Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Titulació:

ENGINYERIA AERONÀUTICA

Alumne:

JAIME MARTÍNEZ CHAPÍN

Títol PFC:

ESTUDIO DE LA AMPLIACIÓN DEL CAMPO DE VUELOS DEL AEROPUERTO DE GIRONA EN EL MÁXIMO HORIZONTE PREVISTO EN SU PLAN DIRECTOR

Director del PFC:

JORDI MARGARIT GARCÍA

Convocatòria de lliurament del PFC:

GENER 2012

Contingut d'aquest volum: **- II. ANEXOS -**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa – Universitat Politècnica de Catalunya

Estudio de la ampliación del campo de vuelos del Aeropuerto de Girona en el máximo horizonte previsto en su Plan Director

II. Anexos

Jaime Martínez Chapín
Enero de 2.012

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS 4

ÍNDICE DE FIGURAS 6

ANEXO 1: PROGNOSIS DE TRÁFICO 7

Estimación de la demanda en hora punta 7

Estimación de los valores de diseño 9

Estimación del tráfico aéreo total 13

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DE LAS AERONAVES DE LA FLOTA DE DISEÑO 15

B737-800 15

A319 15

A320 16

A321 16

B737-500 16

B737-600 17

B737-700 17

B767-200 17

B767-300 18

ANEXO 3: CLIMATOLOGÍA 19

Visibilidad 19

Techo de nubes 20

ANEXO 4: LONGITUD DE PISTA 21

ANEXO 5: DIMENSIONADO DE CALLES DE RODAJE, APARTADEROS DE ESPERA, PUNTOS DE ESPERA DE ENTRADA A PISTA Y PUNTOS DE ESPERA INTERMEDIOS 25

Anchura de las calles de rodaje 26

Separación entre calles de rodaje paralelas 26

Separación entre eje de pista y punto de espera de entrada a pista 27

Separación entre eje de pista y eje de calle de rodaje paralela a pista 29

Separación entre eje de calle de rodaje y punto de espera intermedio 29

ANEXO 6: CONFIGURACIÓN DEL *BYPASS* 31

Enlace directo 31

Enlace por detrás del umbral 20L 31

ANEXO 7: UBICACIÓN DE LAS CALLES DE SALIDA RÁPIDA 34

ANEXO 8: DISEÑO DEL PUESTO DE ESTACIONAMIENTO AISLADO PARA AERONAVES..... 37

ANEXO 9: UBICACIÓN DEL PAPI 40

ANEXO 10: CÁLCULO DE PAVIMENTOS..... 42

Pavimento flexible 42

Pavimento rígido..... 45

ANEXO 11: CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO 49

Sistema de aproximación..... 50

Umbral/extremo de pista 51

PAPI..... 53

TDZ..... 53

Borde de pista..... 56

Eje de pista..... 57

REFERENCIAS..... 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de incidencia en el desarrollo del aeropuerto 7
Tabla 2. Prognosis de pasajeros y aeronaves en horas punta 8
Tabla 3. Prognosis de los valores de diseño de tráfico de pasajeros y aeronaves en horas punta 9
Tabla 4. Prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves en el día tipo 11
Tabla 5. Prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves totales 13
Tabla 6. Frecuencia de los intervalos de visibilidad inferiores a 200, 400, 600, 800, 1.000, 1.500, 3.000, 5.000 y 8.000 m 19
Tabla 7. Frecuencias de los intervalos de techo de nubes inferiores a 30, 60, 90, 150, 300 y 450 m 20
Tabla 8. Rutas de diseño 21
Tabla 9. Longitudes de despegue y de aterrizaje de la flota de diseño 24
Tabla 10. Criterios mínimos relativos al diseño de calles de rodaje 25
Tabla 11. Separación entre calles de rodaje paralelas 27
Tabla 12. Interceptación de la superficie de transición interna 28
Tabla 13. Ubicación de los puntos de espera de entrada a pista 29
Tabla 14. Separación entre eje de pista y eje de calle de rodaje paralela a pista 29
Tabla 15. Superficies limitadoras y de protección de obstáculos antes de umbral/extremo de pista 32
Tabla 16. Clasificación de la flota de diseño según velocidad de umbral 34
Tabla 17. Ubicación de la calle de salida rápida respecto a umbral de pista 36
Tabla 18. Posición de la barra de parada 38
Tabla 19. Margen vertical entre las ruedas y el umbral para el PAPI 40
Tabla 20. Espesores particulares de pavimento flexible 43
Tabla 21. Transformación a magnitudes equivalentes 44
Tabla 22. Espesores particulares de pavimento rígido 47
Tabla 23. Requisitos de potencia para los circuitos de aproximación 50
Tabla 24. Potencia requerida para los reguladores de aproximación 51
Tabla 25. Requisitos de potencia para los circuitos de umbral/extremo de pista 52
Tabla 26. Potencia requerida para los reguladores de umbral/extremo de pista 53
Tabla 27. Requisitos de potencia para los circuitos del PAPI 53
Tabla 28. Potencia requerida para los reguladores del PAPI 53
Tabla 29. Requisitos de potencia para los circuitos de TDZ 54
Tabla 30. Potencia requerida para los reguladores de TDZ 56
Tabla 31. Requisitos de potencia para los circuitos de borde de pista 56
Tabla 32. Potencia requerida para los reguladores de borde de pista 57

Tabla 33. Requisitos de potencia para los circuitos de eje de pista 57
Tabla 34. Potencia requerida para los reguladores de eje de pista..... 58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del tráfico de aeronaves en horas punta 8
Figura 2. Evolución del tráfico de pasajeros en horas punta 9
Figura 3. Evolución del tráfico de diseño de aeronaves en horas punta 10
Figura 4. Evolución del tráfico de diseño de pasajeros en horas punta 11
Figura 5. Evolución del tráfico de aeronaves en el día tipo 12
Figura 6. Evolución del tráfico de pasajeros en el día tipo 12
Figura 7. Evolución del tráfico de aeronaves totales 13
Figura 8. Evolución del tráfico de pasajeros totales 14
Figura 9. Diagrama Carga de pago - Alcance del B737-800 22
Figura 10. Distancia de despegue requerida para el B737-8000 22
Figura 11. Distancia de aterrizaje requerida para el B737-800 23
Figura 12. Pendientes de las superficies de transición 28
Figura 13. Superposición de envolventes particulares 37
Figura 14. Dimensionado inicial ERA 38
Figura 15. Dimensionado final ERA 39
Figura 16. Curvas de cálculo de pavimentos flexible para tren de ruedas gemelas 42
Figura 17. Efecto de la capa de cimentación sobre el terreno 46
Figura 18. Curvas de cálculo de pavimento rígido para ruedas gemelas 48

ANEXO 1: PROGNOSIS DE TRÁFICO

La estimación de los valores de demanda de tráfico de pasajeros y aeronaves a muy largo plazo se realiza a partir de los datos de la prognosis publicada en el actual Plan Director, y obtenida a partir de la definición de los siguientes factores de incidencia en el desarrollo [1]:

FACTORES EXTERNOS	ASPECTOS	
	POSITIVOS	NEGATIVOS
PIB Reino Unido	Crecimiento medio previsto del 2,5% hasta 2.007	Expectativas de ralentización de la economía a largo plazo.
Directrices del *Plan de Desarrollo Turístico Sostenible de las Comarcas Gironinas*	Mejoras medioambientales. Diversificación y desestacionalización de oferta turística.	Expectativas de crecimiento lento pero sostenido de la oferta hotelera hasta 2.020
Turismo	Crecimiento del turismo británico a consecuencia de su salud económica actual y del potencial del destino ante nuevas posibilidades de acceso.	Posible disminución de las visitas de turismo alemán (motivos económicos) y otros por interacción con otros modos alternativos.
TAV	Complemento intermodal a destinos cercanos.	Incertidumbre acerca de política de tarifas y frecuencias de paso.
FACTORES INTERNOS	**ASPECTOS**	
	POSTIVOS	NEGATIVOS
Compañías de bajo coste	Aumento de la participación en el tráfico comercial. Desarrollo del tráfico nacional.	Desconocimiento de la política futura e imprevisibilidad de sus decisiones.

Tabla 1. Factores de incidencia en el desarrollo del aeropuerto

Atendiendo a estas premisas, y dado que en [1] tan solo se desarrollan 3 horizontes de diseño, se supone una evolución aproximadamente lineal de todos los factores de desarrollo, permitiendo así obtener un primer escenario con un volumen de demanda cuantificado.

Estimación de la demanda en hora punta

La prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves en horas punta para los años horizonte se presentan en la Tabla 2.

Horizonte	Pasajeros hora punta	Aeronaves hora punta
2.010	2.864	36
2.015	3.222	40
2.020	3.759	46

Tabla 2. Prognosis de pasajeros y aeronaves en horas punta

Atendiendo al crecimiento del tráfico de aeronaves en horas punta, y a la capacidad horaria del aeropuerto en configuración de una sola pista operativa (53 operaciones/hora) o con ambas pistas paralelas operando de manera independiente y simultánea (70 operaciones/hora)(ver *Capítulo 5.2 Demanda en hora punta*), de la Figura 1 se obtienen de manera directa los horizontes en que se alcanzan dichas capacidades máximas.

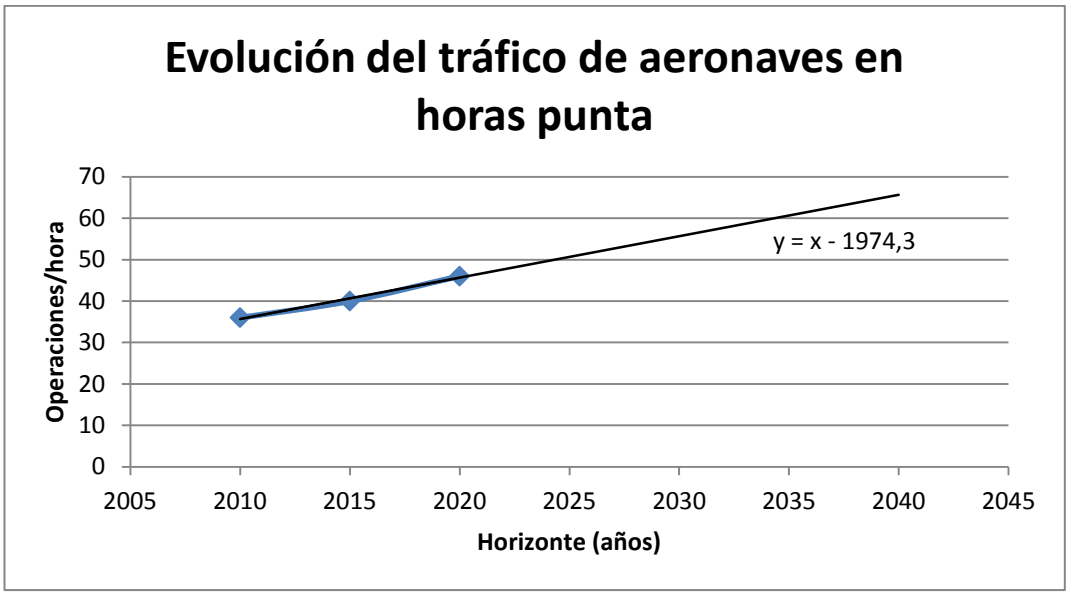

Figura 1. Evolución del tráfico de aeronaves en horas punta

Por tanto, y mediante esta aproximación, se determina que se alcanzarán las 53 operaciones/hora en horas punta en el año 2.027, mientras que las 70 operaciones/hora en horas punta no se producirán hasta el año 2.044.

Ahora, observando la tasa de crecimiento estimado de pasajeros en horas punta, y conocidos los horizontes críticos, se está en disposición de evaluar el volumen de tráfico de pasajeros en dichos horizontes.

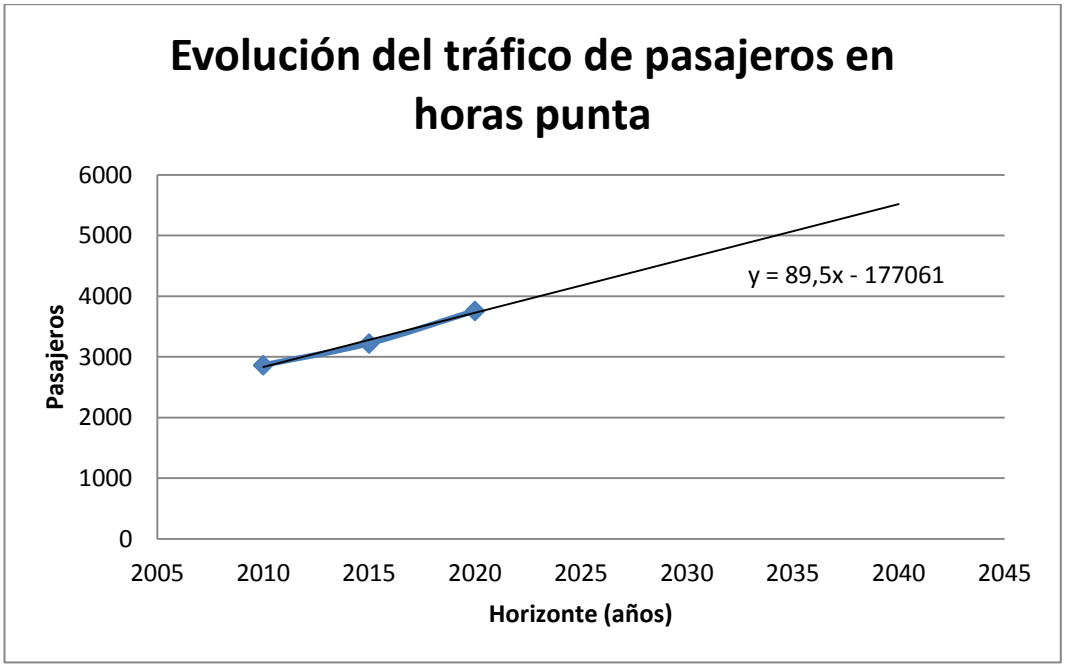

Figura 2. Evolución del tráfico de pasajeros en horas punta

De esta manera, de la Figura 2, se determina fácilmente que para el año 2.027, el volumen de pasajeros en horas punta alcanzará las 4.355 personas, mientras que este volumen se incrementará hasta las 5.877 personas en el año 2.044.

Estimación de los valores de diseño

La prognosis de los valores de diseño de tráfico de pasajeros y aeronaves en horas punta se presenta en la Tabla 3:

Horizonte	Pasajeros hora punta	Aeronaves hora punta
2.010	2.434	19
2.015	2.739	21
2.020	3.195	24

Tabla 3. Prognosis de los valores de diseño de tráfico de pasajeros y aeronaves en horas punta

Ahora, procediendo de manera análoga al apartado anterior, y manteniendo constantes los valores de capacidad horaria del aeropuerto en función de la configuración de pistas adoptada, se obtienen de manera inmediata los nuevos horizontes de diseño críticos en cuanto a capacidad operativa, así como el volumen de pasajeros asociado.

La Figura 3 muestra la tendencia de crecimiento de aeronaves en hora punta.

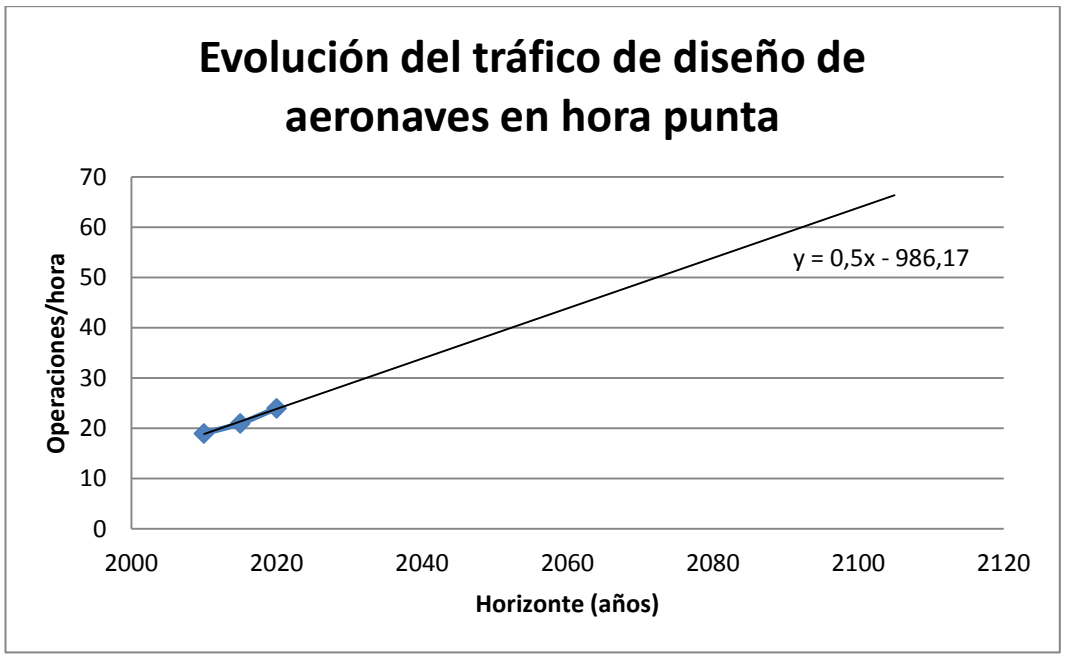

Figura 3. Evolución del tráfico de diseño de aeronaves en horas punta

Por tanto, se establece que para la configuración de una sola pista operativa, se empleará al máximo su capacidad operativa en el año 2.078, mientras que para la configuración de ambas pistas paralelas e independientes, no se alcanzará la capacidad operativa máxima hasta el año 2.112.

El volumen de diseño de pasajeros en hora punta para estos nuevos horizontes se muestra en la Figura 4.

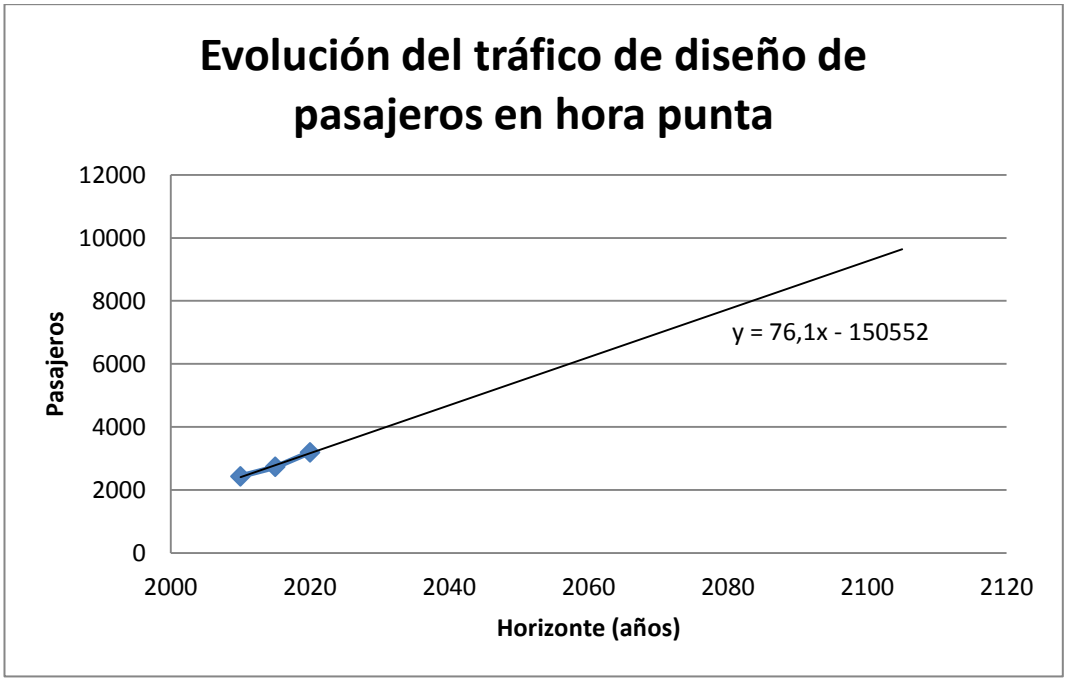

Figura 4. Evolución del tráfico de diseño de pasajeros en horas punta

Por tanto, en el año 2.078 el número de pasajeros de diseño en hora punta será de 7.584, mientras que para el año 2.112 este volumen se incrementará hasta los 10.171 pasajeros.

Además, y siguiendo con este mismo procedimiento, se está en disposición de cuantificar el tráfico de aeronaves y pasajeros para el día tipo.

La Tabla 4 muestra la prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves en el día tipo.

Horizonte	Pasajeros día tipo	Aeronaves día tipo
2.010	25.631	139
2.015	28.835	154
2.020	33.640	176

Tabla 4. Prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves en el día tipo

La Figura 5 y la Figura 6 muestran la evolución de ambos tráficos hasta los horizontes críticos establecidos.

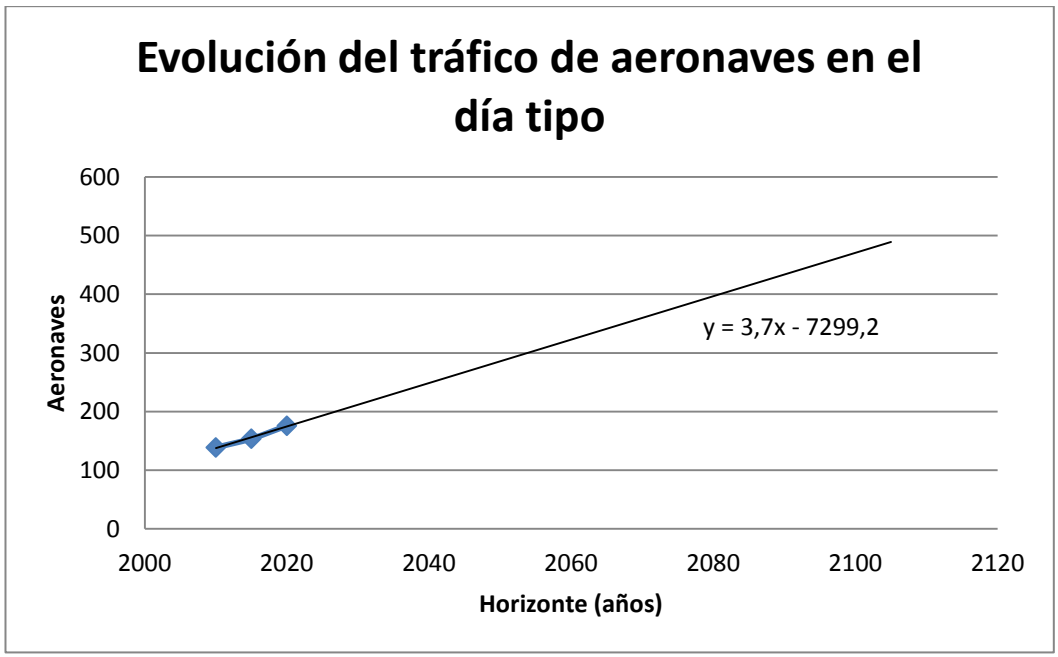

Figura 5. Evolución del tráfico de aeronaves en el día tipo

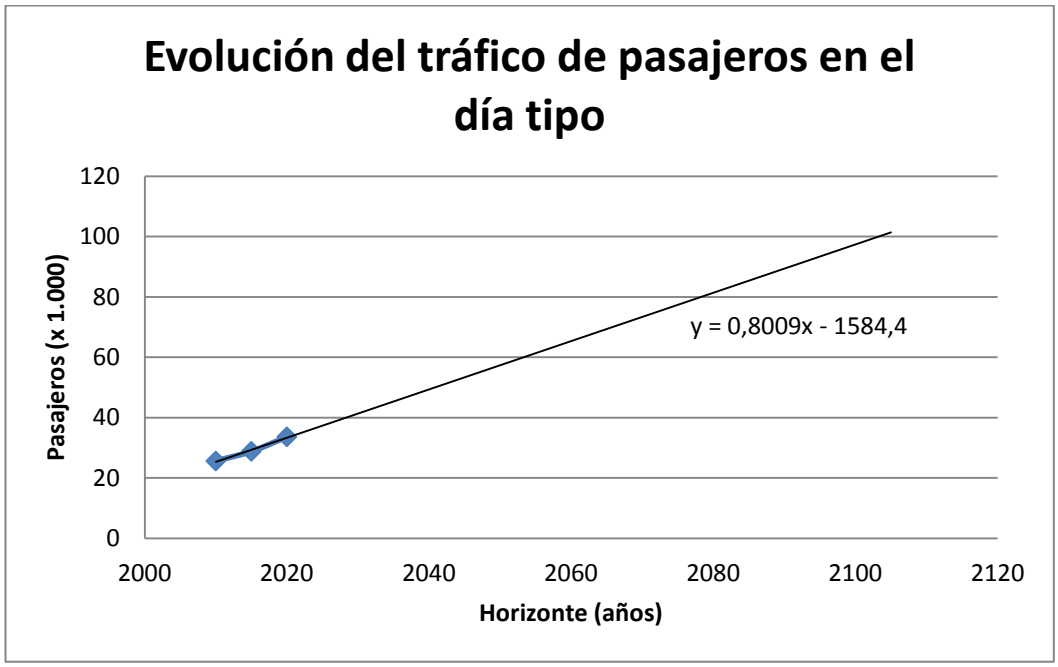

Figura 6. Evolución del tráfico de pasajeros en el día tipo

Así, para el año 2.078, el día tipo contará con un volumen de 79.870 pasajeros y de 390 aeronaves, mientras que para el año 2.112, el volumen de pasajeros ascenderá hasta las 107.101 personas y 515 el de aeronaves.

Estimación del tráfico aéreo total

Por último, se está en disposición de cuantificar el volumen total de pasajeros y aeronaves para los horizontes críticos de demanda esperada en horas punta (año 2.044 para demanda en horas punta y año 2.112 para demandas de diseño en horas punta).

La prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves totales se muestra en la Tabla 5.

Horizonte	Pasajeros totales	Aeronaves totales
2.010	6.815.446	58.044
2.015	8.156.314	69.427
2.020	8.893.960	76.820

Tabla 5. Prognosis de tráfico de pasajeros y aeronaves totales

La Figura 7 y la Figura 8 muestran la evolución de ambos tráficos a lo largo del tiempo hasta alcanzar los horizontes de diseño establecidos.

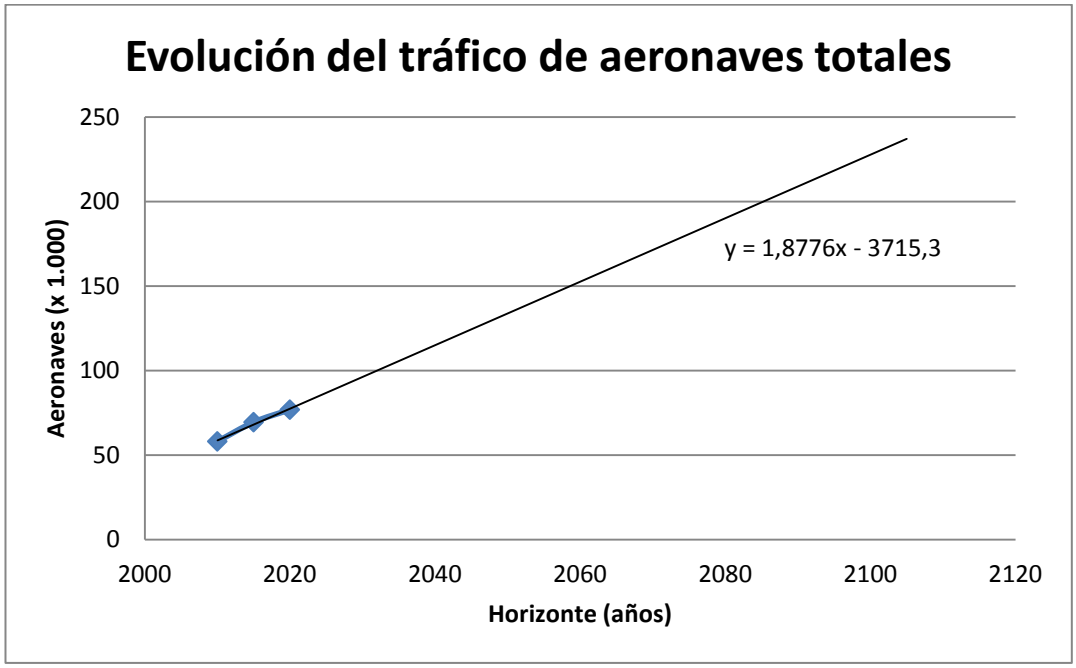

Figura 7. Evolución del tráfico de aeronaves totales

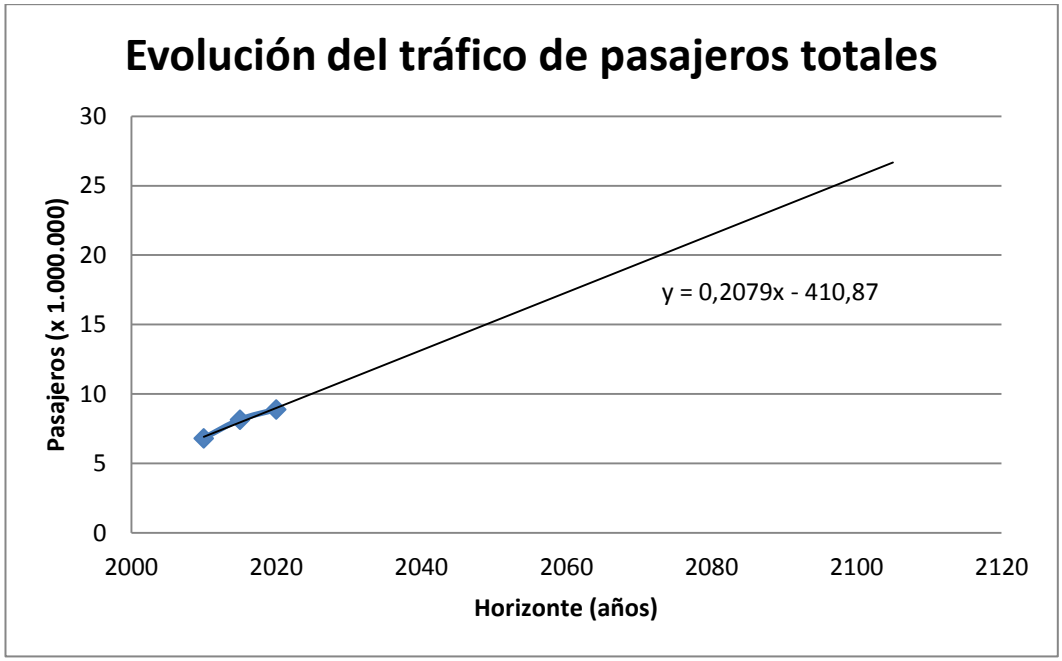

Figura 8. Evolución del tráfico de pasajeros totales

Por tanto, se determina que para el año 2.044, el número de pasajeros anuales se situará en torno a los 14.077.600, mientras que el de aeronaves se situará en 122.514. Por otro lado, estos valores ascenderán hasta los 28.214.800 pasajeros y 250.191 aeronaves para el año 2.112.

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DE LAS AERONAVES DE LA FLOTA DE DISEÑO

El diseño de numerosas instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeródromo depende en gran medida de las características geométricas y físicas de dichos aviones.

En el presente Anexo, se presentan aquellas características básicas con la finalidad de facilitar su consulta, agilizando de esta manera los cálculos realizados en el resto de apartados.

El orden de aparición de las aeronaves corresponde al volumen de operaciones previsibles en el aeropuerto en orden decreciente según lo establecido en el *Capítulo 5.1 Flota de diseño*.

B737-800

Longitud: 39,47 m
Envergadura: 34,32 m
Altura de cabina: 5,56 m
Altura máxima: 12,62 m
Anchura del tren principal: 5,72 m
Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,49 m
Superficie alar: 125 m^2
C_L max: 2,96
MTOW: 79.016 kg
MLW: 66.361 kg

A319

Longitud: 33,84 m
Envergadura: 34,10 m
Altura de cabina: 5,97 m
Altura máxima: 12,11 m
Anchura del tren principal: 7,59 m
Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,41 m
Superficie alar: 122,6 m^2
C_L max: 2,97
MTOW: 75.500 kg
MLW: 62.500 kg

A320

Longitud: 37,57 m

Envergadura: 33,91 m

Altura de cabina: 5,94 m

Altura máxima: 11,91 m

Anchura del tren principal: 7,59 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,41 m

Superficie alar: 122,6 m^2

C_L max: 3

MTOW: 78.000 kg

MLW: 63.000 kg

A321

Longitud: 44,50 m

Envergadura: 34,15 m

Altura de cabina: 5,98 m

Altura máxima: 12,10 m

Anchura del tren principal: 7,59 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,41 m

Superficie alar: 122,6 m^2

C_L max: 3,23

MTOW: 93.500 kg

MLW: 75.500 kg

B737-500

Longitud: 31,01 m

Envergadura: 28,88 m

Altura de cabina: 5,13 m

Altura máxima: 11,15 m

Anchura del tren principal: 5,23 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,49 m

Superficie alar: 92,50 m^2

C_L max: 2,96

MTOW: 61.689 kg

MLW: 49.900 kg

B737-600

Longitud: 31,24 m

Envergadura: 34,32 m

Altura de cabina: 5,54 m

Altura máxima: 12,70 m

Anchura del tren principal: 5,72 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,49 m

Superficie alar: 125 m^2

C_L max: 2,96

MTOW: 65.544 kg

MLW: 54.658 kg

B737-700

Longitud: 33,63 m

Envergadura: 34,32 m

Altura de cabina: 5,56 m

Altura máxima: 12,67 m

Anchura del tren principal: 5,72 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,49 m

Superficie alar: 125 m^2

C_L max: 2,96

MTOW: 70.080 kg

MLW: 60.781 kg

B767-200

Longitud: 48,51 m

Envergadura: 47,57 m

Altura de cabina: 7,47 m

Altura máxima: 16,13 m

Anchura del tren principal: 9,30 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2,26 m

Superficie alar: 283,3 m^2

C_L max: 2,45

MTOW: 142.882 kg

MLW: 123.377 kg

B767-300

Longitud: 54,94 m

Envergadura: 47,57 m

Altura de cabina: 7,49 m

Altura máxima: 16,03 m

Anchura del tren principal: 9,30 m

Distancia morro-posición del piloto en cabina: 2.26 m

Superficie alar: 283,3 m^2

C_L max: 2,45

MTOW: 158.758 kg

MLW: 136.078 kg

ANEXO 3: CLIMATOLOGÍA

A continuación, se presentan los datos climatológicos del Aeropuerto de Girona concernientes a los niveles de visibilidad y techo de nubes, a fin de determinar las condiciones operativas más habituales que se pueden encontrar las aeronaves, así como las condiciones meteorológicas más adversas que se puedan encontrar con cierta regularidad, determinando de esta manera la Categoría del aeropuerto requerida para permitir la operatividad continua de todas sus instalaciones.

Para pistas de aproximaciones de precisión dotadas de ILS y ayudas visuales existen 5 categorías:

1. Categoría I: Altura de decisión no inferior a 60 m y con una visibilidad de no menos de 800 m o con un alcance visual en la pista no inferior a 550 m.
2. Categoría II: Altura de decisión inferior a 60 m pero no inferior a 30 m y con un alcance visual en la pista no inferior a 350 m.
3. Categoría IIIA: Altura de decisión inferior a 30 m o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista no inferior a 200 m.
4. Categoría IIIB: Altura de decisión inferior a 15 m o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista inferior a 200 m pero no inferior a 50 m.
5. Categoría IIIC: Sin altura de decisión y sin restricciones de alcance visual en pista.

Visibilidad

La Tabla 6 muestra las frecuencias relativas de los casos en que la visibilidad es inferior a uno de los valores especificados (en metros) para cada mes del año en un período comprendido entre 1.983 y 1.992 [7].

	<200	<400	<600	<800	<1.000	<1.500	<3.000	<5.000	<8.000
Enero	1,9	0,9	1,4	1,5	1,6	2,4	4	9,1	23
Febrero	0,8	1,4	2,4	2,6	2,8	3,6	5,7	12,6	30,7
Marzo	0,2	0,9	1,1	1,1	1,2	1,6	2,3	6,7	22,3
Abril	0,5	1,1	1,8	1,9	2	2,5	3,5	6,8	20,7
Mayo	0,3	0,7	1,2	1,3	1,4	2	3,1	6,8	23,1
Junio	0,3	0,7	1,1	1,3	1,4	1,7	2,5	5,4	20,9
Julio	0,1	0,3	0,6	0,6	0,7	0,9	1,2	2,9	13,1
Agosto	0,1	0,3	0,6	0,7	0,8	1,2	1,7	3,3	14,2
Septiembre	0,6	1,5	2,2	2,4	2,5	3,1	4,5	7,8	26,1
Octubre	0,6	1,4	2,1	2,2	2,4	3,2	4,9	10	30
Noviembre	0,3	0,9	1,2	1,2	1,4	1,9	2,9	9,4	25,8
Diciembre	0,5	1	1,5	1,5	1,6	1,9	2,6	7,7	20,6

Tabla 6. Frecuencia de los intervalos de visibilidad inferiores a 200, 400, 600, 800, 1.000, 1.500, 3.000, 5.000 y 8.000 m

A tenor de los datos de presentados en la Tabla 6, se observa cómo existe la posibilidad de que puntualmente se obtengan visibilidades por debajo de los 200 m, por lo que para permitir la operación de aeronaves en estas circunstancias se requiere de Categoría IIIB.

Techo de nubes

Se conoce como techo de nubes a la altura de la base de la capa nubosa más baja que cubre más de la mitad del cielo en el momento de observación.

La Tabla 7 muéstralas frecuencias relativas de los casos en que el techo de nubes es inferior a uno de los valores especificados (en metros) para cada uno de los meses del año en un período comprendido entre 1.983 y 1.992 [8].

	< 30	< 60	< 90	<150	<300	< 450
Enero	0	0	0	0,1	0,3	0,7
Febrero	0,2	0,3	0,5	0,5	0,9	1
Marzo	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
Abril	0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
Mayo	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4
Junio	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Julio	0	0	0	0	0,1	0,1
Agosto	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2
Septiembre	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
Octubre	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4
Noviembre	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Diciembre	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 7. Frecuencias de los intervalos de techo de nubes inferiores a 30, 60, 90, 150, 300 y 450 m

Por tanto, y debido a que existe la posibilidad de que el techo de nubes se sitúe puntualmente por debajo de los 30 m de altura en varios meses del año, se requerirá una Categoría IIIA para el aeropuerto a fin de garantizar su operatividad continuada frente a este condicionante meteorológico.

Finalmente, y una vez evaluados ambos fenómenos meteorológicos en conjunto, se establece que el aeropuerto debe declararse como **Categoría IIIB.**

ANEXO 4: LONGITUD DE PISTA

La longitud verdadera de toda pista principal debe ser adecuada para satisfacer los requisitos operacionales de los aviones para los que se proyecte la pista y no debe ser menor que la longitud más larga determinada por la aplicación de las operaciones de las correcciones correspondientes a las condiciones locales y a las características de performance de los aviones que tengan que utilizarla.

Atendiendo al tipo de tráfico existente en el aeropuerto, descrito en el *Capítulo 2.3 Evolución del tráfico aéreo de bajo coste en el Aeropuerto de Girona*, se determina que los aviones que van a utilizar la pista serán los especificados en *Capítulo 5.1 Flota de diseño*, operados por líneas aéreas de bajo coste de ámbito europeo, que tienen como criterio fundamental alcanzar el máximo de ocupación en cada uno de sus vuelos hasta la máxima carga de pago permitida por el fabricante (MP/L).

En la Tabla 8 se representan las rutas típicas que se suelen operar desde el Aeropuerto de Girona, y que por tanto configurarán las rutas de diseño empleadas para el dimensionado de pista.

Rutas regulares		Rutas chárter	
Girona - Bremen	710 NM	**Girona - Moscú**	1.590 NM
Girona -Bratislava	710 NM		
Girona – Liverpool	725 NM		
Girona – Vilnius	1.170 NM		
Girona - Poznan	850 NM		
Girona - Estocolmo	1.190 NM		
Ruta de diseño	**1.200 NM**	***Ruta de diseño***	**1.600 NM**

Tabla 8. Rutas de diseño

Una vez marcadas las rutas de diseño previstas para el aeropuerto, se determina que las rutas regulares serán operadas principalmente por aeronaves de fuselaje estrecho, mientras que las rutas chárter serán cubiertas normalmente por las de fuselaje ancho (B767-200/300).

Por tanto, y una vez determinados los criterios de diseño (alcance y MP/L), se procede a calcular las longitudes de despegue y aterrizaje necesarias para cada una de las aeronaves.

En este caso, se desarrolla el procedimiento seguido para el caso de la aeronave B737-800, por ser la aeronave que más opera en el aeropuerto, y finalmente se presentarán las distancias correspondientes del resto de aeronaves, halladas siguiendo exactamente el mismo procedimiento descrito a continuación.

La Figura 9 muestra el diagrama carga de pago-alcance proporcionado por el fabricante, el cual permitirá hallar primeramente el peso al despegue que tendrá la aeronave para realizar la ruta de diseño [9].

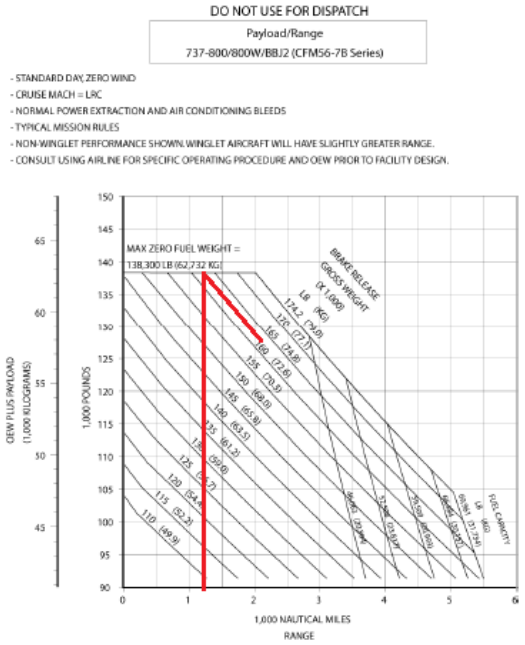

Figura 9. Diagrama Carga de pago - Alcance del B737-800

En este caso, se determina que la aeronave B737-800, para cubrir una ruta de 1.200 NM con una ocupación del 100%, tendrá un peso al despegue de 73.700 kg.

Una vez conocido el TOW, el propio fabricante proporciona la distancia de despegue requerida para ese peso en condiciones estándar (pista seca, viento en calma, altura a nivel del mar) a una temperatura de 15ºC, tal y como se aprecia en la Figura 10 [10].

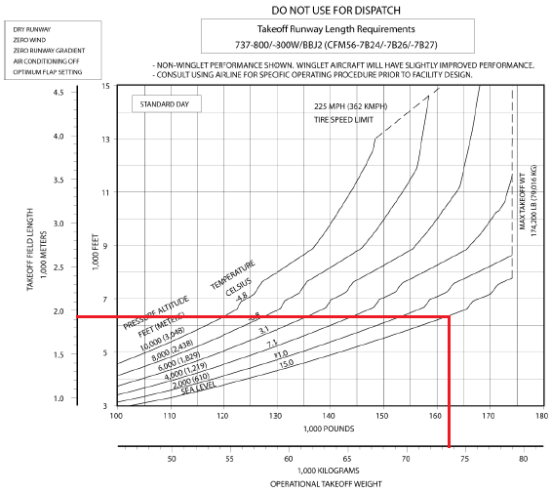

Figura 10. Distancia de despegue requerida para el B737-8000

Para las condiciones atmosféricas antes descritas, el B737-800 requiere de una longitud de despegue de 1.950 m.

De la misma manera, y bajo las mismas condiciones atmosféricas, pero a máximo peso en aterrizaje (MLW) a fin de cubrir posibles aterrizajes de emergencia, se está en disposición de determinar la longitud de aterrizaje necesaria [11].

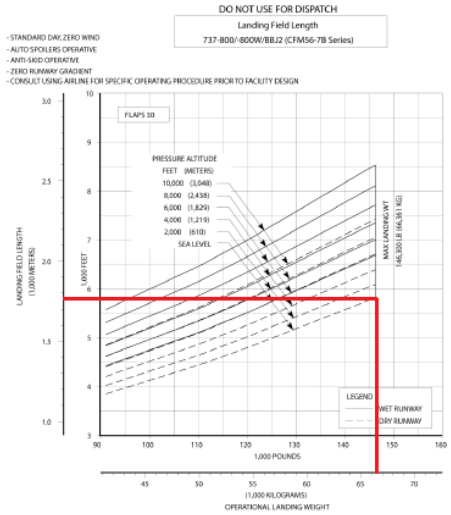

Figura 11. Distancia de aterrizaje requerida para el B737-800

Así, para el B737-800, la longitud de aterrizaje requerida para MLW es de 1.750 m.

Atendiendo a las condiciones locales del aeropuerto, se corregirá la longitud de despegue siguiendo los siguientes criterios [12]:

- Altitud: se aumentará un 7% la longitud de despegue por cada 300 m por encima del nivel del mar.
- Temperatura: se aumentará un 1% la longitud de despegue por cada ºC que supere la temperatura de referencia del aeródromo a la temperatura atmosférica estándar asociada a la altura del aeródromo.

La longitud de aterrizaje se corregirá siguiendo el mismo criterio de altitud del aeródromo.

Teniendo en cuenta que el aeródromo se encuentra a una elevación de referencia de 143 m (ver *Capítulo 6.1.4 Elevación del aeródromo*) y que la temperatura de referencia es de 29 ºC (ver *Capítulo 6.1.5 Temperatura de referencia del aeródromo*), siendo 15 ºC superior a la temperatura atmosférica estándar para esa altitud, se concluye que la longitud de despegue se incrementará en un 15%, mientras qua la de aterrizaje lo hará en un 3,34%.

Por tanto, para el B737-800, la longitud de despegue será de 2.250 m, mientras que la de aterrizaje alcanzará los 1.850 m.

Finalmente, en la Tabla 9 se presentan las longitudes de despegue y aterrizaje requeridas para el total de la flota de diseño.

	Longitud de despegue	Longitud de aterrizaje
B737-800	2.250	1.850
A319	2.000	1.650
A320	2.550	2.050
A321	2.100	1.900
B737-500	2.200	1.400
B737-600	2.050	1.400
B737-700	2.100	1.550
B767-200	2.000	1.700
B767-300	2.600	1.700

Tabla 9. Longitudes de despegue y de aterrizaje de la flota de diseño

Una vez determinadas todas las longitudes de despegue y aterrizaje, se concluye que la longitud de pista requerida es de **2.600 m**.

ANEXO 5: DIMENSIONADO DE CALLES DE RODAJE, APARTADEROS DE ESPERA, PUNTOS DE ESPERA DE ENTRADA A PISTA Y PUNTOS DE ESPERA INTERMEDIOS

A continuación, se presentan los cálculos relativos al dimensionado de las calles de rodaje, así como de la localización de cada uno de los puntos de espera asociados a fin de demostrar el pleno cumplimiento con las distancias de separación mínimas establecidas en la Tabla 10 [13].

Características físicas	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
Anchura mínima de:						
pavimento de la calle de rodaje	7,5 m	10,5 m	18 m[a] 15 m[b]	23 m[c] 18 m[d]	23 m	25 m
pavimento y margen de la calle de rodaje	—	—	25 m	38 m	44 m	60 m
franja de la calle de rodaje	32,5 m	43 m	52 m	81 m	95 m	115 m
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje	22 m	25 m	25 m	38 m	44 m	60 m
Distancia libre mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje	1,5 m	2,25 m	4,5 m[a] 3 m[b]	4,5 m	4,5 m	4,5 m
Separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y:						
eje de una pista de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	82,5 m	87 m	—	—	—	—
2	82,5 m	87 m	—	—	—	—
3	—	—	168 m	176 m	—	—
4	—	—	—	176 m	182,5 m	190 m
eje de una pista que no sea de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	37,5 m	42 m	—	—	—	—
2	47,5 m	52 m	—	—	—	—
3	—	—	93 m	101 m	—	—
4	—	—	—	101 m	107,5 m	115 m
eje de calle de rodaje	23,75 m	33,5 m	44 m	66,5 m	80 m	97,5 m
objeto						
calle de rodaje[e]	16,25 m	21,5 m	26 m	40,5 m	47,5 m	57,5 m
calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves	12 m	16,5 m	24,5 m	36 m	42,5 m	50,5 m
Pendiente longitudinal máxima de la calle de rodaje:						
pavimento	3%	3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
variación de la pendiente	1% por 25 m	1% por 25 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m	1% por 30 m
Pendiente transversal máxima de:						
pavimento de la calle de rodaje	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje						
pendiente ascendente	3%	3%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
pendiente descendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
parte no nivelada de la franja						
pendiente ascendente	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Radio mínimo de la curva vertical longitudinal	2 500 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Alcance visual mínimo en la calle de rodaje	150 m desde una altura de 1,5 m	200 m desde una altura de 2 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m	300 m desde una altura de 3 m

a, Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas de 18 m o más,
b, Calle de rodaje destinada a aviones con base de ruedas inferior a 18 m,
c, Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total del tren de aterrizaje principal de 9 m o más,
d, Calle de rodaje destinada a aviones con una anchura total tren de aterrizaje principal inferior a 9 m,
e, Calle de rodaje que no sea calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves.

Tabla 10. Criterios mínimos relativos al diseño de calles de rodaje

Anchura de las calles de rodaje

Tal y como se ha especificado en el *Capítulo 6.2.11 Anchura de las calles de rodaje*, se ha establecido una anchura de 23 m, a excepción de H3 que será de 10,5 m atendiendo a su categoría.

Esta anchura ha de ser suficiente para permitir un margen libre entre la rueda exterior del tren principal de la aeronave crítica de diseño y el borde de la calle de rodaje de 4,5 m, y de 2,25 m para H3.

Atendiendo a las anchuras del tren de aterrizaje principal presentadas en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño** se establece que la aeronave crítica de diseño es el B767-200/300, con una anchura total de 9,30 m.

Tomando como referencia el semiancho de la calle de rodaje, la aeronave ocupará por tanto 4,65 m respecto al eje de calle de rodaje que, sumandos al margen libre de 4,5 m impuesto, se obtienen 9,15 m mínimos de pavimentación. Teniendo en cuenta que el semiancho total es de 11,5 m, se observa como aún quedan libres 2,35 m para cubrir casos de desalineación acentuada de la aeronave con el eje de calle de rodaje, cumpliendo así con lo especificado en la Tabla 10.

En los tramos curvos, el sobreancho añadido en el radio interior de la calle de rodaje será el especificado por el fabricante para la aeronave crítica de diseño, tal y como se muestra en el *Capítulo 6.2.11.2 Anchura de las calles de rodaje en curvas*.

Separación entre calles de rodaje paralelas

La separación mínima existente entre calles de rodaje paralelas depende fundamentalmente de la aeronave crítica de diseño que opere en el aeródromo.

En este caso, dicha aeronave será aquella con mayor envergadura. Atendiendo a los parámetros mostrados en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño**, los B767-200/300 presentan una envergadura de 47,57 m, superior al resto de envergaduras de la flota de diseño.

Además, se considerará el hecho de que una aeronave pueda situarse de manera desviada respecto al eje de calle de rodaje, y que precisamente esa desviación será coincidente con el margen libre asociado entre el exterior de la rueda del tren principal y el borde de la calle de rodaje.

Finalmente, se dotará de un margen de seguridad adicional destinado a evitar accidentes proporcionando un espacio adicional para los casos en que la aeronave pudiera salirse de la calle de rodaje.

Por tanto, la Tabla 11 muestra la separación existente entre calles de rodaje paralelas.

Total	66,57 m
½ envergadura:	23,785 m
Desviación máxima:	4,5 m
Guarda:	10 m
Desviación máxima:	4,5 m
½ envergadura:	23,785 m

Tabla 11. Separación entre calles de rodaje paralelas

Así, se establece que la separación entre ejes de calle de rodaje paralelas será de 66,57 m, superior a los 66,50 m establecidos en la Tabla 10.

Esta distancia de separación se mantendrá entre los puntos de espera de entrada a pista localizados en los apartaderos situados en cada cabecera de pista.

Separación entre eje de pista y punto de espera de entrada a pista

Los puntos de espera de entrada a pista se situarán en los apartaderos localizados en cada cabecera de pista y en la calle de rodaje H3 de tal manera que no infrinjan las superficies limitadoras de obstáculos ni interfieran en el funcionamiento de las radioayudas para la navegación.

Las superficies limitadoras de obstáculos incluirán la zona despejada de obstáculos, la superficie de aproximación y la superficie de ascenso en el despegue.

La zona despejada de obstáculos incluirá la superficie de aproximación interna, la superficie de transición interna, la superficie de aterrizaje interrumpido y la parte de la franja limitada por estas superficies.

Teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de espera de entrada a pista, perpendiculares al eje de pista y contenidos dentro de la longitud de pista, la superficie limitadora de obstáculos crítica será la de transición interna.

La Figura 12 muestra la disposición de la superficie de transición interna para un aeródromo de categoría 4D.

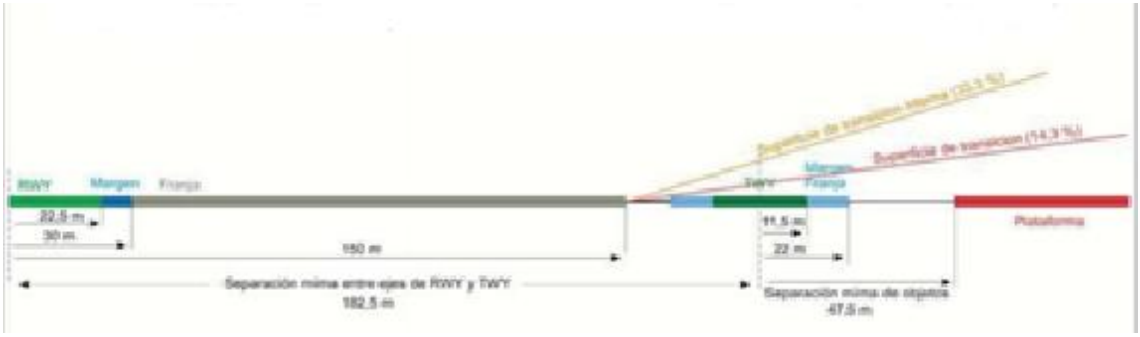

Figura 12. Pendientes de las superficies de transición

Por tanto, el punto de espera de entrada a pista estará ubicado en aquel punto en que la altura de la aeronave crítica de diseño no intercepte la pendiente de ascenso del 33,3% de la superficie de transición interna.

No obstante, la altura crítica de la aeronave de diseño no será simplemente la altura de la cola, sino que dependerá de la relación altura de cabina-longitud de la aeronave-altura de la cola, ya que dependiendo de la relación longitud-altura de la aeronave el parámetro crítico puede variar.

Mediante los datos aportados en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño** de longitud de la aeronave, altura de cabina y altura de cola, en la Tabla 12 se determinan los parámetros descritos a continuación:

- En la fila 1, la distancia mínima que existirá entre el inicio de la pendiente de la superficie de transición interna y el morro de la aeronave. Esta distancia se determina exclusivamente con la altura de cabina.
- En la fila 2, se determina qué altura máxima puede tener la cola de cada una de las aeronaves a fin de no interceptar la pendiente de la superficie de transición interna cuando la aeronave esté situada en el punto hallado en la fila 1.
- En la fila 3, se determina el margen existente entre la altura máxima hallada y la altura de la cola de la aeronave. En caso de que este margen sea negativo, indicará que se está interceptando la pendiente de la superficie de transición interna y que, por tanto, hay que retrasar la posición de la aeronave.

	B738	A319	A320	A321	B735	B736	B737	B762	B763
D min	16,69	17,92	17,83	17,95	15,40	16,63	16,69	22,43	22,49
H max	18,71	17,24	18,45	20,80	15,46	15,94	16,76	23,63	25,79
ΔH	6,09	5,13	6,54	8,70	4,31	3,24	4,09	7,50	9,76

Tabla 12. Interceptación de la superficie de transición interna

Por tanto, se observa como situando los puntos de espera de entrada a pista a 22,49 m respecto al inicio de la pendiente de ascenso de la superficie de transición interna, ninguna aeronave intercepta dicha pendiente.

Así, en la Tabla 13 se muestra la posición de los puntos de espera de entrada a pista respecto al eje de pista.

Total	**172,49 m**
Franja:	150 m
Distancia suplementaria:	22,49 m

Tabla 13. Ubicación de los puntos de espera de entrada a pista

Por tanto, los puntos de espera de entrada a pista se situarán a 172,5 m respecto al eje de pista, distancia superior a los 90 m mínimos impuestos para aproximaciones de precisión de Categoría III [14].

Separación entre eje de pista y eje de calle de rodaje paralela a pista

La separación final entre el eje de pista y la calle de rodaje paralela a pista depende fundamentalmente de la ubicación de los puntos de espera de entrada a pista hallados con anterioridad.

Una vez ubicados estos puntos de espera a 172,5 m respecto al eje de pista, deberá considerarse la mayor longitud del total de las aeronaves, que en este caso serán los 54,94 m correspondientes al B767-300. Añadiendo además la distancia de guarda de 40,5 m especificada en la Tabla 10 entre una aeronave en rodaje y un obstáculo, se obtiene la distancia final entre el eje de pista y el eje de la calle de rodaje paralela a pista.

Total	**267,93 m**
Eje de pista – punto de espera:	172,49 m
Longitud aeronave:	54,94 m
Guarda aeronave-objeto:	40,5 m

Tabla 14. Separación entre eje de pista y eje de calle de rodaje paralela a pista

Así, la distancia entre eje de pista y eje de calle de rodaje paralela a pista será de 268 m, superior a la distancia mínima de 176 m establecida en la Tabla 10.

Separación entre eje de calle de rodaje y punto de espera intermedio

En la intersección entre calles de rodaje, cada uno de los puntos de espera intermedios se situará a una distancia de 40,5 m respecto al eje de calle de rodaje perpendicular,

atendiendo a la distancia mínima de separación entre aeronave y objeto impuesta en la Tabla 10 para la Categoría 4D.

ANEXO 6: CONFIGURACIÓN DEL *BYPASS*

Una de las particularidades de la configuración del campo de vuelos es la inclusión de un sistema *bypass* que permita la conexión entre la nueva pista y la plataforma, de tal manera que no afecte a la operatividad de la pista existente en la actualidad.

Para realizar esta conexión, se dispondrá de 2 alternativas:

- Enlace directo a través de la pista existente en la actualidad
- Rebordeo del umbral 20L de la pista existente en la actualidad

Enlace directo

Esta opción supone el enlace más sencillo y corto entre la plataforma y la nueva pista.

Se dispone de las calles de rodaje B y C, de anchura 23 m para permitir la rodadura de cualquier aeronave prevista en el aeródromo. Estas calles de rodaje estarán dobladas (B1 y B2, C1 y C2) y dispondrán de una conexión a mitad de recorrido a fin de permitir rodajes simultáneos en ambos sentidos, evitando así la formación de cuellos de botella, y también la posibilidad de franquear cualquier obstáculo imprevisto en alguno de los tramos dispuestos.

El uso de esta opción vendrá condicionado por el nivel de operatividad de la pista existente en la actualidad, de tal manera que tan sólo podrá emplearse cuando se espere una densidad de tráfico baja en pista y con suficiente separación temporal para permitir el paso seguro de las aeronaves a través de la pista.

Enlace por detrás del umbral 20L

Este enlace supone la alternativa al enlace directo cuando la operatividad de la pista existente en la actualidad no permita su uso simultáneo.

Se dispone de las calles de rodaje F e I, de 23 m de anchura y también dobladas en F1 y F2, I1 e I2, para permitir el rodaje simultáneo en ambos sentidos. Además se permitirá la conexión de ambas calles de rodaje en un enlace a mitad de recorrido para posibilitar mayores alternativas en caso de quedar inhabilitado algún tramo.

Dado que este enlace se sitúa antes del umbral de pista y se espera que sea plenamente operativo mientras la pista existente en la actualidad también esté operativa, resulta imprescindible que ninguna aeronave que circule por él intercepte ninguna superficie limitadora de obstáculos, así como tampoco ninguna superficie de protección contra

obstáculos debido a la presencia del PAPI, ni tampoco actúe como apantallamiento en las luces del sistema de aproximación.

Por tanto, primeramente resulta necesario evaluar la presencia de la superficie de ascenso en el despegue, la superficie de aproximación de aterrizaje, la superficie de aterrizaje interrumpido y la superficie de protección de obstáculos en ambas pistas, ya que la divergencia de éstas también impone una distancia de separación entre pista y calle de rodaje antes de umbral.

Del *Capítulo 6.3.2 Superficies limitadoras de obstáculos* y del *Capítulo 6.4.3.3 Sistema visual indicador de pendiente de aproximación* de la Memoria se obtienen las características de diseño de las superficies limitadoras y de protección de obstáculos que se presentan en la Tabla 15.

	Posición respecto umbral/extremo	Pendiente	Divergencia
Ascenso despegue	60 m	2 %	12,5 %
Aproximación aterrizaje	60 m	2 %	15 %
Aterrizaje interrumpido	- 800 m	3,33 %	10 %
Protección obstáculos	60 m	3º	15 %

Tabla 15. Superficies limitadoras y de protección de obstáculos antes de umbral/extremo de pista

Por tanto, atendiendo a la Tabla 15, la superficie de aproximación en aterrizaje resulta ser la superficie limitadora de obstáculos crítica por su menor pendiente de ascenso y su mayor divergencia.

Debido a que las aeronaves atravesarán la prolongación del eje longitudinal de pista de manera perpendicular, la altura de la cola de las aeronaves será la dimensión crítica a evaluar para que no intercepte la superficie limitadora de obstáculos.

Del **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño** se observa como la mayor altura corresponde al B767-200 con 16,13 m. Ello indica que la cola del avión no interceptará la pendiente del 2% hasta una distancia de 806,5 m.

Recordando el margen libre de 4,5 m que debe tomarse en cuenta para posibles desalineaciones de la aeronave con el eje de la calle de rodaje (ver Tabla 10), esta distancia se incrementa hasta los 811 m.

Teniendo en cuenta que la superficie de aproximación en el aterrizaje tiene su inicio de pendiente 60 m antes del umbral, se determina que la distancia mínima entre el umbral de pista 20L y el eje de la calle de rodaje será de 871 m.

Finalmente, y teniendo en cuenta la presencia de las luces del sistema de aproximación del umbral 20L (Cat. II/III 900 m) [15], se determina que la distancia final entre el umbral de pista 20L y el eje de la calle de rodaje será de 940,5 m, a fin de evitar posibles apantallamientos con las luces situadas en el extremo de la línea central.

Por otro lado, cabe remarcar que estas calles de rodaje perpendiculares al umbral 20L se mantendrán perpendiculares y sin ningún tipo de curva dentro de todo el abanico comprendido por la divergencia existente en la superficie limitadora de obstáculos, de manera que el eje la calle de rodaje J paralela a la pista existente en la actualidad que conecta la plataforma con las calles de rodaje que forman el *bypass* se situará a 316,65 m respecto al eje de pista hasta, por lo menos, abandonar la zona anterior al umbral, momento en que se une a la actual calle de rodaje paralela a pista.

Por último, para la nueva pista, cabe destacar que debido a la distancia de separación de 268 m entre el eje de la calle de rodaje paralela a pista y el eje de pista (ver **Anexo 5. Dimensionado de calles de rodaje, apartaderos de espera, puntos de espera de entrada a pista y puntos de espera intermedios**) no se produce ninguna interceptación ni en pendiente ni en divergencia de ninguna superficie limitadora y de protección de obstáculos antes de umbral de pista.

ANEXO 7: UBICACIÓN DE LAS CALLES DE SALIDA RÁPIDA

Para determinar la ubicación óptima y el número requerido de calles de salida rápida que convengan a la flota de diseño se sigue la metodología de los tres segmentos propuesta por OACI [13].

Esta metodología se basa en consideraciones analíticas complementadas por hipótesis empíricas, y supone que las aeronaves cruzan el umbral a una velocidad promedio equivalente a 1,3 veces la velocidad de pérdida en la configuración de aterrizaje con la masa de aterrizaje máxima certificada con una masa bruta de aterrizaje media de aproximadamente el 85% del máximo.

De esta manera, se establece la siguiente agrupación de las aeronaves basándose en su velocidad en el umbral:

Grupo A: menos de 169 km/h (91 kt)

Grupo B: entre 169 km/h (91 kt) y 222 km/h (120 kt)

Grupo C: entre 224 km/h (121 kt) y 259 km/h (140 kt)

Grupo D: entre 261 km/h (141 kt) y 306 km/h (165 kt)

La Tabla 16 muestra la clasificación de cada una de las aeronaves que conforman la flota de diseño en función de su velocidad de umbral (obtenida mediante los parámetros físicos presentados en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño**) ya corregida para la elevación y la temperatura de referencia del aeródromo.

	85% MLW	V_{stall} (m/s)	V_{th} (m/s)	V_{th} (kt)	Grupo
B737-800	56.407	49,75	64,68	125,73	C
A319	53.125	48,67	63,28	123	C
A320	53.550	48,62	63,21	122,87	C
A321	64.175	51,30	66,69	129,63	C
B737-500	42.415	50,15	65,20	126,74	C
B737-600	46.460	45,16	58,70	114,10	B
B737-700	51.664	47,62	61,90	120,33	C
B767-200	104.870	49,53	64,39	125,17	C
B767-300	115.666	52,02	67,63	131,45	C

Tabla 16. Clasificación de la flota de diseño según velocidad de umbral

Debido a que prácticamente todas las aeronaves pertenecen al mismo grupo, se emplazará una única salida rápida para cada pista.

La distancia total requerida desde el umbral de aterrizaje al punto de cierre desde el eje de la pista será el resultado de la suma de tres segmentos distintos que se calculan separadamente.

El primer segmento (S1), representa la distancia requerida desde el umbral de aterrizaje al punto de toma de contacto del tren de aterrizaje principal.

Para la categoría de aeronave C, S1 = 450 m. Cabe destacar que, como la pista es simétrica e independiente de la pista ya existente, se optará por realizar los aterrizajes siempre encarados hacia la dirección del viento. En el caso excepcional de que no se pueda operar de esta manera por algún tipo de restricción operativa o sonora, las aeronaves deberán abandonar la pista por su extremo.

El segundo segmento (S2), representa la distancia requerida desde la transición del punto de toma de contacto del tren de aterrizaje principal a fin de establecer la configuración de frenado estabilizado.

La distancia de transición se calcula para un tiempo de transición hipotético de 10 segundos a V_{th}.

$$S2 = 5 \cdot (V_{th} - 10) \qquad (1)$$

En este caso se tomará V_{th} = 131,45 kt por ser la más crítica de todo el grupo, por tanto, S2 = 607,25 m.

El tercer segmento (S3), representa la distancia requerida para la desaceleración en un modo de frenado normal hasta una velocidad de salida de pista.

Esta distancia de frenado se determina basándose en el régimen de desaceleración hipotética a = 1,5 m/s^2 según la siguiente ecuación:

$$S3 = \frac{(V_{th}-15)^2 - V_{ex}^2}{8a} \qquad (2)$$

Manteniendo el valor de velocidad de umbral V_{th} = 131,45 kt y adoptando una velocidad nominal de salida de pista V_{ex} = 30 kt para número de clave 4, se obtiene S3 = 1055,07 m.

La Tabla 17 muestra la distancia final requerida desde el umbral de pista al punto de cierre.

S	2.112,32 m
S1:	450 m
S2:	607,25 m
S3:	1.055,07 m

Tabla 17. Ubicación de la calle de salida rápida respecto a umbral de pista

Por tanto, se ubicará una salida rápida a 2.115 m de cada umbral de pista.

Por otro lado, cabe destacar que los puntos de colocación de pista libre asociados a las calles de salida rápida se situarán a la misma distancia de 172,5 m existente entre los puntos de espera de entrada a pista y el eje de pista.

ANEXO 8: DISEÑO DEL PUESTO DE ESTACIONAMIENTO AISLADO PARA AERONAVES

El puesto de estacionamiento aislado para aeronaves debe ser capaz de alojar con seguridad cualquier aeronave de la flota de diseño, por lo que resulta necesario realizar el diseño exclusivo de la ERA, a fin de mantener los márgenes de seguridad establecidos con los equipos que acudan a prestar apoyo a la aeronave detenida.

Para empezar a obtener un diseño preliminar de la ERA, se clasifican las aeronaves de la flota de diseño en función de su categoría OACI [16]. Atendiendo a los datos presentados en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño**, se observa como todas las aeronaves pertenecen a la categoría C a excepción de los modelos B767-200/300, los cuales forman parte de la categoría D. Esto impone la necesidad de disponer de margen de seguridad de 4,50 m para la categoría C, extensible hasta 7,50 m para la categoría D en cada uno de los extremos de las aeronaves, a excepción del círculo de protección de motores, que siempre será de 7,50 m [17].

Teniendo en cuenta estos márgenes de seguridad mínimos, primeramente se procede a situar cada una de las aeronaves a su distancia mínima respecto a un punto común de referencia (en este caso, situado a la distancia de seguridad mínima respecto del morro de la aeronave). Desde este punto, se traza la envolvente individual de cada aeronave, generando así una superposición de ERAs, cuya envolvente general, nos dará las dimensiones del puesto de estacionamiento final.

Este proceso de cálculo se puede apreciar visualmente en la Figura 13, donde se representa la superposición de cada una de las envolventes particulares, y en la Figura 14, donde se presenta el dimensionado de la ERA general.

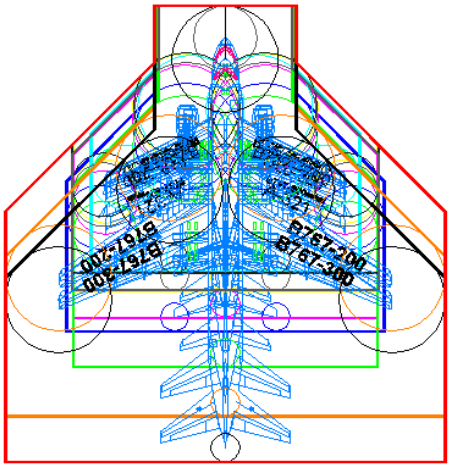

Figura 13. Superposición de envolventes particulares

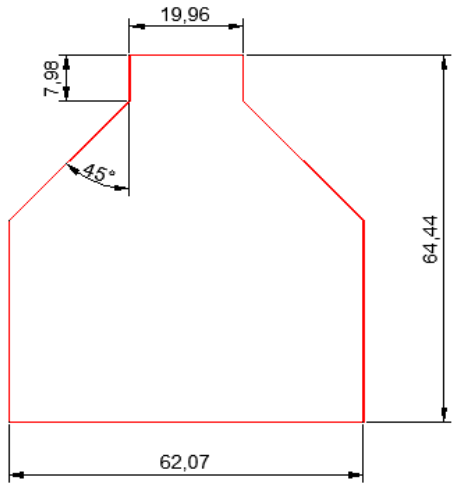

Figura 14. Dimensionado inicial ERA

A continuación, y debido a que se trata de un puesto de estacionamiento de operación autónoma, se procede a corregir el dimensionado de la ERA por inclusión de la barra de parada.

Para ello, se seguirá el criterio de que la barra de parada se situará en la posición genérica más retrasada.

El parámetro clave que define la posición de la barra de parada es la distancia existente entre el extremo delantero de la aeronave (morro) y la posición del piloto en cabina, determinado en el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de la flota de diseño.**

Por tanto, una vez conocida esta distancia, y junto con la posición mínima que tendrá cada aeronave respecto a la delimitación del puesto de estacionamiento, se obtiene rápidamente la posición de la barra de parada desde dicho punto, tal y como puede apreciarse en la Tabla 18.

Aeronave	Distancia morro-cabina	Distancia de seguridad mínima	Posición barra de parada
B737-800	2,49	4,5	6,99
A319	2,41	4,5	6,91
A320	2,41	4,5	6,91
A321	2,41	4,5	6,91
B737-500	2,49	4,5	6,99
B737-600	2,49	4,5	6,99
B737-700	2,49	4,5	6,99
B767-200	2,26	7,5	9,76
B767-300	2,26	7,5	9,76

Tabla 18. Posición de la barra de parada

Por tanto, se situará la barra de parada a 9,76 m respecto al extremo superior del puesto de estacionamiento.

Esto implica la recolocación de cada una de las aeronaves en dicha barra de parada, por lo que resulta imprescindible aplicar un rediseño final de la ERA para seguir manteniendo las distancias de seguridad mínimas establecidas.

Finalmente, en la Figura 15 se presenta la posición final de las aeronaves, así como las dimensiones del puesto de estacionamiento ya corregidas.

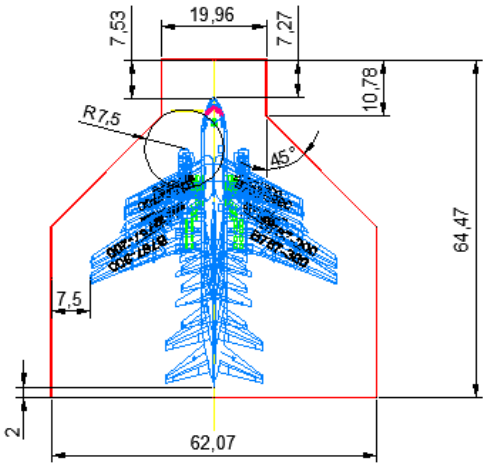

Figura 15. Dimensionado final ERA

ANEXO 9: UBICACIÓN DEL PAPI

La distancia existente entre el umbral de pista y la ubicación del PAPI se calculará de modo que se logre la mayor compatibilidad posible entre las ayudas visuales y las no visuales, teniéndose en cuenta la variación de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de los aviones que utilizan regularmente la pista.

De esta manera, la distancia será igual a la que media entre el umbral y el origen real de la trayectoria de planeo ILS más un factor de corrección por la variación de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de los aviones en cuestión.

El factor de corrección, por tanto, se obtiene multiplicando la distancia vertical media entre los ojos del piloto y la antena ILS del avión crítico por la cotangente del ángulo de aproximación [18].

Finalmente, resulta necesario comprobar que la distancia real hallada será tal que en ningún caso el margen vertical mínimo entre las ruedas y el umbral sea inferior al especificado en la Tabla 19.

Altura de los ojos del piloto respecto a las ruedas en configuración de aproximación[a]	Margen vertical deseado de las ruedas (m)[b,c]	Margen vertical mínimo de las ruedas (m)[d]
(1)	(2)	(3)
Hasta 3 m (exclusive)	6	3[e]
Desde 3 m hasta 5 m (exclusive)	9	4
Desde 5 m hasta 8 m (exclusive)	9	5
Desde 8 m hasta 14 m (exclusive)	9	6

Tabla 19. Margen vertical entre las ruedas y el umbral para el PAPI

De la flota de diseño presentada en *Capítulo 5.1 Flota de diseño*, se determina que la aeronave B767 presenta una distancia de 5,54 m entre la posición de los ojos del piloto y las ruedas [19], por lo que el margen mínimo se fija en 5 m.

Esta aeronave aloja su antena ILS en el morro del avión, por lo que la distancia entre los ojos del piloto y dicha antena es de 1,45 m. Así, y sabiendo que el origen de la senda de planeo del ILS se encuentra a 400 m respecto al umbral de pista y presenta una pendiente de 3º, se obtiene una distancia de ubicación del PAPI de 427,7 m respecto al umbral de pista, manteniendo así un margen vertical de 18,32 m.

El hecho de ubicar el PAPI en esta ubicación entraría en conflicto con la ubicación de la calle de salida rápida. Por ello, y teniendo en cuenta que se ha obtenido un margen

vertical holgado, se propone adelantar dicha ubicación hasta los **305,3 m** respecto al umbral de pista, manteniendo la pendiente de aproximación y reduciendo así el margen vertical hasta los 16 m, todavía muy por encima del mínimo establecido.

ANEXO 10: CÁLCULO DE PAVIMENTOS

Para la determinación de la composición y espesor de cada una de las capas de los pavimentos, se ha empleado la metodología propuesta por la FAA, basada en la relación existente entre la resistencia del terreno de fundación y el volumen de tráfico existente en el aeropuerto [20].

Pavimento flexible

La metodología de cálculo para la determinación del número y espesor de cada una de las capas que conformarán el pavimento flexible se basa en la determinación de una aeronave crítica de diseño que represente de manera equivalente la operatividad de la flota de diseño en el periodo de un año.

Para empezar a encontrar dicha aeronave de diseño, primeramente se procederá a calcular el espesor de pavimento que necesitaría cada aeronave en particular, atendiendo a la relación existente entre la resistencia del terreno de fundación, el tipo de tren de aterrizaje de cada aeronave, su peso máximo al despegue MTOW, y el número de salidas anuales previstas.

Por tanto, y teniendo en cuenta que en el *Capítulo 6.5.1 Categoría de resistencia del terreno de fundación* de la Memoria, donde se establece un CBR de valor 10, y los datos aportados en el **Anexo 1. Prognosis de tráfico** y el **Anexo 2. Características geométricas y físicas de las aeronaves de la flota de diseño**, junto con las gráficas aportadas por la metodología (ver Figura 13), se hallan los espesores de pavimento flexible particulares.

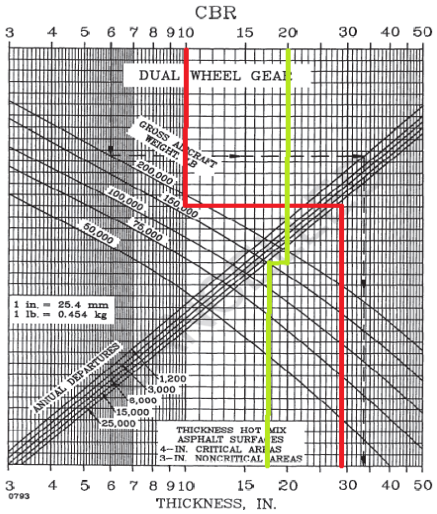

Figura 16. Curvas de cálculo de pavimentos flexible para tren de ruedas gemelas

Aeronave	Tipo de tren	Salidas anuales	MTOW [kg]	Espesor [cm]
B737-800	Ruedas gemelas	28.039	79.016	74,15*
A319	Ruedas gemelas	1.152	75.500	56,52
A320	Ruedas gemelas	1.152	78.000	57,15
A321	Ruedas gemelas	1.152	93.500	60,96
B737-500	Ruedas gemelas	384	61.689	48,26
B737-600	Ruedas gemelas	384	65.544	50,8
B737-700	Ruedas gemelas	384	70.080	55,88
B767-200	Bogie 4 ruedas	192	142.882	64,77
B767-300	Bogie 4 ruedas	192	158.758	68,58

Tabla 20. Espesores particulares de pavimento flexible

*Cabe remarcar que, a partir de las 25.000 salidas anuales, el espesor se corrige según:

$$e = e_{25000} \cdot (1 + 0.133 \cdot log\left(\frac{n\ salidas}{25000}\right)) \qquad (3)$$

Por tanto, observando la Tabla 20, se concluye que la aeronave crítica de diseño será el B737-800.

Seguidamente, tal y como se ha comentado con anterioridad, resulta necesario transformar las variables de cálculo del resto de aeronaves a una magnitud equivalente a la de la aeronave de diseño.

Así, se transformará la tipología del tren de aterrizaje de los B767 multiplicando las salidas anuales por un factor de 1,7 mientras que la equivalencia del peso de las aeronaves se realizará a través de la carga por rueda, suponiendo que el 95% del MTOW es soportado por el tren principal, a través de la expresión:

$$w_i = \frac{MTOW}{n\ ruedas} \cdot 0{,}95 \qquad (4)$$

Finalmente, y una vez halladas cada una de las cargas por rueda de todas las aeronaves, se estará en disposición de transformar el número de salidas en salidas anuales totales equivalentes, a fin de poder seguir utilizando las curvas de la Figura 13, mediante la expresión siguiente:

$$\log(sal.eq.) = \log(sal.) \cdot \left(\frac{w_i}{w_{dis}}\right)^{0,5} \qquad (5)$$

Este proceso de cálculo descrito queda reflejado en la Tabla 21.

Aeronave	Salidas eq.	Carga/rueda [kg]	Carga eq. [kg]	Salidas eq.
B737-800	28.039	18.766	18.766	28.039
A319	1.152	17.931	18.766	983
A320	1.152	18.525	18.766	1.101
A321	1.152	22.206	18.766	2.139
B737-500	384	14.651	18.766	192
B737-600	384	15.567	18.766	226
B737-700	384	16.644	18.766	272
B767-200	326	16.967	18.766	246
B767-300	326	18.853	18.766	331

Tabla 21. Transformación a magnitudes equivalentes

Por tanto, ahora ya se disponen de las condiciones de diseño para el pavimento flexible:

- Aeronave crítica: B737-800
- MTOW = 79.016 kg
- Ruedas gemelas
- 33.528 salidas anuales
- CBR = 10

De esta manera, y volviendo a la Figura 13 (línea roja), se determina directamente que el espesor total del pavimento flexible será de 74 cm, mientras que la capa de asfalto superior será de 10 cm.

Como el CBR del terreno de fundación es menor a 20, los 64 cm restantes serán divididos entre 2 capas: una capa inferior de cimentación y una intermedia de firme.

Ahora, volviendo a la Figura 13, pero partiendo de CBR = 20 (línea verde) se obtiene un nuevo espesor de 46 cm. Este espesor es el que se requería en caso de que el terreno de fundación tuviera un CBR = 20 y el pavimento estuviera compuesto por 2 capas, por lo que teniendo en cuenta que la capa asfáltica tiene 10 cm de espesor, los 36 cm restantes corresponderán a la capa de firme, mientras que los 28 cm restantes para completar los 74 cm exigidos serán de capa inferior de cimentación.

Volviendo a analizar los MTOW de las aeronaves que forman la flota de diseño, se observa cómo todos los pesos son superiores a 45.350 kg, por lo que se procederá a estabilizar las capas de firme y cimentación, de manera que el espesor final se reducirá sin afectar negativamente a su resistencia.

De esta manera, seleccionando una capa de cimentación basada en la aplicación de una capa de cemento sobre el terreno, se reducirá su espesor hasta los 16 cm, mientras que optando por una capa de firme asfáltico, se reduce el espesor del firme hasta los 26 cm, siendo por tanto el espesor total de 52 cm.

No obstante, la reducción en espesor del firme se encuentra limitada por el propio método, de tal manera que para un espesor de 52 cm y con un CBR = 10, la capa de firme ha de ser como mínimo de 25 cm.

Como la capa de firme hallada es mayor a la mínima impuesta, se concluye finalmente la configuración del pavimento:

T	52 cm
T1	10 cm
T2	26 cm
T3	16 cm

Por otro lado, el PCN estará compuesto por:

- Índice numérico = 73 obtenido de la expresión:

$$PCN = \left(\frac{\left(\frac{t^2}{1000}\right)}{\frac{0.878}{CBR} - 0.01249} \right) \qquad (6)$$

  donde t representa el espesor en cm del pavimento hallado antes de estabilizar.

- Primer carácter = F por ser pavimento flexible.
- Segundo carácter = C por ser el terreno de fundación de resistencia media.
- Tercer carácter = W por no imponer limitación de presión de neumáticos.
- Cuarto carácter = T por haber evaluado el PCN mediante un método numérico.

Finalmente, remarcar que para las zonas no críticas, la capa de asfalto se reducirá hasta los 8 cm, mientras que la capa de firme se reducirá en un 30% (20 cm) y la de cimentación en un 10% (15 cm), obteniéndose un espesor total de 43 cm.

Pavimento rígido

Tal y como se especifica en el *Capítulo 6.5.3 Pavimento rígido* de la Memoria, se aplicará pavimento rígido en el campo de vuelos únicamente en el puesto de estacionamiento aislado de aeronaves, ya que, aunque el procedimiento aplica al movimiento de aeronaves en plataforma, se toma en consideración que dicho puesto de estacionamiento aislado se pavimentará de la misma manera que una posible

ampliación de la plataforma basada en los datos publicados en el **Anexo 1. Prognosis de tráfico**.

Nuevamente, el cálculo del espesor del pavimento rígido se basa en el número de salidas anuales realizadas por una aeronave de diseño equivalente a la operatividad de la flota de diseño.

El primer paso para hallar esta aeronave de diseño equivalente es evaluar por separado el espesor requerido por cada aeronave en particular.

Para ello, se volverá a relacionar cada aeronave con su tipo de tren de aterrizaje, sus salidas anuales, su peso máximo en despegue MTOW y la resistencia del terreno, aunque previamente se modificará la resistencia del terreno por la inclusión de una capa de cimentación.

Se incluirá esta capa de cimentación, de 12 cm de espesor, debido a que todas las aeronaves superan los 45.350 kg, modificándose así la rigidez de la superficie donde se asentará la losa de hormigón.

Recordando que el terreno de fundación tiene un CBR = 10, y que por tanto se modela con una constante elástica de K = 80 MN/m^3, por el hecho de añadir la capa de cimentación, se incrementa esta rigidez hasta K = 100 MN/m^3, tal y como se aprecia en la Figura 14.

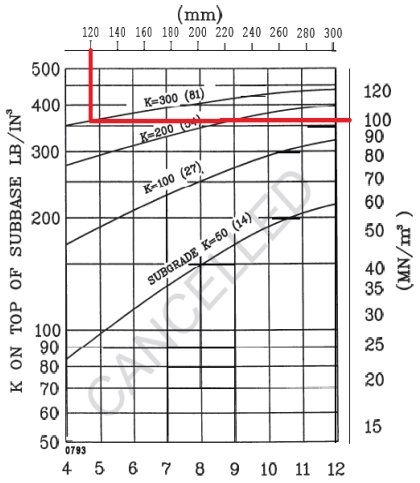

Figura 17. Efecto de la capa de cimentación sobre el terreno

Teniendo en cuenta esto, y a partir de la Figura 15 en la Tabla 22 se localizan los espesores particulares:

Aeronave	Tipo de tren	Salidas anuales	MTOW [kg]	Espesor [cm]
B737-800	Ruedas gemelas	28.039	79.016	44,91*
A319	Ruedas gemelas	1.152	75.500	35,56
A320	Ruedas gemelas	1.152	78.000	35,56
A321	Ruedas gemelas	1.152	93.500	38,1
B737-500	Ruedas gemelas	384	61.689	30,48
B737-600	Ruedas gemelas	384	65.544	33,02
B737-700	Ruedas gemelas	384	70.080	33,02
B767-200	Bogie 4 ruedas	192	142.882	33,02
B767-300	Bogie 4 ruedas	192	158.758	35,56

Tabla 22. Espesores particulares de pavimento rígido

*Se remarca que a partir de las 25.000 salidas anuales, se corrige el espesor incrementándolo un 4%.

De la Tabla 22, se determina que la aeronave B737-800 vuelve a ser la aeronave crítica de diseño.

Considerando la transformación de las magnitudes particulares a magnitudes equivalentes a la aeronave de diseño realizada en la Tabla 21 (por ser la misma aeronave de diseño), se determinan los valores de diseño finales:

- Aeronave crítica: B737-800
- MTOW = 79.016 kg
- Ruedas gemelas
- 33.528 salidas anuales
- K = 100 MN/m^3
- Hormigón plástico HP45, con resistencia a flexotracción de 4,5 MPa

Ahora, volviendo a las curvas del método y teniendo en cuenta los valores de diseño, se procede siguiendo la Figura 15:

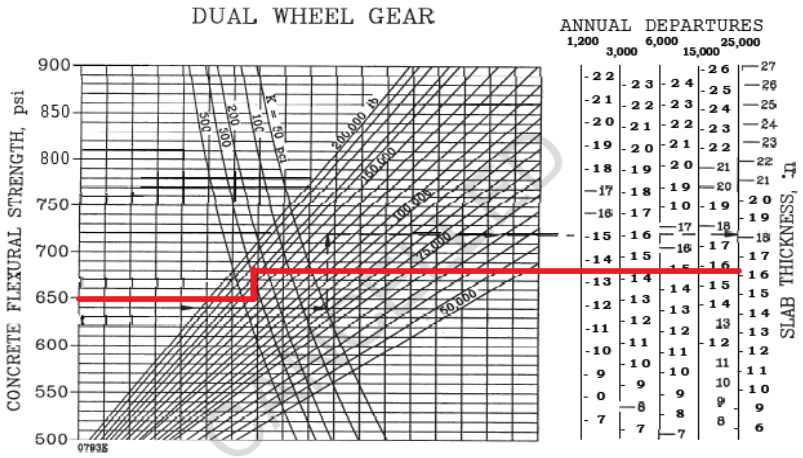

Figura 18. Curvas de cálculo de pavimento rígido para ruedas gemelas

Y por tanto, se determina que el espesor total del pavimento rígido será de 46 cm, de los cuales 12 cm corresponderán a la capa de cimentación y los 34 cm restantes a la losa de hormigón.

Finalmente, la resistencia del pavimento quedará reflejada en el PCN según:

- Índice numérico = 108 según tablas del método.
- Primer carácter = R por tratarse de pavimento rígido.
- Segundo carácter = C por tratarse de un terreno de fundación de resistencia media.
- Tercer carácter = W por no imponer limitación de presión de neumáticos.
- Cuarto carácter = T por haber evaluado el PCN mediante un método numérico.

ANEXO 11: CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En el presente anexo, se pretende establecer un dimensionado previo de cada uno de los sistemas eléctricos asociados a la iluminación de la pista.

El método de determinación de la potencia eléctrica requerida por cada regulador de intensidad se basa en la evaluación de la potencia eléctrica de cada lámpara del circuito, así como de las pérdidas ocasionadas por la transmisión de la señal eléctrica a través del circuito primario y del secundario.

La potencia eléctrica requerida por cada transformador del circuito es proporcional a la potencia eléctrica de la lámpara más las pérdidas ocasionadas en el cableado secundario, según la expresión:

$$P_C = P_L + L_b \cdot P_b \qquad (7)$$

donde:

- P_C representa la potencia consumida por el transformador
- P_L representa la potencia consumida por la lámpara
- L_b representa la longitud del cableado secundario (en km)
- P_b representa la potencia disipada por el cableado secundario (en W/km)

La potencia disipada por unidad de longitud en el cableado secundario toma un valor constante. Teniendo en cuenta que, según lo establecido en el *Capítulo 6.7.1 Elementos del sistema eléctrico*, cada luz se alimentará a una intensidad constante de 6,6 A, y que la resistividad de un cable de cobre de sección de 2,5 mm^2 se encuentra tabulada en 7,45 Ω/km, el valor de dicha potencia se halla de manera directa:

$$P_b = I^2 \cdot R = 6{,}6^2 \cdot 7{,}45 = 324{,}522\ W/km \qquad (8)$$

Una vez hallada la potencia requerida de alimentación del transformador, se corregirá para contabilizar posibles pérdidas internas:

$$P_{Creal} = \frac{P_C}{0{,}9} \qquad (9)$$

Posteriormente, se redondeará al valor de potencia comercial inmediatamente superior, encontrándose así el valor total de potencia eléctrica requerida por el circuito.

Seguidamente, se procederá a evaluar los requisitos de potencia asociados al regulador teniendo en cuenta las pérdidas ocasionadas tanto en la transmisión de la señal como en las conexiones con cada uno de los elementos.

Una vez evaluada cada luz por separado y seleccionado su transformador, se hallará la potencia del regulador siguiendo la siguiente expresión:

$$P_R = \sum_{i=1}^{N} B_i \, (P_{Creal} + P_{con}) + L_a \cdot P_a \qquad (10)$$

donde:

- P_R representa la potencia del regulador
- B_i representa el número de luces con igual longitud de secundario y potencia de transformador
- P_{Creal} representa la potencia eléctrica del transformador corregida
- P_{con} representa las pérdidas ocasionadas por la conexión del transformador al circuito, y toma un valor del 2% del valor de potencia comercial del transformador
- L_a representa la longitud del circuito primario (en km)
- P_a representa la potencia disipada por el cableado primario (en W/km)

Nuevamente, se evaluará la potencia disipada por unidad de longitud del cableado primario a partir de la intensidad circulante (6,6 A) y la resistividad de un cable de cobre de 6 mm^2 de sección, tabulada en 3,20 Ω/km, mediante la expresión:

$$P_b = I^2 \cdot R = 6{,}6^2 \cdot 3{,}20 = 139{,}392 \, W/km \qquad (11)$$

Finalmente, la potencia eléctrica hallada del regulador se transformará en unidades de potencia aparente (VA) y se redondeará al valor comercial inmediatamente superior:

$$P[VA] = \frac{P[W]}{0{,}9} \qquad (12)$$

En los siguientes apartados se presenta el desarrollo de los cálculos, siguiendo la metodología expuesta, para cada uno de los circuitos eléctricos concernientes a la alimentación de los sistemas luminosos de la pista. Se recomienda seguir el mismo esquema de cálculo para la implantación de los sistemas eléctricos correspondientes a los sistemas de iluminación del sistema de calles de rodaje.

Sistema de aproximación

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C1/C3	150	0,002	324,522	150,65	167,39	200	114	22,8
C2/C4	150	0,002	324,522	150,65	167,39	200	105	21

Tabla 23. Requisitos de potencia para los circuitos de aproximación

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]	P total [kVA]	P com [kVA]
C1/C3	167,388	4	114	3,16	139,39	19,98	22,20	**25**
C2/C4	167,388	4	105	3	139,39	18,41	20,46	**25**

Tabla 24. Potencia requerida para los reguladores de aproximación

Umbral/extremo de pista

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C5/C7	65	0,0032	324,522	66,04	73,38	100	1	0,1
	150	0,0032	324,522	151,04	167,82	200	1	0,2
	65	0,00923	324,522	68,00	75,55	100	1	0,1
	150	0,00923	324,522	153,00	169,99	200	1	0,2
	65	0,0152	324,522	69,93	77,70	100	1	0,1
	150	0,0152	324,522	154,93	172,15	200	1	0,2
	65	0,02123	324,522	71,89	79,88	100	1	0,1
	150	0,02123	324,522	156,89	174,32	200	1	0,2
	65	0,02725	324,522	73,84	82,05	100	1	0,1
	150	0,02725	324,522	158,84	176,49	200	1	0,2
	65	0,03328	324,522	75,80	84,22	100	1	0,1
	150	0,03328	324,522	160,80	178,67	200	1	0,2
	65	0,0393	324,522	77,75	86,39	100	1	0,1
	150	0,0393	324,522	162,75	180,84	200	1	0,2
	65	0,04533	324,522	79,71	88,57	100	1	0,1
	150	0,04533	324,522	164,71	183,01	200	1	0,2
	65	0,05135	324,522	81,66	90,74	100	1	0,1
	150	0,05135	324,522	166,66	185,18	200	1	0,2
							TOTAL	2,7
C6/C8	65	0,01	324,522	68,25	75,83	100	1	0,1
	150	0,013	324,522	154,22	171,35	200	1	0,2
	65	0,016	324,522	70,19	77,99	100	1	0,1
	150	0,019	324,522	156,17	173,52	200	1	0,2
	65	0,022	324,522	72,14	80,15	100	1	0,1
	150	0,025	324,522	158,11	175,68	200	1	0,2
	65	0,028	324,522	74,09	82,32	100	1	0,1
	150	0,031	324,522	160,06	177,84	200	1	0,2
	65	0,034	324,522	76,03	84,48	100	1	0,1
	150	0,037	324,522	162,01	180,01	200	1	0,2
	65	0,04	324,522	77,98	86,65	100	1	0,1
	150	0,043	324,522	163,95	182,17	200	1	0,2
	65	0,046	324,522	79,93	88,81	100	1	0,1

	150	0,049	324,522	165,90	184,34	200	1	0,2
	65	0,052	324,522	81,88	90,97	100	1	0,1
	150	0,055	324,522	167,85	186,50	200	1	0,2
	65	0,058	324,522	83,82	93,14	100	1	0,1
							TOTAL	2,5

Tabla 25. Requisitos de potencia para los circuitos de umbral/extremo de pista

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	P bal [W]	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]
C5/C7	73,38	2	1	75,38	0,285	139,392	2,42
	167,82	4	1	171,82			**P total [kVA]**
	75,55	2	1	77,55			2,69
	169,99	4	1	173,99			**P com [kVA]**
	77,70	2	1	79,70			**4**
	172,15	4	1	176,15			
	79,88	2	1	81,88			
	174,32	4	1	178,32			
	82,05	2	1	84,05			
	176,49	4	1	180,49			
	84,22	2	1	86,22			
	178,67	4	1	182,67			
	86,39	2	1	88,39			
	180,84	4	1	184,84			
	88,57	2	1	90,57			
	183,01	4	1	187,01			
	90,74	2	1	92,74			
	185,18	4	1	189,18			
			TOTAL	2380,95			
C6/C8	75,83	2	1	77,83	0,285	139,39	2,28
	171,35	4	1	175,35			**P total [kVA]**
	77,99	2	1	79,99			2,53
	173,52	4	1	177,52			**P com [kVA]**
	80,15	2	1	82,15			**4**
	175,68	4	1	179,68			
	82,32	2	1	84,32			
	177,84	4	1	181,84			
	84,48	2	1	86,48			
	180,01	4	1	184,01			
	86,65	2	1	88,65			

	182,17	4	1	186,17
	88,81	2	1	90,81
	184,34	4	1	188,34
	90,97	2	1	92,97
	186,50	4	1	190,50
	93,14	2	1	95,14
			TOTAL	2241,75

Tabla 26. Potencia requerida para los reguladores de umbral/extremo de pista

PAPI

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C9/C11	200	0,0035	324,522	201,14	223,48	300	8	2,4
C10/C12	200	0,0035	324,522	201,14	223,48	300	8	2,4

Tabla 27. Requisitos de potencia para los circuitos del PAPI

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]	P total [kVA]	P com [kVA]
C9/C11	223,48	6	8	1,05	139,392	1,98	2,20	**2,5**
C10/C12	223,48	6	8	1,05	139,392	1,98	2,20	**2,5**

Tabla 28. Potencia requerida para los reguladores del PAPI

TDZ

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C13/ C15	150	0,0185	324,522	156,00	173,34	200	24	4,8
	150	0,0202	324,522	156,56	173,95	200	24	4,8
	150	0,022	324,522	157,14	174,60	200	24	4,8
	150	0,0235	324,522	157,63	175,14	200	24	4,8
	150	0,02058	324,522	156,68	174,09	200	1	0,2
	150	0,0223	324,522	157,24	174,71	200	1	0,2
	150	0,024	324,522	157,79	175,32	200	1	0,2
	150	0,02572	324,522	158,35	175,94	200	1	0,2
	150	0,028	324,522	159,09	176,76	200	1	0,2
	150	0,0296	324,522	159,61	177,34	200	1	0,2
	150	0,031	324,522	160,06	177,84	200	1	0,2
	150	0,0326	324,522	160,58	178,42	200	1	0,2
	150	0,0453	324,522	164,70	183,00	200	1	0,2
	150	0,044	324,522	164,28	182,53	200	1	0,2
	150	0,0425	324,522	163,79	181,99	200	1	0,2
	150	0,0411	324,522	163,34	181,49	200	1	0,2
	150	0,0182	324,522	155,91	173,23	200	1	0,2

	150	0,0198	324,522	156,43	173,81	200	1	0,2
	150	0,02135	324,522	156,93	174,37	200	1	0,2
	150	0,023	324,522	157,46	174,96	200	1	0,2
	150	0,0245	324,522	157,95	175,50	200	1	0,2
	150	0,02285	324,522	157,42	174,91	200	1	0,2
	150	0,0212	324,522	156,88	174,31	200	1	0,2
	150	0,0195	324,522	156,33	173,70	200	1	0,2
	150	0,0745	324,522	174,18	193,53	200	1	0,2
	150	0,0748	324,522	174,27	193,64	200	1	0,2
	150	0,075	324,522	174,34	193,71	200	1	0,2
	150	0,0753	324,522	174,44	193,82	200	1	0,2
							TOTAL	24
C14/ C16	150	0,0195	324,522	156,33	173,70	200	26	5,2
	150	0,0212	324,522	156,88	174,31	200	26	5,2
	150	0,023	324,522	157,46	174,96	200	26	5,2
	150	0,0245	324,522	157,95	175,50	200	26	5,2
	150	0,0252	324,522	158,18	175,75	200	1	0,2
	150	0,027	324,522	158,76	176,40	200	1	0,2
	150	0,0287	324,522	159,31	177,02	200	1	0,2
	150	0,0304	324,522	159,87	177,63	200	1	0,2
	150	0,037	324,522	162,01	180,01	200	1	0,2
	150	0,0387	324,522	162,56	180,62	200	1	0,2
	150	0,0404	324,522	163,11	181,23	200	1	0,2
	150	0,0422	324,522	163,69	181,88	200	1	0,2
	150	0,0568	324,522	168,43	187,15	200	1	0,2
	150	0,0553	324,522	167,95	186,61	200	1	0,2
	150	0,0537	324,522	167,43	186,03	200	1	0,2
	150	0,0522	324,522	166,94	185,49	200	1	0,2
	150	0,049	324,522	165,90	184,34	200	1	0,2
	150	0,049	324,522	165,90	184,34	200	1	0,2
	150	0,049	324,522	165,90	184,34	200	1	0,2
	150	0,0491	324,522	165,93	184,37	200	1	0,2
							TOTAL	24

Tabla 29. Requisitos de potencia para los circuitos de TDZ

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	P bal [W]	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]
C13/C15	173,34	4	24	4256,10	2,15	139,392	21,82
	173,95	4	24	4270,81			**P total [kVA]**
	174,60	4	24	4286,39			24,24
	175,14	4	24	4299,37			**P com [kVA]**
	174,09	4	1	178,09			**25**

	174,71	4	1	178,71			
	175,32	4	1	179,32			
	175,94	4	1	179,94			
	176,76	4	1	180,76			
	177,34	4	1	181,34			
	177,84	4	1	181,84			
	178,42	4	1	182,42			
	183,00	4	1	187,00			
	182,53	4	1	186,53			
	181,99	4	1	185,99			
	181,49	4	1	185,49			
	173,23	4	1	177,23			
	173,81	4	1	177,81			
	174,37	4	1	178,37			
	174,96	4	1	178,96			
	175,50	4	1	179,50			
	174,91	4	1	178,91			
	174,31	4	1	178,31			
	173,70	4	1	177,70			
	193,53	4	1	197,53			
	193,64	4	1	197,64			
	193,71	4	1	197,71			
	193,82	4	1	197,82			
			TOTAL	21517,57			
C14/C16	173,70	4	26	4620,15	2,22	139,39	21,86
	174,31	4	26	4636,09			**P total [kVA]**
	174,96	4	26	4652,96			24,29
	175,50	4	26	4667,02			**P com [kVA]**
	175,75	4	1	179,75			**25**
	176,40	4	1	180,40			
	177,02	4	1	181,02			
	177,63	4	1	181,63			
	180,01	4	1	184,01			
	180,62	4	1	184,62			
	181,23	4	1	185,23			
	181,88	4	1	185,88			
	187,15	4	1	191,15			
	186,61	4	1	190,61			
	186,03	4	1	190,03			
	185,49	4	1	189,49			
	184,34	4	1	188,34			

	184,34	4	1	188,34	
	184,34	4	1	188,34	
	184,37	4	1	188,37	
			TOTAL	21553,41	

Tabla 30. Potencia requerida para los reguladores de TDZ

Borde de pista

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C17	150	0,0095	324,522	153,08	170,09	200	92	18,4
	150	0,01475	324,522	154,79	171,99	200	2	0,4
	150	0,03338	324,522	160,83	178,70	200	2	0,4
	150	0,01335	324,522	154,33	171,48	200	2	0,4
	150	0,01355	324,522	154,40	171,55	200	2	0,4
	150	0,03343	324,522	160,85	178,72	200	2	0,4
	150	0,05715	324,522	168,55	187,27	200	2	0,4
							TOTAL	20,8
C18	150	0,0095	324,522	153,08	170,09	200	88	17,6
	150	0,0115	324,522	153,73	170,81	200	2	0,4
	150	0,0197	324,522	156,39	173,77	200	2	0,4
	150	0,0225	324,522	157,30	174,78	200	2	0,4
	150	0,0144	324,522	154,67	171,86	200	2	0,4
	150	0,0223	324,522	157,24	174,71	200	2	0,4
	150	0,0191	324,522	156,20	173,55	200	2	0,4
							TOTAL	20

Tabla 31. Requisitos de potencia para los circuitos de borde de pista

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	P bal [W]	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]
C17	170,09	4	92	16016,48	5,54	139,392	18,96
	171,99	4	2	351,97			**P total [kVA]**
	178,70	4	2	365,41			21,06
	171,48	4	2	350,96			**P com [kVA]**
	171,55	4	2	351,11			**25**
	178,72	4	2	365,44			
	187,27	4	2	382,55			
			TOTAL	18183,91			
C18	170,09	4	88	15320,11	5,63	139,392	18,23
	170,81	4	2	349,63			**P total [kVA]**
	173,77	4	2	355,54			20,26

	174,78	4	2	357,56	**P com [kVA]**
	171,86	4	2	351,72	**25**
	174,71	4	2	357,42	
	173,55	4	2	355,11	
			TOTAL	17447,08	

Tabla 32. Potencia requerida para los reguladores de borde de pista

Eje de pista

Circuito	P lamp [W]	Long sec [km]	Pb [W/km]	Pc [W]	P real [W]	P com [W]	N lamp	P total [kW]
C19	65	0,032	324,522	75,38	83,76	100	180	18
	65	0,032	324,522	75,38	83,76	100	138	13,8
	65	0,06515	324,522	86,14	95,71	100	2	0,2
	65	0,0523	324,522	81,97	91,08	100	2	0,2
	65	0,0427	324,522	78,86	87,62	100	2	0,2
	65	0,0356	324,522	76,55	85,06	100	2	0,2
	65	0,0645	324,522	85,93	95,48	100	2	0,2
	65	0,0603	324,522	84,57	93,97	100	2	0,2
	65	0,0506	324,522	81,42	90,47	100	2	0,2
	65	0,0469	324,522	80,22	89,13	100	2	0,2
	65	0,04	324,522	77,98	86,65	100	2	0,2
	65	0,0378	324,522	77,27	85,85	100	2	0,2
C20	65	0,0382	324,522	77,40	86,00	100	2	0,2
	65	0,0379	324,522	77,30	85,89	100	2	0,2
	65	0,0401	324,522	78,01	86,68	100	2	0,2
	65	0,0469	324,522	80,22	89,13	100	2	0,2
	65	0,0507	324,522	81,45	90,50	100	2	0,2
	65	0,0605	324,522	84,63	94,04	100	2	0,2
	65	0,0646	324,522	85,96	95,52	100	2	0,2
	65	0,0356	324,522	76,55	85,06	100	2	0,2
	65	0,0433	324,522	79,05	87,84	100	2	0,2
	65	0,0583	324,522	83,92	93,24	100	2	0,2
	65	0,0855	324,522	92,75	103,05	150	2	0,3
							TOTAL	18,1

Tabla 33. Requisitos de potencia para los circuitos de eje de pista

Reg.	P real [W]	Pc [W]	N lamp	P bal [W]	Long prim [km]	Pa [W/km]	P total [kW]
C19	83,76	2	180	15436,94	5,4	139,392	16,19
							P total [kVA]
							17,99
							P com [kVA]
							20
C20	83,76	2	138	11834,99	5,2	139,392	16,44
	95,71	2	2	195,43			**P total [kVA]**
	91,08	2	2	186,16			18,27
	87,62	2	2	179,24			**P com [kVA]**
	85,06	2	2	174,12			**20**
	95,48	2	2	194,96			
	93,97	2	2	191,93			
	90,47	2	2	184,94			
	89,13	2	2	182,27			
	86,65	2	2	177,29			
	85,85	2	2	175,70			
	86,00	2	2	175,99			
	85,89	2	2	175,78			
	86,68	2	2	177,36			
	89,13	2	2	182,27			
	90,50	2	2	185,01			
	94,04	2	2	192,07			
	95,52	2	2	195,03			
	85,06	2	2	174,12			
	87,84	2	2	179,67			
	93,24	2	2	190,49			
	103,05	3	2	212,10			
		TOTAL		15716,91			

Tabla 34. Potencia requerida para los reguladores de eje de pista

REFERENCIAS

[1] *Plan Director del Aeropuerto de Girona.* Ministerio de Fomento. 2006, Capítulo 3. Madrid: Ministerio de Fomento, Políticas Aeroportuarias , 2006.

[2] 737 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 2. Seattle: Technical information, 2005.

[3] 767 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 2. Seattle: Technical information, 2005.

[4] A319 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* AIRBUS. 2011, Chapter 2. Bellonte: Technical Data Support and Services , 1995.

[5] A320 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* AIRBUS. 2011, Chapter 2. Bellonte: Technical Data Support and Services , 1985.

[6] A321 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* AIRBUS. 2011, Chapter 2. Bellonte: Technical Data Support and Services , 1992.

[7] *Climatología Aeronáutica.* Agencia Estatal de Meteorología. 2011, Visibilidad. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente, 1982.

[8] *Climatología Aeronáutica.* Agencia Estatal de Meteorología. 2011, Techo de nubes. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente, 1983.

[9] 737 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 3. Seattle: Technical information, 2005.

[10] 737 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 3. Seattle: Technical information, 2005.

[11] 737 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 3. Seattle: Technical information, 2005.

[12] España. Real Decreto 9043/2009, de 1 de junio de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, p. 45798.

[13] *Manual de diseño de aeródromos*. OACI, 2005, Doc. 9157 Parte 2 Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera. Montreal: Secretaría General, 2005

[14] España. Real Decreto 9043/2009, de 1 de junio de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, p. 45812.

[15] *AIP Aeropuerto de Girona.* AENA, 2010, ADC Plano de Aeródromo. Madrid: AENA Aeropuertos, 2010.

[16] España. Real Decreto 9043/2009, de 1 de junio de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, p. 45789.

[17] España. Real Decreto 9043/2009, de 1 de junio de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, p. 45812.

[18] España. Real Decreto 9043/2009, de 1 de junio de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, p. 45855.

[19] 767 *Airplane Characteristics for Airport Planning.* BOEING. 2005, Chapter 4. Seattle: Technical information, 2005.

[20] *Airport Pavement Design and Evaluation.* FAA, 1995. Washington: US Department of Transportation, Advisory Circular, 1995.