



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Introducción al Concepto de Torre de Control Remota e Implantación
en el Aeropuerto de El Hierro**

Joshué Vaquero Villafranca

Curso 2023-2024



Título: Introducción al Concepto de Torre de Control Remota e Implantación en el Aeropuerto de El Hierro

Autor: Joshué Vaquero Villafranca

Tutor: Antonio Peláez-Portales

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Curso: 2023-2024

ABSTRACT

In the context of global digitalization, the implementation of remote-control towers emerges as a disruptive innovation in the aviation sector. This project explores the concept of remote or digital towers, a system that enables the provision of ATS services from a remote-control room located away from the aerodrome, achieving significant operational cost savings. Additionally, it analyzes their features, systems, and functionalities, establishing a comparison with conventional towers to identify the advantages and disadvantages of both models.

The remote or digital tower system offers a cost-effective solution compared to conventional models, providing significant savings in both construction and operational costs. However, its implementation is best suited for airports with low to medium traffic densities, where its capacity and efficiency are optimal. Additionally, it is particularly beneficial in remote or rugged regions where traditional tower construction is less feasible. Nevertheless, its reliance on advanced technological systems underscores the need to ensure the reliability and continuity of these systems to maintain safety and operational efficiency.

From a practical perspective, the study focuses on the implementation process of a remote tower at El Hierro Airport, detailing the key stages of the project and emphasizing the importance of the operational context in the design. This analysis provides the reader with a comprehensive understanding of the new challenges and concepts associated with this model, as well as its impact on the provision of ATS services at the aerodrome.

To ensure the successful implementation of a remote tower in the practical phase of the project, it is essential to conduct a thorough analysis of the airport's operational context, including its systems and human factors. Requirements are gathered from various sources and imposed on the system during its design phase. Moreover, the active collaboration of ATC/AFIS operators from the team is crucial to ensure the suitability and effectiveness of the implemented solution.



Agradecimientos

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de los años.

A mi mujer, por su paciencia y empatía compaginando trabajo y estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ABSTRACT	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	6
FIGURAS	9
TABLAS	11
0. GLOSARIO DE TÉRMINOS	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. TORRE REMOTA/DIGITAL DE AERÓDROMO	14
2.1 Servicio de Control	14
2.2 Servicio de Control de Aeródromo	16
2.3. Introducción al concepto de torre remota	17
2.4. Modos de Operación	18
2.4.1 Modo Único de Operación	19
2.4.2 Modo Múltiple de Operación	19
2.5 Funcionalidades técnicas de la torre remota	22
2.6 Comparativa entre la torre de control convencional y remota	24
2.6.1 Requisitos y marco normativo de una torre de control convencional	24
2.6.2 Requisitos y marco normativo de torre de control Remota/Digital o RMT	28
2.7. Torre Convencional versus Torre Remota	32
2.7.1 Características físicas	32
2.7.2 Afección al tamaño y la formación de la plantilla	33
2.7.3 Equipamiento	34
2.8 Torre remota. Fortalezas y debilidades	36
2.8.1 Fortalezas	36
2.8.2 Debilidades	37
2.9 Torre convencional. Fortalezas y debilidades	38
2.9.1 Fortalezas	38
2.9.2 Debilidades	38

3.	IMPLANTACIÓN DE TORRE REMOTA EN EL AEROPUERTO DE EL HIERRO	40
3.0	Alcance del documento	40
3.1	Supuesto práctico	41
3.2	Documentos guía para la implementación de una torre remota	43
3.2.1	ED 2019/004/R-Remote Aerodrome Air Traffic Service	43
3.2.1.1	Checklist Implementación de Torre Remota, según ED 2019/004/R-Remote aerodrome air traffic service, de EUROCAE	43
3.2.2	ED-240B-Minimum Aviation System Performance Standard For Remote Tower Optical Systems	44
3.2.2.1	Dependencia del contexto Operacional	45
3.2.2.2	Verificación del Rendimiento y Aceptación por parte del Operador	46
3.2.2.3	Requisitos de Rendimiento del Sistema Óptico y Verificación	47
3.2.2.4	Pruebas de Aceptación Operacional	47
3.3	Contexto Operativo	48
3.3.1	Características del aeródromo. Espacio aéreo y circuito de tráfico asociados	48
3.3.1.1	Relieve y características del terreno del aeropuerto	48
3.3.1.2	Horario operativo del aeropuerto	50
3.3.1.3	Servicio ATS	50
3.3.1.4	Características físicas de la pista	50
3.3.1.5	Características físicas calles de rodaje	52
3.3.1.6	Plataforma de estacionamiento	52
3.3.1.7	Espacio aéreo ATS	53
3.3.1.8	Procedimientos locales en el aeródromo	54
3.3.1.9	Ayudas Visuales	55
3.3.1.10	Radioayudas para la navegación y el aterrizaje	55
3.3.1.11	Circuito de tránsito	55
3.3.1.12	Obstáculos	56
3.3.1.13	Fauna	57
3.3.1.14	Roles del Operador en GCHI	57
3.3.1.15	Sistema de presentación RADAR	59
3.3.1.16	Procedimientos locales	59
3.3.2	Densidad y complejidad de tráfico	59
3.3.2.1	Tipo de tráfico	61
3.3.2.2	Origen y destino del tráfico aéreo	63
3.3.2.3	Rutas principales con origen o destino el aeropuerto de El Hierro	63
3.3.2.4	Estacionalidad del tráfico	64

3.3.2.5 Flota usuaria El Hierro	64
3.3.2.6 Evolución de los valores punta y de diseño por número de movimientos	65
3.3.2.7 Conclusiones del análisis de tráfico	66
3.3.3 Meteorología	67
3.3.3.1 Temperatura en el aeródromo	68
3.3.3.2 Precipitaciones	68
3.3.3.3 Dirección e Intensidad de los Vientos	69
3.3.3.4 Condiciones de visibilidad	71
3.3.3.5 Conclusiones de Meteorología	71
3.4 Sistema Visual de Vigilancia	72
3.4.1 Requisitos Regulatorios Directos	73
3.4.2 Requisitos Regulatorios Indirectos	73
3.4.3 Otras necesidades operacionales que afectan al sistema RTOS	74
3.4.4 Calidad Mínima de la Presentación Visual	74
3.4.5 Requisitos Operacionales AOREQ	75
3.4.6 Requisitos Operacionales ToIREQ	79
3.4.7 Configuración del sistema RTOS en base al contexto operacional de GCHI	81
3.5 Emplazamiento y Ubicación	84
3.5.1 Sensores ópticos principales para videowall	84
3.5.2 Cámaras PTZ	86
3.5.3 Sonido ambiente	88
3.5.4 Disposición de la sala remota	88
3.5.5 Videowall	90
3.5.6 Presentación PTZ e interfaz HMI	92
3.5.6.1 Pantalla táctil	93
3.5.6.2 Pantallas/Monitores del HMI	93
4. CONCLUSIONES	94
5. BIBLIOGRAFÍA	98

FIGURAS

<i>Ilustración 1. Servicios ATM-ANS</i>	14
<i>Ilustración 2. Ejemplo arquitectura</i>	21
<i>Ilustración 3. RTC in Bodo, Norway. Avionics International</i>	21
<i>Ilustración 4. Antigua torre de Control Aeropuerto Madrid-Barajas. Actual Torre Sur (SDP)</i>	26
<i>Ilustración 5. Detalle Puesto Integral Control de Torre (PICT). Antigua torre de Control Aeropuerto Madrid-Barajas. Actual Torre Sur (SDP)</i>	27
<i>Ilustración 6. Detalle de Array de cámaras PTZ en terraza del fanal conectado a VideoWall. Antigua torre de control Madrid-Barajas</i>	27
<i>Ilustración 7. Sala de torre remota. Aeropuerto de London City</i>	30
<i>Ilustración 8. Detalles Videowall de torre remota. Aeropuerto de London City</i>	31
<i>Ilustración 9. Figura X. Digital Air Traffic Control Tower. Aeropuerto de London City</i>	31
<i>Ilustración 10. Array de cámaras fijas visión 360º y cámaras PTZ giratorias. Aeropuerto de London city</i>	32
<i>Ilustración 11. Ubicación del aeropuerto en la isla de El Hierro. Fuente AENA</i>	49
<i>Ilustración 12. Ubicación y plano de aeropuerto de El Hierro. Fuente AENA</i>	49
<i>Ilustración 13. Características pista de vuelo, AIP GCHI (WEF 02-NOV-23)</i>	51
<i>Ilustración 14. Plano Área de Maniobras, AIP GCHI (WEF 02-NOV-23)</i>	51
<i>Ilustración 15. Plano Plataforma y calles de rodaje. PDC 1, AIP GCHI.</i>	52
<i>Ilustración 16. FIZ (Área punteada) y CTR (Línea continua). Circulo (ATZ). Fuente: Insignia (Enaire)</i>	53
<i>Ilustración 17. Dimensiones y frecuencias del espacio aéreo asociado a GCHI</i>	54
<i>Ilustración 18. Circuito de tránsito aéreo GCHI</i>	56
<i>Ilustración 19. Superficie de ascenso al despegue RWY34. Plano de Obstáculos de aeródromo RWY34. AIP WEF 31-OCT-24</i>	56
<i>Ilustración 20. Movimiento de aves en el aeródromo. AIP GCHI WEF 31-OCT-24</i>	57
<i>Ilustración 21. Evolución tráfico 2004-2023</i>	60
<i>Ilustración 22. Distribución estacionalidad</i>	64
<i>Ilustración 23. GCHI Dirección e intensidad de los vientos</i>	69
<i>Ilustración 24. Información de fenómenos de viento GCHI</i>	70
<i>Ilustración 25. Datos visibilidad y altura de nubes</i>	71
<i>Ilustración 26. Mapa de bloques, sistema RTOS.</i>	72
<i>Ilustración 27. Rango de visión torre remota de GCHI: Plano del Aeropuerto.</i>	81
<i>Ilustración 28. Rango de visión Torre Remota GCHI. Carta Visual.</i>	82
<i>Ilustración 29. Funcionalidad visual tracking, de Saab.</i>	83
<i>Ilustración 30. Ejemplo de instalación cámara fijas y PTZ</i>	85
<i>Ilustración 31. Cámaras fijas y PTZ. Erfurt Weimar Airport. Germany</i>	85

<i>Ilustración 32. Virginia's Leesburg Executive Airport (KJYO), de Saab. Fuente aviation pros.</i>	87
<i>Ilustración 33. Preset de cámara PTZ en panorámica de Videowall. Fabricante Saab.</i>	87
<i>Ilustración 34. Actual fanal torre GCHI. Fuente Aena.</i>	88
<i>Ilustración 35. Sala remota con dos CWP con sus sistemas. Sundsvall tower Control, Sweden.</i>	89
<i>Ilustración 36. Overlaid. Pista de vuelo (amarillo). Calle de rodaje (verde).</i>	90
<i>Ilustración 37. Imagen Real (izquierda) contra Imagen presentada en videowall (derecha).</i>	91
<i>Ilustración 38. Función Visual tracking en videowall. FOD. Fabricante Saab</i>	91
<i>Ilustración 39. Ejemplo Estación de trabajo</i>	92
<i>Ilustración 40. Ejemplo de CWP y Videowall</i>	93

TABLAS

<i>Tabla 1. Tipos de Servicio de Control</i>	15
<i>Tabla 2. Sistemas de RMT y RTOS</i>	29
<i>Tabla 3. Evolución tráfico 2004-2023</i>	60
<i>Tabla 4. Evolución del tráfico de pasajeros 2006-2015</i>	61
<i>Tabla 5. Evolución del tráfico de operaciones 2006-2015</i>	61
<i>Tabla 6. Tráfico de pasajeros y de operaciones OCT 2006-2015</i>	62
<i>Tabla 7. Evolución del número de operaciones de aeronaves OCT por tipo de servicio</i>	62
<i>Tabla 8. Evolución del tráfico comercial de aeronaves por clase de operación 2006-2015</i>	63
<i>Tabla 9. Distribución del tráfico comercial de aeronaves por rutas, 2006-2015</i>	64
<i>Tabla 10. Evolución de la flota usuaria del aeropuerto 2006-2015</i>	65
<i>Tabla 11. Movimientos Hora punta, Hora Diseño y Día Punta.</i>	66
<i>Tabla 12. Temperaturas GCHI (1980-1999)</i>	68
<i>Tabla 13. Precipitaciones GCHI (1975-1999)</i>	69
<i>Tabla 14. Lista de objetos y dimensiones</i>	76

0. GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACC - Centro de Control de Área

ADS-B - Vigilancia Dependiente Automática Basada en Emisión

AFIS - Servicio de Información de Vuelo de Aeródromo

AIP - Publicación de Información Aeronáutica

ANSP - Proveedor de Servicio de Navegación Aérea

ATS - Servicios de Tránsito Aéreo

ATC - Control de Tránsito Aéreo

ATCO - Controlador de Tránsito Aéreo

ATM - Gestión de Tránsito Aéreo

CNS - Comunicaciones, Navegación y Vigilancia

ED - Documento de EUROCAE

EASA - Agencia Europea de Seguridad Aérea

FIS - Servicio de Información de Vuelo

FOD - Foreign Object Debris (escombros de objetos extraños)

GCHI - Indicador de Aeródromo (El Hierro)

GCXO - Indicador de Aeródromo (Tenerife Norte)

HMI - Interfaz Hombre-Máquina

ICARO - Sistema ATS español

PTZ - Pan-Tilt-Zoom (Cámaras con movimiento)

QNH - Presión atmosférica ajustada al nivel del mar

RADAR - Radio Detection and Ranging

RTC - Centro de Torres Remotas

RMT - Torre Remota

RTM - Módulo de Torre Remota

RTOS - Sistema Óptico de Torre Remota

SESAR - Investigación de Gestión de Tránsito Aéreo Europeo

1. INTRODUCCIÓN

El mundo avanza rápidamente hacia la digitalización, con las pantallas presentes en todos los aspectos de nuestra vida diaria: comunicación, trabajo y entretenimiento. Las videoconferencias han revolucionado las interacciones, permitiendo colaboración a distancia como nunca antes.

En este contexto de digitalización, uno de los desarrollos más innovadores y disruptivos es la implantación de torres de control remoto en sectores como la aviación. Estas torres, controladas a través de pantallas desde ubicaciones centralizadas, eliminan la necesidad de que el O esté físicamente presente en el lugar de operación.

Este proyecto tiene como objetivo acercar al lector el concepto de torre remota/digital y su implantación en un aeródromo.

Desde un punto de vista descriptivo, se explicará el concepto de torre remota, sus características, sistemas y funcionalidades. Por último, se realizará una discusión comparativa con la torre convencional, y se reflejarán ventajas y desventajas de cada modelo.

Desde un punto de vista más práctico, la otra parte del trabajo consiste en un supuesto práctico, el proceso de implantación de una torre remota en el aeropuerto de El Hierro. De esta manera, el lector conocerá cuáles son las principales etapas del proyecto, la importancia del contexto operacional en el diseño de la torre, y la cantidad de conceptos nuevos que entran en juego frente a un modelo de torre convencional.

Cómo la implantación de una torre remota es un proyecto inabarcable para un trabajo de estas características, el supuesto práctico se limitará a definir unos requisitos basados en el contexto local del aeródromo. Estos requisitos estarán soportados en un análisis de las características del mismo y en la experiencia de operadores de la plantilla de GCHI.

2. TORRE REMOTA/DIGITAL DE AERÓDROMO

En este apartado se quiere exponer el concepto de torre remota desde un punto de vista comparativo con la torre convencional, ubicada siempre en el recinto aeroportuario. Se explicará brevemente qué es el servicio de control y que tipos existen. A continuación, se tratarán los distintos modos de operación y soluciones para una torre remota. Sus características, sistemas y qué tipos de cambios y afecciones se dan al implementarla. De tal manera que el lector, se puede hacer una idea aproximada de lo que es y estará preparado para acceder a la segunda parte del proyecto.

2.1 Servicio de Control

Antes de enumerar las tareas del servicio de control, es importante definir el lugar que ocupa dentro de los servicios de navegación aérea. A continuación, se muestra una tabla donde se relacionan todos los servicios existentes. Si bien es cierto, que el servicio de control es el más conocido por el público en general, no es más importante que otros. Todos ellos se necesitan mutuamente y están estrechamente ligados para hacer funcionar el sistema de transporte aéreo de manera segura y eficiente.

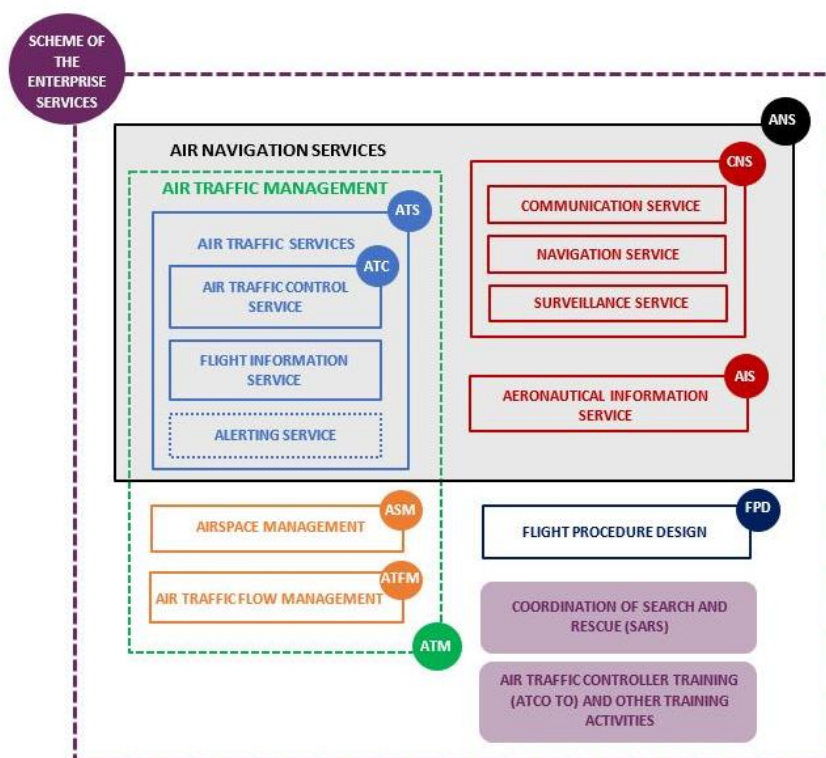


Ilustración 1. Servicios ATM-ANS

El servicio de control aéreo (ATC) forma parte de los servicios de gestión del tráfico aéreo (ATM) y pertenece a los servicios de tránsito aéreo (ATS), que pueden prestar servicio de control, información y alerta.

Los proveedores de servicios de tránsito aéreo (ATS) tienen como objetivos principales de su actividad, en las áreas de espacio aéreo y/o aeródromos para los que han sido designados:

- Prevenir colisiones entre aeronaves y entre aeronaves y obstáculos y acelerar y mantener ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo. Para ello se prestan los Servicios de Control de Tránsito Aéreo (ATC).
- Asesorar y proporcionar información útil para la marcha segura y eficaz de los vuelos. Para ello se prestan los Servicios de Información de Vuelo (FIS), incluido el Servicio de Información de Vuelo de Aeródromo (AFIS) donde corresponda.
- Notificar y asistir a los organismos pertinentes respecto de las aeronaves que necesitan ayuda de búsqueda y salvamento. Para ello se presta el Servicio de Alerta.

El servicio de control de tránsito aéreo (ATC) es prestado por controladores aéreos, que emiten autorizaciones de control a las tripulaciones de las aeronaves, aplican separaciones entre ellas y ordenan y aceleran el movimiento del tránsito, en función de las condiciones presentes en cada momento.

Servicios de Control	Dependencia	Características
Control de Ruta	ACC	Vigilancia electrónica Comunicaciones Voz
Control de Aproximación	TACC/APP	Vigilancia electrónica Comunicaciones Voz
Control de Aeródromo	TWR	Vigilancia visual Vigilancia electrónica como apoyo Comunicaciones Voz

Tabla 1. Tipos de Servicio de Control

Como se expone en la tabla 1, el servicio de control se divide en tres partes, relacionadas con las distintas fases de los vuelos: servicio de control de área (prestado desde un centro de control),

servicio de control de aproximación (prestado desde un centro de control o desde una oficina de control de aproximación, que puede estar situada físicamente en una torre de control) y servicio de control de aeródromo (prestado desde una torre de control).

El servicio de información de vuelo (FIS) puede ser prestado por los controladores aéreos, desde las distintas dependencias ATC, o por personal FIS diferenciado, como es el caso del servicio de información de vuelo de aeródromo (AFIS), que es prestado por personal AFIS a un aeródromo.

Tanto los proveedores y personal ATC como los proveedores y personal FIS (y AFIS) proporcionan Servicio de Alerta a las aeronaves que se encuentran en situación de emergencia.

2.2 Servicio de Control de Aeródromo

El servicio de control de aeródromo presta servicio ATS en el área de maniobras y volumen de espacio aéreo asociado al aeródromo. Para llevar a cabo las actividades del servicio, los controladores se ubican en la torre de control, elemento constructivo de gran altura con una visibilidad y ubicación privilegiada dentro del aeropuerto que les permita visualizar su área de influencia de manera suficiente. Para ello, se les habilita una sala con visibilidad panorámica llamada fanal, donde también se encuentran los sistemas de comunicación y sistemas de vigilancia, todos ellos, necesarios para el desempeño de las funciones del controlador aéreo de torre.

La vigilancia visual se ejerce en mayor medida de manera directa con la propia visión del ATCO a través de los ventanales del fanal, aunque puede apoyarse en cámaras que aporten visión de zonas no visibles desde su ubicación o prismáticos. En relación con los sistemas de vigilancia, los ATCOs pueden contar con una pantalla que posicione a los tráficos en la vecindad del aeródromo cuya fuente de información sea de sistemas RADAR, ADS-B, multilateración o radar de superficie. Información útil y necesaria que sirve de ayuda a la consciencia situacional del operador. Por último, se necesitan sistemas de comunicaciones para establecer contacto con el tráfico aéreo, los diferentes servicios de un aeropuerto y vehículos en el área de movimiento.

En resumen, el servicio de control de aeródromo se apoya en la vigilancia visual, sistemas de comunicaciones y los llamados sistemas de vigilancia ATS.

Hace una década surgió un nuevo modelo de prestación servicio de control, donde los controladores podrían estar deslocalizados del aeropuerto, el servicio de torre de control remota/digital o RMT. En abril de 2015 la torre del aeropuerto Ornskoldsvik echó el cierre, pero la docena de tráficos diarios que alojaba el aeropuerto siguieron operando como de costumbre. La plantilla de controladores aéreos se

trasladó a 145 km y desde una sala con pantallas, ubicada en el aeropuerto de Sundsvall, ven lo que antes veían desde el fanal de la antigua torre.

Por tanto, el concepto distintivo con el modelo anterior es la vigilancia visual, que deja de lado la línea de visión directa con el entorno aeroportuario y se apoya en un conjunto de cámaras conectadas a unas pantallas que visionan los controladores aéreos localizados de manera remota, además de otros sistemas. Este cambio introduce nuevos aspectos tecnológicos y de factores humanos que resulta necesario analizar en el proceso de implantación de una torre remota. Por otro lado, ofrece ventajas en materia de ahorro de costes operativos con respecto al modelo clásico. A lo largo del trabajo se expondrán y se tratarán todos estos temas.

A continuación, se va a exponer las características técnicas que debe tener una torre de control y un módulo de torre remota para evidenciar sus similitudes y sus diferencias.

2.3. Introducción al concepto de torre remota

El concepto de servicio de control en torre remota/digital en aeródromos permite la prestación de servicios ATS desde ubicaciones o instalaciones que no cuentan con observación visual directa. En su lugar, la prestación de los servicios de tránsito aéreo en aeródromos se basa en una visión del aeródromo y sus alrededores a través de tecnología.

El cambio principal que introducen las operaciones de torres remotas, en comparación con las torres convencionales, se relaciona con la manera en que se realiza la observación visual del aeródromo y sus alrededores. En una instalación de torre remota, esta observación ya no se lleva a cabo mediante la visualización directa desde una ventana de una torre convencional. En cambio, la observación visual se realiza utilizando un sistema de vigilancia visual, lo que permite una conciencia situacional conforme a los Documentos 4444 y 9426 de la OACI.

Una torre remota puede estar ubicada lejos del aeródromo al que presta servicios, o en un edificio dentro o cerca del aeródromo, pero sin una vista directa del área de responsabilidad. Además, los elementos del sistema de vigilancia visual también pueden integrarse en una torre convencional para mejorar o complementar la conciencia situacional, o para proporcionar una presentación visual de partes del aeródromo o sus alrededores que, de otro modo, serían inadecuadas o inexistentes.

En lo que respecta a los servicios de tránsito aéreo en aeródromos remotos (ATS), Japón ha estado proporcionando servicios de información de vuelo en aeródromos (AFIS) desde ubicaciones remotas desde 1974, aunque inicialmente solo con una presentación visual limitada del aeródromo y sus

alrededores. La primera implementación de una torre remota que proporcionaba ATS en aeródromos basada en una conciencia situacional completamente conforme a los Documentos 4444 y 9426 de la OACI fue aprobada e introducida en operaciones en Suecia en abril de 2015. Esta implementación ya ha comenzado en otros Estados miembros de la EASA, así como en otras partes del mundo.

El concepto de ATS en aeródromos remotos está en constante evolución y, con el tiempo, desde que se definió inicialmente, el marco operativo, los entornos objetivo y las nuevas aplicaciones han cambiado y se han desarrollado. Se espera que esta evolución continúe.

Los resultados de actividades de investigación y desarrollo (como el programa SESAR JU) y la experiencia adquirida en operaciones son aportes importantes para el desarrollo de especificaciones formales, normas y material para el marco regulador (como el documento en cuestión).

2.4. Modos de Operación

El concepto de servicios de tránsito aéreo en aeródromos remotos (ATS) se categoriza en los siguientes dos modos principales de operación:

- Modo único de operación
- Modo múltiple de operación

En ambos modos, los servicios ATS pueden proporcionarse como servicio de control de aeródromo (ATC) o como servicio de información de vuelo en aeródromos (AFIS).

Independientemente de si se trata de un modo único o múltiple, el ATS en aeródromos remotos puede implementarse o prestarse tanto en casos donde ya existe una torre convencional en el aeródromo como en casos donde no hay una torre convencional.

La prestación de ATS en aeródromos remotos puede realizarse de manera:

- Permanente, reemplazando completamente la torre convencional, si existe.
- Temporal, por ejemplo, durante horarios específicos como en la noche o para eventos específicos.
- Para propósitos de contingencia, como cuando una torre remota se utiliza como instalación de respaldo para una torre convencional.

Al proporcionar ATS en aeródromos remotos, la aplicación operativa variará en función de diversos factores, como el entorno operativo y las necesidades particulares de las partes interesadas, similar a lo que ocurre en cualquier prestación de servicios ATS.

2.4.1 Modo Único de Operación

El modo único de operación se refiere a la prestación de servicios de tránsito aéreo (ATS) a un solo aeródromo a la vez desde un único módulo de torre remota (RTM, por sus siglas en inglés).

Las aplicaciones operativas que típicamente se incluyen en el ámbito del modo único de operación comprenden, entre otras:

- La prestación de ATS a un aeródromo desde un único RTM.
- Durante situaciones de contingencia planificadas o no planificadas, como una solución de respaldo dedicada para un ATS de aeródromo existente.
- A zonas distantes o puntos ciegos de un aeródromo, donde la vista desde el fanal de la torre convencional es inadecuada o inexistente, mediante la implementación de elementos de un sistema de vigilancia visual en la torre convencional. Esto podría sustituir la necesidad de construir una segunda torre de aeródromo convencional.

2.4.2 Modo Múltiple de Operación

El modo múltiple de operación se refiere a la prestación de servicios de tránsito aéreo (ATS) a más de un aeródromo al mismo tiempo, es decir, prestación simultánea de servicios desde un único módulo de torre remota (RTM, por sus siglas en inglés).

Las aplicaciones operativas incluyen, entre otras:

- La prestación de ATS a más de un aeródromo de forma simultánea desde un único RTM.
- La prestación simultánea de ATS a un área o una función específicas para más de un aeródromo, por ejemplo, una posición de autorización de tránsito (clearance delivery) que atienda a múltiples aeródromos.

2.5 Centro de torres remotas (RTC)

El proveedor de servicios ATS puede proporcionar servicios remotos de aeródromo desde una instalación centralizada conocida como centro de torres remotas (RTC, por sus siglas en inglés), que podría albergar una o varias unidades de torre remota (RTM).

Un RTC podría configurarse como se muestra en la ilustración 2, con múltiples RTMs y posiblemente una o más posiciones de supervisión (dependiendo del tamaño y los requisitos del RTC). Las RTMs pueden operar de manera independiente en un escenario de modo único de operación o en un escenario de múltiples modos de operación por cada RTM, lo cual también puede cambiar con el tiempo (por ejemplo, pasando de un modo único a un modo múltiple de operación en una RTM, o viceversa). La asignación de aeródromos entre las RTMs también puede modificarse de forma flexible (similar a los procedimientos de asignación de sectores dentro de un centro de control de área, ACC) para mejorar la eficiencia de los recursos o responder a necesidades y demandas operativas. La capacidad de cambiar aeródromos entre las RTMs dependerá de muchos factores, como la cualificación y formación de los ATCO/AFISO, la configuración técnica de las RTMs, el cronograma y distribución del tráfico entre aeródromos, y cómo estos factores impactan en la seguridad y el rendimiento humano.

El número requerido de RTMs disponibles en un RTC dependerá del número de aeródromos conectados al RTC, la complejidad y el tamaño de los aeródromos conectados, así como de la necesidad de RTMs adicionales o de repuesto, según los requisitos de contingencia y disponibilidad del servicio.

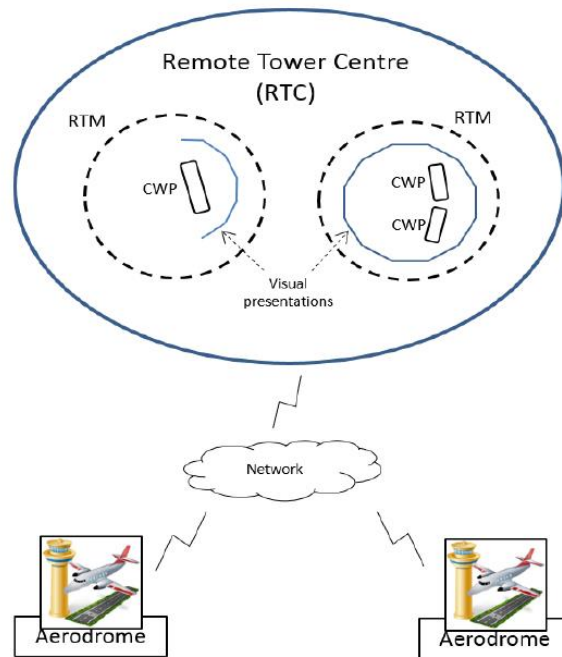


Ilustración 2. Ejemplo arquitectura



Ilustración 3. RTC in Bodo, Norway. Avionics International

2.5 Funcionalidades técnicas de la torre remota

Las soluciones técnicas disponibles para una torre remota son muchas y muy diversas. La adecuada configuración para cada proyecto es única y debería estar cuidadosamente evaluado y seleccionado en relación con las necesidades operativas de aeródromo y fundamentado e identificado por las evaluaciones de seguridad operacional, factores humanos y seguridad física.

Abajo se expone una lista de posibles soluciones técnicas de un módulo de torre remota. Muchas de ellas se utilizan hoy en día en torres convencionales, sin embargo, en el contexto de torre remota, se les añade el componente de transmisión de datos debido a la ubicación remota de la torre.

- **Presentación visual (VideoWall)**, reemplazando o complementando, la vista OTW de una torre convencional
- **Funcionalidad Binocular.** Cámaras PTZ, que sustituyen la función de los binoculares
- **Pistola de señales**, remotamente controlada
- **Reproducción de sonido de aeródromo**
- **Comunicaciones.** Servicios móvil y fijo aeronáutico
- **Ayudas a la navegación, señales y luces aeronáuticas**
- **Sistemas de Información meteorológica**
- **Otros sistemas ATS** utilizados en torres convencionales, que no necesariamente afectan a la torre remota (pantalla Radar/M-LAT, bahía de fichas etc.)
- **Sensores/Cámaras infrarrojas**
- **Cámaras adicionales hot spot/gap filler** que cubran zonas con más riesgo de sucesos o zonas no visibles desde videowall
- **Radar Tracking.** Combina datos del RADAR/ADS-B y presenta las etiquetas de los tráficos o vehículos junto con sus imágenes en el VideoWall
- **Visual Tracking.** Detección y seguimiento de objetos en el VideoWall como aeronaves y vehículos en movimiento
- **Sistemas que apoyan al ATCO/AFISO a detectar FOD** (foreign object debris), reseñándolos en el VideoWall
- **Funcionalidad Overlaid.** Información visual adicional en el VideoWall como indicación con colores del contorno de la pista de vuelo o las calles de rodaje, indicación de pista en uso, temperatura o QNH.
- **PTZ Tracking.** Funcionalidad de seguimiento de blancos en las cámaras PTZ (función binocular)

Según las validaciones del **programa de SESAR JU** de otros proyectos de torre remota que ya están operando, para un modelo de torre remota se puede hacer una distinción entre funcionalidades básicas y avanzadas. Con los resultados obtenidos de diversas validaciones operativas en proyectos de torre remota, se puede afirmar que las funcionalidades básicas son suficientes para aeródromos de baja densidad de tráfico y/o baja complejidad. Sin embargo, para aeródromos de media densidad o superior, es necesario las funcionalidades básicas más algunas avanzadas, según cada caso.

Para mejor entendimiento del lector, se indican las definiciones de aeródromo de densidad baja y media, según SESAR:

- ✓ **Aeródromos de baja densidad:** Tienen una utilización de capacidad típicamente baja, donde el tráfico predominante consiste principalmente en operaciones de movimiento de aeronaves individuales, rara vez alcanzando o superando dos movimientos simultáneos de aeronaves.
- ✓ **Aeródromos de densidad media:** Utilización de capacidad típicamente media, donde se pueden esperar operaciones de movimientos simultáneos de aeronaves, experimentando con frecuencia más de un movimiento de aeronave al mismo tiempo.
- **Características básicas:**
 - Presentación visual, reemplazando la vista "a través de la ventana" (OTW) de una torre convencional.
 - Funcionalidad binocular (cámara PTZ)
- **Características avanzadas:**
 - Cámaras adicionales de "puntos calientes" visuales
 - Uso de sensores/cámaras ópticas infrarrojas u otras fuera del espectro visible. PTZ Tracking. Funcionalidad binocular que sigue automáticamente objetos en movimiento
 - RADAR Tracking. Medios dedicados para facilitar la detección, identificación y seguimiento automático de aeronaves o vehículos en la presentación visual (por ejemplo, mediante etiquetas basadas en datos de vigilancia, complementadas con correlación de planes de vuelo cuando esté disponible)

- Visual Tracking Medios dedicados para facilitar la detección y el seguimiento de objetos en movimiento en la presentación visual (por ejemplo, resaltando/marcando dichos objetos mediante sistemas de procesamiento de imágenes.
- Información superpuesta adicional en la presentación visual, como encuadre y/o designación de pistas, calles de rodaje, etc., direcciones de la brújula, información meteorológica, información aeronáutica (NOTAM, SNOWTAM, etc.), otra información operativa (por ejemplo, condiciones de las pistas como agua, nieve o barro, coeficiente de fricción, etc.)
- Vigilancia ATS (presentación de radar aéreo y/o terrestre)

2.6 Comparativa entre la torre de control convencional y remota

Una vez ha introducido al concepto de torre remota y sus modos de operación, se va a realizar una comparativa entre ambas soluciones, conocer las ventajas y desventajas de cada uno y conseguir entender en que contextos operativos es adecuado introducir una torre remota.

Se adelanta al lector que la construcción de una torre remota, desechando la anterior, no significa un avance técnico y operativo persé, dependerá de las circunstancias, es decir, del contexto operativo, pero también de factores económicos, sociales. E incluso, existirán ocasiones en las que la introducción de una torre remota en un aeródromo atienda únicamente a decisiones estratégicas empresariales.

A continuación, se recogen las características que debe tener una torre de control para prestar servicio. Estas soluciones técnicas se recogen en marcos normativos, tanto europeos como internacionales. Sin ser objeto de este proyecto ahondar en marcos y documentos normativos, si resulta necesario mencionarlos para permitir al lector la posibilidad de profundizar en aquello que le resulte interesante y dotar al trabajo de mayor rigor.

2.6.1 Requisitos y marco normativo de una torre de control convencional

Para el diseño y edificación de torres de control, internacionalmente, se cuenta con el **Anexo 14, el Manual de Diseño de Aeródromos (Doc 9157)** y el **Documento de Procedimientos para Servicios de Navegación Aérea (Doc 4444)**, de OACI.

En cuanto a normativa europea, se tiene como referencia al **Reglamento (UE) 2018/1139 y Reglamento (UE) Nº 139/2014**, de EASA.

En adelante, se exponen los requisitos que debe tener una torre de control convencional para en base a la reglamentación arriba indicada:

- **Requisitos de Diseño y Ubicación:**

- 1) **Altura y Visibilidad:** La torre debe tener una altura suficiente que permita una visión clara y sin obstrucciones de las pistas, calles de rodaje y áreas de estacionamiento de aeronaves. Esto incluye la línea de visión a todas las áreas operativas críticas del aeropuerto.
- 2) **Ubicación:** Se debe situar en un punto estratégico dentro del aeropuerto para optimizar la visibilidad y minimizar las interferencias visuales.

- **Infraestructura**

- 1) **Seguridad estructural:** Resistencia sísmica y eólica. Sistema contraincendios
- 2) **Seguridad física:** Acceso controlado contra actos de interferencia ilícita.
- 3) **Continuidad:** Generadores de energía y conexiones redundantes para garantizar operaciones ininterrumpidas.

- **Equipamiento**

- 1) **Sistemas de Comunicación:** Debe contar con radios de alta frecuencia (VHF y UHF) para garantizar una comunicación clara y segura con las aeronaves y otros servicios de tráfico aéreo. Además de líneas de comunicación con otros servicios del aeropuerto y dependencias colaterales.
- 2) **Equipos de Navegación y Vigilancia:** Sistemas ATS tipo SACTA o Icaro. Bahía de fichas/Ficha de Vuelo electrónica. Los mencionados sistemas de vigilancia ATS, como pantalla radar. Equipos de meteorología Hermes y Céfire, esenciales para transmitir datos de relevancia como dirección de viento, presión atmosférica y eventos meteorológicos al tránsito aéreo.
- 3) **Equipos de climatización e iluminación**

- **Características física fanal**

- 1) **Visibilidad periférica y vertical:** Los controladores deben de tener línea directa del área de maniobras y aproximaciones a la pista. También deben de tener visión vertical para observar aeronaves y vehículos.
- 2) **Ventanas con inclinación:** Para reducir reflejos internos y externos.

3) Ventanas Protección solar

4) Distribución del espacio, consolas ajustables y asientos ergonómicos

En las ilustraciones 4, 5 y 6 se muestra el fanal de una torre de control donde se puede apreciar algunas de las características y equipamiento mencionados con anterioridad.

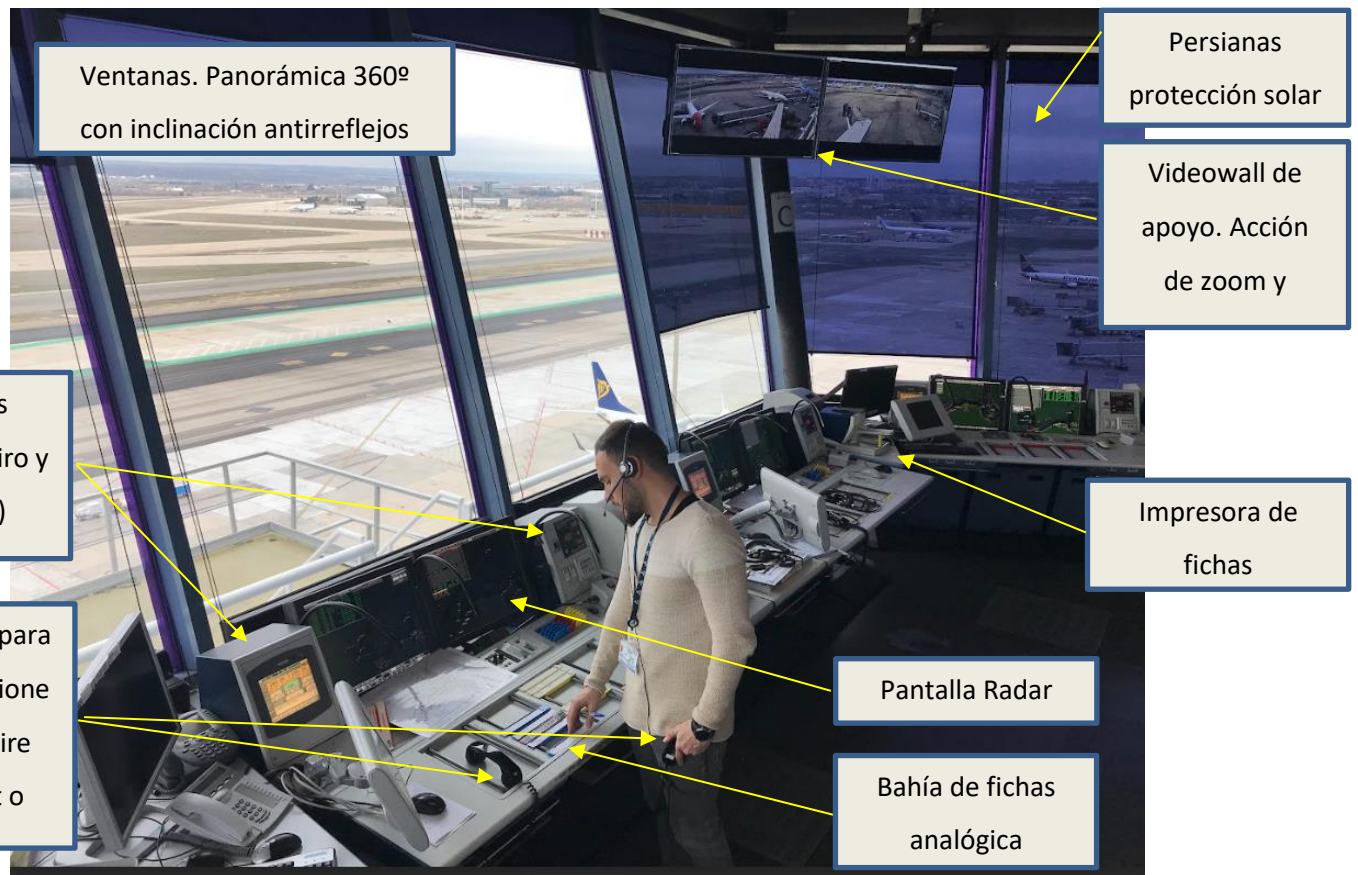


Ilustración 4. Antigua torre de Control Aeropuerto Madrid-Barajas. Actual Torre Sur (SDP)

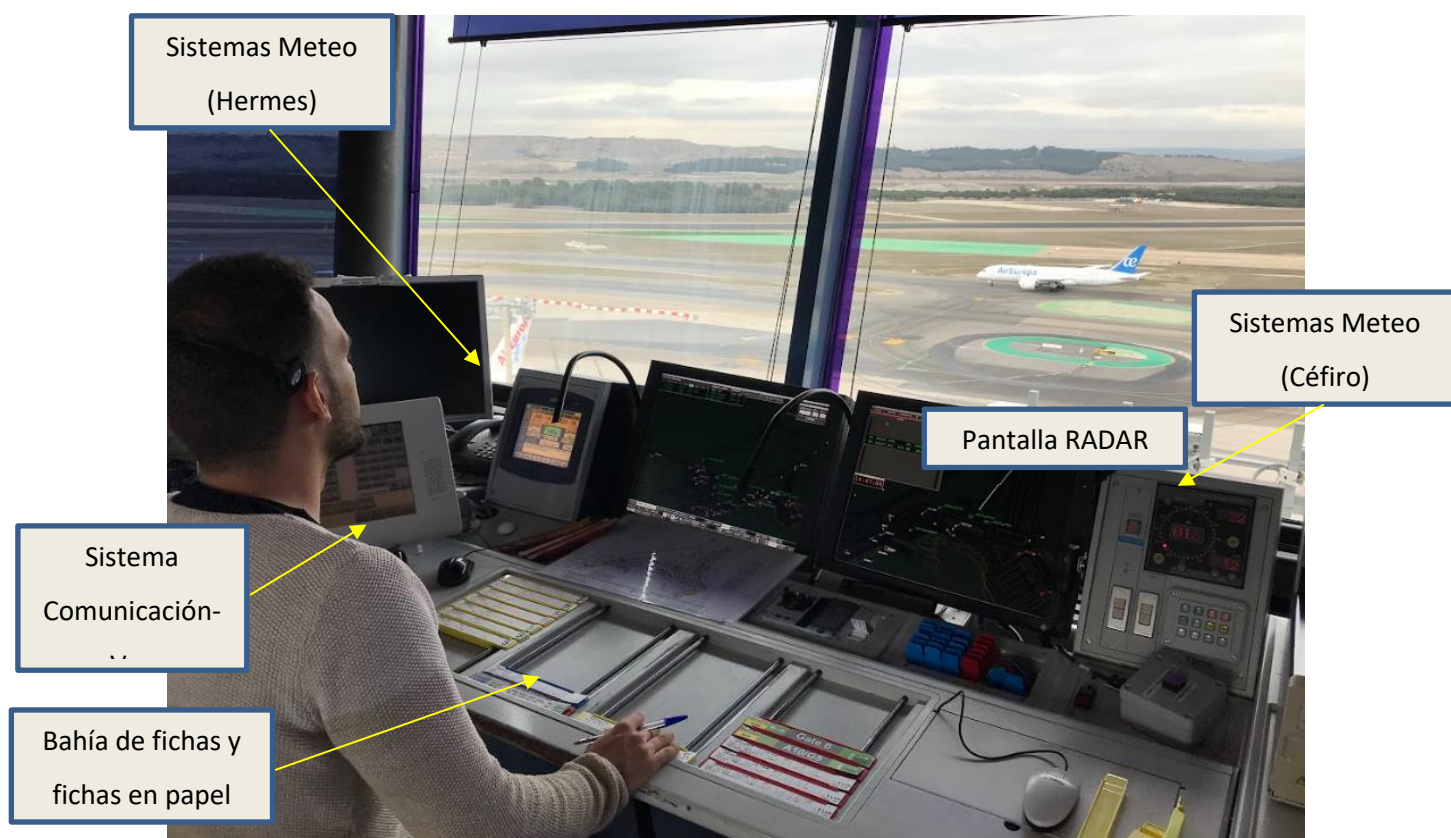


Ilustración 5. Detalle Puesto Integral Control de Torre (PICT). Antigua torre de Control Aeropuerto Madrid-Barajas. Actual Torre Sur (SDP)

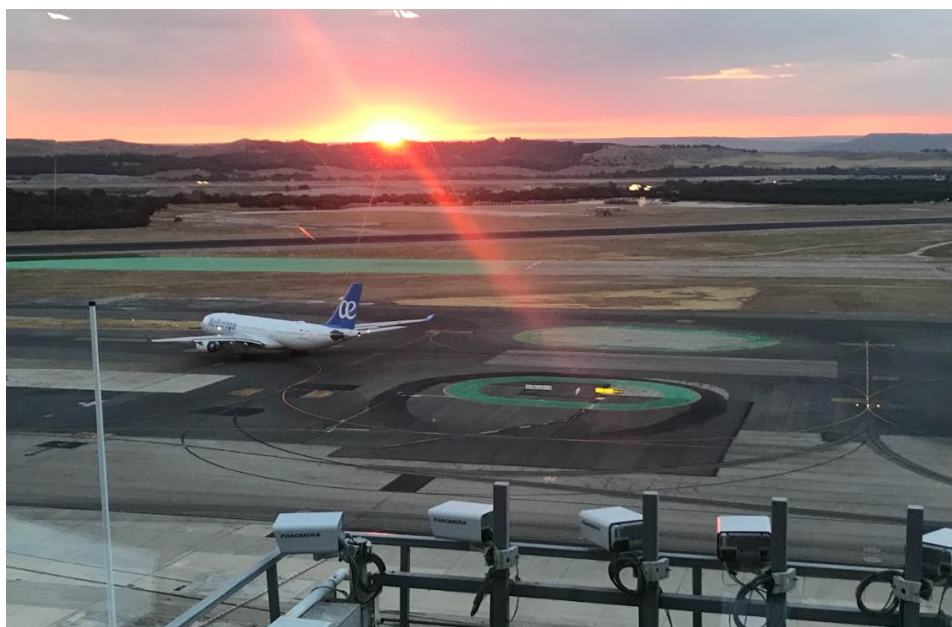


Ilustración 6. Detalle de Array de cámaras PTZ en terraza del fanal conectado a VideoWall. Antigua torre de control Madrid-Barajas

2.6.2 Requisitos y marco normativo de torre de control Remota/Digital o RMT

El elemento diferenciador de una RMT respecto a una torre de control convencional es el Sistema Óptico de Torre Remota, en adelante llamado RTOS. En una instalación convencional, el operador lleva a cabo la observación visual del aeródromo y sus alrededores mirando directamente por una ventana (OTW-Out of The Window, por sus siglas en inglés). Como se ha mencionado con anterioridad, la acción de observar por la ventana es reemplazado o mejorado mediante una Presentación Visual que muestra imágenes en tiempo real del aeródromo y sus alrededores. La Presentación Visual proporcionada al operador puede estar ubicada lejos del aeródromo, en el mismo sitio o incorporada en una torre convencional existente.

En relación con el resto de los sistemas necesarios para la prestación de servicios ATS, no existen diferencias reseñables o incluso, son los mismos tipos de sistemas.

En cuanto a normativa de referencia, al ser una tecnología incipiente, no se cuenta con reglamentación de obligado cumplimiento aún, sin embargo, existe material guía de relevancia, como el ***“Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services”***, de EASA. Es un documento que pretende servir de guía para organizaciones que consideren implementar un módulo de torre remota (RMT) y para las autoridades competentes a cargo de la aprobación de las implementaciones.

Adicionalmente, el marco normativo de las torres convencionales debe aplicarse a este, puesto que el objetivo es el mismo, prestar servicio con seguridad y de manera eficiente.

A medida que se implementan torres remotas, se han ido elaborando documentos que recogen la experiencia obtenida por parte de diseñadores de sistemas, proveedores de servicio de navegación aérea y otras organizaciones. A lo largo del proyecto se irán mencionando distintos documentos de referencia, siempre con carácter de material guía.

Constituent	Allocated functions	ATM/ANS service
Visual surveillance system & aerodrome sound	Visual presentation Binocular functionality Aerodrome sound reproduction Data recording of the associated data	ATS
Voice/data communication	Aeronautical mobile service (air-ground communications) Aeronautical fixed service (ground-ground communications) Surface movement control service (communications for the control of vehicles other than aircraft on manoeuvring areas at controlled ¹ aerodromes) Voice and data recording of the associated communication frequencies/data.	CNS
Manoeuvring and monitoring	Management of signal light gun Management of aerodrome lights Management of alarms Management of navigation aids Technical supervision	ATS

Tabla 2. Sistemas de RMT y RTOS

En la tabla 2, se expone en el “*Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services*”, donde se listan todos los sistemas que componen un módulo de torre remota y remarcado en azul, lo que componen el RTOS, el elemento distintivo con una torre convencional. El resto de los sistemas son comunes en ambos tipos de torres de control.

Los sistemas más importantes del RTOS son los siguientes:

- **Instalación de conjunto de cámaras** en el aeropuerto sobre una estructura elevada para obtener la mejor visión posible del área de movimientos. Instalación en otras zonas del aeropuerto como puntos ciegos o hotpots. Tipos de cámaras:
 - 1) Array de cámaras fijas, sustituyen el OTW
 - 2) Cámaras giratorias, para seguimiento de blancos móviles o búsqueda de FOD's
 - 3) Cámaras PTZ (Pan-Tilt Zoom), para acción de aumentar la visión, sustituyen los binoculares.
- **Instalación de micrófonos** en el aeropuerto, para obtener sonido ambiente en sala remota.
- **Sala de control remota**, sustituye al fanal de la torre convencional. Se presentan las vistas del aeropuerto mediante conjunto de pantallas que forman el videowall (las ventanas del fanal). Además, contiene conjunto de pantallas y demás equipamiento de comunicaciones y vigilancia, necesario para el servicio.

- **Sala CPD (Centro de Procesamiento de Datos).** Es el núcleo donde se procesan y gestionan los datos capturados por las cámaras y sensores remotos. Se encarga de:
 - 1) Procesar video en tiempo real para análisis y transmisión a los controladores.
 - 2) Almacenar y administrar datos críticos.
 - 3) Asegurar la redundancia y seguridad del sistema.

En las ilustraciones 7, 8, 9 y 10 se muestran algunas de las características técnicas y funcionalidades con las que debe cumplir una torre remota y que se han visto arriba (RTOS + resto de sistemas)

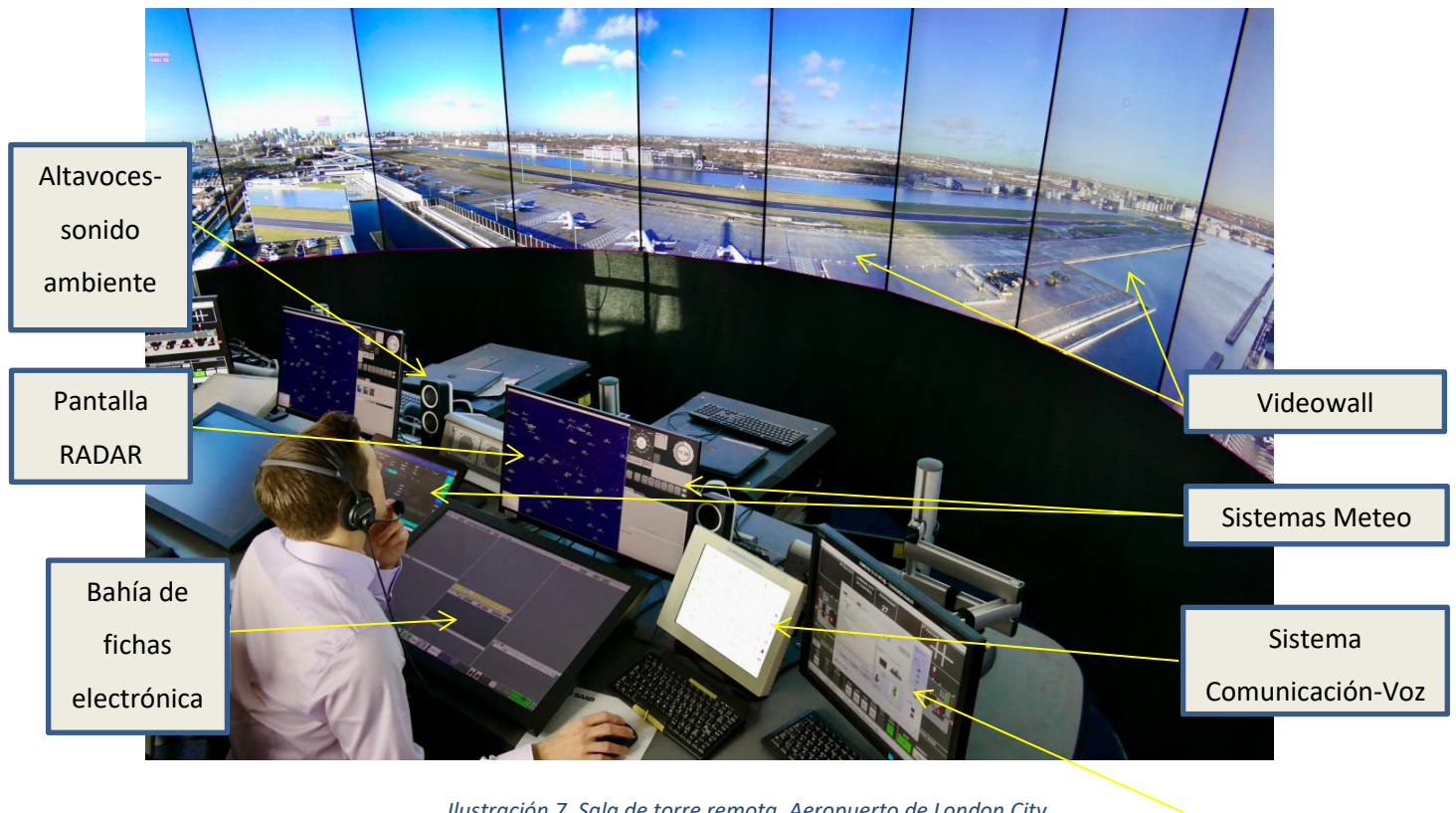


Ilustración 7. Sala de torre remota. Aeropuerto de London City



Ilustración 8. Detalles Videowall de torre remota. Aeropuerto de London City

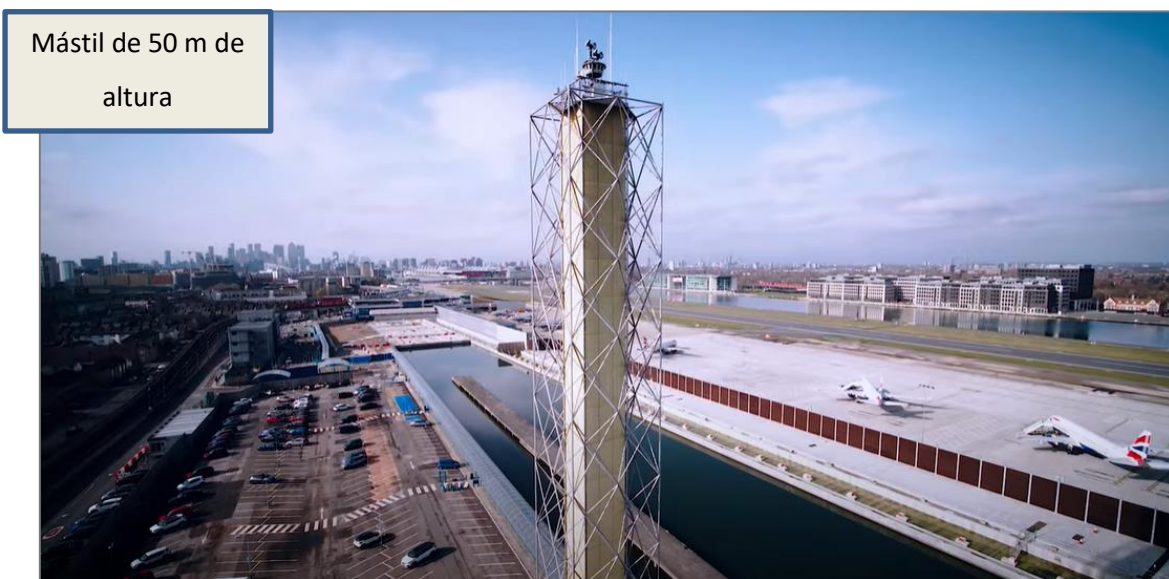


Ilustración 9. Figura X. Digital Air Traffic Control Tower. Aeropuerto de London City

16 cámaras fijas +
2 cámaras PTZ
encapsuladas



Ilustración 10. Array de cámaras fijas visión 360º y cámaras PTZ giratorias. Aeropuerto de London City

2.7. Torre Convencional versus Torre Remota

En este apartado se van a verter diferentes consideraciones en relación con los dos modelos de torre para concluir cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada uno.

2.7.1 Características físicas

Si partimos de las características físicas antes mencionadas de la torre convencional, para conseguir una visión completa del área de maniobras y vecindad del aeródromo, es necesario construir un fuste de altura suficiente. Esta estructura debe estar diseñada para soportar cargas eólicas, sísmicas y debe estar protegido frente a incendios. Adicionalmente, se le debe dotar de servicios de climatización, agua y electricidad que conllevan un mantenimiento asociado.

Realizando una comparativa con un módulo de torre remota, que no es necesario construir en altura, los costes son mucho menores. En una sala de 75-100m² se puede alojar todos los equipos necesarios para prestar servicio ATS a un aeródromo. Si el modo de operación fuera múltiple, donde se puede dar servicio no a uno, si no a varios aeródromos, el ahorro se multiplica. Por cerrar este punto, si se busca un modelo de Centro de Torres Remotas (RTC), hay que diseñar un complejo capaz de albergar diferentes salas, con necesidades parecidas a la torre convencional, aunque con la gran diferencia que se puede dar servicio a cuántos aeródromos se quiera. No hay que echar números para darse cuenta de que la inversión destinada en el aspecto constructivo, una torre remota parte con ventaja frente al modelo de torre convencional.

2.7.2 Afección al tamaño y la formación de la plantilla

Dependiendo del objetivo del cambio que se busque podemos encontrarnos con una nula o gran afección al tamaño de la plantilla, en función del modelo de RTM implementado. A continuación, vamos a exponer unos ejemplos:

La cantidad de personal necesario para un módulo de torre remota con modelo único de operación frente a una convencional es exactamente la misma. El cambio está la deslocalización del personal y en los sistemas del RTOS, pero no hay razones para reducir el tamaño de la plantilla. A priori, el número de movimientos en el aeródromo, y la carga de trabajo permanecerá invariable.

Si se busca un modelo de operación múltiple donde un operador podría dar servicio de manera simultánea a dos aeródromos, se puede hablar de un ahorro operativo. Sin embargo, este modo de operación implica unos efectos en materia de seguridad operacional y factores humanos que necesitan ser analizados con profundidad. Y de cara a la aprobación por parte de las autoridades, el modo múltiple de operación deberá ser sometido a un análisis de riesgos completo y riguroso, con las medidas de mitigación de riesgos y requisitos de seguridad suficientes para conseguir que el cambio en el modelo de operación sea igualmente seguro que antes.

Vamos a poner un ejemplo, modo de operación múltiple en un RTM donde se presta servicio ATS en dos aeródromos con baja densidad de tráfico, donde raramente coinciden dos movimientos simultáneos en el aeródromo. Aún con estas características, poniéndose en el lugar de un ATCO/AFISO, debe tener muy claro los procedimientos locales y aplicarlo de manera correcta y precisa en cada aeródromo cuando sea necesario, sin confusiones. Muy probablemente, podrían existir comunicaciones simultáneas de cada aeropuerto que afecten a la consciencia situacional del operador. A priori, con estas pinceladas, resulta todo un reto prestar un servicio seguro y eficiente en este modo de operación. Se quiere reseñar que, a fecha de este proyecto, no existen torres remotas con modo de operación múltiple.

Volviendo al tema del ahorro operativo en relación con el personal, dejando de lado el punto de vista más técnico, siempre que se baraja la idea de eliminar puestos de trabajo, la polémica y controversia están servidas. Dentro de la industria del sector aéreo, el gremio de controladores aéreos es fuerte y está coordinado en sindicatos grandes. Por lo que, quién se decida a proponer un modo de operación múltiple con afección a las plantillas, debe tener en cuenta este componente social, que muy probablemente aparecerá para resistirse al cambio.

Otro caso bien distinto sería la introducción de torres remotas en aeródromos pequeños sin servicio ATS que no pueden permitirse una inversión como para edificar una torre convencional. Sin embargo, con la implantación de una torre remota dentro de un RTC donde se diversifican los costes, es más probable que esta inversión pueda ser acometida. En este ejemplo concreto, la solución de una torre remota puede resultar beneficiosa en materia de seguridad operacional para aeródromos que no tenían servicio ATS y también ventajosa en aspectos socioeconómicos ya que, se está creando nuevos puestos de trabajo.

Se cierra la parte de afección al tamaño de la plantilla exponiendo un último ejemplo. Una sustitución de una torre convencional en un aeródromo situado en una zona agreste sin buena comunicación terrestre o en una isla pequeña por una torre remota (modo único de operación) ubicada cerca de un núcleo urbano de tamaño medio. En este ejemplo, claramente se busca una vertebración o cohesión de una región o territorio mediante el modo de transporte aéreo. La plantilla se mantendría, pero se desplazaría a una ciudad que, en teoría, ofrece más servicios al estar mejor comunicada. Este hecho puede suponer una rotación menor en la plantilla derivando en personal más experimentado y una operativa segura que ofrezca un servicio de mejor calidad.

En relación con la afección a la formación, los operadores deben aprender un nuevo modo de prestar servicio ATS, apoyándose 100% en los sistemas y basando sus decisiones en lo que ven a través de pantallas y escuchan a través de los altavoces. Deberán hacer frente a nuevos tipos de contingencia y dificultades, como, por ejemplo, el apagado de una pantalla o el uso de la interfaz para manejo de las cámaras PTZ.

Para minimizar errores en la relación del personal con los nuevos sistemas, es necesario realizar una formación adecuada y el personal deberá realizar una formación que le habilite a trabajar desde la torre remota. Por otro lado, la formación de capacitación deberá actualizarse también al nuevo modo de trabajo.

2.7.3 Equipamiento

Desde el punto de vista del equipamiento, como se ha dicho anteriormente, el elemento diferenciador es el sistema RTOS. En una torre convencional los operadores utilizarán su propia visión a través de la ventana para el servicio efectivo ATS y en cambio, en una torre remota, este servicio dependerá totalmente de un compendio de elementos; un conjunto de cámaras y

micrófonos dispuestos en el aeródromo, un conjunto de pantallas instaladas en la sala y las interfaces para poder trabajar con el sistema. Sin olvidar el centro de procesamiento de datos, esencial para que la imagen sea de calidad y fidedigna a la realidad.

Por ello se puede concluir varias consideraciones. En primer lugar, la inversión en equipos y sistemas es mayor que una torre convencional debido a la instalación del RTOS que sustituye a la visión directa de los operadores. Estos sistemas también requieren un mantenimiento, por lo que es necesario una plantilla especializada en RTOS que permita un funcionamiento correcto y continuo.

Por otro lado, el operador depende totalmente de sistemas y equipos. Esto no es algo del todo novedoso, ya que el servicio ATS prestado en fase de ruta se realiza desde un ACC, es decir, una sala cerrada sin línea directa de vista con las aeronaves. Sin embargo, el control de aeródromo o servicio AFIS, siempre ha necesitado la cercanía del operador sobre el espacio aéreo asociado.

Esto implica que, si fallara una cámara, una pantalla, o la imagen tuviera un retraso de 5 segundos puede derivarse en una interrupción del servicio o una decisión basada en datos corruptos, lo cual podría ser un riesgo para la seguridad de las operaciones. En las torres convencionales, algo similar podría ocurrir si el operador se sintiera indispuesto (algo que está monitorizado por medio de certificados médicos). En una torre remota, se tienen dos posibilidades, el problema médico del operador y la falla de un sistema asociado al RTOS.

Es necesario considerar, los efectos del sistema RTOS en el operador en cuanto a factores humanos. En la torre remota, existen interfaces para controlar las cámaras giratorias o pistola de señales. Realizar acciones como seguir a un blanco, quitar o añadir zoom, requiere una formación y pericia, además de un aumento de la carga de trabajo, que en el modelo convencional no existe. También, la disposición de todos los elementos en la sala, buscando una ergonomía debe ser analizada. Todas estas cuestiones deben recogerse en un estudio de factores humanos del que se derive unos requisitos de seguridad que se aplicarán en el diseño posterior de la torre.

Por último, se quiere hacer mención especial al videowall, formado por un conjunto de pantallas dispuestas de manera continua y que pretenden sustituir los ventanales del fanal de una torre convencional.

Estas soluciones muchas veces no forman una ventana continua de 360º, si no que la imagen que antes tenían los operadores se adapta a un ángulo menor de 120-220º en algunos casos de torres remotas operando actualmente. Esto implica un achatamiento que deforma la imagen pudiendo afectar a la capacidad de detección de aeronaves, vehículos o FODs por parte del operador.

Otro de los retos a abordar en una torre remota, es el cosido o "stitching" en el videowall. Este concepto se refiere al proceso de unir o combinar imágenes o videos provenientes de diferentes fuentes o cámaras para crear una vista continua y sin interrupciones en el videowall.

La elección entre una torre remota o una torre convencional depende de varios factores relacionados con las necesidades operativas del aeropuerto, el presupuesto disponible, el volumen de tráfico aéreo y las características tecnológicas y geográficas del lugar. A continuación, se resumen las ventajas y desventajas de cada modelo. En el siguiente apartado, se sintetiza las ventajas y desventajas que se han ido dilucidando a lo largo de este punto.

2.8 Torre remota. Fortalezas y debilidades

Recomendada para aeropuertos pequeños, regionales o con tráfico moderado, donde los costos operativos y de mantenimiento son una prioridad. También es útil en lugares donde construir una torre convencional sería muy costoso y poco práctico.

2.8.1 Fortalezas

1.Reducción de costos

- Las torres remotas eliminan la necesidad de construir y mantener una torre física en el aeropuerto, lo cual supone una reducción de gastos tanto en infraestructura como en personal.
- Un solo centro de control remoto puede gestionar múltiples aeropuertos desde una ubicación centralizada, optimizando así los recursos humanos y operativos.

2.Mayor flexibilidad operativa

- Ante un modo de operación múltiple donde un operador pudiera prestar servicio ATS en periodos de baja densidad de tráfico.

3.Implementación de tecnología avanzada

- Existen nuevas funcionalidades que dan apoyo a la prestación del servicio ATS del operador.

4. Ampliación de servicios a aeropuertos pequeños y zonas remotas

- Las torres remotas hacen económicamente viable ofrecer servicios de control de tráfico aéreo en aeropuertos pequeños o de menor actividad, que tradicionalmente no contarían con una torre convencional debido a su costo.
- Esto permite ampliar la cobertura de servicios a más aeropuertos, fomentando el desarrollo económico y la conectividad regional.
- Vertebración y cohesión del territorio en zonas con difícil orografía o islas.

5. Facilidad de Mantenimiento y Actualización

- Los sistemas digitales en torres remotas pueden actualizarse y mejorarse de manera más sencilla en comparación con los sistemas de torres físicas.
- Los equipos de mantenimiento pueden monitorear y reparar sistemas de manera remota o con un despliegue mínimo de personal, reduciendo el tiempo de inactividad en la operación.

2.8.2 Debilidades

1. Gran dependencia de sistemas y equipos

- El operador de torre remota depende totalmente de los sistemas para prestar servicio ATS. Para ello la exigencia técnica a los equipos debe ser muy alta y debe contar con la redundancia y capas de seguridad necesarias.

2. Afección al operador y la plantilla

- La plantilla puede verse afectada reduciéndose o desplazándose a otra ubicación con implicaciones de diferente consideración.
- El sistema RTOS cambia notablemente la manera de operar por lo que debe analizarse profundamente y realizar las validaciones adecuadas antes de ponerse en servicio.
- El modo de trabajo cambia notablemente desde una torre remota. El personal debe entender el funcionamiento de los nuevos sistemas y acostumbrarse a observar las pantallas. Por ello, el personal deberá realizar una formación de habilitación para obtener la anotación de la nueva unidad. Además, la formación de capacitación se verá afectada, deberá modificarse.
- Afección al modo de trabajo del operador ATS, con el riesgo de fallos o errores en momentos puntuales relacionados con el manejo de los nuevos sistemas.

3. Inversión inicial alta en equipamiento y personal ATSEP especializado

- Un RMT está compuesto por múltiples sistemas y equipos, por lo que la inversión inicial es muy alta en esta partida. Además, requiere de una plantilla con formación específica para mantener y dar servicio a este equipamiento.

2.9 Torre convencional. Fortalezas y debilidades

Recomendada para aeropuertos grandes, con tráfico denso o complejo, donde la percepción directa, la comunicación inmediata y la resiliencia tecnológica son esenciales.

2.9.1 Fortalezas

1. Conexión directa con el entorno del aeropuerto

- Mayor percepción situacional: Los controladores tienen una vista directa del aeropuerto y su entorno, lo que facilita identificar cambios rápidos o imprevistos, como condiciones meteorológicas locales extremas, movimientos inusuales o emergencias. Se toman decisiones basadas en percepciones sensoriales sin depender de elementos tecnológicos.

2. Menor dependencia tecnológica

- Las torres convencionales no necesitan infraestructura compleja de transmisión de datos. Tampoco dependen tanto de cámaras, sensores u otras tecnologías que pueden fallar o requerir mantenimiento. Esto reduce la posibilidad de interrupciones debidas a problemas de red ancho de banda, interferencias o latencia.

3. Menor impacto en la formación

- Para los controladores, trabajar en una torre convencional puede ser más intuitivo y menos demandante tecnológicamente, ya que no requiere adaptación a interfaces avanzadas o sistemas de cámaras.

2.9.2 Debilidades

1. Alto coste de edificación

- Una torre de control convencional es una estructura esbelta pero resistente a diferentes eventos meteorológicos y otras situaciones que hace necesario unos procesos y materiales de construcción que elevan su coste.

2. Alto coste operativo

- Las torres convencionales pueden tener costos operativos más altos debido a la necesidad de personal de mantenimiento, así como consumo energético elevado.

3. IMPLANTACIÓN DE TORRE REMOTA EN EL AEROPUERTO DE EL HIERRO

En este apartado se quiere abordar la implementación de un módulo de torre remota con modelo único de operación en un aeropuerto pequeño como es el de la isla de El Hierro. Para poder realizarlo con cierto criterio y rigor técnico, se seguirán los pasos expuestos en el **Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services** (julio de 2020), de EASA. Además, el proyecto se apoyará en otro tipo de documentos técnicos que se irán mencionando cuando apliquen.

3.0 Alcance del documento

El proyecto de implantación de una torre remota es un trabajo muy extenso, que genera un gran número de documentos y abarca campos diferentes como operaciones ATS, sistemas CNS y ATS, seguridad, ciberseguridad y factores humanos, entre otros. Por lo tanto, es necesario limitar el alcance de este trabajo, ya que excedería con creces las dimensiones que debe tener un proyecto de máster universitario. El objetivo de la segunda parte del trabajo es transmitir al lector cuáles son los pasos que dar para llevar a cabo este plan de implantación y focalizarse en algunos de los más importantes. A continuación, se listan los puntos en los que este proyecto va a centrarse:

1. ***Elección de la configuración y sus características de la torre remota en base a:***
 - a) *Contexto Operativo: Características del aeródromo*
 - b) *Contexto Operativo: Densidad y complejidad de tráfico*
2. ***Desarrollo de requisitos visuales operativos para videowall y función binocular en base a:***
 - a) *Requisitos normativos primarios directos e indirectos, así como otras necesidades operativas*
3. ***Análisis de emplazamiento, ubicación y número de cámaras en el aeródromo para cumplir con los requisitos visuales operativos***

Trasladado de manera muy resumida, con el análisis del contexto local del aeropuerto, se obtendrán unos requisitos visuales para aplicar en el diseño de la torre remota y finalmente se podrá definir unas características del RMT (una ubicación, dimensiones, calidad del videowall y número de cámaras a instalar en el aeropuerto).

La realidad es algo más compleja, es necesario obtener requisitos de muchas otras fuentes, no sólo los visuales u operacionales. Existen requisitos técnicos asociados a un sinfín de sistemas, requisitos

de factores humanos, de formación y capacitación de la plantilla. Todos estos requisitos deben estar soportados en un estudio de seguridad, uno de los documentos más importantes de un proyecto de implantación de torre remota.

Además, la importancia del estudio de seguridad se encuentra en que debe contener todo el proceso de gestión del cambio asociado a un cambio en navegación aérea que afecte a la seguridad de las operaciones, como es este caso.

La **gestión del riesgo** implica identificar, analizar, evaluar y mitigar los riesgos asociados con un cambio propuesto en la navegación aérea. Se enfoca en garantizar que el cambio no introduzca peligros que puedan afectar la seguridad o la continuidad de las operaciones.

Objetivos:

1. Identificar los riesgos potenciales relacionados con el cambio.
2. Evaluar el impacto de esos riesgos en la seguridad y operaciones.
3. Diseñar estrategias para mitigar, controlar o aceptar riesgos de forma controlada. **Requisitos de seguridad**
4. Supervisar continuamente los riesgos una vez implementado el cambio.

Por otro lado, el ANSP estará obligado a notificar el cambio a la autoridad competente. Y no podrá implementarse el mismo hasta que la autoridad no lo apruebe.

Todos estos procedimientos están recogidos el **Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373**

3.1 Supuesto práctico

El Gestor Aeroportuario (en adelante, GA) ha solicitado al Proveedor de Servicio de Navegación Aérea (en adelante, ANSP) del aeropuerto de El Hierro (GCHI), la implantación de una Torre Remota ubicada en el Aeropuerto de Tenerife Norte (GCXO).

Durante los últimos años, se han dado ocasiones aisladas en que el ANSP no ha podido prestar servicio ATS dentro del horario operativo del aeropuerto por incomparecencia del ATCO/AFISO a su turno de trabajo. El ATCO/AFISO de servicio se encontraba indispuesto y al llamar al operador de guardia no se encontraba en la isla. El procedimiento de la empresa indica que debe estar localizable y no más de una hora del aeropuerto. Se concluye fácilmente, que es una ausencia injustificada por parte del

empleado. Estos eventos han ocasionado afección operativa al aeropuerto con retrasos o cancelaciones de vuelos y finalmente unas pérdidas económicas al GA y de prestigio.

Este hecho ha motivado, en parte, la decisión del GA de trasladar el servicio ATS a la isla de Tenerife, que es más grande y cuenta con más servicios para mejor comodidad y conciliación de los empleados que la pequeña isla de El Hierro, con el objetivo de frenar esas incomparecencias en el puesto de trabajo.

Sin embargo, este motivo no justifica por sí solo el despliegue de recursos necesarios para la consecución de este proyecto. Los motivos de peso que apoyan la implantación de una torre remota en la isla de El Hierro son los siguientes:

- Ahorro operativo con la edificación de un RTC (Centro de Torres Remotas) donde poder trasladar el servicio ATS de otros aeropuertos canarios.
- Prestigio. Otros gestores aeroportuarios tienen ya una o varias torres remotas desplegadas y operando.
- Estratégico. El GA cree necesario adquirir experiencia en este proyecto para poder exportarlo como línea de negocio.

NOTA: *Se quiere dejar indicado que este supuesto, es un producto de la invención y si guarda algún parecido con la realidad, es totalmente casual.*

3.2 Documentos guía para la implementación de una torre remota

3.2.1 ED 2019/004/R-Remote Aerodrome Air Traffic Service

La implementación de una torre remota, aún en día, resulta un proyecto desafiante, pionero en muchos países e innovador que obliga a reunir equipos multidisciplinares y afecta a gestor aeroportuario, proveedores de navegación aérea y CNS, sistemas ATS y autoridades.

Por ello, la elección de las funcionalidades del módulo de torre remota, el diseño, disposición de los equipos en sala, la elección de cámaras y su ubicación en el aeródromo no es algo que debe tomarse a la ligera, sino que debe ser resultado del análisis y evaluación de muchos factores.

En anteriores apartados, se ha comentado que no existe un marco normativo de obligado cumplimiento todavía, por lo que para llevar a cabo este tipo de proyectos se suelen consultar varios documentos, todos ellos con contenido generado de la experiencia ganada en la puesta en marcha de torres remotas y elaborados por la industria de sistemas de RTOS, proveedores de servicio de navegación aérea y autoridades.

Una fuente que se quiere citar y que va a ser referencia en este trabajo es el **ED 2019/004/R-Remote Aerodrome Air Traffic Service**, de EUROCAE y que viene recogido en el **Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services** (julio de 2020). En él se enumeran una lista de los aspectos importantes a considerar al implementar en Torres Remotas.

El objetivo de realización de los siguientes puntos es la conclusión de unas necesidades y unos requisitos técnicos y de seguridad, que deberán dar forma a la torre remota para que preste servicio ATS con la misma seguridad y eficiencia que antes del cambio. Estos outputs generados, se transformarán en requisitos de diseño y funcionalidades que necesitará la RMT, procedimientos operativos locales y cursos de formación específicos para el ATCO/AFISO (de unidad y capacitación), etc.

3.2.1.1 Checklist Implementación de Torre Remota, según ED 2019/004/R-Remote aerodrome air traffic service, de EUROCAE

1. Elección de la configuración y sus características de la torre remota en base a:

- a) Contexto Operativo: Características del aeródromo
- b) Contexto Operativo: Densidad y complejidad de tráfico
- c) Requisitos y necesidades derivadas de evaluaciones de seguridad, protección y de factores humanos

2. **Desarrollo de requisitos visuales operativos para videowall y función binocular en base a:**
 - a) Requisitos normativos primarios directos e indirectos, así como otras necesidades operativas
3. **Análisis de emplazamiento, ubicación y número de cámaras en el aeródromo para cumplir con los requisitos visuales operativos**
4. **Implementación de equipos de grabación de datos para investigaciones de incidentes**
5. **Análisis de afección por el cambio de las interfaces/dependencias colaterales o partes interesadas.**
6. **Evaluación del impacto en tareas existentes y nuevas, y la necesidad de una posible reasignación de tareas, con especial referencia a tareas de:**
 - a) ATS
 - b) GA
 - c) MET
 - d) AIS
 - e) Mantenimiento
7. **Estudio de Factores Humanos, incluyendo análisis del entorno laboral y ergonomía**
8. **Estudio de Riesgos de Seguridad**
9. **División del sistema técnico ATS en torres remotas en componentes, de acuerdo al Reglamento de Interoperabilidad**
10. **Plan de Transición para trasladar el servicio de torre convencional a torre remota con la menor afección operativa. Diseñado entre GA y ANSP**
11. **Desarrollo de un Plan de Contingencia**
12. **Revisión y actualización de los requisitos de capacitación del personal ATS (ATC/AFIS)**

3.2.2 ED-240B-Minimum Aviation System Performance Standard For Remote Tower Optical Systems

Otros de los documentos referentes en este trabajo es el **ED-240B-Minimum Aviation System Performance Standard for Remote Tower Optical Systems, de EUROCAE**. Este documento fue elaborado en base al conocimiento adquirido de las instalaciones de torre remota existentes, así como los últimos resultados de proyectos de investigación de SESAR.

Se elaboró como un medio para garantizar que un sistema RTOS y cada uno de sus subsistemas desempeñen satisfactoriamente las funciones previstas. Está diseñado para ser utilizado por

diseñadores de equipos, reguladores, fabricantes, instaladores, proveedores de servicios y operadores.

El **ED-240B** contiene las Normas de rendimiento mínimas que debe tener un sistema RTOS. Se aplica a cuatro bloques principales:

- **Optical System:** Especifica el rendimiento de toda la cadena “glass-to-glass” que compone la presentación visual del RTM. Incluye todos los sensores ópticos en el aeropuerto y el VideoWall. La configuración específica queda a criterio de cada implementación.
- **Visual Tracking (funcionalidad avanzada):** Los objetos en movimiento pueden resaltarse mediante símbolos superpuestos en las imágenes del OSP para mejorar la conciencia situacional del operador. Este documento especifica el rendimiento completo de esta función de seguimiento visual basada en sensores ópticos.
- **PTZ Object following (funcionalidad avanzada):** Opcionalmente, se puede implementar una función de seguimiento automático que oriente la cámara PTZ para mantener un objeto en movimiento centrado en la vista. Este documento especifica el rendimiento integral de esta función desde los sensores ópticos hasta la presentación visual.
- **Non-Optical Surveillance Sensors (funcionalidad avanzada):** La presentación visual puede mejorarse integrando información de sensores de vigilancia no ópticos. Este documento aborda consideraciones operativas sobre la integración de dicha información en el OSP y en funciones asociadas a los sensores ópticos, como el seguimiento automático con cámara PTZ.

Dado que cada aeródromo tiene características únicas y los servicios que ofrecen varían en alcance, es fundamental comprender adecuadamente el contexto operativo de un RTOS. Además, también es esencial entender el papel de la aceptación por parte del operador al diseñar e implementar los RTOS. A continuación, se describen las consideraciones:

3.2.2.1 Dependencia del contexto Operacional

El **ED-240B** expone que al definir un RTOS, los requisitos de rendimiento están influenciados por el contexto operativo del aeropuerto y sus necesidades operativas relacionadas, que incluyen entre otros, los siguientes factores:

- **Densidad de tráfico**
- **Características del tráfico aéreo (VFR/IFR, tráficos militares, helicópteros)**
- **Orografía del terreno**
- **Características del espacio aéreo (clasificación, servicio ATS)**

- **Diseño del aeródromo**
- **Rol del Operador (AFIS/ATCO)**
- **Procedimientos Locales**

3.2.2.2 Verificación del Rendimiento y Aceptación por parte del Operador

La capacidad de los operadores del RTOS para realizar sus tareas, y por lo tanto el rendimiento del RTOS en su conjunto, está directamente influenciada por la calidad de las imágenes de los sensores ópticos mostradas y la Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Sin embargo, la cognición humana y los aspectos multidimensionales del rendimiento y los entornos operacionales son extremadamente complejos y frecuentemente no cuantificables solo por valores técnicos de rendimiento. Existe la necesidad de una determinación subjetiva, que se evalúa a través de la aceptación del operador. Por lo tanto, la verificación del rendimiento incluye elementos de evaluación subjetiva por parte de los operadores que utilizarán el sistema.

La experiencia con las primeras instalaciones de Torres Remotas ha mostrado que involucrar a los operadores desde las primeras etapas de su planificación es crucial para garantizar su aceptación final. Como parte de las pruebas de aceptación y actividades de puesta en marcha del sistema, los operadores evaluarán su capacidad para realizar sus tareas basándose en la observación de la Presentación Visual en su puesto de trabajo. El objetivo es validar:

- Su capacidad para detectar y reconocer objetos según lo especificado por ellos en términos de Áreas de Interés (Aoi) y Objetos de Interés (Ooi).
- Otros requisitos visuales documentados como parte del proceso de adquisición.
- Herramientas/sistemas de apoyo en la Presentación Visual aumentada, como una pantalla de "imagen dentro de la imagen" de la imagen del sensor PTZ y la augmentación de objetos asociada a la función de seguimiento visual.
- Las características generales de la Presentación Visual.
- Cómo la Presentación Visual funciona con otras herramientas y procedimientos de ATS.

Estas son validaciones subjetivas realizadas por operadores expertos. Por lo tanto, el procedimiento de validación debe ser cuidadosamente planeado y ejecutado, siendo una parte importante del proceso de gestión de cambios del sistema. Se debe considerar cómo abordar las pruebas de aceptación, la puesta en marcha del sistema y la gestión de cambios lo antes posible, y debe hacerse en estrecha cooperación con todas las partes interesadas.

3.2.2.3 Requisitos de Rendimiento del Sistema Óptico y Verificación

Una vez que los operadores/proveedores de servicios hayan especificado lo que deben ser capaces de detectar/reconocer como Áreas de Interés (Aol) y Objetos de Interés (Ool), y qué función de seguimiento visual opcional debe realizar el seguimiento es necesario diseñar la configuración del RTOS (número y ubicación de los sensores) y determinar los rendimientos técnicos del sistema necesarios para satisfacer esos requisitos operacionales.

Para evaluar una configuración de RTOS, el enfoque de este MASPS es que el implementador del sistema derive de los requisitos especificados por el operador los casos más desafiantes de tamaño y distancia de los objetos como criterios de Rendimiento en Rango de Detección y Reconocimiento (DRRP), que luego podrán ser verificados en pruebas técnicas del sistema en condiciones ambientales de referencia fijas.

3.2.2.4 Pruebas de Aceptación Operacional

El enfoque para obtener la aceptación operacional debe reconocer que el implementador del sistema ha utilizado los diversos requisitos documentados de las partes interesadas para especificar una solución técnica del sistema. Dado que los requisitos provienen de diversas fuentes (operadores, proveedores de servicios, reguladores, etc.), con posibles entendimientos diferentes o incompletos de las capacidades técnicas, costos, limitaciones y compensaciones, existe el riesgo de que los requisitos sean inconsistentes, excesivamente especificados, difíciles de satisfacer dentro del presupuesto del sistema y de verificar. Tras el inicio del proyecto, el implementador del sistema debe trabajar estrechamente con el operador/proveedor de servicios para producir un sistema que pase la validación operacional, posiblemente con adaptaciones técnicas o procedimentales para algunas limitaciones.

La prueba de aceptación operacional es un proceso que se realiza como parte de las pruebas de aceptación del sitio/puesta en marcha, cuando el operador/proveedor de servicios valida que la provisión del servicio previsto se puede realizar en el entorno operativo. Las herramientas de apoyo como las comunicaciones, la tabla de progreso de vuelos, el radar y los procedimientos operativos, incluidos los "reglamentos locales", deben estar en su lugar. Es importante que los operadores comprendan que deben validar el RTOS como un componente del sistema funcional completo utilizado para ofrecer sus servicios. Las actividades pueden incluir diferentes fases, como el uso de video pregrabado, operación en "modo sombra" y ensayos operacionales en vivo. Las actividades pueden requerir períodos de tiempo extendidos (días o incluso meses) para validar el sistema bajo

toda la gama de escenarios de tráfico y circunstancias operacionales, incluidas las condiciones variables de iluminación, clima e incluso estacionales.

El proceso de aceptación por parte del operador también es una parte importante del caso de seguridad del sistema funcional, y la experiencia adquirida a menudo da lugar a procedimientos y entrenamientos modificados.

3.3 Contexto Operativo

En base al **EI ED-240B** se va a realizar un análisis del contexto operativo del aeropuerto de El Hierro, con el objetivo de obtener unos requisitos a imponer al sistema de torre remota en forma de criterios de diseño.

3.3.1 Características del aeródromo. Espacio aéreo y circuito de tráfico asociados

En la actualidad el aeropuerto ocupa aproximadamente 36 hectáreas, pertenecientes al término municipal de Valverde. El punto de referencia del aeródromo (ERP) se encuentra localizado sobre el eje de la pista 16-34, en su punto medio, a una altitud de 28,075 m.

La temperatura de referencia es de 27º C y su elevación de 32 m/106 ft. La categoría del aeródromo es 2C y clasificado como aeropuerto de interés general.

3.3.1.1 Relieve y características del terreno del aeropuerto

El Hierro, al igual que el resto de las islas Canarias, está formada por un apilamiento de materiales volcánicos, con su base en el fondo del océano, a unos 3.500 metros de profundidad. Como consecuencia del ascenso y emisión del magma, la isla se ha conformado según tres ejes estructurales que convergen en el centro de la isla, formando un ángulo de 120º. El aeropuerto se encuentra en la Vertiente Nororiental.



Ilustración 11. Ubicación del aeropuerto en la isla de El Hierro. Fuente AENA

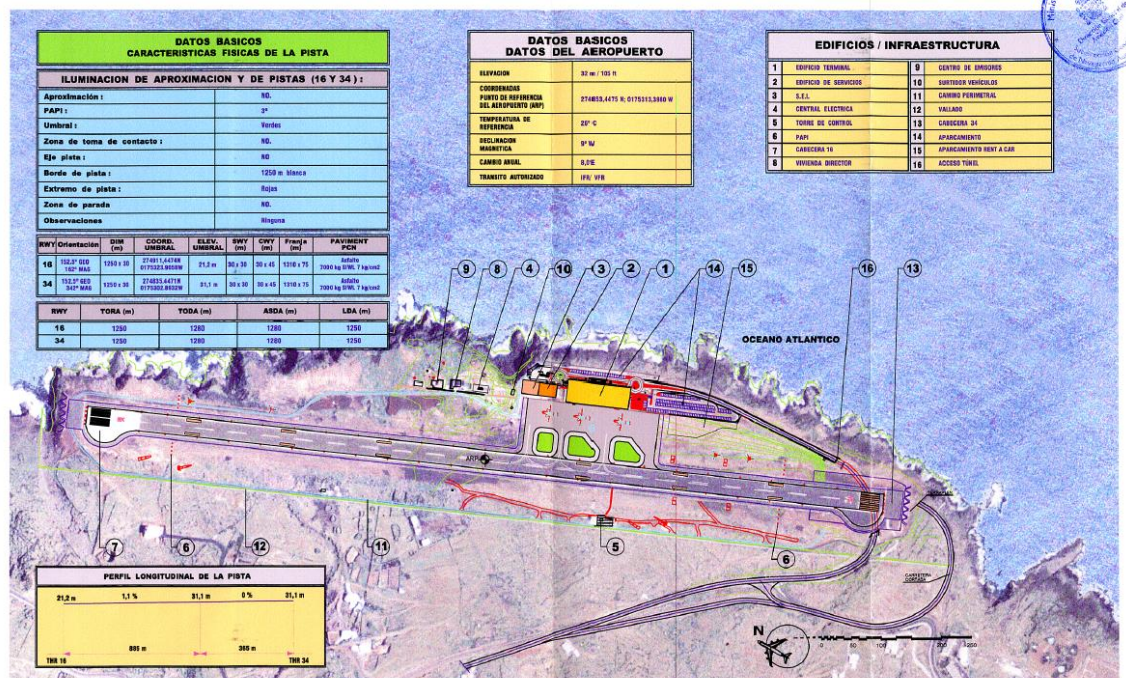


Ilustración 12. Ubicación y plano de aeropuerto de El Hierro. Fuente AENA

No existe en la isla ningún curso de agua permanente y los nacientes naturales no sólo son escasos, sino también exigüos en caudal a causa de la ausencia en el subsuelo de capas impermeables extensas y de espesor suficiente para retener el agua.

La orografía propia de la isla podría generar problemas de cobertura radio para aeronaves que se encuentren en el lado opuesto de la isla respecto al cual está situado el aeropuerto. Desde GCCC ACC también se podría presentar algún problema de cobertura.

3.3.1.2 Horario operativo del aeropuerto

- V: 0710-1700 EXC JUL, AUG y SEP 0710-1800, PS 90 MIN.
- I: 0810-1800.

PS 90 MIN (Permiso Previo Requerido de 90 min)

3.3.1.3 Servicio ATS

Único aeródromo en España con Servicio de Control y servicio AFIS.

- **HR AFIS:** SAT y SUN: HR AD. (2)
- **HR TWR:** De MON a FRI: HR AD. (2)

PS 90 MIN PPR (Permiso Previo Requerido de 90 min)

3.3.1.4 Características físicas de la pista

El aeropuerto cuenta con una pista de 1250 m (equivalentes a una longitud básica de 1.064 metros) por 30 metros de ancho y pavimento asfáltico, certificada como pista visual por lo que solo en condiciones de VMC se puede operar en el aeropuerto. La orientación magnética de la pista 16 es 162°, y la de la pista 34 es 342°. El avión determinante para ambas cabeceras es el ATR-72. En las cabeceras se encuentran localizados sendos ensanchamientos o raquetas normalizadas para permitir el giro de 180° a las aeronaves en sus maniobras en los extremos de la pista de vuelo. La pista no dispone de márgenes pavimentados laterales y está situada en una franja de 1.310 m x 75 m.

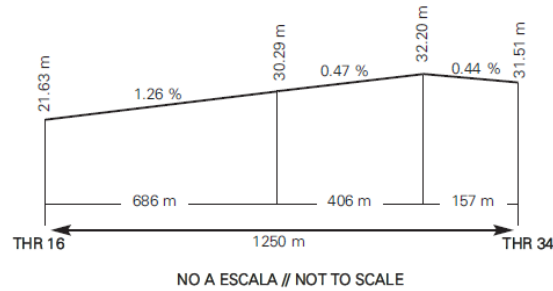
12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PISTA										RUNWAY PHYSICAL CHARACTERISTICS	
RWY	Orientación Direction	DIM (m)	THR PSN	THR ELEV TDZ ELEV	SWY (m)	CWY (m)	Franja (m) Strip (m)	OFZ	RESA (m)	RWY/SWY SFC PCN	
16	152.57° GEO 158° MAG	1250 x 30	274911.46N 0175323.91W	THR: 22 m / 71 ft TDZ: No	No	No	1310 x 75	No	No	RWY: ASPH PCN 26/F/A/W/T (1) SWY: No	
34	332.57° GEO 338° MAG	1250 x 30	274835.43N 0175302.89W	THR: 32 m / 103 ft TDZ: No	No	No	1310 x 75	No	No	RWY: ASPH PCN 26/F/A/W/T (1) SWY: No	

Observaciones: (1) Primeros 85 m RWY 16 PCN 42/R/C/W/T.
Primeros 150 m RWY 34 PCN 11/F/A/W/T.

Remarks: (1) First 85 m RWY 16 PCN 42/R/C/W/T.
First 150 m RWY 34 PCN 11/F/A/W/T.

Perfil:

Profile:



13. DISTANCIAS DECLARADAS					DECLARED DISTANCES				
RWY	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)	RWY	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
16	1250	1250	1250	1250	16	1250	1250	1250	1250
34	1250	1250	1250	1250	34	1250	1250	1250	1250

Observaciones: Ninguna.

Remarks: None.

Ilustración 13. Características pista de vuelo, AIP GCHI (WEF 02-NOV-23)

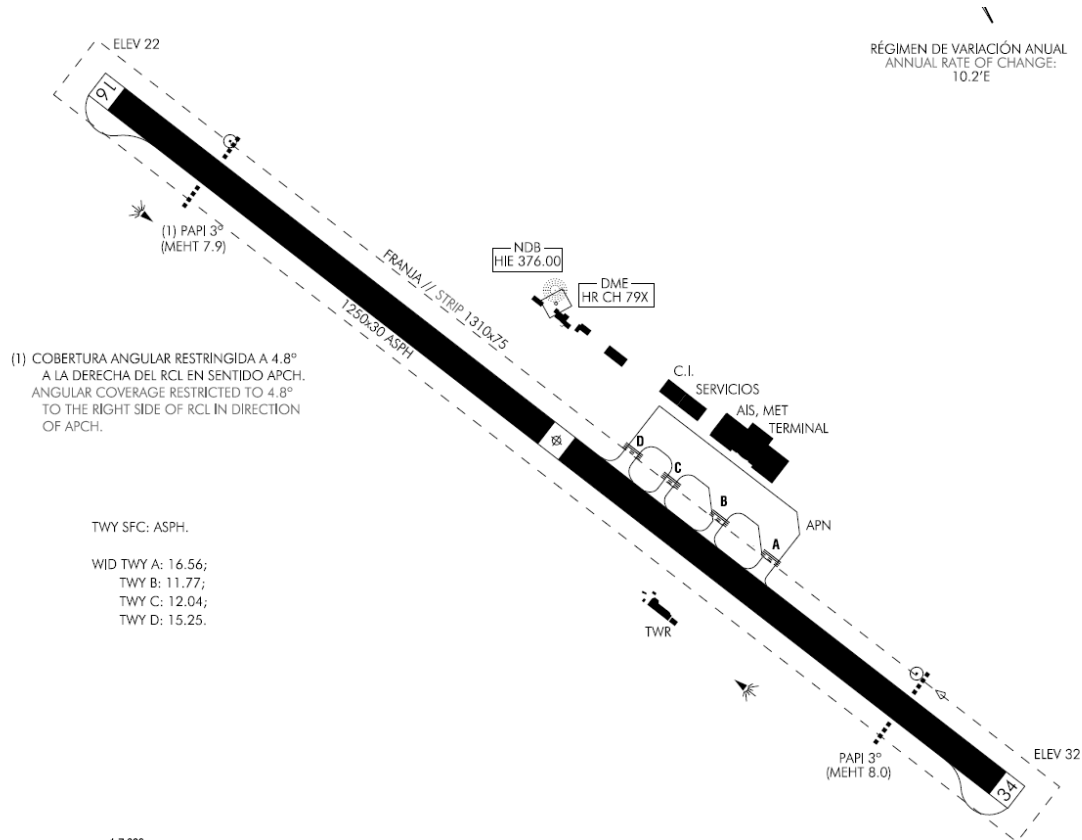


Ilustración 14. Plano Área de Maniobras, AIP GCHI (WEF 02-NOV-23)

3.3.1.5 Características físicas calles de rodaje

Dispone de cuatro calles de salida/acceso a pista, todas ellas ortogonales, realizándose los accesos a las cabeceras por ellas y posterior rodaje por pista. No existe calle de rodaje paralela a pista de vuelo. Las calles de salida/acceso a pista disponen de márgenes pavimentados de 7,5 m de ancho a ambos lados.

3.3.1.6 Plataforma de estacionamiento

La plataforma de estacionamiento de aeronaves con 13.500 m², de planta rectangular, tiene unas dimensiones aproximadas de 219 x 61,5 metros, estando construida en hormigón asfáltico. Dispone de cuatro calles paralelas de acceso/salida a pista de vuelo perpendiculares a ésta. Está equipada con luces de borde de plataforma y dos torres "mega" de iluminación. A lo largo de todo su perímetro se encuentra rodeada por un margen de 6 metros de ancho, ejecutado en hormigón asfáltico, que a su vez puede realizar funciones de vía de servicio.

Dispone con 3 puestos de estacionamiento, de uso simultáneo, para aeronaves de envergadura máxima tipo ATR-72: 1, 1A, 2, 2A, 3 Y 3A

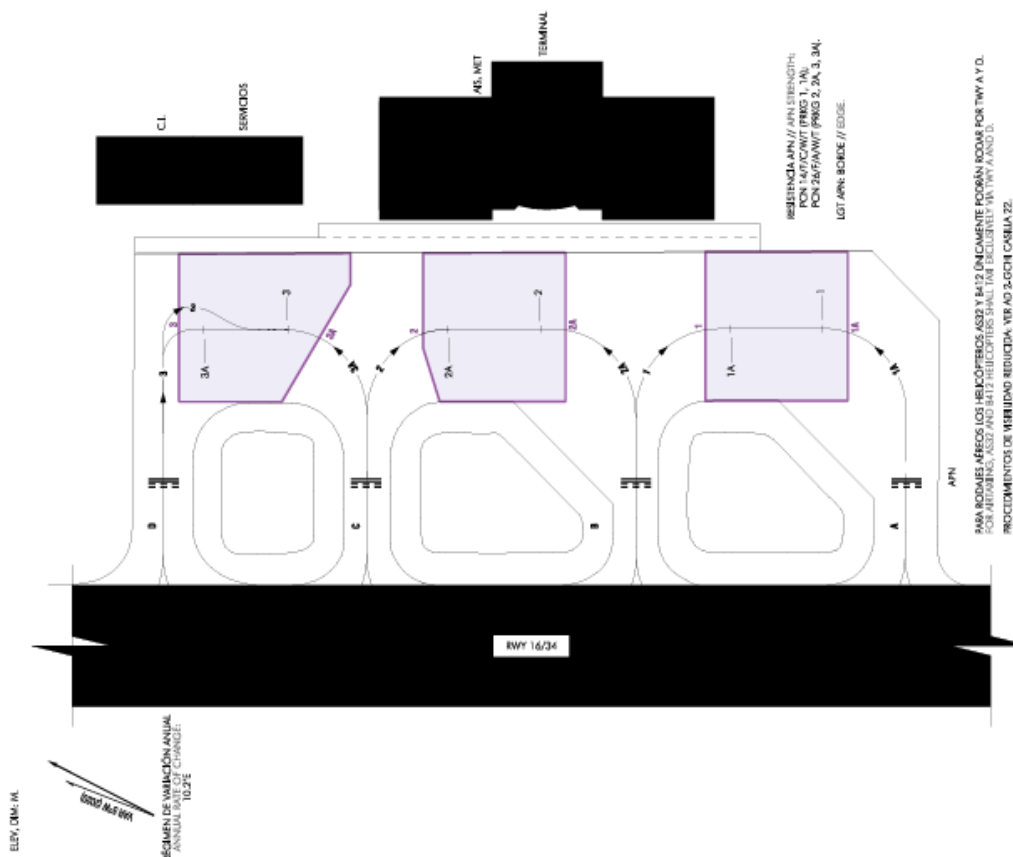


Ilustración 15. Plano Plataforma y calles de rodaje. PDC 1, AIP GCHI.

3.3.1.7 Espacio aéreo ATS

El Aeropuerto de El Hierro (GCHI) está integrado en el FIR/UIR Canarias y en el TMA de Canarias.

El volumen aéreo asociado al aeródromo cuenta con la particularidad de que dependiendo del servicio ATS prestado, es FIZ los fines de semana (AFIS) o CTR lunes-viernes. La clase de espacio aéreo es G y D, respectivamente. En cuanto a dimensiones son idénticas como se puede apreciar en la siguiente figura de abajo. Se permiten procedimientos IFR y VFR en el aeropuerto.

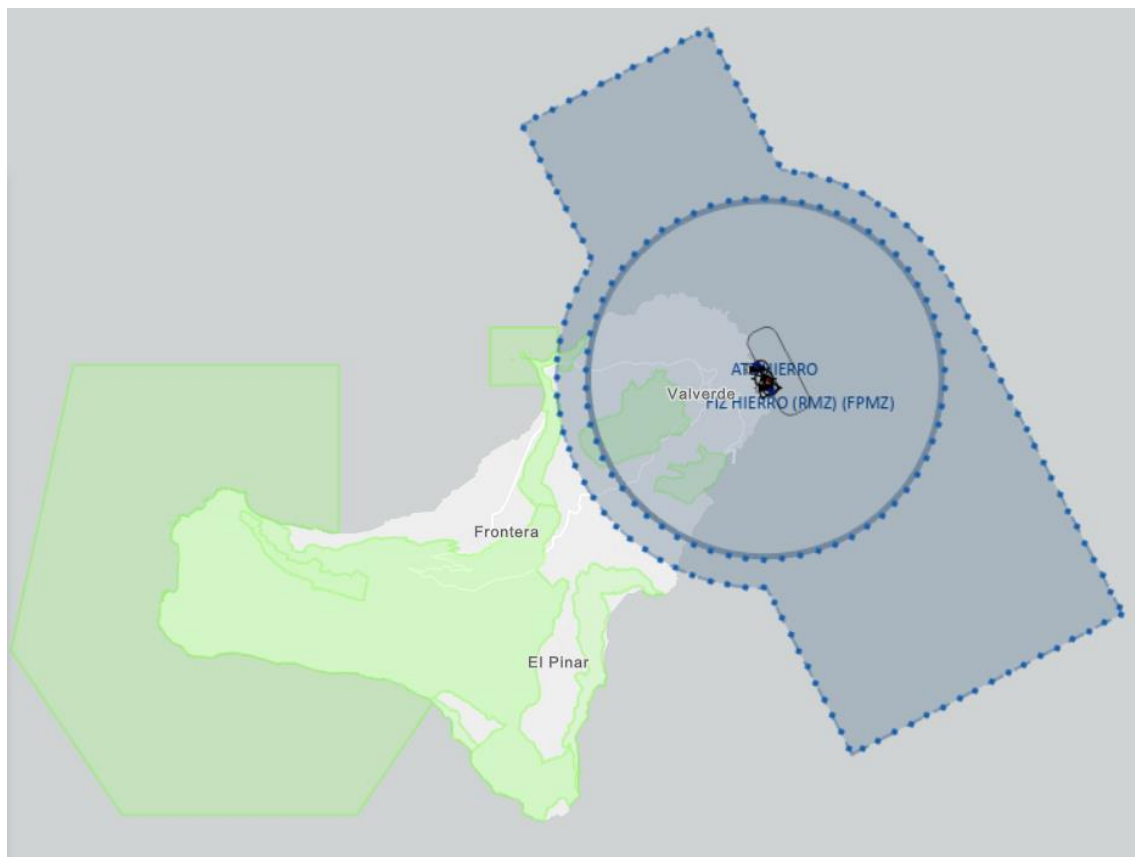


Ilustración 16. FIZ (Área punteada) y CTR (Línea continua). Circulo (ATZ). Fuente: Insignia (Enaire)

Denominación y límites laterales Designation and lateral limits	Límites verticales Vertical limits	Clase de espacio aéreo Airspace class	Unidad responsable Idioma Unit Language	Altitud de transición Transition altitude
FIZ HIERRO (RMZ) (FPMZ) (1) 275457N 0175947W, 275716N 0175446W; 275353N 0175248W desde este punto siguiendo arco de 5 NM centrado en el ARP // from this point following arc of 5 NM centred on ARP, 275113N 0174813W, 274315N 0174332W, 273953N 0175051W, 274352N 0175310W, desde este punto siguiendo arco de 5 NM centrado en el ARP // from this point following arc of 5 NM centred on ARP, 275142N 0175753W, 275457N 0175947W.	<u>2700 ft AMSL</u> SFC	G	HIERRO AFIS ES/EN	1850 m/6000 ft
CTR HIERRO (2) Los límites laterales coinciden con los publicados para FIZ HIERRO // Lateral limits coincide with those published for FIZ HIERRO.	<u>2700 ft AMSL</u> SFC	D	CANARIAS APP ES/EN	
ATZ HIERRO Círculo de 8 km de radio centrado en ARP // Circle radius 8 km centred on ARP (3).	<u>1800 ft AMSL (4)</u> SFC	D	HIERRO TWR ES/EN	
Observaciones: (1) Durante HR AFIS. Zona obligatoria de presentación de plan de vuelo. (2) Durante HR TWR. (3) O la visibilidad horizontal, lo que resulte inferior. (4) O hasta la elevación del techo de nubes, lo que resulte más bajo.		Remarks: (1) During AFIS HR. Flight plan submission mandatory zone. (2) During TWR HR. (3) Or the ground visibility, whichever is lower. (4) Or up to the cloud ceiling, whichever is lower.		
18. INSTALACIONES DE COMUNICACIÓN ATS		ATS COMMUNICATION FACILITIES		
Servicio Service	Distintivo llamada Call sign	FREQ	HR	Observaciones Remarks
APP	Canarias APP	125.350 MHz 126.100 MHz 133.675 MHz	H24 H24 H24	BACK-UP
➤ TWR	Hierro TWR	118.075 MHz	HR TWR (1)	ATZ y CTR durante // during TWR HR. (1) Ver casilla // See item 3.
➤ AFIS	Hierro Información	118.075 MHz 121.500 MHz	HR AFIS (1) HR AD	FIZ durante // during AFIS HR. EMERG

Ilustración 17. Dimensiones y frecuencias del espacio aéreo asociado a GCHI

3.3.1.8 Procedimientos locales en el aeródromo

La relación de procedimientos instrumentales para GCHI es:

Salida Normalizada Vuelo por Instrumentos (SID) – OACI – RWY16

- Salida ARACO UNO X-RAY (ARACO1X) **NDB**
- Salida GRAN CANARIA SUR DOS X-RAY (LPC2X) **NDB**
- Salida TENERIFE NORTE DOS X-RAY (TFN2X) **NDB**
- YELBEX1 RNAV1 **GNSS o DME/DME/IRU**

Aproximación Instrumental

- Aproximación por Instrumentos – OACI NDB A
- Aproximación por Instrumentos – OACI NDB B

La relación de procedimientos anterior se ve condicionada por:

- ✓ Las salidas instrumentales sólo son utilizables con RVR superior a 550 metros
- ✓ Ambas aproximaciones instrumentales sólo son utilizables cuando se dan condiciones VMC en el entorno del aeródromo, al estar certificado con pista de vuelo visual.
- ✓ Ambas aproximaciones instrumentales están restringidas a mínimos de circuito

En cuanto a los procedimientos visuales para GCHI, estos son:

- CARTA DE APROXIMACIÓN VISUAL / VAC – OACI (AFIS)
- CARTA DE APROXIMACIÓN VISUAL / VAC – OACI (ATC)

3.3.1.9 Ayudas Visuales

- **Posiciones de comprobación de altímetro:** En las cabeceras de pista 16 (21,2 m) y 34 (31,1m).
- **Señalización de pistas y rodajes:** Sistema de guía de rodaje (señalización horizontal, puntos de espera en rodaje), señalización de pista (designadores, umbral, eje y borde) y señalización en rodaje (eje y borde).
 - **Iluminación de aproximación y de pistas (16 y 34):**
 - Aproximación: Luces de identificación de umbral
 - PAPI: 3º
 - Umbral: Verdes, con barra de ala.
 - Zona de toma de contacto: No
 - Eje de pista: No
 - Borde de pista: 1250 m: 850 m blancas + 400 m amarillas. LIM. Distancia entre luces: 50 m.
 - Extremo de pista: Rojas. Distancia entre luces 1.5m
- **Iluminación de bordes de calle de rodadura**
- **Iluminación de plataforma:** Borde y dos torres en parking 1 y 1A
- **Indicador de dirección de viento: 1 cerca de cabecera 16 y otro cerca de cabecera 34.**

3.3.1.10 Radioayudas para la navegación y el aterrizaje

El aeródromo cuenta con un NDB/DME. Estas radioayudas tienen como función proporcionar la información necesaria para las maniobras de aproximación y aterrizaje, así como para la frustrada, estando localizadas dentro del recinto aeroportuario o en sus inmediaciones.

3.3.1.11 Circuito de tránsito

El circuito de tránsito visual se encuentra al Nordeste del aeropuerto, enfrente de la torre, por lo que se dispone de buena visibilidad desde el fanal.

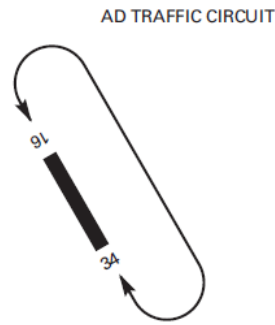


Ilustración 18. Circuito de tránsito aéreo GCHI

3.3.1.12 Obstáculos

Existen obstáculos en las Superficies de Aproximación, Ascenso en el Despegue, Cónica, Horizontal interna, Transición, Transición Interna y aterrizaje interrumpido establecidas en el Anexo 14 de OACI; y las áreas 2A y 3, establecidas en el Anexo 15 de la OACI.

En la **ilustración 18**, aprecia como el relieve es un elemento significativo en la superficie de ascenso de la pista 34, lo que se mitiga gracias a que la pista RWY 16-34 está certificada como pista visual, por lo que para operar en el aeropuerto deberá haber unas condiciones VMC.

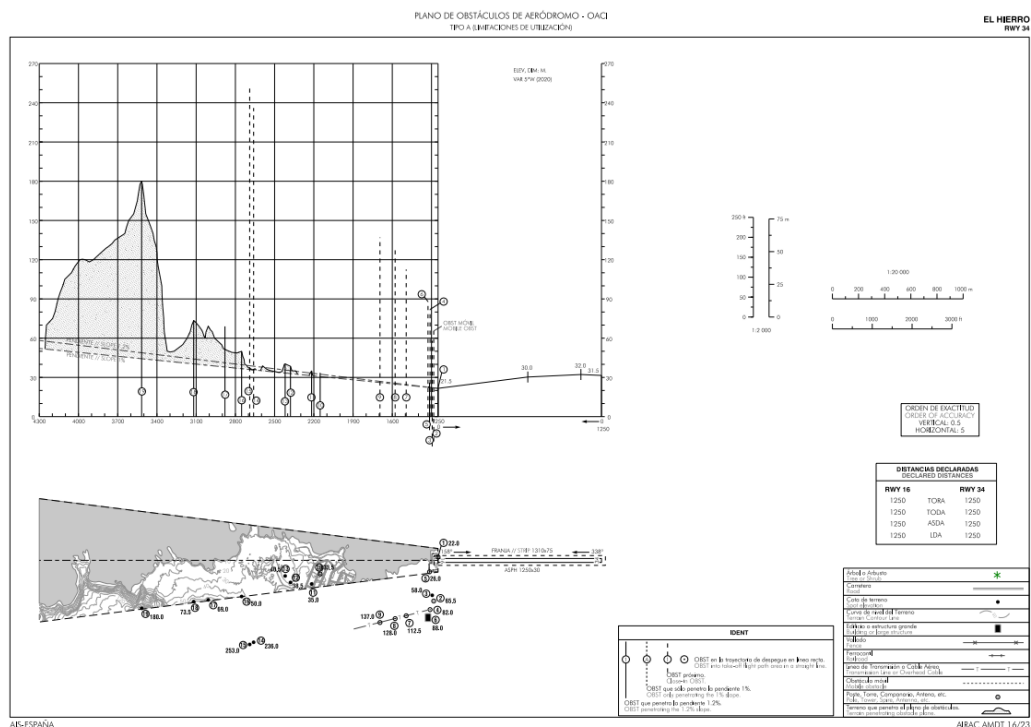


Ilustración 19. Superficie de ascenso al despegue RWY34. Plano de Obstáculos de aeródromo RWY34. AIP WEF 31-OCT-24

3.3.1.13 Fauna

Existe presencia sobre todo de gaviotas, y de pardelas por la noche. Los recorridos de las gaviotas están identificados: atraviesan a veces plataforma, van por el Roque de las Gaviotas (al norte del campo) al menos dos veces al día y se paran cerca de las cabeceras (no atraviesan pista); en todo caso, pueden ser ahuyentadas por los bomberos.

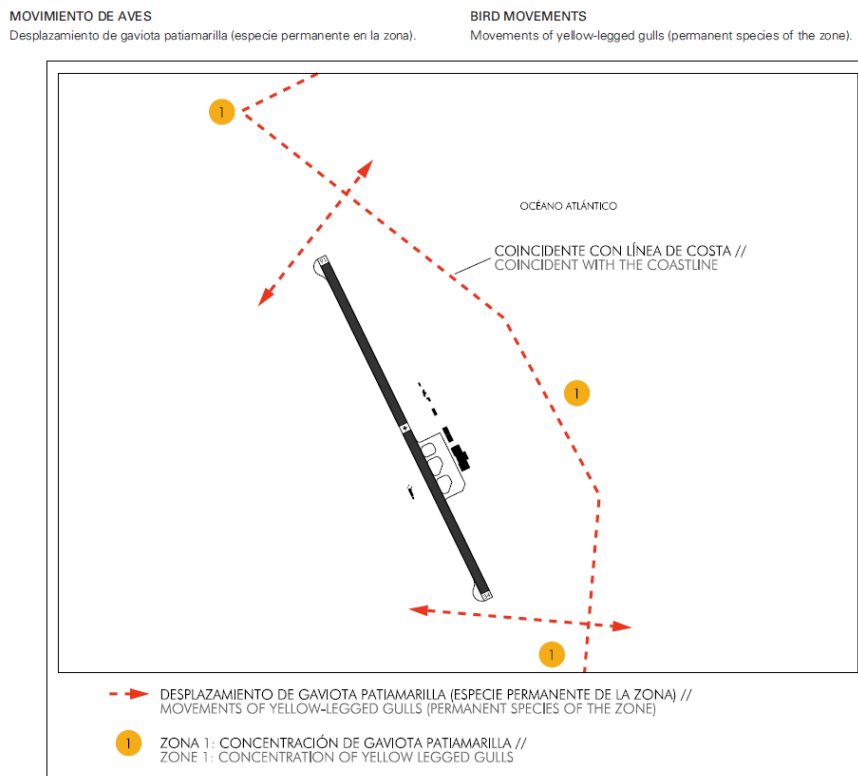


Ilustración 20. Movimiento de aves en el aeródromo. AIP GCHI WEF 31-OCT-24

3.3.1.14 Roles del Operador en GCHI

Como se indicó en anteriores apartados, el servicio de tránsito aéreo (ATS) que se presta en el aeropuerto de el Hierro es único en el territorio español ya que se presta servicio de Control de Aeródromo de lunes a viernes y servicio de Información de Vuelo de Aeródromo (AFIS), sábado y domingo.

A continuación, se indican las funciones generales que desempeñan ATCO y AFIS.

Servicio de Información de Vuelo de Aeródromo

El Servicio de Información de Vuelo de Aeródromo (AFIS) se subdivide en los siguientes servicios ATS

- Servicio de Información de Vuelo.

➤ Servicio de Alerta.

De forma general, El Real Decreto 1133/2010 por el que se regula la provisión de servicio AFIS, recoge las siguientes funciones del personal AFIS:

- a) Informar a las aeronaves que operen en la zona FIZ del espacio aéreo en el que presta servicios AFIS para ayudar a los pilotos a evitar colisiones.
- b) Informar a las aeronaves en movimiento en el área de maniobras con el fin de que los pilotos puedan evitar colisiones entre la aeronave y los vehículos, así como con obstáculos que pudieran existir en dicha área, o entre aeronaves en movimiento en la plataforma.
- c) Informar a los vehículos y personas en el área de maniobra.
- d) Informar a las aeronaves sobre datos esenciales relativos al aeródromo, así como reportar información meteorológica y sobre el estado operacional de las ayudas para la navegación aérea que correspondan.
- e) Proveer un servicio de alerta.
- f) Iniciar el procedimiento para el caso de aeronaves que no se presentan en el tiempo reglamentado según el plan de vuelo.
- g) Cumplir con los procedimientos y la coordinación establecidos en el manual de dependencia AFIS.

Adicionalmente, se deberán realizar las funciones:

- ✓ Servicio Dirección de plataforma: Autorizar el movimiento y ordenación de aeronaves en plataforma.
- ✓ Autorizar el movimiento de personas o vehículos, incluido las aeronaves remolcadas dentro del área de maniobras.

Servicio de Control de Aeródromo

El Servicio de Control de Aeródromo se subdivide en los siguientes servicios ATS:

- Servicio de Control de tránsito aéreo
- Servicio de Información de Vuelo.
- Servicio de Alerta.

Según el Reglamento de Circulación Aérea, el servicio de control de aeródromo transmitirá información y expedirá autorizaciones a las aeronaves bajo su control, para conseguir un movimiento de tránsito aéreo seguro, ordenado y rápido en el aeródromo y en sus inmediaciones, con el fin de prevenir colisiones entre:

- a) las aeronaves que vuelan dentro del área designada de responsabilidad de la torre de control, incluidos los circuitos de tránsito de aeródromo alrededor del aeródromo;
- b) las aeronaves que operan en el área de maniobras;
- c) las aeronaves que aterrizan y despegan;
- d) las aeronaves y los vehículos que operan en el área de maniobras;
- e) las aeronaves en el área de maniobras y los obstáculos que haya en dicha área

3.3.1.15 Sistema de presentación RADAR

El personal ATS (ATCO y AFIS) mantendrá bajo vigilancia visual constante todas las operaciones ejecutadas en el aeródromo o en su proximidad, disponiendo de un sistema de vigilancia ATS en apoyo de dicha observación visual, según lo estipulado en el artículo 4.5.1.3 del Reglamento de la Circulación Aérea. Todo ello en función de las limitaciones y disponibilidad del equipo.

3.3.1.16 Procedimientos locales

- Procedimiento de Paralización de Operaciones en el área de movimiento (PPOAM): No se permiten operaciones cuando el RVR sea inferior a 550 m (VIS inferior a 800 m en caso de no estar disponible valor de RVR).
- No se permiten operaciones de ultraligeros
- Para operar con servicio AFIS dentro de la FIZ es obligatorio que las aeronaves presenten plan de vuelo y que estén equipadas con radiocomunicación en ambos sentidos.
- Solo se permitirá, dentro de la FIZ, una única operación IFR simultánea.
- En caso de que se prevea que el cambio de prestación de servicio coincidirá con la operación de alguna aeronave en el aeropuerto o su espacio aéreo, la dependencia ATS correspondiente informará al piloto el tipo de servicio prestado.
- Las aproximaciones instrumentales son utilizables únicamente si se dan condiciones VMC en el entorno del aeródromo, al estar certificado con pista de vuelo visual.

3.3.2 Densidad y complejidad de tráfico

El objeto de este apartado es analizar las características del tráfico aéreo, su densidad y complejidad aérea en el Aeropuerto de El Hierro, basándose en los datos estadísticos del tráfico de aeronaves.

Se ha escogido como periodo de estudio el comprendido entre los años 2006 y 2015, del cual se ha encontrado información más detallada en la web del gestor aeroportuario. Se hará una extrapolación al año 2023 ya que ambos años comparten que se encuentran dentro de una tendencia alcista.

Al margen de esto, se ha podido rescatar el dato anual puro de tráfico hasta 2023, exponiéndolo en la gráfica de abajo.

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
4082	4300	4550	4790	4775	4341	4142	4674	4248	3898	3675	3615	3665	4130	5114	5374	4184	4944	5814	6128

Tabla 3. Evolución tráfico 2004-2023

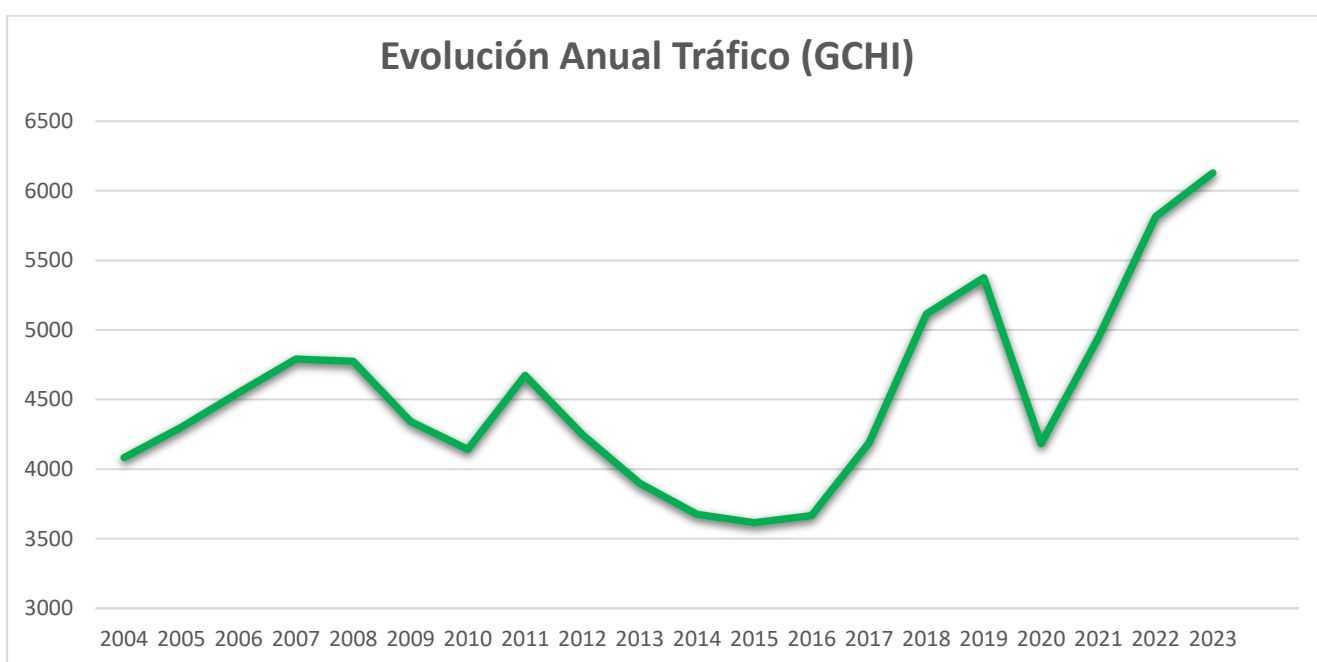


Ilustración 21. Evolución tráfico 2004-2023

De la ilustración 21, se puede afirmar que el tráfico aéreo tuvo una tendencia bajista entre los años 2008 y 2017, coincidentes con la crisis financiera que sufrió el mundo en ese periodo y después comenzó a subir desde el 2014, si exceptuamos los años de pandemia (2020-2021).

Desde 2020 el crecimiento del tráfico ha aumentado considerablemente debido a la reactivación del turismo.

3.2.2.1 Tipo de tráfico

De vuelta al periodo de estudio 2006-2015, en la siguiente tabla, se muestra que el aeropuerto de EL Hierro es principalmente comercial, con el 98% de los pasajeros de tipo comercial y menos del 2% pertenecientes a otras clases de tráfico (OCT).

Año	Comercial	% respecto al total	Tránsitos	% respecto al total	OCT	% respecto al total	Total
2006	168.663	98,38%	0	0,00%	2.781	1,62%	171.444
2007	182.263	98,60%	0	0,00%	2.580	1,40%	184.843
2008	192.963	98,74%	0	0,00%	2.462	1,26%	195.425
2009	182.346	99,16%	0	0,00%	1.545	0,84%	183.891
2010	169.908	99,38%	0	0,00%	1.060	0,62%	170.968
2011	168.903	99,22%	0	0,00%	1.322	0,78%	170.225
2012	151.617	99,27%	0	0,00%	1.109	0,73%	152.726
2013	138.386	99,45%	3	0,00%	764	0,55%	139.153
2014	147.779	99,20%	4	0,00%	1.195	0,80%	148.978
2015	146.185	99,59%	2	0,00%	603	0,41%	146.790

Tabla 4. Evolución del tráfico de pasajeros 2006-2015

En cuanto a aeronaves, en la tabla 5 se puede observar que durante el año 2015 las aeronaves comerciales representaron el 93,69% del tráfico total de aeronaves, correspondiendo el 6,31% restante a aeronaves OCT, de las que la mayor parte corresponden a vuelos militares y privados.

Año	Comercial	% respecto al total	OCT	% respecto al total	Total
2006	3.876	85,19%	674	14,81%	4.550
2007	4.272	89,19%	518	10,81%	4.790
2008	4.161	87,14%	614	12,86%	4.775
2009	3.912	90,12%	429	9,88%	4.341
2010	3.711	89,59%	431	10,41%	4.142
2011	3.912	83,70%	762	16,30%	4.674
2012	3.645	85,81%	603	14,19%	4.248
2013	3.436	88,15%	462	11,85%	3.898
2014	3.248	88,38%	427	11,62%	3.675
2015	3.387	93,69%	228	6,31%	3.615

Tabla 5. Evolución del tráfico de operaciones 2006-2015

En la tabla 5, en 2015 las OCT supusieron el 6,31% de las operaciones totales del aeropuerto, tras alcanzar en 2011 su máximo porcentaje en operaciones.

Año	Pasajeros OCT	% sobre pax totales	Crecimiento	Operaciones OCT	% sobre op totales	Crecimiento
2006	2.781	1,62%	27,45%	674	14,81%	27,65%
2007	2.580	1,40%	-7,23%	518	10,81%	-23,15%
2008	2.462	1,26%	-4,57%	614	12,86%	18,53%
2009	1.545	0,84%	-37,25%	429	9,88%	-30,13%
2010	1.060	0,62%	-31,39%	431	10,41%	0,47%
2011	1.322	0,78%	24,72%	762	16,30%	76,80%
2012	1.109	0,73%	-16,11%	603	14,19%	-20,87%
2013	764	0,55%	-31,11%	462	11,85%	-23,38%
2014	1.195	0,80%	56,41%	427	11,59%	-7,58%
2015	603	0,41%	-49,54%	228	6,31%	-46,60%

Tabla 6. Tráfico de pasajeros y de operaciones OCT 2006-2015

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Entrenamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Escuela	0	0	0	0	0	0	4	4	26	0
Estado	379	478	0	0	24	0	0	0	24	0
Fotografía	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0
Militar	822	829	960	723	422	364	347	192	467	311
Otros trabajos aéreos	983	686	603	423	370	450	505	456	542	139
Otros Estado	79	100	421	187	95	395	112	64	55	36
Privados	506	445	439	190	52	109	95	48	77	76
SAR	12	42	39	0	97	4	46	0	0	41
Total general	2.781	2.580	2.462	1.545	1.060	1.322	1.109	764	1.195	603

Tabla 7.Evolución del número de operaciones de aeronaves OCT por tipo de servicio

En cuanto a la distribución de las OCT por Tipo de Servicio, tal como se muestra en la tabla 7, en operaciones destacan especialmente los tipos de servicio Militar, Otros Trabajos Aéreos, Privados y Otros Estado.

Se puede concluir en este apartado que el tipo de tráfico en el aeropuerto de el Hierro es principalmente comercial, pero no se puede despreciar la aviación general como trabajos aéreos, SAR o escuela ni militares o vuelos privados. La relación puede equipararse a un 80-20% aviación comercial frente a general u otros.

3.3.2.2 Origen y destino del tráfico aéreo

En relación con el origen y destino del tráfico aéreo, en la tabla 8 se observa que casi la totalidad **del tráfico comercial es interinsular**, suponiendo este segmento más del 99,9% del tráfico total de pasajeros y del 99,8% de aeronaves durante el periodo 2006-2015, habiendo supuesto el 100% del tráfico de pasajeros comerciales en 5 de los 10 años estudiados. Por otra parte, el tráfico internacional es inexistente durante la mayor parte del periodo.

Año	Interinsular	%sobre total	Nacional	% sobre total	Internacional	% sobre total	Total Comercial
2006	3.871	99,87%	4	0,10%	1	0,03%	3.876
2007	4.272	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	4.272
2008	4.156	99,88%	0	0,00%	5	0,12%	4.161
2009	3.912	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	3.912
2010	3.709	99,95%	2	0,05%	0	0,00%	3.711
2011	3.912	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	3.912
2012	3.645	100,00%	0	0,00%	0	0,00%	3.645
2013	3.434	99,94%	2	0,06%	0	0,00%	3.436
2014	3.246	99,94%	2	0,06%	0	0,00%	3.248
2015	3.380	99,79%	7	0,21%	0	0,00%	3.387

Tabla 8. Evolución del tráfico comercial de aeronaves por clase de operación 2006-2015

3.3.2.3 Rutas principales con origen o destino el aeropuerto de El Hierro

Respecto a las rutas, como se puede apreciar en la tabla 9, El Hierro-Tenerife Norte es la principal con más del 65% de las operaciones durante el periodo 2006-2015 (73,49% en 2015). El segundo lugar lo ocupa la ruta El Hierro-Gran Canaria con un porcentaje que oscila entre el 18,66% de 2012 y el 28,48% de 2006. En tercer lugar, se encuentra la ruta El Hierro-La Palma que, tras crecer durante los primeros años del periodo de estudio, ha ido decreciendo hasta desaparecer en 2013. Por otro lado, la ruta El Hierro-Tenerife Sur, cuarta en nivel e importancia sufrió un importante crecimiento en los años 2013 y 2014.

Año	TFN	% sobre total	LPA	% sobre total	SPC	% sobre total	TFS	% sobre total	Otros	% sobre total
2006	2.543	65,61%	1.104	28,48%	210	5,42%	12	0,31%	7	0,18%
2007	3.139	73,48%	932	21,82%	157	3,67%	14	0,33%	30	0,70%
2008	3.298	79,26%	786	18,89%	39	0,94%	14	0,34%	24	0,58%
2009	3.126	79,91%	758	19,38%	3	0,08%	13	0,33%	12	0,31%
2010	2.973	80,11%	717	19,32%	7	0,19%	7	0,19%	7	0,19%
2011	3.020	77,20%	880	22,49%	4	0,10%	4	0,10%	4	0,10%
2012	2.953	81,02%	680	18,66%	8	0,22%	1	0,03%	3	0,08%
2013	2.644	76,95%	736	21,42%	0	0,00%	55	1,60%	1	0,03%
2014	2.413	74,29%	736	22,66%	0	0,00%	89	2,74%	10	0,31%
2015	2.489	73,49%	770	22,37%	2	0,06%	44	1,30%	82	2,42%

Tabla 9. Distribución del tráfico comercial de aeronaves por rutas, 2006-2015

3.3.2.4 Estacionalidad del tráfico

En el caso de las operaciones, al comienzo del periodo se observa una ligera estacionalidad produciéndose el mayor número de operaciones en verano. Sin embargo, esa estacionalidad se va atenuando en los últimos años del periodo de estudio. Se concluye que no existe una gran estacionalidad.

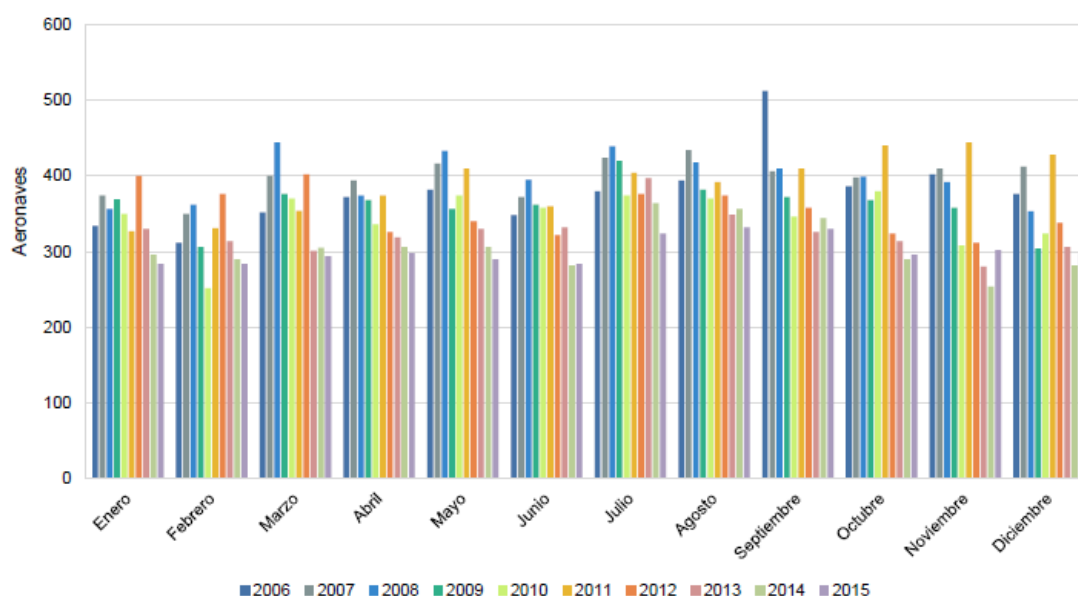


Ilustración 22. Distribución estacionalidad

3.3.2.5 Flota usuaria El Hierro

Como se observa en la tabla 10 la aeronave típica del aeropuerto es el ATR-72 con más del 72% de las operaciones comerciales anuales entre 2006 y 2015, superando incluso en 2012 y 2013 el 99,9% de las operaciones comerciales tras la sustitución de los Beechcraft 1900/1900C Airliner y

1900D Airliner que operaban en el aeropuerto y que venían siendo las siguientes aeronaves más utilizadas.

Tipo de avión	2005 (%)	2006 (%)	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)	2012 (%)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
AEROSPATIALE ATR-72	72,32	75,34	85,77	96,27	98,11	98,79	99,54	99,92	99,94	63,36	27,81
BEECHCRAFT 1900/1900C AIRLINER	6,52	7,33	4,59	0,00	0,05	0,16	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
BEECHCRAFT 1900D AIRLINER	18,40	15,63	8,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0	0,06
BEECHCRAFT TWIN TURBOPROP	2,65	1,60	1,40	2,98	1,58	0,73	0,20	0,00	0,00	0,55	1,83
FAIRCHILD METRO/MERLIN/EXPEDITER	0,05	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AEROSPATIALE ATR-42/72	0,00	0,00	0,00	0,48	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	35,04	65,72
BRITISH AEROSPACE ATP	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RESTO	0,05	0,10	0,09	0,07	0,05	0,32	0,00	0,03	0,00	1,05	4,58

Tabla 10. Evolución de la flota usuaria del aeropuerto 2006-2015

Se concluye que el modelo de aeronave turbohélice ATR72 es la aeronave típica del aeropuerto. Sin embargo, aquí no se muestra los tipos de aeronaves No comerciales, por lo que el dato no es concluyente. Se indicó que un 15-20% del tráfico no es comercial, por lo que es esperable ver otro tipo de aeronaves en el aeropuerto, como aeronaves ligeras y helicópteros.

Por lo tanto, existe mezcla de tráfico, además de operar tráfico IFR y VFR.

3.3.2.6 Evolución de los valores punta y de diseño por número de movimientos

Las aeronaves día punta, en adelante ADP, se definen como las aeronaves del día punta total. En el año 2015 este día fue el 22 de diciembre, con 20 movimientos.

Se define el parámetro *aeronaves hora punta*, en adelante AHP, como el valor correspondiente a la hora de mayor tráfico de aeronaves totales (comerciales y OCT) a lo largo de un año. Para el año 2015 el valor de AHP se dio el 22 de diciembre a las 12 horas y supuso un total de 7 movimientos.

En el caso de las aeronaves, la hora de diseño se define como aquella en la que se produce la punta de aeronaves comerciales (no se tiene en cuenta otro tipo de tráfico). Para el año 2015, se obtiene una AHD (Aeronaves Hora de Diseño) de 5.

	ADP	AHP	AHD
2006	33	16	6
2007	22	11	5
2008	28	7	5
2009	25	7	4
2010	20	5	5
2011	24	6	6
2012	22	6	5
2013	24	7	5
2014	26	6	5
2015	20	7	5

Tabla 11. Movimientos Hora punta, Hora Diseño y Día Punta.

Teniendo en cuenta el dato de tráfico/movimientos totales del 2023, que es 6128 para tráficos totales y suponiendo que existe un 6% (dato de aviación OCT en 2013) de aviación No Comercial, se obtiene el dato de 5760 movimientos de aviación comercial en el año 2023. Extrapolando el dato de 5 AHD en función del tráfico del 2023, se obtiene una AHD de 9. Esto quiere decir que se estima 9 movimientos a la hora por diseño. Se quiere reseñar que no se tiene en cuenta la aviación no comercial por lo que podría ser mayor.

Este dato es importante, porque da indicaciones de la densidad de tráfico, muy relevante para el tipo de configuraciones que debe tener la torre remota. No se puede hablar de un aeródromo de baja densidad de tráfico, ya que con ese valor de diseño es probable que ocurran dos tráficos simultáneamente en el aeródromo.

3.3.2.7 Conclusiones del análisis de tráfico

- ✓ Existe un aumento del tráfico aéreo anual
- ✓ Existe mezcla de tráfico visual e instrumental, y diferentes tipos de aeronaves.
- ✓ El 80 % de las operaciones tráfico comercial frente a un 20% de aviación general
- ✓ La aeronave más típica en el aeródromo es el turbohélice modelo ATR-72

- ✓ El tráfico interinsular es mayoritario siendo la ruta principal GCXO-GCHI
- ✓ Existe una densidad de tráfico media donde dos operaciones simultáneas pueden darse con frecuencia.

3.3.3 Meteorología

El Archipiélago Canario está situado geográficamente cercano al Trópico de Cáncer y al continente africano, frente a donde comienza uno de los desiertos de temperaturas elevadas más extenso de la Tierra.

Sin embargo, Canarias presenta un clima que no es el que le correspondería por su situación geográfica. Ello es debido a la influencia de dos factores: el anticiclón de las Azores, que forma parte del cinturón que, gobernada por el sistema de vientos y la rotación de la Tierra, baña las costas canarias con agua de la corriente del Golfo, enfriada en latitudes más altas, antes de retornar hacia el Oeste y volver a su origen.

El ciclo se completa con los vientos alisios que, partiendo del anticiclón de las Azores, soplan en la superficie rumbo a la región ecuatorial de baja presión denominada zona de convergencia intertropical.

El anticiclón de las Azores es casi permanente, pero se desplaza hacia el Norte y hacia el sur según las estaciones. En invierno permanece, generalmente, entre Madeira y el sur de las Azores, en una situación muy cercana a Canarias, lo que hace muy escasa su influencia. En verano, por el contrario, el anticiclón se desplaza hacia el norte, su lejanía hace que el alisio adquiera mayor recorrido y velocidad, soplando casi constantemente, llevando a Canarias fresca y humedad.

Todos estos factores explican los rasgos climatológicos generales de las Canarias. Así:

- Las temperaturas de la costa oscilan entre los 19°C y los 23°C. (En los puntos más altos, especialmente en el norte y en el este, hay que restar algunos grados). Durante casi todo el año sopla un viento moderado o fuerte.
- La radiación solar es muy considerable, tanto en lo que se refiere a días de sol al año, como respecto a su intensidad. Hay que tomarse muy en serio las precauciones contra el exceso de insolación, pues la acción refrescante del viento hace que no siempre se sea consciente del nivel de radiación que se recibe. Las noches suelen ser muy claras y despejadas, lo que hace las delicias tanto de los románticos como de los aficionados a la astronomía.

- La temperatura de las aguas oscila entre los 19°C de enero y los 23°C de septiembre.
- La época de lluvias suele extenderse de noviembre a marzo, pero en los últimos años ha disminuido mucho el nivel de las precipitaciones. Los alisios aportan también un elevado grado de humedad que se condensa en las laderas. Así se explica la existencia del famoso árbol sagrado de la isla (El Hierro), el Garoé que ya era adorado por los bimbaches. En sus hojas se condensaba el agua de las nubes y goteaba de forma que era posible recogerla en recipientes. En el año de 1610 un viento huracanado lo destruyó. En 1949 se plantó otro en el mismo lugar que ocupara el anterior.

3.3.3.1 Temperatura en el aeródromo

A partir de los datos del observatorio del aeropuerto, se obtuvieron las estadísticas de temperatura para el periodo 1980-1999.

CUADRO 2.1. HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURAS EN EL AEROPUERTO (1980-1999)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)	75.3	76.4	75.1	74.6	74.9	74.8	77.5	78.8	77.4	77.3	74.8	74.7	75.9
TEMPERATURA MÁXIMA	23	23.7	25	24.2	24.9	26	27	28.3	28.8	28.5	27	24	25.95
TEMPERATURA MINIMA MÁXIMA	18.3	19	18.5	19.4	20.3	22	23	24.1	24.3	23	21.1	20	21.04
TEMPERATURA MEDIA MAXIMA	20.5	20.6	20.9	21.3	22.2	24	25	25.8	26.2	25.3	23.5	22	23.04
TEMPERATURA MÍNIMA	12.6	13	12.9	13.7	15	16	18	18.5	18.8	16.4	15.3	14	15.38
TEMPERATURA MAXIMA MÍNIMA	17.8	17.5	18.2	17.8	18.6	20	21	22	22.5	21.2	21.2	19	19.79
TEMPERATURA MEDIA MÍNIMA	15.6	15.6	15.7	16.1	17	18	19	20.3	20.8	19.8	18.6	17	17.85
TEMPERATURA MEDIA MES	18.1	18.1	18.3	18.7	19.6	21	22	23.1	23.5	22.5	21	19	20.48

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología

Tabla 12. Temperaturas GCHI (1980-1999)

El valor de la temperatura media anual (T) es 20,48°C. La temperatura de referencia del aeropuerto (media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondientes al mes más caluroso del año, que ha resultado ser septiembre) es de 28°C

3.3.3.2 Precipitaciones

El aeropuerto tiene una media de 36 días de lluvia al año y una precipitación media de 172,6 l/m², también anual. La nieve es inexistente y los días de granizo son excepcionales no llegando la media a un día al año. Cabe destacar que las lluvias están irregularmente repartidas, durante los meses de noviembre, diciembre y enero cae más de la mitad de la precipitación anual, con lo que el número de meses secos es muy elevado.

Se muestran los datos de precipitaciones para el periodo 1975-1999:

CUADRO 2.II. PRECIPITACIONES EN EL AEROPUERTO (1975-1999)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Nº MEDIO DE DÍAS DE LLUVIA	4.92	3.24	4.28	2.72	1.68	0.8	0.4	0.68	1.64	4.48	4.56	6.5	36.00
l/m ²	28.3	29.9	21.2	13.4	1.44	0.8	0.2	0.24	1.82	13.2	27.5	35	172.57
Nº MEDIO DE DÍAS DE NIEVE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Nº MEDIO DE DÍAS DE GRANIZO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0.08	0	0.12

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología

Tabla 13. Precipitaciones GCHI (1975-1999)

3.3.3.3 Dirección e Intensidad de los Vientos

A continuación, se incluye la rosa de vientos y el diagrama de frecuencias:

GRÁFICO 2.V. ROSA DE LOS VIENTOS EN EL AEROPUERTO. VIENTO TRANSVERSAL 13 Y 20 NUDOS CON VIENTO EN COLA DE 10 NUDOS

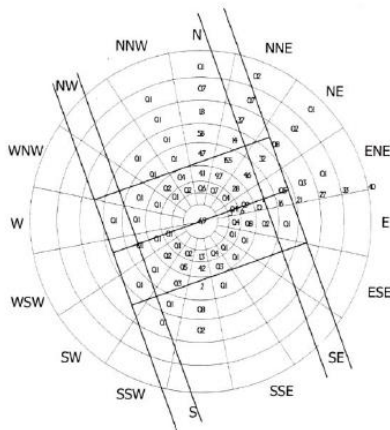


GRÁFICO 2.IV. DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DE VIENTO EN EL AEROPUERTO

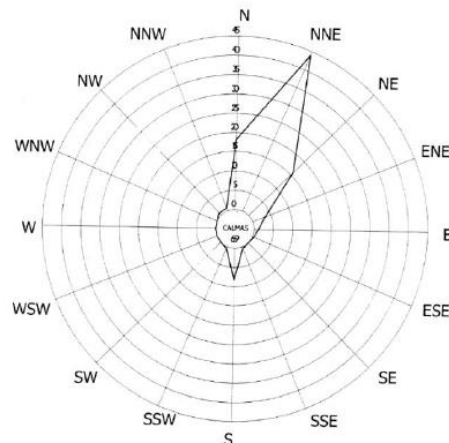


Ilustración 23. GCHI Dirección e intensidad de los vientos

Una orientación de pista 01-19 obtendría coeficientes mucho mejores en todos los casos, siendo, por ejemplo, del 97,56% para el caso de 13 nudos de viento transversal.

OACI en su Manual de Diseño de Aeródromos Parte 1 Pistas, establece que la orientación de la pista es adecuada si se tiene un coeficiente de utilización del 95%. Para el caso de aviones con longitud de referencia de campo inferior a 1.200 m (que corresponde con la categoría 2C asignada), el aeropuerto tiene un coeficiente de utilización máximo del 76,31% en el periodo analizado, muy por debajo del indicado por OACI. Sólo en el caso de aviones con longitud de campo de referencia mayor de 1.500 m se alcanza un coeficiente de utilización mayor del 95%.

Asimismo, del ítem 23 “Información Suplementaria” del AD2-GCHI, se incluye la siguiente información sobre fenómenos del viento:

- Un problema operativo importante es el de la variabilidad del viento; en muchas ocasiones es oscilante en dirección, frecuentemente dentro del primer cuadrante.
- Se recomienda no efectuar la aproximación cuando el viento sea de ladera entre 280° y 320° con intensidad superior a 10 kt, por registrarse onda de montaña muy fuerte. (1)
- Igualmente, con vientos entre 330° y 350° con intensidades superiores a 15 kt, si en corta final se registra turbulencia moderada, se debe proceder a frustrar ya que pueden encontrarse vientos en cola a 50ft de altura. (2)
- En verano, con vientos fuertes de 020° a 060° y con intensidades entre 20 kt y 30 kt o más, se registrarán fuertes corrientes descendentes en THR34. (3)
- Con todos los vientos citados anteriormente debe esperarse turbulencia fuerte después del despegue, por lo que se recomienda, una vez efectuado el mismo, virar lo antes posible hacia el mar.

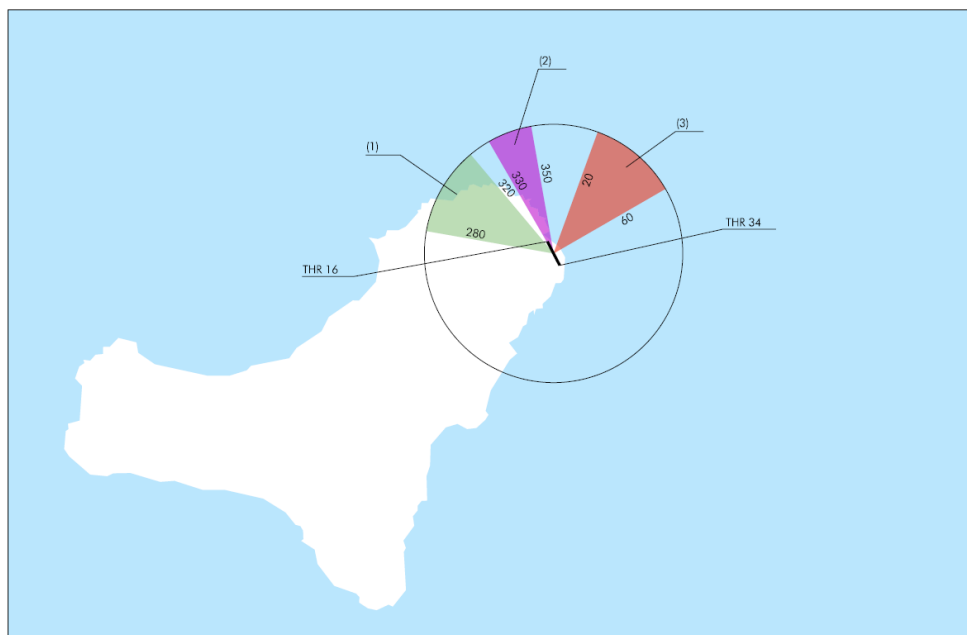


Ilustración 24. Información de fenómenos de viento GCHI

3.3.3.4 Condiciones de visibilidad

Los datos obtenidos por el observatorio del aeropuerto en los últimos años, para un periodo de 5 años, se muestran a continuación:

CUADRO 2.IV. PORCENTAJE DE CASOS SIMULTÁNEOS DE VISIBILIDAD Y ALTURA DE NUBES (RESUMEN DE 5 AÑOS)

hh(m)	0-29	30-59	60-89	90-119	120-149	150-179	180-239	240-299	300-449	450-899	900-2399	> 2399	TOTAL
vvvv(m)													
0-199													
200-299													
300-399													
400-499													
500-599													
600-799													
800-999													
1000-1199													
1200-1599													
1600-2099										0.1			0.1
2100-2499													
2500-4799													
4800-8999										0.1	-	0.1	0.1
9000 o más									-	8.2	3.7	87.8	99.8
TOTAL									-	8.4	3.7	87.9	100.0

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología

Ilustración 25. Datos visibilidad y altura de nubes

Calima: Se registran algunos casos al sur de la isla, que afectan a la operatividad, pero no a la seguridad. Se puede observar como el aeropuerto se encuentra en condiciones VMC la mayor parte de las ocasiones.

Niebla: no existen apenas en la vecindad del aeródromo. Se suelen dar en la parte alta de la isla. Puede existir algún inconveniente por techo de nubes bajo, pero no suele existir afección operacional por este tipo de fenómeno.

3.3.3.5 Conclusiones de Meteorología

El viento del norte puede crear fenómenos que afecten a la aproximación o aterrizaje como turbulencias y onda de montaña.

La visibilidad en el aeródromo suele ser de VMC, ya que es raro los fenómenos de calima o nieblas. Tampoco es probable el granizo y los días de lluvia son escasos, acumulándose en los meses de noviembre, diciembre y enero.

La temperatura máxima es de 28.8°C y la mínima de 12.6°C. No existen temperaturas extremas.

3.4 Sistema Visual de Vigilancia

El sistema de vigilancia visual (RTOS) constituye el “core” de la provisión de servicios ATS desde una torre remota. Cómo se ha dicho en anteriores apartados, se compone de dos elementos principales, la presentación visual (videowall) que reemplaza la vista OTW (out-the-window) de una torre convencional, y la funcionalidad de binoculares, que emula los binoculares tradicionales. Además, un sistema de vigilancia visual incluye varios elementos integrados, como sensores, enlaces de transmisión de datos, sistemas de procesamiento de datos y pantallas de situación.

En la **ilustración 26**, se descompone el sistema RTOS en bloques conceptuales:

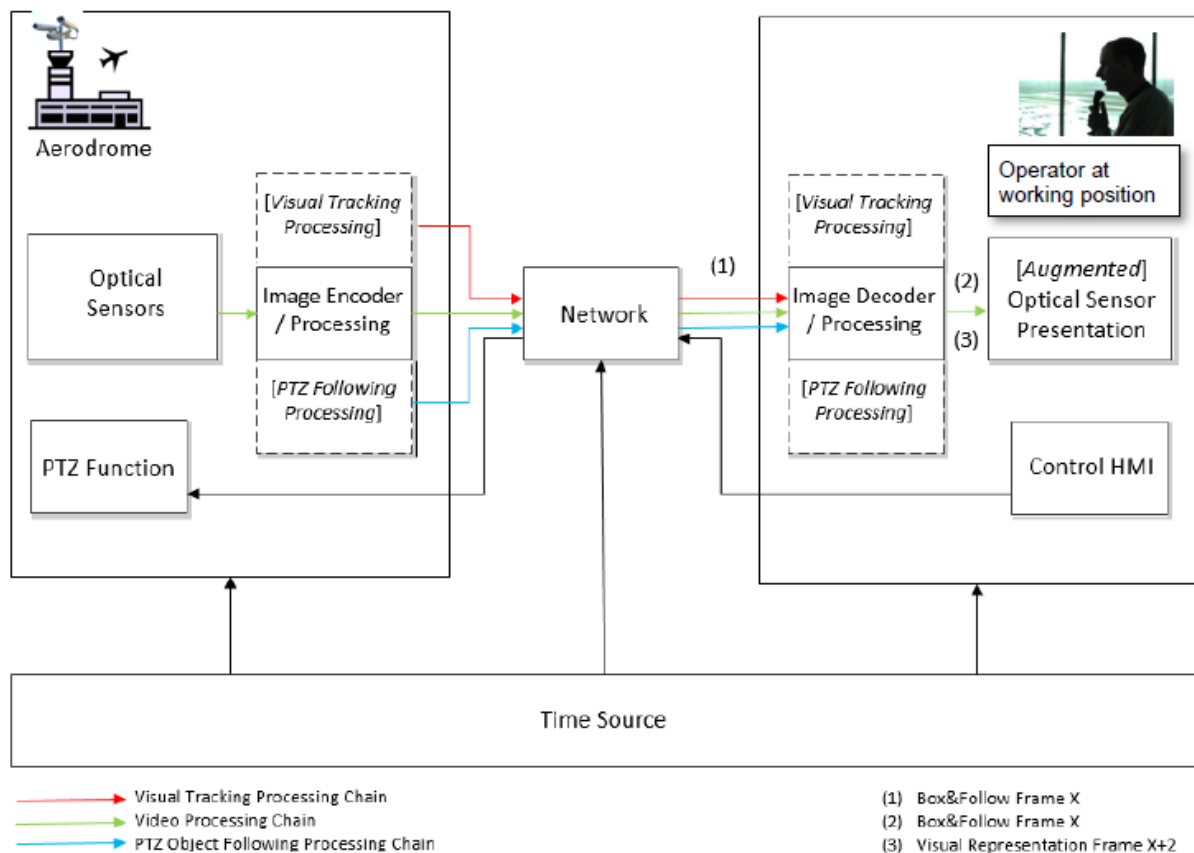


Ilustración 26. Mapa de bloques, sistema RTOS.

- **Sensores ópticos:** Captura las imágenes y lo transforma en video stream.
- **Codificador/Procesador:** aplica un procesado (compresión) al video stream para permitir trabajar en el ancho de banda existente
- **Network:** Transmite video y otras señales como comandos de control del operador
- **Decodificador/Procesador:** aplica una descompresión y otros procesados al video

- **Presentación visual/VideoWall:** Presenta el video stream al operador
- **PTZ Function:** sensor o sensores de imágenes con capacidad de movimiento panorámico/inclinación y un campo de visión variable y estrecho
- **Control HMI:** interfaz para operar remotamente sensores y otros dispositivos en el aeródromo.
- **Fuente de tiempo:** referencia temporal para la sincronización de los componentes.
- **Sensor de vigilancia no óptico:** un sensor o sistema no óptico que proporciona información de posición y posiblemente otra información sobre objetos. Puede ser un sensor/sistema que cubra el aeródromo y sus alrededores inmediatos (por ejemplo, A-SMGCS) o uno que abarque un área más amplia que incluya el tráfico asociado al aeródromo (por ejemplo, un radar terminal).

3.4.1 Requisitos Regulatorios Directos

Es crucial que el sistema de vigilancia visual cumpla con los requisitos regulatorios y las necesidades operativas de la torre de aeródromo que pretende sustituir. Por lo tanto, el objetivo de este apartado es definir unos requisitos que se le van a imponer al sistema para mantener unos niveles de calidad y el operador pueda prestar servicio ATS con seguridad.

Según normativa de OACI (**Doc 4444 y Doc 9426**), y extrapolado a torres remotas, el sistema RTOS debe permitir al operador ATC/AFIS supervisar aquellas partes del aeródromo sobre las que ejerza servicio ATS. Por lo tanto, debe poder observar:

- Operaciones de vuelo en las proximidades del aeródromo
- Operaciones de vuelo en el aeródromo
- Vehículos y personal en el área de maniobras

3.4.2 Requisitos Regulatorios Indirectos

Existen algunos requisitos regulatorios relacionados con la prestación del servicio que pueden ser aplicables de forma indirecta al sistema de vigilancia visual. En las operaciones de torre convencionales, estos se cumplen bajo el principio de "ves lo que ves". Sin embargo, en el contexto de la torre remota, es necesario tener en cuenta estos requisitos. La necesidad de observar las siguientes condiciones debe valorarse en el estudio de seguridad y analizar si hay que imponer al sistema y en qué medida estos requisitos regulatorios indirectos, con el objetivo siempre de que la prestación del servicio ATS sea al menos, igual de seguro de lo que era antes:

- Configuración o condición anormal de la aeronave (tren de aterrizaje no desplegado, emisiones de humo inusuales etc.).
- Obstrucciones en el área de maniobras
- Fauna (bandada de pájaros, perros extraviados etc.).
- Condiciones meteorológicas de importancia en aterrizaje o zona de ascenso de la aeronave
- Condiciones de la pista
- Comunicación visual con las aeronaves (Flashing lights, moving ailerons or rocking wings)

3.4.3 Otras necesidades operacionales que afectan al sistema RTOS

GCHI es una unidad ATS responsable de prestar servicio dirección de plataforma, por lo tanto, es necesario que el sistema RTOS tenga acceso a esta parte del área de movimientos.

No existe regulación al respecto, pero debería valorarse que el operador ATC/AFIS pueda observar y monitorear los cambios en las condiciones meteorológicas del aeropuerto. Deberá analizarse en el estudio de seguridad.

3.4.4 Calidad Mínima de la Presentación Visual

El documento EUROCAE 240B dice lo siguiente al respecto del RTOS:

El sistema visual humano es extremadamente sofisticado. Aunque replicar el desempeño visual del operador "a través de la ventana" es teóricamente factible desde una perspectiva técnica, no siempre es apropiado y, de hecho, puede implicar un compromiso con otros aspectos, como, por ejemplo, la tasa de pixels. En su lugar, la Presentación Visual debe cumplir con los requisitos operativos mínimos para permitir que el operador brinde el servicio de manera segura y eficiente. Esto no necesariamente exige que el rendimiento técnico del sistema iguale algunos o todos los aspectos del sistema visual humano. De hecho, algunos elementos del sistema, como las mejoras del OSP y los sensores de baja iluminación, pueden aumentar la conciencia situacional del operador más allá de lo que es posible solo con el ojo humano.

La percepción del operador sobre la calidad de la Presentación Visual resulta de una combinación de muchos factores, incluidos: la resolución de la pantalla, la resolución del sensor, el campo de visión, el contraste, la tasa de actualización de video, la profundidad de color, el método de compresión de video y la implementación del códec, la latencia de la red, el jitter, el ruido, la pérdida de paquetes, la uniformidad de la imagen, el tamaño de la pantalla, la distancia de la pantalla al operador y el ángulo visual de los objetos según su tamaño y distancia desde la cámara. Las limitaciones del rendimiento de la red (por ejemplo, el ancho de banda) y los costos asociados generalmente

significarán que se requiere un compromiso entre estos factores. La adecuación de la Presentación Visual para apoyar al operador en lograr el rendimiento operativo requerido también dependerá del tipo de servicio prestado y del entorno.

Además, la implementación de la Presentación Visual debe abordar cuestiones relacionadas con factores humanos. En particular, la compresión de video, la tasa de actualización de video, la resolución de la imagen, el jitter, y el tamaño y ubicación deben cumplir con los requisitos relacionados con factores humanos.

En última instancia, incluso si un sistema cumple con los requisitos mínimos para parámetros individuales identificados en este MASPS, la calidad de la Presentación Visual debe validarse en el entorno operativo para garantizar que cumpla con los requisitos de factores humanos, los requisitos operativos y las normas y regulaciones existentes para la prestación del servicio. Los cambios en el sistema funcional deben ser probados a través de una evaluación de seguridad y factores humanos.

Como se puede apreciar son muchos los factores que afectan al rendimiento del RTOS, los cuáles hay que analizar e imponer unos requisitos para dotar al sistema de la calidad suficiente para prestar servicio ATS con seguridad y eficiencia.

3.4.5 Requisitos Operacionales AOREQ

Este proyecto se va a focalizar en definir unos requisitos operacionales muy ligados al contexto operacional anteriormente descrito para el aeropuerto de el Hierro. Sin embargo, es importante reseñar que existen numerosos requisitos técnicos que no se van a abordar en este trabajo.

Desde una perspectiva operativa, primero es necesario especificar qué debe ser observado y dónde, en el aeródromo específico en cuestión; es decir, el operador/proveedor de servicios (y otros responsables de la toma de decisiones relevantes) debe determinar los objetos (o clases de objetos) de interés operativo que deben ser detectados, reconocidos o rastreados, así como las áreas operativas de interés correspondientes.

El ANSP a través de los operadores ATC/AFIS de el Hierro deben especificar los **AOREQs** que sean suficientes para cumplir con sus tareas. Estos requisitos funcionan como inputs de entrada para que los diseñadores del sistema determinen los requisitos de rendimiento técnico del RTOS en un paso posterior. Cómo, por ejemplo, número y tipo de cámaras instaladas en el aeropuerto, resolución del sistema óptico, así como la del VideoWall.

Como se ha comentado antes, involucrar a los operadores de la unidad en las primeras etapas del proyecto es esencial para garantizar su aceptación final. Por ello, se han definido una serie de requisitos al sistema que cumplen las regulaciones directas e indirectas anteriores descritas y aplicado siempre al contexto de GCHI. Estos requisitos deberían definirse contando con la experiencia y el criterio del personal de la unidad para garantizar que el diseño de la torre remota responde a las necesidades operativas reales.

Estas especificaciones se recopilan como Requisitos de Áreas y Objetos de Interés (**AOREQ**, por sus siglas en inglés), que se componen de dos elementos:

1. **Área de Interés (Aoi):** Determina las áreas operativas relevantes (p. ej., volúmenes de espacio aéreo, puntos de referencia visuales, áreas de maniobra, pistas de aterrizaje, zonas de deshielo, entre otros).
2. **Objeto de Interés (Ooi):** Especifica los objetos relevantes a detectar/reconocer dentro de un Aoi (p. ej., aeronaves medianas, vehículos, obstáculos). Solo es necesario especificar el objeto más pequeño que debe detectarse, ya que esto define los requisitos de resolución más altos del sistema óptico.

A continuación, se muestra un ejemplo de lista de diferentes objetos de un aeropuerto y sus dimensiones representativas

Object (and respective Object classes)	Dimensions (m)
B767-300 (Large aircraft)	14 x 47 x 54
ATR-42 (Medium sized aircraft)	8 x 23 x 25
C172 (Small sized aircraft)	3 x 8 x 11
Aquila A 210 (Very light aircraft)	2 x 10 x 7
ASW 28 (Glider)	1 x 15 x 7
2800 m ³ Balloon (Balloon)	23 x 18
Persons/Animal	2 x 0.5 x 0.5
Follow me (Vehicle)	2 x 2 x 5
Obstructions	1 x 1 x 1
...	...

Tabla 14. Lista de objetos y dimensiones

3. **Parámetros Detectar/Reconocer:** Este parámetro especifica si el Objeto de Interés (Ooi) debe ser detectado o reconocido en el sistema óptico, ya sea en el VideoWall o en la cámara de PTZ (*Pan-Tilt-Zoom*).

➤ **Detección:**

El objeto es discernible por el operador, pero los detalles como configuración, tamaño, color u orientación no son perceptibles.

Ejemplo: El operador ve un punto o una mancha pequeña en la imagen.

➤ **Reconocimiento:**

Los rasgos principales del objeto pueden determinarse, lo que permite identificar su clase de objeto. Esto incluye:

- Para aeronaves: la categoría (p. ej., avión mediano, helicóptero), número de motores y ubicación de las alas.
- Para vehículos: la categoría (p. ej., coche de guía, vehículo de inspección de pista, camión de combustible).

NOTA: La capacidad de reconocimiento implica detección, pero no al revés.

4. Casos de uso específico (opcional): Este parámetro se utiliza para proporcionar información adicional que ayude a caracterizar con mayor detalle el **AOREQ**, principalmente para especificar áreas o distancias relevantes.

Por ejemplo:

- Detallar sub-áreas dentro de un Área de Interés (**Aoi**).
- Especificar distancias específicas en las que se requiere detección o reconocimiento.

ID	Area-of-Interest (Aoi)	Object or Object Class (Ooi)	P a n o	P T Z	Specific Use cases (optional)
AIRBORNE					
AOREQ-A1	Final Approach	ATR-72	D		El límite del CTR es de 5 NM. Y la distancia cuando un tráfico notifica final suelen ser 5NM, por lo tanto, una visión de 5,5 NM cubre la distancia anterior.
	5,5 NM from threshold 34/16	(Medium aircraft)			

AOREQ-A2	Final Approach 4 NM from threshold 34/16	Modelo (Light aircraft)	R	Los operadores afirman que a esa distancia pueden reconocer tipo motor, colores y geometría con binoculares
AOREQ-A3	Over threshold 34/16	Modelo (Light aircraft)	R	Operadores afirman que desde t.convencional reconocen una aeronave pequeña sin usar binoculares
AOREQ-A4	Traffic circuit	Light aircraft	D	
AOREQ-A5	Initial Climbing Area	Light aircraft	R	
AOREQ-A6	¿algún punto del ATZ/CTR?	Light aircraft		
AOREQ-A6	Zona Fallo de comunicaciones	Light aircraft	D	
SURFACE				
AOREQ-S1	Runway	ATR-72 (Medium Aircraft)	R	
AOREQ-S2	Runway	Vehicle	R	
AOREQ-S3	Runway	Personal/Animal	D R	
AOREQ-S4	Runway	Obstructions	R	
AOREQ-S5	Stop Bars	Light Aircraft	R	
AOREQ-S6	Apron	Light Aircraft	R	
AOREQ-S7	Apron	Personal/animal	D R	

Tabla 15. Tabla Requisitos AOREQ

3.4.6 Requisitos Operacionales ToIREQ

Al analizarse la densidad y el tipo de tráfico que opera en GCHI, se concluyó que es muy probable que existan dos operaciones o más, simultáneas en el aeropuerto. Por lo tanto, es necesario (debe apoyarse en el estudio de seguridad) que el sistema RTOS cuente con funcionalidades avanzadas para seguir manteniendo seguridad en las operaciones a la par que eficiencia. Una de estas funcionalidades a introducir en el sistema es el **Seguimiento visual o visual tracking**.

El seguimiento visual opera sobre imágenes captadas por sensores ópticos para identificar grupos de píxeles en movimiento (tránsito aéreo en el espacio aéreo asociado al aeródromo) y “aumentarlos” visualmente en el videowall. El sistema intenta mantener la asociación de los píxeles en movimiento entre cuadros sucesivos del video, lo que se conoce como visual tracking. Estos objetos son “aumentados” o reseñados mediante símbolos, contornos o información adicional superpuesta como la etiqueta radar.

Este aumento ayuda al operador a **identificar y monitorear fácilmente** el avión en tiempo real, mejorando su conciencia situacional sin necesidad de procesar manualmente toda la información visual.

Para obtener unas prestaciones adecuadas de esta funcionalidad, se necesita definir unos requisitos específicos llamados **ToIREQs (Tracking of Interest Requerimientos)**. El propósito de los Requisitos de Rastreo de Interés (ToIREQ) es permitir que el operador/proveedor de servicios comunique al diseñador del sistema las características de los objetos que se consideren relevantes (es decir, de interés operativo) para mejorar la fiabilidad de la función de Seguimiento Visual.

ID	Area-of-Interest (Aoi)	Object Class or Object-to-be-tracked	Especific Use Case Information (optional)
AIRBORNE			
ToIREQ-A1	Final Aproxach 5.5 NM from threshold 34/16	(Medium & Light aircraft)	
ToIREQ-A2	Traffic circuit	Modelo (Light aircraft)	
ToIREQ-A3	Initial Climbing Area	Modelo (Light aircraft)	
ToIREQ-A4	Zona Fallo de comunicaciones	Modelo (Light aircraft)	
SURFACE			
ToIREQ-S1	Runway	(Medium & Light aircraft)	

Tabla 16. Requisitos TOIREQ

3.4.7 Configuración del sistema RTOS en base al contexto operacional de GCHI

Sistema de Presentación/VideoWall

Se han definido los requisitos AOREQs y TOIREQS que responden a los puntos regulatorios directos e indirectos. De tal manera, que se conoce las prestaciones operacionales que debe tener el videowall.

Otras de las necesidades operativas que debe recogerse en el sistema de presentación, es la panorámica que debe tener el operador del aeropuerto. Atendiendo a la geometría del aeropuerto, su orografía y los volúmenes de espacio aéreo asociado, se determina que el videowall debe abarcar una visual de 240°. Así, estaría cubierto las aproximaciones por ambas cabeceras a la pista, los puntos de entrada y salida del CTR/FIZ y el circuito de tránsito y la zona de fallo de comunicaciones. En el próximo apartado se definirá el número y tipo de cámaras para conseguir esta panorámica.

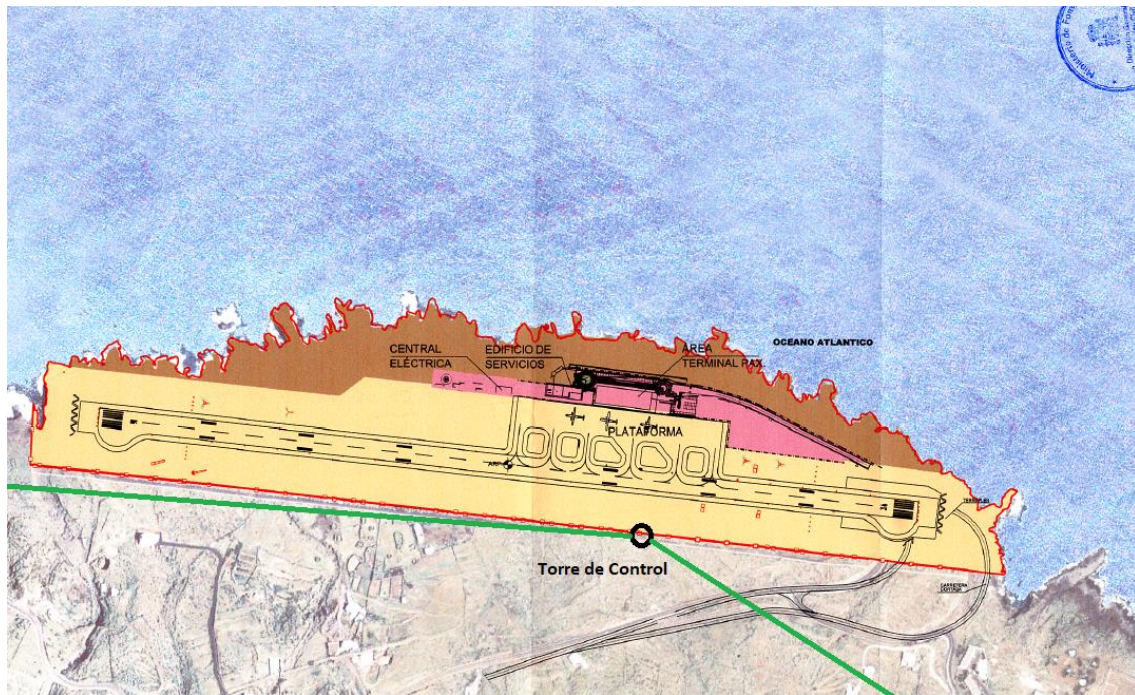


Ilustración 27. Rango de visión torre remota de GCHI: Plano del Aeropuerto.

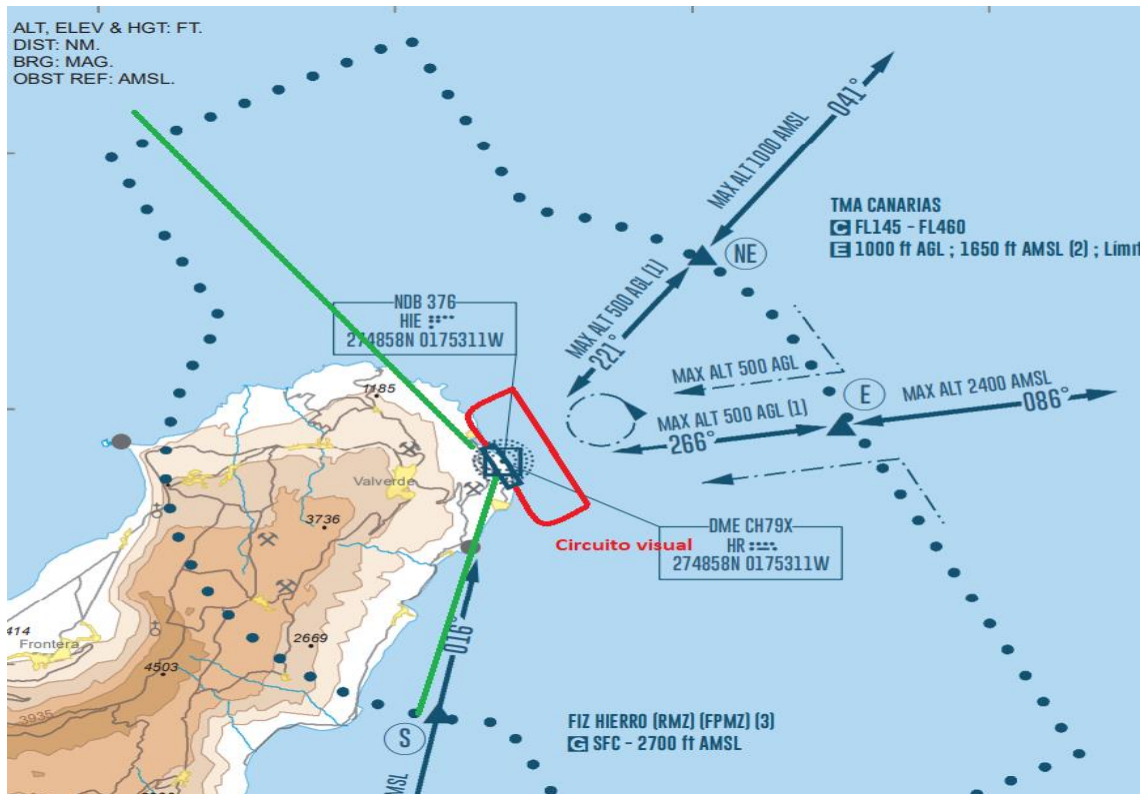


Ilustración 28. Rango de visión Torre Remota GCHI. Carta Visual.

Sensores Ópticos PTZ

En base a los requisitos regulatorios es necesario detectar y reconocer objetos en área de movimientos y espacio aéreo circundante. Es de obligado cumplimiento tener cámaras PTZ en sustitución de los binoculares.

Visual Tracking

Se añade esta funcionalidad al sistema RTOS para conseguir mayor consciencia situacional por parte del operador. Resulta necesario debido a la densidad de tráfico en GCHI que se considera media. Esta función correlará con los datos recibidos del SSR (radar secundario) de tal manera que en el VideoWall se reseñarán los tráficos junto con una etiqueta radar similar a la que aparece en la pantalla de vigilancia ATS del fanal.

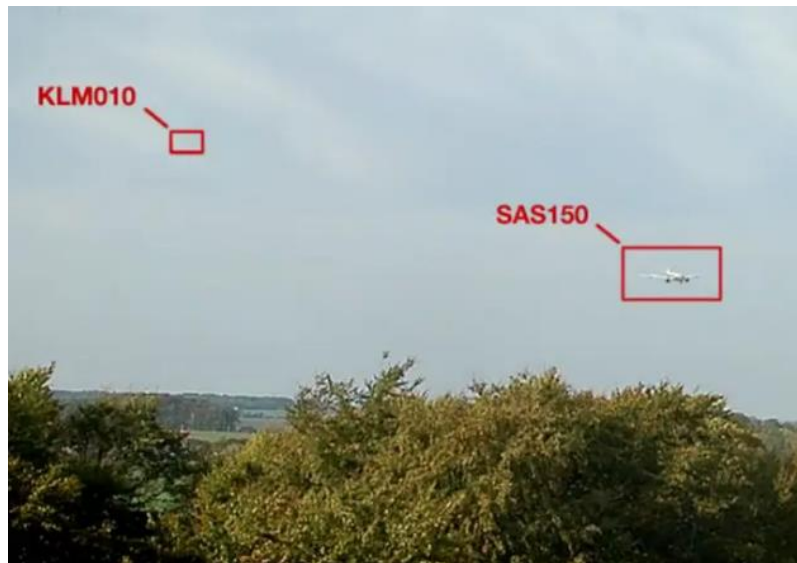


Ilustración 29. Funcionalidad visual tracking, de Saab.

PTZ Object Following

Suponemos que en el estudio de seguridad se determina que, para mantener los niveles de seguridad de la torre convencional, el operador ATC/AFIS debe poder observar condiciones inusuales de la aeronave (tren no desplegado en aterrizaje o humo/fuego en motores), atendiendo a los requisitos normativos indirectos. Por ello, es necesario dotar al sistema RTOS de una función avanzada llamada PTZ Object following.

El operador mediante el HMI (Human-Machine Interface) de la cámara PTZ designaría como objeto a seguir a una aeronave. La cámara PTZ apuntaría a dicho objeto y seguiría su movimiento.

Pistola de señales

Resulta necesario una pistola de señales para comunicarse tanto con tráfico aéreo como con vehículos con fallo de comunicaciones. Por ello una de las cámaras PTZ instalada en el aeródromo debe tener incluida una función de pistola de señales.

Audio sonido ambiente

Para mantener una correcta consciencia situacional del aeródromo y reproducir los sonidos que un operador escucha dentro del fanal de la torre, es necesario la distribución de micrófonos en el aeródromo. Es importante que estén protegidos frente a viento y lluvia para evitar el ruido y tener un plan de mantenimiento.

3.5 Emplazamiento y Ubicación

El capítulo 2.1.2 del **Documento 9426 de la OACI** (Manual de Planificación de los ATS) establece: *"Los factores más significativos que contribuyen a una adecuada vigilancia visual son la ubicación de la torre y la altura del fanal de la torre de control. El sitio óptimo de la torre será normalmente lo más cercano posible al centro de la parte de maniobras del aeródromo, siempre que, a la altura prevista, la estructura de la torre no se convierta en una obstrucción o peligro para el vuelo". Además, el capítulo 2.1.3 señala que "La altura de la torre debe ser tal que proporcione al controlador la vigilancia visual descrita anteriormente. Cuanto más alta sea la torre, más fácilmente se logrará esta vigilancia óptima, pero a un mayor costo financiero y con una mayor probabilidad de penetrar las superficies limitadoras de obstáculos".*

Este texto se elaboró para torres convencionales, pero puede aplicarse perfectamente a torre remota, con la ventaja de que se pueden añadirse cámaras en zonas no visibles alejadas del centro de maniobras, complementando la visión.

En el apartado 3.4.7 se han especificado las necesidades que debe tener el sistema RTOS en base a sus funcionalidades. En los siguientes apartados se definirán la ubicación, las características y el diseño de los sensores ópticos en el aeródromo.

3.5.1 Sensores ópticos principales para videowall

Según las características del área de movimientos y su volumen de espacio aéreo, la geometría del aeródromo está dispuesta de norte a sur, abierta hacia el mar hacia el este. Al otro lado, existe una orografía montañosa, que no interesa operacionalmente tener visibilidad, ya que se encuentra la carretera de acceso al aeropuerto.

Desde la torre convencional, la visibilidad del área de maniobras es completa, sin falta de visibilidad. Y anteriormente, se ha definido que es necesario una visión de 220 grados que cubra desde la aproximación de la pista 16 hasta más allá del punto S del CTR/AFIS.

Por lo tanto, atendiendo a razones operacionales y económicas, la mejor zona para la instalación de las cámaras que capten las imágenes que serán presentadas en el videowall es la cubierta de la torre de control convencional. Se instalarán un plato de cámaras fijas ubicadas en el techo del fanal que cubran la panorámica de 220 grados, cubriendo la pista, aproximaciones, área de maniobras y plataforma. Esta ubicación proporciona un punto de vista similar al actual existente desde la TWR

convencional. Esta solución presenta como principal inconveniente el problema del “stitching” o cosido de las imágenes y que da lugar a ciertas discontinuidades en la imagen.

No es necesario instalación de cámaras en otra zona del aeropuerto, puesto que la visión desde el fanal es completa.

Las cámaras que conformarán la panorámica del videowall, irán encapsuladas con el objetivo de protegerlas frente a fenómenos meteorológicos adversos como viento, de bastante intensidad en la isla. Además, contarán con dispositivos de soplido de aire a presión que se accionarán en sala, para mantenerse limpias de suciedad como pueda ser, insectos o motas de polvo.

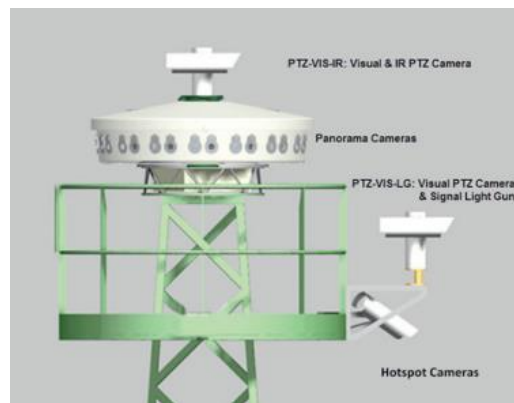


Ilustración 30. Ejemplo de instalación cámara fijas y PTZ



Ilustración 31. Cámaras fijas y PTZ. Erfurt Weimar Airport. Germany

En relación con lo anterior, el emplazamiento del plato de cámaras en el techo del fanal:

- Permite que en la vista el punto de vista del campo de vuelo y área de responsabilidad sea el más parecido posible al actual existente desde el fanal de la TWR convencional, permitiendo la visión del área de movimiento.

- La condición anterior se considera un factor que facilitará la formación de los operadores ATS actualmente habilitados en la unidad, debido a que la percepción desde la torre física y la torre remota necesariamente les va a resultar más familiar.
- Por ubicarse en la TWR convencional, se trata de un emplazamiento que dispone de acometidas de red (energía y datos) existentes próximas para alimentar a los sistemas que aquí se ubican.
- La vista Pano que se genera es más “limpia” que la actual existente desde el fanal de la TWR convencional, al no interponerse molduras, ventanas, así como por el hecho de que, al estar las cámaras sobre el techo del fanal, el punto de vista adquiere cierta altura que mejora la vista del área de maniobras respecto de la visión actual.
- Ubicación accesible para labores de mantenimiento

3.5.2 Cámaras PTZ

Para conseguir la función binocular en el Sistema RTOS, se instalarán dos cámaras PTZ para cubrir la pista, las aproximaciones por ambas cabeceras y el circuito de tránsito. Una de ellas, tendrá la función de pistola de señales para casos de fallo de comunicaciones en aeronaves y vehículos. Su ubicación será junto a la plataforma de las cámaras fijas.

Este tipo de cámaras, tienen posibilidad de giro independiente, para poder seguir cualquier blanco que se desee, manualmente o con la funcionalidad PTZ tracking.

Como se puede ver en las ilustraciones, tienen incorporados wipers para mantener limpia la lente y una de ellas, pistola de señales, que será accionada a través del HMI desde la sala por el operador. La disposición de estos sistemas en esta ubicación proporciona un punto de vista similar al que tendría un ATCO/AFISO que usase los prismáticos desde la TWR convencional, con la salvedad de encontrarse más elevado (al igual que en el caso anterior).



Ilustración 32. Virginia's Leesburg Executive Airport (KJYO), de Saab. Fuente aviation pros.

Las imágenes que captan las cámaras PTZ se pueden presentar de dos maneras en la sala remota, dependiendo del diseño elegido. Las imágenes pueden presentarse en monitores independientes o bien, en ventanas independientes dentro del videowall.



Ilustración 33. Preset de cámara PTZ en panorámica de Videowall. Fabricante Saab.

3.5.3 Sonido ambiente

El motivo para disponer de este sistema/micrófono es el dar la posibilidad de proporcionar al ATCO/AFISO en remoto una mayor conciencia de la situación y un sentido de presencia, bien aumentando y atrayendo la atención en diferentes situaciones, incluyendo posibles incidentes o situaciones de emergencia que puedan surgir durante el servicio, bien apoyando en la percepción de las condiciones meteorológicas (como viento, truenos,...), así como pudiendo proporcionar un aumento del conocimiento del tráfico potencial fuera del alcance de la presentación visual.

- El sistema debe tener volumen ajustable, además de un sistema de supresión, que permita en determinadas condiciones suprimir el sonido del aeródromo (condiciones de alta densidad de tráfico, operaciones de aeronaves especialmente ruidosas como aviones de combate, etc.).
- La latencia máxima permitida para el sonido del aeródromo tendrá en cuenta la latencia de video correspondiente del sistema óptico y estará sincronizado con este evitándose los desfases.

Los micrófonos se instalarán en el techo del fanal junto a la plataforma de cámaras, simulando lo que escucharía el operador desde la torre convencional.

3.5.4 Disposición de la sala remota

La disposición de posiciones de control remoto cuenta con las siguientes posiciones:

- Posición Principal (PPAL) (IZQDA)
- Posición Back-Up (DCHA)



Ilustración 34. Actual fanal torre GCHI. Fuente Aena.

La configuración de la sala remota será similar al fanal de la torre convencional. Por tanto, se dispondrá de 2 CWP (Controller Working Position) con las posiciones de principal y de back-up, logrando plena redundancia. Si hay un fallo, el controlador se recolocará físicamente en la posición de back-up para continuar prestando servicio. La visibilidad del videowall estará igualmente presente en la posición de back-up; en caso de fallo del videowall se dispondrá de dos monitores emplazados en la propia posición.

El operador ATC/AFIS contará en cada CWP con todos sistemas y herramientas necesarias para las tareas requeridas:

- Bahía de fichas de progresión de vuelo (en papel)
- Impresora de fichas de progresión de vuelo (T/T y T/A)
- Pistola de luces
- Sistema indicador estado de Ayudas a la navegación
- Equipamiento MET
- Alarmas
- Reloj
- Otros sistemas aeroportuarios (SMP)
- Control HMI: interfaz para operar a distancia los sensores y otros dispositivos en el aeródromo
- Pantalla radar
- Pantallas para visualizar la panorámica e imágenes PTZ
- Sistema de audio (altavoces) de sonido ambiente



Ilustración 35. Sala remota con dos CWP con sus sistemas. Sundsvall tower Control, Sweden.

3.5.5 Videowall

El sistema de presentación óptico o videowall, es el elemento más representativo del sistema RTOS de la sala de torre remota. Aquí se presenta el video captado por las cámaras fijas instaladas sobre el fanal. Las pantallas formarán un ángulo de 220 al igual que la panorámica que captura del aeródromo, por lo que no será necesario deformar la imagen. Esto es un punto muy favorable, siendo la imagen reproducida muy parecida a la realidad.

Se ha decidido no aplicar un overlaid estático a imagen del videowall ya que no existen fenómenos meteorológicos adversos a la visibilidad del aeródromo con demasiada frecuencia. No suele llover, no suele haber calimas ni nieblas. Además, el horario operativo del aeropuerto es diurno y la pista es visual, por lo que se cierra cuando la visibilidad baja de los 550m de RVR.

Nota: *La funcionalidad de Overlaid estático, consiste en remarcar la pista o calles de rodaje para facilitar la visión del operador.*



Ilustración 36. Overlaid. Pista de vuelo (amarillo). Calle de rodaje (verde).

Otra de las ventajas de la torre remota, es el procesado de la imagen, consiguiendo una imagen mucho más nítida ante periodos como el amanecer o el atardecer. A continuación, se muestra una imagen real y otra imagen tras un procesado de esta. Esta función es relevante en GCHI ya que, dependiendo de la época del año, la apertura y cierre del aeródromo coincide con el orto o el ocaso.

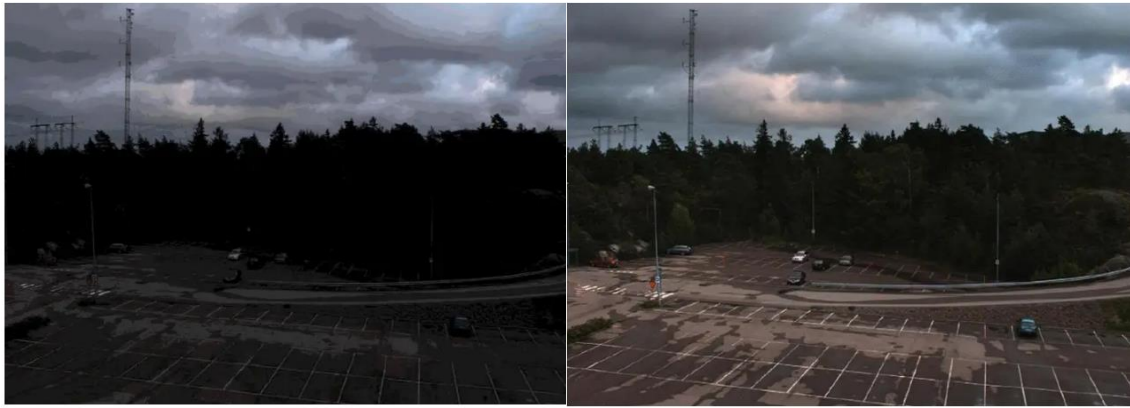


Ilustración 37. Imagen Real (izquierda) contra Imagen presentada en videowall (derecha).

A continuación, se muestra la función visual tracking añadida al RTOS en el videowall aplicado a un FOD encontrado en una calle de rodaje.



Ilustración 38. Función Visual tracking en videowall. FOD. Fabricante Saab

El videowall no presentará presets de las cámaras PTZ para no sobrecargar la imagen panorámica. No resulta necesario ya que no hay zonas sin visibilidad en el área de movimientos.

Se quiere reiterar que todos estos criterios de diseño deben salir del estudio de factores humanos y/o estudio de seguridad del proyecto de implantación.

En resumen, las consideraciones del videowall son la siguientes:

- Pantallas en línea de 220 grados sin deformación de la imagen
- Función visual tracking
- Filtros para mejora de la imagen (nocturno, amanecer, atarceder, antibrillos)
- No overlaid estático
- No presets en imagen panorámica
-

3.5.6 Presentación PTZ e interfaz HMI

La interfaz Hombre-Máquina (HMI) representa el punto de contacto entre el ATCO/AFISO que utiliza el sistema y el resto de los sistemas (incluido los sistemas ópticos dispuestos en aeródromo).

La HMI de CWP se compone de:

- Pantalla táctil
- Dos pantallas/monitores
- Una estación de trabajo

La HMI de CWP está personalizada para presentar lo siguiente:

- Ventana PTZ
- Vista panorámica del videowall

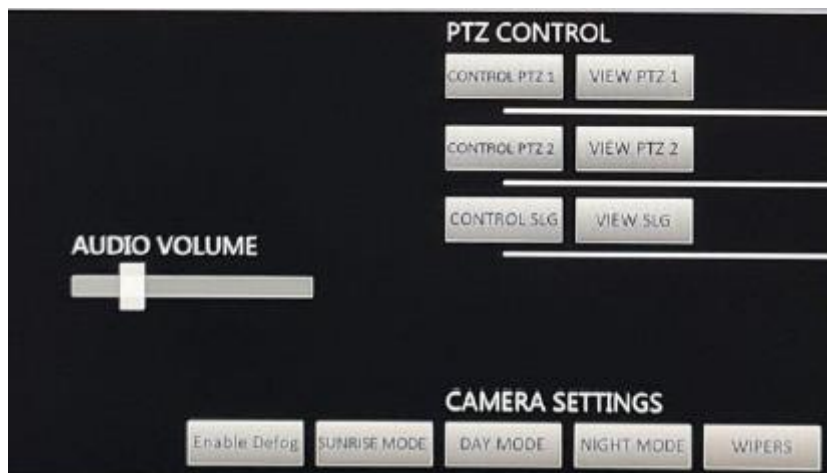


Ilustración 39. Ejemplo Estación de trabajo

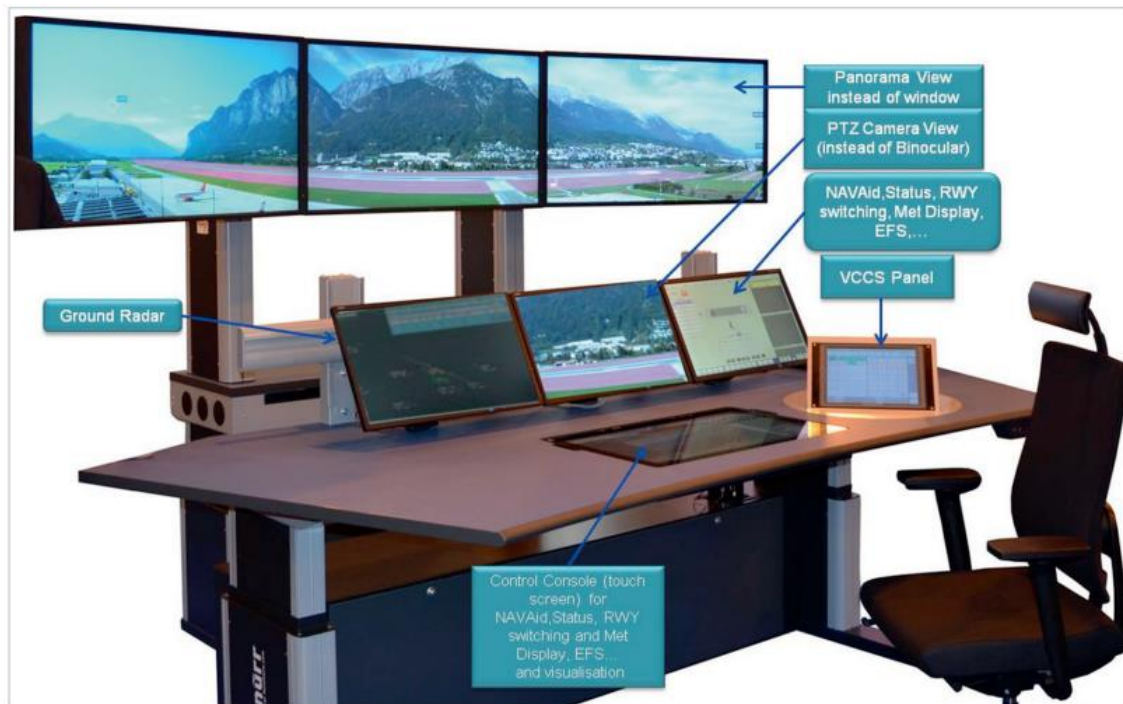


Ilustración 40. Ejemplo de CWP y Videowall

3.5.6.1 Pantalla táctil

La pantalla táctil contiene la estación de trabajo, es la interfaz del usuario con el sistema. Permite las siguientes funcionalidades:

- Selección de vista panorámica a mostrar en las pantallas
- Elección entre la cámara PTZ1 o PTZ2. Así como la pistola de señales
- Control de limpiaparabrisas
- Control de audio
- Control de filtro (día, noche, amanecer, atardecer)
- Funcionalidad Following PTZ

3.5.6.2 Pantallas/Monitores del HMI

Pueden mostrar:

- Visualización de la vista panorámica mostrada capturada por las cámaras fijas emplazadas en el mástil central
- Visualización de las imágenes capturadas por la PTZ1 y PTZ2
- Visualización de las imágenes capturadas por las cámaras de la pistola de luces

4. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones formuladas en base al Capítulo 2 del informe sobre la implantación de una torre remota en el Aeropuerto de El Hierro. Estas conclusiones resumen los hallazgos, verifican la importancia del proyecto y proponen avances futuros:

1. Principales aprendizajes sobre las torres remotas:

- Las torres remotas o digitales representan una gran innovación en los servicios de tránsito aéreo (ATS), permitiendo operaciones desde ubicaciones remotas mediante tecnologías ópticas y de comunicación avanzadas. Este enfoque reduce la dependencia de infraestructuras tradicionales y ofrece importantes ahorros de costes.
- La transición de la observación visual directa a sistemas avanzados de vigilancia introduce nuevos retos en factores humanos, fiabilidad tecnológica e integración de sistemas.

2. Análisis comparativo con torres convencionales:

- Las torres remotas reducen los costes de construcción y operación, especialmente en aeropuertos con volúmenes de tráfico bajos o moderados, o en regiones poco accesibles geográficamente.
- Las torres convencionales, aunque más intuitivas operacionalmente y menos dependientes de la tecnología, implican mayores costes de infraestructura y menor flexibilidad en términos de escalabilidad o gestión remota.

3. Implicaciones operativas:

- Las torres remotas proporcionan flexibilidad operativa, permitiendo gestionar múltiples aeropuertos desde un único centro remoto, particularmente en escenarios de tráfico de baja densidad.
- La dependencia de sistemas avanzados exige redundancias tecnológicas sólidas y una formación rigurosa para garantizar una adaptación fluida y mantener los estándares de seguridad.

4. Relevancia e impacto en la aviación:

- La adopción de torres remotas puede mejorar la conectividad en regiones remotas o poco atendidas, contribuyendo al desarrollo regional y al crecimiento económico.

- Al reducir los costes operativos, las torres remotas hacen viable la prestación de servicios ATS en aeropuertos pequeños que no podrían permitirse instalaciones tradicionales.

5. **Recomendaciones para trabajos futuros:**

- Ampliar la implementación hacia operaciones en modo múltiple, donde un operador pueda gestionar varios aeropuertos, abordando los retos relacionados con la seguridad y la carga cognitiva.
- Desarrollar programas integrales de formación y protocolos de validación operativa para mitigar riesgos asociados a los cambios tecnológicos y procedimentales.

6. **Líneas de investigación futuras:**

- Investigar avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar el seguimiento de objetos, el análisis predictivo y el soporte a la toma de decisiones en operaciones de torres remotas.
- Explorar la integración de tecnologías de realidad aumentada (AR) para mejorar la conciencia situacional y la eficiencia operativa.
- Establecer estándares globales y marcos regulatorios que faciliten la adopción e interoperabilidad de las tecnologías de torres remotas.

7. **Recomendación final**

La implantación de sistemas de torres remotas tiene el potencial de redefinir las operaciones ATS mediante la digitalización y el uso de tecnologías remotas. Es esencial seguir invirtiendo en investigación, formación y refinamiento del sistema para maximizar su eficacia y adaptarse a las necesidades cambiantes de la aviación.

Por último, se presentan las conclusiones de la segunda parte del proyecto, el supuesto práctico de implementar una torre remota en el Aeropuerto de El Hierro. Estas conclusiones resumen los hallazgos, verifican la importancia del proyecto y proponen avances futuros:

8. **Pasos clave para la implementación de una torre remota:**

- La implementación de una torre remota requiere un análisis de múltiples áreas para obtener una serie de requisitos de seguridad que imponer al diseño de torre remota, con el objetivo de prestar un servicio ATS seguro y eficaz, desde el punto de vista operativo.

- Los requisitos de seguridad pueden derivar de diversas fuentes, pero todos deben estar soportados y justificados en un estudio de seguridad
- Involucrar a personal operativo en las fases de diseño, prueba y validación de sistemas, es esencial para garantizar que el diseño de la torre remota responde a las necesidades operativas reales y facilita su adaptación a las nuevas funcionalidades. Su experiencia y conocimientos prácticos permiten identificar riesgos, mejorar la ergonomía de los sistemas e implementar procedimientos más efectivos. Además, este enfoque participativo reduce la resistencia al cambio y mejora la aceptación del sistema por parte del personal.

9. **Importancia del contexto operativo:**

- La implementación de una torre remota depende en gran medida de un análisis riguroso del contexto operativo del aeródromo, considerando factores como la densidad y tipo de tráfico aéreo, la geometría y configuración del aeródromo, y las condiciones meteorológicas.
- Estos elementos determinan los desafíos específicos que enfrenta el sistema, afectando directamente la ubicación de los sensores, las características del videowall y otros componentes críticos. El Aeropuerto de El Hierro, con sus características de tráfico y ubicación geográfica particular, ejemplifica la importancia de adaptar las soluciones a las necesidades específicas del entorno.

10. **Requisitos regulatorios directos e indirectos:**

- Los requisitos regulatorios directos están claramente definidos en las normativas internacionales y garantizan que el sistema RTOS cumpla con las funciones básicas del servicio ATS, como la supervisión de operaciones de vuelo y actividades en el área de maniobras.
- Los requisitos indirectos, aunque menos evidentes, son esenciales para complementar las operaciones en circunstancias específicas. Estos incluyen la detección de configuraciones anormales de aeronaves, obstrucciones en las áreas de maniobra, o la gestión de condiciones meteorológicas adversas, lo que asegura un nivel de servicio equivalente o superior al ofrecido por las torres convencionales.

11. **Requisitos AOREQ y su rol en el diseño:**

- Los AOREQ (Requisitos de Áreas y Objetos de Interés) permiten identificar qué áreas y objetos deben ser supervisados en el entorno operacional, definiendo parámetros clave como la detección, reconocimiento y rastreo de aeronaves, vehículos u obstáculos.

- En el caso del Aeropuerto de El Hierro, estos requisitos se ajustaron a la baja densidad de tráfico y las características topográficas, determinando configuraciones específicas del sistema, como el tipo y la ubicación de cámaras.

12. Requisitos ToIREQ y seguimiento visual avanzado:

- Los ToIREQ (Requisitos de Rastreo de Interés) se centraron en optimizar el seguimiento visual a través de tecnologías avanzadas, como el uso de cámaras PTZ y el videowall. Estas herramientas permiten aumentar objetos en movimiento mediante símbolos o información adicional, mejorando significativamente la conciencia situacional de los operadores.
- Esta capacidad es elemental para gestionar operaciones simultáneas y mantener altos niveles de seguridad en un entorno con densidad de tráfico media, como el de GCHI.

13. Transformación de requisitos en configuraciones funcionales:

- El proyecto demuestra cómo los requisitos directos, indirectos, AOREQ y ToIREQ se transforman en configuraciones prácticas, incluyendo la definición del campo de visión del videowall (220° en el caso de GCHI), el número, tipo de cámaras necesarias y su ubicación, así como las funcionalidades avanzadas del sistema.
- Esta metodología asegura que las especificaciones técnicas estén alineadas con las necesidades operativas del aeródromo

14. Lecciones aprendidas y replicabilidad del sistema:

- La implementación en GCHI resalta la necesidad de obtener requisitos de múltiples fuentes, incluidas normativas, estudios de seguridad y factores humanos, asegurando que el diseño sea robusto y adaptable.
- Este enfoque establece un modelo replicable para otros aeropuertos regionales con características similares, promoviendo la flexibilidad y eficiencia de la torre remota como un nuevo modelo para prestar servicio ATS de manera deslocalizada.

5. BIBLIOGRAFÍA

- **Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services.** European Union Aviation Safety Agency (EASA) [En línea] Julio del 2020. [Citado el: 07 de noviembre de 2024.] <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-guidance-material-remote-aerodrome-air-traffic>
- **AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD AÉREA** [En línea] <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/navegacion-aerea/proveedores-de-servicios-y-funciones-de-navegacion-aerea/servicios-y-funciones>
- **D03- Remote and Virtual Tower Rules & Regulations Assessment Report.** SESAR Joint undertaking, 4 de Octubre de 2012.
- **ED-240B MINIMUM AVIATION SYSTEMA PERFORMANCE STANDAR FOR REMOTE TOWER OPTICAL SYSTEMS.** EUROCAE, 31 de julio de 2023. <https://www.eurocae.net>
- **Reglamento de Circulación Aérea**
- **Anexo 14 de la OACI**
- **NATS** [En línea] <https://www.nats.aero/news/london-city-is-first-major-airport-controlled-by-remote-digital-tower/>
- **ED 2019/004/R-Remote aerodrome air traffic service, de EUROCAE**
- **Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373**
- **Plan director del aeropuerto. AENA AEROPUERTO DATOS DE EL HIERRO**
- **Insignia Enaire** [En línea] <https://insignia.enaire.es/>
- **AIP Enaire** [En línea] <https://aip.enaire.es/AIP/>
- **Real Decreto 1133/2010, de 10 de septiembre, por el que se regula la provisión del servicio de información de vuelo de aeródromos (AFIS).**
- **Reglamento de Circulación Aérea (RCA), aprobado por el Real Decreto 57/2002**
- <https://www.aena.es/es/estadisticas/informes-anuales.html>
- **NAV CANADA**
- **www.frequentis.com**

- Remote Tower Control (RTC) Real operational experience
- <https://www.aena.es/es/estadisticas/informes-anuales.html>
- <https://www.businessinsider.com/remote-towers-change-air-traffic-control-2012-11#sensors-detect-objects-that-should-not-be-in-the-area-6>