

Estudio para la optimización de la cobertura de las comunicaciones VHF en las zonas de control de ruta y aproximación en la Región de Información de Vuelo Canarias.

Francisco José Grimón Domínguez

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación 2017
Sistemas de comunicaciones

Carlos Monzo Sánchez
Víctor Martínez Illamola

02/02/2020



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Estudio para la optimización de la cobertura de las comunicaciones VHF en las zonas de control de ruta y aproximación en la Región de Información de Vuelo Canarias.</i>
Nombre del autor:	<i>Francisco José Grimón Domínguez</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Víctor Martínez Illamola</i>
Nombre del PRA:	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	06/2020
Titulación:	<i>Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación 2017</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Sistemas de Comunicación</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español</i>
Palabras clave	<i>Región de Información de Vuelo, Servicio Móvil Aeronáutico, Comunicaciones Tierra/Aire VHF, portadora desplazada, VoIP.</i>
Resumen del Trabajo:	
<p>El espacio aéreo español se divide en 3 regiones de información de vuelo. Una de estas regiones es la denominada como FIR Canarias. Esta Región está definida por su tamaño y abrupta orografía y además de abarcar el archipiélago canario incluye una gran zona del océano Atlántico.</p> <p>Para una gestión eficiente del espacio aéreo, se usan centros comunicaciones Tierra/Aire VHF, junto a otros sistemas aeronáuticos. Esto permite a los controladores aéreos establecer comunicaciones con pilotos de las diferentes aeronaves en el FIR que gestionan. En función de la fase del vuelo, el sistema proporciona comunicaciones T/A para control de ruta y comunicaciones T/A para control de aproximación.</p> <p>Existen dos tipos de configuraciones para los centros de comunicaciones: Configuración de frecuencia única, con un único centro de comunicaciones y configuración en portadoras desplazadas, donde existen 2 o 3 centros con la misma frecuencia. El uso de la configuración de portadoras desplazadas genera en el receptor interferencias entre recepciones con nivel similar en las zonas donde se solapan las coberturas de esos 2 o 3 centros. Además, normalmente se dispone de duplicidad de emplazamientos, es decir, existe</p>	

emplazamiento principal y alternativo.

Para solucionar los problemas previamente descritos, se propondrán nuevas ubicaciones para analizar la posibilidad de eliminar la configuración en portadora desplazada y se propondrán emplazamientos alternativos donde no existan.

Además, se planteará migración a tecnología VoIP dotando de mayor flexibilidad al sistema, permitiendo entre otras ventajas, compartición de recursos radios entre diferentes dependencias o reenvío de comunicaciones a centros de contingencias.

Abstract:

The Spanish airspace is divided into 3 flight information regions. One of these regions is called FIR Canary. This Region is defined by its size and abrupt orography and in addition to encompassing the Canary archipelago it includes a large area of the Atlantic Ocean.

For efficient airspace management, VHF Ground / Air communication centers are used, along with other aeronautical systems. This allows air traffic controllers to establish communications with pilots of the different aircraft in the FIR they manage. Depending on the phase of the flight, the system provides G/A communications for route control and G/A communications for approach control.

There are two types of configurations for communication centers: Single frequency configuration, with a single communication center and configuration in offset carriers, where there are 2 or 3 centers with the same frequency. The use of the offset carrier configuration generates interferences between receptions with a similar level in the areas where the coverage of these 2 or 3 centers overlap. In addition, duplication of locations is usually available, in other words, there is a primary and alternative location.

To solve the previously described problems, new locations will be proposed to analyze the possibility of eliminating the offset carrier configuration and alternative locations, where they do not exist, will be proposed.

In addition, migration to VoIP technology will be considered, providing greater flexibility to the system, allowing, among other advantages, sharing of radio resources between different dependencies or forwarding of communications to contingency centers.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2 Objetivos del Trabajo.....	2
1.3 Enfoque y método seguido.....	3
1.4 Planificación del Trabajo	3
1.5 Breve resumen de productos obtenidos	7
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	7
2. Estado del arte	9
2.1 Introducción.....	9
2.2 VoIP.....	10
2.2.1 Introducción:	10
2.2.2 Tecnología VoIP:	11
2.2.3 SIP	12
2.2.4 RTP.....	12
2.3 Tecnología VoIP en entorno aeronáutico	12
2.4 Conclusión.....	16
3. Región de Información de Vuelo Canarias	17
3.1 Introducción.....	17
3.2 Espacio Aéreo Español.....	18
3.3 Región de Información de Vuelo Canarias.....	21
4. Estudio de sistema de comunicaciones Tierra/Aire (T/A).....	28
4.1 Introducción.....	28
4.2 Gestión de las frecuencias del servicio de ruta y aproximación del FIR Canarias.....	29
4.3 Infraestructuras de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) VHF para servicios de ruta y aproximación del FIR Canarias	31
4.4 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pico de la Gorra	32
4.5 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pozo de las Nieves	32
4.6 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Peñas del Chache.....	33
4.7 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Fuerteventura	33
4.8 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el aeropuerto de El Hierro.....	33
4.9 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el aeropuerto de La Palma	34
4.10 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el centro de emisores del aeropuerto de Gran Canaria [1,13]	34
4.11 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en la Cruz de Taborno.....	34
4.12 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Centro de Emisores VHF del Aeropuerto de Tenerife Norte	35

4.13 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Centro de Emisores VHF del Aeropuerto de Tenerife Sur	35
4.14 Uso de configuración de portadoras desplazadas.....	35
5. Propuesta de mejora	40
5.1 Introducción.....	40
5.2 Nuevos emplazamientos	40
5.3 Fuerteventura	41
5.4 Lanzarote	41
5.5 La Gomera	42
5.6 La Palma	43
5.7 Simulaciones con el Software Radio Mobile.....	44
5.8 Propuesta para servicio de ruta.....	45
5.8.1 Frecuencia 130,950 MHz.....	45
5.8.2 Frecuencia 133,000 MHz.....	50
5.8.3 Frecuencia 127.9 MHz.....	53
5.8.4 Frecuencia 123.650 MHz.....	54
5.8.5 Estado final de las frecuencias del servicio de ruta	58
5.9 Propuesta para servicio de aproximación.....	59
5.9.1 Frecuencia 126,100 MHz.....	59
5.9.2 Frecuencia 124,700 MHz.....	63
5.9.3 Frecuencia 125,625 MHz.....	66
5.9.4 Frecuencia 129,300 MHz.....	69
5.9.5 Frecuencia 127,700 MHz y 128,125 MHz	70
5.9.6 Frecuencia 125,350 MHz.....	72
5.9.7 Estado final de las frecuencias del servicio de aproximación	74
6. Conclusiones.....	75
7. Glosario	78
8. Bibliografía	79
9. Anexos	81
9.1 Propuesta de Antenas VHF.....	81
9.2 Propuesta de Transmisores	83

Índice de figuras

Figura 1: Espacio aéreo español.....	1
Figura 2: FIR Canarias.....	1
Figura 3: Diagrama de Gantt.....	6
Figura 4 - Productos obtenidos en formato WBS.....	7
Figura 5 – Arquitectura de la publicación "Design, implementation and performance validation of an ip based Aeronautical Telecommunications Network using satellite links	9
Figura 6 - Conmutación de paquetes.....	11
Figura 7- Acuerdo de Viena	13
Figura 8 - Conexión SIP entre SCV y equipo radio TX/RX (transceptor).....	15
Figura 9 - Conexión SIP entre SCV y equipo radio TX/RX (separados).....	15
Figura 10 - Funcionalidad de las Pasarelas IP.....	16
Figura 11 - División del Espacio Aéreo Internacional por la OACI.....	17
Figura 12 - Espacio Aéreo Español.....	18
Figura 13 - FIR Sevilla (Delegación del FIR Madrid).....	18
Figura 14 - Áreas de acción de los Centros de Control de Tránsito Aéreo del espacio aéreo español.....	19
Figura 15 - Áreas de Control de Terminal (TMA) de España.....	20
Figura 16 - Zonas de Control de Tráfico Aéreo.....	21
Figura 17 – Dependencias desde donde se prestan Servicios de Control de Tránsito Aéreo en FIR Canarias.....	23
Figura 18 - Sectorización FIR Canarias para servicio de ruta.....	24
Figura 19 - Sectorización FIR Canarias para servicio de aproximación.....	25
Figura 20 - Aerovías del UIR.....	26
Figura 21 - Aerovías del FIR	27
Figura 22 - Sector AC.....	37
Figura 23 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 10 (1000 pies/300 metros).....	38
Figura 24 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 100 (10000 pies/3050 metros).....	38
Figura 25 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 150 (15000 pies/4500 metros).....	39
Figura 26 - Vista aérea del emplazamiento de Temejereque (Fuerteventura) [14].....	41
Figura 27 - Vista aérea del emplazamiento de Femés (Lanzarote).....	41
Figura 28 - Vista aérea del emplazamiento de Iqualero (La Gomera).....	42
Figura 29 - Existencia de visión directa entre emplazamientos de Aeropuerto Gomera e Iqualero.....	42
Figura 30 - Vista aérea del emplazamiento de Cumbre Nueva (La Palma).....	43
Figura 31- Existencia de visión directa entre emplazamientos de Aeropuerto La Palma y Cumbre Nueva.....	43
Figura 32 - Colores/Nivel de señal (dBm).....	44
Figura 33 - Sector CEN.....	45

Figura 34 - Cobertura desde emplazamientos de Pico de la Gorra y Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora desplazada donde se muestra zona de solapamiento.	46
Figura 35- Cobertura desde emplazamiento de Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz en FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora única.....	47
Figura 36 - Cobertura desde emplazamiento de Femés para la frecuencia 130,95 MHz a nivel de vuelo FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora única.	48
Figura 37 - Cobertura desde emplazamientos de Femés y Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz a nivel de vuelo FL 310 y FL 460 en configuración de portadora única.	49
Figura 38 - Sector OCE-E.	50
Figura 39 - Cobertura para 133,000 MHz desde emplazamiento de Pozo de las Nieves y Peñas del Chache en configuración de portadora desplazada a nivel de vuelo FL 150, donde se puede observar la zona de solape.	50
Figura 40 - Distancia de visibilidad radioeléctrica.....	51
Figura 41 - Cobertura para 133,000 MHz desde los emplazamientos de Femés, Temejereque e Igualero a FL 150 en configuración de portadora única.	52
Figura 42 - Sector ST.	53
Figura 43 - Cobertura desde Igualero - FL 150 - 50W - Cardioide 100º.....	53
Figura 44 - Cobertura desde Pozo de las Nieves - FL 150 - 50W - Cardioide 180º.....	54
Figura 45 - Sector WW.....	55
Figura 46 - Se encuadra en rojo la única aerovía que discurre por el sector WW.....	55
Figura 47- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 310 - 50W - Omnidireccional.....	56
Figura 48- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 310 - 50W - Omnidireccional.....	56
Figura 49- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 460 - 50W - Omnidireccional.....	57
Figura 50- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 460 - 50W - Omnidireccional.....	57
Figura 51 - Sectores ACW y FCW.....	59
Figura 52 - Cobertura desde Pico de la Gorra (50W) y Aeropuerto de La Palma (200W) para 126,1 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 - Omnidireccional.....	60
Figura 53 - Cobertura para 126,1 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	60
Figura 54 - Cobertura para 126,1 MHz en configuración de portadora única desde Cruz de Taborno - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	61
Figura 55- Cobertura desde emplazamientos de Igualero y Cruz de Taborno para la frecuencia 126,100 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50 W – Omnidireccional.	62
Figura 56 - Sector FCW.....	63
Figura 57 - Cobertura desde Pico de la Gorra (100W) y Peñas del Chache (50W) para 124,700 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.....	63

Figura 58- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única- FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	64
Figura 59- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	64
Figura 60 - Cobertura desde emplazamientos de Igualero y Cruz de Taborno para la frecuencia 124,700 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50 W – Omnidireccional.	65
Figura 61 - Sector AC.....	66
Figura 62 - Cobertura desde Pico de la Gorra (200W) y Aeropuerto de Fuerteventura (50W) para 125,625 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.	66
Figura 63- Cobertura desde Temejereque (50W) - FL 10 – Omnidireccional...	67
Figura 64- Cobertura desde Femés (50W) - FL 10 – Omnidireccional.	67
Figura 65 - Cobertura desde emplazamientos de Temejereque y Femés para la frecuencia 125,625 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50W – Omnidireccional.	68
Figura 66 - Cobertura desde Pico de la Gorra (200W) y Peñas del Chache (50W) para 129,300 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.....	69
Figura 67 - Sector TSAPP.	70
Figura 68 - Cobertura desde Aeropuerto de Tenerife Sur (50W) y Aeropuerto de La Palma (200W) - FL 10 – Omnidireccional.....	71
Figura 69 - Cobertura para 127,7 MHz y 128,125 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	71
Figura 70 - Cobertura para 125,350 MHz desde el Aeropuerto de El Hierro en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	72
Figura 71 - Cobertura para 125,350 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.....	73
Figura 72 - Área abarcada por el sector OCE-E.....	75
Figura 73- Cobertura desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.	76
Figura 74- Cobertura desde Igualero en configuración de portadora única - FL 150 - 50W - Omnidireccional.	76

Índice de tablas

Tabla 1 - Codecs utilizados para la codificación de voz.	10
Tabla 2 - Frecuencias del servicio de ruta según sector.	29
Tabla 3 - Frecuencias del servicio de aproximación según sector.	30
Tabla 4 - Frecuencias emplazamiento Pico de la Gorra.	32
Tabla 5 - Frecuencias emplazamiento Pozo de las Nieves.	32
Tabla 6 - Frecuencias emplazamiento Peñas del Chache	33
Tabla 7 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Fuerteventura.	33
Tabla 8 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de El Hierro.	33
Tabla 9 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de La Palma.	34
Tabla 10 - Frecuencias emplazamiento del Aeropuerto de Gran Canaria.	34
Tabla 11 - Frecuencias emplazamiento de la Cruz de Taborno.	34
Tabla 12 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Tenerife Norte.	35
Tabla 13 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Tenerife Sur.	35
Tabla 14 - Emplazamientos en los que existen frecuencias en configuración de portadoras desplazadas.	36
Tabla 15 - Estado final de las frecuencias del servicio de ruta según propuesta de este trabajo fin de máster.	58
Tabla 16 - Estado final de las frecuencias del servicio de aproximación.	74

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

El espacio aéreo español ocupa actualmente unos 2.190.000 kilómetros cuadrados. Como se puede ver en la Figura 1 [1], este espacio se divide en 3 regiones de información de vuelo, (FIR - *Flight Information Region*) que serán explicadas con más detalle en la memoria.

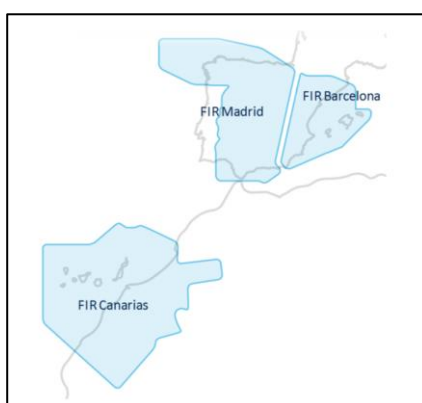


Figura 1: Espacio aéreo español [1].

Una de estas regiones es la denominada FIR Canarias (Figura 2), sobre en la cual se centrará este Trabajo Fin de Máster (TFM).

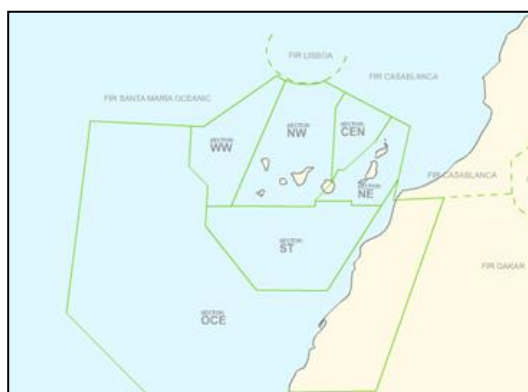


Figura 2: FIR Canarias [1].

Esta Región está definida por su tamaño y abrupta orografía y además de abarcar el archipiélago canario incluye una gran zona del océano Atlántico. El relieve del archipiélago es de origen volcánico y muy montañoso. En esta región, además de gestionarse los vuelos que llegan y salen a/de las islas, se gestionan los vuelos entre Europa y América.

Para hacer una gestión eficiente del espacio aéreo, se hace uso de las infraestructuras de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) VHF, que junto a otros sistemas, prestan el Servicio Móvil Aeronáutico. Esto permite a los controladores aéreos establecer comunicaciones con los pilotos de las diferentes aeronaves en el FIR que gestionan. En función de la fase del vuelo, el sistema proporciona comunicaciones T/A para control de ruta (servicio que se presta desde los Centros de Control de Tránsito Aéreo) y comunicaciones T/A para control de aproximación, APP (servicio prestado desde los Centros de Control de Tránsito Aéreo o determinadas torres de control).

Debido a las características de la región a tratar y el tamaño de la misma, mencionadas en párrafos anteriores, en ocasiones se hace difícil abarcarla con dichas frecuencias, ya que aparecen un gran número de obstáculos, zonas de sombra, etc. Por ello, existen dos tipos de configuraciones para los centros de comunicaciones: Configuración de frecuencia única, con un único centro de comunicaciones es suficiente para proporcionar cobertura al área requerida, y configuración en portadoras desplazadas, donde existen 2 o 3 centros con la misma frecuencia para proporcionar cobertura al área de acción. El uso de la configuración de portadoras desplazadas genera en el receptor interferencias entre recepciones con nivel similar en las zonas donde se solapan las coberturas de esos 2 o 3 centros. Además, normalmente se dispone de duplicidad de emplazamientos, es decir, existe un emplazamiento principal y otro alternativo.

Por lo tanto, se propondrán nuevas ubicaciones para poder eliminar la configuración en portadora desplazada y se indicarán emplazamientos alternativos donde no existan.

Además, se planteará la migración a tecnología VoIP, por las ventajas que aporta. Por ejemplo, la posibilidad de compartir el recurso radio con diferentes centros, dándole flexibilidad al sistema.

1.2 Objetivos del Trabajo

El objetivo principal de este trabajo final de máster consiste en la realización de un estudio para la optimización de la cobertura de las estaciones de comunicación para control de ruta y para control de aproximación del FIR Canarias, proponiendo mejoras tales como nuevas ubicaciones, eliminación de frecuencias desplazadas, cambio de tecnologías, etc. Por otra parte, dentro del cambio de tecnología se propondrá la tecnología VoIP. Para ello, primero se explicará dicha tecnología, para posteriormente particularizarla para el campo de la navegación aérea.

Como objetivos específicos, en este trabajo fin de máster se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Estudio a nivel general del espacio aéreo español y del FIR Canarias.
- Estudio de la herramienta de simulación de coberturas.
- Análisis del sistema de comunicaciones actual.
- Propuesta de nuevos emplazamientos y solución aportada.
- Aplicación de Tecnología VoIP a la solución.

1.3 Enfoque y método seguido

La estrategia que se ha seguido es estudiar los centros de comunicaciones que actualmente dan cobertura a las zonas de control de ruta y control de aproximación, (zonas extensas y que abarcan áreas de geografía abrupta y zonas oceánicas), con las configuraciones que poseen. Tras los resultados obtenidos, se ha realizado un estudio para obtener una serie de nuevos posibles emplazamientos, para terminar por elegir una serie de ellos, en los que se añadirán nuevos centros de comunicación que podrían optimizar el sistema actual. Se podría haber optado por realizar una propuesta de una nueva red de centros de comunicaciones, pero, debido a las características de las islas Canarias, donde muchos de los lugares con mejor cobertura son áreas protegidas, hacen esta solución difícil de implementar. Además, económicamente implicaría un presupuesto mucho mayor que el de la solución aportada.

Por otra parte, se propone la migración a tecnología VoIP por sus ventajas, aportando un valor añadido a la solución.

1.4 Planificación del Trabajo

Para la realización del trabajo, se ha realizado la distribución en tareas (T) con sus correspondientes apartados (A), estas tareas se enumeran a continuación, dentro de cada una de ellas, se irán definiendo los hitos (H), que se alcanzan en cada tarea. Las tareas principales son:

T1. Análisis del espacio aéreo español, en concreto el FIR Canarias:

Esta tarea, permite tener un conocimiento general del espacio aéreo español, en concreto del FIR Canarias.

T1. A1 Estudio del espacio aéreo español:

Se realiza un estudio general del espacio aéreo español y sus diferentes FIR.

T1. A2 Estudio del FIR Canarias:

Se realiza un estudio general del FIR Canarias.

H1. Conocer de manera general el espacio aéreo español y FIR Canarias:

Conocer de manera general el espacio aéreo español, en concreto del FIR Canarias como punto de partida de este trabajo fin de máster.

Fecha de inicio: 20/02/2020 **Fecha fin:** 27/02/2020 **Duración:** 7 días

T2. Estudio de la herramienta software a utilizar:

En este punto se estudiará el software Radio Mobile que se va a utilizar para la simulación de coberturas.

T2. A1 Estudio de la herramienta de simulación Radio Mobile

Se realiza estudio de la herramienta software a utilizar.

H2. Conocer el funcionamiento de herramienta software.

Fecha de inicio: 28/02/2020 **Fecha fin:** 05/03/2020 **Duración:** 7 días

T3. Análisis del sistema de comunicaciones T/A actual:

En este punto se analizará el sistema de comunicaciones actual.

T3. A1 Emplazamientos actuales

Se analizarán los emplazamientos actuales de la región y las frecuencias disponibles.

T3. A2 Simulación coberturas sistema de comunicaciones actual:

Tras el estudio realizado en el punto T3.A1 se realizarán simulaciones para una serie de emplazamientos y frecuencias.

T3. A3 Puntos de mejora:

Tras los dos puntos anteriores se indicarán las posibles mejoras.

H3. Definición de posibles mejoras:

Se definirán las posibles mejoras sobre el sistema de comunicaciones T/A actual.

Fecha de inicio: 06/03/2020 **Fecha fin:** 26/03/2020 **Duración:** 20 días

T4. Elección de nuevos emplazamientos:

En este apartado se va a realizar un análisis de los posibles nuevos emplazamientos.

T4. A1 Propuesta de posibles nuevos emplazamientos.

En este ítem se mostrarán los posibles nuevos emplazamientos.

T4. A2 Elección de nuevos emplazamientos.

En función de diferentes criterios se definirán los nuevos emplazamientos.

T4. A3 Análisis y propuesta de la solución.

En función de nuevos emplazamientos elegidos, se propondrá la solución definitiva.

H4. Presentación de solución aportada.

Fecha de inicio: 27/03/2020 **Fecha fin:** 28/04/2020 **Duración:** 30 días

T5. Tecnología VoIP:

En este apartado se va a realizar un análisis de la posible aplicación de tecnología VoIP para el sistema de comunicaciones T/A.

T5. A1 Análisis general de tecnología VoIP

Se realizará un estudio general de la tecnología VoIP.

T5. A2 Análisis general de la tecnología VoIP para navegación aérea.

Se realizará un estudio general de la tecnología VoIP para navegación aérea.

H5. Estudio VoIP

Fecha de inicio: 29/04/2020 **Fecha fin:** 17/05/2020 **Duración:** 19 días

T6. Realización de la documentación:

Se realiza la documentación del trabajo realizado, elaborando y redactando la memoria final del TFM, así como su presentación.

T6. A1 Memoria:

Redacción de la memoria del TFM.

T6. A2 Presentación:

Preparación de la presentación de los puntos más significativos de este trabajo y los resultados obtenidos.

H6. Elaboración de la documentación necesaria para la finalización del TFM.

Fecha de inicio: 18/05/2020 **Fecha fin:** 11/06/2020 **Duración:** 25 días

Por último, los recursos materiales de los que se dispone para la realización de este TFM son los siguientes:

- Ordenador de sobremesa hp 2.9 GHz, 8Gb RAM Windows 10 x64
- Software: *Radio Mobile Versión 11.6.6*
- Software: Paquete ofimático de Microsoft Office

1.5 Breve resumen de productos obtenidos

En la Figura 4 se muestran los diferentes productos obtenidos en formato WBS (*Work Breakdown Structure*), estos productos se corresponden con los hitos presentados en la planificación.

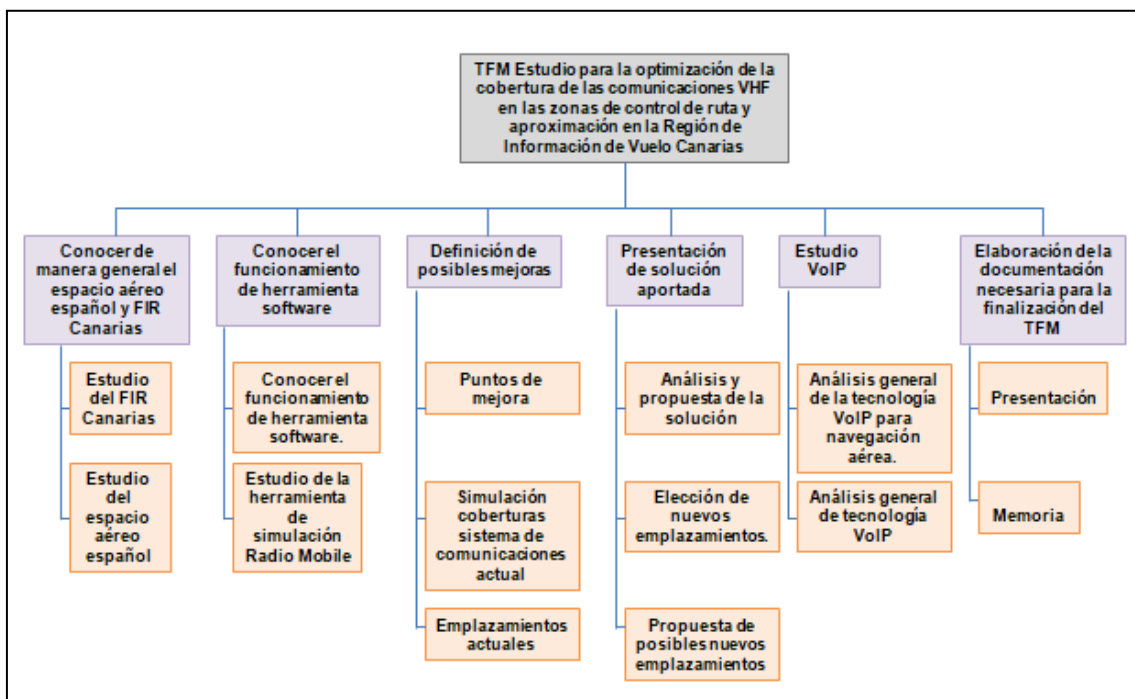


Figura 4 - Productos obtenidos en formato WBS.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

Capítulo 2 – Tecnología VoIP:

Se realizará una descripción general de la tecnología, ventajas que aporta y particularización de la misma para la navegación aérea.

Capítulo 3 - Espacio aéreo Región de Información de Vuelo Canarias:

Se analizará cómo está distribuido el espacio aéreo español y se centrará en la región de Canarias. Para ello, se mostrará cómo se organizan la misma.

Capítulo 4 - Estudio de sistema de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) actual:

Se realizará una descripción del sistema de comunicaciones actual en la región a estudio. Se atenderá a la localización de los emplazamientos actuales, mostrando las frecuencias que se gestionan en cada uno y su uso. Se indicarán los puntos de mejora, en los que se analizará el efecto del uso de la portadora desplazada.

Capítulo 5 - Propuesta de mejora:

Se propondrán nuevos emplazamientos en función de una serie de criterios desarrollados en la memoria. Se analizará con estos nuevos emplazamientos la optimización de la cobertura y se presentarán ubicaciones alternativas, para las frecuencias que no dispongan.

Capítulo 6 - Conclusiones y líneas futuras:

Se comentarán las conclusiones y se presentarán las posibles líneas futuras que se pueden desarrollar tras la finalización del TFM.

Para cerrar esta memoria se presentan el glosario, la bibliografía utilizada para la realización de este trabajo final de máster y anexos.

2. Estado del arte

2.1 Introducción

Hasta ahora la tecnología usada en la transmisión radio era analógica, pero la evolución de las telecomunicaciones ha permitido el desarrollo de otras tecnologías, como es la Voz sobre IP (VoIP – *Voice over IP*). Al ser una tecnología que ya está madura se han establecido requisitos tanto a nivel general, como a nivel aeronáutico, permitiendo su uso en navegación aérea. Se lleva tiempo trabajando en ese campo como se puede observar en publicaciones como “*Digital Broadband VHF Aeronautical Communications for Air Traffic Control*” [2] presentada en 2009 en la Conferencia de Comunicaciones Integradas, Navegación y Vigilancia, donde se propone la banda de VHF para servicios aeronáuticos en VoIP. Más en concreto y cercano en el tiempo se puede ver en la publicación “*Design, implementation and performance validation of an ip based Aeronautical Telecommunications Network using satellite links*” [3] presentada en 2016 en la Conferencia de Comunicaciones Integradas, Navegación y Vigilancia, en la que se presenta el diseño de una red de telecomunicaciones aeronáuticas basada en estándares y protocolos IP (ED-137) que cumple con los requisitos que se desarrollarán en el punto 3 de este capítulo especificados por la EUROCAE, una organización internacional sin ánimo de lucro de la que forman parte tanto fabricantes como usuarios de equipos aeronáuticos en Europa, cuyo objetivo es la elaboración de especificaciones y documentos de guía para los equipos de aviación civil. De hecho, en esta última publicación se implementa una solución usando pasarelas IP (definidas en el punto 3) suponiendo que se usan transmisores/receptores que no soportan VoIP (Figura 5).

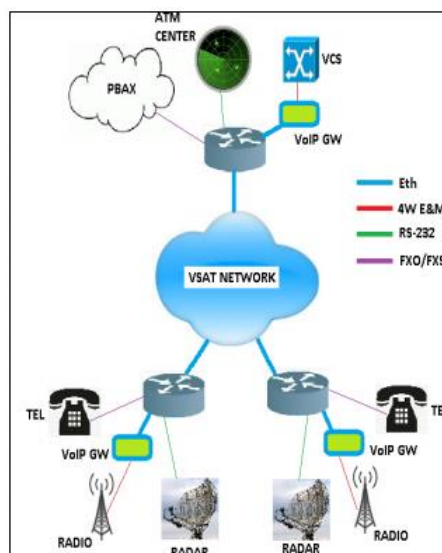


Figura 5 – Arquitectura de la publicación "Design, implementation and performance validation of an ip based Aeronautical Telecommunications Network using satellite links [3].

En este trabajo Fin de Máster se implementarían los transmisores/receptores VoIP, desarrollándose en el punto 2.4 los beneficios que aportaría la migración a esta tecnología.

2.2 VoIP

2.2.1 Introducción:

Al hablar se generan formas de onda acústicas que se propagan por el aire. Esas ondas son analógicas, porque su variación es continua, cambiando gradualmente. Esta señal analógica actualmente es transportada, para el caso de este proyecto, desde el Sistema de Comunicaciones de Voz (SCV o en inglés *Voice Communications System - VCS*) hasta/desde los transmisores/receptores.

Las transmisiones analógicas sufren atenuación de la señal con la distancia. Los repetidores o amplificadores se emplean para mantener el nivel de la señal dentro de unos niveles aceptables, pero de esta manera se amplifica también el ruido, pudiendo distorsionarse la señal recibida en el destino. Para solventar este problema se hace uso de circuitos digitales. Para digitalizar una señal es necesario realizar una serie de procesos que son: muestreo, cuantificación y codificación, los cuales no se explicarán en este documento. Opcionalmente se puede comprimir la señal para ahorrar ancho de banda y para eso se hace uso de los *codecs*.

Un *codec* es un conjunto de funciones algorítmicas necesarias para comprimir y descomprimir un archivo. Para la codificación de voz, algunos de los *codecs* más utilizados son los siguientes:

Tabla 1 - *Codecs* utilizados para la codificación de voz.

Codec	Descripción	Tasa de bits	Tasa de muestras	Bit/muestra	Ancho de banda
G.711 Ley μ	Utilizado en Norte América y Japón	64 kbps	8 kHz	8	87,2 Kbps
G.711 Ley A	Utilizado en Europa y resto del mundo	64 kbps	8 kHz	8	87,2 Kbps
G.722	Puede adaptar su frecuencia de muestreo según congestión de la red	48, 56, 64kbps	16 KHz	8	87,2 Kbps
G.723	Comprime la voz utilizando <i>Voice Activity Detection</i>	6,3 kbps	8 KHz	N/A	21,9 Kbps
G.728	Utilizado en sistemas de video conferencia a 56 o 64 Kbps	16 kbps	8 KHz	N/A	31,5 Kbps
G.729	Utiliza el modelo CELP (<i>Code Excited Linear Prediction</i>)	8 kbps	8 KHz	N/A	31,2 Kbps

En el ámbito de la comunicación de datos, se han ido desarrollando diferentes tipos de conmutación para llevar la señal desde el usuario origen al usuario destino. Para el caso de Voip, se usa la conmutación de paquetes.

La conmutación de paquetes se diseñó para cumplir con los requisitos que presentan las transmisiones a ráfagas de envíos de datos. En una red de

conmutación de paquetes, los datos a transportar se fragmentan en trozos llamados paquetes antes de enviarse. La información necesaria para enrutar el paquete a través de la red va incluida en cada uno de ellos, formando la cabecera (*header*). Los nodos de la red de conmutación de paquetes se llaman *routers*. Cuando un *router* recibe un paquete examina la cabecera y lo envía al siguiente *router* (Figura 6). Este proceso se realiza en cada *router* del recorrido hasta llegar al destino. Cuando llega al destino, el terminal se deshace de la cabecera y recoge los datos.

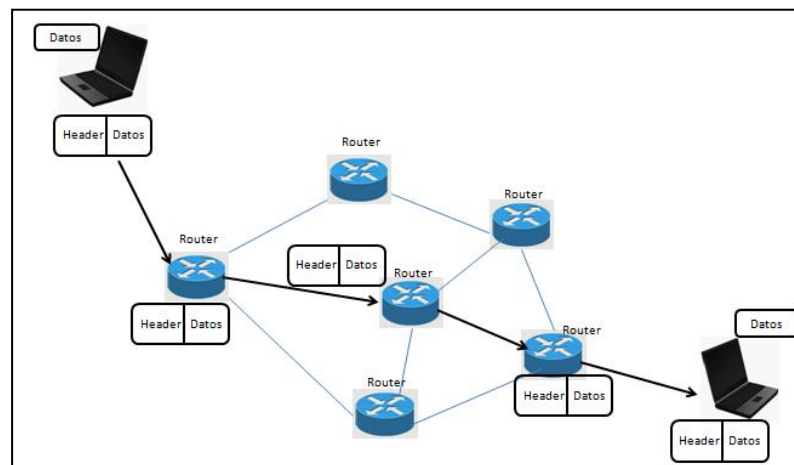


Figura 6 - Conmutación de paquetes.

Con la conmutación de paquetes se usan sólo los recursos necesarios y al no ser necesaria una línea dedicada, los recursos se comparten. Además, otra ventaja respecto a otros métodos de conmutación es el precio, ya que normalmente el equipamiento necesario es menos costoso. Por ejemplo, un *router* es básicamente un ordenador con varias interfaces de red (recibe paquetes, analiza cabeceras y envía el paquete por la interfaz apropiada).

2.2.2 Tecnología VoIP:

La tecnología VoIP es un conjunto de recursos que hacen posible que las comunicaciones de voz analógicas convertidas a digital puedan viajar por una red IP, tipo Internet.

En VoIP, todas las llamadas se ejecutan en una red compartida, donde el audio es convertido a digital y transmitido como cualquier otro paquete de datos mediante conmutación de paquetes.

Durante el desarrollo de la VoIP surgieron dos protocolos para mejorar la calidad del audio que se transporta por la red: H.323 (estándar de la UIT – Unión Internacional de las Telecomunicaciones) y SIP (estándar de la IETF – Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet). Aunque el estándar H.323 está más definido, la tendencia ha sido usar SIP ya que es más flexible y fácilmente integrable.

2.2.3 SIP

Session Initiation Protocol (SIP) es un protocolo de señalización que define iniciación, modificación y finalización de comunicaciones multimedia interactivas entre usuarios. Se puede usar para varios servicios además de VoIP: conferencias de vídeo, mensajería instantánea, etc... Es un protocolo basado en mensajes (similar a HTTP) y establece comunicaciones orientadas a conexión. No proporciona servicios sino que proporciona métodos (*INVITE*, *BYE*, etc...) que pueden ser usados por aplicaciones para proporcionar servicios.

2.2.4 RTP

Real Time Protocol (RTP) es un protocolo para soportar el tráfico en tiempo real como la voz y el video, que son sensibles respecto al tiempo. Asume que el transporte sobre IP es imperfecto y da mecanismos para ayudar a contrarrestar sus efectos. Como RTP no provee ninguna función que garantice la entrega en tiempo y calidad de servicio se usa conjuntamente con RTCP (*RTP Control Protocol*) que es el que se utiliza para monitorizar las estadísticas de transmisión y la calidad de servicio (QoS).

2.3 Tecnología VoIP en entorno aeronáutico

Las bases de la particularización de la tecnología VoIP para la navegación aérea nacen en la EUROCAE, que es la encargada de la elaboración de especificaciones y documentos de guía para los equipos de aviación civil.

Los sistemas de voz ATM (*Air Traffic Management*) se habían basado, hasta ahora, en sistemas analógicos y, más recientemente, digitales con tecnologías de multiplexación por división de tiempo / modulación por código pulsado (TDM / PCM). Pero la convergencia de voz y datos en una red multimedia ha permitido la aparición de una variedad de soluciones técnicas. Siguiendo en esta dirección las redes de comunicación ATM han ido adoptando una infraestructura común para servicios de voz y datos.

Gracias al desarrollo de la tecnología IP se pueden cumplir ahora requisitos técnicos de comunicación ATM, como por ejemplo, la convergencia de voz / datos, calidad de Servicios (QoS), seguridad y protección. Además, esta tecnología IP podrá ofrecer soluciones que, generará ahorros en inversión y costos operativos.

En 2004 se produjo el acuerdo de Viena en el que se creó el Grupo de Trabajo 67 (*EUROCAE WG-67* o en español GT-67) y se definieron los interfaces entre los componentes de sistemas IP para servicios aeronáuticos. Estos componentes son: sistema de comunicaciones de voz IP (SCV-IP), estaciones radio VoIP, sistemas de supervisión VoIP, componentes de grabación VoIP y componentes WAN IP, como se muestra en la figura 7.

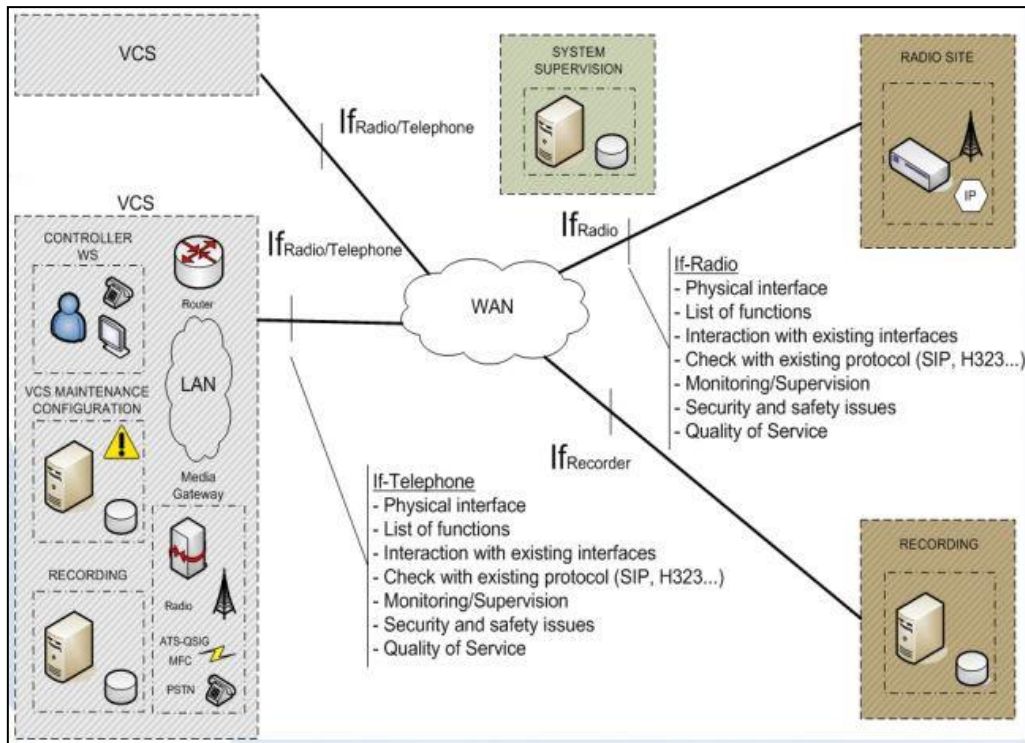


Figura 7- Acuerdo de Viena [5].

El Grupo de trabajo 67 de EUROCAE se encargó de evaluar la viabilidad del uso de la voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) para proporcionar servicios de voz ATM desarrollándose las siguientes tareas:

- Definir sistemas ATM e identificar sus componentes (sistema de comunicación de voz, estación de radio terrestre, etc...)
- Determinar los posibles requisitos adicionales operativos y técnicos de ATM para nuevos sistemas de voz ATM, también teniendo en cuenta las comunicaciones T/A.
- Hacer recomendaciones para actualizar los documentos de estandarización actuales.
- Desarrollar una especificación técnica para un sistema de voz VoIP ATM que incluya:
 - Rendimiento mínimo y requisitos de seguridad para el sistema y sus componentes.
 - Requisitos de interoperabilidad entre componentes IP del sistema ATM VoIP.
 - Requisitos mínimos de rendimiento de una red IP para admitir servicios de voz ATM.
 - Pautas para las pruebas de los sistemas de VoIP ATM y sus componentes.

Y finalmente se redactaron los siguientes documentos:

ED136: VoIP ATM System Operational and Technical Requirements [4]. Define los requisitos técnicos y operativos de los sistemas de comunicaciones de voz ATS (*Air Traffic Services* o en español *Servicios de Tránsito Aéreo*) VoIP.

ED137: Interoperability Standards for VoIP ATM Components (Volume 1, 2, 3, 4 y 5) [5]. Define los requisitos para las implementaciones VoIP para manejar las comunicaciones ATS. Se divide en los siguientes volúmenes: **Volumen 1: Radio**, Volumen 2: Telefonía, Volumen 3: Interoperabilidad en telefonía Legacy, Volumen 4: Grabación y Volumen 5 Supervisión.

ED138: Network Requirements and Performance for VoIP ATM Systems [6]. Define los requisitos de red y las necesidades de los servicios de VoIP para garantizar altos niveles de disponibilidad, integridad, rendimiento y QoS.

El protocolo de señalización usado es ATS-SIP (Protocolo SIP en el ámbito de los servicios de tránsito aéreo) que incluye la mayoría de las funcionalidades y facilidades del protocolo SIP básico, pero el documento ED137 incluye algunos criterios adicionales, como por ejemplo, que el códec de audio obligatorio sea el G.711 y los códecs G.728 y G.729 sean opcionales. Se usa RTP para el transporte del audio, mensajes de monitorización del enlace, información en tiempo real y señales de *Push to Talk* (PTT: Función disponible en los equipos radio para transmitir audio cuando se active) y *Squelch* (SQ: Función que elimina el audio de salida de un receptor en ausencia de una señal deseada suficientemente fuerte). Se usa la cabecera extendida RTP para la comunicación entre el SCV y la radio con la siguiente información:

- Orden o confirmación de PTT.
- PTT-ID (Identificación del extremo que transmite).
- Indicación de suma de PTTs.
- Retardo a aplicar en transmisión (usado por la aplicación CLIMAX, que es con la que opera la portadora desplazada).
- Indicación de comunicación de aeronave (*A/C Call*) o *Squelch* (SQ).
- Índice de calidad de señal (se usa para la elección de mejor señal).
- Indicación de transmisión simultánea.
- Información reservada para aplicaciones propietarias.
- Información "*Keep Alive*" con protocolo R2S (*Real-time Session Supervision*).

El protocolo ATS-SIP se usa para establecer una sesión SIP entre los agentes de usuario de los sistemas de comunicación de voz (SCV) y los equipos de radio IP. La sesión SIP se inicia siempre desde el SCV, permitiendo generar varias sesiones IP contra una misma radio IP, por lo que el equipo radio debe permitir varias sesiones de uno o varios SCVs.

Cuando la sesión ya está establecida existe un intercambio periódico de mensajes "*Keep Alive*" para monitorizar el estado del enlace.

El audio se transporta junto a las señales de PTT y SQ, vía RTP. Si no existen estas señales no se transmite audio, únicamente señal de "*Keep Alive*".

A continuación, se muestran los dos modos de comunicación que pueden establecerse entre el sistema de comunicación de voz que utiliza VoIP y las estaciones de tierra. En primer lugar se muestra la conexión entre el SCV y el equipo radio TX/RX (transceptor- Figura 8) y seguidamente la conexión entre el SCV y el equipo radio cuando transmisor y receptor están separados (Figura 9). Como se puede observar, con el protocolo SIP se establece la comunicación y con el protocolo RTP se envía la información.

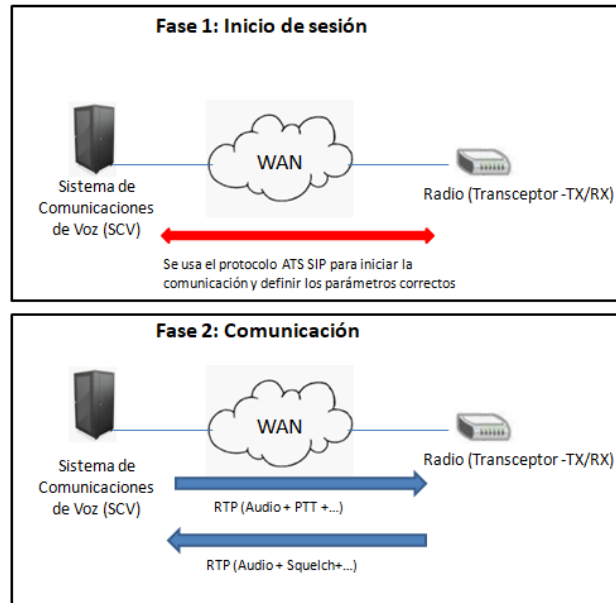


Figura 8 - Conexión SIP entre SCV y equipo radio TX/RX (transceptor).

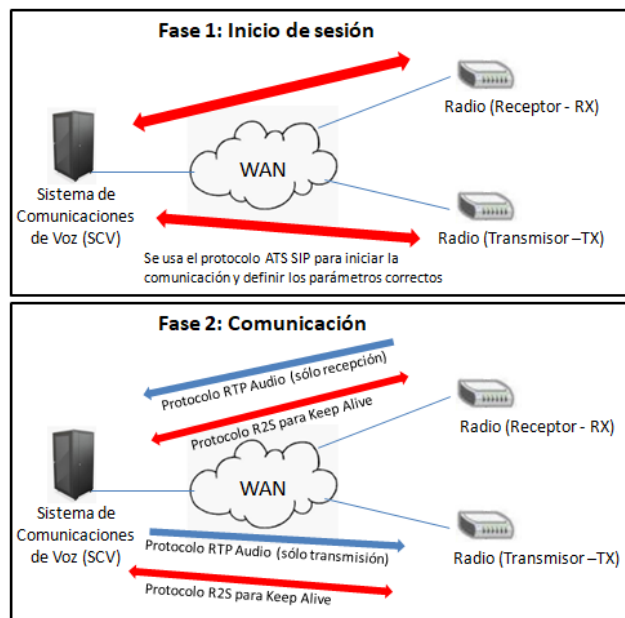


Figura 9 - Conexión SIP entre SCV y equipo radio TX/RX (separados).

Por otra parte, la evolución de la tecnología VoIP ha permitido el desarrollo de dispositivos que permiten que un sistema de comunicaciones de voz actual analógico (*Legacy*) que utiliza canales de radio, pueda comunicarse con radios

VoIP. A su vez permite a sistemas de comunicaciones de voz VoIP comunicarse con radios analógicas (*Legacy*). Estos dispositivos son las denominadas pasarelas IP (Figura 10).

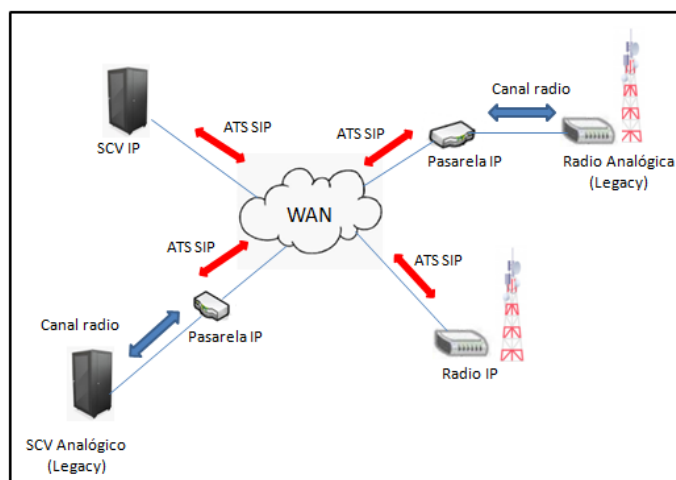


Figura 10 - Funcionalidad de las Pasarelas IP.

Para concluir, la red WAN que posee el proveedor de servicios de navegación aérea, REDAN (Red de Datos de Navegación Aérea) [7] en su Fase V, permite la migración a VoIP. Esta red WAN se compone de nodos de red que a su vez están unidos entre sí a través de troncales alquilados a más de un operador de telecomunicaciones y también dispone de medios propios, lo que posibilita el uso de medios de transmisión diferentes, aumentando la disponibilidad de las comunicaciones en los emplazamientos.

2.4 Conclusión

Como se ha visto en el desarrollo anteriormente detallado, se puede llevar a cabo un cambio a tecnología VoIP porque la red WAN del proveedor de servicios de navegación lo permite. Además se ha mostrado que aunque el sistema de comunicaciones de voz usado sea analógico, el uso de pasarelas VoIP permite el cambio, pudiendo eliminarlas cuando dicho SCV se sustituya por uno de tecnología VoIP.

Además del aumento de la disponibilidad del sistema por las características de la red usada, se proporcionarán nuevas funcionalidades como compartición directa de recursos radios entre diferentes dependencias, reenvío de comunicaciones a centros de contingencias, etc...

España forma parte de organizaciones internacionales y europeas y el espacio aéreo español no está aislado, siendo frontera con otros como el portugués, marroquí o francés. Por lo tanto, al usar protocolos estándar (ED137), se facilitaría la interconexión a servicios internacionales.

También se mejoraría la calidad de audios al migrar a una tecnología digital que usa codificaciones estándares y posibilita la eliminación de equipamiento intermedio de adaptación.

3. Región de Información de Vuelo Canarias

3.1 Introducción

Aunque en los orígenes de la aviación no era necesario, una vez fue aumentando la densidad de vuelos, se hizo indispensable organizar el espacio aéreo y los tráficos evitando así colisiones, gestionándolos de manera óptima. Es por ello que se desarrolló el Control de Tráfico Aéreo (en inglés ATC – *Air Traffic Control*) mediante la Convención de Chicago que fue el origen de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional – ICAO en Inglés) [8] que desarrolló la normativa en este campo. La OACI se encargó de dividir el mundo en 9 regiones de información de vuelo (FIR – *Flight Information Region*), que no corresponden con fronteras de países (Figura 11). España pertenece a la región de información de vuelo EUR (Europa).

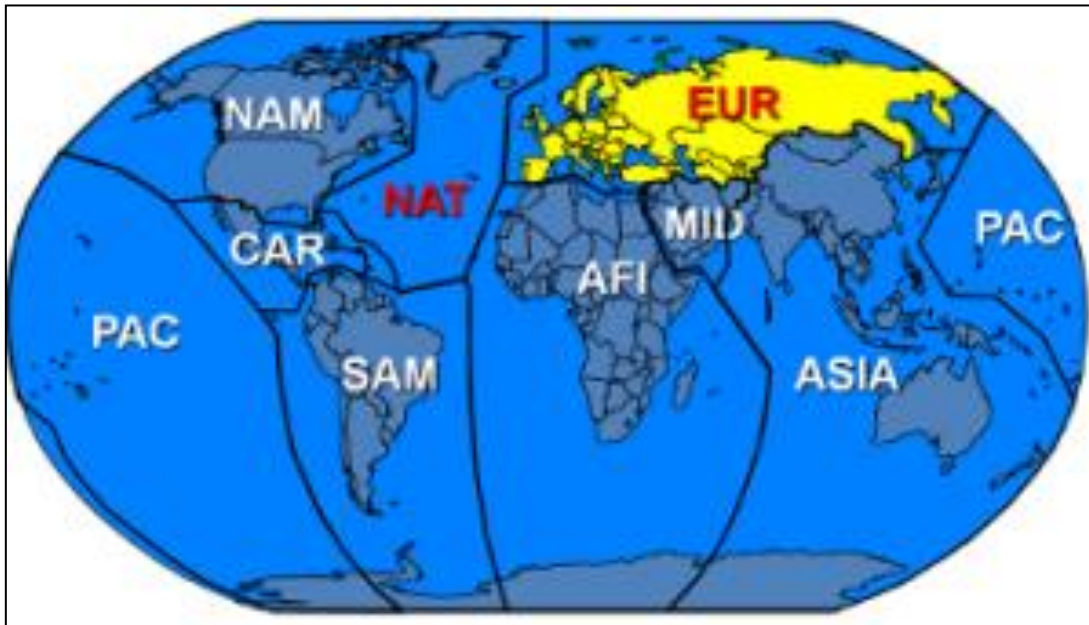


Figura 11 - División del Espacio Aéreo Internacional por la OACI [8].

La región de información de vuelo EUR, se subdivide en otras regiones de información de vuelo que pueden coincidir con las fronteras de países o en el caso del espacio aéreo internacional se define por acuerdos internacionales. Cada país es responsable de la región de información de vuelo que pertenece a su área.

3.2 Espacio Aéreo Español

En el caso de España, su espacio aéreo se divide en 3 regiones de vuelo (Figura 12):

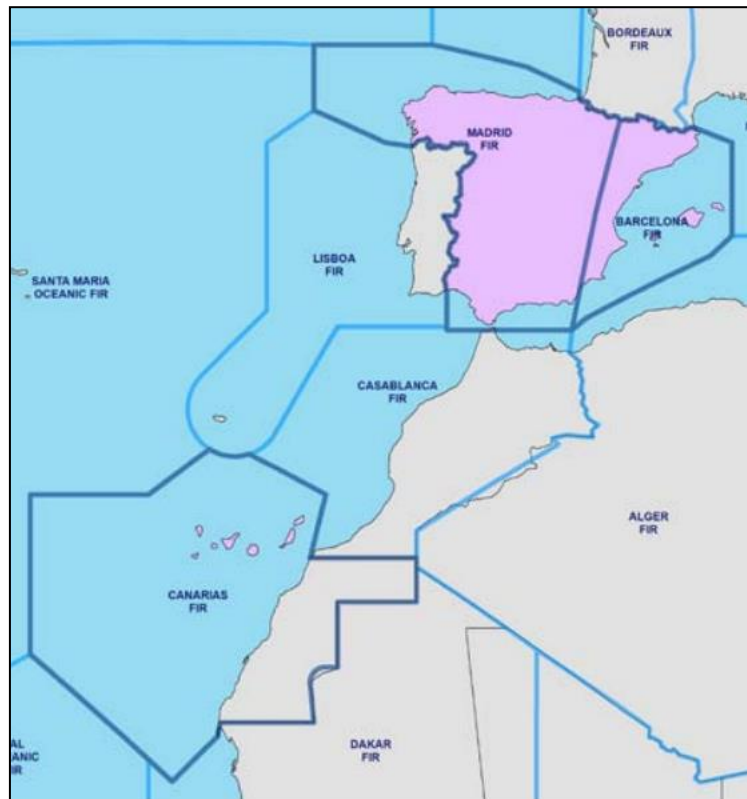


Figura 12 - Espacio Aéreo Español [10].

- FIR Madrid: Además existe el FIR Sevilla, aunque no es un FIR propiamente, sino que es una delegación del FIR Madrid (Figura 13).
- FIR Barcelona
- FIR Canarias



Figura 13 - FIR Sevilla (Delegación del FIR Madrid) [9].

Estas regiones FIR son controladas desde los Centros de Control de Tránsito Aéreo (ACC) situados en la Región Centro-Norte (Madrid), Región Sur (Sevilla), Región Este (Barcelona), Región Balear (Palma de Mallorca) y Región Canaria (Gran Canaria). En la Figura 14 se muestra el radio de acción de los centros de control de tránsito aéreo de cada región que controlan el espacio aéreo español.

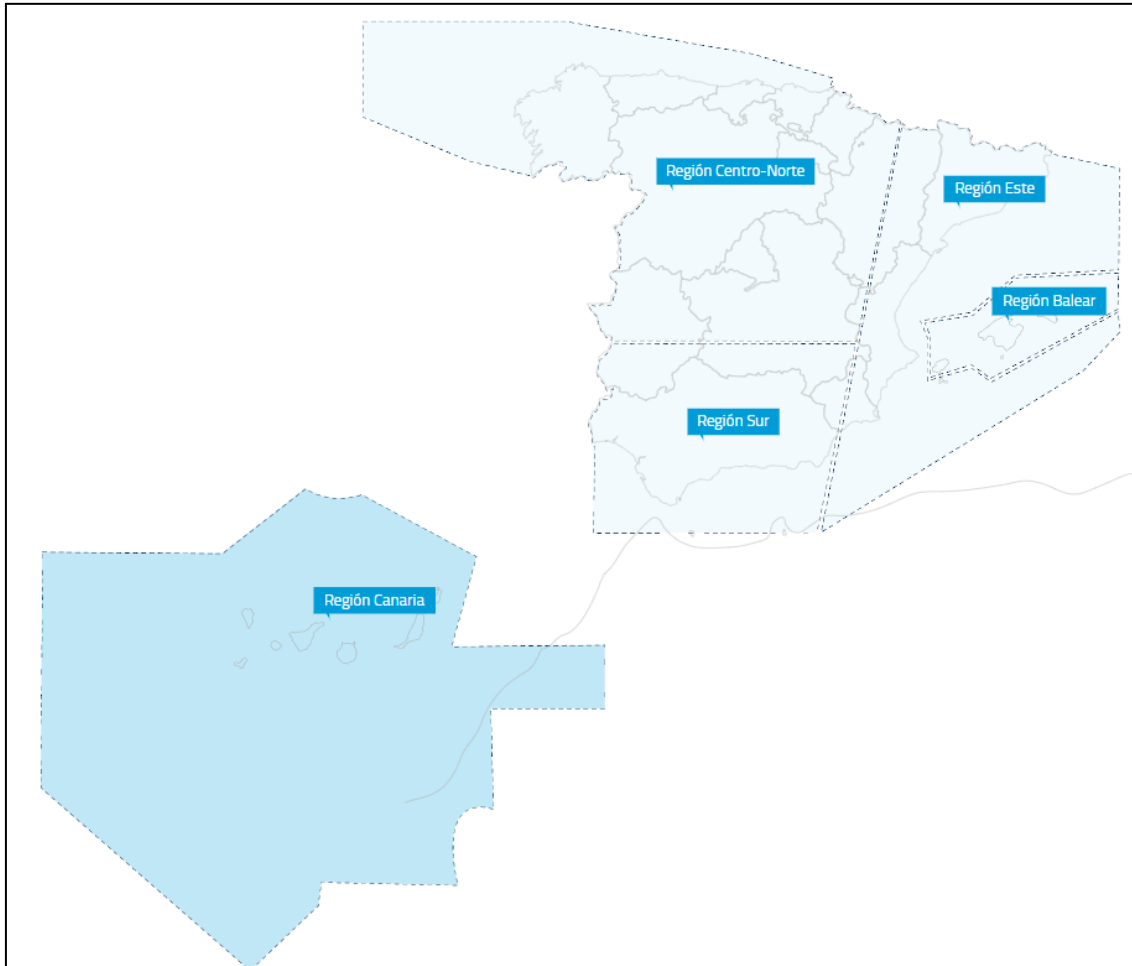


Figura 14 - Áreas de acción de los Centros de Control de Tránsito Aéreo del espacio aéreo español [1].

Las regiones de información de vuelo se dividen verticalmente en FIR y UIR (*Upper Information Region*). El FIR llega desde el suelo hasta el nivel de vuelo FL (*Flight Level*) 245 (24500 pies) y el UIR llega desde el nivel de vuelo FL 245 hasta el FL 460 (46500 pies) [11].

Los FIR/UIR del espacio aéreo, se dividen en:

Espacio Aéreo Controlado: Es la parte del espacio aéreo que comprende las áreas de control, aerovías y zonas de control donde se presta el servicio de tránsito aéreo a los vuelos:

-Aerovías (AWY): Son espacios aéreos controlados en forma de pasillos o corredores por los que circulan las aeronaves, y son necesarias para canalizar el tránsito de aeronaves dentro del espacio aéreo.

-Área de Control Terminal (TMA): Es un área controlada que se establece normalmente sobre uno o varios aeropuertos donde confluyen aerovías, y cuyo objetivo es controlar el tráfico IFR (Con reglas de vuelo por instrumentos). En esta área los controladores guían a las aeronaves en la salida y en la llegada a los aeródromos. En la Figura 15 se muestran las Áreas de Control de Terminal del espacio aéreo español.

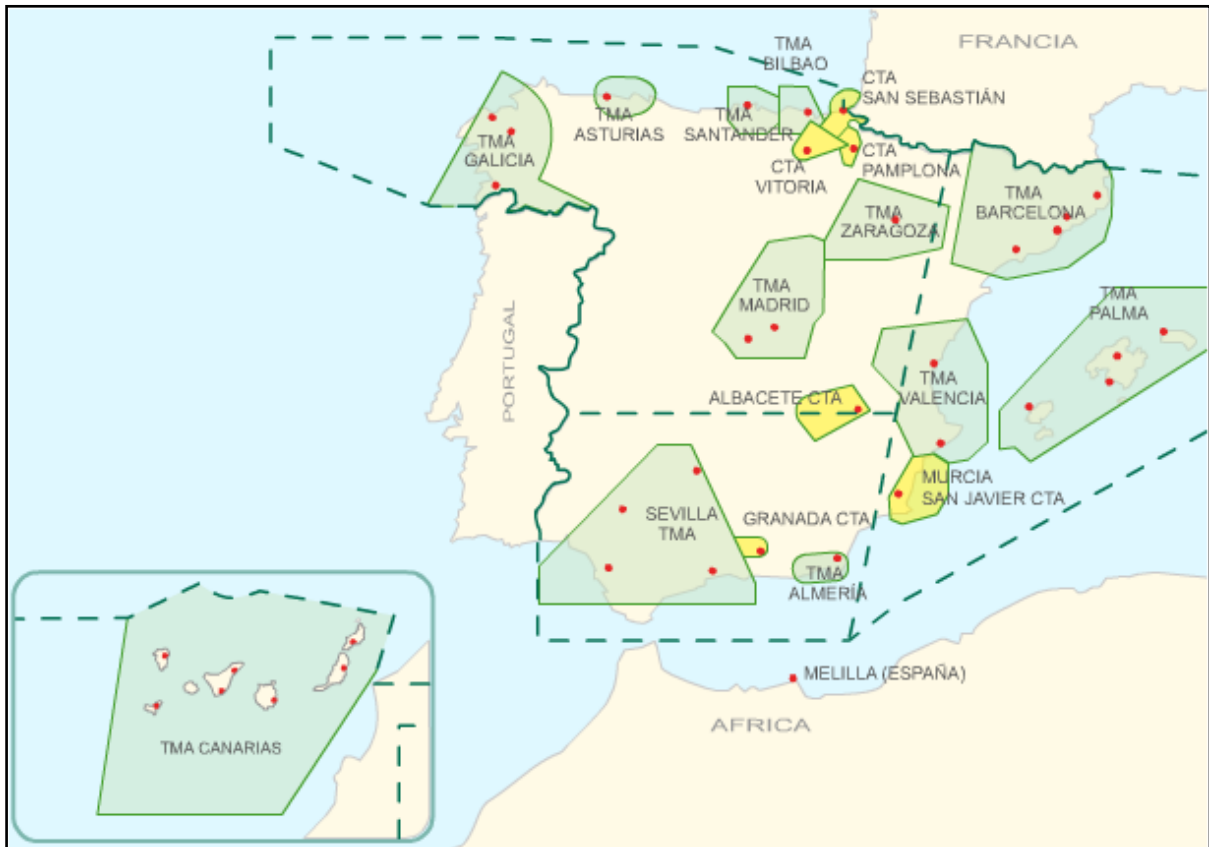


Figura 15 - Áreas de Control de Terminal (TMA) de España [10].

-Área de Control de Tráfico (CTA): Se establece en aquellos espacios aéreos que no alcanzan los requisitos para ser TMA, por lo que en él no confluyen aerovías y normalmente no incluye más de un aeródromo. Este espacio aéreo no arranca desde el terreno o el mar, sino que comienza a 300 metros (1000 pies) por encima de estas referencias con objeto de permitir que por debajo de él los vuelos no controlados lleguen a sus aeropuertos de destino.

-Zona de Control (CTR): Está asociada a un aeródromo y tiene por objeto proteger las entradas y salidas IFR del mismo.

En la Figura 16 se muestran gráficamente algunos de los elementos del espacio aéreo controlado:

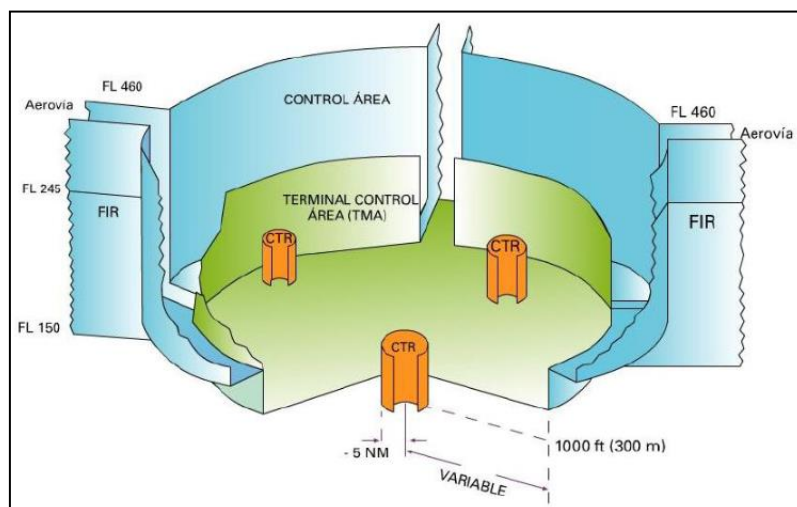


Figura 16 - Zonas de Control de Tráfico Aéreo [10].

Espacio Aéreo No Controlado: Comprende el resto del espacio aéreo.

3.3 Región de Información de Vuelo Canarias

Desde el Centro de Control Aéreo de Canarias, situado en Gran Canaria se gestionan los servicios de navegación aérea en un área de 1.300.000 kilómetros cuadrados, sobre todo superficies oceánicas en las que está el archipiélago canario y parte del Sáhara occidental.

El FIR Canarias está formado por un área de control de terminal (TMA Canarias) y ocho aeropuertos desde los que se prestan servicios de navegación aérea: Tenerife Norte, Tenerife Sur, Gran Canaria, La Gomera, El Hierro, Fuerteventura, Lanzarote y La Palma.

En el FIR Canarias se prestan diferentes Servicios de Tránsito Aéreo (ATS), los cuales se proporcionan de manera directa a las aeronaves [1]:

Servicio de Control de Tráfico Aéreo (ATC): Este servicio es prestado por los controladores aéreos, que aplican separaciones entre los aviones y emiten autorizaciones de control a petición de los pilotos o a propia iniciativa en función de las condiciones del tránsito y el entorno. Existen tres servicios ATC: de área, de aproximación y aeródromo.

-Servicio de Control de Área: Se gestionan los vuelos en ruta (Servicio de Control de Ruta) controlados en un área de control de terminal, en áreas de control o en aerovías, suministrando datos para prevención de colisiones en el aire, regulación de los vuelos, información y alerta. Se presta desde el Centro de Control de Tránsito Aéreo de Canarias.

-Servicio de Control de Aproximación (APP): Se gestiona la entrada y salida de los vuelos controlados en una zona de control y en las zonas que se determinen de las áreas de control de terminal, ordenando y gestionando el tráfico con rapidez en las fases de espera, aproximación, despegue y aterrizaje. Se presta desde el Centro de Control de Tránsito Aéreo de Canarias y las torres de Tenerife Norte y Tenerife Sur.

-Servicio de Control de Aeródromo (TWR): Se gestionan las aeronaves que se encuentran en el aeropuerto y sus cercanías (despegues, aterrizajes y rodajes). Se presta desde las torres de Tenerife Norte, Tenerife Sur, Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura, El Hierro y La Palma.

En el FIR Canarias se presta, además, Servicio de Información de Vuelo (FIS – *Flight Information Service*): Su finalidad es dar a las aeronaves información acerca de la meteorología y otros factores que puedan afectar a la operación, como restricciones en el espacio aéreo, estado de las radioayudas, tráfico en sus proximidades, etc. El FIS incluye servicios como:

-Servicio Automático de Información de Área Terminal (ATIS): Se trata de una emisión continua en frecuencia VHF que proporciona la información dentro de las áreas de control terminal y su objetivo es entre otros aliviar la congestión de las frecuencias de radio. Se presta en los aeropuertos de Gran Canaria, Tenerife Norte, Tenerife Sur, Lanzarote y Fuerteventura.

-Información Meteorológica para las Aeronaves en Vuelo (VOLMET): Radiodifusión en inglés que contiene información sobre las condiciones meteorológicas en los aeródromos. Para el caso de la estación de Las Palmas (la única existente en el FIR Canarias), se radia la información de los aeropuertos de Gran Canaria, Tenerife Norte, Tenerife Sur, Fuerteventura, Lanzarote, Casablanca, Marrakech, Agadir, Madrid y Lisboa.

-Servicio de Información en Vuelo de Aeródromo (AFIS): El servicio AFIS se presta desde las torres de control de aeropuertos que no dispongan de servicio de control y proporciona al piloto información útil para la guía segura y eficiente de las aeronaves que operan en el aeropuerto y la zona de información de vuelo establecida alrededor del mismo. Se presta desde los aeropuertos de La Gomera (durante el horario de apertura del aeropuerto) y en El Hierro (sábados y domingos en horario de apertura del aeropuerto).

En la Figura 17 se muestran los Servicios de Tránsito Aéreo que se prestan desde los diferentes emplazamientos del FIR Canarias.

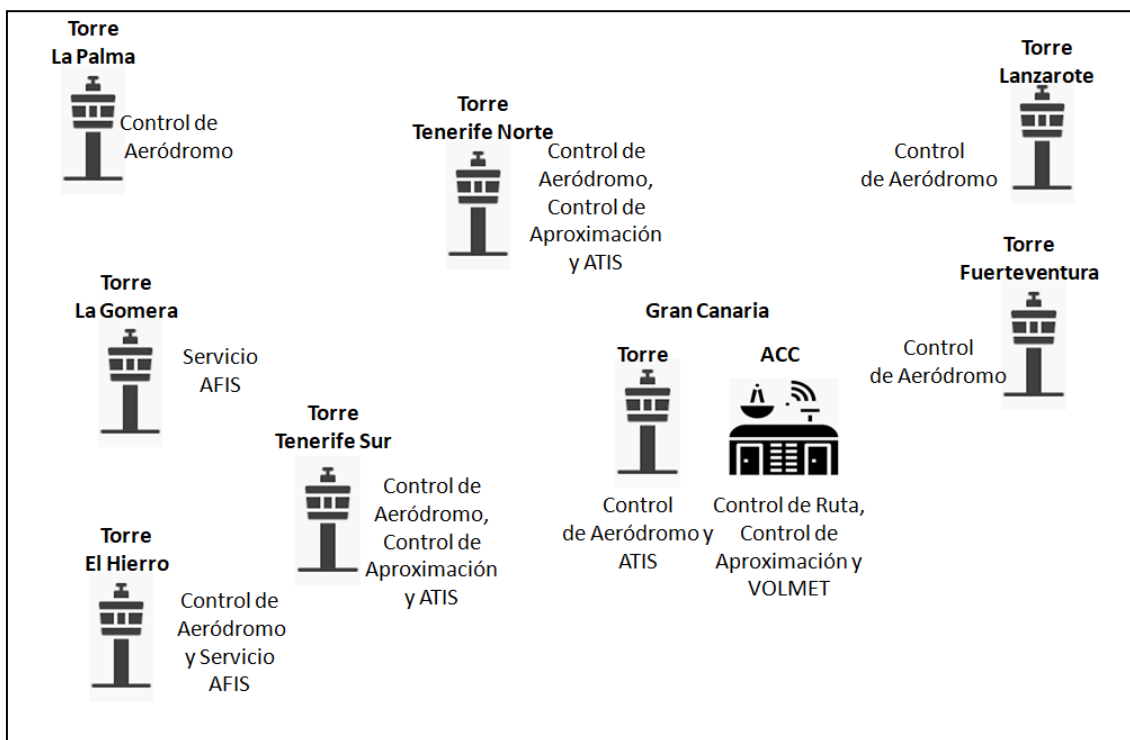


Figura 17 – Dependencias desde donde se prestan Servicios de Control de Tránsito Aéreo en FIR Canarias.

El espacio aéreo del FIR al ser tan extenso se divide en Sectores de Control, para dar servicio de control en ruta (para tráfico que no tiene como origen o destino los aeropuertos de la Región) y servicio de aproximación. En la Figura 18 se muestra la sectorización para el servicio de ruta y en la Figura 19 la sectorización del servicio de aproximación.

Cuando un avión está preparado para abandonar un sector, el controlador del sector origen lo transfiere a un controlador del siguiente sector y así de forma sucesiva hasta el aterrizaje en el aeródromo que corresponda.

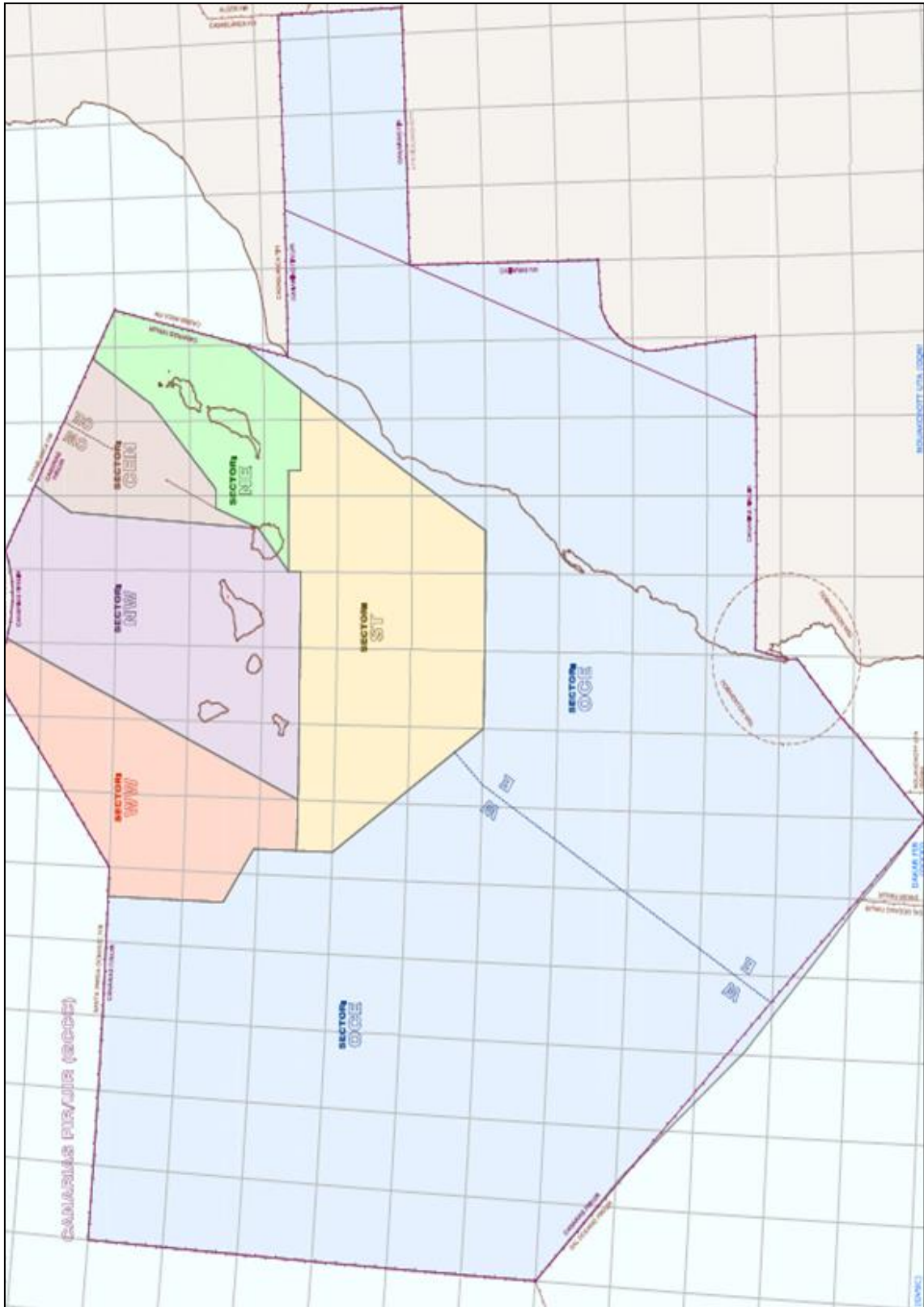


Figura 18 - Sectorización FIR Canarias para servicio de ruta [13].

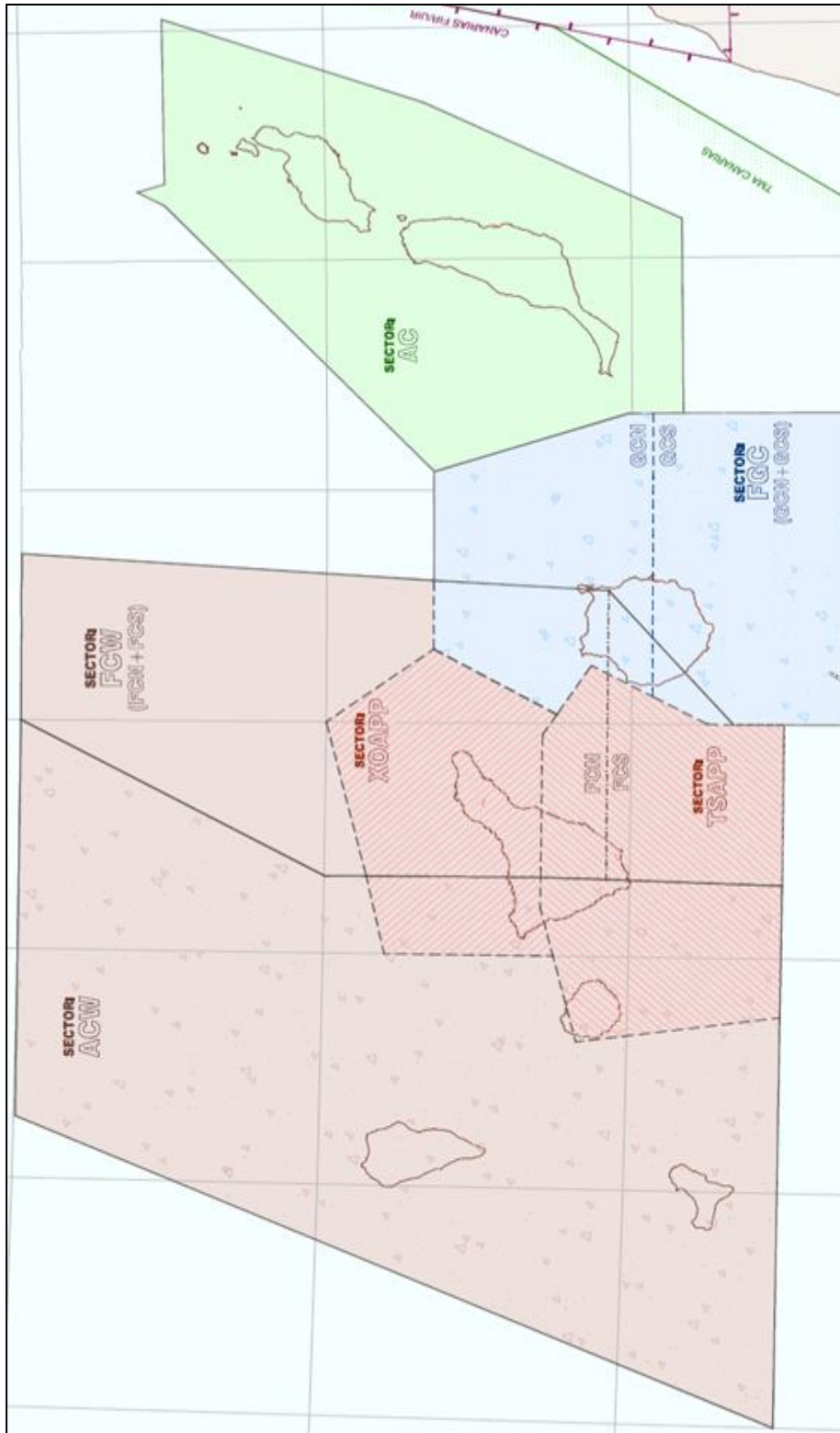


Figura 19 - Sectorización FIR Canarias para servicio de aproximación [13].

Dentro de los sectores en que se divide la Región de Información de Vuelo Canarias, se encuentran las aerovías (AWY). En la Figura 20 se pueden observar las aerovías del UIR y en la Figura 21 las aerovías del FIR.

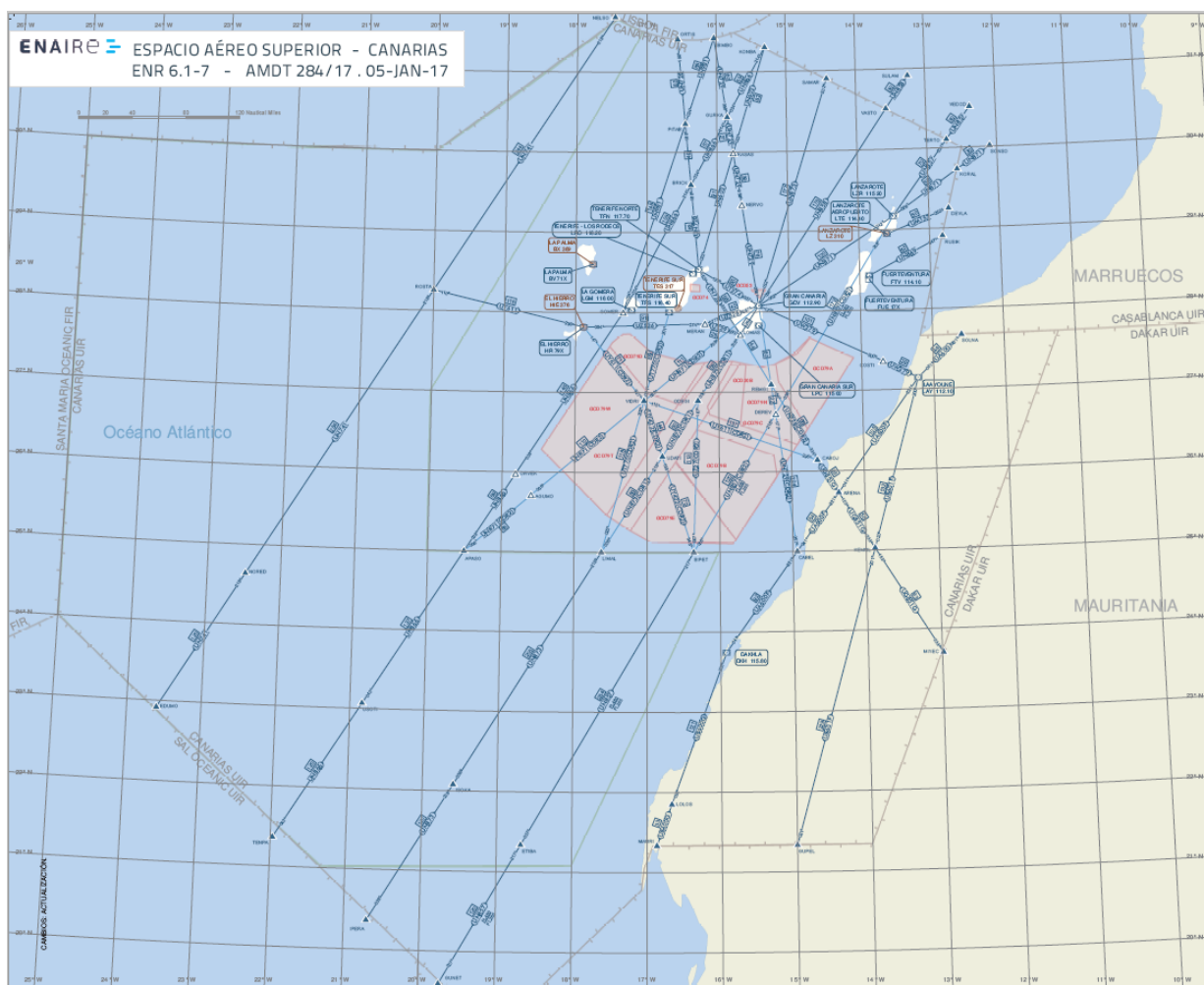


Figura 20 - Aerovías del UIR [9].

4. Estudio de sistema de comunicaciones Tierra/Aire (T/A)

4.1 Introducción

Para hacer una gestión eficiente del espacio aéreo, se hace uso de las infraestructuras de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) VHF, que junto a otros sistemas, prestan el Servicio Móvil Aeronáutico. Este servicio, como se indica en el Anexo 10 de la OACI [8] es, entre otros, el que se presta entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave. Como indica la OACI, la banda de utilización para este servicio dentro de las comunicaciones VHF es la que va de 117,975 MHz a 137 MHz. Esta banda, también se encuentra publicada en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) [12], que es la pieza básica del ordenamiento del espectro radioeléctrico en España, contiene la atribución o uso que se reserva a cada una de las bandas de frecuencia en las que se divide el espectro radioeléctrico disponible para radiocomunicaciones.

En la nota UN 102 del CNAF (Usos civiles del servicio móvil aeronáutico) se especifica que el uso del Servicio Móvil Aeronáutico en la banda de 117,975-137 MHz deberá regirse por el cumplimiento de la normativa de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) [8].

Las bandas de frecuencias siguientes se reservan, preferentemente, para usos civiles relacionados con actividades aéreas, como aeroclubs, escuelas de vuelo, vehículos de vuelo sin motor, globos aerostáticos, aviones ligeros, ultraligeros, trabajos agrícolas de fumigación, fotografía aérea y servicios aéreos contra incendios:

122,000 - 123,050 MHz
123,150 - 123,675 MHz
129,700 - 130,875 MHz

Dentro de las mismas, los seis canales que se indican a continuación se destinan preferentemente para su utilización en actividades de lucha contra incendios de ámbito multiprovincial:

122,475 MHz
123,425 MHz
129,825 MHz
129,975 MHz
130,125 MHz
130,500 MHz

El uso de todas estas frecuencias tendrá carácter privativo y podrá ser compartido por distintos usuarios dentro del mismo ámbito geográfico.

4.2 Gestión de las frecuencias del servicio de ruta y aproximación del FIR Canarias.

Para gestionar el FIR Canarias se hace uso de una serie de frecuencias de VHF que se dividen en dos grupos: frecuencias del servicio de ruta y frecuencias del servicio de aproximación. Además, estas frecuencias se usan para determinados sectores.

En la tabla 2 se muestran las frecuencias con las cuales se gestiona el servicio de ruta. Este servicio se usa en comunicaciones con las aeronaves tras la fase de despegue y ascenso y hasta el comienzo de la fase de aproximación. Además, se muestra en qué sectores se utilizan y los centros de comunicaciones desde los que se les da servicio.

Tabla 2 - Frecuencias del servicio de ruta según sector [1,13].

Frecuencia	Sector de Servicio de Ruta	Centro de comunicaciones
123,650 MHz	WW	Pico de la Gorra (Único)
126,500 MHz	NW	Pico de la Gorra (Principal)
		Pozo de las Nieves (Alternativo)
130,950 MHz	CEN	Pico de la Gorra (Principal)
		Pozo de las Nieves (Alternativo Portadora Desplazada)
		Peñas del Chache (Alternativo Portadora Desplazada)
129,100 MHz	NE	Pico de la Gorra (Principal)
		Pozo de las Nieves (Alternativo)
127,900 MHz	ST	Pico de la Gorra (Único)
119,300 MHz	OCE-W	Pico de la Gorra (Principal)
		Pozo de las Nieves (Alternativo)
133,000 MHz	OCE-E	Pico de la Gorra (Principal)
		Pozo de las Nieves (Alternativo Portadora Desplazada)
		Peñas del Chache (Alternativo Portadora Desplazada)

En la tabla 3 se muestra el uso de las frecuencias para el servicio de aproximación. Además, se especifica en qué sectores/subsectores se utilizan y los centros de comunicaciones desde los que se les da servicio.

Tabla 3 - Frecuencias del servicio de aproximación según sector [1,13].

Frecuencia	Centro de comunicaciones	Sector	Subsector
126,100 MHz	Pico de la Gorra (Único Portadora Desplazada)	ACW	
	Aeropuerto de La Palma (Único Portadora Desplazada)	FCW	FCS Pista 26
124.700 MHz	Pico de la Gorra (Único Portadora Desplazada)	FCW	FCS Pista 08
	Peñas del Chache (Único Portadora Desplazada)		FCN Pista 26
			FCN Pista 08
124,300 MHz	Pico de la Gorra (Principal)	FGC	GCN Pista 03L
	Aeropuerto de Gran Canaria (Alternativo)		GCS Pista 21R
121,300 MHz	Pico de la Gorra (Principal)	FGC	GCN Pista 21R
	Aeropuerto de Gran Canaria (Alternativo)		GCS Pista 03L
129,300 MHz	Pico de la Gorra (Único Portadora Desplazada)	AC	
	Peñas del Chache (Único Portadora Desplazada)		
125,625 MHz	Pico de la Gorra (Único Portadora Desplazada)	AC	
	Fuerteventura (Único Portadora Desplazada)		
124,800 MHz	Aeropuerto de Tenerife Norte (Principal)	XOAPP	
	Cruz de Taborno (Alternativo)		
128,850 MHz	Aeropuerto de Tenerife Norte (Principal)	XOAPP	
	Cruz de Taborno (Alternativo)		
127,700 MHz	Aeropuerto de Tenerife Sur (Único Portadora Desplazada)	TSAPP	
	Aeropuerto de La Palma (Único Portadora Desplazada)		
128,125 MHz	Aeropuerto de Tenerife Sur (Único Portadora Desplazada)	TSAPP	
	Aeropuerto de La Palma (Único Portadora Desplazada)		
125,350 MHz	Aeropuerto de El Hierro (Único)	Coordinación con servicio AFIS en sector ACW	

4.3 Infraestructuras de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) VHF para servicios de ruta y aproximación del FIR Canarias

El FIR Canarias dispone, entre otras, de las siguientes infraestructuras de comunicaciones Tierra/Aire (T/A) VHF para dar servicio a los sectores de ruta y aproximación como se indica el apartado 4.2. [13]:

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pico de la Gorra.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pozo de las Nieves.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en Peñas del Chache.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Fuerteventura.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de El Hierro.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de La Palma.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Gran Canaria.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en la Cruz de Taborno.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Tenerife Norte.

-Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Tenerife Sur.

En los siguientes apartados, se mostrará una descripción de dichos centros de comunicación: localización, uso y frecuencias que se transmiten por cada uno.

4.4 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pico de la Gorra [1,13]

Este centro de comunicaciones se usa como emplazamiento principal para las frecuencias que se transmiten desde él, está situado en lo alto de la isla de Gran Canaria, su localización es Latitud Norte 27° 57' 33" y Longitud Oeste 15° 33' 31", a una altura de 1920 metros y desde él se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 4 - Frecuencias emplazamiento Pico de la Gorra [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
119,300 MHz	No	Ruta	
133.000 MHz	No	Ruta	
127,900 MHz	No	Ruta	
126,500 MHz	No	Ruta	
123,650 MHz	No	Ruta	
130,950 MHz	Sí	Ruta	Con Peñas del Chache
129,100 MHz	No	Ruta	
126,100 MHz	Sí	Aproximación	Con La Palma
121,300 MHz	No	Aproximación	
124,300 MHz	No	Aproximación	
124,700 MHz	Sí	Aproximación	Con Peñas del Chache
125,625 MHz	Sí	Aproximación	Con Fuerteventura
129,300 MHz	Sí	Aproximación	Con Peñas del Chache

4.5 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Pozo de las Nieves [1,13]

Este centro de comunicaciones, que se usa como emplazamiento alternativo de las frecuencias de ruta, está ubicado en las instalaciones militares del Pozo de las Nieves. Su localización, al ser un emplazamiento militar, se obtendrá de manera aproximada mediante el visor web de GRAFCAN [14], que es una empresa pública del Gobierno de Canarias cuyas funciones son la producción, mantenimiento y gestión de la información geográfica y territorial de la Comunidad Autónoma de Canarias. El resultado es Latitud Norte 27° 57' 48" y Longitud Oeste 15° 34' 16", a una altura de 1949 metros. Desde dicho centro se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 5 - Frecuencias emplazamiento Pozo de las Nieves [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
119,300 MHz	No	Ruta	
133.000 MHz	Sí	Ruta	Con Peñas del Chache
126,500 MHz	No	Ruta	
129,100 MHz	No	Ruta	

4.6 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Peñas del Chache [1,13]

Para este centro de comunicaciones que está situado en las instalaciones militares de Peñas del Chache, obtendremos su situación de manera aproximada mediante el visor web de GRAFCAN [14]. El resultado es Latitud Norte 29° 07' 13" y Longitud Oeste 13° 31' 16", a una altura de 670 metros. Todas las frecuencias que se transmiten desde él están desplazadas con el centro de comunicaciones situados en el Pico de la Gorra o Pozo de las Nieves. Desde este emplazamiento se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 6 - Frecuencias emplazamiento Peñas del Chache [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
133,000 MHz	Sí	Ruta	Con Pozo de las Nieves
130.950 MHz	Sí	Ruta	Con Pico de la Gorra
124,700 MHz	Sí	Aproximación	Con Pico de la Gorra
129,300 MHz	Sí	Aproximación	Con Pico de la Gorra

4.7 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Aeropuerto de Fuerteventura [1,13]

Este centro de comunicaciones se localiza en el aeropuerto de la isla de Fuerteventura, su situación es Latitud Norte 28° 27' 51,3" y Longitud Oeste 13° 52' 9,4", a una altura de 60 metros y desde esta localización se transmiten la siguiente frecuencia:

Tabla 7 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Fuerteventura [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
125,625 MHz	Sí	Aproximación	Con Pico de La Gorra

4.8 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el aeropuerto de El Hierro [1,13]

Este centro de comunicaciones está posicionado en el Aeropuerto de El Hierro, su situación es Latitud Norte 27° 48' 47,07" y Longitud Oeste 17° 53' 12,71", a una altura de 21 metros y desde él se transmite la frecuencia de emergencias 125,350 MHz:

Tabla 8 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de El Hierro [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio
125,350 MHz	No	Aproximación

4.9 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el aeropuerto de La Palma [1,13]

Este centro de comunicaciones se localiza en el Centro de Emisores del Aeropuerto de La Palma, su situación es Latitud Norte 27° 37' 9,7" y Longitud Oeste 17° 45' 35,1", a una altura de 88 metros y desde esta localización se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 9 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de La Palma [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
126,100 MHz	Sí	Aproximación	Con Pico de La Gorra
127,700 MHz	Sí	Aproximación	Con Tenerife Sur
128,125 MHz	Sí	Aproximación	Con Tenerife Sur

4.10 Centro de comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el centro de emisores del aeropuerto de Gran Canaria [1,13]

Este centro de comunicaciones está situado en el Centro de Emisores del Aeropuerto de Gran Canaria, su situación es Latitud Norte 27° 55' 29,30" y Longitud Oeste 15° 23' 44,50', a una altura de 57 metros y desde él se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 10 - Frecuencias emplazamiento del Aeropuerto de Gran Canaria [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio
124,300 MHz	No	Aproximación
121,300 MHz	No	Aproximación

4.11 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en la Cruz de Taborno [1,13]

Este centro de comunicaciones está localizado en la isla de Tenerife, su situación es Latitud Norte 28° 31' 43" y Longitud Oeste 16° 15' 34", a una altura de 1019 metros y desde esta ubicación se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 11 - Frecuencias emplazamiento de la Cruz de Taborno [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio
124,800 MHz	No	Aproximación
128,850 MHz	No	Aproximación

La frecuencia 124,800 MHz es la frecuencia principal del sector XOAPP, siendo 128,850 MHz la reserva a dicha frecuencia. Ambas frecuencias no están desplazadas, teniendo como emplazamiento alternativo el Aeropuerto de Tenerife Norte.

4.12 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Centro de Emisores VHF del Aeropuerto de Tenerife Norte [1,13]

Este centro de comunicaciones está situado en el Aeropuerto de Tenerife Norte, su situación es Latitud Norte 28° 29' 11" y Longitud Oeste 16° 20' 13", a una altura de 605 metros y desde este centro se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 12 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Tenerife Norte [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio
124,800 MHz	No	Aproximación
128,850 MHz	No	Aproximación

La frecuencia 124,800 MHz es la frecuencia principal, siendo 128,850 MHz la reserva a dicha frecuencia. Este centro es el emplazamiento alternativo al situado en la Cruz de Taborno.

4.13 Centro de Comunicaciones Tierra/Aire VHF situado en el Centro de Emisores VHF del Aeropuerto de Tenerife Sur [1,13]

Este centro de comunicaciones está situado en el Aeropuerto de Tenerife Sur, su situación es Latitud Norte 28° 3' 17" y Longitud Oeste 16° 33' 46", a una altura de 109 metros y desde él se transmiten las siguientes frecuencias:

Tabla 13 - Frecuencias emplazamiento Aeropuerto de Tenerife Sur [1,13].

Frecuencia	Portadora Desplazada	Servicio	Desplazamiento
127,700 MHz	Sí	Aproximación	Con La Palma
128,125 MHz	Sí	Aproximación	Con La Palma

4.14 Uso de configuración de portadoras desplazadas

Como se indicó en el punto 1.1 de este trabajo de Fin de Máster, existen dos tipos de configuraciones de los centros de comunicaciones: configuración de frecuencia única, con un único centro de comunicaciones es suficiente para proporcionar cobertura al área de acción, y configuración en portadoras desplazadas, donde existen 2 o 3 centros con la misma frecuencia para proporcionar cobertura a la zona bajo control.

La configuración de portadoras desplazadas se usa cuando con sólo un centro transmisor no se puede abarcar toda la zona deseada. Transmitiendo la misma frecuencia desde dos emplazamientos diferentes con un pequeño desplazamiento en frecuencia entre ellas se consigue abarcar una zona mayor, minimizando la interferencia entre ellas.

Aun así, el uso de la configuración de portadoras desplazadas genera en el receptor interferencias entre recepciones con nivel similar en las zonas donde se solapan las coberturas de esos 2 o 3 centros.

En la tabla 14 se muestran con el mismo color los dos emplazamientos de cada una de las portadoras desplazadas.

Tabla 14 - Emplazamientos en los que existen frecuencias en configuración de portadoras desplazadas [1,13].

Frecuencia	Centro de Transmisión	Desplazamiento	Servicio	Sector
130,950 MHz	Pico de las Nieves	Sí	Ruta	CEN
130.950 MHz	Peñas del Chache	Sí	Ruta	CEN
133.000 MHz	Pozo de las Nieves	Sí	Ruta	OCE-E
133,000 MHz	Peñas del Chache	Sí	Ruta	OCE-E
126,100 MHz	Pico de las Nieves	Sí	Aproximación	ACW FCW
126,100 MHz	La Palma	Sí	Aproximación	ACW FCW
124,700 MHz	Pico de las Nieves	Sí	Aproximación	FCW
124,700 MHz	Peñas del Chache	Sí	Aproximación	FCW
125,625 MHz	Pico de las Nieves	Sí	Aproximación	AC
125,625 MHz	Fuerteventura	Sí	Aproximación	AC
129,300 MHz	Pico de las Nieves	Sí	Aproximación	AC
129,300 MHz	Peñas del Chache	Sí	Aproximación	AC
127,700 MHz	La Palma	Sí	Aproximación	TSAPP
127,700 MHz	Tenerife Sur	Sí	Aproximación	TSAPP
128,125 MHz	La Palma	Sí	Aproximación	TSAPP
128,125 MHz	Tenerife Sur	Sí	Aproximación	TSAPP

Por ejemplo, la frecuencia 129,3 MHz del servicio de aproximación emitida desde el emplazamiento de Pico de la Gorra (200W) y desde el emplazamiento de Peñas del Chache (50W) se usa para dar servicio al sector de aproximación AC (Figura 22).

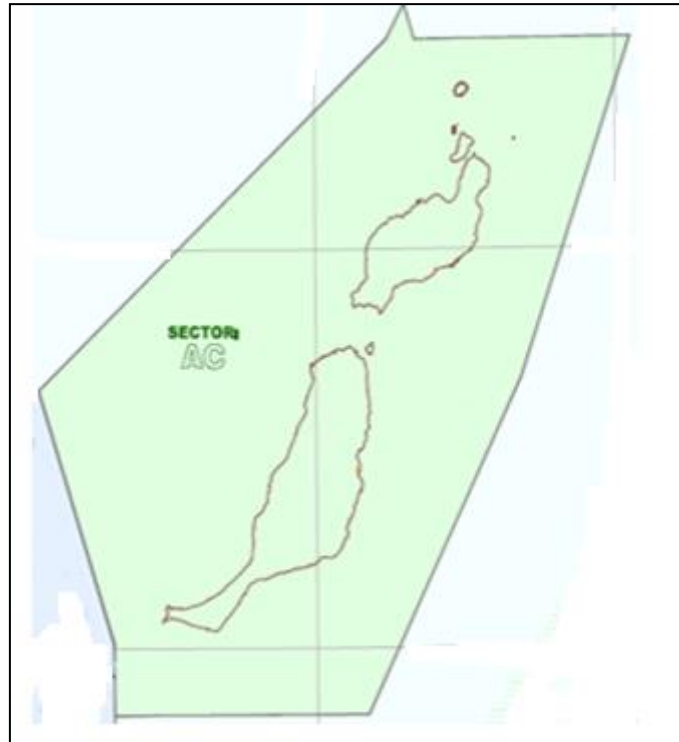


Figura 22 - Sector AC [13].

Esta frecuencia se transmite actualmente, desde esos dos emplazamientos por la imposibilidad de cubrir a todos los niveles de altura el área necesaria. El servicio de Aproximación llega hasta el nivel de vuelo FL 150, 4550 metros de altura, por eso se han realizado simulaciones a diferentes niveles hasta llegar a dicha altura. En la Figura 23 se muestra como queda la cobertura al nivel de vuelo FL 10 (*Flight Level 10* - 300 metros), en la Figura 24 se muestra como queda la cobertura al nivel de vuelo FL 100 (*Flight Level 100* - 3050 metros) y en la Figura 25 se indica como queda la cobertura al nivel de vuelo FL 150 (*Flight Level 150* - 4550 metros). Se puede observar como el área de solape entre ambas transmisiones es mayor mientras mayor es la altura (zona rayada en rojo), con lo cual el área donde pueden producirse problemas aumenta. Por ello, se intentará eliminar el desplazamiento de portadora.

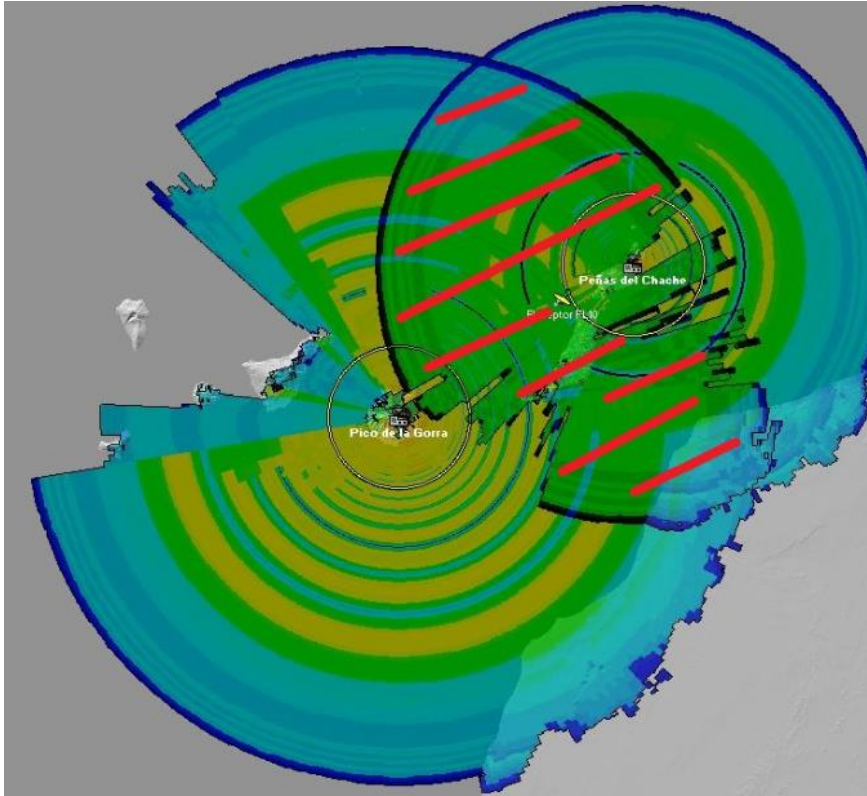


Figura 23 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 10 (1000 pies/300 metros).

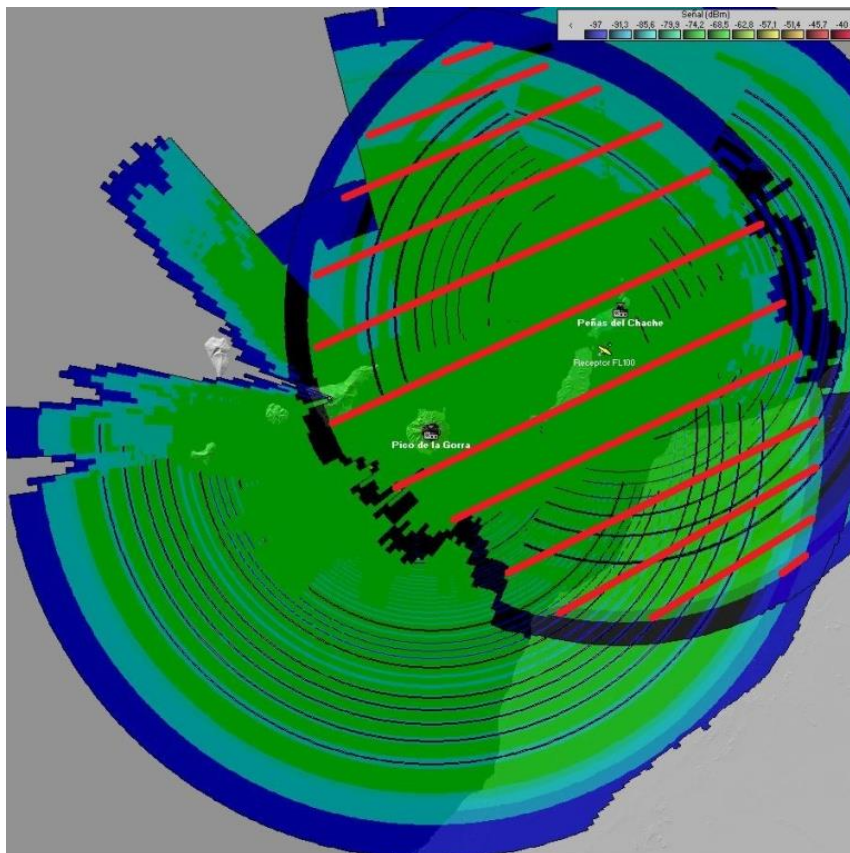


Figura 24 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 100 (10000 pies/3050 metros).

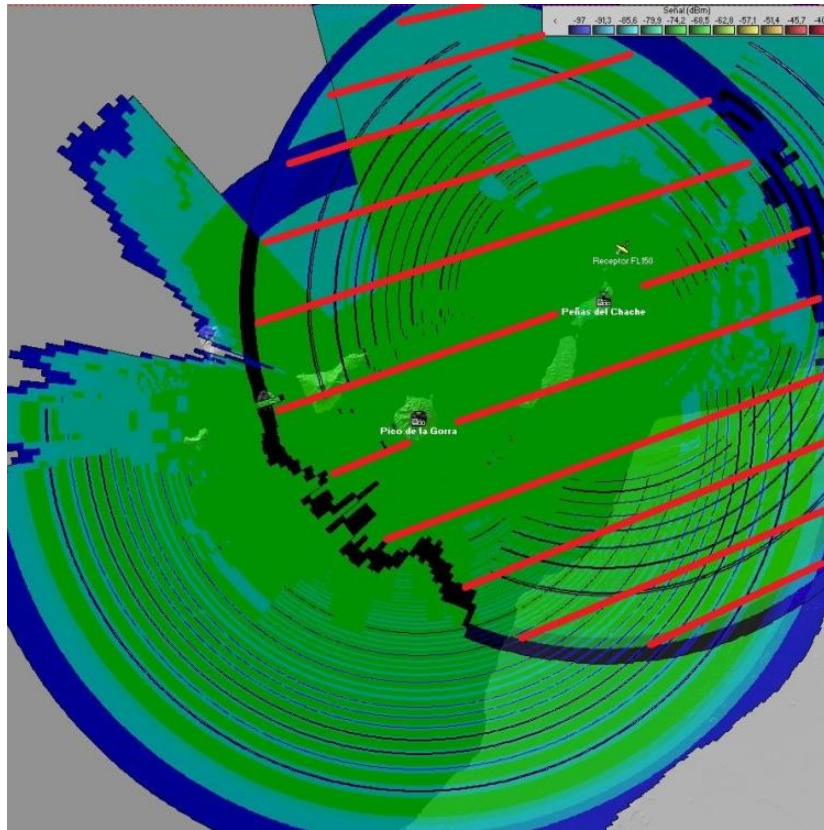


Figura 25 - Cobertura Frecuencia 129,3 MHz en configuración desplazada desde los emplazamientos del Pico de la Gorra y Peñas del Chache en el nivel de vuelo FL 150 (15000 pies/4500 metros).

5. Propuesta de mejora

5.1 Introducción

Como se ha visto en el anterior capítulo, existe una serie de frecuencias en configuración de portadoras desplazadas que se quieren modificar para dar servicio desde un único emplazamiento en configuración de portadora única. Para ello es necesario, además de reorganizar las frecuencias dentro de los emplazamientos existentes, disponer de nuevos posibles emplazamientos que puedan satisfacer las necesidades de cobertura. A continuación, se propone una serie de nuevos posibles emplazamientos que podrían dar solución a dichas necesidades.

5.2 Nuevos emplazamientos

A la hora de elegir los posibles emplazamientos, se ha atendido a los siguientes criterios:

- Situación en punto visualmente predominante sobre el entorno garantizando una maximización de la cobertura con mínima potencia transmitida.
- Posibilidad de instalación de infraestructura y equipamiento para poder dar servicio. En Canarias existe una gran cantidad de paisajes protegidos donde es difícil obtener permisos para la instalación de la infraestructura necesaria para poner en servicio un centro de comunicaciones.
- Existencia previa de la infraestructura necesaria para la instalación de equipos.

Para la elección de los posibles nuevos emplazamientos se ha hecho uso del visor web de GRAFCAN [14].

Atendiendo a esos criterios se han definido nuevos emplazamientos en la provincia de Las Palmas: Fuerteventura (Temejereque) y Lanzarote (Femés) para intentar optimizar la cobertura en la zona oriental del Archipiélago y nuevos emplazamientos en la provincia de Santa Cruz de Tenerife: La Gomera (Igualeto) y La Palma (Cumbre Nueva) para intentar optimizar la cobertura en la zona occidental del Archipiélago. A continuación, se indica la situación de dichos emplazamientos.

5.3 Fuerteventura

En Fuerteventura se propone la localización de Temejereque, situada en el municipio de Puerto del Rosario y cuya ubicación exacta es Latitud Norte $28^{\circ} 32' 41''$ y Longitud Oeste $13^{\circ} 55' 17''$, a una altura de 526 metros. Actualmente se dispone de un radioenlace militar entre el aeropuerto de Fuerteventura y dicho punto [13], con lo que se asegura que existe visión directa entre ambos. Por otra parte, es un emplazamiento con una altura significativa por lo que puede ser óptimo para las necesidades de cobertura. En la figura 26 se muestra vista aérea del emplazamiento.



Figura 26 - Vista aérea del emplazamiento de Temejereque (Fuerteventura) [14].

5.4 Lanzarote

En Lanzarote se propone la ubicación de montaña Femés, localizada en el municipio de Yaiza, y cuya situación exacta es Latitud Norte $28^{\circ} 55' 08''$ y Longitud Oeste $13^{\circ} 47' 03''$, a una altura de 620 metros. Actualmente se dispone de un radioenlace militar entre Temejereque y dicha ubicación [13], con lo que se asegura que existe visión directa entre ambas posiciones. Por otra parte, es un punto con una altura significativa por lo que puede satisfacer las necesidades de cobertura. En la figura 27 se muestra vista aérea del emplazamiento.



Figura 27 - Vista aérea del emplazamiento de Femés (Lanzarote) [14].

5.5 La Gomera

El punto más alto de la isla de La Gomera está situado en el pico Garajonay a 1487 metros de altura, pero al tratarse de un Parque Nacional es difícil conseguir un permiso para situar un centro de comunicaciones. Por lo tanto, se ha optado por el emplazamiento de Igualero situado a unos 1469 metros de altitud. En la Figura 28 se muestra vista aérea de dicha localización. Se trata de un punto militar, como ya ocurre con el emplazamiento de Peñas del Chache, y existe visión directa entre dicho emplazamiento y el Aeropuerto de La Gomera (Figura 29), desde donde se puede llevar el audio mediante radioenlace. Está situado en el municipio de Vallehermoso, y su localización exacta es Latitud Norte 28° 06' 23,49" y Longitud Oeste 17° 14' 55,57". Es un punto con una altura significativa por lo que puede ser óptimo las necesidades de cobertura.

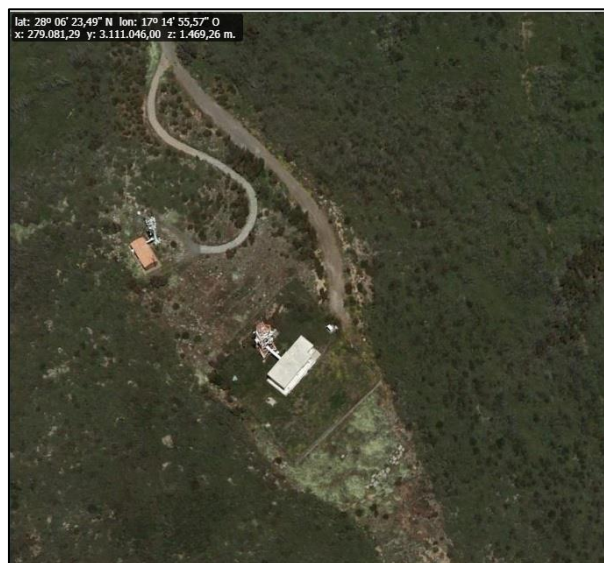


Figura 28 - Vista aérea del emplazamiento de Igualero (La Gomera) [14].

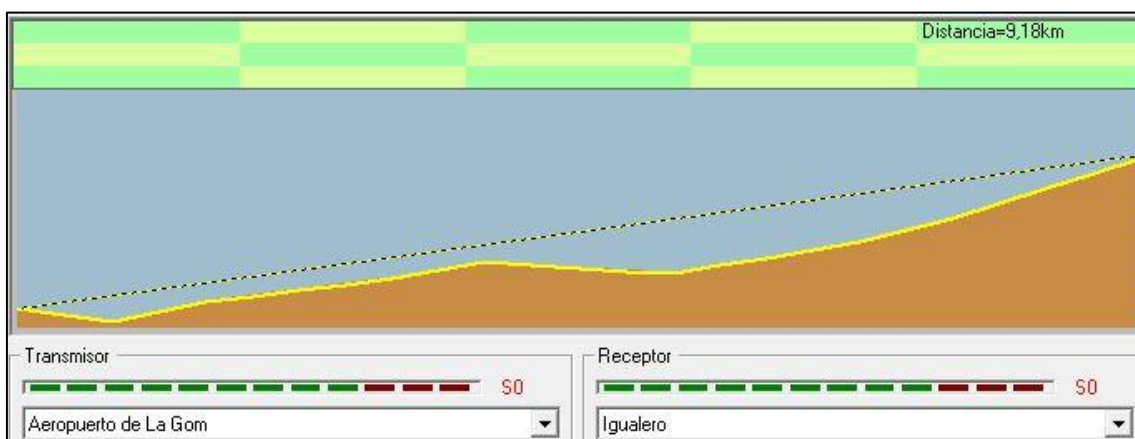


Figura 29 - Existencia de visión directa entre emplazamientos de Aeropuerto Gomera e Igualero.

5.6 La Palma

El punto más alto de la isla de La Palma está situado en el Roque de los Muchachos a 2426 metros, pero al tratarse de un Parque Nacional ocurre lo mismo que en el Pico de Garajonay. Por lo tanto, se ha optado por el emplazamiento de Cumbre Nueva, donde ya existe un centro de comunicaciones del Gobierno de Canarias [15]. En la Figura 30 se muestra vista aérea del emplazamiento. Además, existe visión directa entre dicho emplazamiento y el Aeropuerto de La Palma (Figura 31), desde donde se puede llevar el audio mediante radioenlace. Está situado en el municipio de Breña Alta, y su localización exacta es Latitud Norte $28^{\circ} 38' 52,34''$ y Longitud Oeste $17^{\circ} 49' 32,77''$. Es un punto con una altura significativa por lo que puede satisfacer las necesidades de cobertura.



Figura 30 - Vista aérea del emplazamiento de Cumbre Nueva (La Palma) [14].

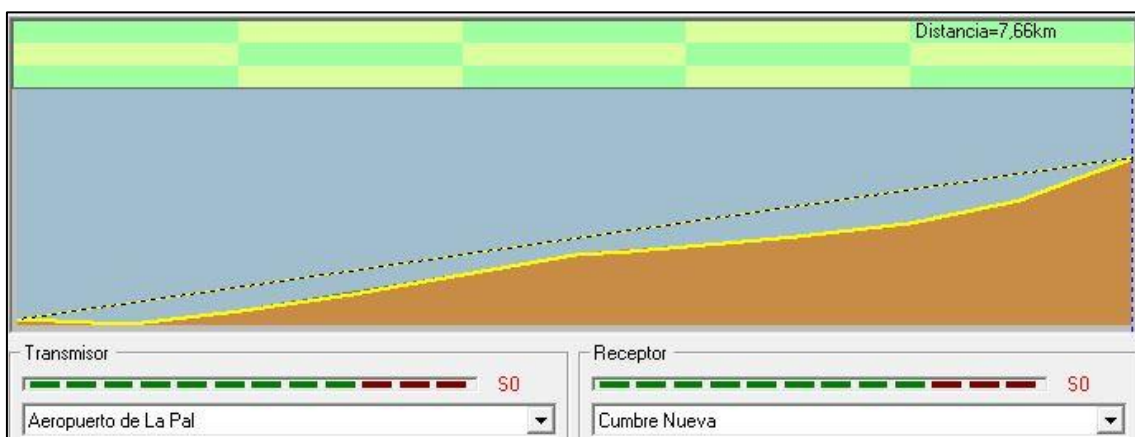




Figura 31- Existencia de visión directa entre emplazamientos de Aeropuerto La Palma y Cumbre Nueva.

5.7 Simulaciones con el Software Radio Mobile

Para el estudio de coberturas en los posteriores apartados, se han realizado simulaciones con el *software* Radio Mobile. Se trata de una herramienta gratuita de simulación de radiopropagación utilizado para predecir el comportamiento de sistemas radio y realizar estudios de cobertura.

Para simular las aeronaves se han establecido receptores según el nivel de vuelo en que se quiera analizar la cobertura y se han representado en las

figuras con el siguiente icono . Las estaciones de tierra se han señalado

con el icono  y se han configurado según la latitud y longitud indicada en el capítulo 4.

Por otra parte, en el Anexo 10, Volumen III de la OACI [8], Parte II- Sistemas de comunicaciones orales, Capítulo 2- Servicio móvil aeronáutico, se indica lo siguiente sobre el sistema de a bordo de las aeronaves:

2.3.2.2.1 Recomendación.— Después de tener debidamente en cuenta la pérdida de atenuación por desequilibrio de impedancia del alimentador de a bordo y la variación del diagrama polar de la antena, la sensibilidad de la función receptora debería ser tal que proporcione, en un elevado porcentaje de ocasiones, una señal de salida de audio con una relación de señal deseada/no deseada de 15 dB, con una señal de radio modulada en amplitud (A3E) del 50% que tenga una intensidad de campo de 75 mV/m (-109 dBW/m²).

Nota. — A los efectos de la planificación de instalaciones VHF de alcance ampliado, se puede suponer una sensibilidad de 30 mv/m de la función receptora de a bordo.

Es decir, que la relación señal a ruido debe ser superior a 15 dB para una intensidad de campo de 75 mV/m (-109 dBW/m²). Los equipos comerciales que cumplen con la normativa de la OACI suelen tener una potencia de transmisión de 20 W y su receptor una sensibilidad de 3 μ V (-97 dBm). Por lo tanto, el nivel de cobertura se representa por colores según la Figura 32, configurado según el mínimo de sensibilidad comentado para un receptor de aeronaves (-97 dBm).

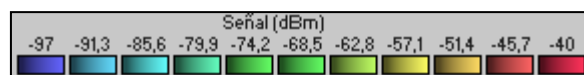


Figura 32 - Colores/Nivel de señal (dBm)

Para las estaciones de tierra, se ha supuesto una altura de las antenas de 20 metros, el clima de la zona se ha estimado Marítimo sub-tropical y el resto de parámetro se ha dejado por defecto.

5.8 Propuesta para servicio de ruta

Como se ha indicado en el capítulo 4, las frecuencias de ruta que tienen configuración en portadora desplazada son 130,950 MHz, para el sector CEN y 133,000 MHz para el sector OCE-E. Además, la frecuencia 127,9 MHz y 123,650 MHz no disponen de emplazamiento alternativo. En este apartado se intentarán eliminar las configuraciones en portadora desplazada de las frecuencias 130,950 MHz y 130,950 MHz y dotar a las frecuencias 127,9 MHz y 123,650 MHz de una localización alternativa. El servicio de ruta llega desde el nivel de vuelo FL 150, a una altura de 4550 metros, hasta el FL 460, a una altura de 14050 metros. Es por eso que en el desarrollo de este apartado se han realizado simulaciones de coberturas al nivel de vuelo FL 150 (4550 metros), al FL 310 (9450 metros) y al FL 460 (14050 metros) para ver la variación de la misma. Se han realizado simulaciones con diferentes tipos de antena (dipolo, cardioide, elipse, etc...) y los mejores resultados para la orografía analizada han sido con antena de diagrama de radiación omnidireccional y cardioide.

5.8.1 Frecuencia 130,950 MHz

Esta frecuencia pertenece al sector CEN (Figura 33) tiene actualmente configuración en portadora desplazada. Una de las transmisiones se hace desde el emplazamiento de Pico de la Gorra (50 W) y otra desde la instalación de Peñas del Chache (50 W). Además, es frecuencia alternativa en el sector NE, en el caso de problemas con su frecuencia principal.



Figura 33 - Sector CEN [13].

Actualmente se transmite en configuración de frecuencia desplazada con antena omnidireccional y con transmisores de 50 W en las localizaciones de Pico de la Gorra y Peñas del Chache, quedando la huella de cobertura al nivel FL 150 (más restrictivo) según se muestra en la Figura 34.

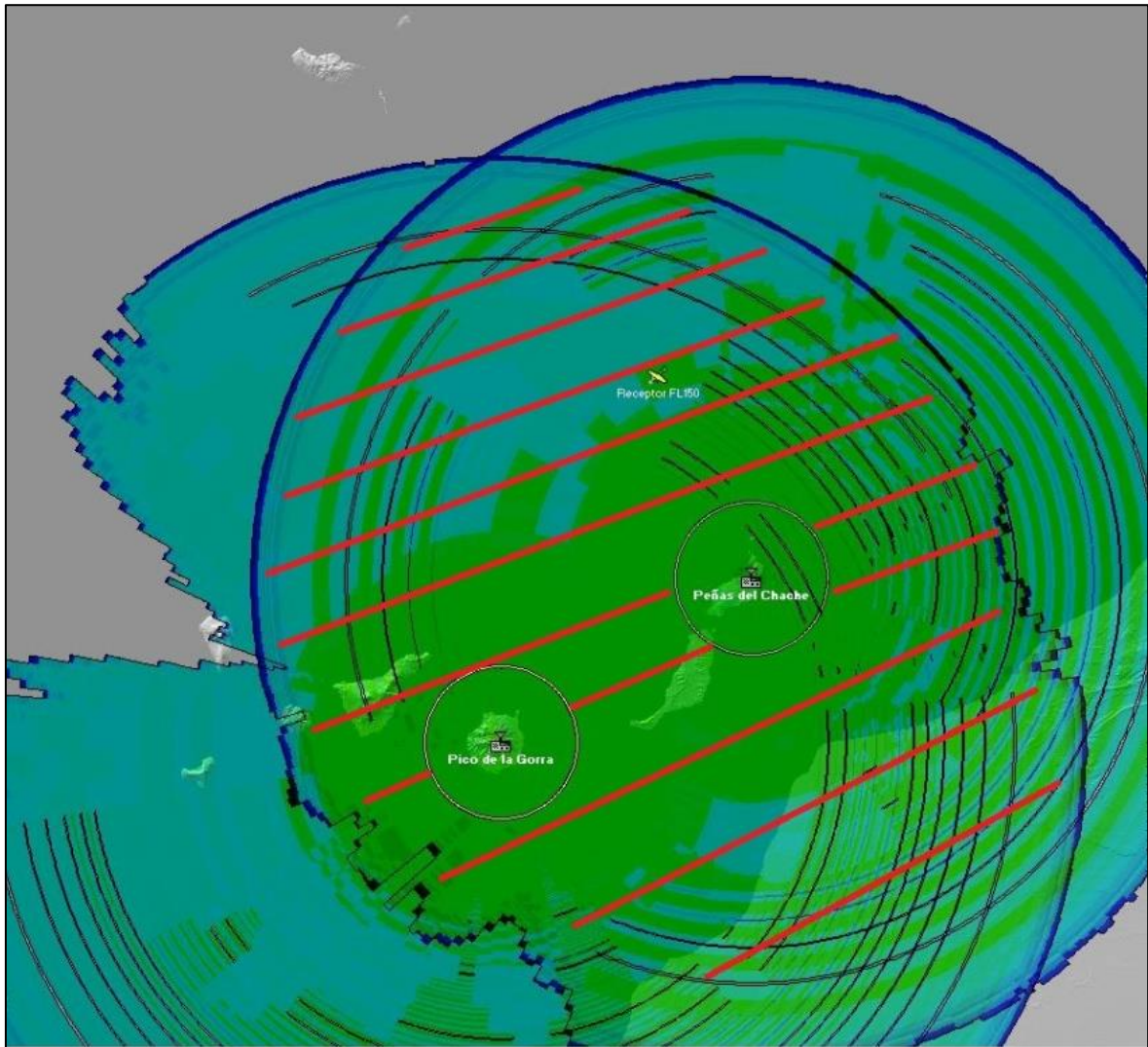


Figura 34 - Cobertura desde emplazamientos de Pico de la Gorra y Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora desplazada donde se muestra zona de solapamiento.

Se puede observar que la zona de solapamiento es bastante grande y que en principio se podría dar cobertura a la zona de acción con el emplazamiento de Peñas del Chache en configuración de portadora única. Para ello, se muestra a continuación, la cobertura para dicho emplazamiento al mismo nivel de vuelo (Figura 35)

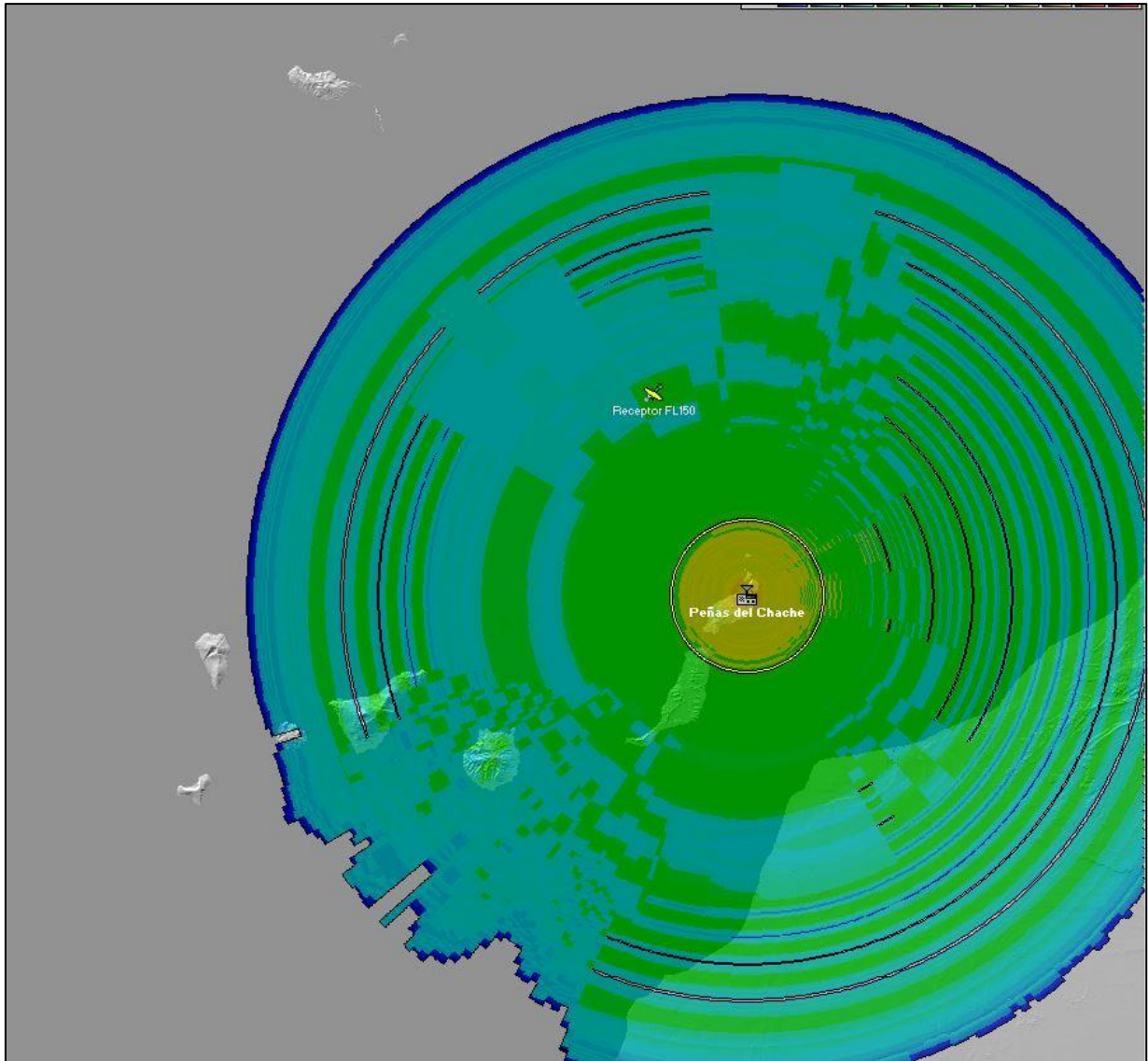


Figura 35- Cobertura desde emplazamiento de Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz en FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora única.

En la figura 35 se comprueba que se puede cubrir la zona con un solo transmisor. Por otra parte, se utilizará la localización de Femés para ver si se mejora la cobertura respecto a Peñas del Chache. En la figura 36 se observa que también se consigue la cobertura deseada desde Femés al nivel de vuelo FL 150.

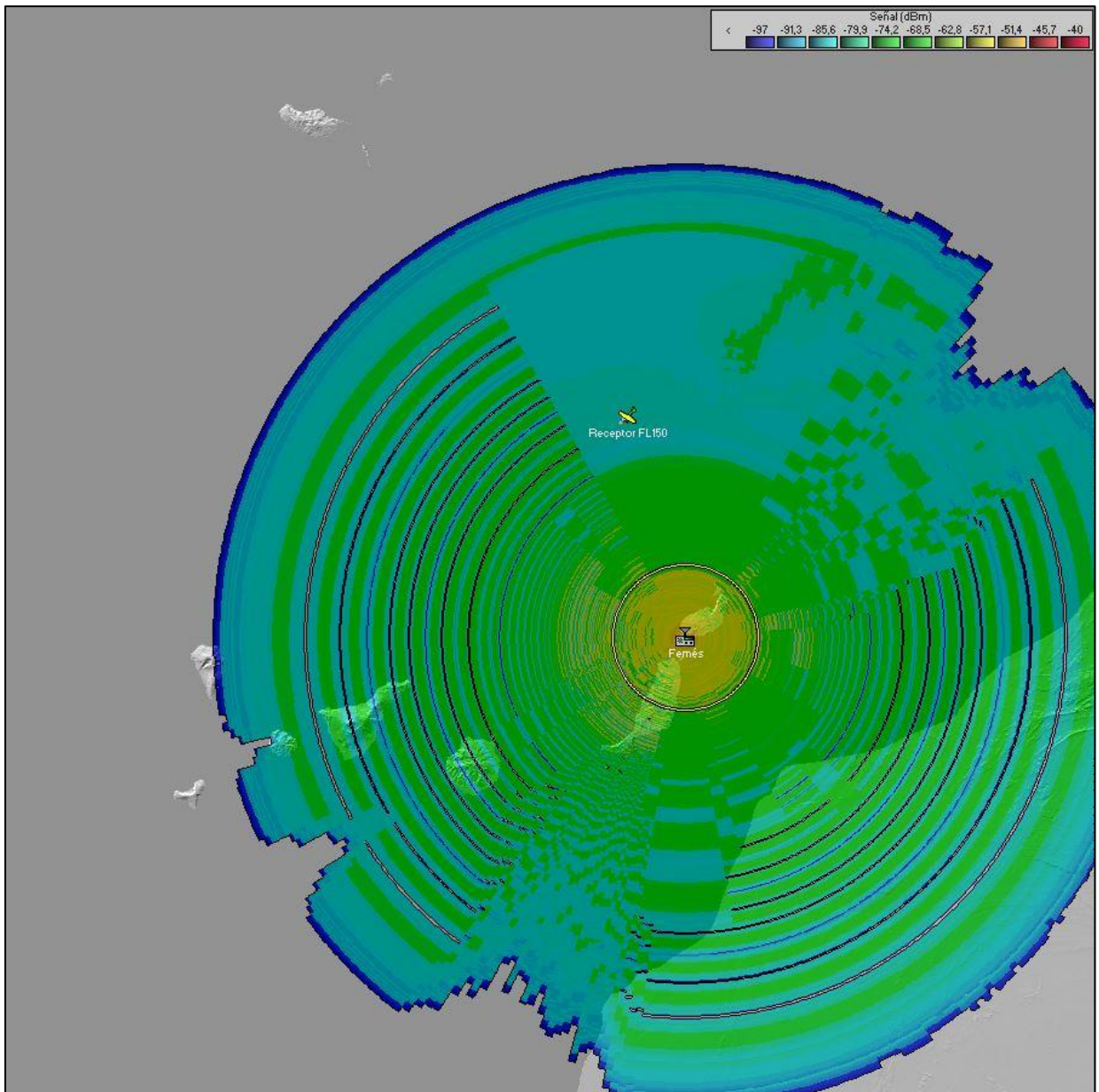


Figura 36 - Cobertura desde emplazamiento de Femés para la frecuencia 130,95 MHz a nivel de vuelo FL 150 (4550 metros) en configuración de portadora única.

Por lo tanto, se propone como emplazamiento principal Femés y como alternativo Peñas del Chache.

Se muestran además, las coberturas de ambas localizaciones, Femés y Peñas del Chache para FL 310 y FL 460 en la figura 37.

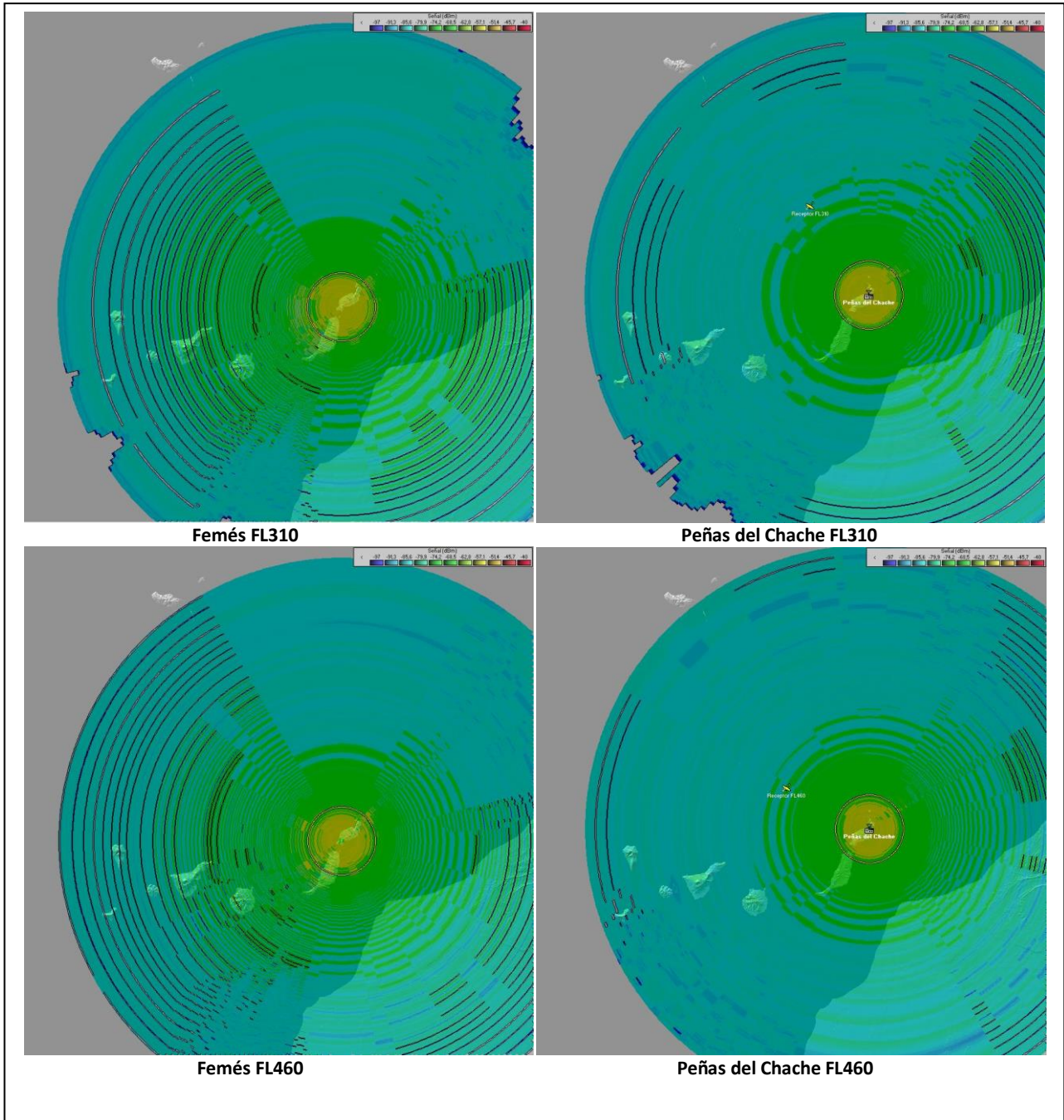


Figura 37 - Cobertura desde emplazamientos de Femés y Peñas del Chache para la frecuencia 130,95 MHz a nivel de vuelo FL 310 y FL 460 en configuración de portadora única.

5.8.2 Frecuencia 133,000 MHz

Esta frecuencia pertenece al sector OCE-E (Figura 38) y el emplazamiento principal de esta frecuencia está en el Pico de la Gorra, que transmite con configuración de portadora única.

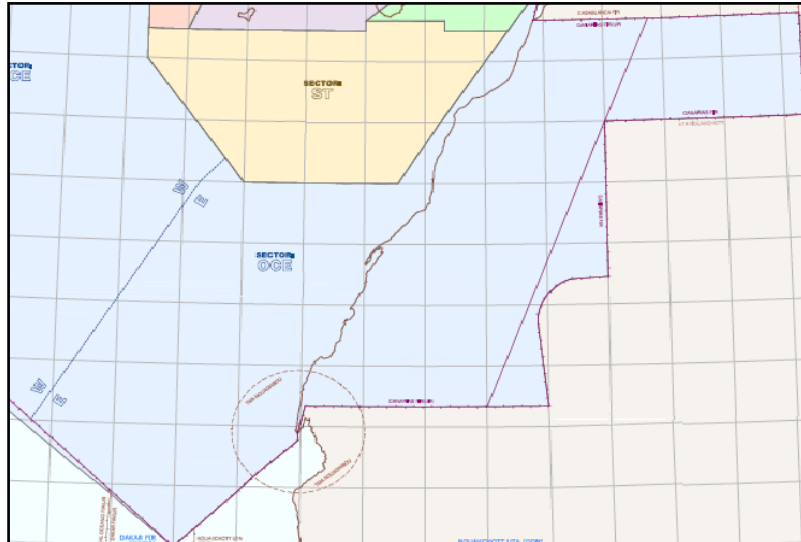


Figura 38 - Sector OCE-E.

Sin embargo, en caso de cualquier problema, esta frecuencia se transmite simultáneamente desde el Pozo de las Nieves (200W) y Peñas del Chache (50W) en configuración de portadora desplazada ya que sus coberturas se solapan (Figura 39).

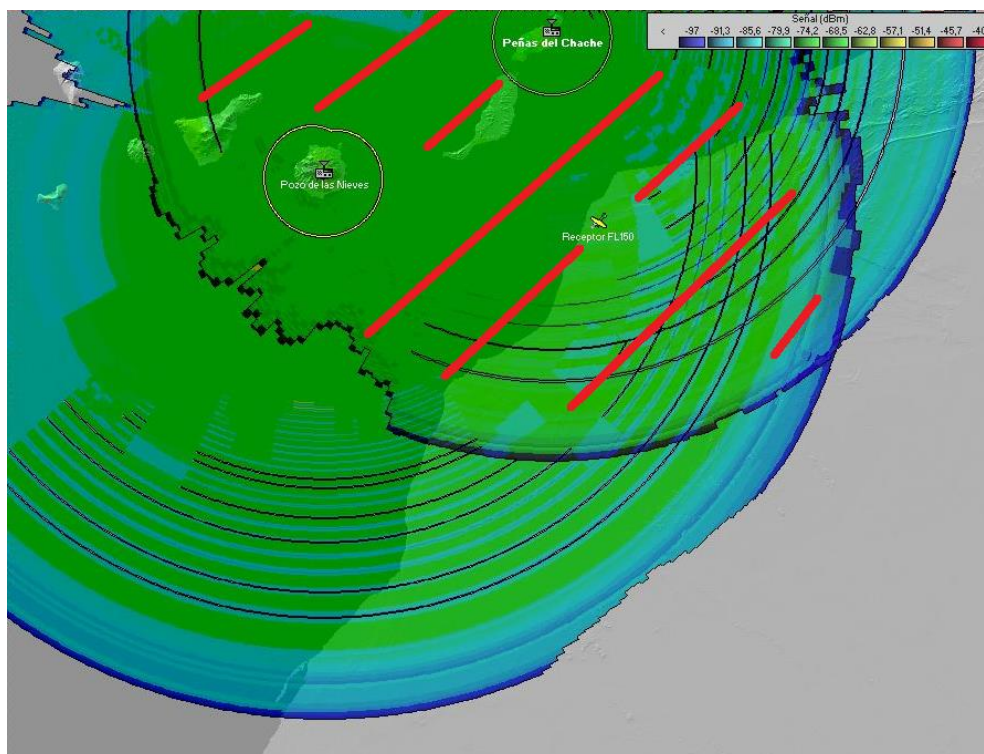


Figura 39 - Cobertura para 133,000 MHz desde emplazamiento de Pozo de las Nieves y Peñas del Chache en configuración de portadora desplazada a nivel de vuelo FL 150, donde se puede observar la zona de solape marcada en rojo.

El alcance al sur para cubrir el sector OCE es cercano a las 600 Millas Náuticas, aproximadamente unos 1.000 Km, por lo tanto no es posible cubrir el sector completo con una comunicación VHF. Esto es debido a que la propagación en la banda de VHF se basa fundamentalmente en la propagación de ondas directas lo que significa que el alcance de las estaciones está muy limitado por la línea de vista, que en ocasiones se excede por las componentes de difracción, reflexión y conducción atmosférica, motivo por el cual se emplean configuraciones de alta ganancia en el sistema radio. Por estas limitaciones de la banda VHF/UHF, para comunicaciones de largo alcance se emplean frecuencias en la banda de HF, pues permite propagación por la ionosfera y hace así posible las comunicaciones más allá de la línea de vista.

Para saber en qué punto se interrumpe el rayo directo debido a la curvatura de la Tierra, se calcula la distancia de visibilidad radioeléctrica, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$d_v = 4,1(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \quad \text{Km [16]}$$

Suponiendo un factor de modificación del radio de la Tierra para atmósfera estándar de $K=4/3$, donde h_t es la altura absoluta de la antena transmisora sobre el nivel del mar (m) y h_r es la altura absoluta de la antena receptora sobre el nivel del mar (m). En la Figura 39 se puede observar gráficamente lo explicado anteriormente.

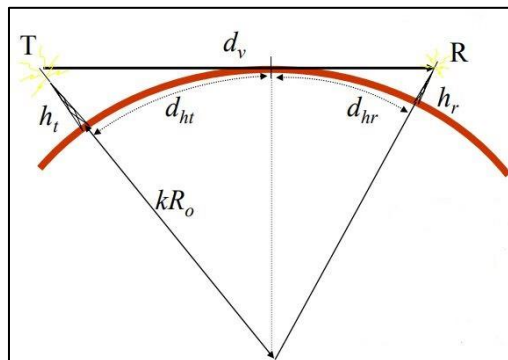


Figura 40 - Distancia de visibilidad radioeléctrica.

Para realizar los cálculos de la distancia de visibilidad radioeléctrica se toma que h_t para el Pico de la Gorra es de 1940 metros. Para h_r , se tomarán los valores de las distintas alturas de vuelos con las que se realizan las simulaciones en los servicios de ruta. Estos valores son 4.550 metros (FL150), 9.450 metros (FL310) y 14050 metros (FL460). Tomando los valores anteriores, las distancias de visibilidad radioeléctrica se quedarían de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} d_v(\text{Km}) &= 457,14 \text{ Km para FL150} \\ d_v(\text{Km}) &= 579,15 \text{ Km para FL310} \\ d_v(\text{Km}) &= 666,57 \text{ Km para FL460} \end{aligned}$$

Para el mejor de los casos, para FL460, la distancia de visibilidad radioeléctrica llega a 666,57 que no son los 1000 Km

Por otra parte, se han realizado diferentes pruebas de cobertura con los distintos emplazamientos propuestos (Figura 40) y si se compara con la huella de cobertura de la Figura 41, se puede observar que con una configuración de portadora única no se llegará a cubrir el área que se cubre en configuración de portadora desplazada desde Pozo de las Nieves y Peñas del Chache (mayor cobertura de la costa africana). Por lo tanto, se deja la configuración existente.

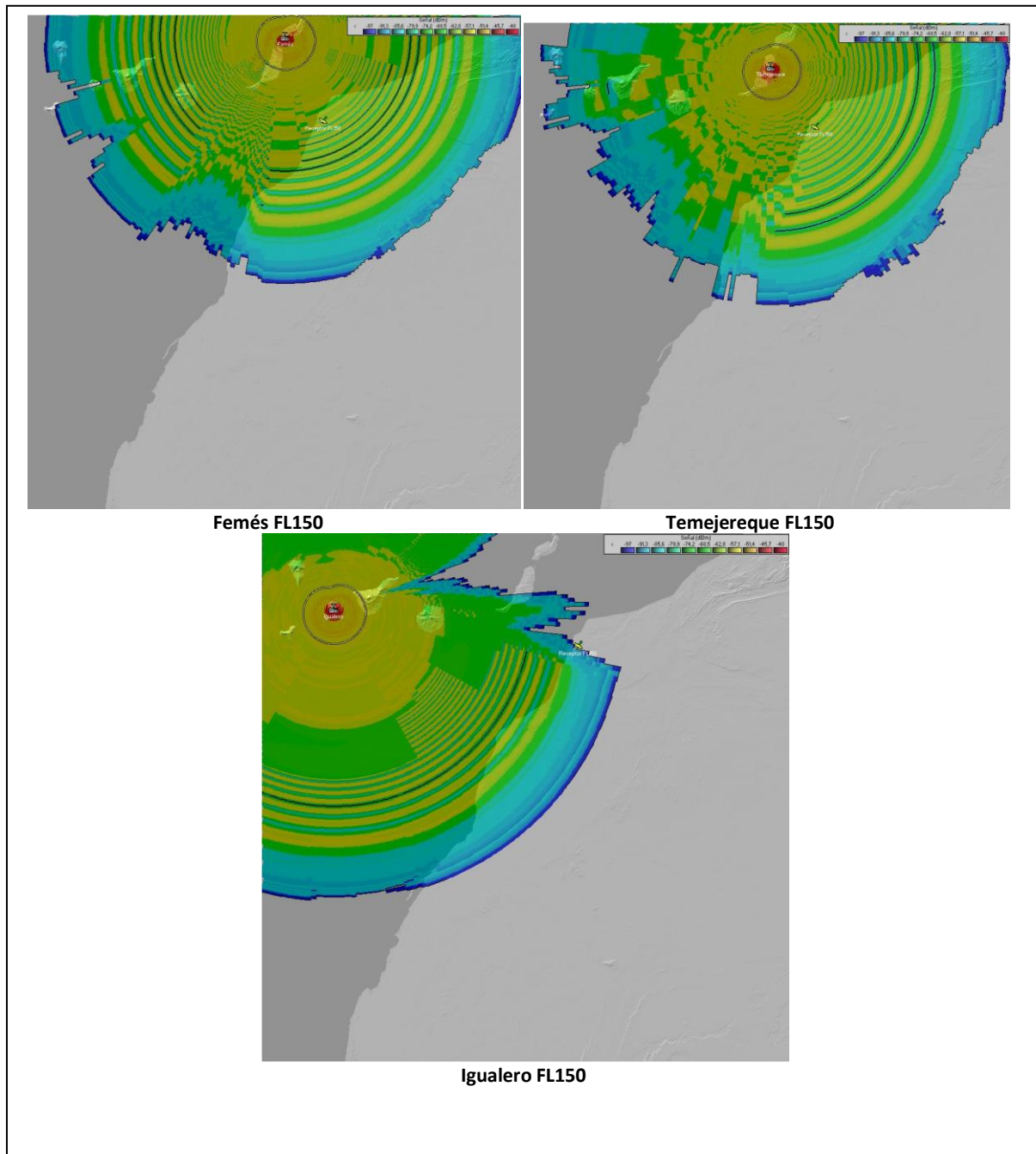


Figura 41 - Cobertura para 133,000 MHz desde los emplazamientos de Femés, Temejereque e Igualero a FL 150 en configuración de portadora única.

5.8.3 Frecuencia 127.9 MHz

Esta frecuencia da servicio de ruta al sector ST (Figura 42) y actualmente dispone de un único emplazamiento en el Pico de la Gorra. Otro de los puntos que se fijaron en este proyecto era el de buscar posibles localizaciones alternativas a las frecuencias que no las tuvieran.

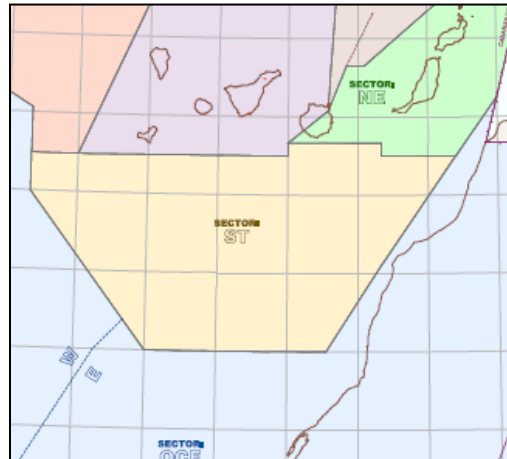


Figura 42 - Sector ST.

De los diferentes emplazamientos desde los que se han probado, tanto nuevos como existentes, los que mejor cobertura tienen son los de Igualero, en la isla de La Gomera, (Figura 43) y Pozo de las Nieves, en la isla de Gran Canaria (Figura 44). Se han probado coberturas a nivel de vuelo FL150, por ser el más restrictivo por estar a menor altura.

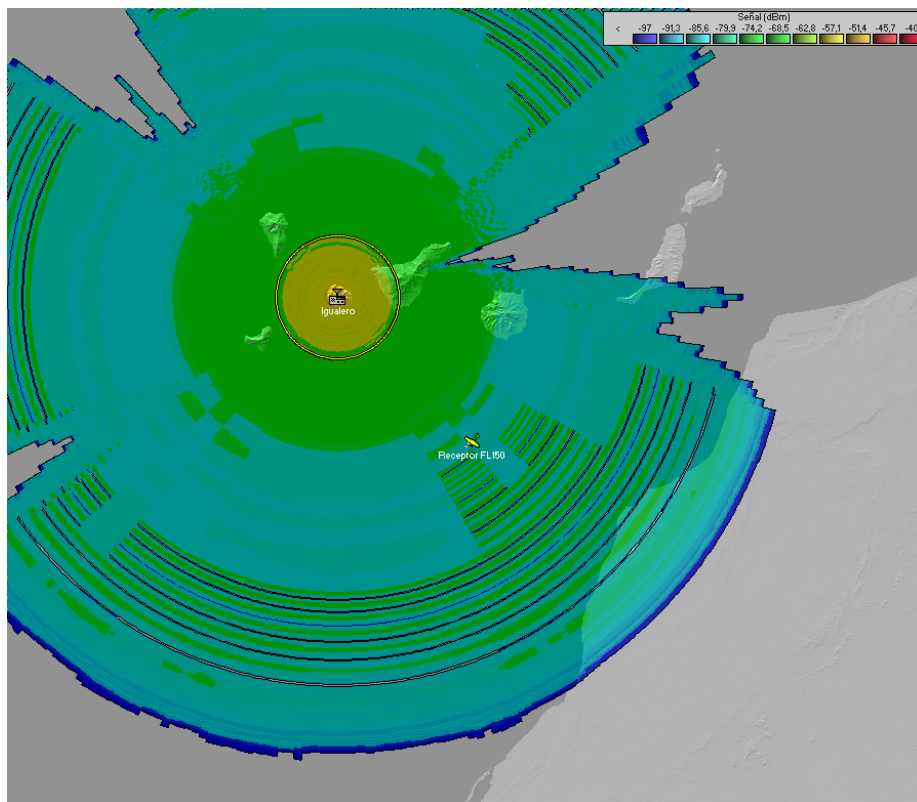


Figura 43 - Cobertura desde Igualero - FL 150 - 50W - Cardioide 100º.

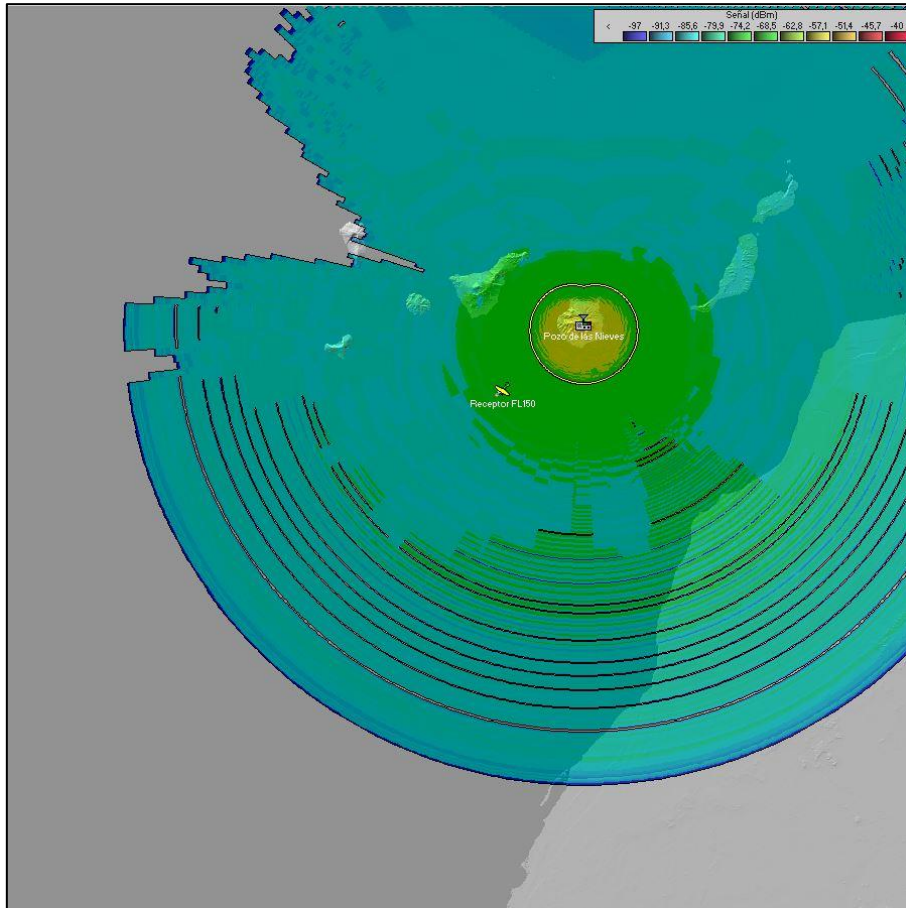


Figura 44 - Cobertura desde Pozo de las Nieves - FL 150 - 50W - Cardioide 180º.

Se ha decidido utilizar el emplazamiento de Igualero porque aun teniendo cobertura ambos sobre el área de acción, se intenta diversificar localizaciones para mitigar riesgos.

5.8.4 Frecuencia 123.650 MHz

Con esta frecuencia se da servicio de ruta al sector WW (Figura 45) y actualmente dispone de un único emplazamiento en el Pico de la Gorra. De la misma manera que en el apartado anterior, se intentará buscar una posible ubicación alternativa esta frecuencia.

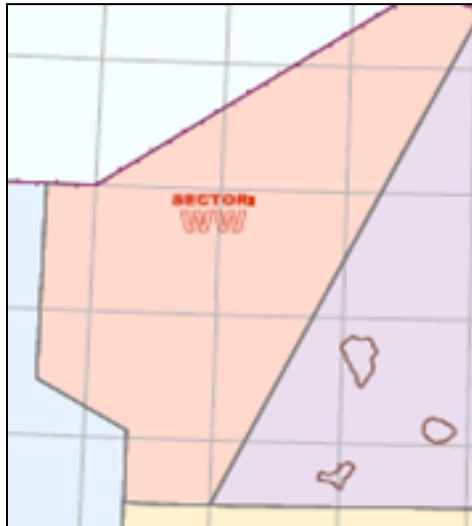


Figura 45 - Sector WW.

Para ello, hay que tener en cuenta que por él sólo discurre una aerovía, como se puede observar en la Figura 19, aunque se muestra ampliada y encuadrada en rojo en la Figura 46. Se puede ver que no sobrevuela ninguna isla por lo que será para vuelos que no tienen origen ni destino los aeropuertos canarios por lo que se usará para aeronaves a niveles de vuelo altos. Por lo tanto, la simulación, en este caso, se realizará para los niveles FL 310 y FL 460.



Figura 46 - Se encuadra en rojo la única aerovía que discurre por el sector WW.

Se han probado diferentes emplazamientos, tanto nuevos como existentes, pero los dos que mejor resultado han dado son los de Igualero, en la isla de La Gomera, y Cruz de Taborno, en la isla de Tenerife. Se han simulado coberturas a nivel de vuelo FL 310 (Figuras 47 y 48), por ser el más restrictivo por estar a menor altura.

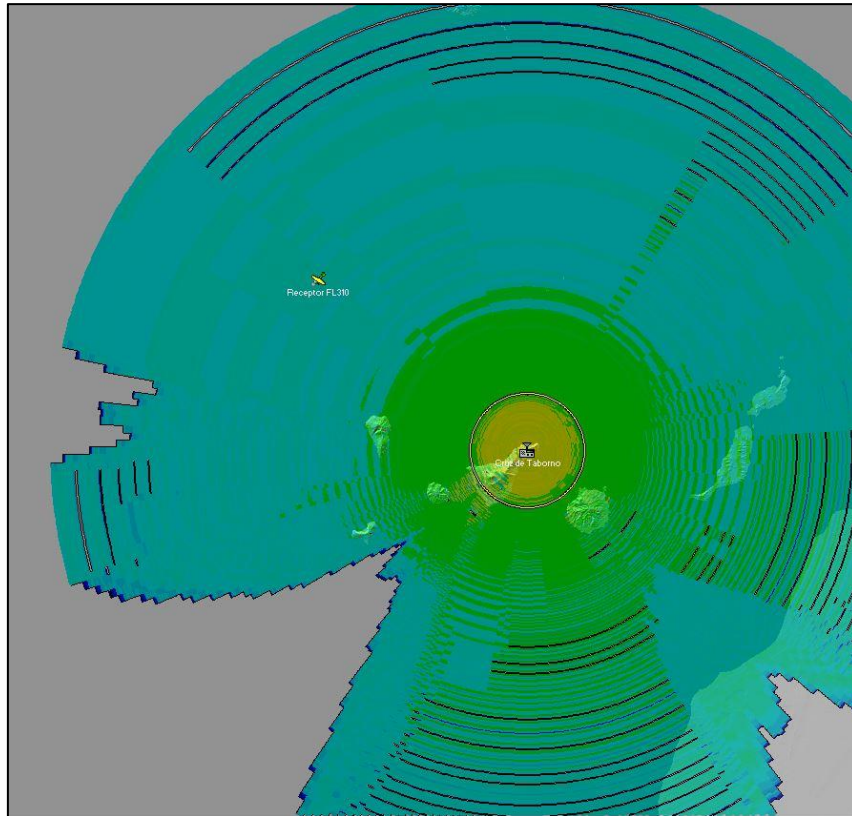


Figura 47- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 310 - 50W - Omnidireccional.

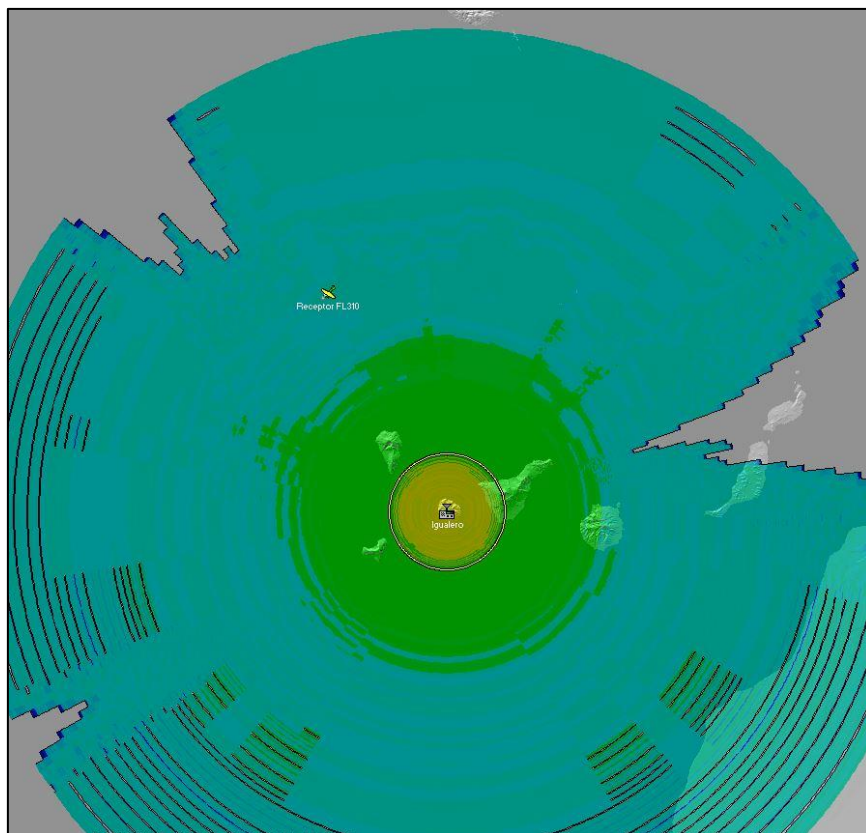


Figura 48- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 310 - 50W - Omnidireccional.

Se muestran además, las coberturas de ambas localizaciones, para FL 460 en las Figuras 49 y 50.

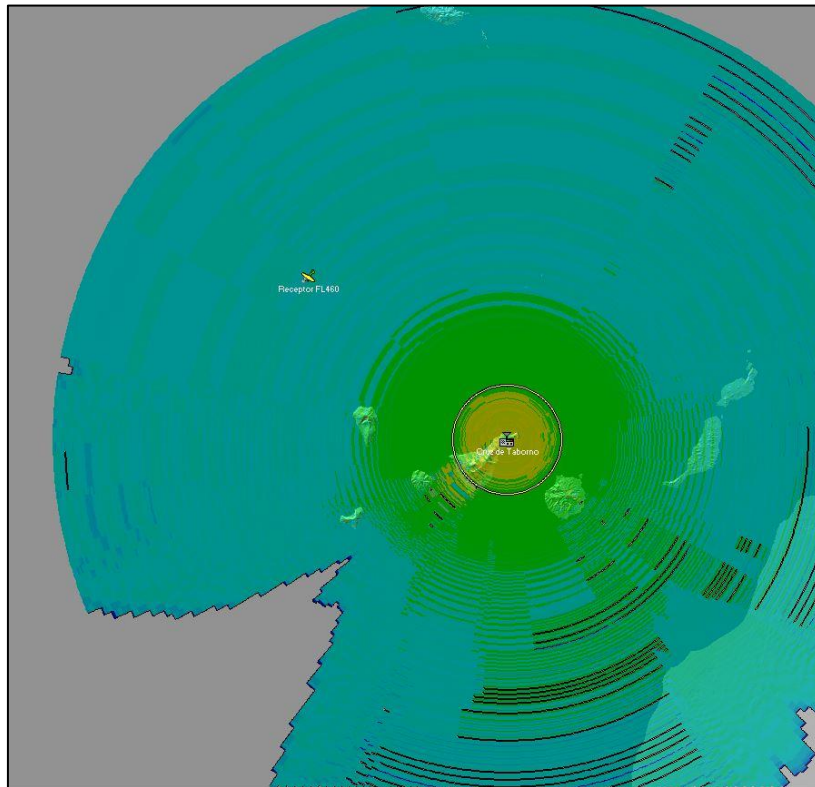


Figura 49- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 460 - 50W - Omnidireccional.

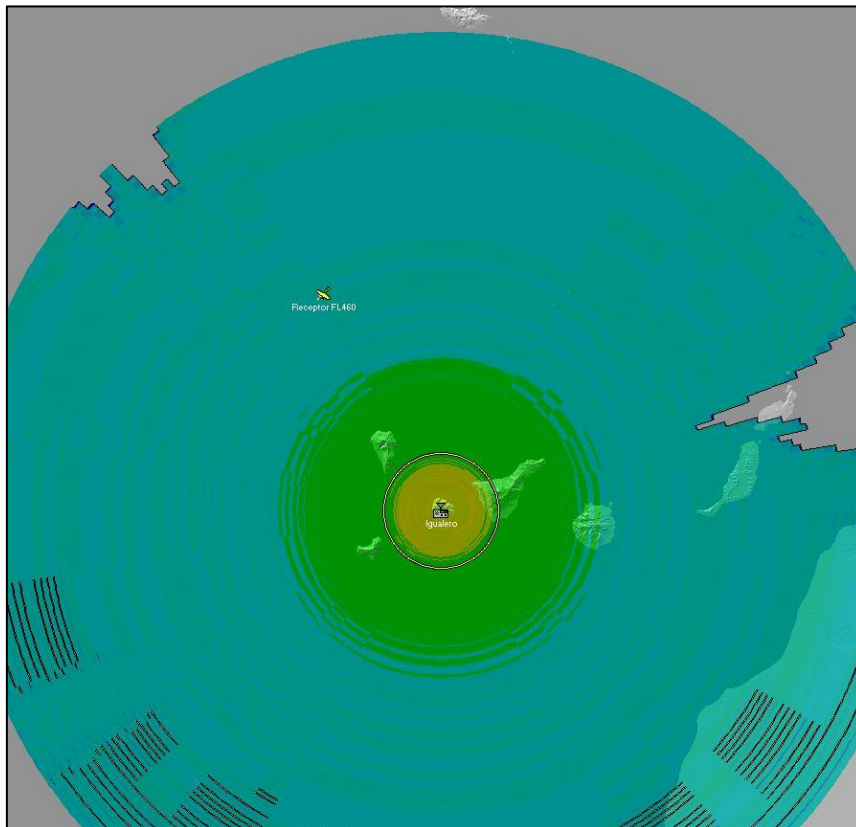


Figura 50- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 460 - 50W - Omnidireccional.

Observando los resultados queda claro que ambos emplazamientos son óptimos, pero se decide elegir Cruz de Taborno como localización alternativa ya que es la que mayor cobertura posee.

5.8.5 Estado final de las frecuencias del servicio de ruta

Tras analizar el estudio realizado en apartados anteriores, la distribución de las frecuencias de ruta quedará según la Tabla 15:

Tabla 15 - Estado final de las frecuencias del servicio de ruta según propuesta de este trabajo fin de máster.

Frecuencia	Sector de Servicio de Ruta	Configuración Portadora Desplazada	Centro de comunicaciones
126,650 MHz	WW	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
		No	Cruz de Taborno (Emplazamiento Alternativo)
126,500 MHz	NW	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
		No	Pozo de las Nieves (Emplazamiento Alternativo)
130,950 MHz	CEN	No	Femés (Emplazamiento Principal)
		No	Peñas del Chache (Emplazamiento Alternativo)
129,100 MHz	NE	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
		No	Pozo de las Nieves (Emplazamiento Alternativo)
127,900 MHz	ST	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
			Igualero (Emplazamiento Alternativo)
119,300 MHz	OCE-W	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
		No	Pozo de las Nieves (Emplazamiento Alternativo)
133,000 MHz	OCE-E	No	Pico de la Gorra (Emplazamiento Principal)
		Sí	Pozo de las Nieves (Emplazamiento Alternativo)
			Peñas del Chache (Emplazamiento Alternativo)

Se ha marcado en verde la frecuencia para la que se ha eliminado la configuración en portadora desplazada y se ha dotado de emplazamiento alternativo, 130,950 MHz, y además, se han coloreado en azul las frecuencias para la que se consiguió situar una ubicación alternativa y estaban ya con

configuración en portadora única, 127,9 MHz y 126,650 MHz. Se ha sombreado en rojo la frecuencia para la que no se ha logrado eliminar la configuración en portadora desplazada en su emplazamiento alternativo (Pozo de las Nieves/Peñas del Chache), 133,000 MHz.

5.9 Propuesta para servicio de aproximación

Como se ha indicado en el capítulo 4, las frecuencias de aproximación que tienen configuración en portadora desplazada son 126,100 MHz, para el sector FCW y ACW, 124,700 MHz para el sector FCW, 125,625 y 129,300 MHz, para el sector AC y 127,700 MHz y 128,125 MHz, para el sector TSAPP. En el desarrollo de este apartado se han realizado simulaciones de cobertura al nivel de vuelo FL 10 (300 metros), FL 100 (3050 metros) y a FL 150 (4550 metros). Se han realizado simulaciones con diferentes tipos de antena (omnidireccional, cardioide, elipse, etc...) y los mejores resultados para la orografía analizada han sido con antena omnidireccional, que es con la que finalmente se han realizado las representaciones.

5.9.1 Frecuencia 126,100 MHz

Esta frecuencia pertenece a los sectores FCW y ACW (Figura 51) y se transmite desde el emplazamiento del Pico de la Gorra (50W) y desde el aeropuerto de La Palma (200W) en configuración de portadora desplazada.

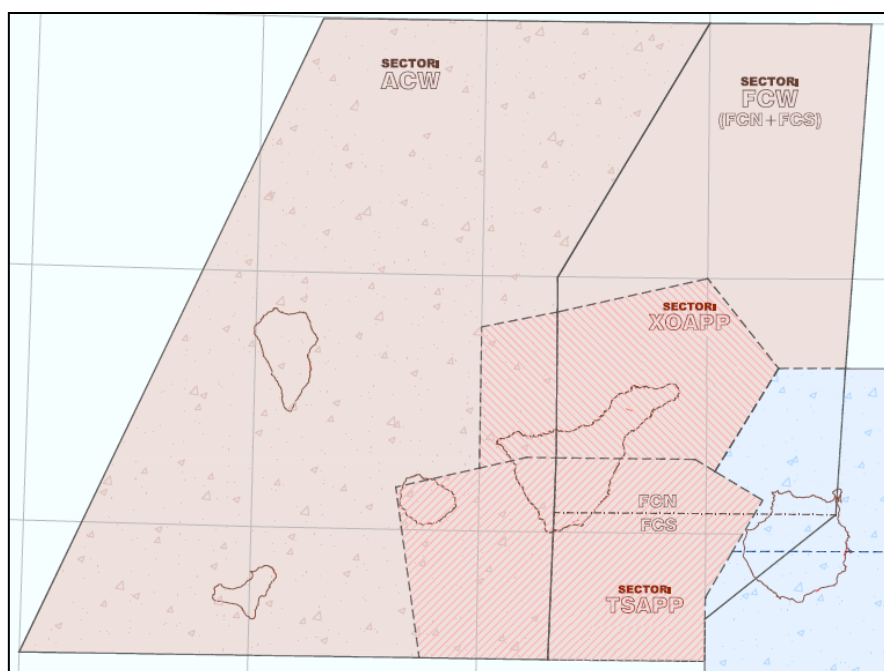


Figura 51 - Sectores ACW y FCW.

En la siguiente figura se muestra cómo queda la huella de cobertura con el sistema actual (Figura 52) al nivel de vuelo FL10 que es el más restrictivo por tener la menor altitud.

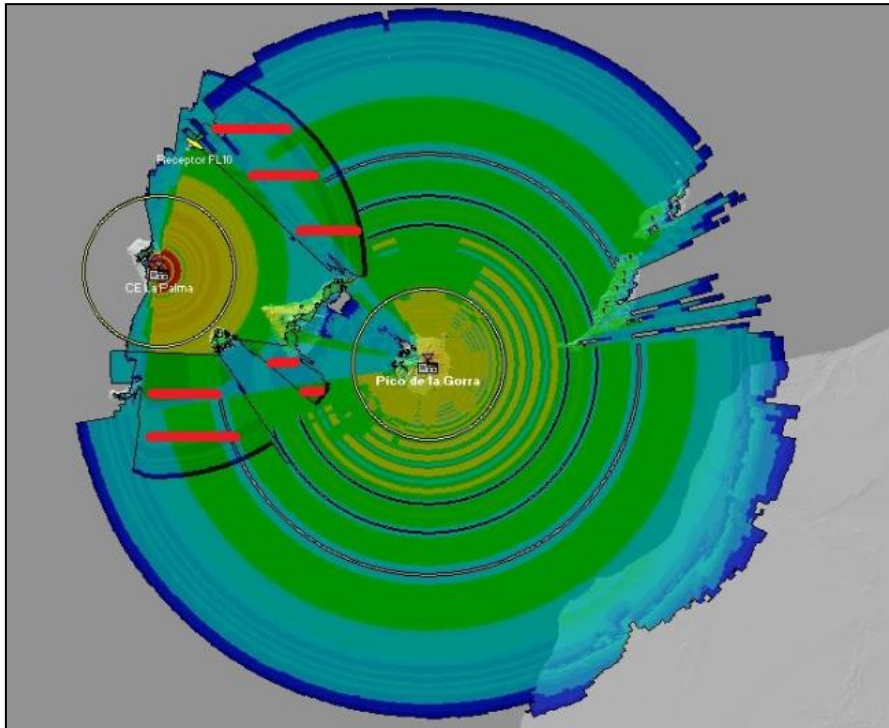


Figura 52 - Cobertura desde Pico de la Gorra (50W) y Aeropuerto de La Palma (200W) para 126,1 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 - Omnidireccional.

A continuación, para esta frecuencia se prueban varias posibles localizaciones en configuración de portadora única con 50 W, tanto existentes como nuevas, al mismo nivel de vuelo y de ellas se escogen las de mejor cobertura: Igualero, en la isla de La Gomera (Figura 53) y Cruz de Taborno, en la isla de Tenerife (Figura 54).

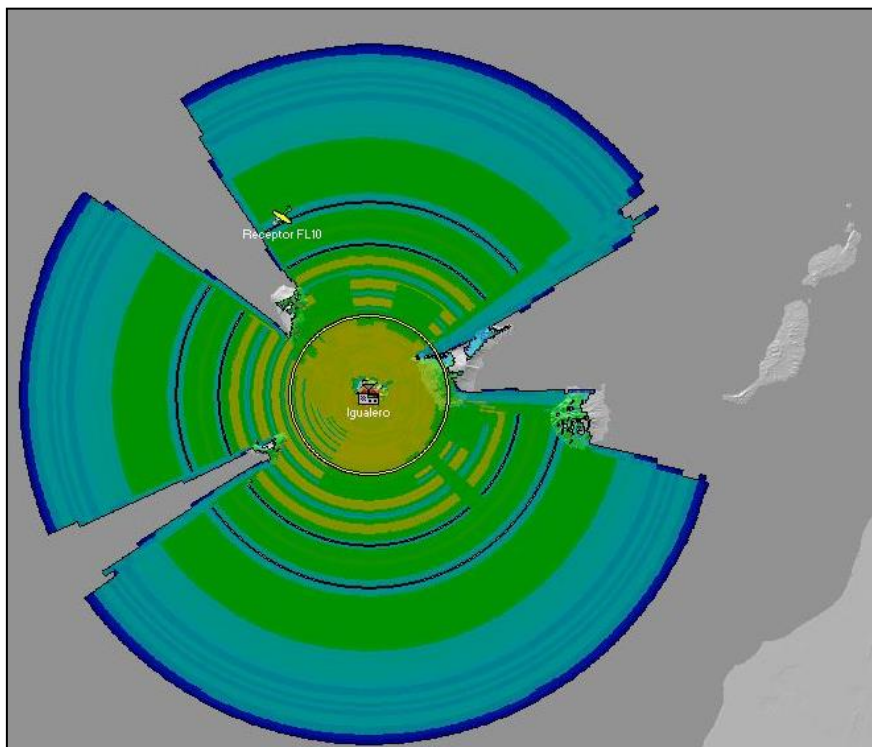


Figura 53 - Cobertura para 126,1 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.

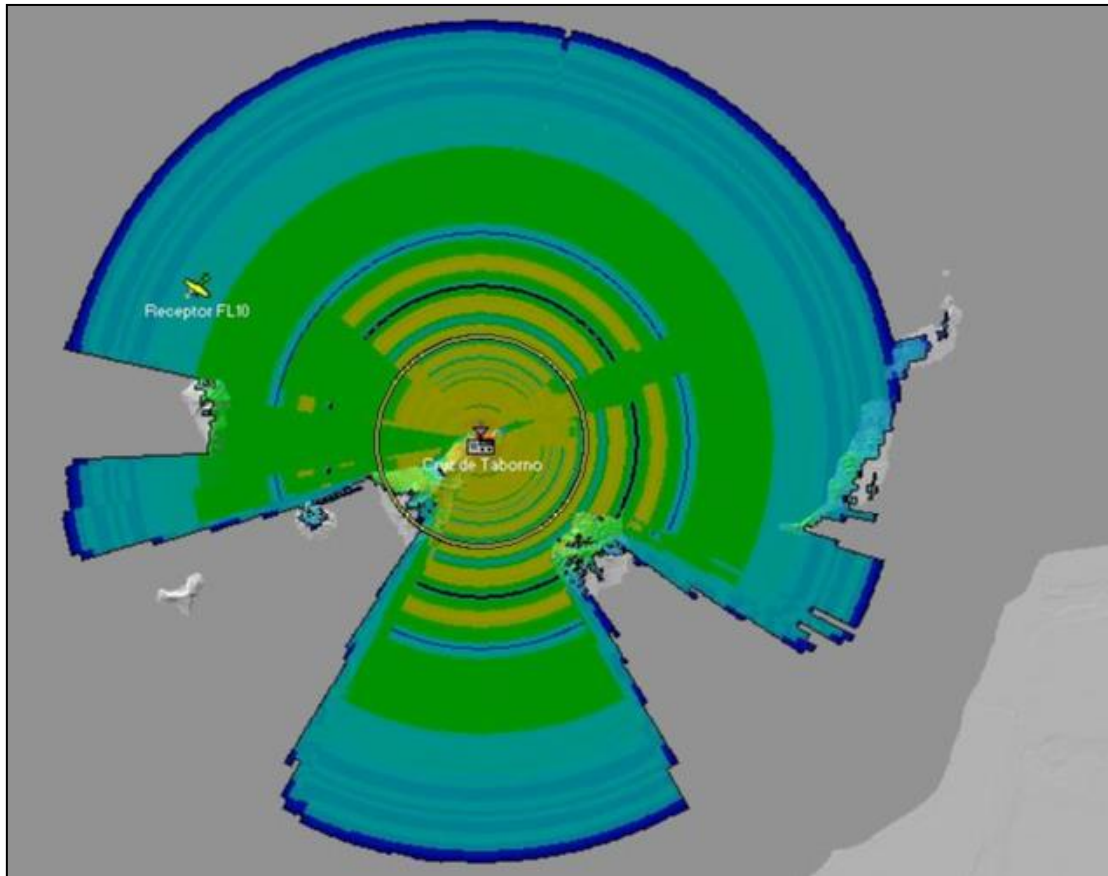


Figura 54 - Cobertura para 126,1 MHz en configuración de portadora única desde Cruz de Taborno - FL 10 - 50W - Omnidireccional

Se puede apreciar como con ambas localizaciones se logra cubrir el área de acción en configuración de portadora única y con una potencia de 50 W transmitiendo de manera omnidireccional, con mejores resultados que el estado actual. Se optará por tomar el emplazamiento de Cruz de Taborno como emplazamiento principal por tener mayor cobertura con la misma potencia y el de Igualero se tomará como emplazamiento alternativo. De esta forma, se consigue cumplir con los dos objetivos principales de este trabajo fin de máster: Eliminar las configuraciones en portadora desplazada establecer una situación alternativa para la transmisión de las frecuencias que no dispongan de ella. A continuación, se muestran las coberturas de la localización de Igualero y Cruz de Taborno para los niveles de vuelo FL 100 y FL 150 (Figura 55).

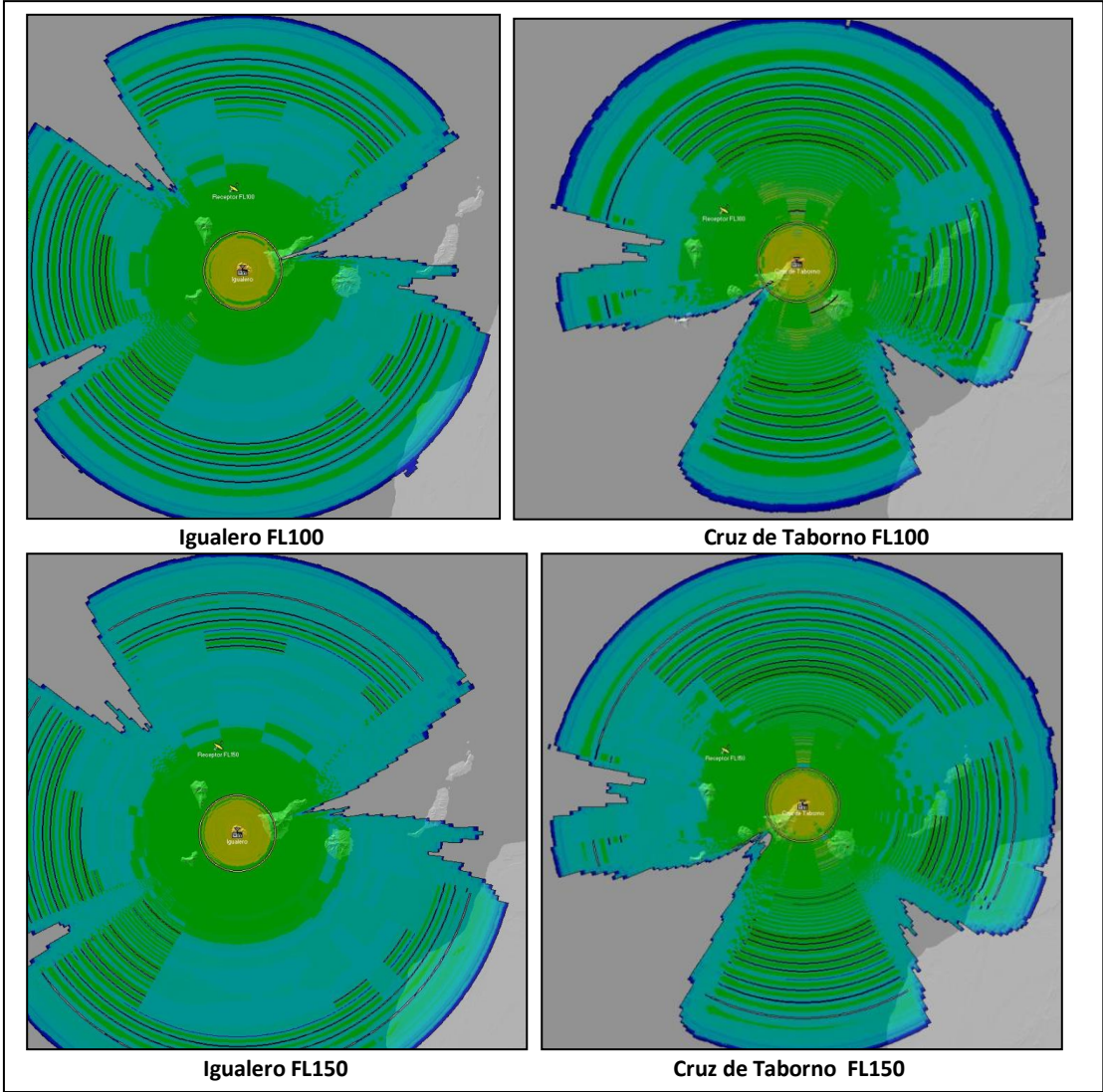


Figura 55- Cobertura desde emplazamientos de Igualero y Cruz de Taborno para la frecuencia 126,100 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50 W – Omnidireccional.

5.9.2 Frecuencia 124,700 MHz

Esta frecuencia pertenece al sector FCW (Figura 56).

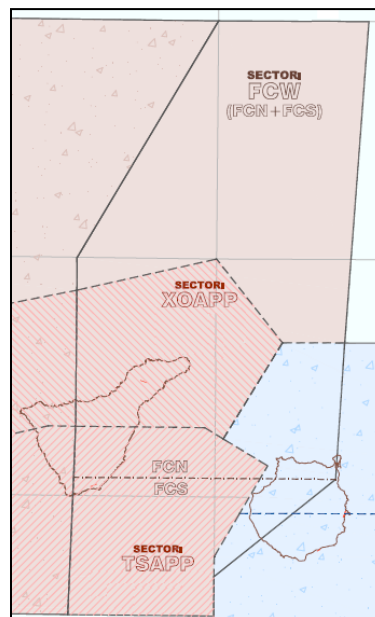


Figura 56 - Sector FCW.

Actualmente, para proporcionar cobertura a este sector se utilizan dos transmisiones en configuración de portadora desplazada, una desde el Pico de la Gorra (100 W) y otra desde Peñas del Chache (50W). En la Figura 57 se muestra una simulación con dicha cobertura a nivel de vuelo FL 10 (300 metros) que es la más restrictiva por ser la altura más baja y rayado en rojo se indica la zona de solapamiento.

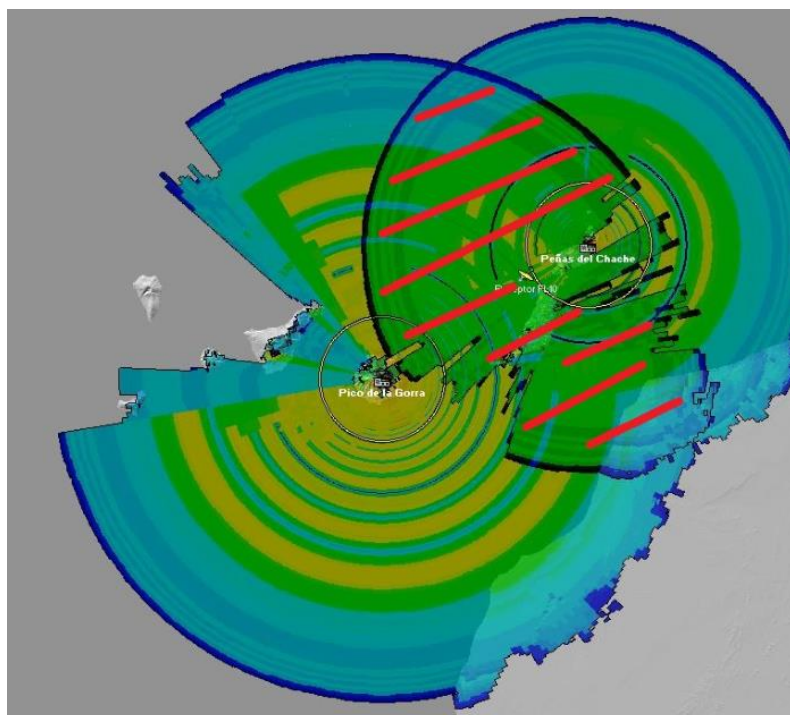


Figura 57 - Cobertura desde Pico de la Gorra (100W) y Peñas del Chache (50W) para 124,700 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.

Seguidamente, para esta frecuencia se realizan pruebas con 50 W en diferentes emplazamientos, actuales y nuevos, al mismo nivel de vuelo y se escogen los dos que tienen mejores resultados en configuración de portadora única: Igualero, en la isla de La Gomera (Figura 58) y Cruz de Taborno, en la isla de Tenerife (Figura 59).

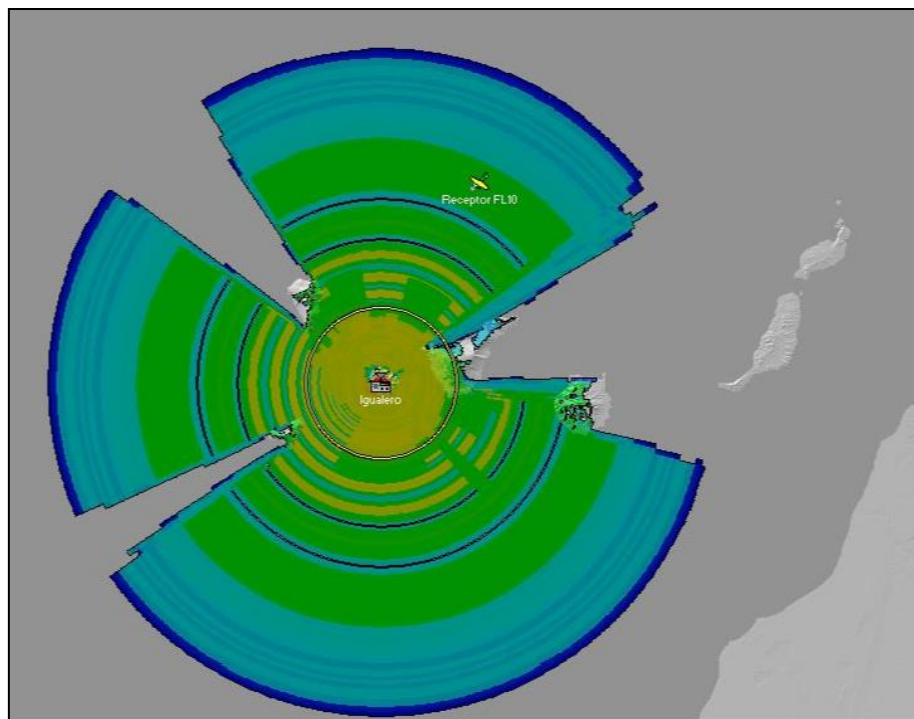


Figura 58- Cobertura desde Igualero para 124,700 MHz en configuración de portadora única- FL 10 - 50W - Omnidireccional.

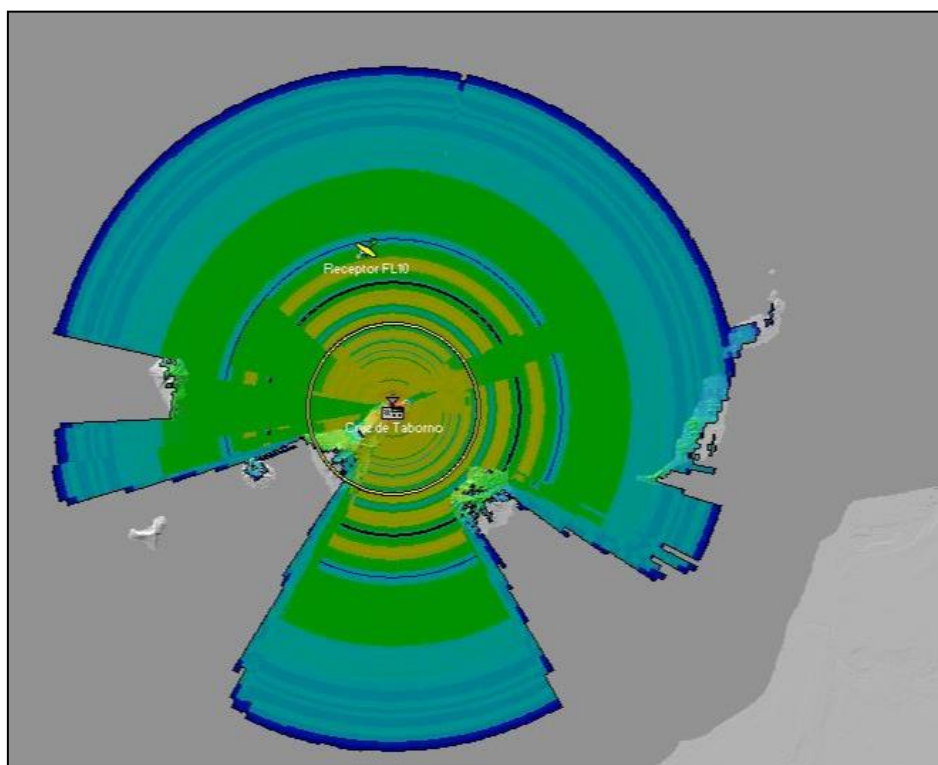


Figura 59- Cobertura desde Cruz de Taborno para 124,700 MHz en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.

Se puede observar que con el emplazamiento de Cruz de Taborno se optimiza la cobertura delimitándola al sector a cubrir, transmitiendo sólo con 50 W. Lo mismo ocurre con en la localización de Igualero. Por lo tanto, se podría eliminar la configuración en portadora desplazada actual y se propondrá un emplazamiento alternativo. En este caso, se propone el de Cruz de Taborno como principal por tener mayor cobertura con la misma potencia y se plantea Igualero como alternativo. Al igual que en el apartado anterior, resaltar que se ha conseguido cubrir el área requerida pasando de dos transmisiones, una de 100 W y otra 50 W a una sola de 50 W. A continuación, se muestran las coberturas de la localización de Cruz de Taborno e Igualero para los niveles de vuelo FL 100 y FL 150 (Figura 60).

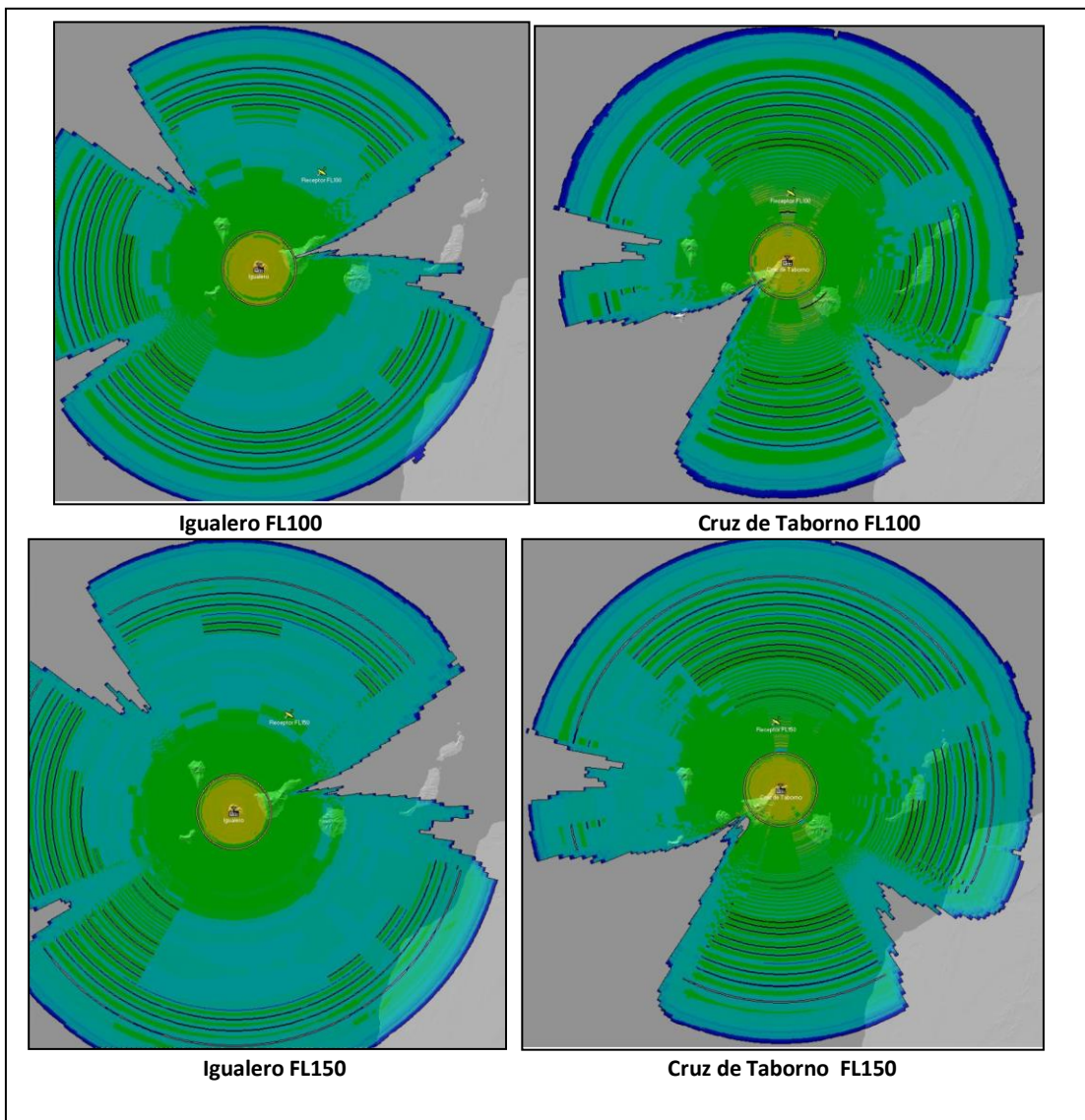


Figura 60 - Cobertura desde emplazamientos de Igualero y Cruz de Taborno para la frecuencia 124,700 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50 W – Omnidireccional.

5.9.3 Frecuencia 125,625 MHz

Esta frecuencia pertenece al sector AC (Figura 61).

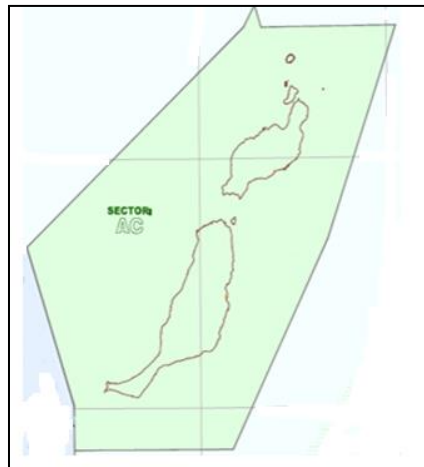


Figura 61 - Sector AC.

Para proporcionar cobertura a este sector se utilizan dos transmisiones en configuración de portadora desplazada, una desde el Pico de la Gorra (100 W) y otra desde el Aeropuerto de Fuerteventura (50W). En la Figura 62 se muestra una simulación con dicha cobertura a nivel de vuelo FL 10 (300 metros) que es la más restrictiva por ser la altura más baja y rayado en rojo se indica la zona de solapamiento.

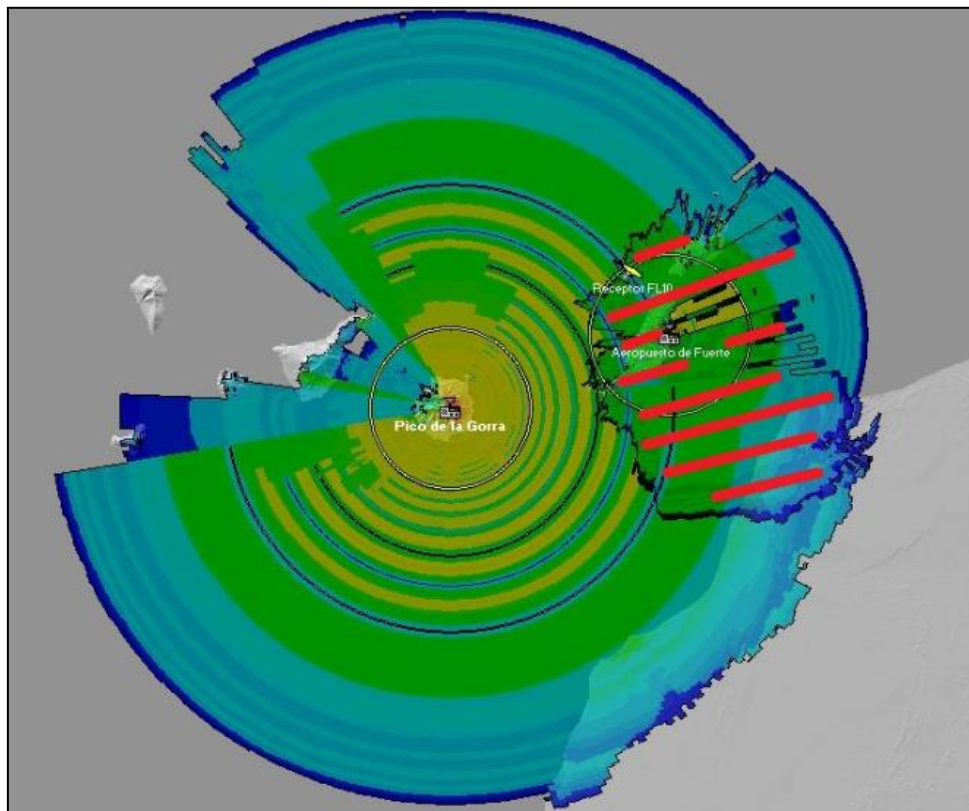


Figura 62 - Cobertura desde Pico de la Gorra (200W) y Aeropuerto de Fuerteventura (50W) para 125,625 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.

A continuación, para esta frecuencia se prueban dos posibles localizaciones: Temejereque, en la isla de Fuerteventura (Figura 63) y Femés, en la isla de Lanzarote (Figura 64) por estar cercanas al sector a cubrir.

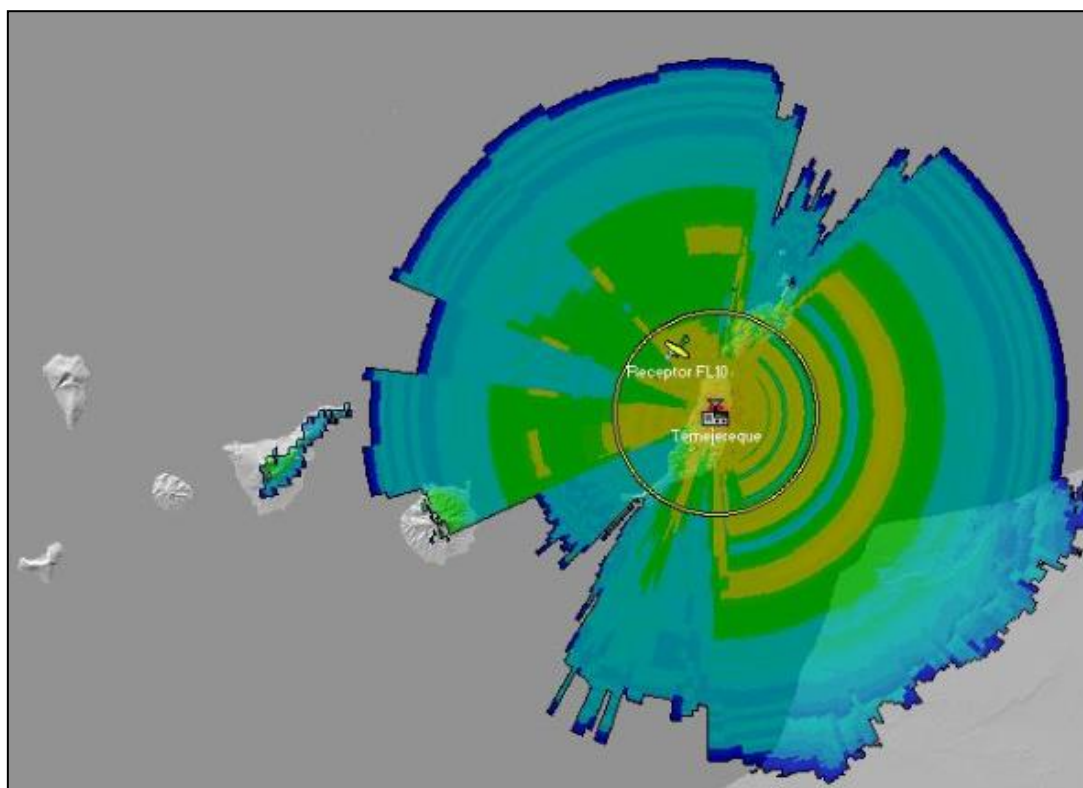


Figura 63- Cobertura desde Temejereque (50W) - FL 10 – Omnidireccional.

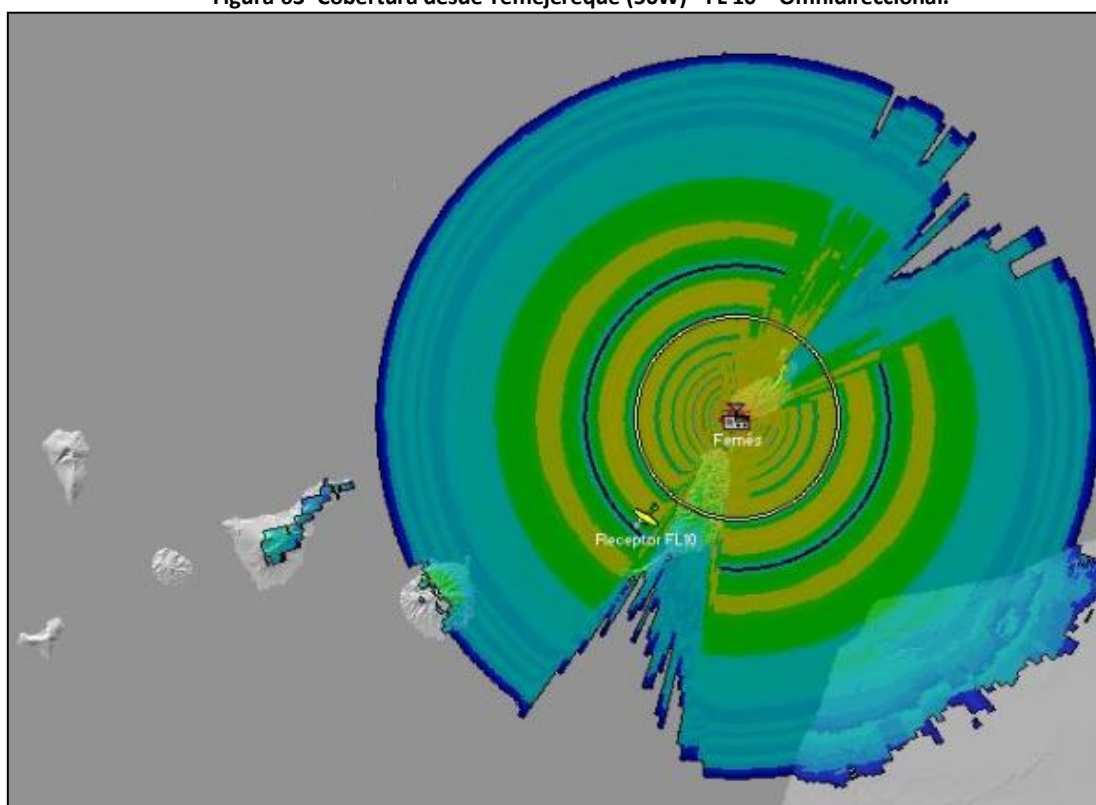


Figura 64- Cobertura desde Femés (50W) - FL 10 – Omnidireccional.

Se puede ver que con estos dos nuevos emplazamientos se optimiza la cobertura, limitándola a una zona más cercana al sector AC. Por lo tanto, ambos emplazamientos serían válidos. Se tomará como emplazamiento principal el de Femés, ya que se consigue mayor cobertura con la misma potencia, y el emplazamiento alternativo el de Temejereque. De esta manera se cumplirá con los dos objetivos de este trabajo fin de máster, eliminar la frecuencia desplazada y dar un emplazamiento alternativo a las frecuencias que no lo tuvieran. Por último, indicar que actualmente se usan dos transmisiones: una de 100 W y otra de 50 W y se pasa a una única transmisión de 50 W.

A continuación se muestran las simulaciones para el sector, desde dichos emplazamientos a los niveles de vuelo FL 100 y FL 150 (Figura 65).

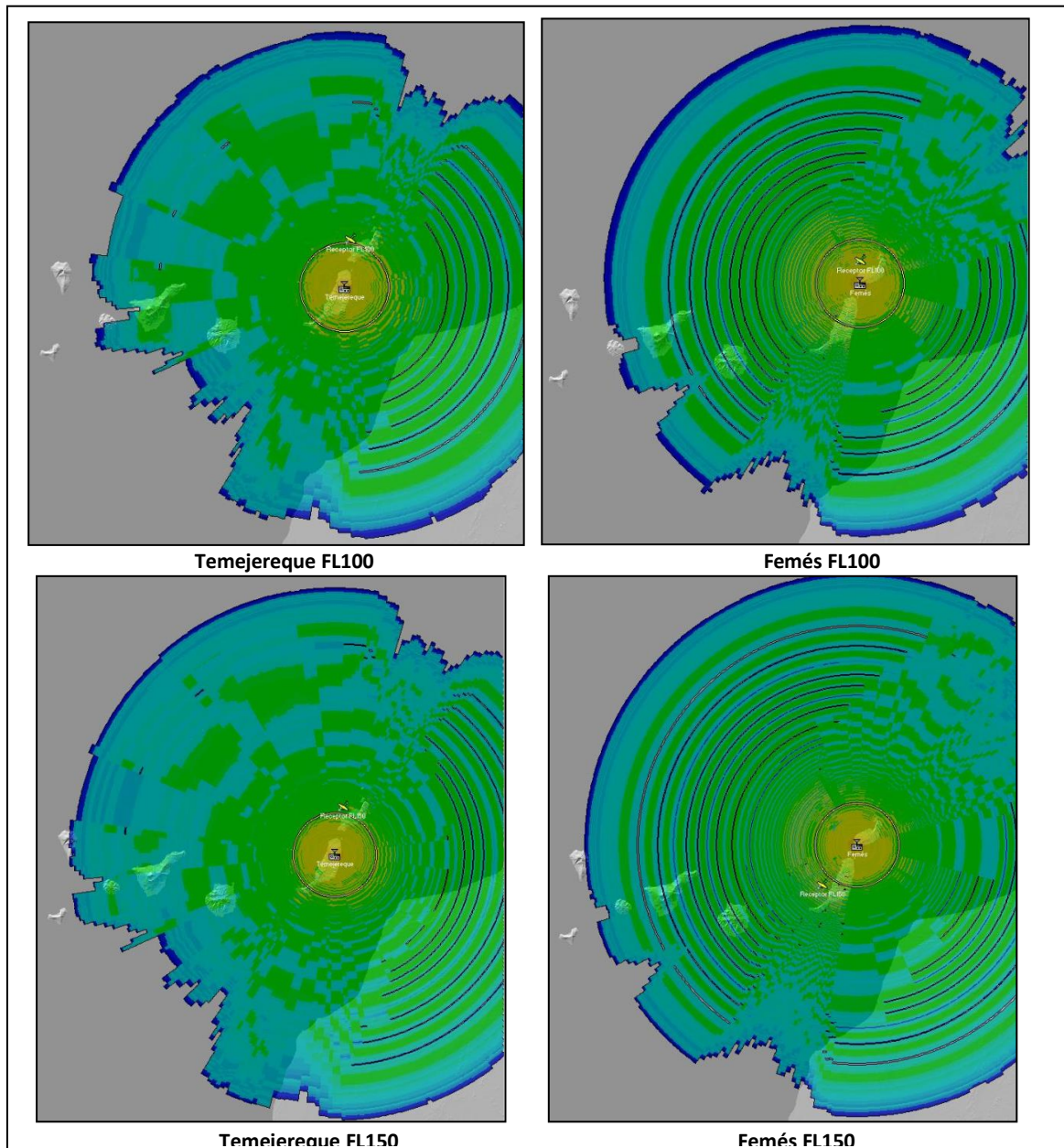


Figura 65 - Cobertura desde emplazamientos de Temejereque y Femés para la frecuencia 125,625 MHz a nivel de vuelo FL 100 y FL 150 en configuración de portadora única - 50W – Omnidireccional.

5.9.4 Frecuencia 129,300 MHz

Esta frecuencia pertenece al sector AC (Figura 61). Como en el apartado 5.9.2, para proporcionar cobertura a este sector se utilizan dos transmisiones en configuración de portadora desplazada, una desde el Pico de la Gorra (100 W) y otra desde Peñas del Chache (50W). En la Figura 66 se muestra una simulación con dicha cobertura a nivel de vuelo FL 10 (300 metros) que es la más restrictiva por ser la altura más baja y rayado en rojo se indica la zona de solapamiento.

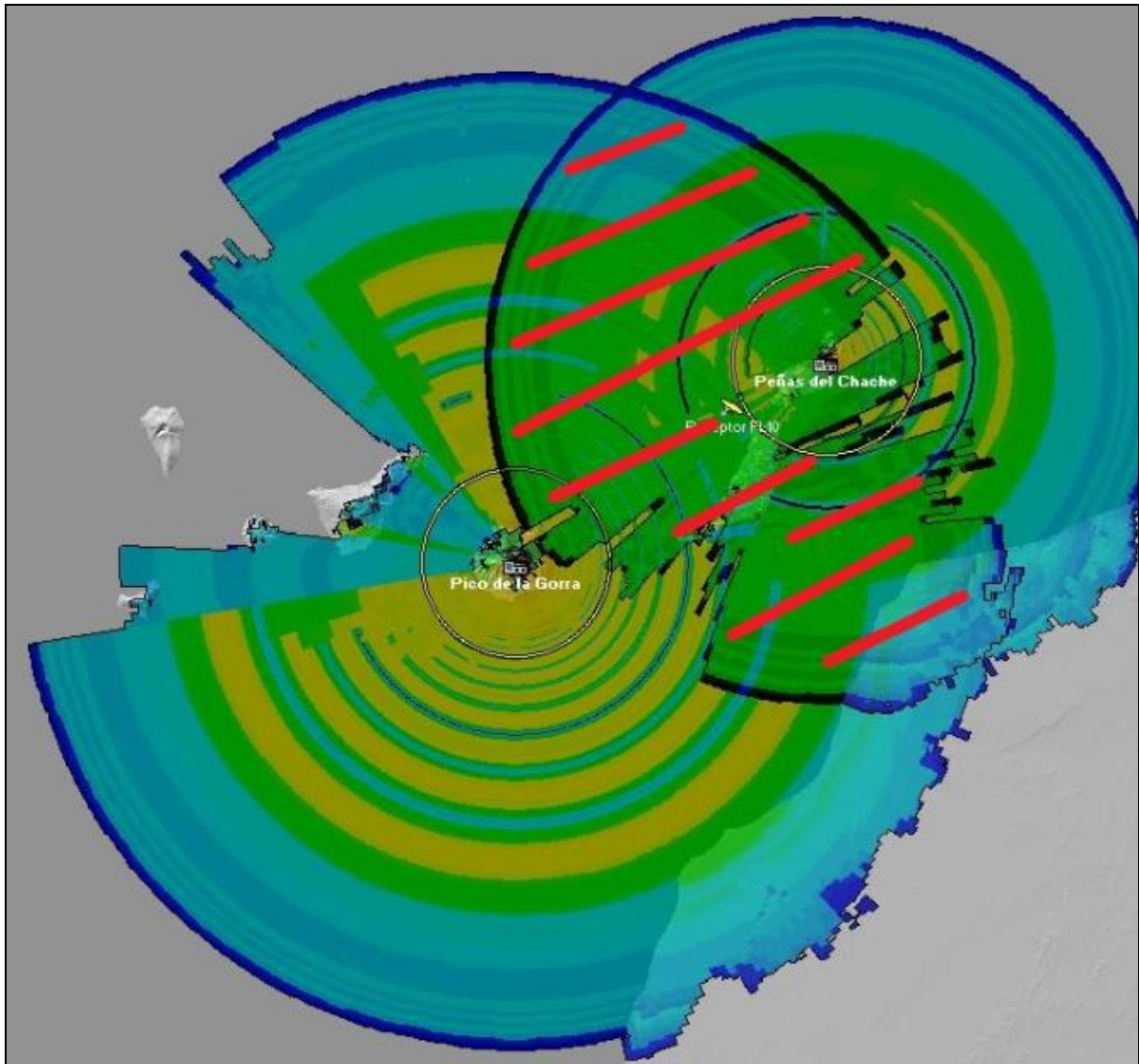


Figura 66 - Cobertura desde Pico de la Gorra (200W) y Peñas del Chache (50W) para 129,300 MHz en configuración de portadora desplazada - FL 10 – Omnidireccional.

Al igual que en el apartado 5.6.3, se han simulado dos posibles localizaciones: Temejereque, en la isla de Fuerteventura (Figura 63) y Femés, en la isla de Lanzarote (Figura 64) por estar cercanas al sector a cubrir.

Como se indicó en el apartado anterior, con ambos emplazamientos se optimizaría la cobertura, limitándola a una zona más cercana al sector AC, siendo, por tanto, válidos los dos. Se escogerá como emplazamiento principal el de Femés, ya que se consigue mayor cobertura con la misma potencia, y el emplazamiento alternativo el de Temejereque. De esta manera cumpliremos con los dos objetivos de este trabajo fin de máster, eliminar la frecuencia desplazada y dar un emplazamiento alternativo a las frecuencias que no lo tuvieran.

Es importante señalar que en el estado original se daba servicio de aproximación en el sector AC con dos transmisiones: una de 100 W y otra de 50 W y con el estado final se ha reducido a una única transmisión y tan solo de 50 W.

En la Figura 65 se muestran las simulaciones para el sector, desde dichos emplazamientos a los niveles de vuelo FL 100 y FL 150.

5.9.5 Frecuencia 127,700 MHz y 128,125 MHz

Estas frecuencias pertenecen al sector TSAPP (Figura 67), una es la frecuencia alternativa de la otra y además, ambas están configuradas en portadora desplazada. Uno de los transmisores está situado en el aeropuerto de Tenerife Sur (50W) y el otro en el aeropuerto de La Palma (200W).

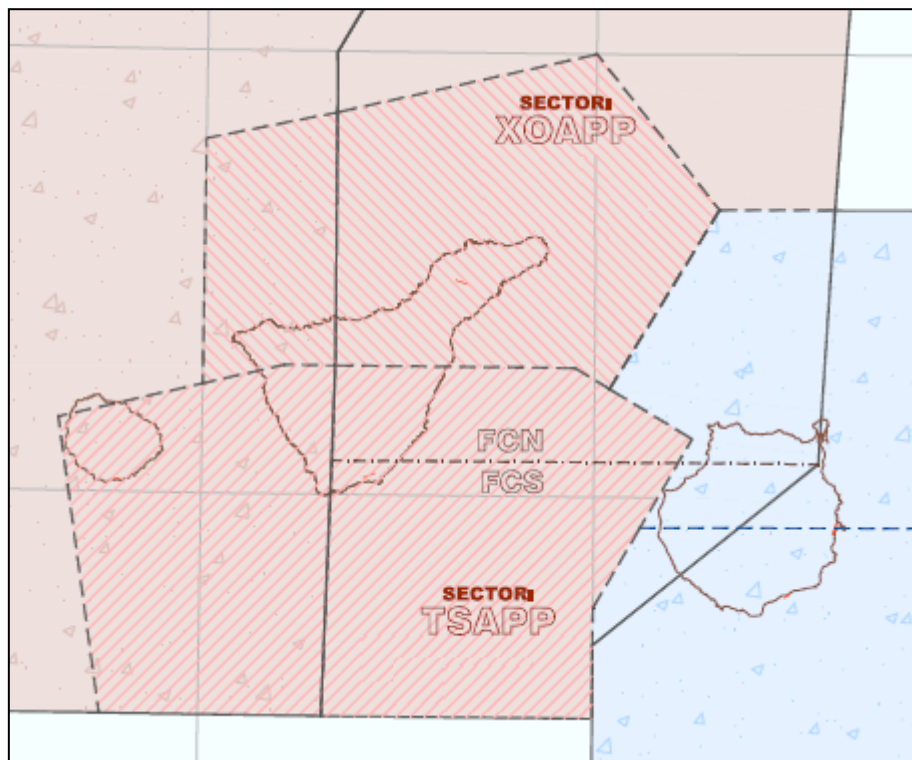


Figura 67 - Sector TSAPP.

La cobertura resultante desde dichos emplazamientos en portadora desplazada es la que se muestra en la Figura 68, con la zona de solapamiento en rojo.

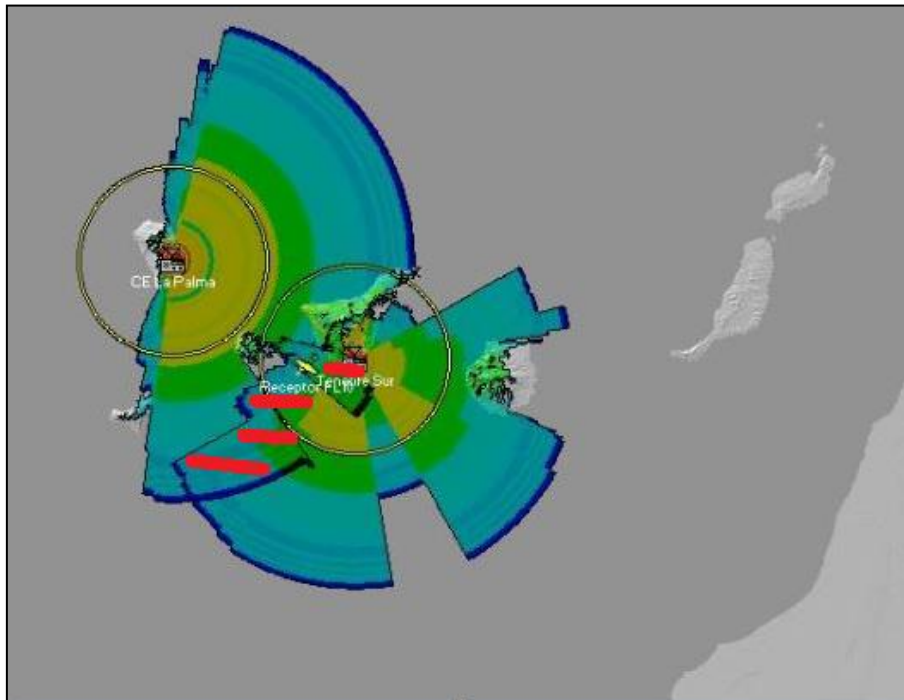


Figura 68 - Cobertura desde Aeropuerto de Tenerife Sur (50W) y Aeropuerto de La Palma (200W) - FL 10 – Omnidireccional.

Para esta frecuencia, se realizan pruebas de diferentes emplazamientos, actuales y nuevos, y se escoge el único que suministra la cobertura necesaria para cubrir la zona deseada: Igualero, en la isla de La Gomera (Figura 69).

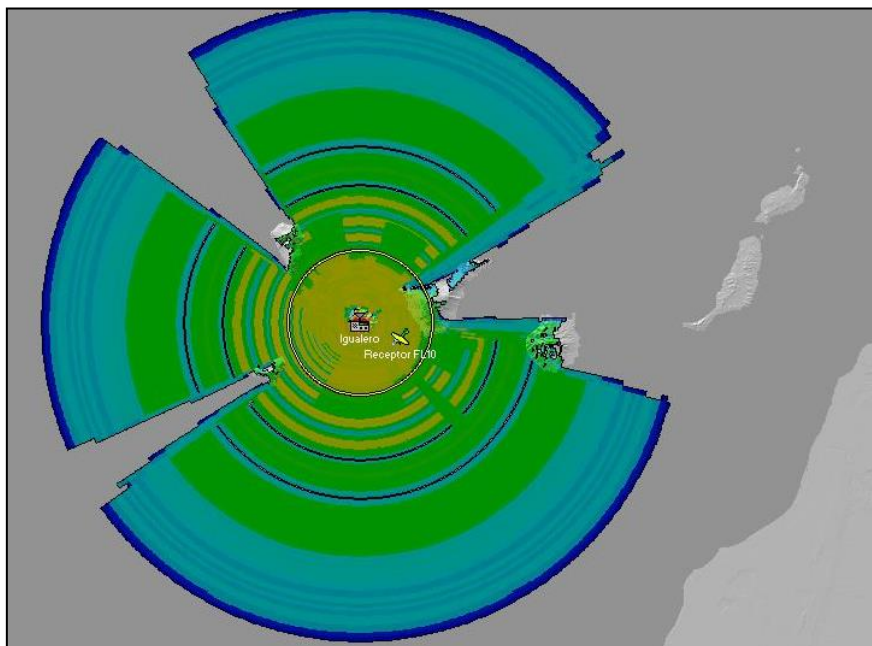


Figura 69 - Cobertura para 127,7 MHz y 128,125 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.

Destacar de nuevo la reducción de dos transmisiones: una de 200 W y otra de 50 W a una única transmisión y tan solo de 50 W.

5.9.6 Frecuencia 125,350 MHz

Esta frecuencia se usa desde la entrada en operación del servicio AFIS en la isla de El Hierro. Actualmente se transmite desde el Aeropuerto de El Hierro (50 W). En la Figura 70 se puede observar la huella de cobertura para dicho emplazamiento.

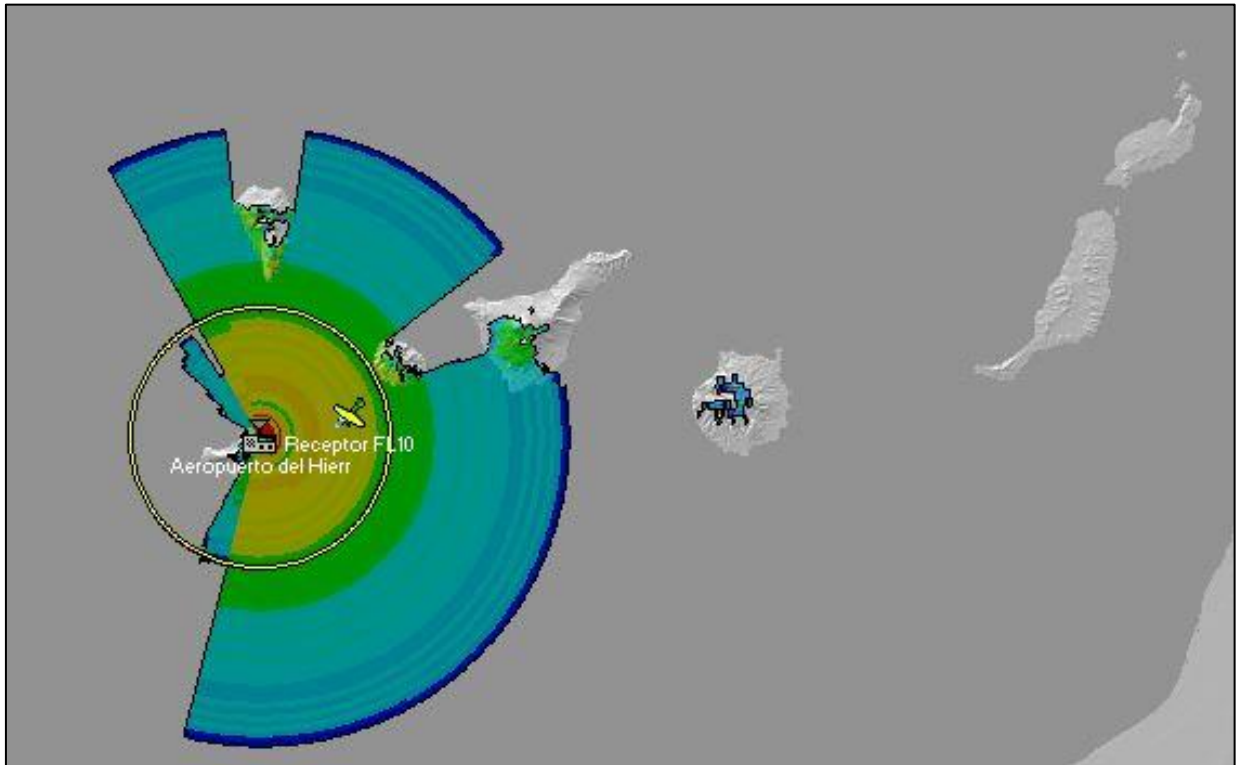


Figura 70 - Cobertura para 125,350 MHz desde el Aeropuerto de El Hierro en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.

Se propone situar un emplazamiento alternativo en Igualero (La Gomera) ya que como se ha visto en anteriores apartados da muy buena cobertura en la zona que se necesita. En la Figura 71 se muestra el resultado de la simulación transmitiendo con la misma potencia (50 W) en el que se aprecia una mayor cobertura. Por lo tanto, se propone Igualero como localización alternativa de esta frecuencia

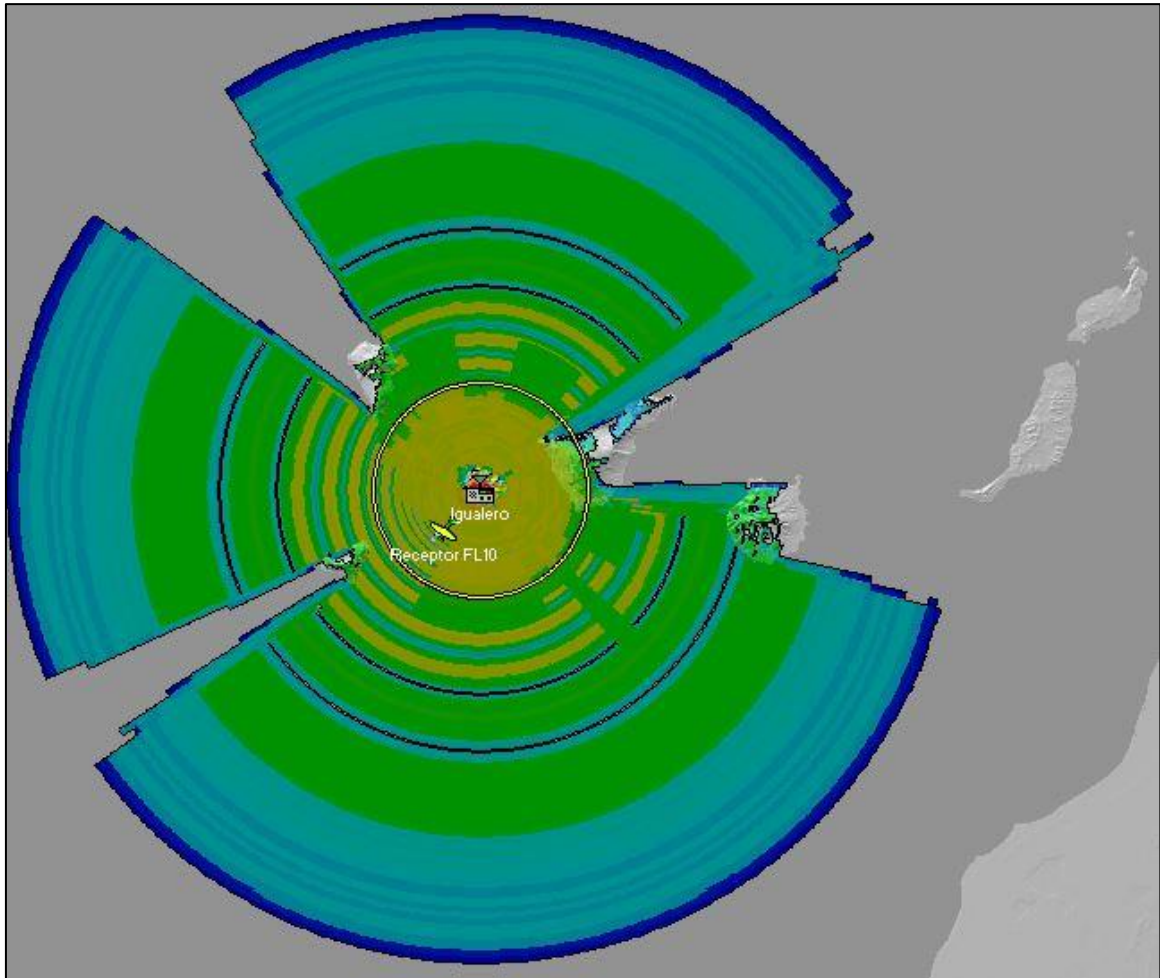


Figura 71 - Cobertura para 125,350 MHz desde Igualero en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional

5.9.7 Estado final de las frecuencias del servicio de aproximación

Tras analizar el estudio realizado en apartados anteriores, la distribución de las frecuencias de aproximación quedará según la Tabla 16:

Tabla 16 - Estado final de las frecuencias del servicio de aproximación

Frecuencia	Centro de comunicaciones	Sector	Subsector
126,100 MHz	Cruz de Taborno (Principal)	ACW	
	Igualeiro (Alternativo)	FCW	FCS Pista 26
124.700 MHz	Cruz de Taborno (Principal)	FCW	FCS Pista 08
	Igualeiro (Alternativo)		FCN Pista 26
			FCN Pista 08
124,300 MHz	Pico de la Gorra (Principal)	FGC	GCN Pista 03L
	Aeropuerto de Gran Canaria (Alternativo)		GCS Pista 21R
121,300 MHz	Pico de la Gorra (Principal)	FGC	GCN Pista 21R
	Aeropuerto de Gran Canaria (Alternativo)		GCS Pista 03L
129,300 MHz	Femés (Principal)	AC	
	Temejereque (Alternativo)		
125,625 MHz	Femés (Principal)	AC	
	Temejereque (Alternativo)		
124,800 MHz	Aeropuerto de Tenerife Norte (Principal)	XOAPP	
	Cruz de Taborno (Alternativo)		
128,850 MHz	Aeropuerto de Tenerife Norte (Principal)	XOAPP	
	Cruz de Taborno (Alternativo)		
127,700 MHz	Igualeiro (Único)	TSAPP	
128,125 MHz	Igualeiro (Único)	TSAPP	
125,350 MHz	Aeropuerto de El Hierro (Principal)	Coordinación con servicio AFIS en sector ACW	
	Igualeiro (Alternativo)		

En la Tabla 16, se muestran en verde las frecuencias a las que se que se ha conseguido dotar de emplazamientos alternativos y para las que se ha conseguido eliminar la configuración en portadora desplazada. En naranja, se marcan las frecuencias para las que aun habiendo eliminado su configuración en portadoras desplazadas no se las ha podido ubicar en una localización alternativa. Por último, en azul se sombreen las frecuencias para las que se ha ubicado una localización alternativa y ya trabajaban en portadora única.

6. Conclusiones

Con este trabajo fin de máster, no solo se ha logrado, en su mayoría, cumplir con los objetivos planteados en un principio, sino que además, se ha podido dar una idea de cómo se divide y funciona el espacio aéreo canario. Los objetivos que se plantearon en un principio eran eliminar las configuraciones en portadora desplazada y dotar de localizaciones alternativas a las frecuencias que no disponían de ella. Se ha conseguido eliminar la mayoría de las configuraciones en portadora desplazada. Sólo ha sido imposible eliminar dicha configuración de la frecuencia 133,000 MHz y ha sido debido al amplio espacio a cubrir, difícilmente abarcable con una sola frecuencia, como se puede observar rayado en rojo en la Figura 72. Al tenerse que usar más de una frecuencia para cubrir el área, ha sido imposible lograr dos localizaciones que no se solapen, y por lo tanto, no es posible usar configuración en portadora única.

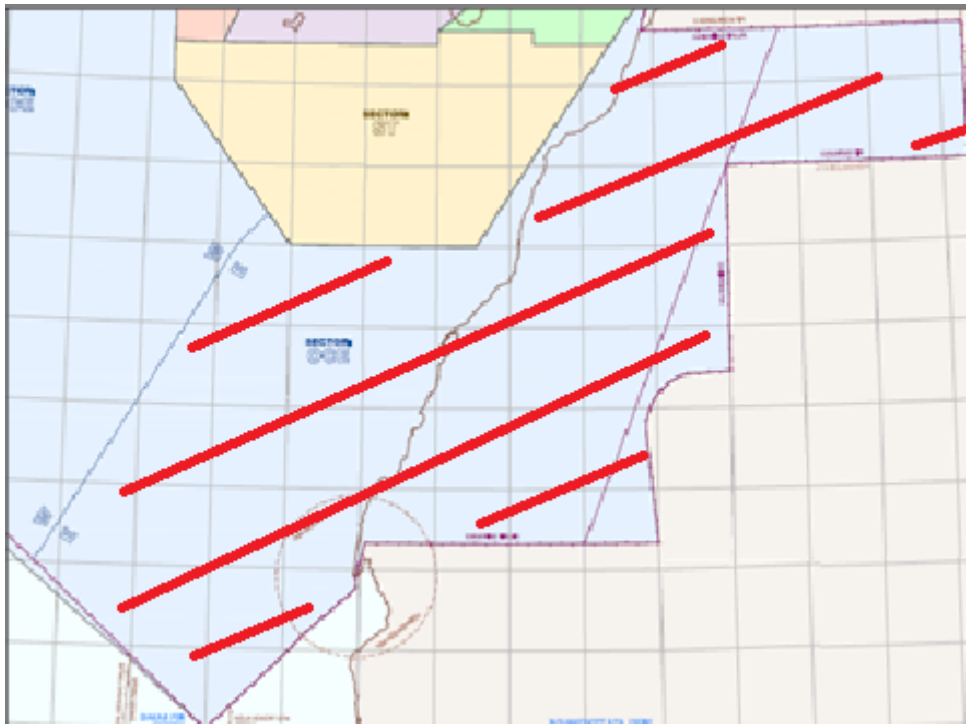


Figura 72 - Área abarcada por el sector OCE-E.

Se considera interesante indicar que uno de los nuevos emplazamientos que se propuso en un principio en el capítulo 5, Cumbre Nueva en la isla de La Palma, finalmente no se ha usado. A priori, debido a su situación y especialmente a su altura parecía que podría ser una buena localización. Sin embargo, tras varias simulaciones se observó que no satisfacía las necesidades del área a cubrir. A continuación se muestra la cobertura proporcionada desde cumbre nueva a nivel de vuelo FL 10 (Figura 73) y FL 150 (Figura 74), los más limitantes para el servicio de aproximación y ruta respectivamente.

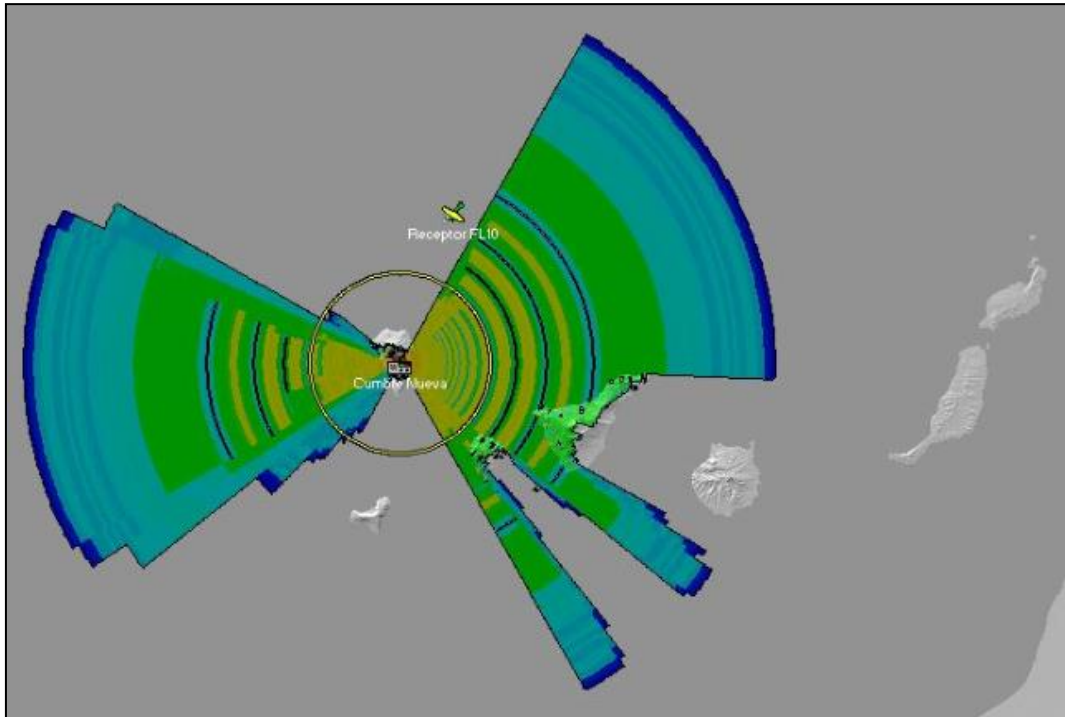


Figura 73- Cobertura desde Iguales en configuración de portadora única - FL 10 - 50W - Omnidireccional.

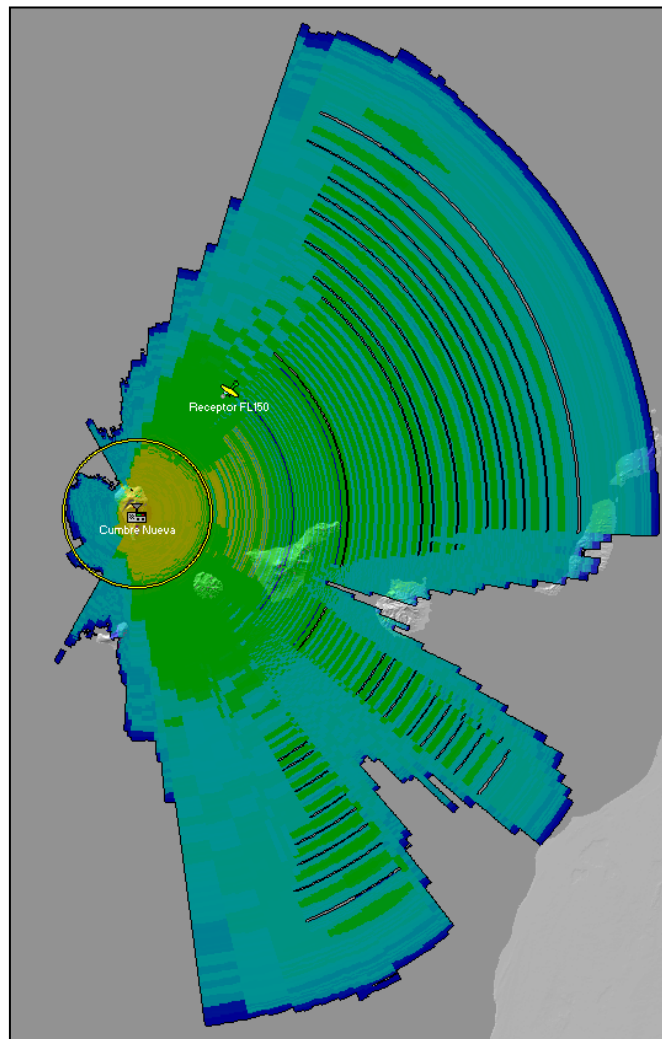


Figura 74- Cobertura desde Iguales en configuración de portadora única - FL 150 - 50W - Omnidireccional.

Esto es debido a la orografía específica de las Islas Canarias, con abruptos paisajes volcánicos, en donde en pocos metros se puede pasar del nivel del mar a más de 1000 metros.

Por otra parte, se ha introducido la tecnología VoIP, logrando centrarla en el ámbito aeronáutico. Se ha mostrado la evolución de dicha tecnología y los requisitos exigidos en navegación aérea. A su vez, se ha logrado mostrar las ventajas que aporta su utilización. Estas ventajas son el aumento de la disponibilidad del sistema por las características de la red usada, la mejora de la calidad de audios al migrar a una tecnología digital, la compatibilidad con la tecnología usada por otros países para la interconexión a servicios internacionales o la obtención de nuevas funcionalidades como compartición directa de recursos radios entre diferentes dependencias, reenvío de comunicaciones a centros de contingencias, etc... Por lo tanto, se ha propuesto su uso, una vez ha sido comprobado que es viable con la tecnología disponible en la red del proveedor de servicios de navegación aérea. Además, el uso de pasarelas VoIP permite la migración cuando los equipos actuales del operador no sean compatibles con VoIP.

Por otra parte, indicar que se ha podido optimizar la red de radio para VHF en los servicios de ruta y aproximación, por lo tanto, como línea futura podría ser adecuado realizar un estudio de las frecuencias del servicio de control de aeródromo y de las frecuencias de UHF. Un punto muy interesante ha sido el uso de las frecuencias de HF mencionadas en este trabajo de fin de máster. Las comunicaciones del radio VHF se basan fundamentalmente en la propagación de ondas directas lo que significa que el alcance de las estaciones está muy limitado por la línea de vista. Por estas limitaciones de la banda VHF, para comunicaciones de largo alcance se emplean frecuencias en la banda de HF, pues permite propagación por la ionosfera y hace así posible las comunicaciones más allá de la línea de vista. Es por esto, que otra línea futura podría ser el análisis del sistema de comunicaciones de HF en las comunicaciones aeronáuticas de la región canaria.

Por último, se ha podido ir siguiendo con la planificación prevista, a la vez que se han ido cumpliendo los hitos propuestos, por lo tanto, ha estado bien diseñada.

7. Glosario

AFIS: Servicio de Información en Vuelo de Aeródromo, 22
APP: Servicio de Control de Aproximación, 2, 22
ATC: *Air Traffic Control*, 17
ATIS: Servicio Automático de Información de Área Terminal, 22
ATM: *Air Traffic Management*, 12, 13, 14
AWY: Aerovías, 19, 26
CTA: Área de Control de Tráfico, 20
CTR: Zona de Control, 20
EUROCAE: *European Organization for Civil Aviation Equipment*, 9, 12, 13
FIR: *Flight Information Region*, 1
FIS: *Flight Information Service* o en español Servicio de Información de Vuelo, 22
FL: *Flight Level*, 19, 37, 38, 39
HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*, 12
ICAO: *International Civil Aviation Organization*, 17
IFR: Reglas de vuelo por instrumentos, 20
IP: *Internet Protocol*, 12
OACI: Organización de Aviación Civil Internacional, 17, 79
PCM: *Pulse Code Modulation*, 12
PTT: *Push to Talk*, 14
QoS: *Quality of Service* o Calidad de Servicio en español, 12, 14
R2S: *Real-time Session Supervision*, 14
REDAN: Red de Datos de Navegación Aérea, 16
RTP: *Real Time Protocol*, 12, 14, 15
SCV: Sistema de Comunicaciones de Voz, 10, 12, 14, 15, 16
SIP: *Session Initiation Protocol*, 11, 12, 14, 15
SQ: *Squelch*, 14
T/A: Tierra/Aire, iii, 2, 4, 5, 28, 31
TDM: *Time Division Multiplexing*, 12
TFM: Trabajo Fin de Máster, 1, 5, 7
TMA: Área de Control Terminal, 20, 21
TWR: Servicio de Control de Aeródromo, 22
VCS: *Voice Communications System*, 10
VHF: *Very High Frequency*, i, iii, 2, 9, 28
VoIP: *Voice over IP* - Voz sobre IP, iii, 2, 3, 5
VOLMET: Información Meteorológica para las Aeronaves en Vuelo, 22
WAN: *Wide Area Network*, 12, 16

8. Bibliografía

- [1] Enaire (2020). EPE Enaire. Proveedor de servicios de navegación aérea. www.enaire.es
- [2] Lamiano, D. F; Leung, K.H.; Monticone, L.C.; Wilson, W.J. (2009 mayo). "Digital Broadband VHF Aeronautical Communications for Air Traffic Control". Integrated Communications, Navigation and Surveillance (ICNS) Conference. Arlington, VA, USA. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5172856>
- [3] Pico Ortiz, O. F. (2016 junio) "Design, implementation and performance validation of an ip based Aeronautical Telecommunications Network using satellite links". Integrated Communications, Navigation and Surveillance (ICNS) Conference. Arlington, VA, USA. <https://ieeexplore-ieee-org.biblioteca-uoc.idm.oclc.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7486376>
- [4] EUROCAE (2009). *ED137: Interoperability Standards for VoIP ATM Components*. [https://startrinity.com/VoIP/Resources/ED-137 Interoperability Standards for VoIP ATM Components Part 1 Radio.pdf](https://startrinity.com/VoIP/Resources/ED-137%20Interoperability%20Standards%20for%20VoIP%20ATM%20Components%20Part%201%20Radio.pdf)
- [5] EUROCAE (2009). *ED-138 Network Requirements and Performances for Voice over Internet Protocol (VoIP) Air Traffic Management (ATM) Systems*. <https://faaco.faa.gov/index.cfm/attachment/download/16137>
- [6] EUROCAE (2009). *ED-136 Voice over Internet Protocol (VoIP) Air Traffic Management (ATM) System Operational and Technical Requirements*. <https://faaco.faa.gov/index.cfm/attachment/download/16142>
- [7] Ángel Crespo (2018). SESAR – World ATM Congress. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/events/wac2018/wt10%20redan%20walking%20tour%20-%20printf%20friendly.pdf>
- [8] OACI (2020), Organización de Aviación Civil Internacional. <http://www.icao.int>
- [9] Protección Civil (2020), Dirección General de Protección Civil y Emergencias, <http://www.proteccioncivil.es/>
- [10] AENA (2020), Aena SME, S.A., Operador Aeroportuario, <http://www.aena.es/>
- [11] MITMA (2020), Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana del Gobierno de España, <https://www.mitma.gob.es/>

[12] MINECO (2020), Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, <https://avancedigital.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx>

[13] AESA (2020), Agencia Estatal de Seguridad Aérea, <https://www.seguridadaerea.gob.es/>

[14] Visor GRAFCAN (2020). GRAFCAN, empresa pública del Gobierno de Canarias, <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

[15] Gobierno de Canarias (2020), www.gobiernodecanarias.org

[16] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2020), Asignatura de Emisión y Recepción de Televisión, Propagación de las ondas de radio, <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/27/27199/propagacion.pdf>

9. Anexos

9.1 Propuesta de Antenas VHF

Para la realización de simulaciones se han utilizado antenas omnidireccionales y antenas cardioides. A continuación, se muestran antenas que cumplen con estos requisitos.

Antena con diagrama de radiación cardioide:

Dipole Antenna 118–137 MHz **KATHREIN**
Polarization V

- Dipole antenna.
- Hot-dip galvanized steel.

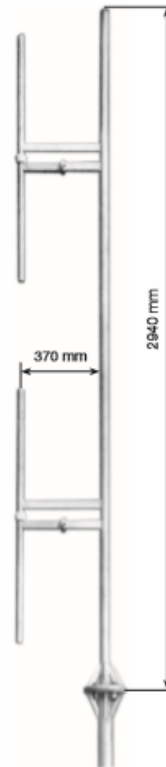
Order No.	600410 K553131
Input	N female connector
Connector position	Bottom, inside flange
Max. power	280 W (at 50 °C ambient temperature)
Frequency range	118 – 137 MHz
VSWR	< 1.5
Gain	5 dBd
Impedance	50 Ω
Polarization	Vertical
Antenna height	2940 mm
Packing size	3000 x 510 x 200 mm
Weight	20 kg
Wind load	370 N (at 160 km/h)
Max. wind velocity w/o ice	200 km/h
1/2' radial ice	150 km/h

Material: Hot-dip galvanized steel.
All screws and nuts: Stainless steel.

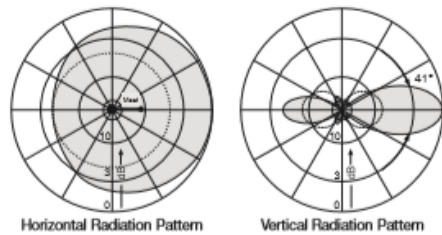
Mounting: Flange 190 mm OD for mounting on a flanged pipe (see rearside).

Grounding: The antenna is DC grounded by a cross-section of 342 mm² hot-dip galvanized steel.

Scope of supply: Antenna with neoprene O-ring at the flange, but without mounting hardware.



Radiation Pattern (at mid-band)



Antena con diagrama de radiación omnidireccional:

Omnidirectional Antenna 118–137 MHz

KATHREIN

Polarization V

- Broadband omnidirectional antenna.
- Hot-dip galvanized steel.

Order No.	601813 KS52031
Input	N female
Connector position	Bottom, inside flange
Max. power	1000 W (at 50 °C ambient temperature)
Frequency range	118 – 137 MHz
VSWR	< 2.0
Gain	0 dBd
Impedance	50 Ω
Polarization	Vertical
Height	1375 mm
Packing size	1390 x 140 x 140 mm
Weight	6.6 kg
Wind load	125 N (at 160 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h (incl. 1/2" radial ice)

Material: Hot-dip galvanized steel pipes and mounts. All screws and nuts: Stainless steel.

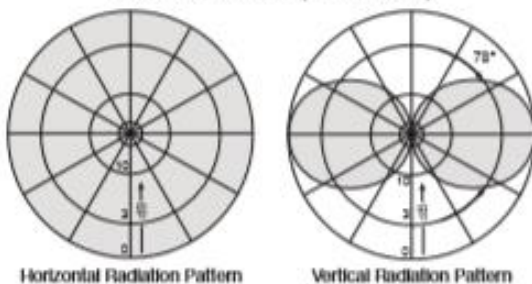
Mounting: Flange 130 mm OD for mounting on a flanged supporting pipe (see mounting instruction).

Grounding: The antenna is DC grounded by a cross section of 218 mm² hot-dip galvanized steel.

Scope of supply: Antenna with neoprene O-ring at the flange, but without mounting hardware.



Radiation Pattern (at mid-band)



9.2 Propuesta de Transmisores

Transmisor VoIP *Rohde&Schwarz* S4200 con potencia de transmisión de 50 W.

3.3.1 Factory Default Settings

Switching on for the first time The radio is preconfigured with the factory default settings. These settings will be activated the first time the radio is switched on.

Switching on in general All radio parameters are stored in the non-volatile memory. The settings active at the time of a power failure are restored when the radio is switched back on.

Changing the radio parameters The radio is preconfigured with the factory default settings. These settings can be changed via service PC with the Service and Maintenance Tool R&S ZS 4200.

Properties The properties of the parameters can have the following status:

- A – Adjustment parameter (updated immediately after a change)
- C – Cloning parameter
- O – Operating parameter (updated immediately after a change while radio is in Local Mode)

For more details please refer to the Service and Maintenance Tool R&S ZS 4200 software manual.

Parameters	Value range	Default value	Properties
TX Audio Level	-30 to +10 dBm	0 dBm	A/C
TX Output Power Level Low	5 to 20 W	5 W	A/C
TX Output Power Level Normal	5 to 50 W	50 W	A/C
TX AM Modulation Depth	30 to 90 %	90 %	A/C
TX Audio ALC	Disabled/Enabled	Enabled	C
PTT Timeout	3 to 300 s, 0 (disabled)	30 s	C
PTT Input Configuration	Type I/Type II/R&S Standard	R&S Standard	C