



Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**Evaluación de la viabilidad del
aeropuerto de Casarrubios como
solución a la saturación del tráfico
aéreo en Madrid**

ABRIL DE 2025

Marcos Fernández Cañón

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a Álvaro, por su implicación, disponibilidad y orientación constante a lo largo del desarrollo de este Trabajo de Fin de Máster. Su experiencia y sus sugerencias han sido fundamentales para guiar la estructura y el enfoque técnico de este proyecto, permitiéndome avanzar con una base sólida en cada etapa del análisis.

Quiero también agradecer al profesorado del Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Europea de Madrid, por el conocimiento y el entusiasmo transmitido en este tiempo, que han sido clave no solo para el desarrollo de este trabajo, sino para mi formación profesional y personal.

En el plano personal, quiero agradecer a mi madre Rosa, a mi padre José, a mi hermano David y a mi novia María por estar presentes en cada momento, por su paciencia en los días más difíciles y por su constante ánimo para seguir adelante. Habéis sido un faro de luz este tiempo y sólo sé decir gracias. Vuestro apoyo emocional ha sido indispensable para completar este gran reto.

Este trabajo representa no solo un logro académico, sino también el resultado de una etapa intensa de esfuerzo, crecimiento y aprendizaje, en la que cada una de estas personas ha tenido un papel fundamental. A todos y todas, gracias.

Abstract

El presente trabajo analiza la viabilidad técnica, operativa, económica y ambiental del desarrollo del Aeropuerto de Casarrubios del Monte como infraestructura complementaria para aliviar la creciente saturación del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.

En un contexto en el que las proyecciones de tráfico aéreo apuntan a superar los 90 millones de pasajeros anuales en la próxima década, la necesidad de diversificación y expansión de la capacidad aeroportuaria en la Comunidad de Madrid se vuelve estratégica. Mediante un enfoque multidisciplinar, se estudian escenarios de demanda futura, tipologías de tráfico aéreo, criterios de diseño aeroportuario, integración multimodal, impactos socioambientales, y precedentes internacionales de aeropuertos secundarios.

Se plantea un modelo de operación enfocado en aerolíneas de bajo coste, vuelos regionales y transporte de mercancías, apoyado por la proximidad del emplazamiento a infraestructuras clave como la A-5, el Puerto Seco de Madrid y la Plataforma Logística de Toledo.

Asimismo, se valoran los riesgos asociados a la sobreestimación de demanda, costes ocultos y problemas regulatorios, con especial atención a casos como Berlín-Brandeburgo. El estudio concluye que, bajo una planificación escalonada, con control de riesgos financieros y una adecuada articulación con el sistema logístico y de transporte terrestre, el aeropuerto de Casarrubios podría constituir una infraestructura sostenible y funcional, adaptada a las necesidades operativas del futuro sistema aeroportuario madrileño.

Índice

<i>Índice</i>	<i>6</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>8</i>
<i>Índice de tablas.....</i>	<i>10</i>
1. Introducción	11
2. Estado del arte.....	12
2.1. Evolución del tráfico aéreo de Madrid	15
2.2. Proyecciones futuras de la demanda de pasajeros y mercancía.....	17
2.2.1. Proyecciones de demanda de pasajeros y el papel de Casarrubios	17
2.2.2. Proyecciones de demanda de mercancías y la contribución de Casarrubios	18
2.2.3. Impacto de Casarrubios en la redistribución del tráfico aéreo	19
2.2.4. Factores que influyen en las proyecciones y el papel de Casarrubios	19
2.3. Problemas de Saturación y Capacidad en Aeropuertos.....	20
2.3.1. Aeropuerto Internacional de Heathrow	20
2.3.2. Aeropuerto Internacional de Los Ángeles (LAX, EE.UU.).....	21
2.3.3. Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.....	22
2.4. Situación actual del aeropuerto de Casarrubios	23
2.4.1. Servicios disponibles en el aeropuerto.....	24
2.4.2. Tránsito aéreo y estado de la pista	25
3. Estudio, construcción y desarrollo del aeropuerto	27
3.1. Introducción	27
3.2. Tráfico, clientes y posible evolución del tráfico aéreo.....	28
3.2.1. Demanda de pasajeros.....	29
3.2.2. Análisis de flota operativa.....	33
3.2.2.1. Boeing 737.....	34
3.2.2.2. Airbus A320.....	34
3.2.3. Demanda mercancías.....	39
3.3. Criterios de diseño del aeropuerto	43
3.3.1. Localización. Conectividad con Madrid y Barajas	43
3.3.2. Dimensiones y servicios para construir.....	45
3.3.2.1. Pista de aterrizaje	45
3.3.2.2. Calles de rodaje	53
3.3.2.3. Plataforma y terminal	55
3.3.2.4. Torre de control	59
3.4. Zonas de mantenimiento (MRO)	63
3.4.1. Justificación y Viabilidad del MRO en Casarrubios	64
3.4.2. Desarrollo y Planificación de Infraestructura MRO	64
3.4.3. Modelos de Referencia: Casos de Éxito y Fracasos	65
3.4.4. Factores Clave para el Éxito del MRO en Casarrubios	67
3.4.4.1. Colaboración con Aerolíneas de Bajo Coste y Regionales	68

3.4.4.2.	Competitividad en costes	68
3.4.4.3.	Flexibilidad Operativa	68
3.4.4.4.	Inversión progresiva y escalonada, al igual que equipamiento.....	68
3.4.4.5.	Cumplimiento Normativo y Certificaciones	69
4.	<i>Posibles problemas. Ecología y ruidos.....</i>	71
4.1.	Impacto ambiental y conflictos ecológicos.....	71
4.2.	Contaminación acústica: efectos en salud pública y fauna.....	71
5.	<i>Viabilidad económica. Riesgos de sobreestimación</i>	73
5.1.	Proyecciones de demanda y precedentes en España.....	73
5.2.	Competencia con Madrid-Barajas. Obstáculo insalvable	73
5.3.	Costes ocultos y problemas financieros. Berlín-Brandemburgo como ejemplo....	74
6.	<i>Conclusión</i>	76
6.1.	Conclusión final	77
7.	<i>Anexo</i>	79
7.1.	Cálculos realizados triviales	79
7.2.	Datos de tráfico aéreo en el aeropuerto de MAD según AENA	80
7.3.	Vuelos programados de los distintos aeropuertos para enero 2025	81
7.4.	Carta de aproximación visual al aeródromo de Casarrubios.....	82
7.5.	Descripción del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI) en CAT 9	83
	<i>Bibliografía</i>	84

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de Londres con sus aeropuertos principales.....	12
Figura 2: Mapa de París con sus aeropuertos principales	13
Figura 3: Mapa de Roma con sus aeropuertos principales.....	13
Figura 4: Mapa de Nueva York con sus aeropuertos principales.....	14
Figura 5: Mapa de Washington con sus aeropuertos principales	14
Figura 6: Evolución de los pasajeros anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas	15
Figura 7: Evolución de las operaciones anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid - Barajas	16
Figura 8: Evolución de las toneladas de mercancía anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas	16
Figura 9: Estimación del crecimiento anual de pasajeros en distintas zonas del mundo	17
Figura 10: Simulación de la futura Terminal 1-2-3 unificada	18
Figura 11: Diferencia de alrededores y tamaño de ambos aeropuertos.....	20
Figura 12: Render del Aeropuerto de Los Ángeles (EE.UU.)	21
Figura 13: Total de vuelos programados desde el 1 de enero al 30 de enero en los aeropuertos de LAX, LHR y MAD	23
Figura 14: Situación actual del Aeropuerto de Casarrubios	24
Figura 15: A Ayudas al aterrizaje y cartas de navegación [16]	26
Figura 16: Porcentaje de pasajeros por aeropuertos principales y secundarios y estimación en Casarrubios.....	33
Figura 17: Dimensiones oficiales de un Boeing B737-800.....	34
Figura 18: Dimensiones oficiales de un Airbus A320-200.....	35
Figura 19: Variación anual de los pasajeros de Ryanair.....	37
Figura 20: Variación anual de los pasajeros de Vueling	38
Figura 21: Variación anual de los pasajeros de EasyJet	39
Figura 22: Propuesta de desarrollo del conjunto del Aeropuerto de Casarrubios	41
Figura 23: Puerto Seco de Madrid	42
Figura 24: Mapa de la extensión y zonas de la Plataforma Logística de Toledo	42

Figura 25: Idea de localización del Aeropuerto de Casarrubios	43
Figura 26: Render de la propuesta del Aeropuerto de Casarrubios presentado por Air City Madrid Sur con los alrededores	49
Figura 27: Esquema de localización de la terminal y pista de aterrizaje del Aeropuerto de Casarrubios.....	51
Figura 28: Operarios trabajando en el asfaltado de una pista de aterrizaje en Latinoamérica	52
Figura 29: Calle de Taxi de un aeropuerto	55
Figura 30: Mapa de aeropuertos donde se tiene operativo el Airport Collaborative Decision Making	58
Figura 31: Personal de la torre de control desempeñando su función	60
Figura 32: Imagen del Controller-Pilot Data Link Communications.....	61
Figura 33: Render de la propuesta del Aeropuerto de Casarrubios presentado por Air City Madrid Sur	63
Figura 34: Hangar de mantenimiento del aeropuerto de Teruel recibiendo un A380	65
Figura 35: Terminal de pasajeros del aeropuerto de Huesca-Pirineos.....	66
Figura 36: Terminal del aeropuerto de Berlin-Brandemburgo completamente vacía	75

Índice de tablas

Tabla 1: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Londres.....	31
Tabla 2: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Nueva York.....	31
Tabla 3: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Roma.....	31
Tabla 4: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de París.....	32
Tabla 5: Temperaturas y precipitaciones medias en Casarrubios	46
Tabla 6: Parámetros clave en Casarrubios.....	47
Tabla 7: Código y anchos de pista mínimos	49
Tabla 8: Costes estimados en la construcción de la torre de control y subsistemas.....	63

1. Introducción

El crecimiento sostenido del tráfico aéreo en España y, en particular, en la Comunidad de Madrid, ha planteado importantes retos en términos de capacidad aeroportuaria. El Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, clasificado como uno de los principales hubs aéreos de Europa, alcanzó en 2024 un tráfico de más de 66.196.984 pasajeros[1], acercándose peligrosamente a su capacidad máxima de 70 millones[2]. Las proyecciones a largo plazo estiman que la región podría llegar a manejar hasta 90 millones de pasajeros anuales para la década de 2030. Ante este panorama, garantizar la conectividad aérea y descongestionar Barajas se han convertido en prioridades estratégicas para el desarrollo económico y social no solo de la región sino también de España, ya que tiene en Madrid su principal aeropuerto internacional.

En este contexto, el Aeropuerto de Casarrubios, proyecto impulsado por Air City Madrid Sur, propone transformar el aeródromo existente de Casarrubios del Monte, ubicado a 30 kilómetros al suroeste de Madrid, en una infraestructura moderna capaz de manejar operaciones comerciales y de carga. Este proyecto se presenta como una solución integral para aliviar la presión sobre Barajas, optimizar el transporte aéreo regional y potenciar la competitividad de la Comunidad de Madrid.

El diseño del aeropuerto contempla una inversión inicial de 148 millones de euros en su primera fase, destinada a la construcción de una pista principal de 3.200 metros para vuelos dentro del continente europeos, África Occidental y de carga, y la adecuación de la pista existente de 1.500 metros para aviación general y ejecutiva. Se estima que la infraestructura generará 40.000 empleos directos e indirectos en los próximos diez años, contribuyendo de manera significativa al desarrollo económico y social tanto de la región de Madrid como de Castilla-La Mancha[3]. Más adelante se hará referencia a estos datos, a su influencia en la zona y a la viabilidad del proyecto.

Además, la ubicación estratégica del aeropuerto garantiza una excelente conectividad terrestre gracias a su proximidad a vías como la autovía A-5, la Radial-5 y otras conexiones previstas en el marco del proyecto.

Este trabajo analizará de forma integral la viabilidad del nuevo aeropuerto, su interconexión con otras infraestructuras de transporte, las rutas potenciales más eficientes y, finalmente, evaluará si su implementación resulta necesaria y sostenible en el contexto de una red aeroportuaria ya compuesta por 48 aeropuertos gestionados por AENA.

2. Estado del arte

En el contexto de la aviación comercial, la infraestructura aeroportuaria desempeña un papel crucial en la conectividad global y el desarrollo económico de las ciudades. La mayoría de las grandes capitales europeas y americanas cuentan con múltiples aeropuertos comerciales que permiten una distribución eficiente del tráfico aéreo, optimizando los flujos de pasajeros y carga, reduciendo la congestión y ofreciendo mayores oportunidades de crecimiento para aerolíneas y empresas del sector. En contraste, Madrid depende exclusivamente del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas para su tráfico aéreo internacional y doméstico, lo cual limita su competitividad frente a otras capitales europeas con sistemas aeroportuarios más diversificados.

Ciudades como Londres, París, Berlín y Roma han desarrollado modelos de infraestructura aérea que incluyen múltiples aeropuertos con funciones especializadas. Por ejemplo:

- Londres: Cuenta con seis aeropuertos internacionales (Heathrow, Gatwick, Stansted, Luton, City y Southend), permitiendo una diversificación del tráfico en función del tipo de vuelo y pasajeros; teniendo incluso una red de 11 aeropuertos a menos de 100km del centro de la capital inglesa.

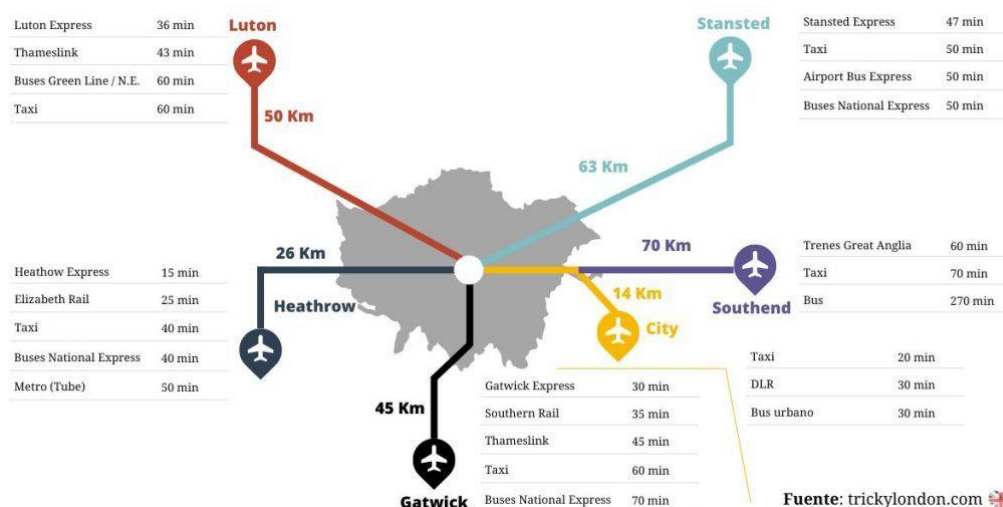


Figura 1: Mapa de Londres con sus aeropuertos principales

- París: Dispone de Charles de Gaulle y Orly para vuelos internacionales y regionales, además de Beauvais para aerolíneas de bajo coste.



Figura 2: Mapa de París con sus aeropuertos principales

- Roma: Tiene Fiumicino como su principal aeropuerto internacional y Ciampino para vuelos de bajo coste y aviación ejecutiva.



Figura 3: Mapa de Roma con sus aeropuertos principales

En Estados Unidos también se observa una situación similar:

- Nueva York: Opera con John F. Kennedy (JFK), LaGuardia (LGA) y Newark (EWR), distribuyendo el tráfico según el tipo de operaciones.



Figura 4: Mapa de Nueva York con sus aeropuertos principales

- Washington D.C.: Cuenta con Dulles International (IAD), Reagan National (DCA) y Baltimore/Washington International (BWI).

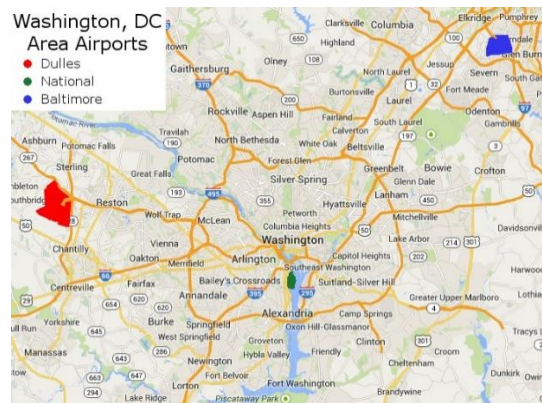


Figura 5: Mapa de Washington con sus aeropuertos principales

La existencia de varios aeropuertos permite a estas ciudades absorber el crecimiento del tráfico aéreo sin generar colapsos en su infraestructura principal, además de ofrecer una mejor distribución geográfica que facilita el acceso de los pasajeros a distintas áreas metropolitanas.

Madrid, en contraste con estas capitales, depende únicamente del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, el cual registró más de 66 millones de pasajeros en 2024 y se acerca a su límite operativo de 70 millones. Las previsiones indican que la demanda podría superar los 90 millones de pasajeros en la próxima década, lo que plantea serios retos en términos de capacidad y eficiencia operativa.

El desarrollo de un segundo aeropuerto en la región de Madrid, como el propuesto Aeropuerto de Casarrubios, se presenta como una necesidad estratégica para mitigar la congestión de Barajas y fortalecer la competitividad de Madrid como hub aéreo internacional. [4]

2.1. Evolución del tráfico aéreo de Madrid

El aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas ha experimentado un notable crecimiento en las últimas décadas, consolidándose como uno de los principales hubs aéreos de Europa. Según datos de Aena, el crecimiento del aeropuerto no ha hecho más que crecer salvo en ocasiones puntuales, siendo la más reciente de todas, la pasada crisis generada por el COVID-19. En 2020, las restricciones de movilidad y las medidas de confinamiento implementadas para frenar la propagación del virus provocaron una caída abrupta en el número de vuelos y pasajeros. Según datos de Eurocontrol, desde el 1 de marzo de 2020, los vuelos en España se redujeron en un 72%, con una pérdida estimada de 150 millones de euros en ingresos para el sector aéreo español,[5] siendo el aeropuerto de Madrid uno de los mayores perjudicados perdiendo desde la misma fecha 400.676 vuelos (hasta julio del 2021)[6]. Con datos obtenidos de la web oficial de AENA se puede ver esta tendencia al alza que ha tenido desde 2004 el aeropuerto de Madrid, tanto en pasajeros, como en número de operaciones, como material transportado (en toneladas).

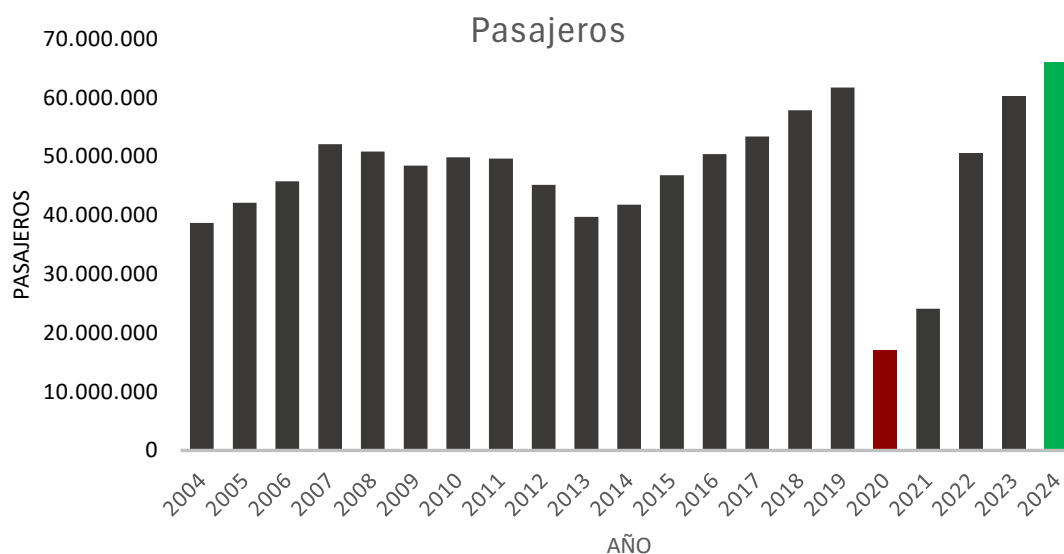


Figura 6: Evolución de los pasajeros anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas

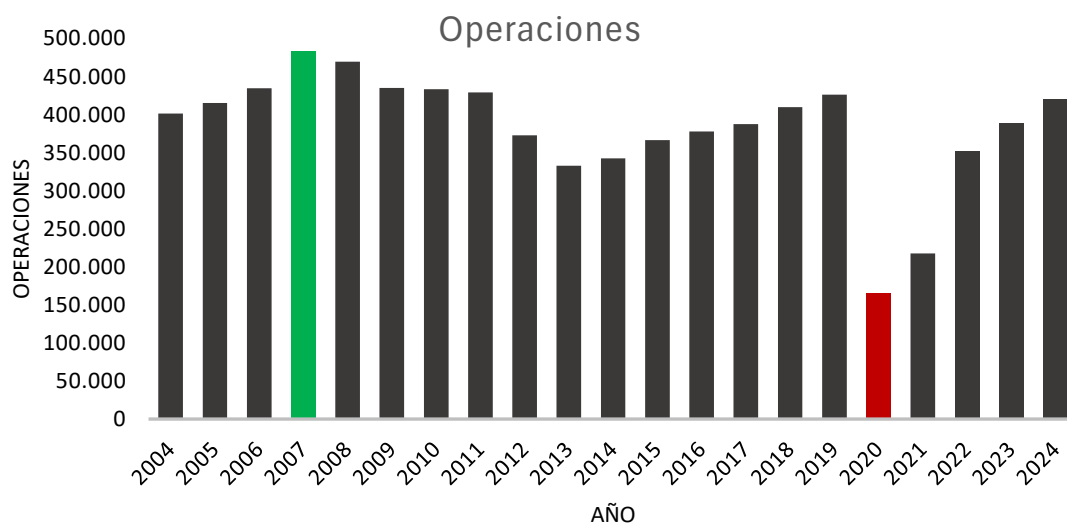


Figura 7: Evolución de las operaciones anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid - Barajas

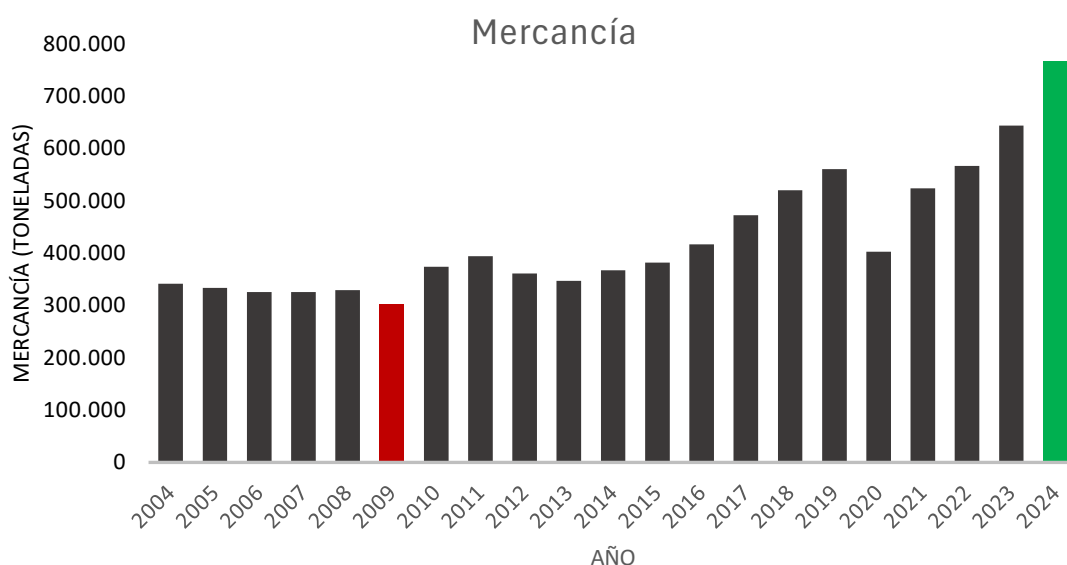


Figura 8: Evolución de las toneladas de mercancía anuales en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas

Como se puede ver, la recuperación fue rápida: en 2023 el aeropuerto atendió a más de 60,2 millones de pasajeros, un 18,9% más que en 2022.[7]

En 2024, Madrid-Barajas alcanzó un récord histórico con 66,1 millones de pasajeros, representando un crecimiento del 9,9% en comparación con el año anterior, siendo además también récord en el transporte de mercancías, con 766.818 toneladas de las mismas.

2.2. Proyecciones futuras de la demanda de pasajeros y mercancía

El crecimiento sostenido del tráfico aéreo en Madrid (al igual que en crecimiento en España) en general ha llevado a la necesidad de realizar proyecciones futuras que permitan anticipar la demanda de pasajeros y mercancías. Estas proyecciones son fundamentales para la planificación de infraestructuras aeroportuarias y para garantizar que el sistema de transporte aéreo pueda responder de manera eficiente a las necesidades futuras. En este contexto, la inclusión del nuevo aeropuerto de Casarrubios se presenta como una solución estratégica para aliviar la presión sobre el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas y satisfacer la demanda creciente.

2.2.1. Proyecciones de demanda de pasajeros y el papel de Casarrubios

Según datos de AENA y organizaciones internacionales como la *International Air Transport Association* (IATA), se espera que el tráfico de pasajeros en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas continúe creciendo en las próximas décadas. Las proyecciones indican que:

- **Crecimiento anual:** Se estima un crecimiento anual promedio del 3-4% en el número de pasajeros, lo que llevaría al aeropuerto de Madrid-Barajas a superar su capacidad máxima de 70 millones de pasajeros anuales en la próxima década. Como se puede ver en la siguiente gráfica, la evolución que ha sufrido toda la industria del transporte aéreo está siendo insaciable en todo el mundo (datos hasta diciembre del 2024).

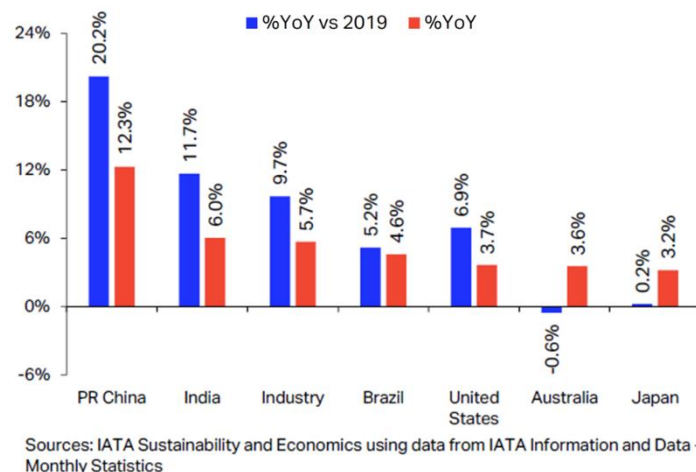


Figura 9: Estimación del crecimiento anual de pasajeros en distintas zonas del mundo

- **Escenario a 2030:** Para el año 2031, se prevé que el aeropuerto de Madrid-Barajas alcance una cifra cercana a los 90 millones de pasajeros anuales, lo que plantea serios desafíos en términos de capacidad operativa y eficiencia.[8]

Se está trabajando ya en diseños de una futura unificación de las tres terminales de Barajas, con ayudas por parte del gobierno de 700 millones de euros y fecha estimada de finalización.



Figura 10: Simulación de la futura Terminal 1-2-3 unificada

En este escenario, el nuevo aeropuerto de Casarrubios podría desempeñar un papel crucial al absorber parte de la demanda creciente. Con una pista principal de 3.200 metros diseñada para vuelos intraeuropeos y de carga, como ya mencionado previamente, Casarrubios estaría en condiciones de manejar operaciones comerciales que actualmente saturan el aeropuerto de Barajas.

2.2.2. Proyecciones de demanda de mercancías y la contribución de Casarrubios

El transporte de mercancías por vía aérea también ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años como visto previamente, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro. Las proyecciones para el transporte de carga en el aeropuerto de Madrid-Barajas incluyen:

- **Crecimiento de la carga aérea:** Según datos de Eurocontrol y AENA, el transporte de mercancías en el aeropuerto de Madrid ha crecido a un ritmo anual del 5-6% en los últimos años. Para 2030, se estima que el volumen de carga transportada podría superar el millón de toneladas anuales.

El nuevo aeropuerto de Casarrubios, con su capacidad para manejar operaciones de carga, podría convertirse en un complemento ideal para Barajas. Al especializarse en vuelos de carga y operaciones logísticas (entre otras cosas), Casarrubios no solo aliviaría la presión sobre Barajas, sino que también mejoraría la eficiencia del transporte de mercancías en la región. Su proximidad a importantes vías de comunicación terrestre, como la autovía A-5, facilitaría la conexión con centros logísticos y de distribución, potenciando el papel de Madrid como hub logístico en el sur de Europa.

2.2.3. Impacto de Casarrubios en la redistribución del tráfico aéreo

La inclusión del aeropuerto de Casarrubios en la ecuación permitiría una redistribución más eficiente del tráfico aéreo en la región de Madrid. La descongestión clave que recibirá Barajas está más que sobreentendida pero no está de más recalcarla; permitiendo que este aeropuerto tenga un comportamiento más Hub como los principales aeropuertos internacionales:

- ▶ Barajas: alrededor del 40% de sus vuelos pertenecen a Iberia
- ▶ Schiphol: el 65% de sus vuelos pertenecen a KLM
- ▶ Heathrow: el 52% de sus vuelos pertenecen a British Airways
- ▶ Frankfurt: el 65% de sus vuelos pertenecen a Lufthansa

Además, la ubicación de Casarrubios, en una zona menos congestionada que Barajas, facilitaría el acceso de pasajeros y empresas de la región suroeste de Madrid y de Castilla-La Mancha, mejorando la conectividad aérea en estas áreas.

Otro punto para mencionar y en el cual se entrará en detalle a lo largo de este trabajo, es la especialización operativa, mientras Barajas podría seguir siendo el principal hub internacional, Casarrubios podría especializarse en vuelos europeos, de bajo coste y de carga, optimizando así la eficiencia del sistema aeroportuario en su conjunto. En este punto es donde va a poder tener la mayor posibilidad de supervivencia, adaptándose a ser un aeropuerto para aerolíneas Low-cost o regionales y sirviendo de nodo central de la península, a la vez que redistribuyendo el flujo de mercancías.

2.2.4. Factores que influyen en las proyecciones y el papel de Casarrubios

Varios factores pueden influir en las proyecciones de demanda de pasajeros y mercancías, y el nuevo aeropuerto de Casarrubios podría desempeñar un papel clave en la respuesta a estos desafíos:

- ▶ **Crecimiento económico:** El crecimiento del PIB tanto en España como en los mercados internacionales es un factor clave que influye en la demanda de transporte aéreo. Casarrubios, al ofrecer capacidad adicional, permitiría a Madrid aprovechar mejor este crecimiento sin colapsar su infraestructura actual. Como se detallará más adelante en el trabajo, el PIB de Madrid está manteniendo un crecimiento muy estable y positivo, siendo casi el 20% del total español; como se desarrolla en el anexo 1.
- ▶ **Cambios en los patrones de consumo:** El aumento del comercio electrónico y la demanda de productos perecederos o de alto valor están impulsando el transporte de mercancías por vía aérea. Casarrubios, con su enfoque en operaciones de carga, estaría bien posicionado para satisfacer esta demanda creciente.

- **Innovación tecnológica:** La adopción de nuevas tecnologías, como aviones más eficientes y sistemas de gestión de tráfico aéreo avanzados, podría aumentar la capacidad de los aeropuertos. Casarrubios, al ser una infraestructura nueva, podría incorporar estas tecnologías desde su diseño inicial, mejorando su eficiencia operativa.
- **Políticas medioambientales:** Las regulaciones medioambientales más estrictas podrían limitar la expansión de Barajas. En este contexto, Casarrubios, al ser un aeropuerto más pequeño y especializado, podría operar con un menor impacto ambiental, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad del sector aéreo. La ausencia de núcleos de población en las inmediaciones, como por ejemplo sí tiene Barajas, facilitaría permitir esa expansión cumpliendo siempre con las políticas de ruido y contaminación entre otras.



Figura 11: Diferencia de alrededores y tamaño de ambos aeropuertos

2.3. Problemas de Saturación y Capacidad en Aeropuertos

Conforme crecen las ciudades, también debe crecer la industria aeroportuaria con ellas para acompañar esa tendencia y no quedarse obsoletos; y a lo largo de los últimos años, varios aeropuertos se han visto con problemas de saturación que les han obligado a buscar nuevas soluciones que ayuden a resolver esta situación. Se exponen algunos ejemplos.

2.3.1. Aeropuerto Internacional de Heathrow

Heathrow, uno de los aeropuertos más transitados del mundo, ha enfrentado congestión severa desde la década de 1990. Para mitigar este problema, se han adoptado varias estrategias:

- **Expansión de infraestructuras:** Se construyó la Terminal 5, que incrementó la capacidad operativa en 30 millones de pasajeros anuales, siendo en el 2018 su año

con mayor volumen de pasajeros, únicamente por esta terminal pasaron 32.1 millones de pasajeros.[9]

- **Optimización del uso del espacio aéreo:** Implementación del sistema de gestión de slots, que asigna franjas horarias específicas para los vuelos, reduciendo retrasos.
- **Problemas en el camino:** La propuesta de una tercera pista fue fuertemente criticada por grupos ambientalistas y aún enfrenta obstáculos regulatorios. En 2020, el Tribunal de Apelaciones del Reino Unido dictaminó que el plan de expansión de Heathrow era ilegal, argumentando que el Gobierno no había considerado sus compromisos climáticos bajo el Acuerdo de París al aprobar el proyecto[10]. Aunque este fallo fue posteriormente revocado por el Tribunal Supremo en 2020, el debate sobre el impacto climático de la expansión de Heathrow continúa siendo un tema bastante controversial en el Reino Unido.[11]

2.3.2. Aeropuerto Internacional de Los Ángeles (LAX, EE.UU.)

El tráfico en LAX no ha parado de aumentar en los últimos 20 años, generando problemas de saturación. Para enfrentarlo se acudió a las siguientes soluciones:

- **Modernización de terminales:** Remodelación de la Terminal Internacional Tom Bradley y otras áreas clave. Este proyecto se llevó a cabo en el 2013, costando 1,9 billones de dólares (1,83 mil millones de euros), seguida de otra en 2021 para introducir 125 puertas de embarque nuevas, que costó 1,73 billones de dólares (1,67 mil millones de euros).[12]



Figura 12: Render del Aeropuerto de Los Ángeles (EE.UU.)

- **Expansión del transporte terrestre:** La construcción de un tren automatizado para conectar terminales y reducir la congestión en accesos ha sido y es una de las estrategias más utilizadas por los aeropuertos para tener un flujo de pasajero entre terminales rápido, eficiente y con unos tiempos controlados, en este caso LAX lo introdujo también en los últimos 20 años con la misma intención.

A pesar de eso, también se encontraron con varios desafíos, el tráfico de vehículos sigue siendo un problema importante, lo que ha llevado a restricciones de acceso y al fomento del uso del transporte público, como el servicio de autobuses FlyAway, que ofrece rutas directas entre LAX y puntos clave de la ciudad.[13]

2.3.3. Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas

Como ya visto previamente, el aeropuerto de Barajas está muy cerca de su límite operativo, y uno de los principales desafíos a los que se enfrenta es a la descongestión de las terminales y pistas de rodaje.

La complejidad de obtener más slots para aerolíneas e intentar aumentar la cantidad de operaciones, genera demoras en despegues y aterrizajes que afectan negativamente a aerolíneas en el tema de puntualidad y eficiencia. Además, el hecho de que exista esta saturación dificulta la apertura de nuevas rutas, restringiendo la posibilidad de expansión de aerolíneas, en especial aquellas de bajo coste que buscan aumentar su presencia en Madrid.

Aena puso en marcha diversas estrategias, entre ellas la ampliación de la infraestructura aeroportuaria. La construcción de la Terminal 4 y su satélite en 2006 permitió incrementar la capacidad operativa, pero actualmente estas instalaciones también operan cerca de su límite. Se han implementado mejoras en la gestión del tráfico aéreo mediante tecnologías avanzadas y la optimización de los turnos de vuelo, pero estas medidas solo han ofrecido soluciones temporales, sin abordar el problema de fondo.

Se muestra a continuación una gráfica comparando todos los vuelos programados que los aeropuertos mencionados previamente tenían para el mes de enero del 2025.

Vuelos programados para enero del 2025

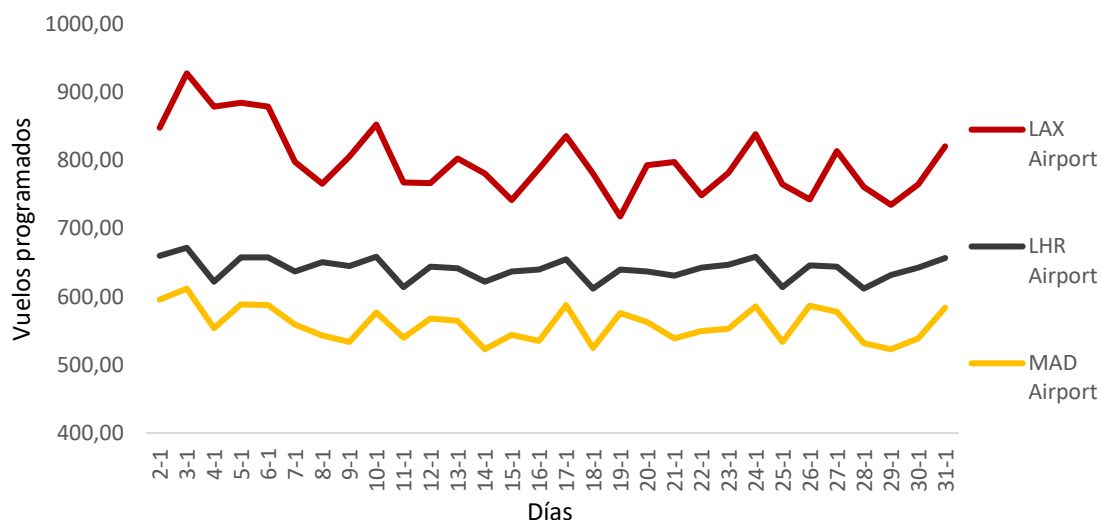


Figura 13: Total de vuelos programados desde el 1 de enero al 30 de enero en los aeropuertos de LAX, LHR y MAD

Con estos datos, se puede ver que el aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas es el que menos vuelos programados tiene, y se encuentra a niveles de capacidad que le hacen estar muy cerca de su límite operativo, por lo que si Madrid quiere seguir la estela de las grandes capitales europeas o de ciudades importantes americanas, necesita tener otro centro aeroportuario operativo para aliviar esa congestión y permitir que Madrid siga creciendo como una de las ciudades más importantes del continente.

Es por ello por lo que surge la necesidad de la creación y puesta en marcha del nuevo aeropuerto Air City Madrid Sur, el cual su estudio y viabilidad será estudiado en este trabajo. Se hablará también de la normativa española y europea sobre planificación aeroportuaria, así como del impacto medioambiental, medidas y rumbo de la industria aeronáutica, con una clara tendencia a aumentar la demanda de las aerolíneas denominadas como "Low-Cost", abriendo así un poco más este mercado para Madrid, y una gran oportunidad de crecimiento para el nuevo aeropuerto.

2.4. Situación actual del aeropuerto de Casarrubios

El aeropuerto de Casarrubios del Monte - LEMT (de momento no tiene nombre oficial para esta nueva infraestructura. La empresa promotora, Air City Madrid Sur, aún no ha hecho público el nombre que llevará una vez se complete su transformación) está situado en la frontera de Toledo, perteneciente a Castilla La-Mancha, pero el nuevo proyecto del aeropuerto pretende construir todas sus instalaciones en terreno compartido entre la provincia de Toledo y la

Comunidad de Madrid, teniendo un 70% de la superficie en Madrid (Navalcarnero y El Álamo) y un 30% en Toledo (Casarrubios).[14]

El aeródromo fue construido en 1992 y actualmente es uno de los aeródromos privados con mayor cantidad de operaciones al año, registrando unas 70.000 anuales [15]

El aeródromo está compuesto por una pista asfaltada orientada en dirección 08/26, con una longitud actual de 895 metros y un ancho de 26 metros (Orientación geográfica: 78º 2,4'). Esto por el momento es insuficiente para permitirle convertirse en un aeropuerto serio para suplir a Madrid con mayor cantidad de vuelos, pero el plan que se tiene pensado para él incluye una ampliación de la pista hasta convertirla en una de 3.200 metros de longitud, conforme avance el trabajo se analizará más en detalle respecto a este punto.



Figura 14: Situación actual del Aeropuerto de Casarrubios

2.4.1. Servicios disponibles en el aeropuerto

Varios servicios ya existentes hacen de este aeródromo una gran oportunidad para construir desde una base bien asentada un gran aeropuerto en la Comunidad de Madrid, entre ellos se destacan:

- ▶ **Combustible:** Se ofrecen varios tipos de combustible, los cuales incluyen Gasolina sin plomo 95, Avgas 100LL y Jet A1; siendo este último
- ▶ **Hangares:** Dispone de hangares con plazas individuales para el resguardo de aeronaves, proporcionando protección y mantenimiento adecuado
- ▶ **Escuela para pilotos:** Otro servicio ofrecido en el aeródromo es una escuela para pilotos, el cual tiene una tasa de aprobados del 98%, lo que refleja la calidad de la instrucción proporcionada

- ▶ **Restaurante:** Existe también un restaurante donde cualquier visitante que se acerque al aeródromo o que lo esté utilizando puede disfrutar de diversas opciones gastronómicas, mientras disfruta de un ambiente aeronáutico con vista directa a la pista.
- ▶ **Otros servicios auxiliares:** Además de lo ya mencionado, la página web del aeródromo menciona otros servicios como parking, alojamiento, sala de reuniones, rodajes y eventos, gestión de documentación y oferta de mantenimiento.

2.4.2. Tránsito aéreo y estado de la pista

Al ser un aeródromo no controlado, las operaciones se realizan utilizando la frecuencia de 123,5 MHz; donde los propios pilotos se coordinan entre sí para mantener la seguridad en las maniobras de despegue y aterrizaje. Además, las aeronaves de aviación general realizan los circuitos de tránsito en el sector norte a una altitud de 800 pies sobre el nivel del suelo, mientras que las aeronaves ultraligeras operan en el sector sur.

Se adjunta en el anexo 4 la carta de aproximación al aeródromo que él mismo proporciona en su página web, estando ésta en español y en inglés.

Además, también se puede obtener de la página de Enaire la guía VFR donde se puede ver los siguientes datos:

- ▶ Coordenadas del punto central del aeródromo: 40° 14' 06" N, 04° 01' 35" W.
- ▶ Elevación: 2050 ft (625 m)
- ▶ Orientación de la pista: Designación de la pista 08-26 con medidas 895 metros de largo y 26 metros de ancho; compuesta de asfalto
- ▶ THR 08 desplazada 400 metros
- ▶ Tasas aeroportuarias detalladas en el documento

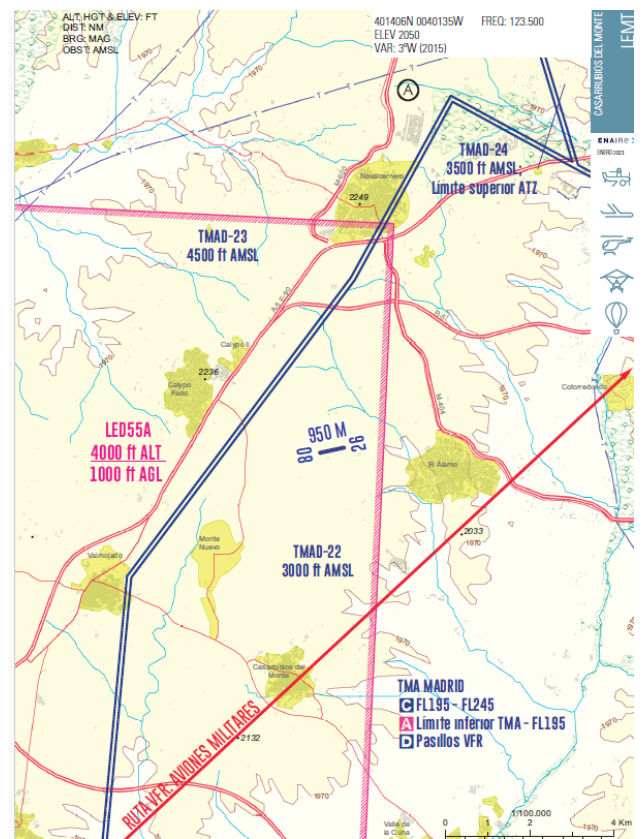
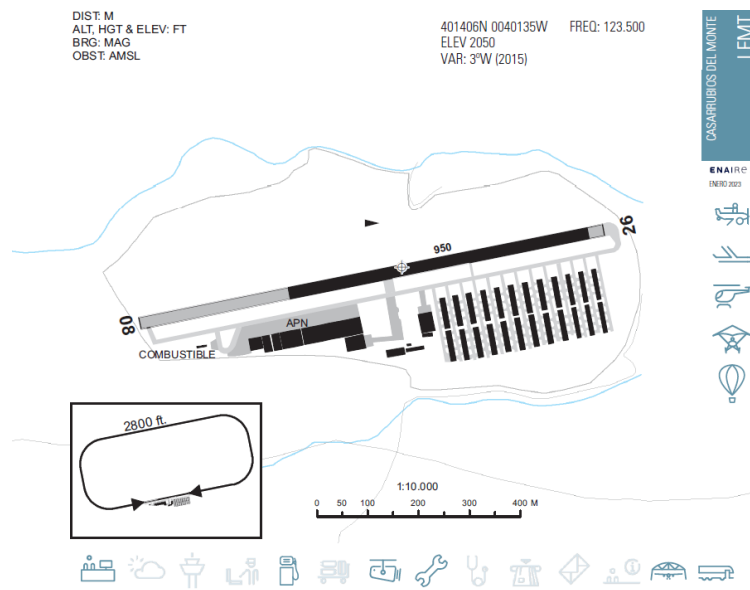


Figura 15: A Ayudas al aterrizaje y cartas de navegación [16]

3. Estudio, construcción y desarrollo del aeropuerto

3.1. Introducción

El desarrollo de un aeropuerto es un proceso complejo que involucra la planificación estratégica, el diseño de infraestructura y la gestión de la construcción para garantizar un transporte aéreo eficiente, seguro y sostenible. La necesidad de aeropuertos modernos y bien diseñados responde al crecimiento del tráfico aéreo, la globalización y los avances tecnológicos en la aviación. Como se ha analizado en los apartados anteriores, la región de Madrid se enfrenta actualmente a un contexto que demanda una modernización y expansión de su infraestructura aeroportuaria.

Desde el punto de vista del planeamiento de un nuevo aeropuerto, los estudios iniciales incluyen la selección del emplazamiento adecuado, o en el caso de ya tenerlo el estudio de una expansión de terreno, la proyección del tráfico de pasajeros y carga, así como la integración del aeropuerto con otros sistemas de transporte. Un aeropuerto bien planificado no solo debe satisfacer la demanda actual, sino que debe prever el crecimiento futuro y adaptarse a cambios en la industria, crecimiento que ya se ha visto, trabaja con una tendencia de aumentar sin proyección a detenerse.

El diseño de aeropuertos abarca múltiples aspectos técnicos, desde la configuración de pistas y calles de rodaje hasta la disposición de terminales de pasajeros y áreas de carga. La geometría del campo aéreo se diseña considerando las características de las aeronaves que utilizarán las instalaciones, los factores meteorológicos y las normativas internacionales establecidas por la OACI y la FAA. Para realizar toda esta logística y construcción, se deben cumplir estrictos estándares de calidad y normativas ambientales para minimizar el impacto en la comunidad y el ecosistema circundante.[17]

Además, el desarrollo de aeropuertos no se detiene en la construcción inicial, sino que requiere una gestión continua para expandir y modernizar las instalaciones conforme a la evolución del tráfico aéreo y las innovaciones tecnológicas. Esto incluye mejoras en los sistemas de navegación aérea, la implementación de soluciones de sostenibilidad y la optimización de la experiencia del pasajero mediante infraestructura avanzada y servicios eficientes.[18]

El primer paso en la transformación de un aeródromo en un aeropuerto es la evaluación de su infraestructura existente y su potencial de expansión. Factores como la longitud y resistencia de la pista, la disponibilidad de espacio para la construcción de terminales y la accesibilidad al transporte terrestre son determinantes para la viabilidad del proyecto, ya se ha hablado previamente del estado actual del aeródromo, por lo que tocaría ahora realizar un análisis de mercado esperado, conociendo posibles aerolíneas interesadas en usar los servicios, ver rutas

disponibles y varios puntos más. La creación de un plan director, donde se contemple todo esto junto con la proyección de tráfico aéreo, la segmentación del mercado (aviación comercial, carga, vuelos ejecutivos, etc.), y la identificación de posibles restricciones ambientales y normativas es obligatorio para que el proyecto salga adelante

Tras ello, tocaría realizar modificaciones como expansión y refuerzo de las pistas de aterrizaje y calles de rodaje, ya que los aeródromos suelen estar diseñados para aeronaves de menor tamaño. En este sentido, es necesario garantizar que la pista cumpla con las especificaciones de la OACI y la FAA en cuanto a resistencia estructural, dimensiones y superficies de seguridad

Asimismo, la construcción de un terminal de pasajeros con áreas de facturación, embarque y desembarque es esencial. La capacidad del terminal debe estar alineada con las previsiones de demanda y las necesidades operacionales de las aerolíneas interesadas en operar en el nuevo aeropuerto.

Continuando con necesidades básicas, para que un aeródromo funcione como un aeropuerto comercial, es imprescindible incorporar servicios como:

- ▶ Control de tráfico aéreo (ATC): Instalación de torres de control con sistemas de navegación y comunicación avanzados
- ▶ Gestión de seguridad y aduanas: Infraestructura para controles de seguridad, migración y aduanas en cumplimiento con normativas internacionales
- ▶ Abastecimiento de combustible y mantenimiento: Construcción de estaciones de combustible y hangares para el mantenimiento de aeronaves

Los factores regulatorios y ambientales son imprescindibles, por lo que cualquier expansión de aeródromos requiere la certificación de autoridades aeronáuticas nacionales e internacionales. Además, se deben llevar a cabo estudios de impacto ambiental para mitigar los efectos del ruido, emisiones contaminantes y la ocupación del suelo

Por último, un aeropuerto debe estar conectado con las redes de transporte terrestre para facilitar el acceso de pasajeros y carga. La construcción o mejora de carreteras, accesos ferroviarios y sistemas de transporte público son esenciales para garantizar la conectividad eficiente con centros urbanos y comerciales.

Todos estos puntos serán desarrollados a continuación.

3.2. Tráfico, clientes y posible evolución del tráfico aéreo

La transformación del aeródromo de Casarrubios en un aeropuerto comercial requiere una estimación precisa de la demanda de pasajeros y operaciones aéreas. Este análisis es esencial

para planificar adecuadamente la infraestructura y garantizar la viabilidad económica del proyecto.

3.2.1. Demanda de pasajeros

La correcta planificación, estudio y puesta a punto de la demanda esperada de pasajeros será un factor clave a la hora de desarrollar el futuro aeropuerto; una sobreestimación llevará a gastos innecesarios, áreas vacías y posiblemente la ruina, mientras que una subestimación provocaría colapsos en un aeropuerto que se desarrolla como principal solución ante estos problemas.

Una forma de realizar una primera aproximación es a través de modelos gravitacionales [19]. Estos modelos son una herramienta ampliamente utilizada en la planificación del transporte aéreo para predecir la demanda de pasajeros y mercancías entre aeropuertos. Basados en la Ley de la Gravitación Universal de Newton, estos modelos adaptan la lógica de la atracción gravitacional a la movilidad humana, estableciendo que la interacción entre dos ubicaciones es directamente proporcional a su tamaño (población o actividad económica) e inversamente proporcional a la distancia que las separa.

El modelo gravitacional del tráfico aéreo se expresa como:

$$V_{ij} = \alpha D_{ij}^{\delta} (P_{ij})^{\beta} \cdot (C_{ij})^{\mu G} \cdot (H_{ij})^{\omega G} \cdot e^{\varepsilon F_i} \cdot e^{\sigma F_j}$$

Donde V_{ij} es la variable dependiente que se quiere predecir y que también se considera como el flujo de pasajeros entre el aeropuerto i y el j. Las demás variables son:

α = parámetro a obtener

P_{ij} = poblaciones asociadas a los aeropuertos i y j

D_{ij} = distancia entre los aeropuertos i y j

β = parámetro a obtener por ajuste

μ = parámetro a obtener por ajuste

ω = parámetro a obtener por ajuste

C_{ij} = PIB per cápita asociado a los aeropuertos i y j

φ = parámetro a obtener por ajuste

H_{ij} = plazas hoteleras asociadas a los aeropuertos i y j

G = parámetro dummy (1 si ninguno de los aeropuertos es un hub, 0 si lo contrario)

F_i y F_j = Variables dummies que valen 1 si el aeropuerto es un hub, en este caso lo es

Esta formulación ha sido utilizada en diversos estudios para modelar la distribución espacial de viajes de pasajeros en el transporte aéreo. Por ejemplo, en investigaciones realizadas en México, se ha empleado una estructura gravitacional adaptada y calibrada a partir de datos empíricos para analizar la movilidad de pasajeros entre diferentes localidades.[20]

Es importante destacar que, aunque la distancia física entre los aeropuertos es un componente clave en la fórmula, en el caso del transporte aéreo, otros factores como las tarifas, el tiempo de viaje y la disponibilidad de rutas también influyen significativamente en la intensidad de los flujos de pasajeros. Por lo tanto, algunos estudios sugieren la incorporación de variables adicionales o la modificación de la función de impedancia para reflejar mejor las particularidades del transporte aéreo.

A pesar de la existencia y el uso extendido del modelo gravitacional en la estimación del tráfico aéreo, su aplicación no resulta imprescindible para prever la demanda de pasajeros en un aeropuerto. Si bien esta metodología permite establecer una aproximación basada en variables socioeconómicas y de distancia, la realidad del tráfico aéreo está influenciada por múltiples factores dinámicos que escapan a una simple modelización matemática.

Aspectos como las estrategias comerciales de las aerolíneas, la conectividad intermodal, la competencia con otros aeropuertos, la evolución del turismo, los cambios en la normativa aeronáutica y la variabilidad de las tarifas pueden generar fluctuaciones significativas en la demanda que no son captadas por la ecuación gravitacional (se hablará más adelante de como una ley recién impuesta puede modificar y empeorar las relaciones comerciales de una aerolínea con un país). Además, la experiencia empírica demuestra que decisiones como la apertura de nuevas rutas, las alianzas entre aerolíneas o las inversiones en infraestructuras pueden alterar drásticamente los flujos de pasajeros sin que exista una relación directa con las variables tradicionales del modelo.

Por ello, si bien el modelo gravitacional puede servir como referencia en los estudios preliminares de planificación, su uso no es imprescindible ni suficiente para realizar una predicción precisa del tráfico de un aeropuerto, siendo más efectiva una combinación de análisis de tendencias, datos históricos y estudios de mercado específicos; y no será utilizado en este caso.

Estudios realizados en aeropuertos de ciudades con más de un aeropuerto, como Londres (Heathrow, Gatwick, Stansted) o París (Charles de Gaulle, Orly, Beauvais), han demostrado que la existencia de un segundo aeropuerto con tarifas más competitivas puede captar entre la una gran cantidad de tráfico de la ciudad principal. [21]

Se procede a realizar una aproximación, estudiando 4 casos de ciudades con aeropuertos principales y secundarios para luego así extrapolar esa información a Madrid. Se tiene:

- Londres. Donde el aeropuerto principal absorbe el 48,75% de los 172 millones que llegan a la capital inglesa, aunque este dato puede estar algo distorsionado debido a que Gatwick y Luton son también muy utilizados para visitar otras partes de Inglaterra y no únicamente Londres, aun así, proporciona un dato muy valioso respecto a la importancia de los aeropuertos secundarios poderosos.

Aeropuerto	Pasajeros (millones)
Heathrow	84
Gatwick	43,2
Stansted	25
Luton	15
London City	5

Tabla 1: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Londres

- Nueva York: de los 96,8 millones de pasajeros que tiene, 63,3 millones aterrizan en el aeropuerto de John F. Kennedy (se ha excluido en este estudio el aeropuerto de Newark Liberty Airport por pertenecer a Nueva Jersey). Por lo tanto, absorbe un 65,39% de los pasajeros

Aeropuerto	Pasajeros (millones)
John F. Kennedy	63,3
LaGuardia	33,5

Tabla 2: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Nueva York

- Roma: estudiando únicamente los dos aeropuertos con vuelos comerciales y excluyendo los de aviación privada, el aeropuerto de Fiumicino absorbe el 91,22% de los vuelos de Roma.

Aeropuerto	Pasajeros (millones)
Fiumicino	40,5
Ciampino	3,9

Tabla 3: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de Roma

- París: entre sus 3 aeropuertos se reparten 109 millones de pasajeros, de los cuales aterrizan en Charles de Gaulle 70,3 millones (64,5%)

Aeropuerto	Pasajeros (millones)
Charles de Gaulle:	70,3
Orly	33,1
Beauvais	5,6

Tabla 4: Pasajeros anuales en los distintos aeropuertos de París

Si se extrapolan estos datos al caso de Madrid, Casarrubios podría captar alrededor de un 35% de los vuelos destinados a Barajas. Contando con que en el aeropuerto de barajas sufran una relajación de vuelos y pasen a recibir de 66,2 millones de pasajeros a 50 millones, el aeropuerto de Casarrubios podría trabajar con una estimación máxima y poco realista de tráfico de unos 17 millones de pasajeros a largo plazo (35% de 50 millones), dependiendo de su capacidad operativa y estrategias de marketing. Destacar que se ha marcado dos zonas en la parte secundaria de la ciudad de Madrid demostrando una posible variación en la demanda del aeropuerto de Casarrubios.

La estimación más real podría ser que el aeropuerto de Barajas asuma el 78% de los pasajeros de la capital mientras que Casarrubios tenga un 22%, siendo esto alrededor de los 11 millones de pasajeros.

Porcentaje de pasajeros por aeropuertos principales y secundarios

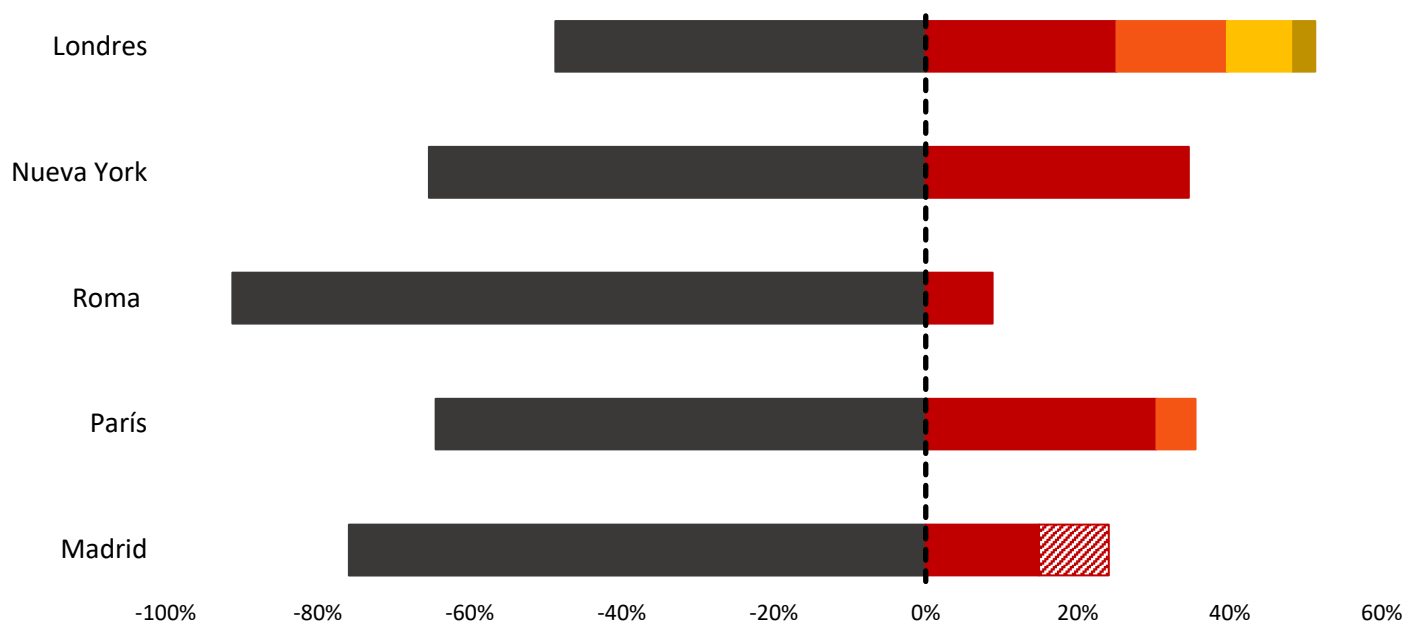


Figura 16: Porcentaje de pasajeros por aeropuertos principales y secundarios y estimación en Casarrubios

Para cumplir con estas estimaciones, se tiene que realizar un gran trabajo no solo de mejora de instalaciones, lo cual se da por asumido, sino también una gran campaña para atraer posibles clientes, estudios analíticos de posibles rutas, publicidad y mucho más.

3.2.2. Análisis de flota operativa

Para poder poner en consideración el tipo de aeronaves que van a llegar a este aeropuerto, es lógico comenzar con el tipo de turismo o mercancías posibles que vayan a aterrizar en el mismo. La estructura de negocio que se va a llevar a cabo en este aeropuerto es el de captar las aerolíneas de bajo coste (Ryanair, Vueling, EasyJet) y las regionales (AirNostrum, Binter) para así descargar el aeropuerto principal de pequeñas y medianas aeronaves.

Tras este primer y rápido análisis, se puede concluir que las aeronaves de mayor tamaño que aterrizarán en Casarrubios serán

3.2.2.1. Boeing 737

El Boeing 737 es una familia de aviones de pasajeros de fuselaje estrecho desarrollada por Boeing Commercial Airplanes. Desde su introducción en 1968, se ha convertido en uno de los aviones comerciales más vendidos y utilizados en todo el mundo. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de la variante más representativa de esta aeronave, el Boeing 737-800:

- ▶ Longitud: 39,5 metros
- ▶ Envergadura: 35,80 metros
- ▶ Altura: 12,50 metros
- ▶ Capacidad de pasajeros: hasta 189 en configuración de clase única (162-189)
- ▶ Peso máximo al despegue: 73.700 kg
- ▶ Velocidad de crucero: 828 km/h [22]

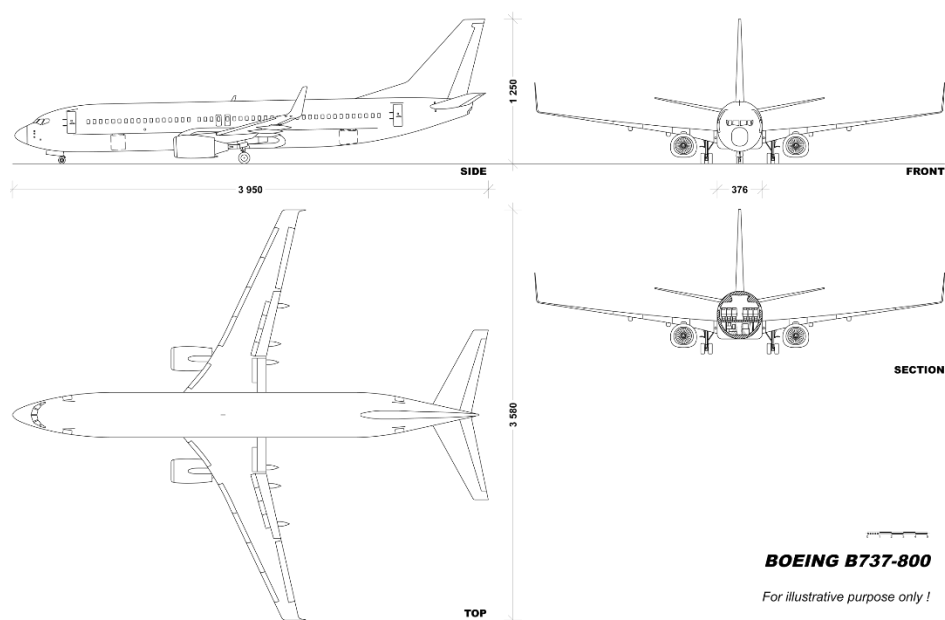


Figura 17: Dimensiones oficiales de un Boeing B737-800

Además de eso, el 737-800 tiene un MTOW de 79.000 kg el cual le requiere una distancia de despegue de 2.450 metros. [23]

La distancia de aterrizaje es mucho menor, siendo de 1.634 metros

3.2.2.2. Airbus A320

El Airbus A320 es un avión comercial de fuselaje estrecho diseñado para rutas de corta y media distancia. Desde su introducción en 1988, se ha convertido en uno de los modelos más populares en la aviación comercial gracias a su eficiencia, capacidad y tecnología avanzada.

Este avión es muy utilizado por aerolíneas de todo el mundo debido a su versatilidad y bajos coste operativo, lo que lo hace ideal para vuelos nacionales e internacionales dentro de un rango medio.

Las características principales de esta aeronave son:

- ▶ Longitud: 37,57 metros
- ▶ Envergadura: 35,80 metros
- ▶ Altura: 11,76 metros
- ▶ Capacidad de pasajeros: hasta 195 según la normativa de la EASA (190 según la FAA)
- ▶ Peso máximo al despegue: 78.000 kg
- ▶ Velocidad de crucero: 829 km/h

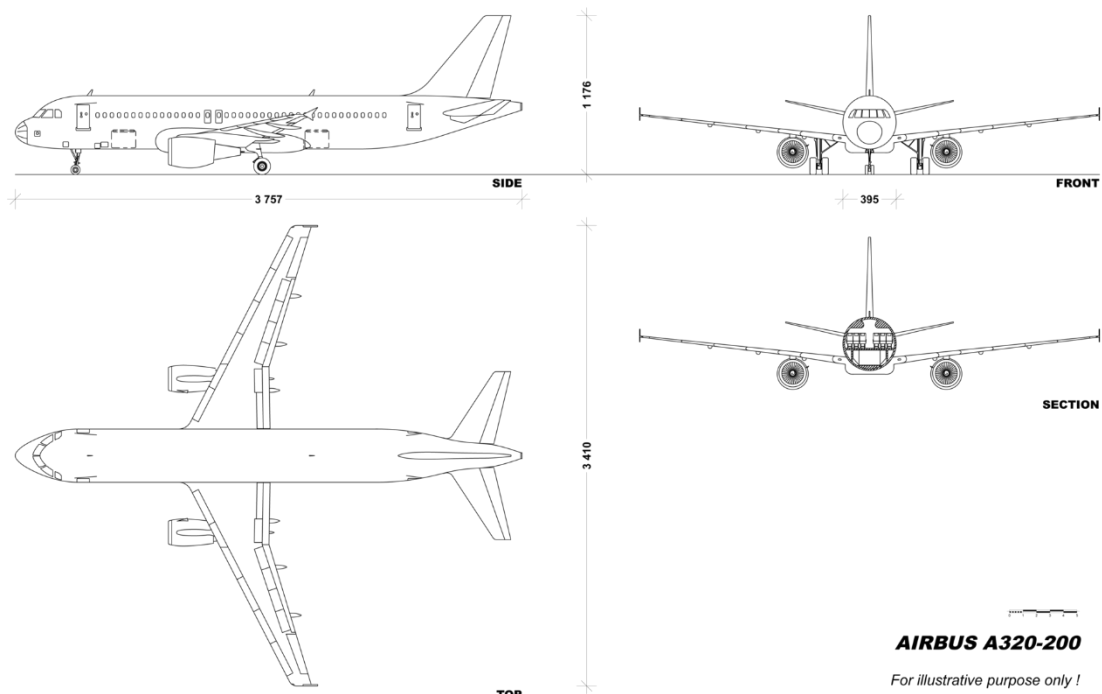


Figura 18: Dimensiones oficiales de un Airbus A320-200

En este caso, se destaca también la distancia de despegue para su MTOW siendo de 2.100 m; y la distancia máxima de aterrizaje para su MLW es de 1.500 m. Como se ve, el factor limitante a la hora de diseñar una pista de un aeropuerto es la distancia de despegue, no la de aterrizaje

Pero no las únicas, ya que toda la flota de Air Nostrum está compuesta por los Bombardier CRJ-200 y CRJ-1000; aviones pensados para vuelos regionales con unas velocidades de maniobra mucho más reducidas, pero también unas distancias de despegue y aterrizaje más cortas, lo que los hace idóneos para vuelos interprovinciales o incluso insulares, donde normalmente los aeropuertos tienen unas pistas de aterrizaje más pequeñas que de

costumbre. En el caso del CRJ-200 por ejemplo, para el caso del MTOW, solo necesitaría una pista de 1.528 metros de longitud.

Binter tiene aeronaves similares como el ATR 72, o el modelo que emplearían para sus vuelos peninsulares, el Embraer 195-E2; ambos con distancias de aterrizaje y despegue mucho menores que el Boeing 737-800 o el A320.

Se estudia el caso ahora de por qué estas aerolíneas serían las idóneas para el aeropuerto de Casarrubios y cómo podrían suplir el tráfico aéreo de la zona, pues las aerolíneas low-cost, como Ryanair, Vueling y EasyJet, basan su modelo de negocio en la eficiencia operativa, lo que implica tiempos de escala reducidos, aeropuertos con menores tasas y una alta rotación de vuelos. Para evaluar si Casarrubios pudiera absorber esta carga operativa, veremos los posibles caminos a tomar para que esto ocurra.

Uno de los factores clave en la decisión de Ryanair, Vueling y EasyJet sería la reducción de costes aeroportuarios. Las aerolíneas de bajo coste operan en aeropuertos secundarios precisamente para minimizar tasas y aumentar la rentabilidad de cada vuelo. En este sentido, Casarrubios podría ofrecer tarifas más competitivas que las de Barajas, atrayendo así a estas aerolíneas. No obstante, esto también dependería de las inversiones necesarias para la modernización del aeropuerto y del modelo de gestión que se establezca.

► Ryanair [24]

Ryanair ha experimentado un crecimiento muy sostenido en los últimos años, excluyendo los años de la pandemia que desestabilizaron el mundo y colapsaron el transporte aéreo, reflejando una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 17,5% durante ese período. Se muestra a continuación una gráfica de estos datos.

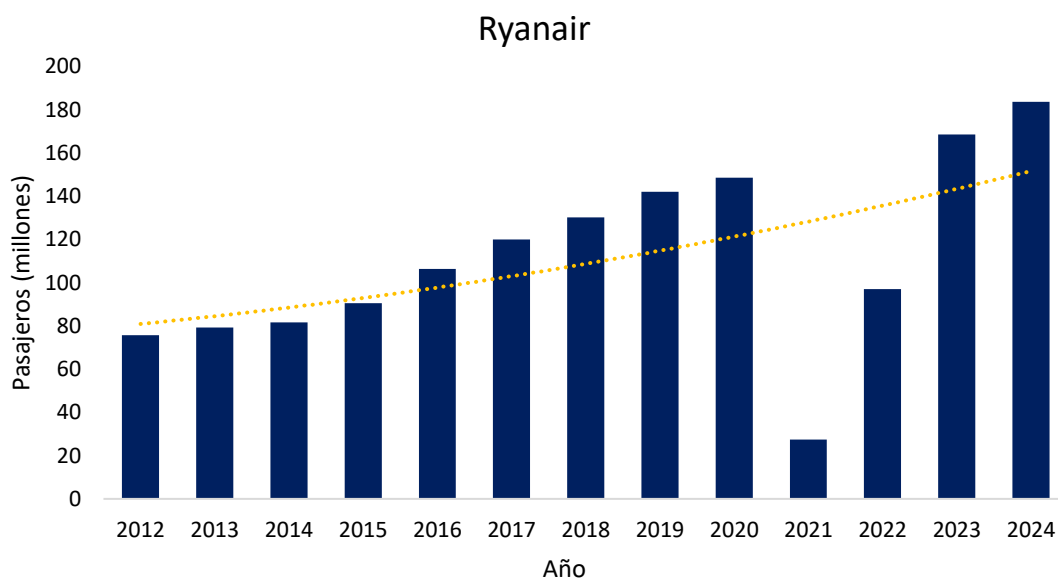


Figura 19: Variación anual de los pasajeros de Ryanair

Son un gran motor en el aeropuerto de Barajas, aunque recientemente, en enero de 2025, Ryanair anunció una reducción del 18% en su tráfico en España para el verano de ese año, atribuyendo esta decisión a las "excesivas tasas" y a la "falta de efectividad de los planes de incentivos" por parte de Aena. Esta medida afectará significativamente a aeropuertos regionales, con la eliminación total de operaciones en Jerez y Valladolid, y reducciones en otros como Santiago, Zaragoza y Santander.

En este contexto, la existencia de un aeropuerto alternativo con costes más competitivos y mayor flexibilidad operativa podría mitigar el impacto de esta reestructuración y garantizar una oferta sostenible de vuelos de bajo coste en Madrid. [25]

► Vueling

Fundada en 2004 en Barcelona, Vueling Airlines ha consolidado su posición como una de las principales aerolíneas de bajo coste en Europa, formando parte del gran grupo aeronáutico de IAG. A lo largo de su trayectoria, ha experimentado un crecimiento constante, ampliando su flota y red de destinos. En 2025, la aerolínea anunció la incorporación de cinco nuevos aviones Airbus A320, elevando su flota a 129 aeronaves y permitiendo un incremento de un millón de asientos para la temporada de verano, alcanzando un total de 27,2 millones de plazas hacia 105 destinos.

Sin embargo, la creciente demanda y la saturación de aeropuertos principales, como el Adolfo Suárez Madrid-Barajas, que registró más de 66 millones de pasajeros en 2024 como ya se ha visto previamente, plantea la exploración de aeropuertos alternativo. El aeropuerto de Casarrubios por lo tanto se convierte en una opción ideal para poder asumir parte de este

tráfico y así ofrecer a Vueling una oportunidad estratégica para expandir sus operaciones en la región central de España. Esto permitiría a Vueling optimizar sus rutas y costes, manteniendo su compromiso de ofrecer tarifas competitivas y un servicio eficiente a sus pasajeros.

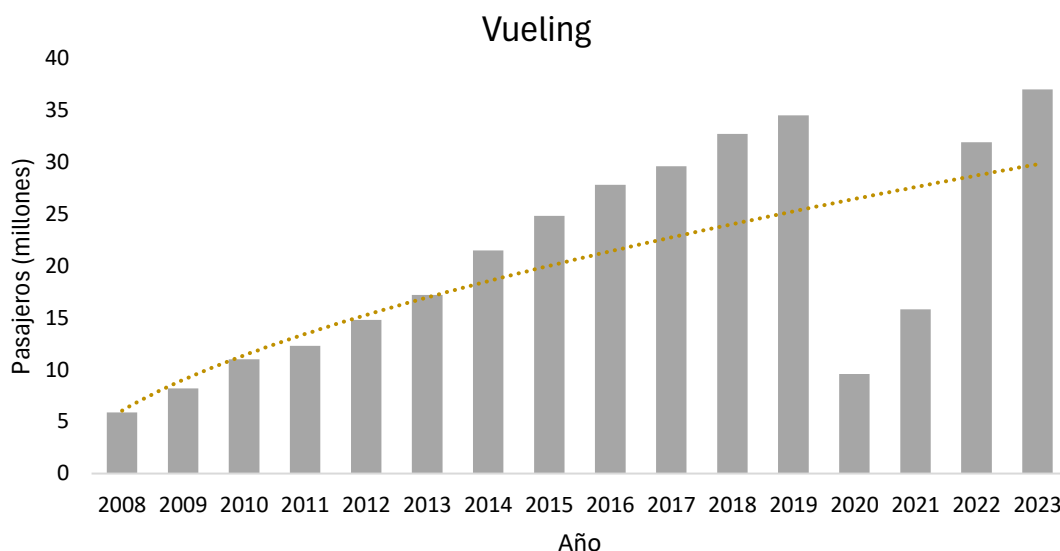


Figura 20: Variación anual de los pasajeros de Vueling

[26], [27]

► EasyJet

EasyJet es una de las aerolíneas de bajo coste más importantes de Europa, fundada en 1995 en el Reino Unido con un modelo de negocio basado en la reducción y ahorro de costes, la eficiencia en las rotaciones de aeronaves y la optimización de rutas en aeropuertos clave. Desde su inicio, la compañía ha experimentado un crecimiento sostenido, consolidándose como una de las principales competidoras de Ryanair en el segmento low-cost. A diferencia de otras aerolíneas similares, EasyJet ha apostado por operar en aeropuertos principales y secundarios bien conectados con grandes ciudades, lo que le ha permitido mantener una clientela diversificada, incluyendo tanto viajeros de ocio como de negocios.

En términos financieros, EasyJet ha apostado en los últimos años por la modernización de su flota con aviones más eficientes en consumo de combustible, como el Airbus A320neo, y ha ampliado su presencia en mercados estratégicos como España, Francia e Italia.

Actualmente se encuentra en un proceso de expansión en España. En noviembre de 2024, la compañía anunció un aumento del 6,5% en su capacidad operativa, con la introducción de 14 nuevas rutas y más de 20 millones de asientos disponibles para el año fiscal 2025. Este crecimiento se enmarca en su estrategia de consolidar su presencia en el sur de Europa, donde

la demanda de vuelos low-cost sigue en aumento. Este crecimiento se puede apreciar bien en la siguiente gráfica:

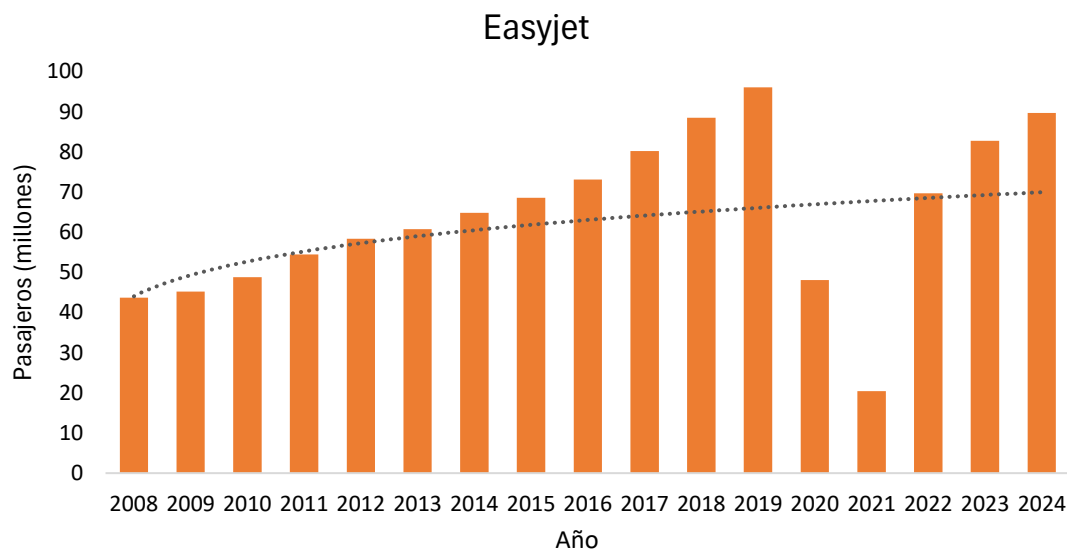


Figura 21: Variación anual de los pasajeros de EasyJet

[28]

Sin embargo, este desarrollo se ha visto ensombrecido por recientes sanciones impuestas por el Ministerio de Consumo de España, que multó a EasyJet y otras aerolíneas de bajo coste con un total de 179 millones de euros por prácticas abusivas, como el cobro excesivo por equipaje de mano y la asignación de asientos (Financial Times). Estas sanciones pueden afectar la rentabilidad de EasyJet en el mercado español, especialmente en aeropuertos con tasas aeroportuarias elevadas.

Dado este contexto, el traslado de parte de sus operaciones a un aeropuerto con tasas más competitivas, como Casarrubios del Monte, podría representar una solución viable, asegurando así la sostenibilidad de su crecimiento en la región.

3.2.3. Demanda mercancías

El transporte aéreo de mercancías ha consolidado su papel como un componente esencial de la economía global, facilitando la logística de bienes de alto valor y tiempo crítico. En el contexto de la Comunidad de Madrid, el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas ha actuado como el nodo central para la carga aérea, registrando en 2024 un volumen histórico de 766.818 toneladas. Esta tendencia ascendente se ha visto impulsada por la creciente demanda de transporte eficiente en sectores como el comercio electrónico, la industria farmacéutica y el suministro de componentes de alta tecnología.[29]

El análisis prospectivo del mercado de carga aérea en la región madrileña indica una expansión sostenida, con una tasa de crecimiento compuesta anual proyectada entre el 5% y el 8% durante la próxima década[30]. La expansión del comercio electrónico transfronterizo, además, ha incrementado la demanda de estos servicios de transportes rápidos, con un crecimiento estimado del 10% anual en la demanda de vuelos cargueros en Europa[31]. Además, la exportación de bienes farmacéuticos y de alta tecnología, particularmente en la Comunidad de Madrid, ha reforzado la necesidad de infraestructura aeroportuaria especializada, ya que estos sectores dependen de la conectividad aérea para la distribución eficiente de productos sensibles a la temperatura.

Por otro lado, y como ya se ha visto previamente, la saturación de Barajas y la creciente escasez de slots disponibles han generado la necesidad de una infraestructura complementaria que pueda absorber parte del tráfico de carga.

El desarrollo de Casarrubios con un apartado del aeropuerto especializado en carga podría aportar beneficios significativos a la región. Se estima que en un horizonte de diez años podría absorber entre el 25% y el 30% del volumen total de carga aérea de Madrid, en las previsiones más positivas, aunque un valor más realista podría basarse en el deducido previamente (entre un 17-22%) reduciendo así la presión operativa en Barajas y mejorando la eficiencia del sistema aeroportuario. Este traslado de operaciones permitiría optimizar los tiempos de procesamiento y disminuir la saturación de infraestructuras clave.

En la planificación de Casarrubios, por tanto, se debería contemplar la construcción de un terminal de carga con gran zona de almacenes, zonas especializadas en refrigeración para productos perecederos y hangares específicos para operaciones logísticas. Además, el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas ha experimentado incrementos en sus tasas aeroportuarias en los últimos meses. En enero de 2024, se anunció una subida del 4,09% en estas tasas[32]. Lo que podría hacer que las aerolíneas cargueras y operadores logísticos de ámbito internacional trasladaran parte de su operación a la zona sur para así evitar pagar estas elevadas tasas. Otra de las ventajas operativas de Casarrubios sería su mayor flexibilidad horaria, con menores restricciones en los vuelos nocturnos, lo que facilitaría la optimización de rutas de larga distancia al no tener el gran nodo de población de Madrid en sus inmediaciones, con lo que eso conlleva.

El éxito de Casarrubios dependerá en gran medida de su capacidad para atraer operadores especializados en carga aérea. Entre sus potenciales clientes se encuentran:

- ▶ Empresas de logística y mensajería urgente, como DHL, FedEx y UPS, que requieren aeropuertos con una operativa eficiente y menores costes de handling.
- ▶ Aerolíneas de carga dedicadas, entre ellas Cargolux, Emirates SkyCargo y Lufthansa Cargo, interesadas en un hub alternativo en la región centro de la península ibérica.

- Industria farmacéutica y de biotecnología, que depende de corredores de carga especializados para la distribución de productos sensibles a la temperatura.
- Sectores tecnológicos y automotrices, que requieren transporte aéreo para la logística Just-In-Time en la cadena de suministro global.

Uno de los factores más determinantes en la viabilidad de Casarrubios como centro de carga es su conectividad con las redes logísticas terrestres. Su ubicación estratégica en la A-5 y su proximidad a infraestructuras clave como el Puerto Seco de Madrid y la Plataforma Logística de Toledo refuerzan su papel en la cadena de distribución intermodal.



Figura 22: Propuesta de desarrollo del conjunto del Aeropuerto de Casarrubios

El Puerto Seco de Madrid es una terminal intermodal que facilita la logística y el transporte de mercancías en el centro de la península ibérica y conecta con el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, el centro ferroviario de Abroñigal y Mercamadrid, configurando uno de los mayores despliegues logísticos del país. Añadir a la ecuación la posibilidad de incorporar un nuevo punto de entrada y salida de mercancías podría ser muy beneficioso para expandir todavía más ese nodo logístico.

La Plataforma Logística de Toledo es un proyecto destinado en ampliar el Polígono Industrial de Toledo, incorporando casi 700.000 metros cuadrados adicionales para la instalación de nuevas empresas, especialmente del sector logístico. Esta ampliación busca atraer grandes compañías y mejorar la infraestructura logística de la región, posicionando a Toledo como un punto estratégico en la cadena de suministro.[33]



Figura 24: Mapa de la extensión y zonas de la Plataforma Logística de Toledo

Además, se contempla el desarrollo de un acceso ferroviario especializado para carga, lo que mejoraría significativamente su eficiencia operativa y se alinearía con las iniciativas europeas de reducción de emisiones en el transporte de mercancías.

3.3. Criterios de diseño del aeropuerto

Tras haber introducido los problemas actuales que el aeropuerto de Madrid tiene, al igual que estudio de viabilidad comparado con otras ciudades del mundo con la coexistencia de dos o más aeropuertos; la cantidad de pasajeros que podría admitir y el tipo de aeronaves más propensas a utilizar estos servicios; quedaría hablar con mayor profundidad sobre los criterios de diseño del aeropuerto de Casarrubios.

3.3.1. Localización. Conectividad con Madrid y Barajas

El Aeropuerto de Casarrubios del Monte se encuentra estratégicamente situado a aproximadamente 30 kilómetros al suroeste de Madrid, en la intersección entre la Comunidad de Madrid y Castilla-La Mancha. Esta localización le confiere un potencial significativo para complementar la infraestructura aeroportuaria existente y mejorar la conectividad regional.

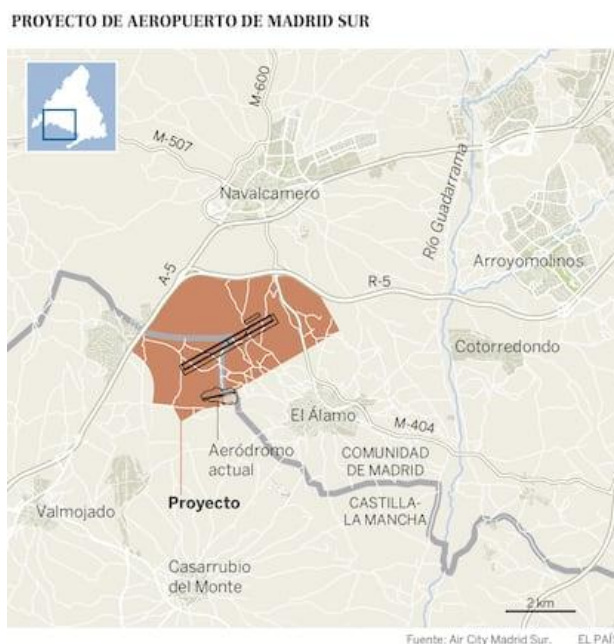


Figura 25: Idea de localización del Aeropuerto de Casarrubios

Estudiando la accesibilidad vial de este proyecto, la proximidad del aeropuerto a importantes arterias españolas, como la Autovía A-5 (Madrid-Badajoz) y la Radial R-5, facilita una conexión eficiente con el centro de Madrid y otras localidades circundantes. Estas vías permiten un acceso rápido para pasajeros, personal aeroportuario y operadores logísticos, reduciendo los tiempos de desplazamiento y mejorando la eficiencia operativa del aeropuerto.

Además, la conexión con la Autovía de La Sagra (CM-41) ofrece enlaces directos hacia la A-42 y la AP-41, ampliando las opciones de movilidad hacia el sur y el este de la península ibérica. [34]

Uno de los retos principales para la integración del Aeropuerto de Casarrubios del Monte en la red de transporte público de Madrid es la ausencia de una conexión ferroviaria directa. Actualmente, la línea de Cercanías más cercana es la de Navalcarnero, cuyo proyecto de extensión se encuentra inconcluso desde hace años. Esta situación limita las opciones de transporte público masivo hacia el aeropuerto, obligando a los usuarios a depender de servicios de autobús o transporte privado, lo que puede incrementar los tiempos de viaje y reducir la competitividad del aeropuerto como alternativa a Barajas.

Aun así, se proponen propuestas para mejorar esta conectividad con la capital y con Barajas. Para potenciar la funcionalidad y atractivo del Aeropuerto de Casarrubios del Monte, es esencial desarrollar estrategias que mejoren su integración en la red de transporte público:

- ▶ Extensión de la Red de Cercanías: Completar el proyecto de la línea de Cercanías hasta Navalcarnero y evaluar su extensión hasta el aeropuerto podría proporcionar una conexión ferroviaria directa con Madrid, reduciendo significativamente los tiempos de desplazamiento y ofreciendo una alternativa sostenible al uso del automóvil.
- ▶ Implementación de Servicios de Autobús Lanzadera: Establecer rutas de autobuses lanzadera que conecten el aeropuerto con estaciones clave de la red de transporte público de Madrid, como las estaciones de metro y Cercanías de Príncipe Pío o Aluche, facilitaría el acceso de los pasajeros al aeropuerto. Estos servicios deberían estar coordinados con los horarios de vuelos para maximizar su eficiencia. En España ya hay varios aeropuertos que tienen esta integración, como el Aeropuerto de Barajas con lanzaderas a Atocha y Avenida de América que funcionan las 24 horas del día; o el aeropuerto de Barcelona con el Aerobús que conecta las terminales con el centro (Plaça Catalunya, Gran Via y Plaça España).

En el ámbito internacional, Heathrow ofrece el Heathrow Express, que conecta el aeropuerto con la estación de Paddington en tan solo 15 minutos; o en Charles de Gaulle con el RoissyBus, conectándolo con la ópera de París.

- ▶ Mejora de Infraestructuras Viales: Aunque existen conexiones viales adecuadas, invertir en la mejora y mantenimiento de estas infraestructuras garantizará un flujo vehicular óptimo, especialmente en horas de gran afluencia de gente o durante eventos especiales que puedan aumentar el tráfico hacia el aeropuerto.

La integración con el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Baraja por carretera es esencial, y probablemente la única solución real. Al especializarse en vuelos de corto y medio radio, así como en operaciones de carga y aviación general, Casarrubios puede absorber una parte

significativa del tráfico que actualmente se concentra en Barajas. Integrando una red de autobuses express que trabaje con alta frecuencia (y con la posibilidad de tener carriles exclusivos o preferentes) podría facilitar la movilidad de estos aeropuertos, además de incorporar en ellos espacios para el equipaje al igual que un display mostrando las conexiones más importantes (con la puerta de embarque, terminal y hora de salida) para aquellos pasajeros con vuelos con conexión.

3.3.2. Dimensiones y servicios para construir

Se desglosa en este apartado las propuestas para la pista de aterrizaje, calles de rodaje, plataforma, la torre de control y la terminal.

3.3.2.1. Pista de aterrizaje

Se debe comenzar estudiando lo existente, pues intentar pensar en casos hipotéticos sin tener en cuenta la pista actual sería un error además de un posible despilfarro económico, por lo tanto, se resume la longitud de la pista en:

- ▶ Longitud actual: 950 metros
- ▶ Ancho actual: 26 metros
- ▶ Material del que está formada la pista: asfalto.

Dicho esto, el diseño de dicha pista de aterrizaje y las calles de rodaje del aeropuerto es un aspecto fundamental que determina la operatividad, seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas. La correcta planificación debe cumplir con las normativas establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y otras entidades como la Federal Aviation Administration (FAA) y la European Union Aviation Safety Agency (EASA), donde todos los estándares de seguridad deben cumplirse estrictamente.

En el caso del Aeropuerto de Casarrubios, se debe diseñar una pista adecuada para la operativa de aeronaves comerciales y privadas, considerando su integración en la red aeroportuaria de Madrid y su posible uso como complemento al Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas (a pesar de existir ya opciones de desarrollar una pista aparte para aeronaves privadas).

El diseño de esta pista de aterrizaje (centrándose este estudio únicamente en la pista principal y por tanto también la más restrictiva) se rige por múltiples criterios de diseño como la longitud, ancho, orientación y resistencia a las inclemencias del tiempo.

La longitud de la pista se determina gracias a:

- ▶ Tipo de aeronaves que operarán en ella
- ▶ Condiciones climáticas del aeropuerto

- Altitud
- MTOW de las aeronaves
- Disponibilidad aérea de seguridad y sobrepaso

Para un aeropuerto regional con posibilidad de recibir vuelos comerciales, la longitud mínima recomendada está en el rango de 2.400 - 3.600 metros, dependiendo de la categoría de aeronaves esperadas.[35]

En el caso del Aeropuerto de Casarrubios, se deben considerar las aeronaves vistas en el apartado 3.2.2. de este proyecto; aquí un resumen

- Airbus A320-200 (MTOW: 78,000 kg, requerimiento de pista: 2.100 m)
- Boeing 737-800 (MTOW: 79,000 kg, requerimiento de pista: 2.450 m)
- Aeronaves ejecutivas no vistas previamente, pero trabajando con las más comunes como la Cessna Citation X, Bombardier Global 6000, Gulfstream G650; teniendo todas un MTOW mucho menos que las previamente mencionadas, por lo tanto no será factor limitante, y además trabajando con tramos máximos de despegue de entre 1.800 – 2.300 m

Visto esto, debe tenerse en cuenta la temperatura media de la zona en las diferentes épocas del año

	Agosto	Diciembre	Abril
Temperatura máxima	37 °C	12 °C	19 °C
Temperatura mínima	18 °C	1 °C	6 °C
Precipitación	0,35 mm	1,30 mm	1,89 mm

Tabla 5: Temperaturas y precipitaciones medias en Casarrubios

[36]

Se puede ver que tiene un clima con altas temperaturas en verano, y bajas-media en invierno, pero o acumula mucha lluvia; por lo tanto, se puede realizar una estimación en la longitud de la pista siguiendo recomendaciones de la EASA (EASA CS-ADR-DSN (2023) para aeronave A320 y se repetirá para el B737 en la localización de Casarrubios a 650 m de altitud sobre el nivel del mar).

Los parámetros clave son

Variable	Valor
ΔH	650 m

T media en verano	35 °C
T ISA ($h = 650\text{ m}$)	10,775 °C
ΔT	$35 - 10,775 = 24,225\text{ °C}$

Tabla 6: Parámetros clave en Casarrubios

Realizando cálculos para el Airbus A320 (EASA CS-ADR-DSN.B.010)

$$L_o = 2100\text{ m}$$

Corrección por altitud

$$K_{altitud} = 0,02 \cdot \frac{650}{300} = 0,0433\text{ (4,33\%)}$$

Corrección por temperatura

$$K_T = 0,001 \cdot 24,225 = 0,0242\text{ (2,42\%)}$$

Factor de corrección

$$F = 1 + 0,0433 + 0,0242 = 1,0675\text{ (6,75\%)}$$

Longitud total, por tanto

$$L = L_o \cdot F = 2100 \cdot 1,0675 = 2.241\text{ m}$$

Repitiendo los mismos cálculos para el Boeing 737, que tiene un $L_o = 2450\text{ m}$ queda, por tanto

$$L = L_o \cdot F = 2450 \cdot 1,0675 = 2.615\text{ m}$$

Además de ello, la EASA no exige un margen de seguridad como sí que lo hace la FAA (siendo este de un 15%) pero sí recomienda un factor operacional de seguridad de un 10% para cubrir condiciones de despegue no ideales (viento por debajo de los 5 nudos, errores del piloto etc).

Por tanto, las longitudes ajustadas serían de

- Airbus A320 = 2.466 m
- Boeing 737 = 2.877 m

Además de las correcciones por altitud y temperatura, la EASA establece otros factores críticos que influyen en la determinación de la longitud de pista requerida. Estos factores deben ser considerados para garantizar la seguridad y eficiencia operativa del aeropuerto.

En primer lugar, la pendiente de la pista es un elemento clave. Si la pista tiene una pendiente ascendente superior al 1%, se debe aplicar un factor de corrección adicional. Este factor se calcula como $K_{pendiente} = 0,1 \cdot pendiente (\%)$. Por ejemplo, una pendiente del 2% incrementaría la longitud requerida en un 20%. En el caso de Casarrubios, se recomienda realizar un estudio topográfico detallado para incorporar este factor en el diseño final para poder llegar a una conclusión sólida.

En segundo lugar, el tipo de superficie de la pista también afecta a la longitud necesaria. Un pavimento flexible, como el asfalto, puede reducir la longitud requerida entre un 3% y un 5% en comparación con un pavimento rígido de hormigón. Esta reducción se debe a las características de fricción y resistencia al rodamiento del asfalto, que favorecen un despegue más eficiente. Por lo tanto, la elección del material de la pista debe ser cuidadosamente evaluada para optimizar la longitud y los costes de construcción.

Tras el análisis detallado de los factores que influyen en la longitud de pista requerida, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En cuanto a la longitud mínima requerida, los cálculos basados en la normativa EASA indican que, para operar con seguridad aeronaves como el Airbus A320 y el Boeing 737, se necesitaría una pista de 2.466 metros para el A320 y de 2.877 metros para el B737, considerando un margen operacional del 10% para condiciones adversas. Estas longitudes garantizan la operatividad incluso en los días más calurosos del verano, cuando las temperaturas pueden superar los 35°C.

No obstante, desde un punto de vista técnico y práctico, se recomienda construir una pista de al menos 2.800 a 3.000 metros. Esta longitud permitiría operar ambas aeronaves con un margen de seguridad adicional, asegurando la flexibilidad necesaria para adaptarse a condiciones meteorológicas extremas o a posibles incrementos en el peso máximo al despegue (MTOW) de las aeronaves. Además, una pista de esta longitud posicionaría al aeropuerto de Casarrubios como una infraestructura competitiva y preparada para futuras expansiones.

Por otro lado, es fundamental realizar pruebas de rendimiento real en colaboración con las aerolíneas usuarias, como Ryanair o Vueling, para validar los cálculos teóricos. Estas pruebas permitirían ajustar la longitud de la pista en función de las condiciones locales, el peso operativo de las aeronaves y otros factores específicos que no se han podido cuantificar en este estudio. La validación práctica es un requisito indispensable para cumplir con los estándares de seguridad y operatividad establecidos por la EASA.

Finalmente, es imprescindible cumplir con el Reglamento de Ejecución (UE) 139/2014, que establece los requisitos para la certificación y operación de aeródromos designados. Esto incluye la incorporación de zonas de seguridad RESA (Runway End Safety Area) de al menos

300 metros adicionales en cada extremo de la pista. Estas zonas son críticas para mitigar los riesgos en caso de salidas de pista durante el despegue o el aterrizaje, y su implementación es obligatoria para garantizar la seguridad de las operaciones.

Por lo tanto, y para finalizar este apartado; se conoce por la empresa Air City Madrid que la longitud de pista que tienen pensado emplear es de 3.200 metros, siendo una pista con una longitud suficiente para trabajar en su rango de negocio sin ningún tipo de contratiempo.



Figura 26: Render de la propuesta del Aeropuerto de Casarrubios presentado por Air City Madrid Sur con los alrededores

Obtener una estimación del ancho de la pista es mucho más sencillo, ya que basándose en la categorización de las aeronaves según la OACI[35] se tiene una categorización tal que:

- ▶ Letra (A-E): Velocidad de aproximación.
- ▶ Número (1-6): Envergadura y distancia entre ruedas principales.

Cabe añadir que el ancho mínimo de la pista depende del número del código, no de la letra de la categoría.

Código	Ancho mínimo de la pista	Aeronave
4	45 m	A320, B737
5	45 m	B767, A310
6	60 m	B777, A350

Tabla 7: Código y anchos de pista mínimos

Además del ancho de la pista, la OACI define dos elementos clave que contribuyen a la seguridad operativa: las franjas de pista (runway strips) y los hombros de pista (runway

shoulders). Las franjas de pista son áreas no pavimentadas que se extienden a ambos lados de la pista y están destinadas a proporcionar un espacio de seguridad en caso de salidas de pista o emergencias. Para aeronaves de código 4, la OACI requiere una franja de pista de 75 metros de ancho a cada lado, lo que suma un total de 150 metros adicionales al ancho de la pista. Estas franjas deben estar libres de obstáculos y tener una superficie que permita el frenado de emergencia sin comprometer la integridad de la aeronave.

Por otro lado, los hombros de pista son zonas pavimentadas adyacentes a la pista, diseñadas para soportar cargas ocasionales, como el paso de vehículos de emergencia o el desvío de aeronaves en situaciones críticas. Para aeronaves de código 4, la OACI recomienda hombros de 7.5 metros de ancho a cada lado, lo que suma un total de 15 metros adicionales al ancho de la pista. Estos hombros no solo mejoran la seguridad operativa, sino que también facilitan el mantenimiento de la infraestructura.

En el caso de aeronaves de código 5, como el Boeing 767 o el Airbus A310; aeronaves que en principio no se plantea que sea el principal mercado de este aeropuerto pero que podrían utilizarlo si el crecimiento de la zona y del aeropuerto así lo requiere; el ancho mínimo de pista sigue siendo de 45 metros, según la OACI. Sin embargo, es importante verificar que el pavimento de la pista tenga la resistencia suficiente para soportar el peso y las cargas dinámicas de estas aeronaves más grandes. Si bien no es necesario ampliar el ancho de la pista para aeronaves de código 5, sí se recomienda mantener los hombros de 7,5 metros y las franjas de pista de 75 metros para garantizar un margen de seguridad adecuado.

Como respuesta entonces al diseño del ancho de la pista para el aeropuerto, se recomienda una pista de 45 metros de ancho, con hombros pavimentados de 7,5 m a cada lado (total 60 m), acorde al código OACI 4; y donde adicionalmente se debe garantizar una franja de pista no pavimentada de 75 m por lado para emergencias. [37]



Figura 27: Esquema de localización de la terminal y pista de aterrizaje del Aeropuerto de Casarrubios

El siguiente punto para tratar es el requerimiento estructural de la pista, que debe garantizar la capacidad de soportar las cargas operativas de las aeronaves previstas, adaptarse a las condiciones climáticas locales y asegurar una vida útil prolongada. Se abordará ahora los criterios técnicos para la capacidad de carga, pavimentación y sistemas de drenaje, fundamentales para cumplir con los estándares de la OACI.

La capacidad estructural de la pista se determina mediante la relación entre el Número de Clasificación de Pavimento (PCN) y el Número de Clasificación de Aeronave (ACN). El PCN representa la resistencia del pavimento, mientras que el ACN cuantifica el impacto de una aeronave específica sobre dicho pavimento. Para operaciones seguras, el PCN debe ser igual o superior al ACN de la aeronave más crítica.

Los valores de ACN varían según el tipo de pavimento (rígido o flexible) y la resistencia de la subrasante. Por ejemplo, el Airbus A320 tiene un ACN de aproximadamente 35-40 en pavimento rígido (hormigón) y de 45-50 en pavimento flexible (asfalto). Por su parte, el Boeing 737 presenta un ACN de 40-45 en pavimento rígido y de 50-55 en pavimento flexible. Estos valores deben ser contrastados con el PCN del pavimento para garantizar la compatibilidad estructural.

Para aeronaves como el B737, se recomienda un PCN mínimo de 50/R/B/W/T, donde:

- ▶ R indica que el pavimento es rígido (hormigón).
- ▶ B se refiere a una subrasante de resistencia media ($k = 150 \text{ MN/m}^3$).
- ▶ W establece una presión máxima de neumáticos permitida de 1.5 MPa.

- T señala que la evaluación se realiza mediante métodos técnicos, no empíricos.

En cuanto al diseño del pavimento, para un PCN de 50/R/B/W/T, se requiere un pavimento rígido compuesto por losas de hormigón de 35-40 cm de espesor, con una resistencia a la compresión (f'_c) de al menos 35 MPa. Estas losas deben estar reforzadas con barras pasadoras de acero corrugado y separadas por juntas transversales cada 4-5 m para evitar fisuras por contracción térmica. La subbase granular, con un espesor de 20-30 cm y un CBR (California Bearing Ratio) $\geq 30\%$, proporciona el soporte necesario para distribuir las cargas hacia la subrasante.



Figura 28: Operarios trabajando en el asfaltado de una pista de aterrizaje en Latinoamérica

Además, es fundamental realizar un estudio geotécnico para determinar las propiedades de la subrasante, como su CBR, y aplicar técnicas de estabilización (ej. cal o cemento) si es necesario.

El drenaje es otro punto crítico en el diseño, ya que un sistema de drenaje eficiente es crítico para evitar la acumulación de agua en la pista, ya que esta reduce la fricción entre el pavimento y los neumáticos, aumentando el riesgo de *aquaplaning*. La OACI establece directrices claras para el diseño de pendientes y sistemas de drenaje.

La pendiente transversal de la pista debe estar entre el 1% y el 2%, con un valor óptimo del 1,5%, para facilitar la evacuación rápida del agua. Por otro lado, la pendiente longitudinal no debe superar el 2,0%, ya que pendientes más pronunciadas pueden afectar la aceleración y desaceleración de las aeronaves.

Además, en puntos con temperaturas elevadas como los 35 °C que se superan en verano en Casarrubios, es esencial diseñar el pavimento para resistir las tensiones térmicas. En el caso de pavimentos rígidos, se recomienda incorporar aditivos anti-fisuras y fibras de polipropileno para minimizar las grietas por expansión y contracción. Para pavimentos flexibles, las mezclas

asfálticas modificadas con polímeros ofrecen mayor resistencia a las deformaciones plásticas en condiciones de calor intenso.

Para el aeropuerto de Casarrubios, por tanto, se propone un pavimento rígido con un PCN de 60/R/B/W/T, compuesto por losas de hormigón armado de 38 cm de espesor y una resistencia a la compresión ($f'c$) de 35 MPa. La subbase granular, con un espesor de 30 cm y un CBR $\geq 30\%$, proporciona el soporte necesario para distribuir las cargas hacia la subrasante, la cual debe estar estabilizada con cal para alcanzar un CBR mínimo del 12%.

El sistema de drenaje incluirá una pendiente transversal del 1,5% y cunetas revestidas de hormigón cada 50 m, diseñadas para un caudal de evacuación ≥ 250 l/s, según la norma UNE-EN 12056-3. Adicionalmente, se implementarán colectores subterráneos y sistemas de bombeo automático en zonas con riesgo de inundación, dejando la pista preparada para futuras ampliaciones operativas, asegurando la seguridad y eficiencia del aeropuerto de Casarrubios.

3.3.2.2. Calles de rodaje

Las calles de rodaje son críticas en la operativa aeroportuaria, ya que permiten el desplazamiento seguro y eficiente de las aeronaves entre la pista principal, las plataformas de estacionamiento y otras áreas de servicio. Su diseño debe garantizar la compatibilidad con las dimensiones y características de las aeronaves previstas, así como minimizar interferencias con las operaciones en pista. En el caso del aeropuerto de Casarrubios y a sus aeronaves llamémoslas insignias, es fundamental adherirse a los estándares de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para asegurar un rendimiento óptimo y seguro.

► Configuración geométrica

La configuración de las calles de rodaje debe optimizar la circulación de las aeronaves, reduciendo tiempos de espera y evitando conflictos operativos. Para ello, se proponen dos diseños complementarios:

- Rodaje paralelo: Esta disposición consiste en una calle de rodaje ubicada paralelamente a la pista principal, separada por una distancia mínima de 172.5 metros, tal como exige la OACI para aeronaves de código 4 (Anexo 14, Volumen I, Tabla 3-1). Esta separación permite que las aeronaves puedan rodar sin interferir con los despegues y aterrizajes, mejorando la capacidad operativa del aeropuerto. Además, la OACI establece una separación mínima de 47.5 metros entre los ejes de calles paralelas para garantizar maniobras seguras en condiciones de baja visibilidad.
- Espina de pescado: Este diseño conecta la pista principal con la plataforma de estacionamiento mediante calles de rodaje que divergen en ángulos controlados. Para aeronaves de código 4, los ángulos de salida no deben superar los 30° , evitando así esfuerzos excesivos en el tren de aterrizaje durante las maniobras. Las intersecciones

deben incluir islas de dirección pavimentadas, que guíen a los pilotos y prevengan invasiones involuntarias de áreas restringidas. La OACI recomienda además que estas intersecciones cuenten con balizas reflectantes y señalización horizontal para operaciones nocturnas o en condiciones meteorológicas adversas.

Las dimensiones de las calles de rodaje se definen en función del código numérico OACI, que para aeronaves como el A320 y B737 corresponde al código 4. Según el Anexo 14 de la OACI, esto implica:

- ▶ Ancho mínimo de la calle: 23 metros, medido entre los bordes internos de las líneas de guiado. Este espacio permite el tránsito seguro de aeronaves con una envergadura de hasta 36 metros, como el A320.
- ▶ Franjas de seguridad: Zonas no pavimentadas de 44 metros de ancho a cada lado de la calle, libres de obstáculos permanentes. Estas franjas actúan como área de seguridad en caso de salidas involuntarias de la calle, proporcionando un espacio para frenado de emergencia.
- ▶ Hombros pavimentados: En tramos críticos (ej. cerca de plataformas), se recomiendan hombros de 10,5 metros a cada lado, pavimentados con materiales de baja resistencia para soportar el paso ocasional de ruedas sin dañar el tren de aterrizaje.

Respecto a la maniobrabilidad, el parámetro clave es el radio de giro mínimo, que debe permitir a las aeronaves virar sin restricciones. Para calcularlo, la OACI proporciona la fórmula:

$$R_{min} = 0,19 \cdot V^2$$

donde V es la velocidad de giro en km/h. Para un Airbus A320, que realiza giros a aproximadamente 25 km/h en condiciones normales, el radio mínimo requerido es:

$$R = 0,19 \times (25)^2 = 118,75 \text{ metros.}$$

No obstante, se recomienda adoptar un radio mínimo de 120 metros para incorporar un margen de seguridad adicional, especialmente en condiciones de pavimento mojado o contaminado.

Adicionalmente, las pendientes deben diseñarse para evitar riesgos operativos:

- ▶ Pendiente transversal: $\leq 1,5\%$ para facilitar el drenaje superficial sin provocar derrapes.
- ▶ Pendiente longitudinal: $\leq 3\%$ en tramos rectos y $\leq 1,5\%$ en curvas, según el Doc 9157 de la OACI.[38]

Para el caso de Casarrubios, la pista principal contará con dos calles de salida rápida y su respectiva calle de rodaje paralela, con una longitud de 172,5 metros de largo y 23 de ancho,

y con un sistema de intersecciones en espina de pescado con radios de giro de 120 m, ángulos de 30° e islas de dirección señalizadas. Además, debería ser estudiada la opción de tener un sistema de drenaje integrado con pendiente transversal del 1.5% y cunetas laterales revestidas de hormigón.

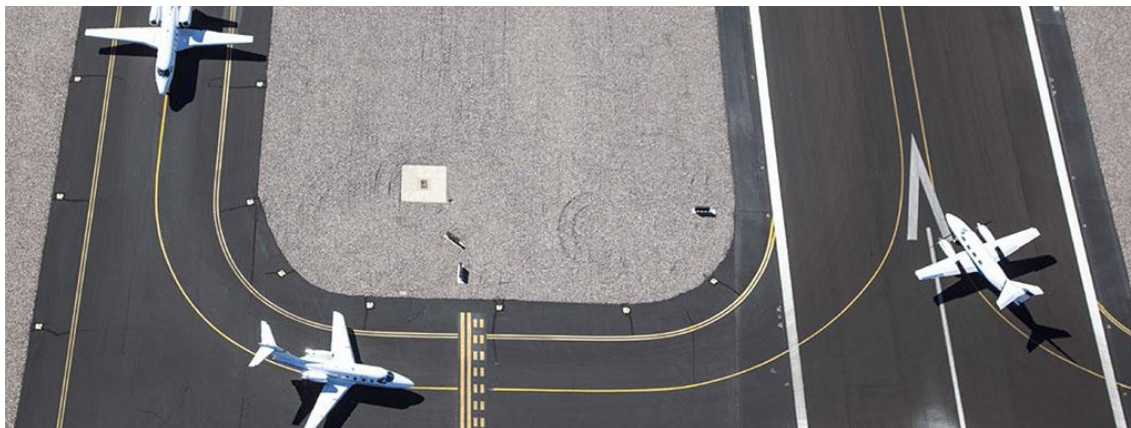


Figura 29: Calle de Taxi de un aeropuerto

3.3.2.3. Plataforma y terminal

Determinar el número de posiciones necesarias para el aeropuerto de Casarrubios es una tarea con una alta criticidad, ya que si se subdimensionan, no va a poder acoger todos los vuelos que realmente tendría capacidad para ello. Además de eso, la terminal también constituye una parte esencial del aeropuerto ya que actúa como matriz de conexión entre los pasajeros y las operaciones aéreas.

Para el aeropuerto de Casarrubios, y contando con la previsión vista en el apartado 3.2.1. de llegar a asumir en un plazo de 10 años hasta 11 millones de pasajeros anuales, debe realizarse un diseño integral de dicha terminal cumpliendo claramente con los estándares internacionales (OACI, IATA, EASA) y anticipándose a futuros aumentos de la demanda.

La capacidad de la terminal se determina mediante el modelo "Space Requirements for Airport Terminals" de la IATA[39], que considera variables como el flujo horario de pasajeros, el tiempo medio de permanencia y el nivel de servicio (LOS). Para un tráfico anual de 11 millones de pasajeros, asumiendo una distribución desigual con picos estacionales y horarios, el flujo en hora punta se estima en 4.700 pasajeros/hora, aplicando un factor de pico de 2,5 sobre la media diaria.[40]

El nivel de servicio (LOS) objetivo es B (1.8 m²/pasajero), que equilibra confort y eficiencia espacial. No obstante, considerando tendencias post-pandémicas que priorizan distanciamiento y calidad del aire, se incorpora un factor de ajuste del 20%, resultando en:

$$A = P_{peak\ hour} \cdot Sp \cdot (1 + T60) \cdot COVID = 4.700 \cdot 1,8 \cdot 2,0 \cdot 1,2 = 20.304 m^2.$$

Esta área permite distribuir funcionalidades clave mientras se cumplen estándares de la OACI para circulación fluida.

Tener una distribución funcional y flujos de personas bien organizada, segregando flujos de salidas, llegadas y tránsito para minimizar conflictos operativos, es clave para una buena organización. Un diseño modular facilitará ampliaciones futuras, algo esencial para un aeropuerto en crecimiento.

Comenzando a desarrollar las zonas de la terminal, la primera debería ser siempre la zona pública, dividida en:

- ▶ Check-in: 60 mostradores convencionales + 20 kioscos de autoservicio con tecnología Common Use (CUPPS), reduciendo tiempos de espera en un 30%[41]
- ▶ Control de Seguridad: se habilitarían 12 líneas equipadas con escáneres 3D (siguiendo la normativa EASA 2023/229), que son capaces de procesar 300 pasajeros/hora con un falso positivo menor al 5%.
- ▶ Área Comercial: 5,000 m² de espacio comercial, incluyendo Duty Free, restaurantes y otros servicios como tiendas o kioscos, generando ingresos no aeronáuticos estimados en 32% de los ingresos totales del aeropuerto (5% comida y bebida; y 27% alquiler de esos espacios comerciales), según el estudio realizado por ACI World en 2023. [42]

La sala de embarque podría contar con 8 puertas con pasarelas telescópicas (jet bridges), conectadas a posiciones de contacto para A320/B737. Incluye salas con capacidad para 1,500 pasajeros, equipadas con sistemas de información en tiempo real (FIDS)

Para finalizar con la división de la terminal del aeropuerto, queda concluir la zona de llegadas, con una zona de recogida de equipajes formada por 8 cintas de 50 m, y gestionadas por un sistema de manejo de equipajes (BHS) con identificación por RFID, reduciendo pérdidas a menos de un 0,1% según la resolución 753 de la IATA, citada a continuación. [43]

Un punto de aduanas internacionales debería ser necesario, aunque el principal mercado de este aeropuerto no vaya a ser vuelos intercontinentales, sí que permite aceptar vuelos fuera del espacio europeo, por lo que la implementación de puestos automatizados (e-Gates) con reconocimiento facial, alineados con el Reglamento UE 2019/817 al igual que zonas de control presencial deben ser puestas en funcionamiento. El número de éstas no se ha establecido en un principio y debería tenerse en consideración en los primeros meses de funcionamiento del aeropuerto, estudiando el perfil de los pasajeros que viajen a Casarrubios.

Conseguir ahora una integración de este edificio junto con la infraestructura del lado aire, hablando de forma sencilla, debe realizarse de la forma menos invasiva y controlada posible

Una estimación para calcular el volumen de pasajeros en su *peak hour* puede hacerse siguiendo dos enfoques

1. Cálculo asumiendo que el 5% del tráfico diario se concentra en la hora más crítica

Esta aproximación es válida para aeropuertos regionales[40] aquellos con menos de 10 millones de pasajeros anuales

$$Pax_{peak\ hour} = \frac{11.000.000}{365} \times 0.05 = 1.507\ pax/hora$$

Aunque viendo el posible crecimiento del aeropuerto a números por encima de esos 10 millones, también se propone otro enfoque

2. Cálculo asumiendo el percentil 95%

Este cálculo, válido para aeropuertos de más de 10 millones de pasajeros anuales, considera fluctuaciones estacionales y eventos especiales

$$Pax_{peak\ hour} = 1,3 \cdot \left(\frac{Pax_{anuales}}{365 \cdot 16} \right) = 1,3 \cdot \left(\frac{11.000.000}{5.840} \right) \approx 2,450\ pax/hora.$$

Con ello, debe tenerse en cuenta que la terminal no opera de forma aislada, sino que tiene que sincronizarse con la pista, las calles de rodaje, e intentar así evitar cuellos de botella, la forma para ello es seguir las siguientes recomendaciones:

- Relación con la pista de despegue

La terminal debe ubicarse a menos de 500 metros de la cabecera de la pista, reduciendo así los tiempos de taxi de las aeronaves, además de contar con las dos calles de rodaje vistas previamente, soportando además una media de 30 movimientos por hora, y el aeropuerto debe integrar un sistema de A-CDM (*Airport Collaborative Decision Making*) para coordinar despegues, aterrizajes y demás operaciones en la plataforma.

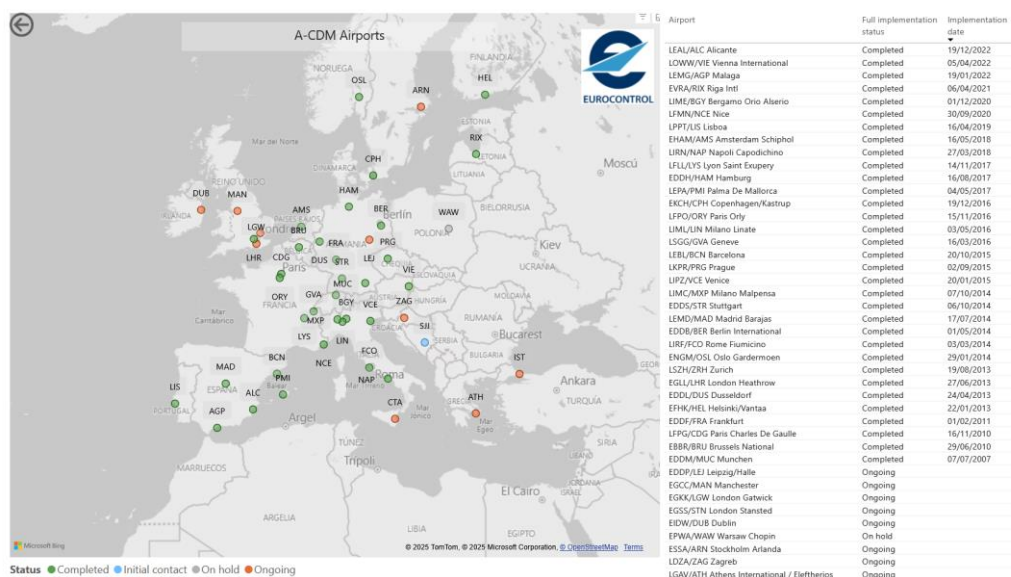


Figura 30: Mapa de aeropuertos donde se tiene operativo el Airport Collaborative Decision Making

[44]

Continuando con posiciones de contacto, las 8 puertas previamente habladas se deben poder vincular a las posiciones de espera con pasarelas telescópicas, si bien son más caras que tener posiciones alejadas de la terminal y trasladar a los pasajeros en autobuses lanzaderas, estas plataformas optimizan el tiempo de *turnaround* a 35 minutos, frente a los 60 que se manejan para posiciones remotas. A pesar de ello, posibles posiciones remotas deben estar disponibles (con menor precio esos slots) para las aerolíneas que así lo deseen. Se ve a continuación un detalle del porqué de estos valores

Contando con la estimación de pasajeros anuales de 11 millones, se puede definir el hipotético caso de trabajar con 85.000 operaciones anuales; asumiendo eso sí un factor de ocupación promedio de aproximadamente 130 pasajeros por operación. Este valor es consistente con aeronaves de fuselaje estrecho como el Airbus A320 y el Boeing 737, que tienen capacidades típicas en ese rango, lo que hace viable además la coexistencia con vuelos de menor capacidad o incluso aviación ejecutiva, teniendo en cuenta que las aerolíneas de bajo coste tienden a tener factores de ocupación muy elevados en sus vuelos.

Esto significa tener alrededor de 230 operaciones diarias, es una operativa intensa pero concorde a lo planificado con las calles de rodaje y tamaño de la terminal, como visto previamente.

Continuando ahora con el cálculo de posiciones según la IATA, se trabajará con dos tiempos distintos de operación:

- Comercial (A320, B737): 50 minutos

- Ejecutiva (Cessna Citation X): 30 minutos

Y asumiendo que el 95% de las operaciones son comerciales, es decir, alrededor de 219 al día y las restantes ejecutivas (12 operaciones al día), se puede trabajar con la fórmula estándar de la IATA para estimar posiciones de estacionamiento

$$N = \frac{R \times T}{1.440} \times C_{seguridad}$$

Con R siendo las operaciones diarias, T el tiempo medio de ocupación (en minutos) y $C_{seguridad}$ un factor de redundancia en torno al 1,3 para absorber picos

- a) Aeronaves comerciales

$$N = \frac{219 \cdot 50}{1.440} \cdot 1,3 \approx 9,88 \approx 10 \text{ posiciones}$$

- b) Aviación ejecutiva

$$N = \frac{12 \cdot 30}{1.440} \cdot 1,3 \approx 0,33 \approx 1 \text{ posición}$$

Por lo tanto, un total teórico de posiciones iniciales podría ser de 11 posiciones, pero con pequeñas modificaciones para tener una mayor optimización

- 12 posiciones comerciales
- 2 posiciones ejecutivas + emergencias

Sumando así un total de 14 posiciones, donde el diseño además deberá ser siguiendo la refulación según la OACI.

- Para aeronaves comerciales: 40x40 metros
- Para aeronaves ejecutivas: 30x30 metros

Con una separación de 75 metros como mínimo entre ellas, según el Anexo 14, §3.10.8 de la OACI.

3.3.2.4. Torre de control

La torre de control es el núcleo operativo desde donde se gestionan todas las actividades de tránsito aéreo en el aeropuerto. Su diseño debe garantizar una visión panorámica completa de la pista, las calles de rodaje y la plataforma de estacionamiento, y suponiendo que se tiene un tráfico de 85.000 operaciones anuales totales (comerciales, privadas y de mercancía).

La altura de la torre de control se determina en función de la necesidad de visibilidad sobre todas las áreas operativas del aeropuerto. Para Casarrubios, se recomendaría una altura de 30-40 metros, suficiente para superar obstáculos y proporcionar una visión clara de la pista de 3.200 metros y las calles de rodaje adyacentes. La estructura debe incluir una cabina de

control acristalada con vidrios anti-reflectantes y tratamiento térmico para garantizar condiciones óptimas de trabajo en todas las condiciones climáticas. Dentro de la misma, se instalarán sistemas avanzados de gestión de tránsito aéreo, como el Sistema de Gestión de Vuelos (ATOMS/FDG), que integra datos de radar, información meteorológica en tiempo real y herramientas de planificación de slots.

El personal de la torre de control es otro punto muy importante a tener en cuenta. Éste estará compuesto por controladores aéreos (ATCO) certificados bajo los estándares de la EASA (Parte-ATCO). Para un aeropuerto con 230 operaciones diarias, se estima necesario un equipo de 4-6 controladores por turno, dependiendo de la densidad operativa y la distribución de los flujos de tráfico. Además, se requerirá personal técnico especializado en el mantenimiento de los sistemas de navegación y comunicaciones, garantizando la disponibilidad y fiabilidad de los equipos en todo momento.

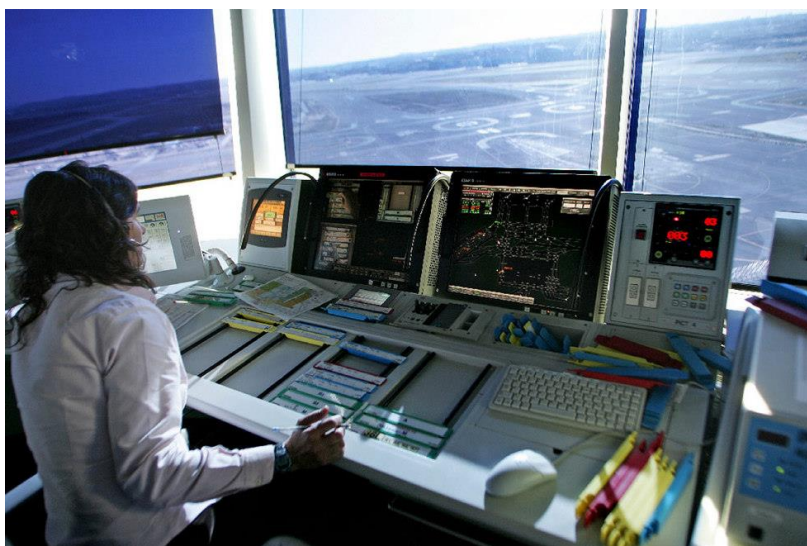


Figura 31: Personal de la torre de control desempeñando su función

Esta torre de control debe estar plenamente integrada en la red de navegación aérea española, coordinándose con el Centro de Control de Área (ACC) de Madrid para gestionar el tránsito en rutas y espacio aéreo. Para más inri, debe tener una gran coordinación con el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas debido a su cercanía y alto volumen de tráfico que maneja, lo que exige una coordinación precisa para evitar conflictos de tráfico y optimizar el uso del espacio aéreo.

Los servicios de navegación aérea extras permiten añadir ayudas a la navegación que son esenciales en cualquier aeropuerto que quiera competir en un mercado tan complicado como este. Sistemas importantes son:

- ▶ ILS (Instrument Landing System): El sistema ILS es fundamental para las aproximaciones de precisión. Para Casarrubios, se recomienda un sistema CAT I, que permite operaciones con una visibilidad mínima de 550 metros y un techo de nubes de 60 metros. Este sistema incluye un localizador (LOC) que guía a las aeronaves en el eje de la pista y una senda de planeo (GS) que indica la trayectoria de descenso óptima.
- ▶ VOR/DME: La estación VOR (VHF Omnidirectional Range) proporciona información de navegación en ruta, con un alcance de aproximadamente 200 millas náuticas. El equipo DME (Distance Measuring Equipment) complementa esta información midiendo la distancia exacta entre la aeronave y la estación.
- ▶ Procedimientos RNAV/GNSS: Para aumentar la flexibilidad operativa, se implementarán procedimientos de navegación basados en GPS, como el RNP 0.3, que permiten aproximaciones precisas incluso en aeropuertos sin ayudas terrestres.

Aparte de ello, los sistemas de comunicación también deben ser precisos, modernos y adaptados a los estándares españoles y europeos. Se propone la utilización de sistemas de radio VHF (Very High Frequency) en las frecuencias de 118-137 MHz, dedicados a la comunicación entre la torre de control y las aeronaves. Un canal de emergencia en 121.5 MHz y un sistema de respaldo HF para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallo del sistema principal serán también propuestos para su puesta en marcha en este aeropuerto. También se implementará el sistema CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications), que permite el intercambio de mensajes de texto entre pilotos y controladores, reduciendo la carga de trabajo en las comunicaciones por voz; y que ha demostrado ha demostrado disminuir la ocupación de los canales de voz en un 75% durante operaciones en espacios aéreos congestionados, mejorando la eficiencia y la seguridad de las comunicaciones en simulacimenes realizadas en el Centro Técnico William J. Hughes de la FAA.[45]



Figura 32: Imagen del Controller-Pilot Data Link Communications

Una estación AWOS (Automated Weather Observing System) será muy necesaria a la hora de monitorizar los cambios meteorológicos de la zona, generando informes METAR/SPECI cada 30 minutos con datos precisos sobre visibilidad (RVR), viento, temperatura y presión. Estos datos no solo se utilizarían para la navegación, sino también para activar protocolos ante condiciones adversas, como tormentas o niebla.

Otro punto para tratar será la vigilancia del espacio aéreo y terrestre, además de sistemas de seguridad.

- ▶ Radar primario/secundario (PSR/SSR): El radar primario detecta aeronaves incluso sin transpondedor, mientras el secundario (SSR Mode S) identifica cada aeronave mediante códigos únicos de la OACI.
- ▶ ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast): Obligatorio en Europa desde 2020, este sistema transmite posición, altitud y velocidad de las aeronaves en tiempo real, mejorando la precisión del seguimiento.

En tierra, el aeropuerto contará con un servicio de bomberos de Categoría 9 (OACI), equipado con cuatro vehículos de intervención rápida y protocolos coordinados con Protección Civil y el Hospital General de Toledo. Este servicio está diseñado para responder en menos de 3 minutos a cualquier emergencia en pista, con capacidad para manejar incidentes en aeronaves de hasta 80 metros de longitud.

Para dimensionar adecuadamente las necesidades de Casarrubios, es útil compararlo con aeropuertos de tráfico similar:

- ▶ Aeropuerto de Valencia: Con aproximadamente 225 operaciones diarias[46], cuenta con una torre de 45 metros, ILS CAT II y un sistema VOR/DME.
- ▶ Aeropuerto de Alicante-Elche: Con 318 operaciones diarias[47], opera con ILS CAT I y una red de comunicaciones VHF/ADS-B.
- ▶ Aeropuerto de Casarrubios: Con 230 operaciones diarias, su diseño con ILS CAT I, torre de 35 metros y sistemas RNAV/GNSS lo posiciona como un nodo eficiente, adaptado a su categoría inicial y escalable, pero preparado para crecer hacia categorías superiores (ILS CAT II/III) si la demanda lo exige.

Los costes estimados de esta construcción podrían llegar a los 50 millones de euros:

Componente	Coste Estimado (millones €)	Normativa de Referencia
Torre de Control	15-20	OACI Annex 14, EASA Part-ATS
Sistemas ILS/VOR/DME	8-12	OACI Annex 10, Reglamento UE 73/2010
Radar y Comunicaciones	10-15	EUROCONTROL SPEC-145

Servicios Meteorológicos	2-3	OACI Doc 9377
Total	35-50	

Tabla 8: Costes estimados en la construcción de la torre de control y subsistemas

Por tanto, y cerrando este apartado, se puede llegar al punto de que el diseño, si bien estimado para un aeropuerto con un rápido crecimiento, no solo cumple con los estándares de la OACI y EASA sino que también se integra perfectamente en el contexto del espacio aéreo cercano a Barajas.



Figura 33: Render de la propuesta del Aeropuerto de Casarrubios presentado por Air City Madrid Sur

3.4. Zonas de mantenimiento (MRO)

La incorporación de un centro de Mantenimiento, Reparación y Operaciones (MRO) en el Aeropuerto de Casarrubios representa una oportunidad estratégica para diversificar sus fuentes de ingresos y fortalecer su viabilidad operativa. La infraestructura MRO permitiría ofrecer servicios de mantenimiento tanto a aerolíneas comerciales como a operadores de aviación general y ejecutiva, consolidando al aeropuerto de Casarrubios como un centro multimodal, que no se encarga solamente de absorber el excedente de Madrid, sino que además ofrece ventajas a sus usuarios.

3.4.1. Justificación y Viabilidad del MRO en Casarrubios

El mantenimiento de aeronaves es una actividad esencial en la industria de la aviación y se divide en diferentes niveles:

- ▶ **Mantenimiento de Línea (Line Maintenance):** Incluye inspecciones diarias y semanales realizadas en aeropuertos donde las aeronaves operan regularmente.
- ▶ **Mantenimiento de Base (Heavy Maintenance):** Comprende revisiones mayores, como los C-checks y D-checks, que requieren instalaciones especializadas y una infraestructura más desarrollada.

El mercado global de MRO de aeronaves ha mostrado un crecimiento constante, impulsado por el aumento del tráfico aéreo y la necesidad de mantener la seguridad y eficiencia de las flotas. Según The Insight Partners, se espera que el mercado de MRO de aeronaves continúe expandiéndose en los próximos años. [48]

Dado el enfoque inicial del Aeropuerto de Casarrubios en aerolíneas de bajo coste y regionales, la implementación de un MRO orientado al mantenimiento de línea y revisiones intermedias sería la opción para barajar. Aerolíneas como Ryanair, Vueling o EasyJet, que buscan reducir costes, podrían beneficiarse de un servicio de mantenimiento eficiente y económicamente competitivo en comparación con Madrid-Barajas, con este *statement* no se intenta decir que el mantenimiento realizado en Barajas carezca de calidad o sea poco eficiente, pero sí se buscaría un enfoque que a nivel calidad precio sea más atractivo para dichas aerolíneas.

3.4.2. Desarrollo y Planificación de Infraestructura MRO

Para establecer un centro MRO eficiente, se requiere una planificación basada en la demanda estimada y en la capacidad del aeropuerto para gestionar operaciones de mantenimiento sin interferir en su operativa diaria.

1. Ubicación y Diseño de Instalaciones

El área MRO debería situarse en una zona que facilite el acceso terrestre y asegure una conexión eficiente con la plataforma de estacionamiento. El diseño debe incluir:

- ▶ **Hangares de mantenimiento:** Inicialmente, al menos dos hangares con capacidad para alojar aviones de fuselaje estrecho (A320, B737) y una zona de mantenimiento para aviones regionales (CRJ-1000, Embraer E195).
- ▶ **Talleres de componentes:** Instalaciones especializadas para reparaciones de sistemas hidráulicos, eléctricos y mecánicos.
- ▶ **Almacenes logísticos:** Espacios para almacenamiento de repuestos y materiales, reduciendo los tiempos de espera en mantenimiento.

- Área de inspección en plataforma: Zona dedicada al mantenimiento en línea con acceso directo a posiciones de estacionamiento de aeronaves.

2. Equipamiento y Recursos Humanos

La dotación de equipamiento incluirá herramientas de diagnóstico, grúas de asistencia y bancos de prueba para sistemas de aeronaves. En cuanto al personal, se requerirá un equipo de ingenieros y técnicos certificados bajo la normativa EASA Part-145, con especialización en las aeronaves más comunes en operaciones de bajo coste y regionales.

3.4.3. Modelos de Referencia: Casos de Éxito y Fracasos

La implementación de centros de Mantenimiento, Reparación y Operaciones (MRO) en aeropuertos ha sido una estrategia adoptada por diversas instalaciones aeroportuarias para diversificar ingresos y potenciar su competitividad. Sin embargo, el éxito de estos centros no es uniforme y depende de múltiples factores, desde la planificación estratégica hasta la demanda real de servicios. A continuación, se analizan casos representativos de éxito y fracaso en la implementación de centros MRO, con el objetivo de extraer lecciones aplicables al Aeropuerto de Casarrubios.

► Casos de Éxito

El aeropuerto de Teruel fue inaugurado en 2013 y se ha consolidado como un referente en el sector MRO. La empresa Tarmac Aerosave ha invertido significativamente en sus instalaciones, destacando la construcción de un hangar con capacidad para albergar aeronaves de gran tamaño, como el Airbus A380. Esta inversión ha permitido a la compañía reforzar su actividad de mantenimiento aeronáutico, incluyendo revisiones, modificaciones y cambios de componentes de aviones. Actualmente, la empresa emplea a 400 personas en Teruel, consolidándose como líder europeo en estacionamiento, mantenimiento y reciclaje de aviones comerciales. [49]

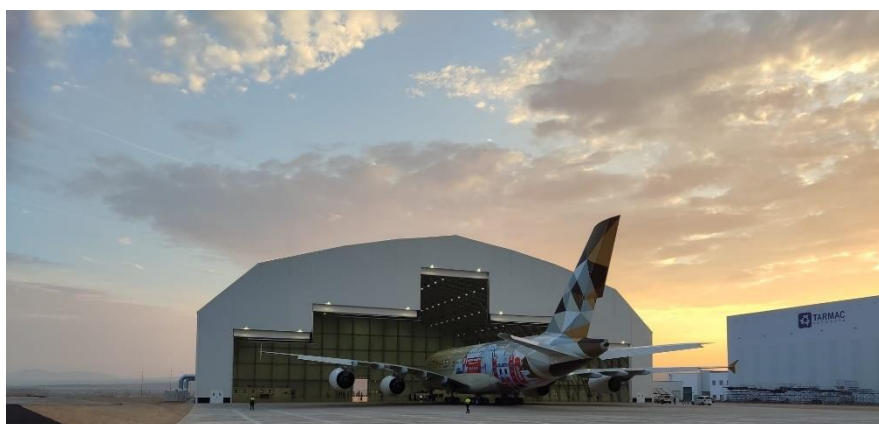


Figura 34: Hangar de mantenimiento del aeropuerto de Teruel recibiendo un A380

Otro ejemplo fuera de las fronteras españolas es el caso del Aeropuerto Internacional de El Salvador. Este aeropuerto alberga a Aeroman, una de las estaciones de reparación de aviones comerciales más importantes de la región. Esta compañía ha logrado atraer a clientes de todo el continente, incluyendo aerolíneas estadounidenses, evidenciando altos estándares de calidad y eficiencia en sus servicios MRO, y su éxito se atribuye, sobre todo, a una combinación de mano de obra calificada, trabajo a unos precios competitivos y una ubicación estratégica en Hispanoamérica.

► Casos de Fracaso

No todo son luces, existen casos de aeropuertos que, tras una gran inversión inicial e intentar transformarse a puntos de mantenimiento, no han sido capaces de ello; un ejemplo dentro de nuestras fronteras es el aeropuerto de Huesca-Pirineos. Inaugurado en 2007 con una inversión de 66 millones de euros, este aeropuerto ha enfrentado múltiples intentos fallidos de revitalización, incluyendo la atracción de esquiadores y la instalación de una escuela de pilotos. A pesar de diversas propuestas, ninguna ha tenido éxito, y el aeropuerto continúa infrautilizado. Recientemente, se ha propuesto convertirlo en un centro de formación y entrenamiento en operaciones de emergencias, aunque existen dudas sobre su viabilidad debido al elevado coste anual de mantenimiento y la falta de competencias del Gobierno de Aragón en esta área.[50]



Figura 35: Terminal de pasajeros del aeropuerto de Huesca-Pirineos

El análisis de casos exitosos y fallidos en la implementación de centros de Mantenimiento, Reparación y Operaciones (MRO) revela factores determinantes que influyen en su desempeño, y de la cual pueden sacarse lecciones de las cuales aprender.

Uno de los aspectos fundamentales es la existencia de una demanda sólida y sostenible de servicios MRO. Aeropuertos como el de Teruel sí han sabido capitalizar la necesidad de servicios especializados en mantenimiento aeronáutico, atrayendo a clientes internacionales y consolidándose como referentes en el sector. En contraste, instalaciones como el Aeropuerto de Huesca-Pirineos no lograron captar suficiente demanda, lo que llevó a la infrautilización de sus infraestructuras y a cuestionamientos sobre su viabilidad económica. Además, la inversión en infraestructura especializada es otro factor crucial. Contar con instalaciones adecuadas para el mantenimiento de diversos tipos de aeronaves es esencial para ofrecer servicios de calidad y atraer a una clientela variada. De ahí el éxito de Tarmac Aerosave para poder albergar aviones de gran tamaño, como el Airbus A380, que le ha permitido posicionarse como líder en el sector MRO.

La disponibilidad de mano de obra calificada es igualmente esencial. Contar con personal técnico certificado, como se ha dicho previamente, y experimentado garantiza la calidad de los servicios MRO. La formación continua y la colaboración con instituciones educativas pueden suplir la falta de personal cualificado en regiones específicas, asegurando la competitividad y eficiencia del centro de mantenimiento. [51]

Otro punto a tener en cuenta es la ubicación estratégica del centro MRO, que influye significativamente en su éxito. La proximidad a rutas aéreas principales y a centros de operaciones de aerolíneas facilita la captación de clientes y optimiza la logística de mantenimiento. Se puede decir por tanto que aeropuertos situados en ubicaciones estratégicas tienen mayores posibilidades de éxito en la implementación de centros MRO, al ofrecer ventajas competitivas en términos de accesibilidad y costos operativos.

Por último, la diversificación de servicios ofrecidos por el centro MRO puede aumentar su rentabilidad y atractivo. Ofrecer una amplia gama de servicios, desde mantenimiento ligero hasta revisiones mayores, permite atraer a diferentes tipos de clientes y adaptarse a las fluctuaciones del mercado, asegurando una fuente de ingresos más estable y diversificada.

3.4.4. Factores Clave para el Éxito del MRO en Casarrubios

Si se quiere tener éxito con un centro de Mantenimiento, Reparación y Operaciones que fuera a montarse en el Aeropuerto de Casarrubios; ello dependerá de una combinación de factores estratégicos que, integrados de manera efectiva, pueden posicionar al aeropuerto como un referente en servicios de mantenimiento aeronáutico. A continuación, se detallan estos factores:

3.4.4.1. Colaboración con Aerolíneas de Bajo Coste y Regionales

Establecer alianzas estratégicas con aerolíneas de bajo coste y regionales es fundamental para garantizar un flujo constante de clientes que requieran servicios de mantenimiento. Aerolíneas previamente analizadas como Ryanair, Vueling o Binter buscan constantemente optimizar sus operaciones y reducir costes, lo que las hace propensas a colaborar con centros MRO que ofrezcan servicios eficientes y económicos. La proximidad geográfica de Casarrubios a las bases operativas de estas aerolíneas en España podría facilitar acuerdos de colaboración.

3.4.4.2. Competitividad en costes

Ofrecer tarifas competitivas es esencial para atraer operadores que buscan reducir sus gastos operativos. La implementación de prácticas efectivas de MRO puede lograr reducciones sustanciales de costos a largo plazo. Tener un mantenimiento predictivo es crucial en la detección temprana de problemas, evitando que preocupaciones menores se conviertan en problemas mayores y, por lo tanto, minimizando la necesidad de reparaciones o reemplazos extensos.[52] Además, la adopción de tecnologías avanzadas y la optimización de procesos pueden contribuir a la eficiencia y reducción de costes, lo que resulta atractivo para las aerolíneas.

3.4.4.3. Flexibilidad Operativa

Poder tener la capacidad de adaptarse a las necesidades específicas de diferentes tipos de aeronaves y servicios de mantenimiento es un factor diferenciador en el mercado MRO. La flexibilidad operativa permite al centro MRO atender una amplia gama de clientes, desde operadores de aeronaves de fuselaje estrecho hasta aviones regionales y ejecutivos. Esta adaptabilidad no solo amplía la base de clientes potenciales, sino que también mejora la capacidad de respuesta del centro ante las cambiantes demandas del mercado. La implementación de soluciones digitales en las operaciones de mantenimiento puede mejorar la eficiencia y la capacidad de adaptación a las necesidades específicas de las aerolíneas. [53]

Sabiendo que el mercado principal del Aeropuerto de Casarrubios serían las aeronaves de fuselaje estrecho como el A320 y el B737; y aeronaves ejecutivas como la Cessna Citation X, los centros de mantenimiento probables deberían enfocar su mercado a estas tareas de mantenimiento, buscando la certificación y la especialización en ellas.

3.4.4.4. Inversión progresiva y escalonada, al igual que equipamiento

Adoptar una estrategia de inversión progresiva permite al centro MRO crecer de manera sostenible, alineando la expansión de servicios con la demanda real del mercado. Inicialmente, se pueden ofrecer servicios de mantenimiento en línea, que requieren una menor inversión en infraestructura y personal. A medida que la demanda aumente y se establezcan relaciones

sólidas con las aerolíneas, el centro puede expandirse para ofrecer revisiones mayores y servicios especializados. Este enfoque escalonado minimiza riesgos financieros y permite una adaptación gradual a las necesidades del mercado. Según un informe de The Insight Partners, el mercado de MRO de aeronaves se ha convertido en un negocio viable en la industria de la aviación, ya que los fabricantes de equipos originales (OEM) se centran principalmente en el desarrollo de aeronaves, lo que abre oportunidades para los proveedores de servicios MRO. [53]

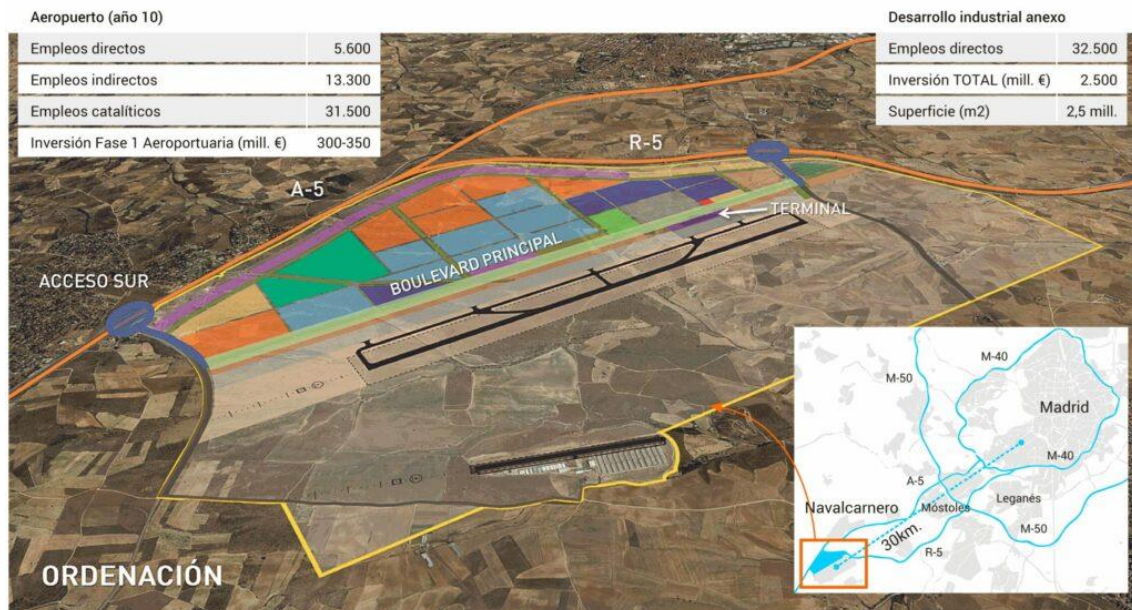
La inversión en infraestructura especializada y equipamiento de alta tecnología es esencial para ofrecer servicios de mantenimiento de calidad. Contar con hangares adecuados, herramientas de diagnóstico avanzadas y sistemas de gestión eficientes permite al centro MRO operar de manera competitiva. Además, la implementación de tecnologías digitales en las operaciones de mantenimiento puede mejorar la eficiencia y la capacidad de adaptación a las necesidades específicas de las aerolíneas. [52]

3.4.4.5. Cumplimiento Normativo y Certificaciones

El cumplimiento de las regulaciones internacionales y la obtención de certificaciones reconocidas son fundamentales para ganar la confianza de las aerolíneas y garantizar la seguridad en las operaciones de mantenimiento. Adherirse a los estándares establecidos por organismos como la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) o la Administración Federal de Aviación (FAA) es imprescindible para operar en el mercado MRO. La implementación de prácticas efectivas de MRO es clave para lograr reducciones sustanciales de costos a largo plazo y mejorar la fiabilidad de las operaciones.

Por tanto, y como opinión tras el estudio de este punto, para el Aeropuerto de Casarrubios, la implementación de un centro MRO debe basarse en un análisis detallado de estos factores, evaluando la demanda potencial de servicios de mantenimiento en la región de Madrid, invertir en infraestructuras adecuadas, formar y certificar al personal técnico, y establecer alianzas estratégicas con aerolíneas y otros actores del sector. Solo a través de una planificación integral y adaptada a las necesidades del mercado se podrá garantizar el éxito y la sostenibilidad de un centro MRO en Casarrubios sin caer en errores como los ocurridos en Huesca.

El proyecto del Aeropuerto Madrid Sur



4. Posibles problemas. Ecología y ruidos

La propuesta de convertir el aeródromo de Casarrubios del Monte en un aeropuerto comercial con una estimación de tráfico de 11 millones de pasajeros presenta diversas preocupaciones en torno al impacto ambiental, la contaminación acústica y la viabilidad económica del proyecto. A continuación, se analizan a continuación estos aspectos de manera detallada.

4.1. Impacto ambiental y conflictos ecológicos

La construcción, puesta en marcha y operación de aeropuertos suelen generar alteraciones irreversibles en los ecosistemas. Un estudio de la organización "Stay Grounded", en colaboración con el "Environmental Justice Atlas", identificó más de 350 proyectos de expansión aeroportuaria en todo el mundo, muchos de los cuales han generado conflictos debido a la adquisición de tierras, desplazamiento de comunidades, destrucción de ecosistemas y problemas de salud pública. [54]

En el caso expresado en este estudio, se exponen los posibles riesgos que el crecimiento del aeropuerto puede causar en la zona:

- ▶ Fragmentación de hábitats naturales: El aeropuerto se ubicaría en una zona de interfaz entre el corredor ecológico de los Montes de Toledo y la cuenca del Tajo, crucial para especies como el lince ibérico (*Lynx pardinus*) y el águila imperial (*Aquila adalberti*), ambas protegidas bajo la Directiva de Hábitats de la UE (92/43/CEE). Un estudio del CSIC estima que proyectos similares en España han reducido la conectividad ecológica en un 22%, aumentando el riesgo de extinción local (García-Fernández et al., 2019).
- ▶ Contaminación de acuíferos: Las operaciones aeroportuarias generan residuos de combustibles, lubricantes y productos químicos anticongelantes. En el Aeropuerto de Schiphol (Países Bajos), se detectaron concentraciones de hidrocarburos en aguas subterráneas 50 veces superiores a los límites legales, según un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente en el 2022. En el Aeropuerto de Frankfurt se registraron concentraciones de PM_{2.5} un 40% superiores a los estándares de la OMS en un radio de 5 km

4.2. Contaminación acústica: efectos en salud pública y fauna

El ruido aeronáutico es un contaminante subestimado con efectos graves para la salud humana y la vida silvestre. La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica el ruido crónico como el segundo factor de estrés ambiental más dañino en Europa, tras la contaminación atmosférica.[55]

La contaminación acústica también es causante de otros impactos igualmente graves como por ejemplo en las comunidades locales

- ▶ Niveles de ruido y salud humana: La exposición prolongada a niveles elevados de ruido puede causar diversos problemas de salud, incluyendo trastornos del sueño, aumento de la presión arterial y enfermedades cardiovasculares. Según datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente, la exposición prolongada al ruido ambiental causa 12.000 muertes prematuras y contribuye a 48.000 nuevos casos de cardiopatía isquémica al año en Europa. [56]
- ▶ Experiencias en otros aeropuertos: En el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, se han reportado molestias significativas entre los residentes de áreas afectadas por el ruido de las aeronaves. Por ejemplo, en San Sebastián de los Reyes, cambios en las rutas de vuelo han incrementado el número de afectados por ruido de 3.000 a 90.000 personas, lo que ha generado preocupaciones sobre la salud y la calidad de vida de los habitantes. [57]

También existen estudios y reportes que han descubierto cómo estas mega construcciones alteran los comportamientos de la fauna colindante.

- ▶ Efectos en aves: La contaminación acústica puede afectar negativamente a la fauna, especialmente a las aves. Se ha observado que el ruido de los aeropuertos puede alterar los patrones de canto de las aves, obligándolas a modificar sus horarios de actividad, lo que podría aumentar los costos energéticos y afectar su reproducción. Además, el ruido del tráfico puede acelerar el envejecimiento de las aves urbanas al disminuir la longitud de sus telómeros, afectando su salud y longevidad[58]. En la región de Casarrubios, especies como la grulla común (*Grus grus*) utilizan humedales cercanos como áreas de descanso migratorio. La alteración de estos hábitats debido al ruido y al desarrollo aeroportuario podría afectar sus patrones migratorios y su supervivencia en la zona.

5. Viabilidad económica. Riesgos de sobreestimación

La viabilidad económica de un aeropuerto de gran escala, como el propuesto en Casarrubios del Monte, depende de un equilibrio delicado entre inversión inicial, demanda real y competitividad en un mercado saturado. España, con 52 aeropuertos gestionados por AENA, alcanzó en 2024 un récord de 309,3 millones de pasajeros, un incremento del 9,2% respecto al año anterior. Sin embargo, este crecimiento no es uniforme; algunos aeropuertos regionales operan por debajo de su capacidad, lo que plantea interrogantes críticos sobre la necesidad de una nueva infraestructura en las proximidades de Madrid-Barajas, un hub que ya concentra una parte significativa del tráfico aéreo nacional.

5.1. Proyecciones de demanda y precedentes en España

Asumir que el aeropuerto de Casarrubios puede tener un tráfico aéreo de 11 millones de pasajeros anuales es una estimación, pero no por ello va a cumplirse.

Existen el caso del Aeropuerto Internacional de la Región de Murcia, que fue diseñado en un principio para absorber 4 millones de pasajeros, y que en el 2023 sólo contó con 877.000 usuarios, un 23% de lo planeado.[59]

Este optimismo sin una base sólida también se ha visto en el Aeropuerto de Casetllón, donde, tras ser inaugurado en el 2011 rtas una inversión de 150 millones de euros y unas proyecciones más conservadoras de 500.000 pasajeros, en 2022 cerró con tan solo 15.000 usuarios, un 3% de los pasajeros previstos.

Si bien es cierto que ninguno de esos proyectos se realizó bajo el mismo contexto, siendo Murcia y Castellón dos ciudades muy bonitas pero sin el atractivo de ser la capital de España; tampoco se plantearon como aeropuertos que pudieran asumir una descarga de pasajeros realista del aeropuerto de Barajas, pero sí dan una idea de que las previsiones de crecimiento son caprichosas, y no responden únicamente a teorías realizadas en papel.

5.2. Competencia con Madrid-Barajas. Obstáculo insalvable

Si bien es cierto que este aeropuerto se construye como ayuda al gigante de Barajas, un estudio de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) revela que el 70% de los aeropuertos secundarios construidos en un radio de 100 km alrededor de un hub principal fracasan en atraer tráfico relevante, quedando relegados a operaciones marginales o estacionales. Este fenómeno, conocido como efecto de canibalización, se observó en el Aeropuerto de Ciudad Real, que, a 200 km de Madrid, no logró captar aerolíneas low-cost pese a su enfoque inicial en este segmento. La lección es clara, y el planteamiento que se tiene

pensado también, no se va a competir con Madrid, se le va a ayudar, pero el riesgo existe y es muy real.

5.3. Costes ocultos y problemas financieros. Berlín-Brandemburgo como ejemplo

La construcción de un aeropuerto moderno implica costes que trascienden la mera infraestructura física. En el caso de Casarrubios, la edificación de una pista de 3.200 metros, sistemas de aterrizaje por instrumentos (ILS CAT I) y una terminal con tecnología de última generación exige inversiones en partidas frecuentemente subestimadas:

Se ha habado previamente de la mitigación ambiental; la restauración de hábitats afectados y la instalación de barreras acústicas podrían añadir €50-80 millones al presupuesto, según un informe del Ministerio para la Transición Ecológica.[60] La tecnología necesaria para la navegación como sistemas ADS-B, radares secundarios (SSR) y software de gestión de tránsito aéreo (ATOMS) requieren €30-50 millones adicionales.

A todo ello hay que sumarle la inflación y encarecimiento de materiales. Según Proalt Ingeniería, se prevé un aumento del 12% al 21% en los precios de materiales, con incrementos notables en el petróleo (hasta un 31%) y los metales (hasta un 18%); lo que, en un escenario de plazo de construcción de 5 años, podría elevar los costes un 25%.[61]

El Aeropuerto de Berlín-Brandeburgo (BER) ejemplifica estos riesgos. Debería haber sido inaugurado en 2011 tras 5 años de construcción; pero finalmente acabó abriendo sus puertas en 2020 tras 14 años de retrasos, su presupuesto inicial de €2.000 millones se triplicó debido a fallos técnicos (ej. sistemas de incendios defectuosos), modificaciones de diseño y protestas ecologistas (Reuters, 2021) llegando a costar 7.000 millones de euros. Todo el aeropuerto se iba a construir de forma privada y luego se operaría. Se suponía que BER abriría en 2008. Sin embargo, este proyecto se suspendió por excesivos riesgos financieros y se decidió entregar la construcción del aeropuerto al sector público. El cambio de privado a público costó 41 millones de euros, y así fueron sumándose errores humanos que causaron de este uno de los mayores fracasos de la industria aeronáutica.[62]



Figura 36: Terminal del aeropuerto de Berlin-Brandeburgo completamente vacía

En un escenario de inflación y encarecimiento de materiales, Casarrubios podría enfrentar sobrecostos similares, comprometiendo su rentabilidad a largo plazo.

6. Conclusión

El análisis realizado a lo largo de este trabajo ha permitido comprender en profundidad la necesidad de una expansión aeroportuaria en la Comunidad de Madrid, así como el papel que podría desempeñar el aeropuerto de Casarrubios en la descongestión del tráfico aéreo de la región. Se ha demostrado que la saturación del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas es un problema real y creciente, con un tráfico que superó los 66 millones de pasajeros en 2024 y que se prevé que alcance los 90 millones en la próxima década[1]. Este escenario genera desafíos operativos significativos y plantea la necesidad de soluciones alternativas que garanticen la continuidad del crecimiento del tráfico aéreo en la capital española.

El aeropuerto de Casarrubios ha sido planteado como una opción viable para absorber parte de esta demanda. Sus ventajas incluyen una ubicación estratégica a 30 kilómetros de Madrid, una inversión proyectada de 148 millones de euros en su primera fase y la posibilidad de especializarse en tráfico de bajo coste y carga, descongestionando así el aeropuerto principal y permitiendo a Barajas concentrarse en su función de hub intercontinental[3]. Además, se ha resaltado su potencial impacto económico positivo en la zona, con la creación de más de 40.000 empleos directos e indirectos en la próxima década, o eso se tiene previsto en la actualidad.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas teóricas, la viabilidad real del aeropuerto de Casarrubios enfrenta numerosos obstáculos que hacen improbable su desarrollo a corto o medio plazo. En primer lugar, la política aeroportuaria española sigue apostando por la expansión de Barajas en lugar de la diversificación de infraestructuras. La reciente inversión de 2.400 millones de euros destinada a aumentar la capacidad de Barajas hasta 90 millones de pasajeros confirma esta tendencia y refuerza la idea de que las autoridades prefieren optimizar la infraestructura existente en lugar de desarrollar un nuevo aeropuerto[8].

Otro factor clave es la incertidumbre sobre la demanda real del aeropuerto. Aunque el caso de ciudades como Londres o París demuestra que los aeropuertos secundarios pueden ser viables, la experiencia española muestra que muchos proyectos han fracasado debido a sobreestimaciones de la demanda. Ejemplos como el Aeropuerto de Ciudad Real, diseñado como una alternativa al tráfico de Barajas y que terminó en quiebra, o el Aeropuerto de Murcia-Corvera, que opera muy por debajo de su capacidad prevista, evidencian los riesgos de invertir en un nuevo aeropuerto sin garantías de ocupación suficiente [59]; o como el caso de Huesca que tras fracasar como aeropuerto destinado a tráfico aéreo, también fracasó a la hora de reinventarse como aeropuerto enfocado a MRO. En este sentido, aunque las previsiones iniciales de Casarrubios hablan de 11 millones de pasajeros anuales a largo plazo, la realidad es que atraer aerolíneas y pasajeros podría ser un desafío mayor del esperado.

La competencia con Barajas es un obstáculo adicional. Si bien Casarrubios no pretende competir directamente con el hub principal de Madrid, la atracción de aerolíneas de bajo coste y regionales requiere que sus tasas y costes operativos sean significativamente inferiores a los de Barajas. Sin embargo, la experiencia de otros aeropuertos europeos indica que las aerolíneas low-cost suelen ser reticentes a operar en aeropuertos secundarios cuando el aeropuerto principal sigue ofreciendo suficiente capacidad y condiciones competitivas.

Desde el punto de vista medioambiental y regulador, el desarrollo del aeropuerto también presenta desafíos. Tanto la normativa europea como la española exige estudios de impacto ambiental rigurosos para proyectos de esta magnitud, y Casarrubios se encuentra en una zona que podría verse afectada por restricciones ecológicas. La fragmentación de hábitats naturales y la contaminación acústica son factores que podrían ralentizar o incluso bloquear el proyecto, como ha ocurrido con otras infraestructuras aeroportuarias en Europa[54], [55]. Además, la oposición de comunidades locales y organizaciones ecologistas podría generar una fuerte resistencia social, como ha sucedido en otras ampliaciones aeroportuarias en España y otros países europeos [53].

En términos financieros, el riesgo de sobrecostes es otra barrera significativa. El caso del aeropuerto de Berlín-Brandeburgo (BER), que triplicó su presupuesto original y sufrió más de una década de retrasos debido a fallos en la planificación y ejecución, es un recordatorio claro de los desafíos que conlleva la construcción de un aeropuerto desde cero [62]. En un contexto de inflación creciente en materiales de construcción y encarecimiento de los costes operativos, un proyecto como Casarrubios podría enfrentar serias dificultades para mantenerse dentro de los presupuestos estimados. [61]

Por último, es importante destacar que el proyecto lleva varios años en fase de planificación sin avances significativos en su ejecución. Desde su presentación inicial, el aeropuerto de Casarrubios ha sido objeto de múltiples anuncios y promesas de desarrollo, pero hasta la fecha no se ha concretado ninguna inversión definitiva ni se ha aprobado formalmente su construcción. La falta de avances reales en términos de permisos, financiación y acuerdos con aerolíneas refuerza la percepción de que el proyecto podría no materializarse en el futuro próximo [3].

6.1. Conclusión final

A pesar de que el aeropuerto de Casarrubios podría representar una solución teórica para aliviar la saturación de Barajas y mejorar la competitividad del sistema aeroportuario madrileño, la realidad muestra un panorama mucho más complejo. La apuesta por la expansión de Barajas por parte del gobierno central, la incertidumbre sobre la demanda real de Casarrubios, los precedentes de aeropuertos fallidos en todo el mundo, pero siendo varios los casos de España, la competencia directa con Barajas a pesar de ser un proyecto que su

función principal sería la de dar soporte al mismo, los desafíos medioambientales que las grandes obras de ingeniería siempre llevan consigo y la falta de avances concretos en el desarrollo del proyecto hacen que su viabilidad sea altamente cuestionable.

En este sentido, todo apunta a que la solución a la congestión de Barajas vendrá más bien de su propia ampliación y optimización, en lugar de la construcción de un nuevo aeropuerto en Casarrubios.

7. Anexo

7.1. Cálculos realizados triviales

$1.9 \times 10^9 USD \times 0.97 USD \times EUR = 1.767 \times 10^9 EUR$ cálculo realizado 1 feb 2025

PIB de Madrid respecto al español

- ▶ PIB de Madrid en 2023: 293.069 millones de euros [63]
- ▶ PIB de España en 2023: 1.498.324 millones de euros [64]

$$PIB(\%) = \frac{293.069}{1.498.324} \cdot 100 = 19,56 \%$$

*Nota: se ha hecho la estimación con el PIB del año 2023 ya que a fecha de 15 de febrero del 2025 no se conocen los datos del PIB de la Comunidad de Madrid del 2024

7.2. Datos de tráfico aéreo en el aeropuerto de MAD según AENA

Pasajeros en MAD		Operaciones en MAD		Mercancía en MAD		
Año	Total	Año	Total	Año	Total (ton)	Total (kg)
2004	38.718.614	2004	401.503	2004	341.177	341.176.527
2005	42.146.784	2005	415.704	2005	333.138	333.137.606
2006	45.799.983	2006	434.959	2006	325.702	325.701.766
2007	52.110.787	2007	483.292	2007	325.201	325.201.138
2008	50.846.494	2008	469.746	2008	329.187	329.186.631
2009	48.437.147	2009	435.187	2009	302.863	302.863.340
2010	49.866.113	2010	433.706	2010	373.911	373.911.121
2011	49.671.270	2011	429.390	2011	394.154	394.154.078
2012	45.190.528	2012	373.192	2012	361.020	361.019.790
2013	39.735.618	2013	333.056	2013	346.603	346.602.597
2014	41.833.686	2014	342.604	2014	366.994	366.993.799
2015	46.824.838	2015	366.608	2015	381.595	381.594.780
2016	50.418.909	2016	378.151	2016	416.332	416.332.233
2017	53.400.844	2017	387.568	2017	472.249	472.248.848
2018	57.890.057	2018	409.834	2018	520.046	520.045.729
2019	61.734.944	2019	426.375	2019	560.039	560.039.136
2020	17.112.246	2020	165.743	2020	402.575	402.575.121
2021	24.135.039	2021	217.539	2021	523.480	523.480.305
2022	50.633.759	2022	351.906	2022	566.395	566.395.050
2023	60.221.163	2023	389.180	2023	643.543	643.543.216
2024	66.126.468	2024	420.182	2024	766.818	766.818.000

7.3. Vuelos programados de los distintos aeropuertos para enero 2025

LAX Airport [65]		LHR Airport [66]		MAD Airport [67]	
DateTime	Scheduled flights	DateTime	Scheduled flights	DateTime	Scheduled flights
2-ene.	848,00	2-ene.	660,00	2-ene.	596,00
3-ene.	928,00	3-ene.	672,00	3-ene.	612,00
4-ene.	879,00	4-ene.	622,00	4-ene.	554,00
5-ene.	885,00	5-ene.	658,00	5-ene.	589,00
6-ene.	879,00	6-ene.	658,00	6-ene.	588,00
7-ene.	798,00	7-ene.	637,00	7-ene.	559,00
8-ene.	766,00	8-ene.	651,00	8-ene.	543,00
9-ene.	806,00	9-ene.	645,00	9-ene.	534,00
10-ene.	853,00	10-ene.	659,00	10-ene.	577,00
11-ene.	768,00	11-ene.	614,00	11-ene.	540,00
12-ene.	767,00	12-ene.	644,00	12-ene.	568,00
13-ene.	803,00	13-ene.	642,00	13-ene.	565,00
14-ene.	781,00	14-ene.	622,00	14-ene.	523,00
15-ene.	742,00	15-ene.	637,00	15-ene.	544,00
16-ene.	788,00	16-ene.	640,00	16-ene.	535,00
17-ene.	836,00	17-ene.	655,00	17-ene.	588,00
18-ene.	781,00	18-ene.	612,00	18-ene.	525,00
19-ene.	718,00	19-ene.	640,00	19-ene.	576,00
20-ene.	793,00	20-ene.	637,00	20-ene.	563,00
21-ene.	798,00	21-ene.	631,00	21-ene.	539,00
22-ene.	749,00	22-ene.	643,00	22-ene.	550,00
23-ene.	782,00	23-ene.	647,00	23-ene.	553,00
24-ene.	839,00	24-ene.	659,00	24-ene.	586,00
25-ene.	765,00	25-ene.	614,00	25-ene.	534,00
26-ene.	743,00	26-ene.	646,00	26-ene.	587,00
27-ene.	814,00	27-ene.	644,00	27-ene.	578,00
28-ene.	761,00	28-ene.	612,00	28-ene.	532,00
29-ene.	735,00	29-ene.	632,00	29-ene.	523,00
30-ene.	765,00	30-ene.	643,00	30-ene.	539,00
31-ene.	821,00	31-ene.	657,00	31-ene.	584,00

7.4. Carta de aproximación visual al aeródromo de Casarrubios



CARTA DE APROXIMACIÓN ELEV AD VISUAL / VAC

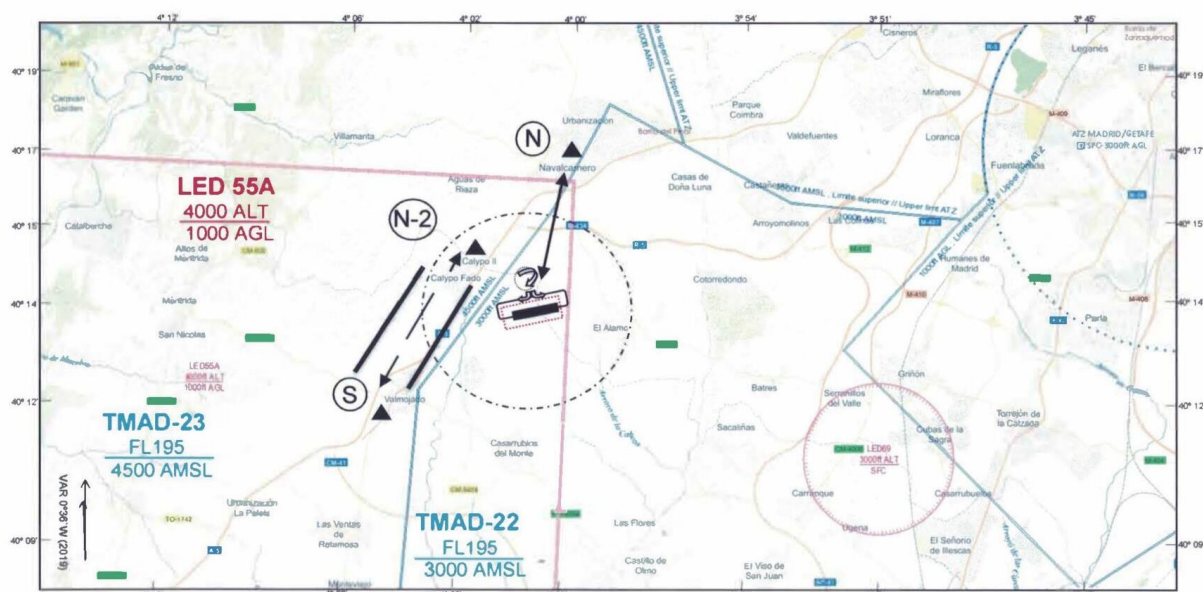
2050'

AD. CASARRUBIOS

LEMT

N 40° 14' 06" W 04° 01' 53"

TWR 123.500
VFR 131.975



LLEGADAS

Las aeronaves con destino al aeródromo de Casarrubios, establecerán contacto radio con TWR en 123.500 alcanzando los puntos N, y S, solicitando información de tráfico. Las llegadas por S continuarán pasillo visual hasta N-2 notificando en autoinformación. Altitud en circuito de tráfico 2800' AMSL. Atención: Extremar precaución con caja acrobática activa. Solicitar información alcanzando los puntos de notificación y cuidado con tráfico de autogiros al sur.

FALLO DE COMUNICACIONES

Las aeronaves con fallo de radio orbitarán al norte del aeródromo a 3000' AMSL para ser detectados en tierra y por las posibles aeronaves en circuito. Una vez detectados en tierra recibirán señales visuales para proceder al aterrizaje. En ausencia de señales o de personal en tierra procederán al aterrizaje por el procedimiento establecido con tráfico a la vista y cuando las condiciones lo permitan.

OBSERVACIONES

Se recomienda tener a la escucha la frecuencia de radio Aire-Aire del TMA de Madrid 131.975
Está prohibido los vuelos el vuelo sobre las poblaciones colindantes. Los puntos de notificación son los siguientes:
• November N40° 17' W4° 00' Navalcarnero (3.6 NM).
• Sierra N40° 11' W4° 06' Valmojado (3.8 NM).
• November 2 N40° 15' W4° 03' Calypo (2 NM).
Luces de pista disponible para helicópteros.
Servicio de cafetería y restaurante.
El aeródromo dispone de servicio de repostaje MOGAS 95, AVGAS y JET A1. Para más información contactar con el aeródromo.

ARRIVALS

VFR aircraft bound for Casarrubios AD will establish radio contact with TWR 123.500 at visual reporting points N and S, and will request traffic information. Arrivals from S will continue visual corridor to N-2 notifying in self information. Traffic circuit at 2800' AMSL. Notice: Extreme caution with active aerobatic box. Request information reaching reporting points and watch out for gyroplane traffic to the south.

COMUNICATIONS FAILURE

VFR Aircraft with communications failure and destination Casarrubios AD, will orbit North of the runway at at 3000' AGL to be detected on ground and by the possible aircraft into the traffic. Once detected on ground they will receive visual signals to proceed to the landing. With no signals or personnel on the ground, the landing will be carried out by the procedure established with traffic at sight.

REMARKS

It is recommended to listen Air - Air Madrid TMA frequency at 131.975. It's forbidden to fly over nearby towns close to the aerodrome. In case there is no radio service, procedures will be carried out in self-information. The geographic coordinates of the reporting points are included: Reporting points:

- November N40° 17' W4° 00' Navalcarnero (3.6 NM).
- Sierra N40° 11' W4° 06' Valmojado (3.8 NM).
- November 2 N40° 15' W4° 03' Calypo (2 NM).

Helicopter RW lights available.

Bar and restaurant service.

MOGAS95, AVGAS and JET A1 is available, for further information contact Casarrubios AD.

7.5. Descripción del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI) en CAT 9

La Categoría 9 se aplica a aeropuertos que reciben aeronaves con una longitud de fuselaje entre 61 y 76 metros y una anchura máxima de fuselaje de hasta 7 metros. Ejemplos de tales aeronaves incluyen modelos como el Boeing 777 y el Airbus A340.

Requisitos de un servicio de bomberos de Categoría 9:

1. Agentes extintores:
 - ▶ Agua (para espuma): Se requiere una cantidad mínima de 24.300 litros de agua para la producción de espuma de tipo AFFF (espuma formadora de película acuosa).
 - ▶ Agentes complementarios: Además del agua, es necesario disponer de 225 kilogramos de agentes extintores complementarios, como polvo químico seco o dióxido de carbono (CO₂), para combatir incendios de líquidos inflamables.
2. Vehículos de intervención:
 - ▶ Número mínimo de vehículos: Se deben proporcionar al menos tres vehículos de extinción de incendios.
 - Primer vehículo: Equipado con el agente extintor principal (agua/espuma) y agentes complementarios.
 - Segundo y tercer vehículo: Equipados con el agente extintor principal.
3. Tiempo de respuesta:
 - ▶ El SSEI debe ser capaz de alcanzar cualquier punto de las pistas utilizables en un tiempo máximo de dos minutos, y cualquier otro punto de la zona de movimiento en no más de tres minutos, en condiciones óptimas de visibilidad y superficie.
4. Personal:
 - ▶ El servicio debe contar con personal debidamente entrenado y certificado, en número suficiente para operar los vehículos y equipos necesarios, así como para ejecutar las tareas de rescate y extinción de incendios de manera eficaz. [68]

Bibliografía

- [1] Ministerio de Transportes, «Aeropuerto Adolfo Suarez Barajas-Madrid».
- [2] «El Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas cierra un 2024 de récord».
- [3] «<https://www.cmmedia.es/noticias/castilla-la-mancha/toledo/aerodromo-casarrubios-operativo-aeropuerto-madrid-2028.html>», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cmmedia.es/noticias/castilla-la-mancha/toledo/aerodromo-casarrubios-operativo-aeropuerto-madrid-2028.html>
- [4] «Encuentran en un pueblito de Toledo la solución a la saturación del aeropuerto de Barajas», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.huffingtonpost.es/sociedad/encuentran-pueblito-toledo-solucion-saturacion-aeropuerto-barajas.html>
- [5] «COVID-19 Impact on EUROCONTROL Member States».
- [6] «El impacto del Covid 19 en Barajas: cuántos vuelos se han perdido desde 2020», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.abc.es/viajar/noticias/abci-impacto-covid-19-barajas-cuantos-vuelos-perdido-desde-2020-202107130043_noticia.html
- [7] «AENA - Informes anuales».
- [8] «Aena acelera su plan para que Barajas alcance los 90 millones de pasajeros», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/transportes-turismo/noticias/12737116/03/24/aena-acelera-su-plan-para-que-barajas-alcance-los-90-millones-de-pasajeros.html>
- [9] London Heathrow Airport, «Company Information».
- [10] Europa Press, «La Justicia británica declara ilegal la ampliación de Heathrow porque el Gobierno no tuvo en cuenta el Acuerdo de París», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-justicia-britanica-declara-ilegal-ampliacion-heathrow-porque-gobierno-no-tuvo-cuenta-acuerdo-paris-20200227131513.html>
- [11] «Top UK court overturns block on Heathrow's third runway», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/16/top-uk-court-overturns-block-on-heathrows-third-runway>
- [12] Los Angeles Airport, «Tom Bradley International Terminal (Terminal B)», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.flylax.com/terminals/terminal-b>
- [13] «Getting To, From and Around LAX», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.flylax.com/lax-traffic-and-ground-transportation>
- [14] El País, «Un grupo de empresarios ultima un plan para construir un segundo aeropuerto en Madrid», Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: Un grupo de empresarios ultima un plan para construir un segundo aeropuerto en Madrid

- [15] «Air City Madrid Sur, el 'otro' aeropuerto al calor de la Fórmula 1 y el Mundial 2030», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://noticiasparamunicipios.com/municipios-madrid/air-city-madrid-sur-el-otro-aeropuerto-al-calor-de-la-formula-1-y-el-mundial-2030/>
- [16] «Casarrubios del Monte LEMT (Ayuda al aterrizaje)».
- [17] *Planning and Design of Airports, Fifth Edition*. McGraw Hill Companies, 2019.
- [18] Norman. Ashford, S. A. . Mumayiz, y P. H. . Wright, *Airport engineering: design, planning, and development of 21st century airports*. Wiley, 2011.
- [19] E. A. Navarro, J. María, y D. C. Granados, «Estimación del flujo de pasajeros entre aeropuertos españoles Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Aeronáutica Estimación del flujo de pasajeros entre aeropuertos españoles».
- [20] P. Técnica, «SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE».
- [21] «Passenger traffic reaches nearly 95% of pre-pandemic levels in 2023», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aci-europe.org/media-room/477-passenger-traffic-reaches-nearly-95-of-pre-pandemic-levels-in-2023.html>
- [22] «Boeing 737-800», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.dimensions.com/element/boeing-737-800>
- [23] Boeing, «Boeing 737 Family», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.klm.de/en/information/travel-class-extra-options/aircraft-types/boeing-737-800>
- [24] «Traffic and Load Factor Stats Ryanair», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://investor.ryanair.com/traffic/>
- [25] «Ryanair anuncia la reducción de su tráfico en España un 18% debido "a las excesivas tasas de Aena"», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://actualidad aeroespacial.com/ryanair-anuncia-la-reduccion-de-su-trafico-en-espana-un-18-debido-a-las-excesivas-tasas-de-aena/>
- [26] «Independent Auditor's Report on the Annual Accounts Basis for Opinion».
- [27] «vueling-annual-report-2020».
- [28] «Traffic statistics - EasyJet», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://corporate.easyjet.com/investors/traffic-statistics/default.aspx>
- [29] «Análisis de participación y tamaño del mercado de carga aérea tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)», Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-air-freight-market>
- [30] «La industria de la carga aérea crece 8,2% en noviembre de 2024 tras 16 meses de crecimiento consecutivo».
- [31] «La demanda de carga aérea crece 3,2% en enero».

- [32] «Puente asegura que es “inexorable” subir las tasas de Aena en un 4,09% », Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://theobjective.com/economia/2024-01-18/puente-subida-tasas-aena/>
- [33] «Así será la ampliación del Polígono Industrial de Toledo: estará destinado a grandes empresas de logística», Accedido: 5 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cadenaser.com/castillalamancha/2024/10/02/asi-sera-la-ampliacion-del-poligono-industrial-de-toledo-estara-destinado-a-grandes-empresas-de-logistica-ser-toledo/>
- [34] «Hacia el Gran Primer Aeropuerto Regional Madrid-Sur - Hispaviación». Accedido: 12 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hispaviacion.es/hacia-el-gran-primer-aeropuerto-regional-madrid-sur/>
- [35] «Annex 14 - Aerodromes - Volume I - Aerodromes Design and Operations», Accedido: 7 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://store.icao.int/en/annex-14-aerodromes>
- [36] «Clima de Casarrubios del Monte, España», Accedido: 7 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://wanderlog.com/es/weather/38052/8/clima-de-casarrubios-del-monte-en-agosto>
- [37] «ANNEX 14 - Aerodromes. CHAPTER 3. - REFERENCE CODES FOR AERODROME CHARACTERISTICS».
- [38] «International Civil Aviation Organization Aerodrome Design Manual Part 2 Taxiways, Aprons and Holding Bays». [En línea]. Disponible en: www.icao.int.
- [39] «Passenger Terminal Design».
- [40] «Airport Development Reference Manual (ADRM)», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iata.org/en/publications/manuals/airport-development-reference-manual/>
- [41] «Air Transport IT Insights 2022 », Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/air-transport-it-insights-2022/>
- [42] «2023-Airport-Economics_Final».
- [43] «IATA Resolution 753: Airlines’ Implementation Plan HUB & Network».
- [44] «Airport collaborative decision-making », Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making>
- [45] « Controller Pilot Data Link Communications», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://web.archive.org/web/20070424234910/http://www.mitrecaasd.org/work/project_details.cfm?item_id=110
- [46] «Aeropuerto de Valencia - Tráfico aéreo», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aena.es/es/prensa/el-aeropuerto-de-valencia-roza-los-10-millones-de-pasajeros-en-2023.html%26p%3D1575078740846>

- [47] «El aeropuerto de Alicante hace historia por segundo año consecutivo», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.todoalicante.es/economia/aeropuerto-alicanteelche-historia-segundo-ano-consecutivo-184-20250113131711-nt.html>
- [48] «Estadísticas del mercado de mantenimiento, reparación y revisión de aeronaves 2030». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.theinsightpartners.com/es/reports/aircraft-mro-market>
- [49] «El nuevo hangar construido por Tarmac Aerosave en el Aeropuerto de Teruel, recibió su primer avión A380 el pasado jueves día 22 de Agosto | SER Teruel | Cadena SER». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cadenaser.com/aragon/2024/08/26/el-nuevo-hangar-construido-por-tarmac-aerosave-en-el-aeropuerto-de-teruel-recibio-su-primer-avion-a380-el-pasado-jueves-dia-22-de-agosto-ser-teruel/>
- [50] «En busca de una solución para el aeropuerto Huesca-Pirineos | Radio Huesca | Cadena SER». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cadenaser.com/aragon/2024/12/15/en-busca-de-una-solucion-para-el-aeropuerto-huesca-pirineos-radio-huesca/>
- [51] «¿Qué significa MRO? ¿Qué tiene de relación este concepto con el sector aeronáutico? - Noticias Lamaignere». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://lamaignere.com/es/noticias/ficha/que-significa-mro-que-tiene-de-relacion-este-concepto-con-el-sector-aeronautico>
- [52] «Explicación de las operaciones de mantenimiento y reparación (MRO)». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.eworkorders.com/maintenance-repair-and-operations-mro-explained/>
- [53] «Tamaño, participación y tendencias del mercado de aviación digital | Pronóstico [2030]». Accedido: 9 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/digital-aviation-market-107589>
- [54] L. A. Reducción, D. Transporte, A. De, y M. Justa, «EL DECRECIMIENTO DE LA AVIACIÓN». [En línea]. Disponible en: <https://stay-grounded.org/informe-decrecimiento>
- [55] World Health Organization, «Burden of disease from environmental noise.», 2014.
- [56] «DKV, GAES y ECODES analizan el impacto del ruido en la salud en la salud de las personas y el planeta en el Observatorio de Salud y Medio Ambiente», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ecodes.org/sala-de-prensa/notas-de-prensa/dkv-gaes-y-ecodes-analizan-el-impacto-del-ruido-en-la-salud-en-la-salud-de-las-personas-y-el-planeta-en-el-observatorio-de-salud-y-medio-ambiente?area=&iniciativa=&pagina=5&subarea=&tema=0>
- [57] «De 3.000 a 90.000 afectados, la polémica decisión de cambiar la ruta de los aviones sobre el cielo de San Sebastián de los Reyes», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://elpais.com/espana/madrid/2024-09-17/de-3000-a-90000-afectados-la-polemica-decision-de-cambiar-la-ruta-de-los-aviones-sobre-el-cielo-de-san-sebastian-de-los-reyes.html>

- [58] «El ruido de los aeropuertos hace que las aves adelanten sus cantos al amanecer », Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mncn.csic.es/es/Comunicaci%C3%B3n/el-ruido-de-los-aeropuertos-hace-que-las-aves-adelanten-sus-cantos-al-amanecer>
- [59] «Vox pide explicaciones sobre el Aeropuerto de Corvera: se creó para 4 millones y 2023 lo ha cerrado con 877.000 usuarios », Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cadenaser.com/murcia/2024/10/09/vox-pide-explicaciones-sobre-el-aeropuerto-de-corvera-se-creo-para-4-millones-y-2023-lo-ha-cerrado-con-877000-usuarios-radio-murcia/>
- [60] «Sevidumbres acústicas», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aena.es/es/corporativa/sostenibilidad-ambiental/ruido/servidumbres-acusticas.html>
- [61] «Evolución del precio de los materiales de construcción en España», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.synergyinsurance.eu/evolucion-del-precio-de-los-materiales-de-construccion-en-espana/>
- [62] «Aeropuerto de Berlín-Brandeburgo BER - Una catástrofe (en construcción) rara vez se produce sola», Accedido: 8 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.dlupal.com/es/noticias-y-eventos/noticias/blog/000086?srsId=AfmBOopxgrXp6bQhXGjC2hVKApf7mpXRT7LEp g7_hdday7z1pFTAcO93
- [63] «PIB Comunidad de Madrid».
- [64] «PIB España», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/pib/espana>
- [65] «Los Angeles International Airport», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.flylax.com/>
- [66] «London Heathrow Airport», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.heathrow.com/es>
- [67] «Madrid Barajas Airport», Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aena.es/es/adolfo-suarez-madrid-barajas.html>
- [68] «operations-manual».

