



## **Diseño de un emplazamiento para comunicaciones móviles**

**Vicente Ortega Rosillo.**

**Tutor: Héctor Esteban González**

**Tutor Externo: Cristina Revert Sedeño**

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

Curso 2021-22

Valencia, 4 de marzo de 2022



## Agradecimientos

A mis padres por todo su apoyo, a los compañeros de Tower Consultores por haberme dado toda la formación necesaria para realizar este trabajo. En especial a Ángel Calaveras por formarme desde el primer día.

Tampoco me puedo olvidar de mis compañeros de carrera, sobre todo de Ignacio Rubio Moya y Abel García Devesa que sin ellos el camino habría sido más duro.



## Resumen

Tower Consultores es una empresa española con sede en Madrid que se dedica al sector de las telecomunicaciones. La empresa actualmente trata con varias de las operadoras más comunes en España tales como Orange o Telefónica.

El contenido de este proyecto de fin de grado será centrado en el proyecto conocido como “Orange Site factory” donde Orange será la empresa cliente a la cual Tower Consultores le realizará servicios de diseño de emplazamientos para comunicaciones móviles.

Este proyecto consiste en la creación de emplazamientos para comunicaciones móviles, es decir, búsqueda de una ubicación para situar los equipos, realización de simulaciones de cobertura, garantizar la transmisión de información desde el emplazamiento a la central y en el sentido inverso, configurar los diseños de radio y asegurar que la estructura que hará de soporte aguante el peso de los equipos.

La contribución del autor y el objetivo del TFG será el diseño de un emplazamiento de comunicaciones móviles real para la empresa Orange.

## Resum

Tower Consultores és una empresa espanyola amb seu a Madrid que es dedica al sector de les telecomunicacions. L'empresa actualment tracta amb diverses de les operadores més comunes a Espanya com ara Orange o Telefónica. El contingut d'este projecte de fi de grau serà centrat en el projecte conegut com “Orange Site factory”; on Orange serà l'empresa client a la qual Tower Consultores li realitzarà servicis de disseny d'emplaçaments per a comunicacions mòbils."

Este projecte consisteix en la creació d'emplaçaments per a comunicacions mòbils, és a dir, busca d'una ubicació per a situar els equips, realització de simulacions de cobertura, garantir la transmissió d'informació des de l'emplaçament a la central i en el sentit invers, configurar els dissenys de ràdio i assegurar que l'estructura que farà de suport aguant el pes dels equips.

La contribució de l'autor i l'objectiu del TFG serà el disseny d'un emplaçament de comunicacions mòbils real per a l'empresa Orange

## Abstract

Tower Consultores is a Spanish company based in Madrid that is dedicated to the telecommunications sector. The company currently deals with several of the most common operators in Spain such as Orange or Telefónica. The content of this end-of-degree project will be focussed on the project known as “Orange Site factory” where Orange will be the client company to which Tower Consultores will perform site design services for mobile communications.

This project consists in the creation of sites for mobile communications, that is, search of a place where to install the equipment, execution of coverage simulations, guaranteeing the transmission of information among the communication central and the site and in the opposite direction, configuring the radio designs and securing the structure which will support the weight of the equipment.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

The author's contribution and the objective of this project will be the design of a site for mobile communications for an actual business in this case Orange.



## Índice








Capítulo 1. Objetivo de este documento .....	2
1.1 Objeto o resumen.....	2
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Metodología.....	3
1.4 Relación con las asignaturas de la titulación.....	3
1.5 Orden documental.....	3
1.6 Definiciones.....	3
1.7 Resumen del funcionamiento de una estación móvil.....	3
Capítulo 2. Formato de la Memoria .....	5
Capítulo 3. Metodología empleada en el proyecto.....	21
3.1 Lote I.....	21
3.2 Lote II.....	24
3.3 Lote III.....	40
Capítulo 4. Diseño de un emplazamiento para comunicaciones móviles.....	42
4.1 Lote I.....	42
4.2 Lote II.....	44
4.3 Lote III.....	65
Capítulo 5. Mejoras al diseño.....	66
Capítulo 6. Bibliografía.....	70
Capítulo 7. Anexos.....	71

## Capítulo 1. Objetivo de este documento

### 1.1 Objeto o resumen.

En el año 2017 la filial de la operadora Orange, Orange Espagne (OSP), que a su vez pertenece al grupo France Télécom, presentó un nuevo proyecto conocido como “*Orange Site factory*”. Este proyecto fue otorgado a diferentes empresas como Siter 2000, Zener, Arca y la que es objeto de este trabajo Tower Consultores.

Las actividades a realizar en este proyecto, según las exigencias de Orange, son:

-  Búsqueda y adquisición de nuevos emplazamientos.
-  Legalización de emplazamientos.
-  Diseño de radio y transmisión.
-  Ingeniería.
-  Contratación del suministro eléctrico.
-  Certificados de emisiones radioeléctricas.
-  Proyecto de construcción.

En lo que a Tower Consultores se refiere, las actividades demandadas por Orange se agrupan en tres lotes:

- Lote 1: Es el lote preliminar donde se evalúan posibles candidatos para su análisis.
- Lote 2: En este lote se analiza en profundidad un candidato seleccionado para la implantación del emplazamiento.
- Lote 3: En el tercer lote se realizan los trámites pertinentes a las licencias, la contratación y los trámites legales pertinentes.

En cada uno de estos lotes existen ciertos documentos a entregar a Orange para su validación. Estos documentos dependerán tanto de la zona como de la tecnología utilizada, ya que según estas dos variables Orange pedirá un tipo de documentación u otra.

### 1.2 Objetivo.

El objetivo del presente trabajo será la ejecución del diseño de un emplazamiento para comunicaciones móviles. Estos diseños se deben realizar en dos situaciones, bien porque el emplazamiento es nuevo en una zona donde Orange no tenía cobertura anteriormente (en este caso sería un emplazamiento de nueva construcción), o bien porque la propiedad no desee renovar el contrato con Orange (en este caso se llama repliegue), que se muevan los equipos de sitio (reubicación de equipos) o que Orange decida actualizar su cobertura (actualización de cobertura).

Como objetivo específico se buscará la realización del proyecto proponiéndose una solución con el menor coste posible. Todo ello considerando las restricciones impuestas, que dependerán del emplazamiento a diseñar.

Por otro lado, se tendrá como otro objetivo específico ver las diferencias de coberturas al utilizar distintas antenas, diferentes tilts y diferentes alturas.

Asimismo, se tendrá un último objetivo específico que consistirá en establecer la comparativa entre el emplazamiento diseñado actualmente y los emplazamientos diseñados por empresas anteriores.



### 1.3 Metodología.

La metodología que sigue la empresa para la realización de las actividades es muy amplia y depende del lote en el que este. Por tanto, se dedicará un apartado entero para su tratamiento.

### 1.4 Relación con las asignaturas de la titulación.

Respecto a la relación entre las asignaturas cursadas en la titulación de telecomunicaciones y las actividades realizadas por la empresa que se exponen en este proyecto, se puede relacionar directamente las asignaturas de antenas, radiocomunicaciones y comunicaciones móviles con el cálculo de coberturas en el software de simulación *Xirio*. Asimismo, también son relacionables con los “*data sheet*” de las antenas y aspectos como los diagramas de radiación o conceptos como la PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente).

Por otro lado, también se puede apreciar una fuerte relación entre el hardware utilizado en las estaciones con las asignaturas de arquitecturas telemáticas.

Por último, existe una gran relación entre las asignaturas de tema eléctrico como son teoría de circuitos, dispositivos electrónicos, circuitos electrónicos, y la alimentación del emplazamiento, la cual es una parte importante en el diseño.

### 1.5 Orden documental.

La ordenación documental que seguirá el proyecto a partir del apartado dos constará, en primer lugar, de una descripción general de la normativa y de los equipos. Posteriormente, se pasará a la metodología que actualmente utiliza la empresa en “*Orange Site Factory*”. A continuación, se propondrá un proyecto de un emplazamiento que será el grueso del trabajo de fin de carrera. Una vez terminado, se propondrán diferentes alternativas al proyecto realizado y se pondrán de manifiesto las conclusiones. Por último, se realizará la recopilación bibliográfica pertinente.

### 1.6 Definiciones.

Emplazamiento o Site: recinto donde se coloca el equipamiento de radio y la antena.

Zona de exclusión: Zona donde únicamente existen antenas y equipamiento exclusivo de Orange.

Zona de sharing: Zona en la que en los emplazamientos esta Orange y otro operador. En estas zonas se comparte la antena, y cada operador conserva sus equipos de radio (interfaces radio, radioenlaces, fibra, etc.).

Zona de jumping: Zona donde en los emplazamientos un operador pone los equipos: antenas, interfaces radio, radioenlaces, fibra, etc., y otro pone la infraestructura: soportes de las antenas, bancadas para los equipos, etc. Lo que se hace en estas zonas es que, el operador que tenga los equipos cede una cantidad de portadoras al otro operador para que pueda radiar con su frecuencia a sus clientes.

Bancada: Es el soporte de los equipos, mástiles y polos. Sirve para que las interfaces a instalar no estén directamente sobre el suelo o techo de una azotea. Se busca siempre que esté sujeta en pilares si el emplazamiento es un edificio.

### 1.7 Resumen del funcionamiento de una estación móvil.

De forma resumida una estación móvil funciona como si fuera una cadena. De manera ascendente, un operador móvil emite una onda que es captada por la antena de comunicaciones móviles que está cubriendo el área donde se encuentra el operador móvil. Esta onda es sometida a diversos procesos de procesamiento y es transmitida,



por medio de diversos radioenlaces o mediante fibra, a una central que la analiza y encamina a su destino.

Durante el contenido de este proyecto no se entrará mucho en la parte de software utilizado, ya que el trabajo del ingeniero que realiza el emplazamiento es solo conocer como están interconectados los elementos, utilizar los programas necesarios para asegurar coberturas y realizar la infraestructura necesaria para soportar los equipos.



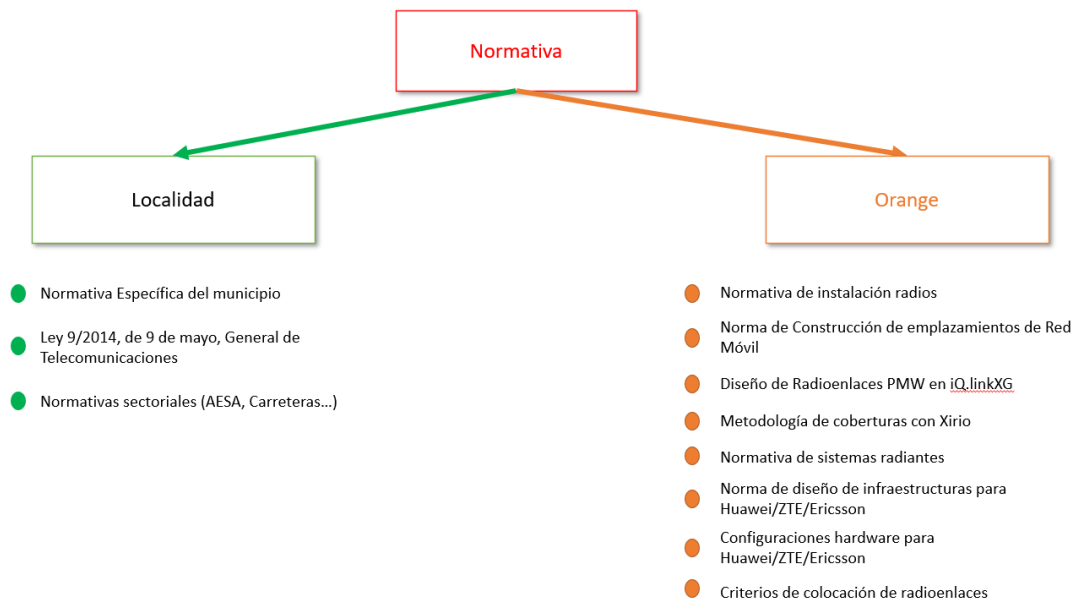
## Capítulo 2. Formato de la Memoria

Uno de los aspectos más importantes a considerar a la hora de diseñar un emplazamiento para comunicaciones móviles es la normativa aplicable. Esta normativa se puede dividir en dos tipos: normativa de Orange y normativa de la localidad.

La normativa de la localidad es la que es impuesta, ya sea por el estado de forma general o el propio municipio. Incluye aspectos como el mimetizado (placas de acero galvanizado pintadas del mismo color de la fachada que cubren las antenas y las camuflan), el retranqueo (distancia que se debe dejar entre equipos y la fachada) o línea de 45° (línea trazada desde la fachada formando un ángulo de 45°). Este tipo de normativa es de obligado cumplimiento e incumplirla supone sanciones y retiradas de emplazamiento, o directamente puede implicar la negación de la licencia de construcción.

Por otro lado, la normativa de Orange es impuesta por el cliente, es decir, Orange. Son las especificaciones que Orange quiere en sus emplazamientos. En este tipo de normativa se incluyen los parámetros para realizar simulaciones, el equipamiento a utilizar, la separación de los equipos o el tipo de antenas y secciones de cables a utilizar. A diferencia de la anterior, esta normativa puede llegar a incumplirse siempre y cuando un directivo de Orange, encargado de la supervisión del emplazamiento, dé su consentimiento.

En la siguiente ilustración (ilustración 1) se puede observar un esquema de la división de la normativa:



**Ilustración 1. División de la normativa. Elaboración propia.**

De la normativa de la localidad destaca el hecho de que en cada municipio es diferente. Por ejemplo, para dos provincias de Andalucía, la normativa específica puede que no sea la misma. También es importante el tipo de terreno, ya que la normativa cambia según el tipo de suelo de que se trate.

Cuando se diseña un emplazamiento de comunicaciones móviles se debe consultar la normativa vigente del municipio y centrarse en los siguientes aspectos:

- Tipo de suelo: puede ser suelo urbano, urbanizable, no urbanizable, etc. Esta clasificación puede consultarse en los visores de los ayuntamientos. En la siguiente figura (imagen 1) se puede ver como ejemplo el visor de Cataluña.

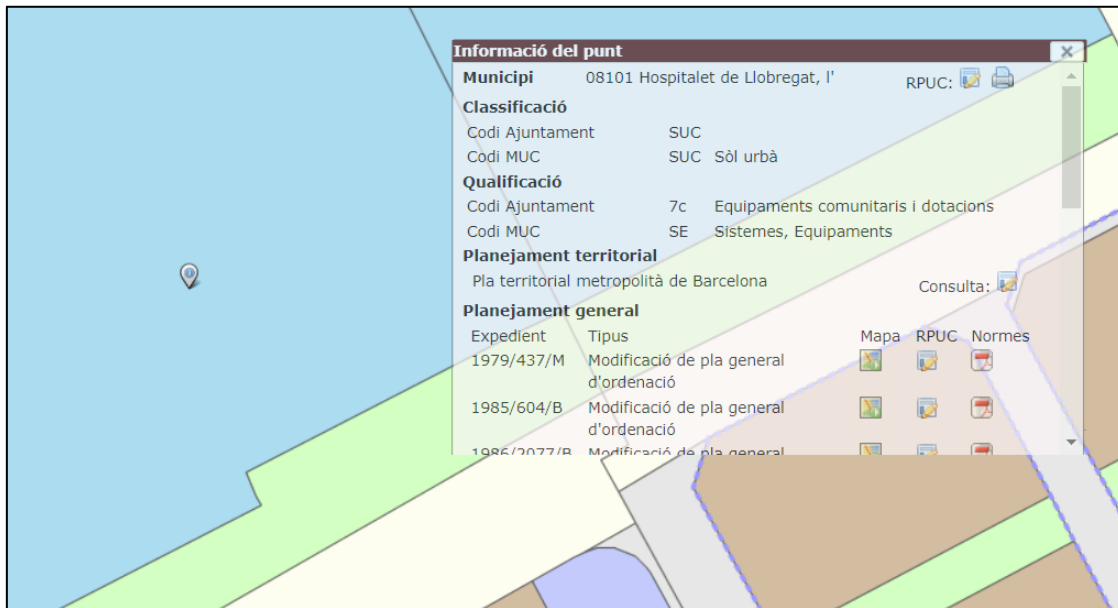


Imagen 1. Visor de Cataluña. (cataluña, 2021)

- Tipo de tramitación: el tipo de tramitación puede ser de licencia o DR (declaración responsable), dependerá de la situación del emplazamiento. Este dato es proporcionado a los ingenieros responsables del proyecto desde el departamento de legalización de Tower Consultores.
- Plan de implantación: depende de la normativa municipal. Como en el caso anterior, este dato es suministrado también por el departamento de legalización.
- Mimetizado: Los mimetizados son placas de acero galvanizado que cubren las antenas y reducen su impacto visual, camuflándolas. También es posible mimetizar los equipos que están dentro de una caseta o de un armario pintándolos del mismo color. El mimetizado de antenas o equipos puede ser exigible tanto por normativa como por el propietario o propietarios del inmueble donde se va a instalar el emplazamiento. En la siguiente imagen (imagen 2) podemos apreciar el mimetizado de una antena con los colores de la pared.



Antena mimetizada para comunicaciones móviles

Antena parabólica para la transmisión

Imagen 2. Mimetizado. Elaboración propia.

- Línea de 45°: La línea de 45° es una línea trazada desde la fachada de forma que forme 45° con la horizontal de la misma fachada. Los equipos o antenas cuya altura este por encima de la línea incumplirán la normativa y, por tanto, no se podrán instalar. Es una medida complementaria a la altura máxima de los equipos y antenas. Se puede apreciar una línea de 45° en la imagen 3.

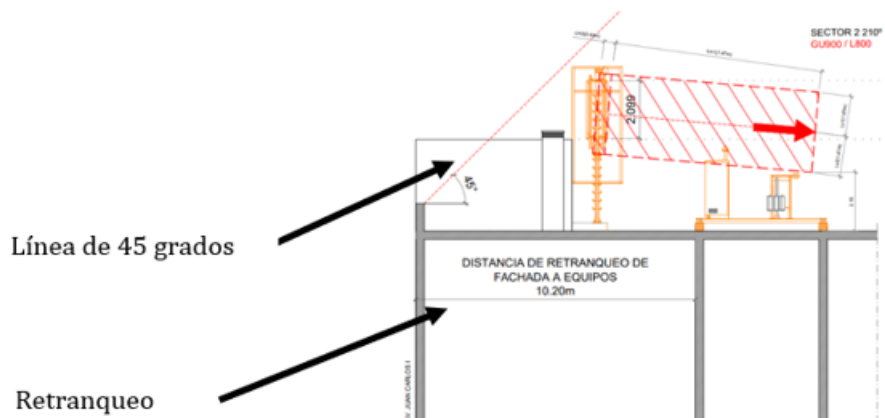


Imagen 3. Línea de 45° y retranqueo. Elaboración propia.

- Retranqueos: Es la distancia horizontal mínima que se debe cumplir desde la fachada hasta los equipos. Las distancias mínimas más comunes son de 2 a 3 metros, y provocan que no se puedan instalar antenas y equipamiento cerca de la fachada. En la imagen 3 se puede ver un retranqueo de 10,2 metros, por lo que estará claramente por encima del mínimo retranqueo obligatorio de la normativa municipal que sea aplicable. Los retranqueos son aplicables no solo a azoteas, como el caso de la línea de 45°, sino que, además, son aplicables a torres. Cuando estos retranqueos son aplicables a torres, la distancia medida es la distancia a carreteras, a cables de transporte de tensión y a cualquier elemento público que pueda ser peligroso para las personas.

- **Altura máxima:** Es la máxima altura que pueden alcanzar las antenas y equipos desde la cubierta de la azotea si son emplazamientos en azoteas, o desde el suelo si son emplazamientos en torres. Esta altura suele ser de unos ocho metros en azoteas y de unos treinta en torres. En azoteas es una restricción complementaria a la línea de 45°.
- **Prohibiciones:** El último elemento de importancia para el diseño de un emplazamiento son las prohibiciones expresas de cada municipio. Estas prohibiciones pueden englobar muchos aspectos como, por ejemplo, no poder construir en las llamadas cubiertas a dos aguas o cubiertas inclinadas, que son tejados en los que el techo está inclinado provocando que la superficie donde se vaya a instalar esté, por tanto, inclinada.

Como la normativa es diferente según el municipio, Tower Consultores dispone de una plantilla resumen con ordenanzas para diferentes municipios. Esta plantilla se podrá consultar en los anexos como anexo 1.

Una vez descritos, en términos generales, la normativa y los ítems que hay que tener en cuenta, se puede pasar a describir los equipos y antenas. Para esta descripción se comenzará desde las antenas y se irá en un enfoque descendente. Para los equipos y antenas Orange utiliza tres fabricantes diferentes: Huawei para la zona sur del país, Ericsson para las zonas centro y norte y ZTE para la zona aragonesa. Las funciones de los equipos y antenas son fundamentalmente las mismas para cada una de las tecnologías, sin embargo, sí que existen diferencias en las tecnologías que aplican, lo que produce diferencias en la configuración y potencia emitida.

#### ➤ Antenas.

Las antenas son los elementos que permiten la radiación de ondas electromagnéticas y por ende las comunicaciones móviles. Se debe realizar una primera división según las tecnologías que soportan. Los modelos de antenas que se usan actualmente se dividen en antenas para las tecnologías 2G/3G/4G y antenas para la tecnología 5G.

En cuanto a las antenas, para las tecnologías 2G/3G/4G se dispone de tablas estandarizadas con los modelos a utilizar según el fabricante. Estas antenas funcionan todas igual independientemente del fabricante.

En la siguiente tabla se pueden observar los modelos de antenas para los tres fabricantes. (Tabla 1).

HUAWEI RAN Footprint			
Tipología antena	TAMAÑO ANTENA	MODELO Prioritario	MODELO sustituto
2L	2,7m / 2m / 1,5m	ADU4517R6v06/ADU4516R6v06/ADU4515R5v06	5920300NG/5918300NG
2L-2H	2,7m / 2m / 1,5m	AQU4518R25v06/AQU4518R36v06/AQU4518R37v06	RRVV-65D-R4/800372965/RRZZ-65A-R4
2L-4H	2,7m / 2m / 1,5m	ASI4518R36v06/ASI4518R39v06 / ASI4518R37v06	800372992/RRZZVV-65B-R6H4/RRV4-65A-R6
2L-6H	2,7m / 2m / 1,5m	RRZZV4-65D-R6H4/800442008/RRZZHHTT-65A-R6H4*	AOC4518R6v06/RRZZHHTT-65B-R6H4*/AOC4518R7v06*
		* Ojo 2L+4H+2600 filtrado	* Ojo 2L+4H+2600 filtrado

ERICSSON / ZTE RAN Footprint			
Tipología antena	TAMAÑO ANTENA	MODELO Prioritario	MODELO sustituto
2L	2,7m / 2m / 1,5m	ADU4517R6v06/ADU4516R6v06/ADU4515R5v06	5920300NG/5918300NG
2L-2H	2,7m / 2m / 1,5m	AQU4518R25v06/AQU4518R36v06/AQU4518R37v06	RRVV-65D-R4/800372965/RRZZ-65A-R4
2L-4H	2,7m / 2m / 1,5m	ASI4518R36v06/RRZZVV-65B-R6H4 / ASI4518R37v06	800372992/ASI4518R39v06/RRV4-65A-R6
2L-6H	2,7m / 2m / 1,5m	RRZZV4-65D-R6H4/800442008/RRZZHHTT-65A-R6H4*	AOC4518R6v06/RRZZHHTT-65B-R6H4*/AOC4518R7v06*
		* Ojo 2L+4H+2600 filtrado	* Ojo 2L+4H+2600 filtrado

Tabla 1. Modelos de antenas 2G, 3G, 4G. (Garrido, 2020)

En esta tabla se pueden observar cuatro columnas. La primera es la tipología de la antena, la cual se apartará de momento y se explicará más adelante. La segunda es el tamaño de la antena. Por norma general, Orange busca para los emplazamientos en torre un tamaño de antena de 2.7 metros, mientras que para los emplazamientos en azotea busca un tamaño de 2 metros. Esta norma es solo una directriz de diseño ya que, dependiendo del espacio disponible en el emplazamiento, es posible que se autorice el uso del tamaño de 1,5 metros.

Respecto a la tipología de las antenas (primera columna), encontramos los siguientes modelos: 2L, 2L-2H, 2L-4H y 2L-6H. Esta tipología hace referencia a los arrays de las antenas, que son los puertos donde se conectan los diferentes cables según la tecnología. En la siguiente imagen (imagen 3) podemos ver los arrays de la antena ASI4518R39v06.

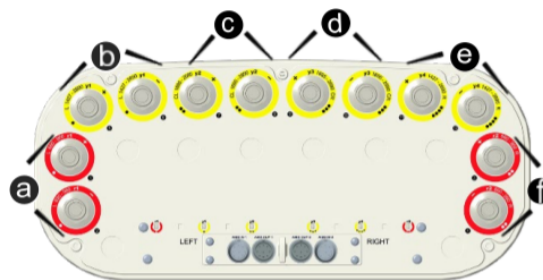


Imagen 3. ASI4518R39v06. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD, 2019)

Las letras L y H hacen referencia a “low” y “high”, que significa que los arrays catalogados como “low” son puertos para tecnologías cuya portadora es de frecuencia baja. Estas tecnologías son GSM900, UMTS900 y LTE800. En cuanto a los catalogados como “high”, son puertos para tecnologías con frecuencia de portadora alta. Las tecnologías en este caso son UMTS2100, LTE1800, LTE2100, LTE2600 y DSS2100.

El número que acompaña a cada letra hace referencia al número de arrays que tiene la antena, considerando cada array como un conjunto de dos puertos, como se aprecia en la imagen.

Aunque los arrays se clasifican de forma general para todo tipo de antenas en “low” y “high”, dentro de cada antena el rango frecuencial en cada una de estas clasificaciones es diferente. Por ejemplo, si se observa detenidamente la imagen 3 se puede apreciar que en los arrays pone un rango frecuencial en cada uno de estos. De hecho, este modelo de antena tiene específicamente:

- 2 arrays de 690 – 960 Mhz.
- 2 arrays de 1427 – 2690 Mhz.
- 2 arrays de 1695 – 2690 Mhz.

Por tanto, y como se reflejaba en la tabla 1, la antena es 2L - 4H.

Otro aspecto resaltable de las antenas es su parámetro de inclinación “tilt”. Según este parámetro, la antena modifica su diagrama de radiación pudiendo apuntar en diferentes direcciones. Dentro del “tilt” existen dos tipos conocidos como mecánico y eléctrico.

En el mecánico, la antena no cambia la fase de la señal de entrada, provocando que el diagrama de radiación cambie gracias a la inclinación física de la propia antena. En la siguiente imagen (imagen 4) podemos ver cómo funciona el “tilt” mecánico.

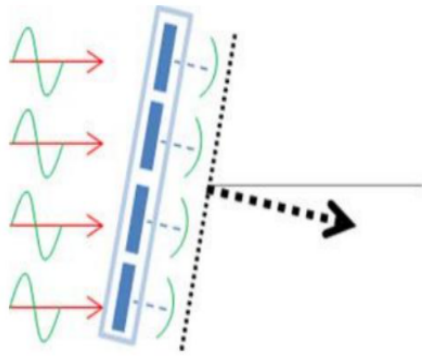


Imagen 4. “tilt” mecánico. (Pesantez, 2019)

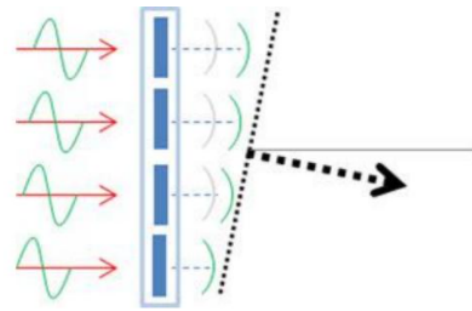


Imagen 5. “tilt” eléctrico. (Pesantez, 2019)

En el eléctrico, la antena físicamente no se mueve, lo que se hace es modificar las fases de las señales de las tecnologías provocando una modificación del diagrama de radiación como se ve en la imagen 5.

En general, el “tilt” mecánico se suele dejar a 0 grados mientras que el eléctrico coge los valores que mejor cobertura dan (una vez que se ha simulado la situación en un software informático).

Por otro lado, también es común la modificación de “tilt” eléctrico de forma remota. Esta modificación se realiza mediante un cable y un puerto, ambos conocidos comúnmente como RET o AISG. Este cable cobra especial importancia cuando la antena está conectada a una radio remota (equipo que describiremos a continuación) la cual está alejada de la antena. Si la distancia es mayor de 15 metros hasta el cable RET se debe instalar, por normativa, una unidad adicional llamada RMU situada junto a otra unidad conocida como RIU. Estas dos unidades permiten el correcto funcionamiento del RET en distancias largas de cable, sin embargo, no se entrará en su funcionamiento. Por último, se debe señalar la existencia de dos tipos de puertos RET, externo e interno. Este parámetro depende exclusivamente de la antena en cuestión. También existe una jerarquía sobre la tecnología que domina el RET empezando por el 4G con el siguiente orden:

- 4G L1800 > L800 > L2600 > L2100
- 3G U2100 > U900

➤ Radio remote unit.

Las RRU (radio remote unit) son equipos de hardware imprescindibles para las comunicaciones móviles que realizan funciones de Inter conversión entre señal digital y señal RF, procesos de preprocesado, amplificación, filtración y generación de portadoras. Además, permite el duplexado entre el enlace descendente (de la antena de operadora al interfaz móvil) y el enlace ascendente (del interfaz móvil a la antena del operador). Hay que señalar que estos equipos son controlados por otros, conocidos como BBU (base band unit).

Como las antenas, las RRU también se clasifican según el fabricante, los cuales son los mismos que para las antenas, es decir, Huawei, Ericsson y ZTE como ya se ha mencionado.

Por otro lado, las RRU se dividen también según las tecnologías que soportan y además pueden ser radios específicas para comparticiones con otros operadores.

Para el fabricante Ericsson encontramos las siguientes radios:

- RRU 2479.

Esta radio es la radio de Ericsson que se utiliza para las bandas bajas. Se compone de cuatro puertos de donde salen coaxiales, ya sean de media o de otra sección, que llegan hasta los arrays de las antenas.

Es importante recalcar que en este tipo de radios la conexión de los cables al array se hace utilizando puertos opuestos de la radio, es decir, para un mismo array, por ejemplo, se deben conectar un cable saliente del puerto, uno de la radio y otro proveniente del puerto cuatro. En las siguientes imágenes (imagen 6 y 7) podemos observar la radio y su conexión a la antena.

Radio 2479	Dimensión
Altura	553mm
Anchura	398mm
Profundidad	190mm
Peso	37.5Kg

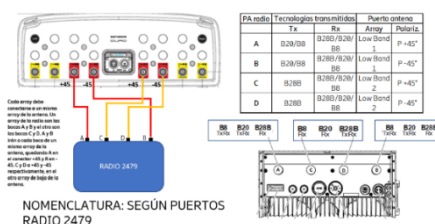
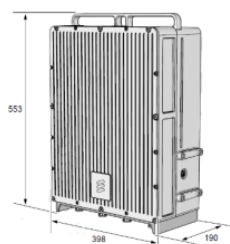


Imagen 6. Radio 2479. (Ballesteros, 2020)

Imagen 7. Conexiones. (Ballesteros, 2020)

Otro aspecto importante de esta radio, y de todas en general, es su capacidad para transmitir o recibir una tecnología determinada. Esto se puede apreciar en la tabla de la imagen 7 donde pone el número de transmisiones y recepciones según la frecuencia de portadora de la tecnología, donde B8 = 900 Mhz, B20 = 800 Mhz y B28B = 700 Mhz. Se puede ver como esta radio es 2T4R, lo que significa que permite 2 transmisiones y 4 recepciones como máximo. Esta función permite realizar configuraciones en MIMO lo que repercute en la calidad de la señal recibida.

Por otro lado, en cuanto a la instalación de las radios, ya sea en un mástil o en torre, existen unas distancias mínimas de separación que hay que cumplir por temas de calentamiento, por lo que la distancia entre dos radios puestas en vertical debe de ser mayor de 400 mm, mientras que si están puestas en forma de libro (paralelas por la parte menos ancha) será de 200 mm, y si son paralelas por la parte ancha la distancia será en este caso de 20 mm.

- RRU 2238.

Esta radio funciona de forma muy similar a la anterior con la particularidad de que se usa exclusivamente en comparticiones, es decir, cuando Orange quiere construir un emplazamiento con otro operador (en la mayoría de los casos es Vodafone) y quiere hacer uso de una antena compartida para ambos operadores.

La radio, a diferencia de la 2479, tiene únicamente dos cables coaxiales de salida dirigidos a la antena. Esto provoca que la radio solo pueda alcanzar configuraciones MIMO de 2T2R. Por lo demás, funciona exactamente igual que la anterior.

- RRU 4499.

Cuando en un determinado emplazamiento se quieren usar tecnologías que utilizan portadoras en las bandas de 1800 a 2100 Mhz se hace uso de la radio Ericsson 4499.

Esta radio se compone de cuatro bocas para coaxiales que van a la antena pudiéndose lograr, a diferencia de la radio 2479, configuraciones MIMO de 4T4R.

En la imagen 8 se puede apreciar las características de la radio 4499.

Radio 4499	Valor
Max. Potencia nominal	4x80 W
Puertos/Bocas radio	4TX/4RX
Bandas salidas RF	B1-B3

Radio 4499	Dimensión
Altura (H)	553mm
Anchura (W)	398mm
Profundidad (D)	151mm
Peso	32Kg

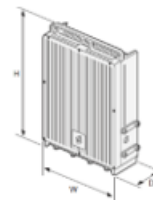


Imagen 8. Radio 4499. (Ballesteros, 2020)

Como en las dos radios anteriores, se deben respetar las mismas distancias entre radios definidas en la radio 2479.

- RRU 4415.

Si en un emplazamiento se quiere hacer uso de la tecnología L2600 se requiere una radio especial y exclusivamente para esta tecnología. Esta radio es la radio de Ericsson 4415, que también presenta cuatro bocas para cuadro coaxiales de salida y permite configuraciones de 4T4R.

En la imagen 9 se puede apreciar en profundidad sus características.

Radio 4415	Valor
Max. Potencia nominal	4x40 W
Puertos/Bocas radio	4TX/4RX
Bandas salidas RF	B7

Radio 4415	Dimensión
Altura (H)	420mm
Anchura (W)	342mm
Profundidad (D)	150mm
Peso	19Kg

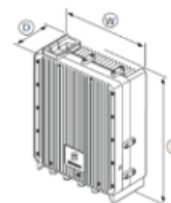


Imagen 9. Radio 4415. (Ballesteros, 2020)

La gran diferencia de esta radio con las anteriores es que no necesita guardar distancia entre radios, lo cual supone una gran flexibilidad a la hora de construir ya que en emplazamientos con poco espacio es posible colocarlas lo más cerca posible unas de las otras.

Como se ha comentado antes, las radios definidas en los párrafos anteriores son para el fabricante Ericsson. Sin embargo, para los otros dos fabricantes considerados, Huawei y ZTE, existen radios similares que hacen la misma función y son, por tanto, equivalentes a las radios de Ericsson. Específicamente para Huawei se usarán las radios que se aprecian en la imagen 10.

Configuración radio	ENTORNO	
	William/Jumping	Exclusion <sup>1)</sup>
Low bands (700/800/900Mhz)	RRU5509t	RRU5509t
Low bands+High bands	RRU5509t+RRU5502w	RRU5509t+RRU5502w
Low bands+High bands+2.6Ghz	RRU5509t+RRU5502w+RRU5304	RRU5509t+RRU5502w+RRU5304

Imagen 10. Radios Huawei. (Martín, 2020)



Se puede apreciar como para escenarios con bandas bajas, la radio equivalente a la 2479 de Ericsson es la RRU5509t de Huawei, para bandas altas, la equivalente a la 4499 es la RRU5502w y, de la misma forma, la equivalente a la 4415 es la RRU5304. También es resaltable el hecho de que Huawei no dispone de una radio específica para comparticiones, como se podía ver con la radio 2238 de Ericsson, sino que utiliza las mismas radios independientemente de la zona en la que se encuentre, exclusión o jumping.

Por otro lado, si el fabricante es ZTE, las radios se utilizan según la siguiente imagen 11.

ACCIÓN	Configuración radio	ENTORNO	
		Sharing/Jumping	Exclusion
Nuevo site	Low bands (700/800/900Mhz)	NA	R9222 M728090
	Low bands+High bands		R9222 M728090+R8894E M1821
	Low bands+High bands+2.6Ghz		R9222 M728090+R8894E M1821+R8854H 52600

Imagen 11. Radios ZTE. (Delgado, 2020)

Profundizando un poco más en la disposición de las radios de ZTE, se puede apreciar que no existen radios para escenarios de comparticiones con otros operadores, solo las hay cuando la zona es de exclusión. Con este fabricante la radio R9222 M728090 sustituye a la 2479 de Ericsson, mientras que la R8894E M1821 sustituye a la 4499 y, finalmente, la R8854H 52600 sustituye a la 4415.

➤ Baseband Unit.

Otro elemento imprescindible en un sistema de comunicaciones móviles son las BBU (Baseband unit). Las BBU son las interfaces entre la estación base y la red de Core. Además, se ocupan de funciones como proporcionar un reloj al sistema, procesar y transferir paquetes en uplink y downlink y proveer de interfaz a las RRU.

Como en el caso de las RRU, cada uno de los tres fabricantes tiene sus propios equipos de BBU. Para Ericsson estos equipos son:

- BBU 6630.

Es la BBU utilizada por excelencia en tecnologías de Ericsson. Se compone de 15 puertos CPRI en los que se conectan los cables, que van a las radios correspondientes.

Para utilizar las BBU 6630 se debe tener en cuenta que es necesario una BBU 6630 para el 2G y 3G y otra independiente para tecnologías 4G. Con las tecnologías 2G y 3G vale exclusivamente con una BBU, sin embargo, para las tecnologías 4G habitualmente, si tenemos cuatro sectores y muchas tecnologías, los puertos CPRI no son suficientes, por lo que para estos casos se deben utilizar dos BBU 6630.

El número de puertos a utilizar por una BBU 6630 para tecnologías 2G y 3G, y para tecnologías 4G, puede conocerse usando la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ puertos BBU (unidad de BBU)} = n^{\circ} \text{ de tecnologías} * n^{\circ} \text{ de sectores.}$$

Ecuación 1. Puertos ocupados en una BBU. Elaboración propia.

Donde el número de puertos se refiere a la BBU para 2G/3G o para la BBU 4G de forma independiente (no se pueden mezclar 2G/3G con 4G en la misma BB6630). Se debe tener en cuenta que G900 y U900 se cuenta como si fueran una sola tecnología, y L2600 se cuenta como si fueran dos, todo ello por motivos de conexionado a las radios. Se debe recordar que, si mediante el uso de la ecuación 1, el número de puertos ocupados es mayor de 15 se usarán dos BB6630 para la tecnología que no quepa.

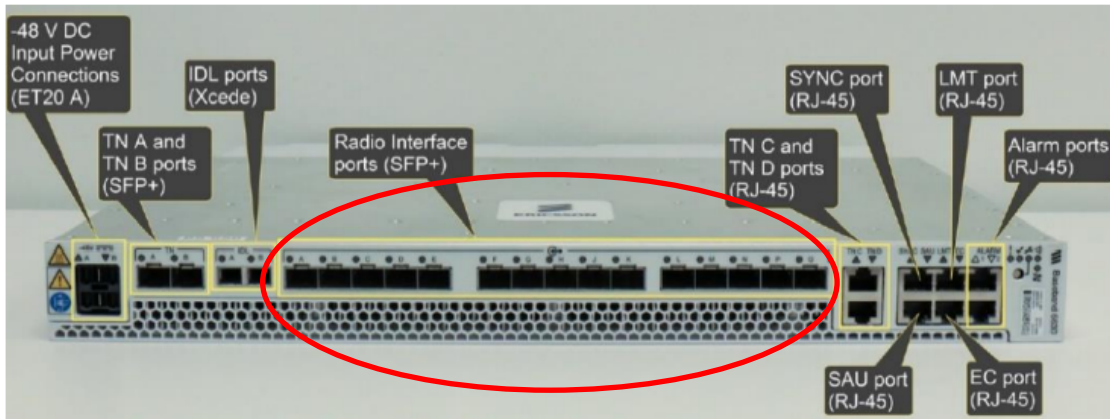


Imagen 12. BBU 6630. Elaboración propia.

Se debe hacer notar que en ningún caso esta BBU soporta las tecnologías de 5G, para ello se utiliza otra BBU de Ericsson que se describirá a continuación.

- BBU 6648.

Esta Baseband es el modelo utilizado normalmente para cuando el emplazamiento hace uso de tecnologías 5G o muchas tecnologías 4G que no se pueden cubrir haciendo uso de la BBU 6630.

Esta BBU se compone de 20 puertos CPRI, por lo que permite conectar más tecnologías. Además, a diferencia de la BBU 6630, esta BBU sí soporta las tecnologías de 5G, por lo que si se quiere instalar el 5G se deberá utilizar.

El uso para las tecnologías en 4G es equivalente al de usar dos BBU. Esto es posible gracias a los cinco puertos más que tiene con respecto a la 6630. En la imagen 13 se puede ver el hardware de una BBU 6648 con los puertos CPRI extra añadidos.



Imagen 13. BBU 6648. (Ballesteros, 2020)

Por otro lado, para tecnología Huawei se usa para todo tipo de entornos, ya sea exclusión, sharing o jumping, la misma BBU con la misma controladora. Esta BBU es la BBU5900 mientras que la controladora es la UMPTg2. Además, se integra el FAN, el cual es un ventilador que permite disipar parte del calor generado en la actividad de la BBU. En la imagen 14 se puede ver una BBU5900+UMPTg2.

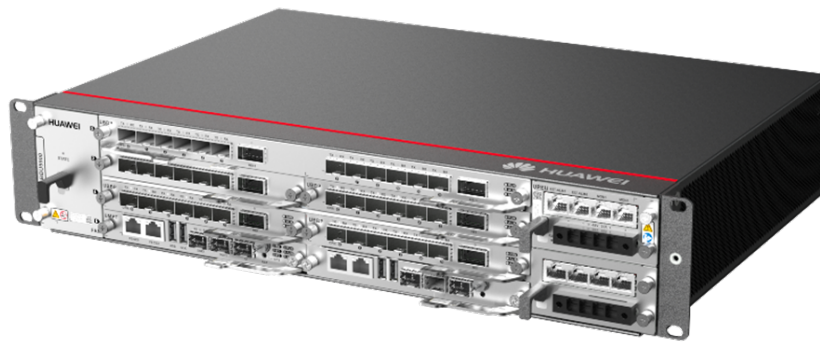


Imagen 14. BBU5900+UMPTg2. (Hussain, 2020)

En cuanto a ZTE, su equipo de BBU es muy similar al de Huawei. En este caso, la BBU utilizada es la BBU V9200 y su correspondiente controladora es la VSWd1. La principal diferencia entre este fabricante y Huawei es que ZTE no contempla un escenario que no sea exclusión, lo cual está en concordancia con sus RRU que tampoco contemplan este escenario.

En la imagen 15 se puede ver el modelo de BBU utilizado por este fabricante.

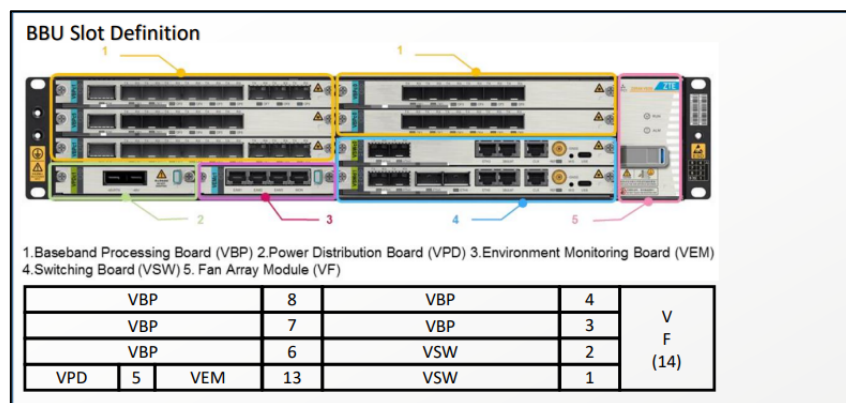


Imagen 15. BBU V9200+VSWd1. (Tianfeng, 2020)

### ➤ Armarios C3.

Los armarios C3 son las estructuras donde se colocan equipos como las Baseband, y los equipos de transmisión (los cuales se mostrarán más adelante). Estos armarios, según el tipo de emplazamiento, pueden llevar aire acondicionado o no, y son comunes a todas las tecnologías. Las siglas C3 hacen referencia a su tamaño, siendo este el más grande, existiendo también tamaños C2 y C1, aunque no se suelen utilizar al ser más pequeños. Se puede observar un C3 en la siguiente imagen 16.



Imagen 16. Armario C3. Elaboración propia.

➤ Equipos de transmisión.

Un aspecto capital en los emplazamientos de comunicaciones móviles es conseguir que la estación esté conectada a la central donde se analizan los datos o llamadas y se reenvían. Esto se consigue formando una red donde las estaciones se van conectando entre si hasta llegar a la central.

Dicha conexión se puede ejecutar de dos maneras: mediante fibra o mediante el uso de radioenlaces.

Por un lado, mediante radioenlaces se utilizan antenas parabólicas que se apuntan entre sí por el punto de máxima radiación. Para asegurar que la transmisión por radioenlace sea correcta, las antenas deben de poder verse la una a la otra, es decir, debe existir "line of sight" (LOS) o línea de vista (no debe haber en el camino en línea recta entre los centros de las antenas edificios, árboles o cualquier otro elemento que provoque ocultamiento). Para asegurar que haya línea de vista se hace uso de prismáticos y brújulas que permitan cuadrar las orientaciones de los radioenlaces. Además, para calcular las posibles pérdidas debidas a lluvias, desvanecimientos y demás problemas que surgen de la transmisión por ondas radioeléctricas, se utiliza un software especial de cálculo llamado IQLINK, como se verá más adelante.

Continuando con la descripción de la transmisión por radioenlace, para controlar los procesos de transmisión y recepción mediante parabólicas o parábolas, los emplazamientos deben de tener un elemento conocido como MSS1/MSS8. Este equipo es de forma rectangular con unas ranuras o slots donde se sitúan unas tarjetas encargadas de controlar el radioenlace. El número que va al final, después del MSS, hace referencia al número de ranuras disponibles para cada conexión. Así pues, el MSS8 puede controlar 8 radioenlaces a la vez, mientras que el MSS1 solo puede controlar uno. Por norma general, se encuentran MSS8 en emplazamientos con muchos radioenlaces, conocidos como centros "Griet". Estos centros son de especial importancia, pues un fallo en estos emplazamientos dejaría sin transmisión a todos los

emplazamientos con los que tiene un radioenlace. En la imagen 17 se puede ver un MSS8, mientras que en la 18 se puede ver una parábola.

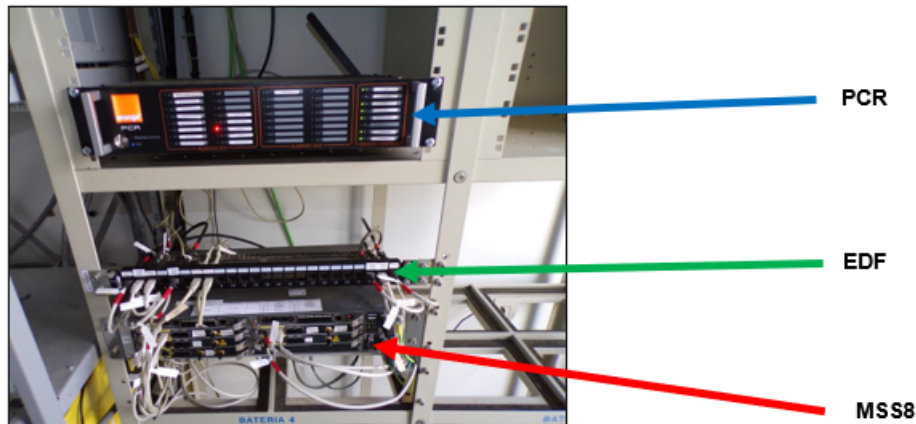


Imagen 17. MSS8, PCR y EDF. Elaboración propia.



Imagen 18. Parábola. (Bigstock, 2019)

Por otro lado, mediante fibra, la transmisión llega a través de un cable de fibra que forma un anillo al que se conectan las estaciones, o conectando directamente una fibra a la central, aunque esto último no suele hacerse debido al alto coste. Este cable de fibra que forma el anillo puede ir enterrado en el suelo, pegado a la fachada del edificio, o aéreo sobre postes de madera.

Para poder enganchar al anillo de fibra y dar transmisión a la estación se puede hacer de varias maneras:

1. Tirar una fibra nueva desde el emplazamiento hasta un empalme de fibra de nodo (empalme que engancha a la fibra del anillo y permite la transmisión a la central).

2. Tirar una fibra nueva desde el emplazamiento hasta un empalme de fibra FTTH, e ir dando de paso<sup>1</sup> por las diferentes fibras hasta llegar a un empalme de fibra de nodo.
3. En caso de no existir canalización de Orange, se puede solicitar a otro operador que ya tenga canalización, el uso de sus canalizaciones hasta que se llegue a una arqueta con empalme de Orange, y a partir de ahí que la fibra llegue dándose de paso hasta un empalme nodo.

Para la visibilidad del canalizado y fibras de que dispone Orange existe una aplicación llamada GIS que se verá más adelante.

De manera similar al caso de la transmisión por radioenlace, existe un equipamiento especial para controlar la transmisión. Este aparato se denomina PTN y viene acompañado de tres repartidores de fibra, que le hacen soporte, denominados bandeja de “*cross connection*”, bandeja de terminación y empalme y bandeja de almacenamiento.

En la siguiente imagen se pueden apreciar estos cuatro elementos.



Imagen 19. PTN y repartidores de fibra. Elaboración propia.

➤ PCR y EDF.

Otros dos elementos importantes, aunque ya no imprescindibles como pasaba en los casos anteriores, son el PCR y el EDF. Ambos se pueden ver en la imagen 17 junto con el MSS8.

En cuanto al PCR, se trata de un cuadro al que se conectan las alarmas de los diferentes equipos. Este elemento no es obligatorio instalarlo, aunque en muchas ocasiones es conveniente pues regula el correcto funcionamiento de la estación avisando si existen fallos en el sistema para que estos puedan ser reparados antes que degeneren en una avería mayor.

<sup>1</sup> Dar de paso es enrutar la transmisión en una dirección.

Respecto al EDF, hace la función de interconexión entre el equipamiento de transmisión PTN o MSS1/8 y las BBU. Es decir, para que el emplazamiento tenga transmisión, el equipo transmisor correspondiente debe de estar conectado a las BBU. El EDF consigue que esta conexión se haga de manera indirecta, permitiendo que el equipo de transmisión por radioenlace y el de fibra puedan conectarse a la vez a la misma estación.

El funcionamiento es el siguiente: en el emplazamiento ambos equipos de transmisión son conectados al EDF y a su vez el EDF es conectado a la BBU consiguiéndose la transmisión. El EDF regula desde donde llega la transmisión, si desde el radioenlace o desde la fibra. La principal ventaja de utilizar el EDF es que ante la caída de alguno de los equipos de transmisión como, por ejemplo, debido a una fuerte tormenta que hace imposible la transmisión por radioenlace, o una rotura del cable en alguna parte del recorrido de la fibra, el sistema dispondrá de otra fuente de transmisión que conseguirá que el emplazamiento siga funcionando con normalidad. De forma esquemática sería como se indica en la ilustración 2.

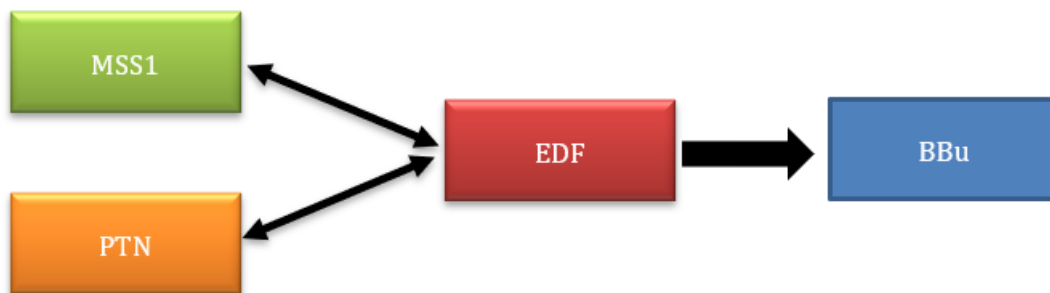


Ilustración 2. Funcionamiento del EDF. Elaboración propia.

➤ Equipo de fuerza y baterías.

Para el funcionamiento de todo el equipamiento anterior el sistema requiere de energía. Esta energía debe de ser suministrada, en la mayoría de los casos, por la compañía eléctrica correspondiente ya sea Iberdrola, Endesa o cualquier otra que disponga de servicio en la zona de ubicación del emplazamiento. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la energía suministrada por la compañía que va al cuadro eléctrico, elemento que se estudiará a continuación, es corriente alterna.

En un emplazamiento pueden existir elementos que funcionen con corriente continua y otros que lo hagan con corriente alterna. Por ejemplo, los aires acondicionados, alarmas, balizas y enchufes van con corriente alterna, mientras que los elementos más importantes, y mencionados anteriormente, funcionan con corriente continua. Por tanto, es necesario disponer de un elemento capaz de transformar la corriente alterna entrante en corriente continua saliente.

La función descrita en el párrafo anterior la realizan los equipos llamados rectificadores, que de forma conjunta se conocen como equipo de fuerza. El equipo de fuerza es capaz de transformar la corriente alterna necesaria en corriente continua que permita alimentar a todos los equipos de continua. Es tan importante su utilización que, por normativa de Orange, se debe disponer del número de rectificadores suficientes que garanticen el suministro necesario de continua más un rectificador de redundancia.

Por otro lado, de forma no obligatoria pero muy recomendable, para proveer de energía continua cuando el equipo de fuerza se encuentra averiado se dispone de baterías que pueden ser de diferente marca y autonomía, pero en todos los casos cumplen la misma función.

Como la tensión de salida de las baterías para los equipos ha de ser de 48 voltios y, por norma general, las baterías son de 12 V o de 6 V, estas se agrupan en “strings”. Se define un “String” como la cantidad de baterías de una tensión determinada que al colocarlas en serie dan una tensión de 48 voltios.

Para la selección del número de rectificadores y de baterías se utiliza una plantilla Excel donde vienen los consumos según los elementos a instalar. El consumo resultante de ese Excel en relación con las baterías también determina la autonomía necesaria de las mismas. En la siguiente imagen 20 se puede ver un equipo de fuerza de la marca ELTECK y un “Sting” de baterías MARATHON.



Imagen 20. Equipo de fuerza y baterías. Elaboración propia.

➤ Cuadro eléctrico.

El cuadro eléctrico es el equipo del emplazamiento que se encarga de alimentar los disyuntores que van a los rectificadores y de estos al resto de los equipos. El cuadro eléctrico se encarga principalmente del reparto de la energía, así como, de la protección en caso de sobrecarga. Esta protección la puede realizar mediante fusibles, magnetotérmicos, una combinación de los anteriores o mediante una rearmadora (esta última es la más utilizada porque permite reactivar la corriente después de la sobrecarga).

Existen cuadros eléctricos de interior y exterior, monofásicos y trifásicos. Se suelen elegir según donde esté el emplazamiento y según la potencia. Para cuando la potencia es elevada conviene elegir un cuadro trifásico para que la carga de potencia se reparta entre las 3 acometidas. Si fuera monofásico la acometida podría quemarse si la potencia fuera excesiva. En la imagen 21 se puede ver un cuadro trifásico de interior.



Imagen 21. Cuadro trifásico de interior. Elaboración propia.



## Capítulo 3. Metodología empleada en el proyecto.

Una vez se han descrito, de forma general, los elementos más importantes de un emplazamiento, pasamos a la descripción de la metodología empleada en el proyecto.

El proyecto de “Site factory” se divide, como se ha comentado en el primer punto, en tres lotes. Dentro de cada uno de estos lotes se encuentran varios documentos en los que colaboran varios departamentos de la empresa, así como otras empresas externas cuando se trata de casos de comparticiones con otros operadores, o que haya que pedir algún tipo de servicio como es el de alimentación. Sin embargo, aunque durante el desarrollo del proyecto existen diferentes departamentos que participan, el que realmente decide sobre el proyecto es el departamento de ingeniería. A su vez, el departamento de ingeniería responde directamente ante los departamentos de infraestructura y de radio de Orange.

Los documentos generados en cada lote son:

### 3.1 Lote I.

En el lote I se deben entregar cuatro documentos: una plantilla Excel, un Power Point, una carpeta con las simulaciones realizadas en el software de simulación Xirio y un KMZ con un área de cobertura. La función principal de este lote es proveer de candidatos posibles, es decir, identificar edificios o terrenos idóneos donde poder construir un emplazamiento en una azotea o situar la torre correspondientemente.

De la lista de los candidatos posibles, en función de las características de cada uno, el ingeniero responsable propone uno como prioritario. Este candidato figura en la plantilla Excel anteriormente comentada y, una vez entregada a Orange, la operadora decide si continua con ese candidato, propone otro que considere mejor o pide que se sigan buscando candidatos en la zona. Cuando el candidato es aceptado, el siguiente paso es ofrecer un contrato al propietario del inmueble o terreno y, en caso de que este acepte, pasar al lote II.

Se debe resaltar que el encargado de hablar con los propietarios y buscar propiedades donde ubicar la instalación no es el ingeniero, sino otro departamento conocido como “hunting”, donde los trabajadores se conocen como “hunters”. Lo mismo pasa con el tema de la legalización de la construcción, es decir, averiguar si la normativa permite o no construir en el sitio propuesto. Esta tarea corresponde a otro departamento especializado llamado “departamento de legalización”, que se encarga de consultar la normativa. Por consiguiente, el trabajo del ingeniero en este lote, como se ha dicho en el anterior párrafo de forma resumida, es el de agrupar y analizar los datos proporcionados por el hunter y por el legalizador, y tomar una decisión sobre la construcción del emplazamiento, además de realizar las simulaciones de coberturas pertinentes.

Una vez definido en que consiste el lote I se pasa a describir más en detalle los cuatro entregables:

#### **Plantilla Excel.**

Recoge los datos más importantes para la selección del candidato, además de una celda que marca la prioridad en el orden de selección de estos. En la siguiente imagen se puede apreciar la estructura del Excel.

DATOS CANDIDATOS							OTROS OPERADORES		PREVIABILIDAD CONSTRUCCIÓN		
SITE	CANDIDA	DIRECCIÓN		LATITUD	LONGITUD	ALTU	%COBERTURA ESTIMADA	OPERADOR	VIAF	TIPOLOGÍ	COMENTARIOS
PREVIABILIDAD TRANSMISIÓN				PREVIABILIDAD LEGALIZACIÓN				PREVIABILIDAD ELÉCTRICA			
M	POSIBLES REMOTOS	DISTANCIA FO MÁS CERCANA	NECESITA PPTI	PUEDA CUMPLIR ORDENANZA	APLICA OTRA NORMATIVA	Presentar DR o Licen	Posible cesión con la propiedad	Medios en BT o MT	Servidumbres de paso	Distancia posible punto de enganch	
PREVIABILIDAD CONTRATACIÓN				PRIORIDAD	VALIDADO	PRIORIDAD					
VIAF	ALARMA SOCIA	COMENTARIOS		EMPRES	ORANG	ORANG					

Imagen 22. Plantilla entregable Excel. Elaboración propia.

En la imagen 22, además de la casilla de prioridad, podemos ver que se encuentra la dirección, latitud y longitud del candidato, la altura, el porcentaje de cobertura estimado en la simulación realizada, si existen otros operadores o no en el emplazamiento, si es viable la construcción y el tipo de construcción, mástil en azotea o torre. También se encuentran datos relacionados con la previabilidad de transmisión, es decir, si existen estaciones cercanas con las que se pueda realizar un radioenlace o si hay cerca fibra de nodo (todo relacionado con el equipamiento del apartado dos).

En las casillas correspondientes a legalización se rellena la normativa aplicable al sitio donde se quiere instalar el emplazamiento, es decir, si necesita de licencias específicas o si debe cumplir alguna normativa particular. Aquí es de aplicación lo comentado en el punto 2 en lo referente a retranqueos, altura de las antenas, etc.

En las dos siguientes casillas se adjuntan los datos de la previabilidad eléctrica y de contratación. En cuanto a la eléctrica, se detalla el tipo de consumo, quien lo proporciona, si hay servidumbres de paso y la distancia previsible al punto de enganche, es decir, al contador. Por otro lado, la previabilidad de contratación define las probabilidades que existen de que el propietario del emplazamiento dé su consentimiento para construir.

### Power Point.

En el Power Point se recogen básicamente la mayoría de los datos contenidos en la plantilla Excel, con la diferencia de que en este archivo hay datos más ampliados, es decir, recoge, por ejemplo, mapas de donde se sitúan los emplazamientos disponibles para hacer radioenlaces, por donde pasa la fibra de nodo, mapas comparativos de coberturas, etc. En la siguiente imagen se puede apreciar un ejemplo de la información recogida en el documento.



Imagen 23. Archivos presentes en el power. Elaboración propia.

También destaca el hecho de que en el Power Point existe un apartado que recoge la normativa aplicable a los emplazamientos. Esta normativa es importante, pues su cumplimiento es exigido por el ayuntamiento correspondiente, el cual, debe aprobar el proyecto. La normativa suele centrarse en la altura máxima que pueden alcanzar las antenas, la altura máxima de los contenedores C3, la línea de 45° con la fachada, los

retranqueos de antenas y equipos y la obligación de mimetizar. También son incluíbles aspectos como la modificación del terreno o la posibilidad de construcción en tejados de cubierta no plana.

### Carpeta de simulaciones.

En esta carpeta se incluye una hoja Excel con los cálculos de cobertura realizados para cada candidato comparado con el actual. Estas plantillas incluyen un porcentaje de cobertura, distinguiendo entre el estado actual, sin construir el nuevo emplazamiento, y otro porcentaje considerando el emplazamiento propuesto. Este porcentaje representa la superficie cubierta (según especificaciones de Orange) del área deseada. Dependiendo del tipo de zona donde se quiera situar el nuevo emplazamiento se podrá distinguir entre cobertura indoor y outdoor, o se calculará un porcentaje de cobertura total sin hacer distinción. La distinción entre coberturas en escenarios outdoor e indoor se realizará cuando la zona objetivo de cobertura sea zona de exclusión, las cuales son ciudades grandes como las capitales de provincia. En las zonas fuera de la zona de exclusión no se realizará esta distinción y el porcentaje de cobertura englobará tanto outdoor como indoor, sin especificar un porcentaje para cada escenario.

Se debe hacer notar que el porcentaje de cobertura incluido tanto en la plantilla Excel de entrega de candidatos como en el Power Point es el más restrictivo, o sea, el indoor. Por tanto, en los cálculos de coberturas fuera de zona de exclusión se debe utilizar el porcentaje total, ya que no existe la distinción outdoor – indoor.

En las plantillas de las simulaciones también está incluido un mapa que compara los niveles de señal del escenario actual (sin nuevo emplazamiento) y el nuevo escenario (considerando nuevo emplazamiento).

Este mapa ayuda a conocer el resultado de la nueva cobertura, ya que el mencionado porcentaje de cobertura solo indica la parte de superficie en la cual se considera que se cumple el criterio de cobertura dentro de una zona especificada, pero sin dar información de los lugares donde se cumple o se deja de cumplir. Este mapa es de gran utilidad porque en ocasiones existen cálculos realizados donde el porcentaje del área de cobertura es elevado, es decir, se considera que se cubre en la mayoría de la superficie del área, pero, sin embargo, se deja de cubrir una zona que Orange considera imprescindible.

Un ejemplo de plantilla se puede ver en la imagen 24.

Nombre del site:		MAD2557		Candidato:		A			
Fecha entrega:		21/10/2020							
Fecha revisión:									
SITE FACTORY-LOTE 1									
			Diferencia	Actual	Consolidado				
			Rango superior	Rango superior	Rango superior	Resultado MANUAL			
		TOTALES	800-900	800-900	800-900	(OK, Verificar, NO)			
Cobertura	3G	Indoor km2	0,208	33,8475	58%	92%	OK		
		Outdoor km2	0,408	2,8971	96%	99%			
		Total km2	0,616	0,0000	0%	0%			
		Promedio Señal_Indoor		7,2	-	87,7		-	80,5
		Promedio Señal_Outdoor		4,4	-	76,8		-	72,4

Imagen 24. Tabla de la plantilla de cobertura. Elaboración propia.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es resaltar que las simulaciones realizadas en este apartado son solamente una aproximación para ver si existe posibilidad de una buena cobertura radioeléctrica. La simulación es una aproximación debido a que el tipo de antena y parámetros a utilizar está definido de una manera general sin distinguir entre sectores. Para ello se utiliza una antena omnidireccional con una serie de parámetros

determinados. A la hora de realizar una simulación más realista se tendrá en cuenta la utilización de una antena específica de la tabla 1, con unas pérdidas, unas orientaciones determinadas y unos valores para los tilt.

Por último, respecto al criterio por el que se aprueba si un candidato puede proporcionar una buena cobertura radioeléctrica, se debe decir que tal criterio depende de si el proyecto es de repliegue o de nuevo emplazamiento. Para repliegues el criterio a seguir es que el emplazamiento nuevo supere en porcentaje de cobertura al porcentaje que había anteriormente, considerando el nodo a replegar. En nuevos emplazamientos (sin repliegues) el criterio a seguir es que se alcance un mínimo de un 85% de porcentaje de cobertura.

## KMZ.

Un KMZ es el nombre que recibe el archivo de Google Earth que contiene, tanto el área donde se quiere dar cobertura, como la posición de los candidatos propuestos. El área se expresa mediante un polígono hueco cerrado y sin bucles, mientras que los candidatos se suelen expresar mediante chinchetas amarillas.

La representación mediante el KMZ es muy útil tanto para orientarse en la zona y observar la situación de los candidatos, como para ver las posibles dificultades que tiene la construcción del emplazamiento, por ejemplo, problemas de ocultamiento de un edificio más grande, problemas en el tipo de azotea al no ser plana o permite ver, también, si existen problemas de espacio en la azotea. En instalaciones de torre se puede usar para ver dónde estaría el poste de tensión más cercano y así hacer una estimación de los metros de obra civil que hay que realizar. Se puede apreciar un KMZ en la imagen 25.



Imagen 25. KMZ de una zona. Elaboración propia.

## 3.2 Lote II.

Una vez completado el lote I y aprobado por Orange, se procede a estudiar al candidato propuesto por el ingeniero y empezar a analizar la propiedad en profundidad. Este lote, es el más costoso de realizar y a la vez el más importante del proyecto, pues es aquí donde está el grueso del trabajo, es decir, en esta etapa es donde se define como va a ser la infraestructura, como se va a alimentar la instalación, que cobertura va a dar, como va a llegar la transmisión, si por fibra o por radioenlace, etc.

El lote II se divide en las siguientes sub-fases:

- ⇒ SARS.
- ⇒ Preparación del replanteo.



- ⇒ Replanteo.
- ⇒ Simulaciones.
- ⇒ CAP.
- ⇒ Diseño de RF.
- ⇒ Diseño de TX.
- ⇒ IVE.

A excepción de las sub-fases de “preparación del replanteo” y del “replanteo”, cada una del resto de las sub-fases genera un documento entregable a Orange para su aprobación.

- SARS.

El SARS es un reportaje fotográfico que se realiza al emplazamiento de manera previa. Si el candidato propuesto o avanzado es una azotea, se realizan fotografías de la fachada viéndose el portal, fotografías de la azotea y fotografías a los laterales. Si el candidato tiene tipología de torre, se realiza un reportaje fotográfico al terreno donde se quiere construir la torre, incluyendo la entrada a la parcela de terreno.

El documento generado de esta fase es elaborado por el hunter y analizado por el ingeniero antes de visitar el emplazamiento y, además, debe ser aprobado por Orange.

- Preparación del replanteo.

En esta sub-fase, partiendo del análisis realizado del documento del SARS, el ingeniero elabora un documento Word en el que indican posibles vías de cableado, posibles remotos con los que realizar radioenlaces, posibles puntos de enganche de la fibra y posibles orientaciones y número de sectores.

Cuando se indican orientaciones, estas son unas orientaciones aproximadas, calculadas suponiendo un ancho de haz de la antena de  $60^\circ$  y tratando de cubrir la zona objetivo de cobertura.

En cuando a los posibles remotos, se debe indicar la orientación desde el candidato al remoto y desde el remoto al candidato de forma aproximada para que, a la hora de replantear, la persona encargada pueda, mediante el uso de una brújula, orientarse. También se deben incluir las direcciones del candidato y del remoto.

El documento generado en esta etapa, a diferencia de otras, no se entrega. Es solo para consulta del propio ingeniero si es él el encargado de realizar el replanteo, o para consulta de la persona encargada de ir a replantear.

- Replanteo.

El objetivo de esta sub-fase es tener una visión más detallada del sitio donde se ha propuesto construir. Para ello, se realiza un reportaje fotográfico del lugar, acompañado de un croquis que indica los elementos que hay repartidos en él. Este croquis deberá contener todas las medidas necesarias para poder proponer construcciones de infraestructura.

Cuando los emplazamientos son azoteas, hay que tener especial cuidado en ver donde se sitúan los pilares del edificio y medir las distancias entre ellos, medir la longitud del muro de la azotea por si se puede instalar RRu en él, medir si hubiera casetones que puedan provocar ocultamiento, etc.

Si, en cambio, los emplazamientos son en torre, es importante mirar las medidas de espacio donde se debe instalar, el recorrido que tendrá la acometida hasta el punto de suministro, el tipo de terreno que existe y si este se puede alterar o no.

El replanteo puede ser llevado a cabo por el propio ingeniero o por un técnico mandado por el ingeniero, debido a que la disponibilidad geográfica de las personas limita la movilidad.

Como se ha mencionado, en esta etapa se obtienen dos documentos: el reportaje fotográfico que hay que entregar a Orange y el croquis, que no se entrega y es una referencia para que el ingeniero pueda diseñar el emplazamiento.

- Simulaciones.

Una vez se ha decidido el lugar del nuevo emplazamiento, hay que asegurar de manera más detallada que este lugar cumple los requerimientos de cobertura necesarios. Para ello, se realizan las simulaciones de lote II, las cuales son de las partes más importantes del proyecto.

Estas simulaciones son algo parecidas a las del lote I, pero, ahora, con mucha más precisión. Es decir, mientras que en las simulaciones de lote I solo se realizaba una simulación con una antena omnidireccional en las tecnologías UMTS 900, en estas simulaciones se incorporará el tipo de antena que proceda con el número de sectores propuestos (se usan, en un primer momento, las orientaciones propuestas en el documento de preparación del replanteo, o las del replanteo si el técnico indica otras orientaciones en su visita) que luego podrá ser modificado para obtener mejores coberturas, una inclinación determinada, también modificable en el transcurso de la etapa, unos parámetros de interferencia y un factor de carga de los nodos colindantes.

El proceso de simulación comienza igual que en el lote I, realizándose una simulación del estado actual del emplazamiento. Es decir, se debe obtener el dibujo y el porcentaje de cobertura del área seleccionada tal y como está en el momento antes de la construcción. La principal diferencia en esta parte es que se debe realizar el mismo análisis del estado actual, en las diferentes tecnologías en las que se piensa instalar. Esto implica una variación en el número de nodos, pues existen emplazamientos que, por ejemplo, disponen de las tecnologías GSM900 y UMTS900 y, sin embargo, no disponen de tecnología L1800 que sí está disponible en otros nodos.

Para seleccionar una referencia de qué nodos afectarán al área de cobertura se crea un perímetro de dos kilómetros alrededor del área objetivo. Este área es común a todos los estudios de las diferentes tecnologías, pero, como se menciona en el apartado anterior, no todos los nodos tienen la tecnología objeto de estudio, por lo que, cuando no la tienen, directamente no aparecen. Esto quiere decir que, por ejemplo, en el mismo área un estudio de UMTS900 puede tener 100 nodos y otro de GSM900 puede tener 70.

Una vez realizado el estudio de cobertura actual, se pasa a realizar un estudio actual de interferencia. Este estudio, a diferencia del anterior, no se realiza sobre el área objetivo únicamente, sino que se realiza en la zona de 2 kilómetros alrededor de esta.

Los estudios de interferencia funcionan de manera similar a los de cobertura: existe un parámetro, que depende de la tecnología en cuestión, que debe cumplir un cierto valor y, por otro lado, existe un porcentaje de interferencia que indica en qué cantidad de área del emplazamiento (área de los dos kilómetros) se cumple que ese parámetro de interferencia está por encima de ese valor.

Según la tecnología, en los parámetros de interferencia se utilizan varios rangos de colores, los cuales se pueden ver en la siguiente imagen.

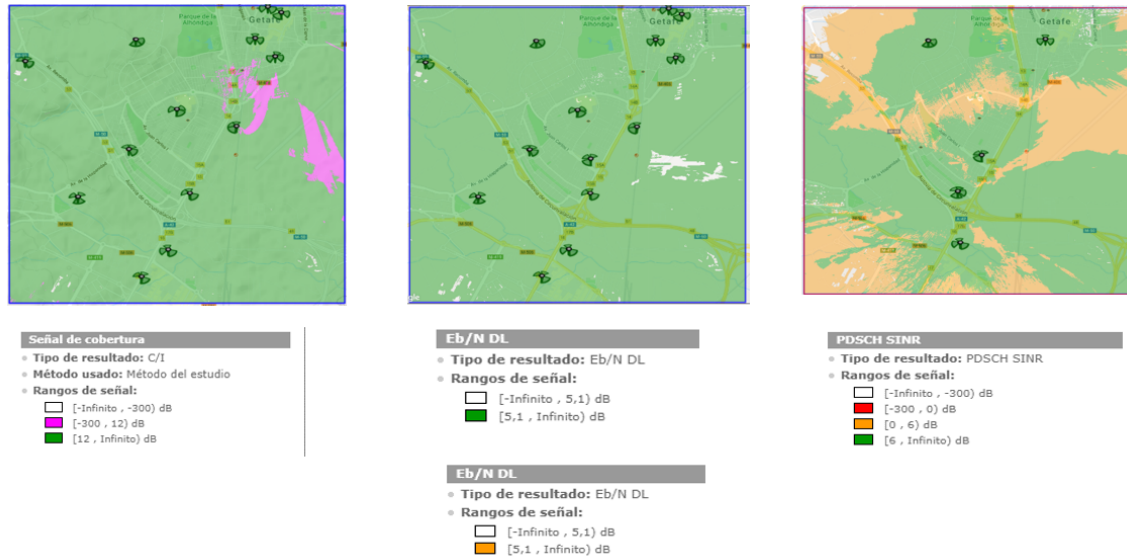


Imagen 26. Rangos 2G, 3G, 4G por orden de izquierda a derecha. Elaboración propia.

Una vez se han realizado los estudios actuales de cobertura e interferencia, se debe realizar el correspondiente estudio consolidado, es decir, efectuar la simulación considerando el nuevo emplazamiento. Para ello, se deben preparar unas plantillas de características que variarán según la tecnología en cuestión, para que luego estas plantillas puedan exportarse a Xirio y crear la simulación. Como en cada una de las tecnologías la plantilla es de una forma, pero dentro de las diferentes tecnologías de 3G y 4G lo único que cambia es el valor de los parámetros, a modo ilustrativo se tratará un ejemplo de plantilla por tecnología.

▪ Plantilla 2G.

La plantilla del GSM900 será la siguiente:

Cov.Id	Cov.Name	Cov.Descript	Band.Name	Tx.Name	Tx.Longitude	Tx.Latitude	Tx.Station	TxParams.Po	TxParams.Po	TxParams.Po	TxParams.Lo	TxParams.An	TxParams.Antenna	TxParams.An
	Candidato_A_S1	Estudio de co	Banda E-GSM	Candidato_A_S1	2,23235	41,460797	Candidato_A	10	W	Crossed	1	Standard	AQU451BR36v06	21
	Candidato_A_S2	Estudio de co	Banda E-GSM	Candidato_A_S2	2,23235	41,460797	Candidato_A	10	W	Crossed	1	Standard	AQU451BR36v06	21
	Candidato_A_S3	Estudio de co	Banda E-GSM	Candidato_A_S3	2,23235	41,460797	Candidato_A	10	W	Crossed	1	Standard	AQU451BR36v06	21

TxParams.Azimit	TxParams.Inclination	TxParams.Electrical Tilt	TxParams.Frequencies.Value	TxParams.Fre
55	0	8	929,6 930,2 930,8	MHz
167	0	8	929,8 930,4 931	MHz
260	0	8	930 930,6 931,2	MHz

RxParams.Re	RxParams.Reception Threshold.Value	RxParams.Reception Threshold.Unit
Power	-95	dBm
Power	-95	dBm
Power	-95	dBm

Imagen 27. Plantilla del candidato 2G. Elaboración propia.

En la imagen 27 se puede observar, en primer lugar, que los campos marcados en amarillo son los que el ingeniero debe modificar antes de realizar la simulación. Estos campos comprenden el nombre del candidato, sus coordenadas en sistema WGS-84, el número de sectores, el tipo de antena, la altura a media antena, las orientaciones de cada sector, los tilt y las frecuencias de las portadoras. Además, se puede ver como el umbral de potencia está puesto en -95 dBm.

Los parámetros de nombre de candidato, longitudes, tipo de antena y altura son fijos, mientras que las orientaciones, los tilt y las frecuencias de las portadoras son variables. Por tanto, lo que se hace es ir repitiendo cada simulación con diferentes valores con estos parámetros hasta que se encuentre uno adecuado que cumpla con los criterios de cobertura y de interferencia y satisfaga las exigencias de Orange.

Es destacable el hecho de que en lo que se refiere a las frecuencias, se asignan tres frecuencias diferentes a cada uno de los sectores. Esto se hace con el objetivo de introducir la mínima interferencia posible y, por tanto, además de no ser coincidentes entre sí, tampoco deben coincidir con ninguna frecuencia de los nodos ya existentes en el área de cobertura dos kilómetros ampliada. Para comprobar que las frecuencias no son coincidentes Xirio permite exportar las características de todos los emplazamientos partícipes de los cálculos, y en esa hoja Excel exportada se pueden comprobar las frecuencias en uso.

- Plantilla 3G.

En cuanto a la plantilla correspondiente al 3G, los parámetros a modificar son los mismos que en la del 2G exceptuando que ahora no se deben proporcionar valores de frecuencias a las portadoras, ya que en las tecnologías 3G se trabaja siempre con la misma frecuencia de portadora. Esta frecuencia como se puede apreciar en la imagen 28 es de 887.6 MHz mientras que la potencia umbral es ahora de -103 dBm.

Estudio	Servicio	Banda	Estado	Puesta en servicio	Descripción	Transmisor Nombre	Parámetros de recepción Frecuencia (MHz)	Última modificación	Usuario modificado
	UMTS_FDD						887.6		
ARAX0001F1	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0001F1	887.6	01/10/2019	
ARAX0001F2	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0001F2	887.6	01/10/2019	
ARAX0001F3	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0001F3	887.6	01/10/2019	
ARAX0003F1	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0003F1	887.6	01/10/2019	
ARAX0003F2	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0003F2	887.6	01/10/2019	
ARAX0003F3	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0003F3	887.6	01/10/2019	
ARAX0005F1	UMTS_FDD				Estudio de cobertura...	ARAX0005F1	887.6	01/10/2019	

Imagen 28. Parámetros nodos en Xirio U900. Elaboración propia.

Para la tecnología U2100 pasa exactamente lo mismo, es decir, los parámetros son los mismos que en el 3G, sin embargo, ahora la frecuencia que utilizan estos nodos es de 1942.5 Mhz, utilizando el mismo valor de potencia umbral de -103 dBm.

- Plantilla 4G.

Siguiendo en la misma línea, en la plantilla del 4G se cambian los mismos parámetros que en 2G y 3G salvo la frecuencia, que para L800 es 796 MHz, para L1800 es 1847 MHz, para L2100 es 2132,5 MHz y para L2600 es 2680 MHz. Vemos, por tanto, que la única diferencia recae en un parámetro exclusivo de 4G conocido como los PCI.

Los PCI marcan la interferencia que se va a tener y, por tanto, del mismo modo que con las frecuencias en 2G, hay que buscar que los PCI no sean coincidentes con los PCI de otros nodos. Para ello, se sigue la misma estrategia que antes, es decir, se exportan las estadísticas de los nodos partícipes del estudio y se selecciona un PCI que no esté en ninguna estación.

TxTech.PCI	TxTech.Cell E	TxTech.PbCo	TxTech.PDCC	TxTech.Powe
9	15	Configuration Symbols2		-90
10	15	Configuration Symbols2		-90
11	15	Configuration Symbols2		-90

Imagen 29. Plantilla 4G. Elaboración propia.

Una vez rellenas estas plantillas, se importan de Xirio y se realizan las simulaciones como en las simulaciones actuales, proporcionando un valor de porcentaje de cobertura y otro de interferencia. Además, se debe realizar, como en el lote I, un mapa de cobertura comparativo entre el resultado de la simulación actual y el resultado de la simulación consolidada.



Por otro lado, a los mapas de cobertura obtenidos se añaden los mapas de interferencia con los rangos descritos en la imagen 26, uno para el actual y otro para el consolidado, excepto en tecnologías de 3G donde se realiza un mapa comparativo de interferencia actual y consolidada. Adicionalmente, se añade una hoja Excel que contiene los parámetros de todas las estaciones que participan en el estudio, una por tecnología. Por tanto, la plantilla de simulaciones del lote II contiene una hoja con los porcentajes de cobertura e interferencia y los mapas de todas las tecnologías simuladas y una hoja por tecnología que contiene los datos de todas las estaciones que entran en el estudio además de la nueva a instalar.

En la imagen 30 se puede ver un mapa comparativo de coberturas, en el cual, la cobertura consolidada supera completamente la actual, provocando que el mapa se muestre enteramente de color verde. Por lo tanto, en este caso, en cuanto a cobertura, el emplazamiento cumpliría con las especificaciones si fuera un proyecto de repliegue.

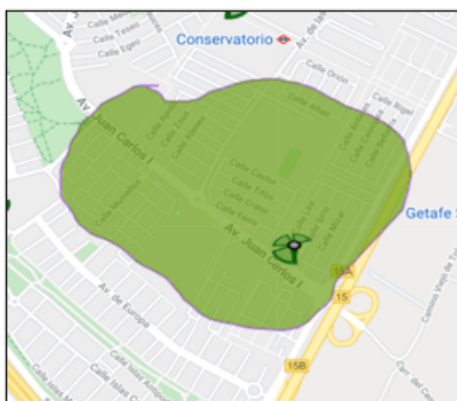


Imagen 30. Mapa comparativo coberturas. Elaboración propia.

Por último, en cuanto a los criterios para considerar una cobertura consolidada, estos son parecidos a los del Lote I pero diferenciando en tecnologías e incluyendo criterios también para interferencia. En la tabla 2 se pueden ver los criterios para el lote II, tanto de cobertura como interferencia cuando es de nueva construcción. En repliegues, basta con superar el porcentaje actual de cobertura e interferencia.

		Umbral	Objetivo Población sobre Umbral inferior en clúster
2G	Nivel de Señal	-90dBm	>=85%
	Interferencia C/I	C/I > 12 dB	>=85%
3G	Nivel de Señal	-90dBm	>=85%
	Interferencia Eb/No	Eb/No 5,1 dB	>=85%
4G	Nivel de Señal RSRP	-106dBm	>=85%
	Interferencia SINR	SINR 0dB	>=85%

Tabla 2. Criterios emplazamientos de nueva construcción. Elaboración propia.

En la tabla 2 se puede ver como en 2G y 3G la potencia debe ser mayor de -90 dBm en el 85% del área en el que se quiere dar cobertura, mientras que en 4G la potencia debe ser mayor de -106 dBm, también en el 85% del área.

En cuanto a interferencia en 2G, el parámetro que marca el nivel de interferencia es el C/I, es decir, la potencia de la portadora dividida por las interferencias recibidas. Este valor debe ser mayor de 12 dB en el 85% del área de cobertura.

En 3G, el parámetro que marca el nivel interferencia es el Eb/N0, energía de bit partido por la densidad espectral de potencia de ruido, el cual debe estar por encima de 5,1 dB en el 85% del área.

Por último, en 4G el parámetro que marca la interferencia es el SINR, potencia de la señal partido por la potencia de las interferencias, y potencia del ruido, que debe estar por encima de 0 dB también en el 85% del área de cobertura.

- Cap.

En esta fase se deciden y realizan todos los aspectos derivados de la infraestructura necesaria, es decir, se decide en qué lugar de la azotea construir, el tipo de mástil a utilizar se dibuja de forma detallada la azotea con sus medidas, se dan detalles de la infraestructura, se calcula la longitud y recorrido de los cables, etc. Del resultado obtenido se elabora un documento a entregar de esta etapa, que es un documento con diferentes planos vistos desde ángulos distintos y que contienen el estado actual del emplazamiento y todo lo que se quiere hacer en ellos. También se recogen todas las acciones necesarias que el instalador, por parte de Orange, debe ejecutar en el emplazamiento.

El cap es un documento importante ya que define como va a ser el emplazamiento y, por tanto, sirve de guía a todo aquel que deba realizar trabajos en la estación como, por ejemplo, la compañía eléctrica que pone el suministro o, como ya se ha comentado antes, la instaladora encargada de realizar la construcción. Este plano es realizado por un técnico especial, el delineante, que se encarga de dibujar todo aquello que le manden. Por tanto, la tarea del ingeniero responsable es la de decidir cómo va a ser el emplazamiento, es decir, es un trabajo conjunto, el ingeniero diseña mientras que el delineante dibuja siguiendo sus instrucciones.

Para poder diseñar el cap se deben hacer uso de varios documentos adicionales elaborados por el ingeniero y que no es necesario entregar. Estos son:

- ❖ Calculadora de consumos.

Es una hoja Excel que contiene los consumos de todos los elementos que tiene una estación de comunicaciones móviles. En este documento se deben poner todos los elementos que se van a utilizar y, automáticamente, la hoja devuelve el consumo que tendrá el emplazamiento, diferenciando si es compartido o no con otro operador, el número de rectificadores necesarios y las baterías a usar.

BB6620	KDV127620/11	95	95			0	0
BB6630	KDV127621/11	126	126	1		126	126
BB6648	KDU1370015/11	299	299			0	0
BB 5216	KDU 137 925/31	151	151	1		151	151
DUG 20	KDU 137 569/1	41	41			0	0
DUS 31 02	KDU 137 624/31	138	138			0	0
DUS 41 02	KDU 137 624/11	146	146			0	0
RBS 6201 -48V	BFM 901 290/1	24	24			0	0
RBS 6202	BFM 901 351/1	19	19			0	0
RBS 6102	BFM 901 292/1	51	51			0	0
RBS 6101	BFM 901 302/1	51	51			0	0
RBS 6601	1/BFL 901 009/4	14	14			0	0
RBS 6501		200	200			0	0
						HIGH	TYPICAL
CONSUMO RADIO						2515	1696

Imagen 31. Calculadora de consumos. Elaboración propia.

❖ Cuadro de coordenadas.

El cuadro de planos incluye información relativa a la ubicación, como las coordenadas en diferentes sistemas, el huso horario, el acceso al edificio, la altura, la referencia catastral, etc.

FICHA REPLANTEO				
COORDENADAS ED50 HUSO 30				
UTM	X	436721,31	CLASIFICACION URBANISTICA	
	Y	4460073,48		
GEOGRAFICAS	LATITUD	40º 17' 17,04" N	CALIFICACION	Suelo Urbano Consolidado con planeamiento previo
	LONGITUD	3º 44' 39,90" O	CLASIFICACION	Zona de ordenación abierta
COORDENADAS ETRS89 HUSO 30			USO PRINCIPAL	Comercial
UTM	X	436611,79	REF CATASTRAL	6800702VK3660S
	Y	4459866	Avenida Juan Carlos I, 13 (28905) Getafe, Madrid	
GEOGRAFICAS	LATITUD	40º 17' 12,78"N		
	LONGITUD	3º 44' 44,62"O		
ALTITUD	632M		ALTURA EDIFICIO 7 ME TROS	
ACCESOS				
Se instalará un keybox locken Orange en fachada en la Avenida Juan Carlos I 13. En su interior estarán las llaves que la propiedad nos dejará para hacer copia.				

Imagen 32. Cuadro de coordenadas. Elaboración propia.

❖ Sección de alimentación.

Es una hoja Excel en la que se inserta el dato de la longitud del cable, y la hoja devuelve la sección necesaria del cable. Este cuadro distingue entre si el consumo es monofásico o trifásico. Habitualmente se suele utilizar más el trifásico debido a que así se reduce la sección necesaria del cable.

❖ Tabla de antenas.

La tabla de antenas es un cuadro Excel que resume toda la información relativa a la antena, es decir, su modelo, sus medidas, la altura a la que está y las longitudes de los cables.

ANTENAS ESTADO ACTUAL													
SECTOR	TECN.	TIPO ANTENA	ALTURA A TOPE DE ANTENA			ALTURA ANTENA	ORIENTACION	COAXILES		LONGITUD CABLEADO RRU		DTE	DTM
			CASETÓN	CUBIERTA	CALLE			TIPO	LONGITUD	F.O.	F.		
S1	GU900/L800	AQU4518R36V06	2,14 m	5,48 m	12,48 m	2,099 m	30º	1/2"	4X18,00m	2x6m	6m	5º	0º
S2	GU900/L800	AQU4518R36V06	2,14 m	5,48 m	12,48 m	2,099 m	210º	1/2"	4X18,00m	2x6m	6m	5º	0º
S3	GU900/L800	AQU4518R36V06	2,14 m	5,48 m	12,48 m	2,099 m	300º	1/2"	4X18,00m	2x6m	6m	5º	0º

Imagen 33. Tabla de antenas. Elaboración propia.

❖ Trabajos a realizar.

El documento de trabajos a realizar es un documento Word que contiene las acciones que hay que realizar en el nuevo emplazamiento, como es el número de RRU y BBU que se instalan, sobre que se instalan, si hay mástil arriostrado, etc.

Con la información de estos documentos, más las indicaciones adicionales del ingeniero, el delineante debe crear un plano lo más real posible. Un ejemplo de un plano dentro del cap (ya que el cap suele contener unos 30 planos, según el emplazamiento en cuestión) se puede ver en la imagen 34.

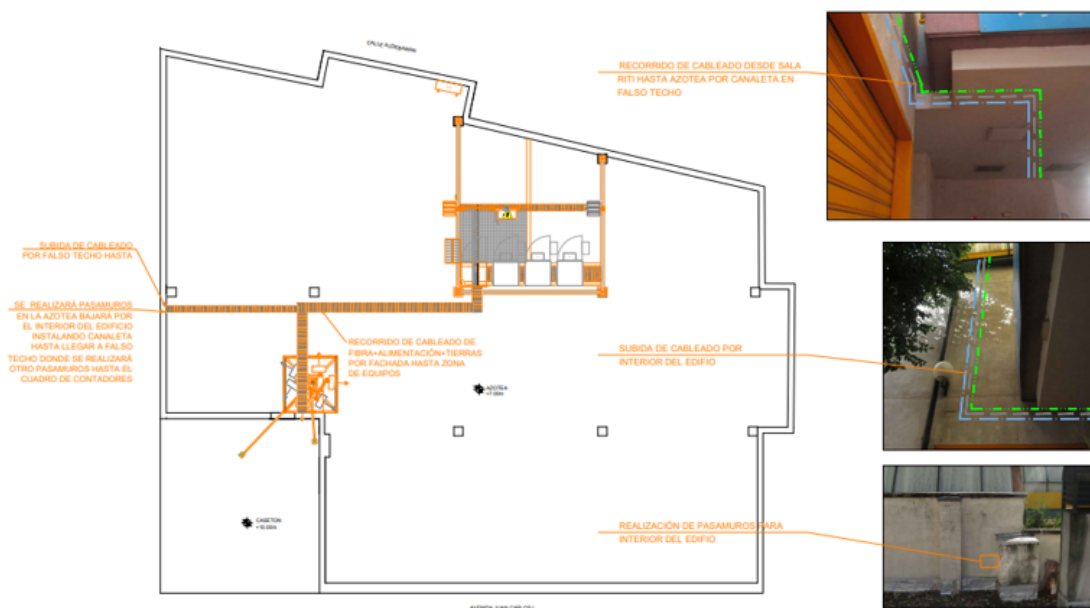


Imagen 34. Ejemplo de plano del CAP visto en planta. Elaboración propia.

- Diseño de RF.

El diseño de RF (diseño de radiofrecuencia) es la fase donde se elaboran dos documentos que definen la configuración que van a tener cada uno de los sectores que se van a implantar en el nuevo emplazamiento.

El primer documento es conocido como fichero de configuración (Imagen 35)

CONFI 2G	CONFI 3G	CONFI 4G	SECT ES	SISC MIMO	CE UL DL	Code	BB - 2	BB - 3G	BB - 4G	BB - 5	RU - 900	RU - 800
G9(222)	U9(111)	L8(111)	3	MIMO			BB6630	BB6630			(3)RRU2479 B8 E20	

Imagen 35. Fichero de configuración. Elaboración propia.

En este fichero se recoge información de las tecnologías a instalar y el número de portadoras asignadas al sector. Por ejemplo, en la imagen 35 se ve como para la tecnología G9 le sigue un paréntesis con (222), esto quiere decir que se instala la tecnología GSM900 con 3 sectores donde hay 2 portadoras por sector. Además, se recoge información sobre el equipamiento que se va a utilizar referido a temas de radio (como son las BBus y las RRus), información sobre los tilt de las antenas y orientación de los sectores, la configuración MIMO/SISO y la potencia y el número de transmisiones.

Profundizando en estas dos últimas características, la configuración MIMO o SISO depende del número de transmisiones y recepciones que se vayan a realizar. Si la configuración es SISO solo se realiza una transmisión y solo una recepción, es decir, se usa una antena para transmitir y otra para recibir. En cambio, si la transmisión es MIMO se realizan múltiples transmisiones y múltiples recepciones, es decir, se usan varias antenas para transmitir y varias para recibir. En la imagen 36 se puede apreciar cómo funcionan este tipo de configuraciones.



Imagen 36. Fundamentos del MIMO/SISO. (Chatterjee, 2012)

Siempre que sea posible se tiende a trabajar con configuraciones tipo MIMO, debido a que estas configuraciones permiten reducir el efecto multicamino, el cual provoca desvanecimientos profundos en la potencia de la señal, al proporcionar diversidad a la señal recibida.

En las antenas usadas en comunicaciones móviles, la configuración MIMO se consigue utilizando cada uno de los puertos de los arrays disponibles, es decir, cada puerto del arrays funciona como si fuera una antena permitiendo las configuraciones MIMO.

Por otro lado, en cuanto a las potencias y número de transmisiones se configuran según la normativa de Orange, dependiendo del tipo de emplazamiento. El documento de referencia se llama “radio configuration & decisión tree jumping” (Ericsson, 2020). En la imagen 37 se puede ver la normativa correspondiente al 2G.

GSM-2G	DSP	VDF
	<b>G900</b>	
<b>New</b>	10w/TRX	10w/TRX
<b>Existing</b>	Same Power at least (Max 20w/TRX)	Same Power at least (Max 20w/TRX)
<b>General</b>	20w/TRX	20w/TRX

Imagen 37. Potencia asociada al 2G. Elaboración propia a partir de (Ericsson, 2020).

En la imagen 37 se ve que para un nodo nuevo de 2G se deben utilizar 10 W por cada transmisión. Como ejemplo, si se configurara un emplazamiento con la tecnología 2G con la radio 2279 de la imagen 7 se podría, según esta radio, configurar como 2T4R, es decir, dos transmisiones y cuatro recepciones. Sin embargo, según el archivo anteriormente mencionado, la configuración general para el 2G es 2T2R. Por tanto, la configuración que cumpliría la normativa sería la de dos transmisiones de 10 W cada una y dos recepciones.

Por otro lado, el segundo documento es conocido como fichero de solicitud de validación de diseño. En este fichero se pone la información anterior y, además, se amplía información, es decir, aparte de la información facilitada en el fichero de configuración, se añade información sobre el tipo de antena a utilizar y sus características, las acciones correspondientes de obra civil y las relacionadas con el equipamiento y sistema radiante. Además, se añade el “layout” del emplazamiento. En la imagen 38 se puede apreciar parte de la información contenida en el documento.

PROPUESTA A NIVEL DE SSRR											
*5/I TRES NUEVAS ANTENAS HUAWEI AQU4518R36V06. *5/I DE NUEVA ANTENA GPS SOBRE CABINA DE ALTA CAPACIDAD C3. *NUEVO RADIOENLACE HACIA MADX1623 MX4623 DE DIÁMETRO 30CM CON ORIENTACION A 52,61º. *NUEVA ACOMETIDA DE FO POR FALSO TECHO Y CANALETA AL IGUAL QUE LA ACOMETIDA SEGÚN VIABILIDAD DE FO. *ENGANCHE A RED DE TIERRAS EXISTENTE PARA SUBIR POR FALSO TECHO EN TUBO JUNTO A ACOMETIDA. *5/I DE PLETINAS DE TIERRA TANTO EN EL LADO DE EQUIPOS PARA BANCADA CABINA Y CUADRO ELÉCTRICO COMO EN EL MÁSTIL PARA ANTENAS Y RADIOS. *5/I MANGUERA TRIFÁSICA 5X16MM2 ENTUBADA DESDE CUADRO ELÉCTRICO HASTA CONTADOR. *5/I DE ANTIESCALO CON CANDADO LOCKEN EN EL MÁSTIL. *NECESIDAD DE GRÚA PARA INSTALACIÓN DE EQUIPOS.											
SECT OR	MODELO ANTENA	ARRAYS FRECUENCIA	Horizontal Max (º)	TAMAÑO	AZIMUT H	M-tilt	800 E-tilt	900 E-tilt	1800 E-tilt	2100 E-tilt	2600 E-tilt
1	AQU4518R36V06	2L2H	65º	2000*500	30	0	5	5			
2	AQU4518R36V06	2L2H	65º	2000*500	210	0	5	5			
3	AQU4518R36V06	2L2H	65º	2000*500	300	0	5	5			

Imagen 38. Fichero de solicitud de validación de diseño. Elaboración propia.

- Diseño de TX.

En esta fase se realiza el diseño de una parte fundamental de un emplazamiento: el diseño de transmisión. Como se ha comentado anteriormente, la transmisión se puede obtener mediante radioenlace o mediante fibra, por tanto, esta fase se divide en dos sub-fases con diferentes entregables.

### Diseño de fibra.

Si la transmisión quiere realizarse por conexión mediante fibra óptica se debe realizar esta sub-fase que, básicamente, consiste en buscar el punto al cual se debe conectar la fibra nueva del emplazamiento con la fibra ya existente del anillo de fibra que proporciona conexión.

Para ver todas las posibles conexiones que se pueden realizar, Orange dispone de una aplicación conocida como GIS que contiene toda su fibra óptica existente, así como, la canalización y arquetas alquiladas a otros operadores, en especial alquiladas a telefónica, ya que es el teleoperador que más arquetas posee en España.

En la siguiente imagen se puede apreciar cómo es esta aplicación:

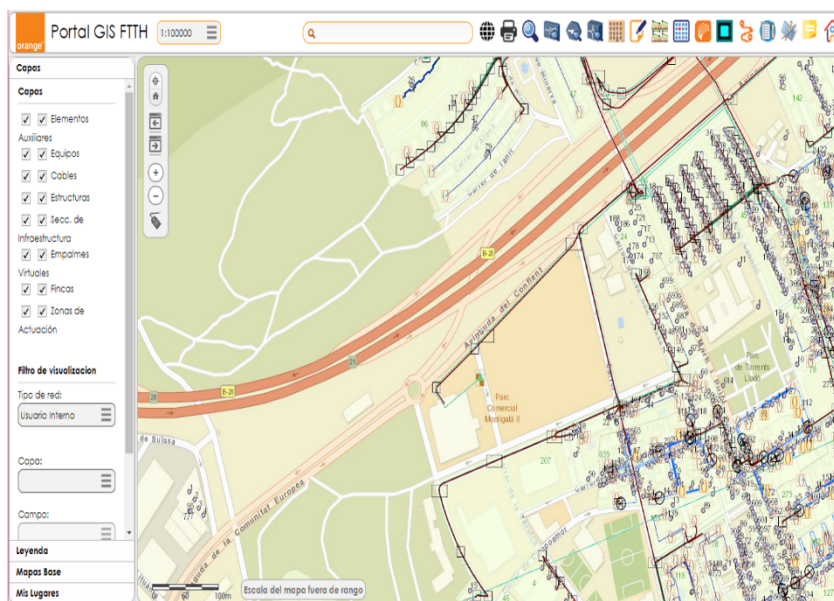


Imagen 39. Vista de GIS. Elaboración propia.

En la imagen 39 se puede ver el mapa de una localidad con diferentes líneas que representan las canalizaciones que contienen o no fibra óptica instalada. Los cuadrados indican la posición de una arqueta y los círculos indican que existe un empalme, es decir, cuando se ve un círculo dentro de un cuadrado o cerca de él, indica que dentro de esa arqueta existe una caja de fibras en la cual se puede empalmar (unir las fibras y poder transmitir por ellas) una fibra nueva que viene a partir de un canalizado.

La principal dificultad en el diseño es encontrar un empalme que sea de nodo, es decir, encontrar un empalme que dé conexión al anillo de transmisión para comunicaciones móviles. Es complicado debido a que la aplicación GIS muestra todos los empalmes ya sean para comunicaciones móviles o para FTTH (fiber to the home), que es otra tecnología completamente distinta. Sin embargo, se puede hacer uso de la red FTTH para llegar a conexionar a un empalme de nodo. Esto es, conectarse a un empalme FTTH cercano y buscar una ruta, mediante fibras FTTH, que lleven a una arqueta donde se encuentre una caja empalme de nodo y una vez allí realizar el empalme.

En estos diseños no existe una sola solución ya que pueden existir diferentes rutas con las que llegar a los empalmes y diferentes empalmes que den conexión al anillo. Por tanto, se busca la ruta más corta o que requiera construir el mínimo número de metros de canalizado, que es lo que engorda el presupuesto del diseño.

Además de la aplicación GIS, cuando no existe canalización cerca de Orange, se puede recurrir a la utilización del canalizado de Telefónica que no está alquilado por Orange, es decir, se trata de alquilar canalizado y arquetas no alquiladas anteriormente, hasta llegar a una con canalizado de Orange donde se pueda realizar un empalme. Se debe resaltar que la tirada de fibras que se mete en el canalizado o arquetas que se alquilan nuevas debe ser fibra también nueva, ya que por ahí no existía ningún tipo de fibra antigua. Los alquileres y los metros de fibra suponen un coste que hay que valorar, sin embargo, por norma general, realizar este tipo de diseño, conocido como SUC, suele ser más barato que ejecutar una obra civil nueva. En la imagen 40 se puede observar la aplicación, análoga a GIS, pero de Telefónica, conocida como Escapex.

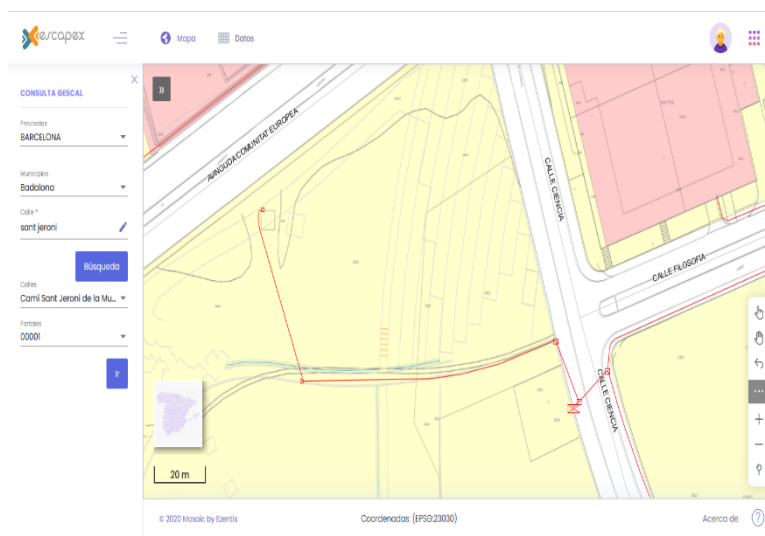


Imagen 40. Vista de Escapex. Elaboración propia.

Una vez se tiene claro cómo se va a realizar el diseño hay que rellenar varios documentos que se deben a entregar a Orange para la validación del diseño.

El primer documento es un Power Point que contiene un esquema de los emplazamientos que disponen de fibra y donde están conectados cada uno. En este Power Point, en caso de repliegue, se tacha el emplazamiento actual con una X y se marca el emplazamiento nuevo a crear. En caso de nueva instalación, directamente se pone el emplazamiento nuevo unido al nodo que le corresponde. Es remarcable que todos los empalmes marcados en el Power Point son exclusivamente nodos de transmisión, es decir, son los que dan conexión al anillo de fibra.

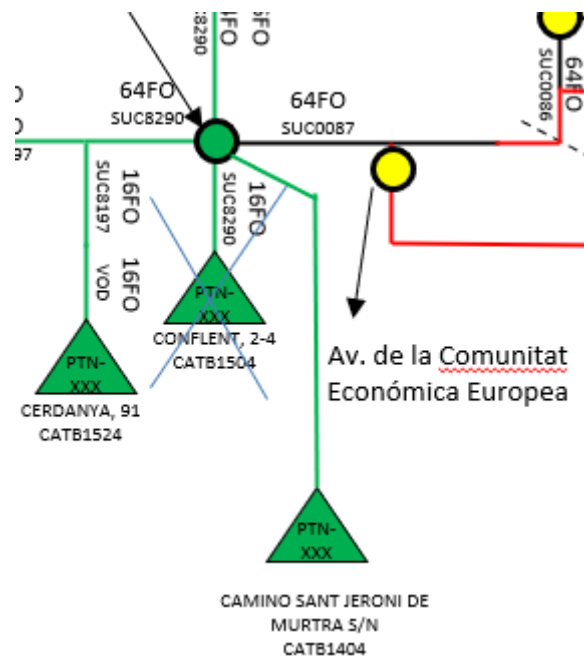


Ilustración 3. Power Point entregable. Elaboración propia.

El segundo documento es un KMZ que detalla de forma aproximada la ruta que va a seguir la fibra que sale del emplazamiento nuevo hasta que se empalme en un empalme de nodo, marcando si se ha realizado anteriormente un empalme FTTH hasta llegar al empalme objetivo. También se debe marcar en diferentes colores cuando se trata fibra nueva y cuando es fibra antigua.



Imagen 41. KMZ entregable. Elaboración propia.



Por último, el tercer documento es una plantilla Excel que incluye las informaciones anteriores y, además, detalla un presupuesto aproximado del diseño de fibra.

<b>PRESUPUESTO ORIENTATIVO</b>				
	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARI</b>	<b>COSTE</b>	
METROS DE OC NUEVA	0	€ 90,00	€	-
TENDIDO DE FO CANALIZADO	425	€ 3,50	€	1.487,50
METROS SUBCONDUCTACIÓN	160	€ 3,90	€	624,00
TENDIDOS POR FACHADA	0	€ 5,50	€	-
OPEX CANALIZACIÓN TESAU/OTROS	8	€ 0,08	€	0,66
Nº REGISTROS SUC	4	€ 88,00	€	352,00
SUM./INST. EQUIPAMIENTO	1	€ 650,00	€	650,00
TASAS Y PERMISOS	1	€ 1.250,00	€	1.250,00
OTROS:	0	€ -	€	-
		<b>TOTAL</b>	€	<b>4.364,16</b>

Imagen 42. Excel entregable. Elaboración propia.

#### Diseño de radioenlace.

Esta sub-fase consiste en proporcionar la transmisión mediante la interconexión entre las antenas de la estación nueva con otra que a su vez ya está conectada con la central (o conectar directamente a la central, que en pocas ocasiones es posible).

Para poder realizar esta conexión debe haber un factor fundamental e imprescindible entre las dos estaciones, debe existir línea de vista o LOS, es decir, las dos antenas, una en el nuevo emplazamiento y la otra en la que se le quiere interconectar, deben poder verse.

Para saber si existe LOS en un primer momento, se puede utilizar en Google Earth un polígono con la altura esperada a la que se va a realizar el radioenlace, y ver si existe algún edificio que pueda entorpecer la LOS.

El procedimiento anterior da una idea general de si se puede realizar un radioenlace entre dos estaciones, sin embargo, para asegurar la LOS se debe tener certeza de que hay visibilidad. Esta certeza se realiza observando las fotografías realizadas en la etapa del replanteo, donde el técnico que ha acudido al emplazamiento ha debido realizar diferentes fotos a los posibles remotos cerca del emplazamiento.

Como es esperable, en esta sub-fase se parte de los datos obtenidos en otras fases del proyecto por lo que lo habitual es que, tanto el procedimiento del polígono como las fotos de los remotos, se realicen en las etapas tempranas.

Una vez que se ha observado LOS entre un emplazamiento y un remoto se debe comprobar si el radioenlace entre ellos dos es viable, pues debe cumplir que exista un nivel de señal adecuado y que sea resistente a fenómenos de desvanecimiento como el "fading". Para ello, se realiza una simulación de radioenlace en un programa especial para este propósito llamado IQLINK.

IQLINK calcula los radioenlaces teniendo una serie de parámetros definidos por el ingeniero. Estos son los márgenes de "fading" el tipo de modulación, modelo de antena

y radio exclusiva para el radioenlace, banda de frecuencia y modelo de predicción de pérdidas.

En la siguiente imagen se pueden ver parte de los parámetros definidos en IQLINK.

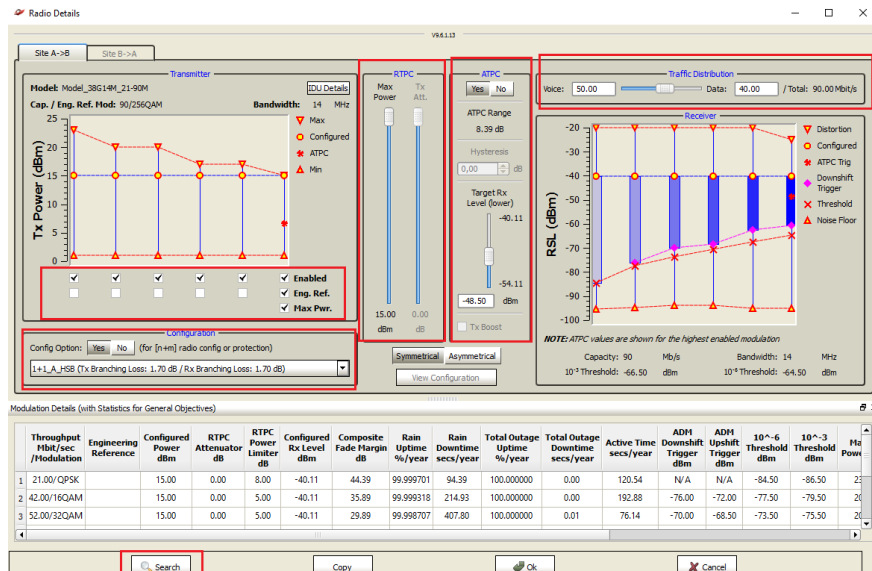


Imagen 43. Parámetros de IQLINK. Elaboración propia.

En estos parámetros se debe resaltar que hay que cumplir los criterios especificados por Orange, los cuales son:

- 1) Respecto a las frecuencias de uso se debe seguir la siguiente tabla:

Bandas de frecuencia	Distancia de radioenlace
e-band	$d < 6$ Km
38 GHz	$6 < d < 8$ Km
18 GHz	$8 < d < 30$ Km
13 GHz	$d > 30$ Km

Tabla 3. Requisitos banda de frecuencia. Elaboración propia a partir de (Celis, 2019).

- 2) Respecto al Throughput o capacidad necesaria depende de las tecnologías a instalar.

Tecnologías a instalar	Capacidad necesaria
GU900 + L800	225 MBPS
GU900 + L800 + L1800	366 MBPS
GU900 + L800 + L1800 + L2100	1000 MBPS
GU900 + L800 + L1800 + L2100 + L2600	3000 MBPS

Tabla 4. Requisitos throughput. Elaboración propia a partir de (Celis, 2019).

La normativa no contempla cuando se instalan diferentes tecnologías a las propuestas en la tabla anterior, sin embargo, se procura mantener los throughput en función al

número de tecnologías, es decir, por ejemplo, si se instalan 4 tecnologías garantizar un mínimo de 1000 MBPS.

- 3) El método de predicción de pérdidas por lluvias será el ITU-R P.837 y los valores de disponibilidad por lluvias mínimos serán según la modulación:

Modulación	Disponibilidad (no E-band)	Disponibilidad (E-Band)
QPSK	99,999%	99,95%
16QAM	99,8%	99,8%
32QAM	99,8%	99,8%
64QAM	99,8%	99,8%
128QAM	99,8%	99,8%
256QAM	99,8%	99,8%
512QAM	99,8%	N/A
1024QAM	99,8%	N/A
2048QAM	99,8%	N/A
4096QAM	99,8%	N/A
8192QAM	99,8 %	N/A

Tabla 5. Disponibilidad de lluvias. Elaboración propia a partir de (Celis, 2019).

El porcentaje de disponibilidad que indica la tabla 5 se refiere al porcentaje de tiempo en el que el radioenlace estará funcionando correctamente, es decir, el tiempo en el nivel de señal no se ve afectado en profundidad por las atenuaciones producidas por lluvias. Estos porcentajes están referidos al año, por lo tanto, que exista un 99,8% indica que el radioenlace está disponible durante el 99,88% del tiempo de ese año.

- 4) El margen de fading aplicable según distancia y banda debe seguir la siguiente tabla.

Longitud vanos	Disponibilidad (no E-band)	Disponibilidad (E-Band)
Hasta 2 Km	> 11 dB	> 20 dB
Entre 2 y 5 Km	> 15 dB	> 20 dB
Más de 5 Km	> 17 dB	> 20 dB

Tabla 6. Márgenes de fading según distancia y bandas. Elaboración propia. (Celis, 2019)

Una vez se cumplen todos los requerimientos especificados, el programa emite un archivo PDF con un resumen de las características del radioenlace creado. Es lo que se conoce como MILF. En la siguiente imagen aparece un extracto de este.

**COMSEARCH IQ link<sup>SM</sup> - Microwave Engineering Record**

Link ID: 58A295PM      Status: P-Primary      Address: N/A  
 Link Name: 58A295PM      Phone: N/A  
 Frequency Band: 80.00 GHz      Fax: N/A  
 Report: 1 of 1      Email: N/A  
 Report Date: 27-Oct-2020  
 Create Date: 27-Oct-2020      Created By: jonat.lopez

Site ID / Location ID	MW057	MW453
Site Name	144020167	MW01603
Street Name	AVENIDA JUAN CARLOS I, 13, ORTAFE	
City Name	MADRID	
Site Owner	ORANGE	Orange
Coordinates (Lat, Lon)	40.4742 8N, 3.4444 8W	40.4545 4N, 3.4444 8W
Coordinates (easting, northing, easting)	30 448865.4 436812.8	30 448791.2 437396.8
Ground Elevation (m)	630.00000	630.00000
Radio Model	808PT-0M_250_1800	808PT-0M_250_1800
Output Power (dBm) / Polarization	13.00 - QPSK <sup>SM</sup>	13.00 - QPSK <sup>SM</sup>
Multicast		
Spectrum Mask Class - Low/High	1 2 2	1 2 2
Channel Spacing (MHz)	250.00000	250.00000
Capacity (MHz)	330	330
Radio Manufacturer	Alcatel-Lucent	Alcatel-Lucent
Frequency Plan: Frequency (MHz)	Low: 75750.000000	High: 65750.000000
Polarization	V	V

Imagen 44. MILF. Elaboración propia.

Una vez realizado el MILF se incluye dentro de un fichero Word entregable a Orange para su validación. Aparte del MILF, en este fichero se incluye el hardware necesario para la realización del radioenlace, es decir, las parábolas en ambos lados y los MSS1 u MSS8 que se deben instalar.

Respecto a los MSS1 u MSS8 hay que destacar que en el emplazamiento remoto (el que no es el nuevo site) puede que ya exista un MSS8 instalado con ranuras disponibles para tarjetas de radioenlace. En estos casos no es necesaria la instalación de hardware adicional en el remoto, solo de la tarjeta correspondiente.

Por otra parte, en ese fichero Word se debe entregar también un fotomontaje de las parábolas en ambos sites, quedando una descripción completa del diseño.

- IVE.

En esta etapa se pide a la compañía eléctrica suministro para la instalación. Para ello se dispone de la potencia calculada en el apartado de calculadora de consumos, que será la que se demandará a la compañía. Por último, según la región, se pedirá a una compañía u otra. En las zonas sur y este de la península se solicitará el suministro a Endesa, mientras que en Madrid, Castilla la Mancha y Castilla y León se hará a Iberdrola.

### 3.3 Lote III.

Una vez aprobado el Lote II se pasa a la realización del Lote III. En este lote no se diseña ya nada nuevo, pues su finalidad es elaborar los informes y contratos pertinentes con los ayuntamientos.

El lote se compone principalmente de contrato, licencias y proyecto. Del contrato y las licencias se ocupa el departamento de legalización, por lo que aquí no interviene para nada el ingeniero, sin embargo, en la parte del proyecto desempeña un papel fundamental.

El proyecto es un documento que elabora el ingeniero para presentar a la aprobación del ayuntamiento. En este documento se incluyen todo tipo de datos, desde la localización, los tipos de mástiles, las bancadas, el equipamiento, fotomontajes, etc. Es, por tanto, una descripción completa del trabajo que se va a realizar.

La redacción del proyecto debe detallar el emplazamiento en concreto, sin embargo, debido a que por norma general se utiliza siempre el mismo equipamiento, debido a que es estándar, se puede ejecutar el proyecto mediante el uso de plantillas ya elaboradas, donde solo se han de cambiar los diferentes datos que no son estándar. Esto puede incluir alturas y diámetros de los mástiles, el tipo de suelo, planes de ordenación de los diferentes municipios, normativas de telecomunicaciones o normativas de ruidos y vibraciones específicas, etc.

Los contenidos recogidos en este informe son:

RESUMEN DE DATOS GENERALES.....	5	1.9.6. ELEMENTOS AUXILIARES DE FUNDACIÓN.....	19	3.9. IMPACTO VISUAL EN PASEOS URBANOS Y MEDIO CONVENCIONAL.....	39
2. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	6	1.9.6.1. NORMAS DE FUNCIONAMIENTO.....	19	4. PUESTO DE CONEXIONES.....	40
1.1. OBJETO DEL PROYECTO TÉCNICO.....	6	1.9.6.2. NORMAS DE TENDIDO.....	19	4.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA OBRA ESTRUCTURAL Y ACABADOS.....	40
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	6	1.9.6.3. INSTALACIÓN AUXILIAR.....	19	4.1.1. DESCRIPCIÓN CONTRACTUAL.....	40
1.3. UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	6	2. ESTUDIOS BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	20	4.1.2. DESCRIPCIÓN CANTOS OBRA.....	40
1.4. TITULAR DE LA INSTALACIÓN.....	6	2.1. INTRODUCCIÓN.....	20	4.1.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	40
1.4.1. DATOS DEL TITULAR.....	6	2.1.1. OBJETO.....	20	4.1.3.1. DESCRIPCIÓN CONTRACTUAL.....	40
1.4.2. DOMICILIO Y DIRECCIÓN DE LA INTERVENCIÓN.....	7	2.1.2. OBJETO DEL PROYECTO.....	20	4.1.3.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	40
1.4.3. PERSONA DE CONTACTO.....	7	2.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN BASE.....	20	4.2. MEDIO DE INSTALACIÓN DE LA OBRA.....	40
1.5. INFORMACIÓN PREVIA.....	7	2.1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTADO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	20	4.2.1. DESCRIPCIÓN CONTRACTUAL.....	40
1.5.1. ANTECEDENTES Y CONDICIONANTES DE PARTIDA.....	7	2.1.5. METODOLOGÍA.....	20	4.2.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	40
1.5.2. SITUACIÓN DEL EMPLEAMIENTO.....	7	2.1.6. APLICACIONES EN VIGILANCIA DE PROCESO CONSTRUCTIVO.....	20	4.3. MEDIO DE INSTALACIÓN DE LA OBRA.....	40
1.6. TIPO DE ACTIVIDAD Y CLASIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	7	2.2. MARCAJE DESCRIPTIVA.....	20	4.3.1. DESCRIPCIÓN CONTRACTUAL.....	40
1.6.1. TIPO DE ACTIVIDAD.....	7	2.2.1. TRABAJO PRELIMINAR.....	20	4.3.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	40
1.6.2. CLASIFICACIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	7	2.2.2. PLAN DE EJECUCIÓN DE LA OBRA.....	20	4.4. PUESTA A TIERRA.....	40
1.7. NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	7	2.3. OBLIGACIONES DEL PROMOTOR.....	20	4.4.1. DESCRIPCIÓN CONTRACTUAL.....	40
1.7.1. DATOS URBANÍSTICOS.....	8	2.3.1. COORDINACIONES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD.....	20	4.4.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	40
1.7.1.1. PLAN GENERAL.....	8	2.3.2. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.....	20	4.5. VALORACIÓN.....	40
1.7.1.2. CLASIFICACIÓN URBANÍSTICA.....	8	2.3.3. OBLIGACIONES DE CONTRATISTA Y SUBCONTRATISTA.....	20	4.5.1. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.3. AUTORIZACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE LA LÍNEA FÍSICA DE FIBRA ÓPTICA, GENERAL DE TELECOMUNICACIONES.....	8	2.3.4. OBLIGACIONES DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	20	4.5.2. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.4. AUTORIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	8	2.4. OBJETO DE INCIDENTES.....	20	4.5.3. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.5. DE RUIDO.....	8	2.4.1. OBJETOS DE LOS TRABAJADORES.....	20	4.5.4. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.6. ACústicas.....	8	2.4.2. VISIBILIDAD DE LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS.....	20	4.5.5. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.7. SERVICIOS TÉCNICOS MULTIMEDIA.....	8	2.4.3. PLAN DE EMERGENCIA.....	20	4.5.6. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.8. SEGURIDAD.....	8	2.4.4. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD QUE DEBEN APLICARSE EN LA OBRA.....	20	4.5.7. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.9. CARRETERA.....	8	2.4.5. NORMAS DE SEGURIDAD Y SALUD APLICABLES EN LA OBRA.....	20	4.5.8. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.10. LÍNEAS.....	8	2.4.6. CONCLUSIÓN.....	20	4.5.9. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.11. CANALES Y/O REGISTROS CONCRETOS.....	8	2.5. ANEXO PREVENCIONES TRABAJOS POSTERIORES.....	20	4.5.10. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.12. EDIFICIO.....	8	2.5.1. ANEXO DE VALORACIÓN.....	20	4.5.11. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.13. HERRAMIENTAS.....	8	2.6. INFORME AMBIENTAL.....	20	4.5.12. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.14. OBRA DE INSTALACIÓN.....	8	3.1. ANTECEDENTES URBANÍSTICOS.....	20	4.5.13. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.15. EMPLEAMIENTO.....	8	3.2. OBJETO DEL DOCUMENTO.....	20	4.5.14. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.16. TIPO.....	8	3.3. RESPONSABILIDADES.....	20	4.5.15. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.17. RUIDO Y VIBRACIONES.....	8	3.4. RESPONSABILIDADES.....	20	4.5.16. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.7.1.18. ZONA DE EQUIPO.....	8	3.5. NORMATIVA APLICABLE.....	20	4.5.17. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.8. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	9	3.6. RUIDOS.....	20	4.5.18. VALORACIÓN DEL EMPLEAMIENTO DE TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	40
1.8.1. ESTRUCTURA INSTALACIÓN.....	9				
1.8.2. EQUIPO DE RÁDIO.....	9				
1.8.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	9				

Imagen 45. Contenido memoria del proyecto. Elaboración propia.

Donde, como anexos, se ponen los planos del emplazamiento realizados en el lote II.

Cuando se entrega el lote III al completo, aprobado por el ayuntamiento del municipio donde se desea instalar, la construcción pasa a manos de la constructora que tenga Orange contratada, por lo que en esta fase acaba el proyecto técnico de instalación de una antena de telefonía móvil.

## Capítulo 4. Diseño de un emplazamiento para comunicaciones móviles.

Una vez se ha visto el equipamiento y la metodología de trabajo utilizada en la elaboración de proyectos técnicos de emplazamientos de telecomunicaciones móviles, pasamos a la ejecución de un caso específico real, que es el objeto de este trabajo y donde el autor ha hecho su aportación personal.

El emplazamiento específico de este trabajo es conocido de dos formas, el emplazamiento al completo es denominado por la nomenclatura MX9045, mientras que la torre en específico se llama MAD4045.

El diseño de este emplazamiento sigue la estructura descrita en el apartado número 3. Donde se quiere dar cobertura a un área específica que se encuentra en el municipio de Leganés, en la provincia de Madrid. Se quiere proporcionar cobertura en las tecnologías G900, U900 y L800, es decir, cobertura para las bandas bajas.

A continuación, se expondrá el diseño del emplazamiento dividido en los lotes correspondientes.

### 4.1 Lote I.

El lote I de este emplazamiento comienza con la recepción del área donde se quiere realizar la cobertura y las tecnologías a instalar. Una vez se tiene este área, el equipo de “hunters” busca posibles lugares donde se podría instalar la infraestructura. En el caso de este emplazamiento, el área y los candidatos encontrados se observan en la imagen 46.



Imagen 46. Área y candidatos MAD4045. Elaboración propia.

En la imagen 46 se puede ver como el área de cobertura incluye tanto parte de población como parte de carretera. Los candidatos posibles son cinco, llamados A, B, C, D y E. Estos candidatos se diferencian en tipología, siendo los A, B, C y E torres, mientras que el D es una azotea donde se instalan antenas en mástiles.

Una vez identificados los candidatos, se procede a realizar las simulaciones descritas en el lote I. Al encontrarse el área de cobertura en zona de exclusión, se debe diferenciar entre cobertura indoor (incluye interior de edificios) y cobertura outdoor (cobertura exterior, calles y espacios abiertos).

Las coberturas y la altura de los candidatos se recogen en la tabla siguiente:

Candidatos	Altura	Cobertura indoor	Cobertura outdoor
A	30 M	100%	100%
B	30 M	100%	100%
C	30 M	100%	100%
D	15 M	96%	100%
E	30 M	100%	100%

Tabla 7. Coberturas candidatos. Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 7, todos los candidatos alcanzan un buen nivel de cobertura. Por tanto, de las simulaciones del Lote I, solo se puede descartar el candidato D, por ser el que menos cobertura indoor tiene.

Por otro lado, en lo que se refiere a remotos, se proponen para la realización del radioenlace los remotos MX4010 y MX0588 para todos los candidatos.

En cuanto a fibra, se tiene que está aproximadamente a 500 metros de los emplazamientos. En la imagen 47 se pueden apreciar tanto la fibra como los remotos disponibles.



Imagen 47. Disponibilidad remotos y fibra MAD4045. Elaboración propia.

Siguiendo con el análisis de los candidatos, se comprueba que, al estar todos los candidatos en lugares parecidos, a todos les aplica la misma normativa, es decir, la PGOU. Además, al estar todos en recintos urbanos, todos disponen de posibles puntos de enganches eléctricos. Por tanto, al tener todos los emplazamientos las mismas

condiciones en cuanto a cobertura, remotos, disponibilidad de fibra, normativa y disponibilidad eléctrica, se propone como candidato avanzado el candidato A, al tener más intencionalidad de firmar el contrato.

Por último, se elaboran la plantilla Excel, el Power Point, el KMZ y la carpeta de simulaciones y se entrega a Orange. Una vez en manos de Orange, se valida el candidato avanzado A y se da comienzo a la realización del lote II.

Como a partir de este momento se trabaja con el candidato A, conviene exponer los datos más importantes que figuran en los entregables.

Zona	Candidato	Nuevo/Sharing	Dirección	Latitud	Longitud	Altura	%U900 indoor
MAD4045	A	NUEVO	CALLE PUERTO DE PAJARES 18, LEGANÉS, MADRID	40°20'54.62"N	3°43'46.52"O	30	100%

Tabla 8. Datos candidato A del power. Elaboración propia.

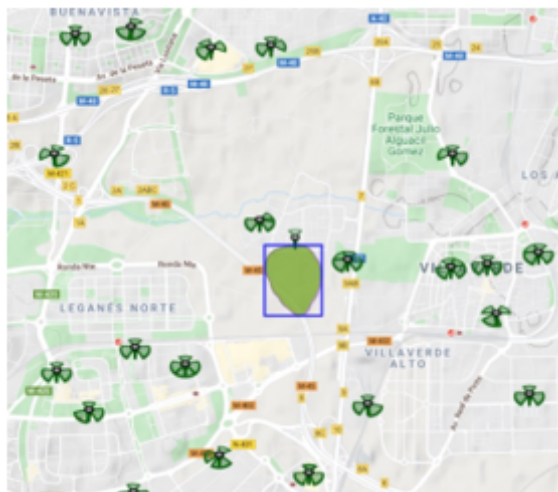


Imagen 48. Simulación cobertura candidato A. Elaboración propia.

## 4.2 Lote II.

Una vez se ha decidido el candidato avanzado o elegido, se pasa a la realización del lote II. Como se vio en el apartado 3 este tiene diferentes apartados.

- SARS.

La etapa del SARS comienza mandando al personal de la división de hunters a hacerle fotos al emplazamiento en cuestión.

El reportaje fotográfico se podrá consultar en los anexos de este trabajo mientras que en este apartado solo se expondrá una foto panorámica del futuro emplazamiento.





**Imagen 49. Emplazamiento candidato A. Elaboración propia.**

Se puede observar como el emplazamiento elegido es muy amplio con pocos edificios alrededor que puedan realizar ocultamientos de señal.

- Preparación del replanteo.

En esta etapa de forma remota observando las características del lugar donde se quería construir se buscó lo primero ver de qué forma se podía cubrir el área de cobertura dada en el lote I imagen 46.

Por la posición del candidato y viendo que el área tiene una forma ovalada se descartó la posibilidad de poner cuatro sectores y, por tanto, se probó con tres sectores con orientaciones de  $125^\circ$ ,  $185^\circ$  y  $245^\circ$  calculado un ancho de haz de la antena de  $60^\circ$ .

Por otro lado, se analizó más en profundidad mediante el polígono de Google earth la posibilidad de realizar un radioenlace hacia el emplazamiento MX0588. Y se comprobó que había fibra óptica en el punto marcado de la imagen 47 mediante la aplicación GIS.

- Replanteo.

Con los datos previos obtenidos el técnico replanteador fue al emplazamiento y reuniéndose con el propietario del emplazamiento acordaron cual sería el espacio disponible de construcción.

Este espacio se compuso de una parcela cuadrada en el interior de la finca la cual se quería que tuviera un acceso propio y que estuviera vallada.



Imagen 50. Situación del futuro emplazamiento. Elaboración propia.

De la imagen 50 se puede ver como el terreno total disponible es de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> donde existe espacio de sobra para colocar la torre y los equipos. Además de disponer de una entrada independiente al emplazamiento mediante llave de Locken de Orange.

- Simulaciones.

Una vez se tiene todos los datos necesarios para la construcción de la torre se pasa a la realización de las simulaciones de cobertura. Para ello lo primero es definir la altura de la torre, altura de las antenas y tipo de antenas.

En primer lugar, se define el tipo de torre del emplazamiento distinguiéndose dos tipos, torres de celosía y torres tubulares. Las torres de celosía son las que tienen como base un conjunto de láminas cruzadas y habitualmente están pintadas de rojo y blanco como forma de balizamiento diurno, por otro lado, las torres tubulares están formadas por un tubo compacto que suele ser gris o blanco. En la siguiente imagen se pueden ver ambos tipos.



Imagen 51. Torre de celosía y torre tubular. Elaboración propia.

En este emplazamiento como diseñador se ha optado por utilizar una torre de celosía debido a que es más estable y puede aguantar más peso, por el contra ocupa más espacio que una tubular, sin embargo, esto no supone un problema debido a la cantidad de espacio disponible en el emplazamiento.

Por otro lado, para la altura de la torre se definen 30 metros. Esto es debido a que 30 metros es el estándar de altura de las torres de celosía que instala Orange y que además cumple con la legislación aplicable.

Respecto a las antenas, se elige el modelo AQU4518R36V06 disponible en la tabla 1. Esta antena tiene una longitud de 2 metros y se selecciona este modelo en vez de su homólogo de 2,7 metros debido a la previsión de que se instalen nuevos operadores en ese emplazamiento en un futuro. La altura a la que se instalan las antenas es de 28,5 metros a top de antenas, es decir, a la parte que está más elevada de la antena. La altura de la antena está determinada para que haya espacio entre el pararrayos situado arriba de la torre y la parte más alta de las antenas para evitar problemas que pudieran causar tormentas.

La antena tiene una disposición de arrays 2L-2H, es decir, dos arrays de baja y dos de alta como muestra la imagen 52.

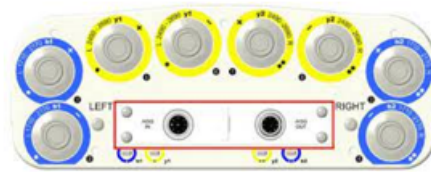


Imagen 52. AQU4518R36V06. (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2019)

Sin embargo, los arrays de alta en este diseño van a quedar sin rellenar, puesto que solo existen tecnologías de frecuencia baja, y quedarán de reserva por si alguna vez se decide instalar otra tecnología con banda alta.

Por otro lado, en cuanto a los arrays de baja, se utilizará solamente uno para las tecnologías L800, U900 y G900, mientras que el otro se conectará para la L700, aunque será como previsión futura y no entrará en funcionamiento en la transmisión, pero sí utilizándose en recepción. El utilizar el mismo array para todas las tecnologías, implica que todas ellas tendrán en común los tilt de la antena.

Una vez se han determinado las alturas y tipos de las antenas se comienza con la simulación, realizando el estudio de cada una de las tecnologías partícipes, G900, U900 y L800.

### **Simulación para GSM900.**

Para la simulación de la tecnología GSM900 se hace primeramente un estudio de la situación actual de cobertura e interferencia en el área de interés. Al ser un proyecto de nuevo emplazamiento se aplicarán los criterios de nueva creación de la tabla 2 y, además, no se quitará ningún nodo pues no se repliega ninguno. Es decir, la intención de Orange en este proyecto es la mejora de cobertura en la zona.

Como resultado de la simulación actual se obtiene que en tecnología G900 el área de interés presenta un porcentaje de cobertura del 100%, tanto en cobertura indoor como en outdoor, un nivel promedio de señal de -71 dBm en cobertura indoor y un nivel de -64 dBm en cobertura outdoor. Además, en interferencia se tiene un porcentaje de interferencia indoor de 93% y un porcentaje outdoor de 92%.

Debido a que al tratarse de un nuevo nodo en el que no se retira otro existente, previsiblemente el nivel de señal va a mejorar con la incorporación del candidato. Se decide que esté presente un tilt eléctrico de 10° ya que por regla general los tilt altos perjudica menos la interferencia.

Al realizar la simulación del candidato se obtiene de nuevo un 100% de porcentaje de cobertura, tanto indoor como outdoor, porcentajes sobradamente por encima del umbral del 85% requerido, pero con un nivel de señal promedio que mejora en ambos casos, siendo -64,1 dBm para indoor y -60,8 dBm para outdoor.

En cuanto a interferencia, se mantienen los mismos porcentajes que antes, lo que indica que el incremento en el nivel de potencia no provoca una variación del cociente C/I. En la figura 53 se puede ver el resultado comparativo de la simulación de cobertura realizada para G900, donde el color verde indica la simulación con el candidato y el naranja la cobertura actual.

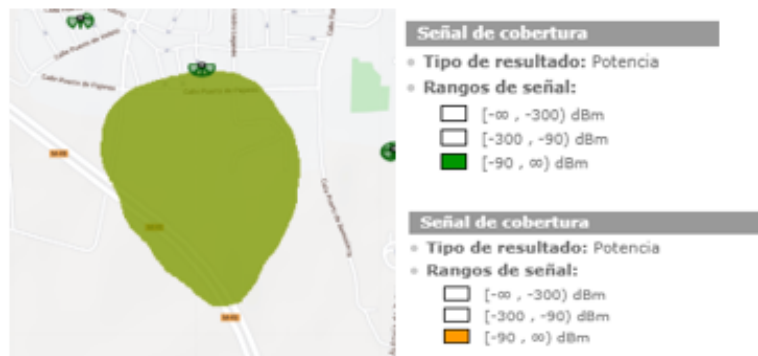


Imagen 53. Comparativa de coberturas. Elaboración propia.

Por otro lado, en cuanto a interferencias, en la imagen 54 se pueden ver los niveles de interferencia en un área que sobresale dos km por cada lado del área objetivo. (Este requerimiento de los dos kilómetros se realiza para asegurarse de que la nueva estación no influye en el área de cobertura de otra cercana).

Como se ha podido observar en los párrafos anteriores, el nuevo emplazamiento cumple las exigencias en cuanto a criterios de cobertura e interferencia. Además, se resalta el hecho de que se han mantenido las orientaciones, para los tres sectores, propuestas en la fase de preparación del replanteo.

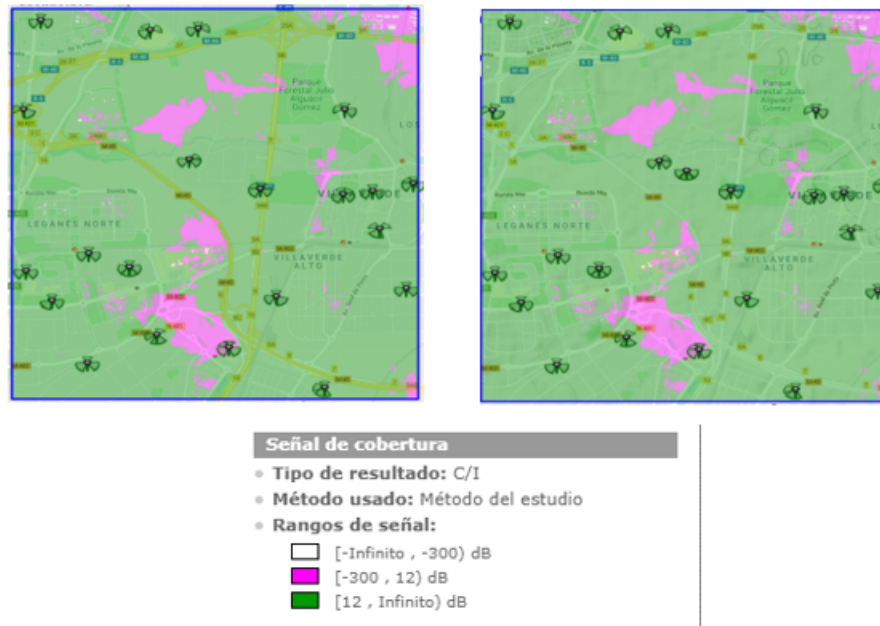


Imagen 54. Mapa de interferencia actual (izquierda) y con candidato (derecha).

### **Simulación para UMTS900.**

Una vez el nuevo emplazamiento cumple los criterios en tecnología 2G, se realiza la simulación del 3G UMTS900, que es la tecnología más problemática en cuanto a cobertura e interferencia.

Realizando el estudio de la situación actual de la zona objetivo, se obtiene un porcentaje de cobertura del 100%, tanto en outdoor como indoor. El nivel de señal indoor promedio será en este caso de -80 dBm mientras que en outdoor será de -72,5 dBm lo cual está por encima del umbral de -90 dBm y provoca los porcentajes de cobertura del 100%.

Configurando ahora el estudio con el nuevo candidato, manteniendo en este las orientaciones y los tilt descritos en la simulación anterior para GSM900. En el nuevo escenario se obtiene otra vez un porcentaje del 100%, pero ahora con un cambio significativo en el nivel de señal promedio siendo -68,7 dBm de cobertura indoor, que mejora bastante a la anterior, y -65,5 dBm de cobertura outdoor, que también es una mejora considerable respecto al primer escenario.

En cuanto a las interferencias, se tiene que el escenario actual cumple el criterio establecido en la tabla 2 en el 90% del área objetivo, tanto en cobertura indoor como en outdoor. Al añadir el candidato, el porcentaje de interferencia es el mismo, 90% del cuadrado de dos kilómetros a cada lado del área objetivo, tanto para indoor como para outdoor, por tanto, también se cumple en interferencia al incorporar el candidato.

Sin embargo, si entramos en detalle en el cálculo del porcentaje, se puede ver que en el porcentaje outdoor la diferencia entre el nuevo y el actual es de -0,093. Esto indica que la interferencia empeora al introducir el nuevo emplazamiento, es decir, el emplazamiento nuevo provoca interferencia en alguna zona del área, aunque la interferencia introducida es prácticamente insignificante.

En la imagen 55 se puede ver la comparativa entre escenario actual y escenario nuevo para cobertura e interferencia.

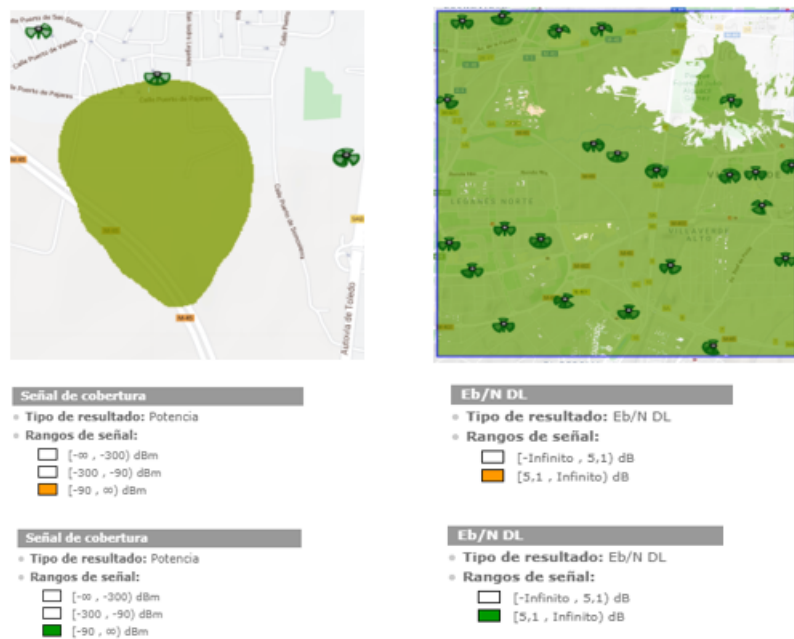


Imagen 55. Mapa comparativo de cobertura (izquierda) y, interferencia (derecha). Escenario actual naranja, escenario nuevo verde. Elaboración propia.

### Simulación LTE800.

Después de comprobar que el candidato cumple en 3G, pasamos al análisis de la última tecnología a instalar en el emplazamiento, la LTE 800.

Del mismo modo que con las dos tecnologías anteriores, se empieza realizando un estudio de la situación actual del área donde se quiere dar cobertura. A diferencia de las simulaciones anteriores, se obtiene que para el 4G L800 el porcentaje de cobertura actual es del 70% para indoor y 100% para outdoor, lo que indica que las estaciones existentes en un radio de dos km, partiendo del área objetivo, no consiguen dar cobertura completa a la zona. Comparando con el 2G y 3G que sí daban una cobertura completa, se puede deducir que en alguna de las estaciones cercanas al área no se dispone de la tecnología L800, mientras que sí se dispone de G900 y U900.

En cuanto a los niveles de señal promedio actuales, se tiene -101,6 dBm para señal indoor y -87,8 dBm para outdoor, ambos por encima de los -106 dBm umbral que marca la tabla 2.

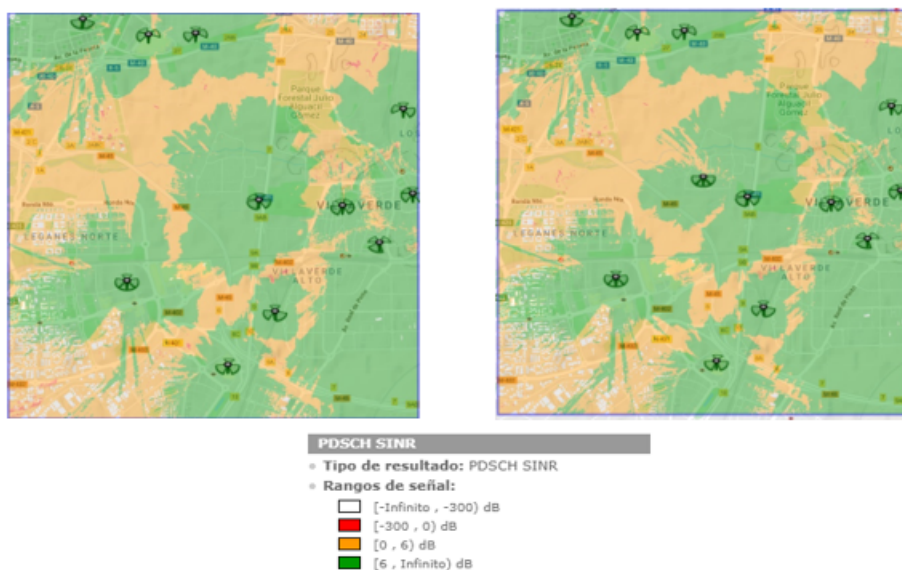
Configurando el candidato con los mismos parámetros de orientaciones y tilt que en 2G y 3G, se obtiene en la simulación un muy buen resultado pues se eleva el porcentaje de cobertura a 100% en indoor. Además, los promedios de señal mejoran tanto en señal indoor como en outdoor, siendo -84,4 dBm en indoor y -80,5 dBm en outdoor. En la imagen 56 se puede apreciar el mapa comparativo de señal.



**Imagen 56. Comparativa de coberturas. Naranja cobertura actual, verde cobertura candidato. Elaboración propia.**

Por otro lado, en cuanto a las interferencias se obtiene una mejora, pues de la simulación actual se tenía un porcentaje indoor de 74% y otro outdoor de 58%, y al añadir el candidato se obtiene un porcentaje indoor de 74% y otro outdoor de 59%, por lo que se concluye que, al introducir el candidato, la potencia de la señal es más grande que la interferencia y ruido que genera y, por tanto, se cumple el criterio en más superficie del área de dos km en torno al área objetivo.

En la imagen 57 se puede ver el mapa de interferencia L800 actual y el que queda después de añadir el candidato.



**Imagen 57. Mapa de interferencias: izquierda actual, derecha consolidado. Elaboración propia.**

- CAP.

Una vez se tiene la certeza de que el emplazamiento va a funcionar en cobertura e interferencia, llega el momento del diseño. En esta etapa, como ya se indicó en el punto 3, el ingeniero debe decidir cómo quiere que sea el emplazamiento y el delineante deberá dibujarlo según sus indicaciones. Para ello se rellenan los ficheros descritos en

el apartado 3, pero aquí no se describirá paso a paso los detalles de cada fichero, sino que se expondrá cómo se ha diseñado y porqué en profundidad.

Lo primero que se debe diseñar es el equipamiento que va a formar parte del nuevo emplazamiento. Como se quieren instalar tres sectores, se necesitarán tres antenas modelo AQU4518R36V06.

Por otro lado, al ser las tecnologías a instalar G900, U900 y L800, que tecnologías de bandas bajas, será necesario una RRU 2479 de Ericsson por sector (al estar en zona centro, al tratarse de Madrid, se utiliza equipamiento de Ericsson).

Siguiendo con el equipamiento en escala descendente, será necesario instalar dos "baseband" BB6630, una para las tecnologías 2G y 3G y otra independiente para la tecnología 4G, donde los puertos ocupados serán, según la ecuación 1, tres en la "Baseband" correspondiente a 2G/3G y tres en la correspondiente al 4G.

Por otro lado, será necesaria la instalación de los siguientes disyuntores por normativa:

- 12X32A PARA RRU'S
- 3X40 PARA AAU'S
- 3X16A PARA BBU'S
- 1X16A SERVICIOS AUXILIARES PRIORITARIOS
- 1X10A PARA TX PRIORITARIO
- 3X16A RESERVA
- 1X10A BALIZA
- 2X6A

Para alimentación se instalarán tres rectificadores de 3000 W Eltek en equipo de fuerza Flatpack. (Se verá más adelante el motivo de esta decisión).

Para transmisiones por fibra se instalará un PTN 910, con tres bandejas de fibra fusión, almacén y repartidor.

Para transmisiones por radioenlace, se instalará un MSS1.

Todos los elementos anteriores, a excepción de las antenas y RRUs, se colocan en un armario C3 de alta capacidad que dispone de una caja ICP que evita que llegue más potencia de la permitida, y una antena GPS que permite la localización del emplazamiento.

Además de lo ya mencionado, el emplazamiento dispone de un cuadro eléctrico trifásico outdoor estándar con interruptor general automático de 63 A., equipado con una rearmadora que reactivará la estación una vez haya saltado el IGA.

Por otro lado, para la transmisión por radioenlace se dispone de una antena parabólica de 0,3 m de diámetro orientada a 115°.

El equipamiento del emplazamiento se puede ver en la imagen 58 de forma esquemática.

Hasta ahora se ha profundizado solo en los elementos y equipos de comunicaciones y eléctricos, sin embargo, en los emplazamientos es también muy importante toda la infraestructura que los sujeta, pues, normalmente, son equipos pesados o están



situados a altas alturas. Además, estos elementos sirven también como protecciones cuando los operarios deben arreglar un problema sobre el terreno.

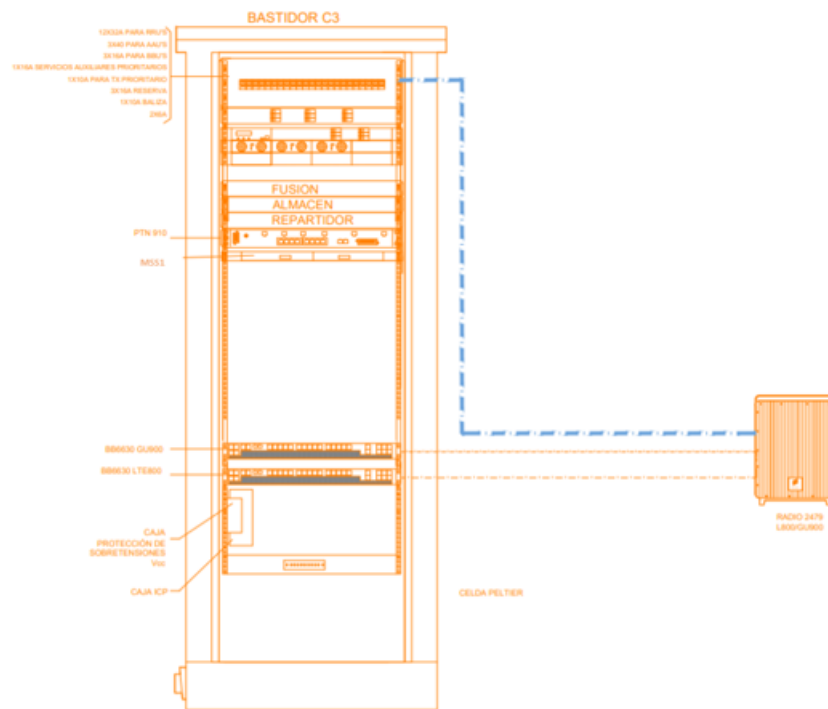


Imagen 58. Esquema de equipamiento y conexión con RRu. Elaboración propia.

En cuanto a la infraestructura del emplazamiento, destaca la necesidad de crear un soporte para el equipamiento C3 y el cuadro eléctrico, ya que no pueden tocar el suelo por temas de calor. Este soporte se llama bancada y está formado por vigas entrelazadas de diferentes longitudes según el emplazamiento. Para este emplazamiento se propuso, además de poder soportar el peso del C3 a instalar, dejar espacio para otro C3 como previsión de espacio a posteriori. Por tanto, se propuso instalar una bancada de 1,61 x 0,80 metros anclada mediante vigas a una losa de hormigón de 2,32 x 1,5 metros. El tamaño de esta bancada es debido a que es el modelo estandarizado que cumple la premisa de que quepan 2 C3 y pueda soportar el peso. Si el emplazamiento no fuera una torre no valdría el modelo estandarizado, pues en azoteas las medidas de las bancadas dependen de los pilares del edificio.

Otro elemento de infraestructura importante son los rejiban, los rejiban sirven para proteger al cableado del emplazamiento y al mismo tiempo para marcar por donde pasan los cables en este emplazamiento se instala un rejiban para los cables que van desde el C3 hasta la torre, donde una vez llegan a esta el rejiban desaparece. El rejiban tendrá un ancho de 300 mm.

Por otro lado, se tiene que resaltar también la infraestructura necesaria para instalar la torre. Esta se corresponde con una losa de hormigón que permite anclar la base de la torre. Además, para la sujeción de antenas, parábolas y RRUs son necesarios soportes en forma de tubo de tamaños estándar.

Siguiendo con la infraestructura necesaria, por motivos de seguridad se debe instalar una pica de toma de tierra para los elementos eléctricos, así como una red de tierras, tanto para los elementos dispuestos en el C3 como para los de la torre.

Por último, se dispondrá de un vallado que delimitará la zona destinada a la implantación de la estación.

Una vez determinados todos los elementos de los que se va a componer el emplazamiento, hay que realizar la distribución de estos sobre el terreno descrito en la imagen 49. Para ello, se profundiza en el plano realizado en el replanteo (imagen 50) que daba una visión general de la construcción del emplazamiento, es decir, basándose en el plano preliminar, se dibujan en detalle todos los elementos que hay en el plano, teniendo en cuenta la infraestructura.

Esta distribución se puede ver en la imagen 59.

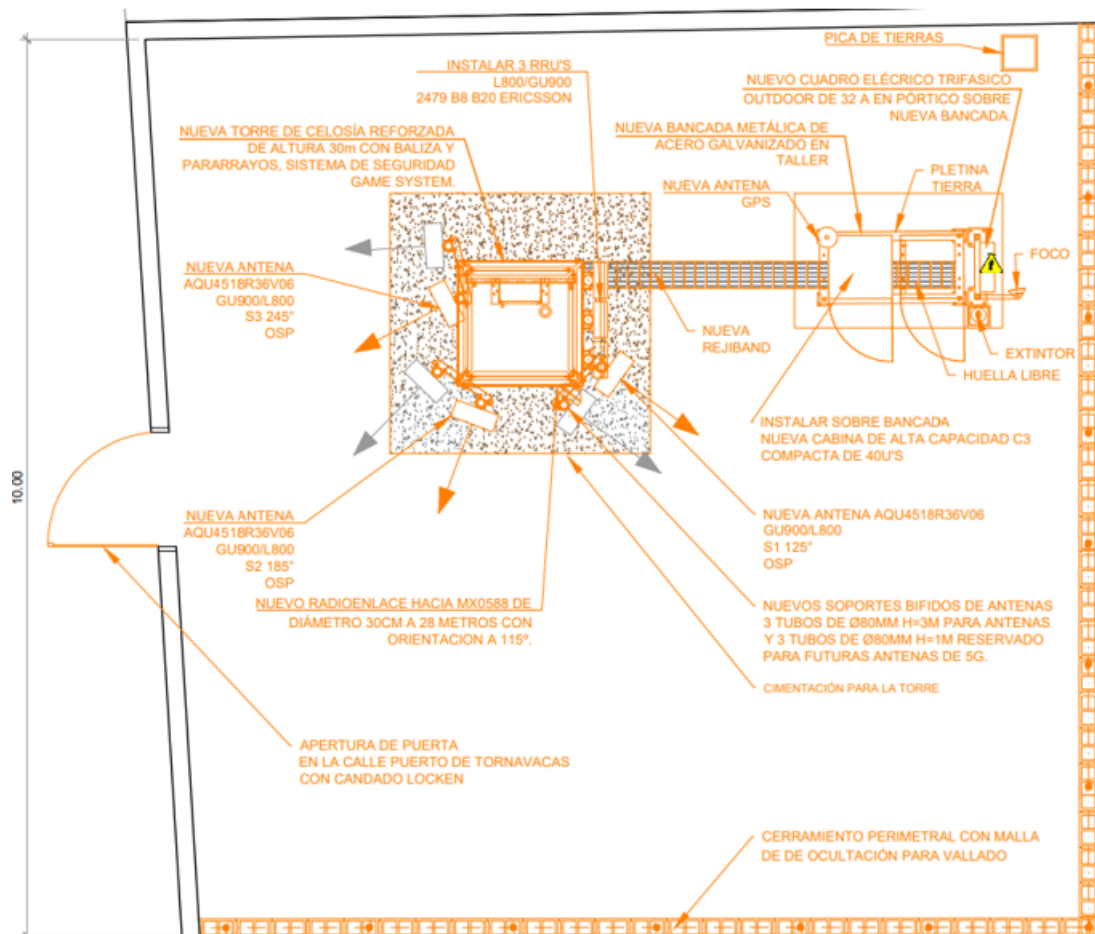


Imagen 59. Distribución del emplazamiento planta. Elaboración propia.

Se deben hacer varias consideraciones sobre esta distribución. La primera es que, como pasa en la mayoría de los proyectos, el diseño permite varias soluciones, no siendo ninguna la ideal. Por tanto, el diseño realizado está totalmente arbitrado por el ingeniero, pudiéndose distribuir de otra manera.

Este diseño se ha realizado de esta forma con el objetivo de maximizar el ahorro de cableado (en particular, de cableado coaxial) ya que, a parte de ser muy caro, plantea problemas cuando la distancia supera los 20 metros, puesto que, por normativa interna de Orange, cuando la distancia pasa de los 20 metros el cable coaxial a utilizar no es de media pulgada sino de 7/8, lo que implica que sea más grueso y por ende más problemático de trabajar. De forma similar pasa con el cable RET, cuanto mayor es la distancia de cableado de RET más problemas provoca, siendo obligatorio el uso de otros elementos complementarios cuando este supera los 15 metros como se vio en el punto 2.

El ahorro de cableado descrito en el párrafo anterior se consigue colocando las RRU en torre a una altura de 25 metros, ya que, como se ha mencionado en apartados anteriores, tanto el RET como los coaxiales salen de las RRU y van hacia las antenas, mientras que del C3 situado a ras de suelo, hasta las RRU solo van cables de fibra y alimentación, como se puede ver en la imagen 58.

Con esta distribución, el cableado necesario y su longitud será el indicado en la tabla 9.

COAXILES		LONGITUD CABLEADO a RRU	
TIPO	LONGITUD	F.O.	Alimentación.
1/2"	4X5,00m	25m	25m
		25m	
1/2"	4X5,00m	25m	25m
		25m	
1/2"	4X5,00m	25m	25m
		25m	

Tabla 9. Cableado y longitudes. Elaboración propia.

Además del cableado de la tabla 9, se deben incluir:

- 1 cable coaxial de media pulgada, de cinco metros, para la antena GPS.
- 3 cables RET, desde la RRU 2479 a las antenas.

Por otro lado, para dar por finalizado el diseño del emplazamiento en lo referente a equipos y disposición, se realiza un plano de alzado con vista de los elementos que forman parte del emplazamiento (imagen 60).

Una vez definido todo lo anterior, quedan por definir tres aspectos importantes a la hora de diseñar: el recorrido de la acometida, la sección y la potencia necesaria.

En cuanto a la potencia necesaria, se va a calcular realizando la consideración de que el emplazamiento dispondrá de baterías (aunque actualmente no las tiene) como previsión futura.

También hay que distinguir entre los elementos que van en corriente continua y los que lo hacen en corriente alterna. Los elementos relativos a las comunicaciones, como son las BBU, RRU, PTN y MSS1, van en corriente continua, mientras que los aires acondicionados y elementos similares como las celdas Peltier lo hacen en alterna. El consumo total de la estación será la suma resultante de los elementos de corriente

alterna y corriente continua, sin embargo, para el cálculo del número de rectificadores solo se tendrá en cuenta la corriente continua, pues, como se dijo en el punto 2, los rectificadores son los que proveen de este tipo de corriente al emplazamiento.

El consumo de corriente continua puede verse en la tabla 10.

TABLA DE CONSUMOS HIGH				
Descripción		W/u	Unidades	Total
Radio 2479 B8 B20 B28 (700 off air)	KRC 161 832/1	746	3	2238
BB6630	KDV127621/11	126	2	252
Consumo Transmisión		400	1	400
Consumo baterías		167,1	1	167,1
CONSUMO TOTAL				3057,1

Tabla 10. Consumo corriente continúa considerando previsión baterías. Elaboración propia.

Como puede verse, el consumo necesario de potencia en continua es superior a la capacidad de los rectificadores Eltek propuestos. Por tanto, se necesitarán dos de ellos para conseguir la potencia necesaria. Además, debido a la normativa interna de Orange, se deberá colocar otro más de redundancia, lo que justifica el que en párrafos anteriores se hayan propuesto tres rectificadores.

En cuanto al consumo total del emplazamiento, se deberá incluir el coste energético de la celda Peltier (elemento parecido a un aire acondicionado que suelen llevar los emplazamientos), la cual, esta incluida en el equipamiento del emplazamiento, por tanto, el consumo total del emplazamiento resultará según lo descrito en la tabla 11, donde se ha quitado el consumo de baterías, ya que su objetivo era el de sobredimensionar los rectificadores por si existiese alguna ampliación, y se ha añadido la celda Peltier. El contenido de la tabla 11 es el consumo total real del emplazamiento, mientras que el de la tabla 10 sirve únicamente para realizar el cálculo de rectificadores.

Descripción		W/u	Unidades	Total
Radio 2479 B8 B20 B28 (700 off air)	KRC 161 832/1	746	3	2238
BB6630	KDV127621/11	126	2	252
Consumo Transmisión		400	1	400
Celda Peltier		27	1	27
CONSUMO TOTAL				2917

Tabla 11. Consumo total real emplazamiento. Elaboración propia.

Respecto al recorrido de la acometida, este seguirá la línea azul de la imagen 61 siendo el recorrido total de 75 metros. El recorrido empezará en la hornacina de contadores disponible en la parcela ya y llegará hasta el cuadro eléctrico de nueva instalación.

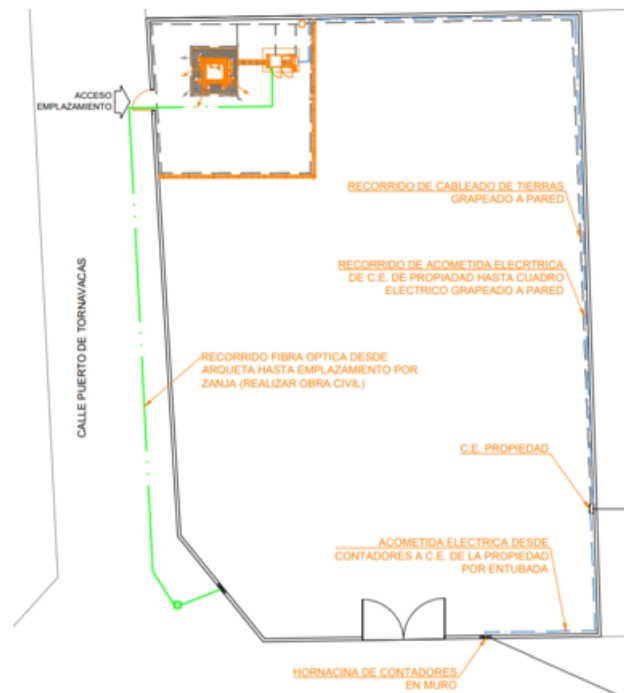


Imagen 61. Recorrido de la acometida. Elaboración propia.

Por último, respecto a la sección se utilizará la hoja de cálculo nombrada en el punto 3. En ella se modificará la casilla de longitud y se pondrá a 75 m y la de potencia que será la suma de la potencia total de la tabla 11 más 10000 W de previsión para otro operador que quisiese instalarse.

trifasica	
V (diferencia potencial V)	400
P (potencia W)	12917
$\gamma$ (conductividad cobre)	56
L (longitud m)	75
e (caída tensión V)	3
$s = P \cdot L / \gamma \cdot V \cdot e$	14,42
Sección de fase 35mm <sup>2</sup> (3F)	
Sección de neutro 35mm <sup>2</sup>	
Sección de tierra 35mm <sup>2</sup>	

Imagen 62. Cálculo de la sección de la acometida. Elaboración propia.

En la imagen 62 se puede apreciar que la sección mínima que debe de tener la acometida es de 14,42 mm<sup>2</sup>. Por tanto, al estar las secciones de las acometidas normalizadas, se deberá instalar una de 16 mm<sup>2</sup>, ya que es el tamaño más cercano que soporta la potencia.

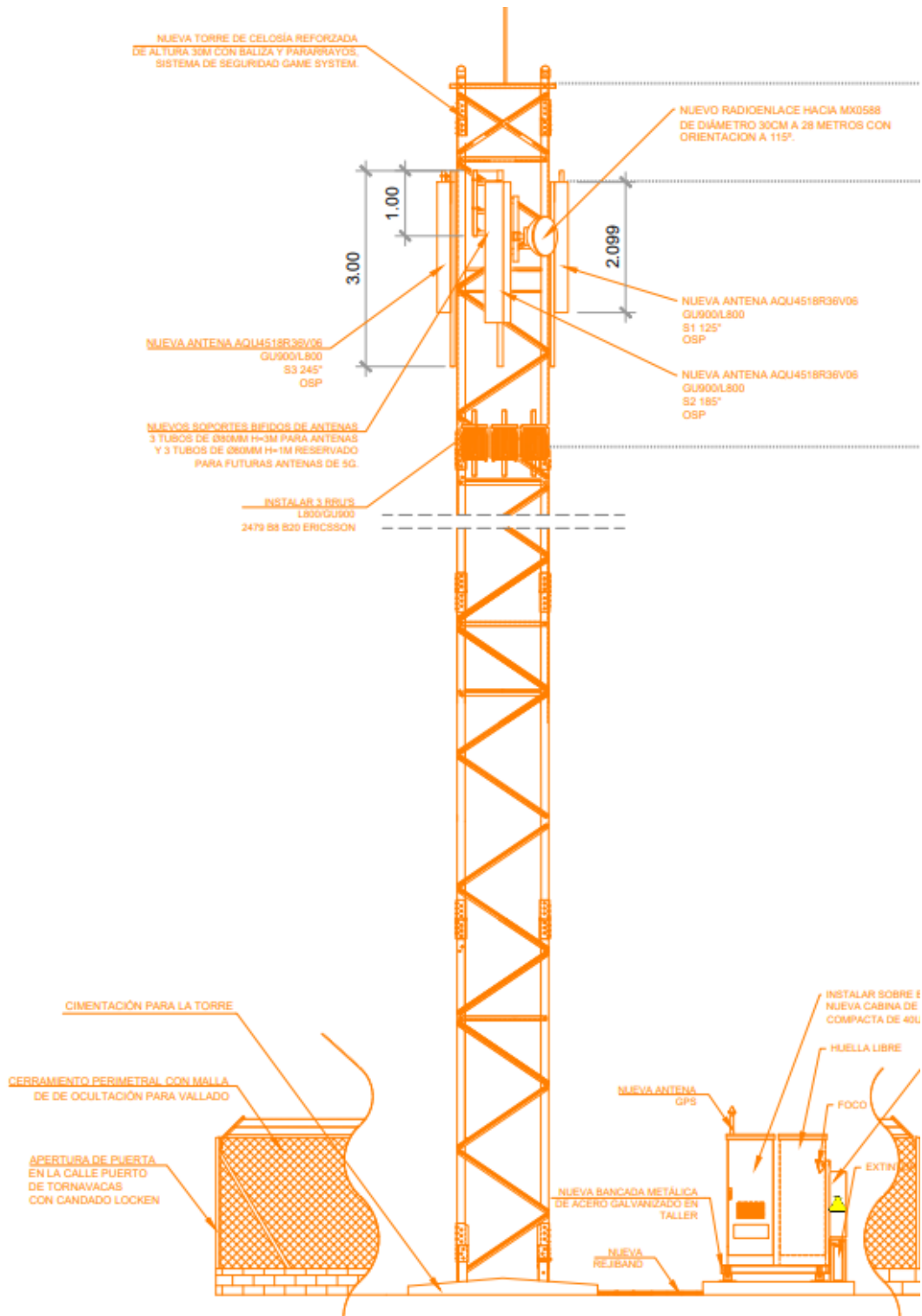


Imagen 60. Distribución del emplazamiento alzado. Elaboración propia.

Para terminar con este apartado, hay que remarcar que, como se ha dicho en la introducción, todo él se ha centrado en mostrar el diseño y las decisiones que se han tomado para realizarlo. En la realidad, se deberían rellenar los ficheros nombrados en el apartado 3 que, en definitiva, recogen toda la información expuesta en este apartado,

aunque presentada de forma diferente, y guiar al delineante en la ejecución de los planos que son como las imágenes 59 y 60, pero con más planos de detalle.

- Diseño de RF.

Una vez se tienen tanto el cap como las simulaciones, se puede pasar a la realización del diseño de RF. Parte de este diseño ya se había decidido en los documentos mencionados anteriormente, como son las orientaciones y tipo de las antenas, la altura y la longitud de cableado necesario y los equipos que se encargarán de controlar la emisión, es decir, BBus y RRus.

Como los detalles mencionados ya están especificados, lo que se trata ahora es realizar la configuración de los elementos anteriores, esto es, definir el número de portadoras por sector, la configuración MIMO/SISO del emplazamiento, la potencia de transmisión, describir los detalles de las antenas y las obras necesarias para la puesta en funcionamiento del emplazamiento.

Por un lado, en cuanto a la configuración de portadoras se decide que el emplazamiento disponga de las siguientes portadoras según el sector.

Tecnología	Sector 1	Sector 2	Sector 3
LTE 800	1	1	1
UMTS 900	1	1	1
GSM 900	2	2	2

Tabla 11. Número de portadoras por sector. Elaboración propia.

La configuración elegida es la típica que se suele realizar en la mayoría de emplazamientos. Por norma general, se suele dar a la tecnología de 2G dos portadoras por sector, mientras que a las tecnologías de 3G y 4G se les suele otorgar solo una. Sin embargo, existen casos en los que, dependiendo de las tecnologías que se vayan a implantar, se utilizan diferentes configuraciones. Por ello, como referencia, existe una tabla hecha para tres sectores que es extrapolable para más o menos sectores que determina el número de portadoras en función de la tecnología. Esta tabla (tabla 12) sirve como referencia en la gran mayoría de casos, aunque puede darse que, en un determinado momento, Orange prefiera implantar una configuración diferente a la propuesta en dicha tabla 12.

Como se puede apreciar en la tabla 12, el caso de este proyecto no es especial y sigue la norma definida. Puede observarse como la configuración elegida se encuentra en la primera fila de la tabla.

Site Type	Site Sub-Type	Configurati on	Final Configuration							
			700M	L800 (M)	G900 (E)	U900 (F)	L1800 (N)	U2100 (B)	L2100 (T)	L2600 (L)
LB (S1)	S10	MEF	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	-	-	-	-
	S20	MEFN	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	-	-	-
LB+HB (S2)	S21	MEFNT	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	-	L21_S111	-
	S22	MEFNBT	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S111	L21_S111	-
	S23	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S222	-	-
LB+HB+2.6G (S3)	S30	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	-	L21_S111	L26_S111
	S31	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S111	L21_S111	L26_S111
	S32	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S222	-	L26_S111
	S33	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	-	L21_S111	L26_S222
	S34	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S111	L21_S111	L26_S222
	S35	MEFNBL	-	L8_S111	G9_222	U9_S111	L18_S111	U21_S222	-	L26_S222

Tabla 12. Configuraciones de portadoras por sector. (Tianfeng, 2020)

Por otro lado, en cuanto a la configuración MIMO/SISO, se opta por realizar una configuración MIMO que depende de la tecnología en cuestión (todas las configuraciones serán MIMO, pero dependiendo de la tecnología será un tipo de MIMO u otro). La razón de utilizar MIMO en lugar de SISO se debe, como se ha comentado con anterioridad, a su mitigación del efecto multicamino al aportar varias versiones de la señal.

Para la tecnología L800 se opta por realizar una configuración 2T4R, el máximo que soporta la radio 2479. Esto quiere decir que se transmite por dos antenas mientras que se recibe por cuatro. Por tanto, en transmisión solo se usarán dos puertos de la antena mientras que en recepción se usarán los cuatro.

En cambio, para las tecnologías G900 y U900 la configuración que se propone es 2T2R, ya que la radio 2479 no permite usar 4R con estas tecnologías. Por tanto, para estas dos tecnologías se transmitirá por dos antenas y se recibirá por otras dos.

En el criterio de elección de las configuraciones anteriores se han propuesto, en los tres casos, las configuraciones máximas que soporta la radio ya que a más configuración MIMO más ganancia.

Siguiendo con el detalle de la configuración de RF, en cuanto a las potencias de las transmisiones, estas vienen determinadas por otro fichero de normativa interna de Orange que define en cada caso qué potencia deben de tener las transmisiones.

Para una situación de nuevo emplazamiento como la de este proyecto, para la tecnología GSM 900 se configura una potencia de 10 W por transmisión. Por otro lado, para UMTS 900 la norma no dice nada de las potencias de transmisión, únicamente especifica que el total de la potencia transmitida debe ser de 40 W. Con tecnología LTE 800, para este escenario se configura una potencia de 20 W por transmisión.

Las potencias configuradas del párrafo anterior son específicas para este caso. Si existieran elementos futuros, como comparticiones, las potencias configuradas deberían de adaptarse, ya que el escenario cambiaría y las operadoras están sujetas a restricciones en su potencia máxima emisible.

En cuanto a los detalles de las antenas se han descrito en su mayoría en el apartado de simulaciones, por lo que la única aportación en este apartado es el ancho de haz de la antena, que para todas las tecnologías es de 65°.

Por último, se definen las acciones a realizar a nivel de hardware y SSRR.



<b>PROPUESTA A NIVEL DE HW</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• INSTALAR 3 RRU'S LTE 800, UMTS 900, GSM 900 2479 B8 B20 DE ERICSSON A TUBO SOPORTE A CARA DE TORRE.</li><li>• CONSTRUCCIÓN DE NUEVA BANCADA METÁLICA DE ACERO GALVANIZADO EN TALLER SEGÚN MEDIDAS DE PLANOS PARA LOS EQUIPOS.</li><li>• CONSTRUCCION DE NUEVA TORRE DE CELOSÍA REFORZADA DE ALTURA 30 METROS CON BALIZA Y PARARRAYOS, SISTEMA DE SEGURIDAD GAME SYSTEM.</li><li>• PREVISION DE DOS NIVELES, ANTENAS SEGÚN TABLA DE ANTENAS Y RRU'S DEBAJO A CARA DE TORRE EN TUBO DE Ø80mm h=2m.</li><li>• S/I DE 3 SOPORTES BIFIDOS DE ANTENAS DONDE SE INSTALARÁN 3 TUBOS DE Ø80mm h=3m PARA ANTENAS Y 3 TUBOS DE Ø80mm h=1m RESERVADO PARA FUTURAS ANTENAS DE 5G.</li><li>• S/I DE 3 TUBOS SOPORTE A CARA DE TORRE DE Ø80mm h= 2m PARA RRU'S.</li><li>• S/I DEL TENDIDO DE 9 FO Y 3 ALIMENTACIÓN A LAS RADIOS.</li><li>• S/I 12 COAXIALES 5m ½" POR REJIBAND DE 300MM.</li><li>• S/I 1 COAXIAL 5m ½" PARA ANTENA GPS.</li><li>• S/I 3 CABLE RET DESDE LA 2479 (L800).</li><li>• FIJAR LOS DOWNTILT'S ESTABLECIDOS EN EL CUADRO DE ANTENAS.</li></ul>
<b>PROPUESTA A NIVEL DE SSRR</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• S/I TRES NUEVAS ANTENAS AQU4518R36V06 A TOP DE TORRE.</li><li>• S/I DE NUEVA ANTENA GPS SOBRE CABINA DE ALTA CAPACIDAD C3.</li><li>• NUEVO CERRAMIENTO Y APERTURA DE PUERTA EN LA CALLE PUERTO DE TORNAVACAS.</li><li>• INSTALAR CANDADO LOCKEN EN PUERTA Y CUADRO ELECTRICO.</li><li>• NUEVO RADIOENLACE HACIA MX0588 DE DIÁMETRO 30CM A 28 METROS CON ORIENTACION A 115º.</li><li>• NUEVA ACOMETIDA DE FO SEGÚN PLANOS.</li><li>• NUEVA RED DE TIERRAS PRINCIPAL, PICA DE TIERRAS</li><li>• MALLA DE OCULTACION EN EL VALLADO.</li><li>• SOLERA DE HORMIGÓN ARMADO EN TODA LA PARCELA INTERIOR DEL VALLADO.</li><li>• CIMENTACION PARA LA TORRE SEGÚN ESPECIFICACIONES EN PLANOS.</li><li>• NECESARÍO GRÚA PARA MONTAJE DE TORRE.</li></ul> <p><b>SE GARANTIZA CUMPLIMIENTO DE PLL</b></p>

Imagen 63. Propuesta nivel de hardware y SSRR. Elaboración propia.

- Diseño de TX.

Como se ha comentado anteriormente en otros apartados, existen dos formas de realizar el diseño de transmisión, mediante fibra y mediante radioenlaces. Como opción óptima, se puede realizar una combinación de ambos y tener un sistema de reserva por si surgieran inconvenientes como ocultamientos producidos al construir un nuevo edificio en la zona, roturas de cableados producidos por deterioro o por mordiscos de animales como las ratas.

Al encontrarse el emplazamiento en Madrid pueden realizarse las dos opciones, pues en esta localización se dispone de una red de fibra desplegada, y la posibilidad de realizar radioenlaces con las demás estaciones que forman el anillo. Por tanto, con el objetivo de hacer óptimo el emplazamiento se propone realizar el diseño tanto para fibra como para radioenlace. Cabe destacar que este emplazamiento no se ha diseñado con un EDF, por lo que el cambio de transmisión entre radioenlace y fibra deberá hacerse de forma manual. Por regla general, la transmisión se realizará mediante fibra debido a que es más rápida y segura. Sin embargo, como las tareas necesarias para la conexión



de fibra conllevan más tiempo de ejecución, es probable que Orange decida conectar primero el radioenlace en los primeros meses de vida de la estación, ya que su instalación es mucho más rápida.

### **Diseño mediante fibra óptica.**

Para la realización del diseño de fibra se busca, en primer lugar, el empalme de fibra de nodo que da lugar al acceso al anillo. Por la localización del emplazamiento se decide que el empalme más factible, por ser el más cercano, es el TDMA-28079-131442-18-C01, situado en la cámara de registro CR1675.

Una vez se tiene localizado donde está la caja de empalme a la que hay que conectarse, se debe decidir la ruta a seguir desde el emplazamiento hasta llegar a la cámara CR1675. Analizando en la aplicación GIS el recorrido y disponibilidad de fibras, se puede observar cómo existe una gran parte del recorrido en el que Orange no tiene instalado ni fibra ni canalizado, por lo que se recurre a buscar una solución en el canalizado de Telefónica. Consultando en la aplicación de fibra de telefónica, llamada Escapex, se observa que ese operador sí que dispone de la infraestructura necesaria para hacer llegar la fibra al empalme E0268 donde, a partir de ahí, se puede realizar un empalme FTTH con la fibra existente y dar de paso las fibras hasta llegar a la CR1675 y conectar al anillo.

Por tanto, la descripción de la solución tomada será:

Para conectar el MX9045-MAD4045 se va a instalar un cable de 16FO desde el emplazamiento hasta el empalme situado en la ARQ 2182066 006 E0268. Para ello se debe hacer obra civil canalizada hasta la ARQ H 3921846. De ahí pasaremos por el canalizado de Telefónica hasta la CR000151y de nuevo obra civil canalizada hasta salir al poste 3952343. Posteriormente, cable por postes hasta llegar a la ARQ H 3945905 donde volveremos a ir por el canalizado de Telefónica hasta llegar al empalme E0268, donde se darán de paso las fibras para conectar al empalme E0269 y, posteriormente, dar de paso las fibras en el E0266 para quedar conectados al anillo.

El recorrido de forma visual se puede apreciar en la imagen 64. Cabe destacar que se debe colocar fibra nueva, es decir, que no estaba instalada con anterioridad, hasta el empalme E0268. A partir de este empalme ya se utilizará la fibra instalada de Orange para transmitir.

Otro aspecto importante de este diseño es su elevado coste, siendo tan elevado debido a la obra civil a realizar que consume la gran mayoría de los recursos económicos. El detalle del presupuesto inicial propuesto se puede consultar en la tabla 13.



Imagen 64. Recorrido fibra óptica. Elaboración propia.

<b>PRESUPUESTO ORIENTATIVO</b>			
	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UNITARIO</b>	<b>COSTE</b>
<b>METROS DE OC NUEVA</b>	185	€ 90,00	€ 16.650,00
<b>TENDIDO DE FO CANALIZADO</b>	1800	€ 3,50	€ 6.300,00
<b>METROS SUBCONDUCTACIÓN</b>	1800	€ 3,90	€ 7.020,00
<b>TENDIDOS POR FACHADA</b>	160	€ 5,50	€ 880,00
<b>OPEX CANALIZACIÓN TESAU/OTROS</b>	22	€ 0,08	€ 1,80
<b>Nº REGISTROS SUC</b>	22	€ 88,00	€ 1.936,00
<b>SUM./INST. EQUIPAMIENTO</b>	1	€ 650,00	€ 650,00
<b>TASAS Y PERMISOS</b>	1	€ 1.250,00	€ 1.250,00
<b>OTROS:</b>	0	€ -	€ -
		<b>TOTAL</b>	<b>€ 34.687,80</b>

Tabla 13. Presupuesto fibra óptica. Elaboración propia.

Una vez se ha llegado a la CR1675 y encontrado la fibra de nodo se acaba el trabajo de diseño, pues el resto ya es tarea exclusiva de Orange.

### Diseño mediante radioenlace.

Para realizar el diseño de radioenlace se ha propuesto el candidato mencionado en el lote I, el MX0588.

Para realizar este diseño, como se mencionó en el apartado de metodología, el ingeniero o el técnico replanteador deben comprobar la línea de vista. Para ello, se suben a los respectivos edificios tratando de fotografiar el otro.

Al ser el nuevo emplazamiento una torre sin construir, el procedimiento que se utiliza para comprobar en los edificios, no se puede usar aquí. En estos casos se comprueba solo el remoto que ya está construido, independientemente de que este sea una torre o un edificio.

En particular, en este proyecto el emplazamiento remoto MX0588 es una torre de 20 metros de altura, que es muy propicio para la realización de un radioenlace ya que en torres es más fácil colocar parábolas para realizar enlaces.

Si se sube a la torre del remoto la altura mínima de LOS resulta ser de 15 metros y las direcciones de azimut de las estaciones, 115° desde el nuevo emplazamiento al remoto y 295° desde el remoto al nuevo emplazamiento. Sin embargo, a la hora de diseñar se pensó utilizar una altura más elevada en el nuevo site por si en un futuro existieran

nuevas construcciones que perjudicaran la LOS, por lo que se definió la parábola en el remoto a 15 metros y la parábola en el site a 28 metros.

Por otro lado, en cuando al hardware necesario se utilizará un nuevo MSS1 en el nuevo emplazamiento, como se muestra en la imagen 65, y una de las tarjetas del MSS8 de la imagen 17.



**Imagen 65. MSS1. Elaboración propia.**

En cuanto a parábolas, se propondrán en ambos sites una parábola de 0,30 metros, modelo SB1 – W800C, con una ganancia de 44,60 dBi. Estas parábolas vienen equipadas con una radio Nokia 80G-UBT-m-250A, configurándose la frecuencia alta (85750 MHz) para el emplazamiento nuevo y la baja (75750 MHz) para el remoto, en banda de frecuencias E-band al ser la distancia entre ambos sites de 0,541 Km.

Por otro lado, la modulación elegida es la adaptativa siendo la referencia QPSK con un throughput de 381 Mbits/s y un ancho de canal de 250 MHz. (Se ha sobredimensionado el throughput).

Por último, en la imagen 66 se muestra un fotomontaje de cómo quedaría la parábola solo en el remoto, ya que al no estar construido y ser una torre no se puede realizar lo mismo en el site.



**Imagen 66. Fotomontaje parábola remoto. Elaboración propia.**

- IVE.

En cuanto al suministro eléctrico, al encontrarse el emplazamiento en el municipio de Leganés, en Madrid, la compañía a la que se solicita dicho suministro es Iberdrola.

El suministro a contratar será de tipo trifásico a 400 V con una potencia contratada de 10,392W. (Se ha sobredimensionado la potencia a contratar).

En cuanto al contador, se colocará en la hornacina existente del emplazamiento como muestra la imagen 67.



**Imagen 67. Contador. Elaboración propia.**

### 4.3 Lote III.

Una vez terminado el lote II pasamos a la elaboración del lote III. Este lote, como se ha dicho anteriormente, se compone de varias partes, pero la que afecta al ingeniero es solamente la redacción de la memoria. La memoria no aporta ninguna novedad al diseño y, puesto que solo es un resumen para presentar al ayuntamiento de lo descrito en los lotes I y II, no se profundizará en el tema.

Una vez se han terminado los tres bloques se puede dar el proyecto por finalizado, al estar descritos todos los aspectos de un emplazamiento para comunicaciones móviles.

Por último, cabría resaltar que en este punto se han resaltado solo los aspectos de diseño, explicando el porqué de este. En la realidad, cada etapa de los lotes descritos anteriormente consta de unos documentos a elaborar para ser entregados a Orange para su aprobación definitiva. Dichos documentos han sido enumerados en el apartado 3 de este trabajo.

## Capítulo 5. Mejoras al diseño.

En este diseño se han instalado solo tecnologías de bandas bajas, GSM 900, UMTS 900 y LTE 800. Estas tecnologías tienen buenas prestaciones y ventajas. Por ejemplo, debido a su portadora de baja frecuencia, llegan a cubrir más extensión. No obstante, si se quiere obtener un mayor ancho de banda, por ejemplo, para aplicaciones modernas, es necesario utilizar una tecnología con una frecuencia portadora superior. Consecuentemente, interesaría implantar, como mejora al emplazamiento descrito anteriormente, la tecnología hasta ahora más moderna (quitando los 5G), el LTE 2600.

Primeramente, se debe mencionar que la tecnología LTE2600 utiliza una frecuencia de portadora superior, 2600 MHz, frente a 800 MHz del LTE instalado en la nueva estación base. Esta tecnología la principal desventaja que presenta es que su rango de cobertura y penetración en edificios es muy limitado, por lo que, por norma general, se necesitan varias estaciones para conseguir dar cobertura a una zona objetivo.

Añadir la tecnología L2600<sup>2</sup> al emplazamiento requiere una serie de modificaciones en los diseños descritos anteriormente. En primer lugar, se debe observar la situación actual del emplazamiento y simular la cobertura que daría el emplazamiento añadiendo el L2600. Una vez se tengan estas simulaciones, con los parámetros resultantes se definen las características del equipamiento hardware necesario para la puesta en funcionamiento de la tecnología.

### Simulaciones de L2600.

Si se realiza la situación actual de la zona objetivo de la misma manera que se hizo en el apartado 4 se obtiene que, habiendo un total de 50 estaciones en un área de dos Km alrededor de la zona objetivo, dando cobertura L2600 el porcentaje de cobertura indoor es del 6% mientras que de cobertura outdoor es del 68%. Además, la zona crítica es la zona norte del área objetivo, como se puede ver en la imagen 68, al no estar la zona resaltada de color naranja.

En cuanto a los niveles de señal actuales se obtiene un promedio de señal indoor de -125,6 dBm mientras que de outdoor se obtiene -102,2 dBm. Se puede ver como actualmente la señal indoor no cumpliría el criterio de ser mayor de -106 dBm.

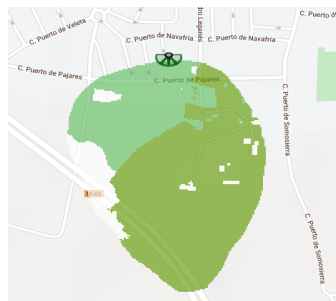


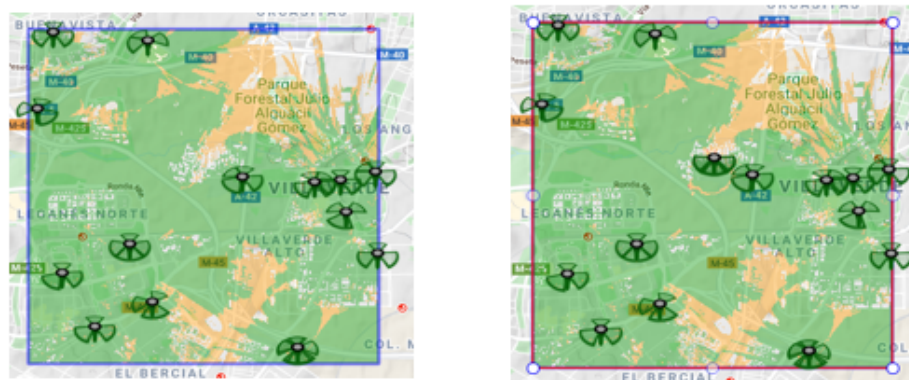
Imagen 68. Comparativa cobertura actual y consolidada. Elaboración propia.

<sup>2</sup> L2600 es la forma abreviada de llamar a la tecnología LTE2600.

Al incorporar el candidato con la tecnología L2600 la situación cambia drásticamente. El porcentaje pasa de ser del 6% al 78% en indoor mientras que en outdoor se logra un 92%. Además, como se aprecia en la imagen 68, el emplazamiento cubre gran parte de la zona de cobertura que en la situación actual no se cubría. Por lo que, aunque no llega a cumplirse el criterio del 85% de cobertura indoor, ante la gran mejora que representa la cobertura consolidada esta se puede considerar más que aceptable.

Por otro lado, los niveles de señal mejoran también sensiblemente, siendo el promedio para indoor de -98 dBm mientras que para outdoor es de -94,3 dBm. Como la cobertura indoor mejora más que la outdoor se puede afirmar que el nuevo emplazamiento provoca una mejor penetración de la tecnología L2600.

En cuanto a las interferencias existe también una mejora mínima ya que el porcentaje sube de 68% a 69% en indoor y se mantiene a 77% en outdoor, por lo que se puede afirmar que el emplazamiento provoca una mejora del nivel de señal sin provocar ruido al área de cobertura. En este caso tampoco se cumplen los criterios del 85% pero, al haber tan pocas estaciones en los alrededores de la zona objetivo y puesto que los valores mejoran los actuales, se considera que este resultado también es aceptable. La situación de interferencias se puede apreciar en la siguiente imagen.



**Imagen 68. Comparativa cobertura actual y consolidada.**

Una vez se ha realizado la simulación se obtienen los parámetros de esta, los cuales son: las mismas orientaciones que se propusieron para las tecnologías G900, U900 y L800, el mismo tilt eléctrico para que no empeoren las interferencias, el mismo modelo de antena y la misma altura, pues se va a aprovechar que la antena ya diseñada AQU4518R36V06 dispone de arrays de alta frecuencia libres por lo que se puede reutilizar.

Por otro lado, en cuanto al hardware necesario, se necesitará una base band para controlar el L2600. Sin embargo, es posible reutilizar los puertos no usados de la que ya se ha diseñado anteriormente, siendo ahora el número total de puertos ocupados nueve en lugar de tres, es decir, el L2600 ocupará seis puertos de esa BBu.

Siguiendo con el equipamiento necesario, será imprescindible el uso de tres nuevas radios 4415 que se pueden instalar en soportes sobre la propia torre un metro por debajo de las radios 2479.

Por tanto, se deberá corregir la tabla 9 de cableado quedando como sigue:

Sector	COAXILES			LONGITUD CABLEADO a RRU			
	TIPO	LONGITUD L2600	LONGITUD G900, U900 y L800	F.O. G900, U900 y L800	F.O. L2600	Alimentación. G900, U900 y L800	Alimentación. L2600
S1	1/2"	4X6,00m	4X5,00m	2X25m	2X24m	25m	24m
S2	1/2"	4X6,00m	4X5,00m	2X25m	2X24m	25m	24m
S3	1/2"	4X6,00m	4X5,00m	2X25m	2X24m	25m	24m

Tabla 14. Nuevo cableado incluyendo el L2600. Elaboración propia.

A nivel de configuración radio, el LTE 2600 se configurará con un MIMO 4T4R, es decir, cuatro transmisiones y cuatro recepciones, que es el máximo alcanzable con tecnologías de hasta 4G (en 5G se puede hacer configuraciones de massive MIMO de hasta 64T64R). Esto es posible al tener los cuatro puertos ocupados de una antena como ocurre en esta tecnología.

En cuanto a su potencia, del mismo archivo que se utilizó para las otras tecnologías se configuran las cuatro transmisiones anteriores del MIMO con 40 W, es decir, la potencia será de 4X40 W por antena.

Referente al número de portadoras, la configuración a implantar no corresponde a ninguna de las aparecidas en la tabla 12, por lo tanto, se aplica la regla general y, al ser una tecnología de 4G, se le da únicamente una portadora por sector.

Respecto al resto de equipos diseños y a las configuraciones propuestas, la integración del L2600 no implica una modificación, únicamente afectaría a la alimentación del emplazamiento y a la modulación del radioenlace, no viéndose afectada la transmisión por fibra.

En cuanto a la alimentación, la integración de la tecnología LTE 2600 implica un nuevo gasto energético y un recálculo de secciones de acometidas. Sin embargo, gracias a la sobredimensión que se ha realizado en la acometida y en la sobredimensión que se ha realizado en la contratación eléctrica con Iberdrola, la implantación de esta tecnología no supone ningún tipo de modificación en la alimentación. (Este sería un buen ejemplo del porqué se dimensiona un emplazamiento).

Por otro lado, en cuanto a la modulación, la instalación de esta tecnología cambiaría el throughput necesario del radioenlace pasando a ser de 366 Mbits/s en lugar de 225Mbits/s. Sin embargo, gracias a la previsión tenida a la hora de dimensionar el radioenlace, la capacidad actual es de 381 Mbits/s, por lo que no sería necesaria la modificación de la modulación tampoco en este caso.

Una vez realizados todos estos cambios se daría por concluida la instalación del LTE 2600 en el emplazamiento diseñado, proporcionando un mayor ancho de banda a las aplicaciones que lo necesiten.





Por último, como mejora final al diseño, se puede instalar un EDF en el C3, para así poder seleccionar los dos tipos de transmisión de forma automática y no tener que cambiar el tipo de transmisión de forma manual.



## Capítulo 6. Bibliografía

- Ballesteros, C. G. (2020). *Normativa de instalación radio*. Documento no publicado: Orange Espagne S.A.U.
- Bigstock. (16 de Octubre de 2019). *¿Qué debo tener en cuenta si quiero poner una antena parabólica en mi casa?* Obtenido de [https://www.65ymas.com/consejos/como/que-debo-tener-cuenta-si-quiero-poner-antena-parabolica-casa\\_9315\\_102.html](https://www.65ymas.com/consejos/como/que-debo-tener-cuenta-si-quiero-poner-antena-parabolica-casa_9315_102.html)
- cataluña, G. d. (5 de 10 de 2021). *Mapa urbanístic de Catalunya*. Recuperado el 2021 de 09 de 13, de <http://dtes.gencat.cat>
- Celis, J. M. (2019). *Diseño de Radioenlaces PMW en iQ.linkXG*. Orange Espagne S.A.U.: Documento no publicado.
- Chatterjee, P. (20 de 12 de 2012). *Wireless MIMO Driving RF Challenges*. Obtenido de <https://www.digikay.es/es/articulos/wireless-mimo-driving-rf-challenges>
- Delgado, L. (2020). *Configuraciones Hardware ZTE*.
- Ericsson. (2020). *radio configuration & decisión tree jumping*.
- Garrido, C. (2020). *Comentarios sobre antenas y SSRR. Proyecto Orange*.
- HUAWEI TECHNOLOGIES CO., L. (2019). *Huawei Antenna & Antenna Line Products Catalogue 2019*.
- HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (2019). *Antenna Line Products Catalogue*.
- Hussain, A. (16 de Junio de 2020). *Telecom Network Tools*. Obtenido de <https://telecomnetworktools.blogspot.com/>
- Martín, F. (2020). *Configuraciones hardware Huawei*.
- Pesantez. (5 de Noviembre de 2019). *Qué Es Tilt Eléctrico Y Mecánico De La Antena*. Obtenido de <https://pdfcookie.com/documents/que-es-tilt-electrico-y-mecanico-de-la-antena-xov1eywnk821>
- Tianfeng, C. (2020). *OSP Site Engineer Solution*.

## Capítulo 7. Anexos

Anexo 1: Resumen de ordenanzas para diferentes municipios.

Emplazamientos en azotea						
Instalación						
MUNICIPIO	PTI	Altura máxima	Retranqueos	Línea de 45º	Mimetización	Prohibiciones
MADRID	NO					No existe Ordenanza
SAN FERNANDO DE HENARES	NO					No existe Ordenanza
LEGANES	SI					
COSLADA	SI	8 mts	3 mts			
ZARAGOZA	SI					
MÁLAGA	SI	8 mts	2mts	Si	No	Prohibido sobre petril - Prohibido sobre faldones de cubierta inclinada - No antenas en fachada
BARCELONA	SI	8 mts			Si	No se admiten mástiles ni SSRR no mimetizados

Anexo 2: Reportaje fotográfico del emplazamiento MAD4045.



Vista de la entrada del emplazamiento.



Vista del medio del emplazamiento.



**Vista del fondo del emplazamiento.**