value* y *internal rate of return*. Estos valores no se han calculado porque se han propuesto 10 escenarios posiblemente viables, de los infinitos que podrían existir, y sería un caos disponer de este dato para 10 configuraciones diferentes de balances, sin saber cual de ellas debería ser la correcta. Igualmente, en las conclusiones de los balances se realizan comentarios que incumben a estos términos o relacionados con ellos.

## 3.4 Conclusiones

Por último, es hora de extraer una serie de conclusiones:

- ✘ La normativa debería haber sido tenida más en cuenta. Después de la descripción de la misma en 2.1, es posible que existan puntos que o bien no hayan sido aplicados correctamente al realizar la ruta o bien, fueron obviados en su momento y por lo tanto no han tenido en cuenta. Sabiendo que acatar con la normativa es el objetivo número 1 en una operación de aviación comercial, debe repasarse que todo esté en orden.
- ✘ Recientemente y durante la operación del proyecto, se han dado varios casos de accidentes con Boeing 737 MAX. Por llamarlo de alguna manera, este avión podría describirse como el hermano pequeño de los Boeing 787 Dreamliner, pues son los más nuevos de los aviones de pequeño alcance. Este hecho ha provocado que Boeing se haya desplomado en bolsa y que mucho de los pedidos que tienen en activo hayan sido cancelados, mayoritariamente de el aparato anteriormente mencionado. Siendo concebidos en la misma época, no es de extrañar que posiblemente compartan el mismo sistema de ayuda a la estabilidad de la aeronave y, por lo tanto, la opción de adquirir un Airbus A350-900 o A350-1000 podría aparecer.
- ✘ En este caso, el orden de los factores si que altera el producto. Ocurre que, al haber elegido en primer lugar a la aeronave antes que la ruta, esto puede dar lugar a incongruencias. Personalmente, opino que siendo la ruta LIRF – SKBO la mejor opción de compra a ejecutar sería la de una aeronave con 2 clases distinguidas, en lugar de las 3 aquí propuestas. El PIB per cápita colombiano no es elevado ni mucho menos y dudo que la ocupación de asientos de primera clase fuera elevada.
- ✘ El cálculo de combustible puede ser no realista. Los valores exactos de consumo de combustible en función de la velocidad y el peso son desconocidos y sólo podrían hallarse unos valores reales realizando una simulación a partir de datos extraídos de vuelos de Boeing 787-9.
- ✘ El estudio de selección de la ruta. En mi opinión, el trabajo ha sido bastante completo, pero quisiera añadir que, al seleccionar los últimos 4 precandidatos, se debería haber realizado un estudio más profundo de la sociedad de cada una de las 2 ciudades propuestas a analizar: PIB per cápita, destinos vacacionales favoritos, meses con mayor tráfico en sus aeropuertos...
- ✘ A priori, no se ha atravesado ninguna zona P, D ni R en la ruta (prohibidas, peligrosas y restringidas). Igualmente, deben tenerse en cuenta las zonas temporalmente segregadas siempre que se encuentren en las cercanías de la ruta.
- ✘ Se puede mejorar el cálculo de los costes indirectos. Para ello, es necesario obtener valores reales de las aerolíneas actuales que, desgraciadamente, no han sido encontrados.
- ✘ Las tarifas propuestas no son ni las más baratas ni las más caras, pero a partir de 3.1 puede apreciarse que, si se rebajaran las mismas, para la mayoría de casos, los beneficios seguirían existiendo.

## 3.5 Bibliografía

Los documentos consultados para la realización de esta memoria y su anexo han sido:

- [1] EASA. *Air operations – commercial air transport*. AMC&GM. Mayo 2013.
- [2] Skybrary. *Operational issues*. [Consulta: 1 febrero 2019]. Disponible en: [https://www.skybrary.aero/index.php/Main\\_Page#operational-issues](https://www.skybrary.aero/index.php/Main_Page#operational-issues)
- [3] RNAV 10 y RNP 10. [Consulta 1 febrero 2019]. Disponible en: <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2015/02/rnav-10-y-rnp-10.html>
- [4] OACI. *Anexo 2 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Reglamento del aire*. 10ª edición. Julio 2005.
- [5] OACI. *Anexo 4 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Cartas aeronáuticas*. 11ª edición. Julio 2009.
- [6] OACI. *Anexo 5 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Unidades de medida que se emplearán en las operaciones aéreas y terrestres*. 5ª edición. Julio 2010.
- [7] OACI. *Anexo 6 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Parte I – Transporte aéreo comercial internacional – aviones*. 10ª edición. Julio 2016.
- [8] OACI. *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Aeródromos. Volumen I: diseño y operaciones de aeródromos*. 5ª edición. Julio 2009.
- [9] OACI. *Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Volumen I: ruido de las aeronaves*. 7ª edición. Julio 2014.
- [10] OACI. *Doc 8168. OPS/611. Aircraft operations. Volume I: flight procedures*. [En línea]. 5ª edición. 2006.
- [11] OACI. *Doc 8168. OPS/611. Aircraft operations. Volume II: construction of visual and instrument flight procedures*. 5ª edición. 2006.
- [12] U.S. Department of transportation. FAA. *United States Standard for TERPS*. 16/02/2018.
- [13] OACI. *EDTO Manual*.
- [14] U.S. Department of transportation. FAA. *Advisory circular: Extended Operations (ETOPS and Polar Operations)*.
- [15] OACI. *Doc 9613. AN/937. PBN manual*. 3ª edición. 2008.
- [16] K. Harson. *North Atlantic OTS*. 19 abril 2013.
- [17] Flight Service Bureau. *International ops notice. Nº 11/2015. NAT track structure*. 12 noviembre 2015.
- [18] Eddie Sez. *Oceanic En Route: international operations*. [Consultado 10 febrero 2019]. Disponible en: [http://code7700.com/iom\\_oceanic\\_en\\_route.htm#references](http://code7700.com/iom_oceanic_en_route.htm#references)

- [19] OACI. *SAT 21 - WP/05*. Lisboa. Junio 2016.
- [20] OACI. *SAT 21 – WP/10*. Junio 2016.
- [21] OACI. *NAT Doc 007. North Atlantic Operations and Airspace Manual*. Versión 2018-2.
- [22] Airbus. *Airbus A330. Aircraft characteristics airport and maintenance planning*. Consulta [15 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a330-family/a330-300.html>
- [23] Airbus. *Airbus A350. Aircraft characteristics airport and maintenance planning*. Consulta [15 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a350xwb-family/a350-1000.html>
- [24] Boeing. *Boeing 767*. Consulta [15 febrero 2019]. Disponible en: <https://booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-a/table-3/table.htm>
- [25] Boeing. *Boeing 777. Airplane characteristics for airport planning*. Mayo 2015.
- [26] Boeing. *Boeing 787. Airplane characteristics for airport planning*. Marzo 2018.
- [27] Airbus. *Orders & Deliveries*. Consulta [18 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airbus.com/aircraft/market/orders-deliveries.html#file>
- [28] Boeing. *Orders & Deliveries*. Consulta [18 febrero 2019]. Disponible en: [http://www.boeing.com/commercial/?cm\\_re=March\\_2015- -Roadblock- -Orders+%26+Deliveries/#/orders-deliveries](http://www.boeing.com/commercial/?cm_re=March_2015- -Roadblock- -Orders+%26+Deliveries/#/orders-deliveries)
- [29] Planespotters. *Airline index*. Consulta [18 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.planespotters.net/airlines>
- [30] Airfleets.net. *Airlines list*. Consulta [18 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airfleets.net/recherche/airline.htm>
- [31] Airbus. *Airbus commercial prices*. Consulta [19 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus-Commercial-Aircraft-list-prices-2018.pdf>
- [32] Boeing. *Prices*. Consulta [19 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.boeing.com/company/about-bca/#/prices>
- [33] IATA. *Fuel monitor – prices*. Consulta [20 febrero 2019, 20 abril 2019]. Disponible en: <https://www.iata.org/publications/economics/fuel-monitor/Pages/index.aspx>
- [34] Planestats. *Aircraft cost and operations. Wide-bodies*. Consulta [20 febrero 2019]. Disponible en: [https://www.planestats.com/bhsw\\_2018jun](https://www.planestats.com/bhsw_2018jun)
- [35] Airfinance Journal. *A350 or 787? Exclusive guide*. Air investor. Julio 2007. Euromoney. Disponible en: <https://www.airfinancejournal.com/docs/AFJ%20AirInvestor.pdf>
- [36] Dhierin Bechai. *Does a \$7 million boeing 777-200ER compare to a brand new Dreamliner?* 16 marzo 2016. Disponible en: <https://seekingalpha.com/article/3958785-7-million-boeing-777minus-200er-compare-brand-new-dreamliner-part-2>

- [37] John Leahy, Airbus. *The A330NEO. Powering into the future*. Disponible en: <https://www.ausbt.com.au/files/A330neo%20Launch%20Presentation.pdf>
- [38] Aircraft commerce. *Issue nº 39. Can the 787 & A350 transform the economics of long-haul services?* Febrero/Marzo 2005. Disponible en: [http://www.aircraftcommerce.com/sample\\_articles/sample\\_articles/fleet\\_planning\\_sample](http://www.aircraftcommerce.com/sample_articles/sample_articles/fleet_planning_sample)
- [39] EASA. *Cabin crew*. Consulta [22 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/cabin-crew#category-minimum-required-cabin-crew>
- [40] UK Civil Aviation Authority. *EASA FTL regulations. Combined document*. Versión 1. 18 febrero 2014. Disponible en: [https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/combined\\_easa\\_ftl\\_regulations\\_ukcaa\\_2014\\_0218.pdf](https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/combined_easa_ftl_regulations_ukcaa_2014_0218.pdf)
- [41] EASA. *Type-certificate data sheet. EASA.A.004 for Airbus A330*. 24 enero 2019.
- [42] EASA. *Type-certificate data sheet. EASA.A.151 for Airbus A350*. 26 septiembre 2018.
- [43] EASA. *Type-certificate data sheet. EASA.IM.A.003 for Boeing 777*. 10 diciembre 2018.
- [44] EASA. *Type-certificate data sheet. EASA.IM.A.115 for Boeing 787*. 9 mayo 2018.
- [45] *Pilot job vacancies*. Consulta [1 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.pilotjobs.io/search-jobs.html>
- [46] *Average airline pilot or copilot salary*. Consulta [1 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.payscale.com/research/US/Job=Airline\\_Pilot%2C\\_Copilot%2C\\_or\\_Flight\\_Engineer/Salary](https://www.payscale.com/research/US/Job=Airline_Pilot%2C_Copilot%2C_or_Flight_Engineer/Salary)
- [47] Aerospacegeek. *A330-200neo vs A350-800 operating costs comparison*. 2 abril 2014. Consulta [2 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.aerspacegeek.net/2014/04/02/a330-200-vs-a350-800-operating-costs-comparison/>
- [48] Boeing. *787 propulsion system*. *Boeing aeromagazine*. Consulta [2 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012\\_q3/2/](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q3/2/)
- [49] Airbus and Boeing are head-to-head in the widebody sector. *Flight daily news*. 6 febrero 2018. Disponible en: <https://www.flightglobal.com/news/articles/data-snapshot-airbus-and-boeing-are-head-to-head-in-445593/>
- [50] EASA. *Type-certificate data sheet. Nº IM.E.102. GENx Series Engines*. 17 mayo 2018.
- [51] Seatguru. *Configuración de asientos de aeronaves*. Consulta: [4 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.seatguru.com/airlines>
- [52] Google. *Buscador de vuelos*. Disponible en: <https://www.google.com/flights?hl=es>
- [53] ACI. *Top 30 european airports 2017*.
- [54] ACI World & Europe. *ACI Europe: airport traffic report*. Noviembre 2018.

- [55] *Top 100 airports in Europe*. Consulta [8 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.flightsfrom.com/top-100-airports-in-europe>
- [56] Wikipedia. *List of busiest airports in Europe 2018*. Consulta [8 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_Europe#2018\\_statistics](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Europe#2018_statistics)
- [57] AENA. *Aeropuertos*. Consulta [9 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.aena.es>
- [58] *Buscador de vuelos y destinos*. Disponible en: <https://www.flightsfrom.com>
- [59] Pegasus. *Vuelos charter*. Consulta: [9 marzo 2019]. Disponible en: <https://pegasys.pegast.ru/FlightSearch>
- [60] TUI. *Vuelos charter*. Consulta: [9 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.tui.dk/find-din-rejse/>
- [61] Spies. *Seasonal charters*. Consulta [10 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.spies.dk/>
- [62] *Vuelos charter desde Varsovia*. Consulta [10 marzo 2019]. Disponible en: <https://charterflights.r.pl/>
- [63] *Vuelos desde Varsovia*. Consulta [10 marzo 2019]. Disponible en: <https://biletylotnicze.itaka.pl/>
- [64] The Port Authority of NY & NJ. *Airport traffic report*. 2014.
- [65] The Port Authority of NY & NJ. *Airport traffic report*. 2017.
- [66] Wikipedia. *List of the busiest airports in Mexico*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_Mexico#Mexico's\\_10\\_Busiest\\_Airports\\_by\\_international\\_passenger\\_traffic\\_\(2017-2018\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Mexico#Mexico's_10_Busiest_Airports_by_international_passenger_traffic_(2017-2018))
- [67] Wikipedia. *List of the busiest airports in Central America*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_Central\\_America#ref\\_note01^](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Central_America#ref_note01^)
- [68] Wikipedia. *List of the busiest airports in the Caribbean*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_the\\_Caribbean](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_the_Caribbean)
- [69] Wikipedia. *Cancun International Airport*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Canc%C3%BAn\\_International\\_Airport#Passenger](https://en.wikipedia.org/wiki/Canc%C3%BAn_International_Airport#Passenger)
- [70] Wikipedia. *Punta Cana International Airport*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Punta\\_Cana\\_International\\_Airport#Airlines\\_and\\_destinations](https://en.wikipedia.org/wiki/Punta_Cana_International_Airport#Airlines_and_destinations)
- [71] Wikipedia. *List of the busiest airports in Latin America*. Consulta [12 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_the\\_busiest\\_airports\\_in\\_Latin\\_America](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Latin_America)
- [72] Boeing. *Mapa de rutas del Boeing 787*. Consulta [15 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.boeing.com/commercial/787/#/route-map>

- [73] Wikipedia. *CYUL Airport. Annual traffic*. Consulta [15 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Montr%C3%A9al%20%80%93Pierre\\_Elliott\\_Trudeau\\_International\\_Airport#Annual\\_traffic](https://en.wikipedia.org/wiki/Montr%C3%A9al%20%80%93Pierre_Elliott_Trudeau_International_Airport#Annual_traffic)
- [74] Aeropuerto el Dorado. *Estadísticas*. Consulta [17 marzo 2019]. Disponible en: <https://eldorado.aero/aeropuerto/estadisticas/>
- [75] Ciudad de Buenos Aires. *Estadística y censo*. Consulta [17 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?cat=374>
- [76] Aeroporti di Roma. *Dati di traffico*. Consulta [17 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.adr.it/es/bsn-dati-di-traffico>
- [77] Munich airport. *Traffic figures*. Consulta [17 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.munich-airport.com/traffic-figures-263342>
- [78] Copenhagen Airport. *A record of 30.3 million travellers*. Enero 2019. Consulta [17 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.cph.dk/en/about-cph/investor/traffic-statistics/2019/1/cph-traffic-2018-a-record-of-30\\_3-million-travellers](https://www.cph.dk/en/about-cph/investor/traffic-statistics/2019/1/cph-traffic-2018-a-record-of-30_3-million-travellers)
- [79] LATAM sumará un nuevo destino en su ruta a Europa a partir de junio de 2019. *América economía*. Consulta [20 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/multilaterales/latam-sumara-un-nuevo-destino-en-su-ruta-europa-partir-de-junio-de>
- [80] Del Castillo, Jan. Avianca llega a Múnich en su vuelo más largo y analiza París y Roma. *Reportur*. 20 noviembre 2018. Disponible en: <https://www.reportur.com/aerolineas/2018/11/20/avianca-llega-munich-vuelo-mas-largo-analiza-paris-roma/>
- [81] *Especificaciones de LIRF*. Consulta [20 marzo 2019]. Disponible en: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=IT04966&sch=LIRF>
- [82] *Información de LIRF*. Consulta [20 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.fallingrain.com/icao/LIRF.html>
- [83] Wikipedia. *Estadísticas de LIRF*. Consulta [21 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_da\\_Vinci%20%80%93Fiumicino\\_Airport#Statistics](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci%20%80%93Fiumicino_Airport#Statistics)
- [84] Aeroporti di Roma. *Cálculo online de tasas*. Consulta [21 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.adr.it/web/aeroporti-di-roma-en-/bsn/online-calculation>
- [85] Aeroporti di Roma. *Fiumicino – Airport fees*. 1 marzo 2019.
- [86] Jeppesen. *Airport information for LIRF*. 3 julio 2018. Disponible en: <http://vau.aero/navdb/chart/LIRF.pdf>
- [87] *Especificaciones de SKBO*. Consulta [21 marzo 2019]. Disponible en: <http://worldaerodata.com/wad.cgi?id=CO56633>

- [88] *Información de SKBO*. Consulta [21 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.fallingrain.com/icao/SKBO.html>
- [89] Aerocivil. Gobierno de Colombia. *Estadísticas de tráfico de los aeropuertos en diciembre de 2018*. Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/Estadsticas%20operacionales/Estadisticas%20Trafico%20de%20Aeropuertos%20Diciembre%202018.xls&action=default>
- [90] Aeronáutica Civil de Colombia. Oficina de transporte aéreo. *Boletín oferta y demanda . Transporte de pasajeros*. 2018
- [91] Aeropuerto internacional el Dorado. *Tarifas 2019*.
- [92] Jeppesen. *Airport information for SKBO*. 28 enero 2018.
- [93] US Department of transportation. FAA. *Advisory circular. AC nº 150/5220-10E. Guide specification for Aircraft Rescue and Fire Fighting Vehicles*. 6 enero 2011.
- [94] Bachtel, Brad. Boeing. *ETOPS, extended operations and enroute alternate airports*. 22 octubre 2003.
- [95] Air Cyber Alliance. *Aircraft runway requirements*. Consulta [22 marzo 2019]. Disponible en: <http://aircyber.weebly.com/aircraft-runway-requirements.html#>
- [96] *Información de LIPZ*. Consulta [22 marzo 2019]. Disponible en: <https://acukwik.com/Airport-Info/LIPZ>
- [97] Wikipedia. *Diversion airport*. Consulta [22 marzo 2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diversion\\_airport](https://en.wikipedia.org/wiki/Diversion_airport)
- [98] OACI. *Anexo 11 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Servicios de tránsito aéreo*. 14ª edición. Julio 2016.
- [99] de Castro, Antonio. *Navegación aérea: navegación con ayudas radioeléctricas*. Versión 2.
- [100] AIP Colombia. *ENR 3.1. Rutas ATS inferiores*. 14 septiembre 2017.
- [101] AIP Colombia. *Carta de radionavegación OACI de Colombia. Nivel inferior*. 6 diciembre 2018.
- [102] AIP Colombia. *ENR 3.1. Rutas ATS superiores*. 1 marzo 2018.
- [103] AIP Colombia. *Carta de radionavegación OACI de Colombia. Nivel superior*. 1 marzo 2018.
- [104] AIP Colombia. *ENR 3.3. Rutas RNAV*. 6 diciembre 2018.
- [105] AIP Colombia. *Carta de navegación OACI de Colombia. RNAV 5*. 6 diciembre 2018
- [106] AIP Colombia. *ENR 4.1. Radioayudas para la navegación en ruta*. 6 diciembre 2018.
- [107] AIP Colombia. *ENR 4.3. Designadores o nombres en clave para los puntos significativos*. 6 diciembre 2018.

- [108] AIP Colombia. *ENR 5.1. Zonas prohibidas, restringidas y peligrosas*. 15 noviembre 2012.
- [109] AIP Colombia. *ENR 5.2. Zonas de maniobras e instrucción civil y militar*. 21 julio 2016.
- [110] AIP Colombia. *ENR 5.5. Actividades aéreas deportivas y de recreo*. 13 enero 2011.
- [111] Aerocivil. Gobierno de Colombia. *Servicio de información aeronáutica en ruta*. Consultado [28 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/en-ruta>
- [112] Eurocontrol. *Eurocontrol route network chart (ERN Chart). Upper airspace*. 13 septiembre 2019.
- [113] *Base de cartas aeronáuticas online*. Disponible en: <http://www.navyair.com/charts.htm>
- [114] Eurocontrol. *Eurocontrol regional charts (ERC)*. Consulta [29 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.eurocontrol.int/articles/eurocontrol-regional-charts-erc>
- [115] Eurocontrol. *Flight level orientation scheme*. State AIPs.
- [116] FAA. *North Atlantic route planning chart (NARCZ)*. 28 febrero 2019.
- [117] FAA. *IFR enroute aeronautical charts and planning*. Consulta [1 abril 2019]. Disponible en: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/flight\\_info/aeronav/digital\\_products/ifr/](https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/digital_products/ifr/)
- [118] *Pilot chart of the North Atlantic ocean*. Consulta [1 abril 2019]. Disponible en: <https://www.offshoreblue.com/navigation/pilot-charts.php>
- [119] Véase [5].
- [120] FAA. *FAA aeronautical chart user's guide*. Consulta [1 abril 2019]. Disponible en: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/flight\\_info/aeronav/digital\\_products/aero\\_guide/](https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/digital_products/aero_guide/)
- [121] Eurocontrol. *Eurocontrol regional charts (ERC)*
- [122] *Great Circle mapper*. Disponible en: <http://www.gcmap.com/mapui>
- [123] Attwool, V.W. "The Extended Range Operation of Twin-Engined Public Transport Aircraft," *The Journal of Navigation (1985)*, Volume 38, pp. 423-430, Cambridge University Press
- [124] Department of transportation. FAA. *Type certificate data sheet A2NM*. 16 febrero 2016.
- [125] Norwegian Air. *Oceanic procedures: NAT tracks*. Disponible en: [https://www.virtualnorwegian.net/oceanic/nat\\_tracks/](https://www.virtualnorwegian.net/oceanic/nat_tracks/)
- [126] Boeing Commercial Airplanes. *FAA reference code and approach speeds for Boeing Aircraft*. 30 marzo 2016. Airport compatibility engineering.
- [127] Véase [86].
- [128] *Cartas aeronáuticas y planificación de vuelos*. Disponible en: [www.skyvector.com](http://www.skyvector.com)
- [129] Véase [92].
- [130] AIS – Colombia. Aeronáutica civil. *AIRAC AIP SUP C72/17*. 5 octubre 2017

- [131] Cirium. *Información y estadísticas de vuelos*. Disponible en: <https://www.flightstats.com/v2/flight-tracker/AV/19?year=2019&month=03>
- [132] Padilla, Antonio. *Meridianos y paralelos. Conversiones frecuentes*. Consulta [4 abril 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/antoniopadillac/Home/pesosymedidas/meridianosyparalelos>
- [133] AIP ITALIA. *AIP SUP S6/18*. 7 junio 2018.
- [134] ARINC. *Navigation system data base. ARINC specification 424-17*. 31 agosto 2004. Aeronautical Radio.
- [135] *Medidor de distancias online*. Disponible en: <https://www.distance.to>
- [136] *Información sobre radioayudas*. Disponible en: <https://opennav.com/waypoint/>
- [137] OACI. *Doc 8643*. Consulta [10 abril 2019]. Disponible en: <https://doc8643.com/aircraft/B789>
- [138] AIP Colombia. *AD 2 – SKBO 1. El Dorado*. 6 diciembre 2018
- [139] *LATAM suspends flight between Brazil and Munich*. 1 marzo 2019. Consulta [10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.airway1.com/latam-suspends-flight-between-brazil-and-munich/>
- [140] Véase [85]
- [141] Aeropuerto el Dorado. *Estadísticas primer trimestre 2018*.
- [142] Aeropuerto el Dorado. *Estadísticas segundo trimestre 2018*.
- [143] Aeropuerto el Dorado. *Estadísticas tercer trimestre 2018*.
- [144] Aeropuerto el Dorado. *Estadísticas cuarto trimestre 2018*.
- [145] Aeropuerto el Dorado vivirá demoras en las horas pico. *El tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-2842389>
- [146] Oficina de regulación económica. *Revisión y análisis de la estructura de costos de transporte aéreo*. Bogotá. Diciembre 2009.
- Autor. Títol. Nota del tipus de treball, institució acadèmica en què es presenta, any de lectura.
- [147] Garcés Godoy, José Ramón. *Plan de negocio en el sector aeroportuario*. Trabajo de final de carrera, UPC Castelldefels. 2005.
- [148] Philip, Alex. *Boeing. Ownership of aircraft – lease vs buy*. Agosto 2016.
- [149] Véase [32]
- [150] *Aircraft values and lease pricing- spring 2017*. Consulta [20 abril 2019]. Disponible en: <https://www.airliners.net/forum/viewtopic.php?t=1361025>
- [151] OACI. *Doc 9562. Manual sobre los aspectos económicos de los aeropuertos*. 3ª edición. 2013. Disponible en: [https://www.icao.int/publications/Documents/9562\\_es.pdf](https://www.icao.int/publications/Documents/9562_es.pdf)

[152] Véase [91].

[153] Planestats. *Worldwide air passenger demand up, but slowing. Air travel demand (RPKs) by region*. Noviembre 2018. Consulta [24 abril 2019]. Disponible en: [https://www.planestats.com/iatap\\_2018nov](https://www.planestats.com/iatap_2018nov)

[154] Véase [52]

[155] OACI. *ICAO carbon emissions calculator methodology*. Versión 10.

[156] Rypdal, Kristin. *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Aircraft emissions*.

[157] OACI. *ICAO noise data base. Boeing 15085*. Consultado [25 abril 2019]. Disponible: <http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/pdf.php?id=11224>