



# Optimización Diseño Red de Acceso de Transmisión de Telefonía Móvil

---

María Dolores Arguinchona Echavarri

Sevilla, 30 de Diciembre de 2015

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla



## RESUMEN

El presente proyecto fin de carrera viene motivado por mis años de experiencia y conocimientos adquiridos desempeñando labores de ingeniería de diseño en las redes de acceso radio. Tras colaborar en un proyecto de mejora, migración y despliegue de infraestructuras 2G y 3G en la red de transmisión de una operadora nacional, se pretende trasladar estos procedimientos a un escenario de ámbito local situado en Alicante.

En el primer capítulo se presentará la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles. Las tecnologías implicadas en este proyecto: GSM (Groupe Spéciale Mobile) y UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), centrándose en la jerarquía, la arquitectura y los distintos elementos que conforman una red de transmisión estándar 2G y 3G. Así mismo también se introduce el nuevo estándar recientemente implantado LTE (4G) y su evolución LTE Advanced.

En una sociedad en la que las tecnologías de la información y la comunicación adquieren mayor relevancia cada día y las necesidades de los usuarios a la hora de comunicarse y estar conectados con el resto del mundo son cada vez más exigentes, se convierte en algo imprescindible que las tecnologías y redes que hacen eso posible evolucionen a la par, adelantándose incluso a la demanda del mercado.

El sector de las comunicaciones móviles viene experimentando cambios significativos desde hace algunos años. El 2G fue pensado para ofrecer comunicaciones de voz principalmente, por ello utilizaron TDM en la transmisión de la información, al ser esta una tecnología de conmutación de circuitos orientada a conexión, pero es limitado en comunicación de datos. La tecnología predominante de esta generación es GSM (Global System Mobile). Posteriormente aparece la 2.5 G cuya tecnología predominante es la GPRS (General Packet Radio System) que introduce la conmutación de paquetes en las redes GSM (introduce el mundo IP) y aparecen los MMS (Mensajes Cortos Multimedia).

El 3G se caracteriza por contener la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, lo cual la hace apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como por ejemplo audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet. El estándar que define la tecnología 3G es el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Ahora estamos en los comienzos de una nueva generación de comunicaciones móviles, la cuarta generación o 4G, que tiene como objetivo mejorar la actual 3G y unificar los sistemas para que el cliente tenga un servicio estable en cualquier parte del mundo con el mismo terminal móvil. Además de aumentar considerablemente la velocidad, lo que permitirá una gama más amplia de servicios y facilidades. Por primera vez, todos los servicios, incluida la voz, se soportan sobre el protocolo Internet Protocol (IP) y las velocidades de la interfaz radio se sitúan en rangos ampliamente superiores a los conseguidos en los sistemas

predecesores. Se espera que con LTE se puedan romper definitivamente las barreras que todavía impedían la consecución plena de una movilidad con capacidad multimedia. Por este motivo, los equipos de telecomunicaciones móviles deberán estar totalmente preparados para el soporte de implementación del protocolo IP. La mayoría de las operadoras optaron por usar IP/Ethernet en la evolución de su red de transporte.

En el segundo capítulo se detallará el procedimiento a seguir y los aspectos más importantes a la hora de realizar una nueva planificación de la red de transmisión, con el objetivo de optimizarla lo máximo posible tanto en costes como en operatividad. En este mismo punto, se realizará una comparativa detallada de los estándares de transmisión más extendidos en telefonía móvil, las clásicas jerarquías PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), y el recién implantado Ethernet. Así mismo se explicará el procedimiento a seguir para planificar un nuevo radioenlace, desde la verificación de la línea de vista hasta el diseño del mismo mediante herramientas informáticas, en este caso IQLink.

En el diseño de una red de transmisión interconectaremos los emplazamientos de la red radio de la manera más eficiente posible en relación al coste siempre cumpliendo los criterios de la red. Tendremos que tener en cuenta la red de acceso actualmente desplegada por el operador, requisitos de disponibilidad y rendimiento, nivel de protección, la necesidad de capacidad, el número de BTSs con el que contamos y la localización de cada emplazamiento.

Se detallará la planificación de un nuevo radioenlace. El primer paso, será la confirmación de su línea de vista, deberá comprobarse en campo si existe visibilidad entre los dos extremos del radioenlace, así como una zona de despeje adicional. La primera zona de Fresnel debe encontrarse libre de obstáculos para evitar la atenuación de la señal. Tras la realización de la línea de vista, se procede al diseño del nuevo radioenlace, se definirán sus elementos y características: receptores y transmisores, parábolas a instalar, frecuencia, canal, capacidad y la configuración del sistema, cumpliendo siempre los criterios de diseño, potencia, calidad, disponibilidad, nivel de interferencias.

El último capítulo, comprende la descripción, desarrollo y ejecución del escenario bajo estudio. En este proyecto, se tiene como objetivo optimizar la red de transmisión del sistema de telefonía móvil existente en la zona de Alicante perteneciente a una operadora de telefonía nacional. Inicialmente, se presentará el escenario de partida formado por estaciones interconectadas entre sí, para posteriormente estudiar las distintas posibilidades de mejora del mismo, combinando diferentes cambios de topología, la solución propuesta está basada en la utilización de anillos y cadenas. La topología en anillo ofrece redundancia de caminos por los que puede ir la información, sin necesidad de duplicar el hardware, reduciendo considerablemente el coste. En los casos donde no sea posible la topología en anillo, utilizaremos la topología en cadena. Se realizarán estudios de LOS (Line On Sight) en el caso de nuevos radioenlaces para posteriormente concluir con el diseño de cada radioenlace.



## ÍNDICE

---

## Capítulo 1

### RESEÑA TECNOLÓGICA

---

1. TECNOLOGÍA GSM .....	10
1.1.    Introducción .....	10
1.2.    Sistemas celulares .....	11
1.3.    Arquitectura .....	12
1.4.    Bandas de frecuencias .....	14
2. GPRS .....	15
3. TECNOLOGÍA UMTS .....	16
3.1.    Introducción .....	16
3.2.    Arquitectura .....	17
3.3.    Comparativa entre GSM y UMTS.....	20
4. HSPA y HSPA+ .....	22
5. LTE .....	23
5.1.    Introducción .....	23
5.2.    Arquitectura .....	26
5.3.    LTE Advanced .....	27

## Capítulo 2

### DISEÑO DE TRANSMISIÓN

---

6. DISEÑO DE TRANSMISIÓN.....	30
7. TOPOLOGÍA DE LA RED DE ACCESO .....	31
7.1.    Red propia .....	32
7.2.    Red Alquilada .....	32
8. MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....	33
8.1.    Tecnología de transporte: Jerarquías PDH y SDH. Ethernet.....	33
9. LOS (Line of Sight: Línea de Vista).....	39
10. DISEÑO RADIOENLACE DE MICROONDAS .....	43
10.1.    Datos Iniciales .....	43

<b>10.2.</b>	<b>Frecuencia</b> .....	<b>44</b>
<b>10.3.</b>	<b>Modulación</b> .....	<b>45</b>
<b>10.4.</b>	<b>Parábolas</b> .....	<b>47</b>
<b>10.5.</b>	<b>Configuración</b> .....	<b>49</b>
<b>10.6.</b>	<b>Criterios de calidad y disponibilidad</b> .....	<b>52</b>
<b>10.7.</b>	<b>Interferencias</b> .....	<b>53</b>

## **Capítulo 3**

### **CASO PRÁCTICO**

---

<b>11.</b>	<b>NECESIDADES DE LA RED</b> .....	<b>57</b>
<b>12.</b>	<b>MIGRACIÓN</b> .....	<b>59</b>
<b>13.</b>	<b>EQUIPOS</b> .....	<b>60</b>
<b>14.</b>	<b>EJEMPLO</b> .....	<b>62</b>
<b>14.1.</b>	<b>Situación inicial</b> .....	<b>62</b>
<b>14.2.</b>	<b>Solución propuesta</b> .....	<b>73</b>
<b>14.2.1.</b>	<b>Diseño de la Topología</b> .....	<b>74</b>
<b>14.2.2.</b>	<b>Líneas de Vista</b> .....	<b>82</b>
<b>14.2.3.</b>	<b>Diseño de los radioenlaces</b> .....	<b>92</b>
	<b>Conclusiones y Líneas Futuras</b> .....	<b>99</b>
	<b>Índice de Imágenes</b> .....	<b>100</b>
	<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>102</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>103</b>

# Capítulo 1

## RESEÑA TECNOLÓGICA

---

## 1. TECNOLOGÍA GSM

### 1.1. Introducción

GSM es un sistema de comunicación basado en el uso de células digitales que se desarrolló para crear un sistema para móviles único que sirviese de estándar para Europa y que fuese compatible con los servicios existentes y futuros. Los múltiples inconvenientes que presentaban los sistemas analógicos y la existencia de tantos estándares diferentes, provocaban problemas importantes; por un lado tenemos que la operatividad del terminal terminaba donde acababan los límites de cada país y por otro lado el mercado para cada tipo de terminal era muy limitado y estaba restringido al país en donde el dispositivo fuese a ser utilizado.

Para solucionar estos problemas en el año 1982 el CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) creó el denominado Groupe Spécial Mobile (GSM) para desarrollar un sistema basado en células de radio que sirviesen para todos los países europeos. Sus objetivos fueron:

- Mejora en la eficiencia del espectro.
- Capacidad de roaming internacional de una manera automática.
- Costes bajos.
- Alta calidad de la voz transmitida.
- Compatibilidad con otros sistemas.
- Posibilidad de ir añadiendo otros servicios a medida que se fuesen requiriendo.

En el año 1989, ETSI (European Telecommunications Standards Institute) toma el relevo al CEPT, será el encargado de regular desde este momento todos los aspectos de las comunicaciones a través de GSM. Las especificaciones para el estándar GSM-900 se terminaron en 1989, en 1991 comenzaron a funcionar las primeras redes GSM europeas y en 1993 se lanzaron comercialmente los primeros modelos de teléfonos móviles GSM.

Hoy en día GSM es un estándar utilizado en casi cien países en todo el mundo, y el número de usuarios que hacen uso de él se ha venido duplicando de año en año. De igual modo, el número de servicios que se han ido desarrollando sobre GSM han ido evolucionando con el paso del tiempo. Los servicios que se van incorporando a GSM se llevan a cabo por el Memorandum of Understanding (MoU) que viene a ser como un subgrupo encargado de estos temas. El MoU ha definido tres tipos de categorías de servicios que pueden ofrecerse sobre una red GSM.

Las tres categorías de servicios sobre GSM son: teleservicios que engloban a los servicios básicos de telefonía; los servicios portadores que son los usados para la transmisión y recepción de datos; y los servicios complementarios generalmente extensiones de los teleservicios y que proporcionan nuevas características a la red GSM.

## 1.2. Sistemas celulares

Los sistemas celulares se basan en la división del área de cobertura de un operador en lo que se denomina células (cells). Estas células se caracterizan por su tamaño que viene determinado por la potencia del transmisor pero de un modo muy particular, ya que lo que se persigue siempre en los sistemas celulares es que la potencia de transmisión sea lo más baja posible a fin de poder reutilizar el mayor número de frecuencias. El porqué de tener el mayor número de frecuencias disponibles tiene que ver con que a mayor número de frecuencias libres mayor es el número de usuarios que pueden hacer uso del sistema, ya que cada uno puede usar una frecuencia sin interferir en la de otro usuario (realmente no se utiliza una frecuencia por usuario pero la idea general es esta). De este modo todas las bandas de frecuencias se distribuyen sobre las células a lo largo del área de cobertura del operador de manera que todos los canales de radio se encuentran disponibles para ser usados en cada grupo de células (clusters) lo cual no sucedería si se produjese una emisión de la señal con una potencia superior ya que se podría interferir en otras células adyacentes interfiriendo en las frecuencias disponibles. La distancia que debe existir entre dos células que empleen la misma frecuencia debe ser lo suficientemente grande como para que no produzca interferencia entre ellas. También existen determinados canales que se reservan para labores de señalización y control de toda la red.

Las células se unen las unas a las otras mediante cable o bien mediante radioenlaces, así como con la red telefónica fija.

El siguiente nivel de organización que existe en GSM es el de clúster, que no es más que un conjunto de células agrupadas entre sí. Estos clústeres suelen agrupar conjuntos de 4, 7, 12 o 21 células distintas que se distribuyen por todo el área de cobertura del operador.

Tipos de células:

- **Macro células:** Son células de gran tamaño utilizadas en áreas de terreno muy grandes y donde la distancia entre áreas pobladas es bastante distante.
- **Micro células:** Se utilizan por el contrario en áreas donde hay una gran densidad de población, con el objetivo de que a mayor número de células, mayor número de canales disponibles que pueden ser utilizados por más usuarios simultáneamente.
- **Células selectivas:** En muchas ocasiones no interesa que una célula tenga una cobertura de 360 grados sino que interesa que tenga un alcance y un radio de acción determinado, en este caso es donde aparecen las células selectivas. El ejemplo más típico de células de este tipo son aquellas que se disponen en las entradas de los túneles en los cuales no tiene sentido que la célula tenga un radio de acción total (360 grados) sino un radio de acción que vaya a lo largo del túnel.
- **Células paraguas:** Este tipo de células se utilizan en aquellos casos en los que tenemos un elevado número de células de tamaño pequeño y continuamente se están produciendo cambios (handovers) del terminal de una célula a otra. Para

evitar que suceda esto lo que hacemos es agrupar conjuntos de microcelulas, de modo que aumentamos la potencia de la nueva célula formada y reducimos el número de handovers que se producen.

### 1.3. Arquitectura

Las principales unidades funcionales e interfaces que componen la arquitectura de un sistema GSM se muestran en la Figura 1:

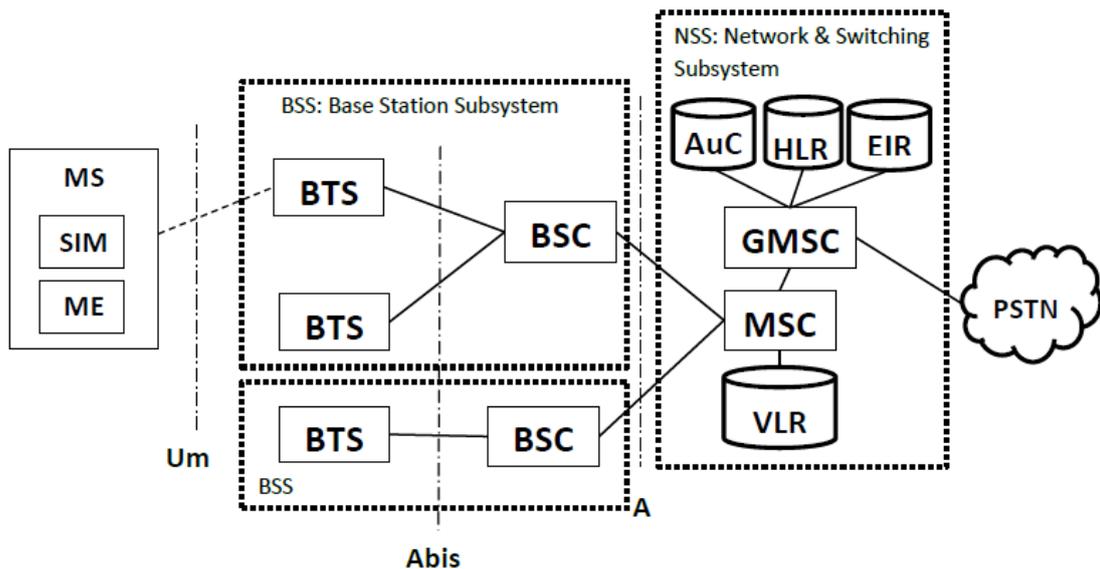


Figura 1. Arquitectura GSM [1].

#### a) Subsistemas y Unidades Funcionales GSM

- Estación Móvil (Mobile Station MS). Es el terminal móvil GSM que el usuario utiliza para acceder a la red y sus servicios. Podría subdividirse, a su vez, en la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y el Mobile Equipment que es básicamente el dispositivo del usuario. La tarjeta SIM almacena información asociada al abonado. Se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios proporcionados por su operador. Esto permite al usuario cambiar de dispositivo manteniendo su información.
- Subsistema de Estaciones Base (BSS: Base Station Subsystem)/Red de Acceso: Conecta las estaciones móviles con los NSS ((Network and Switching Subsystem), su función es proporcionar y controlar el acceso de los terminales al espectro disponible, así como de realizar el envío y recepción de datos entre MS - BTS - BSC. Consta de dos elementos:

- Estación Base (BTS: Base Transceiver Station). Proporciona el enlace, vía radio, entre la red y las estaciones móviles. Suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determina el tamaño de la célula.
- Controladora de Estaciones Base (BSC: Base Station Controller). Elemento de la red GSM que centraliza funciones de varias BTSs de su entorno y de ella misma. Se encarga de todas las funciones centrales y de control del subsistema de estaciones base, formado por un conjunto de BTSs y la propia BSC.
- Subsistema de Conmutación y Red (NSS: Network and Switching Subsystem)/Red Troncal: Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder hacer este trabajo el NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:
  - Mobile Services Switching Center (MSC): Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes. Se encarga de realizar el control de llamadas (establecimiento, control y terminación) a través de las BSCs y BTSs correspondientes hasta el usuario. Cada MSC controla las BSCs de su área de influencia. Además, debe tener acceso tanto al VLR como a los HLRs de los distintos operadores e interconexión con las redes de telefonía de otros operadores.
  - Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): Un gateway es un dispositivo traductor, puede ser software o hardware, se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. Es una pasarela que permite la interconexión de la red de telefonía móvil con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).
  - Home Location Register (HLR): Es un registro que contiene información permanente de todos los abonados de un MSC, su posición, si están conectados o no, el tipo de abono (servicios que puede o no puede usar, tipo de terminal), código de identificación, número, etc.
  - Visitor Location Register (VLR): Es un registro de visitantes donde se inscribe temporalmente un abonado cuando está situado dentro de la zona de localización dependiente de un MSC.
  - Authentication Center (AuC): Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.
  - Equipment Identity Register (EIR): EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los International Mobile Equipment Identity o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.
  - GSM Interworking Unit (GIWU): sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

- Los Subsistemas de soporte y Operación (Operation and Support Subsystem OSS): Los OSSs se conectan a diferentes NSSs y BSCs para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSSs se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en las BTSs de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

## b) Interfaces

En el esquema de red GSM que hemos visto anteriormente existen diferentes elementos de la red que tienen que estar interconectados para el tránsito de información y para ello existen distintos interfaces que proporcionan y permiten esta interconexión.

Entre cada par de elementos con conexión en la arquitectura GSM existe una interfaz diferente. Cada interfaz requiere su propio juego de protocolos.

Las principales interfaces son la Um, Abis y la interfaz A. Estos interfaces se encuentran entre el equipo de usuario y la red de acceso, dentro de la red de acceso para la interconexión de sus elementos y la conexión de la red de acceso con la parte del núcleo de la red, respectivamente.

- Interfaz Um. Es la interfaz radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS. Utiliza el protocolo de señalización LAPDm.
- Interfaz Abis. Se encuentra entre el BSC y la BTS. Realiza el control del equipo radio. Utiliza el protocolo de señalización LAPD.
- Interfaz A. A través de ella, se comunica el MSC con la BSC. Permite el intercambio de información para la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. Aquí tiene lugar la negociación de los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC. Utiliza el protocolo de señalización SS7.

## 1.4. Bandas de frecuencias

A través de la interfaz de radio, se produce la comunicación entre los dispositivos móviles y la BSS. En GSM se han especificado las siguientes bandas de frecuencias, mostradas en la Tabla 1:

Banda	Enlace ascendente Uplink (MHz)	Enlace descendente Downlink (MHz)	Ancho de banda (MHz)
GSM-900	890-915	935-960	2x25
GSM-1800	1710-1785	1805-1880	2x75

Tabla 1. Bandas de frecuencia GSM [2].

Estas bandas de frecuencia son utilizadas para mantener diferentes comunicaciones simultáneas; existen fundamentalmente dos mecanismos que se utilizan para poder proporcionar acceso múltiple a un medio limitado, como son las frecuencias. Estos dos mecanismos se denominan FDMA o Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por división de Frecuencia) y TDMA o Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo). En el caso de FDMA a cada usuario se le asigna una frecuencia de manera que el máximo número de usuarios que pueden usar el sistema viene determinado por el número de frecuencias disponibles. Mediante TDMA lo que se hace es que diferentes usuarios pueden utilizar el mismo canal; para ello, a cada usuario se le asigna un determinado tiempo en el cual puede hacer uso del canal.

Para el caso particular de GSM-900, TDMA se usa sobre la estructura de FDMA de la manera siguiente: Los 25 MHz de la banda de frecuencias se dividen en 125 partes denominadas frecuencias portadoras, separadas entre sí 200 kHz; de las 125 portadoras, una de ellas (generalmente la primera) se utiliza para comunicar GSM con servicios de baja frecuencia, por lo que de las 125, realmente solo 124 van a estar disponibles en todo momento. Posteriormente, cada frecuencia portadora se divide siguiendo el esquema de TDMA en 8 intervalos de tiempo, cada intervalo es aproximadamente de 0.577 ms, que son asignados a un usuario en particular.

## **2. GPRS**

General Packet Radio Service o GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM.

GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes.

Desde el punto de vista del Operador de Telefonía Móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas (la parte más cara de una red de Telecomunicaciones móviles) sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los timeslots (intervalos de tiempo) se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la demanda. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios.

Que la conmutación sea por paquetes permite fundamentalmente la compartición de los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en recepción en GPRS y 20 Kbps de transmisión.

Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al ocuparse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en las que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

### **3. TECNOLOGÍA UMTS**

#### **3.1. Introducción**

UMTS son las siglas de Universal Mobile Telecommunication System o Sistema Universal de Comunicaciones Móviles.

Está siendo desarrollado por 3GPP (3rd Generation Partnership Project), un proyecto común en el que colaboran: ETSI (Europa), ARIB/TTC (Japón), ANSI T-1 (USA), TTA (Korea), CWTS (China). Para alcanzar la aceptación global, 3GPP va introduciendo UMTS por fases y versiones anuales llamadas *releases*.

La unión internacional de telecomunicaciones (ITU) es la encargada de establecer el estándar para que todas las redes 3G sean compatibles.

UMTS es la tecnología 3G que se eligió para su despliegue en España, donde los primeros servicios 3G se empezaron a comercializar durante los años 2003-2004.

UMTS ofrece los siguientes servicios:

- **Facilidad de uso y bajos costes:** UMTS proporciona servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para realizar un fácil acceso a los distintos servicios y bajo coste de los servicios para asegurar un mercado masivo, como el roaming internacional o la capacidad de ofrecer diferentes formas de tarificación.
- **Nuevos y mejorados servicios:** Los servicios vocales seguirán manteniendo una posición dominante durante varios años. Los usuarios exigen a UMTS servicios de voz

de alta calidad junto con servicios de datos e información. Las proyecciones muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento continuamente, lo que posibilita también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija, como zonas de difícil acceso. Algunos ejemplos: Acceso a Internet desde el terminal móvil o desde el ordenador con conexión 3G, servicios multimedia, videollamada, descarga de música, envío de fotos, etc.

- Acceso rápido: La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil (2G), es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos de extrarradios y hasta una velocidad máxima de 2 Mbit/s con baja movilidad, con la red en su máximo nivel y sin usuarios alrededor. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía, video conferencia, transmisión de audio y video en tiempo real.

### **3.2. Arquitectura**

UMTS plantea una arquitectura de red análoga a la de GSM pero con importantes innovaciones.

Se ha definido una arquitectura que da cabida a redes de acceso GSM y la red de acceso UMTS (UTRAN), y propone una red central (CN, Core Network) diseñada como una evolución de la red GSM/GPRS para facilitar la migración de redes GSM/GPRS a UMTS.

La arquitectura de red UMTS se apoya en las arquitecturas previas de redes móviles con el fin de extender las tecnologías móviles proporcionando mayor capacidad y velocidad de transmisión de datos a la vez que ofrece una mayor gama de servicios que con las tecnologías anteriores no tenían cabida.

La estructura de redes UMTS está compuesta por dos grandes subredes:

- La red de telecomunicaciones. Es la encargada de sustentar la transmisión de información entre los extremos de una conexión. Esta red de telecomunicaciones es la que nos va a interesar desde el punto de vista del despliegue ya que se compone de los elementos de red que permiten la conexión entre ellos.
- La red de gestión. Tiene como misiones la provisión de medios para la facturación y tarificación de los abonados, el registro y definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de sus datos, así como la operación de los elementos de la red, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de ésta, la detección y resolución de averías o anomalías, o también la recuperación del funcionamiento tras periodos de apagado o desconexión de algunos de sus elementos.

Analizaremos brevemente la primera de las dos subredes, la red de telecomunicaciones.

UMTS usa una comunicación terrestre basada en una interfaz de radio WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), conocida como UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA). Soporta dúplex por división de tiempo (TDD) y dúplex por división de frecuencia (FDD). Ambos modelos ofrecen ratios de información de hasta 2 Mbps.

El esquema de la arquitectura de red UMTS se subdivide en las siguientes partes, como se muestra en la Figura 2:

- Usuario: UE (User Equipment): Se compone del terminal móvil y su módulo de identidad de servicios de usuario/suscriptor (USIM) equivalente a la tarjeta SIM del teléfono móvil (tarjeta que almacena la identidad del usuario y que lleva a cabo los algoritmos de autenticación y encriptación).
- Red de Acceso Radio: UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network): Desarrollada para obtener altas velocidades de transmisión. La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el Core Network. En UMTS recibe el nombre de UTRAN (Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre) y se compone de una serie de subsistemas de redes de radio (RNS: Radio Network Subsystem) que son el modo de comunicación de la red UMTS. Un RNS es responsable de los recursos y de la transmisión / recepción en un conjunto de celdas y está compuesto de un RNC (Radio Network Controller) y uno o varios Nodos B. Los Nodos B son los elementos de la red que se corresponden con las estaciones base. El Controlador de la red de radio (RNC) es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una estación base transmisora. Los dos elementos más importantes de la Red de Acceso Radio UMTS son:
  - Nodo B: Estación radio que da cobertura a los teléfonos móviles. En general es sectorial, con lo que una estación cubre tres células (caso de tener tres sectores). Las funciones que realiza están relacionadas con el nivel físico y algunas del RRC (Radio Resource Control) como el control de potencia o la ejecución del softer handover. Equivale o es análogo a la BTS de GSM.
  - RNC (Radio Network Controller): Equipo que controla a un grupo de Nodos B. Es equivalente o análogo a la BSC de GSM. Realiza funciones de terminación de los protocolos radio y control de los recursos radio. Normalmente se distribuyen de forma geográfica ya que cada RNC controla una serie de Nodos B de una zona geográfica concreta.
- Núcleo de Red: CN (Core Network): El Núcleo de Red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, que comprenden prestaciones como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también

incluyen la gestión de la movilidad. A través del núcleo de Red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

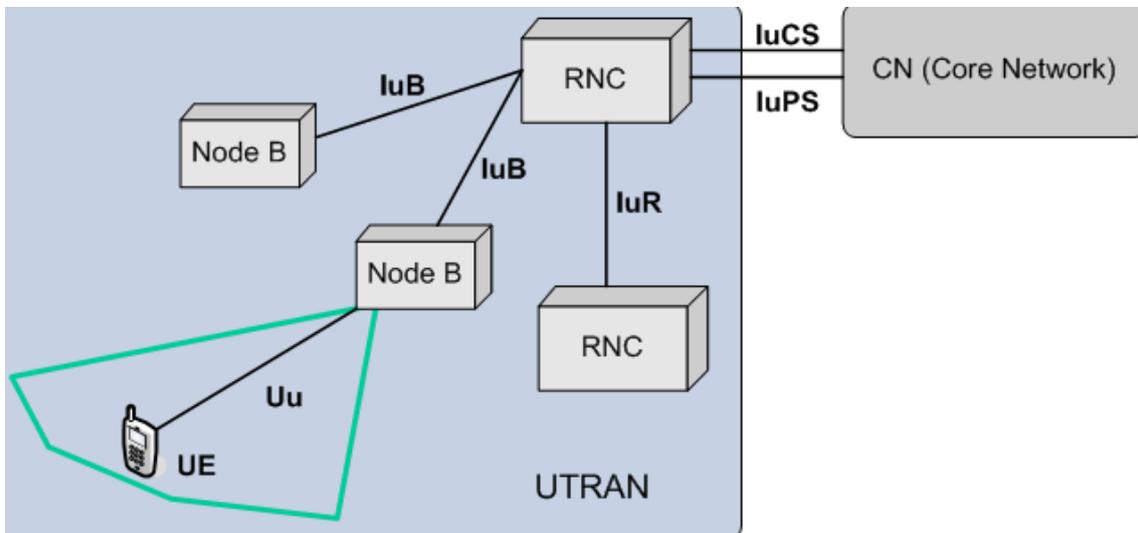


Figura 2. Esquema de red UMTS [3].

En el esquema de red UMTS de la Figura 2 existen diferentes elementos de la red que tienen que estar interconectados para el tránsito de información y para ello existen distintos interfaces que proporcionan y permiten esta interconexión. Cada interfaz requiere su propio juego de protocolos.

Las principales interfaces de la red UTRAN son la Uu, IuB y la interfaz IuR. Estas interfaces se encuentran entre el equipo de usuario (UE) y el Nodo B, dentro de la red de acceso para la interconexión de sus elementos como Nodos B y RNC o entre RNCs, respectivamente.

- Interfaz Uu: Es la interfaz radio, se encuentra entre la estación móvil o equipo terminal y el Nodo B. Se basa en la tecnología de acceso al medio WCDMA.
- Interfaz IuB: Es la interfaz que se encuentra entre el Nodo B y la RNC. Permite el transporte de tramas radio entre el UE y la RNC. Utiliza el protocolo NBAP de señalización. En términos de GSM esta interfaz correspondería con la interfaz A-bis, la cual está entre la BTS y la BSC.
- Interfaz IuR: Es la interfaz que se encuentra entre dos RNC. Soporta el intercambio de información y datos de usuarios. Proporciona la capacidad para soportar la movilidad de la interfaz radio entre RNC (Subsistemas de Red de Radio de equipos que tienen conexión con UTRAN). Esta capacidad incluye el soporte de soft handover (entre dos Nodos B que pertenecen a distintos RNC), manejo de recursos de radio y sincronización entre RNC. Utiliza protocolo ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Existen otros interfaces a más alto nivel que permiten la transferencia de información entre los diferentes elementos de la red.

Hay que tener en cuenta que la red UMTS, posterior a la red GSM, tiene que interconectar y coexistir con ella por lo que es necesaria cierta comunicación mediante los distintos protocolos e interfaces.

### 3.3. Comparativa entre GSM y UMTS

#### a) Señal

En la Tabla 2 se puede observar las diferencias entre el sistema GSM y el sistema UMTS.

	<b>GSM/GPRS</b>	<b>UMTS</b>
<b>Máxima velocidad de descarga</b>	10 - 150 Kbps	384 Mbps
<b>Máxima velocidad de subida</b>	10 - 150 Kbps	128 Kbps
<b>Latencia</b>	600 ms	150 ms
<b>Modo de acceso</b>	TDMA/FDMA	WCDMA
<b>Ancho de Banda</b>	200 KHz	5 MHz

Tabla 2. Comparativa entre GSM y UMTS [4].

El sistema GSM funciona por TDMA, se divide el tiempo en slots y a cada usuario se le asigna un slot, es decir, un espacio de tiempo por el que se pueden transmitir los datos. Por lo tanto se comparte cada canal por un número determinado de usuarios.

El sistema UMTS es un sistema (WCDMA) acceso múltiple por división de código de banda ancha. En este sistema no hay slots temporales como en GPRS. Todos los usuarios transmiten a la vez por el canal, pero las señales de cada usuario están codificadas con un código único. Esto, evidentemente, implica un aprovechamiento mucho más alto del canal, al no compartirlo en tiempo.

En la Figura 3, se muestra la comparativa de acceso de los usuarios en GSM y UMTS.

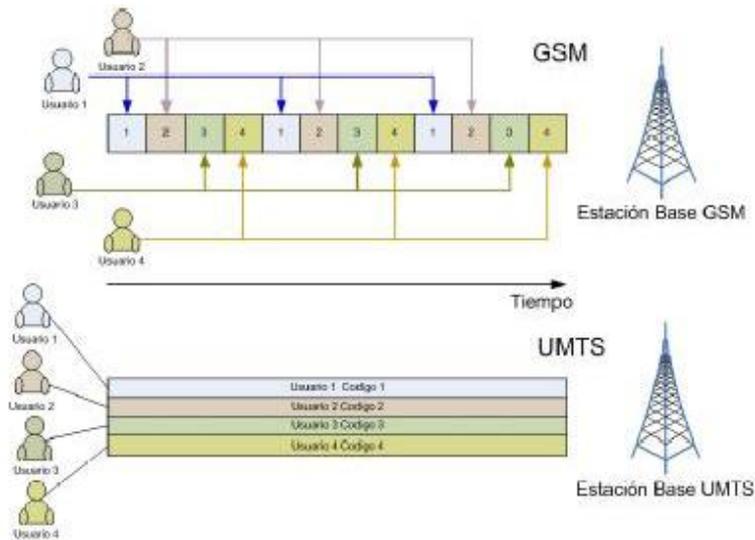


Figura 3. Comparativa acceso usuarios GSM y UMTS [5].

### b) Servicios

Además de servicios adicionales, UMTS incorpora numerosas ventajas con respecto a las tecnologías 2G:

- Mayor eficiencia espectral y mayor capacidad.
- Mayores velocidades de transmisión de datos: hasta 384kbit/s en espacios abiertos y 2Mbit/s con baja movilidad.
- Transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.
- El protocolo IP utilizado está basado en paquetes, lo que permite formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, etc.).
- Permite establecer una determinada Calidad de Servicio (QoS) antes de establecer la conexión, de manera que es capaz de soportar gran variedad de aplicaciones y servicios adaptándose a ellos de forma eficaz (Gestión de Recursos Radio). Para establecer los niveles de QoS se han definido 4 clases:
  - Conversacional: Dentro de esta clase se encuadran las comunicaciones de audio y vídeo en tiempo real entre personas. Este tipo de comunicaciones se caracteriza por exigir un retardo extremo a extremo muy reducido, con objeto de que los usuarios no pierdan la sensación de interactividad. Ejemplos de aplicaciones conversacionales son la telefonía, la videotelefonía o la videoconferencia.
  - Streaming: En esta categoría se incluyen las aplicaciones que permiten a los usuarios la descarga de contenidos multimedia (audio y video clips) para su reproducción on-line, con una sensación que, sin serlo, se aproxima a la de tiempo real. El hecho de que la transferencia de información sea unidireccional permite retrasar el instante de inicio de la reproducción posibilitando el empleo de "buffers" relativamente grandes en el extremo receptor para absorber las

fluctuaciones de retardo. Ello permite relajar significativamente los requisitos de retardo con respecto a los servicios conversacionales.

- Interactiva. Esta clase de tráfico engloba las aplicaciones de acceso remoto a información en la modalidad online, donde el usuario (o una máquina) envía peticiones hacia el equipo remoto esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son la navegación web, las consultas a bases de datos o el acceso remoto a ordenadores.
- Background: Esta última clase da cabida a un número considerable de aplicaciones de datos en las que el usuario no exige una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos que oscilan desde unos pocos segundos hasta incluso varios minutos. Ejemplo de tales aplicaciones son el correo electrónico o la descarga de ficheros.

- Mayor seguridad.
- Soporte tanto de conmutación de paquetes como de circuitos.

También presenta algunos inconvenientes:

- El protocolo IP es no orientado a conexión, por lo que cada uno de los paquetes pueden seguir rutas distintas entre el origen y el destino, por lo que pueden llegar desordenados, duplicados e incluso no llegar al destino.
- Disminución de la velocidad si el dispositivo desde el que nos conectamos está en movimiento (por ejemplo, si vamos circulando en automóvil).
- Cobertura limitada por ser una tecnología relativamente nueva.
- Mayor latencia que la que se obtiene en banda ancha fija, lo que puede ser crítico para aplicaciones en tiempo real.

#### **4. HSPA y HSPA+**

HSPA es una combinación de dos protocolos, el HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y el HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), desarrollados para ampliar y mejorar las redes 3G existentes utilizando el protocolo WCDMA. Es por tanto una mejora del estándar UMTS, empleada en las conexiones de Internet móvil. HSPA utiliza de forma más eficiente el espectro radioeléctrico que tienen asignados las operadoras, mejorando la velocidad y la latencia en la transferencia de datos.

- HSDPA: El 3GPP introdujo este protocolo en la Release 5 del año 2002, y consiste en la mejora del enlace descendente (red -> móvil). Consistiendo en la incorporación de un nuevo canal compartido en el enlace descendente. La velocidad máxima teórica (valor de pico que se alcanza en las mejores condiciones, con una excelente señal de radio y sin otros usuarios) es de 14.4 Mbps, aunque lo más habitual es disponer de 3.6 o 7.2 Mbps (la velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido por

los protocolos, por las condiciones radioeléctricas, la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora).

- Tal y como UMTS mejoraba la eficiencia espectral comparada con la segunda generación, pasa de forma idéntica con HSDPA, permite que la red sea utilizada por un mayor número de usuarios. Se posibilita el acceso a nuevos tipos de aplicaciones, como videollamada y juegos online entre múltiples jugadores, al acortar la latencia de la red (menos de 100ms), mejorando los tiempos de respuesta.
- Lo que permite alcanzar estas mejores tasas de velocidad es la inclusión de una modulación de mayor grado 16-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), redundancia incremental y codificación variable de errores.
- HSUPA: Este protocolo fue introducido por 3GPP en la Release 6 del año 2004. Consiste en la mejora del enlace ascendente (móvil -> red), de manera que se consiguen velocidades teóricas máximas de subida de 7.2 Mbps, aunque lo habitual es de 1.4 o 2 Mbps. También reduce la latencia de las conexiones.
- La función del HSUPA es igual de fundamental que la del HSDPA, ya que es casi tan importante la subida como la bajada en Internet. Con el HSUPA se consigue poder enviar un correo electrónico con un archivo adjunto, juegos en tiempo real contra otro usuario y establecer ratios simétricos de datos con otros usuarios.
- HSPA+ o HSPA Evolucionado es un estándar posterior, publicado en la Release 7 del año 2007, aunque hasta el año 2010 no se adoptó globalmente. Es una extensión de los protocolos HSPA que provee de velocidades teóricas de hasta 84 Mbps de bajada y 22 Mbps de subida, a través de una técnica multi-antena conocida como MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) y modulación 64-QAM.

## 5. LTE

### 5.1. Introducción

LTE (Long Term Evolution) es un estándar de comunicaciones móviles desarrollado por la 3GPP, publicado en la Release 8 del año 2009, con la idea de incrementar en gran medida las capacidades que ofrecían los sistemas de comunicaciones móviles anteriores. En este sentido, LTE es el primero en ofrecer todos los servicios, incluida la voz, sobre el protocolo IP dejando atrás la conmutación de circuitos para pasar a un nuevo sistema basado completamente en conmutación de paquetes.

Características:

- Arquitectura simplificada. En una red LTE, las radio bases se conectan directamente con el sistema central (core) de la red; esto resulta beneficioso para los operadores porque la inversión en infraestructura es menor y les permite ofrecer al usuario servicios más baratos. En UMTS, cada radio base se conecta a un controlador (RNC), y este controlador con el core. Con LTE, en cambio, cada radio base se comunica directamente con el core de la red.

- Baja latencia. Como LTE usa menos nodos para comunicar al equipo del usuario con el core (y por consiguiente con Internet), el tiempo que tarda la red en recibir y dar respuesta a una solicitud del usuario es más corto que otras tecnologías.
- Alta eficiencia espectral. Para conectarse a una red LTE se hace uso de una interfaz de radio. La forma en que se conecta el equipo del usuario (smartphone, cámara, modem, etc.) a una estación radio se basa en Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) para descargar datos y DFTS-OFDM para subir datos. Con OFDM, la eficiencia de esa transmisión de datos resulta de 3 a 4 veces superior para el enlace descendiente y de 2 a 3 veces superior para el enlace ascendente que las tecnologías de transmisión tradicionales. Una ventaja más de OFDM frente a otros tipos de multiplexación (WCDMA, TDMA, etc.) es su alta resistencia a las interferencias y multitrayectos (multipath).
- Ancho de banda flexible: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz, siendo esta última la considerada para alcanzar velocidades de transmisión.
- Mejora y flexibilidad del uso del espectro (FDD y TDD). haciendo una gestión más eficiente del mismo, lo que incluiría servicios unicast y broadcast. Reducción en TCO (coste de análisis e implementación) y alta fidelidad para redes de Banda Ancha.
- Entorno multi-antena. LTE hace uso de la tecnología MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), con la cual el equipo del usuario utiliza varias antenas a la vez, con la intención de aumentar la cantidad de datos que se pueden enviar y recibir.
- Interconexión. Garantiza la interconexión con los sistemas existentes del 3GPP y otros sistemas no-3GPP. Los operadores que ya cuentan con una red instalada tienen la opción de implementar LTE de una manera gradual y a la par de su sistema anterior. A su vez, la arquitectura está pensada para trabajar en un entorno multi-vendor.
- Permite a los usuarios la posibilidad de estar en movimiento a grandes velocidades y al mismo tiempo disfrutar de los servicios multimedia.
- Velocidades de pico: de bajada: 300 Mbps. y de subida 75 Mbps.

En la Tabla 3, se muestran los principales parámetros de LTE versión 8, y en la Tabla 4, las distintas categorías de sus equipos:

<b>Principales parámetros LTE versión 8</b>	
Tipo de acceso	Subida DFTS-OFDM Bajada OFDMA
Ancho de banda	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz
Mínimo TTI	1 ms
Espacio de la subportadora	15kHz
Prefijo de longitud cíclica	Corto 4,7µs Largo 16,7µs
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM
Multiplexación espacial	Una sola capa para subida para UE Hasta 4 capas para bajada para UE MU-MIMO soportado para subida y bajada

Tabla 3. Principales parámetros LTE versión 8 [6].

<b>Categorías de los equipos LTE versión 8</b>						
Categoría		1	2	3	4	5
Pico por ratio	Bajada	10	50	100	150	300
	Subida	5	25	50	50	75
Capacidad para funciones físicas						
Ancho de banda RF		20 MHz				
Modulación	Bajada	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Subida	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	
Multi-antena						
2Rx		Asumido en los requerimientos de rendimiento				
2x2 MIMO		No soportado		Obligatorio		
4X4 MIMO		No soportado			Obligatorio	

Tabla 4. Categorías de los equipos LTE versión 8 [6].

## 5.2. Arquitectura

La arquitectura del sistema LTE, mostrada en la Figura 4, se diseñó en base a tres requisitos fundamentales: conmutación de paquetes únicamente, baja latencia y costes reducidos. Para lograr los objetivos, se planteó una arquitectura plana sin ningún nivel de jerarquización con la menor cantidad de nodos e interfaces posibles. La arquitectura de LTE comprende una nueva red de acceso denominada E-UTRAN (Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network) y una nueva red troncal denominada EPC (Evolved Packet Core), la combinación de la red de acceso y la red troncal recibe el nombre de EPS (Evolved Packet System).

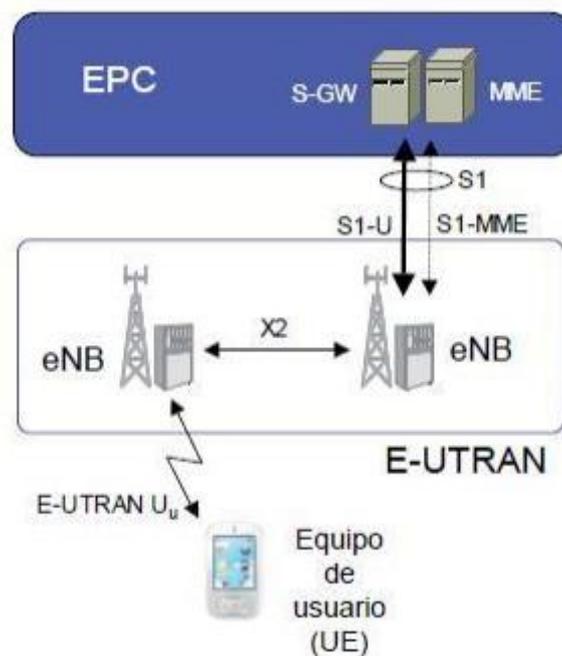


Figura 4. Arquitectura LTE [7].

- Red de acceso E-UTRAN: La red de acceso de LTE está formada por un único elemento de red llamado eNB (evolved NodeB) que constituye la estación base de E-UTRAN. Los eNBs realizan todas las funciones de la red de acceso que en las redes 3GPP anteriores eran llevadas a cabo por las estaciones base junto a los controladores de red (BTS y BSC en GSM, NodeB y RNC en UMTS), de allí que sea denominada una arquitectura plana. En este sentido, las funciones que realizan los eNBs incluyen la gestión de recursos radio (control de los Radio Bearers, control de admisión radio, control de la movilidad, scheduling de paquetes y asignación dinámica de los recursos tanto en uplink como en downlink), compresión de cabeceras, seguridad en la interfaz radio y conectividad con la red troncal EPC.

Para llevar a cabo todas las funciones mencionadas, los eNBs están interconectados a los equipos de usuario (UE) mediante la interfaz Uu donde aplican los protocolos AS

(Access Stratum). Asimismo, la interfaz que conecta a los eNBs entre sí es denominada X2, y la interfaz que conecta un eNB a la red troncal EPC es denominada S1, que a su vez se divide en S1-MME para el plano de control y S1-U para el plano de usuario.

- Red troncal EPC: La red troncal de LTE es la responsable de proporcionar un servicio de conectividad IP para permitir el acceso a las distintas redes externas y plataformas de servicios como IMS (IP Multimedia Subsystem) y a la vez controlar el establecimiento de los Bearers. Los elementos principales del EPC son: el MME (Mobility Management Entity), el S-GW (Serving Gateway) y el P-GW (Packet Data Network Gateway), pero además de estas entidades se encuentran también el HSS (Home Subscriber Server) y el PCRF (Policy Control and Charging Rules Function).

El MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control entre el UE y la red troncal donde se soportan los protocolos NAS (Non Access Stratum). Las funciones principales del MME son el establecimiento, mantenimiento y liberación de los Bearers así como el establecimiento de la conexión y la seguridad entre la red y el UE. Por otro lado, las funciones asociadas al plano de usuario se concentran en el S-GW y el P-GW, quienes además se encargan de servir de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes 3GPP y no 3GPP respectivamente. El HSS es la base de datos principal que contiene la información de los suscriptores tales como los perfiles de QoS (Quality of Service), las restricciones de roaming, información permanente y dinámica del usuario, etc. Por su lado, el PCRF se encarga de controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE y de los mecanismos de tarificación.

### **5.3. LTE Advanced**

LTE Advanced es el sistema definido por el 3GPP como la evolución de LTE, considerándose la verdadera tecnología 4G. Ha sido definido en la Release 10 del 3GPP LTE y está destinado a satisfacer los diversos requisitos de las aplicaciones avanzadas que sean comunes en el mercado inalámbrico en el futuro previsible. Así mismo, sus objetivos son reducir drásticamente los gastos de capital y los gastos de explotación de las futuras redes de banda ancha inalámbricas. Por otra parte, LTE Advanced proporciona compatibilidad con LTE al ser una evolución de este sistema.

Entre las principales mejoras introducidas por LTE Advanced están:

- Agregación de portadoras. Aumenta el ancho de banda, proporcionando mayor capacidad.
- Mejora velocidad pico.
- Mejora la eficiencia espectral.
- Aumenta el número de abonados activos simultáneamente.

- Funciones de regeneración/retransmisión para mejorar la cobertura y facilitar el despliegue.
- MIMO mejorado: MIMO 8X8 en DL y 4x4 en UL.
- Redes heterogéneas.

En la Tabla 5, podemos ver una comparativa entre LTE y LTE-Advanced:

		<b>Release 8 LTE</b>	<b>LTE-Advanced</b>
<b>Peak data rate</b>	Downlink	300 Mbps	1 Gbps
	Uplink	75 Mbps	500 Mbps
<b>Peak spectrum efficiency [bps/Hz]</b>	Downlink	15 (4x4 MIMO)	30 (up to 8X8 MIMO)
	Uplink	3,75 (64QAM SISO)	15 (up to 4X4 MIMO)

Tabla 5. Comparativa LTE Release 8 y LTE-Advanced [8].

# Capítulo 2

## DISEÑO DE TRANSMISIÓN

---

## 6. Diseño de Transmisión

En el diseño de la transmisión interconectaremos los emplazamientos de la red radio de la manera más eficiente posible en relación al coste siempre cumpliendo los criterios de la red.

En general tendremos unos parámetros definidos por el cliente:

- Infraestructura para la transmisión.
- Requisitos de medio de transmisión (red propia o alquilada).
- Tipo y nivel de protección.
- Requisitos de indisponibilidad y rendimiento.
- Aumento estimado y/o necesidad de reserva de capacidad.

Los parámetros típicos definidos por el equipo de diseño son:

- Número total de BTSs.
- Número de portadoras en cada BTS.
- Localización del emplazamiento.

## 7. Topología de la red de acceso

Toda red de datos necesita de una interconexión entre sus elementos con el fin de que todos ellos se puedan comunicar entre sí. Existen diferentes tipos de redes que utilizan diferentes topologías para su interconexión. En la Figura 5 se muestran algunos ejemplos de las distintas topologías. Estas topologías se establecen frecuentemente en función de la disponibilidad de las líneas de transmisión y su coste.

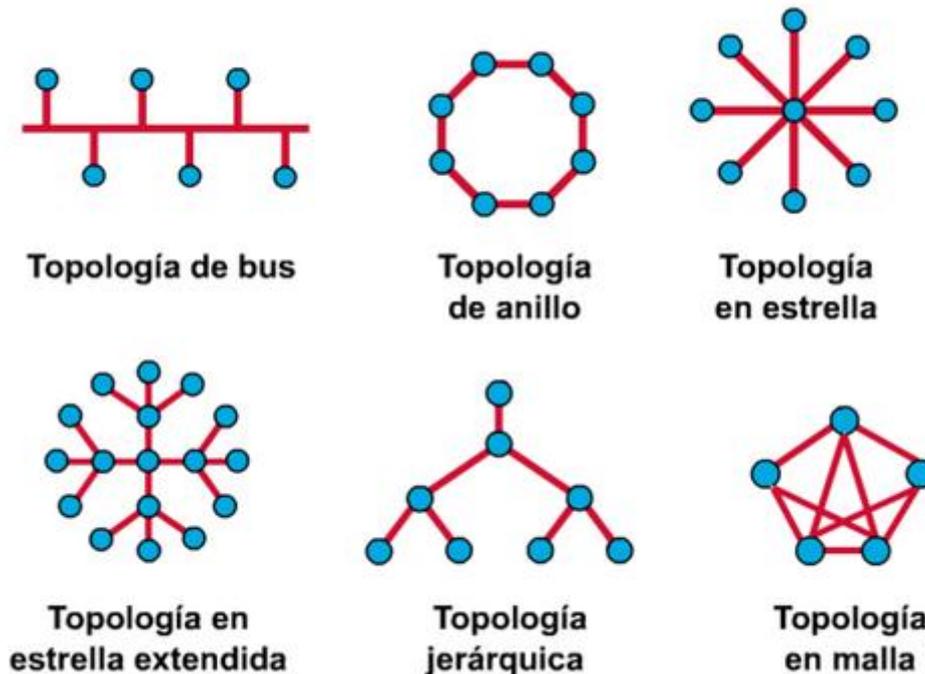


Figura 5. Topología de la red de transmisión [9].

Una cuestión fundamental es si se utiliza una arquitectura de red centralizada o no centralizada. Esto depende de la estrategia de cada operador y la estructura topológica de la zona.

Desde un punto de vista económico resultan atractivas las topologías de interconexión que favorecen la concentración de tráfico. Por ejemplo, la configuración en cadena de varios emplazamientos hacia una BSC o RNC puede conducir a un ahorro importante en recursos de transmisión.

Desde el punto de vista de la disponibilidad, es mucho más robusta una estructura en anillo, de manera que si uno de los elementos de la red fallase es posible la transmisión por el otro lado del anillo.

Las operadoras, hoy en día y debido a la alta competencia que existe, prefieren conseguir una disponibilidad alta para su red móvil mediante topologías de red que ayuden a ello o a través del uso de redundancia o algún tipo de protección.

### **7.1. Red propia**

Las operadoras móviles que poseen infraestructuras de red, tienen sus redes de acceso propias desplegadas. No dependen de ningún tercero para el transporte de la información por sus elementos, por lo que de esta manera tienen una red móvil completa e independiente.

La red de acceso puede ser de distintos tipos, cableada o inalámbrica mediante la transmisión por microondas. Las operadoras que poseen infraestructuras desplegadas mediante red cableada son las menos habituales debido a que el coste es muy alto (hay que realizar un despliegue de cableado muy amplio y cablear físicamente todos los vanos que se quieran enlazar). La otra opción de interconexión es mediante una red de transmisión inalámbrica mediante microondas, objeto de estudio de este proyecto. Esta es la opción elegida por los operadores que no tienen despliegue de red cableada en muchos lugares.

### **7.2. Red alquilada**

Las líneas alquiladas son líneas de transmisión alquiladas a un tercer operador autorizado ante la imposibilidad de interconectar algunos de sus elementos a su red existente (por ejemplo cuando no exista LOS entre dos emplazamientos).

Las ventajas de este procedimiento son:

- No supone un esfuerzo de implementación por parte de la operadora.
- No suponen gastos adicionales.
- Los enlaces de largas distancias o aquellos en los que no exista LOS dejan de ser críticos.

Las desventajas son:

- Altos costes de operación mensuales.
- Tiempos de planificación para la instalación impredecibles.
- No existe control sobre la ruta física del enlace.
- Poco control sobre la calidad de la conexión de transmisión alquilada.

Es importante analizar el tipo de tarifa para líneas alquiladas antes de decidir qué modo de transmisión se usará. Aunque el precio no es el único factor a tener en cuenta, ya que los operadores no siempre quieren depender de las líneas alquiladas que sus competidores les proporcionan.

## 8. Medios de transmisión

La transmisión que se va a utilizar en una red debe ser definida en las primeras fases del diseño de la red. El pasado histórico o la tradición del operador suelen dar las opciones disponibles.

Los medios de transmisión pueden ser par de cobre, cable coaxial, fibra óptica o radioenlaces. El método de transmisión usado define la estructura y contenidos de la información. En principio cualquier combinación es técnicamente posible, aunque algunas no tienen sentido práctico y el número de opciones es limitado.

Para los usuarios no existe ninguna diferencia en qué combinación de medio de transmisión y técnicas se usan en el trayecto de la comunicación. En muchas ocasiones, los medios y técnicas usados cambian varias veces entre la fuente y el destino, dependiendo de la ruta que tome la señal, sin que el usuario perciba los cambios.

### 8.1. Tecnología de transporte: Jerarquías PDH y SDH. Ethernet

- PDH y SDH

La jerarquía PDH, “Plesiochronous Digital Hierarchy”, permite enviar varios canales de 64 kbit/s sobre un mismo medio cableado o radioeléctrico empleando técnicas de multiplexación por división de tiempo donde la naturaleza de los equipos end to end (desde origen a destino) es digital.

Dentro de un canal de 64 kbit/s, la información se agrupa en tramas de datos, que a su vez contienen el payload (carga útil de información) y la señalización de control. Estas tramas pueden variar de estructura y de duración dependiendo del nivel de multiplexación, que permite aumentar el número de canales sobre el mismo medio físico.

Existen tres jerarquías PDH, mostradas en la Tabla 6, la europea (E1) basada en la norma G.732 de la UIT-T y la norteamericana (T1) y japonesa (J1) con la norma G.733 de la UIT-T. Para poder interconectar dos enlaces de distinta norma se requiere adecuar uno de ellos a la europea.

Nivel	Norteamérica			Europa			Japón		
	Circuitos	Kbit/s	Denominación	Circuitos	Kbit/s	Denominación	Circuitos	Kbit/s	Denominación
1	24	1,544	T1	30	2,048	E1	24	1,544	J1
2	96	6,312	T2	120	8,448	E2	96	6,312	J2
3	672	44,736	T3	480	34,368	E3	480	32,064	J3
4	2016	274,176	T4	1920	139,264	E4	1440	97,728	J4

Tabla 6. Jerarquías PDH [10].

Centrándonos en la norma europea, la velocidad básica de transferencia de información, o primer nivel jerárquico, es un flujo de datos de 2.048 kbps (generalmente conocido 'tributario de 2 megas').

Para transmisiones de voz, se digitaliza la señal mediante PCM (Pulse Code Modulation) usando una frecuencia de muestreo de 8 kHz (una muestra cada 125  $\mu$ s) y cada muestra se codifica con 8 bits con lo que se obtiene un régimen binario de 64 kbps. Un tributario, E1 o flujo PDH está compuesto por 30+2 canales de 64 kbps (2048 kbps/64kbps), donde generalmente están disponibles 30 canales para tráfico y 2 siempre se reservan para sincronización y señalización.

La velocidad del flujo de datos de los tributarios viene controlada por el equipo que la genera. Pueden existir variaciones de la tasa binaria alrededor de la velocidad nominal entre tributarios puesto que en PDH no existe el sincronismo exacto.

La multiplexación nos permite generar tramas de orden superior por ejemplo, 8,448 Mbps (E2) correspondiente con el segundo nivel jerárquico, formado por 2 flujos de 2,048 Mbps (E1) del nivel anterior. La multiplexación se consigue alternando bits de distintos flujos sobre la misma trama, donde además, se añaden bits adicionales de justificación o relleno (para distinguir la trama origen y la velocidad del flujo) y la palabra de alineamiento (cadena de bits que define la transmisión finalizada de cada trama multiplexada).

Multiplexando 4 flujos de 139,264 Mbps se obtiene un flujo de 565 Mbps cuya estructura y proceso de multiplexado no están normalizados por la UIT y CEPT, con lo que a estas velocidades de transmisión las operadoras deben recurrir a equipos de un mismo fabricante por incompatibilidad entre equipos de distinto suministrador.

Para acceder a una cierta trama de datos con un sistema PDH, la trama se debe multiplexar/demultiplexar bajo el nivel de jerarquía deseado, los datos pueden ser extraídos/insertados, además necesita ser multiplexado con la misma tasa que los datos iniciales. Esto requiere un esfuerzo bastante alto de hardware.

El proceso de justificación por una parte, y por otra el hecho de que la temporización vaya ligada a cada nivel jerárquico, hace que en la práctica sea imposible identificar una señal de orden inferior dentro de un flujo de orden superior sin demultiplexar completamente la señal de línea.

Uno de los mayores inconvenientes de la demultiplexación plesiócrona es que una vez formada la señal múltiplex, no es posible extraer un tributario concreto sin demultiplexar completamente la señal.

Mediante la jerarquía SDH, "Synchronous Digital Hierarchy", se busca converger las distintas redes existentes de las operadoras a través de rutas internacionales de

transporte estandarizadas, sin necesidad de adecuar y convertir las señales de comunicaciones entre los distintos países. De esta forma se minimiza el coste de las comunicaciones, reduciendo la complejidad del equipamiento, simplificando el proceso establecido y agilizando el intercambio de información.

La tecnología SDH es una estructura de transporte digital organizada jerárquicamente para la transmisión de señales en las redes de transmisión. La estructura numérica se basa en una trama STM (Synchronous Transport Module) y cuyas velocidades de transmisión se detallan a continuación. La trama se transmite a razón de 8000 veces por segundo (cada trama se transmite en 125  $\mu$ s). Por lo tanto, la velocidad para cada uno de los niveles es:

$$STM - 1 = 8.000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 155 \text{ Mbps}$$

$$STM - 4 = 4 \times 8.000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 622 \text{ Mbps}$$

$$STM - 16 = 16 \times 8.000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 2,5 \text{ Gbps}$$

$$STM - 64 = 64 \times 8.000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 10 \text{ Gbps}$$

$$STM - 256 = 256 \times 8.000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 40 \text{ Gbps}$$

La tecnología SDH se desarrolló condicionada bajo la necesidad de conseguir mayores velocidades de transmisión conviviendo con la jerarquía plesiócrona ampliamente desplegada. Cada trama de primer nivel SDH, se denomina STM-1 (Synchronous Transport Module level 1) y alcanza velocidades de transmisión de 155 Mbps (155.520 kbps). Éste módulo de menor capacidad es el más extendido en comunicaciones.

Las tramas contienen información de cada uno de los componentes de la red; trayecto, línea, sección, información de usuario y el path overhead, que consiste en una serie de bytes utilizados con fines de mantenimiento de red, y que dan lugar a la formación de los denominados VC (Virtual Container) específicos para cada tipo de señal tributaria.

La multiplexación de tramas en SDH se realiza bit a bit conformando una nueva trama de orden superior de 9 filas de 270 octetos cada una, transmitida cada 125  $\mu$ s (8000 veces por segundo).

Los niveles jerárquicos STM se consiguen al multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1. La estructura de trama o contenedor de trama STM-1 está compuesta por el payload o carga útil (261 octetos) y el overhead (9 octetos) que contiene el alineamiento de trama, control de errores, canales de operación, mantenimiento de red y punteros de trama.

En los sistemas SDH se puede acceder inmediata y directamente por medio de punteros y cabeceras de control. Los datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria.

En la Tabla 7 se resume la comparativa entre ambas jerarquías. La mayoría de propiedades citadas en SDH son ventajas respecto a la jerarquía PDH. Sin embargo, no siempre es mejor instalar tecnología SDH. En los casos en los que no se requieren capacidades tan altas como para llenar un STM-1, es aconsejable utilizar radioenlaces PDH, pues su coste es menor que el de los equipos SDH.

PDH	SDH
Velocidades diferentes según zona geográfica (Europa, Japón, EEUU)	Velocidad de transmisión universales
Velocidad básica: canal telefónico de 64 Kbps	Velocidad básica: STM-1 (155,52 Mbps)
MUX/DEMUX mediante hardware	MUX/DEMUX mediante software: proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las tramas
Velocidades bajas/medias	Velocidades altas
Tráfico Plesiócromo	MUX/DEMUX tráfico distinta naturaleza en misma trama
Plesiócromo	Síncrono
Cada elemento tiene su propio reloj	Se requiere temporizar todos los elementos de la red
Incompatibilidad entre equipos de distintos fabricantes por la ausencia de un único estándar	Compatibilidad entre los equipos de distintos proveedores gracias a los estándares internacionales
Para la multiplexación todos los afluentes deben tener la misma velocidad. No permite mezclar tráfico	Permite multiplexar afluentes de distintas velocidades, es posible encapsular PDH, tráfico ATM o unidades de menor orden en la trama SDH. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles
Gestión no estándar	Gestión estándar: TMN Telecommunication Management Network

Tabla 7. Comparativa entre PDH y SDH [1].

- Radioenlaces Ethernet

Un radioenlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía ondas radioeléctricas (microondas) de una señal entre dos puntos de una

red distantes entre sí, y entre los que debe existir línea de visión directa (LOS: Line of Sight). La transmisión a través de los mismos es dúplex.

Vamos a prestar atención a los radioenlaces que utilizan el estándar Ethernet como tecnología de transporte, en sus versiones Híbrida y Nativa. Las ventajas que presentan frente a otras tecnologías que se utilizaron para el despliegue inicial son numerosas:

- Mayor capacidad (hasta 200 Mbps con modulación 256QAM).
- Capacidad compartida por todos los enlaces lógicos que lo atraviesan (agregación de enlaces): Multiplexación Estadística.
- Reportan estadísticas de ocupación.
- Soportan servicios legacy (los previamente existentes: ATM, TDM).
- Modulación adaptativa en función de las condiciones atmosféricas. Cada modulación permite una determinada capacidad de tráfico, por lo que el hecho de que esta sea adaptativa significa que la modulación va variando desde la máxima o nominal cuando las condiciones son más favorables, hasta una modulación mínima o de referencia cuando las condiciones se vuelven adversas. Conforme el canal empeora la modulación va bajando y por tanto va disminuyendo la capacidad. Esta disminución se aplica sobre el flujo Ethernet, pero no debe afectar al tráfico TDM pues entraría en corte. Por este motivo, los radioenlaces que vayan a tener tanto tráfico TDM (por ejemplo si van a sustituir a un radioenlace PDH con tráfico de BS GSM o DCS) como Ethernet deben diseñarse para que en el caso peor del canal, la capacidad cubra siempre el tráfico TDM. En la Figura 6, se muestra la modulación adaptativa de un radioenlace Ethernet.

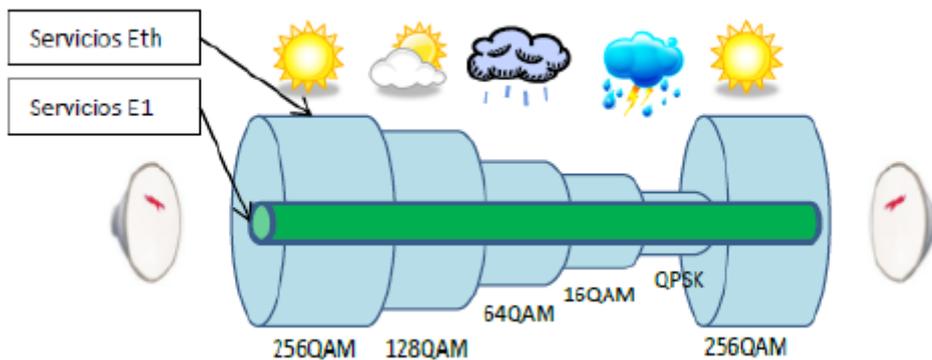


Figura 6. Modulación Adaptativa de un radioenlace Ethernet [1].

Según la tecnología usada los radioenlaces pueden clasificarse en tres categorías:

- TDM (PDH y SDH)
- Híbridos
- Puramente Ethernet

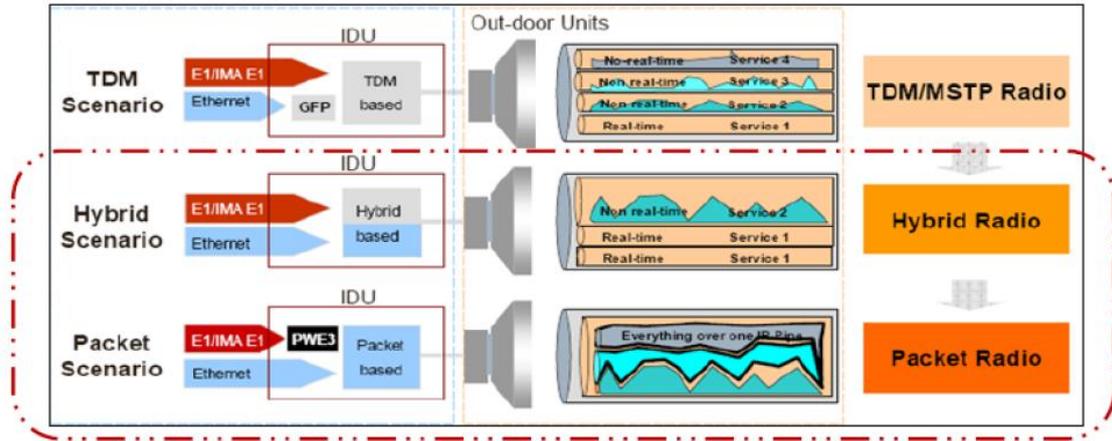


Figura 7. Tipos de radioenlaces según tecnología [1].

En la Figura 7 se pueden observar los distintos tipos de radioenlaces, siendo los dos inferiores los correspondientes a radioenlaces Ethernet.

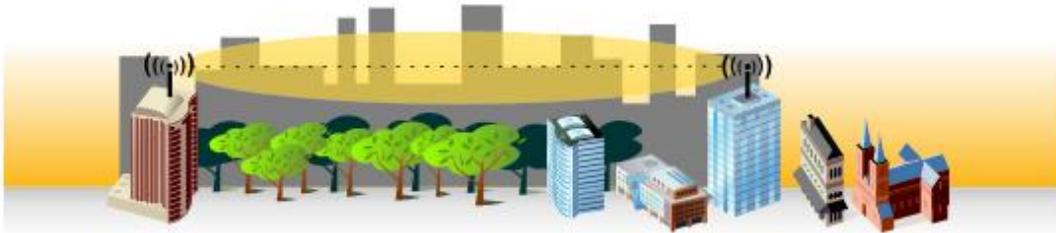
Los radioenlaces híbridos permiten definir flujos E1 (servicios *legacy* TDM) de igual forma que en los radioenlaces PDH, mientras que la capacidad restante (no TDM) se utiliza por completo para tráfico Ethernet.

En cambio, los radioenlaces Ethernet puros utilizan toda la capacidad para envío de tráfico de paquetes. Esto significa que para transmitir tráfico TDM a través de ellos se deben crear circuitos CES, es decir, emular un circuito punto a punto (se define un CES por cada E1 que pase por ellos).

## 9. LOS (Line of Sight: Línea de Vista)

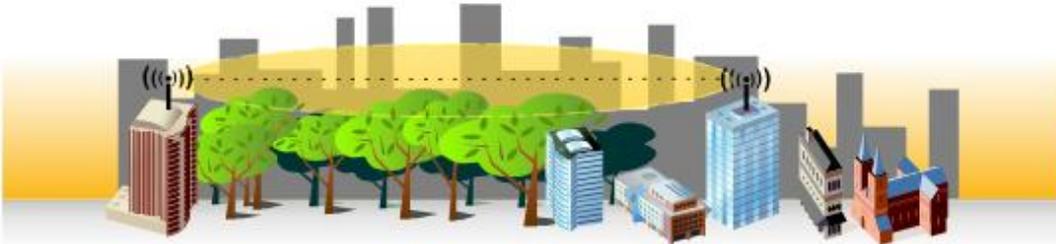
El primer punto que debe cumplir un radioenlace punto a punto mediante microondas es el de la existencia de la visión directa entre los dos puntos a enlazar. En la Figura 8 se muestra una definición gráfica de LOS:

### Line-of-Sight (LoS)



LOS locations feature both visual line-of-sight and clear radio line-of-sight (Fresnel Zone).

### Near Line-of-Sight (nLoS)



In nLOS locations, there is clear visual line-of-sight but the Fresnel Zone is blocked.

### Non Line-of-Sight (NLoS)



In NLOS locations, both visual and radio lines-of-sight are blocked.

Figura 8. Definición de LOS [11].

La línea de vista deberá comprobarse directamente en campo si se trata de un radioenlace nuevo o bien se trata de uno existente, pero con problemas en la calidad de la potencia de

recepción (no se recibe campo suficiente), lo cual puede deberse a la aparición de un obstáculo entre ambos emplazamientos (crecimiento de un árbol o bien la construcción de algún elemento urbanístico, el trabajo de una grúa puede también ocasionar cortes en el radioenlace).

Para la comprobación de la línea de vista existen varios programas que permiten realizar una simulación antes de acudir en campo, lo que es de utilidad para descartar o considerar el enlace viable. En el presente proyecto utilizaremos IQLink y Google Earth (de libre distribución). Es importante resaltar que estos perfiles, aunque son muy precisos, solo deben servir como orientación para considerar la posibilidad de que el enlace pueda ser viable o no. Es necesario realizar la comprobación en campo en todo caso visitando ambos emplazamientos y asegurando la visión entre ellos. La Figura 9 muestra una línea de vista teórica en IQLink.

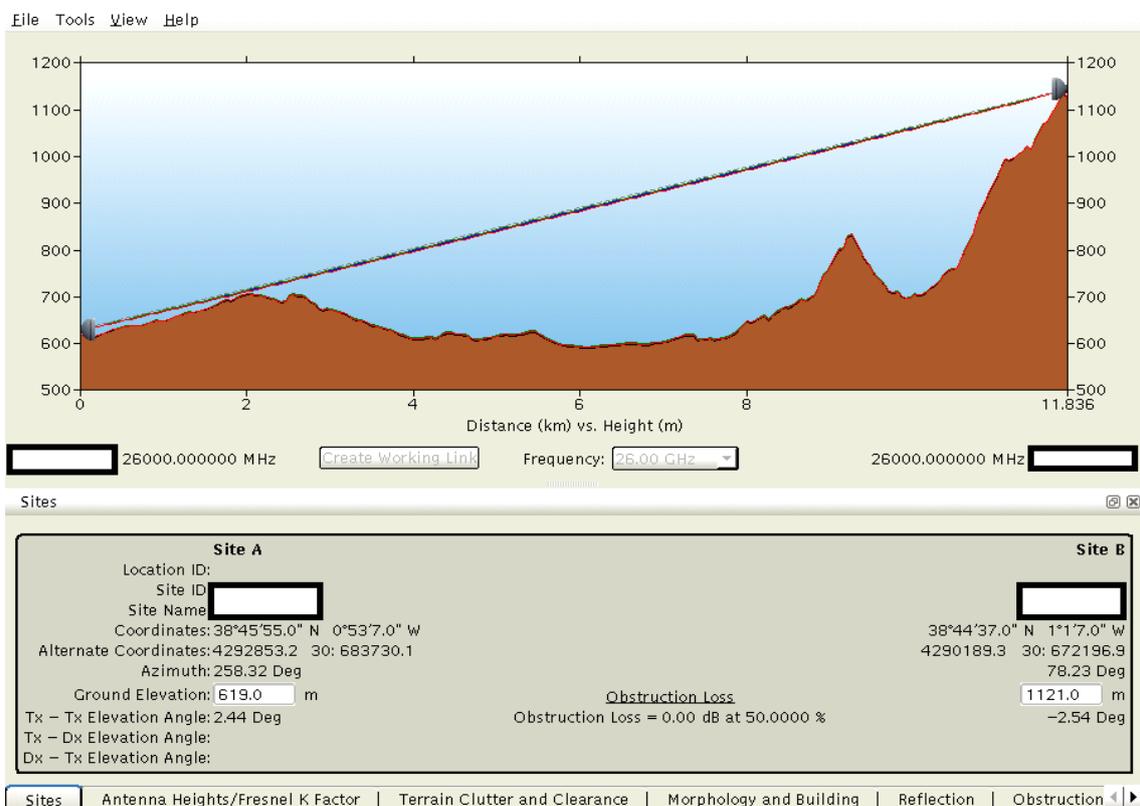


Figura 9. Línea de vista teórica en IQLink.

IQLink, además de indicarnos la línea de vista teórica también nos da una orientación sobre la altura mínima que deberían de tener las parábolas en las infraestructuras de los emplazamientos (torre, azotea...) donde se vaya a colocar el enlace, como muestra la Figura 10.

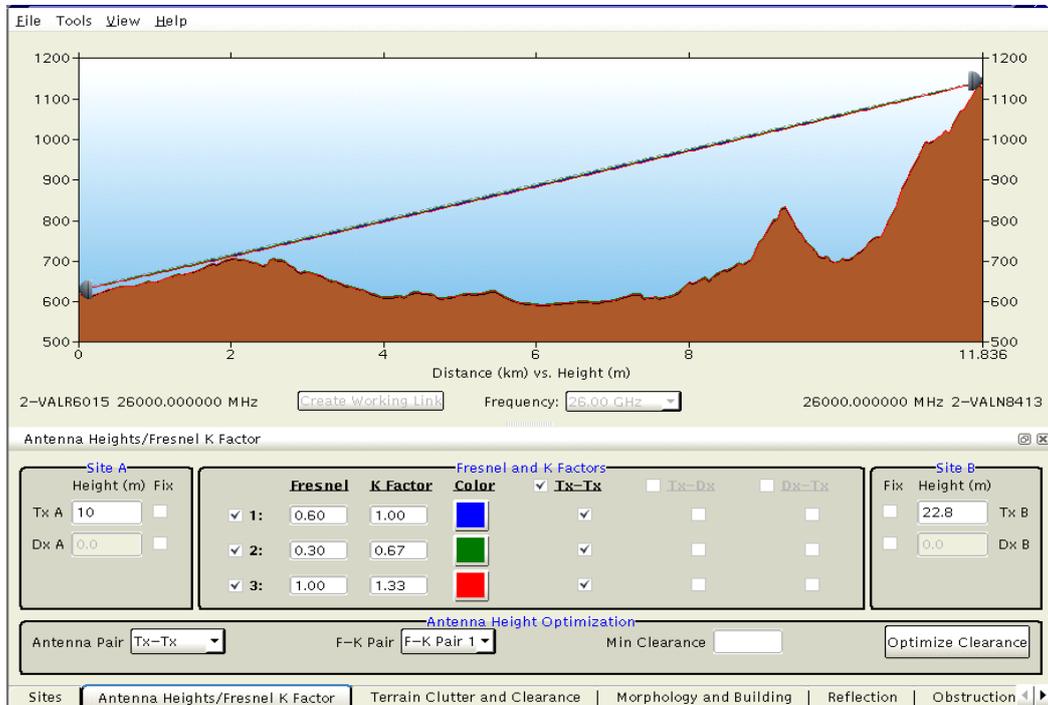


Figura 10. Altura teórica de las antenas según IQLink.

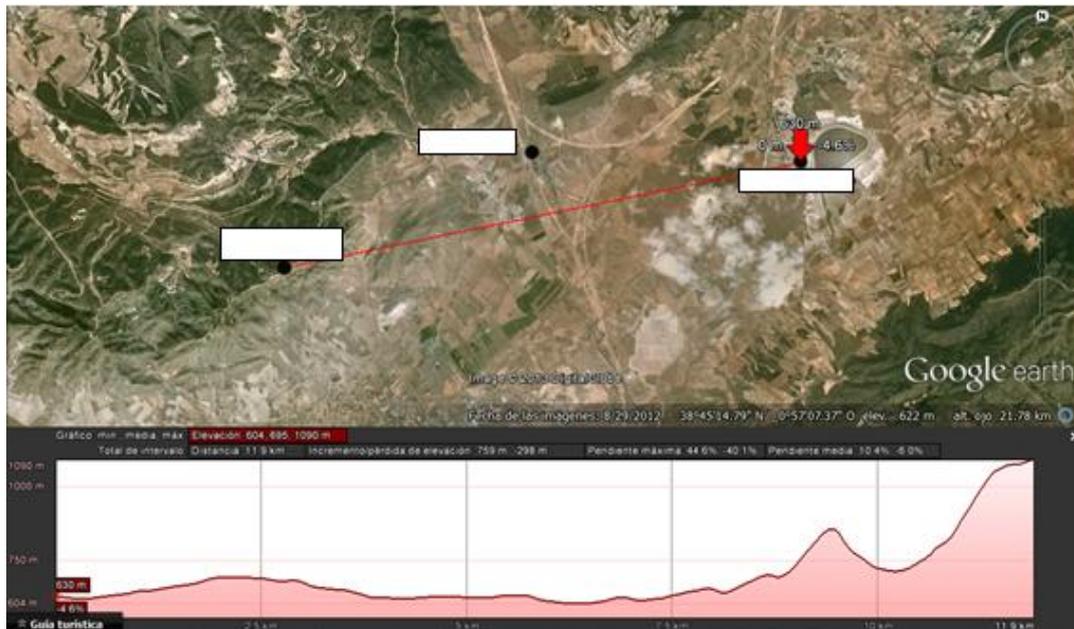
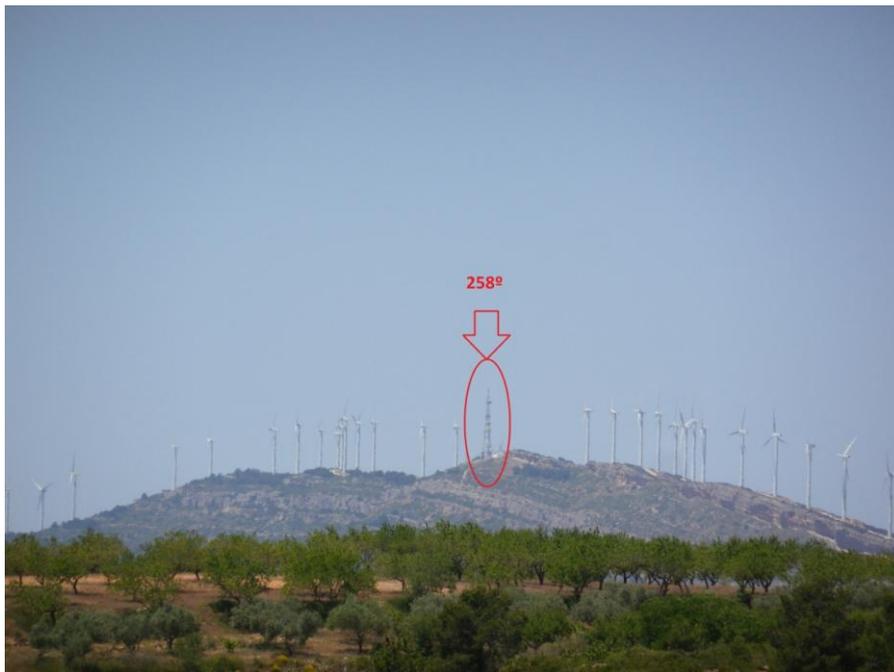


Figura 11. Perfil Google Earth.

Hay que tener en cuenta que mientras en IQLink podemos añadir obstáculos (edificios, árboles...), en el perfil de Google Earth, como muestra el ejemplo de la Figura 11, sólo aparecerán los accidentes geográficos, en cualquier caso la comprobación de la línea de vista en campo se hace obligatoria.

La documentación a entregar de la visita a campo será un informe en el que aparecerán:

- Los datos de ambos emplazamientos: Código del emplazamiento, dirección, coordenadas, cota, si se trata de una torre o azotea, altura del emplazamiento, problemas de acceso (si los hubiese) y propiedad (TME, OSP, VDF, Abertis...).
- Los datos de LOS: Azimut al que se encuentra cada uno de los extremos, distancia entre ellos, altura mínima a la que existe visibilidad directa (altura mínima de LOS) y comentarios, en los que podrá indicarse cualquier problema encontrado, aunque haya visibilidad no hay sitio para colocar la parábola, haría falta un nuevo mástil o la extensión del actual es insuficiente.
- Fotos que corroboren lo que se indica desde cada uno de los emplazamientos. En la Figura 12 se muestra una foto de vista de LOS en la que se indica el azimut al que se encuentra el site remoto.



**Figura 12. Foto de LOS.**

En un enlace microonda punto a punto, además de la visibilidad directa entre ambos extremos, hay que tener en cuenta una zona de despeje adicional, zona de Fresnel. Se trata de unos elipsoides concéntricos que rodean al rayo directo de un enlace radioeléctrico y que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora y receptora. Tienen la propiedad de que una onda que partiendo de la antena transmisora, se reflejara

sobre la superficie del elipsoide y después incidiera sobre la antena receptora, habría recorrido una distancia superior a la recorrida por el rayo directo en múltiplos de media longitud de onda. Es decir, la onda reflejada se recibiría con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de  $180^\circ$ . Precisamente este valor del múltiplo determina el n-ésimo elipsoide de Fresnel.

Por tanto, la primera zona de Fresnel ( $n = 1$ ), mostrada en la Figura 13, se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancias igual a una semilongitud de onda o diferencia de fases de  $180^\circ$ . Luego posibles reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase. Por lo tanto, durante la fase de planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos (LOS positiva), bien aumentando la altura de los mástiles de las antenas o bien situándolos en otra posición del edificio. Evidentemente, una obstrucción completa de la zona de Fresnel produciría pérdidas todavía mayores.

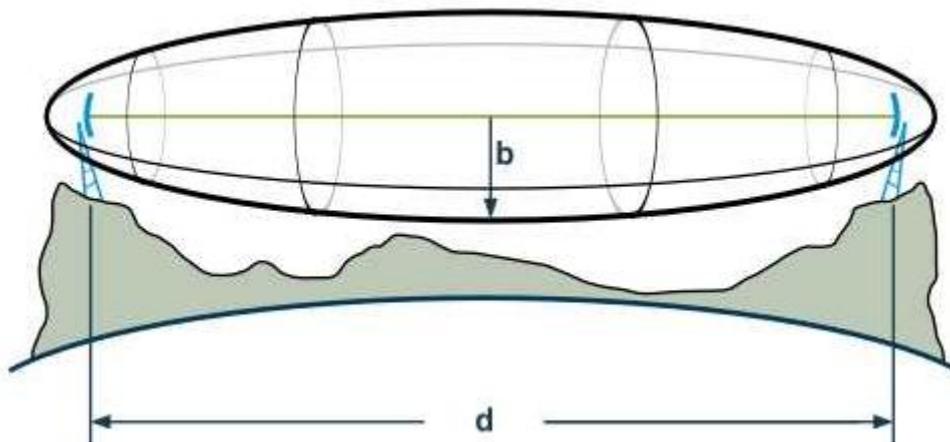


Figura 13. Primera zona de Fresnel [12].

## 10. Diseño radioenlace de microondas

Una vez comprobada la línea de vista en campo, se diseñará el radioenlace de manera que definamos sus elementos y características: receptores y transmisores, parábolas a instalar, frecuencia, canal, capacidad y la configuración del sistema, cumpliendo siempre los criterios de diseño, potencia, calidad, disponibilidad, nivel de interferencias.

### 10.1. Datos iniciales

Las operadoras utilizan distintos programas para el diseño de sus radioenlaces que permiten realizar los cálculos de potencia y calidad para cada vano según unos datos iniciales y cumpliendo unas recomendaciones de la ITU. Uno de los más utilizados es IQLink.

IQLink es una herramienta de diseño y planificación de radioenlaces de microondas. Soporta el diseño completo de redes microondas, con capacidad para más de 60.000 enlaces. Permite el uso eficiente del espectro, con predicciones fiables y análisis rápido y preciso de interferencias, pudiendo asignar canales libres de interferencias en múltiples enlaces. Los algoritmos que emplea para realizar estos cálculos están recogidos en las recomendaciones de la ITU.

Para comenzar a diseñar un radioenlace partimos de unos datos iniciales:

- Longitud del vano
- Características del entorno
- Frecuencia
- Parábolas
- Configuración
- Capacidad
- Criterios de calidad y disponibilidad

Entre estos elementos nos encontramos algunos ya definidos y fijos, los cuales no podemos modificar, estos son la longitud y características del entorno del vano.

- Longitud del vano. Se trata de la distancia entre los dos extremos del vano.
- Características del entorno. Se trata de la definición y características de la zona donde se encuentra el radioenlace. El medio de transmisión es el espacio abierto, el cual puede verse afectado por multitud de factores, como el factor de lluvia, el factor geoclimático, el perfil de la trayectoria...

Nuestro objetivo es diseñar un radioenlace con unos valores de potencia, calidad, capacidad, disponibilidad e interferencias deseados y aceptables, para ello tendremos tres elementos, que podremos modificar hasta conseguirlo, frecuencia, tamaño de las parábolas a utilizar y canal.

## **10.2. Frecuencia**

El primer parámetro a elegir será la frecuencia. Hay que tener en cuenta que el espectro de frecuencias es muy limitado, por lo que hay que usarlo eficientemente.

Los sistemas de telefonía móvil trabajan en frecuencias para radioenlaces de microondas superiores a la banda de 7 GHz. Las bandas de frecuencia utilizadas son 13, 15, 18, 26 y 38 GHz.

En una primera aproximación podemos utilizar la Tabla 8, en la cual se relaciona la longitud del vano con la frecuencia a asignar.

DISTANCIA	BANDA DE FRECUENCIA
0 - 3,5 Km	38 GHz
3,5 - 9,5 Km	26 GHz
10 - 15 Km	18 GHz
16 - 32 Km	13 GHz

Tabla 8. Asignación de frecuencia a un radioenlace en función de su longitud.

Cada operador móvil tiene asignado por el Ministerio unos rangos dentro de estas bandas de frecuencias, lo cual hace que tengamos un número de canales reducidos en las diferentes frecuencias teniendo distinto margen de maniobra en las distintas bandas. También hay que tener en cuenta que a mayor capacidad deseada del radioenlace, mayor ancho de banda usará.

### 10.3. Modulación

Las técnicas de modulación más frecuentemente utilizadas para radioenlaces son:

- Modulación por desplazamiento de frecuencia, Modulación FSK. Mostrada en la Figura 14.

Es una técnica de transmisión digital de información binaria utilizando dos frecuencias diferentes, una para los ceros y otra para los unos. La señal moduladora varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos. Como ventaja principal, la tasa de error, y como principal desventaja, la eficiencia del uso del ancho de banda.

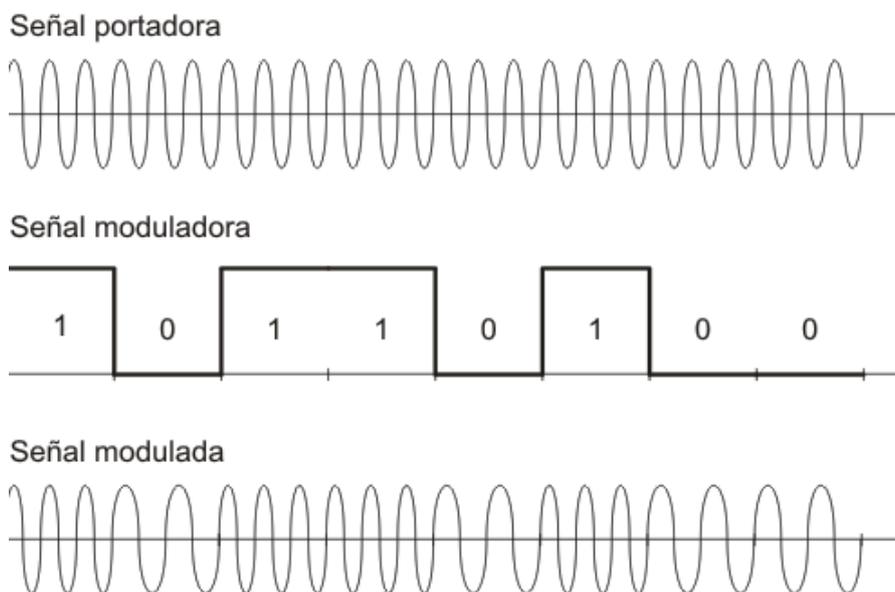


Figura 14. Modulación FSK [13].

- Modulación por desplazamiento de fase, Modulación PSK. Mostrada en la Figura 15.

Es una forma de modulación que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. Existen varios tipos de modulación PSK, dependiendo del número de posibles fases a tomar, recibe diferentes denominaciones. Dado que lo más común es codificar un número entero de bits por cada símbolo, el número de fases a tomar es una potencia de dos. Así tendremos BPSK con 2 fases, QPSK con 4 fases, 8-PSK con 8 fases y así sucesivamente. A mayor número de posibles fases, mayor es la cantidad de información que se puede transmitir utilizando el mismo ancho de banda, pero mayor es también su sensibilidad frente a ruidos e interferencias.

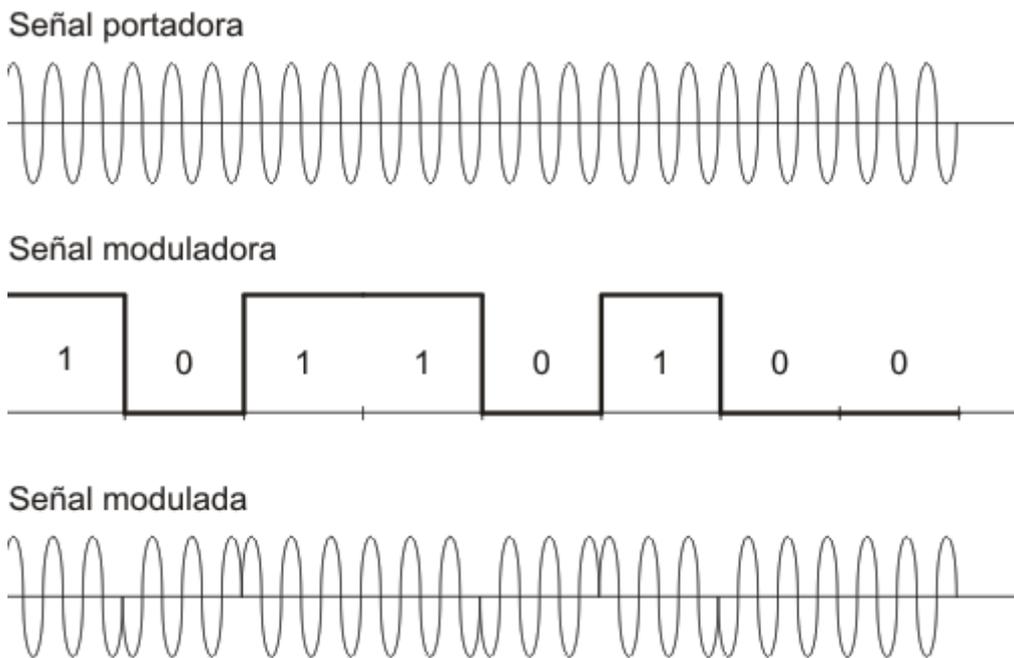


Figura 15. Modulación PSK [14].

- Modulación de amplitud en cuadratura, Modulación QAM.

Es una técnica de modulación de la señal portadora tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en  $90^\circ$ . La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida.

La QAM Digital, conocida también como QAM Cuantizada, se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM. Por ejemplo, en 8-QAM,

como muestra la Figura 16, cada tres bits de entrada, que proporcionan ocho valores posibles (0-7), se alteran la fase y la amplitud de la portadora para derivar ocho estados de modulación únicos. En general, en N-QAM, cada grupo de m-bits genera  $2^m$  estados de modulación.

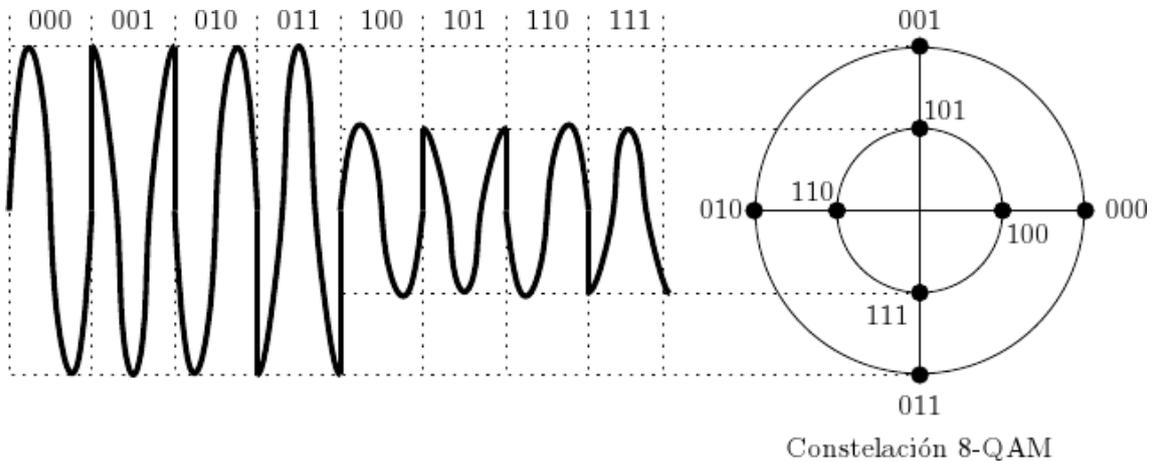


Figura 16. Modulación 8-QAM [15].

#### 10.4. Parábolas

Otro de los primeros elementos a definir en el diseño de un radioenlace, junto con la asignación de la frecuencia, es la elección de las parábolas. Es posible que el tamaño o tipo de parábolas nos venga dado de antemano debido a que la infraestructura solo pueda albergar cierto tipo o bien por la exigencia de la propiedad del emplazamiento. Es fundamental que las parábolas se instalen en la infraestructura del emplazamiento, en la que se ha certificado la visibilidad previamente.

Los tamaños típicos de parábolas son: 0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.2m y 1.8m de diámetro.

Es necesario tener en cuenta una serie de normas:

- Según emplazamiento y propiedad: Descartando posibles problemas de espacio a la hora de la colocación de las parábolas o problemas con la propiedad debidos a que no deseen la instalación de nuevas parábolas. Existen ciertas normas a cumplir según tipo de emplazamiento y operador propietario: Parábolas de 0.3m y 0.6m, no hay problemas en ningún tipo de emplazamiento (azotea, torre), ni operador propietario. Parábolas de 0.9m, en torre no hay problema con ningún operador, en azotea solo podrán colocarse si existían previamente (en Legacy) o bajo visto bueno del cliente, en ningún caso se permitirá si el operador propietario no es el cliente. Parábolas de 1.2m y 1.8m, solo podrán instalarse en torre, si existían previamente (en Legacy) o si la propiedad del emplazamiento es del cliente.
- Según criterios de diseño: Es necesario tener presente la siguiente norma de compromiso, cuanto mayor es el tamaño de la parábola, mejor serán las

características del vano al tener más potencia de transmisión/recepción por lo que a su vez es más robusta frente a otros tamaños menores en calidad y disponibilidad en igualdad de condiciones de frecuencia, distancia... El problema de usar tamaños mayores radica en que el coste, espacio y peso también serán mayores, junto con el nivel de interferencias que provocan en radioenlaces vecinos.

Por lo tanto, es necesario escoger un tamaño de parábola que se ajuste lo más eficientemente posible al diseño del radioenlace intentando utilizar el tamaño menor para disminuir en lo posible el coste, espacio, peso e interferencias.

Además de la parábola, también se instala una unidad exterior (ODU, OutDoor Unit) que puede estar integrada en la propia parábola o bien separada mediante una guía de ondas, como muestra la Figura 17. Su función es convertir a frecuencia intermedia la señal que recibe de la antena en alta frecuencia. Existe otro módulo interno (IDU, InDoor Unit) normalmente situado en la casetilla con el resto de equipos radio y de transmisión. Su función es convertir a banda base la señal que recibe de la ODU en frecuencia intermedia. La IDU se conecta a la ODU mediante un cable coaxial.

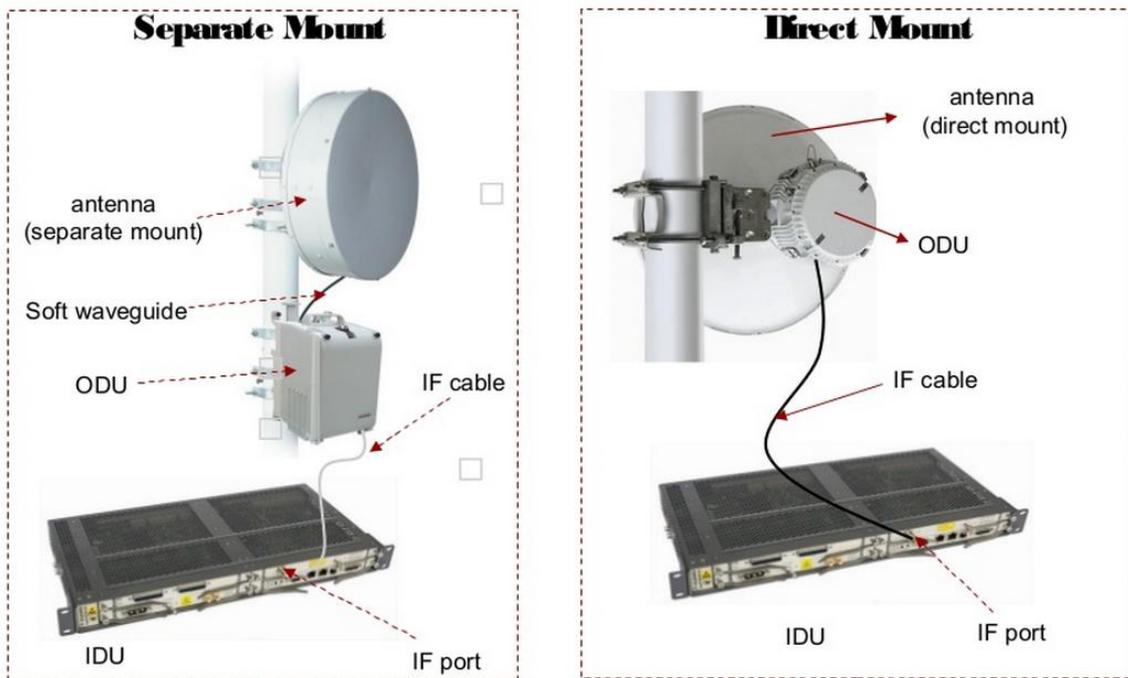


Figura 17. Esquema montaje antena, ODU e IDU [16].

Con los elementos, parábolas y frecuencia, podemos comenzar a diseñar el radioenlace. Como norma general, en primer lugar utilizaremos la frecuencia mayor posible con la que sea viable el enlace (dependiendo de la distancia entre ambos extremos, tabla 5 apartado 3.4.2 Frecuencia) y con el tamaño de parábolas lo menor posible. Así aseguramos no ensuciar el espectro con rangos de frecuencias menores que tienen un alcance mucho

mayor y pueden interferirnos en otros enlaces más alejados o en futuros enlaces por diseñar.

Si tras el cálculo de potencia, calidad y disponibilidad, no cumplimos los criterios necesarios, podemos probar aumentando el tamaño de las parábolas. Si sigue siendo insuficiente, cambiaríamos a otro rango de frecuencias menor.

Sin embargo, podemos encontrar el caso en el que aunque cumpliéndose los criterios mínimos de potencia, calidad y disponibilidad, no haya un canal libre de interferencias y será necesario por tanto llevar a cabo alguna modificación en el diseño o en alguno de los radioenlaces interferentes.

## 10.5. Configuración

Las configuraciones de protección hardware que normalmente se utilizan en el diseño de los radioenlaces son las siguientes.

- Radioenlaces sin protección (1+0) y con protección (1+1)

La configuración básica y por defecto es la de sin protección 1+0, la cual consta de un equipo con una IDU y otra ODU con su parábola.

Pueden existir casos en los que se quiere proteger un enlace por su importancia en la red o por el alcance que provocaría un fallo de éste. Por ejemplo, en el caso de una estructura en cadena, cada enlace se apoya en otro que lo precede, por lo que si uno de los enlaces falla todos los emplazamientos de la cadena caerán aunque sus enlaces estén correctamente funcionando. Por tanto, se recomienda proteger toda la cadena a excepción del último salto. En la Figura 18 se muestran algunos enlaces en los que es necesaria esta protección.

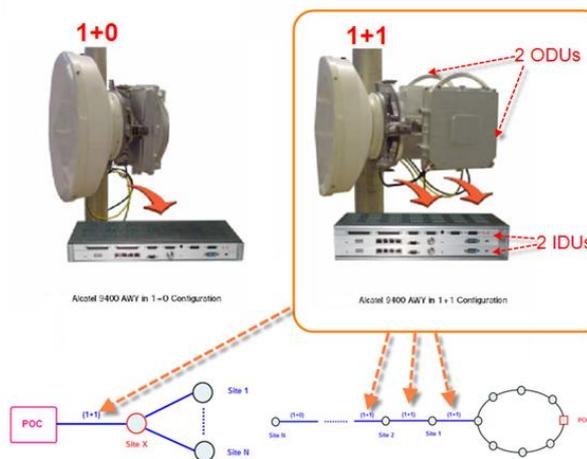


Figura 18. Ejemplo de enlaces que necesitan protección.

La configuración típica de protección es la 1+1 Hot StandBy, en la cual existirían dos ODUs con dos cables RF y un splitter que conectaría las dos ODUs a la misma parábola. Así, si una de las ODUs fallase, se conmutaría a la otra como protección para el enlace.

En la Figura 19 se muestran distintos esquemas de configuración sin y con protección.

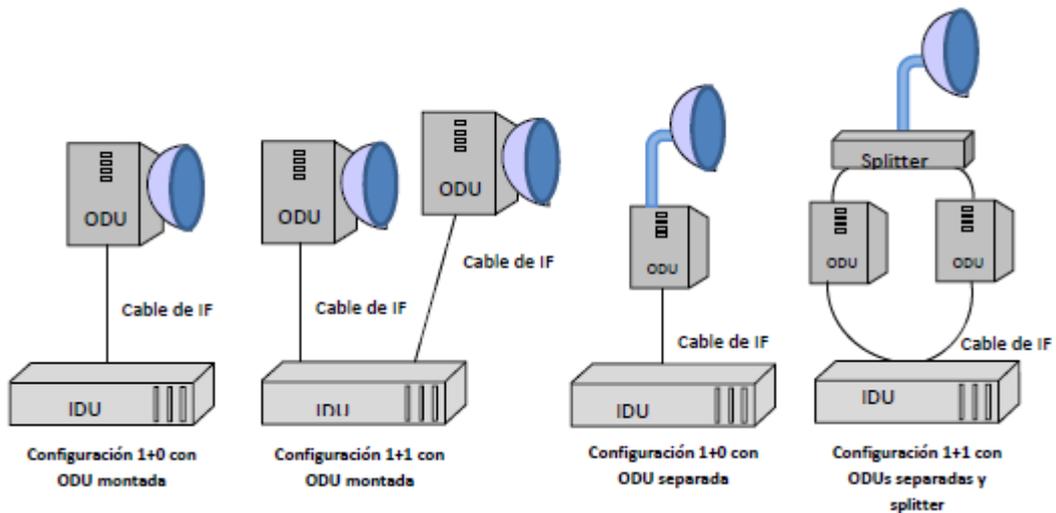


Figura 19. Esquemas de configuración sin protección (1+0) y con protección (1+1) [1].

- Radioenlaces sin o con diversidad

Cuando las rutas radioeléctricas se ven afectadas por el desvanecimiento podemos aplicar las técnicas de diversidad para transmitir la misma información por dos vías, de manera que se vean afectadas de distinta forma. Se pretende aumentar la fiabilidad utilizando la redundancia, reducir el porcentaje del tiempo de un desvanecimiento dado y mejorar la calidad en cuanto al número de segundos con errores, SERS (Severely Errored Seconds Ratio).

Existen dos tipos de diversidad:

- Diversidad espacial. Mostrada en la Figura 20. Se emplean dos antenas en cada extremo transmitiendo a la misma frecuencia y colocadas a diferente altura de manera que la señal viaja por dos trayectos diferentes desde el transmisor a las dos antenas receptoras. Esta técnica corrige el desvanecimiento multitrayecto producido por la aparición de varios caminos de propagación entre el transmisor y el receptor que produce interferencias entre el rayo directo y el rayo reflejado en el terreno o en las capas atmosféricas.

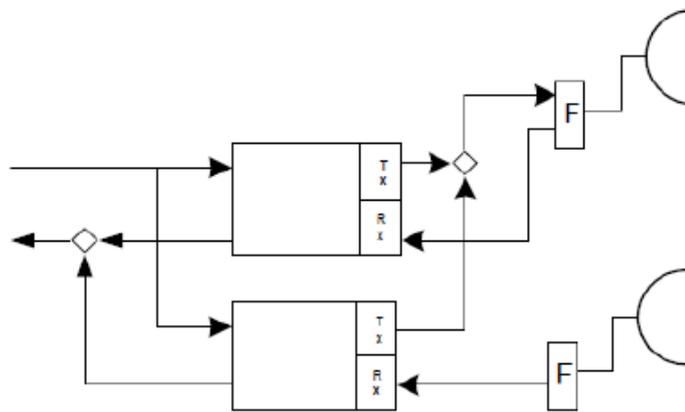


Figura 20. Esquema diversidad espacial.

- Diversidad de frecuencia. Mostrada en la Figura 21. En este caso la información se transmite mediante dos transmisores operando a distintas frecuencias, de manera que cuando un desvanecimiento afecta a una frecuencia, no afecte a la otra. Esta técnica no se suele usar en radioenlaces de comunicaciones móviles, ya que tiene un peor factor de disminución de la tasa de SERS, necesita dos portadoras de distinta frecuencia y aumenta la interferencia debido a las limitaciones de espectro radioeléctrico.

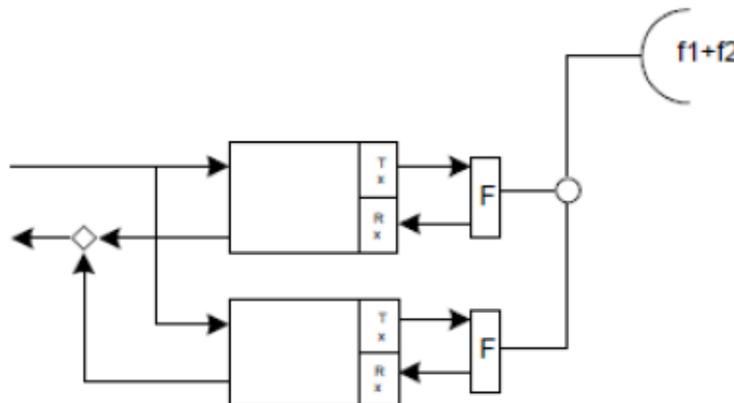


Figura 21. Esquema diversidad de frecuencia.

## 10.6. Criterios de calidad y disponibilidad

El diseño de un radioenlace debe cumplir unos criterios dados de calidad y disponibilidad.

La indisponibilidad o corte de un radioenlace se produce cuando la señal recibida no alcanza el nivel de calidad mínimo exigido, lo que se traduce en un aumento significativo de la tasa de error. Es decir, existe una interrupción del servicio puesto que el demodulador no puede recuperar correctamente la señal.

La calidad se expresa como la pérdida en un momento concreto de la funcionalidad del sistema debido a microinterrupciones y degradaciones ligeras y breves que producen errores en los bits transmitidos y afectan a la nitidez o claridad de la señal recibida.

Durante su propagación, las ondas radioeléctricas están afectadas por diferentes elementos. Los más destacados son:

- **Influencia del terreno.** La presencia del suelo sobre la propagación es uno de los factores que inciden de manera directa en la transmisión. Las ondas de radio al ser perturbadas por un obstáculo, sufren difracción, además de la presencia de una onda reflejada en la superficie (ó indirectas) generalmente produce debilitamiento de la señal, es decir disminución de la intensidad de la señal recibida. Existen casos, en los que la señal no se debilita sino que por el contrario se refuerza, lo cual podría generar problemas de saturación en el extremo receptor, dando lugar a distorsiones de la señal y por consecuencia una pérdida de la misma.
  - **Modelo de Tierra plana.** Aunque un enlace microondas tiene un alto grado de directividad, no siempre toda la radiación viajará por el rayo directo. Existe un rayo reflejado sobre el terreno que llegará al receptor con un cierto desfase. La validez de este modelo se extiende hasta la distancia en la que la difracción asociada a la curvatura de la Tierra cobra importancia.
  - **Modelo de Tierra curva.** Para distancias mayores es necesario contar con los fenómenos asociados a la difracción que produce la curvatura de la Tierra.
- **Influencia de la atmósfera.** La presencia de la troposfera lleva asociados cuatro efectos en el modelado del radioenlace:
  - Exceso de atenuación debido a los gases atmosféricos (principalmente oxígeno y vapor de agua) e hidrometeoros (lluvia, niebla, granizo y nieve).
  - Modificación del camino recorrido por el rayo que deja de ser una línea recta y se curva debido a las variaciones del índice de refracción a lo largo de su trayectoria.
  - Creación de direcciones privilegiadas para la propagación de las ondas, denominadas conductos, que permiten alcances mucho mayores de los deseables y por tanto de difícil control.
  - Fluctuaciones considerables.

## 10.7. Interferencias

Una interferencia se define como cualquier señal no deseada a la entrada del receptor. En el receptor junto a la señal útil, se presenta una señal indeseada que corresponde a otra comunicación y que tiende a degradar y dificultar la recepción de la señal de interés.

La herramienta de diseño de radioenlaces calculará las interferencias del enlace que estamos diseñando para los distintos canales dentro de la frecuencia elegida y también calculará el efecto que nuestro enlace causará a otros radioenlaces para que no podamos introducir interferencias que excedan los límites establecidos a otros radioenlaces existentes.

Las interferencias se clasifican en dos tipos:

- Interferencia cocanal (CCI, CoChannel Interference). Debida a la reutilización de frecuencias. Es una interferencia que se presenta en la misma banda de frecuencias que la señal útil.
- Interferencia del canal adyacente (ACI, Adjacent Channel Interference). Debida a la estrecha separación entre canales. Es una interferencia que se presenta por una señal en una banda de frecuencias distinta a la de la señal útil.

La degradación sufrida por nuestro enlace debida a interferencias cocanales y de canales adyacentes no será superior a 1dB del umbral de BER 10-6 para frecuencias altas (38 GHz - 26 GHz) y para frecuencias bajas (13 GHz – 18 GHz) no será superior a 3 dB del umbral de BER 10-6. Nuestra herramienta de diseño tiene una precarga del valor de señal recibida/interferencia (C/I) objetivo proporcionado por los suministradores. Se mostrarán como canales interferentes o enlaces interferidos todos aquellos en los que el cálculo de interferencias realizado no supere un margen asignado con respecto al C/I objetivo.

En la Figura 22 se muestra la pantalla que nos aparece en IQLink para el cálculo de interferencias.

### Environment Path Details

Site ID / Location ID: <b>VX0460/</b>	Site Name: <b>VX0305/</b>	Site Name: <b>3P-VALR0850</b>
Site Name: <b>VALE1115</b>	Latitude Longitude: <b>39-20-39.3N 0-25-9.2W</b>	Latitude Longitude: <b>39-11-24.2N 0-20-11.8W</b>
Latitude Longitude: <b>39-20-39.3N 0-25-9.2W</b>	UTM Zone: North East: <b>30: 4358156.2 722402.1</b>	UTM Zone: North East: <b>30: 4341247.3 730026.1</b>
UTM Zone: North East: <b>30: 4358156.2 722402.1</b>	Gnd Elev & Length: <b>23.00 m</b>	Gnd Elev & Length: <b>5.00 m</b>
Gnd Elev & Length: <b>23.00 m</b>	Path Azimuth: <b>157.36°</b>	Path Azimuth: <b>337.42°</b>
Path Azimuth: <b>157.36°</b>	Radio Model: <b>RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2</b>	Radio Model: <b>RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2</b>
Radio Model: <b>RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2</b>	Modulation: <b>256QAM</b>	Modulation: <b>256QAM</b>
Modulation: <b>256QAM</b>	Capacity / BW: <b>183 Mb/sec / 28 MHz</b>	Capacity / BW: <b>183 Mb/sec / 28 MHz</b>
Capacity / BW: <b>183 Mb/sec / 28 MHz</b>	Power: <b>17.50 dBm</b>	Power: <b>17.50 dBm</b>
Power: <b>17.50 dBm</b>	Channel Number: <b>DE6</b>	Channel Number: <b>DE6</b>
Channel Number: <b>DE6</b>	Frequency: <b>13171V MHz</b>	Frequency: <b>12905V MHz</b>
Frequency: <b>13171V MHz</b>	Antenna Model: <b>VHLP4-130</b>	Antenna Model: <b>VHLP4-130</b>
Antenna Model: <b>VHLP4-130</b>	Antenna Height: <b>21.81 mAGL</b>	Antenna Height: <b>16.68 mAGL</b>
Antenna Height: <b>21.81 mAGL</b>	Antenna Coordinate: <b>39-20-39.3N 0-25-9.2W</b>	Antenna Coordinate: <b>39-11-24.2N 0-20-11.8W</b>
Antenna Coordinate: <b>39-20-39.3N 0-25-9.2W</b>	UTM Zone: North East: <b>30: 4358156.2 722402.1</b>	UTM Zone: North East: <b>30: 4341247.3 730026.1</b>
UTM Zone: North East: <b>30: 4358156.2 722402.1</b>	Waveguide Loss: <b>0.00 dB</b>	Waveguide Loss: <b>0.00 dB</b>
Waveguide Loss: <b>0.00 dB</b>	Free Space / Abs. Loss: <b>140.09 dB/0.35 dB</b>	Free Space / Abs. Loss: <b>140.09 dB/0.35 dB</b>
Free Space / Abs. Loss: <b>140.09 dB/0.35 dB</b>	Receive Signal Level: <b>-38.94 dBm</b>	Receive Signal Level: <b>-38.94 dBm</b>
Receive Signal Level: <b>-38.94 dBm</b>	Threshold: <b>-67.50 dBm</b>	Threshold: <b>-67.50 dBm</b>
Threshold: <b>-67.50 dBm</b>		

#### Calculation Results

Include OH Loss:  Yes  No Exclude Environment Link In Future Analyses

Interference Calculation	Radio Modulation	OH Loss (dB)	FSPL (dB)	Int Level (dBm)	S. TD Calc (dB)	S. TD Obj (dB)	C. TD Calc (dB)	C. TD Obj (dB)
A->D								
D->A								
<b>Profile B-&gt;C</b>	<b>(32QAM)-&gt;(256QAM)</b>	<b>0.00</b>	<b>141.35</b>	<b>-92.55</b>	<b>4.48</b>	<b>1.00</b>	<b>4.48</b>	<b>3.00</b>
<b>Profile C-&gt;B</b>	<b>(256QAM)-&gt;(32QAM)</b>	<b>0.00</b>	<b>141.35</b>	<b>-94.17</b>	<b>1.46</b>	<b>1.00</b>	<b>10.51</b>	<b>3.00</b>

Design Channel A: E1/13157 B: E1/12891 Interfering Path 1 of 5 VX0245PM Confirmed 02-JUL-2014

<p><b>Site A</b> VAL50B01 39 14 9.80 N / 0 25 53.90 W 30: 4346116.2 721673.0</p> <p><b>Site B</b> VALR1109 39 9 6.00 N / 0 25 12.31 W 30: 4336736.8 721496.6</p>		<p><b>Site C</b> VALE1115 39 20 39.30 N / 0 25 9.20 W 30: 4358156.2 722402.1 Discrimination Angle: 26.69°</p> <p><b>Site D</b> 3P-VALR0850 39 11 24.20 N / 0 20 11.80 W 30: 4341247.3 730026.1</p>
--	--	--

IQLink - IRF Cumulative Interference Case Details - V9.3.2.11

Site A: VAL50B01 (H)				Site B: VALR1109 (L)						
Link Id	Interfering Link	Channel / Pol	OH Loss A (dB)	Int Level A (dBm)	TD Calc A (dB)	Correlated Case	OH Loss B (dB)	Int Level B (dBm)	TD Calc B (dB)	Correlated Case
1	VAL1123M	2-VALR0612 (H) - ALARIS ALGEMESI <sub>r</sub> (L)	DE5V - DE5V	0.00	-98.50	0.60	0.00	-80.45	10.16	
2	VAL1124M	ALARIS ALGEMESI <sub>r</sub> (L) - 2-VALR0613 (H)	DE5V - DE5V	0.00	-89.81	3.20	0.00	-127.80	0.00	
3	VX0245PM	VALE1115 (H) - 3P-VALR0850 (L)	DE6V - DE6V	0.00	-127.47	0.00	0.00	-94.17	1.46	
4	VX0360PM	VAL50B01 (H) - 2-VALR0613 (L)	E1H - E1H	0.00	-95.53	1.11	0.00	-94.66	1.32	
5	VX0605PM	2-VALR0609 (H) - VAL50B01 (L)	DE6V - DE6V	0.00	-98.98	0.54	*	-120.73	0.00	
6	VX0605PM	2-VALR0609 (H) - VAL50B01 (L)	DE6H - DE6H	0.00	-102.98	0.22	*	-138.38	0.00	
7	VAL2223M	ALARIS ALGEMESI <sub>r</sub> (H) - Sierramar-Clobtes (L)	CE12H - CE12H	*	-109.10	0.06	*	-111.89	0.03	
8	VX0246PM	VALR0993 (L) - VALE1115 (H)	DE5H - DE5H	0.00	-109.37	0.05	0.00	-116.91	0.01	

#### Cumulative Summary

Single TD Obj:	1.00 dB	Cum. TD Obj:	3.00 dB	Int Level (A/B):	-87.74 / -80.09 dBm
FKTB (A/B):	-90.17 / -90.17 dBm	FKTB Margin A:	-2.43 dB	FKTB Margin B:	-10.08 dB
Threshold(A/B):	-73.00 / -73.00 dBm	Degradation A:	4.40 dB	Degradation B:	10.49 dB

Figura 22. Cálculo de interferencias en IQLink.

Se asignará un canal dentro del rango de frecuencias elegido que cumpla con los criterios comentados. Nuestro radioenlace no deberá interferir a radioenlaces vecinos, ni ser interferido, en los niveles expuestos anteriormente.

54

Aspectos a tener en cuenta a la hora de diseñar para tener las mínimas interferencias posibles y no ensuciar el espectro:

- Situar las parábolas tan bajas como sea posible siempre que exista LOS.
- Usar la banda de frecuencias más alta disponible. Una correcta planificación de frecuencias es fundamental para eliminar y mitigar el efecto de las interferencias.
- Atenuar la potencia de transmisión al mínimo justo para encontrar la disponibilidad requerida.
- Seleccionar los canales cuidadosamente.

Un factor esencial a considerar es la asignación de las bandas H (High, o frecuencia alta del canal) y L (Low, o frecuencia baja del canal) de los radioenlaces. Intentar mantener siempre la frecuencia alta de cada canal o bien la baja en los transmisores de un mismo emplazamiento, para minimizar las posibles interferencias. Es decir, todos transmitiendo en la banda alta del canal y recibiendo en la baja, o viceversa.

# Capítulo 3

## CASO PRÁCTICO

---

## 11. Necesidades de la red

Las comunicaciones móviles han revolucionado las actividades que realizamos diariamente. Los terminales móviles se han convertido en una herramienta primordial para los usuarios particulares y las empresas. A pesar de que la telefonía móvil fue concebida estrictamente para servicios de voz, hoy es capaz de brindar servicios de datos, audio y video.

El 2G fue pensado para ofrecer comunicaciones de voz principalmente, por ello utilizaron TDM en la transmisión de la información, al ser esta una tecnología de conmutación de circuitos orientada a conexión, pero es limitado en comunicación de datos. La tecnología predominante de esta generación es GSM (Global System Mobile). Posteriormente aparece la 2.5 G cuya tecnología predominante es la GPRS (General Packet Radio System) que introduce la conmutación de paquetes en las redes GSM (introduce el mundo IP) y aparecen los MMS (Mensajes Cortos Multimedia).

El 3G se caracteriza por contener la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, lo cual la hace apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como por ejemplo audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet. El estándar que define la tecnología 3G es el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Ahora estamos en los comienzos de una nueva generación de comunicaciones móviles, la cuarta generación o 4G, que tiene como objetivo mejorar la actual 3G y unificar los sistemas para que el cliente tenga un servicio estable en cualquier parte del mundo con el mismo terminal móvil. Además de aumentar considerablemente la velocidad, lo que permitirá una gama más amplia de servicios y facilidades.

El objetivo del 4G (LTE) es proporcionar un acceso de radio capaz de alcanzar velocidades de tráfico de hasta 100Mbps en Downlink y 50Mps en Uplink. Además ofrecerá menores tiempos de latencia lo que hace reducir los tiempos de acceso a un servicio y la respuesta de la red a cualquier solicitud. Por primera vez, todos los servicios, incluida la voz, se soportan sobre el protocolo Internet Protocol (IP) y las velocidades de la interfaz radio se sitúan en rangos ampliamente superiores a los conseguidos en los sistemas predecesores. Se espera que con LTE se puedan romper finalmente y definitivamente las barreras que todavía impedían la consecución plena de una movilidad con capacidad multimedia. Por este motivo, los equipos de telecomunicaciones móviles deberán estar totalmente preparados para el soporte de implementación del protocolo IP. La mayoría de las operadoras optaron por usar IP/Ethernet en la evolución de su red de transporte.

4G (LTE) intenta impulsarse desde IEEE con Wi-MAX 802.16e y posteriormente 802.16m, como solución propiamente IMT-Advanced (sistema 4G), al igual que la propuesta LTE-

Advanced por parte del 3GPP. En la Figura 23 se puede ver la evolución de las tecnologías móviles:

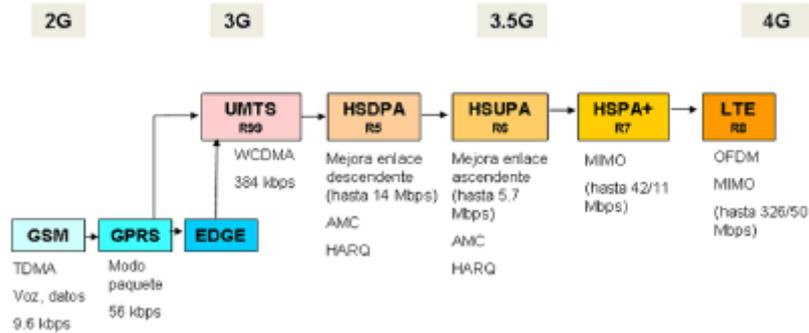


Figura 23. Evolución de las tecnologías móviles [17].

La clara necesidad de mayores velocidades de transmisión de datos como condición necesaria para el eventual despegue de estos servicios encuentra respuesta en la tecnología HSPA.

El camino apuntado por el 3GPP para cubrir las necesidades tecnológicas en el horizonte 2010-2020 tiene a LTE como máximo exponente.

Como se muestra en la Figura 24, uno de los principales paradigmas observados en los últimos tiempos es que mientras que el incremento del tráfico de voz supone un incremento de los ingresos del operador al facturarse por establecimiento de llamada y tiempo de ocupación de los recursos del sistema, en el caso del tráfico de datos se produce un desacoplo entre ambos, asociado a la adopción de tarifas planas. Por otra parte, tal y como se ilustra en la Figura 25, el coste del despliegue y operación de las redes de comunicaciones móviles con la tecnología actual guarda cierta proporcionalidad con el volumen de tráfico a cursar si se pretende ofrecer una QoS adecuada, de manera que para preservar un cierto margen de beneficio es necesario reducir diferentes componentes de la estructura de costes, lo que constituye una de las principales motivaciones para el desarrollo de un sistema como LTE.

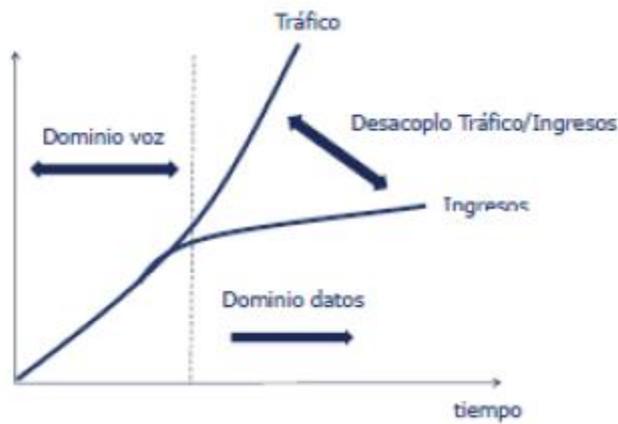


Figura 24. Paradigma de la evolución del mercado de las comunicaciones móviles [17].



Figura 25. Relación del coste de la red con el volumen de tráfico [17].

## 12. Migración

El procedimiento de migración deberá conseguir el equilibrio entre el uso eficiente de los recursos disponibles, el mantenimiento de la integridad y calidad de las comunicaciones, a un coste razonable y asumible por la operadora.

Por lo tanto, se presenta como algo obvio realizar una migración gradual desde las redes TDM de conmutación de circuitos, a las tecnologías más modernas como son las de conmutación de paquetes con tecnología de transmisión Ethernet. En la Figura 26 se muestra este proceso de migración.

También es importante que los nuevos equipos que se instalen en la red puedan ser capaces de trabajar con los antiguos. Al realizar una transición gradual se tendrá un escenario híbrido en el que conviven la infraestructura existente y la nueva, hasta el despliegue completo de Ethernet. De esta manera un elemento PDH estará en servicio

hasta el instante en el que se realiza el intercambio (swap) por el equipo Ethernet, que pasa a funcionar inmediatamente, apagándose el primero.

La estrategia, por tanto, de esta migración de red consistirá en el funcionamiento temporal de una red de transporte híbrida en la cual coexisten las tecnologías *legacy* con las nuevas tecnologías IP y Ethernet, de manera que en ocasiones pueden transportarse de forma nativa y en otras a través de la nueva.



Figura 26. Proceso de migración [1].

### 13. Equipos

Existen infinidad de equipos disponibles en el mercado de las telecomunicaciones, de distintos fabricantes, tipos y precios.

El mejor escenario sería una red en la que todos sus equipos son del mismo fabricante, para un óptimo inter-funcionamiento. Sin embargo, en algunos casos esto es difícil de conseguir o no resulta algo crítico.

En este proyecto, utilizaremos los equipos de un único fabricante, ya que nuestra operadora tiene un contrato de renovación de equipos con ellos.

Los equipos utilizados en este proyecto son:

- La oferta en lo que a Nodos B se refiere son las series 3800 y 3900. Ambos modelos de Nodo B pueden estar preparados para ofrecer varias tecnologías o modos y permiten distintas opciones de transporte en la interfaz Iub.

Las estaciones multi-modo de la serie 3900 están basadas en conmutación IP y sus puertos están preparados para ofrecer hasta 100 Mbps, asegurando la compatibilidad con el progresivo crecimiento de los servicios de datos móviles y la velocidad de transmisión ofrecida a los usuarios. El modelo más interesante de esta gama es el DBS3900, entre cuyas características se encuentran su diseño modular y flexible, tamaño compacto, fácil integración, bajo consumo energético y despliegue fácil y rápido. Facilita la elección del emplazamiento, permitiendo la coubicación de 2G y 3G, así como la planificación y optimización de la red.

- Nuestro fabricante ofrece radioenlaces híbridos que permiten el transporte tanto de tráfico TDM mediante E1s como tráfico Ethernet, ambos de forma nativa.

La serie RTN de radio de microondas IP ofrece elementos inteligentes de red diseñados para gestionar, aprovisionar, hacer seguimiento y realizar diagnósticos en remoto. También permite soportar las futuras aplicaciones All-IP y puede proporcionar funciones de transmisión que incluyen alta modulación, modulación adaptativa, compresión de “cabeceras” de Ethernet para ayudar a las operadoras a reducir el coste por bit transmitido y el coste total de propiedad.

La serie RTN, mostrada en la Figura 27, se compone de los RTN910, RTN950 y RTN980. El RTN910 se utiliza principalmente en la capa de acceso, el RTN950 permite instalar más direcciones de radiofrecuencia y el RTN980 es un sistema nodal que puede soportar hasta 13 direcciones de RF más 1 interfaz de inserción y extracción. Todas las series RTN de radios de microondas utilizan el mismo tipo de unidades exteriores (ODU) y antenas.

Estos radioenlaces están orientados a IP y de banda ancha, con el fin de ayudar a la evolución de la red hacia All-IP. La familia RTN900 cumple con la sincronización de fases y frecuencias para redes GSM/UMTS/LTE.

Product Name	IDU Appearance	Characteristic
OptiX RTN 905		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 U high IDU.</li> <li>• Three types of integrated chassis.</li> <li>• One or two microwave links.</li> </ul>
OptiX RTN 910		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 U high IDU.</li> <li>• Boards pluggable.</li> <li>• Integrated service ports on system control, switching, and timing boards.</li> <li>• One or two IF boards.</li> </ul>
OptiX RTN 950		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 U high IDU.</li> <li>• Boards pluggable.</li> <li>• 1+1 protection for system control, switching, and timing boards.</li> <li>• A maximum of six IF boards.</li> </ul>
OptiX RTN 950A		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 U high IDU.</li> <li>• Boards pluggable.</li> <li>• Integrated service ports on system control, switching, and timing boards.</li> <li>• A maximum of six IF boards.</li> </ul>
OptiX RTN 980		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 U high IDU.</li> <li>• Boards pluggable.</li> <li>• 1+1 protection for system control, switching, and timing boards.</li> <li>• Integrated service ports on system control, switching, and timing boards.</li> <li>• A maximum of fourteen IF boards.</li> </ul>

Figura 27. Equipos RTN de Huawei [18].

## 14. Ejemplo

### 14.1. Situación inicial

#### Topología Legacy

A continuación simularemos el proyecto de ampliación, planificación en el despliegue y mejora de un tramo de la red de transmisión de telefonía móvil de una Operadora móvil, en la zona de Alicante.

En la Figura 28 se muestra la situación de partida. Recordar que en el presente proyecto nos centraremos en la red de acceso. El site POC, es un equipo que ejerce la función de punto de concentración de Nodos B/BTS, así como de otros POCs. Este a su vez, se conecta con el site POP, capa de agregación, estos sites se diferencian de los POCs en que disponen de un equipo RNC/BSC.

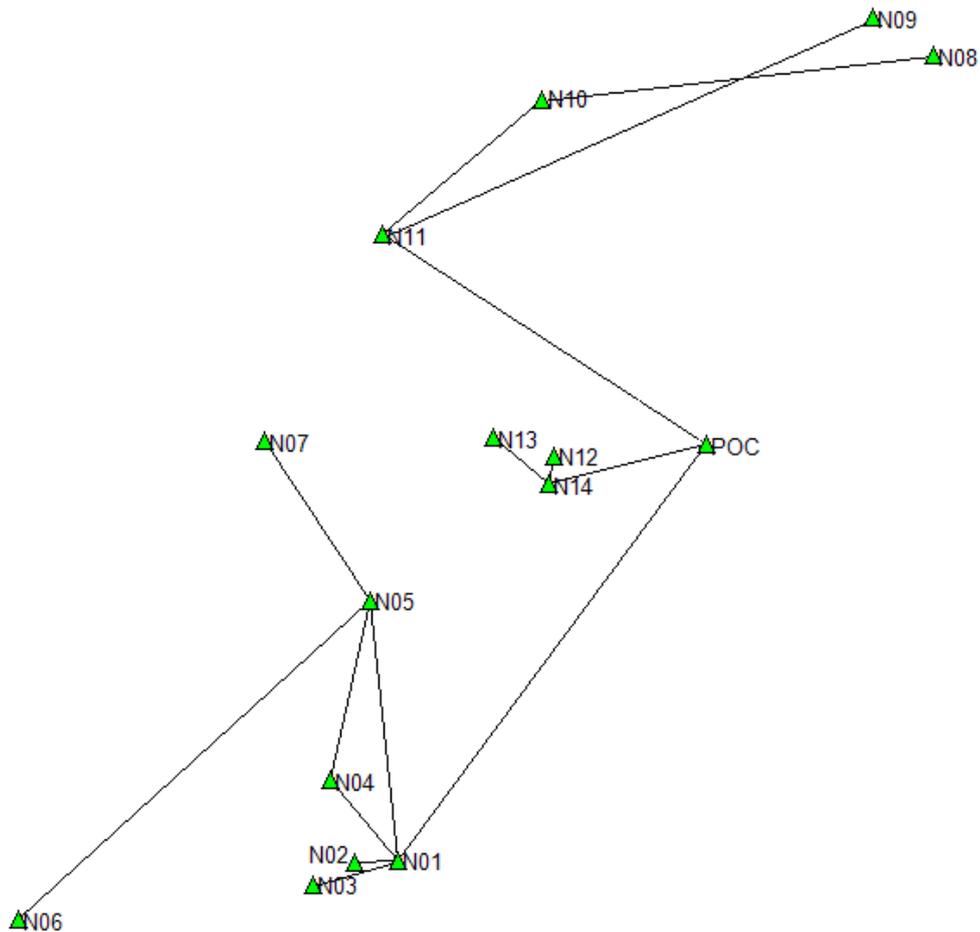


Figura 28. Topología Legacy.

El diagrama de la topología Legacy sería el mostrado en la Figura 29:

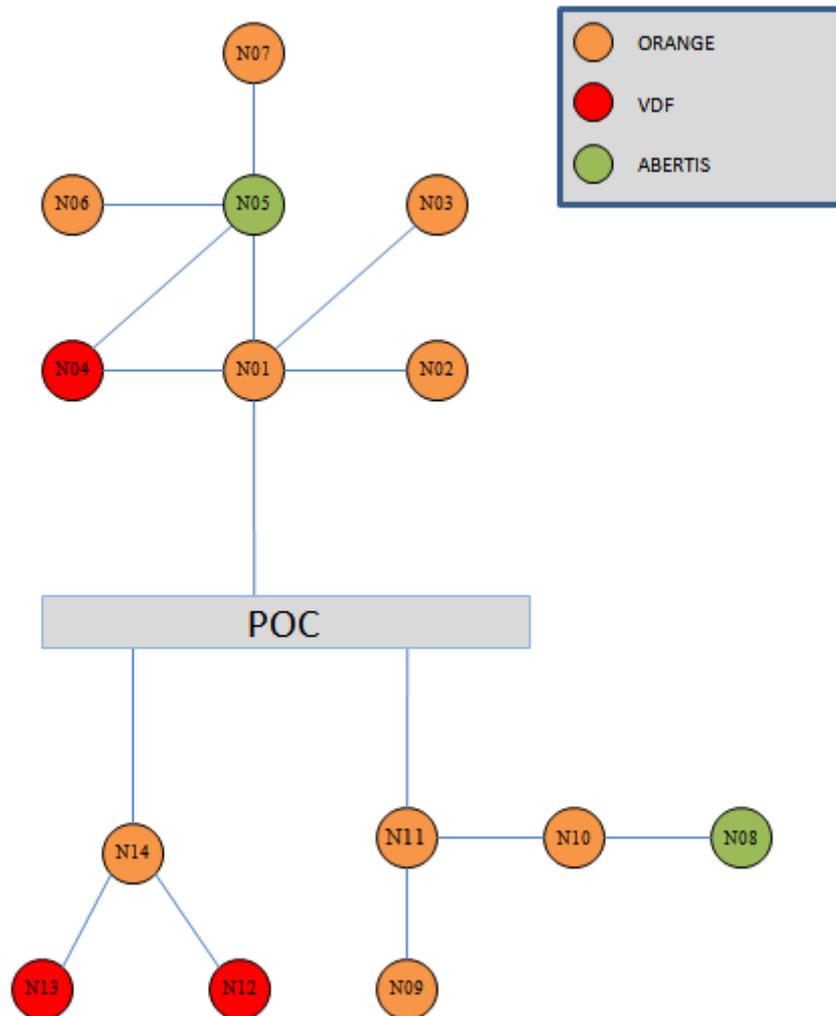


Figura 29. Diagrama topología Legacy.

En la Tabla 9 se detallan las características de los emplazamientos en estudio:

SITE	Dirección	Latitud	Longitud	Propietario	Estructura	Equipos	Alt (m)
N01	Finca Las 4 Rosas.	38-32-12.10-N	00-48-23.20-W	ORANGE	Torre	Indoor	38,7
N02	Calle Gran Vía 40.	38-32-12.33-N	00-49-07.56-W	ORANGE	Azotea	Indoor	28,3
N03	Calle Jamaica 14.	38-32-12.45-N	00-49-36.88-W	ORANGE	Azotea	Indoor	20
N04	Partida de Los Diseminados S/N.	38-33-18.40-N	00-49-31.90-W	VDF	Torre	Outdoor	26
N05	Repetidor de RTV Peñavista.	38-35-45.00-N	00-48-52.00-W	ABERTIS	Torre	Indoor	25
N06	Barranco Cava Negra.	38-31-26.00-N	00-54-50.00-W	ORANGE	Torre	Outdoor	28,7
N07	Avenida Alicante 22.	38-37-57.50-N	00-50-36.40-W	ORANGE	Azotea	Indoor	20
N08	Cerro Hermita Santo Cristo Bañeres de Mariola.	38-43-08.50-N	00-39-05.60-W	ABERTIS	Torre	Outdoor	28
N09	Calle Barraquetes S/N.	38-43-38.00-N	00-40-13.00-W	ORANGE	Torre	Outdoor	25
N10	Polígono 16. Parcela 74.	38-04-31.10-N	00-45-56.00-W	ORANGE	Torre	Indoor	30
N11	Partida Paraje Pista.	38-40-41.30-N	00-48-42.60-W	ORANGE	Torre	Outdoor	38,7
N12	Calle Pacífico Torres S/N.	38-37-44.04-N	00-45-51.12-W	VDF	Azotea	Outdoor	18,1
N13	Polígono Els Dos Pins, parcela 41. Construcciones Punzano.	38-37-45.69-N	00-46-33.60-W	VDF	Torre	Indoor	13,5
N14	Terreno junto torre telefónica Paraje El Secanet.	38-37-29.00-N	00-45-57.80-W	ORANGE	Torre	Outdoor	38,7

**Tabla 9. Emplazamientos en estudio.**

Antes de iniciar el estudio de las posibles optimizaciones topológicamente hablando, deberemos ver las infraestructuras existentes en cada emplazamiento para tenerlas en cuenta a la hora de agregar o disminuir el número de parábolas (radioenlaces) en dichos emplazamientos. Problemas que podemos encontrar:

- Emplazamientos con saturación de radioenlaces, intentaremos disminuir o dejar el mismo número que en Legacy.
- Emplazamientos con saturación de radioenlaces a cierta altura. En las torres, suele darse este problema, las puntas de las torres suelen estar saturadas, por lo que deberemos ajustar lo máximo posible la altura mínima de LOS.
- Problemas con la propiedad. Debido a esto, también puede que nos veamos forzados a disminuir el número de radioenlaces en un emplazamiento.

Infraestructuras de los emplazamientos objeto de estudio:

- POC:



Figura 30. Foto emplazamiento POC.

- N01:





Figura 31. Fotos emplazamiento N01.

- N02:



Figura 32. Fotos emplazamiento N02.

- N03:



Figura 33. Fotos emplazamiento N03.

- N04:



Figura 34. Fotos emplazamiento N04.

- N05:



Figura 35. Foto emplazamiento N05.

- N06:



Figura 36. Fotos emplazamiento N06.

- N07:



Figura 37. Foto emplazamiento N07.

- N08:



**Figura 38. Foto emplazamiento N08.**

- N09:



**Figura 39. Foto emplazamiento N09.**

- N10:



Figura 40. Foto emplazamiento N10.

- N11:



Figura 41. Fotos emplazamiento N11.

- N12:



**Figura 42. Foto emplazamiento N12.**

- N13:



**Figura 43. Foto emplazamiento N13.**

- N14:



Figura 44. Fotos emplazamiento N14.

Una vez revisadas las infraestructuras de cada emplazamiento, el equipo de diseño radio realizará un nuevo dimensionamiento de la capacidad en función de la saturación de tráfico a la que está sometido cada uno de los emplazamientos. El objetivo del dimensionamiento es conseguir un equilibrio entre la calidad y el número de radiocanales disponibles. Este dimensionamiento se realiza con una previsión de 4 años vista con el fin de que no se nos quede escaso en un periodo corto de tiempo. En la tabla 10 se muestra la previsión de capacidad para los sites en estudio.

SITE	Tecnología Futura	Capacidad Futura (Mbps)
POC	REPETIDOR	0
N01	2G/3G	21,663
N02	2G/3G	54,513
N03	2G/3G	25,763
N04	2G/3G	25,55
N05	REPETIDOR	0
N06	2G/3G	39,091
N07	2G	1,000
N08	2G/3G	47,885
N09	2G/3G	33,873
N10	2G/3G	23,366
N11	2G/3G	23,754
N12	2G/3G	42,629
N13	2G/3G	19,721
N14	2G/3G	23,441

Tabla 10. Capacidad futura de los sites.

Estas nuevas capacidades habrá que tenerlas en cuenta a la hora de crear los nuevos anillos. Debemos evitar radioenlaces de alta capacidad, ya que son más complicados de diseñar y más vulnerables a pérdidas de servicio debido a la climatología.

## 14.2. Solución propuesta

La solución propuesta está basada en la utilización de anillos y cadenas, según criterios de diseño del operador, y teniendo en cuenta diversos factores tales como la orografía del terreno, infraestructuras de los emplazamientos, comparticiones con otras operadoras, problemas con la propiedad.

La topología en anillo ofrece redundancia de caminos por los que puede ir la información, podemos transmitir en ambos sentidos del anillo sin necesidad de duplicar el hardware, con configuración simple 1+0, reduciendo considerablemente el coste.

En los casos donde no sea posible la topología en anillo, utilizaremos la topología en cadena, los enlaces intermedios de las cadenas duplican el hardware (configuración 1+1), para evitar en caso de fallo un corte en el servicio.

Los criterios establecidos por el operador para el diseño de la topología son los siguientes:

- Número máximo de nodos en anillo: 8.
- Número máximo de nodos en topología completa (anillo + espurios): 10.
- Número máximo de nodos en cadena: 3.

En todos estos casos se excluye de la cuenta el site POC.

Recomendaciones para el diseño de la topología:

- Los anillos deben salir del POC con azimuts separados. Esto impide en caso de lluvia que el anillo quede inutilizado, si no se puede transmitir en un sentido se hará por el otro.
- Evitar vanos en paralelo, así disminuirémos las interferencias.
- No utilizar un mismo site en más de un anillo.
- Poner a final de cadena, los emplazamientos cuyo funcionamiento depende en exclusiva de un grupo electrógeno. Un grupo electrógeno está compuesto por un motor diesel, de gas o de gasolina y por un alternador, cuyo montaje permite producir energía eléctrica. Los grupos electrógenos se utilizan principalmente en aplicaciones denominadas "de emergencia", para paliar los problemas de los cortes de corriente. Aunque también se utilizan en lugares aislados.
- Los sites con equipos Micro no podrán meterse en un anillo.
- Los sites de otros operadores, podrán meterse en anillo dependiendo del operador y condiciones de arrendamiento.
- Procurar que los sites pertenecientes a los anillos sean indoor.
- Intentar aprovechar los vanos Legacy, ya existentes.

### 14.2.1. Diseño de la Topología

Intentaremos optimizar la topología utilizando anillos, para obtener redundancia de la manera más económica. Así mismo, procuraremos reutilizar los vanos Legacy en la medida de lo posible.

#### Topología N01-N07:

La topología actual de los sites N01-N07 es la que se muestra en la Figura 45:

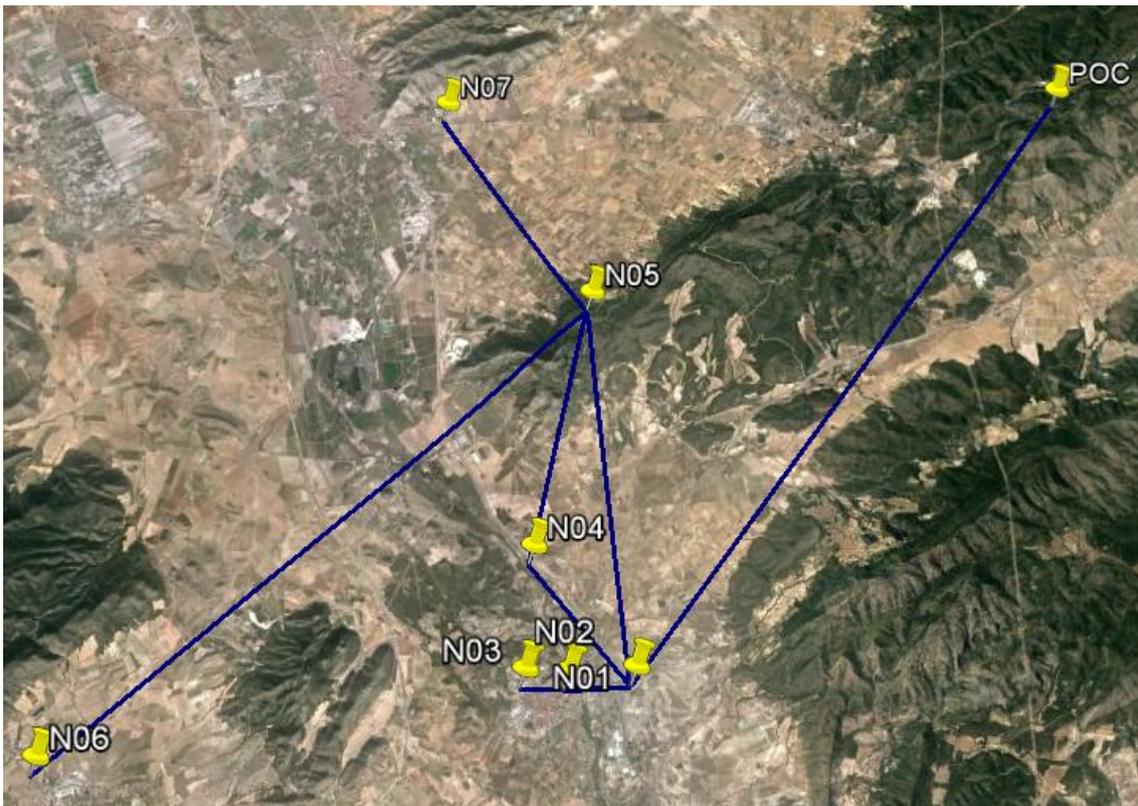


Figura 45. Topología actual de los sites N01-N07.

Como muestra la figura, la topología actual es una combinación entre una topología en árbol y un anillo formado por 3 sites, N01, N04 y N05. Esta estructura es muy inestable, si dejase de funcionar el radioenlace que une el POC con N01, quedarían todos sin servicio.

Se propone para cerrar el anillo, línea de vista entre POC y N05. Se comprueba teóricamente su viabilidad mediante IQLink o Google Earth, con todo es necesario confirmar en campo su resultado, ya que en las simulaciones teóricas no se tienen en cuenta ciertos obstáculos como árboles o edificios. Desaparecería el radioenlace entre N01-N05, así el número de radioenlaces en N05 sería el mismo, teniendo en cuenta que N05 pertenece a otro operador (Abertis), es aconsejable dejar el mismo número de radioenlaces

o disminuirlo si fuese posible. La topología final, sería un anillo formado por tres sites y cuatro espurios, tal y como muestra la Figura 46:

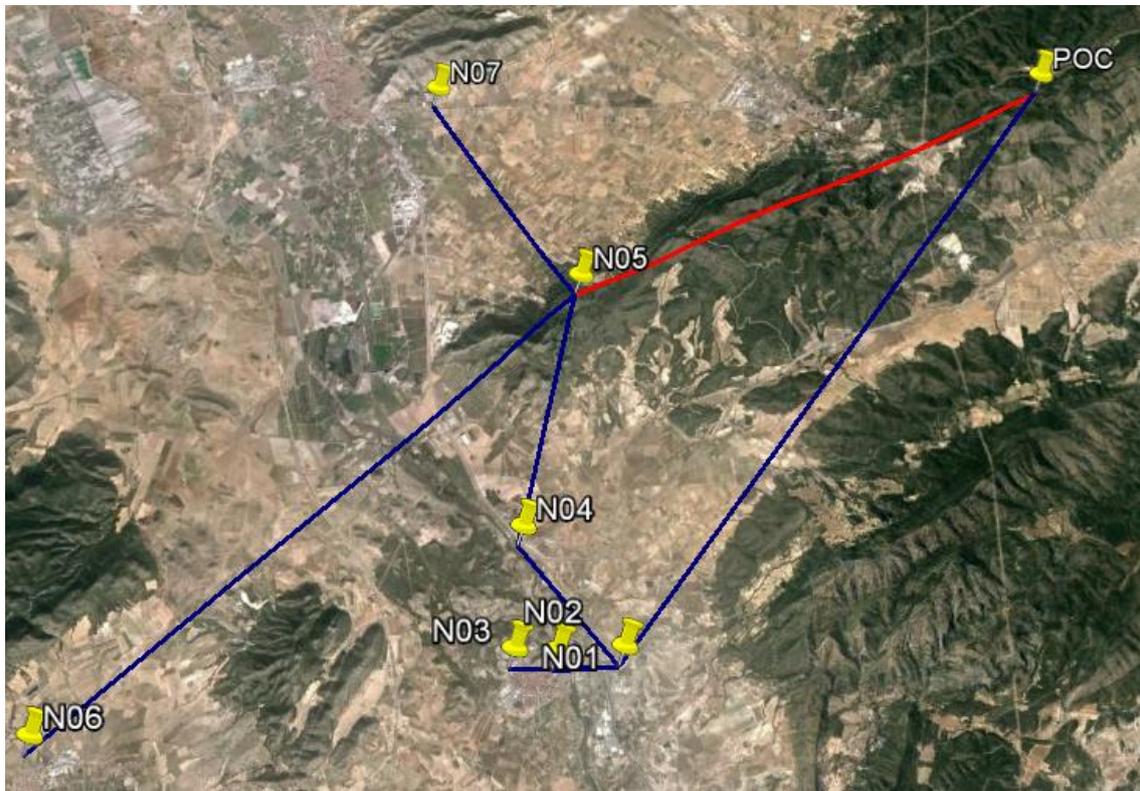


Figura 46. Topología propuesta de los sites N01-N07.

Otro posible candidato topológicamente hablando para cerrar el anillo, hubiese sido N07, pero al ser una Micro, no podemos meter este site en el anillo.

### Topología N08-N11:

La topología actual de los sites N08-N11 es la siguiente, mostrada en la Figura 47:



Figura 47. Topología actual de los sites N08-N11.

La topología actual es una topología en árbol.

Se proponen dos líneas de vista:

- Del POC al site N08. Cerramos el anillo con este site para que los dos brazos del anillo salgan con azimuts separados.
- Del site N08 al site N09. Para que no haya cruce de radioenlaces, desaparecería el radioenlace que une N09 con N11. N09 quedaría como espurio, colgando de N08. Al ser una distancia mucho menor, podría disminuir el diámetro de las parábolas.

La topología final quedaría como un anillo con un espurio, mostrada en la Figura 48.

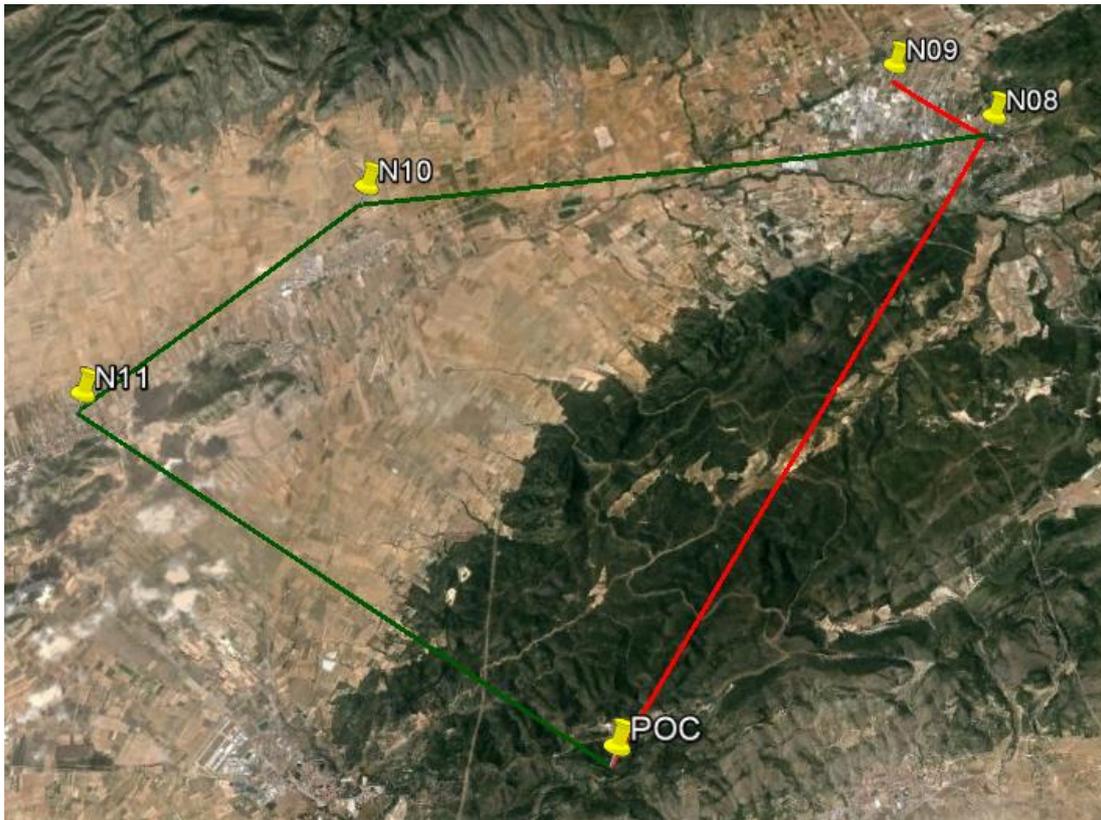


Figura 48. Topología propuesta de los sites N08-N11.

#### Topología N12-N14:

La topología actual de N12-N14 es la que se muestra en la Figura 49:

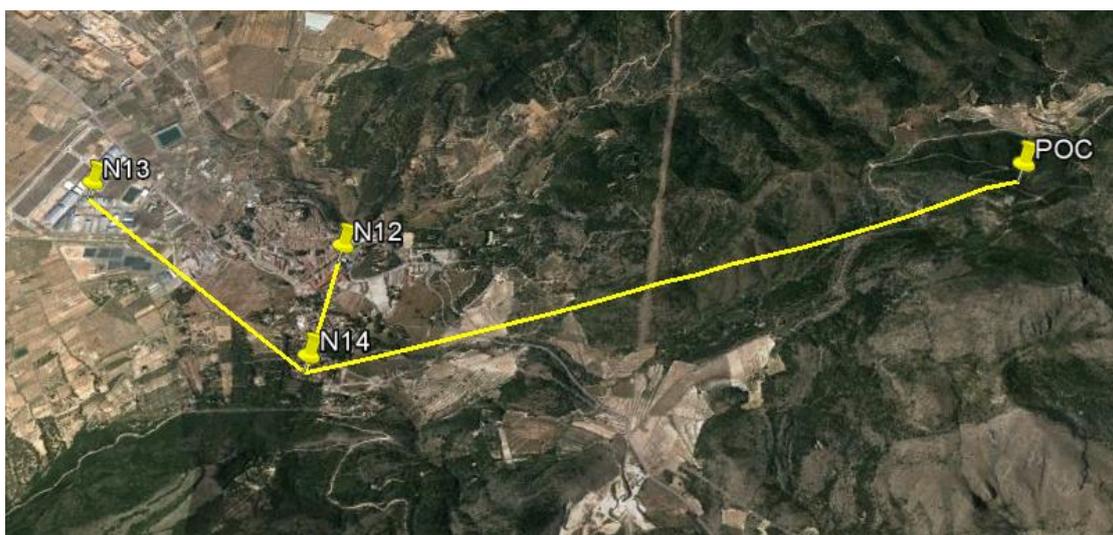


Figura 49. Topología actual de los sites N12-N14.

La topología actual es una topología en árbol. Para poder crear un anillo, se proponen dos líneas de vista: POC-N12 y N12-N13. Así daremos robustez y redundancia la estructura. Desaparecería el radioenlace entre N12 y N14.

La situación final sería la mostrada en la Figura 50:



**Figura 50. Topología propuesta de los sites N12-N14.**

Con estas modificaciones, la propuesta de diseño nos queda como se indica en los siguientes gráficos, Figuras 51 y 52:

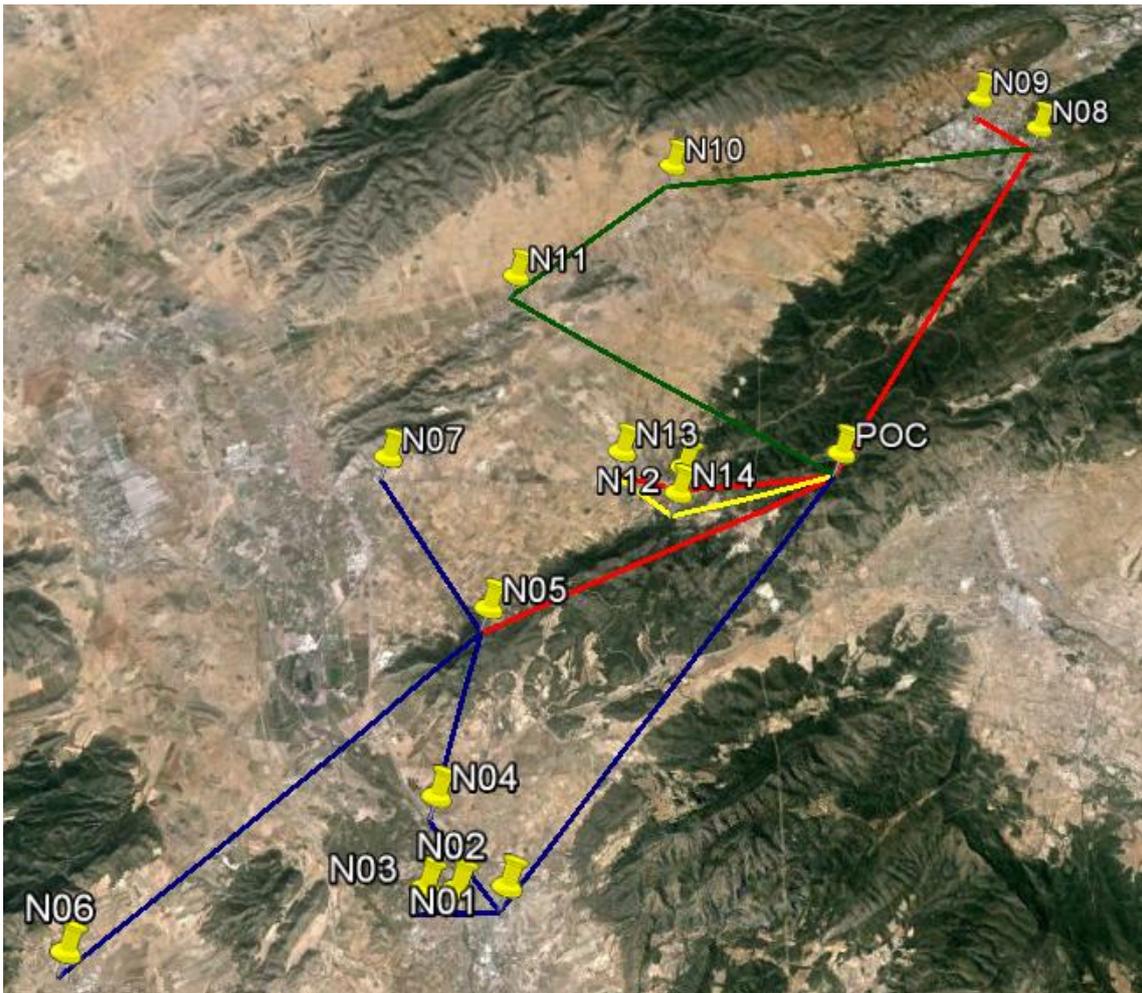


Figura 51. Topología propuesta (Google Earth).

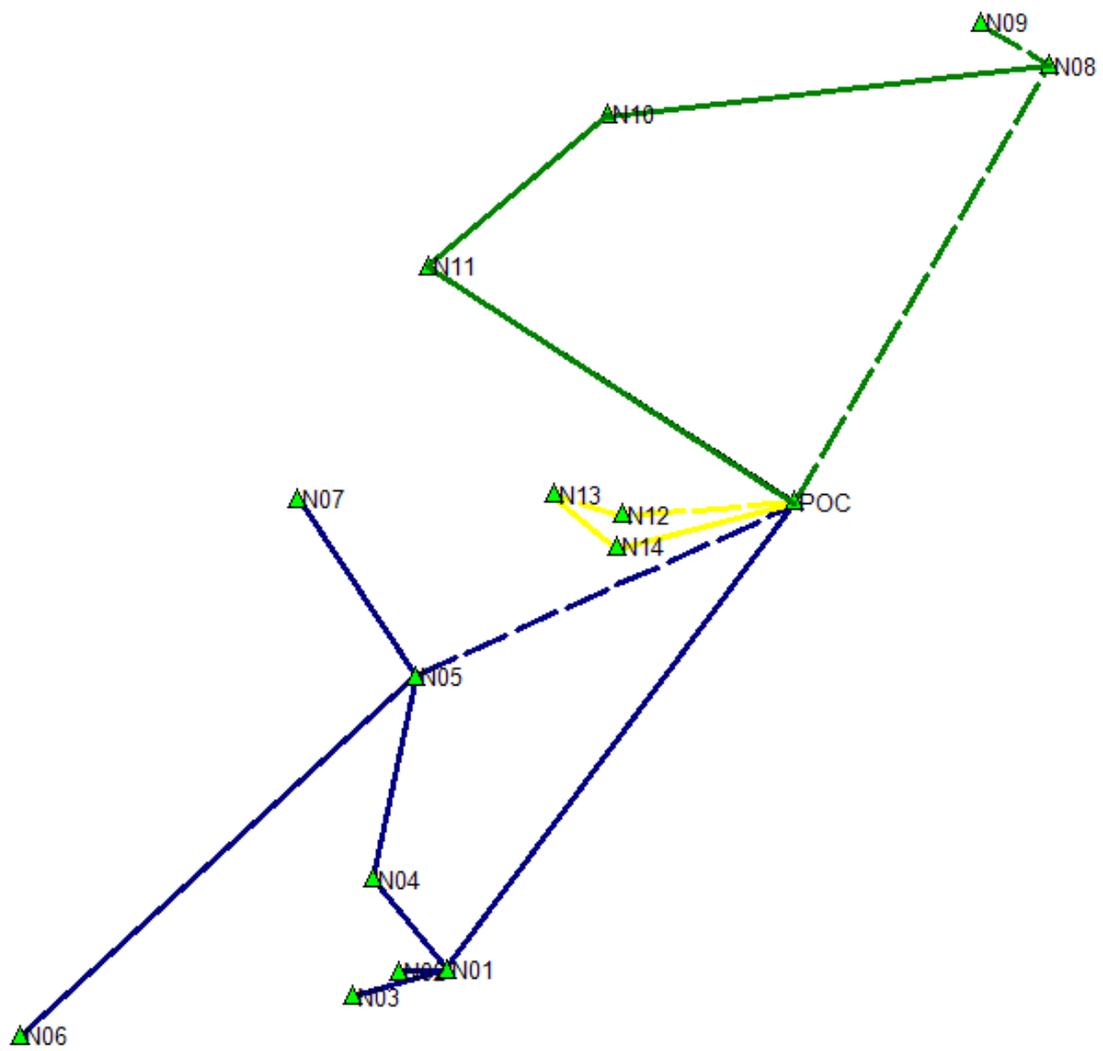


Figura 52. Topología propuesta (MapInfo).

Por último dimensionamos los anillos mediante los datos de tráfico anteriormente vistos. El procedimiento para ello consiste en sumar todas las capacidades de cada uno de los sites en el anillo para luego dividirlo entre dos. Esto es debido a que realmente el anillo se va a comportar como dos grandes cadenas, manteniendo el radioenlace marcado por una elipse roja apagado. Solo se encendería en caso de fallo de alguno de los radioenlaces que forman el anillo, de esta manera tenemos la protección. El diagrama de la Figura 53 muestra la topología propuesta con las capacidades de los anillos calculadas.

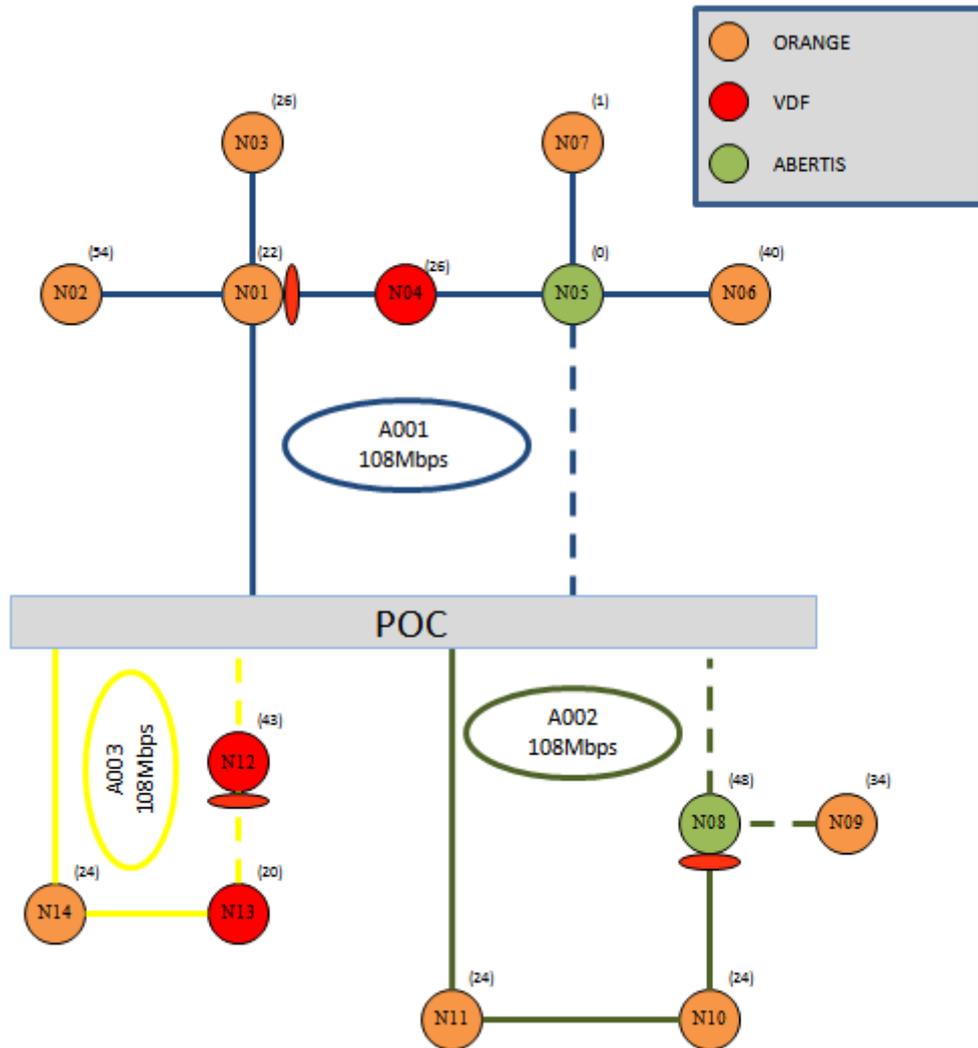


Figura 53. Diagrama topología propuesta, calculada la capacidad de cada anillo.

### 14.2.2. Líneas de Vista

A continuación en la Tabla 11 se muestran los resultados comprobados en campo de las líneas de vista propuestas. Una pareja de técnicos se desplazará, y comprobará si hay visibilidad con el extremo opuesto desde cada uno de los sites, también tendrán que indicar la altura mínima para la que hay visibilidad.

LOS LINK ID	ANILLO	Extremo Origen	Extremo Destino	Spur/Ring	LOS Result
LOS 1	AZUL	N05	POC	RING	OK
LOS 2	VERDE	N08	N09	SPUR	OK
LOS 3	VERDE	N08	POC	RING	OK
LOS 4	AMARILLO	N12	N13	RING	OK
LOS 5	AMARILLO	N12	POC	RING	OK

Tabla 11. Resultados de las LOSes.

- LOS 1: N05 - POC.

Datos:

- Azimut N05 - POC: 65.13 Deg.
- Azimut POC - N05: 245.13 Deg.
- Distancia: 9.249 Km.
- Perfil según IQLink y Google Earth, Figura 54:



Figura 54. Perfil teórico LOS 1.

- Fotos.

Vista desde N05 hacia POC, Figura 55:



Figura 55. Foto de vista desde N05 hacia POC.

Vista desde POC hacia N05, Figura 56:



Figura 56. Foto de vista desde POC hacia N05.

- Resultado: LOS OK.
- Alturas mínimas de LOS:

Extremo Origen (N05): 17 m.

Extremo Destino (POC): 8 m.

- LOS 2: N08 – N09.

Datos:

- Azimut N08 – N09: 302.47 Deg.
- Azimut N09 – N08: 122.47 Deg.
- Distancia: 1.781 Km.
- Perfil según IQLink y Google Earth, Figura 57:

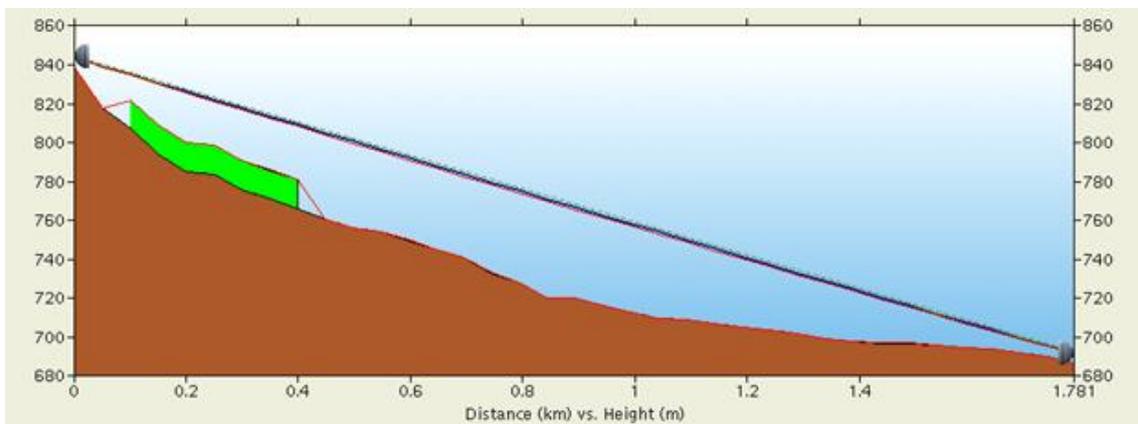


Figura 57. Perfil teórico LOS 2.

- Fotos.

Vista desde N08 hacia N09, Figura 58:



Figura 58. Foto de vista desde N08 hacia N09.

Vista desde N09 hacia N08, Figura 59:



Figura 59. Foto de vista desde N09 hacia N08.

- Resultado: LOS OK.
- Alturas mínimas de LOS:

Extremo Origen (N08): 7 m.

Extremo Destino (N09): 11 m.

- LOS 3: N08 - POC.

Datos:

- Azimut N08 - POC: 210.13 Deg.
- Azimut POC - N08: 30.13 Deg.
- Distancia: 11.227 Km.
- Perfil según IQLink y Google Earth, Figura 60:

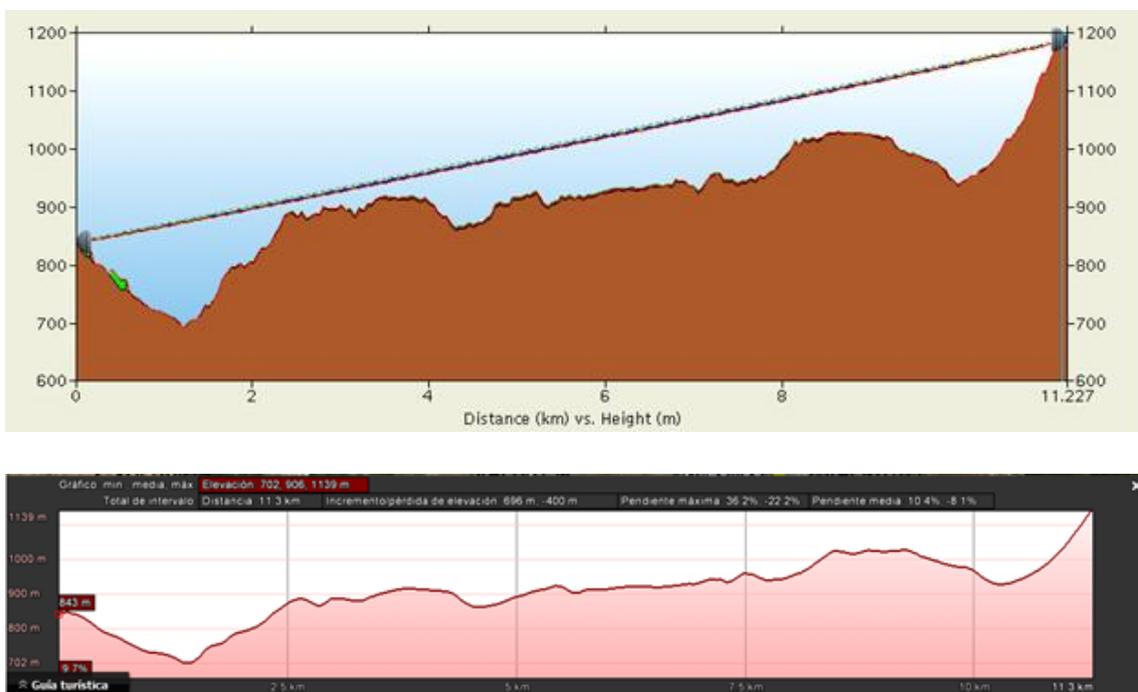
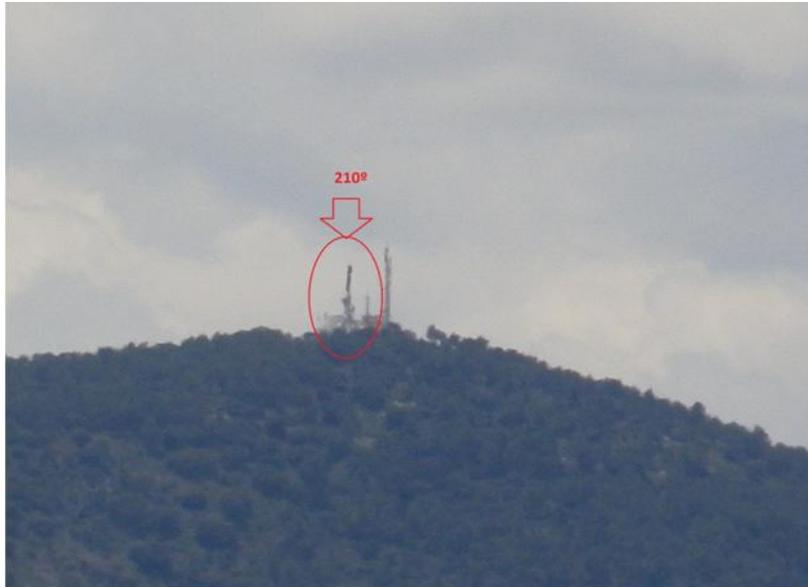


Figura 60. Perfil teórico LOS 3.

- Fotos.

Vista desde N08 hacia POC, Figura 61:



**Figura 61. Foto de vista desde N08 hacia POC.**

Vista desde POC hacia N08, Figura 62:



**Figura 62. Foto de vista desde POC hacia N08.**

- Resultado: LOS OK.
- Alturas mínimas de LOS:

Extremo Origen (N08): 15 m.

Extremo Destino (POC): 15 m.

- LOS 4: N12 – N13.

Datos:

- Azimut N12 – N13: 286.68 Deg.
- Azimut N13 – N12: 106.66 Deg.
- Distancia: 1.586 Km.
- Perfil según IQLink y Google Earth, Figura 63:

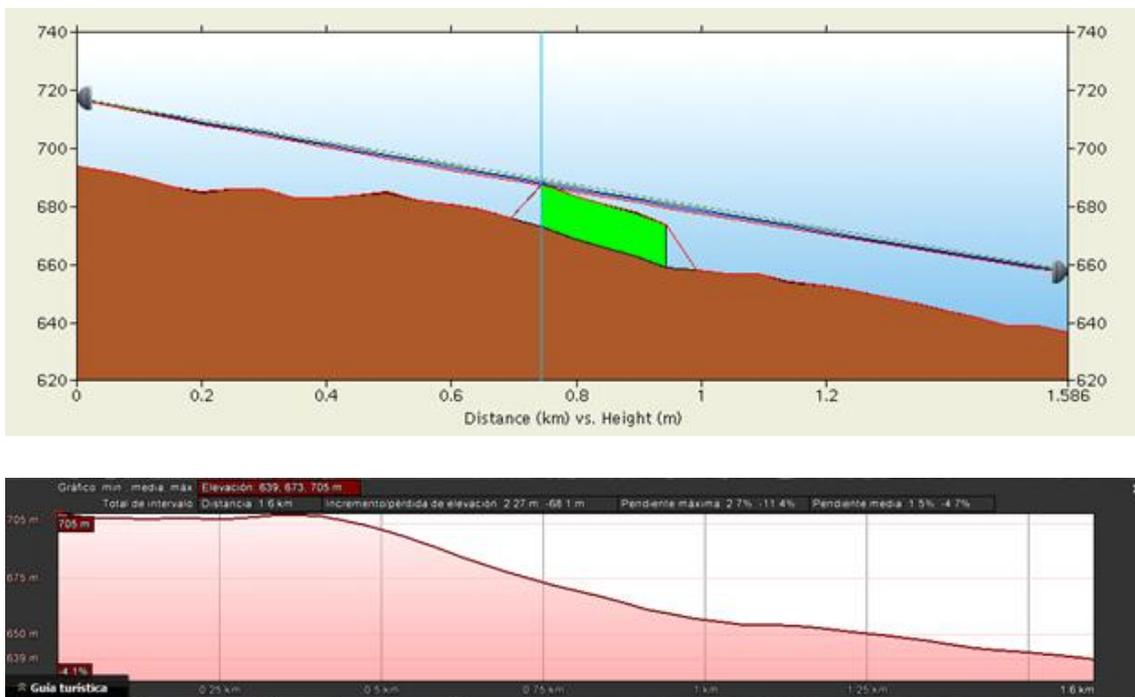


Figura 63. Perfil teórico LOS 4.

- Fotos.

Vista desde N12 hacia N13, Figura 64:



Figura 64. Foto de vista desde N12 hacia N13.

Vista desde N13 hacia N12, Figura 65:



Figura 65. Foto de vista desde N13 hacia N12.

- Resultado: LOS OK.
- Alturas mínimas de LOS:

Extremo Origen (N12): 2 m (sobre mástil).

Extremo Destino (N13): 23 m.

- LOS 5: N12 - POC.

Datos:

- Azimut N12 - POC: 85.82 Deg.
- Azimut POC N12: 265.82 Deg.
- Distancia: 3.817 Km.
- Perfil según IQLink y Google Earth, Figura 66:

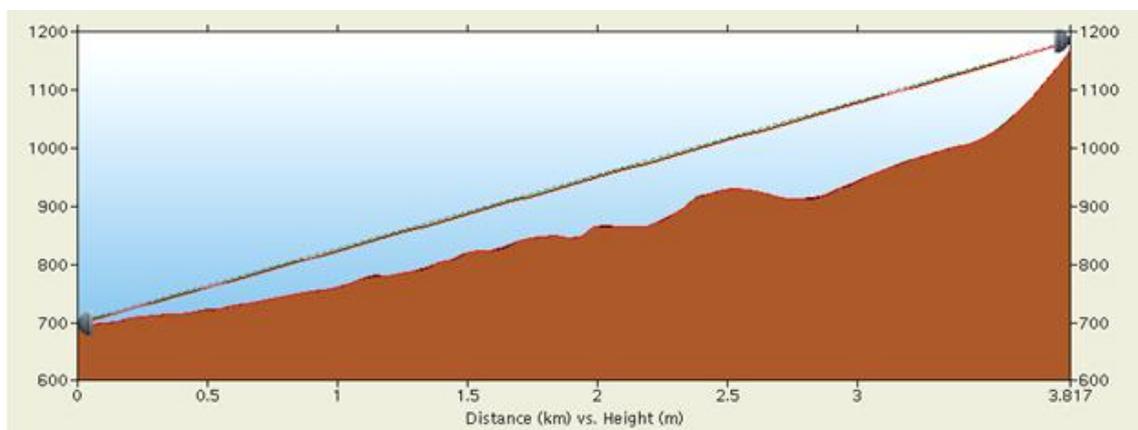


Figura 66. Perfil teórico LOS 5.

- Fotos.

Vista desde N12 hacia POC, Figura 67:



Figura 67. Foto de vista desde N12 hacia POC.

Vista desde POC hacia N12, Figura 68:



Figura 68. Foto de vista desde POC hacia N12.

- Resultado: LOS OK.
- Alturas mínimas de LOS:

Extremo Origen (N12): 3 m (sobre mástil).

Extremo Destino (POC): 9 m.

### 14.2.3. Diseño de los radioenlaces

Como todas las líneas de vista han sido positivas, podemos continuar con la siguiente fase del diseño. Si alguna hubiese tenido resultado negativo, tendríamos que rediseñar los anillos afectados y realizar una nueva propuesta.

Realizaremos el diseño de los radioenlaces mediante la herramienta vista en anteriores apartados, IQLink. Asignaremos un código a cada uno de los radioenlaces, mostrados en la Figura 69:

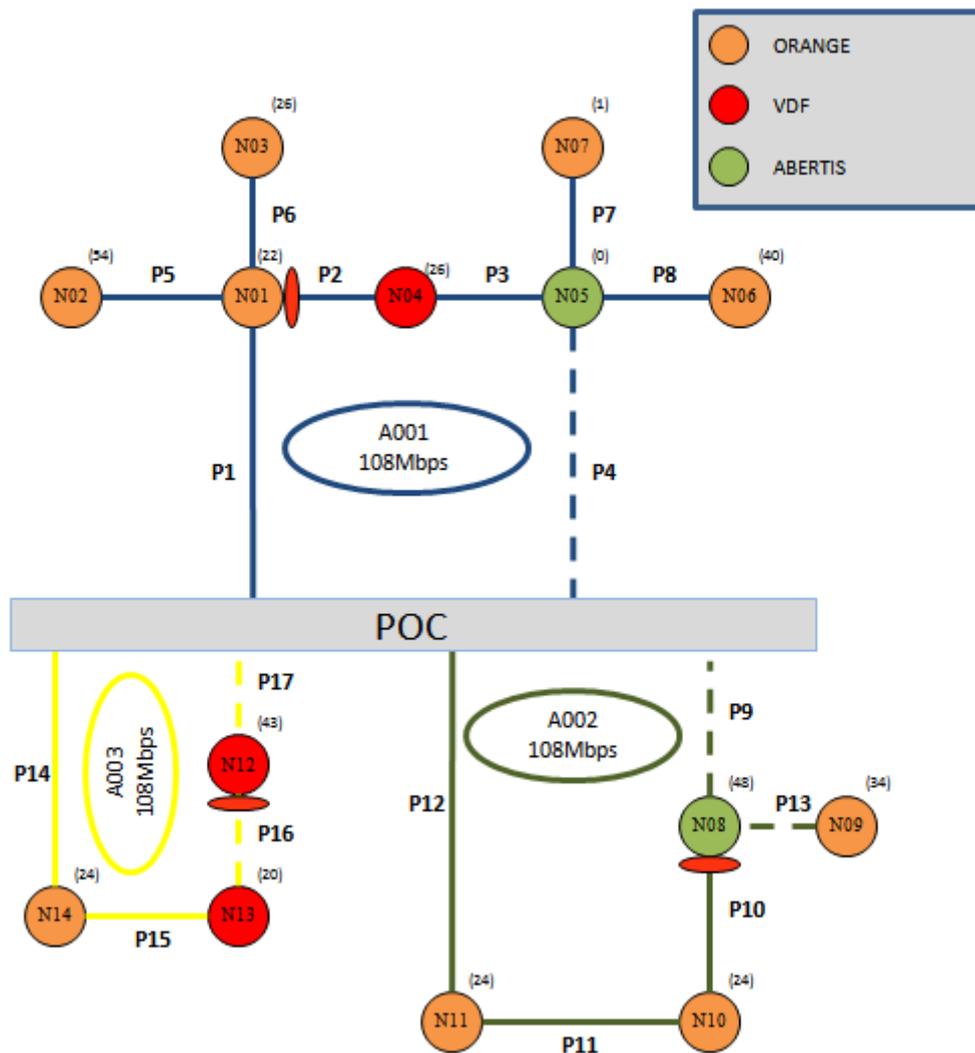


Figura 69. Diagrama topología propuesta con los códigos de los radioenlaces.

Los parámetros a configurar en el diseño de los radioenlaces son los siguientes:

- Banda de frecuencias: Para elegir la banda de frecuencias deseadas tendremos en cuenta tanto la longitud del radioenlace como lo cargado que esté el espectro en la zona de estudio para evitar interferencias. De forma aproximada, la elección de la banda de frecuencias según la longitud del radioenlace sería la siguiente:
  - Banda 38 GHz: de 3 a 5 Km.
  - Banda 26 GHz: de 6 a 9 Km.
  - Banda 18 GHz: de 10 a 16 Km.
  - Banda 13 GHz: de 16 a 30 Km.
- Diámetro de las antenas: Los diámetros de antenas más utilizados son, 0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.2m y 1.8m. En las azoteas, no se permitirán antenas con diámetros superiores a 0.6m. La elección del diámetro de las antenas, va unida a la longitud del radioenlace, a mayor distancia, necesitaremos transmitir mayor potencia y esto redundará en diámetros de antena mayores.
- La señal recibida en el receptor debe estar entre -35 dBm y -50 dBm para asegurar la calidad e integridad de la misma, así como del resto de radioenlaces con los que comparte espectro. Una señal recibida demasiado alta, podría crear interferencias a otros radioenlaces.
- El margen de fading (diferencia entre la potencia recibida y el umbral en el que se corta la comunicación) debe ser superior a 15 dB dentro de las bandas de frecuencias: 38 GHz y 26 GHz, y superior a 23 dB para las bandas: 18 GHz y 13 GHz.
- En algunos casos, podemos encontrarnos con un diseño en el que no cumplimos con el margen de fading, en estos casos, habrá que aumentar el diámetro de las antenas. En ocasiones, basta con cambiar el tamaño de la parábola en uno de los extremos del radioenlace.
- La disponibilidad (el tiempo que el radioenlace está activo y funcionando) debe ser superior al 99.995 % anual. Este parámetro depende de factores ambientales/meteorológicos y se estima utilizando modelos de lluvia acordes con la región en donde se quiere instalar el radioenlace. Para el caso de Alicante el factor de lluvia es 50mm/hr.
- Elección del canal. El ancho de banda del que disponen los operadores en cada banda de frecuencias se subdivide en canales dúplex compuestos por dos frecuencias portadoras (la de frecuencia baja se le llama Low y a la alta High). Existe la posibilidad de que esos canales tengan anchos de banda diferentes según se requiera que la capacidad del radioenlace sea mayor o menor. En la práctica los canales están predefinidos dentro del operador, por lo que a la hora del diseño sólo hay que escoger uno para el radioenlace, en función de si queremos más o menos capacidad a través del mismo. También hay que tener en cuenta que los canales más anchos saturan y limitan el uso del espectro en la zona.

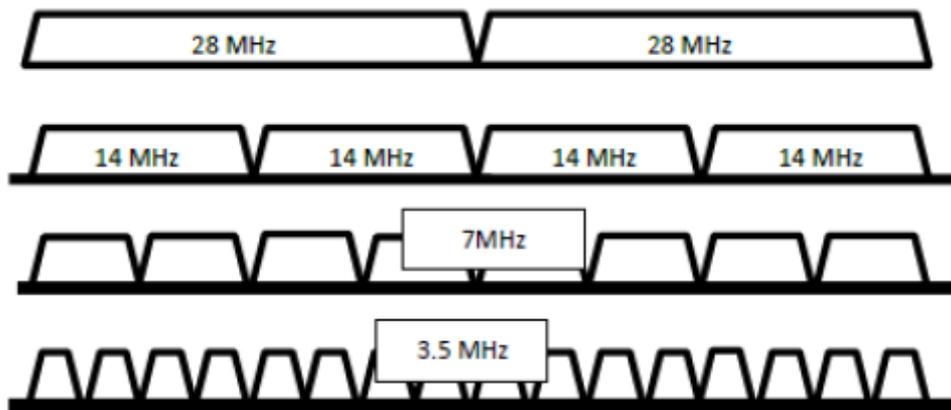


Figura 70. Ancho de banda dividido en canales con diferentes anchos de banda [1].

Observando la Figura 70 vemos que si por ejemplo se escoge un canal de 28 MHz en una determinada banda, se limitará el uso en la zona de todos los canales de la banda (menores de 28 MHz) con los que se solapa, pues las interferencias serían destructivas. Este es uno de los motivos por los que es fundamental elegir con cuidado los canales asignados a cada radioenlace, así como apagarlos en el momento en que dejan de usarse para llevar tráfico, liberando el espectro utilizado con el fin de no producir interferencias innecesarias en otros.

- Una vez elegido el ancho de banda del canal debemos de elegir la modulación en función de la capacidad a la que queramos diseñar el radioenlace. En nuestro caso, para el ancho de banda de 28 MHz están disponibles las siguientes capacidades:
  - QPSK 42 Mbps
  - 16QAM 84 Mbps
  - 32QAM 108 Mbps
  - 64QAM 133 Mbps
  - 128 QAM 157 Mbps
  - 256 QAM 183 Mbps
- La polarización será por defecto horizontal, dejando la vertical para los casos en los que no se cumpla la disponibilidad por lluvia, ya que esta degradación le afecta menos.
- Configuración 1+0/1+1. En nuestro caso todos los radioenlaces serán 1+0, ya que no existen estructuras en árbol o en cadena que necesiten esta protección.
- Una vez se han definido los parámetros principales se ha de realizar el cálculo de interferencias con otros radioenlaces que ya estén en funcionamiento y que son susceptibles a ser interferidos o interferir al que estamos diseñando. Debemos asegurarnos de que el nuevo radioenlace no interfiera con ningún otro, al menos de

forma crítica (se permite un factor de degradación de 1 dB, para las bandas de frecuencias de 38 y 26 GHz, y de 3 dB para 18 y 13 GHz).

En la Tabla 12 se muestra el listado de los radioenlaces diseñados.

Link Id	Link Type	Site ID A	Grnd Elev A	Lon A	Lat A	Plan Frec. A	Frecuencia A	Pol. A	Modelo de Ant. A	Diámetro Antena A (m)	Ganancia A (dBi)	Altura Antena A	Capacidad A	Modelo Radio A
P1	R	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	H	13171.0	H	VHLP2-130	0.6	35.8	15.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P2	R	N01	471.0	0 48 23.0 W	38 32 14.0 N	L	24984.0	H	VHLP1-240	0.3	36.0	10.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P3	R	N04	494.0	0 49 31.9 W	38 33 19.1 N	H	25992.0	V	VHLP2-240	0.6	41.1	20	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P4	R	N05	868.0	0 48 52.0 W	38 35 45.0 N	H	19136.25	V	VHLP3-18-HW1	0.9	43.5	34	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P5	R	N01	471.0	0 48 23.0 W	38 32 14.0 N	L	37800.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	10.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P6	R	N01	471.0	0 48 23.0 W	38 32 14.0 N	L	37828.0	V	VHLP1-370	0.3	39.7	15.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P7	R	N05	868.0	0 48 52.0 W	38 35 45.0 N	L	24984.0	V	VHLP3-26-HW1	0.9	45.8	10.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P8	R	N05	868.0	0 48 52.0 W	38 35 45.0 N	L	12877.0	H	VHLP2-130	0.6	35.8	15.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P9	R	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	H	13143.0	H	VHLP2-130	0.6	35.8	20.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P10	R	N08	839.0	0 39 12.0 W	38 43 6.0 N	H	19136.25	V	VHLP3-18-HW1	0.9	43.5	25.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P11	R	N10	617.0	0 45 55.7 W	38 42 30.6 N	L	18153.75	H	VHLP1-180	0.3	34.0	20.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P12	R	N11	555.0	0 48 40.0 W	38 40 41.0 N	H	19163.75	V	VHLP3-18-HW1	0.9	43.5	27.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P13	R	N08	839.0	0 39 12.0 W	38 43 6.0 N	H	39060.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	7.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P14	R	N14	772.0	0 45 48.0 W	38 37 19.0 N	L	25012.0	V	VHLP1-240	0.3	36.0	25.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P15	R	N13	637.0	0 46 45.2 W	38 37 56.8 N	H	39088.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	10.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P16	R	N12	694.0	0 45 42.4 W	38 37 42.0 N	L	37800.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	23.5	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P17	R	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	H	26285.0	V	VHLP2-240	0.6	41.1	9.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2

Link Id	Radio Conf. A	Site ID B	Grnd Elev B	Lon B	Lat B	Plan Frec. B	Frecuencia B	Pol. B	Modelo de Antena B	Diámetro Antena B (m)	Ganancia Antena B (dBi)	Altura Antena B	Capacidad B	Modelo Radio B
P1	1+0	N01	471.0	0 48 23.0 W	38 32 14.0 N	L	12905.0	H	VHLP2-130	0.6	35.8	15.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P2	1+0	N04	494.0	0 49 31.9 W	38 33 19.1 N	H	25992.0	H	VHLP1-240	0.3	36.0	10.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P3	1+0	N05	868.0	0 48 52.0 W	38 35 45.0 N	L	24984.0	V	VHLP2-240	0.6	41.1	39	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P4	1+0	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	L	18126.25	V	VHLP2-180	0.6	38.7	8.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P5	1+0	N02	472.0	0 49 8.0 W	38 32 12.0 N	H	39060.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	16.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P6	1+0	N03	496.0	0 49 32.6 W	38 32 11.3 N	H	39088.0	V	VHLP1-370	0.3	39.7	15.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P7	1+0	N07	510.0	0 50 40.5 W	38 37 53.3 N	H	25992.0	V	VHLP2-240	0.6	41.1	10.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P8	1+0	N06	516.0	0 54 54.0 W	38 31 26.0 N	H	13143.0	H	VHLP3-13-HW1	0.9	40.0	10.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P9	1+0	N08	839.0	0 39 12.0 W	38 43 6.0 N	L	12877.0	H	VHLP2-130	0.6	35.8	15.0	108	RTN 900_13G28M_ISU2_XMC2
P10	1+0	N10	617.0	0 45 55.7 W	38 42 30.6 N	L	18126.25	V	VHLP3-18-HW1	0.9	43.5	25.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P11	1+0	N11	555.0	0 48 40.0 W	38 40 41.0 N	H	19163.75	H	VHLP1-180	0.3	34.0	20.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P12	1+0	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	L	18153.75	V	VHLP2-180	0.6	38.7	27.0	108	RTN 900_18G28M_ISU2_XMC2
P13	1+0	N09	687.0	0 40 14.2 W	38 43 37.0 N	L	37800.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	11.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P14	1+0	POC	1169.0	0 43 5.0 W	38 37 51.0 N	H	26020.0	V	VHLP2-240	0.6	41.1	20.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2
P15	1+0	N14	772.0	0 45 48.0 W	38 37 19.0 N	L	37828.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	20.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P16	1+0	N13	637.0	0 46 45.2 W	38 37 56.8 N	H	39060.0	H	VHLP1-370	0.3	39.7	23.0	108	RTN 900_38G28M_ISU2_XMC2
P17	1+0	N12	694.0	0 45 42.4 W	38 37 42.0 N	L	25277.0	V	VHLP1-240	0.3	36.0	15.0	108	RTN 900_26G28M_ISU2_XMC2

Link Id	Radio Conf. B	Banda	Disponibilidad (%)	Rain Zone	Longitud del vano
P1	1+0	13.0	99.995.786	ITU-R 50.00 mm/hr	12.93
P2	1+0	26.0	99.997.534	ITU-R 50.00 mm/hr	2.61
P3	1+0	26.0	99.996.879	ITU-R 50.00 mm/hr	4.6
P4	1+0	18.0	99.996.957	ITU-R 50.00 mm/hr	9.25
P5	1+0	38.0	99.999.010	ITU-R 50.00 mm/hr	1.09
P6	1+0	38.0	99.997.891	ITU-R 50.00 mm/hr	1.69
P7	1+0	26.0	99.997.005	ITU-R 50.00 mm/hr	4.75
P8	1+0	13.0	99.997.541	ITU-R 50.00 mm/hr	11.86
P9	1+0	13.0	99.997.147	ITU-R 50.00 mm/hr	11.23
P10	1+0	18.0	99.996.813	ITU-R 50.00 mm/hr	9.81
P11	1+0	18.0	99.995.704	ITU-R 50.00 mm/hr	5.21
P12	1+0	18.0	99.996.584	ITU-R 50.00 mm/hr	9.65
P13	1+0	38.0	99.996.116	ITU-R 50.00 mm/hr	1.78
P14	1+0	26.0	99.996.398	ITU-R 50.00 mm/hr	4.06
P15	1+0	38.0	99.995.899	ITU-R 50.00 mm/hr	1.81
P16	1+0	38.0	99.996.866	ITU-R 50.00 mm/hr	1.59
P17	1+0	26.0	99.996.445	ITU-R 50.00 mm/hr	3.82

Tabla 12. Listado de radioenlaces.

## CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En la realización del presente proyecto fin de carrera se definieron distintos objetivos claramente diferenciados.

En primer lugar se describieron los sistemas de comunicaciones GSM, UMTS y LTE presentes hoy en día en las redes de telefonía móvil. Se continuó con una descripción detallada del proceso de planificación y optimización de una red de transmisión. En este punto se incluyeron con detalle las diferentes jerarquías de transmisión, así como la explicación de los procedimientos de líneas de vista y diseños de radioenlaces. Por último, se ha presentado el escenario del proyecto y sobre él se han implementado los conocimientos adquiridos a lo largo del desempeño de mis labores como ingeniera de diseño.

En definitiva, se han propuesto distintas posibilidades de mejora y ampliación de la red de transmisión legacy, atendiendo a unos criterios de diseño y de carácter económico.

Como posibles líneas futuras de este proyecto, la más inmediata es extender el procedimiento al resto de la Comunidad Valenciana, realizando un diseño de mayor envergadura al contar con mayor número de sites, de radioenlaces y de elementos concentradores. También podríamos añadir, la tecnología LTE a este diseño, que como comentábamos al inicio, sólo incorpora 2G y 3G, se añadirían los equipos capaces de soportar esta tecnología, en muchos casos con añadir nuevas tarjetas sería suficiente, y se diseñarían los radioenlaces en la banda de frecuencias de LTE. Otra ampliación propuesta sería la de estudiar también la parte correspondiente a la agregación, es decir, la transmisión que existe entre diversos elementos concentradores (nuestro ejemplo consistía en optimizar solo la parte de acceso). En este caso deberíamos tener en cuenta que esta transmisión soportaría una gran cantidad de tráfico, lo cual implicaría una mayor dificultad a la hora de diseñar radioenlaces de microondas. Por eso deberíamos considerar la posibilidad de utilizar cableado en vez de enlaces microondas si existe.

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Arquitectura GSM.....	12
Figura 2. Esquema de red UMTS. ....	19
Figura 3. Comparativa acceso usuarios GSM y UMTS. ....	21
Figura 4. Arquitectura LTE. ....	26
Figura 5. Topología de la red de transmisión. ....	31
Figura 6. Modulación Adaptativa. ....	37
Figura 7. Tipos de radioenlaces según tecnología. ....	38
Figura 8. Definición de LOS. ....	39
Figura 9. Línea de vista teórica en IQLink.....	40
Figura 10. Altura teórica de las antenas según IQLink. ....	41
Figura 11. Perfil Google Earth. ....	41
Figura 12. Foto de LOS. ....	42
Figura 13. Primera zona de Fresnel.....	43
Figura 14. Modulación FSK. ....	46
Figura 15. Modulación PSK.....	46
Figura 16. Modulación 8-QAM. ....	47
Figura 17. Esquema montaje antena, ODU e IDU. ....	48
Figura 18. Ejemplo de enlaces que necesitan protección. ....	49
Figura 19. Esquema configuración sin protección (1+0) y con protección (1+1). ....	50
Figura 20. Esquema diversidad espacial.....	51
Figura 21. Esquema diversidad de frecuencia.....	51
Figura 22. Cálculo de interferencias en IQLink.....	54
Figura 23. Evolución de las tecnologías móviles. ....	58
Figura 24. Paradigma de la evolución del mercado de las comunicaciones móviles.....	59
Figura 25. Relación del coste de la red con el volumen de tráfico. ....	59
Figura 26. Proceso de migración. ....	60
Figura 27. Equipos RTN de Huawei. ....	61
Figura 28. Topología Legacy. ....	62
Figura 29. Diagrama topología Legacy. ....	63
Figura 30. Foto emplazamiento POC.....	65
Figura 31. Fotos emplazamiento N01. ....	66
Figura 32. Fotos emplazamiento N02. ....	66
Figura 33. Fotos emplazamiento N03. ....	67
Figura 34. Fotos emplazamiento N04. ....	67
Figura 35. Foto emplazamiento N05.....	68
Figura 36. Fotos emplazamiento N06. ....	68
Figura 37. Foto emplazamiento N07.....	68
Figura 38. Foto emplazamiento N08.....	69
Figura 39. Foto emplazamiento N09.....	69
Figura 40. Foto emplazamiento N10.....	70
Figura 41. Fotos emplazamiento N11. ....	70

Figura 42. Foto emplazamiento N12. ....	71
Figura 43. Foto emplazamiento N13. ....	71
Figura 44. Fotos emplazamiento N14. ....	72
Figura 45. Topología actual de los sites N01-N07. ....	74
Figura 46. Topología propuesta de los sites N01-N07. ....	75
Figura 47. Topología actual de los sites N08-N11. ....	76
Figura 48. Topología propuesta de los sites N08-N11. ....	77
Figura 49. Topología actual de los sites N12-N14. ....	77
Figura 50. Topología propuesta de los sites N12-N14. ....	78
Figura 51. Topología propuesta (Google Earth). ....	79
Figura 52. Topología propuesta (MapInfo). ....	80
Figura 53. Diagrama topología propuesta, calculada la capacidad de cada anillo. ....	81
Figura 54. Perfil teórico LOS 1. ....	82
Figura 55. Foto de vista desde N05 hacia POC. ....	83
Figura 56. Foto de vista desde POC hacia N05. ....	83
Figura 57. Perfil teórico LOS 2. ....	84
Figura 58. Foto de vista desde N08 hacia N09. ....	85
Figura 59. Foto de vista desde N09 hacia N08. ....	85
Figura 60. Perfil teórico LOS 3. ....	86
Figura 61. Foto de vista desde N08 hacia POC. ....	87
Figura 62. Foto de vista desde POC hacia N08. ....	87
Figura 63. Perfil teórico LOS 4. ....	88
Figura 64. Foto de vista desde N12 hacia N13. ....	89
Figura 65. Foto de vista desde N13 hacia N12. ....	89
Figura 66. Perfil teórico LOS 5. ....	90
Figura 67. Foto de vista desde N12 hacia POC. ....	91
Figura 68. Foto de vista desde POC hacia N12. ....	91
Figura 69. Diagrama topología propuesta con los códigos de los radioenlaces. ....	92
Figura 70. Ancho de banda dividido en canales con diferentes anchos de banda. ....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de frecuencia GSM .....	14
Tabla 2. Comparativa entre GSM y UMTS.....	20
Tabla 3. Principales parámetros LTE versión 8.....	25
Tabla 4. Categorías de los equipos LTE versión 8.....	25
Tabla 5. Comparativa LTE Release 8 y LTE-Advanced. ....	28
Tabla 6. Jerarquías PDH [2]. ....	33
Tabla 7. Comparativa entre PDH y SDH. ....	36
Tabla 8. Asignación de frecuencia a un radioenlace en función de su longitud. ....	45
Tabla 9. Emplazamientos en estudio. ....	64
Tabla 10. Capacidad futura de los sites.....	72
Tabla 11. Resultados de las LOSes. ....	82
Tabla 12. Listado de radioenlaces. ....	98

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. M. Jiménez, «Evolución de la Red de Transmisión de acceso móvil desde TDM a ALL-IP,» Mayo 2013. [En línea]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz\\_Jim%C3%A9nez\\_Laura.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz_Jim%C3%A9nez_Laura.pdf?sequence=1).
- [2] C. E. R. Office, Marzo 2004. [En línea]. Available: [https://docbox.etsi.org/msg/eCall/MSG\\_eCall\\_kickoff/Documents/M-05-031.pdf](https://docbox.etsi.org/msg/eCall/MSG_eCall_kickoff/Documents/M-05-031.pdf).
- [3] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/UMTS\\_Terrestrial\\_Radio\\_Access\\_Network](https://es.wikipedia.org/wiki/UMTS_Terrestrial_Radio_Access_Network).
- [4] I. J. E. Q. Rojas, «TECNOLOGÍA LTE,» Junio 2013. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/lvnEstelaVasquez/informe-lte>.
- [5] blogElectronica, «blogElectronica.com,» [En línea]. Available: <http://www.blogelectronica.com/de-la-telefonía-movil-analogica-a-umts/>.
- [6] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Long\\_Term\\_Evolution](https://es.wikipedia.org/wiki/Long_Term_Evolution).
- [7] «principia tecnologica,» [En línea]. Available: <http://principletechnologica.com/2013/11/01/cual-es-la-arquitectura-lte/>.
- [8] «EDN NETWORK,» [En línea]. Available: <http://www.edn.com/design/test-and-measurement/4375804/Testing-carrier-aggregation-in-LTE-Advanced-network-infrastructure>.
- [9] «slideplayer.es,» [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/1094144/>.
- [10] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa\\_digital\\_plesio%C3%B3crona](https://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_plesio%C3%B3crona).
- [11] «UNDER-LINUX.ORG,» [En línea]. Available: <https://under-linux.org/showthread.php?t=180784&page=4>.
- [12] «the full wiki,» [En línea]. Available: [http://www.thefullwiki.org/Fresnel\\_zone](http://www.thefullwiki.org/Fresnel_zone).
- [13] «Textos Científicos.com,» [En línea]. Available: <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK>.
- [14] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_desplazamiento\\_de\\_fase](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_fase).
- [15] V. G. Ruiz, 25 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Transmission/04-Modulacion/index.html>.

- [16] H. T. Co.. [En línea]. Available: <http://www.slideshare.net/ENGMAS11/digital-microwave-communication-principles>.
- [17] M. Darkaoui, «DISEÑO Y MONITORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN MÓVIL MULTISISTEMA EN ENTORNO RURAL.» [En línea]. Available: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18590/PFC\\_Mounsef\\_Darkaoui.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18590/PFC_Mounsef_Darkaoui.pdf?sequence=1).
- [18] «Alibaba.com,» [En línea]. Available: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/huawei-optix-rtn-905-digital-microwave-radio-links-transmission-1379894109.html>.

Otras fuentes consultadas:

Harvey Lehpamer: “Microwave transmission networks planning, design and deployment”, Editorial Mc Graw Hill.

José M. Hernando Rábanos: “Transmisión por radio”, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

José Manuel Huidobro: “Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE”, Editorial Ra-Ma.

Diversa documentación, especificaciones y recomendaciones de IEEE y 3GPP.