

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Resolución de interferencias de telefonía móvil 4G en la banda 800 MHz

Autor: Inmaculada Toral Dueñas

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

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

Sevilla, 2013



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Resolución de interferencias de telefonía móvil 4G en la banda 800 MHz

Autor:
Inmaculada Toral Dueñas

Tutor:
Rafael Boloix Tortosa
Profesor titular

Dep. de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Resolución de interferencias de telefonía móvil 4G en la banda 800 MHz

Autor: Inmaculada Toral Dueñas

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis padres por haberme apoyado en todo momento, a mis compañeros de trabajo por enseñarme la importancia del trabajo en equipo y darme la oportunidad de poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, mostrándome un punto de vista completamente distinto, y por último, a mis compañeros y profesores, por haberme enseñado a razonar y plantear los problemas de una manera distinta.

Inmaculada Toral Dueñas

Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Sevilla, 2016

El proyecto que se presenta en este documento técnico es el resultado del trabajo realizado en las prácticas de una empresa multinacional de ámbito tecnológico. La empresa se divide en cuatro grandes secciones: renovables, Deimos, concesiones e infraestructuras, siendo esta última el área de negocio en el cual se ubica el proyecto.

Este proyecto trata sobre las interferencias ocasionadas por la colocación de la red móvil de la última generación (4G) en la banda de 800 MHz, con la señal de televisión. Cómo se lleva a cabo todo el proceso de gestión y resolución de estas interferencias desde el encendido del nodo hasta la instalación del filtro en la antena de televisión que anula las señales ajenas a la misma.

Índice

Agradecimientos	ixx
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
1.1. <i>Objeto del proyecto</i>	2
2 Antecedentes	3
2.1. <i>Reseña Histórica</i>	3
2.2. <i>Televisión Digital Terrestre (TDT)</i>	5
2.1.1. El estándar DVB-T	6
2.1.1. Frecuencias de emisiones TDT	9
2.3. <i>Dividendo Digital</i>	11
3 Evolución de las comunicaciones móviles	13
3.1. <i>Telefonía móvil analógica</i>	13
3.2. <i>GSM</i>	14
3.2.1. GPRS	17
3.2.2. EDGE	17
3.3. <i>UMTS</i>	18
3.3.1. HSDPA	19
3.3.2. HSUPA	20
3.4. <i>LTE</i>	20
3.4.1. LTE - Advanced	24
4 Condicionantes Previos	25
4.1. <i>Estructura Laboral</i>	25
4.1.1. Oficina Técnica (Back Office)	26
4.1.2. Call Center (CAU)	26
4.1.3. Oficina de Gestión de Proyectos (PMO)	27
4.2. <i>Gestión de afectaciones LTE800</i>	28
4.2.1. Plataforma de gestión de afectaciones	28
4.2.2. Actuaciones preventivas y correctivas	30
4.2.3. Notificación de los planes de despliegue	31
4.2.4. Resolución de las incidencias remitidas por la PMO	32
4.2.5. Amplificadores	34
4.2.6. Filtros	36
4.2.7. Equipos de medida	39

5	Aplicación Real	43
6	Conclusiones	53
7	Bibliografía	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2–1. Tasas de datos de un sistema DVB-T	7
Tabla 2–2 Despliegue de DVB-T y DVB-T2	8
Tabla 2–3 Canales y frecuencias de la TDT	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Tecnologías de acceso a la TV digital	4
Figura 2-2. Esquema básico de recepción de TDT	5
Figura 2-3. Redes MFN y SFN	10
Figura 2-4. Canales tras dividendo digital	11
Figura 3-1. Evolución de los sistemas de telefonía móvil	13
Figura 3-2. Arquitectura funcional de GSM	15
Figura 3-3. Estructura de red UMTS	19
Figura 3-4. Arquitectura de los sistemas LTE	22
Figura 3-5. Red de acceso E-UTRAN	23
Figura 4-1. Esquema de organización	27
Figura 4-2. Plataforma de gestión de afectaciones	28
Figura 4-3. Mapa de número de nodos por ubicación	29
Figura 4-4. Mapa de nodos en Sevilla	29
Figura 4-5. Información de un nodo en la Cartuja	30
Figura 4-6. Filtrado de la señal LTE800	32
Figura 4-7. Amplificador de mástil	34
Figura 4-8. Amplificador de banda ancha	35
Figura 4-9. Amplificador monocanal	35
Figura 4-10. Central programable	36
Figura 4-11. Filtro de gama media de exterior para mástil	37
Figura 4-12. Filtro de gama media de interior para amplificadores de banda ancha	37
Figura 4-13. Filtro de gama alta de interior o exterior	38
Figura 4-14. Filtro de gama muy alta de interior o exterior	38
Figura 4-15. Medidor de campo	39
Figura 4-16. Medidas de errores de la señal DVB-T	40
Figura 5-1. Datos y ubicación del nodo	43
Figura 5-2. Lista de nodos encendidos hasta el momento	44
Figura 5-3. Visión de canales en la zona de usuario	44
Figura 5-4. Creación de una incidencia por parte del CAU	45
Figura 5-5. Boletín creado para la afectación	45
Figura 5-6. Antena tipo yagi y amplificador de mástil	46
Figura 5-7. Medida antes de la instalación de filtro	47

Figura 5-8. Instalación de filtro	48
Figura 5-9. Medida después de la instalación de filtro	49
Figura 5-10. Documentación subida en la plataforma	49
Figura 5-11. Histórico de la actuación	50
Figura 5-12. Historial de la actuación	50

1 INTRODUCCIÓN

La televisión analógica ha utilizado para su emisión desde principios del segundo cuarto del pasado siglo XX, parte de la banda de frecuencias de VHF (47 a 230 MHz) y parte de la banda de UHF (470 a 862 MHz). La llegada de las tecnologías digitales, así como de nuevos sistemas de comprensión de información, permitió reducir el número de frecuencias necesarias para la transmisión de la televisión, de modo que en el espectro necesario para transmitir un programa de televisión analógica, se pueden transmitir hasta 4 programas de televisión con tecnología digital con calidad equivalente. La migración de la televisión analógica a la digital supuso una gestión más eficiente del espectro radioeléctrico, que es un bien valioso y escaso, permitiendo obtener un dividendo en forma de nuevas frecuencias disponibles, que se conoce como dividendo digital. Estas frecuencias disponibles pueden ser utilizadas para diversos fines, por ejemplo, nuevos programas de televisión de ámbito regional o nacional, televisión de alta definición o la prestación de servicios de banda ancha móvil.

Para que los ciudadanos puedan disfrutar del dividendo digital en forma de nuevos servicios de banda ancha móvil de cuarta generación (4G), es necesario disponer de un conjunto de frecuencias contiguo.

En Europa se ha determinado que este conjunto de frecuencias será de la banda de 800 MHz (790-862 MHz). En España, las frecuencias disponibles por el dividendo están esparcidas, y la banda de frecuencias de 800 MHz está ocupada, en parte, por algunos canales de la TDT (canales del 61 al 69 de UHF). La liberación del Dividendo Digital, proceso de reordenación de frecuencias necesario para que la banda 800 MHz quede disponible, en España tuvo comienzo el 26 de Octubre de 2014 y culminó el 31 de Marzo de 2015.

En la práctica, esto supone la eliminación de canales tradicionalmente ocupados por las emisiones de la TDT y la reubicación de éstos en zonas de frecuencias inferiores. Así, la emisión de TDT pasa a ubicarse en el tramo de frecuencias 470-790 MHz.

Para minimizar los daños de esta reubicación en frecuencias, se ha diseñado por parte del estado un plan de adaptación a esta nueva situación, consistente en modificar las instalaciones de TDT de las viviendas que no estuviesen adaptadas.

Esta situación es considerada en Fase 1 de adaptación a la emisión de LTE por parte de los operadores móviles.

Este proceso se puso en marcha con las antenas emisoras de la señal LTE en la banda de los 800 MHz, teniendo un posible problema de interferencias por la gran cercanía de frecuencias y el poco margen de seguridad libre establecido.

Esta situación de interferencias provoca que el gobierno obligue a las operadoras a hacerse cargo de los posibles problemas derivados de esta situación.

1.1 Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es dar respuesta a la solicitud realizada por parte de los operadores Telefónica España, Vodafone España y Orange Espagne para el servicio de gestión de interferencias en la banda de 800 MHz producidas por el despliegue de la tecnología LTE, cuyo comienzo se originó a partir del 1 de abril de 2015.

A cada operador se le adjudica una banda de frecuencias. Las adjudicaciones consisten en 2 bloques de 2 x 5 MHz cuya distribución a cada uno es:

- Orange Espagne, S.A.U.: 791 a 801 MHz (en sentido red-usuario) y 832 a 842 MHz (en sentido usuario-red).
- Vodafone España, S.A.U.: 801 a 811 MHz (en sentido red-usuario) y 842 a 852 MHz (en sentido usuario-red).
- Telefónica España, S.A.U.: 811 a 821 MHz (en sentido red-usuario) y 852 a 862 MHz (en sentido usuario-red).

Como consecuencia, se producen interferencias o perturbaciones en el servicio de radiodifusión de televisión, con lo cual, el operador está obligado a efectuar las correspondientes correcciones técnicas necesarias para su completa eliminación en las instalaciones receptoras de televisión digital terrestre (TDT) afectadas debido al encendido de las estaciones móviles de LTE en esa banda, con el objetivo de garantizar la compatibilidad entre ambos servicios.

Los operadores ponen en marcha un proceso conjunto de gestión y resolución de las interferencias que puedan provocar los distintos despliegues de infraestructuras que utilicen la banda de 800 MHz y lo hacen mediante la contratación de una empresa, de la cual se hablará más adelante, que es la encargada de la gestionar todo este proceso.

La ORDEN IET/329/2015 de 26 de febrero, por la que se establecen las actuaciones que deben realizar los operadores prestadores de servicios de comunicaciones móviles en la banda del dividendo digital para garantizar que la puesta en servicio de las estaciones emisoras en dicha banda no afecte a las condiciones existentes de recepción del servicio de televisión, establecen determinadas obligaciones a los operadores de poner en marcha de forma conjunta determinados servicios y el cumplimiento de determinadas actuaciones para resolver las afectaciones.

Se estima en un principio que, esta situación de modificación de las instalaciones de TDT de las viviendas que no estén adaptadas, tenga una duración de 3 años (2015-2017 incluidos).

2 ANTECEDENTES

En este apartado se hará una explicación más detallada sobre la televisión digital y el dividendo digital.

2.1. Reseña Histórica

La televisión es un sistema diseñado para la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y sonido a distancia. La señal de televisión puede transmitirse por diversos medios, bien guiados (fibra óptica, cable coaxial), bien inalámbricos (ondas terrestres, ondas atmosféricas). Para la transmisión y codificación de señal puede utilizarse tanto tecnología analógica como tecnología digital.

El sistema tradicional de televisión ha sido durante muchos años el de televisión analógica transmitida mediante ondas radioeléctricas.

En España, el comienzo de la emisión de la televisión analógica por ondas terrestres en la banda de frecuencias VHF fue en Octubre de 1956, emitiendo sólo el primer canal de televisión, Televisión Española (TVE). Este primer canal de TVE tuvo que migrar más adelante a la banda de UHF, ya que, en la banda que estaba siendo emitida debía quedar libre por la extinción de las señales analógicas de televisión.

A comienzos de 1965, nace el segundo canal de televisión española emitido en la banda de frecuencias UHF. Estas primeras emisiones de televisión eran en blanco y negro, y solo podían ser vistas en Madrid durante 3 horas al día.

El proceso de transición a la televisión digital terrestre se llevó a cabo entre noviembre de 2005 y abril de 2010. Finalmente, el apagón analógico, cese de la emisión de señales analógicas de televisión, se produjo el 2 de Abril de 2010, dando paso a la televisión digital.

Digitalización de la señal de televisión

No es hasta 1982, cuando en el seno de CCIR (actual UIT-R), nace la recomendación 601 (actual recomendación BT.601), que define la digitalización de las señales analógicas de vídeo para televisión. A diferencia de la televisión analógica tradicional, la señal de la televisión digital está formada por bits de información, mientras que la señal analógica está formada por una onda continua.

Las principales ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica son:

- Más canales. En la televisión digital pueden emitirse entre 4 y 6 canales digitales en el mismo espacio que se necesita para un canal analógico, con lo cual, se incrementa la oferta de canales.

- Formato panorámico, sin cortes ni bandas negras. Sin ruidos, nieve, imágenes dobles o interferencias.
- Mejor calidad de imagen y sonido.
- Más servicios, como guía electrónica de programación, teletexto digital, versión original, etc.

La distribución o difusión de la señal de televisión digital puede realizarse según diversas tecnologías: ondas terrestres, cable, satélite, IP-ADSL, dispositivos móviles.

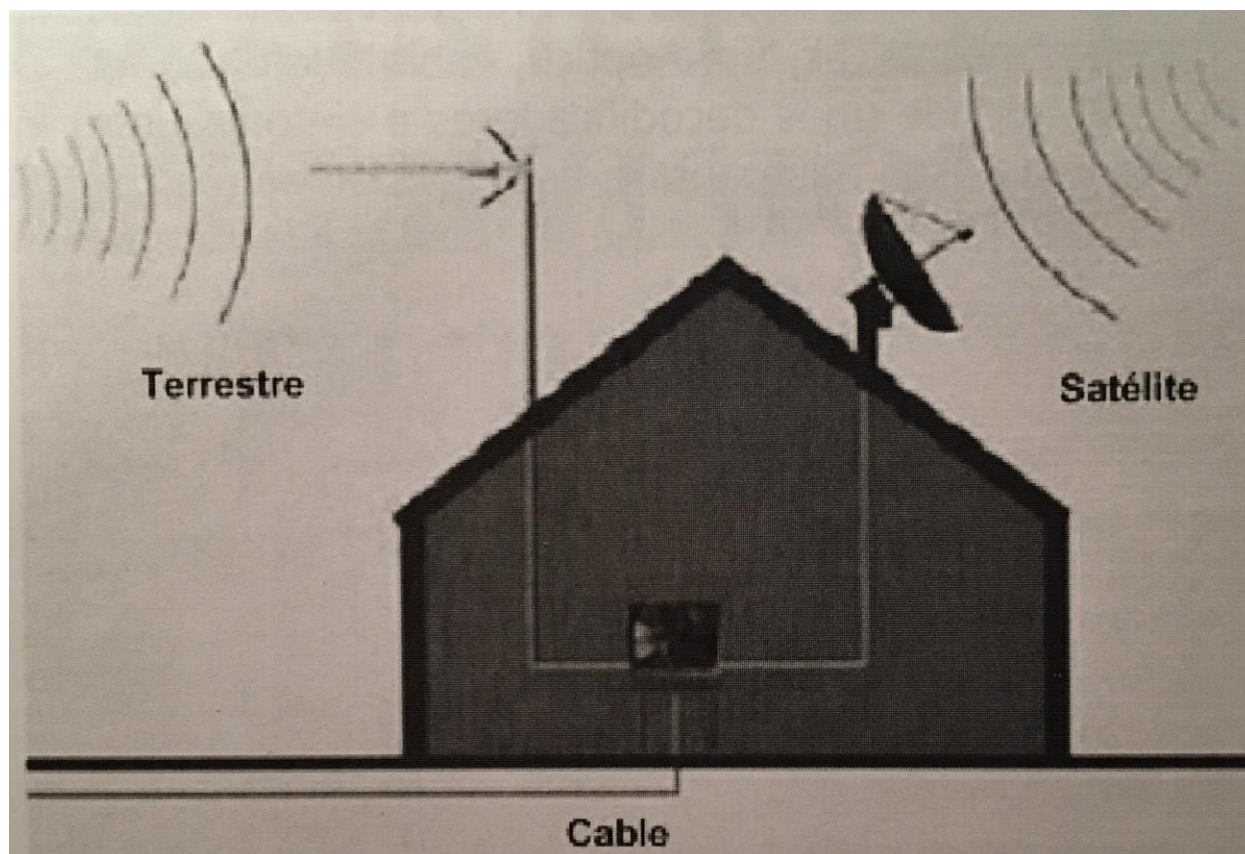


Figura 2-1 Tecnologías de acceso a la TV digital

En la Figura 2-1 se muestra la recepción típica de televisión digital para los casos de ondas terrestres, cable y satélite. En ésta, se puede ver que para la recepción por ondas terrestres, transmitidas por la atmósfera, se puede usar una antena de UHF como la que se empleaba habitualmente para la recepción de las señales de televisión analógica. Para la televisión digital por cable, la señal llega al receptor de forma guiada mediante fibra óptica ó cable coaxial. Para la recepción de señal por satélite, se emplea el uso de una antena parabólica.

Los otros dos métodos de recepción de señal no mostrados en la figura anterior son, como hemos nombrado anteriormente, IP-ADSL y dispositivos móviles. Para el primero de ellos, la señal se transmite por redes IP hasta llegar al usuario. La televisión digital en movilidad requiere de adaptaciones para su uso en dispositivos móviles, los cuales están limitados por la duración de baterías.

2.2. Televisión Digital Terrestre (TDT)

La televisión digital terrestre es la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión que se transmite por ondas terrestres en la banda UHF (470 – 862 MHz).

El esquema de recepción básico de la señal de televisión por ondas terrestres se puede ver en la Figura 2-2.

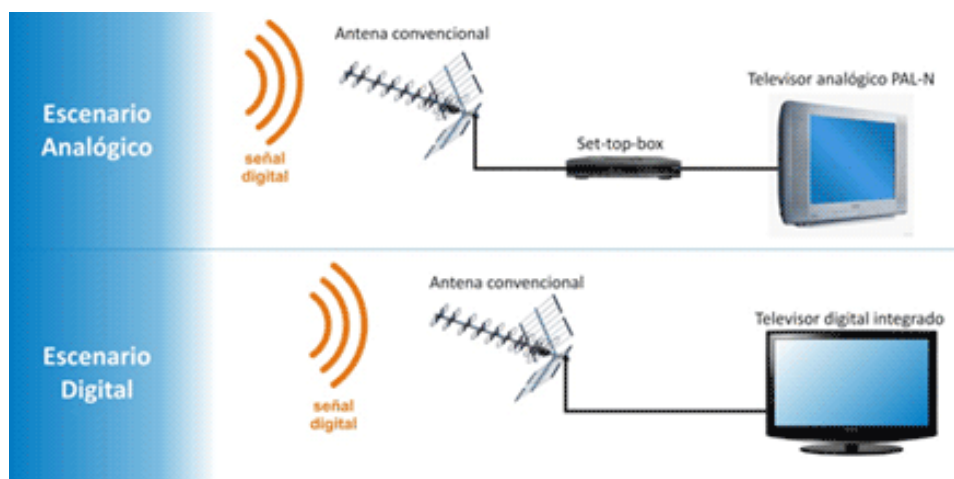


Figura 2-2 Esquema básico de recepción de TDT

En él se ve, que para el caso de un escenario analógico, hace falta un receptor de TDT externo, también llamado STB (Set-Top-Box), que se utiliza como medio de interconexión entre la antena UHF convencional y el televisor. Para el caso del escenario digital, el receptor de TDT ya va integrado en el televisor, con lo cual, la antena UHF convencional está directamente conectada al televisor.

Ventajas principales de la TDT

- Mayor inmunidad a las interferencias. La señal de TV presenta mayor protección frente a errores de transmisión y señales interferentes.
- Mayor número de canales. Por cada canal de televisión analógica, se pueden transmitir al menos cuatro canales digitales, de televisión o radio, ocupando el mismo ancho de banda total. Se incrementa la oferta de canales de radio y televisión, debido al mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico.
- Mayor alcance con menos potencia de transmisión. Mayor eficiencia y eficacia en el tratamiento de la señal de TV. Mejor comportamiento frente a ecos de la señal, a interferencias de canales adyacentes y a retardos por multitrayecto.
- Mayor calidad de imagen y sonido. Formato panorámico de relación de aspecto 16:9. Imágenes en alta definición (HD, High Definition). Sonido multicanal 5.1, 7.1, 13.1.
- Emisiones en distintos idiomas. Emisión de distintas pistas de audio para un mismo programa, incluyendo la versión original.
- Televisión accesible. Subtitulado y lenguaje de signos para deficiencias auditivas. Autodescripción de escenas para deficiencias visuales.

- Servicios interactivos. Contenidos adicionales a la programación de TV, añadiendo datos al audio y al vídeo.
- Televisión, multimedia e internet. Convergencia de lo audiovisual con lo multimedia. Conexiones a internet mediante WLAN y Wifi desde el televisor. Televisión híbrida, navegación web adaptada al televisor y navegación libre. Reproducción de contenido multimedia a bibliotecas multimedia desde el televisor. Grabación directa en televisores con disco duro, e indirecta con discos duros externos conectados al televisor.
- Recepción móvil y portátil de la señal de televisión. Televisión digital disponible en dispositivos inalámbricos y en movilidad.

2.2.1 El estándar DVB-T

El estándar utilizado en España para la transmisión de la Televisión Digital Terrestre, al igual que en otros muchos países, entre los que se encuentran todos los de la Unión Europea, es el DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial).

DVB-T es una especificación técnica para la difusión de señales de televisión digital terrestre, desarrollada por el consorcio DVB, que especifica la estructura de trama de información, la codificación del canal de transmisión y la modulación de la señal.

Este estándar utiliza modulación COFDM (Multiplexación por división en frecuencia ortogonal codificada), con múltiples subportadoras de información, por lo que la señal de televisión será más robusta permitiendo adaptarse a las condiciones del canal radio.

Las principales características que presenta DVB-T son:

- Uso de modulaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- Cinco tasas de código diferentes de corrección de errores.
- Cuatro tipos de intervalos de guarda entre símbolos.
- Tres modos de trabajo para las señales portadoras.
- Anchos de banda posibles por canal, entre 6 y 8 MHz.

En la Tabla 2-1 se muestra una tabla con las distintas tasas de datos de un sistema DVB-T. La tasa de código añade redundancia a la información y el intervalo de guarda evita pérdidas de sincronismo en dobles recepciones por multitrayecto de la señal.

Observando esta tabla, se puede ver que:

- A menor número de símbolos, menor tasa de código y mayor intervalo de guarda, se obtiene menor velocidad de transmisión pero mayor robustez de la señal. En la tabla, el mínimo son 4.976 Mbps para la modulación QPSK (4 símbolos), tasa de código $\frac{1}{2}$ (1 bit de información por cada 2 transmitidos), e intervalo de guarda $\frac{1}{4}$ (longitud de separación entre símbolos).
- A mayor tasa de código, mayor número de símbolos y menor intervalo de guarda, se obtiene la mayor velocidad de transmisión pero la menor robustez de la señal. En este caso, el máximo son 31.668 Mbps para la modulación 64-QAM (64 símbolos), tasa de código $\frac{7}{8}$ (7 bits de información de cada 8 transmitidos), e intervalo de guarda $\frac{1}{32}$ (longitud de separación entre símbolos).

Available bitrates (Mbit/s) for a DVB-T system in 8 MHz channels					
Modulation	Coding rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4.976	5.529	5.855	6.032
	2/3	6.635	7.373	7.806	8.043
	3/4	7.465	8.294	8.782	9.048
	5/6	8.294	9.216	9.758	10.053
	7/8	8.709	9.676	10.246	10.556
16-QAM	1/2	9.953	11.059	11.709	12.064
	2/3	13.271	14.745	15.612	16.086
	3/4	14.929	16.588	17.564	18.096
	5/6	16.588	18.431	19.516	20.107
	7/8	17.418	19.353	20.491	21.112
64-QAM	1/2	14.929	16.588	17.564	18.096
	2/3	19.906	22.118	23.419	24.128
	3/4	22.394	24.882	26.346	27.144
	5/6	24.882	27.647	29.273	30.160
	7/8	26.126	29.029	30.737	31.668

Tabla 2-1 Tasas de datos de un sistema DVB-T

En España, DVB-T tiene los siguientes parámetros:

- Banda de operación: UHF, 21 a 69, de 470 a 862 MHz.
- El ancho de banda por canal es de 8 MHz.
- La tasa de transmisión del canal es de 19.906 Mbps. Para esta tasa, la modulación es 64-QAM (64 símbolos), con cambios de fase y amplitud combinados en la señal portadora. El intervalo de guarda es de $\frac{1}{4}$ de la longitud de símbolo, que equivale a 1120 microsegundos por símbolo (896 de símbolo útil y 224 de separación). La tasa de código para corrección de errores es de $\frac{2}{3}$, es decir, 2 bits de información por cada 3 transmitidos.
- Las redes soportadas son MFN (Multiple Frequency Network) y SFN (Single Frequency Network).

Evolución de DVB-T: DVB-T2

DVB-T2 presenta diversas mejoras técnicas sobre DVB-T que le permiten aprovechar aún mejor el espectro radioeléctrico disponible, y en la práctica obtiene un mínimo de un 30% más de capacidad que DVB-T. Ha sido diseñado para coexistir con DVB-T. DVB-T2 presenta una serie de mejoras técnicas que se muestran a continuación:

- Mejora en los algoritmos para redundancia y corrección de errores.
- Mayor número de intervalos de guarda y tasas de código.
- Modulación con constelaciones giradas: mayor robustez.
- Métodos para tratar diversidad de la señal.
- Técnicas de intercalado en tiempo y frecuencia.
- Mejor rendimiento de las redes SFN.
- Modulación selectiva, robustez específica por servicio.
- Tramas reservadas para extensiones futuras del estándar.
- Mayores tasas de transmisión menor necesidad de potencia de la señal.
- Mejor relación señal/ruido.

En la Tabla 2-2, se muestra una tabla comparativa en la que se puede ver las mejoras de DVB-T2 frente DVB-T.

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5 , 2/3, 3/4, 4/5 , 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256 , 1/8, 19/128 , 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k , 2k, 4k , 8k, 16k , 32k

Tabla 2-2 Despliegue de DVB-T y DVB-T2

2.2.2 Frecuencias de emisiones TDT

El CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) es el documento que regula la utilización del espectro radioeléctrico en España conforme al Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). CNAF establece en la UN-36 que la banda de frecuencias de 470 a 862 MHz se usará por las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de televisión con tecnología digital, siendo su uso regulado conforme a los Planes Técnicos Nacionales.

Canal	f (MHz)	Canal	f (MHz)	Canal	f (MHz)	Canal	f (MHz)
21	470-478	34	574-582	47	678-686	60	782-790
22	478-486	35	582-590	48	686-694	61	790-798
23	486-494	36	590-598	49	694-702	62	798-806
24	494-502	37	598-606	50	702-710	63	806-814
25	502-510	38	606-614	51	710-718	64	814-822
26	510-518	39	614-622	52	718-726	65	822-830
27	518-526	40	622-630	53	726-734	66	830-838
28	526-534	41	630-638	54	734-742	67	838-846
29	534-542	42	638-646	55	742-750	68	846-854
30	542-550	43	646-654	56	750-758	69	854-862
31	550-558	44	654-662	57	758-766		
32	558-566	45	662-670	58	766-774		
33	566-574	46	670-678	59	774-782		

Tabla 2-3 Canales y frecuencias de la TDT

En la Tabla 2-3, se pueden ver los canales y frecuencias utilizados en la TDT en la banda de UHF.

Como ya se ha dicho anteriormente, cada uno de estos canales ocupa 8 MHz, y en ellos se pueden transmitir una señal múltiple digital, lo cual es una ventaja sobre la televisión analógica porque en un canal analógico equivale de 4 a 6 canales digitales.

Esta era la distribución de canales antes de que se produjese la liberación del dividendo digital, tras el cuál, quedaron libres los canales del 61 al 69 (790 – 862 MHz).

Para poder explicar la distribución de canales radioeléctricos de la Tabla 2-3, haré una breve explicación sobre las redes de frecuencia que agrupan dichos canales.

Redes MFN y SFN

Hay dos tipologías básicas para una red de difusión de televisión digital terrestre, las redes multifrecuencia (MFN) o convencionales, y las redes de frecuencia única (SFN). El diseño de una red de difusión está basado en una de estas dos opciones o en una combinación de las mismas.

- La red de multifrecuencia (MFN) está formada por un conjunto de estaciones radioeléctricas que permite cubrir una cierta zona del territorio utilizando una frecuencia distinta en cada estación, permitiendo diferenciación entre las distintas señales en determinados momentos.

En las redes MFN, cada transmisor dispone de radiofrecuencias individualizadas, cada uno transmite a una frecuencia diferente. No se requiere de una sincronización por parte de los distintos centros emisores.

- La red de frecuencia única (SFN) está formada por un conjunto de estaciones radioeléctricas que permite cubrir una cierta zona del territorio utilizando la misma frecuencia en todas las estaciones emitiendo la misma señal de manera sincronizada.

En las redes SFN todos los transmisores del área de cobertura emiten a la misma frecuencia y todas las emisiones deben estar moduladas con la misma señal, teniendo que estar sincronizados todos los centros emisores. En estas redes no se pueden realizar desconexiones de la programación ya que la señal debe ser la misma para todos los equipos transmisores del área de cobertura. Esto permite aprovechar más el espectro y tener una planificación más sencilla. En recepción se obtiene ganancias de la señal por los ecos generados durante la transmisión. Este tipo de redes requieren menos recursos de frecuencia que las redes MFN.

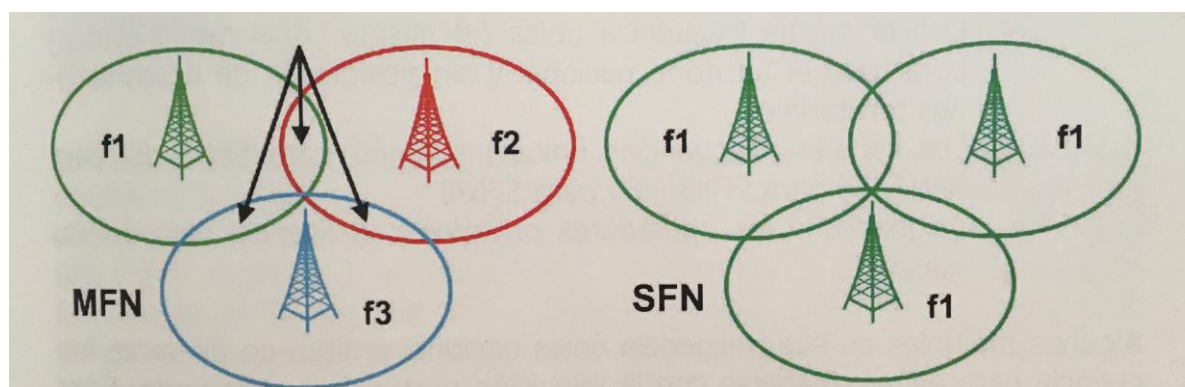


Figura 2-3 Redes MFN y SFN

Volviendo a la Tabla 2-3, los canales radioeléctricos estaban divididos antes de la liberación del dividendo digital de la siguiente forma:

- Canales 21 al 56 (470 – 758 MHz). Emisiones de ámbito local: utilizan redes multifrecuencia de transmisor único de cobertura local.
- Canales 57 al 65 (758 – 830 MHz). Emisiones de ámbito autonómico: utilizan red global de cobertura nacional formada por redes de frecuencia única de ámbito autonómico, por lo que alberga canales nacionales con capacidad de efectuar desconexiones territoriales en comunidades autónomas.
- Canales 66 al 69 (830 – 862 MHz). Emisiones de ámbito nacional: utilizan red de frecuencia única de ámbito nacional cuyas frecuencias están destinadas a albergar canales nacionales sin capacidad de realizar desconexiones territoriales en comunidades autónomas.

2.3. Dividendo Digital

La importante transición de la televisión analógica a la digital en Europa ha permitido optimizar el uso del espectro radioeléctrico. El espectro radioeléctrico sobrante es lo que se conoce como dividendo digital.

Este dividendo digital representa una oportunidad única para que Europa satisfaga la creciente demanda de espectro radioeléctrico, en particular, para suministrar banda ancha inalámbrica a las zonas rurales, combatiendo así la brecha digital entre los distintos países de la Unión Europea, y estimule el despliegue de servicios inalámbricos nuevos tales como la cuarta generación (4G) de banda ancha móvil, además de favorecer el desarrollo de la radiodifusión terrestre.

La disponibilidad de la banda 800 MHz incrementa la competencia entre los prestadores de servicios de banda ancha, lo que provoca mayor eficiencia de los mercados y precios más bajos para los usuarios.

La Comisión Europea junto con la asistencia de la formación Radio Spectrum Policy Group (RSPG), encargada de gestionar los aspectos relacionados con el espectro radioeléctrico, advirtió de la importancia de un uso coordinado a nivel europeo del dividendo digital. Una decisión armonizada de los estados miembro, poniendo a disposición similares rangos de frecuencia, canalizaciones y condiciones técnicas contribuye a un mayor beneficio.

La Conferencia Regional de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), aprobó el Plan de Ginebra en junio de 2006, acordando el uso de toda la banda UHF 470-862 MHz (canales radioeléctricos 21 a 69) para los servicios de radiodifusión en la región 1, en la que está incluida Europa. Sin embargo, ante el rápido crecimiento de demanda de la banda ancha, la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2007 aprobó, para la región 1, la atribución de la subbanda de frecuencias 790-862 MHz, al servicio de comunicaciones móviles con carácter coprimario con los servicios de radiodifusión.

El espectro del dividendo digital, correspondiente a las frecuencias del rango de 790 a 862 MHz, quedó disponible en toda Europa el 31 de marzo de 2015. La liberación de este rango obliga a reubicar en otros canales UHF (entre el 21 y el 60 de 470 a 782 MHz) a los múltiples de TDT alojados en los canales 61 a 69, afectando en particular a todas las redes SFN, a canales autonómicos, algunas frecuencias territoriales de TVE y a radios digitales.

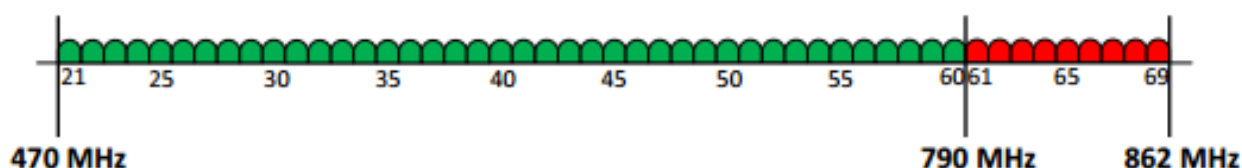


Figura 2-4 Canales tras dividendo digital

En la Figura 2-7, se ve cómo queda la banda de frecuencias tras el dividendo digital, dejando libre las frecuencias 790 – 862 MHz para servicios de Banda Ancha de Movilidad. En total sólo han quedado libres 9 canales de los 49 disponibles.

Por otro lado, de acuerdo a la Ley 7/2010 General de la Comunicación Audiovisual, y al Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo, por el que se regula la asignación de los múltiples de la Televisión Digital Terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica, se completa el reparto de los múltiples previstos tras el apagón analógico en los planes técnicos de la TDT.

3 EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

En este capítulo haré un breve repaso de la evolución de los sistemas de telefonía móvil, desde la era analógica hasta la actual era digital.



Figura 3-1 Evolución de los sistemas de telefonía móvil

3.1 Telefonía móvil analógica

Los sistemas de comunicaciones móviles que representan al conjunto de estándares celulares que emplean tecnologías analógicas, forman parte de la primera generación ó 1G. La principal característica de estos sistemas era su capacidad para ofrecer servicios de comunicaciones de voz sobre conmutación de circuitos. Además de la voz, permitían la transmisión de datos empleando módems analógicos convencionales, aunque con una capacidad muy limitada que difícilmente superaban los 4800 bps. Estaba basada en los sistemas FDMA (Frequency Division Multiple Access), con un solo canal por portadora, lo cual, acabaron produciéndose saturación en las redes.

Dentro de la familia genérica de sistemas de 1G, cabe destacar los siguientes estándares:

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), operaba en 800 MHz y fue utilizado en buena parte de Norte América, África, Europa del Este y Rusia.
- ETACS (Extended Total Access Communications System), es una extensión del estándar TACS, motivado por las necesidades del incremento de tráfico, que fue desplegado principalmente en Europa utilizando la banda de 900 MHz.
- NMT (Nordic Mobile Telephone), es originario de los países nórdicos y utilizaban las bandas de frecuencias de 450 MHz y 900 MHz.

La necesidad de desarrollo de un sistema que ofreciera mayor capacidad de tráfico y servicios viene ligada a la escasa calidad de servicio, baja velocidad, la inexistencia de servicios suplementarios, falta de seguridad y privacidad en las comunicaciones, etc. De esta manera, surgieron los sistemas de telefonía móvil de segunda generación, que en Europa se adoptó con el nombre GSM.

3.2 GSM

GSM (Global System for Mobile communications) es el estándar europeo de telefonía celular digital de segunda generación (2G) definido, en un principio, para la banda de 900 MHz. Esta generación supuso un importante salto cualitativo al introducir por primera vez la digitalización en los servicios móviles de voz (mediante conmutación de circuitos), además de, permitir la transmisión de datos a baja velocidad (desde 9,6 kbps hasta 14,4 kbps) y el servicio de mensajes cortos SMS limitado al envío de cadenas de 160 caracteres (140 bytes).

GSM está basado en los sistemas FDM/TDMA, en el que el canal físico está compuesto por una pareja de frecuencias para ofrecer la comunicación en ambos sentidos, cuyo ancho de banda es de 200 KHz. El acceso por división en el tiempo (TDMA) contempla un conjunto de 8 canales o intervalos temporales por portadora.

GSM debía ser capaz de dar servicio a un gran número de abonados con cobertura internacional y ser muy flexible en cuanto a servicios, coberturas y tipos de terminales. También debía estar abierto a la interacción con futuras redes avanzadas de telecomunicaciones. Los requisitos básicos definidos por GSM fueron:

- Posibilidad de localización y seguimiento automático en ámbitos nacional e internacional.
- Número telefónico de abonado único.
- Gran capacidad de tráfico con espectro óptimo.
- Mejor calidad de servicio y mayores facilidades que las proporcionadas por los sistemas actuales.
- Posibilidad de coexistencia con los sistemas analógicos actuales en los mismos emplazamientos de estaciones base.
- Inclusión de servicios no telefónicos.
- Posibilidad de utilización de terminales de usuario de reducido tamaño, en especial aparatos portátiles de bolsillo.
- Seguridad y confidencialidad en los accesos a la red y en la transmisión de la información.
- Mayor eficacia de las baterías de los portátiles.
- Utilización de sistemas de señalización avanzados.

Servicios de Telecomunicación en GSM

En GSM se han especificado los siguientes servicios básicos:

- Telefonía digital con códec a la velocidad plena (full rate) de 13 kbit/s, o a la mitad de velocidad (half rate) de 6,5 kbit/s, que permite duplicar la capacidad de canales.
- Mensajes cortos SMS, que permite a los usuarios enviar y recibir mensajes breves a través del centro de control, incluyendo mensajes de difusión a grupos de usuarios.

- Tratamiento de mensajes. Servicio de mensajería basado en la Rec. X.400 del UIT-T.
- Permite la conexión de aparatos FAX del Grupo 3 para transmitir y recibir documentos en la estación móvil.
- Servicio de transmisión de datos con conmutación de paquetes GPRS (General Packet Radio Service), con velocidades de hasta 170 kbit/s.
- Mensajería multimedia, MMS para la transmisión de mensajes de voz, texto, imágenes fijas y móviles.

También destacan un gran número de servicios suplementarios, entre los que destacan: identificación del abonado llamante, redireccionamiento de llamadas, llamada en espera, terminación de llamadas con usuarios ocupados, grupos cerrados de usuarios, buzón de voz, transferencia de llamadas, prohibición de determinadas llamadas desde el terminal, etc.

Arquitectura del sistema GSM

El sistema GSM se estructura en entidades funcionales e interfaces. La arquitectura funcional define las entidades que tienen a su cargo la ejecución de funciones definidas del sistema. Se definen dos interfaces básicas, que se denominan interfaz de línea e interfaz aire.

La interfaz de línea 'A' separa el centro de conmutación (MSC) del sistema de estación base (BSS). Hay una interfaz opcional 'Abis' entre el controlador de estación base (BSC) y el transceptor de estación base (BTS), los cuales pueden estar físicamente separados. La interfaz radio 'UM' delimita la frontera entre el sistema de estación base (BSS) y la estación de móviles (ME).

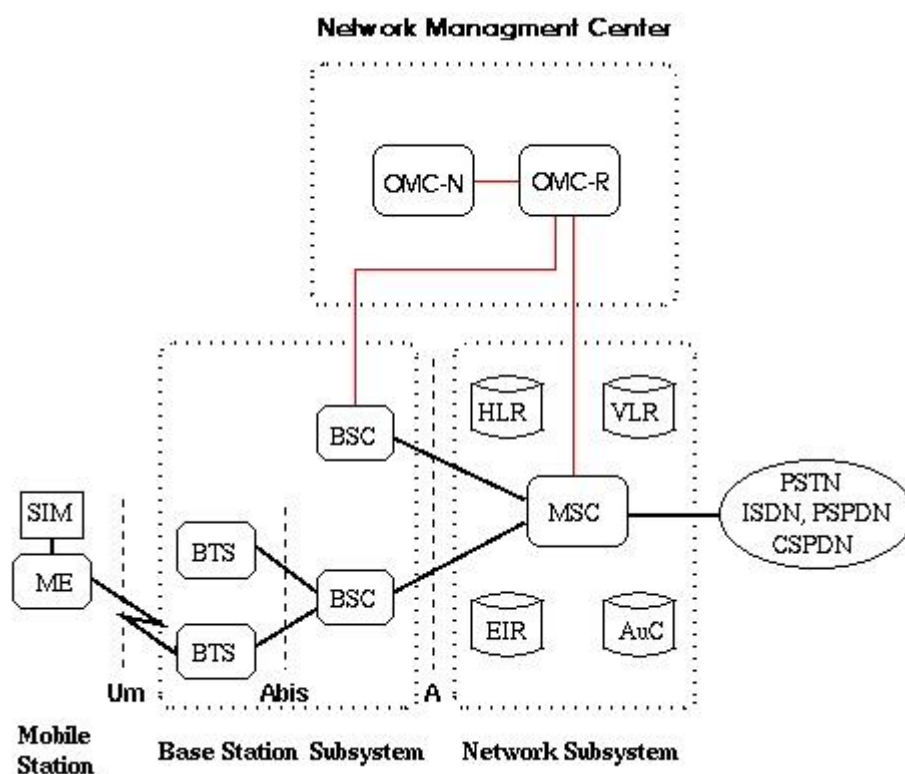


Figura 3-2 Arquitectura funcional de GSM

En la Figura 3-2, se representa la arquitectura funcional y hace referencia al sistema de estación base, terminales móviles, centro de conmutación y registros de localización de abonados.

Las abreviaturas que conforman la Figura 3-2 son:

- AuC: Centro de autenticación.
- BSC: Controlador de la estación base.
- BSS: Sistema de estación base.
- BTS: Transceptor de estación base.
- EIR: Registros de identidad de equipos.
- HLR: Registro de abonados.
- VLR: Registro de visitantes.
- ME: Estación móvil.
- SIM: Módulo de identificación de abonado.
- MSC: Centro de conmutación de servicios móviles.
- NMC: Centro de gestión de red.
- OMC: Centro de operación y mantenimiento.
- ISDN: Red digital de servicios integrados.
- PSTN: Red telefónica pública con conmutación.

La partición funcional más importante tiene lugar en la interfaz 'A', en la que se separan las funciones relativas a los aspectos de red y conmutación asociadas al MSC, VLR y HLR, y las relacionadas con los aspectos radioeléctricos, ejecutadas en el BSS.

Las funciones básicas de los elementos más importantes del esquema de arquitectura son:

MSC: Realiza todas las actividades de gestión de las llamadas desde/hacia las estaciones móviles y establece las conexiones con la red telefónica fija.

Registros de localización: Almacena informaciones relativas a los abonados.

El HLR es el registro doméstico del abonado, donde se almacena el tipo de abono, código de identificación, número, información de localización, etc.

El 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.

En el centro de autenticación (AuC) se almacena información de identidad de abonado móvil y de su equipo para la verificación de las llamadas.

En el centro de operación y mantenimiento ejecuta funciones de supervisión técnica del sistema, programa de dotaciones de recursos, etc.

Evolución de GSM

Tras su rápida expansión, durante la década de los 90, no tardó mucho en saturarse el espacio radioeléctrico, por lo que se desarrolló, principalmente en Europa, una nueva versión del estándar conocida como Digital Cellular System 1800 (DCS 1800 ó GSM1800), lo que permitió el uso de ambas bandas de frecuencia de 900 MHz y 1800 MHz.

Como evolución de GSM, surgen tecnologías como GPRS o EDGE, que configuran la llamada 2,5G y 2,75G, respectivamente.

3.2.1 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) fue diseñado con el objetivo de introducir nuevas funcionalidades a GSM para que hubiese la posibilidad de establecer comunicaciones en la modalidad de conmutación de paquetes. Aprobada por la ETSI en 1998, el estándar GPRS por lo general se clasifica como 2.5G.

GPRS tiene conectividad permanente, pudiendo mandar y recibir paquetes sin necesidad de establecimiento de llamada. Para el transporte de voz, el estándar GPRS emplea la arquitectura de red GSM y utiliza para el acceso a red de datos el protocolo IP o el protocolo X.25. A diferencia de GSM, en GPRS, los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que el usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo los datos.

En cuanto a la velocidad de transmisión de datos, aumenta entre 40 Kbps y 115 Kbps por comunicación, permitiendo compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así, la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

Además, GPRS integra el concepto de calidad de servicio (QoS), que representa la capacidad de adaptar el servicio a las necesidades de una aplicación.

3.2.2 EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), aunque también se utiliza el término 2.75G para referenciar a este estándar. Al igual que GPRS, esta tecnología actúa como puente entre las redes 2G y 3G. Se considera una evolución de GPRS. EDGE trata de mejorar el acceso radio, con lo cual tiene utilizar una modulación mayor a la usada en GSM implicando modificaciones tanto en los terminales móviles como en las estaciones base para poder admitirlo. La velocidad de datos es triplicada ofreciendo un área de cobertura menor.

Este estándar incluye dos modos de funcionamiento, uno en modo paquete (Enhanced GPRS) y otro en modo circuito (Enhanced Circuit Switched Data).

3.3 UMTS

El sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es uno de los principales sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación o 3G. Fue desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) cuyas características de servicios y calidad de sistemas están recogidos bajo el estándar IMT 2000 (International Mobile Telecommunications-2000). En Europa se optó por esta técnica UMTS cuyos principales objetivos son:

- Alcance de velocidad de hasta 144 Kbps con cobertura y movilidad completas en zonas extensas, y hasta 2 Mbps en transmisión de datos con baja movilidad y cobertura local.
- Prestación de servicios con terminales fijos y móviles, portátiles y de vehículo.
- Elevado rendimiento espectral.
- Alta calidad de voz con tasa de bits.
- Posibilidad de introducción flexible de nuevos servicios, tales como los de datos por paquetes de alta velocidad, multimedia y asimétricos.
- Compatibilidad con los sistemas de segunda generación GSM y DCS: funcionamiento en modo dual e itinerancia GSM/UMTS.

A diferencia de los primeros sistemas analógicos de primera generación que se basaban en tecnologías de acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA), y los sistemas de segunda generación basados en el acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA), los sistemas de tercera generación, UMTS, utilizan una tecnología de multiacceso radio, denominada UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Esta tecnología se basa en CDMA de banda ancha (WCDMA), que requiere el despliegue de nuevas estaciones base por la incompatibilidad al acceso radio GSM.

La tecnología WCDMA tiene algunas ventajas como pueden ser el traspaso con continuidad, comunicación sin interrupción (Soft Handover), buena eficiencia espectral, posibilidad de aprovechar el efecto de la propagación multitrayecto con el uso de receptores Rake, lo cual conlleva una elevada protección contra el desvanecimiento, y su gran capacidad y anchura de banda, que le permiten sustentar servicios de alta tasa binaria.

UMTS define dos modalidades de acceso WCDMA, que son FDD (Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex).

En función de estos dos tipos de acceso radio, se han establecido dos categorías de asignaciones de frecuencias:

- Frecuencias no emparejadas (unpaired) para aplicaciones que requieran funcionamiento en dúplex temporal (TDD). Se reservan dos subbandas con un ancho de banda total de 35 MHz, la primera de 1900 – 1920 MHz, y la segunda de 2010 – 2025 MHz.

Cada radiocanal estará constituido por una sola frecuencia portadora.

- Frecuencias emparejadas (paired) para aplicaciones que requieran funcionamiento en dúplex en frecuencia (FDD). También quedan reservadas dos subbandas de 60 MHz. Para el enlace ascendente la banda es 1920 – 1980 MHz, y para el enlace descendente la banda es 2110 – 2170 MHz.

Los 60 MHz permiten establecer 12 radiocanales de 5 MHz de anchura.

Estructura de la red UMTS

Hay tres niveles jerárquicos en la estructura de red de UMTS:

1. Subred de móviles, formada por un conjunto de terminales o equipos de usuario (UE).
2. Subred de acceso UTRAN, constituida por las estaciones radiobases denominadas Nodos B y sus controladores RNC (Radio Network Controller), ambos constituyen el sistema de red radio RNS.
3. Subred fija CN (Core Network) o núcleo de red que engloba al conjunto de equipos y sistemas de transmisión y conmutación, así como los registros de usuarios y centros de autenticación.

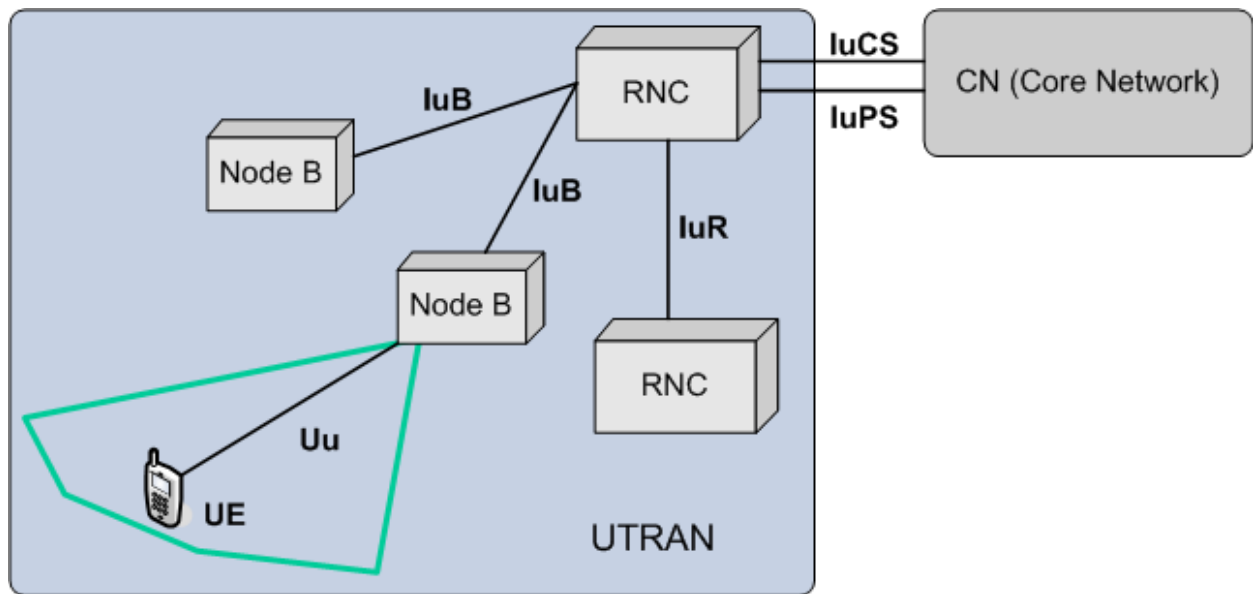


Figura 3-3 Estructura de red UMTS

En la Figura 3-3 se puede ver la estructura de una red UMTS, como se puede observar, hay definidas una serie de interfaces abiertas, que junto con las unidades funcionales indicadas, permite la interoperabilidad de equipos y subsistemas. Las interfaces abiertas son:

U_u : Interfaz aire o radio entre los UE y los Nodos B.

IuB : Interfaz Nodo B – RNC.

IuR : Interfaz entre RNC.

$IuCS/IuPS$: Interfaz entre el RNC y el CN.

3.3.1 HSDPA

La tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) es la continuación de la tercera generación de tecnología móvil y se clasifica como 3.5G. HSDPA introduce un conjunto de canales nuevos en la interfaz radio que en UMTS no estaban definidos.

UMTS sigue siendo prioritario, con lo cual, HSDPA utilizará la potencia que no esté siendo utilizada por los canales de UMTS.

Las nuevas funcionalidades introducidas por HSDPA son:

- Técnicas de retransmisión con combinación.
- Las modulaciones utilizadas son QPSK (también utilizada en UMTS), 16-QAM y 64-QAM.
- Adaptación de la tasa binaria y planificación de los usuarios a los que se transmite en función del estado de canal de radio.

3.3.2 HSUPA

La tecnología HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), es equiparable a HSDPA pero para el enlace ascendente. Al igual que HSDPA, es una continuación de la tercera generación, 3G, y se clasifica como 3.75G. Esta tecnología está prevista para servicio de conmutación de paquetes poco sensibles al retardo.

HSUPA también introduce canales nuevos en la interfaz radio como en HSDPA, que en UMTS no estaban definidos. El funcionamiento de la comunicación en HSUPA se asemeja, por lo general, al de un canal dedicado de UMTS.

El uso de modulaciones en cada canal físico puede ser de dos niveles (BPSK) o de cuatro (4-ASK). Al igual que en HSDPA, hay definidas varias categorías de terminales móviles en función de su capacidad.

3.4 LTE

El sistema LTE (Long Term Evolution) fue desarrollado por la misma asociación que desarrolló y mantiene los estándares anteriormente nombrados, el grupo 3GPP. Esta tecnología forma parte de la cuarta generación (4G) y surge a partir de la necesidad de satisfacer la creciente demanda de usuarios y redes. LTE permite aumentar significativamente los datos a transmitir, a velocidades de hasta 100 Mbps en combinación con tiempos de latencia muy cortos.

LTE utiliza dos rangos de frecuencias, el primer rango en torno a 800 MHz (790 – 862 MHz), liberado por la digitalización de la televisión, y el segundo rango en torno de 2600 MHz (2500 – 2690 MHz).

Desarrollos técnicos de la tecnología LTE

LTE hace uso de una serie de innovaciones técnicas con el fin de poder aumentar su rendimiento.

- Nuevos procesos en el enlace ascendente y descendente. LTE utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) como técnica de transmisión en el enlace descendente. Se permite que el flujo de datos sea simultáneamente modulado en numerosas bandas de frecuencia estrechas (subportadoras).

Estas bandas de frecuencia se pueden conectar y desconectar de acuerdo con la capacidad requerida. Si se produce algún fallo, solo afectaría a ciertas subbandas que pueden ser desactivadas. Esto hace a OFDMA mucho más resistente a los fallos en el proceso de transmisión, en comparación con GSM.

En cambio, en el lado de usuario, en el enlace ascendente, el método de transmisión utilizado es SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access). Una de las principales ventajas de este proceso es que es altamente eficiente, lo que reduce el consumo de energía.

- Nuevo tipo de tecnología de antena. Se emplean antenas dobles y cuádruples de modo que la señal alcanza el receptor por diferentes vías, un proceso que mejora la calidad y la velocidad de transmisión de las conexiones inalámbricas.
- La velocidad de datos máxima teórica es 170 Mbps en el enlace ascendente y con MIMO, se puede llegar a 300 Mbps en el enlace descendente.
- Los canales tienen un ancho de banda variable desde 1,25MHz hasta los 20 MHz.
- LTE es una tecnología con tres características clave: permite altas tasas de bits con baja latencia, fácil de desplegar por los operadores y evita la fragmentación por el tipo de duplexación.
- Estructura de red inteligente. Como todas las redes móviles, las redes LTE tienen una estructura celular. LTE se basa en una interfaz 'aire' llamada red de acceso radio terrestre universal evolucionado (E-UTRAN, 'Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network'). Este es el medio por el cual se transfieren datos entre la estación base y los dispositivos terminales. Varios procesos nuevos permiten que los datos sean transferidos a muy altas velocidades entre el dispositivo terminal y la estación base, llamado eNodeB. Cada estación base está conectada a su vecina, así como a la red de núcleo. El núcleo de red se conoce como EPC (Evolved Packet Core). En una red LTE, el radio de la célula básicamente se determina por el volumen de tráfico de datos, la frecuencia y el número de usuarios de la red móvil en el área de cobertura, y puede variar desde unos pocos de metros (micro célula) hasta distancias mucho más grandes (macro célula). Todo esto se explica con más detalle a continuación.

Arquitectura del sistema LTE

Los componentes fundamentales del sistema LTE son, por un lado, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal y por otro, la evolución del IMS (Subsistema Multimedia IP), concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS. Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones mediante mecanismos de conmutación de paquetes. En este sentido EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS.

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS u otras redes de telecomunicación. Las prestaciones de calidad de un servicio de transferencia de paquetes IP puede configurarse sobre la base de las necesidades de los servicios finales que lo utilicen, cuya señalización se lleva a cabo a través de plataformas de servicio externas (IMS) y de forma transparente a la red troncal EPC. Formalmente, el servicio de transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS.

Asimismo, la parte del servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN, se denomina E-RAB (E-UTRAN Radio Access Bearer).

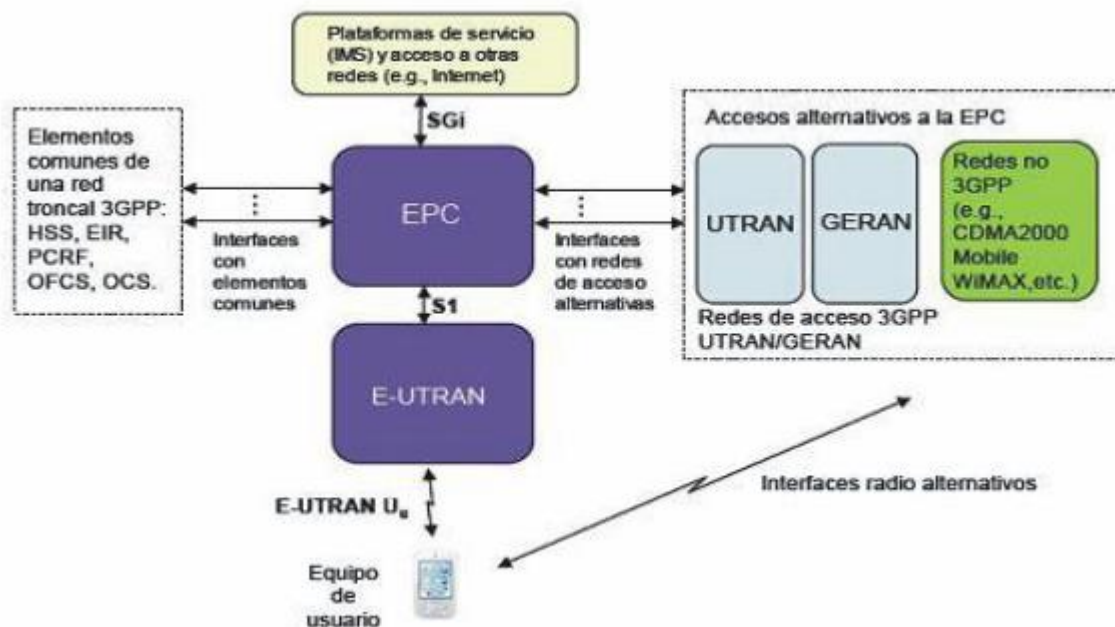


Figura 3-4 Arquitectura de los sistemas LTE

En la Figura 3-4 se muestran las principales interfaces de E-UTRAN y EPC. La interfaz entre ambas se denomina S1 y proporciona a la EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso de los terminales móviles a través de E-UTRAN. Por otro lado, las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP se llevan a cabo mediante la interfaz SGi de la EPC. La interfaz SGi constituye el punto de entrada/salida al servicio de conectividad IP proporcionado por LTE. Los mecanismos de control de los servicios de transporte ofrecidos por EPC se sustentan en información proporcionada por otros elementos de la red troncal que no son exclusivos del sistema LTE sino que pueden dar soporte también a otros dominios de los sistemas 3GPP.

Otra característica fundamental del sistema LTE es que contempla también el acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), así como mediante la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP (CDMA2000, Mobile WiMAX, wifi, etc.). La interconexión de las redes de acceso alternativas se soporta a través de un conjunto de interfaces EPC.

Red de acceso evolucionada (E-UTRAN)

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved Node B (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN. Por tanto, la estación base integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS.

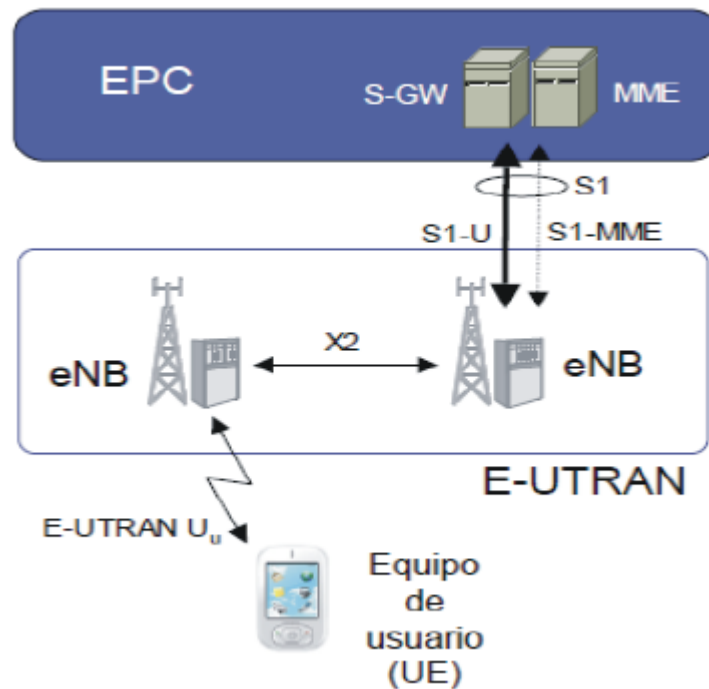


Figura 3-5 Red de acceso E-UTRAN

Como se muestra en la Figura 3-5, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNBs que los proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario y la red troncal EPC. Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN U, S1 y X2.

La interfaz radio LTE permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operación de la interfaz E-UTRAN U se implanta en el eNB.

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario.

Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuarios a través de dicha interfaz (paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz. La separación entre el plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNB con dos nodos diferentes de la red troncal. De dicha manera, mediante la interfaz S1-MME, el eNB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control. Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es típico de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

Opcionalmente, los eNBs pueden conectarse entre si mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNB intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover.

Beneficios de la tecnología LTE sobre el usuario

- Altas tasas en el enlace ascendente y descendente. Una de las características sobresaliente de LTE es su conexión de alta velocidad a Internet. La red LTE proporciona velocidades de descarga de hasta 100 Mb/s, y velocidades de subida de 50 Mb/s.
- Transmisión basada en paquetes utilizando el protocolo IP. GSM y UMTS se basan en un número de elementos de red, conversiones de protocolo y de señal, mientras que LTE utiliza el protocolo IP. Esto significa que los datos se transfieren en paquetes y que el sistema no utiliza etapas intermedias, dando un alto nivel de seguridad y calidad.
- Buenas propiedades de movilidad. La red móvil se compone de numerosas células. Optimización del traspaso entre células con el fin de reducir el riesgo de pérdida de conexiones y calidad de señal.
- Compatibilidad descendente. La compatibilidad descendente, como GSM, UMTS y HSPA, de la tecnología LTE en los dispositivos móviles, es una ventaja en caso de indisponibilidad de esta tecnología en alguna ubicación. Algunas propiedades de GSM y UMTS se siguen aplicando en LTE, tales como la potencia de transmisión que se reduce al mínimo nivel necesario.
- Cubrir todo el territorio. Se quiere dar cobertura tanto a las zonas urbanas como las rurales. El intervalo de frecuencias en torno a 800 MHz, conocida como dividendo digital, ha sido liberado por la digitalización de la televisión como hemos explicado en apartados anteriores. Cuenta con excelentes características físicas de propagación, adecuadas para proporcionar el enlace radio para dar cobertura de señal de banda ancha en las regiones escasamente pobladas.

3.4.1 LTE – Advanced

LTE – Advanced es la última versión del estándar 3GPP. Se centra en una mayor capacidad para proporcionar mayor tasa de bit de manera más rentable, cumpliendo los requisitos establecidos por la UIT para la IMT avanzada.

Algunas de las mejoras de LTE – Advanced son:

- Aumento de la velocidad de datos máxima, DL 3 Gbps, UL 1.5 Gbps.
- Aumento del número de abonados activos simultáneamente.
- Mejora del rendimiento en los bordes celulares.

4 CONDICIONANTES PREVIOS

En este capítulo se explica los distintos componentes que conforman la empresa, así como su labor y manera de gestionar el trabajo. La empresa en sí, se encarga de la gestión, despliegue y mantenimiento de las actuaciones llevadas a cabo por las alteraciones ocasionadas por la ocupación de la red móvil en la misma banda de frecuencias donde se encuentran los últimos canales de TDT. Entre las distintas labores llevadas a cabo, destacan: tratamiento de la información de despliegue del encendido de nodos, plan de comunicación en las áreas afectadas y resolución de las reclamaciones generadas o gestión de material utilizado para los equipos de TDT.

4.1 Estructura laboral

En este apartado se procede a explicar toda la estructura laboral y empresarial en torno a la cual se desarrolla todo el proceso de resolución de interferencias. Hay tres jerarquías o niveles que son genéricos en todo el mundo empresarial:

- Cliente: Empresa de mayor tamaño que externaliza servicios por no poder atender la demanda o por preferir este tipo de gestión debido al ahorro de personal que supone.
- Empresa gestora: Ofrece un servicio al cliente. Como ventajas tiene la independencia y la autonomía respecto al cliente.
- Empresa colaboradora: La empresa gestora subcontrata (pudiendo llegar a infinitas subcontrataciones) a otras empresas, generalmente de menor tamaño, para algunos de los servicios exigidos por el cliente.

Los clientes, objeto de este TFG, son las principales operadoras de telecomunicaciones del Estado español, estas son, Telefónica España, Vodafone España y Orange Espagne.

La empresa gestora, en este caso, es una multinacional de ámbito tecnológico con sedes en gran parte de las provincias españolas. La relación comercial de la empresa gestora con el cliente se materializa a través de un contrato de alcance estatal que vincula tanto a las empresas cliente como a la empresa gestora en todas las provincias españolas.

Por último, están las empresas colaboradoras implicadas en la participación del proyecto, que acceden a él a través de la subcontratación. Este fenómeno cada vez más extendido consiste en contratar a una empresa para que realice un trabajo que tú, como empresa de mayores proporciones, no puedes, por falta de mano de obra o por especialización, o no quieres asumir (generalmente atendiendo a criterios empresariales).

Una vez explicado las distintas jerarquías empresariales que engloban el proyecto, procedo a explicar las distintas secciones que componen la empresa gestora y qué labor realiza cada una de ellas.

4.1.1 Oficina Técnica (Back Office)

El Back Office u Oficina Técnica es un área dentro del proyecto encargado de diversas tareas relacionadas con las actuaciones a realizar en cada zona. En concreto, dichas tareas son:

- Diseño y coordinación del proyecto técnico por zona. Serían los encargados de coordinar las actuaciones por zona para todos los operadores. Se encargan de dimensionar a los instaladores correctamente en todas las zonas que vayan a ser afectadas para disponer de los recursos suficientes para asegurar la resolución de todas las afectaciones independientemente del ritmo de despliegue de cada operador.
- Se encargan de la búsqueda y captación de empresas colaboradoras a través del listado de registro de instaladores proporcionado por el Ministerio.
- Planificación y ejecución del plan de comunicación sobre las viviendas que se identifiquen como dentro de las áreas de potencial afectación.
- Estudio y solución de los casos de afectación que requieran soluciones especiales, como por ejemplo, alta proximidad entre la antena de la vivienda y el nodo de telefonía.
- Formación de los instaladores. La oficina técnica impartirá una formación a los distintos grupos de instaladores sobre el procedimiento de actuación definido por los operadores.
- Control y seguimiento de la actividad de los instaladores: La Oficina Técnica llevará a cabo el seguimiento de la actividad de todos los instaladores contratados por zona y del cumplimiento de resolución de actuaciones dentro del plazo establecido.

4.1.2 Call Center (CAU)

El CAU (Centro de Atención al Usuario) es el encargado de atender las llamadas de aquellos ciudadanos que tengan algún problema con su señal de TDT durante el desarrollo del encendido de los nodos 4G de cualquiera de los operadores.

Las principales funciones del CAU consisten en:

- Atender las llamadas generadas por los ciudadanos y las incidencias recibidas por los mismos en el portal web.
- Recopilar la información que se requiera en la plataforma de gestión de afectaciones que se utiliza como herramienta de trabajo por todos los participantes de este proyecto.
- Clasificación de las incidencias recibidas y en su caso de la derivación de las mismas al back office. Deberán ser capaces de realizar un filtrado entre los avisos recibidos para determinar cuáles de ellos suponen una incidencia real, no solo con criterio geográfico sino también en base a la afectación de calidad que la persona reclamante declara tener en su instalación, de modo que averías cuya descripción no tengan suficiente entidad para relacionarla con el encendido del nodo puedan ser descartadas.

En cualquier caso, es imprescindible realizar el filtrado por zonas, asegurando que la incidencia se encuentra en una zona con LTE800 en fase de despliegue.

- Realización de encuestas para comprobar la efectiva resolución de las afectaciones reportadas por los usuarios afectados.
- Completar el cierre de la incidencia.

4.1.3 Oficina de Gestión de Proyectos (PMO)

La Oficina de Gestión de Proyectos (PMO - Project Management Office) tiene que garantizar la gestión y solución integral de las afectaciones que pueda provocar el despliegue de la tecnología LTE en la banda de 800 MHz (LTE800) por parte de los operadores.

La PMO dispone de una organización de control central y de sedes territoriales, con un modelo similar al propuesto en la Figura 4-1.

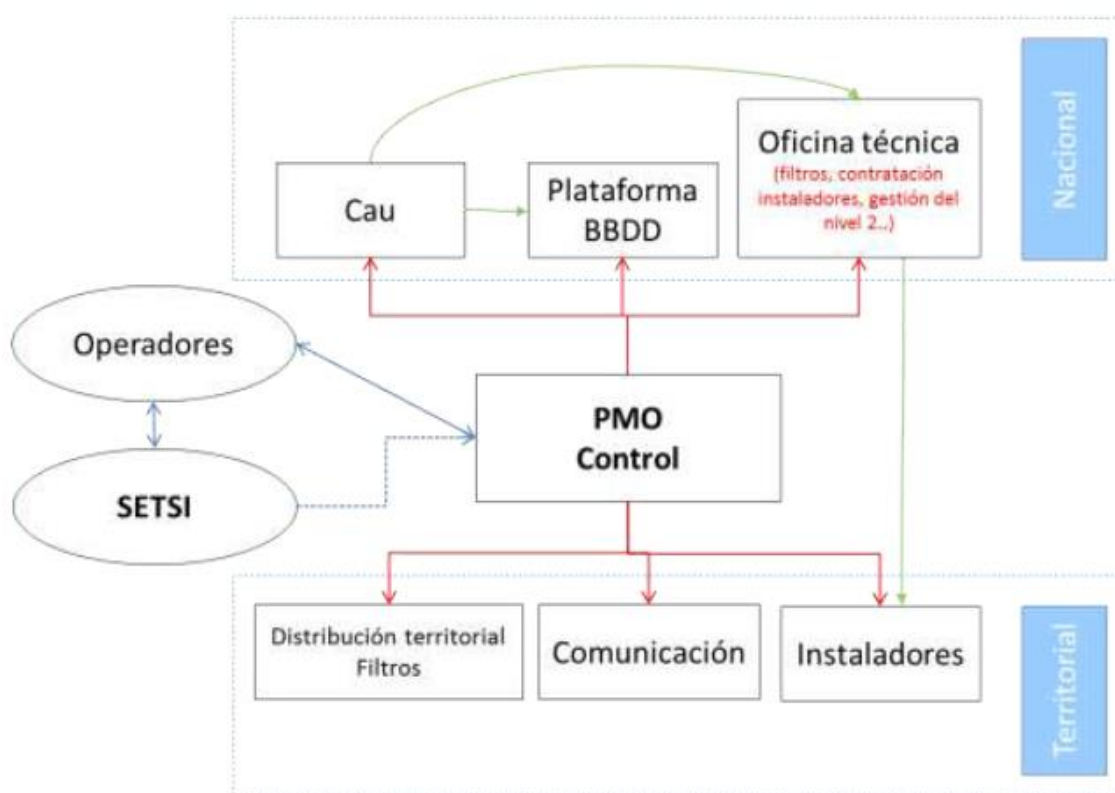


Figura 4-1 Esquema de organización

Entre las funciones principales que lleva a cabo la PMO, está, ser el interlocutor con el Ministerio para el reporte de la actividad del proceso. Dicha labor de interlocución consiste en actuar como punto de contacto único para el envío de los informes que se determinen así como para las comunicaciones que se produzcan desde la SETSI. En todos los casos, los operadores son los que han de autorizar el envío de los informes con carácter previo y figurar en copia de todas comunicaciones. Esta autorización deberá producirse a través de la emisión de un correo electrónico por parte de cada uno de los operadores afectados en los informes a remitir a la SETSI autorizando la emisión de dicho informe.

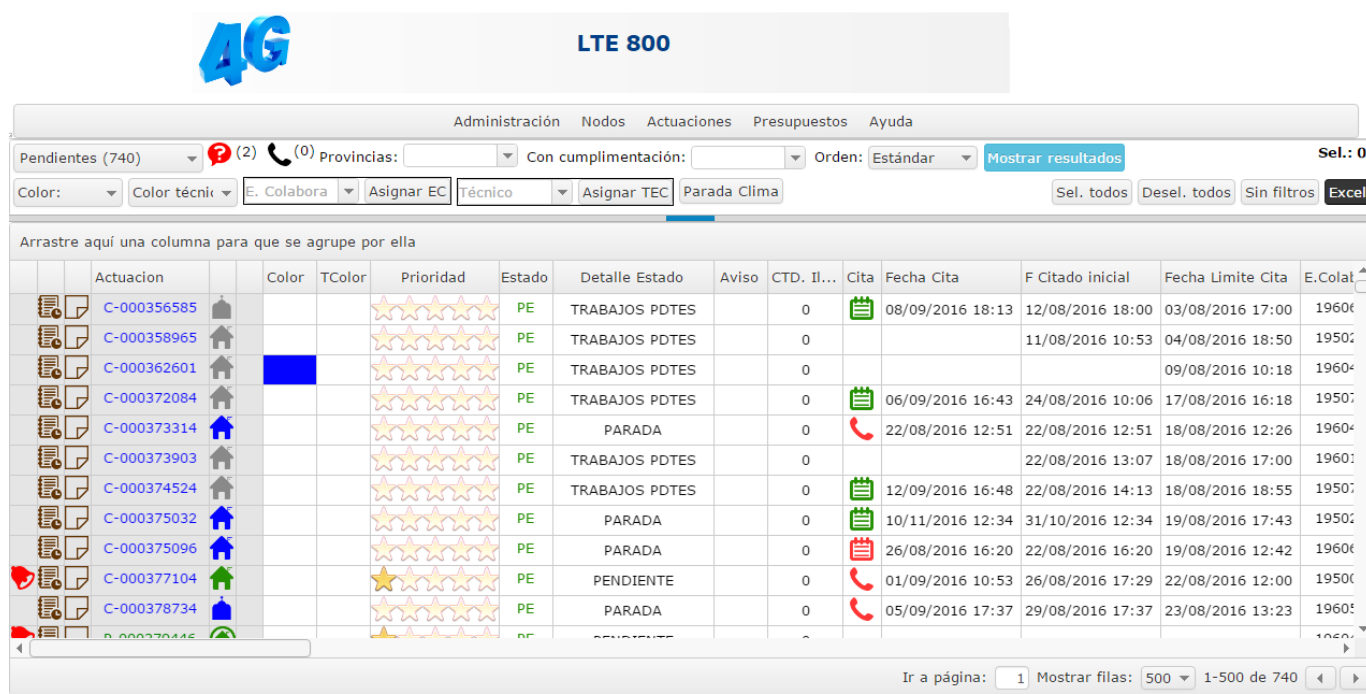
4.2 Gestión de afectaciones LTE800

4.2.1 Plataforma de gestión de afectaciones

La empresa gestora dispone de una plataforma de gestión virtual a través de la cual distribuye y controla todas las afectaciones desde el momento que se originan hasta el momento que quedan completamente resueltas.

Las principales funcionalidades que tiene esta herramienta de trabajo son:

- Gestión de la aplicación por parte del CAU (creación y seguimiento de incidencias, etc.).
- Almacén y gestión de la actividad de los instaladores, caracterización de instalaciones de recepción TDT.
- Seguimiento extremo a extremo del estado de las incidencias.
- Elaboración de informes.
- Base de datos de despliegue y seguimiento del estado de cada nodo.
- Ubicación de nodos, determinación de las áreas de afectación y domicilios de los usuarios afectados. Cálculo de las viviendas afectadas en función de las coordenadas del nodo introducido.
- Disponibilidad de la información de los canales radioeléctricos utilizados por cada canal de TDT en cada área geográfica, emisores de televisión que dan cobertura, etc.



The screenshot displays the 'LTE 800' management platform interface. At the top, there's a header with '4G' and 'LTE 800'. Below it, a navigation bar includes 'Administración', 'Nodos', 'Actuaciones', 'Presupuestos', and 'Ayuda'. The main area shows a list of incidents with various filters and a table of data.

Actuacion	Color	TColor	Prioridad	Estado	Detalle Estado	Aviso	CTD. IL...	Cita	Fecha Cita	F Citado inicial	Fecha Limite Cita	E.Colat
C-000356585			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0	📅	08/09/2016 18:13	12/08/2016 18:00	03/08/2016 17:00	19600
C-000358965			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0			11/08/2016 10:53	04/08/2016 18:50	19500
C-000362601			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0				09/08/2016 10:18	19600
C-000372084			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0	📅	06/09/2016 16:43	24/08/2016 10:06	17/08/2016 16:18	19500
C-000373314			★★★★★	PE	PARADA		0	📞	22/08/2016 12:51	22/08/2016 12:51	18/08/2016 12:26	19600
C-000373903			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0			22/08/2016 13:07	18/08/2016 17:00	19600
C-000374524			★★★★★	PE	TRABAJOS PDTES		0	📅	12/09/2016 16:48	22/08/2016 14:13	18/08/2016 18:55	19500
C-000375032			★★★★★	PE	PARADA		0	📅	10/11/2016 12:34	31/10/2016 12:34	19/08/2016 17:43	19500
C-000375096			★★★★★	PE	PARADA		0	📅	26/08/2016 16:20	22/08/2016 16:20	19/08/2016 12:42	19600
C-000377104			★☆☆☆☆	PE	PENDIENTE		0	📞	01/09/2016 10:53	26/08/2016 17:29	22/08/2016 12:00	19500
C-000378734			★★★★★	PE	PARADA		0	📞	05/09/2016 17:37	29/08/2016 17:37	23/08/2016 13:23	19600

At the bottom, there's a pagination bar: 'Ir a página: 1 Mostrar filas: 500 1-500 de 740'.

Figura 4-2 Plataforma de gestión de afectaciones

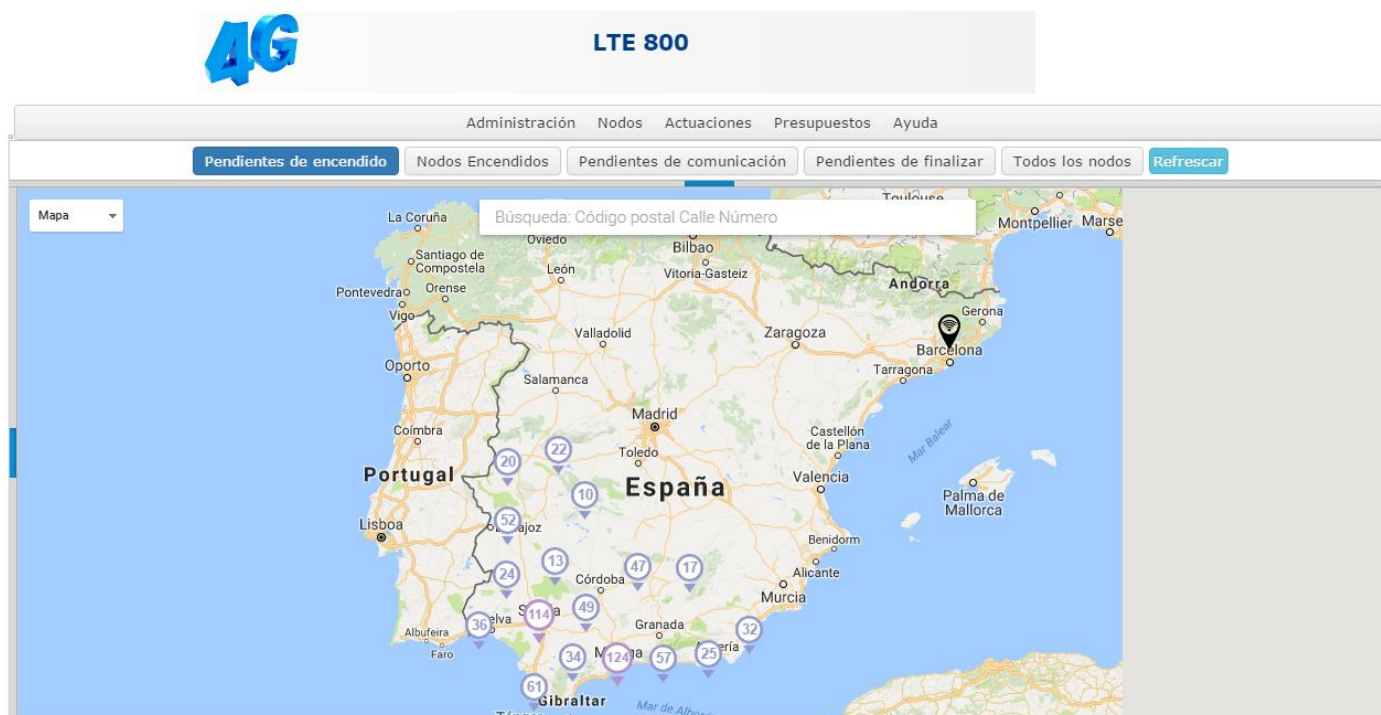


Figura 4-3 Mapa de número de nodos por ubicación

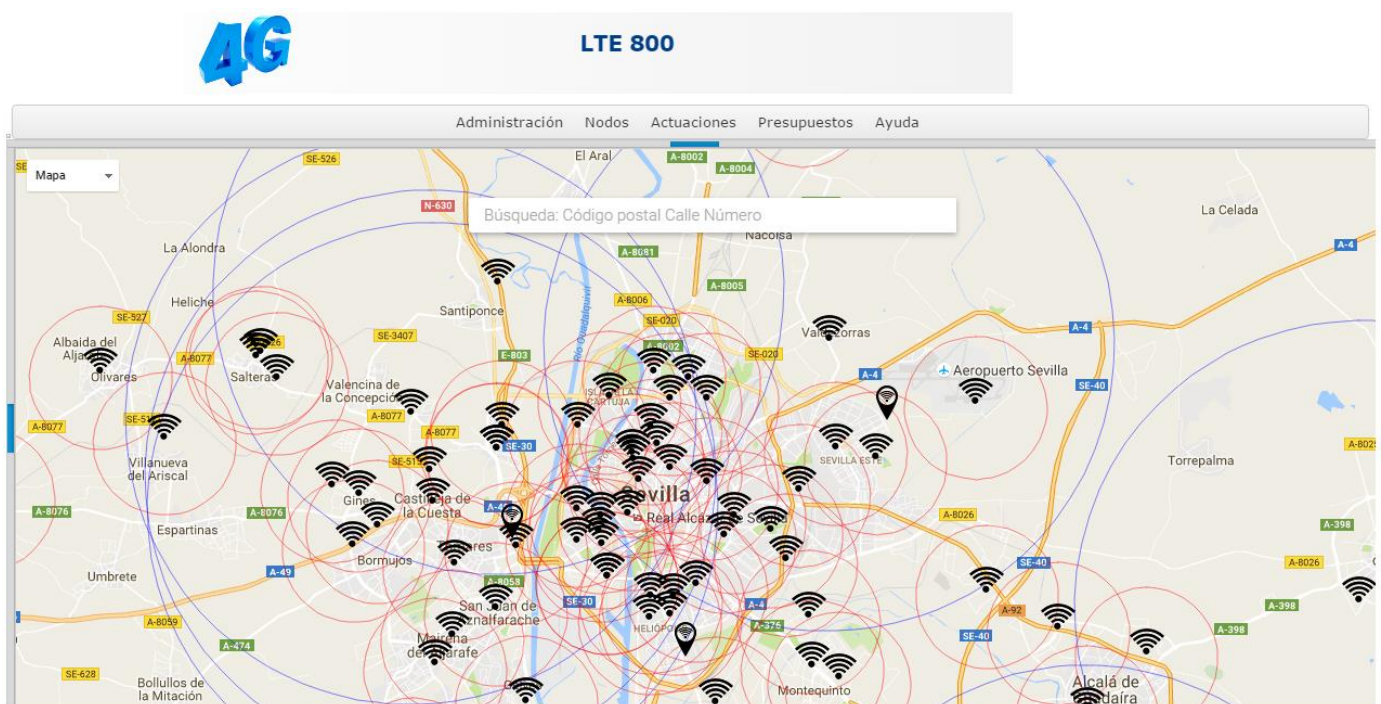
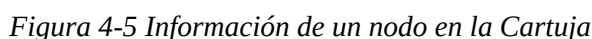


Figura 4-4 Mapa de nodos en Sevilla



4.2.3 Notificación de los planes de despliegue

1. Cada operador envía exclusivamente a la empresa gestora la planificación prevista de su plan de despliegue anual. Trimestralmente se envía la revisión del plan con el número estimado de nodos por provincia a desplegar. Adicionalmente, para cada provincia se comunica con un mes de antelación, el inicio del despliegue en la misma. En caso de que se vaya a realizar un plan masivo de aumento de potencia, se incluirá el mismo tipo de información que el requerido para los nuevos despliegues especificando adicionalmente la nueva potencia de emisión.
2. Los operadores envían exclusivamente a la empresa gestora, para cada uno de los nodos que definitivamente se van a encender, la solicitud de encendido con una antelación mínima de tres semanas respecto de la fecha prevista de encendido.
3. La empresa gestora desarrolla un sistema de gestión integral de la información que recopila y procesa las distintas bases de datos utilizadas para la planificación y ejecución de actuaciones. Este sistema de gestión agiliza y facilita la entrega de los planes de despliegue, los trámites de notificación, modificaciones de fechas de encendido, alarmas, retrasos, etc.
4. La empresa gestora realiza las acciones preventivas correspondientes a cada nodo, y actualiza en la plataforma el estado de cada nodo cuando haya cumplido con el 100% de la comunicación preventiva, notificando diariamente al operador los nodos que estén comunicados.
5. La empresa gestora finaliza las labores preventivas de comunicación de cada zona con 7 días de antelación a la fecha prevista de encendido de nodo. Transcurridos esos 7 días desde la comunicación de “nodo con zona comunicada” el operador estará en disposición de enviar a la empresa gestora el cambio de estado del nodo a encendido, con lo que la empresa gestora actualizará la información en la plataforma y procesará esta información para actualizar al CAU, ya que a partir de ese momento empiezan recibir incidencias de afectación por el encendido del nodo en esa área y se pondrá en marcha el proceso correctivo. De no encenderse el nodo en la fecha prevista, el operador debe volver solicitar una nueva fecha de encendido.
6. La empresa gestora puede solicitar el apagado de los nodos que estén creando incidencias de manera masiva para poder dar margen a las empresas colaboradoras ya que, pueden llegar a registrarse al día alrededor de unas 100 incidencias de una misma zona en el caso de los nodos más conflictivos.

4.2.4 Resolución de las incidencias remitidas por la PMO

Como ya se ha dicho anteriormente, la empresa gestora distribuye las incidencias a las empresas colaboradoras en función de las zonas que ellos mismos hayan elegido cubrir.

La comunicación de la incidencia al instalador se realiza a través de la plataforma en la cual ellos tienen acceso única y exclusivamente para recibir y subir la resolución del trabajo realizado. Como ya se ha dicho, los instaladores de las distintas empresas colaboradoras tienen total libertad para elegir a qué localidades quieren dar servicio por proximidad o por volumen de trabajo.

El instalador autorizado actuará de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Reducción de ganancia de los amplificadores de TDT de banda ancha. Donde los amplificadores tengan una ganancia ajustable se reducirá, siempre que el nivel de la señal de TV sea suficiente en las condiciones habituales, incluyendo un margen para situaciones de lluvia.
2. Limpieza de la banda de 800MHz de etapas de amplificación. En aquellas instalaciones en las que ya se han realizado las adaptaciones oportunas por la replanificación de frecuencias con amplificadores modulares o centralitas programables, en las que o bien no se hubieran retirado los módulos correspondientes a los canales 60-69 o bien no se hubieran desprogramado. Siempre que con esta limpieza se elimine la perturbación reclamada.
3. Filtrado de la señal LTE. Como el parque de amplificadores en servicio ha funcionado hasta 862 MHz, en un escenario típico de viviendas individuales o pequeñas comunidades, estos equipos amplificarán también la señal procedente de los nuevos emplazamientos de LTE800 y debido a que el nivel de señal de LTE800 es muy superior al de la TV podrán saturarse y dejarán de decodificar apropiadamente la señal de TV recibida. Para evitar este efecto de saturación es necesario instalar un filtro entre la antena y el amplificador que rechace las emisiones LTE sobre la parte alta de la antigua banda de TV.

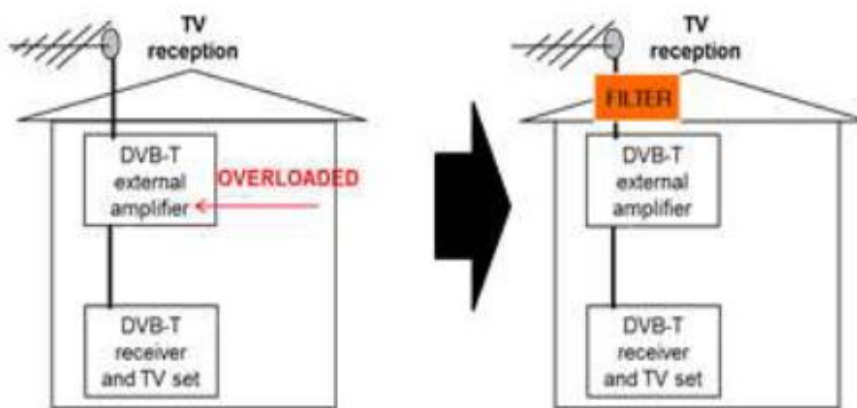


Figura 4-6 Filtrado de la señal LTE800

Analizando los tipos de instalación, se detalla la problemática típica que pueden encontrarse los instaladores:

- Instalaciones colectivas: frecuentes en edificios plurifamiliares modernos. También se puede encontrar en edificios unifamiliares que forman parte de una urbanización con instalación colectiva de TV. Utilizan después de la antena equipos amplificadores canalizados (amplificadores modulares, centralitas programables, etc.). Simplemente se eliminan aquellos amplificadores que no sean ya necesarios y/o se reajustan los programables para evitar la recepción de los canales en los que emitan en la banda 800 MHz, siempre que ya se haya llevado a cabo la adaptación de canales. En caso de que estas medidas no solucionen el problema, hay que instalar un filtro entre la antena y la etapa de amplificación, para eliminar las afectaciones ocasionadas.
- Instalaciones individuales: frecuentes en edificios unifamiliares. También se pueden encontrar en edificios plurifamiliares antiguos, se reconocen por tener en el techo varias antenas Yagi, una por cada vivienda. Suelen utilizarse equipos amplificadores de banda ancha. Se pueden dar dos casos:
 1. Amplificador próximo a la antena, en el tejado (amplificadores de mástil).
 2. Amplificador próximo al equipo de TV (amplificadores de banda ancha de interior). En este caso no es necesario trabajar en el tejado o en una instalación colectiva, por lo que se puede enviar el filtro si el usuario lo desea y que sea él mismo quien lo instale.

Con la instalación del filtro debería solucionarse el problema. Pero puede ocurrir que con la instalación del filtro no sea suficiente, con lo cual, pueden probarse las siguientes actuaciones.

- Apagado del amplificador integrado en la antena. En caso de disponer de una antena con amplificador integrado, la instalación de un filtro antes de la amplificación no es posible, por lo que la solución pasa por apagar o desconectar el amplificador integrado. Si la instalación requiriere de una etapa amplificadora deberá instalarse un nuevo amplificador independiente y el consiguiente filtro si la perturbación persistiese.
- Desapuntamiento de antena. Si la estación base LTE está alineada con la dirección de máxima radiación de la antena del receptor de TV, es posible obtener algunos dB de aislamiento cambiando ligeramente la inclinación o azimuth de la misma. Esto es suficiente para resolver el problema en algunos casos.
- Antena de TV más directiva. El uso de una antena Yagi más directiva, mejorando el nivel de señal de la TV y disminuyendo el de LTE, puede ser suficiente para resolver la perturbación.
- Cambio de altura de la antena de TV. Teniendo en cuenta que el diagrama vertical de las antenas LTE es relativamente estrecho (entre 7° y 14°) es posible obtener una buena protección si el usuario de la antena de TV está suficientemente cerca de la estación base de LTE reduciendo su altura. Esto implica tener suficiente señal de TV, ya que la disminución de la altura suele ir acompañada de una menor señal de TV recibida.

- Atenuación de la señal recibida de TV. Si la señal de TV recibida es suficiente, instalando un atenuador en el cable que viene desde la antena mejora la situación, incluso en casos de saturación o de frecuencias imagen en los receptores de TDT.

En caso de que sea necesario incluir elementos específicos, distintos a los filtros, o modificaciones en las antenas de TV, requerirán ser consultados previamente a la empresa gestora para que estudien si entra dentro de las afectaciones de LTE800 o por el contrario, es una avería que fue originada anteriormente al despliegue de los nodos.

4.2.5 Amplificadores

Los amplificadores cobran cierta importancia en este proyecto, ya que dependiendo de si hay o no, o del tipo, condicionan en la resolución de la afectación. Esto depende de la distancia entre la antena y el televisor, o del número de televisores en una misma instalación. El amplificador, como su propio nombre indica, amplifica la señal para compensar las pérdidas que se producen a lo largo del cable.

Un amplificador viene definido por:

- La ganancia, que es la relación entre la señal obtenida a su salida en relación a la introducida a su entrada.
- La mínima señal que podemos introducirle a su entrada para su correcto funcionamiento e igualmente la máxima señal permisible por encima de la cual se produce lo que denominamos saturación.
- La figura de ruido o nivel de ruido que ese amplificador va a superponer sobre la señal que introduzcamos a su entrada como consecuencia del funcionamiento eléctrico de sus componentes.

Los tipos de amplificadores con los que nos vamos a encontrar son:

- a) Amplificador de mástil



Figura 4-7 Amplificador de mástil

Estos amplificadores son los más comunes. Son colocados en el mástil sujetos mediante unas abrazaderas lo más cerca posible de la antena receptora. Se usan en instalaciones normalmente individuales y pueden disponer de más de una entrada, es decir, en ellos podemos introducir la señal procedente de varias antenas tanto de UHF como de VHF. Por ejemplo, un amplificador de tres entradas suele tener dos de UHF y una de VHF, como se puede ver en la Figura 4-7.

b) Amplificadores de banda ancha



Figura 4-8 Amplificador de banda ancha

Son de interior, reforzando la señal procedente de la toma de una antena colectiva o de una individual.

c) Amplificador monocanal

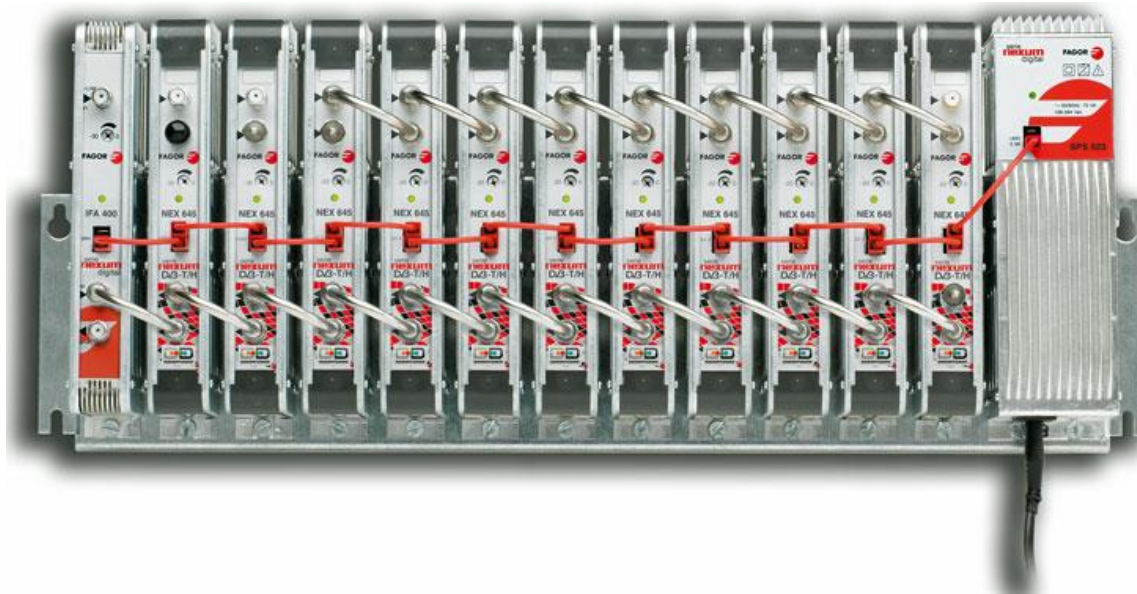


Figura 4-9 Amplificador monocanal

Amplifican un canal específico de televisión, anulando prácticamente el resto de las señales captadas por la antena. Gracias a su gran poder de amplificación son especialmente indicados para las comunidades de vecinos. Además al tratar con independencia cada canal podemos disponer de 3 o más antenas en direcciones totalmente opuestas, sin posibilidad de que lo captado por una perturbe a las demás. En este caso, se retiran los monocanales superiores al 59.

d) Amplificador programable



Figura 4-10 Central programable

Las centrales programables permiten vía software seleccionar el conjunto de canales que se pretenden amplificar. Para hacerlo, se necesita de un programador, que puede ir incorporado en la propia central programable o deba adquirirse por separado, en función de la marca y el modelo.

4.2.6 Filtros

Como ya se ha dicho anteriormente, la solución más común a la hora de resolver el problema de interferencias es la instalación de un filtro que limite el ancho de banda de la señal de televisión a 790 MHz.

Las características principales que deben tener estos filtros son:

- Estabilidad de parámetros. Las características de un filtro han de mantenerse inalterables frente a cambios ambientales de temperatura y humedad.
- Mínimas pérdidas de paso. La inserción de un elemento en la red de reparto ha de ser transparente sin afectar a las señales distribuidas. De otro modo, el instalador debe reajustar la tensión de salida.

- Elevado rechazo. Una de las funciones de los filtros es anular las señales ajenas a las de TV. En caso de que las señales interferentes estén cercanas a los múltiplos de TDT, un alto rechazo garantiza una mínima afectación.

Se trabaja con tres tipos de filtros en función del rechazo:

- **GAMA MEDIA**
 - Rechazo a 791 Mhz: Mayor de 30 dB
 - Perdida de inserción max. 2dB.



Figura 4-11 Filtro de gama media de exterior para mástil

El filtro de la Figura 4-11 es el más usado. Se puede usar tanto en interiores (amplificador de banda ancha) como en exteriores (amplificador de mástil). El Filtro de la Figura 4-12 se utiliza sólo en interiores, en los amplificadores de banda ancha.



Figura 4-12 Filtro de gama media de interior para amplificadores de banda ancha

- **GAMA ALTA**

- Rechazo a 791 Mhz: Mayor de 40 dB
- Pérdida de inserción max. 2 dB.



Figura 4-13 Filtro de gama alta de exterior o interior

El filtro de la Figura 4-13 se puede usar tanto en interior como en exterior, salvo que por el último, debe ir acompañado por un cofre de exterior como protección de las condiciones ambientales. Este tipo de filtro es más potente que los anteriores y se suele utilizar cuando la antena está próxima al nodo de telefonía ó la señal recibida es muy débil.

- **GAMA MUY ALTA**

- Rechazo a 791 Mhz: Mayor de 60 dB
- Pérdida de inserción max. 2 dB.



Figura 4-14 Filtro de gama muy alta de exterior o interior

El filtro de la Figura 4-14, es el que más rechazo presenta, y al igual que el anterior, se puede usar tanto de interior, como de exterior. Se utiliza de manera muy excepcional, como tener a pocos metros el nodo de telefonía. Ha habido algunos casos en los que se ha tenido que colocar dos filtros de esta gama en serie para conseguir eliminar la interferencia.

Todos los modelos de filtros que se instalen deberán contar el sello de Conformidad Europea y la garantía de una empresa nacional especializada en certificación de equipamiento para la recepción de TDT, de que los filtros cumplen las especificaciones solicitadas y los requisitos mínimos para su instalación en los sistemas de recepción de las viviendas afectadas.

La empresa gestora es la que se encarga de la adquisición y de las labores logísticas en relación con los filtros a instalar, como solución preventiva y solución correctiva más habitual. Esta misma será la encargada de entregar los filtros a las empresas colaboradoras.

4.2.7 Equipos de medida

La herramienta de trabajo empleada para medir la señal recibida en la antena es el medidor de campo (ver Figura 4-15).



Figura 4-15 Medidor de campo

Un medidor de campo es un instrumento utilizado en electrónica para medir los parámetros de una señal de radiofrecuencia. Los parámetros que hay que tener en cuenta para ver cómo es la señal que se está recibiendo en la antena son: la potencia y las medidas de errores de la señal, éstas son, MER (Relación de Error de Modulación), CBER (tasa de error de bits antes del Corrector de Viterbi), VBER (tasa de error de bits después del corrector de Viterbi). En la Figura 4-16, se puede ver el diagrama de bloques de los errores de medida de la señal DVB-T.

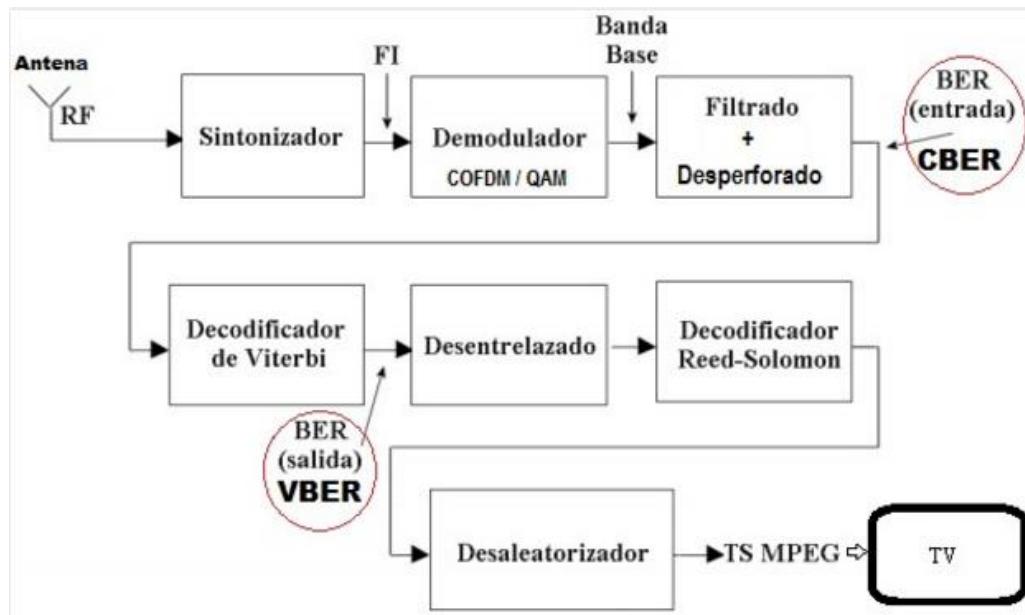


Figura 4-16 Medidas de errores de la señal DVB-T

El algoritmo de Viterbi es un decodificador corrector de errores, responsable de minimizar los errores para las siguientes etapas, que se aplica en el receptor para decodificar los códigos internos convolucionales que se usan en la codificación de la señal. La información se degrada en su transmisión por un canal RF debido, entre otras causas, a la baja relación Señal/Ruido, que en DVB-T se puede tomar como equivalente el MER. El algoritmo de Viterbi puede corregir los errores de la señal y "encontrar" la secuencia original de bits en los paquetes de datos hasta un límite, a partir del cual estos se vuelven errores no corregibles (VBER).

Sin entrar en mucho detalle, explicaré en qué consisten los parámetros que se toman en la medida de la señal:

- **MER:** la tasa de error de modulación define un factor que nos informa de la exactitud de una constelación digital. Esta es una herramienta cuantitativa que permite valorar cómo es de buena una señal digital modulada. Es el equivalente a la información que aporta SNR (Relación señal/ruido) para las modulaciones de señales analógicas. Define el desplazamiento entre los puntos ideales en un diagrama de constelación y los reales, es decir, la relación entre la medida de la potencia de la señal DVB y la potencia del ruido presente en la constelación. En el MER se incluye todo tipo de deterioro de la señal como ruido, error de fase, error de cuadratura, etc. Se expresa como un valor promedio en dB. Las medidas que se toman como aceptables son:

- En DVB-T (QAM64): el MER en antena debe estar por encima de 23dB.
- En DVB-T (QAM64): el MER en tomas debe estar por encima de 21dB.
- En DVB-T2 (QAM256): el MER en las tomas debe estar por encima de 28dB.

- CBER: la tasa de error de bit a la entrada del decodificador de Viterbi, son los llamados errores corregibles. La medida ideal es del orden de $1.0E-4$ (1bit erróneo por cada 10.000bits), pero también se considera aceptable un valor del orden $1.0E-2$ (1bit erróneo por cada 100bits recibidos).
- VBER: la tasa de error de bit a la salida del decodificador de Viterbi, son los llamados errores no corregibles. El valor ideal para el VBER es del orden de $1.0E-7$ (1bit erróneo por cada 10.000.000bits). También se admite un límite del orden de $2.0E-4$, pero en este caso se dice que la señal está cuasi-libre de errores.

5 APLICACIÓN REAL

En este capítulo se incluye un ejemplo real sobre la resolución de una afectación en una vivienda producida por el encendido de un nodo de telefonía.

Se trata de una vivienda unifamiliar en la localidad de Vegas de Almenara, provincia de Sevilla. La recepción de la señal en la antena está afectada por el encendido de un nodo de Telefónica cuya fecha de encendido fue el 27/07/2016 en el municipio de Peñaflores.

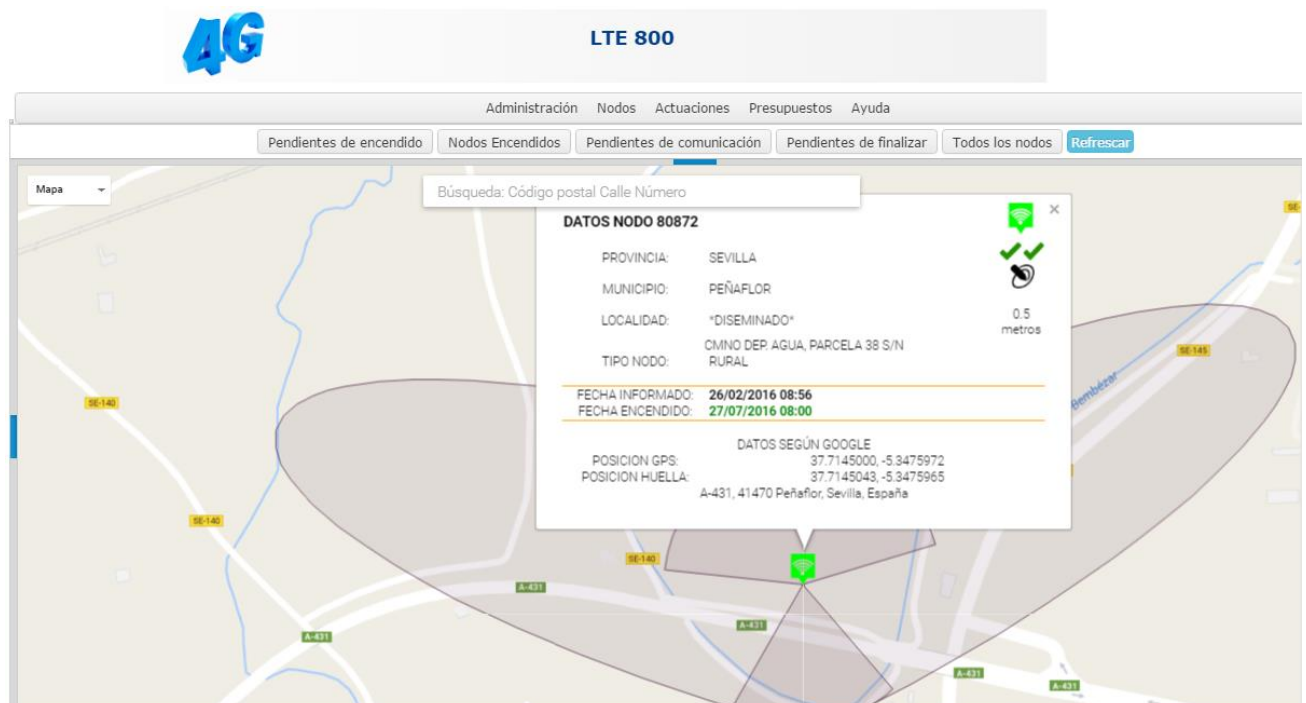
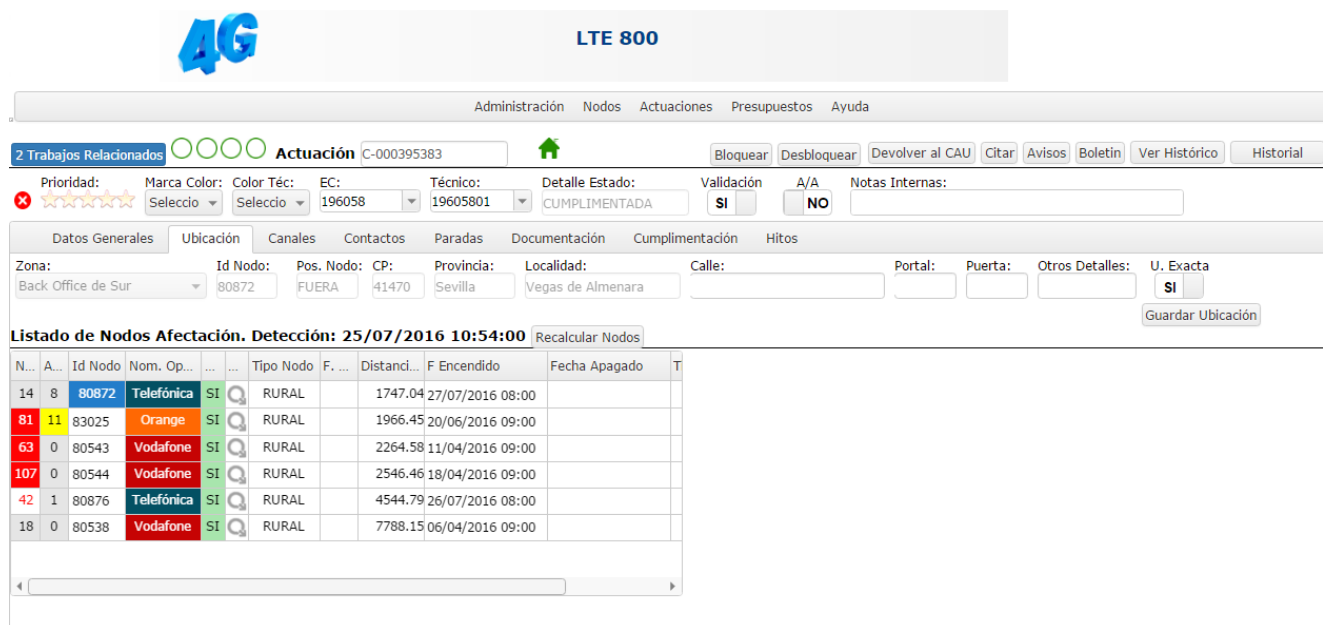


Figura 5-1 Datos y ubicación del nodo

El usuario se pone en contacto a través del número de teléfono de atención para las afectaciones creadas por LTE800. El CAU, de la empresa gestora, atiende al usuario afectado haciéndole una serie de preguntas para asegurarse de si el problema que el usuario está informando, se debe a una afectación producida por el encendido del nodo de telefonía, o de lo contrario, es una afectación ajena al nodo.

Para asegurarnos de que se trata de una afectación LTE800, en primer lugar, se pide la ubicación donde se está produciendo la afectación, para comprobar de esta manera, si se encuentra en una zona con LTE800 en fase de despliegue o en servicio (ver Figura 5-2). De ser así, también se toman datos de los canales que no ve el usuario, para comprobar, si los canales en los que tiene problemas, coinciden con el último canal de la región. En caso de que los canales con problemas no coincidan con el último canal, no procedería la incidencia porque sería un problema ajeno a las interferencias producidas por el nodo de telefonía.

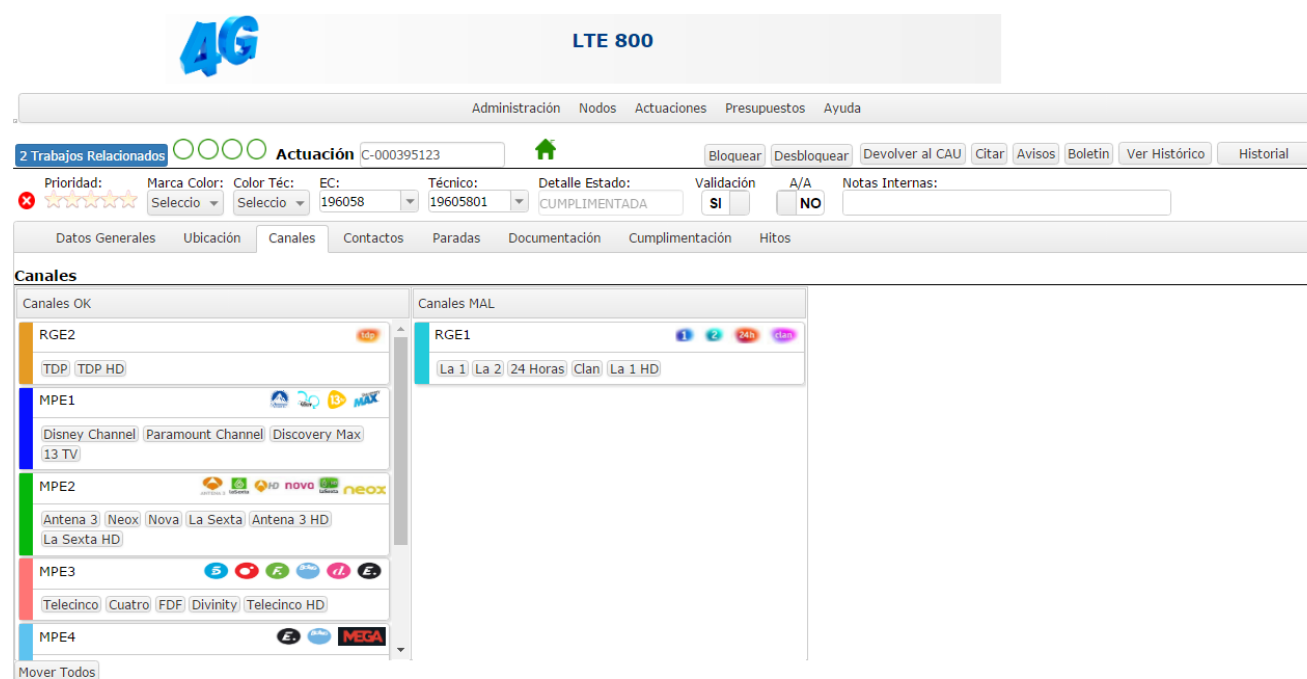
En la Figura 5-3 se puede ver los canales en los que el usuario dice tener problemas de recepción. Éstos son los pertenecientes a la RGE1, que en este caso, en la provincia de Sevilla, están en el canal 57 (último canal). El resto de canales, los cuales dice ver bien, están situados por debajo del canal 57. Con lo cual, si se trata de un problema producido por las interferencias del nodo de telefonía.



The screenshot shows the 'LTE 800' application interface. At the top, there's a navigation bar with 'Administración', 'Nodos', 'Actuaciones', 'Presupuestos', and 'Ayuda'. Below this, there's a section for '2 Trabajos Relacionados' and 'Actuación' with a search bar containing 'C-000395383'. There are buttons for 'Bloquear', 'Desbloquear', 'Devolver al CAU', 'Citar', 'Avisos', 'Boletín', 'Ver Histórico', and 'Historial'. Below this, there's a section for 'Prioridad', 'Marca Color', 'Color Téc', 'EC', 'Técnico', 'Detalle Estado', 'Validación', 'A/A', and 'Notas Internas'. The 'Validación' section shows 'SI' and 'NO' buttons. Below this, there's a section for 'Datos Generales', 'Ubicación', 'Canales', 'Contactos', 'Paradas', 'Documentación', 'Cumplimentación', and 'Hitos'. The 'Canales' section is active, showing a table of affected nodes.

N...	A...	Id Nodo	Nom. Op...	...	Tipo Nodo	F...	Distanci...	F Encendido	Fecha Apagado	T
14	8	80872	Telefónica	SI	RURAL		1747.04	27/07/2016 08:00		
81	11	83025	Orange	SI	RURAL		1966.45	20/06/2016 09:00		
63	0	80543	Vodafone	SI	RURAL		2264.58	11/04/2016 09:00		
107	0	80544	Vodafone	SI	RURAL		2546.46	18/04/2016 09:00		
42	1	80876	Telefónica	SI	RURAL		4544.79	26/07/2016 08:00		
18	0	80538	Vodafone	SI	RURAL		7788.15	06/04/2016 09:00		

Figura 5-2 Lista de nodos encendidos hasta el momento



The screenshot shows the 'LTE 800' application interface. At the top, there's a navigation bar with 'Administración', 'Nodos', 'Actuaciones', 'Presupuestos', and 'Ayuda'. Below this, there's a section for '2 Trabajos Relacionados' and 'Actuación' with a search bar containing 'C-000395123'. There are buttons for 'Bloquear', 'Desbloquear', 'Devolver al CAU', 'Citar', 'Avisos', 'Boletín', 'Ver Histórico', and 'Historial'. Below this, there's a section for 'Prioridad', 'Marca Color', 'Color Téc', 'EC', 'Técnico', 'Detalle Estado', 'Validación', 'A/A', and 'Notas Internas'. The 'Validación' section shows 'SI' and 'NO' buttons. Below this, there's a section for 'Datos Generales', 'Ubicación', 'Canales', 'Contactos', 'Paradas', 'Documentación', 'Cumplimentación', and 'Hitos'. The 'Canales' section is active, showing a list of channels.

Canales

Canales OK

- RGE2
 - TDP
 - TDP HD
- MPE1
 - Disney Channel
 - Paramount Channel
 - Discovery Max
 - 13 TV
- MPE2
 - Antena 3
 - Neox
 - Nova
 - La Sexta
 - Antena 3 HD
 - La Sexta HD
- MPE3
 - Telecinco
 - Cuatro
 - FDF
 - Divinity
 - Telecinco HD
- MPE4
 - MEGA

Canales MAL

- RGE1
 - La 1
 - La 2
 - 24 Horas
 - Clan
 - La 1 HD

Mover Todos

Figura 5-3 Visión de canales en la zona de usuario

El CAU termina de tomar los datos necesarios para meterlos en la plataforma de gestión de afectaciones, creando de esta manera una incidencia (ver Figura 5-4 y 5-5), la cual se pasa a la oficina técnica para que ésta se encargue de asignarla al instalador de la empresa colaboradora de la esa zona.

Como se puede ver en la Figura 5-1, se trata de una actuación correctiva, ya que la fecha de informado fue el 26/02/2016 y la fecha en la cual el usuario informa del problema es, como se puede ver en la Figura 5-4, posterior a la fecha de encendido del nodo.

Actuación C-000395959

Características de la Actuación

Actuación relacionada: Tipo de Actuación: **Correctiva** Tipo de Vivienda: **Vivienda Unifamiliar** Tipo de Instalación: **Individual** Buzón: **Sei Buzón:** Acceso a la Antena: **SI** Envío Por Correo: **NO**

Fechas Actuación

Fecha Detección Problema: 05-08-2016 18:16 Fecha Información: 2016-09-06 18:22:44 Fecha Límite para Cita: 2016-09-07 17:00:00 Fecha Límite: 2016-09-10 22:00:00

Otros Datos

Observaciones (176):
LE INFORMAN LOS VECINOS.
NO ES NECESARIA ESCALERA, SE ACCEDE POR LA AZOTEA

Observaciones Provincia (250):

Figura 5-4 Creación de una incidencia por parte del CAU

Mostrar boletín de la actuación C-000395383

CORRECTIVA CUMPLIMENTADA

Datos Generales

Id. Act: **C-0395383**

Relacionada con IdAct: **0395123**

Ubicación

Id. Nodo: 80872 **Telefónica**

Dirección Completa: 41470 Vegas de Almenara, Sevilla

Contactos

(0) **Nombre:** **Telfs.:**

Horario mañanas: 09:00:00-14:00:00 Horario tardes: 14:00:00-22:00:00

Horario contacto: INDIFERENTE Motivo:

Cumplimentaciones

Cumpl. OL: Fec. Creación: 2016-09-06 19:32:25 Fec. Finaliza: 2016-09-06 19:33:49 Cód. Téc.: 19605801 IdEECC: 196058 Fec. Cumpl.: 2016-09-06 19:32:25 **Tipo Cump.:** Amplificador de mástil **Obs. Cump.:** Act. Adic.: NO **Cump. Cancel.:** NO

Figura 5-5 Boletín creado para la afectación

Una vez creada la incidencia y pasada a la oficina técnica, éstos asignan la incidencia, a través de la plataforma, al instalador de la zona. El instalador tiene un día para ponerse en contacto con el usuario de la vivienda, como se indica en la Figura 5-4 en 'Fecha Límite para la Cita'. Una vez puesto en contacto con el usuario, el instalador se pasará por el domicilio cuando haya pactado con éste.

Cuando el instalador pase por la vivienda, debe revisar en primer lugar la instalación e identificar el tipo de antena y amplificador (si lo tuviera) que tiene el usuario. En la Figura 5-6 se ve que el usuario tiene una antena tipo yagi con un ángulo de 90 grados y un amplificador de mástil.



Figura 5-6 Antena tipo yagi y amplificador de mástil

El instalador realiza las medidas, con un medidor de campo, antes del amplificador para ver la señal recibida en la antena. En la Figura 5-7, se ve la medida realizada en el canal 57, que es el último para la provincia de Sevilla.

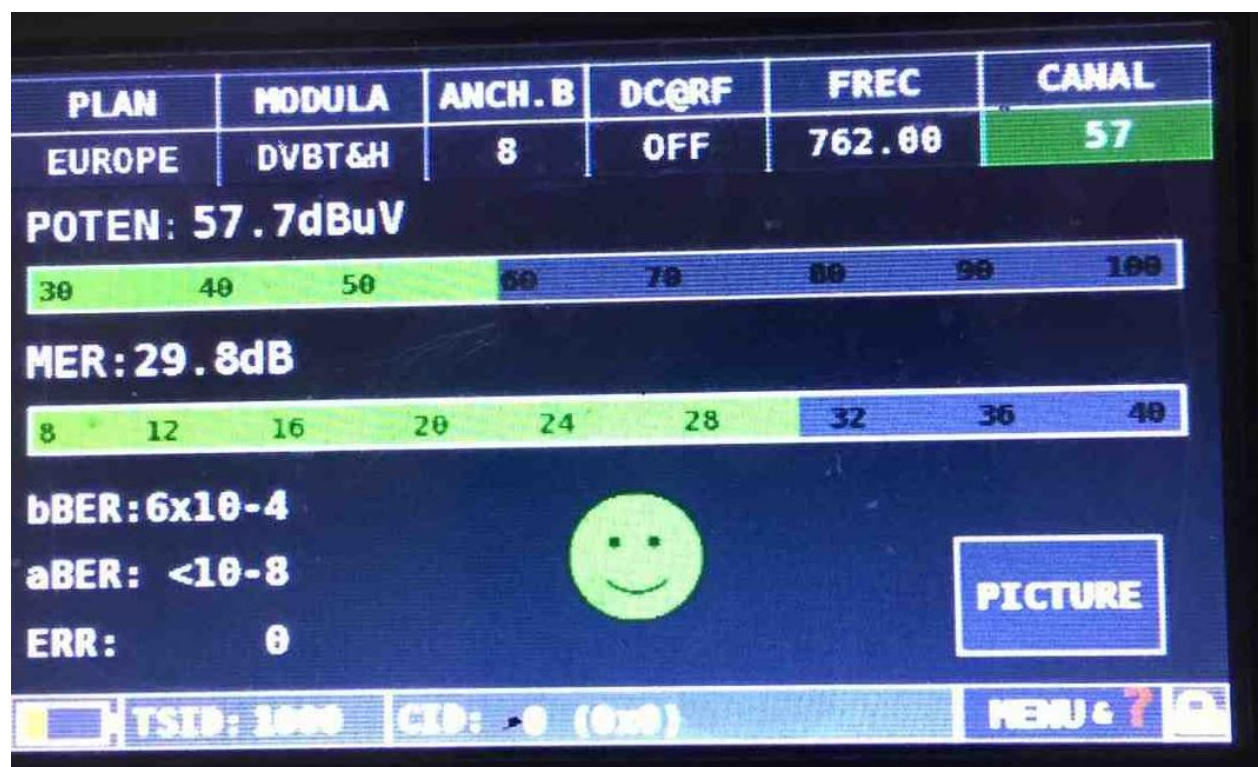


Figura 5-7 Medida antes de la instalación del filtro

En la Figura 5-7, se ve que el nivel de potencia de la señal es bueno, 57.7 dBuV. Se considera un nivel de potencia aceptable a partir de 45 dBuV. El resto de los parámetros a tener en cuenta son la tasa de error de modulación (MER), la cual se considera aceptable a partir de los 23 dB midiéndose en antena, la tasa de error de bit (bBER), que equivale al CBER, la cual se considera aceptable a partir de 1.0E-2 y la tasa de error de bit (aBER), equivalente al VBER, la cual es aceptable a partir de 1.0E-7. Para este caso, tanto la medida del MER como las del BER son bastantes buenas, con lo que la interferencia se puede arreglar con un filtro de medio rechazo como se puede ver en la Figura 5-8.

Una vez instalado el filtro, el instalador tiene que volver a realizar las medidas para comprobar que siguen siendo buenas, ya que en algunas ocasiones, la colocación del filtro puede empeorar la recepción de la señal por tener una instalación deficiente.

En la Figura 5-9 se puede ver que la potencia aumenta ligeramente, pero que todas las medidas siguen siendo buenas. El filtro ha eliminado las señales ajenas a la televisión.

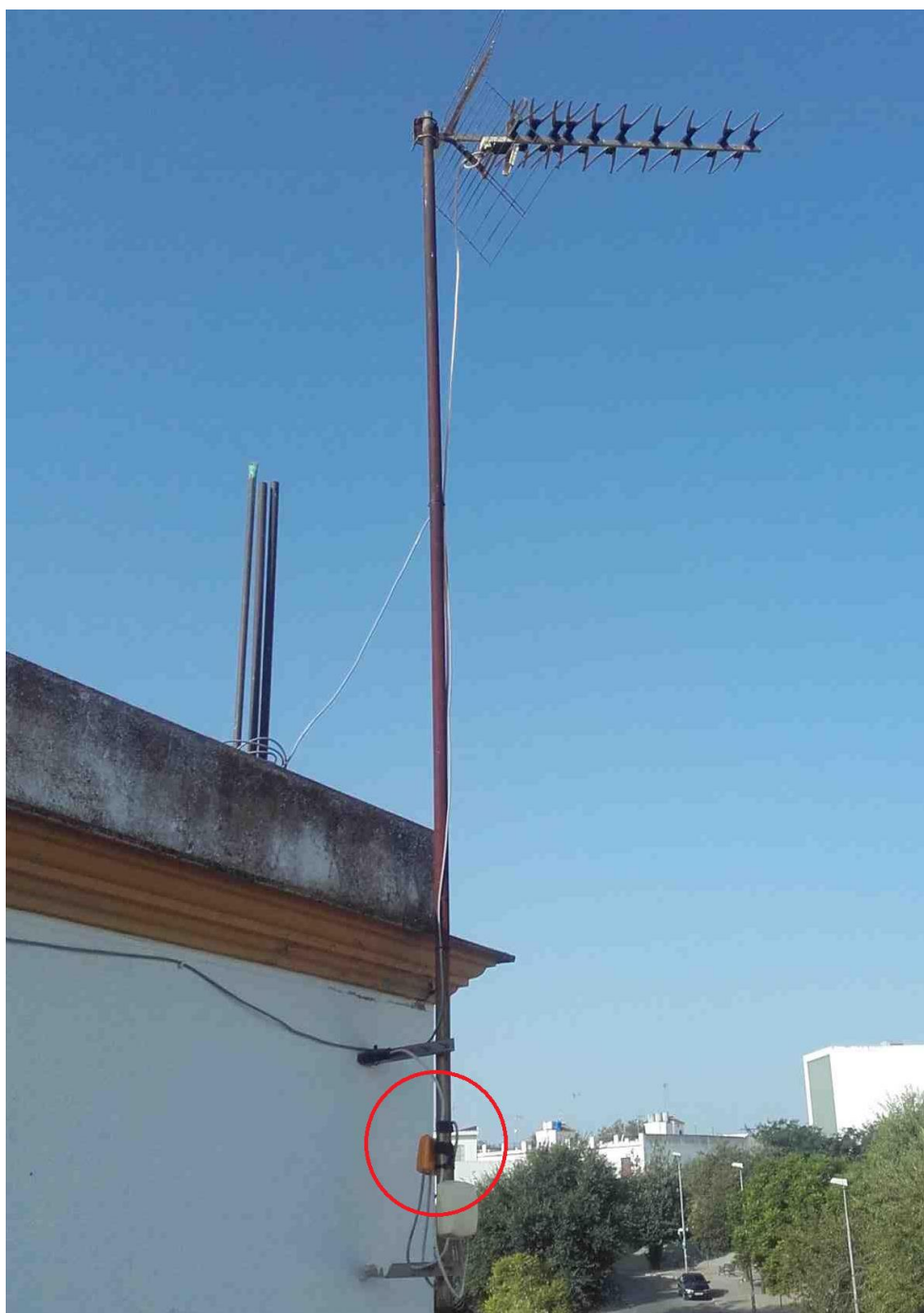


Figura 5-8 Instalación del filtro

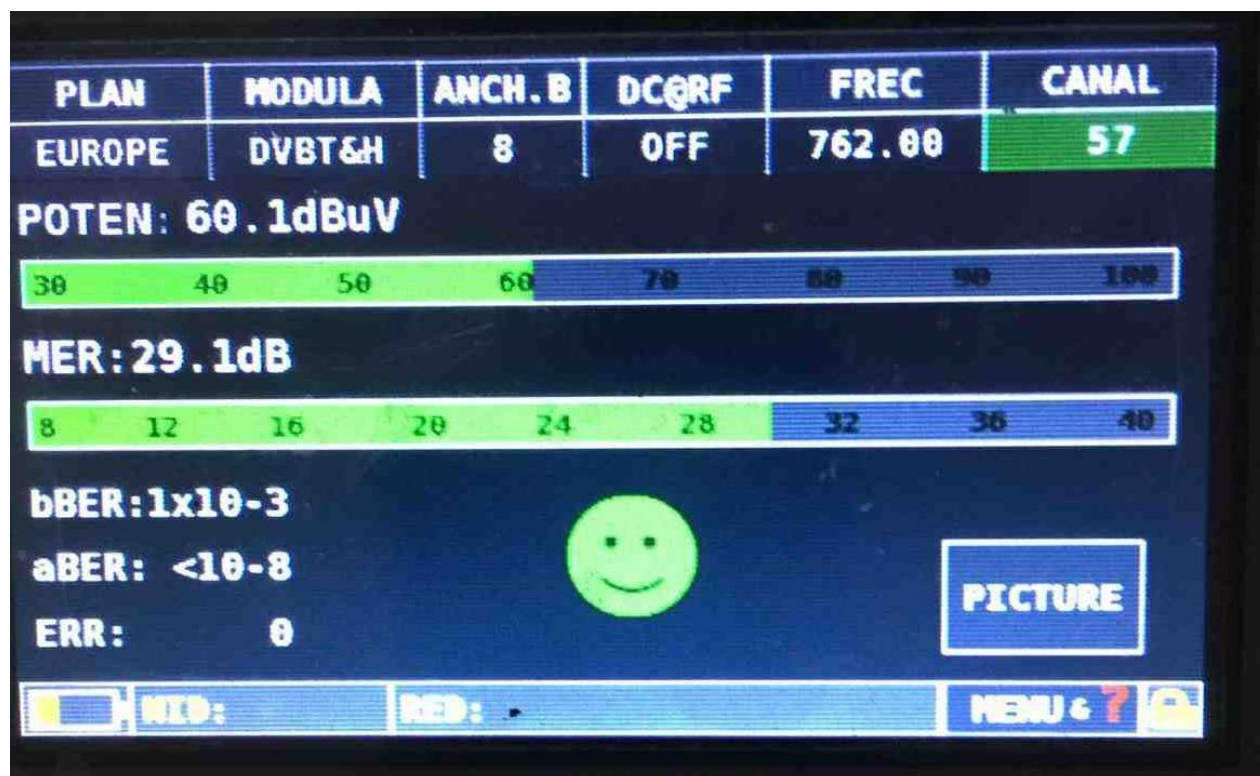


Figura 5-9 Medida después de la instalación del filtro

Modificación de la actuación: C-000395383, con fecha: 2016-09-06 19:32:25, del técnico: 19605801, Empresa: 196058

Actuación: Amplificador de mástil Fecha: 2016-09-06 19:32:25

Presupuesto AMA: Id. Presupue

Tipo Amplificador: Amplificador de Mástil Tipo Antena: Yagi

Observaciones:

Situación Inicial

Potencia dBuV (0-200): 57.7

MER dB (0-50): 29.8

CBER: 6.0E-4

¿Ve último canal?: Bien

OK OK OK

Enlace medidas: Explorar

Enlace instalación: Explorar

¿Tiene actuación adicional?:

Situación con filtro de media

Potencia dBuV (0-200): 60.1

MER dB (0-50): 29.1

CBER: 1.0E-3

¿Ve último canal?: Bien

OK OK OK

Enlace medidas: Explorar

Enlace instalación: Explorar

Tiene Filtro:

Material:

Seleccione material Instalac 1 Añadir material Eliminar material

Material	I/D	Cantidad
405403 - FILTRO LTE HR "EasyF" 47..782 Mhz. (C21-59) DC	I	1

Figura 5-10 Documentación subida en la plataforma


LTE 800

Administración
Nodos
Actuaciones
Presupuestos
Ayuda

Historio de modificaciones de la actuación C-000395383
✕

Fecha	Usuario	Descripción	Tipo
07/09/2016 17:22		Actuación cerrada con encuesta (cliente ID 392911), con tipo de ci...	CIERRE_ACT
07/09/2016 17:22		Encuesta realizada para	ENCUESTA_ACT
07/09/2016 10:55		Modificada la información de la actuacion: 395383. RequiereValida...	MOD_CONT_ACT
07/09/2016 10:53		Se modifica la cumplimentacion final. Con Fecha: 2016-09-06 19:...	CUMP_MOD
07/09/2016 10:53		Se modifica la cumplimentacion inicial. Con Fecha: 2016-09-06 19:...	CUMP_MOD
06/09/2016 19:33		Se crea la cumplimentacion final. Con Fecha: 2016-09-06 19:32:25	CUMP_CREA
06/09/2016 19:33		Se crea la cumplimentacion inicial. Con Fecha: 2016-09-06 19:32:...	CUMP_CREA
06/09/2016 12:22		Creación de la actuacion por duplicar la actuación: 395123 .	DIV_ACT
06/09/2016 12:22		Se informa la actuación.	INF_ACT

Prioridad:

✕ ★ ★ ★ ★ ★

Notas Internas:

Datos Gene

Características

Actuación relacio
395123

Fechas Actuac

Fecha Detección F
25-07-2016 10:54

Otros Datos

Observaciones (2)

Figura 5-11 Histórico de la actuación


LTE 800

Administración
Nodos
Actuaciones
Presupuestos
Ayuda

Historio de modificaciones de la actuación C-000395383
✕

Introducir Nueva Línea

Historial de la Actuación

Fecha	Descripción
06/09/2016 12:22	Se informa la incidencia Correctiva
06/09/2016 19:33	Se resuelve la incidencia
07/09/2016 17:22	Se cierra Incidencia

Prioridad:

✕ ★ ★ ★ ★ ★

Notas Internas:

Datos Gene

Características

Actuación relacio
395123

Fechas Actuac

Fecha Detección F
25-07-2016 10:54

Otros Datos

Observaciones (2)

Figura 5-12 Historial de la actuación

Una vez resuelto el problema, el instalador debe subir la documentación de la incidencia completa a la plataforma de gestión de afectaciones como se puede ver en la Figura 5-10.

Para cerrar la incidencia completamente, el CAU llama al usuario para realizarle una encuesta para comprobar la efectiva resolución por parte del trabajo realizado por el instalador. Después de esto, se procede al cierre de actuación. Esto se puede ver en la Figura 5-11 y en la Figura 5-12.

Como se dijo al principio del proyecto, las operadoras se tienen que hacer cargo de las alteraciones ocasionadas por la ocupación de la red móvil en la banda de los 800 MHz, responsabilizándose de esta forma de la eliminación de las interferencias ocasionadas en todas las viviendas. Pero en muchas ocasiones, los usuarios se aprovechan de la situación pretendiendo que se les cambie una instalación deficiente, con la cual, difícilmente veían la televisión antes de que todo esto empezase. Es por ello que todos los cierres de incidencias se tienen que pasar directamente a los operadores como justificante del servicio realizado por parte de la empresa, eximiéndose del coste de todas aquellas incidencias las cuales se les haya sustituido algún elemento que tuvieran en mal estado.

6 CONCLUSIONES

En este documento trato de reflejar la situación actual de despliegue de la red móvil en la banda 800 MHz por parte de los operadores, y cómo la empresa contratada por los mismos gestiona el problema de interferencias provocados en el último canal. Mi labor en la participación de este proyecto en este último año ha sido en la oficina técnica (Back-Office), en la cual he realizado distintas tareas como la búsqueda de empresas instaladoras externas para la resolución del problema en las viviendas afectadas, validación de las actuaciones realizadas, estudio y elaboración de informes de los casos que requieran soluciones especiales ó gestión de la logística de filtros.

Con esto, el objetivo que persigue las operadoras es dar cobertura LTE en todo el territorio español en un periodo a corto plazo. La liberación de la banda de 800 MHz para el uso de la red móvil supone tener mejor cobertura ya que al estar en una banda más baja, permite tener antenas con mayor alcance y mejor cobertura en interiores que en las bandas más altas. Otra de las ventajas que supone la liberación de esta banda es la obtención de una mayor velocidad ya que dispone de mayor ancho de banda inalámbrica.

Todo esto viene a consecuencia del incremento exponencial de la evolución de la tecnología en los últimos años. Esta evolución obliga cada vez a más usuarios a su utilización, con lo que la creciente demanda de usuarios y redes también se está produciendo de manera exponencial. Cada vez hay más necesidad de tener acceso y envío de cualquier tipo de información desde cualquier localización y en cualquier momento.

Aún así, es tanto el crecimiento, que ya se está empezando a investigar sobre futuras redes móviles, como son los sistemas de quinta generación, 5G. Entre los objetivos que tendrán estas redes está, tener mucho más volumen de datos móviles por área geográfica, más dispositivos conectados y disminución del consumo de energía.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Comunicaciones móviles” del prof. Hernando Rábanos, 3ª edición.
- [2] “Transmisión por radio” del prof. Hernando Rábanos, 7ª edición.
- [3] “Televisión Digital Terrestre” Javier Luque Ordoñez
- [4] " <http://www.3gpp.org/>"
- [5] " El Nuevo Marco Jurídico de las Telecomunicaciones en Europa" *Luis M. González de la Garza*
- [6] " <http://tdtdvb-t.blogspot.com.es/2013/02/medir-la-senal-dvb-t.html>"
- [7] Apuntes de Conmutación. 5º Ingeniería de Telecomunicaciones