

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería Aeroespacial

### Análisis Capacidad/Demanda del Aeropuerto de Palma de Mallorca

Autor: José María Pérez Robledo

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

**Dep. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2016





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería Aeroespacial

# **Análisis Capacidad/Demanda del Aeropuerto de Palma de Mallorca**

Autor:

José María Pérez Robledo

Tutor:

Luis Miguel Romero Pérez

Profesor Asociado

Dep. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado: Análisis Capacidad/Demanda del Aeropuerto de Palma de Mallorca

Autor: José María Pérez Robledo

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

*Este proyecto es fiel reflejo de lo que ha supuesto mi paso por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Una etapa llena de grandes retos e ilusiones, en la que palabras como esfuerzo, trabajo y sacrificio han pasado de ser meras deficiones a realidades diarias. Me gustaría dedicar unas palabras de agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera han contribuido a que hoy esté un poco más cerca de ser Ingeniero Aeroespacial.*

*En primer lugar, dar las gracias a mi familia, a mis padres Eduardo y María José, y a mi hermana Patricia, por su incondicional apoyo e infinita paciencia. En especial destacar la labor de mi madre, siempre dispuesta a darme su ayuda y comprensión. Sin ti no hubiese sido posible.*

*Agradecerle a mi “segunda familia”, a mis tíos Jorge y Reyes, y a mi prima Reyes, sus muestras de cariño y su espectacular acogida. Parte de este mérito es suyo.*

*Agradecer a mis amigos “Los últimos de Filipinas” tantos buenos momentos de amistad y risas, tan necesarios siempre para seguir adelante. Distinguir a Álvaro y Jesús, por ser parte indispensable de mi día a día; y a mi amiga Rocío, por haberse convertido en una persona especial en tan poco tiempo.*

*Por último, pero no por ello menos importante, me gustaría agradecerle a mi tutor, Luis Miguel, sus consejos y su total disponibilidad. Pero, sobre todo, GRACIAS por creer en mí y en este proyecto cuando nadie más lo hizo.*

*José María Pérez Robledo.*

*Sevilla, 28 de abril de 2016*



<b>Agradecimientos</b>	<b>VII</b>
<b>Índice</b>	<b>IX</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objeto y Alcance.</i>	1
1.2 <i>Contenido del Proyecto.</i>	2
<b>2 El Aeropuerto de Palma de Mallorca</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Descripción del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.</i>	5
2.1.1 Sistema de Pistas.	5
2.1.2 Plataforma de estacionamiento de aeronaves.	7
2.2 <i>Descripción del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.</i>	10
2.2.1 Terminal Principal.	10
2.2.2 Terminal A.	12
2.2.3 Terminal B.	12
2.2.4 Terminal C.	12
2.2.5 Terminal D.	13
<b>3 Modelos de demanda empleados en los cálculos.</b>	<b>15</b>
3.1 <i>Modelos de demanda utilizados en Planes Directores.</i>	15
3.1.1 Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.	15
3.1.2 Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.	15
3.2 <i>Modelos de demanda para la temporada alta.</i>	16
3.2.1 Tráfico de Aeronaves.	16
3.2.2 Tráfico de Pasajeros.	17
3.3 <i>Modelos de demanda para la temporada baja.</i>	22
3.3.1 Tráfico de Aeronaves.	22
3.3.2 Tráfico de Pasajeros.	22
<b>4 Capacidad del Subsistema de Movimiento de Aeronaves en el Estado Actual.</b>	<b>27</b>
4.1 <i>Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.</i>	27
4.2 <i>Capacidad del Sistema de Pistas.</i>	27
4.2.1 Metodología empleada en los cálculos de la Capacidad de Saturación.	28
4.2.2 Metodología empleada en los cálculos de la Capacidad Práctica.	31
4.2.3 Capacidad de la Pista 24L.	32
4.2.4 Capacidad de la Pista 24R.	33
4.3 <i>Capacidad de la Plataforma de estacionamiento de aeronaves.</i>	34
4.3.1 Metodología empleada en el cálculo de la capacidad de la plataforma.	34
4.3.2 Datos de partida necesarios para realizar los cálculos.	35
4.3.3 Cálculos de capacidad de la plataforma.	37
4.4 <i>Resumen de la Capacidad del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.</i>	39

<b>5</b>	<b>Capacidad del Subsistema de Actividades Aeroportuarias en el Estado Actual.</b>	<b>41</b>
5.1	<i>Parámetros que caracterizan la capacidad del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.</i>	41
5.2	<i>Capacidad en Salidas del Sistema.</i>	42
5.2.1	Vestíbulo de Salidas.	42
5.2.2	Mostradores de Facturación.	42
5.2.3	Zonas de cola de los Mostradores de Facturación.	46
5.2.4	Controles de Seguridad:	48
5.2.5	Zonas de cola de los Controles de Seguridad.	49
5.2.6	Controles de Pasaportes en Salidas.	51
5.2.7	Zonas de cola de los Controles de Pasaportes en Salidas.	51
5.2.8	Zona de Espera y Embarque	52
5.3	<i>Capacidad en Llegadas del Sistema.</i>	56
5.3.1	Controles de Pasaportes en Llegadas.	56
5.3.2	Zonas de cola de los Controles de Pasaportes en Llegadas.	56
5.3.3	Hipódromos de Recogida de Equipajes.	57
5.3.4	Sala de Recogida de Equipajes.	58
5.3.5	Vestíbulo de Llegadas.	58
5.4	<i>Resumen de la capacidad de los Edificios Terminales.</i>	59
<b>6</b>	<b>Análisis Capacidad/Demanda</b>	<b>63</b>
6.1	<i>Temporada alta.</i>	63
6.1.1	Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.	63
6.1.2	Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.	64
6.2	<i>Temporada baja.</i>	65
6.2.1	Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.	65
6.2.2	Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.	66
<b>7</b>	<b>Soluciones Propuestas</b>	<b>69</b>
7.1	<i>Propuestas para la temporada alta.</i>	69
7.1.1	Subsistema de Movimiento de Aeronaves.	69
7.1.2	Necesidades de los Edificios Terminales.	73
7.2	<i>Propuestas para la temporada baja.</i>	76
7.2.1	Subsistema de Movimiento de Aeronaves.	76
7.2.2	Necesidades de los Edificios Terminales.	79
7.2.3	Propuesta de Plan de Invierno.	82
<b>8</b>	<b>Resumen y Conclusiones.</b>	<b>85</b>
8.1	<i>Resumen.</i>	85
8.2	<i>Conclusiones.</i>	86
	<b>Bibliografía.</b>	<b>89</b>
	<b>Glosario.</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXOS.</b>	<b>93</b>
	<i>ANEXO A: Puestos de estacionamiento.</i>	101
	<i>ANEXO B: Estudio de tráfico en el aeropuerto de Palma de Mallorca.</i>	103
	<i>ANEXO C: Estimación de Pasajeros por hora.</i>	105
	<i>ANEXO D: Cálculos de la capacidad del Sistema de Pistas.</i>	107
	<b>Planos.</b>	<b>126</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1-1. Aeropuertos por estacionalidad de la demanda en 2015.	1
Tabla 2-1. Características del sistema de pistas.	6
Tabla 2-2. Calles de salida rápida para la Configuración Oeste.	6
Tabla 2-3. Calles de salida rápida para la Configuración Este.	7
Tabla 2-4. Posiciones de estacionamiento en Plataforma Comercial.	10
Tabla 3-1. Estudio de tráfico de aeronaves comerciales para el año 2015.	16
Tabla 3-2. Estimación de pasajeros por aeronave.	17
Tabla 3-3. Estimación de pasajeros en salidas por horas (26/06/2015).	18
Tabla 3-4. Estimación de pasajeros en salidas entre las 19:00 y las 20:00 horas (26/06/15).	19
Tabla 3-5. <i>PHD sal</i> por segmentos. Temporada alta.	19
Tabla 3-6. Estimación de pasajeros en llegadas por horas (26/06/2015).	20
Tabla 3-7. Estimación de pasajeros en llegadas entre las 8:00 y las 9:00 horas (26/06/2015).	21
Tabla 3-8. <i>PHD lleg</i> por segmentos. Temporada alta.	21
Tabla 3-9. Estimación de pasajeros en salidas por horas (27/12/2015).	23
Tabla 3-10. Estimación de pasajeros en salidas entre las 19:00 y las 20:00 horas (27/12/2015).	23
Tabla 3-11. <i>PHD sal</i> por segmentos. Temporada baja.	24
Tabla 3-12. Estimación de pasajeros en llegadas por horas (27/12/2015).	25
Tabla 3-13. Estimación de pasajeros en llegadas entre las 19:00 y las 20:00 horas (27/12/2015).	25
Tabla 3-14. <i>PHD lleg</i> por segmentos. Temporada baja.	26
Tabla 4-1. Demoras estimadas para la Pista 24L. Configuración Actual.	33
Tabla 4-2. Demoras estimadas para la Pista 24R. Configuración Actual.	34
Tabla 4-3. Tipos de puestos de estacionamiento en Palma de Mallorca.	36
Tabla 4-4. Aeronaves que solicitan puestos de estacionamiento. Año 2015.	36
Tabla 4-5. Estimaciones de tiempo de estancia en puestos de estacionamiento.	37
Tabla 4-6. Tabla de cálculos de los puestos de estacionamiento.	38
Tabla 5-1. Parámetros para calcular la capacidad del vestíbulo de salidas.	42
Tabla 5-2. Uso de los mostradores de facturación el día 26/06/2015.	43
Tabla 5-3. Parámetros para estimar la capacidad de los mostradores de facturación.	43
Tabla 5-4. Tiempo máximo de espera en cola de facturación ( <i>MQT</i> ).	43
Tabla 5-5. Valores del parámetro <i>X</i> para los distintos tipos de tráfico.	44
Tabla 5-6. <i>F1</i> : Punta en 30 minutos en facturación expresada como porcentaje de <i>PHP</i> .	45
Tabla 5-7. Porcentaje de pasajeros entre las 19:00 y las 21:00 respecto de la hora punta (26/06/2015)	45
Tabla 5-8. <i>F2</i> : Demanda adicional generada por vuelos de la hora anterior y posterior a la hora punta.	45
Tabla 5-9. Factor "e" en función del tipo de vuelo.	47
Tabla 5-10. Datos y resultados de aplicar la expresión (5-12).	47

Tabla 5-11. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-13) y (5-14) para la clase turista.	48
Tabla 5-12. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-13) y (5-14) para la clase business.	48
Tabla 5-13. Parámetros de controles de seguridad.	49
Tabla 5-14. Datos y resultados de aplicar la expresión (5-20).	50
Tabla 5-15. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-21) y (5-22).	50
Tabla 5-16. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-24) y (5-25).	51
Tabla 5-17. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-26), (5-27) y (5-28).	52
Tabla 5-18. Zonas de embarque y espera por terminales.	53
Tabla 5-19. Parámetros de zona de espera y embarque.	53
Tabla 5-20. Datos del Terminal A necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).	54
Tabla 5-21. Datos del Terminal B necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).	54
Tabla 5-22. Datos del Terminal C necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).	55
Tabla 5-23. Datos del Terminal D necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).	55
Tabla 5-24. Parámetros de controles de pasaportes en llegadas.	56
Tabla 5-25. Capacidad de los controles de pasaportes en llegadas.	56
Tabla 5-26. Resultados de las expresiones (5-26), (5-27) y (5-28) para los controles de pasaportes.	57
Tabla 5-27. Parámetros de hipódromos de recogida de equipajes.	57
Tabla 5-28. Parámetros de sala de recogida de equipajes.	58
Tabla 5-29. Parámetros de vestíbulo de llegadas.	59
Tabla 5-30. Capacidades de los subsistemas de los Edificios Terminales. T. alta.	59
Tabla 5-31. Relación entre <i>PHD</i> y <i>PHD (No Sch)</i> .	60
Tabla 5-32. Capacidades de algunos subsistemas durante la temporada baja.	60
Tabla 6-1. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves. T alta.	63
Tabla 6-2. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias. T alta.	64
Tabla 6-3. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves. T baja.	65
Tabla 6-4. Análisis Capacidad/Demanda de los Subsistemas de Actividades Aeroportuarias. T baja.	66
Tabla 7-1. Demoras estimadas para la Pista 24L. Operaciones semi-mixtas.	70
Tabla 7-2. Puntos que definen el Diagrama de Pareto.	72
Tabla 7-3. Ajuste Capacidad/Demanda del Sistema de Pistas. T alta.	73
Tabla 7-4. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-10) y (7-11).	74
Tabla 7-5. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-12) y (7-13).	75
Tabla 7-6. Puntos que definen el Diagrama de Pareto.	77
Tabla 7-7. Ajuste Capacidad/Demanda del Sistema de Pistas. T. baja.	79
Tabla 7-8. Viabilidad de uso de una única pista.	79
Tabla 7-9. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-18) y (7-19).	80
Tabla 7-10. Parámetros necesarios para la ampliación de Controles de Pasaportes en Llegadas.	80
Tabla 7-11. Datos del Terminal C necesarios para aplicar las ecuaciones (5-32) y (5-33).	82
Tabla 7-12. Ajuste Capacidad/Demanda. Plan de Invierno propuesto.	83

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-1. Disposición del Sistema de Pistas en el Aeropuerto de Palma de Mallorca.	5
Figura 2-2. Configuración Oeste con calles de salida rápida disponibles.	6
Figura 2-3. Configuración Este con calles de salida rápida disponibles.	7
Figura 2-4. Calles de rodaje principales.	7
Figura 2-5. Rampas R1, R3 y R3.	8
Figura 2-6. Rampas R4 - R8.	8
Figura 2-7. Rampas R9 - R13.	9
Figura 2-8. Rampas R14 – R17.	9
Figura 3-1. Curva acumulativa de pasajeros en salidas.	18
Figura 3-2. Distribución del número de pasajeros en salidas (26/06/2015).	19
Figura 3-3. Curva acumulativa de pasajeros en llegadas.	20
Figura 3-4. Distribución del número de pasajeros en llegadas (26/06/2015).	21
Figura 3-5. Distribución del número de pasajeros en salidas (27/12/2015).	24
Figura 3-6. Distribución del número de pasajeros en llegadas (27/12/2015).	25
Figura 4-1. Diagrama Espacio – Tiempo de dos aeronaves en fase de aproximación.	28
Figura 4-2. Distribución de la posición del avión.	29
Figura 4-3. Dependencia de la capacidad con la demanda y la demora.	31
Figura 4-4. Tipos de sobre para estacionamiento establecidos por Aena.	35
Figura 5-1. Parámetro intermedio $S$ en función de los pasajeros punta en un periodo de 30 minutos ( $X$ ).	44
Figura 7-1. Configuración de Pistas contemplada en el Plan Director en caso de saturación.	69
Figura 7-2. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.	72
Figura 7-3. Capacidad de la Pista 24R en operaciones semi-mixtas.	73
Figura 7-4. Configuración de pistas propuesta para la temporada baja.	76
Figura 7-5. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Operaciones mixtas.	78
Figura 7-6. Capacidad de la Pista 24R en operaciones mixtas.	78
Figura 7-7. Parámetro intermedio $S$ en función de $X$ . Control de pasaportes en llegadas.	81



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objeto y Alcance.

Según el Instituto Nacional de Estadística, España recibió 68,1 millones de turistas extranjeros en el año 2015. Esto supone el mayor registro de la historia y un incremento del 4,9% (3,6 millones más) respecto al ejercicio anterior. Teniendo en cuenta el gran peso del sector turístico en la economía, la gran variedad de oferta y el alto número de llegadas registradas; el transporte aéreo en general, y los aeropuertos en particular, juegan un papel fundamental como principales focos de llegada y salida de turistas. La optimización de las infraestructuras aeroportuarias determinará en buena medida el desarrollo del turismo, así como el ahorro en los costes de explotación.

Los aeródromos ubicados en las zonas con alta concentración de turistas, presentan una alta estacionalidad de la demanda. Esto se traduce en un gran número de usuarios durante la temporada estival, llegando en algunos casos a la capacidad de diseño de las instalaciones. Por el contrario, durante los meses de invierno, se produce una importante caída del número de pasajeros, lo que da lugar a una infrautilización de las instalaciones.

En la Tabla 1-1 aparecen los aeropuertos españoles con mayor estacionalidad en la demanda de pasajeros. Es destacable la presencia en los primeros puestos de los aeródromos de las Islas Baleares.

Tabla 1-1. Aeropuertos por estacionalidad de la demanda en 2015.

Aeropuerto	Mes con menos tráfico (Pasajeros)	Mes con más tráfico (Pasajeros)	Aumento de la demanda (%)
Reus (REU)	7.869	130.818	1563%
Menorca (MAH)	45.676	630.522	1280%
Ibiza (IBZ)	106.430	1.300.505	1121%
Palma de Mallorca (PMI)	564.900	3.775.518	569%
Jerez (XRY)	22.332	104.879	370%
Almería (LEI)	24.992	89.483	258%
Málaga (AGP)	644.750	1.736.881	169%

Fuente: Aena.

De entre los tres grandes aeropuertos españoles - Madrid, Barcelona y Palma de Mallorca – es significativa la alta estacionalidad del tráfico de éste último. El aeródromo balear, registra durante los meses de verano cifras de pasajeros cercanas a las del aeropuerto de Madrid – Barajas y, en cambio, durante la temporada baja sus datos de tráfico son incluso inferiores a los registrados en aeródromos de menor entidad, como el de Málaga – Costa del Sol.

La rigidez e inmediata pérdida de validez de los Planes Directores, hace indispensable la búsqueda continua de nuevos procedimientos de operación que adapten de la mejor manera posible las instalaciones disponibles a la demanda de pasajeros en cada época del año.

El presente proyecto tiene como objetivos fundamentales el análisis de la demanda en función de la época del año del aeropuerto de Palma de Mallorca y de las instalaciones disponibles para hacer frente a ésta y, por último, la búsqueda de soluciones operativas para promover un uso eficiente de las infraestructuras aeroportuarias.

Dichos objetivos, han sido sintetizados en los siguientes ejes principales:

- **Estudio de la situación actual del aeropuerto.** Caracterización de la demanda de pasajeros y aeronaves del año 2015. Cálculo de la capacidad de las infraestructuras con las que cuenta el aeródromo con la información proporcionada por el operador aeroportuario.
- **Análisis Capacidad/Demanda.** Cálculo del parámetro Capacidad/Demanda para cada subsistema aeroportuario. Identificación de posibles deficiencias en las instalaciones para hacer frente a la demanda de aeronaves y pasajeros.
- **Búsqueda de soluciones operativas.** Estudio de alternativas para hacer frente a periodos punta en el número de pasajeros durante la temporada estival y propuestas de cierres parciales durante la temporada baja.

## 1.2 Contenido del Proyecto.

El presente Trabajo Fin de Grado está dividido en diferentes capítulos, en los cuales se desarrolla el contenido del mismo. A modo de introducción, seguidamente se expone una breve descripción de cada uno.

- **Capítulo 2. El Aeropuerto de Palma de Mallorca.**

A lo largo de este capítulo, se caracterizan las instalaciones que componen el Aeropuerto de Palma de Mallorca, poniendo especial atención en aquellos aspectos que afectan a la capacidad de pasajeros y aeronaves.

En primer lugar, se realiza una descripción del Subsistema de Movimiento de Aeronaves, compuesto por el Sistema de Pistas y la Plataforma de Estacionamiento de aeronaves. A continuación, se detallan las diferentes partes de los Edificios Terminales que componen el Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

- **Capítulo 3. Modelos de demanda empleados en los cálculos.**

En este capítulo, se expone una breve reseña de los modelos de demanda empleados en Planes Directores para caracterizar el tráfico de aviones y pasajeros. Además, se realiza una introducción a los parámetros que caracterizan la demanda.

Una vez conocidos los métodos empleados por el operador aeroportuario, se detallan y justifican los modelos de comportamiento de la demanda que finalmente han sido escogidos para la realización del presente Trabajo. Se establecerán modelos de demanda de pasajeros y aeronaves para las épocas estival e invernal.

- **Capítulo 4. Capacidad del Subsistema de Movimiento de Aeronaves en el estado actual.**

Con los datos proporcionados por el operador aeroportuario del Sistema de Pistas y la Plataforma de estacionamiento (Capítulo 2), se realiza una estimación de la capacidad de las instalaciones destinadas a la atención del tráfico de aeronaves.

En el caso del Sistema de Pistas, la aproximación de capacidad se realiza mediante el Concepto Espacio-Tiempo, propuesto por diversos autores cuando no se dispone de herramientas de simulación. Para estimar la capacidad de estacionamiento de aeronaves, se ha recurrido al método propuesto por Horonjeff, R. et al (2010), ampliamente utilizado por Aena en los cálculos de capacidad de la Plataforma.

- **Capítulo 5. Capacidad del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.**

A partir de la descripción de las instalaciones del Subsistema de Actividades Aeroportuarias realizada en el Capítulo 2, se procede a estimar la capacidad de los elementos que influyen en la fluidez del tránsito de pasajeros en salidas y en llegadas.

Para llevar a cabo los cálculos, se empleará el método propuesto por la Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA) para el dimensionamiento de espacios dentro del Edificio Terminal. Las recomendaciones publicadas por este organismo relacionan las dimensiones de las instalaciones con la

comodidad del pasajero y son de uso frecuente por parte de Aena.

- **Capítulo 6. Análisis Capacidad/Demanda.**

Con los modelos de demanda de pasajeros y aeronaves propuestos en el Capítulo 3 y las capacidades de cada uno de los subsistemas calculadas a lo largo de los Capítulos 4 y 5; se calcula el parámetro Capacidad/Demanda (C/D). El valor de este cociente permite conocer la solvencia de una infraestructura para hacer frente a un determinado nivel de demanda y, partir de esto, detectar aquellos elementos del sistema que presentan deficiencias y/o necesidades.

- **Capítulo 7. Soluciones propuestas.**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el Capítulo 6, se realizan los cálculos de necesidades de ampliación para aquellos elementos que se muestran como insuficientes en el Análisis C/D. Además, se proponen medidas de optimización de las instalaciones para la época del año con menor tráfico del aeropuerto.

- **Capítulo 8. Resumen y Conclusiones.**

En primer lugar, se realiza un breve resumen indicando cómo se han ido cumpliendo los objetivos propuestos en la sección anterior a lo largo de los capítulos del presente Trabajo.

A la vista de los resultados obtenidos a lo largo del Proyecto, se expondrán las conclusiones que se han extraído de la realización del mismo. Estas serán agrupadas en función de la temporada y Subsistema al que se refiere.

- **ANEXOS.**

Se presentan algunos de los datos y cálculos que justifican los resultados obtenidos a lo largo del Trabajo. Entre ellos, los puestos de estacionamiento tenidos en cuenta en el cálculo de capacidad de la Plataforma, un estudio de tráfico del aeropuerto, el método de estimación de la demanda y los cálculos de capacidad del Sistema de Pistas.

- **Planos.**

Para que la descripción de las instalaciones de Subsistema de Actividades Aeroportuarias y los cálculos de capacidad de éste sean mas comprensibles al lector, se ha elaborado un conjunto de planos en los que se desglosan las dimensiones de los diferentes elementos y espacios que componen los Edificios Terminales.



# 2 EL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA

En este capítulo, se va a realizar una breve reseña de las infraestructuras con las que cuenta en la actualidad el aeropuerto de Palma de Mallorca, centrandó el análisis en aquellos elementos del sistema que influyan en la capacidad del aeródromo, definiendo esta última como la eficacia del sistema aeroportuario en el procesado de operaciones por unidad de tiempo.

En primer lugar, se analizarán los sistemas que componen el Subsistema de Movimiento de Aeronaves: Sistema de Pistas y Plataforma de estacionamiento de aeronaves. En segundo lugar, se estudiarán los elementos que componen los Edificios Terminales: Salas, Mostradores, Controles y Zonas de colas.

## 2.1 Descripción del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

En esta sección, únicamente se pondrán de relieve aquellas características físicas que puedan influir en el número de operaciones efectuadas (Aeronaves/hora), omitiendo detalles que no sean relevantes tales como elementos constructivos o tipología de pavimentación. Como fuente de información principal se han usado los datos proporcionados por el AIP, actualizados a diciembre de 2015.

### 2.1.1 Sistema de Pistas.

El aeropuerto de Palma de Mallorca dispone de dos pistas paralelas: 06L-24R (pista Norte) y 06R-24L (pista Sur), con una separación entre ejes de 1500 m, lo que le capacita para realizar operaciones independientes. Además, la calle de rodadura de la pista Norte, denominada 06C-24C, puede ser utilizada como pista de vuelo para casos de emergencia o por tareas de mantenimiento de la pista Norte, si bien, estaría sujeta a grandes restricciones, puesto que sólo dista 200 m de la pista Norte y 1300 m de la pista Sur. Debido a su uso esporádico, la pista 06C-24C será excluida de los análisis que se desarrollan en el presente trabajo. En la siguiente figura, se muestra la disposición de las pistas respecto de los Edificio Terminales.

Figura 2-1. Disposición del Sistema de Pistas en el Aeropuerto de Palma de Mallorca.



Imagen: Google Earth.

Cabe destacar la imposibilidad de usar la Pista 24L para salidas y la 6R para llegadas, debido a las servidumbres de ruido que afectan a la cercana localidad de Can Pastilla, al Suroeste del aeropuerto. Todas las pistas disponen de clave 4F, la máxima establecida por OACI, lo cual, les habilita para realizar operaciones con cualquier tipo de aeronave. En la Tabla 2-1 se resumen algunas de las características del sistema de pistas.

Tabla 2-1. Características del sistema de pistas.

Pista	Clave	Aproximación	Mayor Aeronave admisible
06L	4F	Instrumental CAT I	A380, B747-800
24R	4F	Instrumental CAT I	A380, B747-800
06R	4F	Instrumental de no precisión	A380, B747-800
24L	4F	Instrumental CAT II/III	A380, B747-800

Fuente: Ficha de Aeródromo.

### 2.1.1.1 Utilización del sistema de pistas.

Tal como se indica en la Ficha del Aeródromo, la prioridad en el empleo del Sistema de Pistas vendrá marcada por las siguientes configuraciones:

- **Configuración Oeste:** Será la preferente siempre que la componente de viento en cola no exceda de 10 kts en pista seca, o pista mojada con acción de frenada buena. Las llegadas tendrán lugar por la Pista 24L y las salidas por la Pista 24R. Para acelerar el tránsito de llegadas, la pista 24R podrá utilizarse para los aterrizajes a iniciativa del ATC.
- **Configuración Este:** Las llegadas tendrán lugar por la Pista 06L y las salidas por la Pista 06R. Para acelerar en tránsito de salidas, la Pista 06L podrá utilizarse para los aterrizajes a iniciativa del ATC.

### 2.1.1.2 Salidas rápidas.

Según lo dispuesto en la Ficha del Aeródromo, para conseguir el máximo aprovechamiento del Sistema de Pistas y rebajar el tiempo de ocupación de las mismas, se utilizarán las siguientes calles de salida rápida para el abandono de pista tras un aterrizaje, a menos que el ATC indique lo contrario.

**Configuración Oeste:** Están disponibles dos salidas rápidas para la Pista 24L (Correspondiente a las llegadas para esta configuración) y una calle de salida rápida para la Pista 24R. Esta última, como se ha comentado anteriormente, se usará cuando el ATC lo disponga.

Tabla 2-2. Calles de salida rápida para la Configuración Oeste.

Pista	Salida Rápida	ACTF	Distancia al umbral
24L	S1	Turbo hélices/ligeras	1540 m.
24L	S2	Todas	1950 m.
24R	N4	Turbo hélices/ligeras	1480 m.

En la Figura 2-2 se muestra la disposición de pistas para la Configuración Oeste:

Figura 2-2. Configuración Oeste con calles de salida rápida disponibles.



Imagen: Google Earth.

**Configuración Este:** Para esta operativa de uso de pistas, únicamente se dispone de una salida rápida ubicada en la Pista 06L (Correspondiente a las llegadas para esta configuración).

Tabla 2-3. Calles de salida rápida para la Configuración Este.

Pista	Salida Rápida	ACTF	Distancia al umbral
06L	N2	Turbo hélices/ligeras	2130 m.

Para finalizar, la Figura 2-3 representa la Configuración Este del Sistema de Pistas con la calle de salida rápida de la Pista 06L:

Figura 2-3. Configuración Este con calles de salida rápida disponibles.



Imagen: Google Earth.

### 2.1.2 Plataforma de Estacionamiento de Aeronaves.

El aeropuerto de Palma de Mallorca dispone de una amplia Plataforma de estacionamiento de aeronaves con zonas diferenciadas para atender la demanda de los diferentes tipos de aeronaves que utilizan sus instalaciones. Las diferentes partes de la Plataforma están conectadas con las pistas de vuelo mediante tres calles de rodaje principales; la rodadura NORTH (Paralela a la pista 06L-24R), la rodadura SOUTH (Paralela a la pista 06R-24L) y la rodadura LINK (Conexión entre las rodaduras NORTH y SOUTH).

Figura 2-4. Calles de rodaje principales.



Imagen: Google Earth.

La Plataforma está dividida en dos partes: Una destinada al tráfico comercial y otra de uso exclusivo de aeronaves de Aviación Civil. La parte no comercial de la Plataforma quedará fuera del análisis del presente Trabajo. La Plataforma Comercial, a su vez, está dividida en diversos grupos de puestos de estacionamiento según el tipo de aeronaves a los que van destinados y su zona de ubicación en el aeródromo. Son las denominadas Rampas<sup>1</sup>.

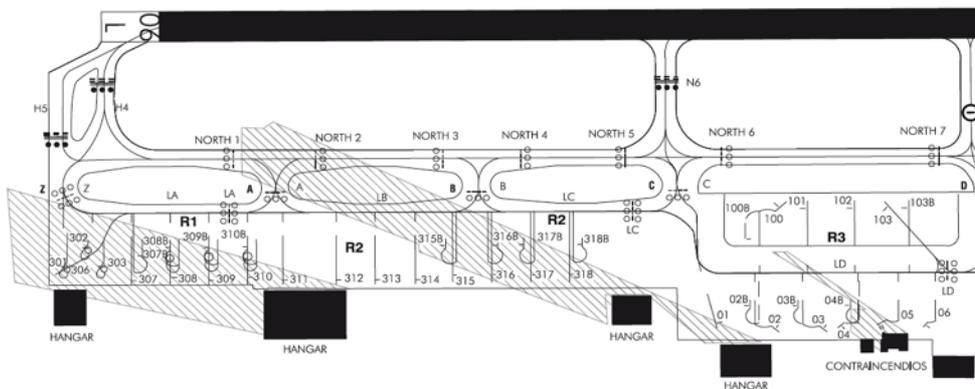
<sup>1</sup> El término Rampa se usa para diferenciar las diferentes partes de la plataforma.

Cabe destacar que los puestos de estacionamiento pueden ser incompatibles entre sí, quedando la elección de una configuración de uso a expensas del tipo de tráfico en cada momento. Las diversas incompatibilidades entre las distintas posiciones, así como la envergadura máxima admisible de cada puesto, entre otros datos, se encuentran recogidos en el Anexo A.

La Plataforma está dividida en las siguientes zonas:

- **Rampa R1:** Comprende las posiciones de estacionamiento remotas del número 301 al 309B, situadas paralelamente a la rodadura NORTH desde la salida Z hasta la salida A.
- **Rampa R2:** Incluye las posiciones remotas del número 310 al 318B, situadas entre las salidas A y C de la rodadura NORTH y frente al hangar de mantenimiento de Air Europa.
- **Rampa R3:** Comprende desde las posiciones remotas del número 1 a la 103B, establecidas entre las salidas C y D de la rodadura NORTH.

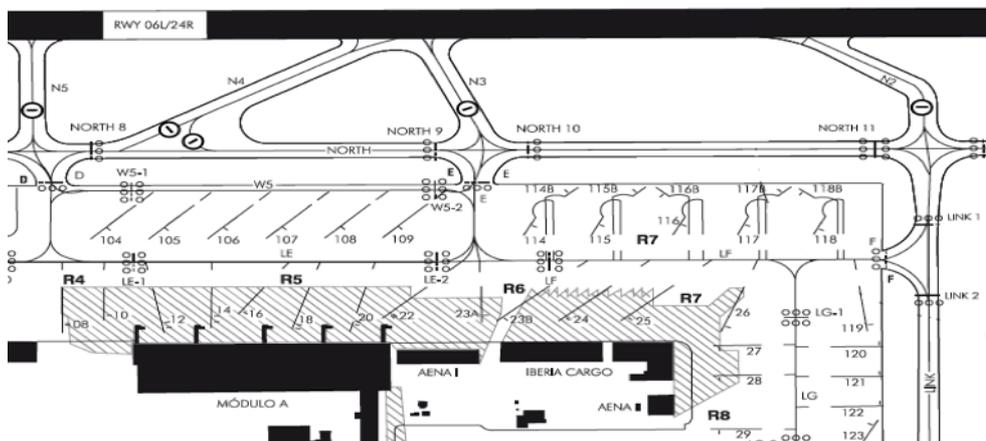
Figura 2-5. Rampas R1, R3 y R3.



Fuente: Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves (PDC).

- **Rampa R4:** Incluye las posiciones remotas 8, 10 y 104, situadas junto a la salida D y el Módulo A.
- **Rampa R5:** Abarca las posiciones de estacionamiento mediante pasarela del número 12 a la 22, conectadas con el Módulo A, y las posiciones remotas de la 105 a la 109. Se encuentran ubicadas entre las salidas D y E de la rodadura NORTH y el Módulo A.
- **Rampa R6:** Contiene las posiciones de estacionamiento remoto 23A y 23B. Situadas entre el Módulo A y la zona Iberia Cargo.
- **Rampa R7:** Comprende desde las posiciones remotas del número 24 al 119, ubicadas entre la salida E de la rodadura NORTH y la salida F de la rodadura LINK.
- **Rampa R8:** Comprende desde las posiciones número 27 a la 123, radicadas entre la rodadura LINK y a los edificios administrativos de Aena.

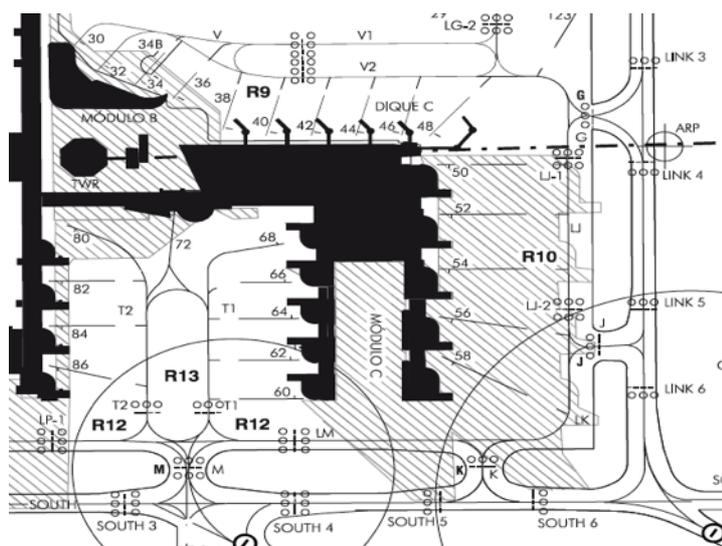
Figura 2-6. Rampas R4 - R8.



Fuente: Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves (PDC).

- **Rampa R9:** Incluye las posiciones del número 30 al 36 y la posición remota 34B, Todas ellas pertenecientes al Módulo B. Comprende también las posiciones de estacionamiento mediante pasarela de la 38 a la 48, éstas situadas en el Dique C y pertenecientes al mismo módulo.
- **Rampa R10:** Únicamente cuenta con tres puestos de estacionamiento mediante pasarelas (50, 52 y 54), conectados al Módulo C y entre las Salidas G y J de la rodadura LINK.
- **Rampa R11:** Cuenta con los puestos de estacionamiento mediante pasarelas número 56 y 58, pertenecientes al Módulo C, y situados entre las Salidas J de la rodadura LINK y la Salida K de la rodadura SOUTH.
- **Rampa R13:** Comprende los puestos de estacionamiento mediante pasarelas del número 60 al 72, pertenecientes éstos al Módulo C, y las posiciones de la 80 a la 86, conectadas mediante pasarelas con el Módulo D.

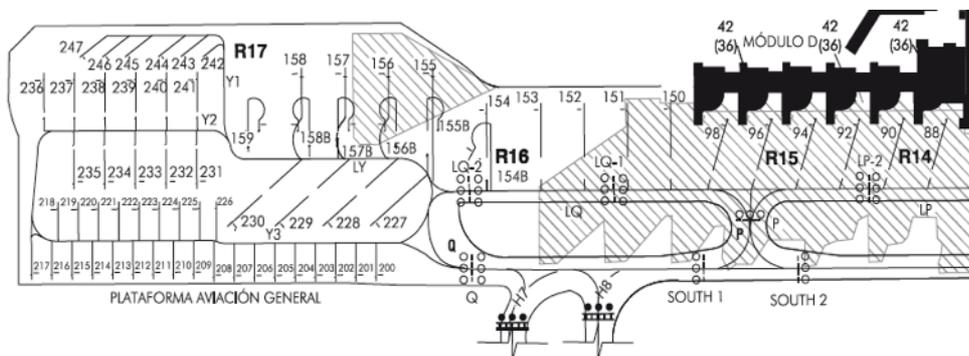
Figura 2-7. Rampas R9 - R13.



Fuente: Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves (PDC).

- **Rampa R14:** Únicamente cuenta con las posiciones 88 y 90, conectadas con el Módulo D mediante pasarelas.
- **Rampa R15:** Contiene las posiciones de estacionamiento mediante pasarelas del número 92 al 98, situadas junto a la Salida P de la rodadura SOUTH, además de los puestos de estacionamiento remoto 150 y 151 justo a continuación del Módulo D.
- **Rampa R16:** Cuenta con los puestos de estacionamiento remoto del número 152 al 154B, situados junto a la salida Q de la rodadura SOUTH.
- **Rampa R17:** Contiene posiciones de estacionamiento remoto que van del número 155 al 159 y las posiciones de estacionamiento de uso exclusivo de Aviación General.

Figura 2-8. Rampas R14 – R17.



Fuente: Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves (PDC).

El número total de posiciones disponibles en Plataforma de aviación comercial es de 123. En la Tabla 2-3, se presenta una relación de las posiciones disponibles en función de la aeronave de máxima envergadura que pueden albergar.

Tabla 2-4. Posiciones de estacionamiento en Plataforma Comercial.

Modelo de aeronave	Envergadura (m)	Número de posiciones	Modelo de aeronave	Envergadura (m)	Número de posiciones
A380-800	79,75	(1)	B737-800	39,5	16 + (2)
AN-124	73,3	(1)	A321	34	20 + (5)
B747-400	64,4	1 + (1)	(30 m)	30	1 + (9)
A330-300	60,3	4 + (5)	ATR-72	27,05	2 + (1)
B747-300	59,64	3	CRJ-900	24,85	1
B757-300	54,47	15 + (8)	ERJ-135	26,33	(3)
B767-300	47,6	7 + (10)	(20 m)	20	(3)
B757-200	47,32	1	AW-139 (Helicóptero)	13,77	(3)

*Fuente: Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves (PDC).*

Las posiciones entre paréntesis están sujetas a incompatibilidades con otros puestos de estacionamiento, siendo necesaria la elección de una configuración de uso en función del tipo de demanda de tráfico. Todas estas consideraciones se encuentran recogidas en el Anexo A.

## 2.2 Descripción del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

En esta sección, se realiza una breve reseña de los edificios que componen Subsistema de Actividades Aeroportuarias, describiendo únicamente aquellas zonas que sean transitadas por pasajeros y que, por tanto, afecten a la capacidad, medida en Pasajeros/hora, del aeródromo.

Debido a la política de no publicación, por parte del operador aeroportuario, de las medidas de las diferentes salas y estancias que componen los Edificios Terminales se ha tomado como referencia de distribución de espacios la escasa cartografía facilitada por Aena junto con las dimensiones proporcionadas por la herramienta Google Maps. A partir de estas dos fuentes, se han realizado una serie de planos con las medidas aproximadas de cada una de las zonas que componen los edificios terminales. Dichos planos se encuentran anexionados a la parte final de este documento.

### 2.2.1 Terminal Principal.

El Terminal Principal de pasajeros actúa como procesador único de todas las salidas y llegadas que se producen en el aeropuerto. El edificio está compuesto por seis plantas, tres de las cuales están destinadas al tránsito de pasajeros, dos contienen maquinaria de maletas y aire acondicionado; y la última cuenta con una zona de oficinas.

En los planos 1A, 2A y 3A se recoge la distribución de espacios de las tres plantas del Terminal Principal por las que circulan pasajeros. Además, se detallan las superficies de las principales zonas necesarias para cálculos posteriores. Seguidamente, se realiza una descripción sucinta de estas plantas:

**Planta 0:**

En ella se procesan todas las llegadas del aeropuerto. Se encuentra a nivel de superficie y cuenta con un total de  $49.715 m^2$ . La distribución de espacios de este nivel está recogida en el Plano 1A. Algunas de las zonas más importantes son:

- **Zona de controles de pasaportes en llegadas:** Dispone de un total de  $447,5 m^2$  y 6 puestos de control de pasaportes.
- **Sala de recogida de equipajes:** Tiene en total  $15.126 m^2$ . Estancia que a su vez está compuesta de la zona de circulación, con  $7.960 m^2$  de superficie; y la zona de hipódromos de equipajes, que cuenta con  $7.166 m^2$ . En total hay 18 hipódromos de recogida de equipajes, 11 de ellos de grandes dimensiones y con capacidad para servir vuelos que operan aeronaves de gran tamaño.
- **Vestíbulo de llegadas:** Cuenta con  $8.090 m^2$ . En esta zona se encuentran oficinas de diferentes turoperadores y áreas de asientos. Tiene conexión con las puertas de acceso al exterior del edificio.

**Planta 2:**

Esta planta está destinada a la recepción de los pasajeros en salidas. Cuenta con una zona de vestíbulo de llegadas, con acceso al exterior, otra destinada a la facturación de equipajes y un acceso al Terminal B. Cuenta con una superficie total de  $41.025 m^2$ . La disposición de las estancias de este nivel se encuentra representada en el Plano 2A. Las zonas más destacadas de esta planta son:

- **Vestíbulo de salidas:** Cuenta con un total  $18.577 m^2$ . Incluye toda la zona de libre acceso exceptuando, la zona comercial y de venta de billetes; y los mostradores de facturación con sus correspondientes zonas de colas.
- **Zona de facturación:** Los mostradores ocupan un total de  $3.900 m^2$ , que junto con las zonas de colas ( $5.850 m^2$ ) hacen un total de  $9.750 m^2$ . Esto supone un máximo de área promedio de cola para cada mostrador de aproximadamente  $30 m^2$ . El número total de mostradores es de 192 organizados en 6 zonas (A, B, C, D, E y F) de dos filas de mostradores cada una, lo que supone un total de 16 mostradores por fila. Además de los mostradores de facturación convencionales, también hay disponibles 6 mostradores de facturación de equipajes pesados.
- **Zona de Control de seguridad y embarque:** Cuenta con una superficie de  $420 m^2$  y 3 puestos de control de acceso. Esta zona de controles de seguridad es la de uso preferente para los pasajeros que embarquen por el Terminal B.

**Planta 4:**

En esta planta se encuentran la mayoría de los controles de seguridad en salidas y una primera zona comercial y de restauración. Cuenta con accesos desde el parking de vehículos y escaleras desde la Planta 2. La superficie total es de  $36.160 m^2$ . La distribución de este nivel se encuentra representada en el Plano 3A. Entre las zonas más destacadas se encuentran:

- **Zona de Control de seguridad y embarque:** Cuenta con un total de  $700 m^2$  de superficie y dispone de un total de 10 puestos de control de seguridad repartidos en dos zonas con 5 puestos y  $350 m^2$  cada una.
- **Zona comercial y de restauración:** Dispone de una superficie total  $3.940 m^2$  distribuidos en locales comerciales y de restauración.

### 2.2.2 Terminal A.

Este terminal se utiliza para operar vuelos con destino países de la Unión Europea no firmantes del Tratado de Schengen (Reino Unido e Irlanda) y conexiones internacionales. Dado que este tipo de vuelos requiere de control de pasaportes, el acceso que conecta el Terminal Principal con el Terminal A cuenta con cuatro puestos de control de documentación.

Debido a la baja demanda de pasajeros de estos destinos durante los meses de temporada baja, el aeropuerto de Palma de Mallorca cierra este terminal entre los meses de noviembre y marzo, operando este tipo de vuelos desde una zona especial habilitada en el Terminal D, la cual dispone de controles de pasaportes.

El Terminal A cuenta con dos niveles: La Planta 1, que es la cuenta con los accesos que conectan con el Terminal Principal y una planta inferior (Planta 0). Ambos niveles sirven tanto a llegadas como a salidas. La distribución de espacios de estas dos plantas se encuentra recogida en los planos 4 y 5. Seguidamente, se enumeran las principales características de las mismas.

**Planta 0:** A este nivel se accede mediante escaleras y ascensores ubicados en la Planta 1. La superficie total disponible es de  $10.550 m^2$ . Entre las zonas a destacar se encuentran:

- **Puertas de embarque:** Dispone de un total de 6 puertas de embarque dispuestas en dos zonas: Una primera con las puertas A01, A04 y A06; y una segunda, con los accesos de embarque A24, A26 y A28.
- **Zona de embarque y espera:** Cuenta con una superficie total de  $4.660 m^2$  con zonas de paso y asientos.

**Planta 1:** Este nivel cuenta con dos accesos de conexión con el Terminal Principal, uno destinado a las salidas y otro a las llegadas. La superficie total disponible es de  $17.440 m^2$ . Cabe destacar las siguientes zonas:

- **Puertas de embarque:** Hay un total de 13 puertas de embarque, de la A08 a la A22.
- **Zona de embarque y espera:** Cuenta con una superficie total de  $12.485 m^2$  con zonas de paso y asientos.
- **Zona comercial y de restauración:** Con un total de  $2.415 m^2$  en locales comerciales.
- **Controles de Pasaportes en Salidas:** El acceso destinado al flujo de salidas cuenta con 4 puestos de control de pasaportes con una zona de cola total de  $360 m^2$ .

### 2.2.3 Terminal B.

Este Terminal es de uso exclusivo de vuelos interinsulares. Cuenta con una planta de acceso (Planta 1) desde el terminal principal, la cual únicamente tiene escaleras y ascensores, y una planta baja (Planta 0) donde se encuentra la zona de embarque. En la Planta 0 se operan tanto llegadas como salidas y cuenta con un total de  $3.900 m^2$  de superficie. La distribución de espacios de la Planta 0 se encuentra representada en el Plano 6. Entre las zonas relevantes se encuentran:

- **Puertas de embarque:** Dispone de un total de 8 puertas de embarque, de la B30 a la B37.
- **Zona de embarque y espera:** Cuenta con una superficie total de  $2.865 m^2$  con zonas de paso y asientos.
- **Zona comercial y de restauración:** Con un total de  $128 m^2$  en locales comerciales y de restauración.

### 2.2.4 Terminal C.

En este terminal se procesan todos los vuelos con origen/destino países firmantes del Tratado de Schengen, esto incluye países miembros de la Unión Europea que forman parte del Tratado y otros que, no siendo parte de la Unión, están adheridos al Tratado (Suiza, Noruega e Islandia). En este terminal, destaca la fuerte presencia de conexiones con Alemania. Dispone de una única Planta de  $41.925 m^2$  de superficie. La distribución de espacios se encuentra representada en el Plano 7.

Entre las zonas más relevantes de este terminal se encuentran:

- **Puertas de embarque:** Este terminal cuenta con un total de 31 puertas de embarque, de la C38 a las C73.
- **Zona de embarque y espera:** Dispone de un total de 28.830  $m^2$  de superficie con zonas de paso y asientos.
- **Zona comercial y de restauración:** Cuenta con 6.540  $m^2$  con diferentes locales de este tipo.

### 2.2.5 Terminal D.

En este terminal se operan vuelos con origen/destino el territorio nacional español, a excepción de los vuelos interinsulares, que se operan por el Terminal B. También dispone de una zona con puestos de control de pasaportes para procesar operaciones No Schengen durante los meses de temporada baja. Cuenta con un total de 18.160  $m^2$  de superficie. La distribución de espacios de este terminal se encuentra representada en el Plano 8. Entre las zonas a destacar en este terminal se encuentran:

- **Puertas de embarque:** Este terminal cuenta con un total de 19 puertas de embarque, de la D80 a las D99.
- **Zona de embarque y espera:** Dispone de un total de 12.275  $m^2$  de superficie.
- **Zona comercial y de restauración:** Cuenta con 1.705  $m^2$  de locales de este tipo.

Como se ha comentado anteriormente, este terminal cuenta con cuatro puestos de control de pasaportes (con 220  $m^2$  disponibles) para operar vuelos No Schengen durante el cierre del Terminal A entre los meses de noviembre y marzo. Hay un total de seis puertas detrás de la zona de control de pasaportes, las que van de la D94 a la D99.



# 3 MODELOS DE DEMANDA EMPLEADOS EN LOS CÁLCULOS.

---

## 3.1 Modelos de demanda utilizados en Planes Directores.

Históricamente, Aena, ha establecido la planificación de las instalaciones tomando como referencia el número de *aeronaves hora punta*, de aquí en adelante *AHP*; y al número de *pasajeros hora punta*, de aquí en adelante *PHP*. Ambas magnitudes se definen como la hora con mayor número de movimientos a lo largo de un año, de aeronaves y pasajeros, respectivamente. A partir de los parámetros anteriores y con el objetivo de no sobredimensionar las instalaciones, Aena define magnitudes de referencia para el dimensionamiento: las *aeronaves hora diseño*, de aquí en adelante *AHD*; y los *pasajeros hora diseño*, de aquí en adelante *PHD*. Adoptando estos parámetros de diseño para evaluar y diseñar las instalaciones se evita tomar magnitudes propias de periodos punta como referencia.

A continuación, se va a realizar una breve descripción de los pasos seguidos por el operador aeroportuario para establecer el valor de los parámetros de diseño *AHD* y *PHD*.

### 3.1.1 Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

Dada la necesidad de prestar servicio a todas las aeronaves que operan en el aeropuerto durante un periodo de tiempo determinado, se asume que el parámetro *aeronaves hora diseño (AHD)* vendrá dado por el número máximo de operaciones por hora registrado en el año considerado (*AHP*). De manera análoga, se obtienen los parámetros *aeronave hora diseño en salidas (AHD sal)* y *aeronave hora diseño en llegadas (AHD lleg)* como los valores punta que se obtienen a lo largo de un año en salidas y llegadas, respectivamente.

Un aspecto importante a destacar es que para la selección de la hora con mayor número de operaciones se descartan valores que no describan el funcionamiento normal del aeropuerto. En otras palabras, no se consideran periodos punta en operaciones que puedan darse por circunstancias ajenas al tráfico comercial.

### 3.1.2 Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

Al contrario que en la subsección anterior y tal como se comentaba al principio de la sección, para el dimensionamiento y el análisis del Subsistema de Actividades Aeroportuarias, con objeto de no sobredimensionar las infraestructuras para un valor que se produzca únicamente de forma puntual durante el año, no se emplea el número de *pasajeros hora punta (PHP)*, si no que se define un valor de *pasajeros hora de diseño (PHD)* en base a unos criterios establecidos por el operador aeroportuario.

Para obtener dicha hora de diseño, se ordenan de manera descendente las horas punta registradas durante el año considerado y se fija un mínimo de horas durante las cuales; las instalaciones son capaces de hacer frente a la demanda de pasajeros de manera solvente. Esto es lo que se conoce como Nivel de calidad de diseño (*NCD*), habitualmente establecido en un 97,75%, es decir, la capacidad de las instalaciones únicamente será superada un 2,25% de las horas del año. Como criterio límite, se toma la hora 30 más ocupada del año, o lo que es lo mismo, si llegada esa hora no se ha obtenido el 97,75% de los pasajeros punta durante el año considerado, se toma la hora 30 como referencia.

Con objeto de analizar los flujos de llegadas y salidas de manera independiente, se establece el concepto de *pasajeros hora diseño en salidas (PHD sal)* y *pasajeros hora diseño en llegadas (PHD lleg)*, obtenidos con los mismos criterios de nivel de calidad de diseño (*NCD*) que los *pasajeros hora diseño (PHD)*, a partir de los valores de los pasajeros en salidas y llegadas para las horas punta del año.

## 3.2 Modelos de demanda para la temporada alta.

Los parámetros de diseño de la sección anterior requieren de la necesidad de conocer los datos de todas las horas punta del tráfico anual de aeronaves y pasajeros. Dada la imposibilidad de obtener dichos valores, en esta sección, se detallan los modelos de demanda que se han escogido para realizar los cálculos de capacidad de las instalaciones, así como para caracterizar la temporada alta de tráfico del aeropuerto; la cual tiene lugar entre los meses de abril y septiembre.

Estos últimos conceptos -capacidad de las instalaciones y tráfico en temporada alta- están relacionados entre sí, puesto que las instalaciones se dimensionan y analizan con registros de tráfico de la época con mayor afluencia de pasajeros y aeronaves.

### 3.2.1 Tráfico de Aeronaves.

En esta subsección, se detallan los procedimientos realizados para caracterizar la demanda de aeronaves durante la temporada alta. A diferencia del operador aeroportuario (3.1.1), al no disponer de datos de demanda real para todas las horas del año, en lugar de utilizar la hora punta del año para obtener los parámetros *AHD*, *AHD Ileg* y *AHD sal*; se ha tomado como referencia la hora de mayor afluencia de aeronaves de entre las registradas en un estudio de tráfico de seis días pertenecientes a diferentes épocas del año 2015. Dado que los valores punta de tráfico de aeronaves deben producirse a lo largo de la primera quincena de agosto, es muy probable que las horas de mayor afluencia de aeronaves del día 15/08/2015, recogidas en el estudio, se parezcan a las horas punta de tráfico para todo el año.

Para la elaboración del citado estudio de tráfico, se han recogido estadísticas de vuelos de todas las horas del día en seis fechas distintas, tres en temporada alta y tres en temporada baja. Los datos han sido obtenidos de la aplicación Infovuelos de Aena. El estudio completo se encuentra expuesto en el Anexo B. En la Tabla 3-1, se presenta una relación de todos los días con datos disponibles, las horas punta en el número de operaciones y los movimientos que se producen.

Tabla 3-1. Estudio de tráfico de aeronaves comerciales para el año 2015.

Día	Temporada	Número de despegues	Número de aterrizajes	Hora punta despegues (ops/hora)	Hora punta aterrizajes (ops/hora)	Hora punta de operaciones (ops/hora)
24/03/2015	baja	89	86	10:00 (11)	13:00 (12)	10:00 (17)
26/06/2015	alta	392	347	20:00 (32)	9:00 (30)	9:00 (60)
21/07/2015	alta	341	332	9:00 (31)	8:00 (28)	9:00 (58)
15/08/2015	alta	398	402	10:00 (32)	8:00 (35)	8:00 (60)
26/11/2015	baja	90	87	14:00 (9)	13:00 (13)	19:00 (16)
27/12/2015	baja	137	139	14:00 (18)	13:00 (18)	19:00 (28)

Fuente: Infovuelos.

Para la elaboración del Plan Director vigente en el aeropuerto de Palma de Mallorca, se consideró el sábado 15 de agosto de 1999 como el día punta en operaciones comerciales. En la pequeña muestra recopilada en este trabajo para el análisis de tráfico, al igual que en el Plan Director, el 15 de agosto presenta los mayores valores de tráfico de entre todos los estudiados. Sus valores, serán los seleccionados para caracterizar la demanda de aeronaves en temporada alta.

Tomando todos los valores de tráfico de aeronaves obtenido para el día 15/08/2015, se obtienen los siguientes valores de *AHD*, *AHD lleg* y *AHD sal*:

$$AHD = 60 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-1)$$

$$AHD \text{ lleg} = 32 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-2)$$

$$AHD \text{ sal} = 35 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-3)$$

### 3.2.2 Tráfico de Pasajeros.

Como se comentó al principio del capítulo, con objeto de no sobredimensionar las instalaciones, el operador aeroportuario realiza los cálculos de las instalaciones de pasajeros con el objetivo de dar cobertura de capacidad el 97,75% de horas del año o con el criterio de la demanda de pasajeros de la hora 30 de mayor tráfico, escogiéndose la opción que implique un mayor número de pasajeros por hora.

La elección de estos valores de demanda de pasajeros para el diseño de las instalaciones, supone conocer el tráfico de todas las horas punta del año. Dada la imposibilidad de tener datos pormenorizados de todas las horas punta, se ha optado por seleccionar como criterio de diseño aceptable para las instalaciones el segundo día de mayor afluencia de aeronaves del estudio de tráfico expuesto en el Anexo B. Se continua el presente análisis bajo la hipótesis de que el día seleccionado es ciertamente característico del periodo de tiempo estudiado.

Tal como se aprecia en la Tabla 3-1, el segundo día de mayor tráfico en términos de operaciones totales es el 26/06/2015. Para estimar el número de pasajeros por hora en el flujo de salidas, se ha empleado una curva acumulativa de llegadas al terminal de pasajeros de un mismo vuelo, esto es, el porcentaje de pasajeros de un mismo vuelo que se encuentran en el edificio terminal en cada instante anterior a la salida de éste.

Para estimar el número de pasajeros por hora en el flujo de llegadas, se ha procedido de manera análoga que en el flujo de salidas mediante el uso de una curva acumulativa de las salidas de pasajeros de un mismo vuelo que llega al aeropuerto.

Teniendo en cuenta que se ha tomado el tipo de avión operado por cada vuelo, se asignará un número de pasajeros por aeronave multiplicando la capacidad máxima de cada modelo de avión por un factor de ocupación. El ratio de ocupación tomado será del 85% de la capacidad máxima de la aeronave. La elección de dicho valor está justificada por el hecho de que la mayoría de las aerolíneas que operan en Palma de Mallorca son de bajo coste, las cuales trabajan con estándares de ocupación muy altos. En la Tabla 3-2 se muestran algunos de los modelos con mayor número de operaciones en Palma de Mallorca, su capacidad máxima y la estimación de pasajeros con el 85% de la capacidad de asientos:

Tabla 3-2. Estimación de pasajeros por aeronave.

Modelo de aeronave	Capacidad máxima	Estimación de pasajeros al 85% de la capacidad
A-319	124	105
A-320	150	128
A-321	185	157
B-737-800	190	162
B-757-200	228	194
ATR-72	68	58

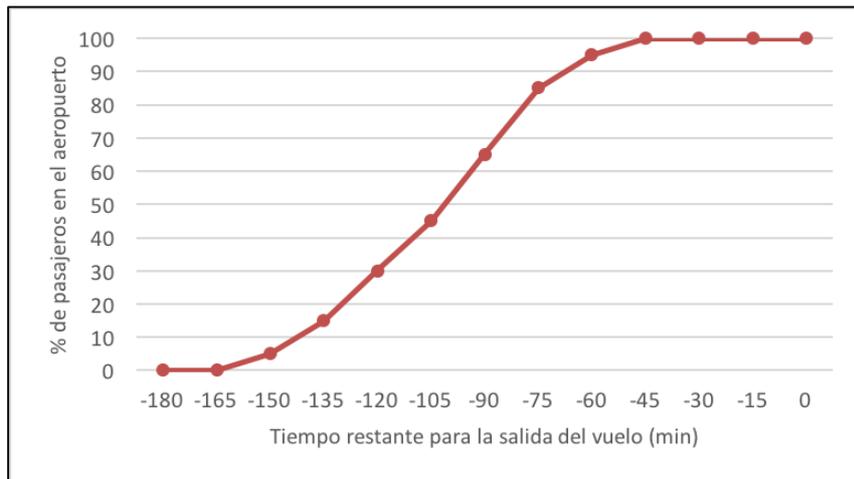
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.1 Estimación de los pasajeros hora diseño en salidas (PHD sal).

Para hacer un balance del número de pasajeros en salidas que se encuentran en el aeropuerto en cada momento, se recurre a una curva de acumulación de pasajeros en los Edificios Terminales, esto es, el porcentaje de pasajeros de un mismo vuelo que han llegado al aeropuerto con una determinada antelación antes del despegue.

En la Figura 3-1, se representa el modelo de comportamiento utilizado para las salidas de pasajeros. En el Eje de Ordenadas se encuentra el porcentaje de pasajeros que van embarcados en un mismo vuelo y en el Eje de Abscisas se establece el tiempo restante para la salida del vuelo. Como hipótesis de partida, se tomará que, a 45 minutos de la salida del vuelo, todos los pasajeros están dentro de los Edificios Terminales, dado que en ese instante se clausura el mostrador de facturación.

Figura 3-1. Curva acumulativa de pasajeros en salidas.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta este modelo de llegadas de pasajeros al aeropuerto y el factor de ocupación de cada aeronave tipo que operan el día tipo en Palma de Mallorca (Tabla 3-2), se ha elaborado una tabla de Excel donde se recogen las estimaciones de pasajeros en salidas en el aeropuerto, cada cuarto de hora, desde las 6:00 hasta las 23:00 horas. Todos los procedimientos, cálculos y resultados de las estimaciones de pasajeros por hora se encuentran expuestos en el Anexo C. En la Tabla 3-3, se presentan los resultados obtenidos, para el flujo de salidas, en las diferentes horas del día tipo seleccionado para la temporada alta (26/06/2015):

Tabla 3-3. Estimación de pasajeros en salidas por horas (26/06/2015).

Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)	Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)
6:00	2.316	15:00	3.894
7:00	4.514	16:00	3.760
8:00	7.143	17:00	4.500
9:00	7.424	18:00	5.749
10:00	6.796	19:00	6.731
11:00	5.487	20:00	7.793
12:00	4.544	21:00	5.776
13:00	4.392	22:00	4.368
14:00	4.964	23:00	2.875

El pico de pasajeros se produce alrededor de las 20:00 horas. En la Tabla 3-4, se desglosa la estimación del número de pasajeros en los edificios terminales cada cuarto de hora desde las 19:00 hasta las 20:00 horas.

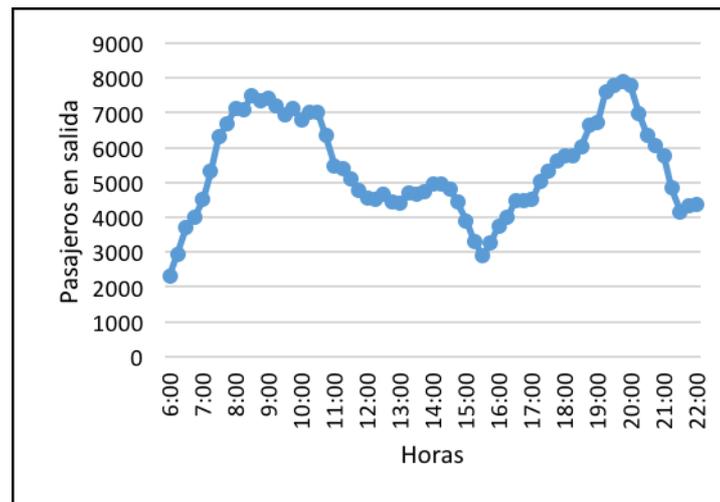
Tabla 3-4. Estimación de pasajeros en salidas entre las 19:00 y las 20:00 horas (26/06/15).

Hora	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
Pasajeros en Salida	6.731	7.610	7.777	7.895	7.793

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-2, se muestra la distribución de pasajeros en salida a lo largo del día tipo:

Figura 3-2. Distribución del número de pasajeros en salidas (26/06/2015).



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico, los picos de mayor intensidad de tráfico se producen entre las 8:00 y las 10:00 de la mañana y, como se ha comentado anteriormente, entre las 19:00 y las 20:00 horas. El valor finalmente empleado para caracterizar la demanda de pasajeros en salidas será:

$$PHD\ sal = 7.895\ pasajeros/hora \quad (3-4)$$

A efectos de dimensionamiento y análisis de las instalaciones, será necesario caracterizar la demanda de pasajeros en función del segmento de tráfico al que pertenecen, esto es, según sean pasajeros Schengen, No Schengen, Nacionales e Interinsulares. Esto es debido a que hay partes de las instalaciones destinadas a uso exclusivo de un segmento de tráfico. En la Tabla 3-5, aparecen los *PHD* en salidas por segmentos. El método utilizado para estimar estas cantidades es idéntico al empleado por el operador aeroportuario, el cual consiste en multiplicar el valor absoluto de *PHD sal* por el porcentaje anual de tráfico en salidas de cada segmento.

Tabla 3-5. *PHD sal* por segmentos. Temporada alta.

Segmentos	%	Unidades	Pasajeros en salidas (Pax/h)
Schengen	55%	PHD sal (Sch)	4.342
No Schengen	21,2%	PHD sal (No Sch)	1.674
Nacional	20,9%	PHD sal (N)	1.650
Interinsular	2,9%	PHD sal (I)	229
Total	100%	PHD sal	7.895

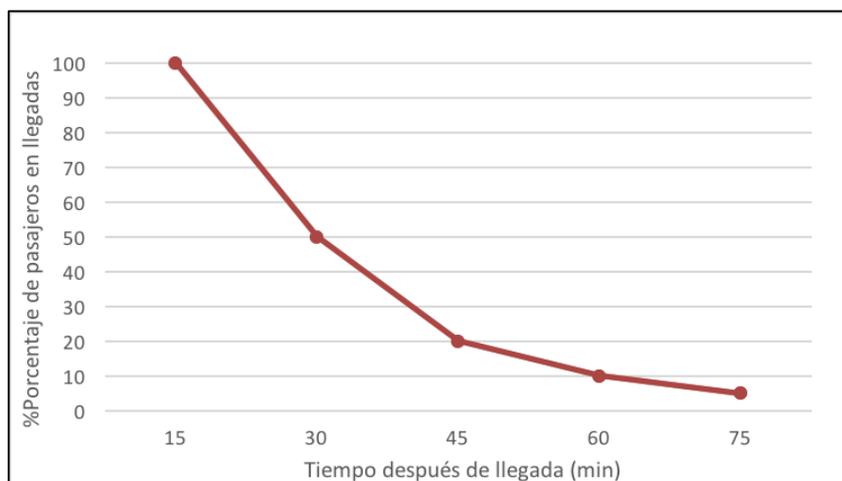
Fuente: Aena y Elaboración propia.

### 3.2.2.2 Estimación de los pasajeros hora diseño en llegadas (PHD lleg).

Para obtener una aproximación del número de pasajeros en llegadas, se va a proceder del mismo modo que en el apartado anterior, estableciendo una distribución temporal de porcentaje de pasajeros de un mismo vuelo que abandonan las instalaciones del aeropuerto en cada instante después del aterrizaje.

Como hipótesis de partida, se propone que durante los primeros 15 minutos desde la llegada del vuelo, ninguno de los pasajeros abandonará las instalaciones del aeropuerto y que, pasada una hora desde el aterrizaje, quedará un porcentaje residual de pasajeros por reclamación de equipajes perdidos u otras situaciones. En la Figura 5-3 se muestra el modelo de abandono de las instalaciones seleccionado.

Figura 3-3. Curva acumulativa de pasajeros en llegadas.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3-6, se presentan los resultados obtenidos, para el flujo de llegadas, en las diferentes horas del día tipo seleccionado para la temporada estival (26/06/2015):

Tabla 3-6. Estimación de pasajeros en llegadas por horas (26/06/2015).

Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)	Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)
6:00	128	15:00	1.082
7:00	170	16:00	853
8:00	2.322	17:00	1.310
9:00	2.624	18:00	905
<b>10:00</b>	<b>3.008</b>	19:00	2.637
11:00	2.855	20:00	2.693
12:00	1.912	21:00	1.554
13:00	1.382	22:00	1.349
14:00	2.670	23:00	1.040

Fuente: Elaboración propia.

El número de pasajeros por hora en llegadas es bastante inferior a los de salidas debido al abandono casi inmediato de las instalaciones por parte de los pasajeros que aterrizan el aeropuerto, mientras que, en las salidas, conviven pasajeros de diferentes vuelos durante más tiempo.

En la Tabla 3-7, se desglosa la estimación del número de pasajeros en llegadas cada cuarto de hora entre las 8:00 y las 9:00 horas.

Tabla 3-7. Estimación de pasajeros en llegadas entre las 8:00 y las 9:00 horas (26/06/2015).

Hora	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00
Pasajeros en llegadas	2.322	3.284	3.016	2.310	2.624

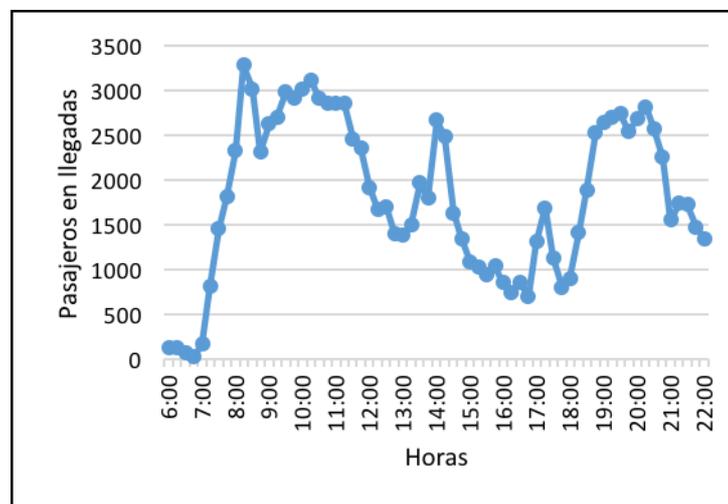
Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión de los datos obtenidos anteriormente, el parámetro PHD lleg se estimará como:

$$PHD \text{ lleg} = 3.284 \text{ pasajeros/hora} \quad (3-5)$$

En la Figura 3-4, se representa la distribución de llegadas de pasajeros en las diferentes horas del día y se aprecian los tres periodos de mayor afluencia del día: entre las 8:00 y las 11:00 horas, en el entorno de las 14:00 horas y entre las 19:00 y las 20:00 horas.

Figura 3-4. Distribución del número de pasajeros en llegadas (26/06/2015).



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el apartado anterior, también será necesario caracterizar la demanda de pasajeros en función del segmento de tráfico al que pertenecen, esto es, según sean pasajeros Schengen, No Schengen, Nacionales e Interinsulares. En la Tabla 3-8, aparecen los PHD en llegadas por segmentos. El método utilizado para estimar estas cantidades es análogo al usado por el operador aeroportuario, el cual consiste en multiplicar el valor absoluto de PHD lleg por el porcentaje anual de tráfico en llegadas de cada segmento.

Tabla 3-8. PHD lleg por segmentos. Temporada alta.

Segmentos	%	Unidades	Pasajeros en llegadas (Pax/h)
Schengen	55%	PHD lleg (Sch)	1.806
No Schengen	21,2%	PHD lleg (No Sch)	696
Nacional	20,9%	PHD lleg (N)	687
Interinsular	2,9%	PHD lleg (I)	95
Total	100%	PHD lleg	3.284

Fuente: Aena y Elaboración Propia.

### 3.3 Modelos de demanda para la temporada baja.

En esta sección, se detallan los modelos de demanda que se han escogido para caracterizar la temporada baja de tráfico del aeropuerto, la cual se produce entre octubre y marzo. Los resultados obtenidos serán usados posteriormente para realizar estudios de instalaciones en la época del año con menor tráfico en el aeropuerto. Los procedimientos seguidos serán análogos a los de la sección anterior.

#### 3.3.1 Tráfico de Aeronaves.

En la sección anterior (3.2), se caracterizaba la demanda de aeronaves de la temporada alta a través de los valores de tráfico de una pequeña muestra de datos observados en dicho periodo, recogidos en el Anexo B. Se definía la demanda de diseño como la correspondiente a la de la hora punta, cuyo valor real no es accesible públicamente, con la de mayor número de operaciones de entre las recogidas en la muestra. Para caracterizar la temporada baja, se ha optado por considerar los valores punta de tráfico de aeronaves registrados durante los días de esta época presentes en el estudio del Anexo B (24/03, 26/11 y 27/12).

En la Tabla 3-1, se observa que la mayor afluencia de aeronaves durante la temporada baja se produce el día 27/12/2015, durante el cual se producen:

- 18 despegues a las 14:00 horas.
- 18 aterrizajes a las 13:00 horas.
- 28 operaciones a las 19:00 horas.

Aplicando el razonamiento de que los valores punta de toda la temporada sean los de diseño. Los parámetros *AHD*, *AHD lleg* y *AHD sal*, serán:

$$AHD = 28 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-6)$$

$$AHD \text{ lleg} = 18 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-7)$$

$$AHD \text{ sal} = 18 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-8)$$

Más adelante, en los cálculos de capacidad y dimensionamiento de instalaciones, será necesario diferenciar entre aeronaves con origen No Schengen y el resto de conexiones. El método utilizado por el operador aeroportuario para agrupar las *AHD lleg* por segmentos de tráfico consiste en multiplicar el valor absoluto de *AHD lleg* por el porcentaje anual de tráfico en salidas de aeronaves No Schengen. Para el año 2015, un 18,6% de las aeronaves que operaron en el aeropuerto de Palma de Mallorca tenían como origen algún país No Schengen.

$$AHD \text{ lleg} (\text{No Sch}) = AHD \text{ lleg} \cdot \% \text{No Sch} = 4 \text{ aeronaves/hora} \quad (3-9)$$

#### 3.3.2 Tráfico de Pasajeros.

En la sección anterior (3.2), se comentaba la imposibilidad de disponer de datos de todas las horas punta del año para poder caracterizar la demanda de pasajeros de la misma manera que el operador aeroportuario. Como consecuencia de esto, se establecía como nivel de demanda característico de la temporada alta los datos de pasajeros del segundo día de mayor tráfico de la muestra de datos del Anexo B.

Para caracterizar la demanda de pasajeros durante la temporada baja, en algunos Planes Directores, como el del aeropuerto de Palma de Mallorca, se toma como referencia la segunda semana de mayor tráfico de la temporada invernal. Al igual que en el caso de la temporada alta, mencionado en el párrafo anterior, al no disponer de datos pormenorizados de tráfico, se ha seleccionado el día 27/12/2015 como tipo para la temporada baja. Dicha fecha, es la de mayor tráfico de entre las tres recogidas de la temporada baja en la muestra del Anexo B. Mediante la selección de los datos de tráfico de pasajeros del día 27/12 se descartan los valores excesivamente bajos de los días 24/03 y 26/11.

Al igual que en el caso de la temporada estival, una aproximación más real a la demanda de la temporada baja

requeriría de una extracción de datos más amplia o el acceso a datos oficiales con titularidad de Aena. Se continua el presente análisis bajo la hipótesis de que el día seleccionado es ciertamente característico del periodo de tiempo estudiado.

### 3.3.2.1 Estimación de los pasajeros hora diseño en salidas (PHD sal).

Para estimar la demanda de pasajeros en salidas durante la temporada baja, se va a proceder de manera idéntica que en la caracterización de la temporada alta (véase Apartado 3.2.2.1). El modelo de llegadas de pasajeros de un mismo vuelo al aeropuerto será el mismo que se ha empleado para caracterizar los pasajeros por hora en temporada alta (Curva acumulativa definida por la Figura 3-1).

Dado que la mayoría de vuelos operados durante todo el año en el aeropuerto de Palma de Mallorca pertenecen a aerolíneas de bajo coste, se ha vuelto a realizar la hipótesis de que las aeronaves van al 85% de su capacidad máxima. A partir del modelo de llegadas de pasajeros al aeropuerto y el factor de ocupación de las aeronaves se ha elaborado una tabla de Excel donde se recogen las estimaciones de pasajeros en salidas en el aeropuerto, cada cuarto de hora, desde las 6:00 hasta las 22:00 horas. Todos los procedimientos, cálculos y resultados de las estimaciones de pasajeros por hora se encuentran expuestos en el Anexo C.

En la Tabla 3-7 aparecen las estimaciones de los pasajeros por hora en salidas para el 27/12/2015, resultado de los cálculos realizados en el Anexo C.

Tabla 3-9. Estimación de pasajeros en salidas por horas (27/12/2015).

Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)	Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)
6:00	724	15:00	846
7:00	774	16:00	1.234
8:00	1.170	17:00	1.960
9:00	1.355	18:00	1.996
10:00	1.831	19:00	3.251
11:00	1.808	20:00	2.901
12:00	1.598	21:00	1.144
13:00	2.213	22:00	485
14:00	2.551		

Fuente: Elaboración propia.

El pico de pasajeros se produce alrededor de las 19:00 horas. En la Tabla 3-4, se desglosa la estimación del número de pasajeros en los edificios terminales cada cuarto de hora desde las 19:00 hasta las 20:00 horas.

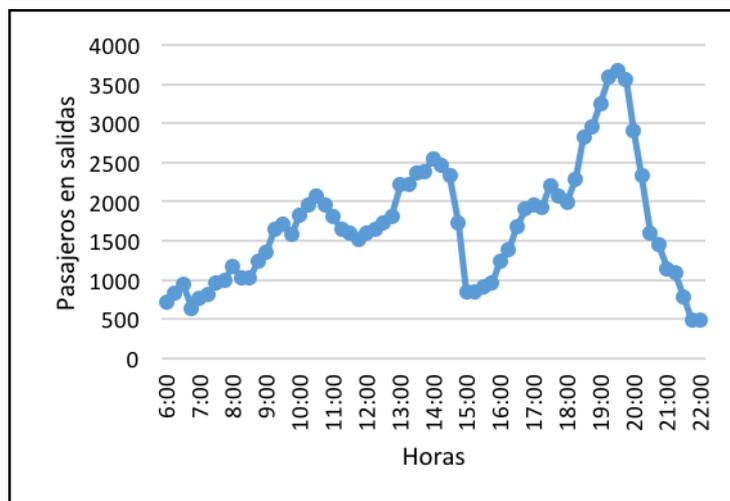
Tabla 3-10. Estimación de pasajeros en salidas entre las 19:00 y las 20:00 horas (27/12/2015).

Hora	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00
Pasajeros en Salida	3.251	3.594	3.675	3.566	2.901

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-5, se muestra la distribución de pasajeros en salida a lo largo del día tipo. Como se puede observar, el pico de mayor intensidad de tráfico se produce entre las 19:00 y las 20:00 horas.

Figura 3-5. Distribución del número de pasajeros en salidas (27/12/2015).



Fuente: Elaboración propia.

El valor finalmente empleado para caracterizar la demanda de pasajeros en salidas en temporada baja será:

$$PHD\ sal = 3.675\ pasajeros/hora \quad (3-10)$$

Al igual que en el Apartado 3.2.2.1, se va realizar una estimación de los PHD sal por segmentos. En la Tabla 3-11 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3-11. PHD sal por segmentos. Temporada baja.

Segmentos	%	Unidades	Pasajeros en salidas
Schengen	55%	PHD sal (Sch)	2.021
No Schengen	21,2%	PHD sal (No Sch)	779
Nacional	20,9%	PHD sal (N)	769
Interinsular	2,9%	PHD sal (I)	106
Total	100%	PHD sal	3.675

Fuente: Aena y Elaboración propia.

### 3.3.2.2 Estimación de los pasajeros hora diseño en llegadas (PHD lleg).

Para estimar la demanda de pasajeros en llegadas durante la temporada baja, se va a proceder de manera idéntica que en la caracterización de la temporada estival (véase Apartado 3.2.2.2). El modelo de abandono de las instalaciones de los pasajeros de un mismo vuelo será análogo al definido por la curva acumulativa de la Figura 3-3.

Nuevamente, dada la fuerte presencia de compañías de bajo coste, se establecerá la hipótesis de que las aeronaves van ocupadas a un 85% de su capacidad máxima. A partir del modelo de abandono de las instalaciones de los pasajeros de un mismo vuelo y el factor de ocupación se ha elaborado una tabla de Excel donde se recogen las estimaciones de pasajeros en llegadas en el aeropuerto, cada cuarto de hora, desde las 8:00 hasta las 23:00 horas. Todos los procedimientos, cálculos y resultados de las estimaciones de pasajeros por hora se encuentran expuestos en el Anexo C. En la Tabla 3-12 aparecen las estimaciones de los pasajeros por hora en llegadas para el 27/12/2015.

Tabla 3-12. Estimación de pasajeros en llegadas por horas (27/12/2015).

Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)	Hora	Pasajeros en Salida (Pax/h)
8:00	169	16:00	240
9:00	270	17:00	879
10:00	657	18:00	747
11:00	716	19:00	1919
12:00	260	20:00	783
13:00	490	21:00	743
14:00	1.571	22:00	538
15:00	693	23:00	560

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha comentado con anterioridad, el número de pasajeros por hora en llegadas es bastante inferior a los de salidas debido al abandono inmediato de las instalaciones por parte de los pasajeros que aterrizan el aeropuerto. En la Tabla 3-13, se desglosa la estimación del número de pasajeros en llegadas cada cuarto de hora entre las 18:30 y las 19:30 horas.

Tabla 3-13. Estimación de pasajeros en llegadas entre las 19:00 y las 20:00 horas (27/12/2015).

Hora	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30
Pasajeros en llegadas	1.110	1483	1919	1450	1261

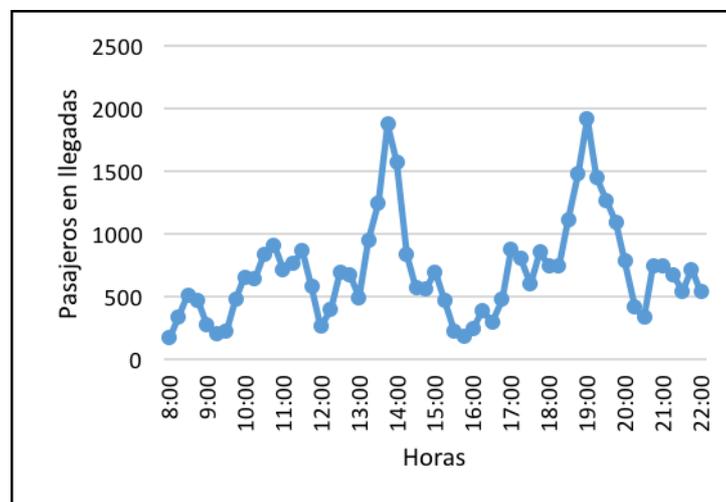
Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión de los datos obtenidos anteriormente, el parámetro PHD lleg se estimará como:

$$PHD \text{ lleg} = 1.919 \text{ pasajeros/hora} \quad (3-11)$$

En la Figura 3-6, se representa la distribución de las llegadas en las diferentes horas del día. Se aprecian dos periodos con mayor afluencia de tráfico: entre las 13:00 y las 14:00 horas y entre las 18:00 y las 20:00 horas.

Figura 3-6. Distribución del número de pasajeros en llegadas (27/12/2015).



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el Apartado 3.2.2.2, se va realizar una estimación de los PHD sal por segmentos. En la Tabla 3-14 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3-14. PHD lleg por segmentos. Temporada baja.

Segmentos	%	Unidades	Pasajeros en llegadas
Schengen	55%	PHD lleg (Sch)	1055
No Schengen	21,2%	PHD lleg (No Sch)	407
Nacional	20,9%	PHD lleg (N)	401
Interinsular	2,9%	PHD lleg (I)	56
Total	100%	PHD lleg	1.919

*Fuente: Aena y Elaboración Propia.*

# 4 CAPACIDAD DEL SUBSISTEMA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES EN EL ESTADO ACTUAL.

---

En este capítulo, se va a estudiar la capacidad operacional del Sistema de Pistas y de la Plataforma de estacionamiento de aeronaves. En el primer caso, se tendrá en cuenta la influencia de las demoras en el número de despegues y aterrizajes que se pueden operar. La capacidad de la Plataforma dependerá del número de puestos existentes y las dimensiones de éstos; puesto que no es físicamente posible destinar menor espacio de estacionamiento por aeronave en caso de querer atender una demanda superior a la Capacidad de Saturación de la Plataforma.

## 4.1 Parámetros que caracterizan la demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

En el capítulo anterior, se define la demanda del subsistema de movimiento de aeronaves mediante tres parámetros: *Aeronaves hora diseño* (AHD), *Aeronaves hora diseño en llegadas* (AHD lleg) y *Aeronaves hora diseño en salidas* (AHD sal). Éstos a su vez, son equivalentes a los valores de punta de operaciones por hora obtenidos en los datos de estadísticos a lo largo de un año.

En este capítulo se emplearán los parámetros AHD y AHD lleg/sal en términos de capacidad, es decir, estarán definidos como el número máximo de operaciones por hora para el cual han sido diseñadas las instalaciones.

En el caso del sistema de pistas, la magnitud AHD estará asociada a la Capacidad Práctica de las mismas, definida por diversos autores como el número de aeronaves atendidas en una hora con una demora media inferior a diez minutos.

En la Plataforma de estacionamiento de aeronaves, la magnitud AHD está relacionada con la tipología, número de puestos disponibles y con el tiempo de estancia esperado de cada aeronave en su posición de aparcamiento.

## 4.2 Capacidad del Sistema de Pistas.

Tal como se expuso en la descripción del Sistema de Pistas (2.1.1), el aeropuerto de Palma de Mallorca dispone de dos pistas paralelas separadas 1500 metros entre sí, lo que le habilita para realizar operaciones independientes. De esta forma, el análisis de capacidad se efectuará considerando las pistas de manera individual. Así mismo, la configuración de pistas analizada será la usada de manera preferente por el aeropuerto, esto es, operaciones segregadas con todos los aterrizajes por la Pista 24L y todos los despegues por la Pista 24R.

El procedimiento habitual en los estudios de capacidad de pista es la simulación mediante software especializado. El programa usado por la FAA norteamericana y Aena para estudiar posibles conflictos, retrasos y comportamientos de la pista es el SIMMOD. Aunque éste proporciona un modelo bastante aproximado de la capacidad real de la pista, requiere de gran cantidad de simulaciones, numerosos datos y personal experimentado en su manejo. Ante la imposibilidad de contar con dicho software, se ha optado por obtener la capacidad del Sistema de Pistas mediante métodos analíticos.

Para realizar un análisis de capacidad del Sistema de Pistas, en primer lugar, hay que definir dos conceptos de capacidad diferentes:

- **La Capacidad de Saturación.** Definida como el número de Operaciones/Hora que, sirviendo bajo condiciones de demanda continuada de servicio y sin establecer restricciones derivadas de los niveles de demora alcanzados, una pista es capaz de atender.
- **La Capacidad Práctica.** Definida como el número de Operaciones/Hora, que sirviendo bajo condiciones de demanda continuada de servicio y con la imposición de un tiempo límite de demora por operación, una pista es capaz de atender.

En las siguientes subsecciones, se realiza un breve resumen de la metodología empleada en los cálculos y de los resultados obtenidos. Dada la gran extensión de páginas ocupada por las hipótesis de partida y el desarrollo de los cálculos que dan lugar a la capacidad del Sistema de Pistas, se ha optado por desarrollar estos dos puntos en el Anexo D.

#### 4.2.1 Metodología empleada en los cálculos de la Capacidad de Saturación.

La Capacidad de Saturación del Sistema de Pistas será estimada mediante el método definido por Horonjeff, R. et al, (2010) y Ashford, N. J, S. A. y P. H. (2011); entre otros. La técnica propuesta por estos autores cuando no se dispone de programas de simulación está basada en el concepto de Espacio-Tiempo, el cual, permite valorar el número máximo de Operaciones en una pista con una serie de datos como la separación entre aeronaves, las velocidades de aproximación y los tiempos de ocupación en pista.

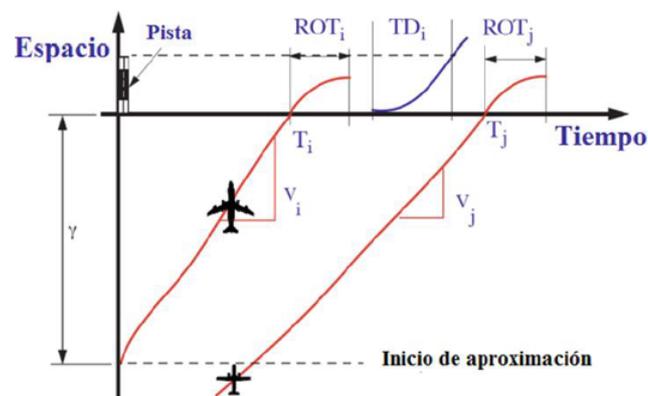
En función de la operatividad de las pistas, hay que realizar los siguientes cálculos:

- En pistas realizando **únicamente operaciones de aterrizaje**, se estima el tiempo medio esperado por operación de aterrizaje y se calcula la capacidad de la misma como la inversa de ese tiempo esperado.
- En pistas realizando **únicamente operaciones de despegue**, se estima el tiempo medio esperado por operación de despegue y se calcula la capacidad de la misma como la inversa de ese tiempo esperado.
- En pistas realizando **operaciones mixtas**, en primer lugar, se realiza el cálculo de capacidad de la pista como si operase únicamente aterrizajes y, a continuación, se estudian los posibles huecos entre llegadas para poder realizar despegues.

##### 4.2.1.1 Capacidad en operaciones de sólo aterrizaje.

Como punto de partida, se toma la hipótesis de que aeronaves con distintas velocidades se encuentran en fila y en fase de aproximación a partir de un cierto punto. La operación de aterrizaje de dos aviones que se encuentran al mismo tiempo siguiendo la senda de aproximación está caracterizada por la distancia que deben mantener entre sí y la velocidad de cada uno ellos. En la Figura 4-1, se representa un Diagrama Espacio-Tiempo con las principales magnitudes que se precisan para el análisis.

Figura 4-1. Diagrama Espacio – Tiempo de dos aeronaves en fase de aproximación.



Fuente: Millán Muñoz, R. (2014).

Siendo:

- $T_i$  y  $T_j$  Los tiempos de aterrizaje de una aeronave y la siguiente que está en fase de aproximación.  
 $v_i$  y  $v_j$  Velocidad de aproximación de una aeronave y la siguiente que entra en el sistema.  
 $\gamma$  Distancia establecida por el ATC para la aproximación final.  
 $ROT_{ij}$  Tiempos de ocupación en pista de una aeronave que aterriza y la siguiente que está en fase de aproximación.  
 $TD_i$  Tiempo disponible para introducir un despegue en caso de operaciones mixtas.

En función de la velocidad de cada una de las dos aeronaves que inician la fase de aproximación, se pueden definir las siguientes situaciones:

- **Situación Abierta** (2ª Aeronave más lenta): En este caso no solo será suficiente la separación al inicio de la aproximación final, sino que aumentará debido a la velocidad superior de la aeronave precedente. El tiempo entre aeronaves será estimado como el cociente entre la separación que deben guardar en fase de aproximación y la velocidad de la aeronave en cola.

$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \quad (4-1)$$

Para tener en cuenta posibles errores en el posicionamiento de alguna de las dos aeronaves en fase de aproximación, se añade un Buffer de tiempo, que será el producto de la precisión del radar por la distribución normal del error del 5%.

$$B_{ij} = \sigma_0 \cdot q \quad (4-2)$$

- **Situación Cerrada** (2ª Aeronave más rápida): La aeronave subsiguiente es más rápida que la anterior, por lo que será necesario dejar un espacio de tiempo extra al inicio de la aproximación. El tiempo entre aeronaves tendrá dos términos, uno idéntico al de la situación abierta (4-1) y otro para tener en cuenta la reducción de la distancia como consecuencia de la mayor velocidad de la aeronave en cola.

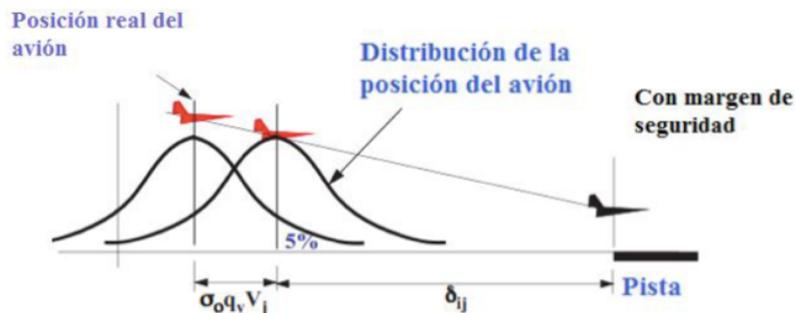
$$T_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad (4-3)$$

Al igual que en el caso anterior, se tendrán en cuenta posibles errores de posicionamiento mediante un Buffer de tiempo. Éste, a su vez, recibe una corrección al alza para tener en cuenta la mayor velocidad de la segunda aeronave, expresado por el segundo término de la ecuación (4-4).

$$B_{ij} = \sigma_0 \cdot q - \delta_{ij} \left( \frac{1}{v_j} - \frac{1}{v_i} \right) \quad (4-4)$$

En la Figura 4-2, se aprecia el margen de seguridad proporcionado por la separación impuesta en el Buffer de tiempo.

Figura 4-2. Distribución de la posición del avión.



Fuente: Millán Muñoz, R. (2014).

Para la determinación del número límite de llegadas, se realizan los siguientes cálculos para cada combinación de tipos de aeronaves:

- **$T_{ij} + B_{ij}$  (Tiempo estimado entre aeronaves):** Se realiza un matriz de combinaciones con todas las situaciones de aproximación que pueden darse. Se tiene en cuenta el tiempo de separación entre llegadas ( $T_{ij}$ ) y el buffer de tiempo para posibles errores de posicionamiento ( $B_{ij}$ ).
- **$p_{ij}$  (Probabilidad de combinaciones):** De esta forma se tiene en cuenta la posibilidad de que se produzcan las distintas combinaciones de aeronaves de diferentes grupos. Se calcula multiplicando cada una de las probabilidades de los distintos grupos de aeronaves.

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j \quad (4-5)$$

- **$E(t)$  (Tiempo esperado por operación):** El tiempo medio de servicio global, es decir, el tiempo estimado que una aeronave de cualquier tipo consume en aterrizar desde que inicia la fase de aproximación, se obtiene mediante la expresión:

$$E_{lleg}(t) = \sum_i \sum_j p_{ij} \cdot (T_{ij} + B_{ij}) \quad (4-6)$$

- **$\sigma_t^2$  (Varianza):** Indica de la variabilidad de los tiempos medios obtenidos mediante la expresión (4-6) y viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \sum_i \sum_j p_{ij} \cdot [(T_{ij} + B_{ij}) - E(t)]^2 \quad (4-7)$$

Por tanto, una vez que se han realizado los cálculos anteriores, la capacidad de la pista para operaciones de aterrizaje (medida en aeronaves/hora) será la inversa del resultado obtenido mediante la ecuación (4-6), expresado mediante la relación:

$$C_{llegadas} = \frac{1}{E_{lleg}(t)} \quad (4-8)$$

#### 4.2.1.2 Capacidad en operaciones de sólo despegue.

A continuación, se describen los procedimientos empleados para calcular la Capacidad de Saturación en operaciones de sólo despegue. Al igual que en el caso anterior, se realiza una estimación del tiempo medio de servicio para los despegues. Se tendrá en cuenta la misma mezcla de flota en despegues que en aterrizajes, lo que, de facto, supone que las probabilidades de combinación  $p_{ij}$  sean las mismas que en los aterrizajes.

Para estimar el tiempo medio de servicio global, es decir, el tiempo estimado que consume una aeronave de cualquier tipo en despegar desde que se encuentra en la cabecera de pista, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$E_{sal}(t) = \sum_i \sum_j p_{ij} \cdot (MB_{ij}) \quad (4-9)$$

Siendo:

- $p_{ij}$  Probabilidad de combinaciones, idéntica a la de los aterrizajes (4-5).
- $MB_{ij}$  Reglas de separación impuestas por el ATC para una secuencia de despegues.

Finalmente, la capacidad para operaciones de sólo salidas se calcula de forma análoga a la de sólo llegadas:

$$C_{sólo salidas} = \frac{1}{E_{sal}(t)} \quad (4-10)$$

#### 4.2.1.3 Capacidad en operaciones mixtas.

Para poder realizar operar tanto despegues como aterrizajes por una misma pista, en primer lugar, se impone que las llegadas de aeronaves siempre tendrán prioridad sobre las salidas. El objetivo de esta restricción operativa, es mantener el menor tiempo posible en el aire a las aeronaves que llegan para aterrizar.

Para realizar este procedimiento, se estima el intervalo de tiempo que habrá disponible entre aterrizajes para poder establecer una salida. Éste viene dado por la expresión:

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(ROT_i) + E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) + (n-1) \cdot E(TD_k) + B_{TOi} \quad (4-11)$$

Donde:

$E(ROT_i)$	Estimación de tiempo de ocupación en pista (ROT) del avión que acaba de aterrizar.
$E(\delta_d/v_j)$	Estimación de la separación que existirá entre un despegue y el siguiente aterrizaje en base a una distancia mínima operacional.
$(n-1)E(TD_k)$	Número de despegues que se pueden meter teniendo en cuenta la estimación de tiempo para realizar un despegue.
$B_{TOi}$	Al igual que en los casos anteriores, también se considera un margen de tiempo adicional.

Una vez que se han hallado los posibles huecos entre aterrizajes en la matriz  $(T_{ij} + B_{ij})$ , la cual define la distribución de tiempo entre llegadas, se construye la matriz  $h_{ij}$ , cuyas componentes corresponden a los despegues que se podrán realizar en función de la secuencia de llegadas. Una vez hecho esto, La capacidad en salidas con prioridad 100% llegadas para operaciones mixtas viene dada por la expresión:

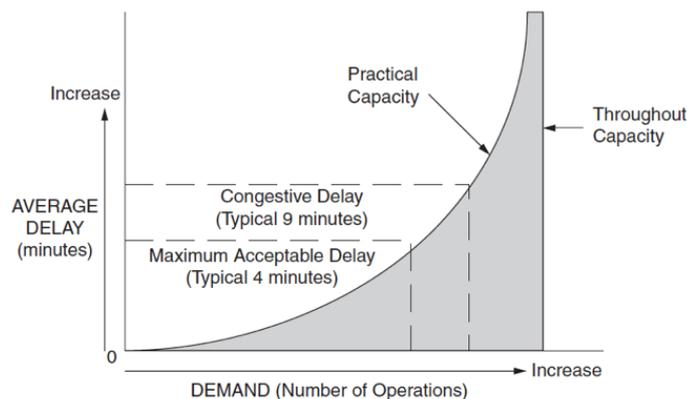
$$C_{Salidas}(Prioridad\ 100\%\ Llegadas) = \sum \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \cdot (C_{llegadas} - 1) \quad (4-12)$$

#### 4.2.2 Metodología empleada en los cálculos de la Capacidad Práctica.

El nivel de demora en un Sistema de Pistas está fuertemente influenciado por el patrón de demanda de aeronaves. A modo de ejemplo, cuando una gran cantidad de aeronaves desean aterrizar en una pista al mismo tiempo, la demora de cada una de ellas será mayor que si hubiese un menor número de aterrizajes.

La experiencia obtenida en la operación de pistas demuestra que estos tres conceptos: nivel de demora y patrón de demanda, por un lado, y capacidad de la pista por otro, están relacionados entre sí de manera exponencial, tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 4-3. Dependencia de la capacidad con la demanda y la demora.



Fuente: Horonjeff, R. et al. (2010).

De la Figura 4-3, cabe destacar que cuando la pista se acerca la Capacidad de Saturación (Throughout Capacity), las demoras estimadas por aeronave tienden a infinito. En cambio, con un pequeño descenso del número de operaciones, se obtienen niveles de demora más aceptables (Practical Capacity).

En el presente trabajo, se va a considerar diez minutos como un nivel de demora aceptable para el cálculo de la Capacidad Práctica. Este tiempo estimado de retrasos es ampliamente utilizado como valor razonable por operadores aeroportuarios mundiales, como la FAA y la propia Aena.

En primer lugar, se va a asumir que el proceso de cola de un grupo de aeronaves que van a utilizar una pista es estacionario y que sigue una disciplina de cola M/G/1, lo que implica que las aeronaves siguen una distribución de Poisson y que el prestador de servicios, en este caso la pista, es un servidor único con distribución General. Esto último, deriva en que se necesitarán dos parámetros para definir el comportamiento del servidor (la pista): la media y la desviación estándar.

El servidor, en este caso la pista, quedará definido por los datos calculados en la Capacidad de Saturación: Tiempo esperado en gestionar aeronaves, definido como  $\mu$ , y su Desviación típica, definido como  $\sigma$ . Para averiguar el tiempo esperado de demoras por operación, se utilizará el modelo proporcionado por la fórmula de Pollaczek-Khinchine:

$$W_q = \frac{\lambda(\sigma^2 + (1/\mu)^2)}{2(1 - \lambda/\mu)} \quad (4-13)$$

Donde:

- $W_q$  Es el tiempo esperado de demoras.
- $\lambda$  Es la demanda de despegues o aterrizajes.
- $\mu$  y  $\sigma$  Son los datos que definen a la pista como servidor. Son el tiempo esperado en gestionar una aeronave y su Desviación típica, respectivamente.

### 4.2.3 Capacidad de la Pista 24L.

Todos los valores expuestos en esta subsección, son resultado de los desarrollos ubicados en los apartados D.2.1.1 y D.2.1.2 del Anexo D.

La Pista 24L en la Configuración Oeste actual, opera todas las llegadas de aeronaves. El tiempo medio obtenido por operación de aterrizaje, para cualquier modelo de aeronave, es:

$$E(t) = 95,31 \text{ s} \quad (4-14)$$

La Capacidad de Saturación en operaciones de aterrizaje, vendrá dada por la inversa del tiempo estimado por operación (4-14), con el resultado de:

$$C_{Llegadas-24L} = \frac{1}{E(t)} = 37 \text{ Llegadas/hora} \quad (4-15)$$

La Varianza de los tiempos medios, esto es, la diferencia entre los tiempos estimados por operación para diferentes tipos de aeronaves, tiene como resultado.

$$\sigma_t^2 = 1125 \text{ s}^2 \quad (4-16)$$

La Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 33,54 s. Para estimar el tiempo esperado de demora por operación, se aplicará la fórmula de Pollaczek-Khinchine:

$$W_a = \frac{\lambda_a \cdot \left( \sigma_a^2 + \left( \frac{1}{\mu_a} \right)^2 \right)}{2 \left( 1 - \frac{\lambda_a}{\mu_a} \right)} \quad (4-17)$$

Siendo:

$W_a$	Tiempo esperado de demoras.
$\lambda_a$	Número de llegadas por hora.
$\mu_a$	La Capacidad de Saturación obtenida en el apartado anterior, estimada en 37 llegadas/hora.
$\sigma_a$	La Desviación típica de las llegadas, aproximadamente 33,54 s.

Tal como se explicó en la Subsección 4.2.1 de metodología, la pista queda caracterizada como servidor mediante la capacidad en llegadas sin tener en cuenta los retrasos ( $\mu_a$ ) y la Desviación típica ( $\sigma_a$ ); ambas calculadas en la Capacidad de Saturación. En la Tabla 4-1, se expresan los resultados de aplicar la fórmula de Pollaczek-Khinchine para estimar las demoras por operación bajo distintos niveles de demanda.

Tabla 4-1. Demoras estimadas para la Pista 24L. Configuración Actual.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
31	4,69	35	15,88
32	5,81	36	32,66
33	7,48	37	$\infty$
34	10,28		

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 4-1, a medida que el número de operaciones se acerca a la Capacidad de Saturación de la pista, la estimación de las demoras aumenta de forma exponencial.

Finalmente, la Capacidad Práctica de la Pista 24L en operaciones de sólo llegadas será la que mantenga las demoras por debajo de los 10 minutos.

$$C(\text{Práctica})_{\text{Llegadas-24L}} = 33 \text{ Llegadas/hora} \quad (4-18)$$

#### 4.2.4 Capacidad de la Pista 24R.

Todos los resultados expuestos en esta subsección, son resultado de los desarrollos ubicados en los apartados D.2.2.1 y D.2.2.2 del Anexo D.

La Pista 24R en la Configuración Oeste actual, opera todas las salidas de aeronaves. El tiempo medio obtenido por operación de despegue, para cualquier modelo de aeronave, es:

$$E(t) = 83,55 \text{ s} \quad (4-19)$$

La Capacidad de Saturación en operaciones de despegue, vendrá dada por la inversa del tiempo estimado por operación (4-19), con el resultado:

$$C_{\text{Salidas-24R}} = \frac{1}{E(t)} = 43 \text{ Salidas/hora} \quad (4-20)$$

La Varianza de los tiempos medios, esto es, la diferencia entre tiempos estimados por operación para diferentes tipos de aeronaves, tiene como resultado:

$$\sigma_t^2 = 406,14 \text{ s}^2 \quad (4-21)$$

Por tanto, la Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 20,15 s. Para estimar el tiempo esperado de demora por

operación, se aplicará la fórmula de Pollaczek-Khinchine:

$$W_d = \frac{\lambda_d \cdot \left( \sigma_d^2 + \left( \frac{1}{\mu_d} \right)^2 \right)}{2 \left( 1 - \frac{\lambda_d}{\mu_d} \right)} \quad (4-22)$$

Siendo:

$W_d$	Tiempo esperado de demoras.
$\lambda_d$	Número de salidas por hora.
$\mu_d$	La Capacidad de Saturación obtenida en el apartado anterior, estimada en 43 salidas/hora.
$\sigma_d$	La Desviación típica de las salidas, aproximadamente 20,15 s.

Al igual que en el apartado anterior,  $\mu_d$  y  $\sigma_d$ , definen la capacidad de la pista como servidor. En la Tabla 4-2, se expresan los resultados de aplicar la fórmula de Pollaczek-Khinchine para estimar las demoras bajo distintos niveles de demanda.

Tabla 4-2. Demoras estimadas para la Pista 24R. Configuración Actual.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
38	5,61	41	15,13
39	7,20	42	31
40	9,84	43	$\infty$

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 4-2, a medida que el número de operaciones se acerca a la Capacidad de Saturación de la pista, la estimación de las demoras aumenta de forma exponencial.

Finalmente, tal como se observa en la Tabla 4-2, la Capacidad Práctica equivaldría a realizar 40 salidas por hora, pero dada la cercanía de este valor con los 10 minutos de demora estipulados, se tomará el valor inmediatamente anterior:

$$C(\text{Práctica})_{\text{salidas-24R}} = 39 \text{ Salidas/hora} \quad (4-23)$$

### 4.3 Capacidad de la Plataforma de estacionamiento de aeronaves.

Tal como se expuso en la descripción de la Plataforma de estacionamiento de aeronaves (2.1.2), el aeropuerto de Palma de Mallorca cuenta con un total de 123 puestos de estacionamiento en Plataforma comercial -no todos ellos compatibles entre sí- y 42 posiciones en la Plataforma de Aviación General, estas últimas quedan excluidas de este estudio. También quedarán excluidos del análisis, los puestos de estacionamiento de grandes aeronaves de carga y los de uso exclusivo de helicópteros.

Los puestos de estacionamiento seleccionados para el estudio de capacidad, además de sus características y la tipología a la que pertenecen; se encuentran expuestos en el Anexo A.

#### 4.3.1 Metodología empleada en el cálculo de la capacidad de la plataforma.

Al igual que en los estudios de capacidad de Sistemas de Pistas, los operadores aeroportuarios suelen emplear programas de simulación especializados en la Plataforma de estacionamiento. Del mismo modo que SIMMOD para el caso de las pistas; programas como REDIM, permiten averiguar posibles conflictos entre aeronaves circulando por la Plataforma y tiempos estimados de estacionamiento. El grado de dificultad y la imposibilidad de conseguir una licencia de dicho programa, hacen que se haya empleado un modelo más simple en este trabajo.

El procedimiento utilizado será el propuesto por Horonjeff, R. et al. (2010) que, además, es el empleado por Aena en estudios de la Plataforma de estacionamiento de aeropuertos medianos y pequeños. El método se basa en la estimación de la capacidad de la Plataforma a partir de la tipología de sus puestos de estacionamiento y el tiempo de estancia estimado para cada tipo de aeronave. Los pasos a seguir para la implementación del método se irán explicando junto con los cálculos individualizados para el aeropuerto de Palma de Mallorca.

#### 4.3.2 Datos de partida necesarios para realizar los cálculos.

En esta subsección, se exponen todos los datos de partida necesarios para realizar los cálculos de capacidad de la Plataforma de estacionamiento del aeropuerto de Palma de Mallorca.

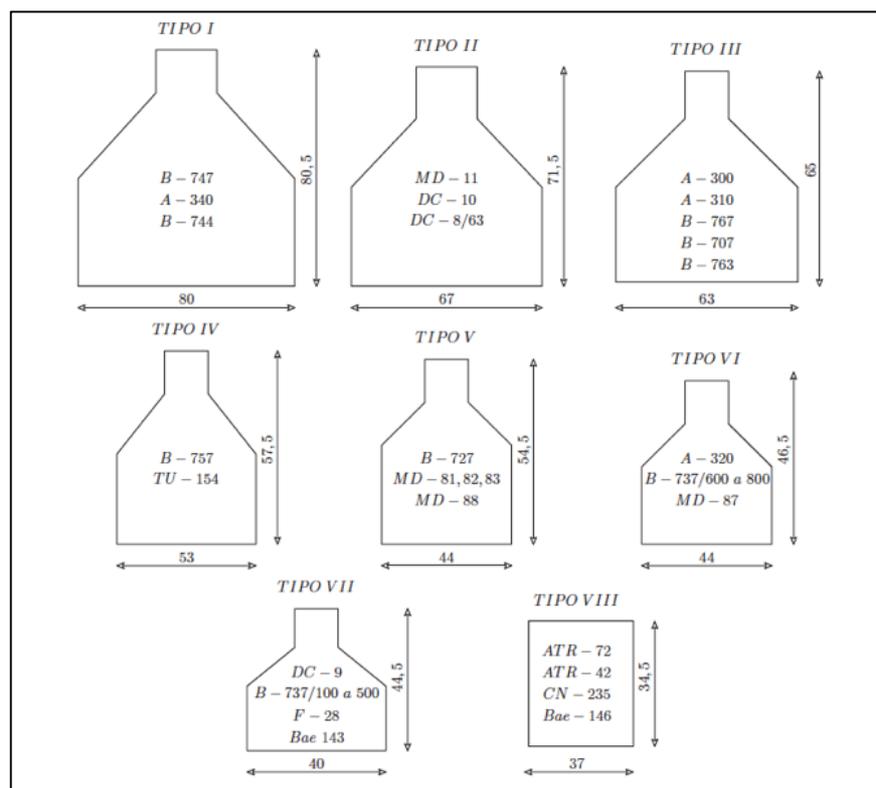
##### 4.3.2.1 Tipos de puestos de estacionamiento.

En primer lugar, se agrupan los puestos de estacionamiento por grupos de aeronaves usuarias. Para este cometido, Aena establece una serie de tipos de posiciones de estacionamiento denominadas “sobres”, los cuales dependen de la longitud y la envergadura de los modelos avión a los que van destinados.

Cabe destacar, que el método planteado por Horonjeff, R. et al. (2010) tiene en cuenta que no todos los aviones pueden usar todas las posiciones disponibles por limitaciones físicas. Sin embargo, permite que la posición destinada a una aeronave grande pueda ser usada por una de menor tamaño.

Las posiciones de estacionamiento que han sido escogidas para los cálculos, junto con el tipo de sobre al que pertenecen, se encuentran recogidas en el Anexo A. En la Figura 4-4, se representan los tipos de sobre que establece el operador aeroportuario, además de los modelos de aeronave más frecuentes por tipo.

Figura 4-4. Tipos de sobre para estacionamiento establecidos por Aena.



Fuente: Blanco Serrano, J. (2005)

En la Tabla 4-3, se presenta una relación de los puestos de estacionamiento que finalmente han sido tenidos en cuenta en los cálculos. Para hacer la elección entre posiciones de estacionamiento con incompatibilidades, se ha tomado como criterio principal la elección de la configuración que permita el aparcamiento de aeronaves de mayor tamaño.

Tabla 4-3. Tipos de puestos de estacionamiento en Palma de Mallorca.

Tipo de sobre	Aeronaves usuarias	Longitud (m)	Anchura (m)	Número de puestos
I	B747, A380	80,5	80	5
II	A330	71,5	67	6
III	B767-300, B757-300	65,0	63	37
IV	B757-200	57,5	53	2
V	-	54,5	44	0
VI	B737-800, A320	46,5	44	39
VII	CRJ-900	44,5	40	1
VIII	ATR-72, ATR-42	34,5	37	3

Fuente: AIP y Elaboración Propia.

Respecto a las posiciones de estacionamiento presentes en Palma, cabe realizar las siguientes consideraciones:

- El mayor número de “sobres” disponibles corresponden a los reactores medios, representados por el B737-800 y los A319/20/21, algo lógico si se tiene en cuenta que son los modelos con mayor presencia en el aeropuerto.
- El segundo grupo más numeroso, corresponde a posiciones para aeronaves que se encuentran a medio camino entre los reactores medios y pesados, siendo la gran ventaja de este tipo de “sobres” su polivalencia para poder albergar aeronaves de menor tamaño.

#### 4.3.2.2 Número de aeronaves anuales que utilizan los puestos de estacionamiento.

Se va a estimar el número de aeronaves anuales que solicitan una posición de estacionamiento mediante el número de operaciones totales por tipo de sobre para el ejercicio 2015. Teniendo en cuenta que una operación puede ser de despegue o aterrizaje, si se divide el número de operaciones anuales por la mitad, se obtiene una aproximación de las aeronaves que han estacionado durante ese año en el aeropuerto. Esto supone asumir la hipótesis de que, en un mismo año, todos los aviones que llegan a Palma de Mallorca se van. Algo bastante razonable teniendo en cuenta que, en 2015, hubo 86.344 llegadas y 86.392 salidas.

En la Tabla 4-4, se establecen los tipos de puestos de estacionamiento agrupados por “sobres”, el número total de aeronaves que estacionaron en el aeropuerto de Palma en el ejercicio 2015, establecidos según el tipo de posición que les corresponde y, finalmente, el porcentaje sobre el total de operaciones que representa cada grupo de aviones.

Tabla 4-4. Aeronaves que solicitan puestos de estacionamiento. Año 2015.

Tipo de sobre	Aeronaves (Anual)	% sobre el total	Tipo de sobre	Aeronaves (Anual)	% sobre el total
I	19	0,02%	V	13	0,01%
II	1.375	1,57%	VI	61.648	70,52%
III	1.172	1,34%	VII	10.652	12,18%
IV	996	1,14%	VIII	11.549	13,21%

Fuente: Aena estadísticas.

Es destacable que el grupo de aeronaves que más posiciones de estacionamiento demanda es el grupo VI, al que pertenecen los B737-800 y los A-319/20/21, con 61.648 aeronaves anuales. Por detrás, figuran las aeronaves de los grupos VII y VIII correspondientes a reactores pequeños y Turbo hélices.

#### 4.3.2.3 Estimación del tiempo de estancia en un puesto.

Habitualmente, para hacer estimaciones de uso de la Plataforma, Aena utiliza las estadísticas de tiempos de estacionamiento proporcionados por los propios departamentos de operaciones de los aeropuertos o por su propia base de datos operacionales, denominada CONOPER. Ante la imposibilidad de acceder a dichos datos para el aeropuerto de Palma de Mallorca, se ha optado por tomar como referencia los tiempos de estacionamiento de otros aeropuertos españoles que sí estén publicados.

Para la estimación de los tiempos de estacionamiento por tipo de sobre, se ha tomado la mediana de los valores publicados en los Planes Directores de los aeropuertos de Málaga, Valencia, Ibiza y Menorca. Aunque los tiempos de estancia son bastante similares para los cuatros aeropuertos, la mediana tiene la ventaja de descartar valores extremos que no sean representativos en una serie de datos. Además, el uso de la mediana en detrimento de la media es muy frecuente en la elaboración de los Planes Directores. En la Tabla 4-5 se muestran los resultados obtenidos por tipo de sobre:

Tabla 4-5. Estimaciones de tiempo de estancia en puestos de estacionamiento.

Tipo de sobre	Aeronaves usuarias	Ti	
		min	h
I	A380, B747	81	1,35
II	B767-400	84	1,4
III	B767-300, B757-300	70	1,166
IV	B757-200	67	1,116
V	-	58	0,966
VI	B737-800, A320	54	0,9
VII	CRJ-900	52	0,866
VIII	ATR-72, ATR-42	39	0,65

Fuente: Mediana de los tiempos de estacionamiento de los aeropuertos de Málaga, Valencia, Ibiza y Menorca.

#### 4.3.3 Cálculos de capacidad de la plataforma.

A lo largo de esta subsección, se exponen los pasos seguidos para realizar la estimación de la capacidad de la Plataforma. En primer lugar, se definen los parámetros que se van a tener en cuenta en los cálculos y su correspondiente notación:

- **Tipo i:** Grupo de puesto de estacionamiento. Desde el grupo I al VIII definidos en la Tabla 4-3.
- **P:** Es la suma del número de posiciones de todo tipo. Se cuenta con un total de 93.
- **P<sub>i</sub>:** N° de posiciones diseñadas para acomodar aviones de la clase i. Véase Tabla 4-3.
- **p<sub>i</sub>:** Fracción del total de posiciones que pueden acomodar aviones de la clase i, es decir,  $p_i = P_i/P$
- **M<sub>i</sub>:** Proporción de aviones de la clase i en el conjunto de los aviones que solicitan el servicio. Los datos se exponen en la Tabla 4-4.

- **$T_i$** : Tiempo de ocupación de un avión de la clase  $i$ . Véase Tabla 4-5.
- **$t_i$** : Fracción de tiempo total de estacionamiento que el avión de clase  $i$  requiere ( $t_i$ ) es igual a la fracción de aviones de clase  $i$  en el total del conjunto ( $M_i$ ) multiplicando por el tiempo de ocupación del estacionamiento del avión de clase  $i$  ( $T_i$ ), dividido por la media ponderada del tiempo de ocupación del estacionamiento  $\sum(M_i \cdot T_i)$ . Expresado mediante la siguiente relación:

$$t_i = \frac{M_i \cdot T_i}{\sum(M_i \cdot T_i)} \quad (4-24)$$

- **$F$** : Capacidad del estacionamiento, suponiendo que todos los aviones pueden utilizar todas las todas las posiciones disponibles. Siendo:

$$F = \frac{\sum P_i}{\sum(M_i \cdot T_i)} \quad (4-25)$$

Hay que comprobar si existen suficientes posiciones  $P_i$  para acomodar los aviones de la clase  $i$ . Para esto se determina cuál es el tipo de aeronave más crítica de entre las que solicitan servicio. Para los cálculos se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C = \left(\frac{p_1}{t_1}\right) F = X_1 \cdot F; \quad C = \left(\frac{p_1 + p_2}{t_1 + t_2}\right) F = X_2 \cdot F; \quad C = \left(\frac{p_1 + \dots + p_n}{t_1 + \dots + t_n}\right) F = X_n \cdot F; \quad (4-26)$$

La condición más restrictiva es el valor mínimo de  $X_i$ . Denominando  $X_{min}$  al valor mínimo, la capacidad preliminar del estacionamiento será:

$$C = F \cdot X_{min} \quad (4-27)$$

En la Tabla 4-6 aparecen los distintos datos de partida y los cálculos de los parámetros que se acaban de referir.

Tabla 4-6. Tabla de cálculos de los puestos de estacionamiento.

Tipo de sobre	$P_i$	$M_i$	$T_i$		$p_i$	$M_i \cdot T_i$	$t_i$	$X_i$
			min	h				
I	5	0,02%	81	1,35	0,054	2,7·e-4	3,08·e-4	175,32
II	6	1,57%	84	1,4	0,065	0,022	0,025	4,70
III	37	1,34%	70	1,166	0,398	0,016	0,018	11,94
IV	2	1,14%	67	1,116	0,022	0,013	0,015	9,24
V	0	0,01%	58	0,966	0	9,66·e-5	1,1·e-4	9,23
VI	39	70,52%	54	0,9	0,419	0,635	0,724	1,22
VII	1	12,18%	52	0,866	0,011	0,105	0,12	1,07
VIII	3	13,21%	39	0,65	0,032	0,086	0,098	1,01
Total	93	100%	-	-	1,000	0,877	1	-

De aquí se deduce que  $F$  es:

$$F = \frac{\sum P_i}{\sum M_i \cdot T_i} = \frac{93}{0,951} = 106 \text{ aeronaves/hora} \quad (4-28)$$

Con estos datos se obtiene una capacidad preliminar del estacionamiento en la situación actual:

$$C = F \cdot X_{min} = 107 \text{ aeronaves/hora} \quad (4-29)$$

A continuación, se estima el valor del número de llegadas sobre el total de las operaciones para el día punta de operaciones, que para el presente trabajo es el día tipo para la temporada estival. Siendo el porcentaje de llegadas:

$$\%Llegadas (15/08/2015) = \frac{402 \text{ llegadas}}{800 \text{ operaciones comerciales}} \cdot 100 = 50,25\% \quad (4-30)$$

Como las posiciones de estacionamiento no se ocupan inmediatamente después de ser abandonadas por la aeronave estacionada previamente, se ha de estimar el factor de utilización  $U$  de las mismas. En planes de capacidad planteados por Aena, este factor de utilización se estima en base a datos estadísticos. Cuando no se dispone de éstos, el operador aeroportuario propone usar  $U=80\%$ . Finalmente, la capacidad de la Plataforma comercial se obtiene mediante la relación:

$$C = \frac{F \cdot X_{min} \cdot U}{\%llegadas} = 170 \text{ aeronaves/hora} \quad (4-31)$$

Respecto al resultado de capacidad de la Plataforma (4-31), hay que realizar la siguiente puntualización: Se ha hecho la hipótesis de que la **totalidad** de los puestos de estacionamientos disponibles (93 escogiendo una configuración de uso para aeronaves de mayor tamaño) están disponibles para aeronaves que solicitan estacionamiento. Este último hecho no siempre se cumple, puesto que puede haber posiciones asignadas a tareas de mantenimiento y a estancias de larga duración. Por lo que, finalmente, la capacidad de la Plataforma será algo menor que el dato calculado en (4-31).

#### 4.4 Resumen de la Capacidad del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

El Subsistema de Movimiento de Aeronaves del aeropuerto de Palma de Mallorca – Sistema de Pistas y Plataforma –, bajo las hipótesis y consideraciones desarrolladas a lo largo de este capítulo, es capaz de atender de la demanda de:

- **33 aeronaves/hora en aterrizajes.** Utilizando la Pista 24L y con demoras inferiores de diez minutos por aterrizaje.
- **39 aeronaves/hora en despegues.** Utilizando la Pista 24R y con demoras inferiores de diez minutos por despegue.
- **170 aeronaves/hora.** Teniendo en cuenta que, durante el intervalo de tiempo de una hora, habrá aeronaves que lleguen, otras que salgan y otras que no se muevan de su puesto de estacionamiento.

Respecto a estas estimaciones de capacidad, cabe realizar las siguientes consideraciones:

- Los valores anteriores están fuertemente influenciados por las hipótesis de cálculo que se han tomado.
- No se ha tenido en cuenta los posibles conflictos de circulación que puedan darse en los accesos a pistas, calles de rodadura o dentro de la misma plataforma.
- Aunque estos valores constituyen una buena aproximación como estimación preliminar en un estudio de capacidad, no alcanzan el rango de validez de los resultados obtenidos con programas de simulación y datos fidedignos de operaciones.



# 5 CAPACIDAD DEL SUBSISTEMA DE ACTIVIDADES AEROPORTUARIAS EN EL ESTADO ACTUAL.

---

Los cálculos de la capacidad de los elementos del subsistema de actividades aeroportuarias se harán de acuerdo a los estándares de IATA - Asociación de aerolíneas que realizan vuelos internacionales -, los cuales son usados por Aena en las estimaciones de capacidad de las instalaciones del edificio terminal y para evaluar posibles ampliaciones.

Aunque existe una versión más moderna (10ª Ed), en el presente trabajo, se seguirán las pautas del Airport Development Reference Manual, 9ª Ed (2004). Con los parámetros de esta edición, se han realizado las estimaciones de capacidad de los Planes Directores aprobados de 2006 en adelante. Dicho documento, define la capacidad de los subsistemas del lado tierra en función de unos estándares de comodidad para el pasajero o Niveles de Servicio, divididos desde el A hasta el F:

- **A. Nivel de servicio excelente:** Condiciones de flujo muy estable, sin retrasos y con niveles de confort excelentes.
- **B. Nivel de servicio alto:** Condiciones de flujo estable, muy pocos retrasos y nivel de confort alto.
- **C. Nivel de servicio bueno:** Condiciones de flujo estable, retrasos aceptables y buenos niveles de confort.
- **D. Nivel de servicio adecuado:** Condiciones de flujo inestable, retrasos aceptables y cortos, y nivel de confort adecuado.
- **E. Nivel de servicio inadecuado:** Condiciones de flujo inestable, retrasos y niveles de confort inaceptables.
- **F. Nivel de servicio inaceptable:** Condiciones de cruce de flujos, caídas de los sistemas y retrasos y niveles de confort inaceptables.

Como se expone en Planes Directores más recientes que el de Palma de Mallorca, Aena, realiza el dimensionamiento de sus instalaciones con los estándares del Nivel de Servicio B de IATA. En el presente trabajo, se usarán esos mismos parámetros con el fin de poder realizar el análisis de las instalaciones de la manera más parecida posible a los procedimientos del operador aeroportuario.

Además de los cálculos de capacidad de las instalaciones operando a pleno rendimiento, se estimará la capacidad de las instalaciones cuando se pone en marcha el denominado “Plan de Invierno” entre los meses de noviembre y marzo. El único procedimiento que se conoce de este plan es el cierre del Terminal A y la consecuente operación de todos los vuelos no Schengen por una zona especial habilitada en el Terminal D. Como resultado de esto, la capacidad de los controles de pasaportes en salidas y llegadas; así como la capacidad de Terminal D, se ve mermada durante la época invernal.

## 5.1 Parámetros que caracterizan la capacidad del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

En el Capítulo 3, se definía la demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias mediante tres parámetros: *Pasajeros hora diseño (AHD)*, *Pasajeros hora diseño en llegadas (AHD lleg)* y *Pasajeros hora diseño en salidas (AHD sal)*. Éstos a su vez, derivan de un Nivel de Calidad de Diseño (*NCD*) impuesto por el operador aeroportuario.

En este capítulo, se emplearán los parámetros *PHD* y *PHD lleg/sal* en términos de capacidad, es decir, estarán definidos como el número máximo de pasajeros por hora que cada subsistema es capaz de atender de acuerdo con los estándares del Nivel de Servicio B de IATA.

## 5.2 Capacidad en Salidas del Sistema.

En esta sección se estiman los *pasajeros hora diseño en salidas (PHD sal)* de cada uno de los espacios por los que circula el flujo de salidas de pasajeros. Tal como indica IATA, se va a realizar el análisis de capacidad de cada una de las zonas y controles por separado.

### 5.2.1 Vestíbulo de Salidas.

Para calcular la capacidad en *PHD sal* del vestíbulo de salidas, se excluyen los mostradores de facturación y sus zonas de colas, los puestos de venta de billetes, los espacios comerciales, restaurantes y aseos.

Tal como se expone en el Plano 2A, el vestíbulo de salidas del aeropuerto de Palma de Mallorca dispone de una superficie total de  $18.577 \text{ m}^2$ . Para estimar este valor, a la superficie total de la zona de libre acceso se le ha restado el área de todas las zonas comentadas en el párrafo anterior. En la Tabla 5-1, se resumen todos los datos necesarios para calcular la capacidad del vestíbulo de salidas en *PHD sal* según el método propuesto por IATA.

Tabla 5-1. Parámetros para calcular la capacidad del vestíbulo de salidas.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>A</i>	Área del vestíbulo de salidas ( $\text{m}^2$ )	$18.577 \text{ m}^2$
<i>VPP</i>	Acompañantes por pasajero	0,2*
<i>SPP</i>	Superficie por pasajero ( $\text{m}^2/\text{pax}$ )	2,3*
<i>PTC</i>	Tiempo medio de permanencia en el vestíbulo de salidas de los pasajeros (min)	30*
<i>VTC</i>	Tiempo medio de permanencia en el vestíbulo de salidas de los acompañantes (min)	15*

Fuente: IATA.

La capacidad del vestíbulo de salidas se obtiene de aplicar la expresión (5-1):

$$PHD_{sal} \text{ en vestíbulo de salidas} = \frac{A \cdot 60}{SPP \cdot (PTC + VTC \cdot VPP)} = 14.685 \text{ pasajeros/hora.} \quad (5-1)$$

### 5.2.2 Mostradores de Facturación.

El aeropuerto de Palma de Mallorca cuenta con un total de 192 mostradores convencionales y 6 destinados a la facturación de equipajes pesados, los cuales serán excluidos del estudio. Para calcular la capacidad de los puestos de facturación siguiendo las recomendaciones de IATA, los mostradores se van a clasificar atendiendo a si son a la clase turista o business. Dentro de estas dos categorías, los mostradores serán agrupados por destinos.

Para estimar el grado de uso que tiene cada mostrador en el aeropuerto de Palma de Mallorca durante un día de mucho tráfico, se ha realizado un estudio de los vuelos asignados por puesto de facturación durante el día 26/06/2015. La elección de dicho día para realizar un análisis de uso de los mostradores es coherente con la elección de esa misma fecha para estimar el número de pasajeros hora diseño en el Terminal. Dicho estudio se encuentra expuesto en el Anexo B.

En la Tabla 5-2, se presentan los resultados del estudio de uso de los mostradores de facturación señalado anteriormente para la temporada alta. IATA recomienda clasificar los mostradores según sirvan a tráfico Nacional, Schengen, UE no Schengen e Internacional.

Tabla 5-2. Uso de los mostradores de facturación el día 26/06/2015.

Clase	Zonas	A	B	C	D	E	F	Total
	N	2	7	0	3	0	9	21
Turista	S/NS	18	16	25	22	29	16	126
	INT	7	5	0	2	0	0	14
Business	N/S/NS	1	2	3	5	3	8	22
	INT	0	0	0	1	0	0	1

N: Nacionales; S: Schengen; NS: UE no Schengen; I: Internacionales. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, de los 192 mostradores convencionales disponibles en el aeropuerto, durante las distintas horas del día 26/06, se llegan a usar un total de 184, quedándose 8 puestos de facturación sin ser usados. Los parámetros utilizados en el cálculo de la capacidad de los mostradores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5-3. Parámetros para estimar la capacidad de los mostradores de facturación.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
$CI$	Número total de mostradores de facturación	192
$CIY$	Número de mostradores para pasajeros con billetes clase turista.	161
$CIJ$	Número de mostradores para pasajeros con billetes clase business.	23
$PTci_1$	Tiempo medio de facturación nacional (s)	90*
$PTci_2$	Tiempo medio de facturación Schengen/UE no Schengen (s)	90*
$PTci_3$	Tiempo medio de facturación Internacional (s)	135*

Fuente: IATA.

La capacidad de los mostradores de clase turista ( $CIY$ ) se calcula como se indica a continuación: Los mostradores de facturación se agrupan según el tipo de tráfico: Nacional ( $CIY_1$ ), Schengen/UE No Schengen ( $CIY_2$ ), e internacional ( $CIY_3$ ). Con estos valores se calcula el parámetro intermedio ( $S$ ) para cada tipo de tráfico mediante la siguiente expresión:

$$S_i = CIY_i \cdot \frac{120}{(PTci)_i} \quad (5-2)$$

El tiempo máximo de espera en cola de facturación ( $MQT$ ) aceptable para el Nivel de Servicio B, en función de la clase de tráfico, viene dado por los valores de la Tabla 5-4.

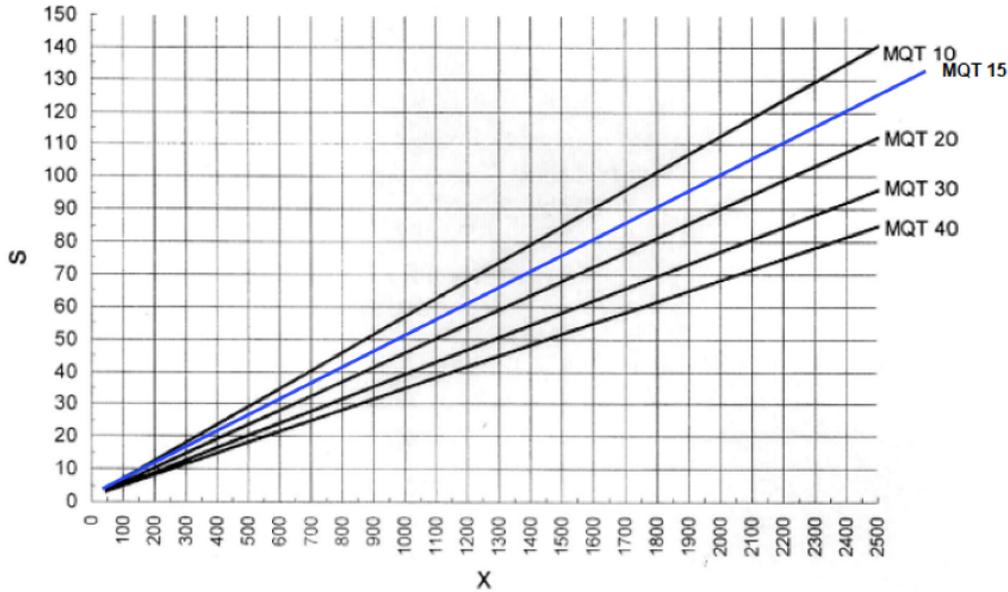
Tabla 5-4. Tiempo máximo de espera en cola de facturación ( $MQT$ ).

Tipo de pasajeros	Breve hasta aceptable (min)	Aceptable hasta excesivo (min)
Pasajeros clase turista	0-12	12-30
Pasajeros clase business	0-3	3-5

Fuente: IATA.

Los Planes Directores estiman en 15 minutos como tiempo de espera aceptable para la clase turista. A partir de los valores de  $S_i$  se entra en el gráfico de la Figura 5-1 y se obtienen los valores de pasajeros punta en un periodo de 30 minutos ( $X_i$ ):

Figura 5-1. Parámetro intermedio S en función de los pasajeros punta en un periodo de 30 minutos (X).



Fuente: IATA.

La misma IATA proporciona aproximaciones lineales para estimar el valor del parámetro ( $X_i$ ) mediante las siguientes expresiones:

$$X = -\frac{1,6}{0,0555} + \frac{S}{0,0555} \text{ para } MQT = 10 \text{ min.} \tag{5-3}$$

$$X = -\frac{1,4}{0,0440} + \frac{S}{0,0440} \text{ para } MQT = 20 \text{ min} \tag{5-4}$$

Para hallar el parámetro ( $X_i$ ) para un tiempo máximo de cola ( $MQT$ ) de 15 minutos, se realiza la media aritmética de los resultados obtenidos de las expresiones (5-3) y (5-4). En la Tabla 5-5, se expresan los resultados del parámetro ( $X_i$ ) para los distintos tipos de tráfico.

Tabla 5-5. Valores del parámetro X para los distintos tipos de tráfico.

Destino	$S_i$	$X_i$ (MQT 10 min)	$X_i$ (MQT 20 min)	$X_i$ (MQT 15 min)
Nacional	28	480,26	604,54	542,4
Schengen/No Schengen	168	3025,72	3786,36	3406,04
Internacional	12,44	197,35	250,91	224,13

Para determinar el número de *pasajeros hora punta* ( $PHP$ ) en origen, con billete de clase turista, se utilizan dos factores:

- Porcentaje de  $PHP$  en un periodo de treinta minutos, denominado  $F1$ .
- Demanda adicional generada por los vuelos que salen antes y después del periodo de hora punta, denominada  $F2$ .

El valor de  $F1$  depende del número de vuelos de la hora punta y se obtiene de la Tabla 5-6:

Tabla 5-6.  $F1$ : Punta en 30 minutos en facturación expresada como porcentaje de  $PHP$ .

Número de vuelos durante la hora punta	Nacional/Schengen/ Internacional de Corto alcance	Internacional de Largo Alcance
1	39%	29%
2	36%	28%
3	33%	26%
4 o más	30%	25%

Fuente: IATA.

Durante la hora punta del día 26/06/2015 se producen al menos 4 vuelos en todas las categorías de tráfico consideradas, salvo en las conexiones internacionales, en la que únicamente se producen dos como máximo. Teniendo en cuenta esto,  $F1$  será un 30% para los vuelos Nacionales, Schengen y UE No Schengen. Para los destinos internacionales,  $F1$  valdrá un 28%.

El valor de  $F2$  depende de la demanda adicional generada por los vuelos que salen antes y después del periodo punta y se obtiene de la Tabla 5-7. Para el cálculo de esta demanda adicional se toman los pasajeros de la hora anterior y posterior a la hora punta y se calcula la proporción que éstos representan en los pasajeros registrados en hora punta.

Para realizar este último cálculo, se va a recurrir a los pasajeros registrados durante el día 26/06/2015 entre las 19:00 y las 21:00, que corresponden a las horas anterior y posterior a la hora punta, la cual se produce a las 20:00 horas. En la Tabla 5-7 se expresan los resultados obtenidos:

Tabla 5-7. Porcentaje de pasajeros entre las 19:00 y las 21:00 respecto de la hora punta (26/06/2015)

Hora	Pasajeros	% Hora punta
19:00	6.731	86,4
20:00*	7.793*	100*
21:00	5.776	74,1

Fuente: Elaboración propia.

Como valor de % de  $PHP$  se tomará la media aritmética de los porcentajes de pasajeros de las horas anterior y posterior a la hora punta, esto es, % de  $PHP = 80\%$ . Con este valor, se entra en la Tabla 5-8 proporcionada por IATA y se extraen los valores asignados para este porcentaje.

Tabla 5-8.  $F2$ : Demanda adicional generada por vuelos de la hora anterior y posterior a la hora punta.

Promedio de pasajeros de la hora antes y después de la hora punta en % de $PHP$	Nacional	Schengen/ Internacional de Corto alcance	Internacional de Largo Alcance
90%	1,37	1,43	1,62
80%	1,31	1,4	1,54
70%	1,26	1,35	1,47
60%	1,22	1,3	1,4

Fuente: IATA.

Finalmente, los *pasajeros hora diseño* totales para los mostradores de facturación de clase turista se calculan mediante las siguientes relaciones:

$$PHD_{Nacional} = \left( \frac{X}{F1 \cdot F2} \right) = \frac{542}{0,3 \cdot 1,31} = 1.379 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-5)$$

$$PHD_{S/NS} = \left( \frac{X}{F1 \cdot F2} \right) = \frac{3.406}{0,3 \cdot 1,4} = 8.109 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-6)$$

$$PHD_{Internacional} = \left( \frac{X}{F1 \cdot F2} \right) = \frac{224}{0,28 \cdot 1,54} = 519 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-7)$$

$$PHD = \sum \left( \frac{X}{F1 \cdot F2} \right) = 10.007 \text{ pasajeros/hora}; \quad i = 1,2,3 \quad (5-8)$$

La capacidad de los mostradores de clase business se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PHD_{Business} = CIJ \cdot \frac{MQT \cdot 60 \cdot 12}{PTci} \quad (5-9)$$

Donde *CIJ* es el número de mostradores business, *MQT* es el tiempo máximo de espera en cola, que para el caso de los mostradores business es de 5 min; y *PTci* es el tiempo medio de facturación, tomándose como valor aceptable 90 s para esta clase.

$$PHD_{Business} = 23 \cdot \frac{5 \cdot 60 \cdot 12}{90} = 920 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-10)$$

Finalmente, sumando las capacidades de los mostradores para la clase turista y business, se obtiene una capacidad global de:

$$PHD \text{ sal. en mostradores de facturación} = 10.927 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-11)$$

La capacidad estimada en (5-11) podría verse ampliada si se tuvieran en cuenta los 8 mostradores de facturación que se encuentran fuera de servicio el día 26/06 que, dado el tipo de tráfico predominante en Palma de Mallorca -conexiones con destinos Schengen y No Schengen-, podrían emplearse en aliviar la congestión de pasajeros de este tipo de vuelos durante periodos punta.

### 5.2.3 Zonas de cola de los Mostradores de Facturación.

IATA establece que para conocer la capacidad de las colas de facturación se medirá el espacio, dentro del vestíbulo de salidas, reservado para las colas de facturación de los pasajeros de clase turista y el reservado para los pasajeros de clase business.

En el Plano 2B se establece la superficie total destinada a las colas de los mostradores. Por cada zona de 16 mostradores, se dispone de un área de 487,5 m<sup>2</sup>, lo que supone una superficie de 30,46 m<sup>2</sup> por mostrador.

Para estimar la capacidad de las zonas de colas de los mostradores de facturación, en primer lugar, se estima el número de pasajeros que habrá en la cola en un momento dado mediante la expresión:

$$Nt = \frac{St}{CIY \cdot w \cdot e} \quad (5-12)$$

Siendo:

<i>Nt</i>	Número de pasajeros en clase turista en la cola de facturación en un momento dado.
<i>St</i>	Zona de colas de facturación para pasajeros en clase turista en m <sup>2</sup> (medida sobre plano).
<i>CIY</i>	Número de mostradores para pasajeros con billetes de clase turista.
<i>w</i>	Anchura del mostrador (2,25 m).
<i>e</i>	Espaciado entre pasajeros (m).

El valor del factor “e” se calcula teniendo en cuenta los estándares del Nivel de Servicio B y el tipo de vuelo al que sirve el mostrador. En la Tabla 5-9, se resumen los valores de ancho de fila, superficie por pasajero y espaciado entre pasajeros “e” propuesto por IATA en función del tipo de vuelo:

Tabla 5-9. Factor "e" en función del tipo de vuelo.

Tipo de Pasajero	Ancho de fila (m)	Superficie por pasajero (m <sup>2</sup> )	Espaciado entre pasajeros.
Nacional	1,4	Nivel B: 1,9	$e = 1,36 m$
Schengen/UE no Schengen/ Internacional	1,4	Nivel B: 2,3	$e = 1,64 m$

Fuente: IATA.

En la Tabla 5-10, aparecen los valores del número de pasajeros en una cola en un momento dado, resultado de aplicar la expresión (5-12) para todas las clases de tráfico.

Tabla 5-10. Datos y resultados de aplicar la expresión (5-12).

Tipo de Pasajero	Número de mostradores “CIY”	Superficie total $St$ (m <sup>2</sup> )	Ancho del mostrador “w” (m)	Espaciado entre pasajeros.	$Nt$ (Pax)
Nacional	21	639	2,25	$e = 1,36 m$	$Nt_c = 9$
Schengen/UE no Schengen	134	4.081	2,25	$e = 1,64 m$	$Nt_c = 8$
Internacional	14	426	2,25	$e = 1,64 m$	$Nt_c = 8$

Una vez conocido el número de pasajeros de clase turista en la cola de facturación en un momento dado ( $Nt$ ) se puede conocer el tiempo máximo de espera en cola ( $MQT$ ) mediante la expresión:

$$MQT = \frac{N_t \cdot PTci}{60} \quad (5-13)$$

Siendo:

- $MQT$  Tiempo de máximo de espera en la cola de facturación.  
 $PTci$  Tiempo medio de facturación. Para Nacional, Schengen, UE no Schengen se estima en 90 s.  
 Para Internacional se consideran 135 s.

Finalmente, los pasajeros hora diseño en las colas de facturación se obtienen según la expresión:

$$PHD \text{ sal. en colas de facturación} = \frac{CIY \cdot Nt \cdot 60}{MQT} \quad (5-14)$$

En la Tabla 5-11 se resumen los resultados obtenidos de aplicar las expresiones (5-13) y (5-14) para la clase turista y todos los segmentos de tráfico.

Tabla 5-11. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-13) y (5-14) para la clase turista.

Tipo de Pasajero	Número de mostradores "CIY" Clase turista.	$N_t$ (Pax)	$MQT$ (min)	$PHD$ (Pax/h)
Nacional	21	$N_t = 9$	$MQT = 13,5$	$PHD = 840$
Schengen/UE no Schengen	134	$N_t = 8$	$MQT = 12$	$PHD = 5.360$
Internacional	14	$N_t = 8$	$MQT = 18$	$PHD = 373$

La capacidad total ( $PHD$ ) de la zona de colas de la clase turista será la suma de los  $PHD$  por tipo de pasajeros expresados en la tabla anterior:

$$PHD \text{ sal. en colas de facturación de clase turista} = 6.573 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-15)$$

Para hallar la capacidad de las colas de facturación de la clase Business se actúa de manera análoga que en la clase turista. En la Tabla (5-12), se desglosan los cálculos realizados para hallar el total de *pasajeros hora diseño* ( $PHD \text{ sal}$ ) de la clase business.

Tabla 5-12. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-13) y (5-14) para la clase business.

Tipo de Pasajero	Número de mostradores "CIY" Clase business	$N_t$ (Pax)	$MQT$ (min)	$PHD$ (Pax/h)
Nacional	5	$N_t = 9$	$MQT = 13,5$	$PHD = 200$
Schengen/UE no Schengen	16	$N_t = 8$	$MQT = 12$	$PHD = 640$
Internacional	1	$N_t = 8$	$MQT = 18$	$PHD = 26$

Sumando las capacidades de los distintos tipos de pasajeros que utilizan los mostradores business, se obtiene:

$$PHD \text{ sal. en colas de facturación de clase business} = 866 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-16)$$

Finalmente, el número total de *pasajeros hora diseño* en salidas ( $PHD \text{ sal}$ ) que pueden albergar las zonas de colas de los mostradores de facturación es:

$$PHD \text{ sal. En zonas de colas de facturación} = 7.439 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-17)$$

#### 5.2.4 Controles de Seguridad:

Se entiende por control de seguridad, el número de arcos de Rayos X y no las puertas de acceso a la zona de controles con lectores de tarjeta de embarque.

Puesto que el análisis de capacidad de los controles de seguridad de IATA no distingue por tipo de pasajeros, se van a estudiar los puestos de control de seguridad de la Planta 2 y 4 del Terminal Principal de manera conjunta (véase Planos 2B y 3B).

En la Segunda planta, en el acceso de la zona de mostradores hacia el Terminal B (Plano 2A), hay un total de tres filtros de seguridad. En la Cuarta planta, hay dos grupos de controles de seguridad: la zona Norte y la zona Sur, con cinco controles cada una, hacen un total de diez puestos de control. Los controles de esta Planta son los de uso preferente para los pasajeros que embarcan en los Terminales A, C y D.

Los parámetros recomendados por IATA para calcular la capacidad de los controles de seguridad son:

Tabla 5-13. Parámetros de controles de seguridad.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
$SC$	Número de controles de seguridad	13
$PT_{sc}$	Tiempo medio de control de seguridad (s)	12*

Fuente: IATA.

Seguidamente, se calculan los pasajeros punta en un periodo de 10 minutos mediante la expresión:

$$\text{Pasajeros punta en un periodo de 10 minutos} = SC \cdot \frac{600}{PT_{sc}} = 650 \text{ pasajeros} \quad (5-18)$$

La capacidad del control de seguridad en salidas, expresada en  $PHD$ , se calcula a partir de la expresión:

$$PHD_{sal} = \text{Pasajeros punta en un periodo de 10 minutos} \cdot 6 = 3900 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-19)$$

Por Plantas, los controles ubicados en la Planta 2, que dan acceso al Terminal B tendrán una capacidad conjunta de 900 Pax/h. Mientras que los controles ubicados en el Planta 4, con acceso a los Terminales A, C y D; pueden procesar hasta 3.000 Pax/h.

### 5.2.5 Zonas de cola de los Controles de Seguridad.

En esta subsección, al contrario que en la anterior, se va a diferenciar entre las zonas de colas de los filtros de seguridad de las Plantas 2 y 4.

En la Planta 2, tal como se indica en el Plano 2B, cada una de las dos zonas de filtros de seguridad dispone de un total de  $210 \text{ m}^2$ , con unas dimensiones de 21 m x 10 m. En la Planta 4, como se indica en el Plano 3B, cada zona de controles de seguridad cuenta con aproximadamente  $870 \text{ m}^2$ , con unas dimensiones de 34,75 m x 25 m.

El análisis de la capacidad de las zonas de colas de controles de seguridad se hace de manera análoga al de la capacidad de las zonas de colas de los mostradores de facturación, en primer lugar, se calcula el número de pasajeros en una cola en un momento dado mediante la expresión:

$$N = \frac{S}{SC \cdot w \cdot e} \quad (5-20)$$

Donde:

- $N$  Número de pasajeros en la cola de control de seguridad en un momento dado.
- $S$  Superficie ocupada por las colas de los controles de seguridad en  $\text{m}^2$ .
- $SC$  Número de controles de seguridad.
- $w$  Anchura del control de seguridad (2,5 m).
- $e$  Espaciado entre pasajeros (m).

El valor de “ $e$ ” se estima teniendo las recomendaciones para el Nivel de Servicio B. Se asume que la cola tendrá un ancho de aproximadamente 1,3 m y que al menos habrá  $1,2 \text{ m}^2$  por pasajero. Lo cual da un valor de  $e = 0,92 \text{ m}$ .

En la Tabla (5-14), aparecen los valores obtenidos del número de pasajeros en un momento dado al aplicar la expresión anterior a las diferentes zonas de colas ubicadas en el aeropuerto:

Tabla 5-14. Datos y resultados de aplicar la expresión (5-20).

Planta	Zona	Nº de controles (SC)	Superficie ocupada por las colas (m <sup>2</sup> )	Espaciado entre pasajeros "e"	N (Pax)
Planta 2	Zona Norte	2	210	e = 0,92 m	N = 45
	Zona Sur	1	210		N = 91
Planta 4	Zona Norte	5	868,75		N = 75
	Zona Sur	5	868,75		N = 75

Una vez conocido el número de pasajeros en las colas del control de seguridad en un momento dado (N), se puede conocer el tiempo máximo de espera en cola (MQT) mediante la expresión:

$$MQT = \frac{N * PT_{sc}}{60} \quad (5-21)$$

Siendo:

- MQT Tiempo máximo de espera en cola de control de seguridad.  
 PT<sub>sc</sub> Tiempo medio en el control de seguridad (s) = 12 segundos.

Finalmente, la capacidad de las colas de control de seguridad en PHD sal viene dada por la expresión:

$$PHD_{sal} \text{ en las colas de control de seguridad} = \frac{SC \cdot N \cdot 60}{MQT} \quad (5-22)$$

En la Tabla 5-15 se expresan todos los resultados obtenidos para las diferentes zonas de cola de control de seguridad:

Tabla 5-15. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-21) y (5-22).

Planta	Zona	Nº de controles (SC)	N (Pax)	MQT (min)	PHD (Pax/h)
Planta 2	Zona Norte	2	45	9	600
	Zona Sur	1	91	18,2	300
Planta 4	Zona Norte	5	75	15	1500
	Zona Sur	5	75	15	1500

Sumando la capacidad en PHD sal de todas las zonas, se tiene un total de:

$$PHD_{sal} \text{ en las colas de control de seguridad} = 3900 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-23)$$

### 5.2.6 Controles de Pasaportes en Salidas.

El procedimiento de cálculo de la capacidad de los controles de pasaportes en salidas se efectúa de manera análoga al realizado para los controles de seguridad (5.2.4), con la particularidad de que se efectuarán dos análisis independientes: El primero de ellos para los controles de seguridad habilitados durante la temporada estival, que dan acceso al Terminal A (véase Plano 5); y el segundo de ellos para los puestos de control establecidos en el Terminal D (véase Plano 8) durante los meses de verano.

En los accesos al Terminal A, empleado para conexiones No Schengen e Internacionales durante la época estival, hay un total de cuatro controles de pasaportes, colocados en el acceso para pasajeros en salidas que comunica el Terminal Principal con el Terminal A.

En la zona del Terminal D, habilitada para operar este tipo de vuelo durante la temporada invernal, se dispone de un total de dos puestos de control de pasaportes en salidas.

Tabla 5-16. Parámetros de controles de pasaportes en salidas.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>PCD</i>	Número de controles de pasaporte en salidas	Terminal A: 4 Terminal D: 2
<i>PTpcd</i>	Tiempo medio de control de pasaporte en salidas(s)	15*

Fuente: IATA.

A continuación, se calculan los pasajeros en un periodo punta de 10 minutos en los puestos de control de pasaportes mediante la expresión:

$$\text{Pasajeros en un periodo punta de 10 minutos} = PCD \cdot \frac{600}{PTpcd} \quad (5-24)$$

Finalmente, los *pasajeros hora diseño (PHD)* se estiman a partir de la siguiente expresión:

$$PHD \text{ sal (UE no Sch e Int)} = \text{Pasajeros en un periodo punta de 10 minutos} \cdot 6 \quad (5-25)$$

En la siguiente tabla se resumen los resultados para las diferentes épocas del año:

Tabla 5-16. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-24) y (5-25).

Periodo	Zona	Nº de Controles	PHD (Pax/h)
Temporada alta	Acceso al Terminal A	4	960
Temporada baja	Zona especial Terminal D	2	480

### 5.2.7 Zonas de cola de los Controles de Pasaportes en Salidas.

El procedimiento para analizar la capacidad de las zonas de colas de filtros de pasaportes en salidas es análogo al empleado en las zonas de colas de facturación y las zonas de colas de controles de seguridad. En primer lugar, por los mismos motivos descritos en la subsección anterior, se va a diferenciar entre los controles de pasaportes del Terminal A y D.

En el Terminal A, se tienen dos cabinas con dos filtros de pasaportes cada una en el acceso desde el Terminal Principal. Cada una de las dos zonas de colas asociadas a estas dos cabinas de puestos de control, cuenta con unas dimensiones de 30 m x 6 m, lo que resulta ser un total de 360 m<sup>2</sup>. En el Terminal D, la única cabina destinada al control de pasaportes en salidas, cuenta con una zona de cola de 20 m x 5,5 m.

La expresión usada para el estudio de la capacidad será:

$$N = \frac{S}{PCD \cdot w \cdot e} \quad (5-26)$$

Donde:

- $N$  Número de pasajeros en la cola de control de seguridad en un momento dado.
- $S$  Superficie ocupada por las colas de los controles de pasaportes en salidas en  $m^2$ .
- $PCD$  Número de controles de seguridad.
- $w$  Anchura del control de seguridad (2,5 m).
- $e$  Espaciado entre pasajeros (m).

Para la estimación del espaciado entre pasajeros “ $e$ ” en función del Nivel de Servicio B, se tomarán los mismos valores que en las zonas de cola del control de seguridad (4.2.5), por lo que  $e = 0,92 m$ .

Una vez conocido el número de pasajeros en la cola de control de pasaportes en un momento dado ( $N$ ), se puede conocer el tiempo máximo de espera en cola mediante la expresión:

$$MQT = \frac{N \cdot PTpcd}{60} \quad (5-27)$$

Siendo:

- $MQT$  Tiempo máximo de espera en cola de control de pasaportes
- $PTpcd$  Tiempo medio en el control de pasaportes en salidas(s) = 15 segundos.

Finalmente, se calculan los pasajeros hora diseño según la expresión:

$$PHD_{sal} (UE no Schengen e Internacionales) = \frac{PCD \cdot N \cdot 60}{MQT} \quad (5-28)$$

En la Tabla 5-17, se resumen los valores de capacidad de las zonas de control de pasaportes:

Tabla 5-17. Datos y resultados de aplicar las expresiones (5-26), (5-27) y (5-28).

Terminal	Zona	Nº de controles (PCD)	$N$ (Pax)	$MQT$ (min)	$PHD$ (Pax/h)
A	Acceso principal	4	$N = 39$	$MQT = 9,75$	960
D	Acceso a puertas D94-D99	2	$N = 23$	$MQT = 5,75$	480

### 5.2.8 Zona de Espera y Embarque

En esta subsección, se va a estimar la capacidad de las zonas de espera y embarque de los diferentes Edificios Terminales. Dado que cada terminal está destinado a un tipo diferente de tráfico, se van a analizar de manera diferente.

Tal como se explica en los Planos, el área de espera y embarque será la superficie total disponible para la espera de pasajeros en el Terminal sin tener en cuenta la zona comercial y las zonas destinadas a otros usos. En la Tabla 5-18, se establece un resumen todas las características de las zonas de espera y embarque de Palma de Mallorca.

Tabla 5-18. Zonas de embarque y espera por terminales.

Terminal	Tráfico Servido	Área de espera y embarque
A	UE No Schengen e Internacional	P0: 4.660 m <sup>2</sup> / P1: 12.485 m <sup>2</sup>
B	Interinsular	P0: 2.865 m <sup>2</sup>
C	Schengen	P1: 28.830 m <sup>2</sup>
D	Nacional	P1: 13.320 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia. Planos.

Para calcular la capacidad en pasajeros por hora de una zona de espera y embarque, IATA propone los siguientes parámetros:

Tabla 5-19. Parámetros de zona de espera y embarque.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>A</i>	Área de permanencia (m <sup>2</sup> )	Tabla 5-18
<i>S</i> <sub>1</sub>	Superficie por pasajero en circulación (m <sup>2</sup> /pax)	2,3*
<i>S</i> <sub>2</sub>	Superficie por pasajero sentado (m <sup>2</sup> /pax)	1,7*
<i>S</i> <sub>3</sub>	Superficie por pasajero de pie (m <sup>2</sup> /pax)	1,2*
<i>p</i> <sub>1</sub>	Proporción de pasajeros sentados	80%*
<i>p</i> <sub>2</sub>	Proporción de pasajeros de pie	20%*

Fuente: IATA.

La expresión que relaciona los parámetros descritos en la Tabla 5-19 es:

$$P = \frac{A}{\%circulando \cdot s_1 + \%esperando \cdot (s_2 \cdot p_1 + s_3 \cdot p_2)} \quad (5-29)$$

La relación (5-29) da una estimación de la capacidad en pasajeros de la zona de espera para un determinado instante de tiempo. Teniendo en cuenta que la capacidad se expresa en pasajeros/hora, es necesario realizar una aproximación del tiempo de estancia por pasajero en el edificio terminal. Estos dos conceptos – Pasajeros por hora y tiempo de estancia – están relacionados por la expresión (5-30):

$$PHD_{sal} \text{ de la zona de espera y embarque} = \frac{P \cdot 60}{i \cdot u + k \cdot v} \quad (5-30)$$

Donde:

- u* Es el tiempo de permanencia de pasajeros en vuelos nacionales (min). La recomendación de IATA es que sea estimado como 30 min.
- v* Es el tiempo de permanencia de pasajeros en vuelo internacionales (min). La recomendación de IATA es que sea estimado como 60 min.
- i* Proporción de pasajeros en vuelo Nacional y Schengen.
- k* Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional.

Los resultados obtenidos por Terminal se desglosan a continuación.

**Terminal A:** En este Terminal se hará una diferenciación por Plantas. En la Planta 1, se dispone de una amplia oferta comercial y de restauración junto con una mayor extensión, por tanto, se establecerá una proporción 50/50 en el porcentaje de pasajeros circulando y en espera. En cambio, en la Planta 0, la extensión es menor y prácticamente no hay zonas comerciales, por lo que se tomará una proporción 20/80 de pasajeros en circulación y espera. Los datos de partida para análisis se resumen en la Tabla 5-20:

Tabla 5-20. Datos del Terminal A necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).

Parámetro	Descripción	Valor Planta 0	Valor Planta 1
$A$	Zona de espera y embarque	4.660 $m^2$	12.485 $m^2$
$\%Esp$	Porcentaje de pasajeros esperando	80%	50%
$\%Cir$	Porcentaje de pasajeros circulando	20%	50%
$i$	Proporción de pasajeros en vuelo nacional y Schengen	0%	0%
$k$	Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional	100%	100%

Aplicando la expresión (5-29), los valores del parámetro  $P$  son 2678,16 para la Planta 0 y 6.402,56 para la Planta 1. Finalmente, sustituyendo en la expresión (5-30) se obtiene:

$$PHD (Planta 0) = 2.678 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-31)$$

$$PHD (Planta 1) = 6.402 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-32)$$

$$PHD (Terminal A) = 9.080 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-33)$$

**Terminal B:** Al ser un Terminal con escasa superficie y pocos locales comerciales, parece lógico suponer que la mayoría de pasajeros estarán esperando. Por lo que se tomarán como porcentajes de referencia que hay un 20% de pasajeros circulando y un 80% de los pasajeros esperando. Los datos de partida para realizar los cálculos se han resumido en la siguiente tabla:

Tabla 5-21. Datos del Terminal B necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).

Parámetro	Descripción	Valor
$A$	Zona de espera y embarque	2.865 $m^2$
$\%Esp$	Porcentaje de pasajeros esperando	80%
$\%Cir$	Porcentaje de pasajeros circulando	20%
$i$	Proporción de pasajeros en vuelo nacional y Schengen	100% (Interinsulares)
$k$	Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional	0%

Aplicando la expresión (5-29), se llega a que el parámetro  $P$  vale 1646,55. Por tanto, sustituyendo en la expresión (5-30), el número de pasajeros hora diseño del Terminal B será:

$$PHD (\text{Terminal B}) = 3.293 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-34)$$

**Terminal C:** Dada la gran extensión de superficie de este Terminal y la gran cantidad de locales comerciales y de restauración disponibles, se establecerá una proporción 50/50 en el número de pasajeros esperando y circulando. A continuación, se resumen los datos de partida tenidos en cuenta para el análisis de este Terminal:

Tabla 5-22. Datos del Terminal C necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).

Parámetro	Descripción	Valor
$A$	Zona de espera y embarque	28.830 $m^2$
$\%Esp$	Porcentaje de pasajeros esperando	50%
$\%Cir$	Porcentaje de pasajeros circulando	50%
$i$	Proporción de pasajeros en vuelo nacional y Schengen	100%
$k$	Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional	0%

Aplicando la expresión (5-29), el parámetro  $P$  tiene como resultado 14.784,61. Por tanto, empleando la ecuación (5-30), el total de pasajeros hora diseño sería:

$$PHD (\text{Terminal C}) = 29.569 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-35)$$

**Terminal D:** En el Terminal D se van a calcular dos capacidades diferentes. La primera de ellas teniendo en cuenta que durante la temporada estival se operan únicamente pasajeros Nacionales y la segunda, considerando que durante la temporada invernal habrá tanto pasajeros Nacionales como No Schengen.

Al igual que en el caso anterior, dada la gran distancia que existe para llegar a determinadas puertas del Terminal y la gran cantidad de locales comerciales, se volverá a establecer una proporción 50/50 en el número de pasajeros esperando y circulando.

En la siguiente tabla se resumen los datos de empleados en calcular la capacidad del Terminal D:

Tabla 5-23. Datos del Terminal D necesarios para aplicar las ecuaciones (5-29) y (5-30).

Parámetro	Descripción	Valor (T. Alta)	Valor (T. Baja)
$A$	Zona de espera y embarque	13.320 $m^2$	13.320 $m^2$
$\%Esp$	Porcentaje de pasajeros esperando	50%	50%
$\%Cir$	Porcentaje de pasajeros circulando	50%	50%
$i$	Proporción de pasajeros en vuelo nacional y Schengen	100%	50%
$k$	Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional	0%	50%

Aplicando la expresión (5-29), el parámetro  $P$  tiene como resultado de 6.830,77. Sustituyendo en la ecuación (5-30), se obtienen los valores para la temporada alta:

$$PHD \text{ sal} (\text{Terminal D}) = 13.661 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-36)$$

Y para la temporada baja:

$$PHD \text{ sal (Terminal D)} = 9.107 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-37)$$

### 5.3 Capacidad en Llegadas del Sistema.

En esta sección, se estiman los *PHD* en llegadas de cada uno de los espacios por lo que circula el flujo de llegadas de pasajeros. Tal como indica IATA, se va a realizar el análisis de capacidad de cada una de las estancias por separado.

#### 5.3.1 Controles de Pasaportes en Llegadas.

Al igual que en la sección anterior, se analizarán los controles de pasaportes en llegadas para la época estival y los meses de invierno por separado.

Los controles de pasaportes en llegadas operados durante la temporada estival se encuentran en la Planta 0 del Terminal Principal (véase Plano 1A). Se dispone de un total de tres cabinas de pasaportes con dos puestos de control cada una, lo que hace un total de seis controles. Los parámetros utilizados para el cálculo son:

Tabla 5-24. Parámetros de controles de pasaportes en llegadas.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>PCA</i>	Número de controles de pasaporte en llegadas	Planta 0: 6 Terminal D: 2
<i>PTpca</i>	Tiempo medio de control de pasaporte en llegadas(s)	30

Fuente IATA.

Mediante la relación (5-38), se llega a la capacidad de los controles de pasaportes en llegadas:

$$PHD_{lleg}(UE \text{ no Schengen e Internacionales}) = PCA \cdot \frac{3600}{PTpca} \quad (5-38)$$

Los resultados para cada configuración en función de la temporada se expresan en la Tabla (5-25):

Tabla 5-25. Capacidad de los controles de pasaportes en llegadas.

Periodo	Zona	Nº de Controles	PHD (Pax/h)
Temporada alta	Terminal Principal. Planta 0	6	720
Temporada baja	Zona especial Terminal D	2	240

#### 5.3.2 Zonas de cola de los Controles de Pasaportes en Llegadas.

De manera análoga a la subsección anterior, se analizarán los controles de pasaportes en llegadas para la época estival y los meses de invierno por separado.

La zona de cola de control de pasaportes en llegadas usada durante la época estival aparece en el Plano 1B y se sitúa en la Planta 0 del Terminal Principal. La zona de cola es para el conjunto de los 6 puestos de control es de 447,5 m<sup>2</sup>.

La zona de control de pasaportes operada en el Terminal D, usada durante la temporada invernal, dispone de una superficie de  $110 m^2$ . Se encuentra representada en el Plano 8.

El procedimiento a emplear en este cálculo es idéntico al empleado en las zonas de cola de los controles de pasaportes en salidas (5.2.7), a excepción del tiempo medio en el control de pasaportes, el cual, se estima en 30s para las llegadas, por lo que directamente se expondrán los resultados obtenidos en la Tabla 4-26.

Tabla 5-26. Resultados de las expresiones (5-26), (5-27) y (5-28) para los controles de pasaportes.

Terminal	Zona	Nº de controles (PCD)	$N$ (Pax)	$MQT$ (min)	$PHD$ (Pax/h)
Principal	Planta 0	6	$N = 32$	$MQT = 16$	720
D	Acceso a puertas D94-D99	2	$N = 23$	$MQT = 11,5$	240

### 5.3.3 Hipódromos de Recogida de Equipajes.

Para el cálculo de la capacidad de los hipódromos de recogida de equipajes, IATA, propone agruparlos según sirvan a aeronaves de fuselaje ancho (Wide Body) o a modelos de fuselaje estrecho (Narrow Body). Esto es debido a que los hipódromos que sirven a aeronaves de fuselaje ancho tienen mayor tamaño y tienen la cualidad de poder servir a varios vuelos a la vez. Para calcular la capacidad, se estima que un hipódromo “Narrow Body” sólo sirve a una aeronave “Narrow Body” simultáneamente mientras que un hipódromo “Wide Body” se puede utilizar para el equipaje de una aeronave “Wide Body” o de dos “Narrow Body” a la vez.

Como se comentó en la descripción de las instalaciones (Subsección 2.2.1), el aeropuerto de Palma de Mallorca dispone de un total de 18 hipódromos: 11 de ellos de mayor tamaño y con capacidad de atender aeronaves de fuselaje ancho y los otros 7 de menores dimensiones. Los primeros serán considerados como hipódromos “Wide Body” y los segundos como “Narrow Body”.

En la Tabla 5-27 se exponen los parámetros propuestos por IATA para calcular la capacidad de los hipódromos de recogida de equipajes:

Tabla 5-27. Parámetros de hipódromos de recogida de equipajes.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
$N_1$	Número de hipódromos “Wide Body”	11
$N_2$	Número de hipódromos “Narrow Body”	7
$a$	Tiempo de asignación de hipódromos para aeronaves “Narrow Body” (min).	20*
$b$	Tiempo de asignación de hipódromos para aeronaves “Wide Body” (min).	45*
$(pax/avo)_{WB}$	Pasajeros por aeronave “Wide Body” al 80% del factor de carga	320*
$(pax/avo)_{NB}$	Pasajeros por aeronave “Narrow Body” al 80% del factor de carga	100*

Fuente: IATA.

Para finalizar, las expresiones utilizadas para el cálculo de la capacidad de los hipódromos son:

$$\text{Capacidad hipódromos Wide Body} = \frac{60 \cdot N_1}{b} (pax/avo)_{WB} = \frac{60 \cdot 11}{45} \cdot 320 = 4.693 \text{ pax/h} \quad (5-39)$$

$$\text{Capacidad hipódromos Narrow Body} = \frac{60 \cdot N_2}{a} (pax/avo)_{NB} = \frac{60 \cdot 7}{20} \cdot 100 = 2.100 \text{ pax/h} \quad (5-40)$$

### 5.3.4 Sala de Recogida de Equipajes.

La Sala de recogida de equipajes se divide en zona de espera ( $A_1$ ) y zona de circulación ( $A_2$ ). La zona de espera y recogida de equipajes ( $A_1$ ) no debe incluir la superficie ocupada por los hipódromos. Esta distribución de la sala de recogida de equipajes de la Planta 0 del Terminal Principal se encuentra recogida en los Planos 1A y 1B. Seguidamente, se enumeran los parámetros propuestos por IATA en el cálculo de la sala de recogida de equipajes.

Tabla 5-28. Parámetros de sala de recogida de equipajes.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
$A_1$	Área de espera y recogida de equipajes ( $m^2$ )	5.036 $m^2$
$A_2$	Área de circulación ( $m^2$ )	7.960 $m^2$
$s_1$	Superficie por pasajero en área de espera y recogida ( $m^2/pax$ )	2*
$s_2$	Superficie por pasajero en circulación ( $m^2/pax$ )	2,3*
$a$	Tiempo de asignación de hipódromos "Narrow Body" (min)	20*
$b$	Tiempo de asignación de hipódromos "Wide Body" (min)	45*
$c$	Proporción de pasajeros "Narrow Body"	80%
$d$	Proporción de pasajeros "Wide Body"	20%

Fuente: IATA.

La capacidad de la sala de recogida de equipajes, en *PHD*, se calcula mediante la expresión (5-41):

$$PHD \text{ lleg. Sala de recogida de equipajes} = \left( \frac{A_1}{s_1} + \frac{A_2}{s_2} \right) \cdot \frac{60}{(a \cdot c + b \cdot d)} = 14.349 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-41)$$

### 5.3.5 Vestíbulo de Llegadas.

El Vestíbulo de llegadas conecta la sala de recogida de equipajes con el exterior del edificio. Tiene un total de 8.090  $m^2$ . Los parámetros empleados por IATA para el cálculo de la capacidad en el vestíbulo de llegadas se encuentran expresados en la Tabla 5-29.

Tabla 5-29. Parámetros de vestíbulo de llegadas.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>A</i>	Área Sala de llegadas ( $m^2$ )	8.090 $m^2$
<i>SPP</i>	Superficie por pasajero ( $m^2/pax$ )	2,3*
<i>VPP</i>	Acompañantes por pasajero	0,5*
<i>AOP</i>	Tiempo medio de permanencia por pasajero (min)	5*
<i>AOV</i>	Tiempo medio de permanencia por visitante (min)	30*

Fuente: IATA.

Con los valores expresados en la Tabla 5-29, se calcula la capacidad, en *PHD*, mediante la expresión (5-42):

$$PHD_{Ueg \text{ Vestíbulo de llegadas}} = \frac{A \cdot 60}{SPP \cdot (AOP + AOV \cdot VPP)} = 10.552 \text{ pasajeros/hora} \quad (5-42)$$

#### 5.4 Resumen de la capacidad de los Edificios Terminales.

En primer lugar, se van a recopilar todos los resultados obtenidos a lo largo de capítulo que afectan a la capacidad de la temporada alta. Como es lógico, esta configuración es la que más pasajeros es capaz de atender. En la Tabla 5-30 aparecen las capacidades de todas las zonas y espacios habilitados en temporada alta, para un Nivel de Servicio B, agrupadas por subsistemas.

Tabla 5-30. Capacidades de los subsistemas de los Edificios Terminales. T. alta.

Flujo	Zona	Unidades	Capacidad (Pax/h)
SALIDAS	Vestíbulo de salidas.	<i>PHD sal</i>	14.685
	Mostradores de facturación.	<i>PHD sal</i>	10.927
	Zona de colas de facturación.	<i>PHD sal</i>	7.439
	Control de seguridad en salidas	<i>PHD sal</i>	3.900
	Control de pasaporte en salidas	<i>PHD sal (No Sch) *</i>	960
	Zona de espera y embarque.	<i>PHD sal (No Sch) *</i>	Terminal A: 9.080
		<i>PHD sal (I) *</i>	Terminal B: 3.293
<i>PHD sal (Sch) *</i>		Terminal C: 29.569	
<i>PHD sal (N) *</i>		Terminal D: 13.661	
LLEGADAS	Control de pasaportes en llegadas	<i>PHD lleg (No Sch) *</i>	720
	Hipódromos de recogida de equipajes.	<i>PHD lleg</i>	6.793
	Sala de recogida de equipajes.	<i>PHD lleg</i>	14.349
	Vestíbulo de llegadas	<i>PHD lleg</i>	10.552

**No Sch** (Pasajeros No Schengen); **S** (Pasajeros Schengen); **I** (Pasajeros Interinsulares); **N** (Pasajeros Nacionales).

Las unidades *PHD sal/lleg* expresadas por segmentos de tráfico, indican que cada una de esas zonas únicamente recibe pasajeros de la clase especificada. Más adelante, en el siguiente capítulo, para comparar la capacidad por segmentos de tráfico con la demanda prevista, habrá que recurrir a los modelos de demanda desglosados por origen/destino de los pasajeros. Este último Cálculo se realizó en la Sección 3.2, para la temporada alta, y se expone en la Tabla (3-8). Sobre los resultados expuestos en la Tabla (5-30) cabe realizar los siguientes comentarios:

- Aunque se han calculado a lo largo de este capítulo y aparecen en la Tabla (5-30), las capacidades de los vestíbulos de salidas y de llegadas no se consideran zonas críticas a la hora de evaluar la capacidad de un Edificio Terminal.
- Las capacidades de los controles de pasaportes, se suelen estimar el *PHD sal/lleg* en términos de tráfico absoluto para analizar cuál es la zona más crítica del Edificio Terminal.

Al hilo de lo comentado en el punto anterior, para pasar de unidades (No Sch) a unidades de pasajeros hora diseño en términos globales, se emplea el porcentaje de este tipo de tráfico sobre el total del aeropuerto. En la Tabla (5-31), se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5-31. Relación entre *PHD* y *PHD (No Sch)*.

Zona	Capacidad <i>PHD (No Sch)</i>	Porcentaje de pasajeros No Schengen e Internacional	Capacidad <i>PHD</i>
Control de pasaporte en salidas	960	21,1%	4.550
Control de pasaporte en llegadas	720		3.412

No Sch (Pasajeros No Schengen)

A la vista de los datos expresados en las Tablas 5-30 y 5-31. Se llega a las siguientes conclusiones:

- La **capacidad en salidas** del conjunto de los Edificios Terminales es de **3.900 pasajeros/hora**, ya que la capacidad del control de seguridad es la más restrictiva en el flujo de salidas.
- La **capacidad en llegadas** del conjunto de los edificios terminales es de **3.412 pasajeros/hora**, debido a que la capacidad de los controles de pasaportes en llegadas es la más restrictiva para este flujo.

A continuación, para la temporada invernal, se detallan los cambios de capacidad que tienen lugar. Ente los meses de noviembre y marzo, se cierra el Terminal A y se operan los vuelos No Schengen por el Terminal D, trasladando los controles de pasaportes a la zona especial habilitada en este último terminal. Además de la capacidad de los filtros de pasaportes, se ve modificada la capacidad de la zona de espera y embarque del Terminal D. En la siguiente Tabla (5-32) se muestran los subsistemas que sufren modificación respecto a los expuestos en la Tabla (5-30).

Tabla 5-32. Capacidades de algunos subsistemas durante la temporada baja.

Flujo	Zona	Unidades	Capacidad (Pax/h)
SALIDAS	Control de pasaporte en salidas	<i>PHD sal (No Sch)</i>	480
		<i>PHD sal</i>	2.275
	Zona de espera y embarque.	<i>PHD sal (I)</i>	Terminal B: 3.293
		<i>PHD (Sch)</i>	Terminal C: 29.569
		<i>PHD (N + No Sch)</i>	Terminal D: 9.107
LLEGADAS	Control de pasaportes en llegadas	<i>PHD lleg (No Sch)</i>	240
		<i>PHD lleg</i>	1.137

No Sch (Pasajeros No Schengen); S (Pasajeros Schengen); I (Pasajeros Interinsulares); N (Pasajeros Nacionales).

Como se aprecia en Tabla 5-32, la capacidad de la zona de espera y embarque del Terminal D se ve modificada por recibir pasajeros de dos segmentos de tráfico diferentes. En los controles de pasaportes, además de su capacidad expresada en unidades (*No Sch*), también se ha expresado en términos de pasajeros hora diseño globales. Para hallar estos últimos datos, se ha recurrido al procedimiento expuesto en la Tabla 5-31. Finalmente, para la temporada invernal se llega a las siguientes conclusiones:

- La **capacidad en salidas** del conjunto de los Edificios Terminales es de **2.275 pasajeros/hora**, ya que la capacidad de los controles de pasaportes es la más restrictiva del conjunto de los subsistemas del flujo de salidas durante la temporada baja.
- La **capacidad en llegadas** del conjunto de los Edificios Terminales es de **1.137 pasajeros/hora**, ya que la capacidad de los controles de pasaportes es la más restrictiva del conjunto de los subsistemas del flujo de llegadas durante la temporada baja.



# 6 ANÁLISIS CAPACIDAD/DEMANDA

En el presente capítulo, se expondrán los resultados de las capacidades calculadas del Capítulo 4, Capacidad de los Subsistemas de Movimiento de Aeronaves; y Capítulo 5, capacidad de los Subsistemas de Actividades Aeroportuarias, y se compararán con el modelo de demanda para el año 2015 expuesto en el Capítulo 3. Mediante el contraste de los valores obtenidos en estos capítulos, se obtiene el parámetro “Capacidad/Demanda”, el cual, permite al operador aeroportuario establecer una comparativa entre la demanda de tráfico y las capacidades ofertadas; y en virtud de esto, adecuar el uso de las instalaciones y plantear posibles mejoras.

El parámetro Capacidad/Demanda (C/D), desde el punto de vista del operador aeroportuario, tiene las siguientes connotaciones:

- Si  $C/D > 1$ , la capacidad de las instalaciones es más que suficiente para hacer frente al valor de demanda planteado.
- Si  $C/D = 1$  o está muy próximo a la unidad, las instalaciones podrán hacer frente a la demanda, pero estarán al borde de la saturación, por lo que se hace necesario estudiar procedimientos alternativos o posibles ampliaciones.
- Si  $C/D < 1$ , la capacidad de las instalaciones se ve ampliamente superada por el nivel de demanda planteado, por lo que se hace imprescindible realizar proyectos de ampliación para poder hacer frente a la demanda prevista.

En las siguientes secciones se va a realizar el Análisis Capacidad/Demanda, para cada temporada, diferenciando entre el subsistema de movimiento de aeronaves y el de actividades aeroportuarias. Seguidamente, se realizarán los comentarios oportunos en función de los resultados obtenidos.

## 6.1 Temporada alta.

### 6.1.1 Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

Los datos de capacidades del subsistema de movimiento de aeronaves se encuentran resumidos en la Sección 4.4. El modelo de demanda de aeronaves empleado en la comparación para caracterizar la temporada estival, se encuentra desarrollado en la Subsección 3.2.1.

Las pistas del aeropuerto de Palma de Mallorca operan despegues y aterrizajes de manera segregada, es decir, los aterrizajes se efectúan por la Pista 24L y los despegues por la Pista 24R, por lo que se realizará el análisis de manera individualizada para llegadas y salidas. Las unidades empleadas para este análisis del Sistema de Pistas serán *AHD sal/lleg*. Para la Plataforma de estacionamiento de aeronaves, se utilizará el parámetro *AHD*.

En la Tabla 6-1, se presentan los resultados obtenidos del Análisis Capacidad/Demanda para el Sistema de Pistas y la Plataforma. Además, se ha resaltado en color azul aquellos casos en los que la capacidad es el doble o más que la demanda planteada.

Tabla 6-1. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves. T alta.

	Capacidad (movimientos/hora)	Demanda (movimientos/hora)	Capacidad/Demanda
Pista 24L (Llegadas)	33	32	1,03
Pista 24R (Salidas)	39	35	1,11
Plataforma	170	60	<b>2,83</b>

De los resultados obtenidos en la Tabla 6-1, se desprenden los siguientes comentarios y conclusiones:

- La **Pista 24L** podría encontrarse al borde de su capacidad durante periodos punta en días de temporada alta, máxime si se tiene en cuenta que la demanda de aeronaves propuesta en la Subsección 3.2.1 (32 aeronaves/hora) podría no ser la de mayor tráfico del año y no están incluidos los aterrizajes de aeronaves no comerciales. Por este motivo, podrían plantearse medidas alternativas para aquellos días en los que esté previsto que se sobrepase la capacidad de la pista.
- La **Pista 24R**, a priori, tendría la capacidad suficiente para hacer frente al número de despegues planteados. No obstante, siguiendo el argumento expuesto en el punto anterior, la demanda de despegues propuesta (35 aeronaves/hora) podría no ser la de mayor tráfico del año y faltaría tener en cuenta las operaciones de aeronaves no comerciales.
- La **Plataforma de estacionamiento de aeronaves** tendría capacidad suficiente para hacer frente al nivel de demanda planteado. Sin embargo, la capacidad de la Plataforma podría verse mermada por el uso de puestos para estacionamientos de larga estancia o para tareas de mantenimiento. Además, cabe la posibilidad de que el factor de utilización sea inferior al propuesto.

Las posibles soluciones operativas para corregir las deficiencias detectadas, serán expuestas en el Capítulo 7.

### 6.1.2 Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

Los datos de capacidades del Subsistema de Actividades Aeroportuarias se encuentran desarrollados a lo largo del Capítulo 5 y resumidos para la temporada estival en la Tabla 5-30. El modelo de demanda tomado para el tráfico de pasajeros en salidas y llegadas en temporada alta, se encuentra descrito en la Subsección 3.2.2.

En la Tabla 6-2, los casos en los que la capacidad es el doble o más de la demanda planteada han sido resaltados en color azul. Las infraestructuras que no cuentan con capacidad suficiente para hacer frente a la demanda establecida han sido resaltadas en color rojo.

Tabla 6-2. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias. T alta.

Flujo	Zona	Unidades	Capacidad (Pax/h)	Demanda (Pax/h)	C/D
SALIDAS	Vestíbulo de salidas.	<i>PHD sal</i>	14.685	7.895	1,86
	Mostradores de facturación.	<i>PHD sal</i>	10.927	7.895	1,38
	Zona de colas de facturación.	<i>PHD sal</i>	7.439	7.895	<b>0,94</b>
	Control de seguridad en salidas	<i>PHD sal</i>	3.900	7.895	<b>0,49</b>
	Control de pasaporte en salidas	<i>PHD sal (No Sch)</i>	960	1.674	<b>0,57</b>
	Zona de espera y embarque.	<i>PHD sal (No Sch)</i>	Term. A: 9.080	1.674	<b>5,42</b>
		<i>PHD sal (I)</i>	Term. B: 3.293	229	<b>14,39</b>
		<i>PHD sal (Sch)</i>	Term. C: 29.569	4.342	<b>6,81</b>
<i>PHD sal (N)</i>		Term. D: 13.661	1.650	<b>8,27</b>	
LLEGADAS	Control de pasaportes en llegadas	<i>PHD lleg (No Sch)</i>	720	696	1,03
	Hipódromos de equipajes	<i>PHD lleg</i>	6.793	3.284	<b>2,06</b>
	Sala de recogida de equipajes.	<i>PHD lleg</i>	14.349	3.284	<b>4,36</b>
	Vestíbulo de llegadas	<i>PHD lleg</i>	10.552	3.284	<b>3,21</b>

No Sch (Pasajeros No Schengen); S (Pasajeros Schengen); I (Pasajeros Interinsulares); N (Pasajeros Nacionales).

Respecto a los resultados obtenidos en la Tabla 6-2, en primer lugar, hay que realizar las siguientes consideraciones:

- Los datos de **capacidad** expuestos en la Tabla 6-2, son fruto de las mediciones hechas sobre un plano “no oficial” del operador aeroportuario. Además, están influenciados por los parámetros propuestos por IATA para ofrecer un Nivel de Servicio B.
- Los datos de **demanda** expuestos en la Tabla 6-2, no tienen el rango de validez de los valores de demanda seleccionados de un estudio de todas las horas del año.

Una vez que se han tenido en cuenta los comentarios expuestos en los puntos anteriores, del Análisis Capacidad/Demanda, se extraen las siguientes conclusiones:

- En el **Flujo de Salidas**, las zonas de colas de facturación, los controles de seguridad y los de pasaportes; verían superada su capacidad respecto del modelo de demanda. Especialmente significativos son los casos de los controles de seguridad y pasaportes, que estarían fuertemente congestionados al estar sus ratios C/D muy por debajo de la unidad. Esto hace que sea necesario estudiar medidas de ampliación.  
En el caso de las zonas de colas de facturación, la capacidad no dista tanto de la demanda propuesta, aunque al estar el parámetro C/D en el entorno de la unidad, habría que plantear medidas de ampliación.
- En el **Flujo de Llegadas**, ninguno de los subsistemas presenta valores de la ratio C/D por debajo de la unidad. Aunque los controles de pasaportes en llegadas tendrían un nivel de solvencia más bajo, a priori, no habría que plantear posibles ampliaciones en este flujo.

Al igual que en el Subsistema de Movimiento de Aeronaves, las posibles soluciones operativas para corregir las deficiencias detectadas, serán expuestas en el Capítulo 7.

## 6.2 Temporada baja.

### 6.2.1 Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

Los datos de Capacidades del Subsistema de Movimiento de Aeronaves se encuentran resumidos en la Sección 4.4. El modelo de demanda de aeronaves empleado en la comparación para caracterizar la temporada invernal, se encuentra desarrollado en la Subsección 3.3.1.

La metodología para realizar el Análisis Capacidad/Demanda será idéntica a la empleada para la temporada alta. En la Tabla 6-3, se muestran los resultados obtenidos. Al igual que en la sección anterior, los elementos que cuentan con el doble o más de capacidad que la demanda prevista han sido resaltados en color azul.

Tabla 6-3. Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves. T baja.

	Capacidad (movimientos/hora)	Demanda (movimientos/hora)	Capacidad/Demanda
Pista 24L (Llegadas)	33	18	1,83
Pista 24R (Salidas)	39	18	<b>2,16</b>
Plataforma	170	28	<b>5,5</b>

De los resultados obtenidos en la Tabla 6-3, cabe realizar las siguientes consideraciones:

- Todas las puntualizaciones respecto a la validez de los datos de capacidad y demanda expuestos en la Subsección 6.1.1 son igualmente aplicables para los expuestos en la Tabla 6-3.
- Como era de esperar, no se detecta saturación en ninguno de los subsistemas durante la temporada invernal. En el caso de la Pista 24R (Salidas) se duplica la capacidad para hacer frente a la demanda y en el caso de la Plataforma incluso se quintuplica.

Además del análisis realizado anteriormente, desde el punto de vista del exceso de oferta, cabe plantearse si podrían tomarse algunas medidas para hacer un mejor uso de las instalaciones en periodos de infrautilización. Este aspecto, será estudiado en el Capítulo 7.

## 6.2.2 Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Actividades Aeroportuarias.

Los datos de Capacidades del Subsistema de Actividades Aeroportuarias se encuentran desarrollados a lo largo del Capítulo 5. Además, en la Sección 5.4, se hace un pequeño resumen de la capacidad de las instalaciones con el “Plan especial de Invierno”. El modelo de demanda tomado para el tráfico de pasajeros en salidas y llegadas en temporada baja, se encuentra descrito en la Subsección 3.3.2. Tal como se explicó en el Resumen de Capacidades (Sección 5.4), se supone que salvo las instalaciones relacionadas con los pasajeros No Schengen, el resto no sufren modificaciones de Capacidad.

En la Tabla 6-4, al igual que en la sección anterior, los casos en los que la capacidad es el doble o más de la demanda planteada han sido resaltados en color azul. Las infraestructuras que no cuentan con capacidad suficiente para hacer frente a la demanda establecida han sido resaltadas en color rojo.

Tabla 6-4. Análisis Capacidad/Demanda de los Subsistemas de Actividades Aeroportuarias. T Baja.

Flujo	Zona	Unidades	Capacidad (Pax/h)	Demanda (Pax/h)	C/D
SALIDAS	Vestíbulo de salidas.	<i>PHD sal</i>	14.685	3.675	<b>3,99</b>
	Mostradores de facturación.	<i>PHD sal</i>	10.927	3.675	<b>2,97</b>
	Zona de colas de facturación.	<i>PHD sal</i>	7.439	3.675	<b>2,02</b>
	Control de seguridad en salidas	<i>PHD sal</i>	3.900	3.675	1,06
	Control de pasaporte en salidas	<i>PHD sal (No Sch)</i>	480	779	<b>0,61</b>
	Zona de espera y embarque.	<i>PHD sal (I)</i> <i>PHD sal (Sch)</i> <i>PHD sal (N + No Sch)</i>	Term. B: 3.293 Term. C: 29.569 Term. D: 9.107	106 2.021 1.548	<b>31,06</b> <b>14,63</b> <b>5,88</b>
LLEGADAS	Control de pasaportes en llegadas	<i>PHD lleg (No Sch)</i>	240	407	<b>0,58</b>
	Hipódromos de equipajes	<i>PHD lleg</i>	6.793	1.919	<b>3,01</b>
	Sala de recogida de equipajes.	<i>PHD lleg</i>	14.349	1.919	<b>7,48</b>
	Vestíbulo de llegadas	<i>PHD lleg</i>	10.552	1.919	<b>5,50</b>

**No Sch** (Pasajeros No Schengen); **S** (Pasajeros Schengen); **I** (Pasajeros Interinsulares); **N** (Pasajeros Nacionales).

Las consideraciones realizadas en la Subsección 6.2.2 respecto de los datos de capacidad y demanda son igualmente aplicables para los valores de la Tabla 6-4. Del Análisis Capacidad/Demanda, se extraen las siguientes conclusiones:

- En el **Flujo de Salidas**, únicamente los controles de pasaportes en salidas verían superada su capacidad respecto al nivel de demanda planteado. A la vista de esto, habría que plantear medidas de ampliación.
- En el **Flujo de Llegadas**, al igual que en el Flujo de Salidas, los controles de pasaportes en llegadas no tendrían la capacidad suficiente para hacer frente al nivel de demanda propuesto. Como resultado de este razonamiento, habría que plantear medidas de ampliación.

Cabe plantearse si, además del plantear ampliaciones de los elementos deficitarios, podrían tomarse algunas medidas para hacer un mejor uso de las instalaciones en periodos de infrautilización. Este aspecto, será estudiado en el Capítulo 7.



# 7 SOLUCIONES PROPUESTAS

A lo largo de este capítulo, se van a analizar las posibles ampliaciones de los subsistemas que se mostraron deficientes en el capítulo anterior. Además, para la temporada invernal, se estudiarán posibles alternativas para promover un uso eficiente de las instalaciones.

## 7.1 Propuestas para la temporada alta.

### 7.1.1 Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

Del Análisis Capacidad/ Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves realizado en la Subsección 6.1.1, se extrajeron dos conclusiones:

- La cercanía del modelo de demanda empleado con la Capacidad Práctica del Sistema de Pistas realizando operaciones segregadas, es decir, llegadas por la Pista 24L y salidas por la Pista 24R. En la práctica, esto supone que, con una alta probabilidad, durante las horas punta del año se superarán los diez minutos de demora establecidos como aceptables.
- La solvencia de la Plataforma de estacionamiento de aeronaves para hacer frente a la demanda planteada.

Con el objetivo de no superar los diez minutos de demora aceptables por operación en el Sistema de Pistas, se va a estudiar la viabilidad de establecer otra propuesta de configuración del Sistema de Pistas en caso de saturación. Para este supuesto, ya existe una configuración establecida en el Plan Directo y consiste en establecer un sistema semi-mixto, con la Pista 24L empleada para operaciones de sólo llegadas de Reactores Pesados y Medios; y la Pista 24R atendiendo simultáneamente todas las salidas y las llegadas de aeronaves Turbo hélice y de Aviación General. En la Figura 7-1, se muestra un esquema de cómo se llevarían a cabo las operaciones en esta configuración.

Figura 7-1. Configuración de Pistas contemplada en el Plan Director en caso de saturación.

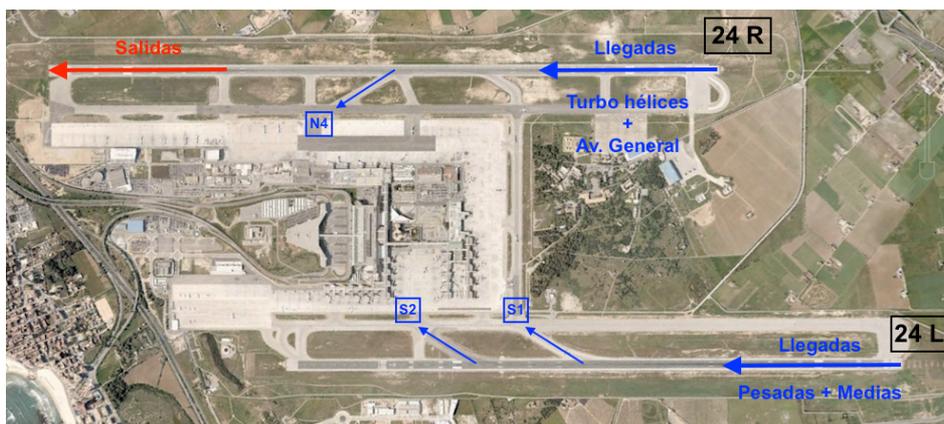


Imagen: Google Maps

La metodología de cálculo empleada será idéntica a la expuesta en el cálculo de la capacidad del Sistema de Pistas en el estado actual (véase 4.2.1):

- Para la Pista 24L, realizando únicamente operaciones de aterrizaje de Reactores Pesados y Medios, se estima el tiempo medio por operación de aterrizaje y se calcula la capacidad de la misma como la inversa de ese tiempo esperado.
- Para la Pista 24R, realizando operaciones mixtas con aterrizajes de Turbo hélices y Aviación General y todos los despegues, se realiza el cálculo de capacidad de la pista como si operase únicamente aterrizajes y, a continuación, se estudian los posibles huecos entre llegadas para poder realizar despegues.

La metodología de cálculo empleada será la que se desarrolló en los cálculos de capacidad del Sistema de Pistas (4.2.1). Las hipótesis de partida y el desarrollo de los cálculos se encuentran expuestos en el Anexo D.

### 7.1.1.1 Capacidad de la Pista 24L.

Todos los resultados expuestos en esta subsección, se encuentran desarrollados en los apartados D.3.1.1 y D.3.1.2 del Anexo D.

El tiempo medio obtenido por operación de aterrizaje de la Pista 24R operando aterrizajes de Reactores Pesados y Medios, para cualquier modelo de aeronave, es:

$$E(t) = 86,25 \text{ s} \quad (7-1)$$

La capacidad última en operaciones de aterrizaje, vendrá dada por la inversa del tiempo estimado por operación (7-1), con el resultado:

$$C_{Llegadas-24L} = \frac{1}{E(t)} = 41 \text{ Llegadas/hora} \quad (7-2)$$

La Varianza de los tiempos medios, esto es, la diferencia entre tiempos estimados por operación para diferentes tipos de aeronaves, tiene como resultado.

$$\sigma_t^2 = 120,99 \text{ s}^2 \quad (7-3)$$

Por tanto, la Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 10,99 s.

Para estimar la Capacidad Práctica en llegadas de la Pista 24L, se aplica la fórmula de Pollaczek-Khinchine:

$$W_a = \frac{\lambda_a \cdot \left( \sigma_a^2 + \left( \frac{1}{\mu_a} \right)^2 \right)}{2 \left( 1 - \frac{\lambda_a}{\mu_a} \right)} \quad (7-4)$$

Siendo:

$W_a$	Tiempo esperado de demoras.
$\lambda_a$	Número de llegadas por hora.
$\mu_a$	La Capacidad de Saturación obtenida en el apartado anterior, estimada en 41 llegadas/hora.
$\sigma_a$	La Desviación típica de las llegadas, aproximadamente 10,99 s.

En la Tabla 7-1, se expresan los resultados de aplicar la fórmula de Pollaczek-Khinchine para estimar las demoras bajo distintos niveles de demanda.

Tabla 7-1. Demoras estimadas para la Pista 24L. Operaciones semi-mixtas.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
37	6,875	40	29,728
38	9,414	41	$\infty$
39	14,942		

La Capacidad Práctica de la Pista 24L en operaciones de sólo llegadas de Reactores Pesados y Medios será aquella que mantenga las demoras por debajo de los 10 minutos.

$$C(\text{Práctica})_{Llegadas-24L} = 38 \text{ Llegadas/hora} \quad (7-5)$$

### 7.1.1.2 Capacidad de la Pista 24R.

Todos los resultados expuestos en esta subsección, se encuentran desarrollados en los apartados D.3.1.1 y D.3.1.2 del Anexo D. En primer lugar, se estimará la capacidad en operaciones de sólo llegadas de los grupos Turbo hélice y Aviación General. A continuación, se realizará el cálculo para operaciones mixtas teniendo en cuenta los huecos entre llegadas.

El tiempo medio obtenido por operación de aterrizaje de la Pista 24L operando aterrizajes de los grupos Turbo hélice y Aviación General, para cualquier modelo de aeronave, es:

$$E(t) = 101,42 \text{ s} \quad (7-6)$$

La capacidad última en operaciones de aterrizaje vendrá dada por la inversa del tiempo estimado por operación (7-6), con el resultado de:

$$C_{Llegadas-24R} = \frac{1}{E(t)} = 35 \text{ Llegadas/hora} \quad (7-7)$$

La Varianza de los tiempos medios, esto es, la diferencia entre tiempos estimados por operación para diferentes tipos de aeronaves, tiene como resultado:

$$\sigma_t^2 = 938,22 \text{ s}^2 \quad (7-8)$$

La Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 30,63 s. De la estimación de los posibles huecos entre llegadas, se obtiene que la Pista tendrá una Capacidad de Saturación en salidas con prioridad 100% llegadas de:

$$C_{Salidas(Prioridad\ 100\% \text{ Llegadas})} = 34 \text{ salidas/hora} \quad (7-9)$$

Para estimar la Capacidad Práctica en operaciones mixtas, se ha procedido de la siguiente manera:

- Se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones de sólo aterrizaje, mediante la aplicación de la fórmula de Pollaczek-khinchine.
- A continuación, se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones de sólo despegue utilizando esta misma expresión.
- Por último, se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones mixtas mediante un Diagrama de Pareto.

El Diagrama de Pareto permite conocer la combinación de aterrizajes y despegues admisible para no superar la capacidad de la Pista. Se representan las salidas por hora en el Eje de Abscisas, y el número de llegadas por hora en el Eje de Ordenadas. Los puntos que caracterizan la capacidad de la pista en operaciones mixtas son:

- La capacidad de la pista en operaciones de sólo llegadas, es decir, sin aterrizajes.
- La capacidad de la pista en operaciones de sólo salidas, es decir, sin despegues.
- La capacidad en operaciones mixtas con prioridad 100% de los aterrizajes sobre los despegues.

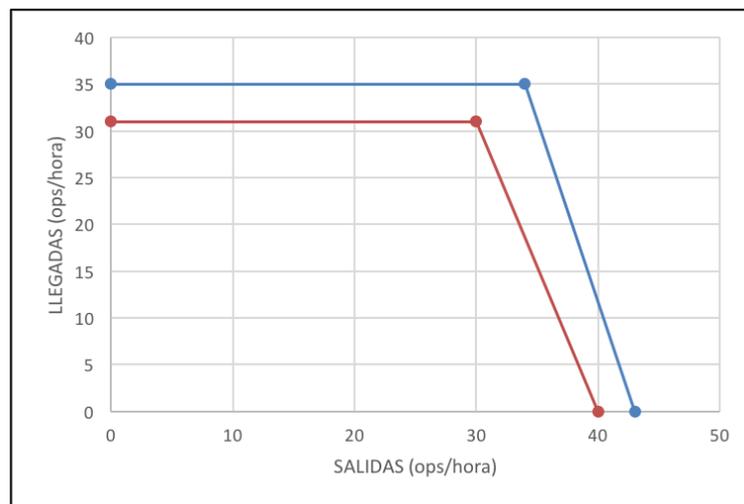
Las rectas que unen estos tres puntos conforman el Diagrama de Pareto de una pista con operaciones mixtas. Cada uno de los puntos que conforman estas rectas, son combinaciones de operaciones posibles. En la Tabla 7-2, se muestran todos los valores necesarios para el análisis.

Tabla 7-2. Puntos que definen el Diagrama de Pareto.

Llegadas TH+AG / Salidas TODAS		Sólo Llegadas	Sólo Salidas	Mixta (Prioridad 100% llegadas)
Capacidad de Saturación	Llegadas	35	0	35
	Salidas	0	43	34
Capacidad Práctica (10 min)	Llegadas	31	0	31
	Salidas	0	39	30

Finalmente, en la Figura 7-2, se representa el Diagrama de Pareto para la operación de aterrizajes de Turbo hélices y Aviación General; y todos los despegues. La línea azul representa la Capacidad de Saturación y la roja, la Práctica.

Figura 7-2. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.



Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.1.3 Ajuste Capacidad/Demanda de la Solución Propuesta.

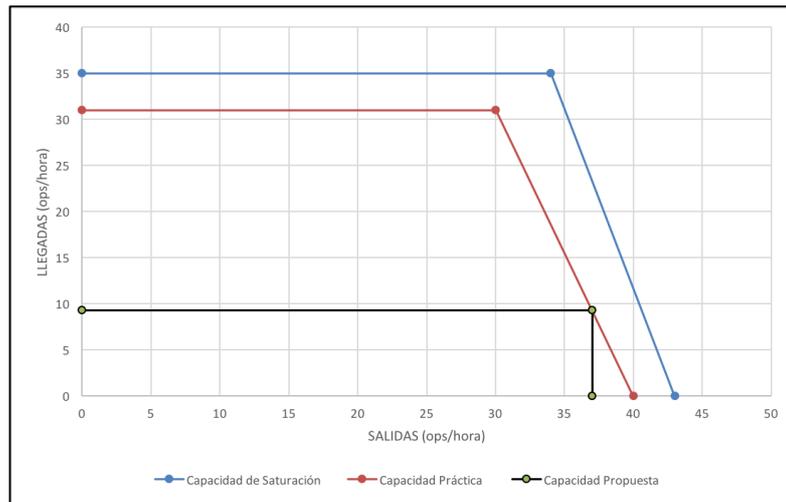
La demanda tipo establecida para caracterizar la temporada estival, está compuesta por 32 aterrizajes y 35 despegues por hora. Para hacer frente a este número de operaciones, la actual configuración del Sistema de Pistas tiene la capacidad de atender 33 aterrizajes y 39 despegues por hora.

Como se explicó en el apartado anterior, la ventaja del Análisis de Pareto es que permite elegir una configuración de uso de una pista con operaciones mixtas. Dado que la actual configuración del Sistema de Pistas tiene tan sólo un ratio C/D de sólo 1,03 para hacer frente a la demanda de llegadas prevista, se ha decidido seleccionar una capacidad de la configuración semi-mixta que permita aumentar considerablemente el número de llegadas. La capacidad finalmente seleccionada para esta configuración será:

- 38 aterrizajes de Reactores Pesados y Medios por la Pista 24L.
- 9 aterrizajes de Turbo hélices y Aviación General por la Pista 24R
- 37 despegues de todos los tipos de aeronaves por la Pista 24R.

Las capacidades de la Pista 24R se han hallado entrando en el Diagrama de Pareto (7-2) con 37 despegues hora, como se muestra en la Figura 7-3:

Figura 7-3. Capacidad de la Pista 24R en operaciones semi-mixtas.



En la Tabla 7-3, se estima el valor de parámetro C/D de esta nueva configuración y se compara con el de la configuración actual.

Tabla 7-3. Ajuste Capacidad/Demanda del Sistema de Pistas. T Alta.

Uds. (Av./hora)	Demanda	Capacidad (Operaciones segregadas)	C/D	Capacidad (Operaciones semi-mixtas)	C/D
Aterrizajes	32	33	1,03	38 + 9	1,46
Despegues	35	39	1,11	37	1,05

La gran ventaja de la configuración seleccionada, es que el parámetro C/D de los aterrizajes se ve incrementado un 42% a costa de disminuir la capacidad en despegues sólo un 5,4%. Además, ambos parámetros se mantienen por encima de la unidad.

Aunque con la configuración semi-mixta la capacidad en salidas es menor que con la actual, es importante recordar que las operaciones de llegada siempre tendrán prioridad sobre las salidas, debido a la necesidad de operar los aterrizajes con la mayor celeridad posible.

### 7.1.2 Necesidades de los Edificios Terminales.

En esta Subsección, se van a cuantificar las necesidades de ampliación de aquellas partes del Subsistema de Actividades Aeroportuarias que se revelaron como deficientes en el Análisis Capacidad/Demanda. (6.1.2).

Al igual que para el cálculo de Capacidades, IATA propone una serie de métodos para calcular las necesidades de ampliación. En coherencia con el Capítulo 5 y para poder establecer comparaciones sobre la misma base, se usarán los parámetros propuestos por esta organización.

### 7.1.2.1 Zonas de cola de los Mostradores de Facturación.

Las diferentes áreas destinadas a las colas de los mostradores de facturación del aeropuerto de Palma están tomadas de manera que exista un pasillo intermedio de 5 metros entre cada zona para posibilitar el tránsito de pasajeros a los mostradores que se encuentran más alejados de la puerta de entrada (véase Plano 2B).

La superficie tomada para cada zona de 16 mostradores (37,5 m de ancho por 13 m de largo) son las realmente establecidas en el aeropuerto de Palma, puesto que el final de la cola coincide con una fila de columnas del edificio. Sin embargo, el área de colas es fácilmente moldeable debido a que se encuentran delimitadas únicamente por cintas.

A la vista de estos hechos, si se quisiese ampliar la capacidad de la zona de colas de facturación, se podría establecer un nuevo recorrido de colas más amplio, aunque esto iría en detrimento de la movilidad interna de la Planta 2.

Aunque podrían ampliarse las zonas de colas como se acaba de comentar. La deficiencia en el área de colas no es tan relevante por varios motivos:

- El alto número de mostradores disponibles en el aeropuerto de Palma hace que el conjunto de la capacidad de la zona de facturación sea muy elevado (10.927 Pasajeros/hora)
- El hecho de que la mayoría de las aerolíneas que utilizan el aeropuerto de Palma sea de bajo coste, hace que decaiga el número de pasajeros que hacen uso de los mostradores de facturación.

### 7.1.2.2 Controles de Seguridad en Salidas.

Como se demostró en el Análisis C/D de la temporada estival, los Controles de Seguridad en salidas tienen una capacidad de **3.900 pasajeros/hora** para hacer frente a una demanda prevista de **7.895 pasajeros/hora**, lo que induce a plantear un aumento de la capacidad de los controles de seguridad. A continuación, se describen los pasos que propone IATA para llevar a cabo dicha ampliación.

En primer lugar, se calcula la demanda generada en un periodo de 10 minutos para cada tipo de tráfico mediante la expresión:

$$PHD 10'_i = CIY_i \cdot \left( \frac{600}{PTci_i} \right) \cdot (1 + \%paxclasebusiness) \quad (7-10)$$

Donde  $CIY$  y  $PTci$  son los parámetros usados en el cálculo de los mostradores de facturación (Subsección 5.2.2). El porcentaje de pasajeros de clase Business se estima en un 12,5%. Seguidamente, se calcula el número de controles de seguridad por tipo de tráfico con la expresión (7-11), asumiendo un tiempo medio de proceso ( $PTsc$ ) es de 12 s.

$$SC_i = PHD 10'_i \cdot \left( \frac{PTsc}{600} \right) \quad (7-11)$$

En la Tabla (7-4), se muestran todos los resultados extraídos de aplicar las ecuaciones (7-10) y (7-11).

Tabla 7-4. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-10) y (7-11).

Segmento	$CIY$	$PTci$	$PHD 10'_i$	$SC_i$
Nacional	21	90	157,5	3,15
Schengen /No Schengen	126	90	945	18,9
Internacional	14	135	70	1,4

El número total de controles de seguridad necesarios será la suma de los valores de la expresión (7-11) para todas las clases de tráfico (3ª columna de la Tabla (7-4)). Lo que da como resultado un total de 24 controles de seguridad.

Si actualmente hay un total de 13 controles de seguridad en el Terminal Principal de Palma de Mallorca, según los estándares para un Nivel de Servicio B, sería necesario poner 11 más.

### 7.1.2.3 Controles de Pasaportes en Salidas.

Al igual que en el caso de los Controles de Seguridad, los Controles de Pasaportes también se muestran ineficientes para atender la demanda de pasajeros en salidas. Para hacer frente a un total de **1.674 pasajeros/hora** de tipo No Schengen, sólo se dispone de una capacidad de **920 pasajeros/hora**. Esto hace que deban plantearse posibles ampliaciones en el número de puestos.

Para la estimación de las necesidades de Controles de Pasaportes en Salidas, se procede de manera similar al cálculo del número de controles de seguridad realizado en la subsección anterior. En primer lugar, se calcula la demanda generada en un periodo de 10 minutos para el tráfico internacional y UE No Schengen:

$$PD10' = CIY \cdot \left(\frac{600}{PTci}\right) \cdot (1 + \%paxclasebusiness) \quad (7-12)$$

Seguidamente, se calcula el número de controles de pasaporte teniendo en cuenta que sólo han de pasar los pasajeros en vuelo UE No Schengen e Internacional. El tiempo medio por pasajero ( $PTpcd$ ) se estima en 15 segundos.

$$PCD = PHD10' \cdot \left(\frac{PTpcd}{600}\right) \quad (7-13)$$

En la Tabla (7-5), se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7-5. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-12) y (7-13).

Segmento	$CIY$	$PTci$	$PD10'$	$PCD$
No Schengen	50	90	375	9,375
Internacional	14	135	70	1,5

El número total de controles de pasaportes necesarios será la suma de los valores de la expresión (7-13), lo que supone un total de 11 controles. Si actualmente hay un total de 4 controles de pasaportes en salidas en el aeropuerto de Palma de Mallorca, según los estándares de un Nivel de Servicio B, sería necesario instalar 7 puestos más.

## 7.2 Propuestas para la temporada baja.

### 7.2.1 Subsistema de Movimiento de Aeronaves.

Del Análisis Capacidad/Demanda del Subsistema de Movimiento de Aeronaves para la temporada invernal, se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La solvencia que presenta el Sistema de Pistas actual para hacer frente a la demanda de aeronaves del día tipo considerado para la temporada invernal.
- Al igual que el Sistema de Pistas, la Plataforma de estacionamiento de aeronaves presenta capacidad sobrada para hacer frente a la demanda de la temporada baja.

Las conclusiones anteriores son lógicas, puesto que las infraestructuras destinadas a la atención de aeronaves se dimensionan en base a datos punta del año, los cuales se producen durante la temporada estival.

A la vista de los resultados obtenidos por el Análisis Capacidad/Demanda, pueden plantearse medidas destinadas a promover un uso más eficiente de las instalaciones. Con este objetivo, a lo largo de esta subsección, se va a plantear la posibilidad de realizar todas las operaciones por una sola pista durante la época invernal. Dicha configuración no aparece en ningún documento oficial de Aena y se trata de una propuesta que se circunscribe únicamente al ámbito de este Trabajo.

La configuración propuesta contaría con la Pista 24R para todas las operaciones de Llegada, abandonando las aeronaves de los grupos Turbo hélice y Aviación General la pista por la calle de salida rápida N4 y el resto de aviones agotando la distancia disponible de aterrizaje (LDA); Así mismo, todas las Salidas tendrían lugar por esta misma pista.

El motivo por el cual se ha seleccionado la Pista 24R en vez de la Pista 24L es por la prohibición que presenta esta última para realizar operaciones de Salida debido a las servidumbres de ruido impuestas por el operador aeroportuario.

Figura 7-4. Configuración de pistas propuesta para la temporada baja.



Imagen: Google Maps.

#### 7.2.1.1 Capacidad de la Pista 24R.

La metodología de cálculo empleada será idéntica a la expuesta en la Subsección 4.2.1. Todos los resultados expuestos a continuación, se encuentran desarrollados en los apartados D.4.1 y D.4.2 del Anexo D. Así mismo, las hipótesis de partida que se han tomado para realizar los cálculos también se encuentran en el citado Anexo.

En primer lugar, se estimará la capacidad en operaciones de sólo llegadas. A continuación, se realizará el cálculo para operaciones mixtas teniendo en cuenta los huecos entre llegadas.

El tiempo medio obtenido por operación de aterrizaje de la Pista 24R, para cualquier modelo de aeronave, es:

$$E(t) = 94,97 \text{ s} \quad (7-14)$$

La capacidad última en operaciones de aterrizaje, vendrá dada por la inversa del tiempo estimado por operación (7-14), con el resultado:

$$C_{Llegadas-24R} = \frac{1}{E(t)} = 37 \text{ Llegadas/hora} \quad (7-15)$$

La Varianza de los tiempos medios, esto es, la diferencia entre tiempos estimados por operación para diferentes tipos de aeronaves, tiene como resultado.

$$\sigma_t^2 = 1065,34 \text{ s}^2 \quad (7-16)$$

Por tanto, la Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 32,64 s.

De la estimación de los posibles huecos entre llegadas, se obtiene que la Pista tendrá una Capacidad de Saturación en salidas con prioridad 100% llegadas de:

$$C_{Salidas(Prioridad\ 100\% \text{ Llegadas})} = 6 \text{ salidas/hora} \quad (7-17)$$

Para estimar la Capacidad Práctica en operaciones mixtas, se ha procedido de la siguiente manera:

- Se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones de sólo aterrizaje, mediante la aplicación de la fórmula de Pollaczek-Khinchine.
- A continuación, se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones de sólo despegue utilizando esta misma expresión.
- Por último, se ha estimado la Capacidad Práctica en operaciones mixtas mediante un Diagrama de Pareto.

Como se explicó en la sección anterior, el Diagrama de Pareto permite conocer la combinación de aterrizajes y despegues admisible para no superar la capacidad de la Pista. En el Eje de las Abscisas, se representan las salidas por hora. En el Eje de Ordenadas, se coloca el número de llegadas por hora. Los puntos que caracterizan la capacidad de la pista en operaciones mixtas son:

- La capacidad de la pista en operaciones de sólo llegadas, es decir, sin aterrizajes.
- La capacidad de la pista en operaciones de sólo salidas, es decir, sin despegues.
- La capacidad en operaciones mixtas con prioridad 100% de los aterrizajes sobre los despegues.

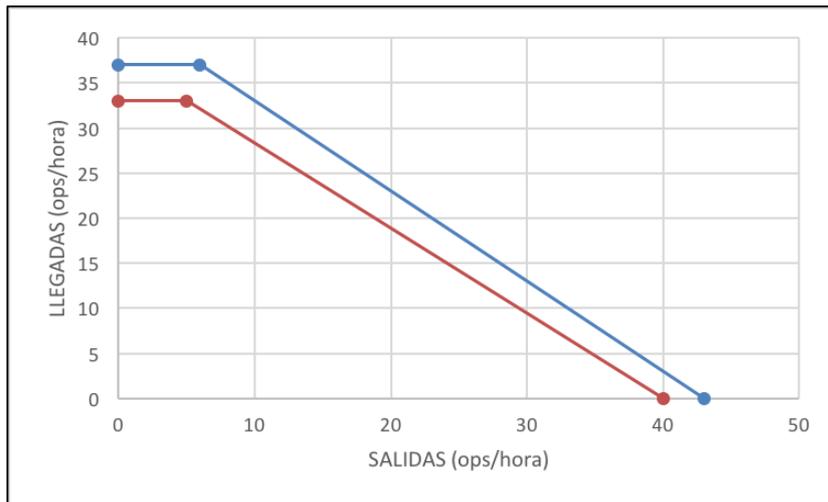
Las rectas que unen estos tres puntos, conforman el Diagrama de Pareto de una pista con operaciones mixtas y son combinaciones de operaciones posibles. En la Tabla 7-6, se muestran todos los valores necesarios para el análisis.

Tabla 7-6. Puntos que definen el Diagrama de Pareto.

Llegadas TH+AG / Salidas TODAS	Sólo Llegadas	Sólo Salidas	Mixta (Prioridad 100% llegadas)	
Capacidad de Saturación	Llegadas	37	0	37
	Salidas	0	43	6
Capacidad Práctica (10 min)	Llegadas	33	0	33
	Salidas	0	40	5

Finalmente, en la Figura 7-5, se representa el Diagrama de Pareto de la Pista 24R para todas las operaciones. La línea azul representa la Capacidad de Saturación y la roja, la Práctica.

Figura 7-5. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Operaciones mixtas.



Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.1.2 Ajuste Capacidad/Demanda de la Solución Propuesta.

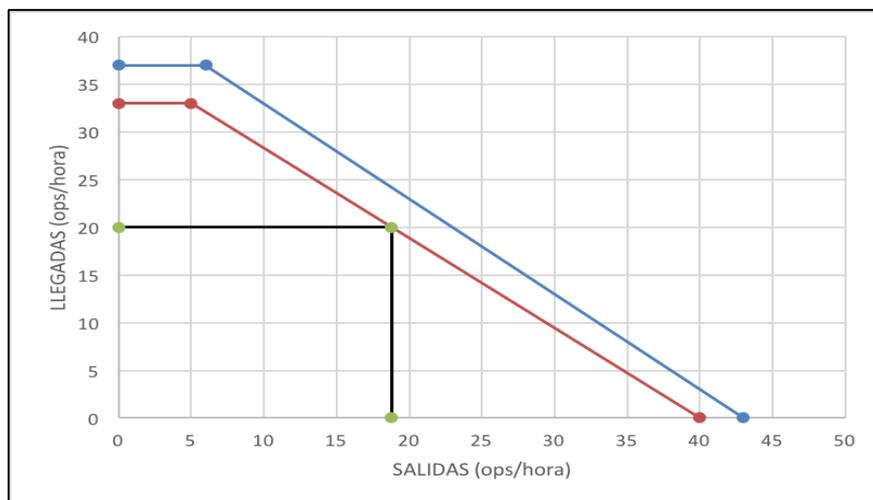
La demanda tipo establecida para caracterizar la temporada estival, está compuesta por 18 aterrizajes y 18 despegues por hora. Para hacer frente a este número de operaciones, la actual Configuración del Sistema de Pistas tiene la capacidad de atender 33 aterrizajes y 39 despegues por hora.

Como se explicó en la sección anterior, la ventaja del Análisis de Pareto es que permite elegir una configuración de uso de una pista con operaciones mixtas. En base a esto, se ha decidido seleccionar una capacidad de la configuración mixta que tenga una mayor capacidad de llegadas que de salidas pero que, a la misma vez, cumpla el objetivo de atender la demanda de 18 despegues y 18 aterrizajes. La capacidad finalmente seleccionada para esta configuración será:

- 19 aterrizajes.
- 19 despegues.

Las capacidades de la Pista 24R se han hallado entrando en el Diagrama de Pareto (7-5) con 19 despegues por hora, como se muestra en la Figura 7-6:

Figura 7-6. Capacidad de la Pista 24R en operaciones mixtas.



En la Tabla 7-3, se estima el valor de parámetro C/D de esta nueva configuración y se compara con el de la configuración actual.

Tabla 7-7. Ajuste Capacidad/Demanda del Sistema de Pistas. T. baja.

Uds. (Av./hora)	Demanda	Capacidad (Operaciones segregadas)	C/D	Capacidad (Operaciones semi-mixtas)	C/D
Aterrizajes	18	33	1,83	19	1,05
Despegues	18	39	2,16	19	1,05

Aunque la capacidad de atender operaciones de despegues y aterrizajes se vería ostensiblemente reducida con esta Configuración Mixta con una única Pista, no se obtendría un parámetro C/D por debajo de la Unidad y, además, bajo las hipótesis realizadas y el rango de validez de la expresión de Pollaczek-Khinchine, se obtendrían demoras por debajo de los diez minutos.

Ciertamente, para el día de mayor tráfico de entre los registrados en temporada invernal, la capacidad de operación de una única pista estaría un poco ajustada con la demanda. Sin embargo, comparando la capacidad de esta configuración con la demanda registrada en los otros dos días de esta temporada, queda demostrado que, durante épocas de poco tráfico, es posible plantear el funcionamiento de una única Pista en Operaciones mixtas. En la Tabla 7-8, se pone de manifiesto esta afirmación:

Tabla 7-8. Viabilidad de uso de una única pista.

Uds. (Av./hora)	Capacidad (Operaciones mixtas)	Demanda (24/03/2015)	C/D	Demanda (26/11/2015)	C/D
Aterrizajes	19	12	1,58	13	1,46
Despegues	19	11	1,72	9	2,11

## 7.2.2 Necesidades de los Edificios Terminales.

En esta subsección, se van a cuantificar las necesidades de ampliación de aquellas partes del Subsistema de Actividades Aeroportuarias que se revelaron como deficientes en el Análisis Capacidad/Demanda realizado para la configuración de instalaciones del Plan de Invierno (6.2.2). La Metodología a seguir será la propuesta por IATA para el cálculo de ampliaciones.

### 7.2.2.1 Controles de Pasaportes en Salidas.

Al igual que en la temporada alta, la zona de Controles de Pasaportes en Salidas que se habilita en el Terminal D durante el invierno, se muestra insuficiente para atender la demanda de **779 Pasajeros/hora**. A la vista de esto, será necesario ampliar la capacidad de **480 pasajeros/hora**.

El procedimiento de cálculo es idéntico al realizado en la Subsección 7.1.2. En primer lugar, se calcula la demanda generada en un periodo de 10 minutos para el tráfico internacional y UE No Schengen:

$$PD10' = CIY \cdot \left(\frac{600}{PT_{Ci}}\right) \cdot (1 + \%paxclasebusiness) \quad (7-18)$$

Se calcula el número de Controles de Pasaportes teniendo en cuenta que sólo han de pasar los pasajeros en vuelo UE No Schengen e Internacional.

$$PCD = PHD10' \cdot \left(\frac{PT_{pcd}}{600}\right), \text{ siendo } PT_{pcd} = 15 \text{ s} \quad (7-19)$$

Durante el día 27/12/2015 hay un total de 8 mostradores que sirven a vuelos No Schengen, todos ellos sirviendo vuelos con destino el Reino Unido. El estudio de uso de los Mostradores de Facturación para el día 27/12 se encuentra expuesto en el Anexo B. En la Tabla 7-9, se detallan los resultados obtenidos de aplicar las ecuaciones anteriores.

Tabla 7-9. Resultados de aplicar las ecuaciones (7-18) y (7-19).

Segmentos	<i>CIY</i>	<i>PTci</i>	<i>PD10'</i>	<i>PCD</i>
No Schengen	8	90	60	1,5
Internacional	0	135	0	0

Según el cálculo de necesidades, sólo harían falta dos puestos de control de pasaporte para la temporada invernal. De hecho, este es el número de puestos que hay disponibles en Palma de Mallorca. Sin embargo, cabe destacar que el día seleccionado como tipo para la temporada baja se caracteriza por el escaso tráfico de pasajeros No Schengen e Internacional. Por tanto, en coherencia con el Análisis Capacidad/Demanda realizado en la Subsección 6.2.2, se considera necesario instalar dos controles más de pasaportes para atender la demanda de pasajeros No Schengen e Internacional durante la temporada invernal.

#### 7.2.2.2 Controles de Pasaportes en Llegadas.

Los Controles de Pasaportes en llegadas habilitados en el Terminal D durante la temporada invernal se muestran insuficientes para hacer frente a la demanda de **407 pasajeros/hora** planteada. Por tanto, será necesario ampliar la actual capacidad de **240 pasajeros/hora**.

Los parámetros usados en el cálculo de las necesidades de ampliación de los Controles de Pasaportes en Llegadas se exponen en la siguiente Tabla.

Tabla 7-10. Parámetros necesarios para la ampliación de Controles de Pasaportes en Llegadas.

Parámetro	Descripción	Recomendación IATA*
<i>PHD (No Sch)</i>	Pasajeros hora diseño que provienen de países UE no Schengen e Internacionales.	407
<i>NP</i>	Número de puertas de salida de los aviones	1 Narrow Body 2 Wide Body
<i>AHD (No Sch)</i>	Aeronaves hora diseño que provienen de países UE no Schengen e Internacionales	4
<i>PTpca</i>	Tiempo medio en el control de pasaportes en llegadas (s).	30*

Fuente: IATA.

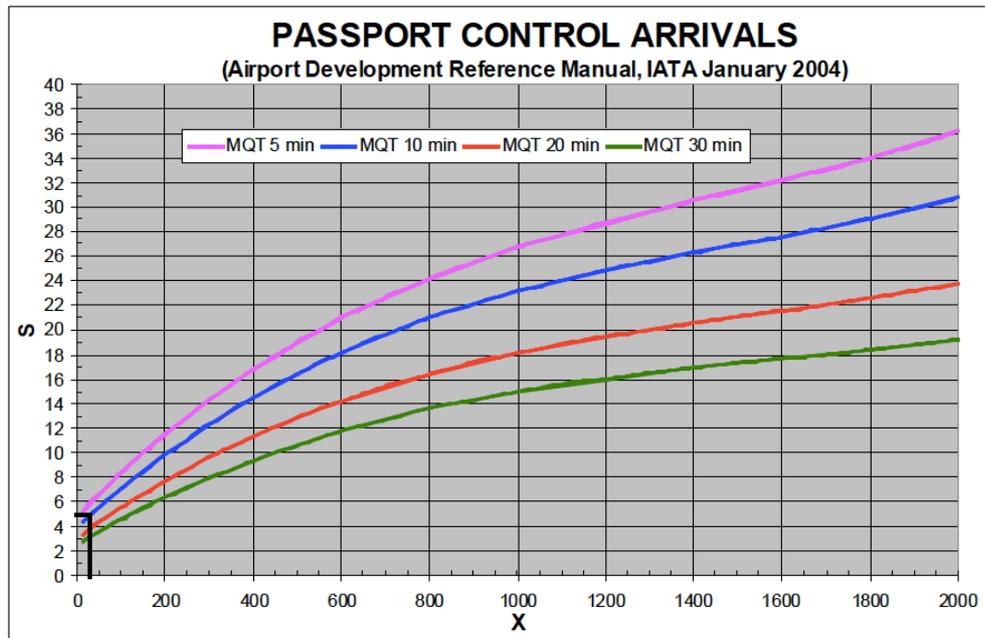
Para calcular las necesidades en número de puestos de control de pasaportes en llegadas hay que seguir una serie de pasos. En primer lugar, se determina el valor del parámetro *X* a partir de los pasajeros hora diseño en llegadas No Schengen (*PHD No Sch*), y el número de puertas para abandonar el avión (*NP* – que será una para Narrow Body y dos para Wide Body-).

$$X = \frac{PHD(No Sch) \cdot NP \cdot AHD(No Sch)}{100} = \frac{407 \cdot 1 \cdot 4}{100} = 16,28 \quad (7-20)$$

$$AHD(No Sch) = 18,6\% \cdot AHD\text{ lleg} = 4 \quad (7-21)$$

Se calcula el parámetro intermedio  $S$ , en función de  $X$  y de  $MQT$ , del Gráfico siguiente, donde  $MQT$  se estima en 10 minutos como recomienda IATA.

Figura 7-7. Parámetro intermedio  $S$  en función de  $X$ . Control de pasaportes en llegadas.



Fuente: IATA.

Como se aprecia en la Figura 7-7 el mínimo valor del parámetro  $S$  que proporciona IATA en función del parámetro  $X$  está entre 4 y 5. Por lo que se seleccionará un valor para  $S$  de 4,5.

$$PCA = S \cdot \left( \frac{PTpca}{20} \right) = 4,5 \cdot \left( \frac{30}{20} \right) = 6,75 \quad (7-22)$$

El resultado de la expresión (7-22) indica que IATA propone instalar 7 Controles de Pasaportes en Llegadas para hacer frente a la demanda Invernal con un Nivel de Servicio B. Teniendo en cuenta esto, sería necesario ampliar en 5 puestos de Control de Pasaportes la capacidad actualmente ofertada.

### 7.2.3 Propuesta de Plan de Invierno.

Como se ha ido comentado a lo largo del Proyecto, la única medida que se conoce del “Plan Especial de Invierno” es el cierre del Terminal A entre los meses de noviembre y marzo. Al mismo tiempo, los vuelos No Schengen se operan por una zona habilitada a tal efecto en el Terminal D. Se da por supuesto que el resto de las instalaciones no sufren modificación alguna.

En la presente Subsección, se va a proponer el cierre del Terminal D junto con el Terminal A durante la época invernal. De tal manera que la configuración de servicio de los Edificios Terminales quedaría de la siguiente forma:

- Por el Terminal B se realizaría la operación de vuelos Interinsulares.
- Por el Terminal C se realizaría la operación de los vuelos Nacionales, Schengen y No Schengen. Estos últimos, se realizarían por una zona especial habilitada en una de las dos prolongaciones del Terminal (Véase Plano 7)

Respecto al último punto, podrían instalarse los 11 Controles de Pasaportes necesarios (4 en salidas y 11 en llegadas) en el acceso a las Puertas C54 – C59. De esta forma, habría disponible el mismo número de puertas para vuelos No Schengen que en el Terminal D durante la época invernal.

Para comprobar la viabilidad de dicho planteamiento, únicamente habría que estimar la capacidad de pasajeros del Terminal C teniendo en cuenta que, en este supuesto, contaría con la presencia de tres segmentos de pasajeros diferentes (Nacionales, Schengen y No Schengen).

El método de cálculo utilizado, sería análogo al empleado para estimar la capacidad de las Zonas de Espera y Embarque (5.2.8). A continuación, se describen las hipótesis tomadas:

Dada la gran extensión de superficie del Terminal C y la gran cantidad de locales comerciales y de restauración disponibles, se establecerá una proporción 50/50 en el número de pasajeros esperando y circulando. Como porcentaje de pasajeros de cada segmento, se tendrá en cuenta que cerca del 80% corresponderán a vuelos Nacionales (excluyendo interinsulares) y Schengen. El 20% restante, serán pasajeros No Schengen.

Tabla 7-11. Datos del Terminal C necesarios para aplicar las ecuaciones (5-32) y (5-33).

Parámetro	Descripción	Valor
$A$	Zona de espera y embarque	28.830 $m^2$
$\%Esp$	Porcentaje de pasajeros esperando	50%
$\%Cir$	Porcentaje de pasajeros circulando	50%
$i$	Proporción de pasajeros en vuelo nacional y Schengen	80%
$k$	Proporción de pasajeros en vuelo UE no Schengen e Internacional	20%

Aplicando la expresión (5-32), el parámetro  $P$  tiene como resultado 14.784,61. Por tanto, empleando la ecuación (5-33), el total de pasajeros hora diseño sería:

$$PHD_{sal \text{ Zona de espera y embarque}} = \frac{P \cdot 60}{i \cdot u + k \cdot v} = 24.641 \text{ pasajeros/hora} \quad (7-23)$$

La capacidad de la zona de espera y embarque del Terminal C se ve reducida en un 16,6%. Desde los **29.569 pasajeros/hora** hasta los **24.641 pasajeros/hora**. Teniendo en cuenta que, en esta misma sección, ya se han

calculado las necesidades de Controles de Pasaportes en salidas y en llegadas; en la siguiente Tabla (7-12) se especifica cómo varía el parámetro C/D para las zonas de espera y embarque para esta nueva configuración.

Tabla 7-12. Ajuste Capacidad/Demanda. Plan de Invierno propuesto.

Zona	Unidades	Capacidad (Pax/h)	Demanda (Pax/h)	C/D
Zona de Espera y Embarque	<i>PHD sal (I)</i>	Terminal B: 3.293	106	31,06
	<i>PHD sal (N + Sch + No Sch)</i>	Terminal C: 24.641	3.569	6,90

**No Sch** (Pasajeros No Schengen); **S** (Pasajeros Schengen); **I** (Pasajeros Interinsulares); **N** (Pasajeros Nacionales).

El resto de las zonas, a excepción hecha de los Controles de Pasaportes en Salidas y Llegadas, se mantendrían con las mismas capacidad y parámetros C/D que en la Tabla (6-4).

Queda por tanto demostrado que, sobre la base del modelo de demanda propuesto en el presente Trabajo y los cálculos de capacidad de las instalaciones realizados con las condiciones de un Nivel de Servicio B de IATA, es posible elaborar un Plan de Invierno en el cual únicamente estén operativos los Terminales B y C.



# 8 RESUMEN Y CONCLUSIONES.

---

## 8.1 Resumen.

En el primer capítulo, se sintetizaron los objetivos del presente Proyecto en torno a tres ejes de trabajo principales:

El primero de ellos, era el **Estudio de la situación actual del aeropuerto**. Dicho propósito, ha sido desarrollado a lo largo de los cuatro primeros capítulos:

- En el **Capítulo 2**, se realizó una descripción completa de las instalaciones con las que cuenta en la actualidad el Aeropuerto de Palma de Mallorca. En cuanto al Subsistema de Movimiento de Aeronaves, se relataron las principales características físicas del Sistema de Pistas y la Plataforma de estacionamiento de aeronaves. Así mismo, sólo se hizo hincapié en aquellas particularidades que afectan a la capacidad, entendida esta última como el número de Aeronaves por hora que el aeropuerto es capaz de atender.

En el Subsistema de Actividades Aeroportuarias, se realizó una breve descripción de los espacios que componen los Edificios Terminales, detallando únicamente aquellos elementos que afectan a la fluidez en el tránsito de pasajeros

- En el **Capítulo 3**, se expusieron los métodos utilizados por Aena en la caracterización de la demanda de pasajeros y aeronaves. Dada la imposibilidad disponer de los mismos datos que maneja el operador aeroportuario, se planteó un modelo de demanda mediante curvas acumulativas de pasajeros y datos de una muestra de tráfico extraída de la aplicación Infovuelos. Mediante este método, se estableció un modelo de demanda para la temporada alta y otro para la temporada baja.
- En el **Capítulo 4**, se realizó el cálculo de la capacidad del Subsistema de Movimiento de Aeronaves. Al igual que en el punto anterior, dada la imposibilidad de obtener una aproximación al número de operaciones admisibles mediante simulaciones del Sistema de Pistas y la Plataforma, se propuso estimar la capacidad de las Pistas y de los puestos de estacionamientos mediante métodos de cálculo analíticos, propuestos por diversos autores del ámbito aeroportuario.
- En el **Capítulo 5**, se obtuvo una aproximación a la capacidad de los elementos del Subsistema de Actividades Aeroportuarias mediante las directrices de cálculo propuestas por IATA, metodología de uso común en la planificación aeroportuaria. En primer lugar, se realizaron los cálculos correspondientes a los elementos de los Edificios Terminales que componen el flujo de salidas y, a continuación, los correspondientes al flujo de llegadas.

El segundo objetivo del presente Proyecto consistía en el **Análisis Capacidad/Demanda** en base a los cálculos y estimaciones realizadas en los Capítulos 3,4 y 5; lo cual se llevó a cabo a lo largo del **Capítulo 6**. Para ello, se enfrentaron los datos de capacidad de cada subsistema estudiado con el modelo de demanda propuesto mediante el parámetro C/D. A la vista de los resultados obtenidos de este ratio, se detectaron las instalaciones con necesidad de ampliación y aquellas que durante ciertas épocas del año operan de manera ineficiente.

El tercero y último de los objetivos se expresaba como la **Búsqueda de soluciones operativas**. De las conclusiones de extraídas del Análisis Capacidad/Demanda realizado en el Capítulo 6, en el **Capítulo 7** se realizaron estimaciones de las necesidades de ampliación de aquellos elementos que se mostraron insuficientes en el Análisis C/D. Al mismo tiempo, se establecieron alternativas para promover un uso más eficiente del Sistema de Pistas durante la temporada invernal y una propuesta de cierre parcial de las instalaciones de los Edificios Terminales durante esta misma época.

## 8.2 Conclusiones.

En consecuencia, con el desarrollo del Trabajo, las conclusiones serán agrupadas en función de la época del año a la que estén referidas.

Del modelo de demanda propuesto para la **temporada alta** en el Capítulo 3, la capacidad de las instalaciones puestas en servicio en este periodo y el Análisis Capacidad/Demanda llevado a cabo, se extraen las siguientes conclusiones.

- El **Sistema de Pistas** podría operar al límite de su capacidad durante periodos punta del año. La actual configuración en operaciones segregadas, le confiere una capacidad de 33 llegadas y 39 salidas por hora. En el caso de los aterrizajes, la demanda se encontraría muy cercana a la capacidad con 32 aterrizajes/hora.

A la vista de esta conclusión, se propone cambiar la actual configuración operativa del Sistema de Pistas durante horas punta del año para aumentar la capacidad en aterrizajes. La solución propuesta consiste en emplear una Configuración semi-mixta, con llegadas de Reactores Pesados y Medios por la Pista 24L y el resto de las operaciones por la Pista 24R. Dicho modelo de operación, conseguiría aumentar la capacidad en llegadas hasta los 47 aterrizajes/hora; disminuyendo la capacidad en salidas hasta los 37 despegues/hora, dato este último poco preocupante, puesto que se seguiría dando un servicio adecuado a la demanda de 35 despegues/hora.

- La **Plataforma de estacionamiento de aeronaves**, tendría capacidad – 170 aeronaves/hora – para hacer frente a la demanda estimada de 60 aeronaves/hora. No obstante, habría que tener en cuenta que puede haber posiciones de estacionamiento destinadas a estancias de larga duración y a mantenimiento de aeronaves.
- En el **Flujo de salidas de pasajeros** y siempre según los estándares de Nivel de Servicio B de IATA, los controles de seguridad y pasaporte en salidas se muestran, a todas luces, insuficientes para hacer frente a la demanda de pasajeros tipo de la temporada alta. En el caso de los filtros de seguridad, sería necesario ampliar el número de arcos de Rayos X de los actuales 13 hasta los 24. Además, para satisfacer la demanda de pasajeros No Schengen sería necesario aumentar los Controles de Pasaportes de los 4 puestos actuales a 11.
- En el **Flujo de llegadas de pasajeros**, a priori y siempre según los estándares del Nivel de Servicio B de IATA, el Análisis Capacidad/Demanda no arroja ninguna deficiencia en la capacidad para hacer frente a la demanda planteada. No obstante, los Controles de Pasaportes en llegadas, se encontrarían operando con muy poco margen de solvencia durante las horas punta del año.

Del modelo de demanda propuesto para la **temporada baja** en el Capítulo 3, la capacidad de las instalaciones puestas en servicio en este periodo y el Análisis Capacidad/Demanda llevado a cabo, se extraen las siguientes conclusiones:

- El **Sistema de Pistas** podría optimizarse mediante la operación de aterrizajes y despegues por una única pista durante los periodos valle del año. Tal como quedó demostrado en el Capítulo 7, la demanda de 18 despegues y 18 aterrizajes por hora podría quedar cubierta por una única pista con capacidad para operar 19 despegues y 19 aterrizajes por hora con una demora inferior a los 10 minutos.
- En cuanto a la **Plataforma de estacionamiento de aeronaves**, la única recomendación a realizar sería la preferencia de uso de los puestos de estacionamiento que se encuentran más cercanos a los edificios Terminales que funcionan durante el Plan de Invierno.
- En el **Flujo de salidas de pasajeros** y siempre según los estándares de Nivel de Servicio B de IATA, los controles de pasaportes en salidas se muestran insuficientes para atender la demanda tipo de la época invernal, por lo que se propone ampliar el número de puestos de control de pasaportes del Terminal D de los 2 actuales a 4.

- En el **Flujo de llegadas de pasajeros** y siempre según los estándares de Nivel de Servicio B de IATA, los controles de pasaportes en llegadas se muestran insuficientes para atender la demanda tipo de la época invernal. Del mismo modo que en el punto anterior, se propone una ampliación de la capacidad de procesamiento de pasajeros No Schengen mediante la instalación de 5 posiciones de control, lo que supone pasar de 2 a 7 puestos.

Además de las consideraciones realizadas para la temporada baja, se ha estudiado la posibilidad de realizar un Plan de Invierno alternativo mediante el cierre de los Terminales A y D, operando por el Terminal B los vuelos Interinsulares y por el Terminal C, los vuelos correspondientes a conexiones Nacionales, Schengen y No Schengen. Esta última propuesta se ha demostrado como factible, a la luz de las consideraciones expuestas al final del Capítulo 7.



# BIBLIOGRAFÍA.

---

- AENA. *Infovuelos*. <<http://www.aena.es/csee/Satellite/infovuelos/es/Infovuelos.html>> [Última consulta: 27 de diciembre de 2015]
- AIP ESPAÑA (2014). *Servicios y Procedimientos de vigilancia ATS*. Madrid: ENAIRE. Ministerio de Fomento.
- AIP ESPAÑA (2015a). *Ficha de Aeródromo del Aeropuerto de Palma de Mallorca*. Madrid: ENAIRE. Ministerio de Fomento.
- AIP ESPAÑA (2015b). *Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves del aeropuerto de Palma de Mallorca (PDC)*. Madrid: ENAIRE. Ministerio de Fomento.
- ASHFORD, N. J., MUMAYIZ, S. A. y WRIGHT, P. H. (2011). *Airport Engineering*. Nueva Jersey (EE.UU.): Wiley.
- BELLO CASSÀ, N. (2008). *Remodelación del Edificio Terminal del Aeropuerto de Girona*. Trabajo Fin de Carrera. Catelldefels: Universitat Politècnica de Catalunya, <<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6067>> [Última consulta: 15 de marzo de 2016].
- BLANCO SERRANO, J. (2005). *Ingeniería Aeroportuaria. Edificación y equipos aeroportuarios*. Asignatura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, <[http://servidor-da.aero.upm.es/wip/apuntes/tercero/ingenieria-aeroportuaria/Ingenieria%20Aeroportuaria%20\(Joaquin\).pdf](http://servidor-da.aero.upm.es/wip/apuntes/tercero/ingenieria-aeroportuaria/Ingenieria%20Aeroportuaria%20(Joaquin).pdf)> [Última consulta: febrero de 2016].
- FLIGHTSTATS. *Historical Flight Status*. <<http://www.flightstats.com/go/HistoricalFlightStatus/flightStatusByFlight.do>> [Última consulta: abril de 2016]
- GOOGLE MAPS (2015). *Planos de los edificios terminales del Aeropuerto de Palma de Mallorca*. <<https://www.google.es/maps/@39.5480798,2.7315656,17.25z>> [Última consulta: 30 de marzo de 2016].
- HORONJEFF, R. et al. (2010). *Planning & Design of Airports*. Nueva York (EE.UU.): McGraw-Hill.
- IATA (2004). *Airport Development Reference Manual*. Montreal (Canadá): IATA.
- MILLÁN MUÑOZ, R. (2014). *Planificación y Diseño de Aeropuertos*. Asignatura. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

---

MINISTERIO DE FOMENTO (2001). *Plan Director del Aeropuerto de Palma de Mallorca*. Madrid: Ministerio de Fomento.

# GLOSARIO.

---

**Aena.** Acrónimo de Aeropuerto Españoles y Navegación Aérea.

**AHD.** Siglas de Aeronave Hora Diseño.

**AHP.** Siglas de Aeronave Hora Punta.

**AIP.** Siglas de Aeronautical Information Publication. Del inglés, Publicación de información aeronáutica. Comprende toda la información de interés para la navegación aérea. En España es editada por la entidad pública empresarial ENAIRE.

**ATC.** Siglas de Air Traffic Control. Del inglés, control de tráfico aéreo. En el trabajo hace referencia al control de tráfico aéreo del aeropuerto de Palma de Mallorca.

**ATS.** Siglas de Air Traffic Service. Del inglés, servicio de tráfico aéreo. Servicios prestados por el control de tráfico aéreo.

**Aviación General.** Aeronaves con de menos de 7.000 Kg al despegue (MTOW). Pueden tener diferentes plantas de potencia.

**FAA.** Siglas de Federal Aviation Administration. Organización que regula el tráfico aéreo comercial en los Estados Unidos.

**IATA.** Acrónimo de International Air Transport Association. Del inglés, Asociación del Transporte Aéreo Internacional. Organización de aerolíneas que operan vuelos internacionales. Edita abundante material de carácter aeroportuario.

**kts.** Nudos. Velocidad que deriva de la Milla náutica. Equivale a 1,852 Kilómetros/hora.

**LDA.** Siglas de Landing Distance Available. Del inglés, distancia disponible para aterrizar. Constituye una de las distancias declaradas de una pista.

**MTOW:** Siglas de Maximum Take-Off Weight. Del inglés, Peso máximo al despegue de una aeronave.

**Narrow Body.** Del inglés, fuselaje estrecho. En el trabajo hace referencia a las aeronaves con un único pasillo.

**NM.** Milla náutica. Magnitud de referencia en la navegación aeronáutica para medir distancias. Equivale a 1,852 kilómetros.

**Operación.** Hace referencia indistintamente a un despegue o aterrizaje en la Pista.

**Pax.** Abreviatura de pasajeros. Comúnmente usada en los textos de índole aeroportuaria.

**PHD.** Siglas de Pasajeros Hora Diseño.

**PHP.** Siglas de Pasajeros Hora Punta.

**Reactores medios.** Aeronaves con motor turbofán de entre 7.000 y 136.000 Kg al despegue (MTOW).

**Reactores pesados.** Aeronaves con motor turbofán de más de 136.000 Kg al despegue (MTOW).

**ROT.** Siglas de Runway Occupancy Time. Del inglés, tiempo de ocupación en pista. Tiempo que tarda una aeronave que aterriza en abandonar la pista.

**Tráfico Interinsular.** Tráfico con origen o destino algún aeropuerto de las Islas Baleares.

**Tráfico Internacional.** Operaciones comerciales que tienen origen, destino, o escala en el aeropuerto de un país que no pertenezca a la Unión Europea y tampoco sea firmante del Tratado de Schengen.

**Tráfico Nacional.** Tráfico con origen o destino algún aeropuerto del territorio nacional español a excepción hecha del tráfico interinsular.

**Tráfico No Schengen.** Operaciones comerciales que tienen origen, destino, o escala en el aeropuerto de un país de la Unión Europea no firmante del Tratado de Schengen o en terceros países. En este grupo de países se encuentran países importantes como el Reino Unido e Irlanda.

**Tráfico Schengen.** Operaciones comerciales que tienen origen, destino, o escala en el aeropuerto de un país de la Unión Europea firmante del Tratado de Schengen. En este apartado también se incluyen las conexiones con Noruega y Suiza que, son firmantes del Tratado pese a no ser miembros de la Unión Europea.

**Turbo hélice:** Aeronaves con motor turbo hélice de más 7.000 Kg al despegue (MTOW).

**Wide Body:** Del inglés, fuselaje ancho. En el trabajo hace referencia a las aeronaves con más de un pasillo.

# Análisis Capacidad/Demanda del Aeropuerto de Palma de Mallorca.

## ANEXOS

Autor: José María Pérez Robledo.

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez.

**Dep. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2016





# Índice de ANEXOS

---

<b>Índice de ANEXOS</b>	<b>95</b>
<b>Índice de Tablas de ANEXOS</b>	<b>97</b>
<b>Índice de Figuras de ANEXOS</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO A: Puestos de estacionamiento</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO B: Estudio de tráfico del aeropuerto de Palma de Mallorca.</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO C: Estimación de pasajeros por hora.</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO D: Cálculos de capacidad del Sistema de Pistas.</b>	<b>107</b>
<i>D.1 Datos de partida necesarios.</i>	<i>107</i>
D.1.1 Clasificación de aeronaves y mezcla de flota.	107
D.1.2 Separaciones entre aeronaves y velocidades características.	109
D.1.3 Tiempo de ocupación en pista (ROT)	111
D.1.4 Precisión del Radar y probabilidad de violación.	111
<i>D.2 Capacidad en operaciones segregadas: Configuración actual.</i>	<i>111</i>
D.2.1 Capacidad de la pista 24L.	112
D.2.2 Capacidad de la Pista 24R.	114
<i>D.3 Capacidad en operaciones semi-mixtas: Propuesta del Plan Director.</i>	<i>116</i>
D.3.1 Capacidad de la Pista 24L.	116
D.3.2 Capacidad de la Pista 24R.	117
<i>D.4 Capacidad en operaciones mixtas: Propuesta para la temporada invernal.</i>	<i>122</i>
D.4.1 Capacidad de Saturación de la Pista 24R	122
D.4.2 Capacidad Práctica de la Pista 24R	124



# ÍNDICE DE TABLAS DE ANEXOS

---

Tabla B-1. Contenido del Anexo B.	103
Tabla C-1. Contenido del Anexo C.	105
Tabla D-1. Clasificación de aeronaves en función del peso máximo al despegue.	107
Tabla D-2. Mezcla de flota de la configuración actual. Operaciones segregadas.	108
Tabla D-3. Mezcla de flota para la Pista 24L. Operaciones semi-mixtas.	108
Tabla D-4. Mezcla de flota en aterrizajes para la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.	109
Tabla D-6. Secuencia operativa Salida-Salida.	110
Tabla D-7. Secuencia operativa Llegada - Llegada.	110
Tabla D-7. Velocidades de Aproximación.	110
Tabla D-9. Tiempos de ocupación para la Pista 24R.	111
Tabla D-10. Situaciones en función de la secuencia operativa. Configuración Actual.	112
Tabla D-11. Demoras estimadas para la Pista 24L. Configuración Actual.	114
Tabla D-12. Demoras estimadas para la Pista 24R. Configuración Actual.	115
Tabla D-13. Situaciones en función de la secuencia operativa. Reactores Pesados y Medios.	116
Tabla D-14. Demoras estimadas para la Pista 24L. Reactores Pesados y Medios.	117
Tabla D-15. Situaciones en función de la secuencia operativa. Turbo hélices y Aviación General.	118
Tabla D-16. Datos de partida para estimar los huecos disponibles. Operaciones semi-mixtas.	119
Tabla D-17. Demoras estimadas para la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.	120
Tabla D-18. Resumen de capacidades de la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.	121
Tabla D-19. Datos necesarios para estimar los huecos de tiempo disponibles. Operaciones mixtas.	123
Tabla D-20. Demoras estimadas para la Pista 24R. Operaciones mixtas.	124
Tabla D-21. Resumen de capacidades de la Pista 24R. Operaciones mixtas.	125



# ÍNDICE DE FIGURAS DE ANEXOS

---

Figura D-4. Tendencia de las demoras para la Pista 24L. Configuración actual.	114
Figura D-5. Tendencia de las demoras para la Pista 24R. Configuración actual.	115
Figura D-6. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Propuesta del Plan Director.	121
Figura D-7. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Propuesta para la temporada invernal.	125



# ANEXO A: PUESTOS DE ESTACIONAMIENTO

---

Los puestos de estacionamiento disponibles en la Plataforma comercial del aeropuerto de Palma de Mallorca, así como los que han sido tenidos en cuenta en el estudio de capacidad, se encuentran expuestos en un libro Excel, adjunto a este Trabajo en formato digital.

La información relativa a los puestos de estacionamiento ha sido extraída del AIP, editado por la entidad pública empresarial ENAIRE. Los puestos que han sido tenidos en cuenta en el estudio han sido remarcados en color verde. A continuación, se realiza una breve reseña del contenido del archivo:

- **Rampa a la que pertenece cada puesto de estacionamiento.** Como se comentó en en la descripción de las instalaciones, la Plataforma de estacionamiento de aeronaves se encuentra dividida en una serie de zonas denominadas Rampas.
- **Designación del puesto de estacionamiento.** Número y letra, si la hubiese, que componen la designación de cada posición de estacionamiento.
- **Modelo de aeronave más grande que puede ser estacionado en cada puesto.**
- **Tipo de sobre:** Tipo de sobre, según las especificaciones de Aena, que le corresponde a cada puesto de estacionamiento tenido en cuenta en el estudio. Además, se incluye una imagen donde se describen las dimensiones de los tipos de sobre que existen y los modelos de aeronave que pueden albergar.
- **Observaciones:** Datos que pueden ser de interés, como las incompatibilidades entre puestos.



# ANEXO B: ESTUDIO DE TRÁFICO DEL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA.

El estudio de tráfico del aeropuerto de Palma de Mallorca, llevado a cabo con datos de diferentes días del año 2015 se encuentra expuesto en un libro Excel, adjunto a este Trabajo en formato digital. Como fuente de información, se ha realizado recogida de datos de la aplicación Infovuelos de Aena y de Flightstats, página con una amplia base de datos de estadísticas de operaciones. Además de todas las estadísticas que componen el estudio de tráfico, en este mismo archivo se incluye un estudio de uso de los mostradores de facturación de los días 26/06 y 27/12; característicos de las temporadas alta y baja, respectivamente.

En la siguiente Tabla, aparecen los días de los que se tienen datos y la hoja del archivo Excel que tienen asignada.

Tabla B-1. Contenido del Anexo B.

Hoja	Día	Observaciones
1	24/03/2015	-
2	26/06/2015	-
3	21/07/2015	-
4	15/08/2015	Sólo se tienen datos de hora, procedencia/destino y compañía.
5	26/11/2015	-
6	27/12/2015	-
7	26/06/2015	Estudio de uso de los mostradores de facturación en temporada alta
8	27/12/2015	Estudio de uso de los mostradores de facturación en temporada baja

A continuación, se enumeran los datos obtenidos para todos los días señalados, a excepción del 15/08/2015:

- **Para las salidas:** Hora, aeronave, compañía, destino, puerta de embarque y mostrador de facturación.
- **Para las llegadas:** Hora, aeronave, compañía, procedencia y cinta de recogida de maletas.



# ANEXO C: ESTIMACIÓN DE PASAJEROS POR HORA.

---

La estimación de los pasajeros por horas, para los días tipo de las temporadas alta y baja, se encuentra expuesta en un libro Excel, adjunto a este Trabajo en formato digital.

Para realizar los cálculos, se ha seleccionado un modelo de presentación de pasajeros en el aeropuerto para los vuelos de salida y otro de abandono de pasajeros para los vuelos de llegada. Dichas hipótesis de salida y llegada de pasajeros a los Edificios Terminales, se encuentran expuestas en la primera hoja del archivo Excel.

En la siguiente Tabla, se expone un breve resumen del contenido del archivo:

Tabla C-1. Contenido del Anexo C.

Hoja	Temporada	Día	Contenido
1	-	-	Curvas acumulativas para las salidas y las llegadas
2	Temporada alta	26/06/2015	Estimación de pasajeros en salidas
3			Estimación de pasajeros en llegadas
4	Temporada baja	27/12/2015	Estimación de pasajeros en salidas
5			Estimación de pasajeros en llegadas



# ANEXO D: CÁLCULOS DE CAPACIDAD DEL SISTEMA DE PISTAS.

En este Anexo, se exponen todos los datos e hipótesis que se han tomado para realizar las estimaciones de las Capacidades de Saturación y Práctica de las diferentes configuraciones del Sistema de Pistas que han sido tenidas en cuenta. Además, se desarrollan todos los cálculos que dan lugar a los resultados expuestos a lo largo del Trabajo.

## D.1 Datos de partida necesarios.

### D.1.1 Clasificación de aeronaves y mezcla de flota.

En primer lugar, tal como se realiza en la Ficha de Aeródromo, se va a establecer una clasificación de los diferentes tipos de aeronaves atendiendo al Peso Máximo al despegue (MTOW) de cada modelo. A diferencia de la clasificación realizada por el operador aeroportuario, se ha diferenciado entre Reactores Medios y Turbo hélices a efectos de velocidad de aproximación y uso de las calles de salida rápida.

En la Tabla D-1, aparecen los criterios de clasificación por grupos de aeronaves y la categoría a la que pertenecen cada uno de los modelos con mayor número de operaciones en el aeropuerto de Palma de Mallorca.

Tabla D-1. Clasificación de aeronaves en función del peso máximo al despegue.

Categoría	Peso (MTOW)	Modelo de Aeronave
Reactores Pesados	Igual o superior a 136.000 kg	B757, A330
Reactores Medios	Superior a 7.000 kg e inferior a 136.000 kg	B737-700/800, A319/20/21
Turbo hélices	Turbo hélices de más de 7.000 kg	ATR-72, EMB-120
Aviación General	Igual o inferior a 7.000 kg	Cessna Citation.

*Fuente: Ficha de Aeródromo.*

Cada uno de los tres estudios de configuraciones del Sistema de Pistas que se llevan a cabo en este Trabajo tienen una mezcla de flota de aeronaves. Éstas, están basadas en el número de aeronaves de cada tipo que operan en el aeropuerto durante los días tipo de tráfico para cada temporada. Respecto a la realización de la mezcla de flota, cabe efectuar las siguientes consideraciones:

- La mezcla de flota será la misma para despegues y aterrizajes.
- Las operaciones correspondientes a Reactores Pesados, Medios y Turbo hélices han sido estimadas mediante el estudio de tráfico descrito en ANEXO B para el día y la hora tipo de cada situación.
- Las operaciones de Aviación General han sido estimadas a partir de las estadísticas mensuales de Aena para el mes al que pertenece el día tipo.

A continuación, se detallan las combinaciones de aeronaves que serán tenidas en cuenta para cada configuración:

#### D.1.1.1 Mezcla de flota para la configuración actual.

El día tipo establecido para caracterizar el tráfico de aeronaves durante la temporada alta es el 15/08/2015. Como las Pistas 24R y 24L operan de manera independiente, se seleccionan las horas punta en las que producen un mayor número de despegues y aterrizajes por separado, es decir, no se toma la hora en la que se produce un mayor número de operaciones de manera conjunta.

- Punta de aterrizajes: 35 aeronaves/hora a las 8:00 horas.
- Punta de despegues: 32 aeronaves/hora a las 10:00 horas.

En la siguiente Tabla (D-2), se describen la cantidad de aterrizajes y despegues que realiza cada categoría de aeronave y la mezcla de flota aproximada:

Tabla D-2. Mezcla de flota de la configuración actual. Operaciones segregadas.

Categoría	Tipo de Operación	Mezcla de flota aproximada (%)
Reactores Pesados	Aterrizajes: 2	5%
	Despegues: 2	
Reactores Medios	Aterrizajes: 31	85%
	Despegues: 29	
Turbo Hélices	Aterrizajes: 2	5%
	Despegues: 2	
Av. General	Aterrizajes: -	5%
	Despegues: -	

*Fuente: Elaboración propia.*

#### D.1.1.2 Mezcla de flota para la configuración semi-mixta.

Esta configuración es la propuesta en caso de que se alcance la capacidad del Sistema de Pistas en periodos punta durante la temporada alta. Por la Pista 24L se realizarían aterrizajes de reactores pesados y medios; mientras que en la Pista 24R se efectuarían el resto de operaciones. Al igual que en caso anterior, las dos pistas operan de manera independiente, pero, además, sirven a grupos diferentes, lo que supone que tendrán asignadas distintas mezclas de flota.

El día tipo seleccionado vuelve a ser el de referencia para la temporada alta, el 15/08/2015. Lo que supone que el número de operaciones de referencia - 32 despegues y 35 aterrizajes -, así como el número de operaciones que realiza cada categoría de aeronave, son idénticos al apartado anterior.

La combinación de aeronaves para la Pista 24L, por la que se realizan aterrizajes de Reactores Pesados y Medios será estimada como:

Tabla D-3. Mezcla de flota para la Pista 24L. Operaciones semi-mixtas.

Categoría	Tipo de Operación	Mezcla de flota aproximada (%)
Reactores Pesados	Aterrizajes: 2	5%
	Despegues: 2	
Reactores Medios	Aterrizajes: 31	95%
	Despegues: 29	

*Fuente: Elaboración propia.*

La combinación de aeronaves en aterrizajes para la Pista 24R sería:

Tabla D-4. Mezcla de flota en aterrizajes para la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.

Categoría	Tipo de Operación	Mezcla de flota aproximada (%)
Turbo hélices	Aterrizajes: 2	50%
	Despegues: 2	
Aviación General	Aterrizajes: -	50%
	Despegues: -	

*Fuente: Elaboración propia.*

Para las salidas, se emplearía la misma mezcla de flota expresada en la Tabla D-2.

### D.1.1.3 Mezcla de flota para la configuración mixta.

La propuesta de configuración mixta durante la temporada baja contempla realizar todas las operaciones por la Pista 24R durante periodos de escaso tráfico en el aeropuerto de Palma de Mallorca. Para realizar la combinación de aeronaves, se emplea el día tipo establecido para caracterizar el tráfico de aeronaves durante los meses de temporada baja (27/12/2015).

Al ser una única pista la que sirve a la totalidad de las operaciones, se establece como número de operaciones de referencia las que se producen durante la hora punta del total movimientos, que para el día 27/12 tiene lugar a las 19:00 horas con un total de 28 movimientos, 13 aterrizajes y 15 despegues.

Tabla D-5. Mezcla de flota durante la temporada baja. Operaciones mixtas.

Categoría	Tipo de Operación	Mezcla de flota aproximada (%)
Reactores Pesados	Aterrizajes: 0	2,5%
	Despegues: 1	
Reactores Medios	Aterrizajes: 12	85%
	Despegues: 13	
Turbo Hélices	Aterrizajes: 1	7,5%
	Despegues: 1	
Av. General	Aterrizajes: -	5%
	Despegues: -	

*Fuente: Elaboración propia.*

### D.1.2 Separaciones entre aeronaves y velocidades características.

A fin de poder realizar las operaciones de despegue y aterrizaje con seguridad, el control de tráfico aéreo establece una serie de normas en función de los tipos de aeronaves que protagonizan la secuencia operativa en cada momento. Como criterio de separación de los distintos modelos de aeronave, y a efectos de estela turbulenta, se tendrá en cuenta la clasificación por peso máximo al despegue realizada en la Tabla D-1.

A continuación, se exponen los criterios de separación que han sido tenidos en cuenta:

- **Secuencia operativa Salida – Salida.** Para la separación en salidas, se han tenido en cuenta los datos de cálculo utilizados en el Plan Director para este tipo de operaciones. La separación se encuentra expresada en segundos (s):

Tabla D-5. Secuencia operativa Salida-Salida.

(En s)	1ª Aeronave en despegar			
	Pesada	Media	Turbo Hélice	Av. General
2ª Aeronave en despegar				
Pesada	90	75	90	150
Media	120	75	90	150
Turbo Hélice	120	75	75	120
Av. General	180	120	120	90

Fuente: Plan Director.

- **Secuencia operativa Llegada – Llegada.** Para la separación entre aterrizajes, se han tomado las distancias de separación contempladas en el AIP. Cabe destacar, que estas reglas de separación son de obligado cumplimiento a partir de la fase final de aproximación, que en el aeropuerto de Palma se encuentra a 9,5 NM de la cabecera de pista. Las distancias se encuentran expresadas en Millas náuticas (NM):

Tabla D-6. Secuencia operativa Llegada - Llegada.

(En NM)	Aeronave en Cabeza			
	Pesada	Media	Turbo Hélice	Av. General
Aeronave en Cola				
Pesada	4	3	3	3
Media	5	3	3	3
Turbo Hélice	5	3	3	3
Av. General	6	5	5	3

Fuente: Ficha de Aeródromo.

- **Secuencia operativa Salida – Llegada:** Que la aeronave saliente haya despegado y se encuentre a 2000 m (1,08 NM) del umbral de pista.
- **Secuencia operativa Llegada – Salida:** Pista libre.

La fase aproximación final (Llamada “ $\gamma$ ” en los cálculos), comenzará a partir del IAF<sup>1</sup>, el cual se encuentra a 9,5 NM de la cabecera de pista.

A efectos de velocidades de aproximación, se tomarán las expuestas en la Tabla D-8, las cuáles han sido extraídas de las estimaciones del Plan Director. Al igual que en toda la sección, se tomará como unidad de distancia la Milla náutica y la velocidad que se desprende de ésta: los nudos (kts): NM/h.

Tabla D-7. Velocidades de Aproximación.

	Reactores Pesados	Reactores Medios	Turbo hélices	Av. General
V. Aproximación (kts)	140	140	120	110

Fuente: Plan Director.

<sup>1</sup> Siglas en Inglés de Punto de referencia de inicio de la aproximación.

### D.1.3 Tiempo de ocupación en pista (ROT)

Los tiempos de ocupación en pista de las aeronaves que aterrizan se utilizan para calcular los posibles intervalos de tiempo para poder realizar despegues en una pista con operaciones mixtas. En el presente Trabajo, la única pista que va a realizar operaciones mixtas es la Pista 24R.

Los tiempos de ocupación en pista han sido estimados conforme a las siguientes especificaciones expresadas en la Ficha de Aeródromo del aeropuerto:

- Las aeronaves pertenecientes a los grupos de Turbo hélice y Aviación General, deberán abandonar la pista por la calle de salida rápida más cercana.
- Las aeronaves correspondientes a los grupos de Reactores Pesados y Medios deberán abandonar la pista por la calle de salida rápida más lejana, si la hubiese.

Finalmente, se ha procedido a calcular el Tiempo de Ocupación en pista mediante la aproximación a un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado.

Para la Configuración Oeste, en las operaciones de aterrizaje por la Pista 24R, las aeronaves pertenecientes a los grupos de Reactores Pesados y Medios deben agotar la distancia de aterrizaje disponible (LDA). El resto de operaciones debe abandonar la pista por la Salida (N4), a 1480 m del umbral.

En la Tabla D-6 se encuentran ya calculadas las estimaciones de tiempo de abandono de la Pista 24R:

Tabla D-8. Tiempos de ocupación para la Pista 24R.

Grupo	D. Aterrizaje (m)	V. Aprox (m/s)	V. Salida (m/s)	Tiempo de ocupación en pista (ROT) en s.
Pesadas	3200 m (LDA)	72	18	72 s.
Medias	3200 m (LDA)	72	18	72 s.
Turbo hélices.	1480 m (N4)	62	18	38 s.
Av. General	1480 m (N4)	57	18	40 s.

*Fuente: Elaboración Propia.*

### D.1.4 Precisión del Radar y probabilidad de violación.

Para tener en cuenta el posible error de posicionamiento descrito en el método de cálculo de la Capacidad de Saturación, se toma la precisión del radar y la probabilidad de error de posicionamiento. El primer dato, el tiempo de barrido del radar del aeropuerto de Palma de Mallorca, se ha tomado del documento del AIP: “Servicios y procedimientos de vigilancia ATS”. El periodo de barrido es de 4 s.

Como probabilidad de violación de la posición de la aeronave en aproximación se tomará el 5%. Por lo tanto, el valor para el que la distribución normal estándar acumulada es  $(1 - p_v) = 0,95$ , se corresponde con  $q = 1,65$ .

La estimación del 5% de probabilidad de violación es ampliamente utilizada por autores como Horonjeff, et al, (2010) y Ashford, N. J, S. A. y P. H. (2011); entre otros.

## D.2 Capacidad en operaciones segregadas: Configuración actual.

Tal como se describe en la memoria, en la configuración operacional actual del aeropuerto de Palma se realizan todos los aterrizajes por la Pista 24L y todos los despegues por la Pista 24R. A continuación, se detallan los cálculos de las capacidades en sólo llegadas y sólo salidas para cada una de las pistas.

## D.2.1 Capacidad de la pista 24L.

A lo largo de esta subsección, se desarrollan los cálculos de la Capacidad de Saturación y Práctica de la Pista 24L realizando únicamente operaciones de aterrizaje.

### D.2.1.1 Capacidad de saturación.

En primer lugar, tal como se describe en metodología de cálculos de la Capacidad de Saturación del Sistema de Pistas (4.2.1), se distinguen las distintas combinaciones de aproximación de aeronaves atendiendo a las velocidades del avión en cabeza y el de cola. Pudiendo ser:

- Situación Abierta: La segunda aeronave en fase de aproximación es más lenta que la aeronave que va por delante. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-1) y (4-2).
- Situación Cerrada: La segunda aeronave en fase de aproximación es más rápida que la aeronave en cabeza. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-3) y (4-4).

En la Tabla D-10, se establecen las situaciones posibles, abierta o cerrada, que pueden darse para las diferentes combinaciones de aeronaves en fase de aproximación y su separación correspondiente en Millas náuticas (NM).

Tabla D-9. Situaciones en función de la secuencia operativa. Configuración Actual.

Aeronave en Cola	Aeronave en Cabeza			
	Pesada	Media	Turbo Hélice	Av. General
Pesada	Cerrada (4 NM)	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)
Media	Abierta (5 NM)	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)
Turbo Hélice	Abierta (5 NM)	Abierta (3 NM)	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)
Av. General	Abierta (6 NM)	Abierta (5 NM)	Abierta (5 NM)	Cerrada (3 NM)

Fuente: Elaboración Propia.

En función de las situaciones expuestas anteriormente y los datos de separaciones y velocidades de aproximación expuestas en la subsección D.1.2, junto con las ecuaciones (4-1) y (4-3), se calcula la matriz de tiempos (D-1):

$$T_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 102,9 & 77,1 & 77,1 & 77,1 \\ 128,6 & 77,1 & 77,1 & 77,1 \\ 190,7 & 130,7 & 90 & 90 \\ 263 & 230,3 & 189,5 & 98,2 \end{pmatrix} \quad (D-1)$$

Cada elemento  $t_{ij}$  representa el espacio de tiempo, en segundos, que debe de haber entre una aeronave y la siguiente para que se respeten las separaciones expuestas en la Tabla D-10. Así, a modo de ejemplo, el elemento  $t_{41}$  establece que deben existir 263 s de separación temporal entre una aeronave pesada en cabeza y una del grupo Aviación General en cola.

La siguiente matriz (D-2), representa los márgenes de tiempo que se deben añadir para que no se incumpla la separación debido a la probabilidad de violación del 5%. Éstos, han sido estimados mediante las ecuaciones de Buffers de tiempo en función de si la situación es abierta o cerrada: (4-2) y (4-4).

$$B_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 6,6 & 6,6 & 6,6 & 6,6 \\ 6,6 & 6,6 & 6,6 & 6,6 \\ -14,8 & -6,3 & 6,6 & 6,6 \\ -35,5 & -28,4 & -7 & 6,6 \end{pmatrix} \quad (D-2)$$

Los Buffers negativos no serán añadidos a fin de dejar un margen de tiempo extra en aquellas situaciones en las que la aeronave en cabeza es más rápida que la siguiente. Finalmente, se obtiene la matriz  $T_{ij} + B_{ij}$ :

$$T_{ij} + B_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 109,5 & 83,7 & 83,7 & 83,7 \\ 135,2 & 83,7 & 83,7 & 83,7 \\ 190,7 & 130,7 & 96,6 & 96,6 \\ 263 & 230,3 & 189,5 & 104,8 \end{pmatrix} \quad (D-3)$$

A continuación, se calcula la matriz de probabilidades (D-5), que no es más que, en función de la mezcla de flota expresada en la Tabla D-2, hallar la probabilidad de que dos tipos de aeronaves se encuentren en la fase de aproximación. Dicho cálculo se realiza obteniendo el producto del porcentaje de mezcla de flota de la 1ª y 2ª aeronave en fase de aproximación, tal como se indica en la ecuación (D-4).

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j \quad (D-4)$$

$$p_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 0,0025 & 0,0425 & 0,0025 & 0,0025 \\ 0,0425 & 0,7225 & 0,0425 & 0,0425 \\ 0,0025 & 0,0425 & 0,0025 & 0,0025 \\ 0,0025 & 0,0425 & 0,0025 & 0,0025 \end{pmatrix} \quad (D-5)$$

Como se observa en el elemento  $p_{22}$ , lo más probable es una aproximación con dos Reactores de tamaño medio con un 72,25% de las posibilidades. Finalmente, el tiempo medio entre llegadas  $E(t)$  se obtendrá sumando las componentes de la matriz producto, resultado de la multiplicación de las matrices  $T_{ij} + B_{ij}$  (D-3) y  $p_{ij}$  (D-5). Expresado matemáticamente mediante la expresión (D-6) y que tiene el siguiente valor:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (T_{ij} + B_{ij}) = 95,31 \text{ s} \quad (D-6)$$

Este último resultado, representa el tiempo estimado por operación de aterrizaje para la Pista 24L. Con lo que la Capacidad de Saturación en operaciones de sólo llegadas será:

$$C_{Llegadas-24L} = \frac{1}{E(t)} = 37 \text{ Llegadas/hora} \quad (D-7)$$

La Varianza, definida mediante la expresión (D-7), tiene como resultado:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(T_{ij} + B_{ij}) - E(t)]^2 = 1125 \text{ s}^2 \quad (D-8)$$

Y, por tanto, la Desviación típica ( $\sigma$ ) resulta ser de 33,54 s.

### D.2.1.2 Capacidad Práctica.

Para estimar la Capacidad Práctica en llegadas de la Pista 24L, se aplicará la fórmula de Pollaczek-Khinchine (descrita en la Subsección 4.2.2) para estimar las demoras en función de la demanda de operaciones de llegada, representadas por el subíndice "a" (Arrivals), siendo:

- $W_a$  tiempo esperado de demoras.
- $\lambda_a$  número de llegadas por hora.
- $\mu_a$  la Capacidad de Saturación obtenida en el apartado anterior, estimada en 37 llegadas/hora.
- $\sigma_a$  la Desviación típica de las llegadas, aproximadamente 33,54 s.

En la Tabla D-11, se expresan los resultados de aplicar la fórmula de Pollaczek-Khinchine para estimar las demoras bajo distintos niveles de demanda.

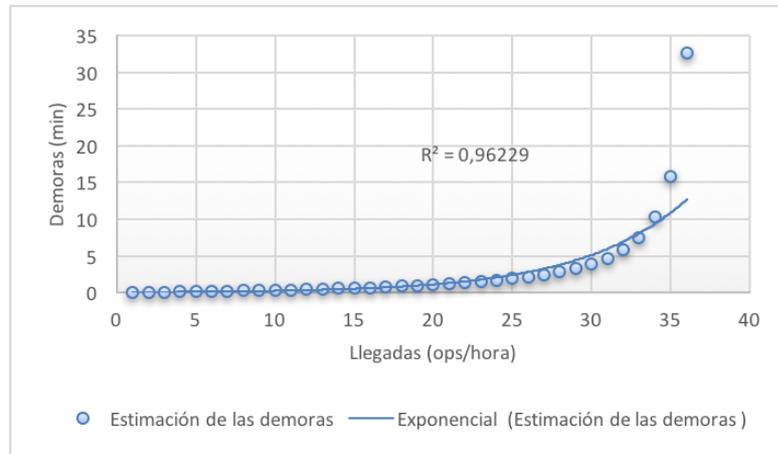
Tabla D-10. Demoras estimadas para la Pista 24L. Configuración Actual.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
31	4,69	35	15,88
32	5,81	36	32,66
33	7,48	37	$\infty$
34	10,28		

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se comentó en el método de cálculo de la Capacidad Práctica (4.2.2), a medida que el número de operaciones se acerca a la Capacidad de Saturación de la pista, la estimación de las demoras aumenta de forma exponencial. En la Figura D-4 se aprecia esta tendencia:

Figura D-1. Tendencia de las demoras para la Pista 24L. Configuración actual.



Fuente: Elaboración propia.

Donde  $R^2$  representa la bondad del ajuste. La Capacidad Práctica de la pista será aquella que mantenga los niveles de demora por debajo de los diez minutos que, como se observa, corresponde a 33 ops/hora.

### D.2.2 Capacidad de la Pista 24R.

A lo largo de esta subsección, se desarrollan los cálculos de la Capacidad de Saturación y Práctica de la Pista 24R realizando únicamente operaciones de despegue.

#### D.2.2.1 Capacidad de Saturación.

Para establecer la capacidad de la Pista 24R con operaciones sólo salida, se ha recurrido a la matriz de bloqueos de salidas para la Pista 24R ( $MB_{ij}$ ), definida como Regla de Separación de la Secuencia Operativa Salida-Salida en la subsección D.2.2.

$$MB_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 90 & 75 & 83,7 & 150 \\ 120 & 75 & 83,7 & 150 \\ 120 & 75 & 75 & 120 \\ 180 & 120 & 120 & 90 \end{pmatrix} \tag{D-9}$$

Como se ha establecido anteriormente, la mezcla de flota será la misma en aterrizajes y despegues. Seguidamente, se multiplica cada elemento de la matriz de bloqueos de salidas (D-9) por los de la matriz de probabilidades calculada para la Pista 24L (D-5). Expresando esta operación como:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (MB_{ij}) \quad (D-10)$$

Lo cual, da como resultado 83,55 s. Finalmente, la Capacidad de Saturación de la pista 24R en operaciones de sólo salida será:

$$C_{Salidas-24R} = \frac{1}{E(t)} = 43 \text{ Salidas/hora} \quad (D-11)$$

La Varianza se estima mediante la expresión:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(MB_{ij}) - E(t)]^2 = 406,14 \text{ s}^2 \quad (D-12)$$

Resultando la Desviación típica ( $\sigma$ ) 20,15 s.

### D.2.2.2 Capacidad Práctica.

De manera análoga al Apartado D.2.1.2, para estimar la Capacidad Práctica en salidas de la Pista 24R, se vuelve a aplicar la fórmula de Pollaczek-Khinchine para averiguar las demoras en función de la demanda de salidas, representadas por el subíndice “d” (Departures), siendo:

- $W_d$  tiempo esperado de demoras.
- $\lambda_d$  número de llegadas por hora.
- $\mu_d$  la Capacidad de Saturación obtenida en el apartado anterior, 43 llegadas/hora.
- $\sigma_d$  la Desviación típica de las llegadas, 20,15 s.

En la Tabla D-12, se expresan las estimaciones de los retrasos para distintos niveles de demanda:

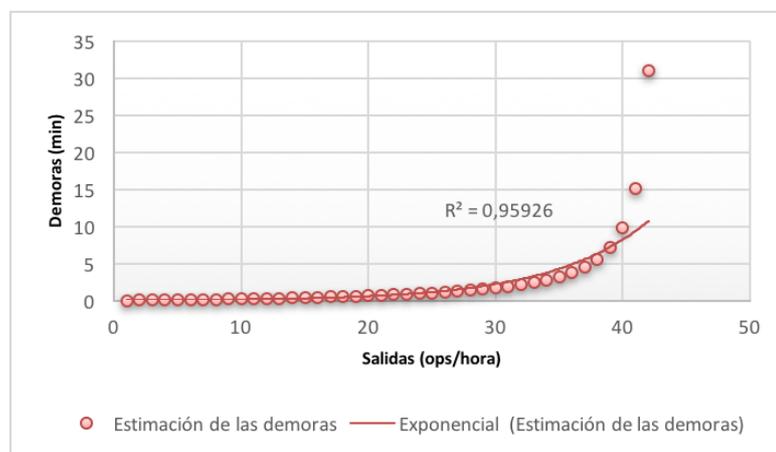
Tabla D-11. Demoras estimadas para la Pista 24R. Configuración Actual.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
38	5,61	41	15,13
39	7,20	42	31
40	9,84	43	$\infty$

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, en la Figura D-5, se aprecia la tendencia exponencial de las demoras respecto a la demanda de operaciones de salida:

Figura D-2. Tendencia de las demoras para la Pista 24R. Configuración actual.



Fuente: Elaboración propia.

La Capacidad Práctica para las salidas de la Pista 24R será aquella que mantenga los niveles de demora por debajo de los diez minutos que, como se aprecia en la Tabla D-12, sería el equivalente a realizar 40 ops/hora. Dada la cercanía de este último valor a los diez minutos de demora, se seleccionará el valor inmediatamente anterior, es decir, 39 ops/hora.

### D.3 Capacidad en operaciones semi-mixtas: Propuesta del Plan Director.

Tal como se describe en la memoria, en la configuración operacional propuesta por el Plan Director del Aeropuerto en caso de alcance la capacidad del Sistema de Pistas consiste en realizar los aterrizajes de Reactores Pesados y Medios por la Pista 24L y el resto de operaciones por la Pista 24R. A continuación, se detalla el cálculo de las capacidades en sólo llegadas, para el caso de la Pista 24L; y operaciones mixtas, para el caso de la Pista 24R.

#### D.3.1 Capacidad de la Pista 24L.

A lo largo de esta subsección, se desarrollan los cálculos de la Capacidad de Saturación y Práctica de la Pista 24L realizando operaciones de aterrizaje de los grupos Reactores Pesados y Medios.

##### D.3.1.1 Capacidad de Saturación.

En primer lugar, tal como se describe en la metodología de cálculos de la Capacidad de Saturación de pistas (4.2.1), se distinguen las distintas combinaciones de aproximación de aeronaves atendiendo a las velocidades del avión en cabeza y el de cola. Pudiendo ser:

- Situación Abierta: La segunda aeronave en fase de aproximación es más lenta que la aeronave que va por delante. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-1) y (4-2).
- Situación Cerrada: La segunda aeronave en fase de aproximación es más rápida que la aeronave en cabeza. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-3) y (4-4).

En la Tabla D-13, se establecen las situaciones posibles, abierta o cerrada, que pueden darse para las diferentes combinaciones de aeronaves en fase de aproximación y su separación correspondiente en Millas náuticas (NM).

Tabla D-12. Situaciones en función de la secuencia operativa. Reactores Pesados y Medios.

Aeronave en Cabeza		
Aeronave en Cola	Pesada	Media
Pesada	Cerrada (4 NM)	Cerrada (3 NM)
Media	Abierta (5 NM)	Cerrada (3 NM)

Fuente: *Elaboración Propia.*

En función de las situaciones expuestas anteriormente y los datos de separaciones y velocidades de aproximación expuestas en la subsección D.1.2, junto con las ecuaciones (4-1), (4-2), (4-3) y (4-4), se calcula la matriz  $T_{ij} + B_{ij}$ . Matriz que contiene los márgenes de tiempo de debe haber entre aproximaciones y los buffers de tiempo para cubrir posibles errores.

$$T_{ij} + B_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 109,5 & 83,7 \\ 135,2 & 83,7 \end{pmatrix} \quad (D-13)$$

Para realizar los cálculos de la matriz de probabilidades, se ha tenido en cuenta la mezcla de flota establecida para esta configuración del Sistema de Pistas, descrita en la subsección D.1.1.2 y expresada en la Tabla D-3.

$$p_{ij} = \begin{pmatrix} 0,0025 & 0,0475 \\ 0,0475 & 0,9025 \end{pmatrix} \quad (\text{D-14})$$

Finalmente, para hallar el tiempo esperado entre operaciones de aterrizaje vendrá dado por:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (T_{ij} + B_{ij}) = 86,25 \text{ s} \quad (\text{D-15})$$

Con lo que la Capacidad de Saturación de la Pista 24L en operaciones de sólo llegadas para los grupos de reactores pesados y medios, será:

$$C_{Llegadas-24L} = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} = 41 \text{ Llegadas/hora} \quad (\text{D-16})$$

Y la Varianza de los tiempos medios viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(T_{ij} + B_{ij}) - E(t)]^2 = 120,99 \text{ s}^2 \quad (\text{D-17})$$

Resultando la Desviación típica ( $\sigma$ ) 10,99 s.

### D.3.1.2 Capacidad Práctica.

A continuación, se estima la Capacidad Práctica de manera análoga al procedimiento descrito en la Subsección 4.2.2, aplicando la fórmula de Pollaczek-Khinchine para averiguar las demoras en función de la demanda de operaciones, y siendo cada uno de sus términos:

- $W_a$  tiempo esperado de demoras.
- $\lambda_a$  número de llegadas por hora.
- $\mu_a$  las capacidades de saturación obtenida en el apartado anterior, 41 llegadas/hora.
- $\sigma_a$  la Desviación típica de las llegadas, 10,99 s.

Realizando la estimación del tiempo esperado de demoras para las llegadas:

Tabla D-13. Demoras estimadas para la Pista 24L. Reactores Pesados y Medios.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
37	6,875	40	29,728
38	9,414	41	$\infty$
39	14,942		

Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los resultados, la Capacidad Práctica de la Pista 24L operando aterrizajes de Reactores Pesados y Medios, con demoras inferiores a diez minutos, estaría en el entorno de 38 llegadas/hora.

## D.3.2 Capacidad de la Pista 24R.

A lo largo de esta subsección, se desarrollan los cálculos de la Capacidad de Saturación y Práctica de la Pista 24R realizando operaciones de aterrizaje de los grupos Turbo hélice y Aviación General; y todos los despegues.

### D.3.2.1 Capacidad de saturación.

En este apartado, se va estimar la capacidad de la Pista 24R con un sistema de operaciones mixtas, en el cual se producen llegadas de los grupos Turbo hélice y Aviación General, y se llevan a cabo las salidas de todos los grupos de aeronaves. Para realizar los cálculos se van a seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, se va a calcular la capacidad de la pista en operaciones de sólo llegadas teniendo en cuenta únicamente los grupos Turbo hélice y Av. General.
- En segundo lugar, se hallará la capacidad de la pista en operaciones de sólo salida para los cuatro grupos de aeronaves que efectuarán despegues.
- En tercer lugar, y como se ha indicado anteriormente, se hallarán los huecos entre aterrizajes para acomodar despegues. Esto, de facto, supone dar un 100% de prioridad a las llegadas sobre las salidas.
- Por último, se construirá un Diagrama de Pareto para la caracterización de las operaciones mixtas en la pista en base a los tres datos calculados en los puntos anteriores: la capacidad de la pista en operaciones de sólo llegadas, la capacidad en sólo salidas y la capacidad mixta con prioridad 100% llegadas.

En primer lugar, tal como se describe en el procedimiento de cálculo de la Capacidad de Saturación, se distinguen las distintas combinaciones de aproximación de aeronaves atendiendo a las velocidades del avión en cabeza y el de cola. Pudiendo ser:

- Situación Abierta: La segunda aeronave en fase de aproximación es más lenta que la aeronave que va por delante. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-1) y (4-2).
- Situación Cerrada: La segunda aeronave en fase de aproximación es más rápida que la aeronave en cabeza. Situación caracterizada por las ecuaciones (4-3) y (4-4).

En la Tabla D-15, se establecen las situaciones posibles, abierta o cerrada, que pueden darse para las diferentes combinaciones de aeronaves en fase de aproximación y su separación correspondiente en Millas náuticas (NM).

Tabla D-14. Situaciones en función de la secuencia operativa. Turbo hélices y Aviación General.

Aeronave en Cabeza		
Aeronave en Cola	Turbo Hélices	Av. General
Turbo Hélices	Cerrada (3 NM)	Cerrada (3 NM)
Av. General	Abierta (5 NM)	Cerrada (3 NM)

Fuente: *Elaboración propia.*

En función de las situaciones expuestas anteriormente y los datos de separaciones y velocidades de aproximación expuestas en la subsección D.1.2, junto con las ecuaciones (4-1), (4-2), (4-3) y (4-4), se calcula la matriz  $T_{ij} + B_{ij}$ . Matriz que contiene los márgenes de tiempo de debe haber entre aproximaciones y los buffers de tiempo para cubrir posibles errores

$$T_{ij} + B_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 83,7 & 83,7 \\ 154,5 & 83,7 \end{pmatrix} \quad (D-18)$$

Para realizar los cálculos de la matriz de probabilidades, se ha tenido en cuenta la mezcla de flota establecida para esta configuración del Sistema de Pistas, descrita en la subsección D.1.1.2 y expresada en la Tabla D-4.

$$p_{ij} = \begin{pmatrix} 0,25 & 0,25 \\ 0,25 & 0,25 \end{pmatrix} \quad (D-19)$$

Finalmente, para hallar el tiempo esperado entre operaciones de aterrizaje vendrá dado por:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (T_{ij} + B_{ij}) = 101,42 s \quad (D-20)$$

Con lo que la Capacidad de Saturación de la Pista 24R en operaciones de sólo llegadas para los grupos Turbo hélice y Aviación General, será:

$$C_{Llegadas-24L} = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} = 35 \text{ Llegadas/hora} \quad (D-21)$$

La Varianza de los tiempos medios viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(T_{ij} + B_{ij}) - E(t)]^2 = 938,22 \text{ s}^2 \quad (D-22)$$

Resultando la Desviación típica ( $\sigma$ ) de 30,63 s.

El siguiente paso sería calcular la capacidad de la pista en operaciones de sólo salidas para los cuatro grupos de aeronaves, cálculo que para la temporada alta se realizó en la Subsección D.2.2.

Por tanto, se procede a calcular la capacidad mixta con prioridad 100% llegadas, lo que supone acomodar despegues cuando existan intervalos de tiempo lo suficientemente grandes entre llegadas. En la Tabla (D-16), se exponen los datos más relevantes para estimar los huecos de tiempo disponibles:

Tabla D-15. Datos de partida para estimar los huecos disponibles. Operaciones semi-mixtas.

Grupo	Distancia Aterrizaje (m)	V. Aprox (kts)	Tiempo de ocupación en pista (ROT)	Mezcla (%)	
				Llegadas	Salidas
Pesadas	3200 m (LDA)	140	72 s.	0%	5%
Medias	3200 m (LDA)	140	72 s.	0%	85%
Turbo hélices.	1480 m (N4)	120	38 s.	50%	5%
Av. General	1480 m (N4)	110	40 s.	50%	5%

Fuente: Elaboración propia.

Para poder acomodar un despegue entre llegadas, el tiempo tiene que ser mayor que el establecido por la expresión:

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(ROT_i) + E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) + (n_d - 1) \cdot E(TD_k) + B_{TOi} \quad (D-23)$$

Siendo  $E(ROT_i)$  el tiempo estimado de ocupación en pista de las aeronaves que llegan. Se estima realizando el producto de la mezcla en llegadas de cada tipo de aeronave por su tiempo de ocupación en pista (ROT):

$$E(ROT_i) = 0,5 \cdot 38 + 0,5 \cdot 40 = 39 \text{ s} \quad (D-24)$$

El término  $E(\delta_d/v_j)$  hace referencia al tiempo estimado que tardaría una aeronave que llega en recorrer la distancia de seguridad de la secuencia Salida-Llegada (1,08 NM).

$$E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) = 3600 \cdot \left[0,5 \cdot \left(\frac{1,08}{120}\right) + 0,5 \cdot \left(\frac{1,08}{110}\right)\right] = 33,87 \text{ s} \quad (D-25)$$

$E(TD_k)$  es el tiempo estimado en operaciones de sólo salidas, en este caso calculado en el Apartado D.2.2.1.

$$E(TD_k) = 83,55 \text{ s} \quad (D-26)$$

Como buffer de seguridad para los intervalos de tiempo, se va a tomar el mismo que el mismo que otros apartados, basado en la precisión de 4 s del radar y la probabilidad de violación del 5%.

$$B_{TOi} = 4 \cdot 1,65 = 6,6 \text{ s} \quad (D-27)$$

Finalmente, sustituyendo todos éstos términos en la inequación (D-23), se obtienen los intervalos de tiempo necesarios para poder efectuar un número determinado de despegues.

$$E(\Delta T_{ij}) \geq 79,47 + (n_d - 1) \cdot 83,5 \quad \begin{cases} n_d = 1 - 80 \text{ s} \\ n_d = 2 - 163 \text{ s} \\ n_d = 3 - 247 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{D-28})$$

Así, por ejemplo, para poder efectuar un despegue son necesarios 80 s, para poder realizar dos consecutivos, 163 s. A continuación, se observa dónde se encuentran los posibles huecos atendiendo a la matriz  $T_{ij} + B_{ij}$  del sistema en llegadas (D-18).

Como se puede comprobar, se podría meter una operación de despegue después de cada aterrizaje, puesto que cada combinación está por encima de los 80 s necesarios para realizar una salida y por debajo de los 163 s necesarios para realizar dos.

$$h_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{D-29})$$

Finalmente, el número de salidas que podrían realizarse con prioridad 100% llegadas se calcula multiplicando componente a componente la matriz de huecos (D-29) y la matriz de probabilidades (D-19). Además de usando la capacidad de operaciones en sólo llegadas de Turbo hélices y Aviación General (D-21).

$$C_{salidas}(\text{Prioridad } 100\% \text{ Llegadas}) = \sum \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \cdot (C_{llegadas} - 1) = 34 \text{ operaciones/hora} \quad (\text{D-30})$$

### D.3.2.2 Capacidad práctica.

A continuación, se estimará la Capacidad Práctica de la Pista 24R, para operaciones mixtas, mediante los siguientes procedimientos:

- En primer lugar, se hallará la Capacidad Práctica de la Pista para las llegadas de los grupos Turbo hélice y Av. General.
- En segundo lugar, se estimará la Capacidad Práctica en operaciones de sólo salida. Este cálculo ya fue realizado en el Apartado D.2.2.2.
- Se realizará un Diagrama de Pareto donde queden reflejadas las Capacidades de Saturación y Práctica para las operaciones mixtas.

Para las llegadas de aeronaves de los grupos Turbo hélices y Av. General por la Pista 24R, cada uno de los términos de la fórmula de Pollaczek-Khinchine vendrá dado por:

- $W_a$  tiempo esperado de demoras.
- $\lambda_a$  número de llegadas por hora.
- $\mu_a$  las capacidades de saturación sería 35 llegadas/hora.
- $\sigma_a$  la Desviación típica de las llegadas, 30,63 s.

Realizando la estimación del tiempo esperado de demoras para las llegadas:

Tabla D-16. Demoras estimadas para la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)
31	7,232	34	31,727
32	9,954	35	$\infty$
33	15,397		

Fuente: Elaboración propia.

A la vista de la Tabla D-17, la Capacidad Práctica de la pista para demoras inferiores a diez minutos estaría en el entorno de 32 llegadas/hora, dato éste último muy ajustado, por lo que finalmente se tomará 31 llegadas hora.

Para las operaciones de sólo salidas, ya se ha calculado la Capacidad Práctica de esta pista en el apartado D.2.2.2, dando como resultado un total de 39 salidas/hora.

En la Tabla D-18, se resumen todos los datos necesarios para realizar el diagrama de Pareto de la Pista 24R con llegadas de Turbo hélice y Aviación General y salidas de todas las aeronaves.

Tabla D-17. Resumen de capacidades de la Pista 24R. Operaciones semi-mixtas.

Llegadas TH+AG / Salidas TODAS		Sólo Llegadas	Sólo Salidas	Mixta (Prioridad 100% llegadas)
Capacidad de Saturación	Llegadas	35	0	35
	Salidas	0	43	34
Capacidad Práctica (10 min)	Llegadas	31	0	31
	Salidas	0	39	30

*Fuente: Elaboración propia.*

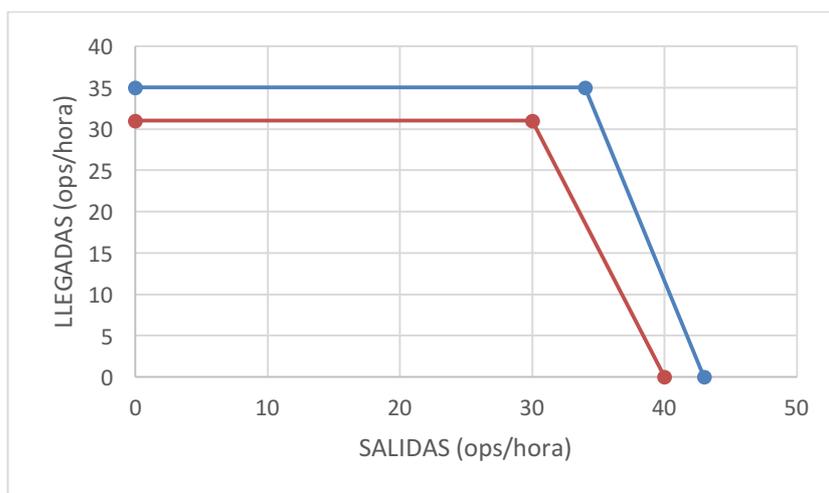
La Capacidad Práctica de la Pista con demoras inferiores a 10 minutos en operaciones mixtas resulta ser:

- 31 aterrizajes por hora de aeronaves Turbo hélice y Aviación General.
- 30 despegues por hora de aeronaves de todos los grupos.

Respecto al resultado anterior, cabe destacar que correspondería a una prioridad 100% llegadas, por lo que podría modificarse la configuración para obtener otra capacidad en función del tipo de demanda.

Finalmente, todos los puntos de la frontera de Pareto (Línea roja) serían “aceptables” desde el punto de vista de las demoras inferiores a diez minutos. La Capacidad de Saturación de la Pista estaría definida por la frontera de Pareto delimitada por la línea azul.

Figura D-3. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Propuesta del Plan Director.



*Fuente: Elaboración Propia.*

## D.4 Capacidad en operaciones mixtas: Propuesta para la temporada invernal.

Tal como se describe en la memoria, en la configuración operacional propuesta para la temporada invernal consiste en realizar todas las operaciones por la Pista 24R.

### D.4.1 Capacidad de Saturación de la Pista 24R

En este apartado, al tener los mismos grupos de aeronaves y reglas de separación que en el Apartado D.2.1.1, las matrices  $T_{ij}$  y  $B_{ij}$  serán idénticas. Por lo que la matriz suma  $T_{ij} + B_{ij}$  será igual que en (D-3):

$$T_{ij} + B_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 109,5 & 83,7 & 83,7 & 83,7 \\ 135,2 & 83,7 & 83,7 & 83,7 \\ 190,7 & 130,7 & 96,6 & 96,6 \\ 263 & 230,3 & 189,5 & 104,8 \end{pmatrix} \quad (D-31)$$

La matriz de probabilidades, resultado de los productos de los porcentajes de mezcla de flota para esta configuración, expresada en el Apartado D.1.1.3, tiene como resultado:

$$p_{ij}(s) = \begin{pmatrix} 0,000625 & 0,02125 & 0,001875 & 0,00125 \\ 0,02125 & 0,7225 & 0,06375 & 0,0425 \\ 0,001875 & 0,06375 & 0,005625 & 0,00325 \\ 0,00125 & 0,0425 & 0,00375 & 0,0025 \end{pmatrix} \quad (D-32)$$

Por lo que aplicando nuevamente la expresión para estimar el tiempo medio de operación:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (T_{ij} + B_{ij}) = 94,97 \text{ s} \quad (D-33)$$

Por lo que la capacidad de la Pista 24R, en operaciones de sólo llegadas, con la Mezcla de Flota seleccionada para la temporada baja, será:

$$C_{Llegadas-24R} = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} = 37 \text{ Llegadas/hora} \quad (D-34)$$

La Varianza viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(T_{ij} + B_{ij}) - E(t)]^2 = 1065,34 \text{ s}^2 \quad (D-35)$$

Por tanto, la Desviación típica ( $\sigma$ ) es 32,64 s.

A continuación, se calcula la capacidad de la Pista en operaciones de sólo llegadas tomando la matriz de tiempos de la secuencia operativa Salida-Salida, extraída de la subsección de separaciones entre aeronaves y velocidades características (véase D.1.2), y la matriz de probabilidades para la mezcla de flota invernal (D-32). Expresando esta operación como:

$$E(t) = \sum \sum p_{ij} \cdot (MB_{ij}) = 82,73 \text{ s} \quad (D-36)$$

Finalmente, la Capacidad de Saturación de la pista 24R en operaciones de sólo salida es:

$$C_{Salidas-24R} = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} = 43 \text{ Salidas/hora} \quad (D-37)$$

La Varianza, viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \sum \sum p_{ij} \cdot [(MB_{ij}) - E(t)]^2 = 363,60 \text{ s} \quad (D-38)$$

Por tanto, resultando la Desviación típica ( $\sigma$ ) 19,07 s.

Seguidamente, se calcula la capacidad mixta con prioridad 100% llegadas, lo que supone acomodar despegues cuando existan intervalos de tiempo lo suficientemente grandes entre llegadas. En la Tabla (D-19), se exponen los datos más relevantes para estimar los huecos de tiempo disponibles:

Tabla D-18. Datos necesarios para estimar los huecos de tiempo disponibles. Operaciones mixtas.

Grupo	D. Aterrizaje (m)	V. Aproximación (kts)	Tiempo de ocupación en pista (ROT)	Mezcla de Flota (%)
Pesadas	3200 m (LDA)	140	72 s.	2,5%
Medias	3200 m (LDA)	140	72 s.	85%
Turbo hélices.	1480 m (N4)	120	38 s.	7,5%
Av. General	1480 m (N4)	110	40 s.	5%

Fuente: Elaboración propia.

Para poder acomodar un despegue entre llegadas, el tiempo tiene que ser mayor que el establecido por la expresión:

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(ROT_i) + E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) + (n_d - 1) \cdot E(TD_k) + B_{TOi} \quad (D-39)$$

Siendo  $E(ROT_i)$  el tiempo estimado de ocupación en pista de las aeronaves que llegan. Se estima realizando el producto de la mezcla en llegadas de cada tipo de aeronave por su tiempo de ocupación en pista (ROT):

$$E(ROT_i) = 0,025 \cdot 72 + 0,85 \cdot 72 + 0,075 \cdot 38 + 0,05 \cdot 40 = 67,85 \text{ s} \quad (D-40)$$

El término  $E(\delta_d/v_j)$  hace referencia al tiempo estimado que tardaría una aeronave que llega en recorrer la distancia de seguridad de la secuencia Salida-Llegada (1,08 NM).

$$E\left(\frac{\delta_d}{v_j}\right) = 3600 \cdot \left[0,025 \cdot \left(\frac{1,08}{140}\right) + 0,85 \cdot \left(\frac{1,08}{140}\right) + 0,075 \cdot \left(\frac{1,08}{120}\right) + 0,05 \cdot \left(\frac{1,08}{110}\right)\right] = 28,5 \text{ s} \quad (D-41)$$

$E(TD_k)$  es el tiempo estimado en operaciones de sólo salidas, en este caso calculado en mediante la expresión (D-37):

$$E(TD_k) = 82,73 \text{ s} \quad (D-42)$$

Como buffer de seguridad para los intervalos de tiempo, se va a tomar el mismo que el mismo que otros apartados, basado en la precisión de 4 s del radar y la probabilidad de violación del 5%.

$$B_{TOi} = 4 \cdot 1,65 = 6,6 \text{ s} \quad (D-43)$$

Finalmente, sustituyendo todos éstos términos en la inecuación (D-39), se obtienen los intervalos de tiempo necesarios para poder efectuar un número determinado de despegues.

$$E(\Delta T_{ij}) \geq 103 + (n_d - 1) \cdot 83,73 \quad \begin{cases} n_d = 1 - 103 \text{ s} \\ n_d = 2 - 186 \text{ s} \\ n_d = 3 - 269 \text{ s} \end{cases} \quad (D-44)$$

De la anterior expresión se extrae que para poder introducir una salida en la secuencia harían falta 103 s, para que se produzcan dos salidas consecutivas hacen falta 187 s, y para poder introducir tres seguidas, 271s.

Seguidamente, se comprueba la matriz  $T_{ij} + B_{ij}$  que define los tiempos entre operaciones de llegada (D-31) para hallar los posibles intervalos con despegues:

$$h_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (D-45)$$

Finalmente, el número de salidas que podrían realizarse con prioridad 100% llegadas se calcula multiplicando componente a componente la matriz de huecos (D-45) y la matriz de probabilidades (D-32). Además de usando la capacidad de operaciones en sólo llegadas calculada arriba (D-34).

$$C_{salidas}(Prioridad\ 100\% \ Lleg) = \sum \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \cdot (C_{llegadas} - 1) = 6 \text{ operaciones/hora} \quad (D-46)$$

#### D.4.2 Capacidad Práctica de la Pista 24R

Para hacer una aproximación de la Capacidad Práctica de la configuración propuesta en temporada baja, Se actuará de manera análoga al análisis de pista mixta de la configuración propuesta en caso de saturación (véase D.3.2), mediante la siguiente secuencia de procedimientos:

- En primer lugar, se hallará la Capacidad Práctica de la Pista 24R para operaciones de sólo llegadas.
- En segundo lugar, se estimará la Capacidad Práctica de la Pista 24R en operaciones de sólo salida.
- Por último, se realizará un Diagrama de Pareto donde queden reflejadas las Capacidades de Saturación y Práctica para las operaciones mixtas.

Dado que la forma de analizar las demoras en las operaciones de sólo llegadas y sólo salidas es la misma, mediante la fórmula de Pollaczek-Khinchine, se estimarán las dos conjuntamente. Para las operaciones de sólo llegadas se tiene los siguientes términos:

- $W_a$  tiempo esperado de demoras en operaciones de sólo llegadas.
- $\lambda_a$  número de llegadas por hora.
- $\mu_a$  la Capacidad de Saturación es de 37 llegadas/hora.
- $\sigma_a$  la Desviación típica de las llegadas es de 32,64 s.

Para las operaciones de sólo salidas, se tiene la siguiente relación de términos:

- $W_d$  tiempo esperado de demoras en operaciones de sólo salida
- $\lambda_d$  número de salidas por hora.
- $\mu_d$  la Capacidad de Saturación es de 43 salidas/hora.
- $\sigma_d$  la Desviación típica de las salidas es de 19,07 s.

En la siguiente Tabla (D-20), se indican las demoras aproximadas para las operaciones de sólo salidas y sólo llegadas:

Tabla D-19. Demoras estimadas para la Pista 24R. Operaciones mixtas.

$\lambda_a$ (Llegadas/hora)	$W_a$ (min)	$\lambda_d$ (Salidas/hora)	$W_d$ (min)
33	7,442	39	7,115
34	10,223	40	9,785
35	15,786	41	15,044
36	32,474	42	30,822
37	$\infty$	43	$\infty$

Fuente: Elaboración propia.

Se deduce que la Capacidad Práctica para que las demoras estén por debajo de los diez minutos es de 33 ops/hora para el caso de sólo llegadas y 40 ops/hora para el caso de sólo salidas.

A continuación, se obtiene la Capacidad Práctica con las estimaciones obtenidas para las operaciones de sólo llegada, sólo salida y mixtas con prioridad 100% llegadas. En la Tabla (D-21) se resumen todos los datos necesarios para realizar el Diagrama de Pareto de la Pista 24R con operaciones mixtas para todos los grupos de aeronaves.

Tabla D-20. Resumen de capacidades de la Pista 24R. Operaciones mixtas.

Salidas/Llegadas: TODAS		Sólo Llegadas	Sólo Salidas	Mixta (Prioridad 100% llegadas)
Capacidad de Saturación	Llegadas	37	0	37
	Salidas	0	43	6
Capacidad Práctica (10 min)	Llegadas	33	0	33
	Salidas	0	40	5

*Fuente: Elaboración propia.*

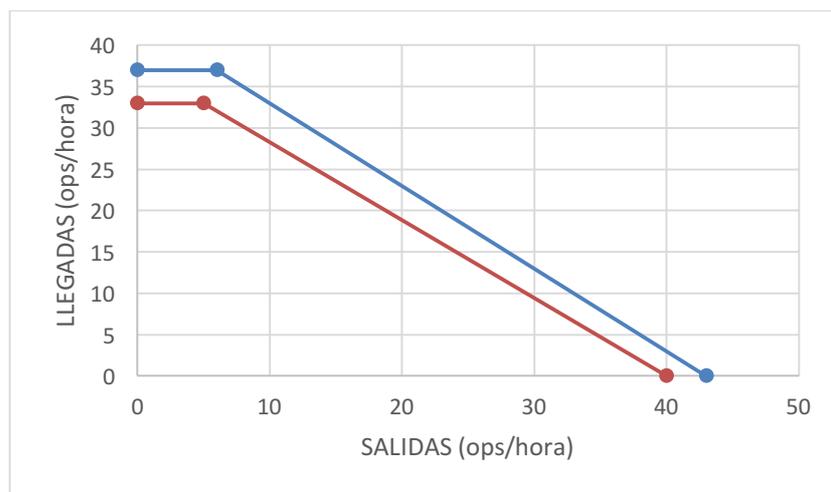
La Capacidad Práctica de la Pista con demoras inferiores a 10 minutos en operaciones mixtas resulta ser:

- 33 aterrizajes por hora de aeronaves Turbo hélice y Aviación General.
- 5 despegues por hora de aeronaves de todos los grupos.

Respecto al resultado anterior, cabe destacar que correspondería a una prioridad 100% llegadas, por lo que podría modificarse la configuración para obtener otra capacidad en función del tipo de demanda.

Finalmente, todos los puntos de la frontera de Pareto (Línea roja) serían “aceptables” desde el punto de vista de las demoras inferiores a diez minutos. La Capacidad de Saturación de la Pista estaría definida por la frontera de Pareto delimitada por la línea azul

Figura D-4. Diagrama de Pareto de la Pista 24R. Propuesta para la temporada invernal.



*Fuente: Elaboración propia.*