

DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE COMUNICACIONES Y VIGILANCIA COSTERA

José Luis Cárcel Cervera

Tutor: Lorenzo Rubio Arjona

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2015-16

Valencia, 1 de julio de 2016

Agradecimientos:

A mis padres, a mi hermano y a mi abuelo por haber hecho todo lo posible para que yo pudiera estar escribiendo estas palabras. Han sido cuatro años de esfuerzo y gracias a ellos hoy soy quién soy.

A mi tutor en este proyecto, Lorenzo Rubio, por su ayuda, interés y consejo en todo momento, habiéndome brindado la oportunidad de trabajar con él y demostrándome que no me equivoqué al elegirlo como tutor.

A mis compañeros y amigos por todos los momentos que hemos pasado a lo largo de estos cuatro años. Sin ellos, este recorrido no habría sido lo mismo.

A Lucía, por haberme acompañado en una parte de este viaje. Con ella enseño y aprendo día a día, permitiéndome mejorar en muchos aspectos.

Gracias a todos.

Resumen

En el presente Trabajo de Final de Grado se ha realizado el diseño de un sistema integrado de comunicaciones y vigilancia costera, con el fin de garantizar la seguridad del Cabo de Gata y de la costa almeriense. Para ello, se ha realizado una búsqueda de información acerca de los equipos y tecnologías utilizadas en los sistemas de vigilancia y comunicaciones actuales. Mediante estos equipos, se han diseñado subsistemas de vigilancia y comunicaciones móviles y fijas, con el fin de transportar en tiempo real los flujos de vídeo e información captados. A continuación, se ha realizado una descripción del proceso de planificación y dimensionamiento de la red de vigilancia fija, el cual se ha realizado mediante Google Earth. En este proceso, se han establecido las ubicaciones óptimas de las torres de vigilancia con el fin de poder realizar las labores de búsqueda, detección y rescate de forma óptima. Por último, se ha realizado el diseño y dimensionamiento de los radioenlaces fijos entre estaciones base y Centro de Control mediante el software LINKPlanner, el cual ha sido clave en el diseño de radioenlaces de disponibilidad crítica destinados a garantizar la seguridad de la zona cubierta por nuestro sistema de vigilancia.

Resum

En el present Treball Fi de Grau s'ha realitzat un disseny d'un sistema integrat de comunicacions i vigilància costera, a fi de garantir la seguretat del Cap de Gata i de la costa almeriense. Per a aconseguir-ho, s'ha fet una busca d'informació sobre els equips i tecnologies utilitzades en els sistemes de vigilància i comunicacions actuals. A partir d'aquests equips, s'han dissenyat subsistemes de vigilància i comunicacions mòbils i fixes, a fi de transportar en temps real els fluxos de vídeo i informació captats. A continuació, s'ha realitzat una descripció del procés de planificació i dimensionament de la xarxa de vigilància fixa, a partir de Google Earth. En aquest procés s'han establert les ubicacions òptimes de les torres de vigilància a fi de poder realitzar les labors de busca, detecció i rescat de forma òptima. Finalment, s'ha realitzat el disseny i dimensionament dels radioenllaços fixos entre estacions base i el Centre de Control a partir del software LINKPlanner, el qual ha sigut molt important en el disseny dels radioenllaços de disponibilitat crítica destinats a garantir la seguretat de la zona coberta pel nostre sistema de vigilància.

Abstract

In this Final Project, an integrated communications system and coastal surveillance has been designed with the objective of keeping safe the zone of the Gata's Cape and Almeria's Coast. To reach this objective, some information about equipment and new technologies has been searched to know more about its use at the current communications and surveillance systems. Once this equipment has been chosen, fixed and mobile communications and surveillance subsystems have been designed with the objective of transporting video and voice streams in real time. After that, it has been done a description about the planning process of the fixed surveillance network with Google Earth. In this process the location of the surveillance towers has been settled with the objective of being able to search, detect and rescue in an optimal way. Finally, the design of fixed radio links between base stations and the Control Centre has been done with LINKPlanner. This software has been very important at the design process of the critical availability radio links, which have been created with the objective of keeping safe the zone covered by our system.

Índice

Capítulo 1. Introducción, motivación y objetivo del proyecto	2
1.1 Introducción y motivación	2
1.2 Objetivo.....	3
Capítulo 2. Estructura y metodología empleada	5
2.1 Estructura del proyecto.....	5
2.2 Distribución y organización temporal	6
Capítulo 3. Equipamiento del sistema	8
3.1 Subsistema de vigilancia en estaciones fijas	8
3.2 Subsistema de vigilancia en unidades patrulla	13
3.3 Subsistema de comunicaciones en estaciones fijas y unidades patrulla.....	15
3.3.1 Comunicaciones móviles entre estaciones fijas y unidades patrulla	15
3.3.2 Comunicaciones fijas entre estaciones fijas y Centro de Control	21
Capítulo 4. Planificación y ubicación del sistema.....	23
4.1 Planificación, dimensionamiento y ubicación de las torres de vigilancia	23
4.2 Proceso de ubicación de las torres de vigilancia	25
4.3 Solución final del proceso de planificación y ubicación	37
Capítulo 5. Dimensionamiento y cobertura radioeléctrica.....	39
5.1 Requisitos y especificaciones de los enlaces fijos.....	39
5.2 Dimensionamiento mediante LINKPlanner	45
Capítulo 6. Resultados obtenidos.....	56
Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras	59
7.1 Conclusiones	59
7.2 Líneas futuras	59
Referencias.....	60

Capítulo 1. Introducción, motivación y objetivo del proyecto

1.1 Introducción y motivación

En la actualidad los flujos de inmigración, los posibles atentados, el narcotráfico, y en general la garantía de seguridad en todo el perímetro costero, es uno de los principales problemas a tratar por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad de cada país. En el caso de España, la llegada de inmigrantes procedentes del norte de África y el narcotráfico son las principales vías de trabajo que tiene la Guardia Civil en determinados puntos costeros a lo largo de la geografía española.

Ante estas incidencias que surgen en la zona costera de determinadas regiones, la comunicación y coordinación entre equipos de Salvamento Marítimo, Guardia Civil e incluso Cruz Roja es fundamental de cara a garantizar la seguridad y atención médica de las personas que permanecen en tierra o mar. Esta coordinación de operativos necesita, además de un dimensionamiento y funcionamiento óptimo de las comunicaciones, un sistema de vigilancia muy preciso capaz de detectar, avistar y resolver incidencias en un amplio rango de kilómetros a lo largo de las costas españolas.

Esta integración y complementación entre los sistemas de comunicaciones y vigilancia debe hacerse efectiva, a niveles de avistamiento y gestión de comunicaciones, tanto desde un punto fijo como desde posibles patrullas móviles, que permitan informar en tiempo real de las posibles incidencias o altercados que puedan surgir tanto en las inmediaciones de la costa española como en el propio mar.

Fruto de esta necesidad de garantizar la seguridad y el bienestar de las personas, surge uno de los principales sistemas integrados de comunicaciones y vigilancia a manos de la Guardia Civil española. El Sistema Integrado de Vigilancia Exterior (SIVE) [1], nace con el objetivo de mejorar la vigilancia de la parte fronteriza del sur de nuestro país y a su vez de la parte sur del continente europeo. Este sistema integrado de vigilancia y comunicaciones incorpora una gran cantidad de nuevas tecnologías y equipos de gran calidad con el fin de obtener información, que posteriormente es enviada y procesada en tiempo real por un Centro de Control y Mando, el cual dirige y coordina la actuación de los equipos y patrullas necesarias en función de la importancia de la incidencia detectada.

Dicho sistema integrado de vigilancia y comunicaciones está implantado en diversos módulos a lo largo de las zonas de la geografía española [2], siendo estas zonas donde más incidencias se registran. Algunos ejemplos de implantación del sistema SIVE se dan en el litoral andaluz (desde Ayamonte hasta el Cabo de Gata), en las islas canarias de Fuerteventura y Lanzarote, y en las ciudades de Ceuta y Melilla [3]. Por su parte, en lo referente a la distribución del sistema integrado, podemos distinguir entre tres subsistemas básicos:

- **Subsistema de detección y vigilancia:** establecido sobre varias torres o puntos de vigilancia, sobre los cuales se ubican cámaras de visión diurna, térmica y radares con el fin de poder detectar cualquier tipo de incidencia y poder identificar cualquier tipo de embarcación y el número de sus tripulantes. También se consideran parte del subsistema de captación y vigilancia a las unidades patrulla encargadas de cubrir toda el área marítima, bien sean embarcaciones o helicópteros de vigilancia.
- **Subsistema de comunicaciones:** distribuido entre los puntos de vigilancia, las patrullas encargadas de vigilar la zona marítima y en el Centro de Control. Es el encargado de comunicar las estaciones patrulla con las torres de vigilancia, desde donde se envían todos los flujos de información (datos, voz y vídeo) en tiempo real hasta el Centro de Control.

- **Subsistema de mando y control:** ubicado en el Centro de Control, donde se reciben los flujos de información procedentes de las torres de vigilancia y patrullas. En este punto se procesa la información en tiempo real, se visualiza y se coordina todo tipo de acciones necesarias para garantizar la seguridad en la zona vigilada. Dentro de este tipo de acciones pueden considerarse desde la movilización de patrullas al área de incidencias hasta la movilización de equipos de Salvamento Marítimo y Cruz Roja, con el fin de garantizar las condiciones óptimas ante la posible llegada de personas con necesidades sanitarias.

De esta forma y tomando el sistema SIVE como inspiración de cara a la implementación del presente proyecto, se ha diseñado un sistema integrado de vigilancia y comunicaciones que nos permite garantizar la seguridad y bienestar de una zona costera en concreto, así como de las personas y embarcaciones que pueden transitar por la misma.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente proyecto reside en garantizar la seguridad de una zona costera mediante el diseño de un sistema integrado de vigilancia y comunicaciones. En nuestro caso la zona elegida para su vigilancia es la correspondiente al Cabo de Gata y Golfo de Almería, la cual ha sido elegida debido al número de incidencias registrado en esta zona en los últimos años, siendo el narcotráfico y la llegada de inmigrantes los principales problemas a tratar.

De esta forma, este proyecto nace con el fin de garantizar el bienestar del área mencionada anteriormente, buscando erradicar la llegada de embarcaciones ligadas al narcotráfico y detectar la llegada de flujos de inmigrantes con el fin de mejorar sus condiciones sanitarias. Para ello, se ha establecido un sistema integrado de vigilancia y comunicaciones, el cual abarca la zona desde la localidad de Carboneras (Almería) hasta la parte oeste del Golfo de Almería. El subsistema de comunicaciones debe ser capaz de enviar en tiempo real la información captada por el subsistema de vigilancia hacia el Centro de Control y Mando, ubicado en nuestro caso en la localidad almeriense de Níjar. También debe destacarse que nuestro sistema se ayuda tanto de la instalación de puntos de vigilancia fijos como del uso de unidades móviles en mar y aire, con la finalidad de realizar un despliegue capaz de detectar cualquier irregularidad con el mayor alcance y radio de actuación posible.



Fig.1 Zona cubierta para la detección de embarcaciones desde tierra

Para la satisfacción y cumplimiento de nuestro principal objetivo ha sido necesario establecer una serie de objetivos secundarios a corto y medio plazo que nos han permitido dar cuerpo a nuestro proyecto y estructurarlo de la mejor forma posible:

1. Búsqueda de los equipos adecuados que conforman nuestro subsistema de vigilancia tanto para vigilancia fija como para vigilancia mediante patrullas.
2. Búsqueda de las tecnologías y equipos que conforman nuestro subsistema de comunicaciones.
3. Cálculo del alcance de nuestro sistema a partir del equipamiento escogido.
4. Estudio de la zona a vigilar y ubicación de las torres de vigilancia mediante el software Google Earth.
5. Decisión sobre que torre de vigilancia se utiliza como nodo central, con el fin de concentrar todos los flujos de información captados por todas las torres y patrullas sobre dicho nodo.
6. Estudio de la zona y ubicación del Centro de Control y Mando.
7. Búsqueda en el CNAF de las frecuencias disponibles para la implementación de los radioenlaces fijos entre torres de vigilancia.
8. Cálculo de número de flujos a transportar por cada enlace fijo.
9. Dimensionamiento de los enlaces fijos mediante LinkPlanner a partir de su frecuencia, *throughput* y requisitos de disponibilidad.
10. Dimensionamiento del enlace entre el nodo central y el Centro de Control y Mando mediante LINKPlanner, a partir de la frecuencia del radioenlace fijo, su caudal y su disponibilidad.

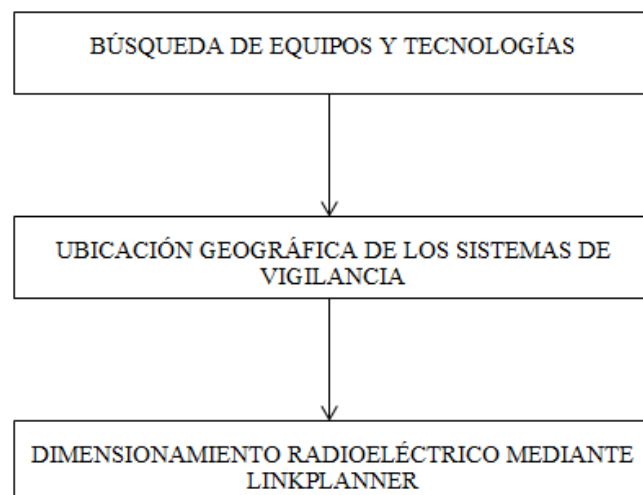


Fig.2 Etapas principales de la realización del proyecto

Capítulo 2. Estructura y metodología empleada

2.1 Estructura del proyecto

En el presente apartado se describe la estructura de la propia memoria con el fin de especificar de una manera detallada cuáles son los próximos apartados y la forma en la que se han organizado, de manera que el lector pueda seguirla con mayor facilidad.

En el segundo apartado del *Capítulo 2*, se ha descrito cuál ha sido la organización y distribución de las tareas a la hora de diseñar el proyecto a lo largo del tiempo. En él se establece un orden cronológico en la realización de todas las fases, permitiendo así al lector comprender y entender cuál ha sido el proceso de elaboración y diseño del sistema integrado de vigilancia y comunicaciones.

En el *Capítulo 3* se explica de forma detallada cómo ha sido el proceso de selección del equipamiento y tecnologías necesarias para establecer el sistema de vigilancia y comunicaciones tanto en las unidades patrulla como en las estaciones fijas. Para ello, en el primer subapartado se ha realizado una descripción del equipamiento de vigilancia empleado en las estaciones fijas, el cual engloba cámaras y radares. A continuación, en el segundo subapartado se ha realizado una descripción del equipamiento utilizado en las unidades patrulla de cara a realizar las labores de vigilancia, sobre el cual también se han descrito los modelos de cámaras y radares. Por último en el tercer subapartado se ha realizado una descripción acerca de las tecnologías y equipamiento utilizados para establecer las comunicaciones tanto fijas como móviles entre las distintas torres de vigilancia, las unidades patrulla y el Centro de Control y Mando, así como de las frecuencias de trabajo utilizadas para cada tecnología.

A continuación, en el *Capítulo 4* se describen todos los pasos relacionados con el proceso de planificación y ubicación de las torres de vigilancia. Para ello en el primer subapartado se ha hecho referencia a las condiciones y especificaciones de los equipos de vigilancia que se han tenido en cuenta para determinar la separación entre las torres y la zona de ubicación. Tras ello, en el segundo subapartado se ha detallado el proceso de ubicación de las torres a través de Google Earth, el cual engloba todo el posicionamiento de las torres y menciona todos los inconvenientes encontrados a la hora de ubicar el propio sistema de torres vigía. Por último en el tercer subapartado se han desglosado todos los datos y especificaciones correspondientes a los emplazamientos escogidos como solución definitiva al proceso de planificación.

En el *Capítulo 5* se explica con todo detalle el proceso de dimensionamiento y creación de los radioenlaces fijos establecidos entre las distintas torres de vigilancia y el Centro de Control. Dentro de este capítulo, en el primer subapartado se han analizado las distintas condiciones de visión entre las torres de vigilancia y se han calculado los niveles de caudal a transportar por cada radioenlace, con el objetivo de obtener los radioenlaces con funcionamiento óptimo entre las torres de vigilancia. Este primer análisis en cuanto a los rangos de visión se ha realizado mediante Google Earth. A continuación, en el segundo subapartado se ha realizado con todo detalle el dimensionamiento de los radioenlaces fijos, a través de LINKPlanner. En este dimensionamiento se han especificado parámetros clave como ancho de banda, frecuencias de trabajo, caudal y disponibilidad.

Tras esto, en el *Capítulo 6* se han recopilado los resultados obtenidos en el conjunto de capítulos descritos anteriormente, con el fin de analizar y comprobar cuáles han sido las prestaciones obtenidas tras realizar el diseño e integración de los subsistemas de comunicaciones y vigilancia.

Por último, en el *Capítulo 7* se han descrito las conclusiones obtenidas tras realizar el diseño del actual proyecto y se han analizado cuáles pueden ser las líneas futuras de trabajo que pueden mejorar el rendimiento de este sistema integrado de comunicaciones y vigilancia costera.

2.2 Distribución y organización temporal

En este apartado se muestra cuál ha sido la distribución en tareas a la hora de realizar el presente proyecto y cómo ha sido la organización y distribución de estas tareas a lo largo del tiempo.

Tarea 1: Búsqueda de información.

A lo largo del mes de diciembre comienzan las primeras tareas relacionadas con la búsqueda y recopilación de información. Entre las fechas del 14/12/2015 y 22/12/2015 se realiza la primera tanda de búsqueda de información acerca de algunos ejemplos de sistemas integrados de vigilancia y comunicaciones (SIVE), y acerca de la posible ubicación del sistema en función de las incidencias en las zonas costeras de nuestro país.

A continuación entre las fechas del 22/12/2015 y 10/01/2016 se realiza la segunda tanda de búsqueda de información. En esta segunda tanda se busca el equipamiento necesario para establecer el subsistema de vigilancia en las torres vigía, englobando desde cámaras térmicas y diurnas hasta radares, de los cuáles se extraen sus especificaciones con el fin de conocer el alcance del sistema y la posterior distribución de los puntos de vigilancia.

Posteriormente, tras la planificación y ubicación de las distintas torres de vigilancia, la cual se explica a continuación, se procede a realizar la tercera tanda de búsqueda de información basada en la integración y obtención de las especificaciones de algunos sistemas TETRA y LTE para el establecimiento de comunicaciones entre las torres de vigilancia y las unidades patrulla. Esta última sesión de búsqueda se da entre el 14/03/2016 y el 17/04/2016.

Tarea 2: Planificación y ubicación de las torres de vigilancia.

Tras obtener la información de la segunda sesión de búsqueda y recopilación, y una vez conocidos los alcances de los elementos empleados en el subsistema de vigilancia, se procede a dimensionar y planificar la ubicación de las torres de vigilancia del sistema. De esta forma, y a través del software Google Earth se inicia el proceso de ubicación de las torres a fecha 01/02/2016, el cual finaliza tras varios inconvenientes a la hora de realizar dicho proceso el día 17/04/2016. Tras ubicar las torres, entre el 09/05/2016 y el 22/05/2016 se realiza la segunda fase del proceso de ubicación y planificación, con el fin de establecer una ubicación para el Centro de Control y Mando. Para ello se vuelve a hacer uso de la herramienta Google Earth, fijando la ubicación de Centro de Control al que enviaremos todos los flujos de información.

Tarea 3: Dimensionamiento radioeléctrico de forma teórica y mediante LINKPlanner.

Una vez fijadas las torres de vigilancia y conocidas las especificaciones de las cámaras y de los flujos de vídeo, voz y datos que se van a enviar procedemos a dimensionar los requisitos de los radioenlaces fijos entre torres de vigilancia. Este proceso que engloba la búsqueda de frecuencias, cálculo teórico de *throughputs* a soportar en cada radioenlace y dimensionamiento mediante LinkPlanner, tiene lugar entre las fechas del 16/05/2016 y 31/05/2016.

Tarea 4: Redacción de la memoria.

Tras completar todos los pasos relacionados con el diseño y realización del proyecto, el día 01/06/2016 comienza la redacción de la presente memoria. Para ello el índice se redacta el mismo día 01/06/2016 y la introducción, motivación y objetivos se redacta entre los días 02/06/2016 y 06/06/2016. A continuación los Capítulos 3 y 4 se redactan entre las fechas correspondientes al 07/06/2016 y 19/06/2016. Por último el Capítulo 5, 6 y 7 se redactan entre el 21/06/2016 y 22/06/2016, siendo esta la fecha final en la redacción de la memoria.

Tareas	Diciembre 2015				Enero 2016				Febrero 2016				Marzo 2016			
	1			X	X	X	X									X
2									X	X	X	X	X	X	X	X
3																
4																

Tareas	Abril 2016				Mayo 2016				Junio 2016			
	1	X	X	X								
2	X	X	X									
3						X	X	X				
4									X	X	X	X

Tabla 1. Diagrama temporal para la distribución de tareas

Capítulo 3. Equipamiento del sistema

En el tercer capítulo del presente proyecto se ha realizado una amplia descripción acerca del equipamiento utilizado para conformar los subsistemas de vigilancia y comunicaciones. Para ello en primer lugar se ha descrito el equipamiento empleado en el subsistema de vigilancia, distinguiendo entre los equipos empleados en las torres fijas de vigilancia y en las patrullas móviles. A continuación, se da una descripción del conjunto de tecnologías y sistemas empleados para establecer la comunicación entre patrullas y torres vigía, y entre torres y Centro de Control y Mando.

3.1 Subsistema de vigilancia en estaciones fijas

En primer lugar, centrándonos en el equipamiento requerido en las torres fijas de vigilancia de nuestro sistema es necesario comprender que se necesita una detección tanto visual como no visual en todo momento, independientemente de las condiciones meteorológicas, medioambientales y horarias. Por otra parte, además de la necesidad de detección ante cualquier situación, se necesita que los elementos que componen el subsistema de vigilancia nos permitan detectar posibles amenazas a una distancia lo suficientemente grande como para poder coordinar tanto a Guardia Civil como a Cruz Roja o Salvamento Marítimo, en caso de que la situación así lo requiera. Así pues, conociendo las necesidades de nuestro subsistema de vigilancia podemos afirmar que dicho subsistema debe estar conformado por cámaras de largo alcance, tanto de visión diurna como visión nocturna o térmica, además de por un radar que nos permita detectar la llegada de cualquier embarcación cuando no se den las condiciones de visibilidad adecuadas.

Cámaras

De cara a la detección de embarcaciones con unos niveles de visibilidad diurnos y nocturnos en cualquier condición meteorológica y medioambiental, es necesario contemplar el uso de cámaras de vigilancia de largo alcance. En nuestro caso, se han elegido dos cámaras de la marca FLIR, una de visión térmica con tecnología infrarroja y otra de visión diurna.

En primer lugar, la cámara de visión térmica escogida pertenece a la serie HRC Series de FLIR [4], la cual engloba cámaras de vigilancia de larga distancia basadas en visión térmica. Estas cámaras funcionan mediante tecnología infrarroja y tienen una capacidad de detección en cualquier condición atmosférica y medioambiental, permitiéndonos ver a través de oscuridad, niebla, humo o incluso arbustos u otros objetos.

Coastal surveillance



Some countries are bordered by thousands of kilometers of coastline. The FLIR HRC-Series are the perfect tools to monitor what is happening along the coastline. They can be used to intercept illegal immigrants or to detect other threats coming from the sea. They are perfect for Vessel Traffic Monitoring and can work together with Automatic Identification Systems (AIS) and radars.



Fig.3 Visión nocturna de las cámaras FLIR HRC-Series

Las cámaras de la serie HRC realizan un barrido en azimuth de 360° y un barrido en elevación de $\pm 35^\circ$, de forma constante durante las veinticuatro horas del día, con velocidades de variación de giro de entre 0.03 y 65° por segundo y con velocidades de variación de elevación entre 0.03 y 30° por segundo. Además cuentan con la integración de la tecnología *cooled detector*, la cual

permite ver blancos muy alejados con gran detalle, generando imágenes de 640x480 píxeles de resolución. Por otro lado, las cámaras de esta serie presentan una gran resistencia ante la humedad y trabajan entre unos rangos de temperatura entre -32 y 55 grados centígrados.

La serie HRC permite elegir cuatro modelos de cámara en función del tipo de lente, lo que nos permite tener un rango de visión de mayor o menor amplitud en lo que a grados se refiere, en función del zoom que queramos obtener. Además esta relación entre el rango de visión y el zoom que la cámara es capaz de proporcionar, afecta directamente a los alcances de las cámaras, siendo las cámaras con mayor zoom y tamaño de lente las que nos permiten obtener alcances mayores.

Four different versions available

- HRC-E: Equipped with a 22 x 275 mm lens. It zooms between a 24° field of view and a 2° field of view.
- HRC-S: Equipped with a 39 x 490 mm lens. It zooms between a 14.1° field of view and a 1.1° field of view.
- HRC-U: Equipped with a 59 x 735 mm lens. It zooms between a 9.4° field of view and a 0.75° field of view.
- HRC-X: Equipped with a 88 x 1100 mm lens. It zooms between a 6.3° field of view and a 0.5° field of view.

Fig.4 Modelos de cámaras de la serie HRC



Fig.5 Distintos rangos de visión de las cámaras de la serie HRC

Range performances for HRC-E, HRC-S, HRC-U, HRC-X

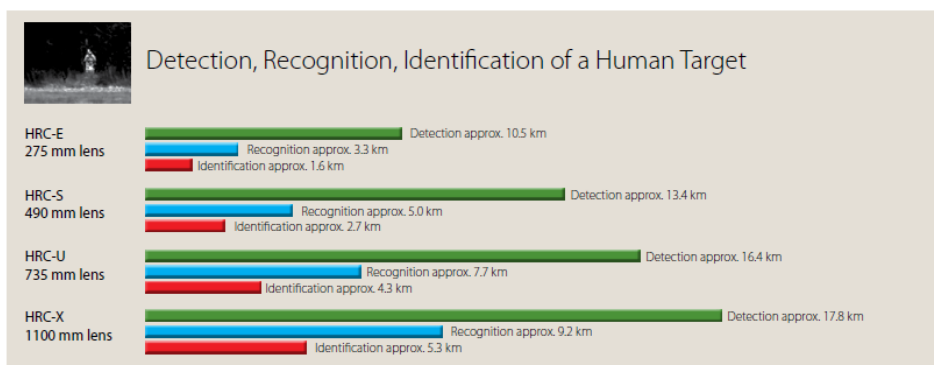


Fig.6 Rangos de detección, reconocimiento e identificación en humanos de la serie HRC

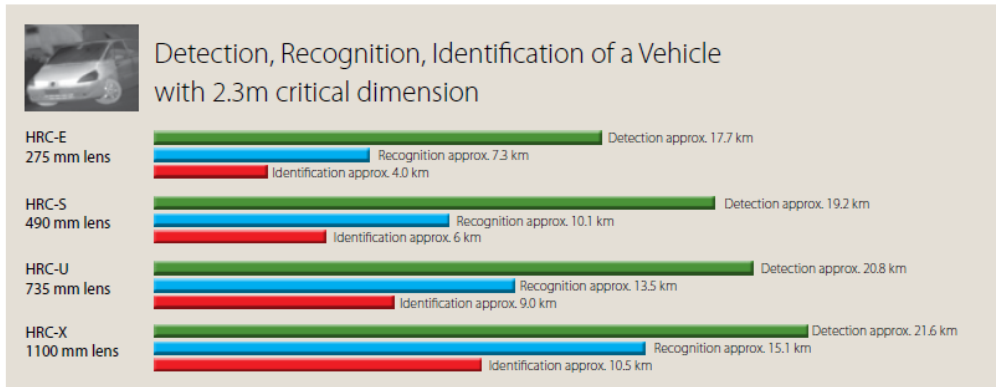


Fig.7 Rangos de detección, reconocimiento e identificación en vehículos de la serie HRC

En nuestro caso, se ha elegido el modelo X perteneciente a la serie HRC, (HRC-X), el cual va equipado con una lente de 88x1100 mm que entrega una resolución de entre 0.5 y 6.3° en lo que rango de visión se refiere [5]. Este modelo de cámara nos permite observar con gran zoom todos nuestros objetivos aunque se disponga de un rango de visión menor, algo que tampoco es demasiado importante teniendo en cuenta la buena velocidad de giro que se tiene y que en nuestro caso no se necesita un rango de visión superior a 180° en la mayoría de las torres. De esta forma, escogiendo el modelo HRC-X se detecta la presencia de un vehículo de 2.3 metros de alto por 2.3 metros de ancho a 21.7 kilómetros de distancia y de personas de 1.8 metros de altura por 0.5 metros de ancho a 17.8 kilómetros. A una distancia de 15.1 kilómetros se identifica el blanco detectado como un vehículo y a 9.2 kilómetros se identifica el blanco como una persona. Por último a una distancia de 10.5 kilómetros se reconoce que vehículo es concretamente y a una distancia de 5.3 kilómetros se reconoce a una persona. En cuanto al flujo de datos o *throughput* requerido para transportar los flujos de vídeo producidos por esta cámara, hablamos de órdenes de unos niveles medios de 2 Mbps, pudiendo alcanzar picos de hasta 8 Mbps cuando el movimiento de la imagen captada es de gran nivel.

En combinación con la cámara anterior y montada sobre la misma estructura que la cámara térmica hemos añadido una cámara de visión diurna. Existen tres modelos de cámaras de visión diurna en función de su alcance y rango de visión, al igual que en las cámaras térmicas. En nuestro caso hemos optado por la cámara de mayor alcance, la cual se corresponde con el modelo UR-TV (*ultrorange TV*) [4], la cual nos permite obtener alcances de menor nivel que los modelos térmicos pero dota al sistema de una mayor nitidez a la hora de captar las imágenes a plena luz del día. Dentro de las especificaciones del modelo UR-TV, cabe destacar que es el modelo que menor iluminación necesita para funcionar. Su *throughput* es unos niveles similares a los requeridos para la cámara de visión térmica, considerando 2 Mbps como nivel medio y 5 Mbps en el peor caso.

Daylight camera specific

Daylight CCD:	SR-TV	LR-TV	UR-TV
CCD-Format	1/4"	1/2"	1/2"
Focal Length (Wide to Tele)	3.5mm to 91mm	12.5mm to 750mm 25mm to 1500mm (with 2x Extender)	31.5mm to 750mm
F# (Wide to Tele)	1.6 to 3.8	3.8 to 7.1 7.6 to 14.2 (with 2x Extender)	4.3 to 7
Field OfView (H)	1.6° to 42°	0.48° to 28.7° 0.24° to 14.4° (with 2x Extender)	0.5° to 11.8°
Optical Zoom	26x	60x 120x (with 2x Extender)	23.6x
Digital zoom	12x	10x	-
Min. Illumination	2 lux (1/50 sec) B&W Mode: 0.7 lux (1/50sec)	0.6 lux (1/50sec)* 0.02 lux (32/50sec)*	0.08 lux (1/50sec)
Focus	Continuous AF/Manual	One shot AF/Manual	One shot AF/Manual

Fig.8 Especificaciones técnicas de las distintos modelos de cámaras de visión diurna

Como complemento a ambas cámaras y aprovechando las posibilidades que FLIR ofrece se ha optado por añadir a nuestra estructura un sistema integrado de láser con GPS [4], capaz de detectar blancos hasta 20 kilómetros de distancia y de obtener con exactitud cuáles son sus coordenadas y a qué distancia se encuentran de la costa. De esta forma, el *throughput* ofrecido por los tres componentes en combinación es de unos 13.5 Mbps en el peor caso, considerando 0.5 Mbps de *throughput* para los datos de posicionamiento obtenidos vía GPS mediante el láser.

OPTIONALLY AVAILABLE	
Laser Range Finder	Erbium glass, eye safe / 80 m - 20 km
Geo Positioning	GPS optionally available
Digital Magnetic Compass	Optionally available
Automatic Video Tracker including e-stab	Optionally available

Fig.9 Elementos adicionales ofertados por FLIR en combinación con sus cámaras



Fig.10 Estructura del conjunto de cámaras y láser

Radar

Además de los elementos destinados a la vigilancia mediante contacto visual es necesario incorporar al sistema un elemento capaz de detectar blancos sin necesidad de establecer un rango de visión con los mismos. El radar ubicado en nuestras torres de vigilancia no solo nos permite detectar a los elementos que llegan a nuestras costas sino que además es capaz de estimar a que distancia se encuentran, permitiendo a los cuerpos de seguridad o de atención sanitaria actuar ante la llegada de cualquier tipo de embarcación. En nuestro caso se ha elegido un radar Ranger R20SS de la marca FLIR [6], el cual nos permite detectar blancos a una distancia máxima de 30 kilómetros aproximadamente. El radar R20SS nos permite realizar barridos de cobertura sectoriales, algo que nos favorece ya que al estar detectando los elementos que se aproximan a nuestras costas vía marítima, solo tenemos que cubrir en la mayor parte de los casos, rangos angulares de 180°. Entre sus especificaciones podemos destacar su baja probabilidad de falsas alarmas y su inmunidad frente a precipitaciones al trabajar en banda X.

El Ranger R20SS es capaz de detectar blancos moviéndose a velocidades desde 0.36 hasta 160 km/h aproximadamente, algo que nos permite detectar a nuestros objetivos en la mayor parte de los casos, ya que difícilmente se alcanzan velocidades superiores en la superficie marina. Además el radar es capaz de realizar un barrido de un sector de 90° dos veces por segundo, permanece operativo las veinticuatro horas del día y resiste a condiciones de humedad del 100%. El *throughput* de los flujos de información que transmite este radar es de 1 Mbps aproximadamente.

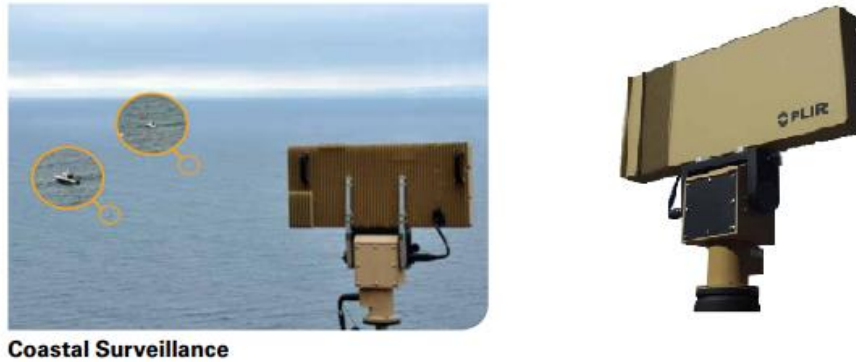


Fig.11 Apariencia del Ranger R20SS

En cuanto al alcance de detección del radar se establecen distintos rangos en función del tamaño de nuestro blanco. Los buques de gran tamaño se pueden detectar como máximo a 28 kilómetros de la costa, los buques de tamaño medio o bajo como por ejemplo lanchas o pateras se detectan a 20 kilómetros como máximo, y una barca hinchable de pequeño tamaño se puede detectar a 12 kilómetros de la costa. Vale la pena destacar que el uso del radar a la vez que el del láser mencionado anteriormente, tiene como objetivo establecer un sistema redundante que nos permite obtener la distancia de las embarcaciones a la costa mediante dos elementos diferentes, con el fin de obtener información en el caso que uno de los dos fallara.

Ante estos alcances máximos de detección, se puede afirmar que la detección de una barca hinchable de pequeño tamaño que puede tardar varias horas en recorrer 12 kilómetros es realmente óptima, ya que en ese periodo de tiempo se puede coordinar fácilmente un operativo de la Guardia Civil o de la Cruz Roja y Salvamento Marítimo para dar atención sanitaria a sus posibles tripulantes.

Specifications

Target Types Moving	> 0.1 m/s min Vehicles, personnel, rubber rafts, boats
Target Velocity	0.1 to 44 m/s
Number of tracks	over 500
Scan Rate	2 Hz (90 degree sector)
Coverage	90° in sector mode 360° in scan mode (with optional pan/tilt device)
Elevation Control	Yes with optional Pan/Tilt
Input Power	21-42 VDC, 24 nominal
Communications	Ethernet, wireless, fiber
XML	Yes (ICD-0100 compliant)
Mask Zone(s)	Unlimited polygons
Dimensions	29.6" h x 14.7" w x 6.0" d, no pan/tilt
Weight	38 lbs (17.3 kg), no pan/tilt
Power Consumption	245 watts (standard version) 170 watts (low-power version)
Operating Range	20 - 30,000 m
Detection Range	up to 12,000 m, personnel walking (1 m ² RCS) up to 12,000 m, rubber raft (1 m ² RCS, sea state 3) up to 20,000 m, patrol vessel (10 m ² RCS, sea state 4) up to 28,000 m, vehicles, large vessels
Temperature	-30° to +60°C (operating) -40° to +70°C (storage)
Humidity	Up to 100%,
Weather Sealing	IP 67 Rating
Altitude	Up to 15 000 ft (operating and storage)
Mil Spec	Complies with MIL-STD-810 and MIL-STD-461

Fig.12 Especificaciones del radar R20SS

De esta forma el equipamiento empleado en el subsistema de vigilancia de las torres fijas está compuesto por una cámara térmica FLIR HRC-X, una cámara de visión diurna UR-TV, un sistema láser con GPS integrado y un radar Range R20SS, los cuáles en el caso de captar una

gran cantidad de movimiento generan un valor máximo de *throughput* de 15 Mbps. Analizando las especificaciones de cámaras y radares parece razonable establecer la distancia de 12 kilómetros como la distancia mínima de cara a detectar una embarcación, ya que en el peor caso de que las cámaras fueran incapaces de detectar una barca hinchable, sería el radar el que la detectara a esta distancia. Como hemos mencionado anteriormente la distancia máxima de detección de embarcaciones mediante radar es de aproximadamente 30 kilómetros para el caso de embarcaciones de gran tamaño y de 20 kilómetros para la detección de embarcaciones tipo lancha para cámaras y radar.

3.2 Subsistema de vigilancia en unidades patrulla

Además de las torres fijas de vigilancia ubicadas en tierra, nuestro subsistema de vigilancia cuenta con unidades adicionales tanto en mar como en aire en forma de lanchas patrulleras y de helicópteros. Dichos elementos tienen un papel fundamental ya que en ocasiones pueden desempeñar las tareas de vigilancia, detección, interceptación o rescate con mucha mayor rapidez que desde tierra. Para el diseño de nuestro subsistema y teniendo en cuenta el área cubierta por el mismo vamos a considerar la presencia de dos helicópteros y tres lanchas patrulleras en nuestro subsistema de vigilancia. Ambos medios de transporte están tripulados por miembros de la Guardia Civil y cuentan con cámaras de largo alcance y radares para establecer sus labores de vigilancia.

Equipamiento en lanchas patrulleras

Con el objetivo de tener una buena vigilancia en el sector marítimo más allá del alcance que nuestras torres fijas pueden proporcionar, se incorporan varias unidades patrulla. Estas lanchas patrulleras forman parte del Servicio Marítimo de la Guardia Civil y deben ser capaces de realizar las labores de vigilancia, detección, interceptación y rescate si es necesario. Para ello deben contar con un subsistema de vigilancia y con un subsistema de comunicaciones que les permita comunicarse con otras patrulleras y a su vez con las estaciones terrestres. Centrándonos en el subsistema de vigilancia y al igual que en el equipamiento destinado a la vigilancia en torres fijas, es necesaria la presencia de equipos de vigilancia como cámaras y radares que nos permitan detectar y visualizar la presencia de otras embarcaciones.

En el apartado de cámaras se ha escogido el modelo Brite Star II de la marca FLIR [7], el cual presenta una integración de cámaras térmicas y diurnas en una misma estructura. Entre sus especificaciones se puede destacar su fácil instalación a bordo de embarcaciones, su capacidad de detección a 18 kilómetros para barcos de gran tamaño y a 7 kilómetros para lanchas. Además es una cámara con estabilización en cuatro ejes y proporciona una cobertura en azimuth de 360° y rango de excursión en elevación desde +32° a -100°. La Brite Star II cuenta también con la integración de un láser que permite alcanzar distancias de 20 kilómetros. Este láser integrado junto con un sistema GPS nos permite conocer la posición exacta del blanco al que se está apuntando y la distancia a la que se encuentra. Su *throughput* es de 2 Mbps en condiciones normales, siendo de 8 Mbps para condiciones de máxima cantidad de movimiento.



BRITE Star® II

Fig.13 Apariencia de la cámara Brite Star II

Por otro lado, en cuanto al radar utilizado en el sistema se ha optado por la integración del modelo RD424D de la compañía Raymarine [8]. Este radar proporciona alcances de hasta 48

millas náuticas, es decir, aproximadamente 89 kilómetros. Además presenta una velocidad de rotación del haz de aproximadamente 24 rpm, con un ancho de haz de 3.9° en horizontal por 25° en vertical. Su *throughput* es de 400 kbps aproximadamente.



Fig.14 Ejemplo instalación RD424D

De esta forma, las lanchas patrulleras del Servicio Marítimo de la Guardia Civil están dotadas de un buen sistema de vigilancia mediante la combinación de cámaras térmicas, cámaras de visión diurna y láser, en conjunción con un sistema radar capaz de detectar embarcaciones a una distancia mayor que las cámaras.

Equipamiento en helicópteros

Por otro lado, además de las unidades patrulla en el sector marítimo mencionadas anteriormente, es necesario establecer la incorporación de unidades aéreas que den soporte tanto al segmento marítimo como al segmento terrestre. Para ello en nuestro sistema de vigilancia incorporaremos dos helicópteros pertenecientes al Servicio Aéreo de la Guardia Civil. Estas unidades aéreas nos permiten desplazamientos a una mayor velocidad por encima de la superficie marítima con el objetivo de detectar y visualizar cualquier posible embarcación en una situación irregular. Además también permiten tener un control y vigilancia sobre las incidencias que ocurren en el segmento aéreo. Entrando en detalle acerca del equipamiento que estas unidades aéreas incorporan, es fundamental considerar de nuevo el uso de cámaras de vigilancia de largo alcance y de radares.

Las cámaras instaladas en las unidades aéreas son el mismo modelo que las utilizadas en las unidades marítimas, la Brite Safir II de FLIR [9]. Esta cámara de largo alcance puede ir embarcada tanto en vehículos marítimos como aéreos. Presenta un alcance de 18 kilómetros en detección de barcos de gran tamaño y un alcance de 7 kilómetros en detección de lanchas. Incorpora como ya se ha mencionado anteriormente un conjunto de cámaras tanto de visión térmica como diurna, en combinación con un láser capaz de determinar la posición exacta de los blancos.

En cuanto al radar embarcado en las unidades aéreas se ha optado por la elección del SLAR 9000 de la compañía TERMA [10]. Este radar proporciona alcances de hasta 25 millas náuticas, es decir aproximadamente 46 kilómetros, facilitando así la detección de embarcaciones desde el segmento aéreo. El *throughput* de los datos transmitidos por el radar es de 1 Mbps aproximadamente.

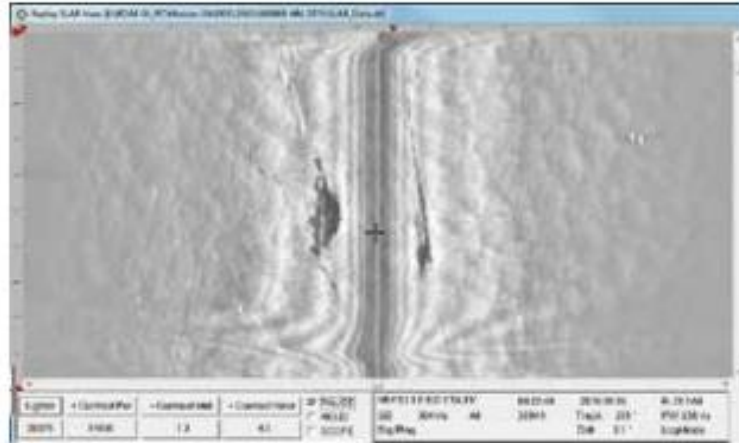


Fig.15 Vista desde el SLAR 9000 de TERMA

De esta forma mediante la combinación de las cámaras y radares mencionados podemos establecer una amplia vigilancia tanto a lo largo del segmento marítimo como del segmento aéreo con el objetivo de preservar la seguridad en aquellas zonas que quedan fuera del alcance de nuestro subsistema de vigilancia fijo.

3.3 Subsistema de comunicaciones en estaciones fijas y unidades patrulla

Tras establecer el subsistema vigilancia en el segmento terrestre con las torres de vigilancia y en el segmento marítimo y aéreo con las unidades patrulla, surge la necesidad de interconectar dichos sistemas de vigilancia con el objetivo de concentrar la información captada por todos los elementos del propio subsistema. Para ello, es fundamental comprender en primera instancia que nuestro subsistema de comunicaciones estará dividido a su vez en dos partes, una parte dedicada a establecer comunicaciones móviles entre las torres de vigilancia en tierra y las unidades patrulla, y una parte troncal dedicada a establecer comunicaciones fijas entre las torres de vigilancia y el Centro de Control y Mando.



Fig.16 Ejemplo de comunicación entre estaciones fijas y unidades patrulla

3.3.1 Comunicaciones móviles entre estaciones fijas y unidades patrulla

En primer lugar nos centramos en la parte del subsistema de comunicaciones destinada a establecer una conexión entre las unidades patrulla y las torres de vigilancia ubicadas en la superficie terrestre. Para ello es necesario comprender que las comunicaciones entre las unidades móviles y las estaciones fijas deben cumplir una serie de requisitos:

- **Comunicaciones móviles:** Puesto que las unidades patrulla presentan una gran movilidad a lo largo del segmento aéreo y marítimo es necesario establecer un sistema de comunicaciones móviles que nos permita comunicarnos con las unidades patrulla desde tierra. Nuestras unidades patrulla podrán comunicarse con tierra y viceversa hasta una distancia máxima, que viene delimitada por la tecnología que escojamos para establecer las comunicaciones. Esta distancia además limita el alcance de nuestro sistema de cara a la vigilancia en el segmento marítimo y aéreo, ya que si no podemos comunicarnos con las unidades patrulla, la información que estas capten no puede llegar a su destino, que en nuestro caso es el Centro de Control y Mando.
- **Transporte de voz, vídeo y datos:** Conforme a las necesidades del sistema además de tener que establecer una comunicación por voz entre el segmento terrestre y el segmento aéreo o marítimo, se busca tener la posibilidad de enviar la información captada por los sistemas de vigilancia de las unidades patrulla a las estaciones fijas en tierra. De esta forma, además del conjunto de instrucciones o información que se puede intercambiar mediante mensajes de voz, es necesario dotar a nuestro sistema de la posibilidad de establecer conexiones que permitan transmitir flujos de vídeo y datos desde las unidades móviles hacia las torres fijas de vigilancia, con el objetivo de posteriormente, transmitir toda la información hacia el Centro de Control y Mando. De esta forma, se requiere de una tecnología que otorgue el ancho de banda suficiente para establecer esos enlaces entre torres de vigilancia y unidades móviles.
- **Comunicación entre unidades patrulla:** Además de la mencionada necesidad de establecer comunicaciones entre las torres vigía en tierra y las unidades patrulla, es fundamental dotar al sistema de la capacidad de establecer comunicaciones entre las diversas unidades patrulla en caso de que sea necesario. Dicha comunicación entre unidades patrulla es fundamental de cara a conseguir la mayor coordinación posible entre los diversas unidades dedicadas a la vigilancia.
- **Bidireccionalidad:** La comunicación entre el segmento terrestre y el segmento marítimo o aéreo debe ser posible en los dos sentidos, con el fin de que se puedan dar las órdenes o informaciones correspondientes desde tierra y que además se pueda enviar la información captada por las unidades móviles desde mar y aire.
- **Seguridad, disponibilidad y confidencialidad:** Tanto las comunicaciones establecidas entre las propias unidades como las establecidas entre unidades patrulla y estaciones fijas deben estar dotadas de la mayor confidencialidad posible. Toda la información enviada en cualquiera de los dos sentidos (voz, vídeo o datos) debe ser inaccesible ante posibles escuchas o sabotajes, además de tener que llegar a su origen sin sufrir ningún tipo de modificación. Por otro lado, este envío de información debe poder realizarse en cualquier momento presentando la suficiente disponibilidad ante cualquier posible situación crítica que se presente.

De esta forma, teniendo en cuenta los requisitos mencionados y las tecnologías disponibles en la actualidad, la solución escogida para nuestro sistema de comunicaciones móviles es la conformada por un sistema híbrido de TETRA y LTE.

TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*) es un estándar de radio digital usado en el ámbito de las comunicaciones de carácter crítico, como por ejemplo en el caso de organismos de la seguridad pública como ambulancias, bomberos, defensa civil o policía [11]. Entre sus características destaca su extrema seguridad, su total disponibilidad ante situaciones críticas y su confidencialidad e integridad que permite mantener la información totalmente cifrada excepto para los usuarios autorizados, que pueden acceder a ella descifrando el mensaje [12].

La tecnología TETRA permite establecer llamadas entre terminales y conexiones de datos de pequeño tamaño (*short data service*) con una máxima velocidad de transmisión de 28.8 kbps

utilizado [15]. Además esta tecnología puede llegar a presentar alcances de hasta 100 km, dejando a TETRA como tecnología limitante en cuanto al alcance de nuestro sistema [16]. De esta forma, combinando TETRA con LTE obtenemos comunicaciones con elevada seguridad, buenos alcances y grandes capacidades de transmisión para enviar los flujos de información captados por los subsistemas de vigilancia de las unidades patrulla.

Una vez analizadas las prestaciones de ambas tecnologías, el siguiente paso es buscar cómo aplicar la solución propuesta a nuestro sistema de una forma concreta, con el objetivo de encontrar un equipamiento que nos permita implantar esta solución de cara a nuestro subsistema de comunicaciones.

El sistema propuesto para cubrir las necesidades en el apartado de comunicaciones móviles es la solución Evolved Nebula (eNEBULA) de la compañía Teltronic. La solución eNEBULA ofrece la posibilidad de incorporar un servicio de LTE privado a un sistema TETRA convencional, sin variar sus condiciones de seguridad y alta disponibilidad, y aportando la capacidad de establecer transmisiones de banda ancha.

De cara a la implementación de la solución eNEBULA en nuestro sistema, el primer paso es establecer el reparto de frecuencias que garantice el funcionamiento de ambas tecnologías, de forma que puedan funcionar dentro del marco legal sin interferir con otros servicios radioeléctricos.

En primer lugar, en cuanto a la tecnología TETRA y en base al Documento BOE-A-2005-18994 publicado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España [17], se fija como banda de frecuencias disponible el rango comprendido entre las subbandas de 380 a 385 MHz para transmisiones desde las estaciones base TETRA y desde 390 a 395 MHz para transmisiones desde terminales portátiles TETRA. Además se fija el ancho de banda para los distintos canales en 25 kHz y el límite de máxima potencia RF de salida en 25 W para estaciones fijas. El uso de las subbandas mencionadas está destinado a la creación de redes de servicios de seguridad de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y redes de servicios de emergencia en todo el territorio nacional, como bien se expone en la nota de Utilización Nacional UN-28 del CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) [18].

ANEXO Interfaz radioeléctrica reglamentada Descripción: Sistema de radio móvil TETRA para aplicaciones en redes de servicios para seguridad y emergencia en cualquier parte del territorio nacional. IR: 6.	
Parámetro	Datos técnicos
1 Frecuencia/Banda de frecuencias.	380,00-385,0000 MHz Tx EB junto con 390,000-395,000 MHz Tx EM.
2 Canalización/Anchura de banda.	Canalización 25 kHz. Emisión 18KG7WDT.
3 Modulación.	n/4 DQPSK. Técnica de acceso TDMA.
4 Separación dúplex.	10 MHz.
5 Nivel de potencia.	Potencia salida máx. 25 W estaciones fijas.
6 Servicio radioeléctrico/tipo de dispositivo.	Equipos móviles, portátiles y estaciones fijas para el servicio móvil terrestre.
Parámetros de información opcional	
7 Licencia/uso.	Si. Uso privativo que requiere autorización administrativa.
8 Evaluación/notificación.	Clase II.
9 Norma técnica de referencia.	ETSI EN 303 035-1. ETSI EN 303 035-2.
10 Otras observaciones.	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF): UN-28.

Fig.18 Fragmento del BOE-A-2005-18994

Por su parte, en lo referente a la tecnología LTE, es necesario tener en cuenta que su uso es totalmente privado y que no guarda ningún tipo de conexión con las redes LTE públicas. De esta forma y en base a la nota UN-31 del CNAF para la banda de 450 a 470 MHz, se ha considerado oportuno establecer el uso de la tecnología LTE en las subbandas de 452,125 a 457,125 MHz y de 462,125 a 467,125 MHz, las cuales se destinan a sistemas digitales de comunicaciones PMR (*Private Mobile Radio*), fijando canalizaciones de hasta 5 MHz [18]. En nuestro caso, se ha escogido la canalización de 5 MHz con un esquema de modulación 16

QAM, con el fin de obtener una capacidad suficiente de cara a transportar los flujos de vídeo y datos mediante LTE.

De esta forma, las tecnologías TETRA y LTE quedan asignadas en el dominio frecuencial de la siguiente manera:

Tecnologías	TETRA	LTE
Bandas de Frecuencia (MHz)	Tx desde EB: 380-385 MHz y Rx en EB: 390- 395 MHz	452,125 a 457,125 MHz y 462,125 a 467,125 MHz
BW en canalización	25 kHz	5 MHz

Tabla 2. Asignación de frecuencias a TETRA y LTE

El sistema eNEBULA ofrece la posibilidad de distribuir estaciones base que proporcionan servicio TETRA + LTE, además de permitir controlar estas estaciones mediante un Nodo de Control del Sistema y de gestionar la red completa desde un Sistema de Gestión de Redes, desde el cual se configura, monitoriza y verifica el rendimiento de los elementos de la red TETRA + LTE. De esta forma, en nuestro sistema aprovechando la posibilidad de instalar distintas estaciones base, colocamos una estación base TETRA+LTE en cada torre de vigilancia, ubicando el Nodo de Control del Sistema en una de las propias estaciones. Una vez establecidos los nodos TETRA + LTE en las distintas torres de vigilancia, asignamos a las unidades patrulla la posibilidad de establecer comunicación con las distintas estaciones base, a través de un subsistema vehicular instalado en cada una de las distintas unidades móviles. Este subsistema vehicular incluye un transceptor TETRA, un transceptor LTE y una antena bibanda entre otros elementos, de forma que se puedan establecer comunicaciones mediante la tecnología TETRA y mediante LTE.

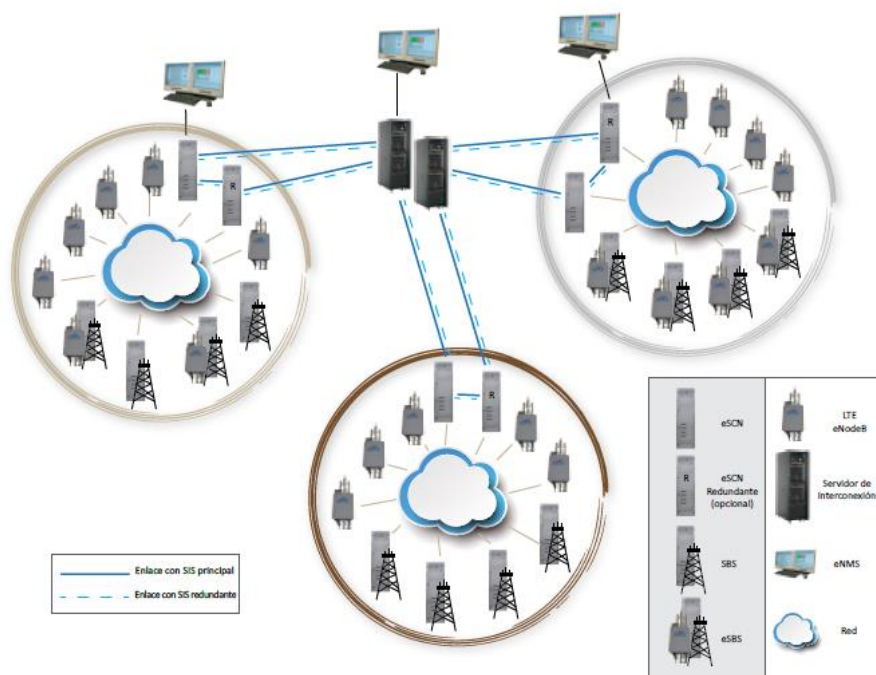


Fig.19 Esquema de la red troncal del sistema eNEBULA

En primer lugar, centrándonos en los nodos principales ubicados en las torres de vigilancia, pasamos a analizar cuál es el equipamiento necesario para establecer las distintas estaciones base.

Cada estación base se corresponde con una torre de vigilancia, de forma que en cada torre de vigilancia hay incorporados dos nodos, el nodo TETRA (eSBS) y el nodo LTE (eNodeB LTE).

El nodo eSBS es un nodo de tecnología TETRA que cuenta con las mejores prestaciones posibles en lo referente a cobertura para redes TETRA y P25. Además permite integrar de forma opcional un nodo eNodeB LTE con el fin de proporcionar cobertura LTE y TETRA desde una misma estación base [19]. Para el conjunto formado por el eSBS y el eNodeB LTE debe añadirse una antena omnidireccional en forma de monopolo, con el fin de poder comunicarnos mediante TETRA y LTE con las unidades patrulla que están dispersas a través del segmento marítimo y aéreo. La antena elegida es el modelo ANT-116B-FOV de ATL Telecomunicaciones, la cual trabaja con un diagrama omnidireccional para la banda de frecuencias desde 380 a 470 MHz y tiene una ganancia de 8 dB [20]. De esta forma, montaremos una antena ANT-116B-FOV para el sistema formado por los nodos eSBS y eNodeB LTE, teniendo así cobertura omnidireccional sobre todas las unidades patrulla ubicadas a lo largo del segmento marítimo y aéreo que se encuentren a la distancia máxima de alcance de la tecnología limitante, que en nuestro caso es de 58 km para la tecnología TETRA.

En relación con la distribución de las distintas estaciones base sobre nuestras torres de vigilancia en tierra, es fundamental establecer un Nodo de Control del Sistema sobre una de ellas, de forma que se controle y gestione todo el flujo de datos tanto para TETRA como LTE a lo largo de todas las estaciones. En el sistema eNEBULA este Nodo de Control del Sistema recibe el nombre de eSCN y es el encargado de proporcionar los controladores principales para TETRA y LTE a nivel regional, de forma que abarque todas las estaciones base TETRA + LTE establecidas en nuestro sistema.

Además, con el fin de gestionar el sistema y de monitorizar, configurar y verificar el rendimiento de los elementos que conforman la red TETRA + LTE, se instala un Sistema de Gestión de Redes, el cual es conocido como eNMS en eNEBULA. Este Sistema de Gestión de Redes se ubica en el Centro de Control y Mando, desde donde se controla el rendimiento de todo el subsistema de comunicaciones y vigilancia.

Tras describir el equipamiento ubicado en las torres de vigilancia para proporcionar cobertura TETRA y LTE a las unidades patrulla, pasamos a analizar y describir cuál es el equipamiento instalado en las propias patrullas. Para ello se ha tomado como referencia uno de los sistemas vehiculares diseñados por Teltronic, el sistema vehicular MVC 6000. Este sistema se basa en la instalación un ordenador de a bordo conectado a las cámaras y radares del vehículo y a su vez a una pantalla que permite al usuario controlar los dispositivos y comunicarse con las estaciones base. Además dispone de dos antenas, una TETRA y otra para tecnologías de banda ancha, con el objetivo de enviar la información captada por las cámaras a las estaciones base.

En nuestro caso, el sistema vehicular diseñado no es un sistema MVC 6000 al uso, pero se asemeja mucho en cuanto a su arquitectura. Nuestro sistema está conformado por un ordenador de a bordo, un transceptor TETRA, un transceptor LTE y la antena omnidireccional ANT-116B-FOV para la banda de 380 a 470 MHz. Además este sistema vehicular incorpora una cámara. Para garantizar la compatibilidad entre las cámaras y radares y el resto del sistema se incorpora un ordenador portátil que hace las veces de adaptador a la hora de convertir la señal captada por la cámaras para que pueda ser procesada por el sistema. Por último, también podemos destacar la presencia de un interfaz gráfico y un interfaz de audio y en forma de pantalla táctil y micrófono para establecer las comunicaciones con la estación base.



Fig.20 Arquitectura del sistema vehicular instalado en unidades patrulla

De esta forma tanto las lanchas patrulleras como los helicópteros cuentan con un sistema similar al descrito anteriormente, de forma que son capaces de comunicarse mediante enlaces de voz y datos con las estaciones base mediante TETRA y son capaces de enviar los flujos de vídeo captados por las cámaras mediante LTE.

3.3.2 Comunicaciones fijas entre estaciones fijas y Centro de Control

Una vez establecidas las comunicaciones entre las estaciones fijas y las unidades patrulla, es fundamental conocer cuál es el equipamiento instalado en las torres de vigilancia para establecer los enlaces fijos de microondas entre las torres vigía. Estos enlaces de microondas tienen como objetivo comunicar entre sí a las torres fijas de vigilancia en tierra, con el fin de concentrar toda la información en un punto para enviarla al Centro de Control y Mando. De esta forma, los propios enlaces tienen que tener el ancho de banda suficiente para poder transportar la información captada por todos los subsistemas de vigilancia. Estos subsistemas de vigilancia son los ubicados en las propias torres y los ubicados en las unidades patrulla, los cuales envían esa información a las torres mediante las tecnologías TETRA y LTE. Estos flujos emitidos por el subsistema de vigilancia en las patrullas son recibidos por las torres gracias a las antenas omnidireccionales ubicadas en las mismas. Además, las propias torres reciben estos flujos a las frecuencias a las que funcionan las tecnologías TETRA Y LTE, por lo que para luego retransmitir los flujos mencionados a través de los enlaces de microondas, tenemos que realizar una conversión en frecuencia, pasando los flujos de vídeo transportados a las frecuencias de TETRA y LTE a las frecuencias de los enlaces fijos.



Fig.21 Esquema de la conversión en frecuencia que se da en las torres de vigilancia

Así pues, al realizar la conversión en frecuencia, debe tenerse en cuenta que se necesita que los radioenlaces de microondas trabajen a una frecuencia lo suficientemente alta, de forma que obtengamos un ancho de banda lo suficientemente grande como para transportar todos los flujos conformados por vídeo, datos y voz. Además, se necesita establecer antenas altamente directivas en las torres de vigilancia, para poder establecer comunicaciones entre ellas.

De esta forma, en base a las características requeridas y a la información proporcionada por el CNAF [21] y por la Nota de Utilización Nacional UN-66 [18], se ha considerado oportuno emplear las subbandas desde 14,753 a 14,865 GHz y desde 15,173 a 15,285 GHz para el dimensionamiento de los radioenlaces fijos entre torres de vigilancia, y entre torres de vigilancia y Centro de Control y Mando. Estas subbandas están destinadas a uso exclusivo del Estado para sistemas de servicio fijo del Ministerio de Defensa.

En cuanto a las antenas empleadas, se necesitan antenas directivas que sean capaces de trabajar a la frecuencia de 15 GHz, proporcionando la ganancia necesaria para combatir las pérdidas de espacio libre, las cuales son considerables a una frecuencia de trabajo de esta magnitud. El modelo de antenas empleado se especificará en el apartado 5.2, ya que son parte del equipamiento establecido por Cambium Networks durante la simulación de LINKPlanner.

UN - 66 Banda de 15 GHz
Servicio fijo en banda de 15 GHz.
Se aplica la canalización de la Recomendación UIT-R F.636-4, en la banda 14,5 - 15,35 GHz, a radioenlaces digitales de baja y mediana capacidad, de acuerdo con una configuración homogénea, partiendo de la frecuencia de referencia de 11701 MHz, lo que permite 15 radiocanales bidireccionales con una separación de 28 MHz entre portadoras contiguas. La canalización también proporciona 30 radiocanales bidireccionales con una separación de 14 MHz entre portadoras contiguas y 60 radiocanales bidireccionales con una separación de 7 MHz entre portadoras contiguas.
En la figura 40 se representa la canalización de esta banda.
Se destinan las subbandas 14,753 - 14,865 GHz y 15,173 - 15,285 GHz a uso exclusivo del Estado para sistemas del Ministerio de Defensa.

Fig.22 Nota UN-66 para la banda de 15 GHz

Elementos del sistema	Torres de vigilancia	Unidades Patrulla
Cámara térmica	FLIR HRC-X	FLIR Brite Star II (unidades marítimas y aéreas)
Cámara diurna	FLIR UR-TV	FLIR Brite Star II (unidades marítimas y aéreas)
Radar	FLIR Ranger R20SS	Raymarine RD424D (unidades marítimas) TERMA SLAR 9000 (unidades aéreas)
Antena directiva Microondas	Cambium Networks	-
Antena omnidireccional TETRA + LTE	ATL TELECOMUNICACIONES ANT-116B-FOV	ATL TELECOMUNICACIONES ANT-116B-FOV
Estación Base TETRA	Teltronic eSBS	-
Estación Base LTE	Teltronic eNodeB LTE	-
Sistema vehicular	-	MVC 6000 (Modificado)

Tabla 3. Resumen del equipamiento en torres y unidades patrulla

Capítulo 4. Planificación y ubicación del sistema

Una vez descrito el equipamiento y funcionamiento de los subsistemas de vigilancia y comunicaciones tanto en estaciones fijas como móviles, vamos a describir cómo ha sido el proceso de planificación y ubicación del sistema. Este proceso engloba una primera parte dedicada a la búsqueda de información y posible localización del sistema y una posterior ubicación del propio sistema mediante un análisis del terreno a partir del software Google Earth.

Debido a la cantidad de accidentes geográficos y arquitectónicos que puede presentar el terreno costero, el proceso de ubicación se puede considerar como una de las partes de mayor complicación dentro del diseño del sistema. Como se describe a continuación, ha sido necesario establecer varias modificaciones y rectificaciones a la hora de ubicar las torres de vigilancia en función de la orografía del terreno y de otros factores ajenos al ámbito geológico.

4.1 Planificación, dimensionamiento y ubicación de las torres de vigilancia

En primer lugar, partiendo de los subsistemas de vigilancia y comunicaciones ya diseñados, nuestro primer objetivo es establecer una ubicación para nuestro sistema integrado. Así pues, tras realizar una búsqueda de información acerca de los puntos costeros en los que más incidencias registran en nuestro país, se elige la zona del Cabo de Gata y Golfo de Almería para ubicar nuestro sistema. Esta zona, como ya se ha mencionado en la introducción, ha registrado numerosas incidencias en relación a temas de inmigración [22], narcotráfico y contrabando [23].



Fig.23 Labores de auxilio por miembros de la Guardia Civil

Interceptado un velero con 10 toneladas de hachís en Almería

El navío, de bandera holandesa, navegaba en aguas internacionales frente a Cabo de Gata



ANTONIO J. MORA

Sevilla - 14 SEP 2015 - 15:01 CEST

Fig.24 Noticia de narcotráfico en el Cabo de Gata 14/09/2015

Tras decidir la zona de ubicación de nuestro sistema, el siguiente paso es decidir cómo vamos a dimensionar el sistema en lo referente al número de torres de vigilancia y a su distribución espacial. Para ello, tomaremos como referencia los alcances de las cámaras y radares a instalar en las propias torres de vigilancia, con el objetivo de conocer la distancia mínima que debe cubrir cada torre desde tierra y así poder decidir la separación y ubicación entre distintas torres. La distancia mínima tomada de cara al dimensionamiento del sistema es de 12 kilómetros, la cual se corresponde con la máxima distancia a la cual el radar es capaz de detectar una pequeña barca hinchable, la cual puede transportar como máximo a dos o tres personas. El motivo por el cual se ha decidido seleccionar esta distancia como medida de cara al dimensionamiento está relacionado con los alcances de las cámaras térmicas y de visión diurna, las cuales detectan embarcaciones a distancias de 21 kilómetros. De esta forma, si limitamos el dimensionamiento a la distancia más pequeña, estamos poniéndonos en el peor caso, para el cual suponemos que en el hipotético caso de que las cámaras no detectaran a una embarcación, sería el radar a una distancia de 12 kilómetros el que la detectaría. A esta distancia de 12 kilómetros, el radar es capaz de detectar la presencia de una barca hinchable, y las cámaras térmicas y de visión diurna son casi capaces de reconocer el tipo de embarcación.

Así pues, teniendo en cuenta la distancia mínima requerida para el dimensionamiento de nuestro sistema, el siguiente paso es ubicar las torres de vigilancia a lo largo de la geografía costera del Cabo de Gata y del Golfo de Almería. De cara al proceso de ubicación es necesario tener en cuenta la necesidad de establecer las torres de vigilancia en puntos elevados, desde donde la visibilidad del segmento costero sea total, en un rango de 12 kilómetros en cualquier dirección. Este requisito es de gran importancia, ya que permite a nuestro sistema de vigilancia fijo cubrir un perímetro de aproximadamente 226 km² para cada torre de vigilancia, sin tener puntos ciegos.

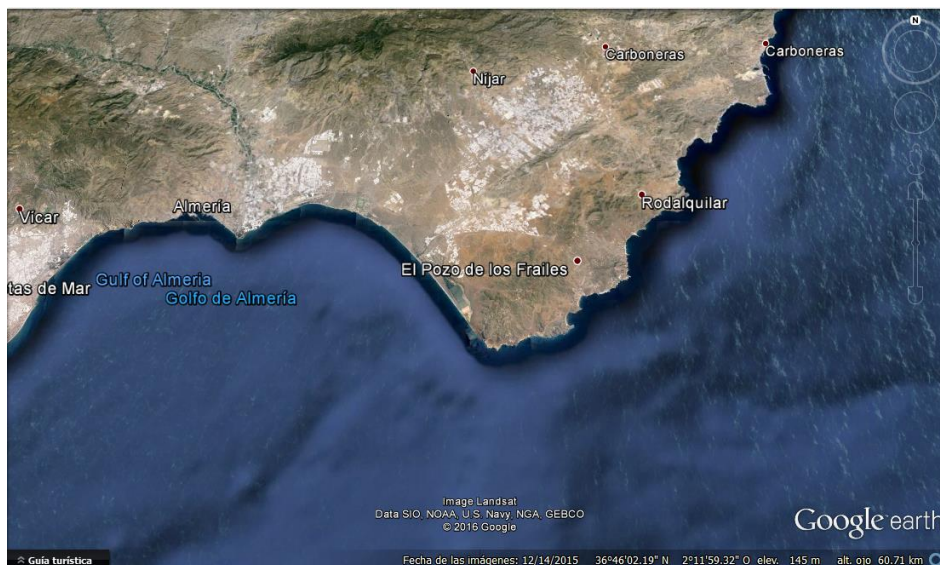


Fig.25 Zona a cubrir por el sistema de vigilancia

Teniendo en cuenta el tamaño de la zona a cubrir y la distancia mínima a cubrir por cada torre de vigilancia, el número de torres elegido para completar nuestro subsistema de vigilancia es de cuatro torres. Para ello, las cuatro torres se disponen de la forma más equiespaciada posible, pudiendo tener pequeños solapes en lo relacionado a la cobertura de una misma área desde dos torres distintas. El objetivo es conseguir una vigilancia total sobre la zona con el despliegue del menor número de torres posible, de forma que se obtenga una vigilancia eficiente y sin puntos ciegos. Para ello, el despliegue de las torres se hace de forma secuencial, intentando fijar consecutivamente cada torre en el mejor emplazamiento en cuanto a visibilidad, altitud y accesibilidad se refiere. En lo referente a la alimentación eléctrica necesaria para cada torre de vigilancia, al tratarse de una aplicación dedicada a las labores de vigilancia y seguridad, el Ministerio de Defensa corre con los gastos necesarios para transportar y suministrar energía eléctrica a cada uno de los puntos de vigilancia escogidos.

4.2 Proceso de ubicación de las torres de vigilancia

De esta forma, tras conocer todos los requisitos necesarios de cara a determinar una ubicación ideal para nuestras torres de vigilancia, los puntos escogidos para ubicar dichas torres son los siguientes:

- **Torre 1.** Ubicada en las inmediaciones del Golfo de Almería, concretamente en las coordenadas (36°48'48.66"N, 2°25'34.90"O). Dicha torre está instalada a una altura de 8 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una altura propia de 10 metros.

La accesibilidad a esta ubicación, en relación con el proceso de construcción e instalación de la torre, es muy buena ya que estamos a escasos metros de la carretera AL-3202, la cual cubre el corredor marítimo de la ciudad de Almería. Debido a la proximidad con el casco urbano y el paseo marítimo de Almería, el acceso a la alimentación eléctrica no presenta una gran dificultad.

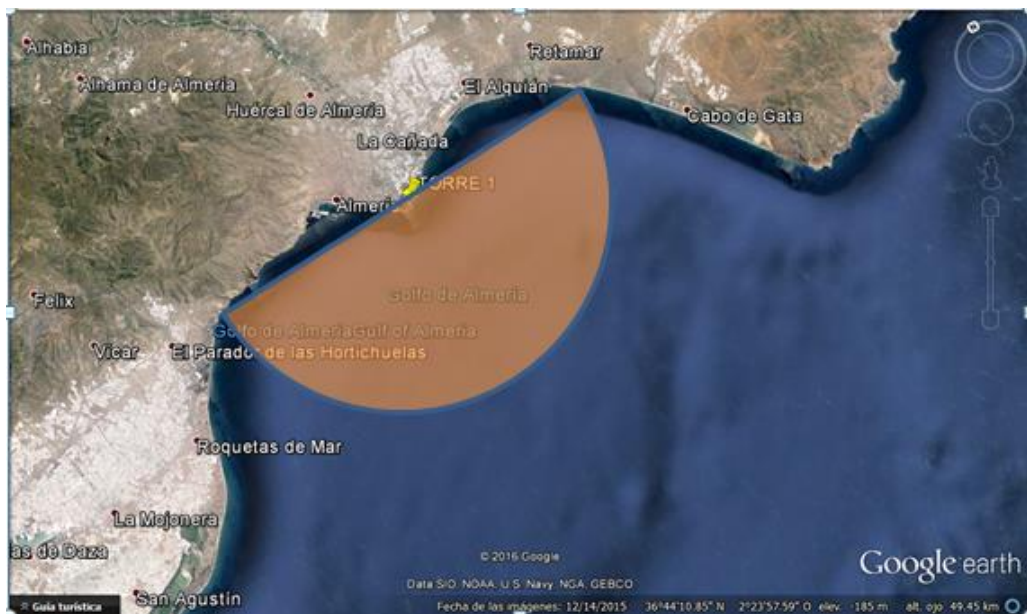


Fig.26 Zona cubierta por Torre 1

Esta torre, al igual que las demás, está equipada con los equipos correspondientes a los subsistemas de vigilancia y comunicaciones descritos en los apartados 3.1 y 3.3, los cuales se corresponden con una cámara térmica (FLIR HRC-X) y otra de visión diurna (FLIR UR-TV), un radar (FLIR RANGER R20SS) y una estación base TETRA + LTE. Además se establecen una antena omnidireccional para comunicarnos con las unidades

patrulla y una o varias antenas directivas para comunicarnos con el resto de torres de vigilancia.



Fig.27 Emplazamiento para Torre 1

La visibilidad desde este emplazamiento es total, ya que no tenemos ningún obstáculo a lo largo de todo nuestro rango de visión, de forma que se puede cubrir toda la zona sin problemas.

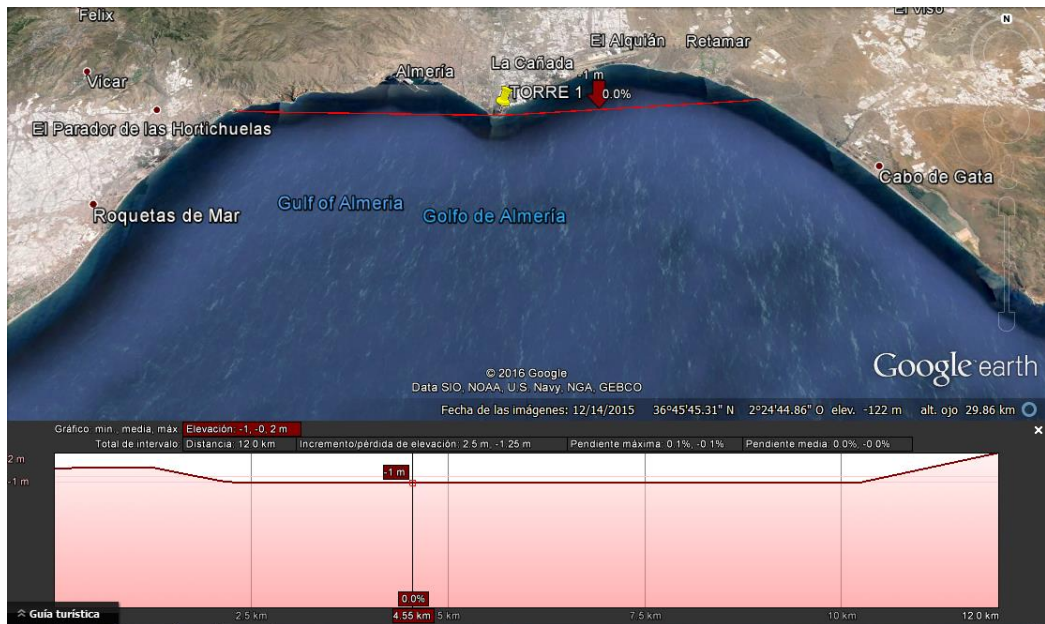


Fig.28 Rango de visión en Torre 1

- **Torre 2.** Ubicada cerca de la punta del Cabo de Gata, concretamente en las coordenadas (36°43'42.60"N, 2°11'58.87"O). Dicha torre está instalada a una altura de 55 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una altura propia de 15 metros.

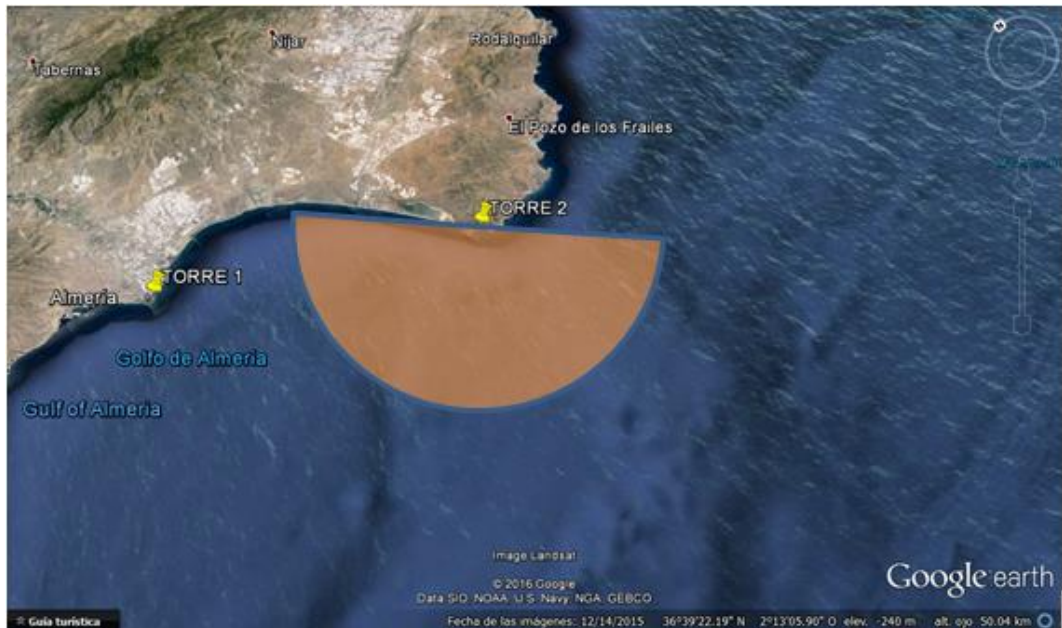


Fig.29 Zona cubierta por Torre 2

La accesibilidad a esta segunda torre, de cara a la construcción e instalación de la misma, es buena ya que estamos muy cerca de la carretera AL-822. En lo referente a la instalación y alimentación eléctrica se tiene una red de alimentación con gran proximidad. Esta red de alimentación aparece rodeada en la figura 30.



Fig.30 Emplazamiento para Torre 2

El equipamiento de esta torre es una cámara térmica (FLIR HRC-X) y otra de visión diurna (FLIR UR-TV), un radar (FLIR RANGER R20SS) y una estación base TETRA + LTE. Además incorpora una antena omnidireccional para comunicarnos con las unidades patrulla y una o varias antenas directivas para comunicarnos con el resto de torres de vigilancia.

En cuanto a la visibilidad desde este emplazamiento, al tener una pequeña porción de superficie terrestre a ambos lados, hemos estudiado el rango de visión en las dos direcciones que nos interesan, de cara a garantizar una visibilidad total.

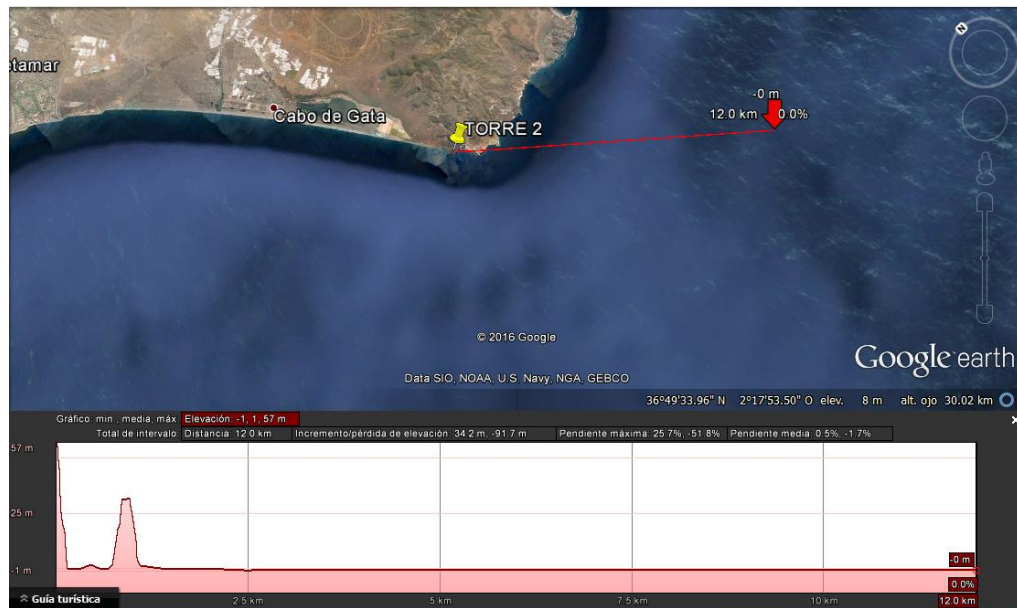


Fig.31 Visibilidad en la Dirección Este para la Torre 2

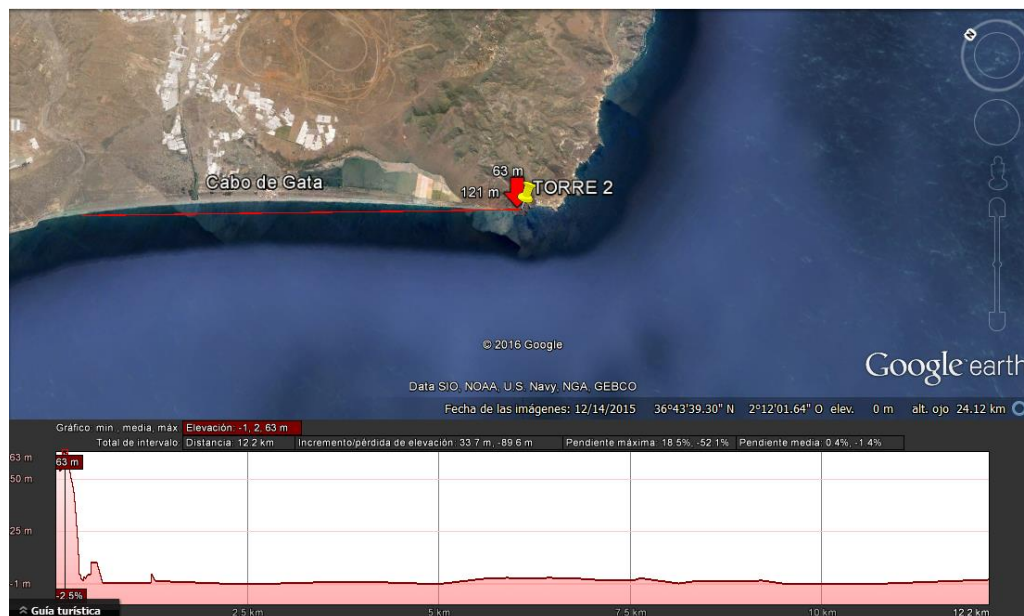


Fig.32 Visibilidad en la Dirección Oeste para la Torre 2

Como se puede observar, al estudiar la visibilidad en dirección oeste se puede comprobar que se tiene un pequeño obstáculo a 5 metros sobre nuestra ubicación. Sin embargo, al dotar nuestra torre de vigilancia con 15 metros de altura, dicho obstáculo queda 10 metros por debajo de nuestras cámaras, de forma que no se tiene ni el más problema de visibilidad.

- **Torre 3.** Ubicada durante la primera fase de dimensionamiento en una zona intermedia entre el Cabo de Gata y San José. Las coordenadas exactas de esta primera ubicación son (36°43'29.42"N, 2°10'14.47"O), teniendo esta ubicación una altura sobre el nivel del mar de 210 metros aproximadamente. Además, esta ubicación cuenta con una buena accesibilidad y con una red eléctrica cercana.



Fig.33 Primera ubicación Torre 3

Sin embargo, tras comenzar a obtener el nivel de visibilidad disponible desde esta ubicación, se observa la presencia de una construcción cercana al emplazamiento de nuestra torre. Tras realizar una búsqueda de información acerca de este edificio se averigua que al lado de la ubicación de nuestra torre de vigilancia está construida la Torre de la Vela Blanca.



Fig.34 Acceso a Torre de la Vela Blanca

Esta torre construída en el siglo XVII, era usada hace siglos para realizar tareas de vigilancia, y en la actualidad forma parte del Parque Cabo de Gata Níjar, siendo además Bien de Interés Cultural. Debido a las dimensiones de la torre y a su ubicación justo en el punto más alto del emplazamiento, se consideran diversas opciones, en cuanto a colocar la torre de vigilancia detrás o delante de la construcción o incluso reutilizar la propia torre. Sin embargo, debido a la rugosidad del terreno en la zona, a la altura de la

torre y a su condición de Bien de Interés Cultural, se desestima finalmente esta ubicación como emplazamiento para la Torre 3.

Natura > Torre de la Vela Blanca

Torre de la Vela Blanca

La torre de Vela Blanca se alza sobre un promontorio volcánico, en Níjar, entre San José y el Cabo de Gata, al sur de Mònsul.

Debe su nombre a que a los pies del primitivo volcán submarino sobre el que se ubica, se encuentra un afloramiento de rocas volcánicas con forma de vela blanca que contrasta con el color oscuro del acantilado. Cuenta la leyenda que la "Vela Blanca" era confundida con un velero por los demás navíos y quedaban éstos varados entre los arrecifes. Construida en 1767, sobre las ruinas de tres antecesoras (desde el S. XII) destruidas por corsarios moriscos y terremotos. Debido a su alta ubicación y la dificultad de su acceso, parte de la cantería fue sustituida por ladrillo. A mediados del siglo XIX la torre se encontraba en buen estado y fue traspasada al cuerpo de Carabineros para vigilancia de la costa. En 1941 pasó a depender de la Guardia Civil. Hacia 1960 fue vendida a un particular que la habitó como vivienda. En 1987 quedó dentro del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar.



Su estado de actual de conservación es bueno. Está declarado como Bien de Interés Cultural.

Fig.35 Información de la Torre de la Vela Blanca

Tras realizar un barrido por toda la zona costera y teniendo en cuenta la imposibilidad de alejarnos demasiado de la zona cubierta por la Torre 2, se decide alojar la Torre 3 en lo alto del Cerro del Fraile. La elección de esta ubicación tiene como principal motivo la imposibilidad para encontrar una ubicación mejor, en cuanto a condiciones de visibilidad y altura. Sin embargo, para establecer nuestra Torre 3 en esta ubicación es necesario crear un acceso hasta la misma mediante el uso de maquinaria pesada, debido a las malas condiciones de accesibilidad de la zona.

De esta forma, la Torre 3 se ubica definitivamente en lo alto del Cerro del Fraile, concretamente en las coordenadas (36°46'54.84"N, 2°4'54.53"O). La altura de esta ubicación sobre el nivel del mar es de 474 metros, siendo de 15 metros la altura de la propia torre de vigilancia. En lo referente a la accesibilidad como se ha mencionado anteriormente, es necesario construir un acceso, probablemente desde el camino de Cala Higuera. La disponibilidad de alimentación eléctrica en este punto es complicada, por lo que es también necesario traer la energía eléctrica desde la red de alimentación más cercana a nuestro emplazamiento.



Fig.36 Zona cubierta por Torre 3

Aprovechando la altura de la ubicación elegida para la Torre 3 y su posición central dentro del sistema, se ha optado por emplear la Torre 3 como nodo central, de forma que a la hora de dimensionar los enlaces de microondas que transportan los flujos, sea en este punto donde se concentran todas los enlaces. De esta forma, la Torre 3 recibe todos flujos captados por el resto de torres y unidades patrullas y las distribuye con dirección al Centro de Control y Mando.

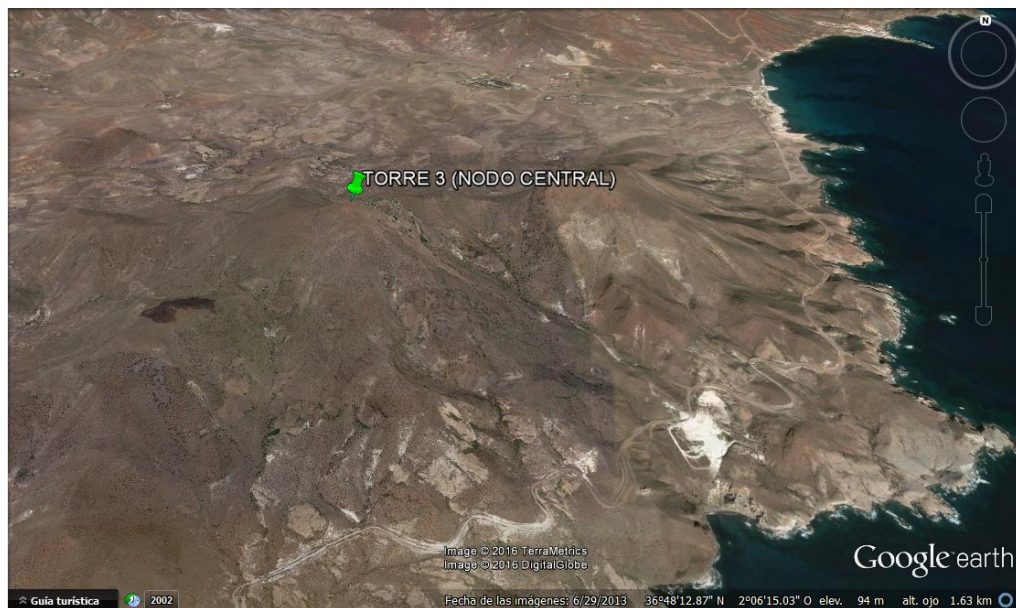


Fig.37 Emplazamiento definitivo para la Torre 3

Por su parte, en cuanto al equipamiento de esta torre, tenemos una cámara térmica (FLIR HRC-X) y otra de visión diurna (FLIR UR-TV), un radar (FLIR RANGER R20SS), una estación base TETRA + LTE y por un Nodo de Control del Sistema (eSCN) al ser el punto donde vamos a concentrar todos los flujos del resto de torres. Además incorporamos una antena omnidireccional para comunicarnos con las unidades patrulla y varias antenas directivas para comunicarnos con el resto de torres de

vigilancia. Por otro lado, en lo referente al apartado de visibilidad hemos realizado un estudio acerca de la visibilidad en las dos direcciones opuestas dentro del área cubierta.



Fig.38 Visibilidad en la Dirección Norte para la Torre 3



Fig.39 Visibilidad en la Dirección Sur para la Torre 3

Como podemos observar, la ubicación escogida para la Torre 3 no presenta ningún tipo de problema en cuando a visibilidad debido a su gran altura.

- **Torre 4.** Ubicada durante la primera fase de dimensionamiento entre las localidades de la Isleta y las Negras, concretamente en las coordenadas (36°50'25.69"N, 2°0'14.26"O). Esta primera ubicación escogida para construir la Torre 4 presenta varias ventajas como su accesibilidad, sus 236 metros de altura sobre el nivel del mar y la cercanía de una red de eléctrica.



Fig.40 Primer emplazamiento para Torre 4

Sin embargo, al igual que nos ocurre en la Torre 3, al realizar el análisis de visibilidad a lo largo de los alrededores de nuestro emplazamiento y de la zona cubierta, observamos la presencia de una construcción inmediatamente al lado de nuestra torre.



Fig.41 Torre de los Lobos ubicada al lado de Torre 4

En este caso, la edificación adyacente a nuestra torre vigía es la Torre del Cerro de los Lobos, construida en 1767 con el objetivo de realizar desde este lugar labores de vigilancia. En la actualidad, la torre pertenece al Ministerio de Obras Públicas y se emplea como faro y torre de comunicaciones. Debido a su buena posición y a la utilidad que tiene como faro, nos es imposible construir nuestra torre delante de la edificación. Además tampoco podemos ubicar nuestra torre al lado ya que limitaría nuestra visibilidad, ni valdría la pena reutilizar dicha torre porque podríamos interferir a los servicios de telecomunicaciones ya ofrecidos.



Fig.42 Torre de los Lobos

De esta forma, se opta por modificar la ubicación de nuestra Torre 4, de forma que se obtenga un nuevo emplazamiento que sea complementario a la reubicación realizada para la Torre 3.

Tras realizar una búsqueda por el perímetro costero con el fin de encontrar un emplazamiento idóneo para nuestra Torre 4, se escoge la zona situada entre las localidades de Las Negras y Agua Amarga. Las coordenadas exactas de nuestra ubicación son (36°54'18.77"N, 1°58'12.36"O) y la altura sobre el nivel del mar es de 240 metros.

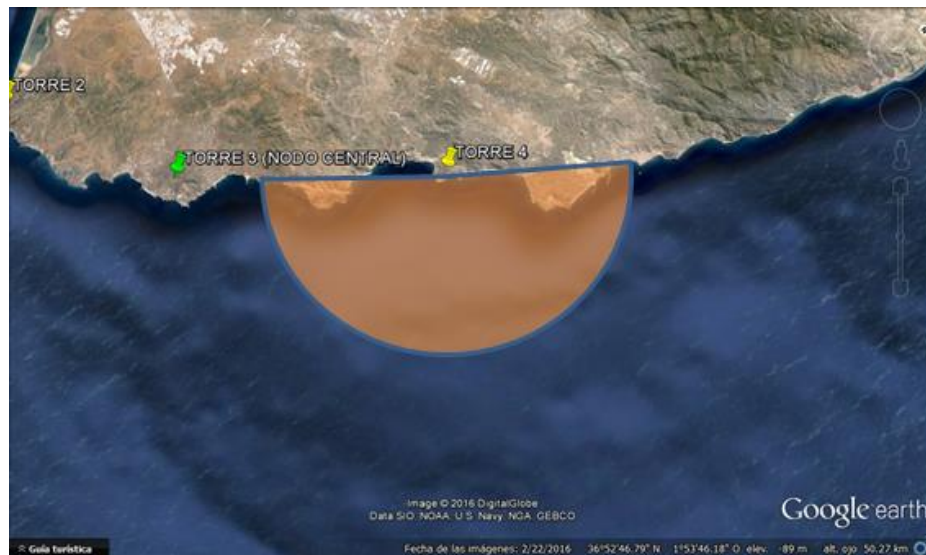


Fig.43 Zona cubierta por Torre 4

La propia altura de la torre es de 15 metros y la accesibilidad al lugar no es óptima, ya que solo se puede acceder mediante senderos. De esta forma hay que adaptar los accesos que llevan a la Cala del Plomo para realizar las labores de construcción e instalación de la torre. En lo referente a la alimentación eléctrica no se observan redes a su paso por la propia ubicación, por lo que es necesario trasladarla desde la red más cercana.

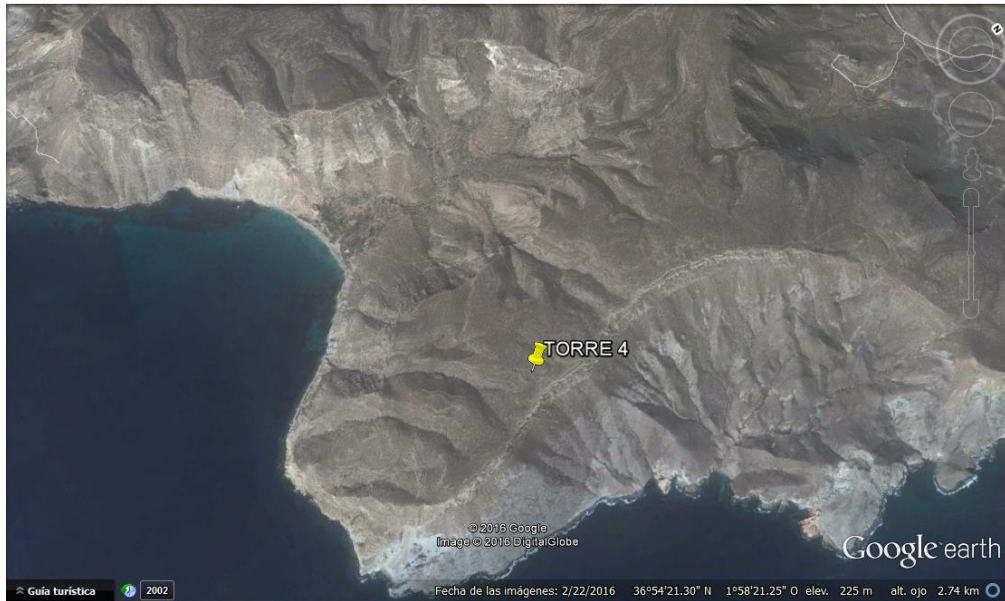


Fig.44 Emplazamiento definitivo para Torre 4

En cuanto al equipamiento fijado en esta torre, tenemos al igual que en el resto una cámara térmica (FLIR HRC-X) y otra de visión diurna (FLIR UR-TV), un radar (FLIR RANGER R20SS) y una estación base TETRA + LTE. Además incorporamos una antena omnidireccional para comunicarnos con las unidades patrulla y una o varias antenas directivas para comunicarnos con el resto de torres de vigilancia.

Por su parte, dentro del estudio de visibilidad desde nuestro emplazamiento se ha demostrado que no hay ningún obstáculo que imposibilite las tareas de vigilancia:



Fig.45 Visibilidad en la Dirección Norte para la Torre 4



Fig.46 Visibilidad en la Dirección Sur para la Torre 4

Una vez ubicadas las torres de vigilancia, el siguiente paso es definir la posición del Centro de Control y Mando. Para ello, hay que tener en cuenta que la torre encargada de enviar toda la información captada por el resto de torres y patrullas es la Torre 3, de forma que es necesario estudiar la orografía del terreno que rodea a la Torre 3 de cara a definir la posición del Centro de Control.

- **Centro de Control y Mando:** Tras analizar la zona cercana al emplazamiento de nuestro sistema, y teniendo en cuenta la importancia y tamaño de las localidades cercanas, se ha decidido fijar como Centro de Control y Mando el Puesto de la Guardia Civil de la localidad almeriense de Níjar. Concretamente este Puesto está ubicado en las coordenadas (36°57'28.06"N, 2°12'5.70"O), presentando una altura sobre el nivel del mar de 293 metros, y sobre el cual se ha instalado una antena direccional a 10 metros de altura sobre el propio edificio. Este Centro de Control y Mando dista de la Torre 3 en una distancia en línea recta de 22.3 kilómetros y está equipado además de con una antena direccional, con el Sistema de Gestión y Control de Redes (eNMS) de Teltronic.



Fig.47 Posición del Centro de Control y Mando en el sistema



Fig.48 Emplazamiento del Centro de Control y Mando

La antena direccional establecida tiene como principal finalidad establecer la comunicación con la Torre 3, de forma que se reciba toda la información captada por el subsistema de comunicaciones.

4.3 Solución final del proceso de planificación y ubicación

De esta forma, tras haber fijado la ubicación de todas las torres de vigilancia y del Centro de Control y Mando, el sistema queda dimensionado de la siguiente manera:



Fig.49 Disposición final de las torres de vigilancia y el Centro de Control y Mando

Emplazamiento	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4
Coordenadas	(36°48'48.66"N, 2°25'34.90"O)	(36°43'42.60"N, 2°11'58.87"O)	(36°46'54.84"N, 2°4'54.53"O)	(36°54'18.77"N, 1°58'12.36"O)
Altura sobre nivel del mar	8 metros	55 metros	474 metros	240 metros
Altura propia torre	10 metros	15 metros	15 metros	15 metros
Accesibilidad	Muy buena	Buena	Necesidad de construir un acceso	Necesidad de adaptar los accesos existentes
Equipamiento vigilancia	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS
Equipamiento TETRA + LTE	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional ANT-116B-FOV	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional ANT-116B-FOV	eSBS + eNodeB LTE + eSCN + Antena omnidireccional ANT-116B-FOV	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional ANT-116B-FOV

Tabla 4. Características de los emplazamientos definitivos

Emplazamiento	Centro de Control y Mando
Coordenadas	(36°57'28.06"N, 2°12'5.70"O)
Altura sobre nivel del mar	293 metros
Altura propia torre	10 metros
Accesibilidad	Muy buena
Equipamiento vigilancia	No tiene
Equipamiento TETRA + LTE	eNMS

Tabla 5. Características de los emplazamientos definitivos

Capítulo 5. Dimensionamiento y cobertura radioeléctrica

Una vez definido el equipamiento utilizado en las torres de vigilancia y el emplazamiento escogido para la ubicación de las mismas, el último paso de cara al diseño de nuestro sistema es el correspondiente al diseño y dimensionamiento de los radioenlaces fijos entre las propias torres de vigilancia. Estos radioenlaces de microondas son los encargados de transportar todos los flujos de datos, voz y vídeo captados por el subsistema de vigilancia, con el fin de llevarlos al Centro de Control y Mando donde son procesados y analizados, y desde donde posteriormente se toman las decisiones en cuanto a la coordinación de operativos.

5.1 Requisitos y especificaciones de los enlaces fijos

De cara al dimensionamiento y estructuración de los enlaces fijos es necesario tener en cuenta los requisitos que nuestro sistema debe cumplir:

- **Disponibilidad:** Nuestro sistema debe ser capaz de estar operativo las 24 horas del día durante todos los días, sin excepciones. La información transportada por los enlaces fijos es en la mayoría de ocasiones crítica por lo que es necesario ser capaces de enviar toda la información captada por los subsistemas de vigilancia en tiempo real hacia el Centro de Control y Mando. Esta disponibilidad implica elevada visibilidad entre las torres de cara a fijar los radioenlaces fijos y elevada ganancia y directividad en sus antenas para combatir las pérdidas de espacio libre. De esta forma buscaremos que el conjunto de enlaces fijos esté operativo en porcentajes del 99.999% del tiempo.
- **Seguridad:** Además de tener un sistema con elevados niveles de disponibilidad, es fundamental que toda la información enviada esté codificada, encriptada y protegida de forma que nadie pueda interceptarla e interpretarla. Para ello, y como se ha mencionado en el apartado 3.3.2, se elige la banda de 15 GHz, la cual está destinada exclusivamente a aplicaciones del Ministerio de Defensa. En cuanto a la codificación y encriptación, es realizada por la ODU escogida mediante el software LINKPlanner, la cual se describe en el próximo subapartado.
- **Caudal o *throughput*:** Aparte de los requisitos de disponibilidad y seguridad que nuestro sistema presenta, es fundamental realizar un correcto dimensionamiento de los radioenlaces en lo que a *throughput* requerido se refiere. Este dimensionamiento se basa en el número de señales de vídeo, datos y voz que los radioenlaces deben transportar. Es necesario tener en cuenta que cada torre de vigilancia debe transportar tanto la información captada por su subsistema de vigilancia fijo, como la captada por las unidades patrulla que pueden estar comunicándose con la torre desde los segmentos aéreos o marítimos. En el apartado 3.1 y 3.2 se han definido los caudales requeridos para transportar los flujos de vídeo e información captados por las cámaras y radares instalados en los subsistemas de vigilancia fijos y móviles. De esta forma, si tenemos en cuenta que el número de unidades móviles total del sistema se divide en dos unidades aéreas y tres marítimas, y suponemos que como máximo una torre de vigilancia puede soportar la comunicación entre una unidad móvil marítima y una unidad móvil aérea simultáneamente, el cálculo del caudal requerido debido a la información captada por el conjunto de subsistemas de vigilancia es el siguiente:

Equipamiento vigilancia en unidades patrulla	Caudal Máximo
Flir Brite Star II + Información Láser + GPS	8 Mbps
Raymarine RD424D (Unidad marítima) o TERMA SLAR 9000 (Unidad aérea)	400 kbps o 1 Mbps

TETRA	28.8 kbps
TOTAL aproximado	10 Mbps

Tabla 6. Caudal requerido por los subsistemas de vigilancia móviles

Equipamiento vigilancia en torres fijas	Caudal Máximo
FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + Laser + GPS	13.5 Mbps
FLIR RANGER R20SS	1 Mbps
TETRA	28.8 kbps
TOTAL aproximado	15 Mbps

Tabla 7. Caudal requerido por los subsistemas de vigilancia fijos

De esta forma, podemos afirmar que el *throughput* necesario para transportar los flujos captados por una patrulla marítima, una patrulla aérea y la torre de vigilancia es de aproximadamente 35 Mbps. Además, es necesario destacar que aunque se debe permitir el establecimiento de comunicaciones en los dos sentidos (desde patrullas a Centro de Control y Mando y viceversa), esta bidireccionalidad solo se aplica a comunicaciones de banda estrecha (voz y datos), ya que no tiene sentido enviar información en forma de flujos de vídeo desde el Centro de Control y Mando hacia las unidades patrulla que están en el segmento aéreo o marítimo. De esta forma, el dimensionamiento de los enlaces fijos debe realizarse bajo el principio de unidireccionalidad, en el sentido desde las torres de vigilancia hacia el Centro de Control y Mando.

Previamente, y antes de realizar el diseño de los radioenlaces fijos mediante el software LINKPlanner es necesario comprobar qué radioenlaces son los que se van a diseñar, ya que probablemente todas las torres no tengan visibilidad directa entre ellas. Como ya se ha mencionado en el apartado 4.2, la torre de vigilancia donde se concentran todos los flujos procedentes del resto de torres y estaciones patrulla es la Torre 3. Este emplazamiento ha sido escogido como nodo central debido a su posición respecto al resto de torres, ya que se encuentra en una posición intermedia respecto a las mismas y a una altura superior a todas las demás.

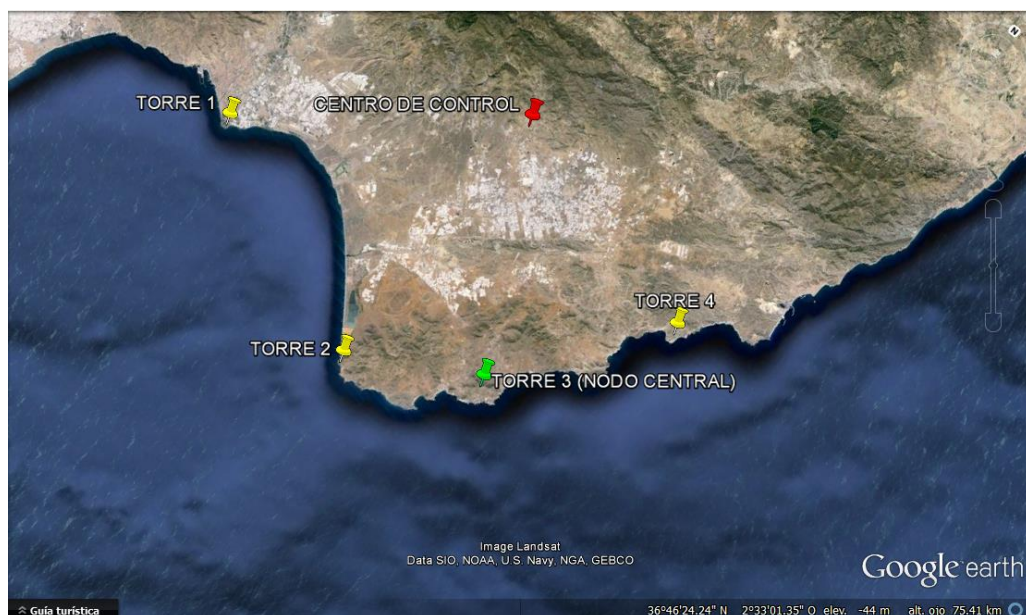


Fig.50 Torre 3 posicionada como nodo central

De esta forma, para comprobar la visibilidad de la que se dispone para establecer los enlaces directos entre Torre 3 y el resto de torres se ha hecho de nuevo uso del software Google Earth.

Mediante este software se han establecido unos radioenlaces “ficticios”, con el fin de comprobar si la visibilidad entre el conjunto de torres vigía y el nodo central es la suficiente de cara a establecer un radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz.

- **Radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.** Radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz entre la Torre 4, situada a 240 metros de altura sobre el nivel del mar, y la Torre 3 ubicada a 474 metros de altura. La longitud en línea recta entre ambos emplazamientos es de 16.9 kilómetros. En cuanto al rango de visión disponible para establecer un enlace directo entre ambas torres, se puede comprobar en la figura 51 que dicho rango es óptimo. Es necesario destacar que para el cálculo del rango de visión no se ha tenido en cuenta la altura de las antenas directivas destinadas a establecer los radioenlaces fijos. Sin embargo, este hecho no es decisivo a la hora de realizar el cálculo ya que como mucho la diferencia de altura entre ambas antenas asciende a 5 metros.

Por otro lado, para calcular el caudal o *throughput* requerido para enviar toda la información captada desde Torre 4, es necesario tener en cuenta tanto la información proporcionada por el subsistema de vigilancia móvil y por el subsistema de vigilancia fijo. De esta forma y en base a los cálculos realizados anteriormente, el caudal necesario para transportar los flujos de vídeo, datos e información captados por dos unidades patrulla en conjunción con los captados por la torre de vigilancia es de aproximadamente 35 Mbps.



Fig.51 Rango de visión entre Torre 4 y Torre 3

- **Radioenlace entre Torre 2 y Torre 3.** Radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz entre la Torre 2, situada a 55 metros de altura sobre el nivel del mar, y la Torre 3 ubicada a 474 metros de altura. La longitud en línea recta entre ambos emplazamientos es de 12.1 kilómetros aproximadamente. Sin embargo, y antes de pasar a calcular el caudal requerido para el radioenlace, es fundamental comprobar que el rango de visión entre la Torre 2 y la Torre 3 es el adecuado para establecer un enlace mediante visión directa.

Como se puede observar en la figura 52, la diferencia de altura sobre el nivel del mar y el conjunto de obstáculos montañosos que se encuentran entre ambas torres impide tener un rango de visión lo suficientemente bueno como para crear un enlace directo. Como consecuencia, se ha buscado un diseño alternativo que permita rodear los obstáculos montañosos y poder así enviar la información captada por los subsistemas de vigilancia fijos y móviles de Torre 2.



Fig.52 Rango de visión entre Torre 2 y Torre 3

Como solución a lo expuesto anteriormente, ante la ausencia de un buen rango de visión entre Torre 2 y Torre 3 para establecer un radioenlace directo entre ambas, se ha optado por enviar la información captada por los subsistemas de vigilancia de Torre 2 a Torre 1. De esta forma, posteriormente estableceremos un radioenlace entre Torre 1 y Torre 3, el cual englobe toda la información captada tanto por Torre 1 como por Torre 2.

- **Radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.** Radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz entre la Torre 2, situada a 55 metros de altura sobre el nivel del mar, y la Torre 1 ubicada a 8 metros de altura. La longitud en línea recta entre ambos emplazamientos es de 22.3 kilómetros aproximadamente. En este caso no tendremos ningún problema en lo que al rango de visión directa se refiere ya que se trata de un radioenlace que realiza su recorrido en gran parte sobre la superficie marítima. Siendo de esta forma, a la hora de realizar el diseño de este radioenlace mediante el software LINKPlanner, será necesario tener en cuenta que las reflexiones sobre la superficie marina tienen un carácter de interferencia destructiva mayor que el que se tiene en reflexiones sobre superficies terrestres.

Por su parte y una vez comprobada la existencia de visión directa entre ambos emplazamientos, pasamos a realizar el cálculo del caudal requerido para enviar toda la información captada desde Torre 2 hacia Torre 1. Para ello y considerando que desde Torre 2 se deben transportar los flujos de vídeo, datos e información captados por dos unidades patrulla en combinación con los captados por la torre de vigilancia, se ha considerado que el caudal requerido para este radioenlace es de aproximadamente 35 Mbps.

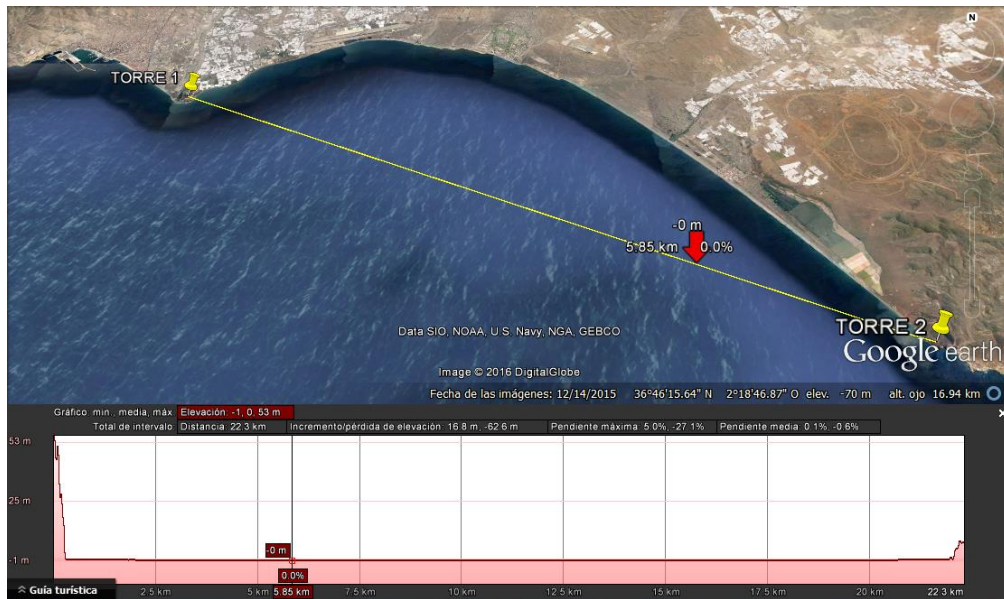


Fig.53 Rango de visión entre Torre 2 y Torre 1

- **Radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.** Radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz entre la Torre 1, situada a 8 metros de altura sobre el nivel del mar, y la Torre 3 ubicada a 474 metros de altura. La longitud en línea recta entre ambos emplazamientos es de 31 kilómetros aproximadamente. Para este radioenlace no tendremos ningún problema respecto al rango de visión entre ambos emplazamientos, ya que en este caso la diferencia de altura de los emplazamientos nos ayuda a salvar el obstáculo montañoso situado cerca de Torre 3. Este radioenlace tiene tanto recorrido sobre superficie marítima como sobre superficie terrestre por lo que tendremos que considerarlo a la hora de compensar las pérdidas por reflexión cuando se realice el diseño mediante LINKPlanner.



Fig.54 Rango de visión entre Torre 1 y Torre 3

En lo referente al cálculo del *throughput* requerido para este radioenlace, debe considerarse que desde Torre 1 deben transportarse todos los flujos enviados previamente desde Torre 2, además de los flujos propios captados por los subsistemas de vigilancia fijos y móviles de Torre 1. De esta forma, considerando que desde Torre 1 se deben transportar los flujos de vídeo, datos e información captados por dos unidades

patrulla en combinación con los captados por la torre de vigilancia y con los enviados desde Torre 2, se ha considerado que el caudal requerido para este radioenlace es de aproximadamente 70 Mbps, siendo 35 Mbps los requeridos para enviar la información de Torre 2 y 35 Mbps los requeridos para enviar la información de Torre 1.

Tras comprobar la visión directa entre Torre 3 y el resto de torres de vigilancia, el siguiente paso es comprobar la existencia de visibilidad entre el nodo central (Torre 3) y el Centro de Control y Mando. Además, también se ha calculado el nivel de caudal requerido para establecer un radioenlace entre ambas ubicaciones.

- **Radioenlace troncal entre Torre 3 y el Centro de Control y Mando.** Radioenlace fijo a la frecuencia de 15 GHz entre la Torre 3, situada a 474 metros de altura sobre el nivel del mar, y el Centro de Control y Mando, ubicado en el puesto de la Guardia Civil de Níjar a 293 metros de altura sobre el nivel del mar. La longitud en línea recta entre ambos emplazamientos es de 22.3 kilómetros aproximadamente. En cuanto a la visión directa entre ambos puntos, se puede considerar óptima ya que no hay ningún obstáculo entre ambos que la imposibilite.

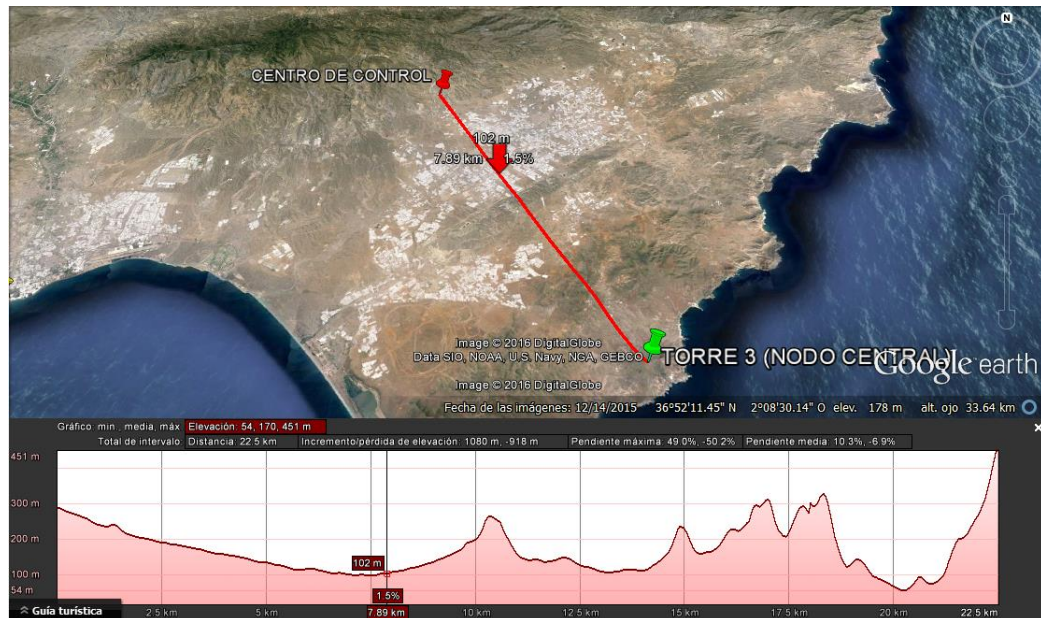


Fig.55 Rango de visión entre Torre 3 y Centro de Control y Mando

Respecto al cálculo del caudal requerido para dicho enlace, debe tenerse en cuenta que sobre este radioenlace se va a enviar toda la información captada por los cuatro subsistemas de vigilancia fijos y por los cuatro subsistemas de vigilancia instalados en las dos unidades patrulla que se han supuesto para comunicarse con cada torre. De esta forma, teniendo en cuenta que se ha recibido la información correspondiente de Torre 1, Torre 2 y Torre 4, y que además se debe enviar la captada por los subsistemas de vigilancia de Torre 3, se ha predispuesto un caudal de aproximadamente 140 Mbps para el radioenlace troncal que une Torre 3 con el Centro de Control y Mando.

De esta forma, la disposición de los diversos radioenlaces que interconectan las torres de vigilancia costera con el Centro de Control y Mando, establecido en la localidad de Níjar, es la mostrada en la figura 56. En esta figura se ha destinado el color verde para los radioenlaces realizados entre las torres de vigilancia, mientras que se ha dibujado con color rojo el radioenlace troncal entre Torre 3 y el Centro de Control y Mando. Además se ha hecho referencia al *throughput* requerido por los distintos radioenlaces variando el grosor de los trazos representados en la figura.

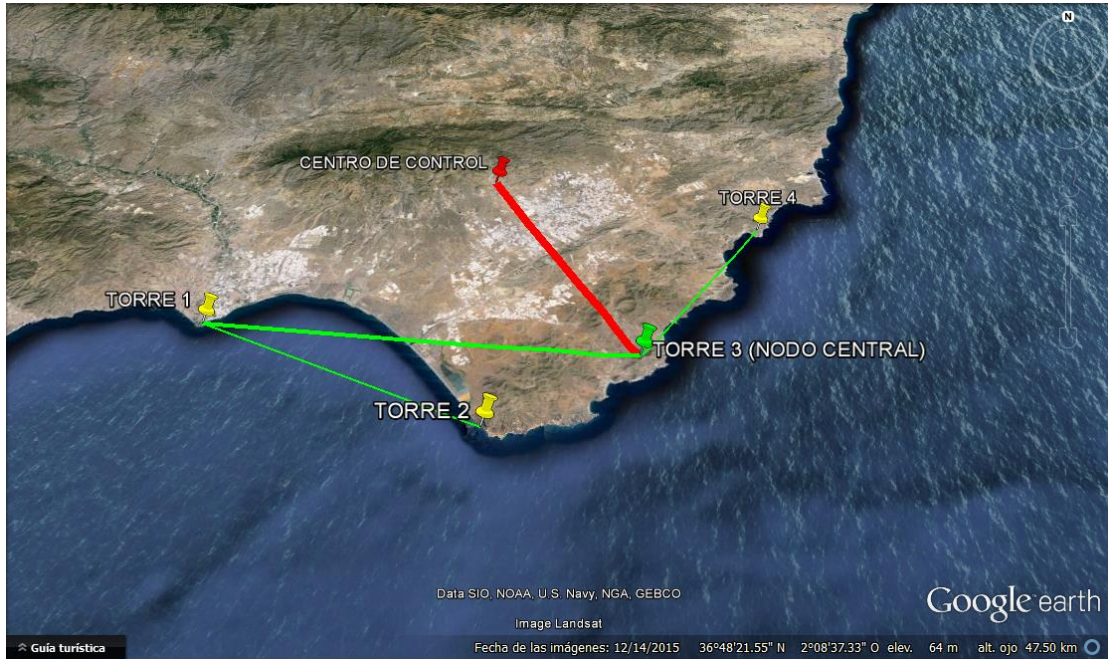


Fig.56 Disposición de los radioenlaces entre las distintas torres y el Centro de Control y Mando.

Radioenlace	Distancia aproximada	Origen de la información transportada	Caudal Requerido
Torre 4 – Torre 3	16.9 Km	Subsistemas de Torre 4	35 Mbps
Torre 2 – Torre 1	22.3 Km	Subsistemas de Torre 2	35 Mbps
Torre 1 – Torre 3	31 Km	Subsistemas de Torre 1 y Torre 2	70 Mbps
Torre 3 – Centro de Control y Mando	22.3 Km	Subsistemas de Torre 1, Torre 2, Torre 3 y Torre 4	140 Mbps

Tabla 8. Características de los radioenlaces entre las distintas torres y el Centro de Control y Mando

5.2 Dimensionamiento mediante LINKPlanner

Una vez analizados los rangos de visión y el caudal de cara a establecer los correspondientes radioenlaces entre los distintos emplazamientos, el siguiente paso consiste en diseñar y dimensionar dichos radioenlaces mediante LINKPlanner. Este software nos permite realizar un análisis muy detallado acerca de las frecuencias de trabajo empleadas, la capacidad de los radioenlaces diseñados y su disponibilidad a lo largo del tiempo. Además, permite fijar las torres en la misma posición que se ha estimado mediante Google Earth a través de la inserción de sus coordenadas.

En primer lugar, y antes de describir las especificaciones correspondientes a los distintos radioenlaces, es necesario colocar en nuestro proyecto de LINKPlanner los distintos emplazamientos en las ubicaciones definidas en el capítulo 4.

Para ello, y una vez creado nuestro proyecto de nombre TFG a través de la opción *New Project* dentro del menú *File*, añadimos uno a uno los distintos *sites*, los cuales se corresponden con las

torres de vigilancia. Para añadir estos *sites*, seleccionaremos la opción *New Network Site*, como bien se muestra en la figura 57.



Fig.57 Interfaz gráfico del Software LINKPlanner

Al seleccionar esta opción aparece una ventana sobre la cual podemos introducir el nombre del emplazamiento que queremos añadir, sus coordenadas en latitud y longitud, la máxima altura del propio emplazamiento que queremos establecer y una breve descripción.

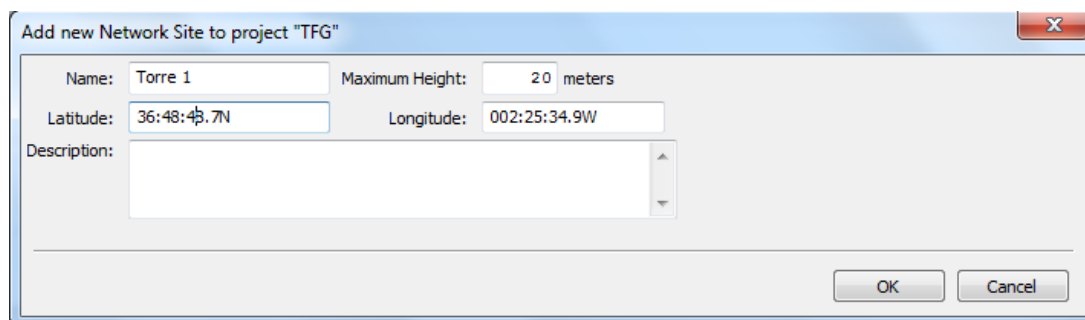


Fig.58 Cómo añadir nuevo emplazamiento en LINKPlanner

De esta forma y siguiendo con el orden establecido en el apartado 4, añadimos todos los emplazamientos correspondientes a las cuatro torres de vigilancia, así como al Centro de Mando y Control.

Network Sites in TFG				
Name	Latitude	Longitude	Maximum Height (m)	Description
Centro de Mando y Control	36:57:28.1N	002:12:05.7W	20	
Torre 1	36:48:48.7N	002:25:34.9W	20	
Torre 2	36:43:42.6N	002:11:58.9W	20	
Torre 3	36:46:54.8N	002:04:54.5W	20	
Torre 4	36:54:18.8N	001:58:12.4W	20	

Fig.59 Emplazamientos establecidos en nuestro proyecto

Tras ubicar las distintas torres de vigilancia y el Centro de Control y Mando, el siguiente paso consiste en dimensionar uno a uno los distintos radioenlaces que se han descrito en el subapartado 5.1, de forma que se compruebe su visibilidad, su disponibilidad, el balance de pérdidas y su caudal.

Para ello estableceremos varios enlaces punto a punto (PTP), mediante la opción *New PTP Link*, la cual nos permite añadir un enlace entre dos emplazamientos distintos.

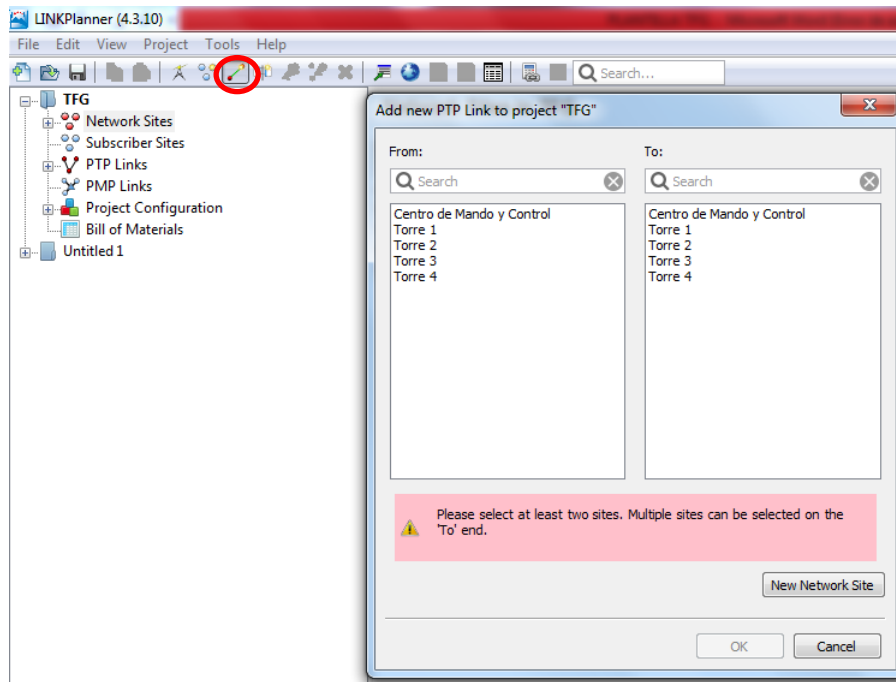


Fig.60 Cómo añadir un enlace PTP en LINKPlanner

De esta forma, a continuación se generan los distintos enlaces descritos anteriormente, detallando sus especificaciones:

- **Radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.** Establecido en la banda de 15 GHz, dentro de la cual se ha fijado la frecuencia de 14.865 GHz para transmisiones desde la Torre 4 hacia la Torre 3 y la frecuencia de 15.180 GHz para transmisiones desde la Torre 3 hacia la Torre 4. En lo referente a la regulación de frecuencias, la aplicada en este caso es la ETSI, la cual se corresponde con el Instituto de Estándares de Telecomunicación, por lo que dicha regulación es válida para el territorio español. Por su parte, el equipamiento empleado de cara a la ODU (*Outdoor Unit*), es el correspondiente al PTP15800 de Cambium Networks, el cual engloba todos los dispositivos encargados de realizar las tareas de codificación, amplificación, mezclado, etc. Por otro lado, la tipología del enlace es 1+0, lo que implica que el enlace es de tipo simple, es decir, un solo radioenlace entre ambos emplazamientos.

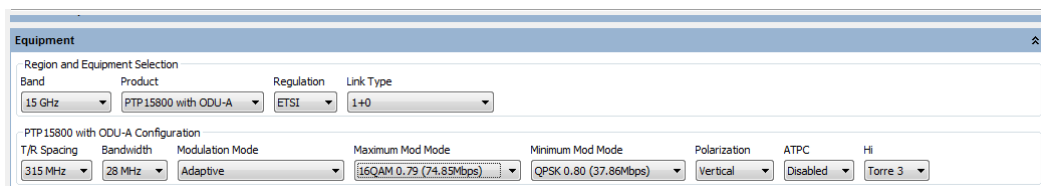


Fig.61 Características del radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.

En lo que respecta a las especificaciones más concretas del equipamiento escogido para la ODU, el espaciado entre la frecuencia de transmisión y recepción se ha escogido de 315 MHz. Este espaciado se ha seleccionado teniendo en cuenta que la subbanda tomada en el presente proyecto para establecer los radioenlaces, es la mencionada en la Nota UN-66 [18], la cual engloba desde los 14.753 GHz hasta 14.865 GHz y desde los 15.173 GHz hasta 15.285 GHz. De esta forma, hay que tener en cuenta que la separación entre las frecuencias de transmisión y recepción debe coincidir con estas subbandas. Además, también es necesario procurar que las frecuencias de transmisión y recepción no estén lo suficientemente juntas entre sí ya que podrían interferirse. Para el presente proyecto se ha garantizado una separación entre las propias frecuencias de

transmisión y entre las de recepción para un propio emplazamiento de alrededor de 90 MHz. En relación con lo explicado, se ha decidido establecer la frecuencia de transmisión más alta en Torre 3, ya que en este emplazamiento se recibirán flujos de tres radioenlaces distintos, y se ha optado por cuadrar las distintas frecuencias con separaciones de 90 MHz en la parte alta de la subbanda.

Por su parte, centrándonos en el ancho de banda empleado para cada radiocanal, se ha fijado un ancho de 28 MHz como se especifica en la Nota UN-66. Este ancho de banda junto con modulaciones QPSK, 8PSK o 16QAM, nos proporciona un orden de caudal de entre 37 y 75 Mbps. Con este caudal en principio estamos cubriendo las necesidades de este radioenlace ya que como bien se especifica en la Tabla 8, el caudal necesario para enviar todos los flujos de información es de 35 Mbps. De todas formas, se ha fijado un caudal máximo de transmisión de 50 Mbps, dejando algo de margen respecto a los 35 Mbps requeridos por si hubiera que añadir algún flujo más respecto alguna línea futura. El tipo de modulaciones mencionadas se ha fijado con un carácter adaptativo, donde en función de las condiciones meteorológicas y demás agentes externos, se escoge una modulación u otra. Por otro lado, la polarización escogida es vertical y el control de potencia automático (ATPC) se ha desactivado, por lo que la potencia transmitida es la misma en cualquier instante.

Las antenas empleadas para establecer las comunicación entre las dos torres son las 1ft HP Antenna 85010089055, las cuales son especialmente directivas y presentan 32.7 dB de ganancia. La altura de estas antenas respecto al suelo se ha fijado en 15 metros, ya que tanto Torre 3 como Torre 4 están en emplazamientos rurales y por tanto no es necesario limitar demasiado la altura.

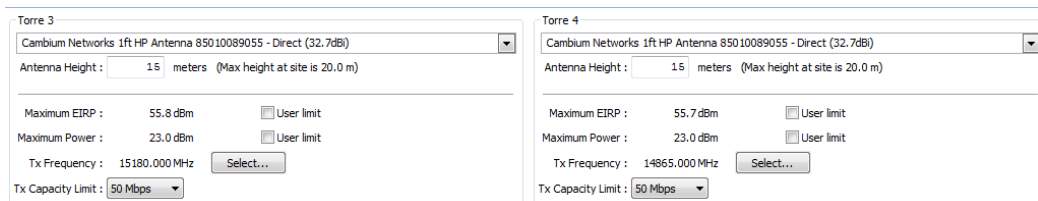


Fig.62 Características del radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.

Respecto a la disponibilidad del presente radioenlace se ha obtenido un nivel del 99.9986 %, no teniendo disponibles 37 Mbps para transmitir información durante 7.3 minutos durante todo el año.

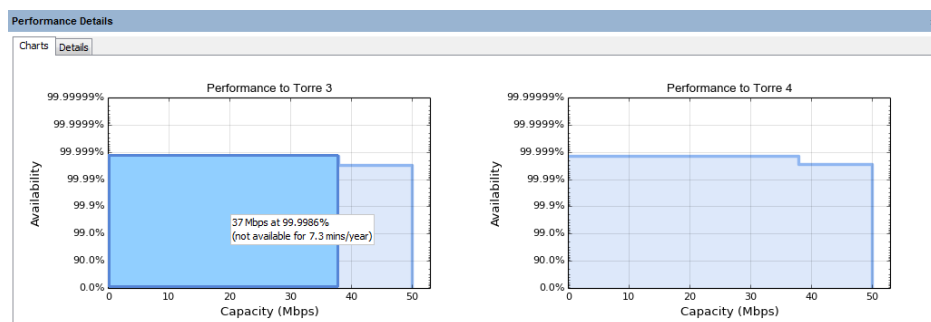


Fig.63 Disponibilidad del radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.

Respecto al balance de potencia podemos observar que nuestro equipamiento de la ODU introduce una ganancia de 34 dB, combatiendo las pérdidas de espacio libre y por absorción de gases de 141 dB. Además como se ha seleccionado una modulación adaptativa, dispondremos de un caudal de 50 Mbps ante posibles sobredimensionamientos, en cada dirección durante todo el tiempo excepto durante 15.3

minutos al año. Este hecho hace que nuestro radioenlace pueda disponer en ambas direcciones de un caudal agregado de 100 Mbps durante el 99.9986% del tiempo.

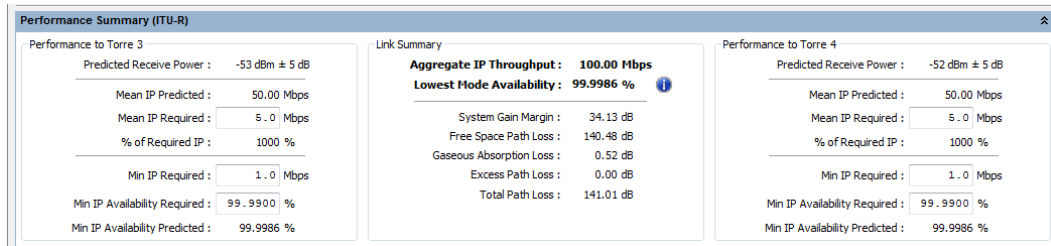


Fig.64 Disponibilidad y balance de potencias del radioenlace entre Torre 4 y Torre 3.

Por último, también podemos observar que LINKPlanner nos muestra un perfil en el que se especifica la visión directa entre las dos torres, de forma que se puede apreciar que la aproximación realizada con Google Earth iba bien encaminada.

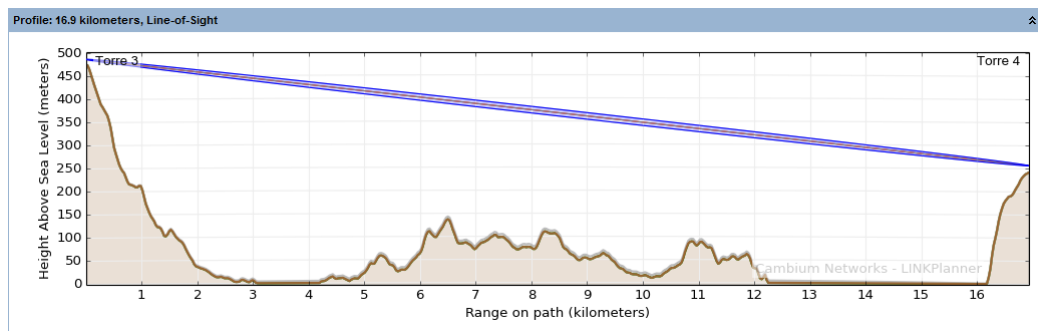


Fig.65 Perfil del radioenlace entre Torre 3 y Torre 4

- **Radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.** Establecido en la banda de 15 GHz, sobre la cual se ha fijado la frecuencia de 14.860 GHz para transmisiones desde la Torre 2 hacia la Torre 1 y la frecuencia de 15.175 GHz para transmisiones desde la Torre 1 hacia la Torre 2. La regulación de frecuencias aplicada es nuevamente la ETSI y el equipamiento empleado de cara a la codificación, mezclado y amplificación es el PTP15800 de Cambium Networks. El enlace es de tipo 1+0, es decir, entre ambos emplazamientos hay un único radioenlace de tipo simple.

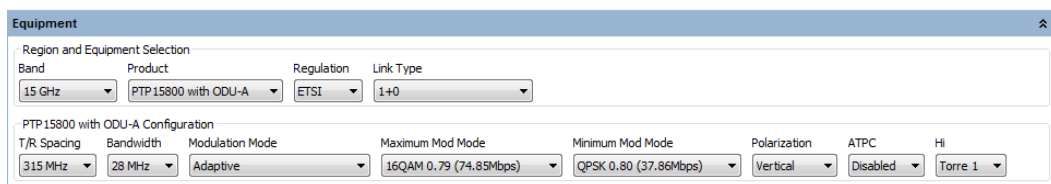


Fig.66 Características del radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.

En lo referente a las especificaciones más concretas del ODU, el espaciado entre la frecuencia de transmisión y recepción se ha escogido de 315 MHz, en base al rango de frecuencias disponible para aplicaciones del Ministerio de Defensa especificado en la Nota UN-66 [18]. De esta forma, y teniendo en cuenta la separación entre las frecuencias de transmisión y recepción, y que el emplazamiento de Torre 1 va a ser origen y destino de dos radioenlaces diferentes, se ha procurado establecer una separación igual o mayor a 90 MHz, entre las frecuencias de transmisión y recepción de ambos radioenlaces.

Por otro lado, centrándonos en el ancho de banda empleado para cada radiocanal, se ha fijado un ancho de banda de 28 MHz como se especifica en la Nota UN-66. Este ancho de banda

empleado con modulaciones QPSK, 8PSK o 16QAM, proporciona niveles de caudal de entre 37 y 75 Mbps. Con este *throughput* en principio se cubren las necesidades de este radioenlace, ya que se especifica en la Tabla 8, el caudal necesario para enviar todos los flujos de información en este radioenlace en concreto es de 35 Mbps. Sin embargo, se ha fijado como límite máximo para el caudal el valor de 50 Mbps, con la intención de sobredimensionar el enlace, dejando así la posibilidad de añadir algún flujo más respecto posterior modificación. Las modulaciones mencionadas se han fijado con un carácter adaptativo, donde en función de las condiciones meteorológicas y demás agentes externos, se escoge una modulación u otra. Por otro lado, la polarización escogida es la vertical y el control de potencia automático (ATPC) se ha desactivado.

Las antenas empleadas en este caso para enlazar las dos torres son las 6ft HP Antenna 85010089035, las cuales son especialmente directivas y presentan 46.2 dB de ganancia. La ganancia de estas antenas es mayor que las del radioenlace anterior debido a que la naturaleza de este radioenlace es marítima casi en su totalidad, de forma que debido a las reflexiones provocadas por la superficie marina, es necesario introducir antenas de mayor ganancia para combatir las interferencias destructivas originadas. La altura de estas antenas respecto al suelo se ha fijado en 15 metros para la Torre 2 y en 10 metros para la Torre 1, ya que esta última se encuentra en la periferia de la ciudad de Almería y se ha buscado reducir el impacto medioambiental con una antena más baja que en el emplazamiento de Torre 2, el cual se encuentra en un ámbito rural.

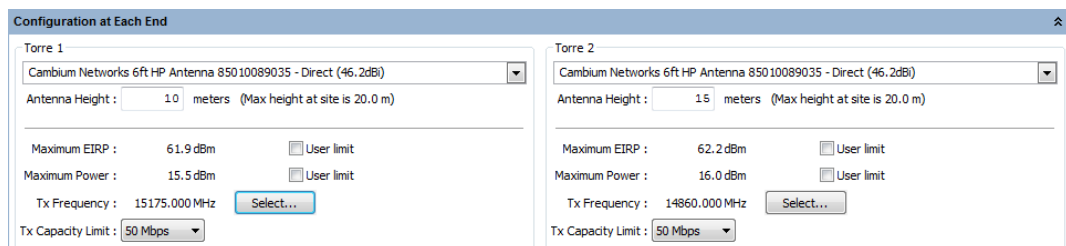


Fig.67 Características del radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.

En lo referente a la disponibilidad del radioenlace se ha obtenido un nivel de disponibilidad en el 99.9995 % del tiempo, de forma que únicamente no se dispone de un caudal de 37 Mbps durante 2.8 minutos durante todo el año.

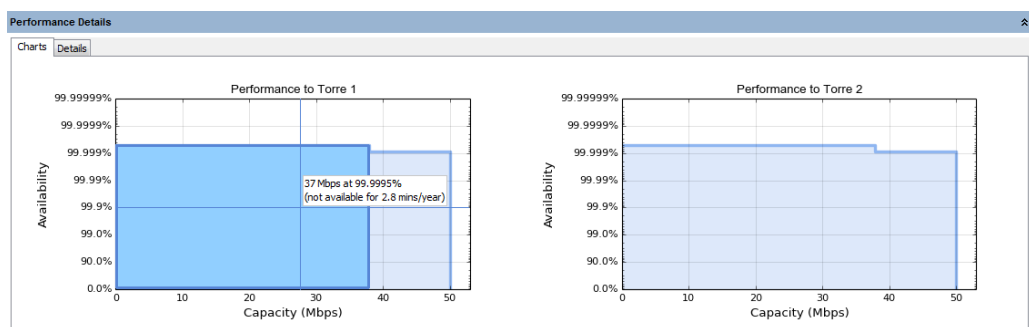


Fig.68 Disponibilidad del radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.

Respecto al balance de potencias podemos observar que el equipamiento empleado en la ODU introduce una ganancia de 51.36 dB, combatiendo las pérdidas de espacio libre y por absorción de gases de 143.68 dB. Además como se ha seleccionado una modulación adaptativa, dispondremos de un caudal de 50 Mbps ante posibles sobredimensionamientos, en cada dirección durante todo el tiempo excepto durante 4.8 minutos al año. Este hecho hace que nuestro radioenlace pueda disponer en ambas direcciones de un caudal agregado de 100 Mbps durante el 99.9995% del tiempo.

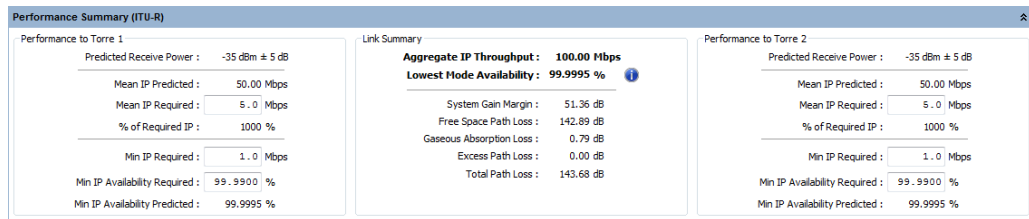


Fig.69 Disponibilidad y balance de potencias del radioenlace entre Torre 2 y Torre 1.

Por último, el perfil proporcionado por LINKPlanner que nos muestra la visión directa entre ambos emplazamientos es el siguiente:

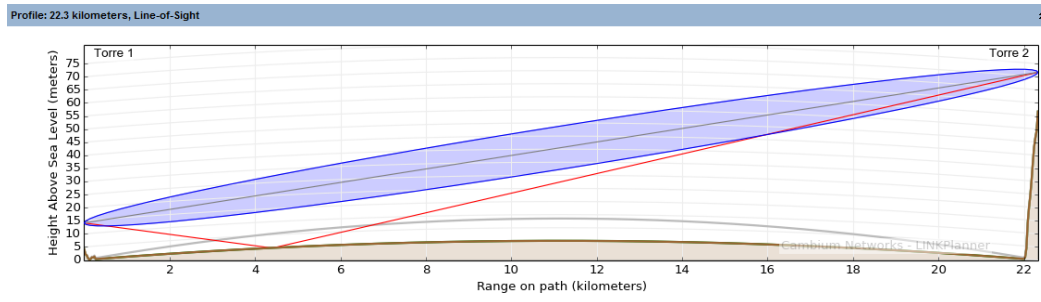


Fig.70 Perfil del radioenlace entre Torre 1 y Torre 2

- **Radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.** Establecido en la banda de 15 GHz, dentro de la cual se hace uso de la frecuencia de 14.785 GHz para transmisiones desde Torre 3 hacia Torre 1 y de la frecuencia de 15.275 GHz para transmisiones desde la Torre 1 hacia la Torre 3. La regulación aplicada es la ETSI y el equipamiento de la ODU es de nuevo el correspondiente al PTP15800 de Cambium Networks, el cual nos sirve para establecer un enlace entre ambos emplazamientos de tipo simple, 1+0.

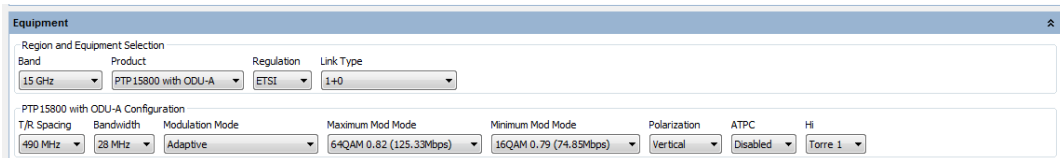


Fig.71 Características del radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.

En lo relacionado con el espaciado entre la frecuencia de transmisión y recepción se ha optado por un espaciado mayor que en los casos anteriores, donde transmisión y recepción se han separado en 490 MHz. Esta variación del espaciado se debe al carácter de nodo central que presenta Torre 3, el cual establece radioenlaces distintos con tres emplazamientos, de forma que las frecuencias empleadas para transmisión y recepción con estos tres emplazamientos deben estar separadas como mínimo 90 MHz. Esta separación en frecuencia debe además estar dentro de los límites marcados por la Nota UN-66 [18] respecto a las subbandas disponibles. En relación con lo explicado, se ha decidido establecer la frecuencia de transmisión más alta en Torre 1, únicamente con el objetivo de mantener la separación en MHz mencionada anteriormente.

En cuanto al ancho de banda empleado para cada radiocanal, se han fijado 28 MHz que junto con modulaciones de entre 16QAM, 32QAM o 64QAM, proporcionan un orden de caudal de entre 75 y 125 Mbps. Con este caudal en principio estamos cubriendo las necesidades de este radioenlace ya que como bien se especifica en la Tabla 8, el caudal necesario para enviar los flujos provenientes de Torre 1 y Torre 2 hacia Torre 3, es aproximadamente de 70 Mbps. Sin embargo, con el fin de dejar abierta la opción de realizar modificaciones en el sistema, se ha fijado una capacidad máxima de 100 Mbps

en cada sentido, ante posibles sobredimensionamientos. El tipo de modulaciones mencionadas se ha fijado con un carácter adaptativo, donde en función de las condiciones meteorológicas y demás agentes externos, se escoge una modulación u otra. Por otro lado, la polarización escogida es vertical y el control de potencia automático (ATPC) se ha desactivado, por lo que la potencia transmitida es la misma en cualquier instante.

Las antenas empleadas en este caso para enlazar las dos torres son las 6ft HP Antenna 85010089035, las cuales son especialmente directivas y presentan 46.2 dB de ganancia. La ganancia de estas antenas es de nuevo mayor que en el caso del radioenlace establecido entre Torre 4 y Torre 3, ya que debido a las reflexiones provocadas por la superficie marina, es necesario introducir antenas de mayor ganancia para combatir las interferencias destructivas originadas. La altura de estas antenas respecto al suelo se ha fijado en 15 metros para la Torre 3 y en 10 metros para la Torre 1, ya que Torre 1 se encuentra en la ciudad de Almería y no es conveniente establecer alturas de antena tan elevadas.

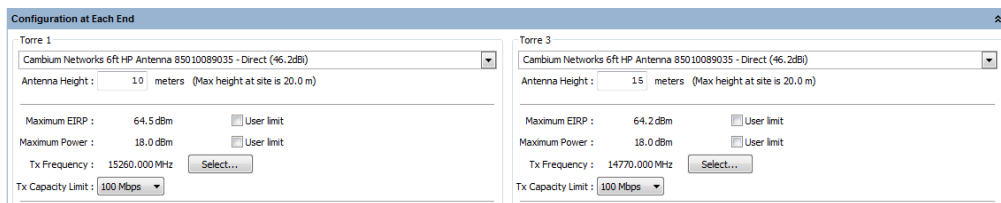


Fig.72 Características del radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.

En cuanto a la disponibilidad del presente radioenlace se han conseguido niveles de disponibilidad en el 99.9985 % del tiempo, de forma que el caudal de 75 Mbps no está disponible durante 7.5 minutos al año.

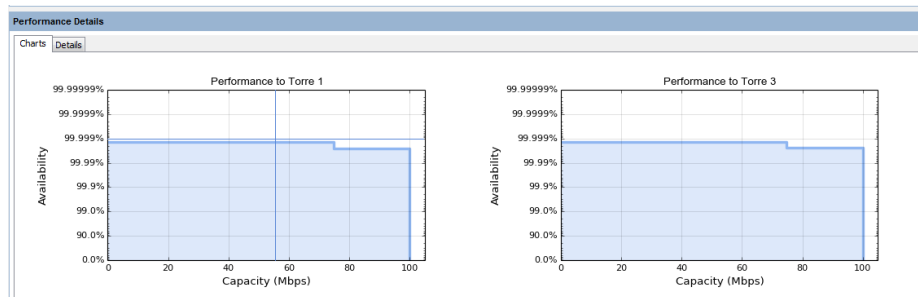


Fig.73 Disponibilidad del radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.

Respecto al balance de potencia podemos observar que la ODU introduce una ganancia de 44.55 dB, combatiendo las pérdidas de espacio libre y por absorción de gases de 146.73 dB. Además como se ha seleccionado una modulación adaptativa, dispondremos de un caudal de 100 Mbps ante posibles sobredimensionamientos, en cada dirección durante todo el tiempo excepto durante 13.3 minutos al año. Este hecho hace que nuestro radioenlace pueda disponer en ambas direcciones de un caudal agregado de 200 Mbps durante el 99.9985% del tiempo.

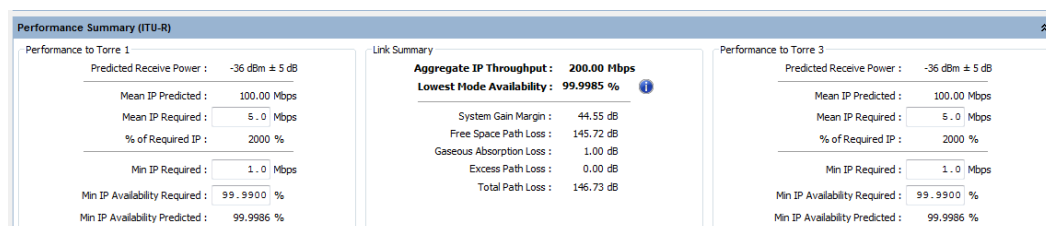


Fig.74 Disponibilidad y balance de potencias del radioenlace entre Torre 1 y Torre 3.

Por último, el perfil que LINKPlanner nos muestra respecto a la visión directa entre las dos torres es el siguiente:

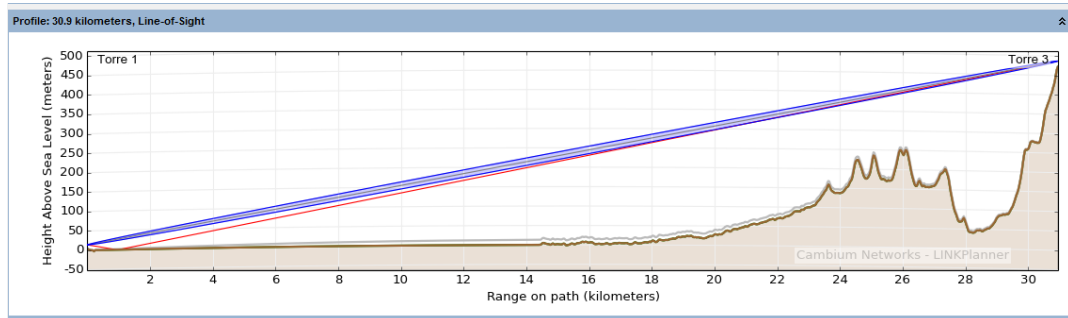


Fig.75 Perfil del radioenlace entre Torre 1 y Torre 3

- **Radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control y Mando.** Establecido en la banda de 15 GHz, dentro de la cual se ha fijado la frecuencia de 14.860 GHz para transmisiones desde la Torre 3 hacia el Centro de Control y la frecuencia de 15.175 GHz para transmisiones desde el Centro de Control hacia la Torre 3. La regulación de frecuencias aplicada es la ETSI, la cual es válida para el territorio español, el equipamiento empleado en la ODU (*Outdoor Unit*) es el correspondiente al PTP15800 de Cambium Networks y la tipología del enlace es 1+0, siendo de tipo simple.

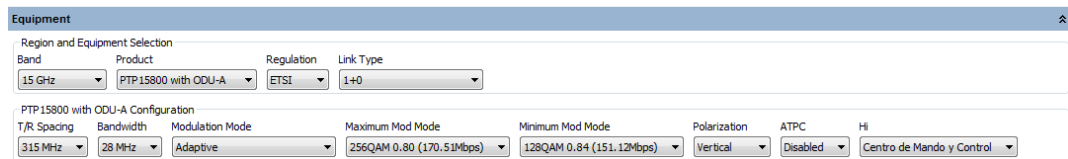


Fig.76 Características del radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control y Mando

En lo relacionado al espaciado entre la frecuencia de transmisión y recepción se ha escogido de 315 MHz, manteniendo en todo caso la separación de 90 MHz en el nodo central de Torre 3 para las transmisiones y recepciones de los distintos radioenlaces que se combinan en este nodo. Este hecho está relacionado con la elección de ubicar la frecuencia de transmisión más alta en Centro de Control y Mando, con el objetivo de cuadrar las frecuencias de transmisión y recepción con su separación mínima en Torre 3.

Por su parte, el ancho de banda empleado para cada radiocanal, se ha fijado un ancho de 28 MHz como se especifica en la Nota UN-66. Con este ancho de banda junto con modulaciones 128 QAM o 256QAM, podemos llegar a conseguir caudales de alrededor de 170 Mbps. De esta forma, con este caudal se cubren las necesidades de este radioenlace el cual necesita 140 Mbps de caudal, ya que transporta toda la información del subsistema de vigilancia de todas las torres. El tipo de modulaciones mencionadas se ha fijado con un carácter adaptativo, donde en función de las condiciones meteorológicas y demás agentes externos, se escoge una modulación u otra. Por otro lado, la polarización escogida es vertical y el control de potencia automático. (ATPC) se ha desactivado, por lo que la potencia transmitida es la misma en cualquier instante.

Las antenas empleadas en este caso para enlazar las dos torres son las 6ft HP Antenna 85010089035, las cuales son especialmente directivas y presentan 46.2 dB de ganancia. En este caso se ha establecido la ganancia de 46.2 dB para conseguir una disponibilidad elevada del radioenlace, ya que con los niveles de caudal transportado era complicado establecer una alta disponibilidad sin poder variar el ancho de banda del radiocanal, el

cual viene fijado en la norma UN-66. La altura de estas antenas respecto al suelo se ha fijado en 15 metros para la Torre 3 y en 10 metros para el Centro de Control, ya que este Centro de Control está ubicado en la localidad de Níjar y no es conveniente colocar antenas a alturas demasiado elevadas en ciudad.

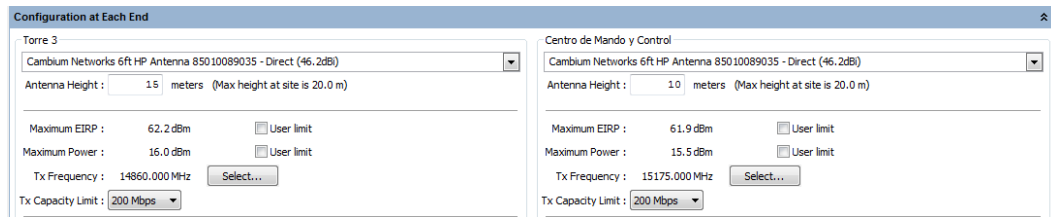


Fig.77 Características del radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control.

Respecto a la disponibilidad del presente radioenlace se ha obtenido unos niveles de disponibilidad en el 99.9981 % del tiempo, de forma que durante 9.2 minutos al año este radioenlace troncal no está disponible.

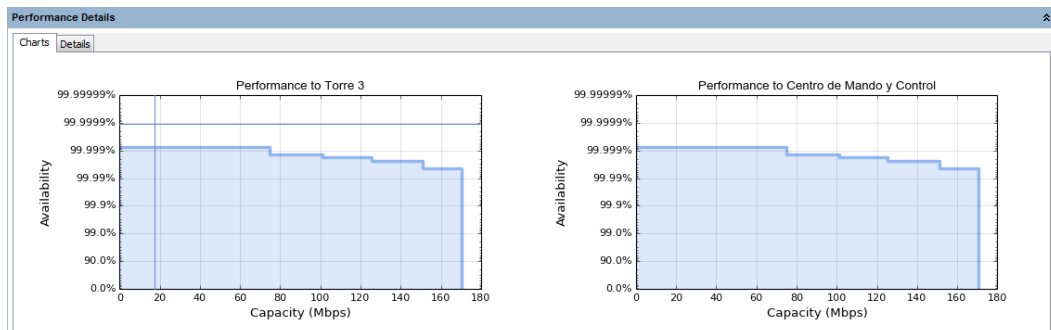


Fig.78 Disponibilidad del radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control.

En cuanto al balance de potencia podemos observar que nuestra ODU introduce una ganancia de 45.88 dB, combatiendo las pérdidas de espacio libre y por absorción de gases de 143.54 dB. Además como se ha seleccionado una modulación adaptativa, dispondremos de un caudal de 170 Mbps ante posibles sobredimensionamientos, en cada dirección y durante todo el tiempo excepto durante 24.7 minutos al año. Este hecho hace que nuestro radioenlace pueda disponer en ambas direcciones de un caudal agregado de 341.01 Mbps durante el 99.9981% del tiempo.

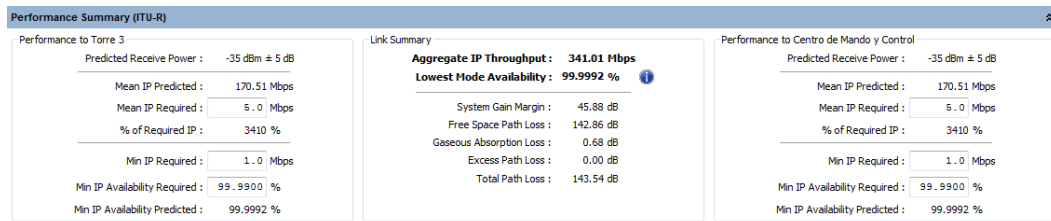


Fig.79 Disponibilidad y balance de potencias del radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control.

Por último, en cuanto al perfil proporcionado por LINKPlanner, en la figura 80 podemos observar la visión directa entre el Centro de Control establecido en la localidad de Níjar y Torre 3.

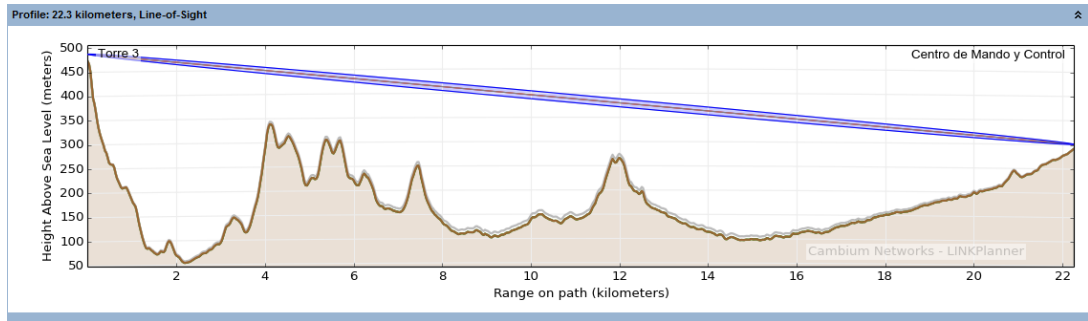


Fig.80 Perfil del radioenlace entre Torre 3 y Centro de Control.

De esta forma y tras dimensionar todos los radioenlaces fijos de forma correcta, LINKPlanner nos muestra sobre un mapa de Google Earth la arquitectura de nuestro sistema:

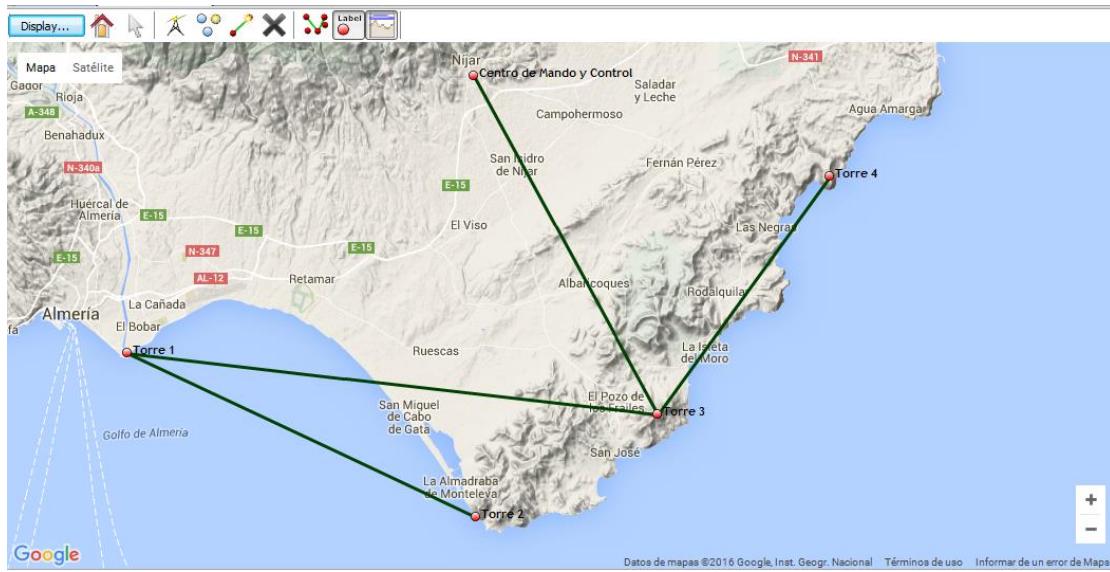


Fig.81 Conjunto de radioenlaces a través de LINKPlanner

Capítulo 6. Resultados obtenidos

Una vez finalizado el diseño de nuestro sistema integrado, es necesario realizar un pequeño análisis acerca de los resultados obtenidos en la creación y diseño del subsistema de vigilancia y en el diseño del sistema de comunicaciones.

En primer lugar, si incorporamos a las Tablas 4 y 5 el equipamiento empleado para establecer los enlaces fijos, el conjunto de equipos y características de los emplazamientos elegidos para implementar nuestro sistema de vigilancia y comunicaciones es el siguiente:

Emplazamiento	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4
Coordenadas	(36°48'48.66"N 2°25'34.90"O)	(36°43'42.60"N, 2°11'58.87"O)	(36°46'54.84"N, 2°4'54.53"O)	(36°54'18.77"N, 1°58'12.36"O)
Altura sobre nivel del mar	8 metros	55 metros	474 metros	240 metros
Altura propia torre	10 metros	15 metros	15 metros	15 metros
Accesibilidad	Muy buena	Buena	Necesidad de construir un acceso	Necesidad de adaptar los accesos existentes
Equipamiento vigilancia	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS	FLIR HRC-X + FLIR UR-TV + FLIR RANGER R20SS
Equipamiento subsistema de comunicaciones móvil (TETRA + LTE)	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional 1 ANT-116B- FOV	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional ANT-116B- FOV	eSBS + eNodeB LTE + eSCN + Antena omnidireccional ANT-116B- FOV	eSBS + eNodeB LTE + Antena omnidireccional ANT-116B-FOV
Equipamiento subsistema de comunicaciones fijo	PTP15800 + 2 Antenas directivas Cambium Networks 6ft HP 85010089035	PTP15800 + 1 Antena directiva Cambium Networks 6ft HP 85010089035	PTP15800 + 2 Antenas directivas Cambium Networks 6ft HP 85010089035 + 1 Antena directiva Cambium Networks 1ft HP Antenna 85010089055	PTP15800 +1 Antena directiva Cambium Networks 1ft HP Antenna 85010089055

Tabla 9. Glosario equipamiento y características torres de vigilancia

Emplazamiento	Centro de Control y Mando
Coordenadas	(36°57'28.06"N, 2°12'5.70"O)
Altura sobre nivel del mar	293 metros
Altura propia torre	10 metros
Accesibilidad	Muy buena
Equipamiento vigilancia	No tiene
Equipamiento subsistema de comunicaciones móvil (TETRA + LTE)	eNMS
Equipamiento subsistema de comunicaciones fijo	PTP15800 + 1 Antena directiva Cambium Networks 6ft HP 85010089035

Tabla 10. Glosario del equipamiento y características del Centro de Control

Por su parte, el equipamiento empleado en las unidades patrulla ha sido el siguiente:

Unidades Patrulla	Marítimas	Aéreas
Equipamiento vigilancia	FLIR Brite Star II + Radar Raymarine RD424D	FLIR Brite Star II + Radar TERMA SLAR 9000
Equipamiento subsistema de comunicaciones móvil	Antena omnidireccional ATL TELECOMUNICACIONES ANT-116B-FOV + Transceptor TETRA/LTE + Sistema vehicular MVC 6000 modificado	Antena omnidireccional ATL TELECOMUNICACIONES ANT-116B-FOV + Transceptor TETRA/LTE + Sistema vehicular MVC 6000 modificado

Tabla 11. Glosario del equipamiento utilizado en unidades patrulla

En cuanto a las características del conjunto de radioenlaces fijos establecidos mediante LINKPlanner tenemos:

Radioenlace entre nodos A y B	Frecuencia transmisión nodo A	Frecuencia transmisión nodo B	Modulaciones empleadas	Caudal mínimo disponible	Disponibilidad
Torre 4 - Torre 3	Torre 4: 14.865 GHz	Torre 3: 15.180 GHz	Adaptativa: QPSK, 8PSK o 16QAM	37 Mbps	99.9986%
Torre 2 - Torre 1	Torre 2: 14.860 GHz	Torre 1: 15.175 GHz	Adaptativa: QPSK, 8PSK o 16QAM	37 Mbps	99.9995%

Torre 1- Torre 3	Torre 1: 14.785 GHz	Torre 3: 15.275 GHz	Adaptativa: 16QAM, 32 QAM o 64 QAM	75 Mbps	99.9985%
Torre 3- Centro de Control	Torre 3: 14.860 GHz	Centro de Control: 15.175 GHz	Adaptativa: 128QAM o 256QAM	151 Mbps	99.9981%

Tabla 12. Glosario de los radioenlaces diseñados mediante LINKPlanner

De esta forma, tras analizar todos los resultados obtenidos en el diseño de los sistemas de comunicaciones y vigilancia, el resultado en relación al dimensionamiento final de nuestro sistema es el siguiente:



Fig.82 Solución final del sistema integrado de comunicaciones y vigilancia costera

En lo referente a los resultados obtenidos en cuanto alcance del sistema, se ha dimensionado el subsistema de vigilancia para obtener alcances de detección de hasta 28 km desde las torres fijas. Si además tenemos en cuenta que desde las torres de vigilancia podemos comunicarnos hasta a 58 km de distancia con TETRA, y que las propias cámaras de nuestras embarcaciones tienen un alcance adicional de 20 km, conseguimos un alcance total desde tierra de 78 km.

De esta forma, si cada torre tiene un alcance radial de 78 km y suponemos que cada una de ellas cubre un área semicircular perfecta, el área total cubierta por el sistema asciende a 38226.9 km².

Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras

7.1 Conclusiones

En la presente memoria se han especificado las distintas fases correspondientes al diseño de un sistema integrado de comunicaciones y vigilancia costera. Para ello, en primer lugar, ha sido necesario realizar una exhaustiva búsqueda de información respecto a algunos ejemplos de sistemas integrados existentes (SIVE) y respecto al equipamiento y tecnologías disponibles en el mercado, con el fin de conformar una base en cuanto a equipos que nos ha permitido comenzar a dimensionar el sistema. El hecho de realizar esta búsqueda de información, nos ha llevado a comprender que para establecer un sistema que realice una vigilancia eficiente a lo largo de la superficie costera, es necesario establecer tanto comunicaciones y vigilancia de carácter fijo como móvil.

Tras conocer las especificaciones de los elementos que componen nuestros subsistemas de vigilancia y comunicaciones fijas y móviles, se ha procedido a realizar una planificación y ubicación de las torres de vigilancia de nuestro sistema a través de Google Earth. Este proceso de ubicación de las torres vigía, ha servido para comprender la importancia de las mismas, ya que sirven tanto para vigilar el segmento marítimo como para hacer de intermediario entre las unidades móviles y el Centro de Control y Mando.

Una vez definida la ubicación del sistema fijo de vigilancia y comprendida la necesidad de hacer uso de este sistema para concentrar toda la información captada por las unidades fijas y móviles, se ha procedido a dimensionar el conjunto de radioenlaces fijos que nos permiten enviar toda la información captada por las unidades móviles y fijas hasta el Centro de Control. Este proceso de dimensionamiento y simulación de los radioenlaces fijos ha sido realizado mediante LINKPlanner.

De esta forma, a través de la búsqueda de información, la ubicación de nuestro sistema y el dimensionamiento de los radioenlaces fijos, se ha realizado el diseño de un sistema integrado de comunicaciones y vigilancia costera. Dicho sistema integrado podría aplicarse en cualquier zona costera de nuestro país, teniendo en cuenta que para ello es necesario analizar la zona costera y estudiar los distintos puntos geográficos donde se pueden ubicar los sistemas de vigilancia.

7.2 Líneas futuras

Respecto a las líneas de trabajo futuras que se pueden dar para mejorar el sistema actual, se puede destacar la posibilidad de introducir cierta conmutación respecto a la posición del nodo central, donde se concentran todas las señales captadas por el resto de torres de vigilancia. De esta forma, ante posibles situaciones de fuertes precipitaciones en la zona en la que se ubica el radioenlace troncal, se podría concentrar el conjunto de flujos en otra de las torres de vigilancia, por ejemplo en Torre 1, con el fin de evitar la degradación del servicio ante malas condiciones climatológicas. De esta forma, ante situaciones meteorológicas adversas, Torre 1 pasaría a ser el nodo central encargado de establecer un radioenlace troncal con el Centro de Control, con el fin de enviar toda la información captada por los subsistemas de vigilancia y comunicaciones.

Referencias

[1] Informe SIVE [Online]

Disponible en: <http://www.guardiacivil.es/es/prensa/especiales/sive/introduccion.html> (Último acceso 06-06-2016)

[2] Localización e Implantación SIVE [Online]

Disponible en: <http://www.guardiacivil.es/es/prensa/especiales/sive/localizacion.html> (Último acceso 06-06-2016)

[3] SIVE, Cinco años vigilando la frontera. Publicado por Dirección General de la Policía y Guardia Civil, 2008.

[4] Brochure FLIR HRC Series [Online]

Disponible en: http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Comm_sec/SS_0023_EN.pdf (Último acceso 06-06-2016)

[5] Vídeo FLIR HRC Series [Online]

Disponible en: <http://www.flir.es/cs/display/?id=42061> (Último acceso 06-06-2016)

[6] Brochure FLIR Radar Ranger R20SS [Online]

Disponible:

http://www.flir.com/uploadedFiles/flirGS/Surveillance/Products/Ranger_Radars/R20SS/flir-ranger-r20ss-datasheet.pdf (Último acceso 06-06-2016)

[7] Datasheet FLIR Maritime Brite Star II [Online]

Disponible en:

http://www.flir.com/uploadedFiles/flirGS/Surveillance/Products/BRITE_Star/BRITE_Star_II/flir-brite-star-II-maritime-datasheet-a4.pdf (Último acceso 06-06-2016)

[8] Raymarine Radar [Online]

Disponible en: <http://www.raymarine.com/view/?id=313> (Último acceso 06-06-2016)

[9] Datasheet FLIR Airborne Brite Star II [Online]

Disponible en:

http://www.flir.com/uploadedFiles/flirGS/Surveillance/Products/BRITE_Star/BRITE_Star_II/flir-brite-star-II-airborne-datasheet-a4.pdf (Último acceso 06-06-2016)

[10] Brochure Terma SLAR 9000 [Online]

Disponible en:

http://www.terma.com/media/259802/43156_terma_slar_product_brochure_ae_lowres.pdf (Último acceso 06-06-2016)

[11] Información general tecnología TETRA [Online]

Disponible en: <http://mundotetra.com/es/que-es-tetra/> (Último acceso 06-06-2016)

[12] Seguridad en TETRA [Online]

Disponible en: <http://mundotetra.com/es/acerca-de-tetra/la-seguridad-en-tetra/> (Último acceso 06-06-2016)

[13] Estándar ETSI TETRA (Pág. 10) [Online]

Disponible en:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102000_102099/10202108/01.01.01_60/tr_10202108v010101p.pdf

(Último acceso 06-06-2016)

[14] Especificaciones TETRA [Online]

Disponible en: <http://www.tetra-consultancy.com/index.php?/TETRA/what-is-tetra.html> (Último acceso 06-06-2016)

[15] Información general LTE [Online]

Disponible en: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte> (Último acceso 06-06-2016)

[16] LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice (pág. 382) [Online]

Disponible en:

https://books.google.es/books?id=g0lficnQ6eUC&pg=PA382&lpg=PA382&dq=lte+range+100+km&source=bl&ots=rjRhhogk-S&sig=nolIdR1UYRFNtKSafVt5s0vVNWE&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj93oHx7_7MAhULvBoKHYeTCNgO6AEIWDAG#v=onepage&q=100%20km&f=false (Último acceso 06-06-2016)

[17] Documento BOE-A-2005-18994 [Online]

Disponible en: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2005-18994 (Último acceso 06-06-2016)

[18] Notas UN CNAF 2013 [Online]

Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/notasUN2013.pdf> (Último acceso 06-06-2016)

[19] Brochure Teltronic PMR [Online]

Disponible en: <http://www.teltronic.es/wp-content/uploads/2015/05/PMR-esp.pdf> (Último acceso 06-06-2016)

[20] Antena ATL ANT-116B-FOV [Online]

Disponible en: <http://www.atlcomunicaciones.com/products/ant-116b-fov.html> (Último acceso 06-06-2016)

[21] CNAF 2013 [Online]

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/cuadroAtribuciones2013.pdf>
(Último acceso 06-06-2016)

[22] Noticia El Mundo Inmigración [Online]

Disponible en: <http://www.elmundo.es/andalucia/2016/06/01/574e18c3468aeb0b218b45dc.html>
(Último acceso 06-06-2016)

[23] Noticia El País Narcotráfico [Online]

http://politica.elpais.com/politica/2015/09/14/actualidad/1442224001_356330.html (Último acceso 06-06-2016)