

Trabajo de Final de Grado

Grau en Enginyeria en Tecnologies Aeroespacials (GRETA)

VIABILIDAD, DISEÑO Y PLAN DE IMPLANTACIÓN Y DE NEGOCIO DE UN AEROPUERTO REGIONAL EN EUROPA

MEMORIA

Autor: Pol Niño Pol

Director: Rubén Martínez Sevillano

Convocatoria: 1.^a - 30/06/2020



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

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

Resumen

En el presente proyecto, "*Viabilidad, diseño y plan de implantación y de negocio de un aeropuerto regional en Europa*", se ha realizado el diseño preliminar de un aeropuerto de carácter regional y ubicado en Europa, tal y como el título indica.

Para ello, se ha realizado un análisis para la elección del lugar del aeropuerto, que consta de partes económicas, demográficas y geográficas, entre otras. A partir de dos candidatos finales, se ha escogido, de manera justificada, Braga (Portugal) como ciudad del aeropuerto. La función principal del aeropuerto a desarrollar se ha definido que sea la de dar soporte al aeropuerto de Oporto, con el fin de complementar su constante aumento de demanda, captando una parte significativa de vuelos nacionales y parte de vuelos internacionales, fijando una competencia "low cost". Debido al carácter público de los aeropuertos en Portugal, la construcción del mismo sería costeadada por el gobierno portugués.

Como primer punto para el diseño del aeropuerto, se ha realizado la previsión de tráfico, con el fin de calcular las variables necesarias para dimensionar el mismo, además de evaluar su futura viabilidad. Dentro de estas variables se encuentra la predicción de pasajeros a corto/medio/largo plazo o la determinación del número de operaciones/hora, entre otras. Para ello, se ha tomado como aeropuertos de referencia el aeropuerto de Granada (para cuantificar los pasajeros y operaciones anuales y mensuales ya que es un aeropuerto de características similares), y el aeropuerto de Barcelona (para extrapolar los datos a nivel horario y diario), junto al aeropuerto principal, el de Oporto. Además, se han fijado los posibles destinos del aeropuerto, junto a las posibles aerolíneas que operarían en él. Acto seguido, se ha diseñado y dimensionado el lado aire (pistas, calles de rodadura, señalización y servidumbres aeronáuticas) y el lado tierra del aeropuerto, siguiendo la normativa pertinente. Previo paso al diseño del lado aire, se ha realizado un estudio de los aviones que operan en la actualidad en el aeropuerto de Oporto, definiendo el A321 como la aeronave de diseño del proyecto. También se ha incluido un diseño preliminar de varias edificaciones aeronáuticas o edificaciones adicionales del aeropuerto, como por ejemplo el lugar de estacionamiento de vehículos, el servicio de emergencia o la torre de control. Una vez acabado el diseño, se ha realizado el plan de ampliación del aeropuerto, evaluando cada aspecto de diseño y analizando los posibles cambios a realizar en los mismos.

Para finalizar el diseño, se han incluido las bases del funcionamiento económico de los aeropuertos. Además, se han estimado e introducido los ingresos y costes del aeropuerto. Para los ingresos, nuevamente, se han tomado las tarifas y precios aeronáuticos del aeropuerto de Granada. Para los gastos, se han tomado como referencia los precios de construcción de diferentes aeropuertos españoles, con el fin de obtener un presupuesto preliminar del proyecto.

Finalmente, como conclusiones del proyecto, se ha observado la complejidad del proceso de diseño de un aeropuerto, ya que incluye factores y conocimientos de muchos campos (ing. aeronáutica, ing. civil, economía, derecho...). Además, tal y como era previsible, los gastos son muy elevados, por lo que la importancia de optimizar cada una de las partes del diseño, minimizar los errores y realizar una buena previsión de tráfico son factores clave en este tipo de proyectos. De la misma forma, un aeropuerto no deja de ser un servicio para la ciudadanía, por lo que es relevante el equilibrio coste-servicio del mismo, más aun en el caso del aeropuerto del proyecto, al tratarse de uno de carácter público.

Índice

1. Definición del aeropuerto: aeropuerto regional	9
2. Selección del lugar del aeropuerto	11
2.1. Aeropuertos en Europa. Situación actual	11
2.2. Posibles emplazamientos del aeropuerto	13
2.3. Comparativa de los posibles lugares	15
2.3.1. Población del país/zona	15
2.3.2. PIB del país/zona y otros valores económicos	17
2.3.3. Red de transporte de la zona	18
2.3.4. Presencia de aeropuertos cercanos	19
2.3.5. Meteorología	19
2.3.6. Orografía/Impacto mediambiental en la zona	20
2.4. Selección final	20
3. Previsión de tráfico	23
3.1. Introducción al cálculo de la previsión de tráfico	23
3.2. Cálculo de la previsión de tráfico	24
3.2.1. Recopilación de datos históricos	24
3.2.2. Prognosis del tráfico	29
3.2.3. Análisis del aeropuerto de referencia	32
3.2.4. Interpretación y ajuste de los resultados	35
3.2.5. Previsión de tráfico	35
4. Aeronave de diseño y clave de referencia del aeropuerto	37
4.1. Aeronave de diseño	37
4.1.1. Determinación de la aeronave de diseño del aeropuerto	37
4.1.2. Cálculo de la longitud de campo de referencia (LCR) de la aeronave de diseño	38
4.2. Clave de referencia del aeropuerto	39
5. Diseño del lado aire del aeropuerto	41
5.1. Estudio de la climatología del lugar	41
5.1.1. Temperatura	41
5.1.2. Nubes y precipitaciones	43
5.1.3. Análisis de vientos	44
5.2. Orientación de la/s pista/s	47
5.2.1. Cálculo de la orientación de la/s pista/s	48
5.3. Cálculo del número de pistas necesarias y su nomenclatura	49
5.4. Categoría de la pista	51
5.5. Dimensionado de la pista	52
5.5.1. Longitud de la pista	52
5.5.2. Dimensiones de la pista y de los elementos relacionados	55
5.6. Distancias declaradas	57
5.7. Dimensionado de las calles de rodadura	59
5.8. Otros elementos: plataformas de espera e instalaciones de deshielo/antihielo	59
5.9. Visión global del conjunto pista-calles de rodadura	59
5.10. Plataformas de estacionamiento	60

5.11. Señalización	61
5.11.1. Indicadores de la dirección del viento	61
5.11.2. Indicador de la dirección de aterrizaje	62
5.11.3. Lámparas de señales	62
5.11.4. Señalización horizontal	62
5.11.5. Luces	65
5.11.6. Letreros	69
5.12. Servidumbres aeronáuticas	69
6. Diseño del lado tierra del aeropuerto	73
6.1. Forma de la terminal	73
6.2. Zona de tratamiento y atención al pasajero	75
6.3. Niveles de servicio del aeropuerto	76
6.3.1. Mostradores de facturación	77
6.3.2. Controles de pasaporte en salidas	81
6.3.3. Controles de pasaporte en llegadas	81
6.3.4. Puestos de seguridad	83
6.3.5. Área del vestíbulo de espera de entrada en puerta de embarque	84
6.3.6. Zona de recogida de equipaje	84
6.3.7. Área del vestíbulo de llegadas	84
6.4. Visión global y dimensiones de la terminal	85
6.5. Servicios disponibles en el aeropuerto de Braga	88
6.6. Zona de estacionamiento de vehículos y accesos	88
6.7. Otros edificios aeronáuticos	90
6.7.1. Torre de control	90
6.7.2. Equipamiento de salvamento y contra-incendios	91
6.7.3. Suministro eléctrico	92
7. Ampliación de futuro del aeropuerto	95
7.1. Vientos y meteorología	95
7.2. Aeronave de diseño	95
7.3. Dimensiones de las pistas, calles de rodadura y otros elementos	96
7.4. Servidumbres aeronáuticas	96
7.5. Dimensionado y forma de la terminal	97
7.6. Zona de estacionamiento de vehículos y accesos	100
8. Economía del aeropuerto	101
8.1. <i>Management</i> del aeropuerto	101
8.2. Costes de infraestructuras del aeropuerto	102
8.3. Fuentes de ingreso de los aeropuertos	102
8.4. Presupuesto del proyecto	103
9. Impacto medioambiental del proyecto	105
Conclusiones y recomendaciones	107
Bibliografía	109

Índice de figuras

1.	Mapa europeo con distinción entre países miembros de la zona Schengen	14
2.	Evolución de la población en Kielce	15
3.	Evolución de la población en Braga	16
4.	Pasajeros de vuelos regulares	25
5.	Pasajeros de vuelos no regulares	25
6.	Proporción entre vuelos regulares y no regulares en 2018	25
7.	Previsión de tráfico en función del tiempo	36
8.	Peso de despegue del A321 en función de la distancia de la pista	38
9.	Obtención del LCR del A321	39
10.	Clave de referencia del aeropuerto según el anexo 14 de la OACI en función de los diferentes parámetros	40
11.	Temperaturas máxima y mínima media mensual de Braga	42
12.	Temperaturas medias por hora anuales de Braga	42
13.	Nubosidad anual en Braga	43
14.	Probabilidad diaria de precipitación en Braga	44
15.	Precipitación de lluvia mensual promedio en Braga	44
16.	Velocidad promedio del viento anual en Braga	45
17.	Dirección del viento anual en Braga	46
18.	Rosa de los vientos de Braga	47
19.	Viento transversal absorbido en función de la dirección de la pista	48
20.	Características del diseño de 1 única pista en función de diferentes parámetros	50
21.	Ejemplo explicatorio de la aplicación de la inclinación magnética a la nomenclatura de la pista	51
22.	Distancia de aterrizaje en función del peso de aterrizaje	54
23.	Obtención de la distancia de aterrizaje del A321	55
24.	Configuración típica de un aeropuerto con plataforma/s de viraje	56
25.	Esquema de la franja de pista y de la RESA	57
26.	Esquema gráfico de las distancias declaradas de una pista	58
27.	Visión aérea de la pista y calles de rodadura del aeropuerto de Oporto	60
28.	Configuración y dimensiones de una plataforma de estacionamiento de tipo V	61
29.	Esquema de la señalización horizontal de la pista	64
30.	Configuraciones de las señales de punto de espera de la pista	65
31.	Configuraciones de las luces de la pista	67
32.	Configuración típica de un sistema PAPI	68
33.	Plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto	70
34.	Corte AA' del plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto	70
35.	Corte BB' del plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto	71
36.	Configuración y planta de un modelo lineal	73
37.	Visión aérea de la terminal del aeropuerto de Granada	74
38.	Visión aérea de la terminal del aeropuerto de Oporto	74
39.	Tabla para la determinación del parámetro F1	78
40.	Tabla para la determinación del parámetro F2	78
41.	Resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT	79
42.	Cálculo del resultado intermedio S en función para un MQT de 20 minutos	80
43.	Resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT para pasaportes en llegadas	82

44.	Cálculo del resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT para pasaportes en llegadas	82
45.	Esquema de la forma de la terminal del aeropuerto de Braga	85
46.	Dimensiones de la terminal del aeropuerto de Braga	86
47.	Esquema general de la ubicación de los diferentes lugares de estacionamiento del aeropuerto de Braga	90
48.	Categoría del aeródromo en relación a servicios de salvamento y contra-incendios	91
49.	Valores máximos de los intervalos de conmutación para los diferentes elementos de la pista del aeropuerto de Braga	93
50.	Configuración de los nuevos fingers en el aeropuerto de Braga	97
51.	Tasas de aterrizaje AENA para los vuelos internacionales en 2020	103

Índice de tablas

1.	Aeropuertos con más pasajeros de Europa en 2019	12
2.	Aeropuertos de mayor magnitud con mayor incremento porcentual de pasajeros en 2019	12
3.	Pasajeros de vuelos programados/regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018	24
4.	Pasajeros de vuelos no regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018	25
5.	Porcentaje de vuelos nacional e internacionales y número de pasajeros para vuelos regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018	26
6.	Porcentaje de vuelos nacional e internacionales y número de pasajeros para vuelos no regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018	26
7.	Rutas nacionales de interés para el aeropuerto de Braga obtenidas del aeropuerto de Oporto	27
8.	Rutas internacionales de interés para el aeropuerto de Braga obtenidas del aeropuerto de Oporto	28
9.	Valores de referencia iniciales para el cálculo de la absorción de pasajeros del aeropuerto de Oporto para vuelos regulares	31
10.	Valores de referencia iniciales para el cálculo de la absorción de pasajeros del aeropuerto de Oporto para vuelos no regulares	31
11.	Pasajeros estimados de vuelos regulares para el aeropuerto de Braga en 2020	31
12.	Pasajeros estimados de vuelos no regulares para el aeropuerto de Braga en 2020	31
13.	Pasajeros totales estimados para el aeropuerto de Braga en 2020	32
14.	Posibles aeropuertos regionales españoles de referencia para el diseño del aeropuerto de Braga	32
15.	Datos del número de pasajeros y operaciones del aeropuerto de Granada en 2019 segregados a nivel mensual	33
16.	Datos del número de pasajeros del aeropuerto de Barcelona en el periodo Septiembre 2003 - Septiembre 2004	34
17.	Parámetros de la previsión de tráfico del aeropuerto de Braga	35
18.	Parámetros de la previsión de tráfico del aeropuerto de Braga	36
19.	Aeronaves más restrictivas de diseño	37
20.	Características geográficas y magnéticas de Braga	50
21.	Categorías de aproximación instrumental de no precisión en función del alcance visual de pista y de la altura de decisión	52
22.	Dimensiones de la pista del aeropuerto de Braga	56
23.	Dimensiones de la plataforma de viraje del aeropuerto de Braga	56
24.	Dimensiones de la franja de pista y de la RESA del aeropuerto de Braga	57
25.	Dimensiones de las calles de rodadura del aeropuerto de Braga	59
26.	Ubicación y dimensiones de la señal de toma de contacto	63
27.	Dimensiones de las diferentes superficies limitadoras del aeropuerto	71
28.	Área correspondiente para cada ocupante según el tipo de vuelo para las colas de los mostradores de facturación para nivel de servicio C	77
29.	Cantidad de pasajeros y operaciones estimadas para 2040 en el aeropuerto de Braga	95
30.	Resumen de las medidas y cantidades, en 2040, de las diferentes zonas de la terminal y comparativa con los valores de 2020	99
31.	Presupuesto total del proyecto del aeropuerto de Braga	104

1. Definición del aeropuerto: aeropuerto regional

Un **aeropuerto regional** [1] es aquel aeropuerto que cuenta con un tráfico bajo en comparación con aeropuertos internacionales, con actividad en zonas concretas de la geografía para darles servicio y, o bien complementar a aeropuertos de mayor magnitud, o bien ser un enlace para estos. Estos aeropuertos suelen tener una actividad continua con vuelos regulares punto a punto, aunque con puntas en ciertas épocas del año dependiendo del lugar y de la función.

La configuración general de estos aeropuertos suele constar de una única pista de, aproximadamente, 3000 metros de pavimento. También suele constar de plataforma con posiciones de de estacionamiento en remoto y contacto, calles de rodadura paralelas y calles de salida rápida, en algunos casos.

Normalmente, no hay compañías basadas. De la misma manera, hay un número muy bajo de hangares en dichos aeropuertos. La terminal suele tener una configuración lineal y reducida, con 1 o 2 niveles.

La accesibilidad al aeropuerto, en estos casos, suele ser mediante taxi, autobús o vehículos privados, pese a que en ciertos aeropuertos regionales también ofrecen el acceso en tren. Esto último dependerá de cada caso particular y de la red de transportes de cada país, zona...

Las aeronaves utilizadas en este tipo de aeropuertos suelen ser aviones turbohélice comerciales, como por ejemplo el Dash 8, jets regionales y aviones comerciales de fuselaje estrecho, como por ejemplo el A320.

Finalmente, algunos de los ejemplos de aeropuertos regionales son los de Sevilla (regional de mayor magnitud) o el de Granada (regional de menor magnitud), en España, o los aeropuertos europeos de Faro (Portugal) o Burdeos (Francia).

2. Selección del lugar del aeropuerto

En este capítulo se seleccionará el lugar del aeropuerto. En primer lugar, se dará una perspectiva de los aeropuertos actuales en Europa, para dar paso a la comparativa entre los candidatos y la selección final del emplazamiento.

2.1. Aeropuertos en Europa. Situación actual

En 2019 [2] se estableció un nuevo récord de pasajeros, algo que ya se venía haciendo durante los años anteriores. Según los datos oficiales, en 2019 se contabilizaron 2.430 millones de pasajeros llegados a los aeropuertos europeos, lo que representa un aumento muy considerable respecto 5 años atrás, 2014, con un 32,3 % más. Respecto a 2018 el aumento es de un 3,2 % (en 2018 el aumento fue de un 6,1 %). Eso sí, es la tasa de crecimiento más pequeña de los últimos 5 años, debida principalmente por la desaceleración económica del mercado extracomunitario. Si se habla de cifras y no de porcentajes, los aeropuertos europeos subieron en 57,8 millones de pasajeros.

Los grandes aeropuertos crecieron por debajo de la media europea (tomando los 5 mayores aeropuertos, éstos crecieron con una media del 1,8 %). De la misma manera lo hicieron los aeropuertos regionales de menor magnitud. Éstos únicamente aumentaron un 0,3 % el número de pasajeros. De esta forma, se puede concluir que la mayor subida de pasajeros viene de aeropuertos internacionales de menor magnitud y de aeropuertos regionales de mayor magnitud. De esto último trata este proyecto, por lo que los datos de 2019 son favorables para la elaboración del mismo.

En lo que a países y cifras se refiere [3], el Reino Unido encabeza la lista con un total de 272 millones de pasajeros, pese al temor sobre el "Brexit" que se produjo durante ese mismo año. Los otros dos países que encabezan la lista y obtienen el segundo y tercer puesto, respectivamente, son Alemania, con 222 millones, y España, con 221 millones.

Sin embargo, los aeropuertos en Austria, Estonia, Letonia, Polonia, Hungría, Croacia, Rumanía, Malta, Luxemburgo y Portugal crecieron el doble que la media europea. Los aeropuertos en el Reino Unido, Alemania, Países Bajos, Bélgica, Dinamarca y Grecia registraron valores por debajo de la media. Finalmente, países como Suecia, Bulgaria, Eslovaquia y Eslovenia disminuyeron su número de tráfico de pasajeros.

Hablando de aeropuertos, en la tabla 1 se muestran los datos de los 6 aeropuertos con más pasajeros de Europa en 2019. Nótese que el número de pasajeros se contabiliza en millones de pasajeros. En la tabla 2, se pueden observar los cambios, en porcentaje, de los aeropuertos más grandes de la Unión Europea.

Nombre	Ciudad	País	Pasajeros 2019
Heathrow	Londres	Reino Unido	80
Charles de Gaulle	París	Francia	72
Schipol	Amsterdam	Países Bajos	71
Francfort Main	Frankfurt	Alemania	69
Adolfo Suárez-Madrid-Barajas	Madrid	España	56
Josep Tarradellas-El Prat	Barcelona	España	50

Tabla 1: Aeropuertos con más pasajeros de Europa en 2019

Nombre	Ciudad	País	Incremento pasajeros 2019
Flughafen Wien-Schwechat	Viena	Austria	17,1 %
Milan-Malpensa	Milán	Italia	16,6 %
Rīgas Starptautiskā Lidosta	Riga	Letonia	10,5 %
Berlin-TXL	Berlín	Alemania	10,1 %
Fluchhafa Lëtzebuerg Findel	C. de Luxemburgo	Luxemburgo	9,5 %
Ferenc Liszt	Budapest	Hungría	8,8 %
Lennart Meri Tallinna lennujaam	Tallin	Estonia	8,6 %
London-Luton	Londres	Reino Unido	8,1 %
Humberto Delgado	Lisboa	Portugal	7,4 %
Adolfo Suárez-Madrid-Barajas	Madrid	España	6,6 %
Henri Coandă	Bucarest	Rumanía	6,4 %
Varsovia-Chopin	Varsovia	Polonia	6,2 %

Tabla 2: Aeropuertos de mayor magnitud con mayor incremento porcentual de pasajeros en 2019

Fuera de la Unión Europea, hay que mencionar los aumentos en pasajeros en el aeropuerto de Kiev (21,1 %), Tirana (13,3 %), Antalya (12,8 %), Minsk (12,5 %), Ereván (12,3 %), Moscú-Vnukovo (11,7 %), Pristina (9,6 %), Skopje & Sarajevo (9,3 %) y Belgrado (9,2 %).

Una vez vista esta visión global sobre los aeropuertos en la actualidad en lo que a Europa se refiere, se centrará la atención en la situación de los aeropuertos regionales, tema de principal interés del trabajo.

En términos generales y, como ya ha introducido anteriormente, los aeropuertos regionales obtuvieron (en su gran mayoría) aumentos de pasajeros en 2019. El 51 % de los aeropuertos regionales de menor magnitud registraron aumentos de tráfico por el 77 % de los aeropuertos regionales de mayor magnitud. Esto se debe, mayoritariamente, a una mayor fragilidad de los mercados de los aeropuertos más pequeños.

Hablando en porcentajes de nuevo, el aeropuerto de Cracovia registró la mayor subida con un 24,2 %. Le siguen los aeropuertos de Sevilla con un 18,3 %, Nantes con un 16,7 %, Dubrovnik con un 14,1 %, Burdeos con un 13,3 %, Brest con un 11,8 %, Bolonia con un 10,6 %, Bari con un 10,2 % y Oporto con un 9,8 %. Todos ellos, son aeropuertos de ciudades secundarias o de gran importancia dentro de los diferentes países europeos.

2.2. Posibles emplazamientos del aeropuerto

En este apartado se presentarán los 2 posibles emplazamientos finales del aeropuerto. La justificación, así como la valoración de los principales factores determinantes, aparecerán en el anexo correspondiente.

Se han descartado varios emplazamientos debido a varios factores, además del factor lógico de que en Europa (o en su gran mayoría), en la actualidad, el servicio aeroportuario ya está insaturado en su totalidad, por lo que dificulta la creación de nuevos aeropuertos (es más factible la ampliación de los existentes, por ejemplo). Algunos de estos motivos son los siguientes:

- Países con superficies pequeñas: en estos países, es muy difícil ubicar un nuevo aeropuerto, debido a la cercanía entre las ciudades importantes (aquellas que podrían albergar un aeropuerto). En Europa, este tipo de países es muy común en la zona de los Balcanes, así como algunos países del noreste de Europa o de Europa central. Por citar algunos, Letonia, Lituania, Estonia, Dinamarca, Eslovenia o Luxemburgo. Todos ellos, como ya se ha comentado con anterioridad, presentan crecimientos en sus aeropuertos más importantes, así como en la población y en el PIB (Producto Interior Bruto). Es por esto, que en otras circunstancias, hubieran sido grandes candidatos a poder albergar un aeropuerto regional complementario.
- Países con poblaciones muy bajas: es muy complicado el hacer un aeropuerto nuevo en este tipo de países, debido a la falta de población, es decir, a la falta de posibles clientes o usuarios del futuro aeropuerto. Este fenómeno sucede en los anteriormente citados, siendo Luxemburgo el caso más claro. El país está sufriendo un aumento de pasajeros (los datos mencionados anteriormente de su aeropuerto lo demuestran), pero con un aeropuerto ya cubren sus necesidades.
- Países extra comunitarios: estos países, en su gran mayoría, tienen una normativa muy distinta a los países de la Unión Europea. Es importante recordar que, en dichos países, no se permite la libre circulación de pasajeros con otros países, como por ejemplo, los de la zona Schengen [4] (La gran mayoría en continente europeo. Establecida en 1995, dispone de 26 estados miembros, con una población de unos 420 millones de habitantes y un área cercana a los 4.300.000 km^2). Otras características de la zona Schengen son las condiciones armonizadas de los visados, la colaboración entre los distintos cuerpos policiales de los países miembros, o la existencia de bases de datos para compartir datos sobre personas o bienes entre los miembros (Sistema de Información de Schengen).

En la figura 1, se muestra un mapa del continente europeo con 3 tonalidades. En primer lugar, los países en morado, son los países que son miembros de la Unión Europea y del espacio o zona Schengen al mismo tiempo. Dentro de esta categoría tenemos a países como España, Portugal, Alemania, Suecia o Polonia, entre otros. En tonalidad azul están los países que no pertenecen a la Unión Europea, pero sí son miembros del espacio Schengen. Estos países son Islandia, Noruega y Suiza. Por último, en verde, se pueden observar los países que, estando dentro de la Unión Europea, no son miembros de la zona Schengen. Estos son Irlanda (ha rechazado el formar parte de dicha zona) y Croacia, Rumanía, Bulgaria y Chipre (tienen previsto unirse pronto)



Figura 1: Mapa europeo con distinción entre países miembros de la zona Schengen
Adaptado de Schengen Visa Info. [4]

Algunos países que se han tenido en cuenta, como por ejemplo el Reino Unido, Croacia o Irlanda, pese a no ser miembros de la zona Schengen, disponían de buenos datos para poder albergar el aeropuerto. Pero distintas razones (Croacia con baja población y poca superficie ya esta perfectamente cubierta y Reino Unido e Irlanda, con la gran mayoría del territorio ya cubierto por aeropuertos) han hecho declinar también estos países.

- Otras razones: dentro de este aspecto entrarían razones de lejanía y/o debate si pertenecen a Europa, como el caso de Rusia y Turquía (disponen de parte de su territorio en continente europeo), o de razones bélicas o de inestabilidad del país, como es el caso de Ucrania.

Cabe remarcar que no se dará una ubicación exacta del lugar, pues en cada país la compra/venta del terreno, los permisos, la normativa ambiental, la situación demográfica y otros muchos factores cambian. Además, es un punto de interés secundario del proyecto. Es por todo esto que, se ha decidido realizar la elección del emplazamiento de manera preliminar.

Finalmente, los 2 candidatos finales a albergar el aeropuerto son Kielce (Polonia) y Braga (Portugal). En el anexo correspondiente es posible encontrar más información en relación a las dos ciudades mencionadas, así como el por qué de su elección.

2.3. Comparativa de los posibles lugares

Los elementos que se compararán entre ambos candidatos son:

- Población del país/zona
- PIB del país/zona y otros aspectos económicos
- Red de transporte de la zona
- Presencia de aeropuertos cercanos
- Meteorología
- Orografía/Impacto medioambiental en la zona

2.3.1. Población del país/zona

En este apartado, se comparará la población. Este es un aspecto importante, ya que, lógicamente, a mayor población, mayor número potencial de pasajeros del aeropuerto.

Como ya se ha comentado en el anexo correspondiente, Kielce tiene una población de 204.835 habitantes. Pese a que en la actualidad está viviendo un desarrollo económico, no se plasma en la evolución de la población. En la figura 2, se muestra dicha evolución temporal:

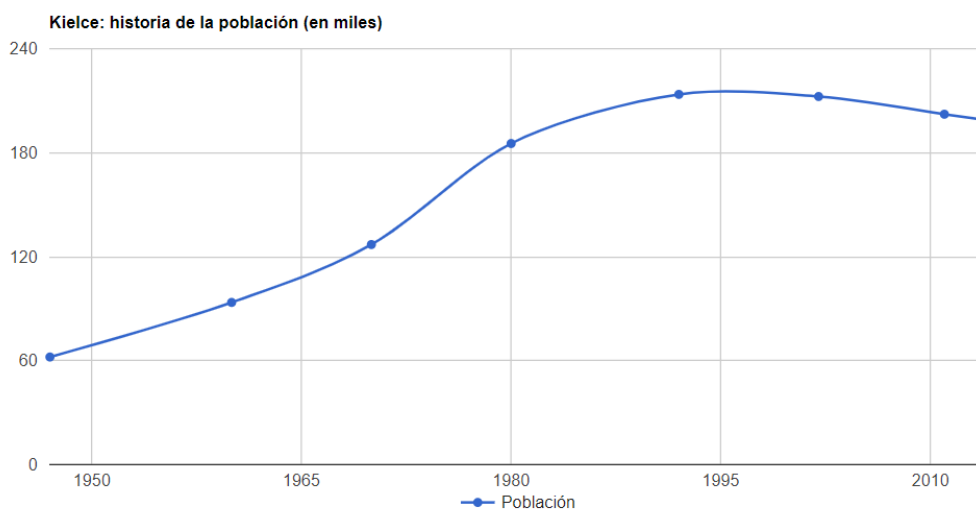


Figura 2: Evolución de la población en Kielce
Adaptado de Population.City. [5]

Se puede observar que está sufriendo un periodo de estancamiento en cuanto al crecimiento de población se refiere. De hecho, en los últimos tiempos, la población ha caído muy ligeramente. Esto es debido a la misma tendencia que tiene el país polaco [6], ya que también está experimentando un ligero descenso en su población en los últimos años. Los motivos principales son

la poca inmigración en Polonia (únicamente el 1,69% de la población es inmigrante, datos de 2008) y el descenso en la natalidad.

Por otro lado, como se ha comentado en ??, Braga tiene una población de 182.000 habitantes, dato ligeramente inferior al de Kielce. Este dato era esperable, ya que Polonia supera ampliamente la población de Portugal (38 millones respecto a los poco más de 10 millones de Portugal). Sin embargo, en la figura 3, donde se puede observar la evolución temporal de la población de Braga, es posible apreciar la clara tendencia ascendente de la ciudad. Es más, pese a la tendencia negativa de Portugal como país, Braga sigue aumentando su población. Esto es debido a que, tal y como se ha explicado anteriormente, la población de Portugal está tendiendo a ubicarse en los núcleos más importantes del país, Oporto y Lisboa, y cercanías. Braga también se está aprovechando de esta tendencia, al ser la tercera ciudad de Portugal.

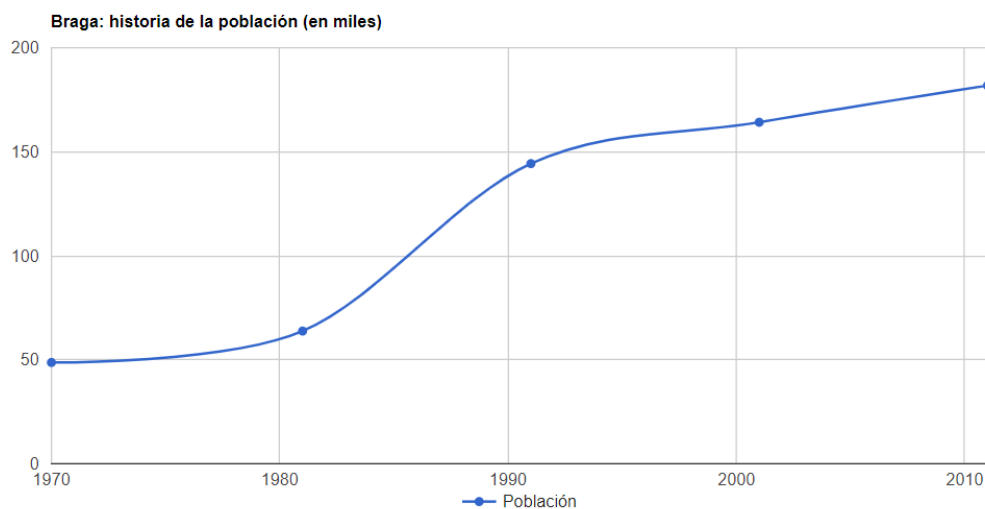


Figura 3: Evolución de la población en Braga
Adaptado de Population.City. [7]

En definitiva, ambos países tienen la misma tendencia negativa de variación de población. Sin embargo, mientras Kielce disminuye ligeramente su total, Braga lo aumenta. Se puede apreciar también en las figuras 2 y 3 que la tendencia se mantiene durante una cantidad razonable de años, por lo que una futura variación de esta tendencia tardaría en efectuarse. En este aspecto, Braga sería mejor opción que Kielce para una inversión futura.

Hablando de la población total de las ciudades y países, Kielce y Polonia son mejor opción. La diferencia es de unos 20.000 habitantes. Siguiendo la tendencia anterior, Braga aún tardaría unos años en superar a Kielce.

En conclusión, a día de hoy Kielce es una mejor opción en cuanto a población, tanto de la ciudad como del país. Pese a esto, Braga se plantaría como mejor opción futura, debido a su constante aumento de población, lo que le asienta como tercera ciudad más poblada e importante de Portugal.

2.3.2. PIB del país/zona y otros valores económicos

En este apartado, se comparará el PIB de los diferentes países, así como dar una visión de la situación económica de ambas ciudades.

En el anexo, se pueden observar las variaciones del PIB de ambos países. A fecha de 2019, Polonia [9] tiene un PIB de 527.033 millones de €, con un crecimiento del 4.1 % respecto a 2018. En el caso de Portugal [10], el valor del PIB es de 212.303 millones de €, con un crecimiento del 2.2 % respecto a 2018. De estos datos, se puede sacar la conclusión de que Polonia tiene un PIB muy superior al de Portugal, así como un crecimiento que dobla al país portugués.

Lógicamente, el PIB de Polonia es mayor al de Portugal, básicamente por la gran diferencia de habitantes entre ambos países. Como ya se ha visto con anterioridad, Polonia triplica (aproximadamente) los habitantes de Portugal, pero el PIB únicamente dobla al país portugués. Este valor se puede observar con precisión a partir del PIB por cápita de ambos países. En el caso de Polonia, este valor es de 13.730 €(a fecha de 2019), con un incremento de 810 €respecto a 2018. En el caso de Portugal, el valor es de 20.660 €, con un incremento de 790 €respecto a 2018. Por lo tanto, se puede concluir que los habitantes de Portugal tienen bastante más dinero (concretamente, casi 7.000 euros anuales más) que los de Polonia, y que están experimentando un incremento muy parecido. Obviamente, son valores macroeconómicos, por lo que no darán una visión exacta de la realidad. De hecho, todos estos valores carecen de interés si no se comparan también los valores de los precios en los diferentes países, para poder observar la relación entre ellos.

La comparación que se hace es de carácter general, ya que no se irá dando el precio de cada producto/servicio. Es decir, se quiere dar una visión orientativa. Del mismo modo, los precios comparados son precios medios. Por último, añadir que los datos que se dan son a fecha de Marzo de 2020.

Comparando precios [11] y [12], se puede observar que, en el caso de la comida básica, los precios de Polonia son ligeramente inferiores a los de Portugal, aunque apenas se nota diferencia en la gran mayoría de productos. En el caso de la restauración, el aumento de los precios en Portugal ya es más significativo, aunque no lo suficiente para notar una variación importante. De hecho, el efecto del turismo en Portugal puede afectar a este campo. En el ámbito de la ropa y calzado, se sigue la misma tendencia que en restauración. En el caso del transporte y de los servicios, se nota una clara variación entre países. En Polonia, el transporte (transporte público, taxi, automóviles nuevos o la gasolina) es significativamente más barato que en Portugal. De la misma manera, servicios como internet también siguen la misma tendencia. Es curioso que, los servicios básicos (electricidad, gas, agua y basura) son más caros en Polonia que en Portugal. El precio del ocio y del deporte en Portugal y Polonia sigue la misma tendencia que la restauración y que ropa y calzado. Finalmente, el precio de la vivienda y de los salarios es ligeramente superior en Portugal, aunque este campo es difícil de comparar porque aquí influye mucho la ubicación de dicha vivienda, su antigüedad... En cuanto al salario medio (neto), el de Polonia es de 786.13 €y el de Portugal de 850.00 €. ligeramente superior al polaco.

Se puede concluir que los precios de Polonia son, por norma general, ligeramente inferiores que los de Portugal, salvo casos puntuales (donde los de Polonia son igual o algo superior a los de Portugal o casos donde la diferencia aumenta). Sin embargo, el mayor salario medio en Portugal, compensa estas variaciones, lo que hace que el poder adquisitivo sea similar en ambos

países. Analizando el IPC (Índice de Precios al Consumo) del último año y la variación de los salarios, se puede determinar la tendencia de este poder adquisitivo.

En primer lugar, el IPC [13] es un indicador que permite conocer la evolución de los precios de los diferentes ámbitos de la sociedad (tal y como se acaba de hacer en la comparación entre los países). Si bien es cierto, el indicador que se debe usar para comparar países de la zona euro y dar una visión más realista es el IPC armonizado (IPCA) [14]. Este indicador proporciona una medida común de la inflación para comparar y examinar, internacionalmente, el cumplimiento que, en esta materia, exige el Tratado de Maastricht para la entrada en la Unión Monetaria Europea.

Portugal, en 2019, tuvo un IPCA [15] del 0.4 %, mientras que Polonia tuvo un IPCA del 3.0 %. En 2018, los valores fueron del 0.6 % y 0.9 %, respectivamente. En relación al salario medio, en Portugal [17] se ha incrementado un 2.31 % y en Polonia [19] un 9.66 %, a fecha de 2019. Se puede concluir que, en ambos casos, se ha ganado poder adquisitivo. En el caso de Portugal, el aumento del salario medio no ha sido tan significativo, pero tiene un IPCA bajo, mientras que el caso de Polonia es el opuesto.

En conclusión, la situación económica en ambos países es diferente en la actualidad. En Portugal, la renta y los precios son superiores que en Polonia, aunque las tendencias son distintas. En cuanto al poder adquisitivo, es similar en ambos países.

En cuanto a las ciudades en sí, Kielce tiene un salario medio de 998.98 €, cifra por encima de la media de Polonia. Sin embargo, Braga tiene un salario medio de 848.64 €, cifra inferior a la media en Portugal.

2.3.3. Red de transporte de la zona

En este apartado, se comentará la red de transporte de la zona. Esto es un aspecto muy importante para el futuro aeropuerto debido a que, si hay más vías de acceso al aeropuerto y de mejor calidad, mayor comodidad y accesibilidad tendrán los pasajeros para acceder, lo que ayuda a captar posibles clientes. Además, será importante analizar si es necesaria una obra pública para mejorar o crear alguna vía de acceso. En el caso de Braga, por el sur pasa la autovía A7, que quedaría algo desplazada del lugar del aeropuerto, ubicado más al norte de la ciudad. En dicho lugar, en la actualidad, transcurren diversas carreteras secundarias. El resto de ciudades cercanas (las que han sido incluidas en el anexo), tienen autovías comunicantes con Braga.

Para conectar el aeropuerto con la ciudad, sería necesario que el gobierno portugués invirtiera dinero en mejorar o ampliar las carreteras secundarias, o bien en construir una nueva autovía que conectara el aeropuerto a las autovías existentes.

En el caso del acceso vía tren, tampoco existe en la actualidad una red ferroviaria en el lugar del aeropuerto (se puede observar en la imagen ??). Debido a esto, sería necesaria una ampliación de la red ferroviaria actual.

En el caso de Kielce, el aeropuerto se ubicaría en una zona donde tampoco hay autovías ni carreteras principales. Por las cercanías, existe la carretera secundaria que conecta Kielce con Cracovia. Esta carretera es la S7, carretera de únicamente un carril por sentido. Es por esto,

que se estaría en el mismo caso que en el de Braga, por lo que sería necesaria una inversión por parte del gobierno polaco, ya sea para ampliar esta carretera o para hacer un desvío desde otra principal. La distancia entre el posible emplazamiento y la ciudad de Kielce, dificultaría la viabilidad de esta inversión de parte del gobierno, ya que habría que remodelar o construir una gran cantidad de kilómetros.

La conexión vía tren sigue la misma tendencia que la conexión vía carretera, ya que no hay red ferroviaria en dicha zona. Existe la red ferroviaria que conecta Kielce con Cracovia, entre otras ciudades, pero bordea la zona aproximada del aeropuerto. En conclusión, el caso de Kielce es parecido al de Braga con la diferencia que se necesitaría de una obra de unión (o creación de una nueva vía) de una distancia superior a la de Braga.

2.3.4. Presencia de aeropuertos cercanos

En este apartado, se comentarán los aeropuertos cercanos a las diferentes ciudades. Éste es un aspecto importante de cara a la competencia entre aeropuertos y al servicio que se va a dar.

En el caso de Braga, los aeropuertos más cercanos a dicho lugar serían los de Oporto y Vigo, este ya en España. Cabe recordar que en Portugal, únicamente hay 3 aeropuertos en la península ibérica. De hecho, el aeropuerto de Oporto ya estaba captando mucho tráfico del aeropuerto de Vigo.

En el caso de Kielce, la situación varía significativamente. En las cercanías, Kielce dispone de un pequeño aeródromo, y de los aeropuertos de Cracovia y Katowice. Un poco más lejos ya quedaría el aeropuerto de Lodz.

Está claro que, en el caso de Kielce, hay un mayor número de aeropuertos cercanos.

2.3.5. Meteorología

En este apartado se comentará la meteorología de ambas zonas. Pese a que, este aspecto, se comentará con mayor profundidad una vez se seleccione el aeropuerto final, es importante usarlo como punto comparativo entre los candidatos. El hecho de contar con una mala meteorología en alguna de las zonas, provocaría la construcción de zonas o servicios específicos en el aeropuerto (como por ejemplo, lugares para el deshielo de los aviones, lo que aumentaría el coste de construcción). Es más, en algunos casos, provocaría la inviabilidad del mismo.

En el caso de Kielce [21], las precipitaciones no son muy importantes con un valor de 629mm anuales. Éstas se centran en épocas estivales (de Mayo a Agosto especialmente). Durante los meses citados, las precipitaciones se mueven en un rango de 70-110 mm, siendo Julio el mes con mayor número. Febrero es el mes con menor número de precipitaciones, con un valor promedio de 28 mm.

El clima es templado y frío. La temperatura media es de 7°C. Durante verano, la temperatura suele rondar el rango de 13-18 °C. Sin embargo, durante invierno la temperatura suele oscilar entre los -5°C y 0°C.

Esto implicaría la construcción de lugares de antihielo en el aeropuerto, además de unas características adaptadas a las circunstancias de mala visibilidad generadas por las precipitaciones.

En el caso de Braga [22], las precipitaciones son significativamente mayores a las de Kielce. A diferencia de Kielce, éstas se centran en épocas invernales, siendo diciembre su mes máximo, con un valor de 180mm. De hecho, en verano apenas hay precipitaciones (el mes con el valor más bajo es Julio, con 16 mm). El valor total medio anual es de 1252 mm, casi el doble que Kielce.

En cuanto a la temperatura, el clima de Braga es cálido y templado. En verano, la temperatura oscila entre 15°C y 20°C, mientras que en invierno la temperatura oscila entre 8°C y 12°C. En este caso, salvo excepción, no existiría el riesgo de helada ni de condiciones ambientales extremas.

En conclusión, pese a que Braga tiene un mayor número de precipitaciones (y por lo tanto, mayores problemas de visibilidad por lo general), Kielce dispone de condiciones de temperaturas extremas en invierno, lo que podría desencadenar en continuas heladas.

2.3.6. Orografía/Impacto mediambiental en la zona

En este apartado, se comentará la orografía de la zona y el posible impacto ambiental que pueda tener el aeropuerto. Al no seleccionar un lugar específico para el aeropuerto (no es el principal punto del proyecto), se podrán detallar estos aspectos de forma aproximada. Por ejemplo, en España el ruido de los aeropuertos está regulado por el Reglamento (UE) N° 598/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014.

En el caso del aeropuerto de Kielce, se encontraría en una zona llana, sin ningún parque o reserva natural cercana. La más cercana sería la reserva natural de Kadzielnia, situada dentro del propio Kielce, por lo que quedaría alejada del aeropuerto. La zona aproximada del aeropuerto quedaría cerca de una zona de varios pueblos pequeños, con apenas espacio entre si para un aeropuerto de grandes dimensiones.

En el caso del aeropuerto de Braga, se encontraría en una zona algo más accidentada, con montes cercanos. Al norte del aeropuerto, a una distancia considerable, se encontraría el parque natural de Peneda-Geres, a unos 50km. Tal y como pasaba en el de Kielce, la zona también contiene lugares de alta densidad de pueblos, aunque, a diferencia de Polonia, la ubicación tiene otras zonas de bosques donde sería posible la construcción del aeropuerto, sin afectar a las poblaciones cercanas, pese a conllevar un impacto medioambiental claro.

2.4. Selección final

Tras haber comparado cada uno de los aspectos anteriores en los dos candidatos, el aeropuerto seleccionado será el de **Braga**.

El aspecto al que se le ha dado más peso han sido la presencia de aeropuertos cercanos, clave en la viabilidad económica. En el caso del de Braga, el único aeropuerto cercano en territorio portugués sería el de Oporto, en clara progresión. De esta manera, se complementarían su servicio captando gran parte de los vuelos nacionales del mismo, así como vuelos regionales a territorio español. De esta manera, se evitaría la construcción de un nuevo aeropuerto alternativo en

Oporto o de la construcción de nuevas terminales, descongestionando el aeropuerto. Del mismo modo, se daría un servicio más cercano a la zona norte de Portugal (donde se ubica Braga, la tercera ciudad de Portugal en importancia y población). Por último, tal y como pasa con el aeropuerto de Oporto, se podría dar servicio a población española cercana (tal y como se ha mencionado anteriormente, el aeropuerto de Oporto está captando pasajeros del aeropuerto de Vigo, por ejemplo, y este quedaría aun más lejano que el de Braga). En el de Kielce, este aspecto no era positivo, ya que disponía de mucha competencia en las cercanías.

En cuanto al PIB / Población, no ha habido mucha influencia para la decisión, al ser aspectos igual de favorecedores para ambos casos (en población era ligeramente superior el de Kielce). Sí es cierto que, en cuanto a la red de transporte, pese a ser inexistente en la actualidad al ser un territorio no construido, es más factible el realizarla en el caso del aeropuerto de Braga al de Kielce. Las conexiones / ampliaciones vía carretera serían de menor distancia al estar más cerca de la ciudad / otras autovías. Sucede de la misma manera en relación a la conexión vía tren.

En el caso de la meteorología, el aeropuerto de Braga podría evitar la construcción de zonas anti-hielo, obligatorias en el aeropuerto de Kielce (debido a sus temperaturas extremas).

Por último, el impacto medioambiental sería similar en ambos casos, ya que ambas zonas disponen de libertad de parques / reservas naturales, con la zona de Polonia con más densidad de pueblos y la zona de Portugal con más densidad de bosques. En ambos casos, la zona sería mayoritariamente llana, pese a que las cercanías al aeropuerto de Portugal serían algo más accidentadas.

3. Previsión de tráfico

En este capítulo, se realizarán las previsiones de tráfico del futuro aeropuerto. Para ello, se hará una pequeña introducción del método que se utilizará y se hará un análisis del tráfico de los aeropuertos influyentes. Acto seguido, se calculará la previsión a corto, medio y largo plazo (5, 15 y 30 años, respectivamente) para tres casos distintos: optimista, realista y pesimista. Finalmente, se seleccionará la aeronave de diseño del aeropuerto, con el fin de poder diseñar el lado aire del aeropuerto (capítulo 5).

3.1. Introducción al cálculo de la previsión de tráfico

La IATA [23] (International Air Transport Association, asociación que se encarga de representar a aerolíneas a nivel mundial y ayuda en su cooperación, seguridad y fiabilidad) recomienda 3 métodos principales para la previsión de tráfico de los diferentes aeropuertos [24]:

- Uso de datos o series históricas de tráfico, extrapolando estos datos al futuro a partir de las tendencias históricas. Este método está centrado en aeropuertos existentes, ya que la muestra histórica ya refleja la realidad del propio aeropuerto. Sin embargo, es un método poco fiable en épocas de variaciones o crisis. Evidentemente, este método no puede ni será utilizado en el caso del aeropuerto del proyecto.
- Métodos causales a partir de diferentes modelos (econométricos, regresiones y modelos de ponderación) con el fin de identificar las variables socio-económicas que influyen y en qué cantidad lo hacen. Este método está dedicado tanto a aeropuertos existentes como a nuevos aeropuertos. Sin embargo, en el caso de nuevos aeropuertos, el hecho de identificar las variables que afectan en el tráfico del mismo suelen tener errores, además de convertirse en un análisis complejo y con la necesidad de muchos datos. Es por esto, que este segundo método tampoco será el utilizado en este proyecto.
- Técnicas cualitativas para la estimación del mercado potencial. Este tráfico se estimará a partir del mercado aéreo objetivo (en nuestro caso vuelos regionales). Para ello, se tomarán como referencia aeropuertos con características parecidas al planteado o aeropuertos que afecten al futuro aeropuerto (ya sea por cercanía o por otro motivo). Este es un método dedicado, exclusivamente, a la previsión de tráfico de nuevos aeropuertos. Este será el método que se va a utilizar en este proyecto.

Finalmente, la metodología que se va a utilizar seguirá el siguiente orden:

- Recopilación de datos históricos
- Prognosis de tráfico
- Ajuste e interpretación de los resultados obtenidos

3.2. Cálculo de la previsión de tráfico

3.2.1. Recopilación de datos históricos

En este caso, los aeropuertos que entran dentro de un margen considerable de influencia son los aeropuertos de Oporto y Vigo. El resto de aeropuertos quedan muy lejanos (aeropuertos de Santiago de Compostela, León, Salamanca...). Además, son aeropuertos con un número de pasajeros muy bajo. Sin embargo, el aeropuerto de Vigo, en número de pasajeros y su tendencia en los últimos años (está perdiendo pasajeros en favor del de Oporto), es significativamente de menor importancia que el de Oporto. De este modo, y bajo la hipótesis de que el aeropuerto de Oporto (del cual se extraerán los datos) ya incluye la captación de Vigo, no se analizará por separado en este proyecto. Como ya se ha dicho anteriormente, el objetivo del aeropuerto de Braga es ayudar al aeropuerto de Oporto a no saturarse (pudiendo centrarse en ampliar los vuelos internacionales en un aeropuerto que está en permanente subida, y así evitar la construcción de uno complementario como en Lisboa, o una ampliación a corto plazo) acogiendo gran parte de sus vuelos nacionales o internacionales de corta distancia, con el fin de establecer una alternativa "low cost". Además, se daría servicio directo a la tercera ciudad de Portugal.

Para ello, será necesario analizar las rutas que operan en la actualidad en el aeropuerto de Oporto que podrían ser de interés para el aeropuerto de Braga, así como los datos del aeropuerto de Oporto, como por ejemplo el crecimiento en los últimos años o el porcentaje de vuelos nacionales/internacionales, entre otros. Para ello, se utilizarán los datos oficiales del aeropuerto de Oporto [25]

En primer lugar, los datos de los pasajeros en vuelos programados/regulares del aeropuerto de Oporto, entre 2014 y 2018 (periodo de 5 años), son:

Año	Pasajeros	% respecto el año anterior	Peso sobre el total de Portugal
2014	6.748.259	8,2 %	19,8 %
2015	7.960.926	18 %	20,8 %
2016	9.219.672	15,8 %	21,1 %
2017	10.595.589	14,9 %	20,6 %
2018	11.744.232	10,8 %	21,3 %

Tabla 3: Pasajeros de vuelos programados/regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018

Esta tabla se complementa con el valor previamente visto del aumento de Oporto de 2019, que creció con un 9,8 % (12.895.167 pasajeros).

En segundo lugar, los datos de los pasajeros en vuelos no regulares en las mismas fechas son:

Año	Pasajeros	% respecto el año anterior	Peso sobre el total de Portugal
2014	107.648	30,7 %	8,1 %
2015	107.333	-0,3 %	8,4 %
2016	146.602	36,6 %	9,7 %
2017	172.966	18,0 %	12,7 %
2018	179.201	3,6 %	16,0 %

Tabla 4: Pasajeros de vuelos no regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018

Comentar que, en relación a los vuelos no regulares, los aeropuertos de Funchal (Madeira) y el aeropuerto de Faro son los que más pasajeros tienen anualmente. Esto es debido a que, la mayoría de sus vuelos, son estacionales o muy concentrados en determinadas épocas del año.

En las figuras 4 y 5 se pueden observar los valores de las tablas en formato gráfico:



Figura 4: Pasajeros de vuelos regulares
Elaboración propia



Figura 5: Pasajeros de vuelos no regulares
Elaboración propia

Finalmente, para el año con los datos más recientes, se ha calculado la proporción entre vuelos regulares y no regulares:

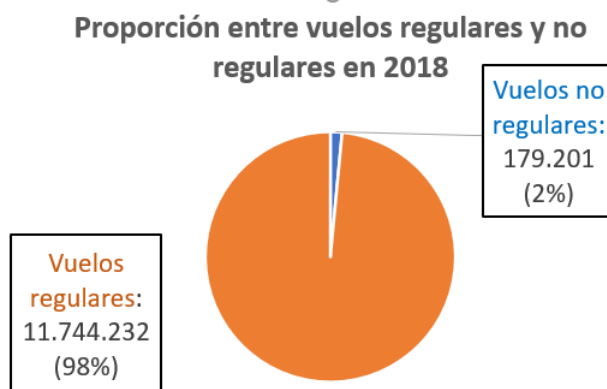


Figura 6: Proporción entre vuelos regulares y no regulares en 2018
Elaboración propia

A continuación, se mostrarán dos tablas con la proporción entre vuelos internacionales y vuelos nacionales del aeropuerto de Oporto, así como el número de pasajeros en los años citados que corresponden a ambos casos (se aplicará el porcentaje a los datos de cantidades totales previamente vistos en las tablas 3 y 4).

La proporción de vuelos nacionales/internacionales del aeropuerto de Oporto, durante los años anteriormente citados, para vuelos regulares, son:

Año	%internacional	Pasajeros int.	% nacional	Pasajeros nac
2014	87,0 %	5.870.985	13,0 %	877.274
2015	84,0 %	6.687.177	16,0 %	1.273.749
2016	81,0 %	7.467.934	19,0 %	1.751.738
2017	82,0 %	8.688.382	18,0 %	1.907.207
2018	83,0 %	9.747.712	17,0 %	1.996.520

Tabla 5: Porcentaje de vuelos nacional e internacionales y número de pasajeros para vuelos regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018

Para vuelos no regulares, estos valores son:

Año	% internacional	Pasajeros int	% nacional	Pasajeros nac
2014	94,0 %	101.189	6,0 %	6.459
2015	89,0 %	95.526	11,0 %	11.807
2016	91,0 %	133.407	9,0 %	13.195
2017	91,0 %	157.399	9,0 %	15.567
2018	91,0 %	163.072	9,0 %	16.129

Tabla 6: Porcentaje de vuelos nacional e internacionales y número de pasajeros para vuelos no regulares en el aeropuerto de Oporto entre 2014 y 2018

Se puede observar que la tendencia de la proporción en vuelos internacionales de vuelos regulares ha caído con el tiempo desde 2014, pese a que en la actualidad esté ganando fuerza de nuevo. En el caso de los vuelos no regulares, la situación es la misma.

Una vez se ha analizado la cantidad de pasajeros y la proporción entre vuelos nacionales e internacionales del aeropuerto de Oporto, se procederá a listar las compañías aéreas que en la actualidad operan en dicho aeropuerto. Estas compañías [?] son:

- Aegean Airlines
- Air Canada
- Air Europa
- Air France
- Air Transat
- Azores Airlines
- Azul Linhas Aereas
- British Airways
- Brussels Airlines
- EasyJet Airlines

- Emirates
- Eurowings
- Finnair
- Iberia
- KLM
- Laudamotion
- LEVEL
- Lufthansa
- Luxair
- Ryanair
- Swiss International
- TAAG
- TAP Portugal
- Transavia
- Royal Air Maroc
- Turkish Airlines
- United Airlines
- Volotea
- Vueling Airlines
- WIZZ Air Hungary

Nota: falta por mencionar la existencia de la empresa Everjets, compañía de vuelos privados que operan en vuelos a Funchal (Madeira).

Las rutas de interés del aeropuerto de Oporto que el aeropuerto de Braga podría absorber/complementar son:

Nacionales

Nota: obviamente, el trayecto Braga-Oporto no tendría lógica de producirse por la cercanía entre ciudades, por lo que es el único destino a aeropuerto nacional que no se produciría. Además, las distancias entre ciudades (entre Braga y el destino) que se pueden observar a continuación, son valores redondeados y aproximados, ya que tienen la intención de dar una idea sobre la distancia entre ciudades [27]. Los diferentes destinos se han obtenido de la web oficial del aeropuerto de Oporto [?].

Destino	Distancia	Compañías
Lisboa	320 km	Ryanair/TAP Portugal
Faro	510 km	Ryanair/TAP Portugal
Ponta Delgada	1540 km	Ryanair/Azores Airlines
Porto Santo	1180 km	TAP Portugal
Terceira	1630 km	Azores Airlines
Funchal	1250 km	EasyJet/Everjets/TAP Portugal/Transavia

Tabla 7: Rutas nacionales de interés para el aeropuerto de Braga obtenidas del aeropuerto de Oporto

Internacionales

Para las rutas internacionales de interés, se han tomado destinos cercanos [27] y/o de gran

interés. Suelen ser destinos turísticos, donde la mayor cantidad de pasajeros van en épocas vacacionales. Debido a que el aeropuerto no será de un gran tamaño (y, por lo tanto, la frecuencia de vuelos no será alta, algo lógico en un aeropuerto regional), se ha intentado minimizar la elección de rutas a un número alto de destinos.

Destino	Distancia	Compañías
Tenerife	1500 km	Vueling
Marrakech	1100 km	Ryanair
Barcelona	880 km	Ryanair/Vueling/TAP Portugal
Madrid	420 km	Iberia/Ryanair/TAP Portugal
Málaga	640 km	easyJet/Ryanair
Valencia	720 km	Ryanair
Marsella	1150 km	easyJet/Ryanair
Frankfurt	1630 km	Lufthansa
Viena	2100 km	Lauda Motion
Bruselas	1430 km	Brussels Airlines/Ryanair/TAP Portugal/Vueling
París (CDG)	1200 km	Air France/Vueling/easyJet
Milán (Bérgamo)	1500 km	Ryanair
Londres (Gatwick)	1300 km	TAP Portugal/Ryanair/easyJet/British Airways
Amsterdam	1600 km	KLM/Transavia/TAP Portugal
Ginebra	800 km	easyJet/TAP Portugal

Tabla 8: Rutas internacionales de interés para el aeropuerto de Braga obtenidas del aeropuerto de Oporto

Así pues, las aerolíneas que podrían operar en el aeropuerto de Braga son:

- Air France
- Azores Airlines
- British Airways
- Brussels Airlines
- EasyJet Airlines
- Iberia
- KLM
- Laudamotion
- Lufthansa
- Ryanair
- TAP Portugal
- Transavia
- Vueling Airlines

Finalmente, los 10 destinos con más frecuencia [28] del aeropuerto de Oporto son:

- Ginebra: 36 vuelos/semana
- London (Stansted): 23 vuelos/semana
- Madrid: 19 vuelos/semana

- Basilea: 16 vuelos/semana
- Lyon: 15 vuelos semana
- Barcelona: 15 vuelos/semana
- París (CDG): 14 vuelos/semana
- París (Beauvais-Tille): 14 vuelos/semana
- Londres (Gatwick): 13 vuelos/semana
- Luxemburgo: 13 vuelos semana

De cara a calcular los parámetros restantes y, ante la falta de valores segregados del aeropuerto de Oporto, se establecerá como aeropuerto de referencia un aeropuerto de características similares. Para asegurar que existan tales datos, la selección del aeropuerto de referencia será entre los aeropuertos españoles, ya que en la web oficial aparecen todos datos mensuales de los aeropuertos. Es evidente que, aun así, faltarán los datos segregados diarios y horarios, por lo que no se podrán determinar los parámetros hora y día tipo/pico, por lo que se tendrá que buscar vías alternativas para su cálculo.

Es obvio que, en ningún caso, los datos serán realistas, ya que se tratan de de aeropuertos diferentes. Como ya se ha comentado con anterioridad en el apartado 3.1, al tratarse de un aeropuerto nuevo, el proceso nunca será igual de fiable que al realizar una previsión de tráfico para un aeropuerto existente, con una base de datos histórica del propio aeropuerto.

Para ello, se necesita la estimación de los pasajeros del aeropuerto de Braga. Este proceso se realizará en el siguiente apartado (apartado 3.2.2). Así que, el cálculo de los parámetros restantes se calculará acto seguido de dicho apartado.

3.2.2. Prognosis del tráfico

En este apartado, se buscará dar el número de pasajeros absorbidos por el aeropuerto de Braga respecto al aeropuerto de Oporto, además de determinar el número de operaciones/hora y otros valores de interés. Para ello, ante la falta de datos segmentados por horas, días y meses del aeropuerto de Oporto, se buscará un aeropuerto español de similares características al de Braga, para determinar todos estos valores, pese a que luego toque hacer las correcciones oportunas. Al fin y al cabo, como bien su nombre indica, no deja de ser una predicción.

En primer lugar, tal y como se ha comentado anteriormente, la intención es descongestionar parte de los vuelos internacionales del aeropuerto de Oporto (de manera muy puntual y como alternativa Low Cost), pero sobre todo captar una gran parte del tráfico nacional de dicho aeropuerto. Gracias a la gran cercanía entre aeropuertos (menos de media hora vía carretera, ya que son menos de 47 km), así que el hecho de destinarlos de dicho lugar puede ser fácilmente ejecutable.

Es por esto, que se buscaría dar un servicio regular a destinos nacionales (como puede ser Lisboa o Faro, este último con menos frecuencia) y a destinos internacionales de gran interés (como

por ejemplo, Barcelona, Madrid, París, Frankfurt o Londres, destinos más populares del aeropuerto de Oporto). Obviamente, la frecuencia de vuelos será significativamente menor a la del aeropuerto de Oporto.

Bajo la hipótesis de que el aeropuerto de Oporto ronda los 13-14 millones de pasajeros anuales y que, la ampliación programada aumentaría esta cifra a 20 millones de pasajeros. Con esto, la ampliación sería suficiente para 5-6 años al ritmo actual, hasta quedar de nuevo en un estado de saturación, y requerir de una nueva ampliación (el aeropuerto de Oporto solo cuenta con 1 pista), o bien la construcción de un aeropuerto complementario. Alguna de estas dos opciones será algo inevitable en un futuro próximo.

A partir de todas estas hipótesis y, que el objetivo principal del aeropuerto de Braga son los vuelos nacionales e internacionales a destinos importantes, se darán unos porcentajes de absorción para el presente proyecto, separados en escenarios pesimista, realista y optimista:

Vuelos regulares internacionales

- Pesimista: 2 %
- Realista: 5 %
- Optimista: 8 %

Vuelos regulares nacionales

- Pesimista: 20 %
- Realista: 25 %
- Optimista: 30 %

Los porcentajes serían aproximados y están basados en los siguientes principios:

- La gran influencia del aeropuerto de Oporto en la actualidad dificultaría la afluencia de pasajeros a aeropuertos secundarios
- Respetar la proporción de vuelos nacionales/internacionales anteriormente citada
- En cuanto a vuelos internacionales, las rutas serían en parte estacionales y con menor frecuencia que el aeropuerto de Oporto.
- El porcentaje de vuelos nacionales es elevado debido a que se daría servicio a todos los vuelos nacionales en el aeropuerto
- Tomando la proporción del aeropuerto de Vigo y el aeropuerto de Oporto en la actualidad (hasta la fecha era el aeropuerto regional más cercano) se ha establecido que los porcentajes de absorción son los anteriormente citados
- El porcentaje de vuelos internacionales no es aun menor ya que se está dando servicio a destinos muy demandados en el aeropuerto de Oporto.

Con el fin de simplificar el proceso, se tomarán los mismos porcentajes para la absorción de vuelos no regulares del aeropuerto de Oporto. Además, para realizar los valores iniciales, se tomará como año de referencia 2020, pese a que el ejercicio de este año aun no ha finalizado. Al ser valores no computados en la actualidad, se tomará como tendencia la del último año con valores reales, que es la de las tablas del apartado anterior.

Los datos de referencia serán:

Vuelos regulares

Año	Pasajeros totales	Pasajeros Internacionales	Pasajeros Nacionales
2020	14.158.894	11.751.881	2.407.013

Tabla 9: Valores de referencia iniciales para el cálculo de la absorción de pasajeros del aeropuerto de Oporto para vuelos regulares

Vuelos no regulares

Año	Pasajeros totales	Pasajeros Internacionales	Pasajeros Nacionales
2020	191.222	174.011	17.211

Tabla 10: Valores de referencia iniciales para el cálculo de la absorción de pasajeros del aeropuerto de Oporto para vuelos no regulares

Finalmente, la cantidad de pasajeros que obtendría el aeropuerto de Braga regulares a fecha de 2020 sería:

Vuelos regulares

Escenario	Pasajeros totales	Pasajeros Internacionales	Pasajeros Nacionales
Pesimista	716.440	235.038	481.402
Realista	1.189.347	587.594	601.753
Optimista	1.662.254	940.150	722.104

Tabla 11: Pasajeros estimados de vuelos regulares para el aeropuerto de Braga en 2020

Vuelos no regulares

Escenario	Pasajeros totales	Pasajeros Internacionales	Pasajeros Nacionales
Pesimista	6.922	3.480	3.442
Realista	13.003	8.701	4.302
Optimista	19.084	13.921	5.163

Tabla 12: Pasajeros estimados de vuelos no regulares para el aeropuerto de Braga en 2020

Pasajeros totales

Escenario	Pasajeros totales
Pesimista	723.362
Realista	1.202.350
Optimista	1.681.338

Tabla 13: Pasajeros totales estimados para el aeropuerto de Braga en 2020

3.2.3. Análisis del aeropuerto de referencia

En primer lugar, se realizará una lista de los principales aeropuertos españoles, de carácter regional, y que dispongan de un número de pasajeros anuales cercano al intervalo pesimista-optimista de la previsión de tráfico del aeropuerto de Braga, que es 723.362 - 1.681.338. Los resultados son de 2019, y se muestran en la siguiente tabla [29]:

Aeropuerto	Pasajeros	% Incremento	Operaciones	% incremento
La Palma	1.483.720	4.5 %	22.611	2.6 %
Asturias	1.417.433	1.2 %	13.406	7.7 %
A Coruña	1.352.583	10.3 %	17.199	-2.0 %
FGL Granada-Jaén	1.251.926	11.1 %	14.529	6.7 %
Seve Ballesteros-Santander	1.174.896	6.5 %	11.236	-0.2 %
Jerez de la frontera	1.120.742	-1.2 %	54.505	6.5 %
Aeropuerto internacional región de Murcia	1.090.954	-	7.976	-
Reus	1.046.062	0.8 %	7.976	4.9 %
Vigo	1.012.447	-10.4 %	11.524	-8.0 %
Almería	978.997	-1.3 %	11.777	-1.4 %

Tabla 14: Posibles aeropuertos regionales españoles de referencia para el diseño del aeropuerto de Braga

Nótese que el aeropuerto internacional región de Murcia no tiene datos de 2018 ya que empezó a operar en 2019.

Finalmente, se ha seleccionado como aeropuerto de referencia el aeropuerto de **FGL Granada-Jaén**. Los motivos son los siguientes:

- Número de pasajeros parecido al escenario realista del aeropuerto de Braga
- Incremento respecto al año anterior significativo (del mismo modo que el aeropuerto de Oporto, del cuál se absorberán vuelos para descongestionarlo)
- Aeropuerto de carácter regional a una distancia no muy lejana de un aeropuerto de dimensiones superiores (aeropuerto de Oporto en el caso del de Braga, aeropuerto de Málaga en el caso de Granada).
- Dimensiones de la pista casi idénticas, lo que significa que la aeronave de diseño es similar a la del aeropuerto de Braga, por lo que es muy probable que compartan número y letra de clave del aeródromo

- Número de destinos similares (19 en el caso de Granada y 21 en el caso de Braga)
- Destinos nacionales e internacionales, siendo algunos de ellos estacionales.
- Uso del aeropuerto mínimo o inexistente por parte de aeronaves más pequeñas, por lo que el número de operaciones anuales puede ser también un parámetro de referencia.
- Al igual que en el caso del aeropuerto de Braga, el aeropuerto no dispone de operaciones de mercancías.

Una vez seleccionado el aeropuerto de referencia, se procede a calcular los diferentes parámetros restantes del análisis: día punta, día tipo y mes punta. Además, se establecerá el número de operaciones/hora para el caso más restrictivo, con el fin de poder dimensionar los diferentes parámetros necesarios en apartados futuros. Para ello se dispone de los datos mensuales de pasajeros y operaciones del aeropuerto de Granada. Se utilizarán como referencia los más actuales, es decir, los de 2019 [30]. Éstos datos aparecen en la siguiente tabla:

Mes	Pasajeros	Operaciones
Enero	90.187	1.011
Febrero	89.652	1.097
Marzo	109.912	1.233
Abril	105.153	1.043
Mayo	108.102	1.343
Junio	110.164	1.642
Julio	110.835	1.294
Agosto	106.311	1.169
Septiembre	114.238	1.176
Octubre	109.107	1.329
Noviembre	97.235	1.162
Diciembre	101.750	1.024

Tabla 15: Datos del número de pasajeros y operaciones del aeropuerto de Granada en 2019 segregados a nivel mensual

Nótese que el mes pico en cuanto a pasajeros es Septiembre, con un total de 114.238. En operaciones, Junio es el mes pico con 1.642.

En primer lugar, se determinará el día punta y el día tipo. Para ello y, ante la falta de datos segregados, se realizará las siguientes hipótesis:

- El día pico se encontrará en el mes pico, datos que si están disponibles. Esto, en realidad, no tiene por qué ser así. De hecho, es probable que no lo sea. Sin embargo, en el aeropuerto del proyecto, al ser de carácter regional y con algunos vuelos estacionales, puede ayudar a que la probabilidad de que dicho día se encuentre en el mes pico sea más alta.
- Se dispone de los datos del aeropuerto de Barcelona segregados por horas y días del periodo de Septiembre 2003 a Septiembre 2004. A partir de éstos, se intentará modelizar la aproximación para los números del aeropuerto de Granada. Se ha comparado el día pico de cada mes de dichos datos con el número total de pasajeros mensuales. En la siguiente

tabla se muestran los porcentajes:

Mes	Año	Día pico	Pasajeros del día pico	Pasajeros del mes	Porcentaje
Septiembre	2003	15(Lun)	82.985	2.110.707	3,932 %
Octubre	2003	3(Vie)	78.088	2.081.200	3,752 %
Noviembre	2003	11(Vie)	71.990	1.687.351	4,266 %
Diciembre	2003	8(Lun)	68.946	1.554.818	4,434 %
Enero	2004	30(Vie)	61.505	1.476.385	4,166 %
Febrero	2004	27(Vie)	75.810	1.623.923	4,669 %
Marzo	2004	26(Vie)	84.140	1.944.727	4,327 %
Abril	2004	12(Lun)	95.468	1.932.769	4,939 %
Mayo	2004	28(Vie)	88.913	2.008.997	4,256 %
Junio	2004	28(Lun)	85.499	2.183.639	3,915 %
Julio	2004	30(Vie)	84.254	2.340.381	3,600 %
Agosto	2004	15(Lun)	95.401	2.503.592	3,811 %
Septiembre	2004	13(Lun)	85.470	2.124.870	4,022 %

Tabla 16: Datos del número de pasajeros del aeropuerto de Barcelona en el periodo Septiembre 2003 - Septiembre 2004

- No se dará la fecha de dicho día ya que, a términos de diseño, lo que importa es cuantificar el número de pasajeros de dicho día
- Para la determinación del día tipo, se utilizará el criterio del 85 % (el día tipo tendrá el 85 % de los pasajeros del día pico).

Con estas hipótesis, es posible determinar ambos días a partir de los datos anteriores. En primer lugar, se ha realizado la media de los porcentajes de la tabla anterior, para determinar que porcentajes se utilizarán. Nótese que el rango de los porcentajes es de 3,600 a 4,939. La media de los porcentajes es: 4.507. Este valor será el que se tomará para la determinación del día pico para el aeropuerto de Granada.

A partir de las tablas 15 y 16, el número de pasajeros del día pico del aeropuerto de Granada será 5149 PAX (pasajeros). Aplicando el criterio del 85 %, el día tipo tiene un número de pasajeros de 4377 PAX. Aplicando la misma proporción a las operaciones, se obtiene que el número de operaciones del día pico es 74 operaciones.

Una vez calculados los valores del día tipo y día pico, se calculará el mes pico, algo que es inmediato. Viendo la tabla 15, se obtiene que el mes pico será Septiembre, con un total de pasajeros de 114.238. Hay que añadir que, en el periodo de Marzo a Octubre, se mantiene un valor alto de pasajeros respecto a los meses restantes del año.

Por último, el número de operaciones/hora puede ser aproximado del valor calculado anteriormente, donde el día pico tenía un total de 74 operaciones. Dividiendo las operaciones entre las 24 horas que tiene un día, se obtiene un valor de 3.083 op/hora. Sin embargo, el valor de interés para dimensionar el aeropuerto es el de op/hora máximo que se tendrá en el aeropuerto. Para ello, se seguirá exactamente el mismo proceso que para el día pico y tipo. A partir de los datos de movimiento de aeronaves en el aeropuerto de Barcelona en las mismas fechas que en el caso

anterior, se obtendrá un porcentaje del valor de la hora pico en relación a las operaciones del día correspondiente. Para ello, se buscará el día pico analizado anteriormente del aeropuerto de Barcelona (12 de Abril) y se buscará la hora con operaciones máximas y el valor total de operaciones del día. Estos valores son, respectivamente, 62 y 921, lo que comporta un 6,732 %. Con esto, el valor máximo de op/hora que se tendrá será de 4.982 op/hora, que aproximando resulta en 5 op/hora.

3.2.4. Interpretación y ajuste de los resultados

Una vez se tienen los valores del aeropuerto de referencia, el aeropuerto de Granada, es posible determinar los posibles valores del aeropuerto de Braga. Debido a las grandes semejanzas entre ambos aeropuertos descritas con anterioridad, es posible tomar directamente los valores calculados en el aeropuerto de Granada como valores válidos para el aeropuerto de Braga, sin necesidad de aplicar ninguna corrección adicional (en caso de realizar alguna modificación, se podrán disminuir el número de operaciones, ya que el uso del aeropuerto de Braga para operaciones de aeronaves de menor tamaño sería residual).

Los valores son los siguientes:

Parámetro	Valor
Pasajeros del día pico	5.149
Pasajeros del día tipo	4.377
Pasajeros del mes pico	114.238
Operaciones/hora	3
Operaciones/hora máximas	5

Tabla 17: Parámetros de la previsión de tráfico del aeropuerto de Braga

3.2.5. Previsión de tráfico

En este último apartado de este capítulo, se proporcionará el diagrama de tráfico del aeropuerto de Braga para corto/medio/largo plazo, para los casos pesimista/realista/optimista. Para ello, se utilizarán como datos de partida los datos estimados en el primer apartado de esta sección. Además, se utilizará el CAGR (Tasa de crecimiento anual compuesto) como método para determinar el tráfico a corto plazo (5 años vista, hasta 2025), para después aplicar un factor de relajación para el medio/largo plazo (15 y 30 años, respectivamente). El CAGR, en este caso, es del 9,8% (crecimiento del aeropuerto de Oporto en 2019). Para mostrar dicha previsión, se ha realizado un código en Matlab, que aparecerá en el anexo correspondiente:

Finalmente, los resultados se muestran en la siguiente figura:

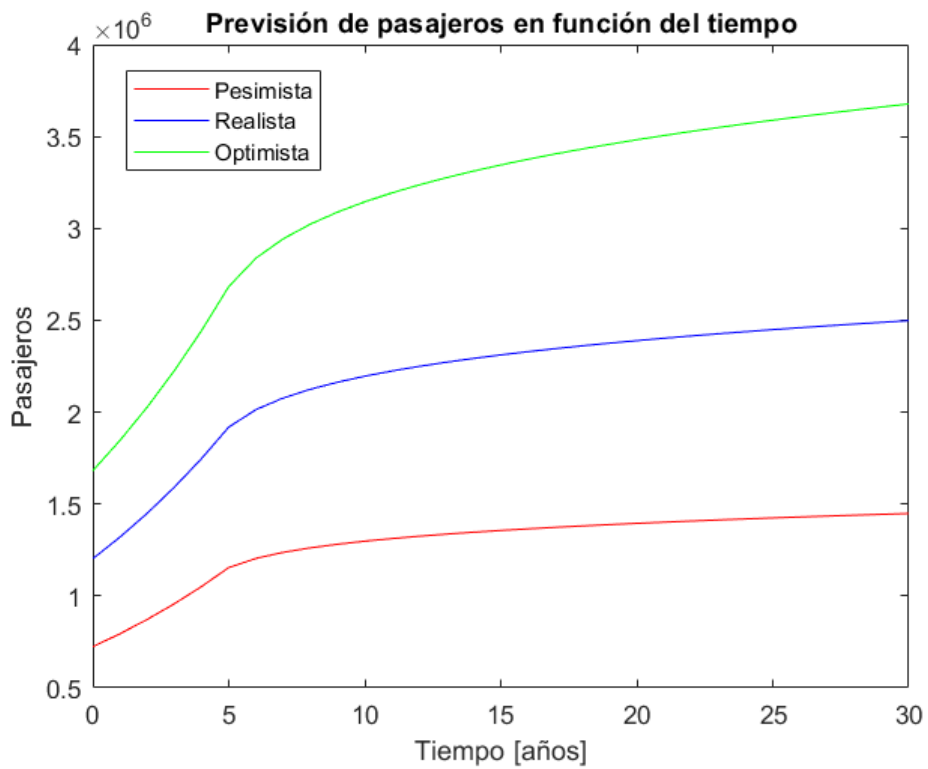


Figura 7: Previsión de tráfico en función del tiempo
Elaboración propia

Caso	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo
Pesimista	1.154.400	1.356.300	1.448.500
Realista	1.918.900	2.311.500	2.498.100
Optimista	2.683.300	3.345.100	3.677.200

Tabla 18: Parámetros de la previsión de tráfico del aeropuerto de Braga

4. Aeronave de diseño y clave de referencia del aeropuerto

En este capítulo se darán a conocer la aeronave de diseño y la clave de referencia del aeropuerto, parámetros clave para el diseño del lado aire del aeropuerto.

4.1. Aeronave de diseño

En este apartado se determinará la aeronave de diseño del aeropuerto, así como las características de la misma, como por ejemplo envergadura, longitud o pesos de la aeronave, entre otras. Después, se calculará la longitud de campo de referencia de la aeronave, ya que se necesitará para la definición de la clave de referencia del aeropuerto o para el cálculo de la orientación de la/s pista/s.

4.1.1. Determinación de la aeronave de diseño del aeropuerto

Analizando las diferentes rutas nacionales e internacionales de corto alcance del aeropuerto de Oporto en la actualidad, se buscará la aeronave de diseño del aeropuerto de Braga.

De todas las rutas vistas anteriormente, los vuelos nacionales (mayor importancia en el aeropuerto a diseñar) más lejanos serían los de Braga a las islas Azores (aeropuertos de Ponta Delgada y Terceira). Para estos aeropuertos, se ha buscado que aerolíneas dan servicio (ver tabla 7) a estos trayectos. Estas son Ryanair y Azores Airlines.

Analizando la flota de las compañías y que aviones han utilizado en los últimos tiempos para dichos trayectos, se obtiene una lista de tres diferentes aviones. La aeronave de diseño del aeropuerto será la aeronave más restrictiva de las 3, es decir, la de mayores dimensiones. El Boeing 737 NG MAX es el avión utilizado por Ryanair para el trayecto Oporto-Ponta Delgada, el avión A320 es el avión utilizado por Azores Airlines para el trayecto Oporto-Ponta Delgada (también usan el A319, pero al ser de dimensiones y características inferiores al resto de aviones, no se le ha incluido en la tabla) y el avión A321 es el avión utilizado por Azores Airlines para el trayecto Oporto-Terceira. Las especificaciones básicas de las aeronaves se muestran en la siguiente tabla (tabla 19):

	Boeing 737 NG MAX [31]	A320 [32]	A321 [33]
Envergadura [m]	35.9	34.1	35.8
Longitud [m]	35.59	37.60	44.51
Rango [km]	7130	6100	5600
Peso máximo de despegue [kg]	72303	78000	89000
Capacidad (1 clase) [PAX]	170	180	220

Tabla 19: Aeronaves más restrictivas de diseño

En este caso, la aeronave más restrictiva de las 3 y, por lo tanto, la aeronave de diseño del aeropuerto, será el A321.

4.1.2. Cálculo de la longitud de campo de referencia (LCR) de la aeronave de diseño

En este apartado se calculará la longitud de campo de referencia del A321. Este valor será necesario para encontrar las limitaciones de viento transversal, de cara a determinar la orientación de la pista.

El LCR de una aeronave es la mínima longitud de campo necesaria para el despegue bajo las siguientes condiciones:

- A máximo peso de despegue
- A nivel del mar
- En atmósfera tipo según la ISA (International Standard Atmosphere)
- Sin viento
- Con pendiente de pista cero y superficie seca

En el documento de especificaciones del A321, se encuentra todo tipo de información sobre el avión. En este caso, concretamente, se necesita el gráfico de despegue que relaciona el peso de despegue con la longitud de la pista. Dicho gráfico se muestra en la figura 8:

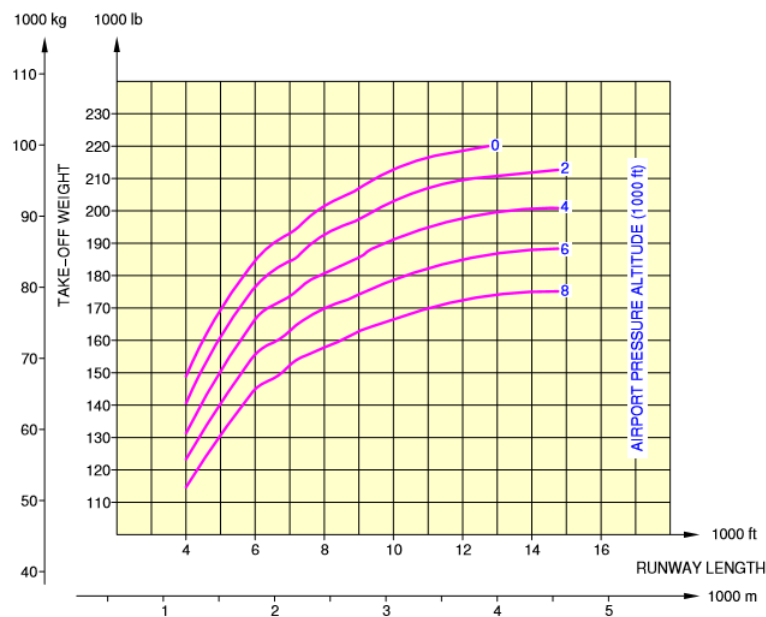


Figura 8: Peso de despegue del A321 en función de la distancia de la pista

Adaptado de AIRBUS A321[34]

Hay que recordar que, el A321, tiene un peso máximo de despegue de 89000 kg. A partir de este dato e introduciéndolo en el gráfico anterior, es posible lograr el valor de la LCR. Para ello, se entrará a la gráfica por el peso de despegue con el valor del máximo peso de despegue del A321, cruzando con la línea de color rosa perteneciente al 0 (condiciones de nivel del mar, como

ya se ha comentado anteriormente), para así salir por la zona inferior del gráfico obteniendo la distancia de pista. El proceso para lograr el LCR se muestra en la figura 9:

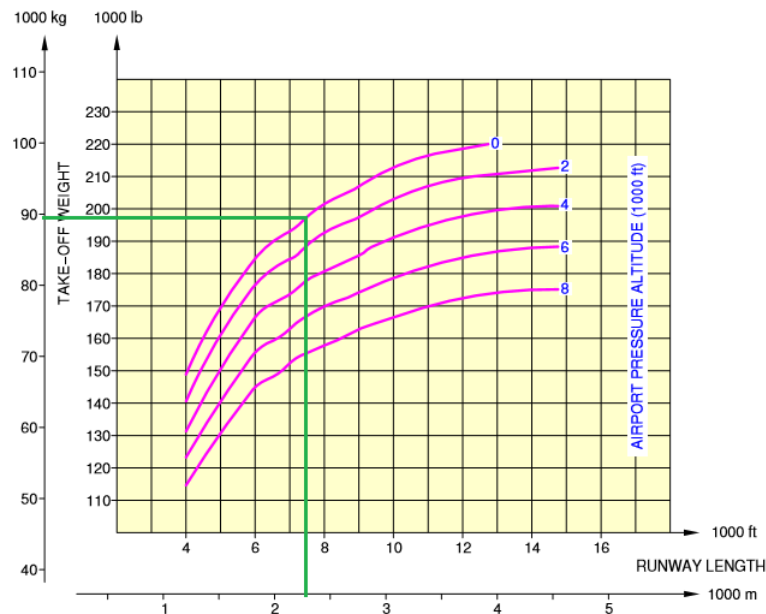


Figura 9: Obtención del LCR del A321
Adaptado de AIRBUS A321[34]

Con lo que se puede concluir que, el valor del LCR del A321 en estas condiciones, es de 2300 m.

4.2. Clave de referencia del aeropuerto

La clave de referencia de un aeródromo se compone de un número de clave y de una letra de clave. El número de clave dependerá del LCR de la aeronave de diseño y la letra de clave dependerá de la envergadura (e) y de la anchura exterior del tren de aterrizaje principal (a) de la aeronave de diseño.

Para el cálculo de la clave de referencia del aeropuerto, se necesitarán estos tres parámetros. Los valores de éstos, en el caso del aeropuerto de Braga, son:

- LCR = 2300 m
- e = 35.8 m
- a = 8.97 m [33]

En la siguiente figura, aparecerá la tabla de la normativa donde se establecen las diferentes claves según los diferentes parámetros, competencia de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional, organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas, ONU, creado en 1944 para ejercer la administración y velar por la aplicación del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, el convenio de Chicago):

Núm. de clave (1)	Elementos 1 de la clave		Elementos 2 de la clave	
	Longitud de campo de referencia del avión (2)	Letra de clave (3)	Envergadura (4)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal ^a (5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Figura 10: Clave de referencia del aeropuerto según el anexo 14 de la OACI en función de los diferentes parámetros

Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición[35]

Siguiendo la normativa del anexo 14 de la OACI (ver figura 10), se puede concluir que la clave de referencia del aeropuerto será **4C**.

5. Diseño del lado aire del aeropuerto

Este capítulo está dedicado al diseño del lado aire del aeropuerto. En él, se encontrará un análisis de vientos del lugar, el estudio de la climatología, el diseño de las pistas y calles de rodadura y la definición de las servidumbres aeronáuticas.

5.1. Estudio de la climatología del lugar

Tal y como se ha realizado en el apartado de comparación de una manera más general (sección 2.3.5), se hará un estudio de la climatología del lugar, detallando de la mejor forma posible todas las variables y características del lugar.

En primer lugar, decir que la fuente de los datos [37] está basada en un estudio estadístico de informes climatológicos históricos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016.

Finalmente, añadir que, debido a que no se selecciona un lugar exacto (sí una zona apta) y, que la distancia entre ésta y la ciudad es relativamente baja, se ha tomado la altitud de Braga como la altitud del aeropuerto, que es de 188 metros.

5.1.1. Temperatura

La temporada templada de Braga dura aproximadamente 3 meses, del 21 de junio al 17 de septiembre. La temperatura máxima media diaria es de unos 24°C, siendo el día más caluroso del año el 28 de julio (con una temperatura máxima media de 27°C y una temperatura mínima media de 16°C).

La temporada fresca de Braga dura 3.6 meses, del 17 de noviembre al 4 de marzo. La temperatura máxima media diaria es de unos 15°C, siendo el día más frío del año el 15 de enero (con una temperatura mínima media de 5°C y una temperatura máxima media de 12°C).

En la figura 11, se muestra un gráfico de las temperaturas máximas y mínimas medias de Braga a lo largo del año, donde se puede apreciar lo comentado previamente. Remarcar que la línea roja del gráfico corresponde a la temperatura máxima y la línea azul corresponde a la temperatura mínima. Las bandas que las cubren corresponden a los percentiles 25 a 75 y 10 a 90.

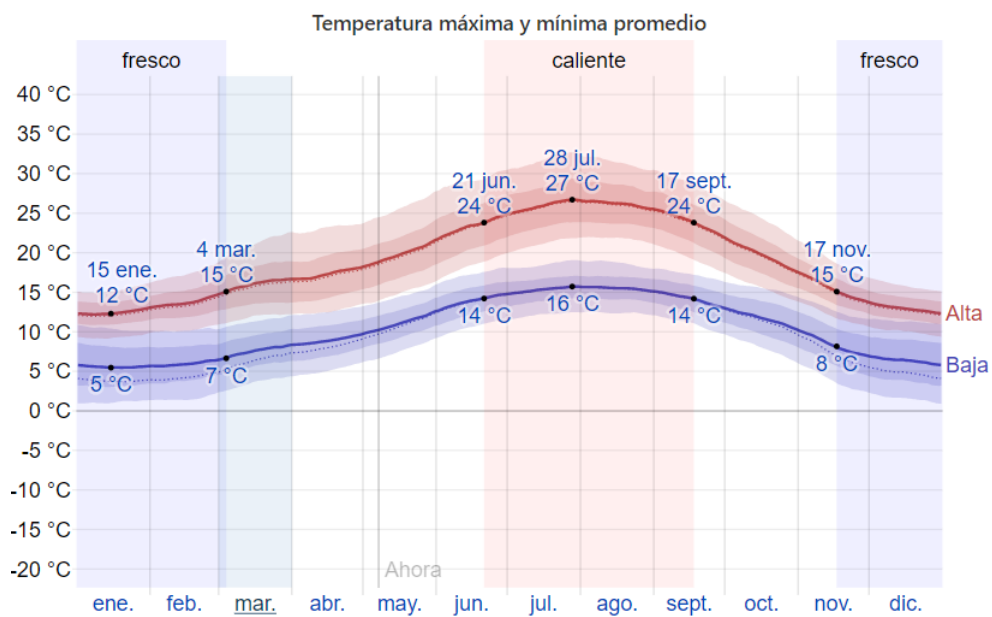


Figura 11: Temperaturas máxima y mínima media mensual de Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

En la figura 12, se muestra un gráfico de las temperaturas medias por hora anuales. Como se puede observar, en el eje vertical aparecen las horas y en el eje horizontal aparecen los meses del año. Pese a no aparecer debido a la escala del gráfico, entre cada mes se puede apreciar que existen variaciones y no son elementos discretizados, ya que se han tenido en cuenta todos los días del año. Por último, añadir que las áreas sombreadas indican la noche y el crepúsculo civil. Las escalas aparecen en la zona inferior del gráfico.

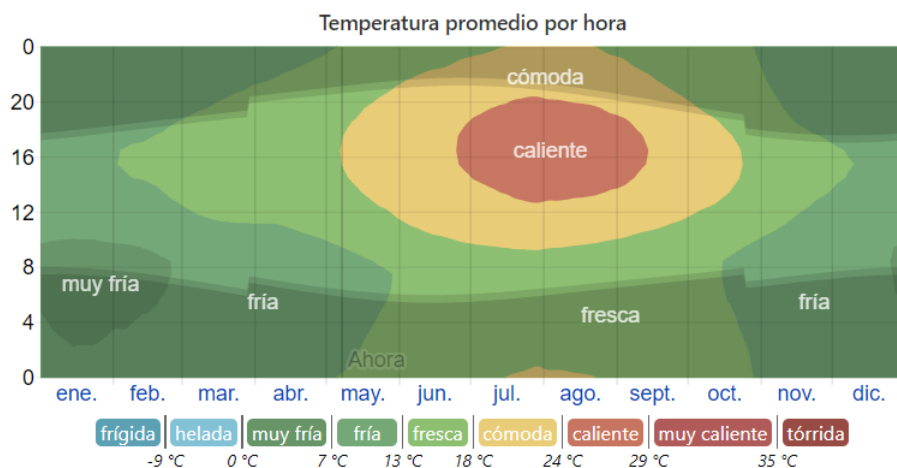


Figura 12: Temperaturas medias por hora anuales de Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

Se puede observar que, el clima, no es muy extremo y, que en su gran mayoría, es cómodo/fresco, a excepción de determinadas horas de verano, donde el clima es caliente, y determinadas horas de invierno, donde el clima es muy frío.

5.1.2. Nubes y precipitaciones

Como ya se ha indicado anteriormente, Braga es una zona de altas precipitaciones. A continuación, se cuantificarán las precipitaciones a partir de gráficos, así como la nubosidad de la zona.

En primer lugar, se analizará la nubosidad, es decir, la presencia de nubes en la atmósfera. En la figura 13 se muestra la nubosidad a lo largo del año en Braga.

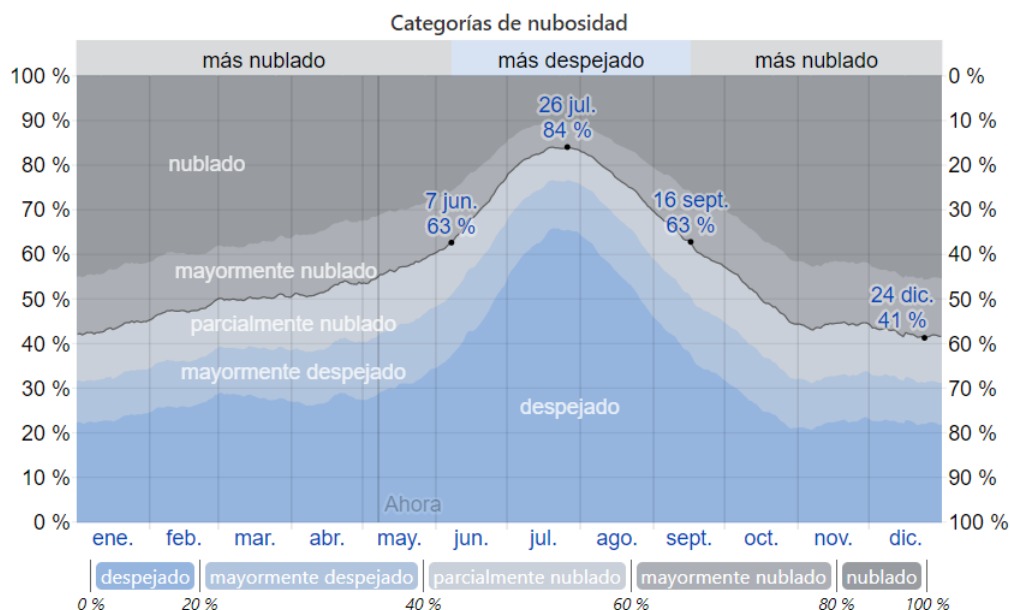


Figura 13: Nubosidad anual en Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

Como se puede observar, Braga es una zona muy nublada durante la mayoría del año. Únicamente durante el invierno, el inicio de la primavera y el final del otoño, Braga se mantiene en el rango de parcialmente nublado (40-60%), mientras que en verano la tendencia es estar mayormente nublado y, puntualmente, nublado (el máximo se ubica el 26 de julio, con un 84% de nubosidad).

En relación a las precipitaciones, la temporada más mojada de Braga dura, aproximadamente, 8 meses (de 24 de septiembre a 29 de mayo), con una probabilidad de más del 23% de día mojado. Se recuerda que, un día mojado, es aquel día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente. La temporada más seca dura, aproximadamente, 4 meses (del 29 de mayo al 24 de septiembre). Con estos datos, se puede concluir que Braga es una zona de alta frecuencia de precipitaciones. A partir del gráfico de la figura 14, se puede observar todo lo comentado anteriormente de forma cuantificada. En él, se muestra la probabilidad diaria de precipitación en Braga.

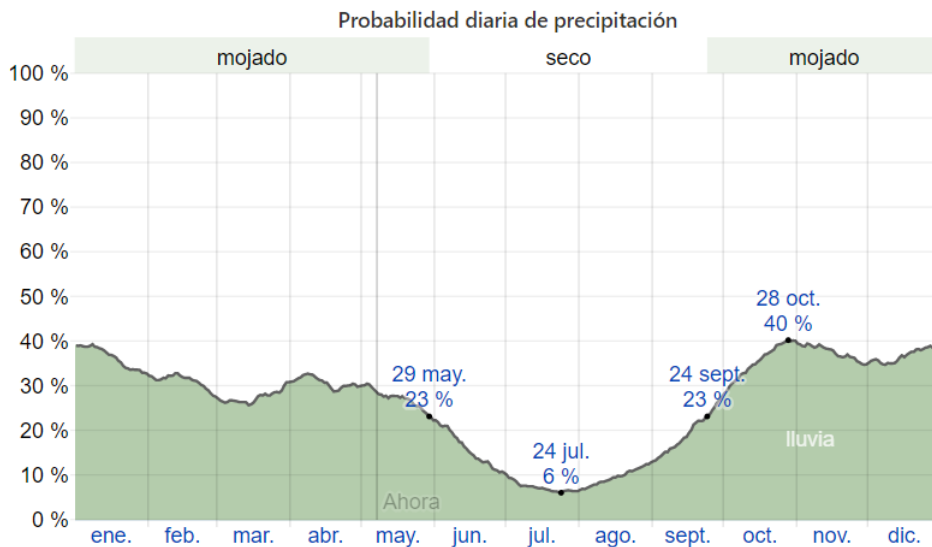


Figura 14: Probabilidad diaria de precipitación en Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

Por último, se cuantificará la cantidad de lluvia (precipitación más importante y más habitual en Braga, debido a las características de temperatura de la zona) que cae durante el año (ver figura 15).

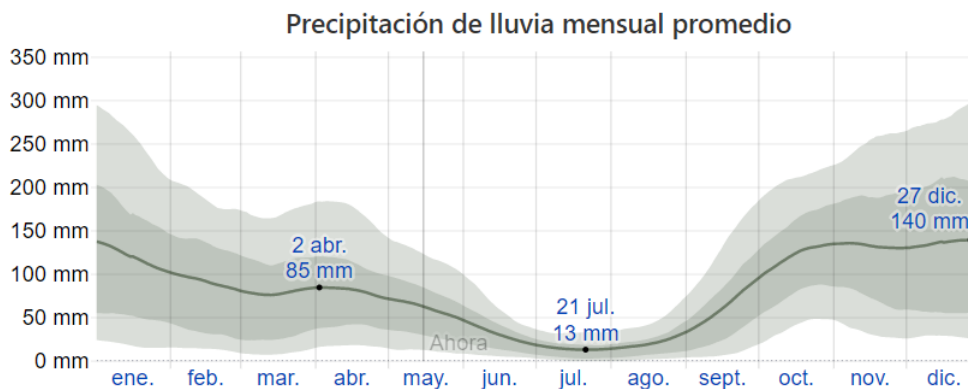


Figura 15: Precipitación de lluvia mensual promedio en Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

5.1.3. Análisis de vientos

Como último aspecto importante, se realizará un análisis de los vientos de la zona. Este aspecto será de gran importancia a la hora de determinar la orientación de las pistas, ya que éstas deben cumplir la normativa correspondiente. Todo esto, será explicado en apartados posteriores (diseño y orientación de las pistas).

En la primera imagen (figura 16), se muestra la velocidad promedio del viento durante los diferentes meses del año. Las bandas con las diferentes tonalidades de gris representan los per-

centiles de 25 a 75 y de 10 a 90, siendo el primero el más oscuro y, el segundo, el más claro.

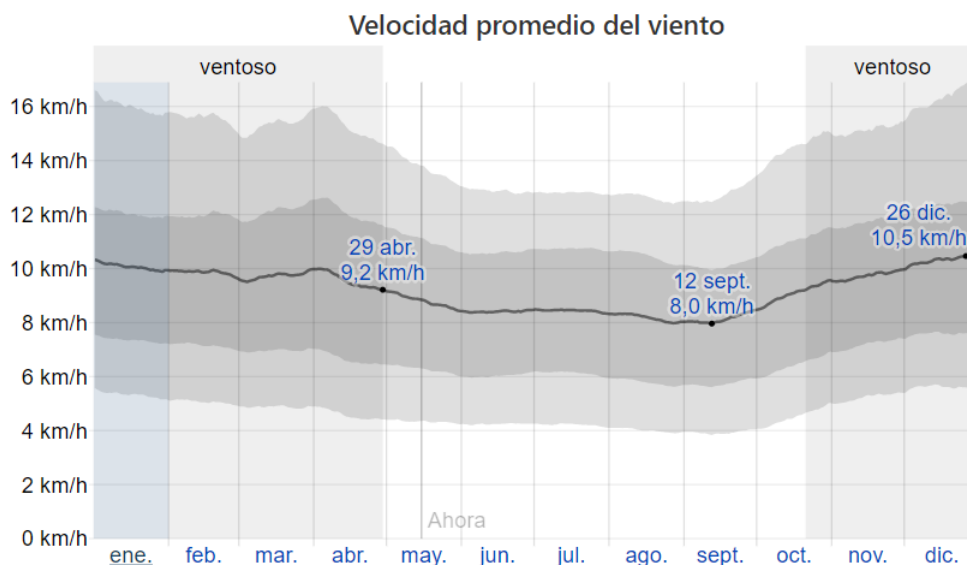


Figura 16: Velocidad promedio del viento anual en Braga

Se puede observar que la parte más ventosa del año es del 21 octubre al 29 de abril, con velocidades promedio de 9,2 km/h. El día más ventoso del año es el 26 de diciembre, con una velocidad de 10,5 km/h. El resto del año pertenece a la parte más calmada del año, con una velocidad promedio de 8,0 km/h. Pese a esto, no existe una gran diferencia entre las diferentes partes del año, así que se podría decir que la variación entre éstas es leve. De todos modos, Braga no es considerada una ciudad con una gran afectación por los vientos (al contrario). Por poner un ejemplo, Barcelona [38], tiene un promedio de 12,4 km/h, con una máxima de 14,0 km/h y una mínima de 10,9 km/h, y tampoco es considerada una ciudad con una gran afectación por los vientos, aunque ya más significativa que en Braga.

En la figura 17, es posible observar la dirección del viento en Braga. El gráfico muestra el porcentaje del viento según la dirección, separada en sur, este, oeste y norte, con diferentes tonalidades.

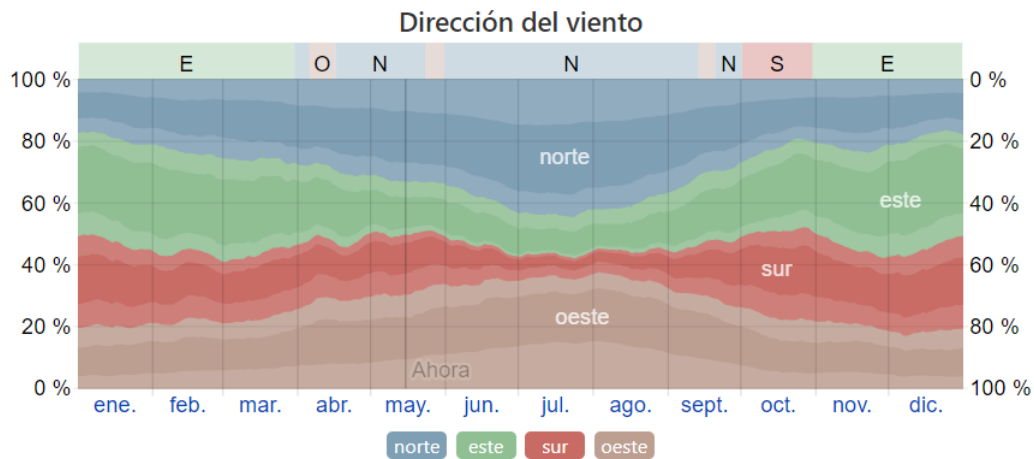


Figura 17: Dirección del viento anual en Braga
Adaptado de Weather Spark.[37]

A partir de los gráficos 16 y 17, es posible generar la rosa de los vientos del lugar. Este nuevo gráfico, mostraría de forma simultánea la información de los gráficos anteriores, mostrando la dirección y la velocidad del viento. La rosa de los vientos es de gran ayuda a la hora de seleccionar y analizar la orientación de las pistas, ya que facilita y acelera el proceso.

A continuación, se muestra la rosa de los vientos de Braga (ver figura 18):

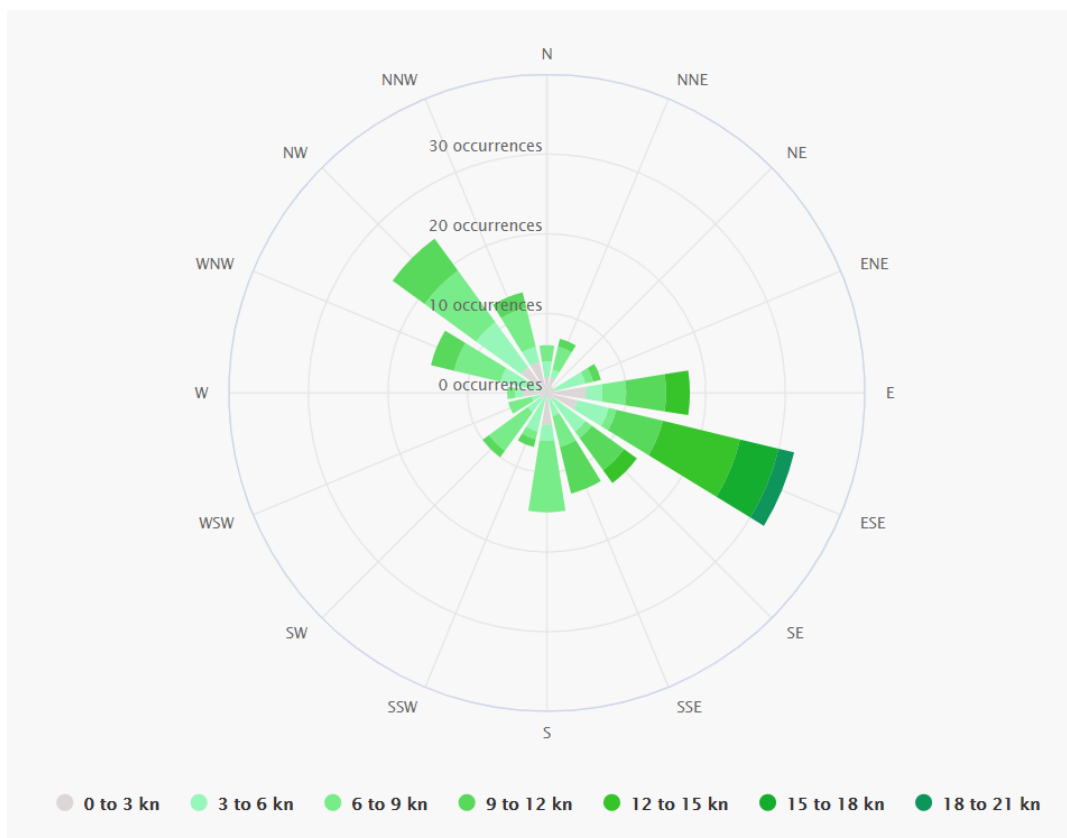


Figura 18: Rosa de los vientos de Braga
Adaptado de Meteo Blue.[39]

Se puede observar que, la precisión del gráfico en cuanto a las direcciones se refiere, es de 22.5 grados (cada cuadrante está dividido en 4 partes iguales). En el caso de la precisión de la velocidad del viento, la precisión es de 3 nudos, donde cada subgrupo está representado por una tonalidad del color verde, como se muestra en la leyenda del gráfico. Como ya se ha dicho anteriormente, este gráfico será utilizado en apartados posteriores.

5.2. Orientación de la/s pista/s

En este apartado se calculará la orientación de la/s pista/s. El diseño de éstas [43], se realiza con la intención de minimizar operaciones con viento transversal y con viento de cola. Esto es debido a la peligrosidad del aterrizaje bajo estas circunstancias (peor maniobrabilidad y condiciones más extremas, o viento de cola que dificulte el frenado del avión). Es por esto, que la OACI, en el anexo 14, recomienda unos valores máximos de componentes transversales del viento en función de la longitud de campo de referencia de la nave (LCR).

Para el diseño, se definirá el coeficiente de utilización del aeródromo como el porcentaje de tiempo durante el que es posible la utilización de la pista cumpliendo las limitaciones de las componentes transversales del viento.

El número y orientación de las pistas deben ser tales que dicho coeficiente no sea inferior al 95 %.

Es por esto, que si con una pista no se cumplen dichos requisitos, será necesario la construcción de pistas adicionales.

Los valores recomendados por la OACI son los siguientes:

- $LCR \geq 1500$ m: 37 km/h
- $1200 \text{ m} \leq LCR < 1500$ m: 24 km/h
- $LCR < 1200$ m: 19 km/h

5.2.1. Cálculo de la orientación de la/s pista/s

A partir del valor del LCR obtenido y, de las recomendaciones de la OACI anteriormente citadas, se puede concluir que el máximo viento transversal será de 37 km/h. Para el cálculo de las diferentes absorciones de viento en función de la dirección y de su intensidad, se ha elaborado un código para poder visualizar el diagrama de frecuencias y coeficientes de utilización, un gráfico donde se puede ver claramente las direcciones válidas. El programa se basará en la rosa de los vientos (figura 18) vista anteriormente. Adicionalmente, se añadirá la restricción de viento transversal para las otras dos posibilidades de LCR, para tener una visión global, ya que existe la probabilidad de que alguna de las aeronaves que operen en el aeropuerto pertenezcan a uno de estos grupos. El código del programa se podrá encontrar en el anexo correspondiente.

El gráfico obtenido es el mostrado en la figura 19

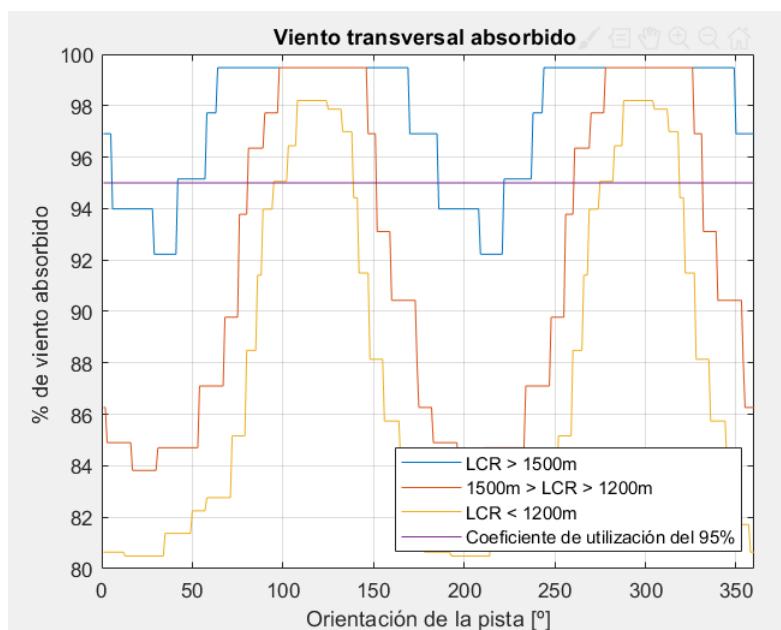


Figura 19: Viento transversal absorbido en función de la dirección de la pista

Elaboración propia

Es posible observar que, para una gran cantidad de direcciones, la cantidad de viento absorbido para el caso de la aeronave de diseño (línea azul), es superior al límite de 95 % (de hecho,

el valor es cercano al 100 %). Esto es debido a que, la rosa de los vientos de Braga, está muy concentrada en dos direcciones, en comparación al resto. También es posible observar que hay direcciones donde los casos de LCR inferiores también superan el 95 %. Es por esto, que la orientación escogida debe estar entre 109° y 124°, donde el coeficiente en el caso de LCR intermedio coincide con el de LCR superior (con un valor de 99.48 %) y donde el coeficiente de menor LCR tiene un valor máximo, de 98.2 %.

Finalmente, la orientación de la pista será 102°/282°, valor escogido dentro del rango anteriormente mencionado. En el caso real, dentro del rango favorable, se escogería la orientación en función del terreno físico disponible, ya que puede que una dirección concreta fuera favorable respecto a las otras, siempre dentro del rango de operabilidad máxima.

5.3. Cálculo del número de pistas necesarias y su nomenclatura

El proceso del cálculo del número de pistas necesarias se hará siguiendo el método propuesto por la FAA (Federal Aviation Administration) en el informe RD-74-124 de junio de 1976, analizado en la última edición de la AC 150/5060-5. Este método clasifica a los aviones que operan en el aeropuerto en 4 clases diferentes [41]:

- A: Monomotores pequeños, de masa 5.670 kg o inferior
- B: Multimotores pequeños, de masa 5.670 kg o inferior
- C: Aviones medianos, de más de 5.670 kg y menos de 136.000 kg
- D: Aviones grandes, de más de 136.000 kg.

Con estos datos, se determinará la mezcla de aeronaves a través de un índice, el índice de mezcla, que se calcula de la siguiente forma:

$$i = \%C + 3\%D \quad (1)$$

Básicamente suma los porcentajes de aviones de las categorías C y D siguiendo la anterior expresión.

En el caso del aeropuerto de Braga, la aeronave de diseño (aeronave más restrictiva) tiene un peso máximo inferior al límite entre la categoría C y D. En otras palabras, el 100 % de las aeronaves pertenecen a la categoría C. Es por esto, que el índice de mezcla del aeropuerto es:

$$i = \%C + 3\%D = 100$$

En la figura 20 se muestra las características de un diseño de pistas con 1 única pista:


Configuración de pistas	Índice de mezcla % (C + 3D)	Capacidad Operac/h		Volumen de servicio anual Oper/año
		VFR	IFR	
1. 	0 a 20	98	59	230 000
	21 a 50	74	57	195 000
	51 a 80	63	56	205 000
	81 a 120	55	53	210 000
	121 a 180	51	50	240 000

Figura 20: Características del diseño de 1 única pista en función de diferentes parámetros
Adaptado de UPC. ESEIAAT. Ingeniería Aeroportuaria [41]

Se puede observar que, para el índice de mezcla obtenido (100), la capacidad horaria en VFR (Visual Flight Rules) es de 55 y la capacidad horaria en IFR (Instrumental Flight Rules) es de 53, además de tener un valor límite de 210.000 operaciones anuales. Todas estas premisas se cumplen en el aeropuerto de Braga. Es más, a día de hoy, habría mucho margen de cara a aumentos de operaciones futuras para esta configuración. Es por esto que, el aeropuerto de Braga tendrá **una única pista**. Esto es algo esperable ya que, en la actualidad, el aeropuerto de Oporto también dispone de una única pista, siendo un aeropuerto con más operaciones anuales que el de Braga.

Para determinar la nomenclatura de la pista, en el caso que corresponde, es teóricamente sencillo, debido a que solo hay una pista. En el caso de haber habido varias paralelas, se tendría que haber aplicado la respectiva norma establecida en el anexo 14 de la OACI. En este caso, sólo se tendrá que tener en cuenta la declinación magnética del lugar (a la que se le asignará el nombre de δ), para la denominación de la pista. Las características magnéticas de Braga [42] se muestran en la siguiente tabla:

Característica	Valor
Latitud	41° 32' 60" N
Longitud	8° 25' 60"
Declinación magnética (δ)	-1° 46' (Decl. negativa: Oeste)
Inclinación	56° 14'
Intensidad del campo magnético	45136.4 nT

Tabla 20: Características geográficas y magnéticas de Braga

La norma dice que, la declinación magnética hay que restarla del azimut (norte geográfico) si se encuentra en el Este y sumarla si está en el Oeste. En este caso, Braga está inclinado hacia el oeste, por lo que será necesario sumar la declinación al azimut. Al ángulo entre la dirección (eje) de la pista y el azimut, se le designará el nombre de β . Finalmente, el valor de la suma (se denominará al ángulo resultante como α) es:

$$\alpha = \beta + \delta = 102^\circ + 1,76^\circ = 103,76^\circ \approx 104^\circ \quad (2)$$

En la siguiente figura, se puede apreciar de forma más clara el cálculo. En ella, se muestran las direcciones de los nortes magnético (N_m) y geográfico (N_g), así como el ángulo δ . La dirección de la pista, lógicamente, no coincide con el caso del aeropuerto, al ser una imagen explicativa

como ejemplo y aclaración de los ángulos (nótese que en el ejemplo la declinación magnética también es negativa, es decir, oeste, y por eso el ángulo total, α , también resultaría de la suma de los ángulos β y δ).

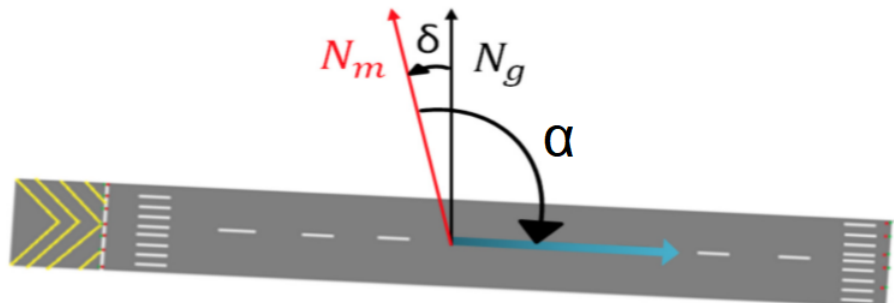


Figura 21: Ejemplo explicatorio de la aplicación de la inclinación magnética a la nomenclatura de la pista

Elaboración propia

Para la denominación de las pistas, se redondea el ángulo magnético a la decena de grados sexagesimales más cercana. Finalmente, la denominación de la pista del aeropuerto de Braga es:

- 104° : pista **10** (cabecera en el noreste, orientación suroeste)
- $104^\circ + 180^\circ = 284^\circ$: pista **28** (cabecera en el suroeste, orientación noreste)

5.4. Categoría de la pista

En este apartado, se definirá la categoría visual de la pista del aeropuerto de Braga. Se recuerda que, los tipos de aproximación que se pueden tener son [?]:

- Aproximación visual: la aproximación se produce manteniendo la referencia visual del terreno de manera total o parcial y en condiciones de vuelo visual VFR.
- Aproximación instrumental: se permite a la aeronave realizar todas las fases de aproximación en condiciones de vuelo instrumental IFR hasta el aterrizaje o un punto donde se pueda tomar tierra visualmente.

Dentro de este grupo, se puede segregar aun en dos subgrupos más:

- Instrumental de no precisión: La información radioeléctrica (VOR,NDB: elementos de radioayuda para los aeronaves que se ubican en los aeropuertos) no incluye guía de trayectoria de descenso
- La aeronave recibe información de la alineación con respecto al eje de pista y de la trayectoria de descenso (ILS,MLS,PAR: igual que con el VOR o NDB, son elementos de radioayuda, aunque más precisos/completos que los anteriormente citados)

En el caso del aeropuerto de Braga, el diseño se debe realizar siguiendo la aproximación instrumental, concretamente de precisión. Dentro de este subgrupo, se clasifica la pista en 5 categorías diferentes, en función del alcance visual de pista (RVR: Runway Visual Range) y de la altura de decisión (a):

Categoría	Alcance Visual [m]	Altura de decisión [m]
CAT I	≥ 550	≥ 60
CAT II	≥ 350	$60 > a \geq 30$
CAT IIIa	≥ 200	< 30
CAT IIIb	$200 > RVR \geq 50$	< 15
CAT IIIc	0	0

Tabla 21: Categorías de aproximación instrumental de no precisión en función del alcance visual de pista y de la altura de decisión

Debido a la complicada meteorología de la zona (alta frecuencia y cantidad de precipitaciones, sobre todo en verano) sumado al terreno accidentado que rodearía al aeropuerto, se ha definido que la categoría de la pista es CAT IIIa. No se ha seleccionado una superior debido a que las condiciones tampoco son extremas (además, las adversidades se centran en una época concreta del año) y que el aeropuerto se situaría en la mejor zona posible para su visibilidad. Además, el equipamiento necesario para categorías de orden superior aumentaría los costes del proyecto.

5.5. Dimensionado de la pista

En este apartado se dimensionará la pista del aeropuerto (longitud, dimensiones de la pista y de otros elementos relacionados, como por ejemplo de la franja de pista, del área de seguridad de extremo de pista o de la plataforma de viraje).

5.5.1. Longitud de la pista

Se determinará la longitud de la pista en función de las características específicas del aeropuerto de Braga, a partir de las curvas de la aeronave de diseño (A321).

La distancia de despegue de la pista vendrá determinada por el LCR de la aeronave de diseño, aplicándole las correcciones necesarias de altitud, temperatura, pendiente y suelo mojado. El LCR del A321 ha sido calculado en apartados anteriores (ver figura 9), teniendo un valor de 2300 metros.

Siguiendo la normativa correspondiente de la OACI, las siguientes correcciones [44] serán realizadas:

- Corrección por altitud: la longitud básica seleccionada de la pista se debería aumentar un 7 % por cada 300 metros de elevación. El aeropuerto de Braga tiene una altitud de 188 metros.
- Corrección por temperatura: la longitud de pista debería ser aumentada a razón de 1 % por

cada 1 °C en que la temperatura de referencia del aeropuerto exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeropuerto. La temperatura de referencia [45] del aeródromo debería ser la media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondiente al mes más caluroso del año. En este caso, se tomará como temperatura de referencia los 27 °C, ya que es el máximo valor obtenido en los datos climatológicos vistos en el apartado 5.1.1 (ver figura 11).

La expresión para calcular la temperatura de la atmósfera tipo para una altitud cualquiera es:

$$T(h) = T_0 + k \cdot (h - h_0)$$

Siendo T_0 el valor de la temperatura a nivel del mar en atmósfera tipo, que vale 15 °C, k el gradiente de variación de la temperatura en la troposfera (zona de interés), que vale -6.5 °C/km y h_0 la altitud a nivel del mar, que vale, lógicamente, 0 m. Con todo esto, es posible calcular la temperatura a 188 m.

$$T(188) = 15 - 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot (188 - 0) = 13,778C$$

- Corrección por pendiente: cuando la longitud sea de 900 metros o superior, se debería aumentar a razón de un 10 % por cada 1 % de pendiente de pista. El lugar del emplazamiento deberá ser lo más llano posible o, en su defecto, nivelarlo, ya que las correcciones por pendiente son muy significativas. Debido a esto, se tomará un valor de 0.5 % de pendiente longitudinal, ya que dicha corrección afecta al aeropuerto debido a que la distancia del mismo supera los 900 metros de la condición para la corrección.
- Corrección por humedad/suelo mojado: se debería aumentar la longitud de la pista, aunque no se pueden dar cifras exactas de dicho aumento. Se puede aproximar dicha influencia (como recomendación) a unos 1000 ft (304.8 m) de más en condiciones de suelo mojado. Es evidente que, la corrección por riesgo de suelo helado, no se hará para este aeropuerto, ya que las temperaturas son superiores al límite de los 0 grados y, además, la gran mayoría de los vuelos se producirían en verano, lo que reduce aun más este riesgo. El valor escogido para corregir la distancia por pista contaminada (suelo mojado) para el aeropuerto de Braga es de 150 metros.

Siguiendo estas correcciones, es posible calcular la distancia de despegue de la pista del aeropuerto de Braga. Nótese que las correcciones son acumulativas.

$$Corr.altitud = 2300 + 2300 \cdot 0,07 \cdot \frac{188}{300} = 2400,9 m$$

$$Corr.temperatura = 2400,9 + 2400,9 \cdot 0,01 \cdot (27 - 13,778) = 2718,3 m$$

$$Corr.pendiente = 2718,3 + 2718,3 \cdot 0,10 \cdot 0,5 = 2854,2 m$$

$$Corr.mojado = 2854,2 + 150 = 3004,2m \approx 3004 m$$

Con esto, se obtiene una distancia de despegue de **3004 m**.

Del mismo modo, se calculará la distancia de aterrizaje del aeropuerto. Para ello, se necesitarán las gráficas pertinentes. Antes de ello, el peso máximo de aterrizaje del A321 es 75.500 kg [33].

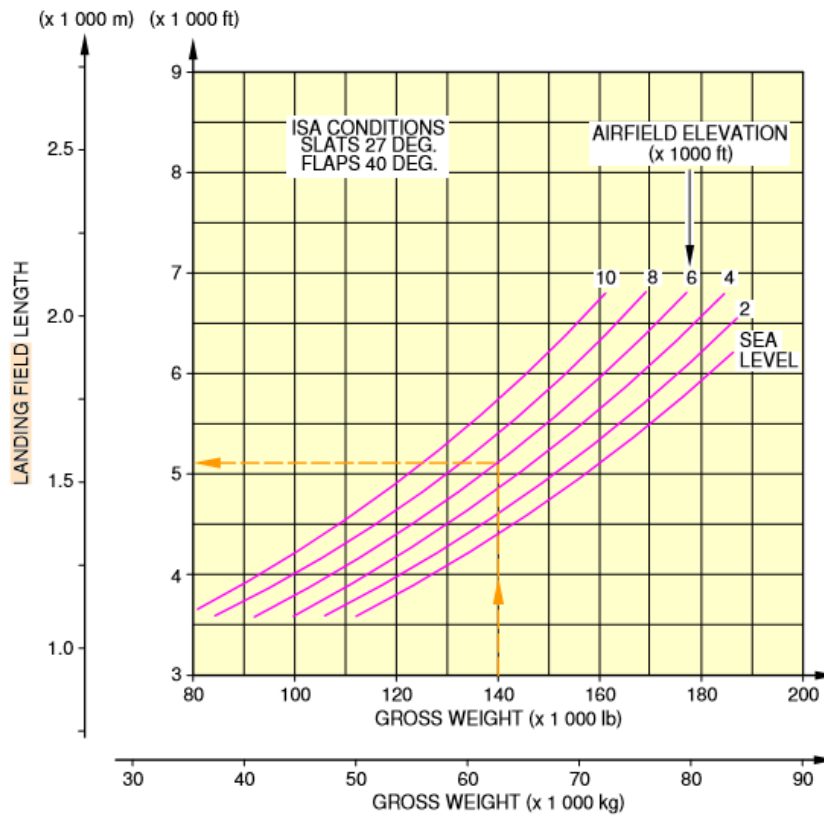


Figura 22: Distancia de aterrizaje en función del peso de aterrizaje
Adaptado AIRBUS A321 [33]

Como se ha realizado con el despegue, se entrará en la gráfica por el peso (con el máximo peso de aterrizaje) y se cruzará con la línea de condiciones de nivel del mar, para así salir de la gráfica por la izquierda, obteniendo la distancia. El proceso para la obtención de dicha distancia aparece en la siguiente figura:

Parámetro	Valor
Anchura	45 m
Pendiente longitudinal de la pista	0.5 %
Máx. cambio de pendiente longitudinal de la pista	1.5 %
Pendiente transversal de la pista	1.5 %
Anchura de los márgenes de pista	60 m
Pendiente longitudinal de los márgenes	0.5 %
Pendiente transversal de los márgenes	1.5 %

Tabla 22: Dimensiones de la pista del aeropuerto de Braga

La pista dispondrá de una plataforma de viraje en uno de los extremos de la pista (el más lejano a la conexión con la terminal, ya que no dispondrá de calles de rodadura en dicha parte). Estas plataformas están dedicadas para que las aeronaves puedan hacer giros de 180° en zonas donde no se dispongan de calles de rodadura para ello. En la siguiente figura, aparece la configuración típica de una plataforma de viraje (en la figura, aparece una en cada extremo, a diferencia de la única plataforma de viraje que dispondrá el aeropuerto de Braga).

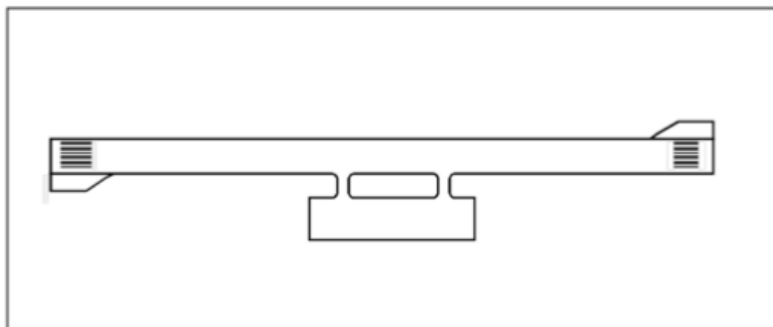


Figura 24: Configuración típica de un aeropuerto con plataforma/s de viraje
Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición [46]

Las dimensiones de la plataforma son las siguientes:

Parámetro	Valor
Ángulo intersección plataforma-pista	25°
Ángulo de guía del tren de proa del diseño de la plataforma	45°
Distancia libre tren aterrizaje-borde plataforma	4.5 m
Pendiente longitudinal de la plataforma	0.5 %
Pendiente transversal de la plataforma	1.5 %
Anchura margen de plataforma	10 m

Tabla 23: Dimensiones de la plataforma de viraje del aeropuerto de Braga

Por normativa, la pista debe disponer de una franja de pista y de un área de seguridad de extremo de pista (RESA) [47]. La franja de pista es el terreno donde está contenida la pista y, la

RESA es el área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja, cuyo objetivo es el de reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o un aterrizaje demasiado largo. En la siguiente tabla, aparecen los valores de las medidas de la pista:



Figura 25: Esquema de la franja de pista y de la RESA
 Adaptado de AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea). Curso Básico para TOAM (Funciones de los Técnicos de Operaciones en el Área de Movimiento de Nuevo Ingreso) [48]

Las dimensiones de estas zonas son:

Parámetro	Valor
Longitud franja de pista	60 m
Anchura franja de pista	150 m
Pendiente longitudinal franja de pista	0.5 %
Pendiente transversal franja de pista	1.5 %
Extensión desde el extremo de pista de la RESA	180 m
Anchura de la RESA	90 m
Pendiente longitudinal de la RESA	0.5 %
Pendiente transversal de la RESA	1.5 %

Tabla 24: Dimensiones de la franja de pista y de la RESA del aeropuerto de Braga

5.6. Distancias declaradas

En este apartado se definirán las distancias declaradas de la pista [49]. Éstas son 4:

- Recorrido de despegue disponible (TORA): longitud de pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión en despegue.
- Distancia de despegue disponible (TODA): longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona libre de obstáculos, en el caso de haberla
- Distancia de aceleración-parada disponible (ASDA): longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona de parada, en el caso de haberla

- Distancia de aterrizaje disponible (LDA): longitud de pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.

Para poder declarar estas distancias, primero es necesario saber si el aeropuerto dispondrá de zona de parada y/o zona libre de obstáculos. En el caso del aeropuerto de Braga, la pista dispondrá de 2 zonas libres de obstáculos (Clearway, abreviado como CWY) de 50 metros de longitud y de una zona de parada (Stopway, abreviado como SWY), en la dirección más favorable para el despegue (dirección de pista 10), de 30 metros de longitud. La anchura de la zona libre de obstáculos es de 75 metros, el mínimo permitido por normativa. En cambio, la anchura de la zona de parada, será la misma que la de la pista (ya que están asociadas), con un valor de 45 metros.

En la siguiente imagen se puede ver de forma más gráfica las 4 distancias declaradas:

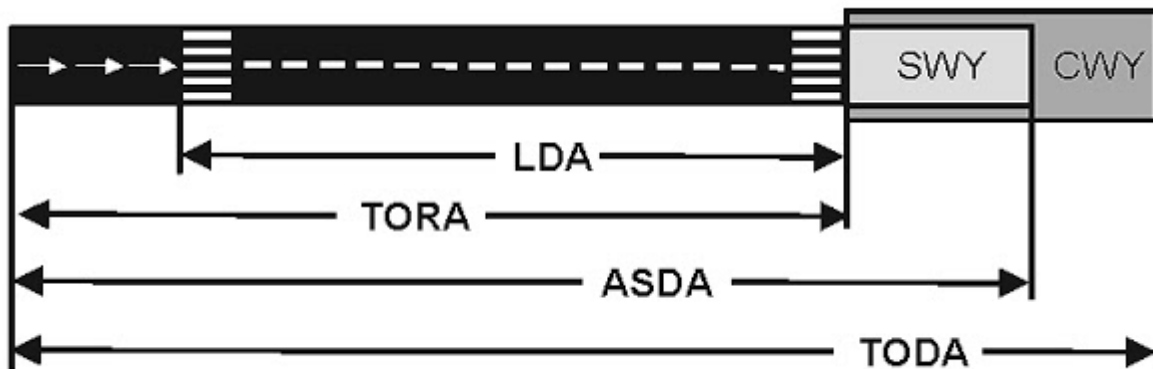


Figura 26: Esquema gráfico de las distancias declaradas de una pista
Adaptado de AENA. Curso Básico para TOAM de Nuevo Ingreso [50]

El aeropuerto de Braga no dispondría de umbral desplazado (es algo no obligatorio y, en este caso, no necesario, por lo que sería un ahorro en la obra de la pista, al no necesitar pavimentarlo). En este caso específico (no hay umbral desplazado), la LDA = TORA (se puede apreciar fácilmente en la imagen).

Finalmente, los valores de las distancias declaradas del aeropuerto de Braga son:

- TORA = 3004 m (longitud de pista)
- LDA = TORA = 3004 m
- ASDA = TORA + SWY = 3004 + 30 = 3034 m
- TODA = TORA + 2·CWY = 3004 + 2·50 = 3104 m

5.7. Dimensionado de las calles de rodadura

En este apartado se dimensionarán las calles de rodadura del aeropuerto. Tal y como se ha realizado con la pista y sus elementos, se proporcionará una tabla con las dimensiones de cada elemento.

Parámetro	Valor
Distancia libre calle de rodadura tramo recto	3 m
Distancia libre calle de rodadura tramo curvo	4.5 m
Anchura calle de rodadura	15 m
Pendiente longitudinal calle de rodadura	0.5 %
Pendiente transversal calle de rodadura	1.5 %
Distancia entre el eje de una calle de rodadura y el eje de pista	168 m
Distancia entre el eje de una calle de rodadura y el eje de otra calle	44 m
Margen de las calles de rodadura	25 m

Tabla 25: Dimensiones de las calles de rodadura del aeropuerto de Braga

Por último, el aeropuerto dispondrá de calles de salida rápida, con la misma disposición que la del aeropuerto de Oporto, tal y como se puede observar en la figura 27. No se descarta que, en un futuro, como posible plan de ampliación, se añadieran más, con el fin de ganar capacidad horaria de pista y así aumentar la capacidad del aeropuerto, tal y como se está planeando hacer en el aeropuerto de Oporto, pese a que no se estima llegar a tales valores, tal y como se ha visto en el capítulo de previsión de tráfico.

5.8. Otros elementos: plataformas de espera e instalaciones de deshielo/antihielo

El aeropuerto de Braga no dispondrá de plataformas de espera, ya que no son necesarias debido a la baja frecuencia del aeropuerto, ni tampoco dispondrá de instalaciones de deshielo/antihielo, debido a que el clima no lo requiere. La ausencia de ambos elementos es un factor de ahorro de cara a los costes del proyecto. Sin embargo, no se descarta la construcción de plataformas de espera en un futuro, cuando la ampliación de la pista/calles de rodadura sean necesarias debido al aumento de las operaciones/hora del aeropuerto.

5.9. Visión global del conjunto pista-calles de rodadura

Finalmente, la configuración de pista-calles de rodadura seguiría el mismo esquema que la del aeropuerto de Oporto actual, obviamente adaptada a las longitudes y dimensiones de los elementos del aeropuerto diseñado, calculadas en los apartados previos. Dicha configuración ha funcionado en Oporto y, en la actualidad, pese al gran número de pasajeros, sigue teniendo una capacidad apta para el desarrollo de la actividad. Además, esta configuración y la situación de Oporto podría servir como ejemplo real para poder estimar de manera más exacta, en que momento se debería realizar la ampliación o modificación, en caso de ser necesaria, basándose en el caso de Oporto. Es evidente que, para la previsión de tráfico calculada, no es hasta el largo

plazo cuando se podría a empezar a plantear dicha ampliación de la pista o el añadir calles de salida rápida, para aumentar la capacidad.

En la figura 27, se puede apreciar una toma aérea del sistema pista-calles de rodadura del aeropuerto de Oporto, diseño en el que se basará el aeropuerto de Braga.



Figura 27: Visión aérea de la pista y calles de rodadura del aeropuerto de Oporto
Adaptado de Google Maps (2020) [51]

5.10. Plataformas de estacionamiento

En este apartado se dimensionarán y cuantificarán las plataformas de estacionamiento de las aeronaves en el aeropuerto de Braga.

En primer lugar, se dimensionaran dichas plataformas. Para ello, se utilizará la aeronave de diseño como referencia, ya que las plataformas tienen que ser capaces de dar cabida a dicha aeronave. En este caso, como ya se ha comentado en anteriores ocasiones, la aeronave de diseño es el A321. Las dimensiones principales se pueden observar en el apartado 4.1.1. El resto de dimensiones y características de la aeronave aparecerá en el anexo correspondiente.

Se ha decidido que el tipo de plataforma de estacionamiento escogido sea del tipo V, siendo el único tipo de plataforma. Esto es debido a que, tanto el A320 como el A321 (como otros aviones que operen de dimensiones similares) ya son aptos para estacionar en este tipo de plataforma. Debido a que la gran mayoría de vuelos se realizan con estas aeronaves, se ha decidido que las plataformas sean todas así. En la siguiente figura, aparecen las medidas del tipo V de plataforma de estacionamiento:

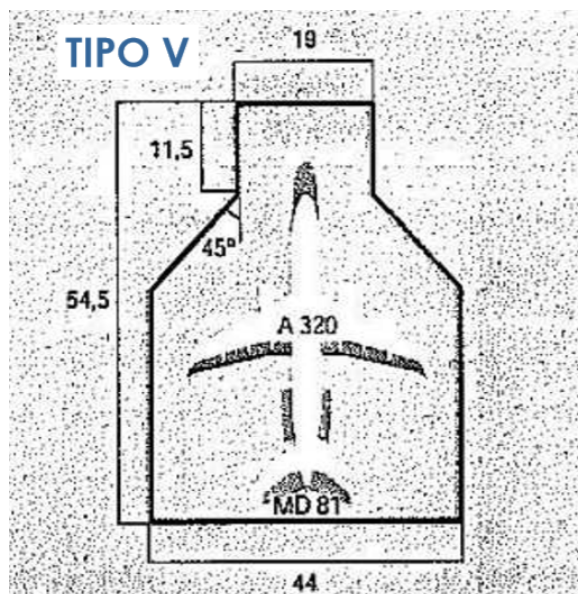


Figura 28: Configuración y dimensiones de una plataforma de estacionamiento de tipo V
Adaptado de UPC. ESEIAAT. Ingeniería Aeroportuaria [52]

Por último, se determinarán cuántas plataformas son necesarias para el número de operaciones del aeropuerto. Debido a que, el número de operaciones/hora máximo son 5 op/hora en la previsión actual de tráfico, se dispondrán de 6 plataformas de estacionamiento. Es usual que, existan más plataformas de estacionamiento de las operaciones/hora máximas del aeropuerto. Por ejemplo, en el aeropuerto de Barcelona, existen 104 plataformas de estacionamiento [53], cuando la capacidad máxima de operaciones/hora es de 90 [54].

Siguiendo este principio, se ha determinado que el número de plataformas sea el mencionado anteriormente. Además, el caso de 5 op/hora es el caso más extremo (el del día punta de operaciones) y, en el caso del aeropuerto de Braga, donde se está estimando un crecimiento significativo, ayudará a retrasar una posible ampliación, en lo que a puestos de estacionamiento se refiere. Por último, en el caso de que suceda la opción optimista, el número de operaciones/hora sobrepasaría los 5, así que serían necesarias un número superior de plataformas de estacionamiento.

5.11. Señalización

En este apartado se numerarán los diferentes elementos señalizadores del aeropuerto, al mismo tiempo que se cuantifican y dimensionan [55].

5.11.1. Indicadores de la dirección del viento

El aeropuerto de Braga dispondrá de un indicador de la dirección del viento. Por normativa, se debe instalar uno o más indicadores de este tipo. En aeropuertos de grandes dimensiones, es recomendable instalar más de uno, aunque este no es el caso del aeropuerto del proyecto.

Dicho indicador debe ser visible para las aeronaves en vuelo y desde el área de movimiento, por lo que la selección del emplazamiento en el aeropuerto debe respetar estas dos premisas. Además, tiene que estar lo suficientemente protegido para no sufrir los efectos de las perturbaciones del aire producidas por objetos cercanos.

Por último, se recomienda que el indicador tenga forma de cono truncado y hecho de tela. Además, se recomienda que se utilicen tonalidades como el blanco o el naranja. El emplazamiento también debe ser indicado por medio de una banda circular. Por último, debe estar iluminado, si el aeródromo tiene previsto el uso nocturno.

Todas estas recomendaciones se seguirán en el diseño del indicador de la dirección del viento del aeropuerto de Braga.

5.11.2. Indicador de la dirección de aterrizaje

El aeropuerto de Braga dispondrá de un indicador de la dirección de aterrizaje, en forma de "T", dimensionado con las dimensiones normalizadas establecidas. El color dependerá del entorno, pese a que es recomendable que sea de color blanco o naranja, al igual que con el indicador de dirección del viento.

5.11.3. Lámparas de señales

Por normativa, el aeropuerto de Braga dispondrá de lámparas de señales. Es un aspecto obligatorio en todos los aeropuertos, y su emplazamiento será la torre de control. La lámpara de señales de ser capaz de producir señales de color rojo, verde y blanco, con el fin de poder comunicarse con el objetivo deseado.

5.11.4. Señalización horizontal

Tonalidades

Toda señal horizontal de pista será de color blanco, aunque si por motivos del entorno y su tonalidad existe la posibilidad de confusión, éstas se bordearan de una línea negra, para resaltar dicha señal. Sin embargo, las señales horizontales de las calles de rodadura, plataformas de viraje en la pista y puestos de estacionamiento serán amarillas.

Señal designadora de pista

La señal designadora de pista constará de dos cifras que, en el caso de pistas paralelas, irán acompañadas de una letra. En el caso del aeropuerto de Braga, al solo disponer de una pista, dicha señal únicamente constará de dos cifras (10 y 28, según la orientación de la pista). Las dimensiones de las cifras están normalizadas, así que será independientes del tipo de aeropuerto, clave de referencia... Dichas medidas aparecen en el anexo 14 de la OACI.

Señal de eje de pista

En toda pista asfaltada, se deberá disponer de una señal de eje de pista, así que en el caso del proyecto se dispondrá de dicha señal. Esta señal consistirá en una línea de trazos uniformemente separados. La longitud de un trazo sumada a la longitud del del intervalo no será menor de 50 metros ni mayor de 75 metros. La longitud de cada trazo será mínimo igual a la longitud del intervalo, o de 30 metros, tomándose la que sea mayor.

En este caso, las dimensiones escogidas serán de 40 metros para los trazos y 20 metros para los intervalos.

Los trazos dispondrán de una anchura de 0.9 metros, ya que por normativa, ésta es la anchura para categorías II y III.

Señal de umbral

Esta señal consiste en fajas longitudinales de igual dimensión, ubicadas en la pista de manera simétrica respecto al eje. Las fajas de umbral se emplazarán a 6 metros del umbral. Según la anchura de la pista, el número de fajas de umbral variará. En el caso del aeropuerto de Braga, al disponer de una anchura de pista de 45 metros, serán necesarias 12 fajas de umbral (6 a cada lado de la pista, tomando el eje de la pista como eje de simetría). Por último, dichas fajas no se podrán ubicar a menos de 3 metros del borde de la pista.

Señal de zona de toma de contacto

El aeropuerto de Braga dispondrá de señal de punto de visada o de toma de contacto. Esta señal consiste en pares de señales rectangulares, con distribución simétrica respecto al eje de pista. Las dimensiones y la ubicación son las mostradas en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Distancia entre umbral y comienzo de la señal	300 m
Longitud de la faja	50 m
Anchura de la faja	8 m
Espacio lateral entre los lados internos de las fajas	20 m

Tabla 26: Ubicación y dimensiones de la señal de toma de contacto

Además, el aeropuerto de Braga dispondrá de 4 pares de señales, debido a la distancia de aterrizaje disponible del mismo.

Señal de faja lateral de la pista

Por normativa, esta señal será necesaria cuando no se distinga entre los bordes de la pista y los márgenes de la misma. En el caso del aeropuerto de Braga, el diseño y el terreno circundante permite prescindir de dichas señales, por lo que finalmente no se incluirán en el proyecto.

Visión global de la señalización de la pista

En la siguiente figura se muestra un esquema de la señalización horizontal de la pista. Dicho esquema ha sido adaptado de la figura que aparece en el anexo 14 de la OACI. Las dimensiones que aparecen en el esquema no son las reales vistas durante los anteriores apartados, simple-

mente es un esquema orientativo, es decir, la disposición de las diferentes señales. Únicamente sería necesario adaptarlas a las dimensiones y números del diseño anterior:

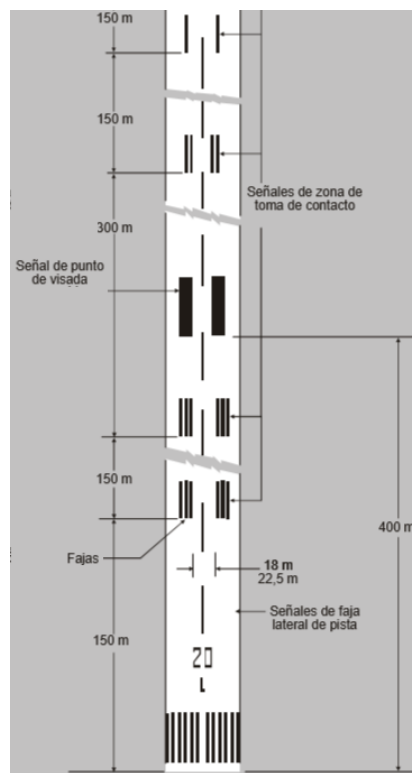


Figura 29: Esquema de la señalización horizontal de la pista

Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición.[56]

Señal de eje de calle de rodadura

Se dispondrá de señal de eje de rodadura en el aeropuerto de Braga, con dimensiones de 15 cm de ancho y de trazo continuo, exceptuando los lugares donde exista un corte a una señal de punto de espera.

Señal de plataforma de viraje

Se dispondrá de señal de plataforma de viraje en el aeropuerto de Braga, ya que dispondrá de una en uno de sus extremos. Dicha señal servirá de guía para las aeronaves que quieran realizar el viraje de 180º, así como para su posterior alineación con el eje de pista.

Señales de punto de espera de la pista

El aeropuerto de Braga dispondrá de señales de espera de la pista, siendo su configuración la que aparece en las siguiente figura:

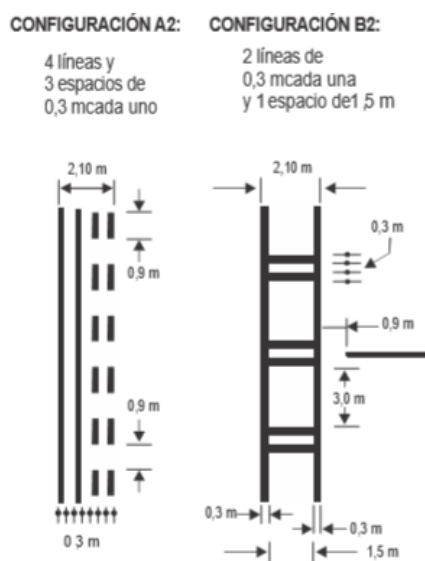


Figura 30: Configuraciones de las señales de punto de espera de la pista
Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición.[57]

Donde la configuración A será para la señal de punto de espera más cercana a la pista y la configuración B para la más lejana. Finalmente añadir que existe otra configuración global distinta, con la configuración A1-B1, pero dejará de ser apta a partir de 2026, por lo que se ha decidido diseñar el aeropuerto con la configuración A2-B2 para evitar posibles obras y/o modificaciones.

Señal de puesto de estacionamiento de aeronaves

El aeropuerto de Braga dispondrá de señales de puesto de estacionamiento para cada uno de éstos. Dichas señales deben incluir elementos como la identificación del puesto, las barras de alineamiento y de viraje, las líneas de entrada, de viraje, de salida y de parada.

Señal de información

En el caso que no sea práctico la instalación de letreros en un lugar específico del aeropuerto, se sustituirá con una señal de información en el pavimento.

5.11.5. Luces

Iluminación de emergencia

El aeropuerto de Braga dispondrá de iluminación de emergencia para la pista.

Faros aeronáuticos

El aeropuerto de Braga no dispondrá de faro aeronáutico, ya que no cumple ninguno de los 3 requisitos para su instalación, que son:

- Aeronaves vuelan frecuentemente con ayudas de medios visuales

- Visibilidad frecuentemente reducida
- Posibilidad de confusión en la localización del aeródromo debido a las luces del entorno a la topografía.

Sistemas de iluminación de aproximación

Al ser una pista de categoría III, el sistema de iluminación de aproximación tendrá las siguientes características:

El sistema consistirá en una fila de luces ubicadas en el eje de la pista, extendiéndose hasta una distancia de 900 metros desde el umbral. Además, se complementará lo anterior con dos filas laterales de luces, extendiéndose hasta 270 metros a partir del umbral, juntamente con dos barras transversales a 150 y 300 metros del umbral. Las luces del eje se distribuirán en intervalos de 30 metros con las luces más cercanas colocadas a 30 metros del umbral. En el caso de las filas laterales, la separación entre la primera luz y el umbral será de 30 metros. El espacio lateral entre dichas luces será de 20 metros. La barra transversal instalada a 150 metros del umbral llenará los espacios vacíos entre las luces de eje y las luces laterales. La barra transversal instalada a 300 metros del umbral se extenderá a ambos lados de las luces del eje, con una distancia respecto de éste de 15 metros. También se contará con luces de borde de pista, con una distancia entre ellas de 60 metros. Por último, se dispondrá de una barra transversal en el umbral, la cuál identifique la posición del mismo

En la siguiente figura aparece la disposición de todas las luces previamente mencionadas.

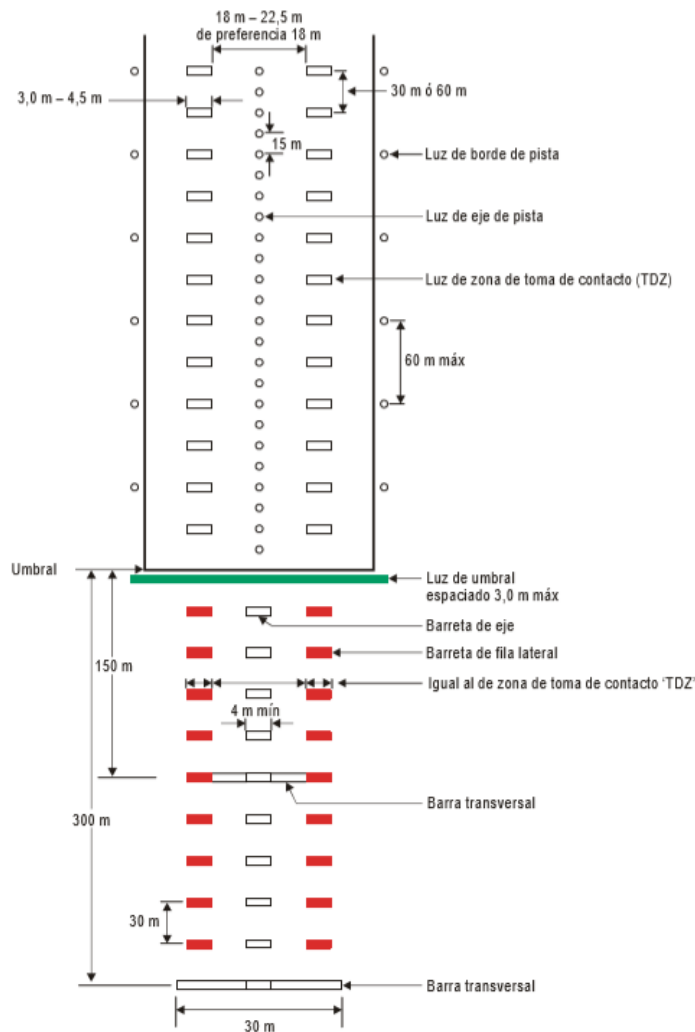


Figura 31: Configuraciones de las luces de la pista
 Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. [58]

Por último, las tonalidades de las diferentes luces son:

- Luz de umbral: Verde
- Barreta de fila lateral: Roja
- El resto de luces de pista: Blanco

Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación

El aeropuerto de Braga dispondrá de un sistema de pendiente de aproximación. El sistema escogido será el PAPI (indicador de trayectoria de aproximación, en inglés Precision Approach Path Indicator), que se podría complementar con otros sistemas, como el T-VASIS o el AT-VASIS.

Este elemento consistirá en una barra de ala con cuatro elementos de lámparas múltiples. Por

norma, dicho sistema se ubica en el lado izquierdo de la pista, a menos que sea materialmente imposible. El funcionamiento del PAPI es sencillo:

Las 4 luces se mantendrán encendidas durante toda la trayectoria, indicando la situación o el desarrollo de la maniobra de aproximación, para así alertar ante posibles peligros. Si hay 4 luces en color rojo, el sistema está indicando que el avión está realizando la maniobra de aproximación con poca altura. Por otro lado, cuando hay 4 luces blancas, el avión está realizando la maniobra demasiado alto. El caso de 2 luces rojas y 2 luces blancas indica la correcta aproximación de la aeronave. Los casos de 3 luces de un color y 1 de otro indican los casos intermedios posibles. En la siguiente imagen se puede observar la ubicación y configuración típica del PAPI:

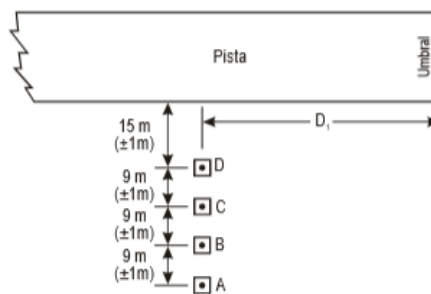


Figura 32: Configuración típica de un sistema PAPI

Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición.[59]

Siendo la distancia D_1 en el aeropuerto de Braga de 60 metros, al tratarse de un aeródromo de número de clave 4.

Luces indicadoras de calle de salida rápida

El aeropuerto de Braga no dispone de calles de salida rápida por el momento, por lo que no dispondrá de este tipo de luces.

Luces de eje de calle de rodaje

Se instalarán en los ejes de las diferentes calles de rodadura. Tendrán una tonalidad verde.

Luces de borde de calles de rodadura

Se instalarán luces de borde de calles de rodadura. Tendrán una tonalidad azul.

Luces de zonas de parada

Se instalarán luces de zonas de parada en las calles de rodadura. Tendrán una tonalidad roja.

Luces de plataforma de viraje Se instalarán luces en el eje de la plataforma de viraje. Tendrán una tonalidad verde.

5.11.6. Letreros

Se instalarán los letreros pertinentes en el aeropuerto de Braga. Los letreros se utilizan para indicar una instrucción obligatoria, información sobre el emplazamiento o destino particular en el área de movimiento. Además, existe la posibilidad de que algunos letreros sean de mensaje variable, cuando la instrucción es durante un periodo determinado.

La altura de los letreros será lo suficientemente baja como para mantener la distancia de seguridad con las hélices y barquillas de los reactores. Además, estos serán rectangulares, con el lado más largo en posición horizontal. Los letreros de color rojo indicarán instrucciones obligatorias.

De esta manera, se colocarán los letreros en los lugares correspondientes, como por ejemplo los letreros de dirección, salidas de pista, destino, prohibición de entrada, puntos de espera y designaciones de pista. Todos ellos se encuentran en el anexo 14 de la OACI.

5.12. Servidumbres aeronáuticas

En este apartado se definirán, de manera preliminar, las servidumbres aeronáuticas del proyecto.

Las servidumbres aeronáuticas [60] tienen como objetivo el establecimiento de zonas para los aeropuertos, helipuertos e instalaciones radioeléctricas aeronáuticas en las cuales se garantice la seguridad de las operaciones de las aeronaves así como el correcto funcionamiento de las instalaciones radioeléctricas.

Las servidumbres aeronáuticas [61] son:

- Servidumbres físicas
- Servidumbres radioeléctricas
- Servidumbres acústicas

Servidumbres físicas

Las servidumbres físicas del aeropuerto limitan las zonas de obstáculos del aeropuerto. Las superficies limitadoras de obstáculos a definir son:

- Superficie horizontal interna: superficie circular de radio a determinar (según la categoría de aproximación o la clave del aeródromo), situada a 45 metros de altura sobre el punto de referencia del aeropuerto, con el fin de proteger los circuitos visuales de las aeronaves antes del aterrizaje
- Superficie cónica: superficie con el 5 % de pendiente ascendente y hacia fuera que comienza en el perímetro de la superficie horizontal interna, extendiéndose hasta una altura determinada.
- Superficie de aproximación: superficie formada por una combinación de planos anteriores al umbral

- Superficie de aproximación interna: porción rectangular de la superficie de aproximación inmediatamente anterior al umbral
- Superficie de transición: superficie que se extiende a lo largo del borde de la franja y parte del borde de la superficie de aproximación, de pendiente ascendente hacia fuera de la superficie horizontal interna
- Superficie de aterrizaje interrumpido
- Superficie de ascenso en el despegue

En las siguientes figuras, se pueden observar las diferentes superficies mencionadas. El plano de la primera figura es el XY (plano horizontal del terreno). Las otras dos figuras son los diferentes cortes de la primera figura, marcados en la misma (cortes AA' y BB').

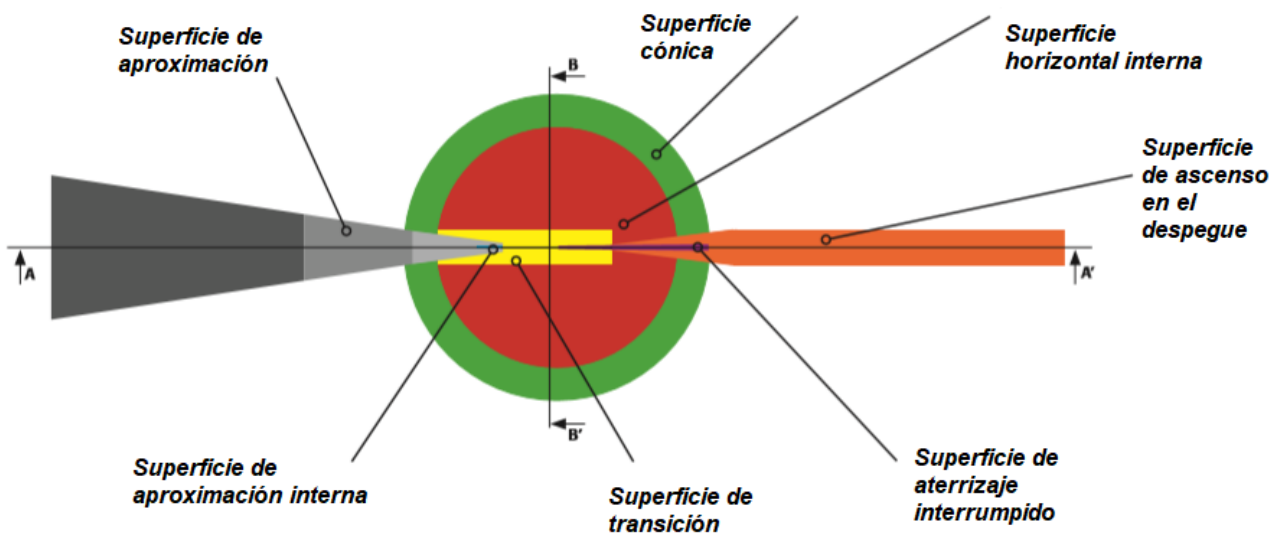


Figura 33: Plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto
Elaboración propia

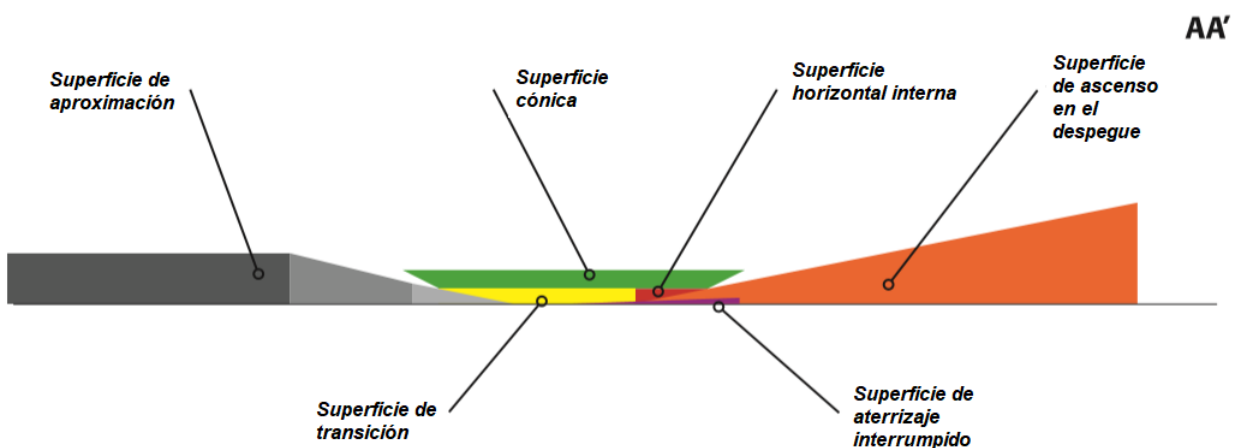


Figura 34: Corte AA' del plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto
Elaboración propia

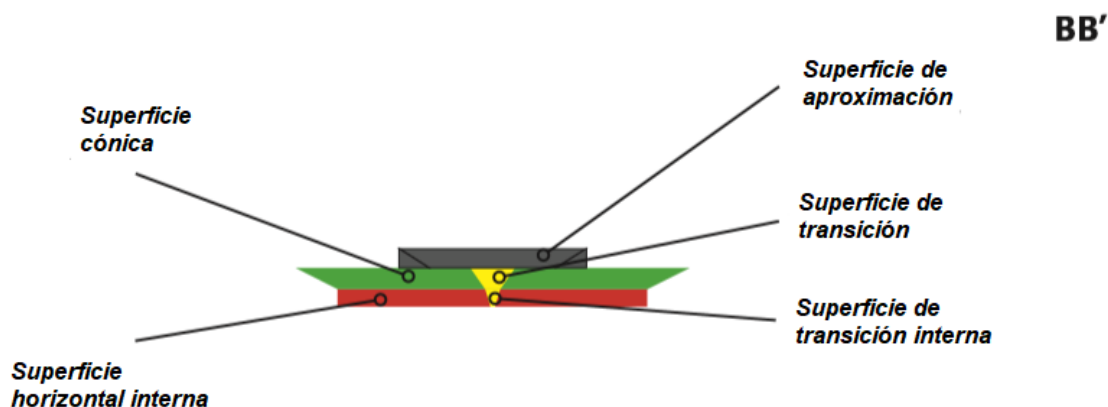


Figura 35: Corte BB' del plano horizontal de las servidumbres físicas del aeropuerto
Elaboración propia

Por último, quedaría dimensionar dichas superficies. Para ello, se ha seguido la normativa establecida en el anexo 14, ya que estas superficies dependen de parámetros previamente calculados, y están tipificadas en función de éstos. En el caso del aeropuerto de Braga, se tomarán como dimensiones finales las tipificadas para aeródromos de clave 4C.

Parámetro	Valor
Pendiente de la zona cónica	5 %
Altura de la zona cónica	100 m
Altura de la zona horizontal interna	45 m
Radio de la zona horizontal interna	4000 m
Anchura de la zona de aproximación interna	120 m
Distancia desde el umbral de la zona de aproximación interna	60 m
Longitud de la zona de aproximación interna	900 m
Pendiente de la zona de aproximación interna	2 %
Longitud del borde interior de la zona de aproximación	300 m
Distancia desde el umbral de la zona de aproximación	60 m
Divergencia (a cada lado) de la zona de aproximación	15 %
Pendiente de la zona de transición	14.3 %
Pendiente de la zona de transición interna	33.3 %
Longitud del borde interior de la zona de aterrizaje interrumpido	120 m
Distancia desde el umbral de la zona de aterrizaje interrumpido	1800 m
Divergencia (a cada lado) de la zona de aterrizaje interrumpido	10 %
Pendiente de la zona de aterrizaje interrumpido	3.33 %

Tabla 27: Dimensiones de las diferentes superficies limitadoras del aeropuerto

Servidumbres radioeléctricas y acústicas del aeropuerto

Las servidumbres radioeléctricas son las zonas de instalación de los sistemas de ayuda a la navegación (VOR, NDB, ILS...), además de las zonas de seguridad asociadas y de la superficie

limitadora de alturas. Por otro lado, las servidumbres acústicas regulan las zonas que pueden soportar un nivel sonoro determinado.

Debido a que estas servidumbres dependen más de los sistemas de ayuda de navegación específicos escogidos (no es objeto de este proyecto), así como de la necesidad de saber el lugar exacto del aeropuerto (tampoco es objeto de este proyecto ya que se ha proporcionado una zona aproximada o viable) no se desarrollarán más dichas servidumbres.

6. Diseño del lado tierra del aeropuerto

En este capítulo se dimensionará y diseñará el lado tierra del aeropuerto de Braga. Para ello, se utilizarán todos los datos de capítulos anteriores, como parámetros de diseño. Los principales aspectos que se dimensionarán serán la forma y tipología de la terminal, los accesos y lugares de estacionamiento de vehículos, la zona de tratamiento y atención al pasajero y otros edificios aeronáuticos, como puede ser la torre de control o los servicios de emergencia. Finalmente, añadir que el aeropuerto no contará con zonas de asistencia específicas para las aeronaves (hangares y talleres) debido a que el número de pasajeros y aeronaves que operan en el aeropuerto, añadido a la baja cantidad de aerolíneas que operan, hace que no sea rentable la construcción de dichas zonas. Los servicios o tareas de mantenimiento, en estos casos, se realiza en los mismas plataformas de estacionamiento. Por la misma razón de dimensiones y carácter del aeropuerto, tampoco contará con zona de tratamiento de carga ni con zona industrial y comercial asociada (ciudad aeroportuaria)

6.1. Forma de la terminal

En primer lugar, se decidirá el concepto de la terminal. En el caso de la mayoría de aeropuertos regionales de tamaño similar, el concepto de la terminal es de terminal global, es decir, las terminales son centralizadas. Esto quiere decir que, en la misma terminal, tienen lugar todo tipo de operaciones. Este concepto es opuesto al de aeropuertos de mayores dimensiones, donde existe el modelo desagregado, con la existencia de "miniterminales", separando así el tipo de operaciones.

Es por esto que, la terminal del aeropuerto de Braga, será global. Aún con las previsiones de tráfico optimistas, el número de pasajeros sería insuficiente para la existencia de varias "miniterminales".

En segundo lugar, se decidirá la tipología en planta de la terminal. Algunos de los estilos son planta lineal (cuadrilátero, rectangular, curvilínea...), planta con muelles, edificio principal con satélites, planta poligonal o planta en forma de cruz, entre otros.

Normalmente, para aeropuertos de estas dimensiones y características, se suele optar por una planta lineal, ya que es necesario mucha superficie para las posiciones de contacto. Por ejemplo, el aeropuerto de Granada, que era de dimensiones y características similares, tiene una planta lineal (rectangular). En la siguiente figura aparece el esquema general de un estilo de planta lineal:



Figura 36: Configuración y planta de un modelo lineal
Adaptado de UPC. ESEIAAT. Ingeniería Aeroportuaria[62]

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, en el aeropuerto de Granada, los accesos a las aeronaves son a pie, hecho que condiciona el diseño. En la siguiente figura, aparece la visión aérea de la terminal del aeropuerto de Granada:

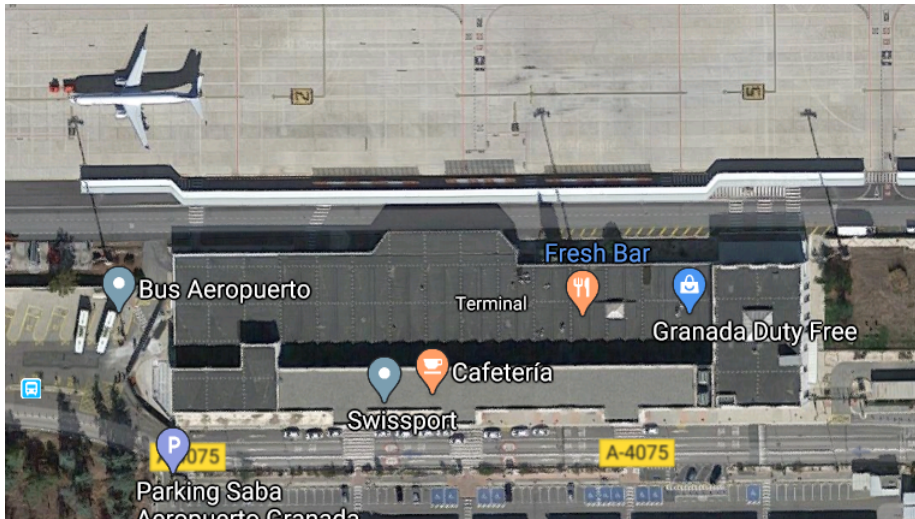


Figura 37: Visión aérea de la terminal del aeropuerto de Granada
Adaptado de Google Maps (2020) [51]

Es por esto y los motivos anteriormente citados, que se escogerá como tipología de planta la planta lineal, concretamente de forma rectangular. Sin embargo, se le añadirá una zona triangular, como sucede en el aeropuerto de Oporto (ver figura 38), para poder ampliar la superficie útil para que las pasarelas de acceso de aeronaves tengan su lugar.

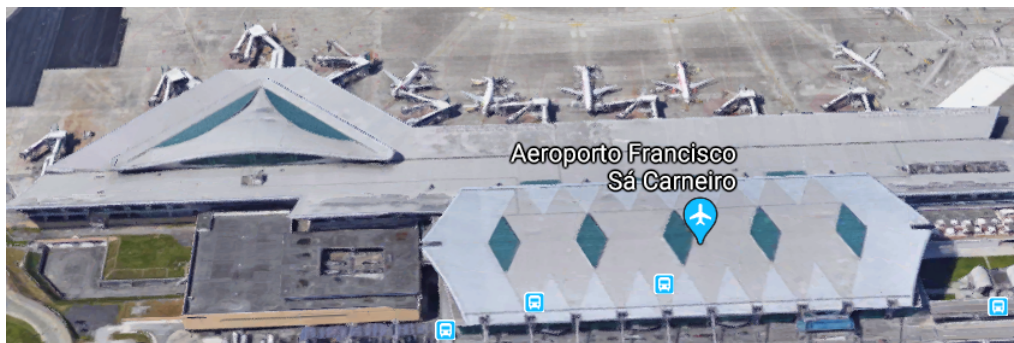


Figura 38: Visión aérea de la terminal del aeropuerto de Oporto
Adaptado de Google Maps (2020) [51]

Siguiendo con el diseño geométrico de la terminal, se diseñará la tipología en alzado de la terminal. Este aspecto es importante, ya que es importante separar los flujos de pasajeros, en función de las diferentes características de vuelo (nacionales de internacionales, llegadas de las salidas, regular o charter, según el destino...). En los aeropuertos de mayor magnitud, este aspecto es aun más importante. En el caso del proyecto, un aeropuerto regional, este aspecto pierde algo de fuerza, ya que el problema de la cantidad de pasajeros desaparece, así como la menor variedad de destinos, menor número de compañías aéreas operando en el aeropuerto y la existencia de

vuelos estacionales.

El diseño más básico sería el de 1 nivel, aunque dicho diseño puede llevar a futuros problemas de capacidad y de confusión de flujos, pese a tratarse de un aeropuerto regional. Por ejemplo, el aeropuerto de Granada sería el ejemplo de aeropuerto de 1 planta o nivel, donde en la misma se comparten vuelos nacionales e internacionales, así como llegadas y salidas.

En el caso del aeropuerto de Braga, se optará por un diseño de 1 nivel, con separación entre salidas y llegadas. Para una futura ampliación (ya se analizará en el apartado correspondiente), se tiene pensado pasar a un diseño de nivel y medio.

6.2. Zona de tratamiento y atención al pasajero

En primer lugar y como aspecto introductorio, es muy importante el diseñar los edificios terminales teniendo en cuenta los intereses o necesidades de los clientes y compañías que operan en el aeropuerto. Por ejemplo, algunas de las medidas que se podrían tomar son:

- Superficies y flujos cómodos para los pasajeros, con el fin de facilitar la rapidez de los procesos
- Tratamiento estético de los interiores con el fin de dar la sensación de comodidad y bienestar (por ejemplo, dar la sensación de amplitud). Del mismo modo, tratamiento estético de las fachadas exteriores, de manera que quede armonizado con el diseño interior y con el entorno físico.
- Correcta señalización del aeropuerto, con el fin de evitar la sensación del pasajero de aislamiento o de encontrarse desubicado. Esto incluye la identificación de las zonas de vuelos nacionales, Schengen, internacionales...
- Acomodo para los empleados de las diferentes compañías aéreas que se encuentren en el aeropuerto, así como de otras empresas concesionarias.
- Facilidad de operaciones de mantenimiento y reparación de averías (tuberías, conductos, cintas de transporte, escaleras, ascensores...) con el fin de volver a un estado de correcto funcionamiento lo más rápido posible.
- Existencia de una zona de área comercial, con el fin de dar diferentes servicio a los pasajeros. Este aspecto es importante ya que dicho servicio genera ingresos para el aeropuerto.

Una vez introducido los criterios de diseño general que seguirá el aeropuerto de Braga, se procederá a cuantificar las diferentes partes o elementos de la zona de tratamiento y atención al pasajero. Previamente, se mencionarán estos elementos, que son:

- En salidas:
 - Mostradores de facturación
 - Clasificación de equipajes

- Controles de seguridad
- Control de pasaportes
- Puertas de embarque
- En llegadas:
 - Control de pasaportes y aduana
 - Recogida de equipajes

6.3. Niveles de servicio del aeropuerto

Para determinar el nivel de servicio de un aeropuerto, se considera un rango de niveles de la A a la F, siendo el nivel A el de mejor nivel de servicio. Las descripciones de estos niveles de servicio son [63]:

- A: excelente nivel de servicio, con flujos libres, sin retrasos y excelentes niveles de comodidad.
- B: alto nivel de servicio, con flujos estables, pocos retrasos y altos niveles de comodidad.
- C: buen nivel de servicio, con flujos estables, retrasos aceptables y buenos niveles de comodidad.
- D: nivel de servicio adecuado, con flujos no estables pero retrasos aceptables con cortos periodos de tiempo y niveles de comodidad adecuados
- E: nivel de servicio inadecuado, con flujos no estables, retrasos inaceptables y niveles inadecuados de comodidad.
- F: nivel de servicio inaceptable, con flujos cruzados, fallos en los sistemas y retrasos y comodidad inaceptables

El nivel C es el nivel recomendado como nivel mínimo de diseño, ya que comporta buen servicio para un coste razonable.

En el caso del aeropuerto de Braga, éste será el nivel de diseño inicial. En los próximos apartados se irá diseñando zona a zona, por lo que, si algún aspecto específico lo requiere, se cambiará el nivel de servicio correspondiente, adaptándolo a las necesidades pertinentes. Además, se hará hipótesis de que la proporción entre llegadas y salidas es de 50/50.

A continuación se dimensionarán los diferentes elementos que pertenecen al flujo de los pasajeros [64]:

6.3.1. Mostradores de facturación

En primer lugar y con relación con el apartado anterior, se dimensionarán algunos aspectos de la zona de check-in/facturación.

A partir de las medidas normalizadas que proporciona la IATA en su guía de desarrollo de un aeropuerto, se crea un método para cuantificar las colas de los mostradores de facturación, con el número de metros cuadrados por ocupante correspondiente.

En el caso del aeropuerto de Braga, al tratarse de un nivel de servicio, los valores son los siguientes:

Situación	Valor [m^2 /PAX]	Ancho cola
Pocos carros/maletas por pasajero	1,2	1,2
Pocos carros y 1/2 maletas por pasajero	1,3	1,2
Alto porcentaje de pasajeros con carros	1,7	1,4
Alto porcentaje de pasajeros con carros y 2 o más maletas	2,0	1,4

Tabla 28: Área correspondiente para cada ocupante según el tipo de vuelo para las colas de los mostradores de facturación para nivel de servicio C

Dependiendo de los vuelos y de sus características, cada mostrador se tendrá que adaptar a los requisitos anteriores (nivel C).

Para acabar, se cuantificarán los mostradores de facturación necesarios. Para ello, se seguirá el proceso recomendado por la IATA, que es el siguiente:

Cálculo de la demanda de los 30 minutos pico en el check-in

Para ello, se seguirá la siguiente expresión:

$$D = PHP_{eco} \cdot F1 \cdot F2 \quad (3)$$

Donde

- D es la demanda de los 30 minutos pico en el check-in
- PHP eco son los pasajeros de clase económica en la hora pico
- F1 es el % del PHP eco en los 30 minutos pico
- F2 es la demanda adicional generada por los vuelos de antes y después del periodo fijado

Para el cálculo de F1 y F2, se utilizarán dos tablas establecidas por la IATA, que se mostrarán a continuación (figuras 39 y 40). Sin embargo, no se dispone del valor de PHP eco, al no disponer de los datos segregados del aeropuerto. Para ello, será necesario hacer otra aproximación.

Como ya se ha visto en la tabla 18, el aeropuerto tendrá un total de 5.149 pasajeros el día tipo. Bajo la hipótesis de que el tráfico se concentra en 16 de las 24 horas de dicho día, resulta que, en cada hora, hay un total de 322 pasajeros de manera aproximada. Como todas las horas no serán

iguales, se multiplicará dicho valor por 1,05 (estableciendo, como nueva hipótesis, que la hora pico tendrá un 5% más pasajeros que el valor de una hora en distribución uniforme). El valor de la hora pico será 338 pasajeros.

Una vez calculado el PHP, se calculan los parámetros F1 y F2:

Table 1 — F1: Peak 30-Minute at Check-In as a Percentage of the Peak Hour Period

Number of flights during the peak hour period	Domestic/Schengen/Short-haul International	Long-Haul International
1	39%	29%
2	36%	28%
3	33%	26%
4 or more	30%	25%

Figura 39: Tabla para la determinación del parámetro F1
Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[65]

Table 2 — F2: Additional Demand Generated by the Flights Departing Before and After the Peak Hour Period

Average passenger load in the hour before and after the peak hour period in % of the PHP	Domestic	Schengen/Short-haul International	Long-haul International
90%	1.37	1.43	1.62
80%	1.31	1.40	1.54
70%	1.26	1.35	1.47
60%	1.22	1.30	1.40
50%	1.18	1.25	1.33
40%	1.14	1.20	1.26
30%	1.11	1.15	1.19
20%	1.07	1.10	1.12
10%	1.03	1.06	1.06

Figura 40: Tabla para la determinación del parámetro F2
Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[66]

Teniendo en cuenta la situación del aeropuerto de Braga, en el que hay tanto vuelos nacionales como internacionales, se dimensionará de manera global. En el caso del parámetro F1, esta suposición no afectará al diseño normal, ya que los vuelos domésticos, Schengen e internacionales de corto rango están en el mismo grupo. Sin embargo, en la determinación del parámetro F2, los vuelos domésticos y los vuelos Schengen e internacionales de corto rango se encuentran en grupos separados. Para solventar dicho inconveniente, se hará la media de ambos valores como valor de F2. Además, al haber realizado la corrección para la hora pico anteriormente (debido a la falta de datos segregados por horas), se hará la hipótesis de que la media de pasajeros en

las horas anteriores y posteriores es de un 90 %.

Con todos estos datos e hipótesis, se obtienen unos valores de $F1 = 0,3$ (hay 4 o más vuelos en la hora pico, ya que las operaciones/hora del día pico eran 5) y $F2 = 1,4$ (la media de los valores domésticos, 1,37, e internacionales de corto rango y Schengen, 1,43). Finalmente, el valor de demanda de los 30 minutos pico en el check-in es:

$$D = PHP_{eco} \cdot F1 \cdot F2 = 142$$

Determinación del resultado intermedio, S, a partir del tiempo máximo de cola en el check-in, MQT

El cálculo de S se hará en función de la demanda D anterior, a la que renombraremos X, por motivos de nomenclatura en las tablas establecidas por la IATA.

La tabla donde aparece la variable S en función de X para diferentes valores de MQT (Maximum Queue Time) es la siguiente:

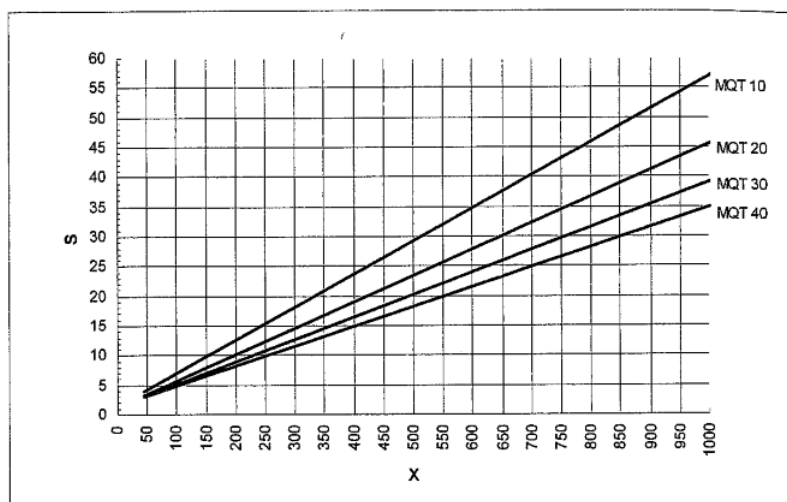


Figura 41: Resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT
 Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[67]

Para obtener S, hay que entrar al gráfico por la zona inferior, con el valor de X obtenido, cruzándolo con un valor de MQT previamente definido. En este caso, se ha establecido un MQT de 20 minutos como valor máximo. El resultado se puede observar en la siguiente tabla:

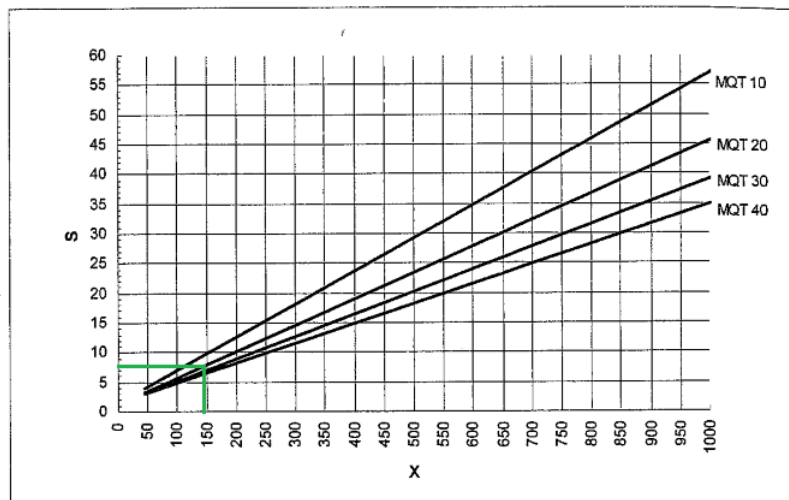


Figura 42: Cálculo del resultado intermedio S en función para un MQT de 20 minutos
Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[67]

El valor de S es 7,6.

Cálculo del número de mostradores para clase económica

Para este cálculo, se utilizará la siguiente expresión:

$$CIY = S \cdot \frac{PTci}{120} \quad (4)$$

donde CIY es el número de mostradores de clase económica y PTci es el tiempo medio que tarda un pasajero en realizar el check-in en segundos. Este tiempo se suele tomar como un valor entre 100 y 120 segundos. En este caso se tomarán 110 segundos, que es la media del rango típico de dicho valor. El número de mostradores será:

$$CIY = 7,6 \cdot \frac{110}{120} = 6,97 \quad (5)$$

Este valor se tiene que redondear a la unidad entera superior, por lo que el número de mostradores de clase económica será 7.

Cálculo del número de mostradores para clase business

Para calcular el número de mostradores para clase business, la IATA recomienda añadir el 20 % al valor previamente calculado. Sin embargo, para el aeropuerto de Braga, al operar aerolíneas low cost en su gran mayoría, esta proporción de vuelos en clase business se ha reducido a la mitad. En este caso será:

$$CIJ = 0,1 \cdot CIY = 0,697 \quad (6)$$

Por lo que habrá que añadir otro mostrador para clase business (redondeando de nuevo a la unidad entera superior). Con todo esto el número total de mostradores en el aeropuerto de Braga será de 8 (7 de clase económica y 1 de clase business)

6.3.2. Controles de pasaporte en salidas

Para las colas en los controles de pasaporte en llegadas, se contempla como distancia orientativa unos 0,9 metros entre pasajeros. Este valor será el que se tome para el aeropuerto de Braga.

En relación al número de controles de pasaportes, se seguirá el proceso recomendado por la IATA, al igual que se ha realizado con los mostradores de faacturación.

Cálculo de los 10 minutos pico en el check-in

Este dato se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Z = CIY \cdot \frac{600}{PT_{ci}} \cdot (1 + \%J) \quad (7)$$

donde la única variable desconocida a estas alturas es %J, que es el porcentaje de pasajeros en clase business, y obviamente, Z, que el valor a calcular. Observando el caso anterior, se puede definir que el valor de J es del 10 %.

Finalmente, el valor de Z es:

$$Z = 6,97 \cdot \frac{600}{110} \cdot 1,1 = 41,82$$

Cálculo del número de mostradores de control de pasaporte

La ecuación que se utilizará para este cálculo es:

$$PCD = Z \cdot \frac{PT_{pcd}}{600} \quad (8)$$

donde PCD es el numero de controles de pasaporte y PTpcd es el tiempo medio empleado por pasajero en el control de pasaporte (en segundos).El tiempo medio de control de pasaporte que se suele utilizar es de 20 segundos. De esta manera, el número total de control de pasaportes del aeropuerto de Braga es:

$$PCD = 41,82 \cdot \frac{20}{600} = 1,394$$

Por lo que serán necesarios 2 controles de pasaportes en el aeropuerto de Braga.

6.3.3. Controles de pasaporte en llegadas

Para el cálculo de los controles de pasaporte en llegadas se seguirá un proceso distinto al de salidas, como bien indica la IATA. Para ello, se seguirán los siguientes pasos:

Cálculo del resultado intermedio S

Al igual que se ha realizado con los mostradores de facturación, se calculará el valor S. Obviamente, el gráfico a utilizar es totalmente diferente, como se puede ver a continuación:

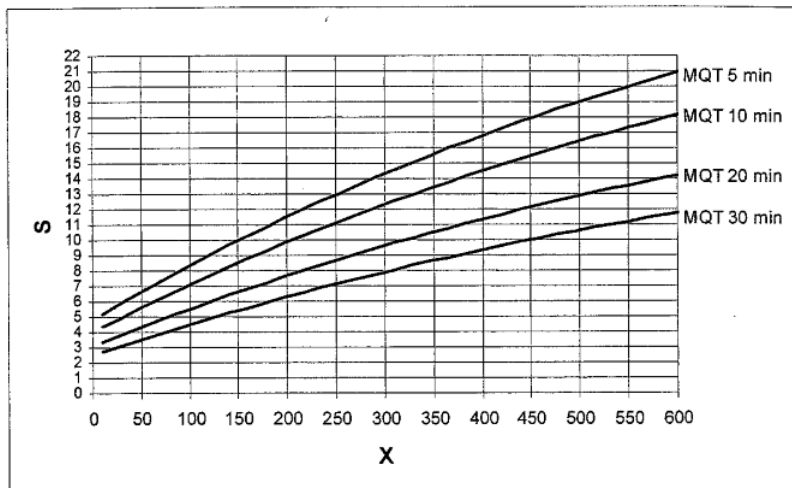


Figura 43: Resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT para pasaportes en llegadas

Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[68]

Primero, se debe encontrar el valor X, que se define por la siguiente ecuación:

$$X = \frac{PHP \cdot Puertassalida}{100} \tag{9}$$

El número de puertas de salida es 6. Con esto, el valor de X es:

$$X = \frac{338 \cdot 6}{100} = 20,28$$

Con este valor, se obtiene S:

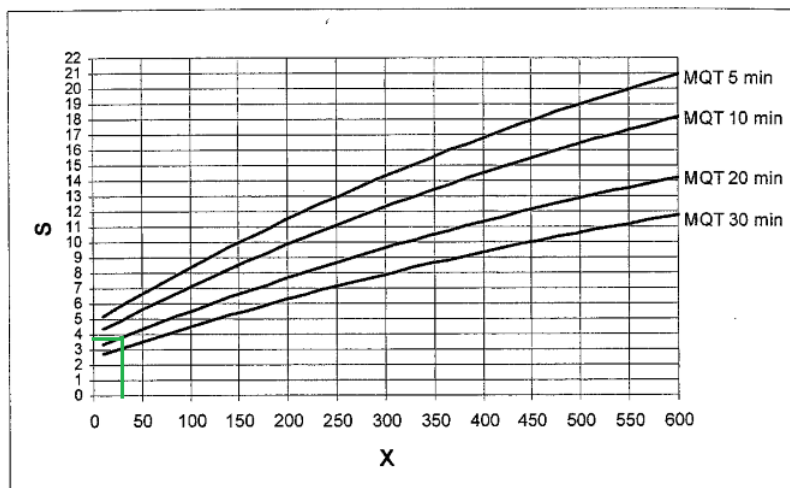


Figura 44: Cálculo del resultado intermedio S en función de X para diferentes valores de MQT para pasaportes en llegadas

Adaptado de IATA (2004). *Airport Development Reference Manual. 9th Edition*[68]

Finalmente, el valor de S es 3,5.

Cálculo del número de control de pasaportes

La expresión que se utilizará es la siguiente:

$$PCD = S \cdot \frac{PT_{pca}}{20} \quad (10)$$

donde PT_{pca} es el tiempo medio que tardan los pasajeros en realizar el control de pasaportes en llegadas, cuyo valor será de 20 segundos.

El número de controles de pasaportes para las llegadas es

$$PCD = 3,5 \cdot \frac{20}{20} = 3,5 \quad (11)$$

Por lo que se necesitarían 4 controles de pasaportes en llegadas. Es obvio que, estos criterios, son criterios generales para los aeropuertos. En el caso del aeropuerto de Braga, la gran mayoría de destinos son destinos nacionales o de la zona Schengen. Por esta razón, se ha creído conveniente que la cantidad de controles en llegadas sea el mismo que en salidas, por lo que habría un total de 2 controles de pasaportes en llegadas.

6.3.4. Puestos de seguridad

El proceso de dimensionado de los puestos de seguridad necesarios es:

Cálculo de los pasajeros en check-in de los 10 minutos pico

Para ello, se utilizará la siguiente expresión:

$$W = CIY \cdot \frac{600}{PT_{ci}} \cdot (1 + \%J) \quad (12)$$

donde ya se sabe que es cada elemento de la ecuación. Por ello, el valor de W es:

$$W = 6,97 \frac{600}{110} \cdot 1,1 = 41,82$$

Cálculo del número de puestos de seguridad

La ecuación que se utiliza en este caso es

$$SC = W \cdot \frac{PT_{sc}}{600} \quad (13)$$

La variable PT_{sc} es el tiempo medio que los pasajeros tardan en realizar el proceso de seguridad, con un tiempo típico de entre 12 y 18 segundos. En el caso del aeropuerto de Braga, se tomará la media, que es de 15 segundos. Finalmente:

$$SC = 41,82 \cdot \frac{15}{600} = 1,045$$

Por lo que habrá dos controles de seguridad en el aeropuerto de Braga.

6.3.5. Área del vestíbulo de espera de entrada en puerta de embarque

Este parámetro se calcula en función del porcentaje de pasajeros sentados y del porcentaje de pasajeros de pie.

La IATA no recomienda que estos espacios sean cerrados, sino que se puedan compartir entre diferentes puertas, con el fin de poder repartir el área en casos de saturación de alguna zona de alguna puerta determinada.

Para su cálculo, se ha seguido la siguiente expresión:

$$S = (80 \%A_c \cdot 80 \%se_p \cdot 1,7) + (80 \%A_c \cdot 20 \%st_p \cdot 1,2) \quad (14)$$

donde S es el área de la zona a calcular, A_c es la capacidad de la aeronave correspondiente a la puerta, se_p es el número de pasajeros sentados y st_p es el número de pasajeros de pie.

Es obvio que las dimensiones variarán en función de las aeronaves que operen en las diferentes puertas. En el aeropuerto de Braga, se dimensionarán estas zonas teniendo en cuenta la capacidad de la aeronave de diseño, el A321, que es de 220 pasajeros (para 1 sola clase). Con esto, el área es:

$$S = (0,8 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 1,7) + (0,8 \cdot 220 \cdot 0,2 \cdot 1,2) = 281,6 m^2 \quad (15)$$

6.3.6. Zona de recogida de equipaje

Para el cálculo de la cantidad de zonas de recogida de equipajes, se debe distinguir entre aeronaves de fuselaje ancho o estrecho. En el caso del aeropuerto de Braga, al ser un aeropuerto de carácter regional, la gran mayoría de los aviones que operen serán de fuselaje estrecho. De hecho, el A321 se le considera como tal, al tener un diámetro del fuselaje de 3,95 metros. Es por esto que, la cantidad de zonas de recogida de equipaje vendrá de la cantidad de vuelos con aviones de fuselaje estrecho. La expresión a utilizar es la siguiente:

$$N = \frac{PHP \cdot PNB \cdot CDN}{60 \cdot NNB} \quad (16)$$

donde los elementos nuevos que, no se han visto anteriormente, son PNB, que es la proporción de pasajeros que provienen de aviones de fuselaje estrecho (100%), CDN que es el tiempo medio que ocupa el proceso de recogida de equipaje en el caso de aeronave de fuselaje estrecho (que se tomará 20 minutos como valor establecido por la IATA) y NNB, que es el número de pasajeros de los aviones de fuselaje estrecho (que se tomará 100 pasajeros como valor establecido por la IATA). Con todo esto, el número de zonas de recogidas de equipaje es:

$$N = \frac{338 \cdot 1 \cdot 20}{60 \cdot 100} = 1,126$$

Por lo que serán necesarios 2 lugares de recogida de equipajes en el aeropuerto de Braga.

6.3.7. Área del vestíbulo de llegadas

Para el cálculo de este área, se seguirá la siguiente expresión:

$$A = SPP \cdot \frac{AOP \cdot PHP}{60} + SPP \cdot \frac{AOV \cdot PHP \cdot VPP}{60} \quad (17)$$

donde los elementos nuevos que no se han visto con anterioridad son AOP, que es el tiempo medio que tarda un pasajero de estancia en dicho vestíbulo (que se tomará 5 minutos como valor establecido por la IATA), AOV que es el tiempo medio que tarda un visitante o persona que espera a un pasajero en el vestíbulo (que se tomará 30 minutos como valor establecido por la IATA), SPP que es el espacio requerido por persona para un nivel de servicio (para nivel de servicio C se asume 2 metros cuadrados) y VPP, que es el número de visitantes o personas en espera por pasajero, donde se tomará como valor 0,7.

Finalmente, el área se calcula:

$$A = 2 \cdot \frac{5 \cdot 338}{60} + 2 \cdot \frac{30 \cdot 338 \cdot 0,7}{60} = 293 m^2$$

6.4. Visión global y dimensiones de la terminal

En este apartado se darán las dimensiones de la terminal. En las dos siguientes figuras, se pueden apreciar el esquema (figura 45) y las dimensiones (figura 47). De la primera imagen, aclarar que la parte en color negro es el conjunto carretera/acera del acceso a la terminal, la parte azul a la parte delantera de la terminal, la parte morada es la parte trasera de la terminal y la parte marrón son los fingers. Por último, decir que en la segunda imagen la escala es 1:1 y que las unidades son metros, además de aclarar que es la visión aérea de la terminal, y que las cotas son las correspondientes a las dimensiones del edificio, no a las zonas de carretera ni a los fingers, que simplemente se han añadido como complemento visual a la terminal.

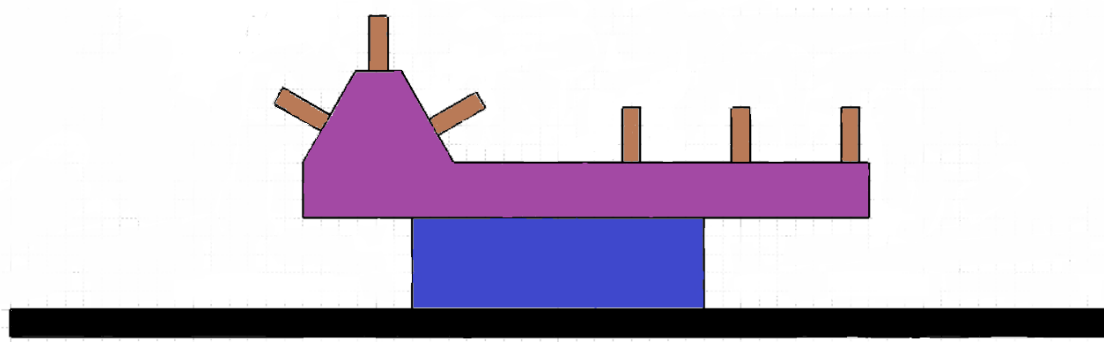


Figura 45: Esquema de la forma de la terminal del aeropuerto de Braga
Elaboración propia

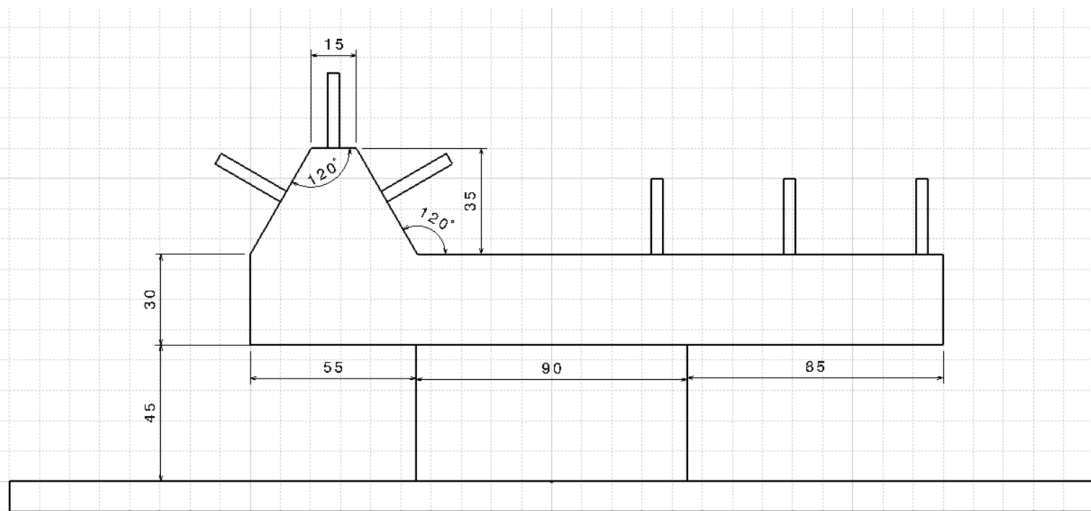


Figura 46: Dimensiones de la terminal del aeropuerto de Braga
Elaboración propia

El total de superficie de la terminal es de 12.175 metros cuadrados. Valorando la superficie, es algo más grande que la de otros aeropuertos regionales. Tomando de nuevo como referencia el aeropuerto de Granada, este cuenta con un total de 9000 metros cuadrados para toda su terminal. La diferencia es debida a que se buscará ofrecer la máxima comodidad a los pasajeros con zonas amplias y bien equipadas para un aeropuerto regional. A su vez, el aeropuerto de Braga dispondrá de más puertas de embarque que el aeropuerto de Granada. Además, el aeropuerto de Granada no dispone de fingers, por lo que es evidente que, para cada uno de ellos, debe existir la separación suficiente de seguridad entre aviones estacionados. Finalmente, al contar con un índice de crecimiento superior y, que en corto plazo, se superará de manera significativa el número de pasajeros del aeropuerto de Granada, se ha dimensionado la terminal para retrasar al máximo una posible ampliación.

Finalmente, cuantificando de manera aproximada los diferentes elementos calculados en los apartados anteriores, se obtendrá el espacio dedicado a los mismos. Para ello, se han realizado las siguientes hipótesis:

- Las distancias en las colas son las mismas que el valor más pequeño del caso de los mostradores de facturación
- Las colas tendrán un máximo de 20 pasajeros de espacio disponible

De este modo, las áreas quedan así:

Mostradores de facturación

El área se dividirá entre la zona dedicada al operador de facturación y el área disponible para la cola de espera. Se destinará un área de 1,5 m de ancho por 2 m de largo para la zona de operación. El área de la cola de espera será el producto del número máximo en cola y la distancia entre los pasajeros en la misma, que será de 1,4 m (algo menor a la media de las diferentes situaciones, debido a la naturaleza de los tipos de destino del aeropuerto) por el mismo ancho

de los mostradores. Así pues, la superficie dedicada a los mostradores de facturación es de:

$$S = 8 \cdot 1,5 \cdot 2 + 8 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 360 \text{ m}^2$$

Controles de pasaporte en salidas

Tomando como referencia un área similar a la de los mostradores de facturación y unas colas similares, el área queda:

$$S = 2 \cdot 1,5 \cdot 2 + 2 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 90 \text{ m}^2$$

Control de pasaporte en llegadas

Se hará exactamente como el control de pasaporte en salidas, ya que coinciden hasta en número

$$S = 2 \cdot 1,5 \cdot 2 + 2 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 90 \text{ m}^2$$

Controles de seguridad

La zona del control de seguridad se ha dimensionado de 6 m de largo por 2,5 de ancho, y la cola de espera, al poder estar diseñada de manera no recta y delimitada por cinta, se le ha asignado un ancho de 1,5 m, una distancia entre pasajeros de 1,4 m, 10 metros de longitud y 4 filas de cola. Por lo tanto:

$$S = 2 \cdot 6 \cdot 2,5 + 2 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 1,5 = 150 \text{ m}^2$$

Área vestíbulo de espera de entrada en puerta de embarque

Las medidas ya han sido calculadas anteriormente, solo quedaría multiplicarlo por las 6 entradas que habrá:

$$S = 6 \cdot 281,6 = 1689,6 \text{ m}^2$$

Zona de recogida de equipajes

Tomando como valor de longitud de la cinta 12 metros por 4 metros de ancho (formado por el conjunto de la ida y la vuelta de la cinta, además del hueco intermedio de seguridad), más 3 metros extra por lado por cuestiones de logística y comodidad, la superficie es:

$$S = 2 \cdot 12 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 = 576 \text{ m}^2$$

Área del vestíbulo de llegadas

El área del vestíbulo de llegadas ya ha sido calculado, y es

$$S = 293 \text{ m}^2$$

Total de la terminal

La superficie total de los servicios anteriores de la terminal de Braga es:

$$S_T = 360 + 90 + 90 + 150 + 1690 + 576 + 293 = 3249 \text{ m}^2$$

A estos valores, se le debe sumar las áreas del vestíbulo de entrada a la terminal, pasillos, almacenes, atención al cliente y puesto de información, servicios sanitarios, "duty free" del aeropuerto, oficinas, servicios de alquiler de vehículos, cafetería y/o tienda de comida/bar... Estos valores son difíciles de dimensionar ya que varían mucho en función del aeropuerto, ubicación, disposición general... Además no cuentan con funciones o valores estimados por parte de la IATA.

Pese a incluir todos estos servicios, la terminal se ha diseñado para poder albergarlos de manera que la comodidad de los pasajeros sea correspondiente al nivel C de diseño. Los 12.175 m^2 que dispondría la terminal son suficientes para ello (superaría ampliamente a la terminal de Granada [51], que contaría con unos servicios parecidos al de Braga).

6.5. Servicios disponibles en el aeropuerto de Braga

Pese a ser un aeropuerto regional, el aeropuerto de Braga contará con una serie de servicios para los pasajeros. Gracias a ellos, el aeropuerto generará una fuente de ingresos importante que ayudará a, en cierta medida, ir recuperando la inversión inicial. Añadir que, todos los servicios que se muestran a continuación, se dimensionarán en relación a la demanda del aeropuerto, por lo que realizar un dimensionamiento inicial carecería de sentido, así como de hablar de una dimensión en una fecha fija en el tiempo.

En primer lugar, el aeropuerto contará con dos servicios de alquiler de vehículos, situados en zonas de la terminal. Esto facilitará la movilidad para los llegados al aeropuerto, dando una alternativa a los taxis, buses y tren, y dando servicio a la gente que quiera disponer de un vehículo para moverse por la zona libremente.

Además, el aeropuerto dispondrá de una cafetería y un bar/restaurante donde los pasajeros podrán parar y descansar o esperar a pasajeros/vuelos, así como también podrán comer. A su vez, habrá máquinas expendedoras distribuidas por el aeropuerto para servir a los pasajeros. El aeropuerto también dispondrá de "duty free" en su interior.

Por último y como se comentará en el siguiente apartado, el aeropuerto contará con un servicio de parking para todo aquel pasajero que desee llegar al aeropuerto vía coche.

6.6. Zona de estacionamiento de vehículos y accesos

En el acceso al aeropuerto, se encontrará la parada de la línea de bus y tren, así como el lugar de parada de taxis. Tal y como se ha visto anteriormente en el esquema de terminal lineal, la entrada constaría de la fachada sur de la terminal, en el lado opuesto al lado aire. Además, el aeropuerto constaría de un servicio de alquiler de vehículos, para dar servicio a los turistas que lleguen y no dispongan de uno, del mismo modo que la mayoría de aeropuertos (por ejemplo, el de Granada, que hemos tomado como referencia [69], o el mismo de Oporto).

Al otro lado de la carretera de la entrada al aeropuerto, quedaría la zona de estacionamiento de vehículos. Para sus dimensiones y capacidad, será necesario valorar la demanda del aeropuerto, así como compararlo con aeropuertos parecidos, ya que no hay una expresión dedicada a su cálculo.

Como referencia en cuanto a plazas de estacionamiento necesarias para un tráfico actual o a corto plazo, el aeropuerto de Granada dispone de un parking de superficie cerrada con plazas cubiertas, con un total de 840 plazas, y con personal de gestión y vigilancia y servicio de batería. Pese a esto, existe un segundo parking no oficial en un área de servicio a escasos metros del aeropuerto, complementando el parking del aeropuerto. Aproximadamente, este segundo parking dispone de un número similar o algo inferior al parking del aeropuerto. Del mismo modo, el aeropuerto de Oporto dispone de varios parkings, tanto oficiales como de empresas privadas independientes. Por último, teniendo en cuenta que el número de pasajeros en el día punta son 5.149 y, bajo la hipótesis de que parte importante de los pasajeros (un 50 % aproximadamente) llega al aeropuerto vía transportes alternativos (taxi, bus o tren, ya que se favorecería su acceso por estas vías), se partirá de una capacidad de 2500 plazas máximas. Además, una gran cantidad de pasajeros no depositará su coche durante varios días, y, este número de gente, es la misma que va vaciando el parking, teniendo una proporción de salidas/entradas semejante. Es por esto, que el número máximo anterior se tendrá que ver reducido para que se acerque más a un valor realista y no caer en el sobredimensionamiento. Este valor, dimensionado para un aeropuerto con un ligero número de pasajeros superior al aeropuerto de Granada, se empieza a acercar a los números de dicho aeropuerto (aproximadamente unos 1600 plazas entre el oficial y el no oficial).

Finalmente, debido a que se tiene que dimensionar pensando en el corto plazo, ya que en un futuro a medio/largo se podrá ampliar dicha zona, se ha decidido que el parking del aeropuerto de Braga disponga de todos los anteriores servicios y con un número total de plazas de 2000 plazas. Es un valor redondo que se ha definido teniéndose en cuenta que es mejor opción sobredimensionar que subdimensionar. Al fin y al cabo, en todas las previsiones de tráfico, el número de pasajeros aumentará, pese a partir de diferentes valores iniciales y con diferentes tendencias. De este modo, en caso de recibir menos pasajeros al inicio, no será necesaria la ampliación de este lugar a tan corto plazo. Por último, como ya se ha comentado anteriormente, se buscará mejorar los accesos mediante otros transportes alternativos, a partir de la mejora de la red de transporte pública.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación exacta del parking del aeropuerto (zona de color naranja), además de la zona extra para buses y taxis:

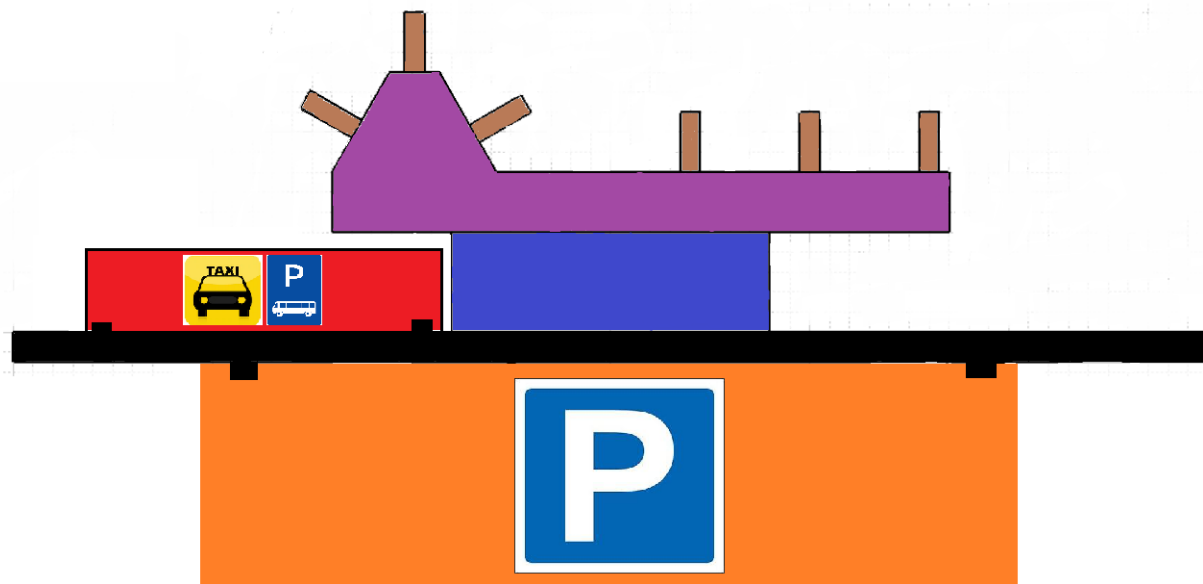


Figura 47: Esquema general de la ubicación de los diferentes lugares de estacionamiento del aeropuerto de Braga

Elaboración propia

Las dimensiones del mismo serían de 280 metros de largo por 100 de ancho (28.000 metros cuadrados), terreno suficiente para albergar dichas plazas de parking (se ha comparado con el parking de Granada y sus plazas y se ha proporcionado). La zona de buses y taxis contaría con una superficie de 140x30 metros (4.200 metros cuadrados).

6.7. Otros edificios aeronáuticos

6.7.1. Torre de control

La ubicación de la torre de control [70] debe ser tal que se pueda tener visión de todo el perímetro del aeropuerto, así como de las calles de rodadura y de la pista, con el fin de poder organizar y coordinar sus usos. Siguiendo estas premisas, la torre de control se situaría en la zona derecha de la terminal, entre el lado aire y la misma terminal. Esto haría que, al solo contar con una pista y con la configuración de calles de rodadura del aeropuerto de Oporto, desde la torre se sería posible controlar todo el aeropuerto. Además, en caso de ampliación de la pista (o de la construcción de una paralela al norte del aeropuerto) la ubicación seguiría siendo válida.

Para determinar la altura de la torre [71], se suele emplear el criterio del 1,5%. Este criterio se basa, básicamente, en que el ángulo de visión de las aeronaves debe ser del orden de 1,5%. A partir de este dato y de la distancia máxima entre la aeronave (que correspondería a un extremo de la pista) hasta la torre, se podría obtener la altura de la torre de control.

Suponiendo que el lado aire del aeropuerto se encuentra tras la terminal, con la disposición del aeropuerto de Oporto (tal y como se ha comentado anteriormente), pero adaptado a las dimensiones calculadas en el capítulo de diseño del lado aire, es posible determinar la distancia

máxima entre torre de control y dicho punto.

Como se puede observar en la figura 27, por cuestiones de terreno, la pista del aeropuerto de Oporto no está centrada respecto a la terminal. En el aeropuerto de Braga, se centraría más este aspecto, de cara a reducir la distancia entre la torre y el extremo de pista. Además, es necesario recordar que, la pista del aeropuerto de Braga es de 3004 metros, respecto a los 3479 metros del aeropuerto de Oporto.

Finalmente, la distancia entre la torre de control y el extremo más alejado de pista en el aeropuerto de Oporto es de 2960 metros. Reduciendo 200 metros por el centrado de la terminal y 475 metros por la diferencia de longitud de pista, se obtiene que la máxima distancia entre la torre de control y cualquier punto donde opere una aeronave es de 2285 metros. Aplicando el factor del 1,5%, se obtiene que la altura de la torre de control es:

$$h = 0,015 \cdot 2285 = 34,275 \text{ m} \quad (18)$$

La torre de control irá equipada con todos los sistemas necesarios para su uso, además de facilitar su acceso desde la terminal y otras instalaciones. Respecto a la visibilidad de la torre, por normativa, los cristales deberán ir colocados con una inclinación vertical de 15º negativos, con el fin de evitar deslumbramientos y reflejos. Además, el fanal (zona desde donde los controladores ejercen su función de control y coordinación de las aeronaves) no esté orientado hacia ponente o levante por motivos de deslumbramiento con sol rasante.

Finalmente, la estética exterior de la torre se correspondería con el de la terminal, con el fin de homogeneizar el conjunto de elementos del aeropuerto.

6.7.2. Equipamiento de salvamento y contra-incendios

En todo aeródromo debe haber un servicio de salvamento y contra-incendios. Los aeródromos, en este sentido, se pueden clasificar en 10 diferentes categorías según la aeronave de diseño del mismo. En la siguiente figura, aparecen las condiciones de las diferentes categorías:

Longitud avión (m)	Categoría	Ancho máximo Fuselaje (m)
De 0 hasta 9	1	2
De 9 hasta 12	2	2
De 12 hasta 18	3	3
De 18 hasta 24	4	4
De 24 hasta 28	5	4
De 28 hasta 39	6	5
De 39 hasta 49	7	5
De 49 hasta 61	8	7
De 61 hasta 76	9	7
De 76 hasta 90	10	8

Figura 48: Categoría del aeródromo en relación a servicios de salvamento y contra-incendios Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición.[72]

En el caso del aeropuerto de Braga, le correspondería un nivel de categoría 7. Según la normativa, para dicha categoría le corresponderían 2 vehículos disponibles. Además, su localización debe permitir que alcancen cualquier lugar de la pista en menos de 3 minutos y alcanzar el 50 % del régimen de descarga del elemento extintor. Es por esto, que el lugar del servicio de salvamento se encontraría en un lugar cercano a la torre de control, lo que le permitiría estar a distancias permitidas de cualquier punto del aeródromo. Por último, el servicio debe estar disponible todos los días del año donde haya operaciones en el aeropuerto u otro tipo de movimientos.

6.7.3. Suministro eléctrico

El aeropuerto de Braga puede lograr la energía de varias centrales de energía de Portugal. En primer lugar, a aproximadamente 100 km al sur de Braga (entre Viseu y Coimbra) se ubica la central eléctrica de Biomassa. Más cercana está la central eléctrica de Carrapatelo, a unos 40 km.

Sin embargo, la futura construcción de la megacentral eléctrica de Tâmega [?] (compuesta por tres presas y tres centrales) ,a manos de Iberdrola, establecería a dicha central como la principal fuente de suministro eléctrico del aeropuerto.

Se tiene previsto que la obra finalice y se ponga en marcha entre 2021 y 2023. La capacidad conjunta de la planta será de 1.158 megavatios.

Adicionalmente, se podría utilizar una de las centrales anteriores como central de emergencia para el aeropuerto, en caso de fallo de la de Tâmega.

Además, el aeropuerto debe contar con una fuente secundaria de energía [74], en el caso de que fallen las fuentes primarias. Ésta consta de un motor generador diésel eléctrico, con autonomía mínima de 72 horas, además de una UPS (Uninterruptible Power Source) y un Transfer device. Éstos dos últimos elementos se encargan de suministrar energía y del correcto cumplimiento de los valores de conmutación de las diferentes luces y elementos, hasta que el motor generador esté operativo.

Las limitaciones de los periodos de conmutación dependen de la categoría del aeropuerto que, en este caso, es la II. Para esta categoría, los valores que se cumplirán son los siguientes:

<i>Pista</i>	<i>Ayudas luminosas que requieren energía</i>	<i>Tiempo máximo de conmutación</i>
Para aproximaciones de precisión, Categoría II/III	300 m interiores del sistema de iluminación de aproximación	1 segundo
	Otras partes del sistema de iluminación de aproximación	15 segundos
	Obstáculo ²	15 segundos
	Borde de pista	15 segundos
	Umbral de pista	1 segundo
	Extremo de pista	1 segundo
	Eje de pista	1 segundo
	Zona de toma de contacto	1 segundo
	Todas las barras de parada	1 segundo
	Calle de rodaje esencial	15 segundos

Figura 49: Valores máximos de los intervalos de conmutación para los diferentes elementos de la pista del aeropuerto de Braga

Adaptado de OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. [74]

7. Ampliación de futuro del aeropuerto

En este apartado se diseñará un plan de ampliación para los diferentes elementos del aeropuerto para un medio/largo plazo. Para ello, los valores de pasajeros que se tomarán serán los de la visión realista, adaptando estos en un futuro a la situación real del aeropuerto.

Tomando como fecha futura unos 20 años desde hoy (algo intermedio entre el medio y largo plazo), se tiene que, el número de pasajeros y operaciones estimado del aeropuerto de Braga, es de:

Parámetro	Valor
Pasajeros	2.400.000
Operaciones	29.000

Tabla 29: Cantidad de pasajeros y operaciones estimadas para 2040 en el aeropuerto de Braga

Nótese que el valor de operaciones se ha estimado a partir de la proporción de la variación de pasajeros en las estimaciones actuales y el valor total de la previsión para 2040, que es de 1,996. Multiplicando el valor de las operaciones del aeropuerto de Braga en 2020 por dicho factor, se ha obtenido la aproximación para 2040.

A partir de estos valores y realizando el mismo proceso que se ha realizado en el apartado de previsión de tráfico, se obtiene que, durante el mes pico, hay un total de 228.030 pasajeros y 2347 operaciones. Esto comporta que, siguiendo las mismas hipótesis que dicho apartado, el día pico tenga 10421 pasajeros y el día tipo 8858 pasajeros. Por último, el valor de operaciones del día pico es 106 operaciones, con un valor de 7,2 operaciones/hora.

Una vez se tienen los valores de pasajeros y operaciones para 2040, se analizarán todos los elementos del aeropuerto:

7.1. Vientos y meteorología

En principio, estos datos son constantes en el tiempo que se maneja (20 años) o, en su defecto, la variación es mínima. Además, el análisis ya realizado contempla unos datos recogidos durante 37 años, por lo que ya se podrían tomar como válidos.

En el caso de que hubiera cualquier tipo de cambio en el clima (pese a ser casi imposible), se debería analizar las nuevas características para tener en cuenta la nueva situación. Por ejemplo, en el caso de que la visibilidad se redujera, se debería ampliar la categoría de la pista, acorde a las nuevas características, instalando el equipo necesario.

7.2. Aeronave de diseño

La aeronave de diseño, el A321, tiene el suficiente rango como para cubrir distancias más largas. Es por esto que, en caso de ampliar la selección de destinos del aeropuerto y, que éstos fueran

más lejanos a los actuales, el A321 podría seguir siendo la aeronave de diseño. En el caso de que se utilizara otra aeronave para estos destinos, sería de magnitudes parecidas. Este punto es importante, ya que muchos elementos de diseño dependen de la aeronave de diseño como por ejemplo, el número y letra de clave del aeropuerto.

7.3. Dimensiones de las pistas, calles de rodadura y otros elementos

Como ya se ha estimado que no se cambiará la aeronave de diseño, la pista y el resto de elementos mantendrán sus dimensiones actuales, así que únicamente se tendrán que hacer las labores de mantenimiento de la misma o obras en caso de sufrir desperfectos, de cara a cumplir toda normativa de seguridad (mantener el buen asfaltado de la pista, su rugosidad, la correcta señalización...)

Además, al realizar un diseño del lado aire igual al del aeropuerto de Oporto (con medidas adaptadas), no sería necesario la incorporación de nuevos elementos o plataformas de espera. Esto es debido a que, con la actual configuración, el aeropuerto puede soportar un número de 20 operaciones/hora, valor lejano al del aeropuerto de Braga. Esto, además, descarta la incorporación de una segunda pista (que, en el caso de necesitarla, sería paralela a la ya existente, ubicada al norte) para el aeropuerto. Esto no solo comporta la no construcción de la misma, sino el mantener la nomenclatura de la pista ya existente (al ser paralelas, se debería incluir una letra en la señalización horizontal de la misma).

En el caso de las plataformas de estacionamiento, tendrían que ser aumentadas de 6 a 8, al contar con un número de 7,2 operaciones/hora como valor máximo. Al no cambiar la aeronave de diseño, las dimensiones de las mismas no se verían afectadas. En el caso de cambio, se tendrían que adaptar a la nueva aeronave de diseño, hecho que no conviene por todos los cambios de espacio que comportaría.

En el caso improbable de cambio de aeronave de diseño y que esto comportara un cambio del número y letra de clave del aeropuerto, se deberían realizar las pertinentes obras para adaptar los elementos a la nueva realidad, aunque es un movimiento que, con las cifras que se manejan en 2040, probablemente no sería viable económicamente.

Finalmente, es obvio que, al no cambiar la meteorología, se seguiría sin proporcionar plataformas de deshielo en el aeropuerto de Braga.

7.4. Servidumbres aeronáuticas

Las servidumbres aeronáuticas no se verían afectadas en el caso de dejar la configuración y dimensión de pistas tal y como están en la actualidad.

Como en el resto de apartados, en caso de realizarse cambios, se tendrían que adaptar a la normativa pertinente.

7.5. Dimensionado y forma de la terminal

La terminal seguiría contando un una planta lineal con el añadido de la forma triangular, pero cambiaría a un diseño de nivel y medio, con la parte trasera de la terminal pasando a tener dos niveles. Con dicho cambio, se podría separar el flujo de entradas y salidas en las dos plantas, ya que con el aumento de pasajeros podría verse afectado y crear situaciones de confusión para los pasajeros, de modo que se mantendría el nivel de servicio C. Además, obviamente, se ganaría espacio para la inclusión de nuevos elementos necesarios. La nueva superficie de la terminal pasaría a ser de $20.300 m^2$. Comparándolo con otro aeropuerto similar, como por ejemplo, el aeropuerto de Santiago (que aun así tendría 500.000 pasajeros más que el aeropuerto de Braga), éste tiene una superficie aproximada de $22.464 m^2$. Así pues, por comparación, el valor de la nueva terminal de Braga tendría una superficie razonable, teniendo en cuenta que el de Santiago cuenta con dos niveles.

También se tendría que hacer es la incorporación de 2 puertas de embarque adicionales a las ya existentes, con el fin de poder llegar a las 8 plataformas de estacionamiento que dispondría el aeropuerto de Braga.

La configuración que se llevaría a cabo sería la incorporación de un finger en el lado oeste de la terminal, así como de una entrada para acceder de forma remota a la aeronave. De esta manera, la única obra de otro en el lado este. La configuración resultante se muestra en la siguiente figura:

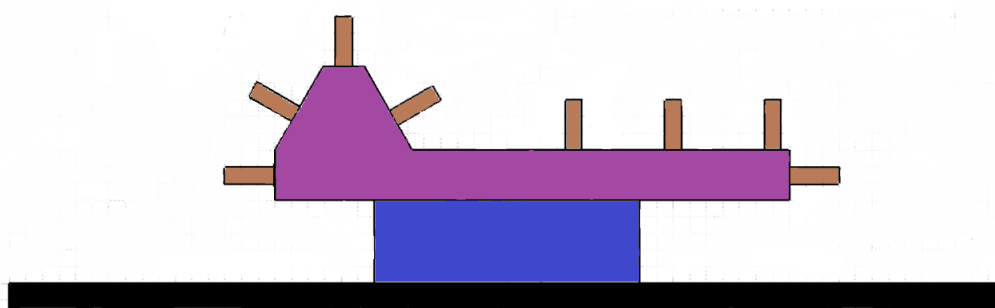


Figura 50: Configuración de los nuevos fingers en el aeropuerto de Braga
Elaboración propia

Finalmente, para el cálculo de los diferentes parámetros de la terminal, se seguirá el mismo proceso que se ha realizado en el apartado correspondiente. Con un nuevo valor $PHP = 582$ pasajeros, se obtienen los siguientes resultados:

Mostradores de facturación

- $PHP = 582$
- $F1 = 0,3$
- $F2 = 1,4$

- $D = 244,44$
- $MQT = 20$
- $S = 11,5$
- $CIY = 10,54$
- Mostradores clase económica = 11
- $CIJ = 1,05$
- Mostradores clase business = 2
- Mostradores totales = 13

Control de pasaporte en salidas

- $Z = 63,24$
- $PCD = 2,108$
- Controles de pasaporte en salidas = 3

Control de pasaporte en llegadas

- $X = 46,56$
- $S = 4,1$
- $PCD = 4,1$
- Controles de pasaporte en llegadas = 3 (misma razón que en 2020)

Puestos de seguridad

- $W = 63,24$
- $SC = 1,58$
- Control de seguridad = 2

Área vestíbulo de espera de entrada en puerta de embarque

- Superficie = $281,6 m^2$

Zona de recogida de equipaje

- $N = 1,94$
- Lugares de recogida = 2

Área del vestíbulo de llegadas



- $A = 504,4 \text{ m}^2$

En la siguiente tabla se pueden observar los valores en comparación con los necesarios en 2020:

Parámetro	Valor 2020	Valor 2040
Mostradores de facturación	8 (7 eco / 1 business)	13 (11 eco / 2 business)
Control pasaporte en salidas	2	3
Control pasaporte en llegadas	2	3
Controles de seguridad	2	2
Área vestíbulo espera de entrada	281,6 m^2	281,6 m^2
Zonas de recogida de equipaje	2	2
Área vestíbulo de llegadas	293 m^2	504,4 m^2

Tabla 30: Resumen de las medidas y cantidades, en 2040, de las diferentes zonas de la terminal y comparativa con los valores de 2020

Las nuevas superficies de los diferentes elementos son (siguiendo las mismas características que en el aeropuerto actual):

Mostradores de facturación

$$S = 13 \cdot 1,5 \cdot 2 + 13 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 585 \text{ m}^2$$

Controles de pasaporte en salidas

$$S = 3 \cdot 1,5 \cdot 2 + 3 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 135 \text{ m}^2$$

Control de pasaporte en llegadas

$$S = 3 \cdot 1,5 \cdot 2 + 3 \cdot 1,4 \cdot 20 \cdot 1,5 = 135 \text{ m}^2$$

Controles de seguridad

$$S = 2 \cdot 6 \cdot 2,5 + 2 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 1,5 = 150 \text{ m}^2$$

Área vestíbulo de espera de entrada en puerta de embarque

Las medidas ya han sido calculadas anteriormente, solo quedaría multiplicarlo por las 6 entradas que habrá:

$$S = 8 \cdot 281,6 = 2252,8 \text{ m}^2$$

Zona de recogida de equipajes

$$S = 2 \cdot 12 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 = 576 m^2$$

Área del vestíbulo de llegadas

$$S = 504,4 m^2$$

Total de la terminal

La superficie total de los servicios anteriores de la terminal de Braga es:

$$S_T = 585 + 135 + 135 + 150 + 2252,8 + 576 + 504,4 = 4338,2 m^2$$

En proporción, este área ha aumentado de forma parecida al crecimiento de metros disponibles debido a la creación del nivel 2 de la parte trasera de la terminal, por lo que la sensación de espacio que existía seguirá estando presente. Además, al crear este segundo nivel, se necesitará dotar de escaleras mecánicas, escaleras convencionales y ascensores para la comunicación entre niveles. Esto supondrá que se deba sumar a la superficie total de los elementos que se han mencionado en el apartado de la terminal (servicios, "duty free", pasillos...).

7.6. Zona de estacionamiento de vehículos y accesos

La ubicación de los accesos y de la zona de estacionamiento no variará. Sin embargo, es necesario considerar una ampliación respecto a la estimación inicial de 2020. No es conveniente dar un valor de plazas adicionales (tanto en el parking de vehículos como en el de taxis/buses) ya que es mejor analizar el comportamiento en el periodo 2020-2040. De hecho, es posible que, la ampliación de estos servicios, sea anterior a 2040. Si es cierto que, el dimensionamiento inicial de dichas zonas está algo sobredimensionado, teniendo un margen superior de seguridad, para poder dar un lugar a todos los potenciales clientes.

De ampliarse, se tendría que tener en cuenta el terreno de los alrededores, ya que, siempre que sea posible, se deberían ampliar en la misma zona donde ya se ubican. De no ser esto posible, se intentaría buscar lugares alternativos para la construcción de nuevas zonas. Tal y como pasa en el aeropuerto de Granada o en el de Oporto, también está la posibilidad de que empresas privadas construyan un parking alternativo, que complemente el ya existente del aeropuerto.

8. Economía del aeropuerto

En este capítulo se tratará el *management* del aeropuerto, así como los aspectos relacionados con la parte económica de un aeropuerto [75], de una forma preliminar. Estos temas suelen ser complejos y se tienen que ir ajustando de manera anual. Además, hay una gran cantidad de variables a tener en cuenta. Del mismo modo, para un estudio de viabilidad, se necesitaría conocer los costes exactos del aeropuerto, así como de los futuros planes de ampliación o costes de mantenimiento. En este proyecto, se darán unos valores estimados para los ingresos y costes generales.

En relación a los ingresos, se mostrará, de forma teórica, la distribución de los mismos para los diferentes tipos de aeropuerto. Además, se cuantificará, de manera preliminar, los ingresos relacionados con el tráfico aéreo del aeropuerto de Braga, tomando un aeropuerto español como referencia, adoptando unas tasas de un orden parecido a un aeropuerto existente de características similares.

Por otro lado, los costes del proyecto se mostrarán en el documento de Presupuestos, donde se realizará, también de forma estimada y preliminar, 3 presupuestos segmentados (costes de infraestructura, costes de servicios y equipos y el coste del diseño del proyecto), además de dar un presupuesto general del proyecto. Se ha decidido el realizar dicha parte de manera preliminar, al igual que la parte de los ingresos, ya que se trata de un proyecto complejo y de grandes magnitudes, por lo que se necesitarían más conocimientos y más herramientas, para realizarlo de manera más precisa y real.

Finalmente, añadir que, el aeropuerto de Braga, al tratarse de una obra pública, realizada por la ANAC (Autoridade Nacional de Aviação Civil) de Portugal, tendrá como función principal dar servicio a la población portuguesa, dejando en un segundo plano la parte de viabilidad del aeropuerto citado.

8.1. *Management* del aeropuerto

Hasta finales de 1970, los aeropuertos eran simplemente vistos como una extensión del gobierno. Desde entonces, la conexión entre los gobiernos y los aeropuertos ha ido perdiendo fuerza, a la misma vez que la presión para los aeropuertos para convertirse en algo comercialmente viables aumentaba. Esta viabilidad comporta que el aeropuerto sea administrado como un negocio independiente, con el fin de, no solo cubrir los costes con los ingresos, sino tener beneficios para posibles programas de desarrollo.

Este aspecto se ha convertido, en la actualidad, en una realidad. Generalmente, los aeropuertos desarrollan vías de ingresos a partir del sector privado. Es por esto, que uno de los objetivos del *management* del aeropuerto es determinar la capacidad, las previsiones y la demanda junto a la viabilidad financiera del aeropuerto, así como con los niveles de servicio del mismo.

El proceso de privatización de los aeropuertos es, normalmente, un proceso de arrendamiento durante largos periodos de tiempo de, o bien el aeropuerto en su conjunto, o bien de ciertas partes del mismo, con la responsabilidad sobre el arrendatario de la expansión y desarrollo.

Por ejemplo, en Latinoamérica es el método o forma más común. En África, Australia y Canadá, entre otros, también existe esta forma.

Por último, mencionar que es importante que, en los casos de aeropuertos en parte privados, exista una negociación o regulación para evitar los monopolios, concretamente en los casos que el aeropuerto mire únicamente por el bien económico y no por el servicio a la ciudadanía. Dependerá del gobierno/normativa del país en cuestión una regulación más o menos dura.

8.2. Costes de infraestructuras del aeropuerto

Los costes e inversiones en la infraestructura del aeropuerto representan una gran parte del coste total del aeropuerto. Por ejemplo, para aeropuertos con planes de expansión continuos, este porcentaje puede llegar a ser, aproximadamente, de entre el 25-50 %. Para el caso de los aeropuertos "greenfield" (expresión inglesa para designar a los proyectos que se diseñan sin restricciones externas de infraestructura o edificios), estos costes pueden representar hasta el 90 % de los costes, ya que no hay costes adicionales para la preparación del terreno o la eliminación de partes o edificios de no interés.

En el caso del aeropuerto de Braga, al no haber escogido una ubicación exacta, no se puede definir si será "greenfield", pero se puede afirmar que, dentro de la zona escogida, no había apenas edificación o infraestructura a eliminar. Sin embargo, si que existía una parte importante de bosque.

Durante los primeros años de la aviación, los costes relacionados con la construcción de la infraestructura básica (pistas, calles de rodadura, terminal...) eran mucho menos costosas que con los estándares de hoy en día. Los aeropuertos eran edificaciones simples, donde se utilizaban los diseños más baratos posibles.

Además, hoy en día, los aeropuertos se deben construir a una distancia considerable de la propia ciudad, respetando las normas pertinentes. Esto hace que, por ejemplo, se requieran construcciones adicionales, como pueden ser carreteras o redes ferroviarias. Adicionalmente, estos lugares suelen ser de una peor calidad para la construcción. El proceso donde se arregla dicho terreno suele representar un gran porcentaje de los costes. Por ejemplo, un terreno que necesite de una nivelación ya que está rodeado de colinas.

Respecto a los costes de mantenimiento y de operación suelen representar un tercio del coste total de la infraestructura. El coste del "staff" se encuentra en el rango de entre el 20-40 % del coste total del aeropuerto. En el caso de USA, los costes en "staff" suelen ser bajos, ya que no se involucran en la labor de controlar el tráfico aéreo o de llevar a cabo algunas actividades. Allí, las aerolíneas están mucho más involucradas en estos aspectos.

8.3. Fuentes de ingreso de los aeropuertos

Las dos fuentes de ingresos principales de los aeropuertos son las relacionadas con las actividades del tráfico aéreo (tasas de aterrizaje, cargos por el servicio de pasajeros...) y las relacionadas con las actividades comerciales del aeropuerto (alquileres de vehículos, parking del aeropuerto, concesiones para las diferentes tiendas/restaurantes...). Normalmente, el peso entre ambas

fuentes suele ser del 50-70 % para la fuente de ingresos 'aeronáutica' y de un 30-50 % para la fuente de ingresos 'no aeronáutica'.

Cada empresa/grupo/gobierno que controla un aeropuerto, es el encargado de establecer estas tasas. En el caso del aeropuerto de Braga, al tratarse de una inversión pública realizada por la ANAC, serían los encargados de establecer dichas tasas.

Por ejemplo, en el caso de AENA en España, las tasas se evalúan anualmente, para así poder ajustar las ganancias a corto plazo. En la siguiente imagen, se muestran las tasas de aterrizaje en los diferentes aeropuertos españoles para vuelos europeos e internacionales. El resto de tasas se puede consultar en la página web de AENA, donde se hace público cada año un documento donde se recogen todas las tasas.

Airport	LANDING		AERODROME SERVICE	
	€ per Ton	Minimum charge (€)	€ per Ton	Minimum charge (€)
Adolfo Suarez Madrid-Barajas	8,269210	149,89	3,199274	65,29
Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	7,285036	132,02	3,179525	64,91
Alicante-Elche, Gran Canaria, Tenerife Sur, Málaga-Costa del Sol and Palma de Mallorca	6,910621	93,95	3,120278	46,49
Bilbao, Fuerteventura, Girona, Ibiza, César Manrique-Lanzarote, Menorca, Santiago, Sevilla, Tenerife Norte and Valencia	5,798074	13,55	2,863547	7,05
Almería, Asturias, Coruña, FGL Granada-Jaén, Jerez, La Palma, Murcia San Javier, Reus, Seve Ballesteros Santander, Vigo and Zaragoza	4,246929	9,99	2,241467	5,57
Albacete, Algeciras, Badajoz, Burgos, Ceuta, Córdoba, Madrid Cuatro Vientos, Hierro, Huesca, La Gomera, León, Logroño, Melilla, Sabadell, Salamanca, San Sebastián, Son Bonet, Pamplona, Vitoria and Valladolid.	2,802760	5,43	1,905740	3,89

Figura 51: Tasas de aterrizaje AENA para los vuelos internacionales en 2020
Adaptado de AENA. Prices Guide (2020) [76]

Con el fin de estimar todas estas tasas, del mismo modo que se ha realizado para los servicios disponibles, se tomarían valores parecidos a los del aeropuerto de Granada. De cara a un futuro a medio/largo plazo, estas tasas cambiarían a las de un grupo superior al aeropuerto de Granada. De todos modos, como ya se ha mencionado con anterioridad, estas tasas son evaluadas de forma anual, por lo que se podría ir ajustando de manera óptima a las necesidades económicas del aeropuerto, por lo que realizar previsiones de futuro perdería bastante sentido o fuerza, en relación a otras tareas, como el dimensionamiento de la terminal o el diseño del lado aire del aeropuerto.

8.4. Presupuesto del proyecto

En este apartado se mostrará el presupuesto del proyecto del aeropuerto de Braga. En el documento Presupuestos es posible ver los diferentes presupuestos de las diferentes partes del proyecto (infraestructuras, equipos, recursos humanos, recursos materiales y el total). Del mismo modo, se ha realizado una introducción teórica sobre los documentos de presupuestos y su elaboración, así como las aclaraciones pertinentes para los elementos de los presupuestos que pudieran ser confusos.

El presupuesto total del proyecto del aeropuerto de Braga es:

Concepto	Coste total [€]
Presupuesto en infraestructuras	36.913.015,41
Presupuesto de equipos	17.942.989,22
Presupuesto en recursos humanos	5.770
Presupuesto en equipos y materiales	3.936
Presupuesto total del proyecto	54.865.710,63

Tabla 31: Presupuesto total del proyecto del aeropuerto de Braga

9. Impacto medioambiental del proyecto

En este capítulo se mencionarán los principales impactos medioambientales del proyecto.

Impactos negativos

- **Deforestación:** Dependiendo del lugar exacto del aeropuerto, tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, es posible que se produzca una deforestación de parte de la zona. El aeropuerto se ubicaría en una zona con bosques cercanos, aunque se intentarían evitar dichas zonas.
- **Pérdida de biodiversidad:** Es un efecto relacionado con el anterior, ya que el hecho de deforestar una zona implica la pérdida de biodiversidad de la misma. A su vez, también se vería afectada por los impactos acústicos, que se verán a continuación
- **Contaminación acústica y lumínica:** Debido al ruido que originan los aviones y el aeropuerto en general, además de la cantidad de luces y dispositivos que se utilizan para el uso del mismo, es un aspecto que se debe tener en cuenta e intentar minimizarlo.
- **Explotación de recursos:** se necesitará de un gran uso de recursos naturales, como puede ser el consumo de agua potable. Además, se necesitará una gran cantidad de energía y combustible para llevar a cabo el uso del aeropuerto y sus aeronaves
- **Contaminación atmosférica:** A raíz del uso de combustibles, se emitirá una gran cantidad de gases a la atmósfera. Por normativa, ya se vigila que los combustibles no sean especialmente nocivos para el medio ambiente. Sin embargo, la emisión de este tipo de gases, afecta de forma muy negativa a la atmósfera, y puede producir efectos secundarios tanto en el clima (cambio climático) como en la biodiversidad de la zona.

Impactos positivos

Es difícil clasificar o obtener algún impacto positivo cuando se construye un aeropuerto nuevo, con todo lo que implica. Sin embargo, el aeropuerto puede apostar por energías renovables (uso de placas solares para obtención de energía, por ejemplo), que, si bien es cierto que supone un impacto negativo en lo que se refiere a su instalación o ubicación, por ejemplo, son energías menos contaminantes que el uso de energías como la térmica, entre otras.

Conclusiones

En este capítulo se realizarán las conclusiones del proyecto. Además, se harán las recomendaciones necesarias para el uso correcto del aeropuerto, así como mencionar aspectos que no se hayan englobado en el presente proyecto, al tratarse de un diseño preliminar.

En primer lugar, la gran mayoría de los aspectos calculados durante el proyecto, se corresponden con la definición inicial de aeropuerto regional (longitudes de pista, disposición, aeronave de diseño...), por lo que todas estas características han sido respetadas.

En relación a la elección del lugar, se ha visto que el factor más decisivo que se ha tenido en cuenta para la elección de Braga ha sido la presencia de aeropuertos cercanos. Esto es debido, tal y como se ha explicado en el capítulo correspondiente, que un aeropuerto no deja de ser un negocio y que, a mayor competencia, menor número de clientes potenciales se obtendrá. Sin embargo, al tratarse de un proyecto preliminar, no se ha seleccionado el lugar exacto del aeropuerto, aunque sí se ha seleccionado una zona válida. De llevar a cabo dicho proyecto, se debería escoger, mediante un estudio con diferentes variables (precio del terreno, necesidad o no de expropiación, estado del terreno, impacto medioambiental, conexiones con las ciudades y vías...) el lugar óptimo para el aeropuerto.

En cuanto a la previsión de tráfico, parte clave del diseño ya que lo condiciona casi en su totalidad, se ha observado en el proyecto la gran dificultad en obtener datos segregados de los pasajeros de los diferentes aeropuertos del mundo. En el caso de Portugal, el nivel más bajo de segregación de los datos es anual y, en España, mensual. Este factor ha agregado una dificultad extra al proyecto, ya que se ha tenido que realizar extrapolaciones entre tres diferentes aeropuertos, para poder lograr unos valores estimados para el aeropuerto de Braga (este hecho, le resta precisión a la previsión de tráfico). Es por esto, que en un proyecto que no sea preliminar, es necesario realizar análisis estadísticos de mayor precisión, utilizando un historial lo más realista posible, y minimizando las extrapolaciones.

Los datos obtenidos (caso realista) tras el cálculo han sido que, a corto plazo, se tendrá 1.918.900 pasajeros, una cantidad notable para un aeropuerto regional de una ciudad como Braga. Este número, no se vería afectado en exceso en un medio/largo plazo, por lo que las ampliaciones del aeropuerto no serían muy significativas (ampliación a nivel y medio de la terminal, como ampliación/obra más significativa). Esto es debido al factor de relajación que se ha impuesto, ya que a medio/largo plazo el aeropuerto de Oporto realizaría, de forma inevitable, una ampliación/construcción de terminal. Sin embargo, el factor de relajación no es un parámetro exacto, por lo que se recomienda ir actualizándolo mediante estudios estadísticos varias veces durante dicho intervalo de tiempo. Al fin y al cabo, una vez el aeropuerto está construido, todas las tendencias y valores ya serían reales, por lo que futuras aproximaciones o previsiones de tráfico serían más realistas que las actuales.

La aeronave de diseño que se ha determinado, el A321, no sería la aeronave más común del aeropuerto, pero sí la más restrictiva. Este factor comporta que, en caso de una ampliación de destinos (a destinos más lejanos) o aerolíneas que operen en el aeropuerto, el dimensionamiento de la pista y de los lugares de estacionamiento no se verían afectados.

En relación al diseño del lado aire, se ha preferido tomar la configuración del aeropuerto de Oporto para el aeropuerto de Braga. Esto es debido a que, si funciona para el aeropuerto de

Oporto con una cantidad de pasajeros que, en ninguna previsión realizada, se llegaran a tener en el aeropuerto de Braga, debe funcionar en dicho aeropuerto. Las capacidades horarias son suficientes. Además, se trata de un sistema de pistas que muchos aeropuertos regionales utilizan, como por ejemplo el aeropuerto de Granada, por lo que sería difícil simplificarlo aun más.

El sistema de instrumentación del aeropuerto que se ha escogido es el CAT IIIa. Es un sistema caro, pero se ha priorizado la seguridad a los costes del mismo, debido a la visibilidad de la zona (altas precipitaciones y región envolvente montañosa). Muchos aeropuertos, en la actualidad, están adquiriendo estos nuevos sistemas, debido a que aumentan las aeronaves que pueden operar en dicho aeropuerto. De haber escogido un sistema inferior, es posible que algunas aerolíneas no operaran en el aeropuerto de Braga.

El diseño del lado tierra se ha dimensionado con la idea de ser lo más preciso y adecuado a los niveles de servicio y a la demanda del aeropuerto, adecuándolo al carácter regional del aeropuerto de Braga. Es por esto que, inicialmente, se ha preferido que la terminal tenga 1 nivel, por el nivel y medio a medio/largo plazo. Ya que inicialmente, el número de pasajeros no sería excesivo, es posible juntar salidas y llegadas en un mismo nivel, hecho que en un futuro ya no sería admisible. Teniendo en cuenta las nuevas características, se deberá adaptar para personas con movilidad reducida, añadiendo ascensores y los elementos necesarios requeridos. Es obvio que, respecto a las entradas a la terminal, sanitarios y otros servicios, ya estarían adaptadas para estas personas desde un principio.

Añadir que, en general, tanto para el lado aire y tierra del aeropuerto, se recomienda que haya un seguimiento y mantenimiento de cada uno de los elementos que lo forman, desde el estado del pavimento de las pistas hasta la limpieza de la terminal.

Respecto a la parte económica del proyecto, se han establecido como tasas aproximadas las que actualmente están en uso en el aeropuerto de Granada, en España. Sin embargo, al tratarse de un aeropuerto público, estas tasas serían impuestas y fijadas por el gobierno portugués. Además, el presupuesto realizado es un presupuesto preliminar, al que habría que sumar los costes en movimientos de tierra y coste de los terrenos. Es por esto que, de realizarse el proyecto, sería necesario la realización de una nueva fase del proyecto, siendo ésta mucho más precisa y casi final. Se recomienda que, a nivel de ingresos, se vayan actualizando las tasas y los servicios a lo largo del tiempo, de forma continua, adaptándolos a las realidades del aeropuerto y aprovechando para recuperar la inversión inicial.

Tal y como se acaba de mencionar, al tratarse de una obra pública, los costes del proyecto perderían algo de peso respecto a la utilidad del aeropuerto. Con esto no se quiere dar a entender que los costes dejan de ser importantes, ya que sería falso. Sin embargo, el principal objetivo de este tipo de aeropuertos es el de dar un servicio a la población, y no el de priorizar hacer negocio.

Por último, a nivel del proyecto, se ha observado la complejidad del mismo, así como la cantidad de aspectos/campos que están involucrados en el proceso. Por citar algunos, en la zona del lado aire es necesario tener conocimientos de aeronáutica, en el campo de la construcción es necesario tener conocimientos de obras civiles y derecho, en el campo del equipamiento del aeropuerto es necesario tener conocimientos en electrónica y sistemas, en el campo de la previsión de tráfico y modelo económico hay que tener conocimientos de economía...

Ser preciso con todos estos aspectos sin desviarse del objetivo fijado inicialmente, determinará

la prosperidad y uso del futuro aeropuerto a diseñar, hecho que en los últimos tiempos hay aeropuertos en los que no se ha producido, ya que o bien se ha subdimensionado y se ha perdido capacidad de negocio, o bien se ha sobredimensionado y no hay demanda suficiente para que sea viable.

Bibliografía

- [1] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Sistemas aeroportuarios. *Aeropuerto Regional* (pp. 18-19) [15-03-2020]
- [2] Airports Council International (13-02-2020). *European airports report slower passenger growth declining freight in 2019*. Recuperado de <https://www.aci-europe.org/media-room/235-european-airports-report-slower-passenger-growth-declining-freight-in-2019.html> [17-03-2020]
- [3] ÁLVARO SÁNCHEZ. El País (06-12-2019). *Los aeropuertos europeos baten su récord con más de 1.100 millones de pasajeros*. Recuperado de https://elpais.com/economia/2019/12/06/actualidad/1575630673_581803.html [17-03-2020]
- [4] Schengen Visa Info (últ. actualización: 03-02-2020). *Lista de Países del Espacio Schengen*. Recuperado de <https://www.schengenvisainfo.com/es/schengen-paises/> [19-03-2020]
- [5] Population.City. *Kielce. Población*. Recuperado de <http://poblacion.population.city/polonia/kielce/#1> [20-04-2020]
- [6] Expansión. Datos macro. *Polonia. Población*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/polonia> [20-04-2020]
- [7] Population.City. *Braga. Población*. Recuperado de <http://poblacion.population.city/portugal/braga/> [20-04-2020]
- [8] Expansión. Datos macro. *Portugal. Población*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/portugal> [20-04-2020]
- [9] Expansión. Datos macro. *PIB de Polonia 2020*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/pib/polonia> [22-04-2020]
- [10] Expansión. Datos macro. *PIB de Portugal 2020*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/pib/portugal> [22-04-2020]
- [11] PreciosMundi. *Precios en Polonia 2020*. Recuperado de <https://preciosmundi.com/polonia/> [23-04-2020]
- [12] PreciosMundi. *Precios en Portugal 2020*. Recuperado de <https://preciosmundi.com/portugal/> [23-04-2020]
- [13] MoneyMan. *¿Qué es el IPC?*. Recuperado de <https://www.moneyman.es/blog/que-es-el-ipc/> [23-04-2020]
- [14] Instituto Nacional de Estadística. *Índice de precios de consumo armonizado*. Recuperado de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176803&menu=ultiDatos&idp=1254735976607 [23-04-2020]

- [15] Expansión. Datos macro. *IPC Armonizado de Portugal*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/ipca/portugal> [23-04-2020]
- [16] Expansión. Datos macro. *IPC Armonizado de Polonia*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/ipca/polonia> [23-04-2020]
- [17] Expansión. Datos macro. *Portugal - Salario Medio*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/mercado-laboral/salario-medio/portugal> [23-04-2020]
- [18] Expansión. Datos macro. *Polonia - Salario Medio*. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/mercado-laboral/salario-medio/polonia> [23-04-2020]
- [19] Expansión. Datos macro. *Polonia - Salario Medio*. Recuperado de <https://costodevida.com/precios-y-salarios-en-braga/> [25-04-2020]
- [20] Statistical Office in Kielce. *Kielce mean salaries*. Recuperado de <https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/> [25-04-2020]
- [21] Climate-Data. *Kielce clima*. Recuperado de <https://es.climate-data.org/europe/polonia/voivodato-de-santa-cruz/kielce-764743/> [30-04-2020]
- [22] Climate-Data. *Braga clima*. Recuperado de <https://es.climate-data.org/europe/portugal/braga/braga-131/> [30-04-2020]
- [23] IATA. *About us*. Recuperado de <https://www.iata.org/en/about/> [30-04-2020]
- [24] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Demanda y previsiones. *Metodología para la elaboración de previsiones de tráfico* (pp. 23-31) [06-05-2020]
- [25] ANAC (Autoridade Nacional de Aviação Civil). *Anuários*. Recuperado de <https://www.anac.pt/vPT/Generico/PublicacoesINAC/Anuarios/Paginas/Anuarios.aspx> [09-05-2020]
- [26] Porto Aeroporto. *Compañías aéreas y destinos*. Recuperado de <https://www.aeroportoporto.pt/es/opo/vuelos-y-destinos/companias-aereas/companias-aereas-y-destinos> [11-05-2020]
- [27] Distance To. *Calculador de distancias*. Recuperado de <https://es.distance.to/> [11-05-2020]
- [28] FlightRadar24. Live air traffic. *Porto Francisco de Sa Carneiro Airport*. Recuperado de <https://www.flightradar24.com/data/airports/opo> [12-05-2020]
- [29] AENA. Anual 2019. *Tráfico de pasajeros, operaciones y carga en los aeropuertos españoles* Recuperado de [13-05-2020]
- [30] AENA. Estadísticas de tráfico aéreo. *Informes mensuales*. Recuperado de http://www.aena.es/csee/Satellite?Language=ES_ES&c=Page&cid=1144247795704&pagename=Estadisticas%2FEstadisticas&periodoInforme=Mensual [13-05-2020]

- [31] Modern airliners. *Boeing 737 Specifications*. Recuperado de <https://www.flightradar24.com/data/airports/opo> [14-05-2020]
- [32] AIRBUS (2020). *A320. Aircraft characteristics, airport and maintenance planning* (pp. 26-36,52-53,140-143) [14-05-2020]
- [33] AIRBUS (2020). *A321. Aircraft characteristics, airport and maintenance planning* (pp. 27-39,54-56,145-149) [14-05-2020]
- [34] AIRBUS (2020). *A321. Aircraft characteristics, airport and maintenance planning* (pp. 152) [14-05-2020]
- [35] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Clave de referencia* (pp. 36-37) [15-05-2020]
- [36] OACI. *Sobre la OACI*. Recuperado de https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default_ES.aspx [05-05-2020]
- [37] Weather Spark. *El clima promedio en Braga*. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/32470/Clima-promedio-en-Braga-Portugal-durante-todo-el-a%C3%B1o> [15-05-2020]
- [38] Weather Spark. *El clima promedio en Barcelona*. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/47213/Clima-promedio-en-Barcelona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o> [15-05-2020]
- [39] Meteo Blue. *Rosa de los vientos Braga*. Recuperado de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/braga_portugal_2742032?daterange=2020-05-08%20to%202020-05-15&domain=NEMSAUTO¶ms=wind%2Bdir80m&windRoseDegreeResolution=10&windRoseValueResolution=5&velocityunit=KILOMETER_PER_HOUR [16-05-2020]
- [40] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Meteorología y orientación de pistas. *Número y orientación de pistas según condiciones de viento y diagramas de frecuencias y coeficientes de utilización* (pp. 16-17, 21-22) [16-05-2020]
- [41] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Capacidad del campo de vuelo. *Capacidad operativa de las pistas* (pp. 10-12) [17-05-2020]
- [42] Magnetic Declination. *Magnetic Declination of Braga*. Recuperado de <https://www.magnetic-declination.com/> [17-05-2020]
- [43] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Meteorología y orientación de pistas. *Tipo de operación* (pp. 6) [17-05-2020]
- [44] OACI (2006). Manual de diseño de aeródromos. Parte I: pistas *Corrección de la longitud de*

- pista por temperatura, elevación y pendiente* (pp. 20-24) [18-05-2020]
- [45] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Temperatura de referencia del aeródromo* (pp. 41) [18-05-2020]
- [46] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Características físicas* (pp. 51-82) [18-05-2020]
- [47] Glosario servidor alicante. *Área de seguridad de extremo de pista (RESA)*. Recuperado de <https://glosarios.servidor-alicante.com/aviacion/area-de-seguridad-de-extremo-de-pista-resa> [18-05-2020]
- [48] AENA. Curso Básico para TOAM de Nuevo Ingreso. *Área de Seguridad de extremo depista (RESA)* (pp. 61) [18-05-2020]
- [49] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Distancias declaradas* (pp. 28) [19-05-2020]
- [50] Flap152. *La pista: Distancias declaradas*. Recuperado de <http://www.flap152.com/2017/02/la-pista-distancias-declaradas.html> [19-05-2020]
- [51] Google Maps. [19-05-2020]
- [52] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Diseño del lado aire 1. *Diseño de plataformas de estacionamiento. Dimensionado de los puestos de estacionamiento* (pp. 48-51) [19-05-2020]
- [53] GPO Group. *Plataforma Estacionamiento Aeropuerto de Barcelona*. Recuperado de https://gpogroup.com/tg_custom_post/plataforma-estacionamiento-aeropuerto-de-barcelona/ [20-05-2020]
- [54] Aeropuerto de Barcelona. *Información - Datos Generales*. Recuperado de <https://www.aerpuertobarcelona-elprat.com/cast/aeropuerto-de-barcelona.htm#:~:text=Infraestructuras&text=El%20aeropuerto%20tiene%20la%20capacidad,T1%20y%20la%20terminal%20T2>. [20-05-2020]
- [55] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Ayudas visuales para la navegación* (pp. 95-192) [21-05-2020]
- [56] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Señales de punto de visada y de zona de toma de contacto* (pp. 106) [21-05-2020]
- [57] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Señales de punto de espera de pista* (pp. 113) [21-05-2020]
- [58] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categorías II y III* (pp. 130) [21-05-2020]
- [59] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Emplazamientos del PAPI* (pp. 130) [21-05-2020]

- [60] AESA. *Servidumbres aeronáuticas*. Recuperado de https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/particulares/servidumbres/default.aspx [23-05-2020]
- [61] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Diseño del lado aire 3. *Tipos de servidumbres aeronáuticas* (pp. 3) [23-05-2020]
- [62] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Tipología de edificios terminales. *Tipología en Planta* (pp. 14) [26-05-2020]
- [63] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Levels of service* (pp. 183-184) [29-05-2020]
- [64] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Rules of Thumb* (pp. 197-215) [30-05-2020]
- [65] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *F1: Peak 30-Minute at Check-In as a Percentage of the Peak Hour Period* (pp. 198) [30-05-2020]
- [66] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *F2: Additional Demand Generated by the Flights Departing Before and After the Peak Hour Period* (pp. 199) [30-05-2020]
- [67] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Intermediate result* (pp. 199) [30-05-2020]
- [68] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Intermediate result* (pp. 210) [30-05-2020]
- [69] AENA. *Aeropuerto Federico García Lorca Granada-Jaén. Parking General P1*. Recuperado de <http://aena.mobi/m/es/aeropuerto-federico-garcia-lorca-granada-jaen/parking.html> [03-06-2020]
- [70] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Control tower position* (pp. 111-112) [04-06-2020]
- [71] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Otras edificaciones aeroportuarias. *Generalidades sobre la torre de control* (pp. 14-17) [04-06-2020]
- [72] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. ESCOLA SUPERIOR D'ENGINYERIES INDUSTRIAL, AEROESPACIAL I AUDIOVISUAL DE TERRASSA. Ingeniería aeroportuaria. Otras edificaciones aeroportuarias. *Categoría de aeródromo para extinción de incendios y características del servicio de salvamento y contra-incendios* (pp. 19-21) [04-06-2020]
- [73] RAMÓN FERRANDO. Levante. El mercantil Valenciano (28-01-2020) *Iberdrola construye en Portugal una planta tan potente como la central de Cofrendrola*

tes. Recuperado de <https://www.levante-emv.com/economia/2020/01/28/iberdrola-abre-portugal-planta-hidraulica/1971080.html> [06-06-2020]

- [74] OACI (2016). Anexo 14, Volumen I. Diseño y operaciones en aeródromos. Séptima Edición. *Sistemas eléctricos* (pp. 213-216) [21-05-2020]
- [75] IATA (2004). Airport Development Reference Manual. 9th Edition. *Airport Economics* (pp. 115-142) [14-06-2020]
- [76] AENA (2020). Price Guide. *Flights within European Area and International flights* (pp. 11) [17-06-2020]