

TRABAJO FIN DE GRADO

**Proceso de replanteo, instalación y certificación de la
tecnología LTE**

AUTOR: MATÍAS ÉCIJA FERNÁNDEZ
DIRECTOR: LORENZO RUBIO ARJONA

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

Curso 2018-19

Valencia, 10 de septiembre de 2019

Agradecimientos

Desde estas líneas quiero agradecer su apoyo a todas las personas que han estado a mi lado a lo largo de estos años, gracias a las cuales ha sido posible mi desarrollo tanto académica como personalmente.

En especial agradecer a mi familia y mi pareja por su apoyo incondicional y sus consejos; y al director de mi Trabajo Fin de Grado, D. Lorenzo Rubio Arjona, por guiarme en este proyecto.

Gracias.

Resumen

En este TFG se describe el proceso de instalación de la tecnología 4G LTE en la banda de los 1800 MHz desde el replanteo del emplazamiento hasta el momento del análisis de optimización de la red, pasando por la elaboración de los diferentes documentos y cálculos a entregar al Ministerio para su certificación.

Para ello, en primera instancia se explica el tipo de radiación electromagnética emitida por una antena de telefonía móvil, los posibles efectos que puede tener para la salud la exposición prolongada a este tipo de emisiones.

Posteriormente se introduce un estudio de la normativa vigente en España que regula la instalación de nuevos emplazamientos y las consideraciones que se han de tener en cuenta para ello. Tras ello, se procede al análisis exhaustivo del emplazamiento en el que se instala la nueva tecnología, se describe la solución mas óptima y se realizan los documentos a entregar al Ministerio.

Finalmente, se presentan los principales indicadores de rendimiento del site y se procede a su análisis.

Abstract

This TFG describes the process of installing 4G LTE technology in the 1800 MHz band from the layout of the site to the moment of the network optimization analysis, through the preparation of the different documents and calculations to be delivered to the Ministry for certification.

For this, in the first instance the type of electromagnetic radiation emitted by a mobile telephone antenna is explained, the possible effects that prolonged exposure to this type of emissions can have on health.

Subsequently, a study of the regulations in force in Spain that regulates the installation of new sites and the considerations that must be taken into account for this is introduced. After that, we proceed to an exhaustive analysis of the site where the new technology is installed, the most optimal solution is described and the documents to be delivered to the Ministry are made.

Finally, the main performance indicators of the site are presented and its analysis is carried out.

Resum

En aquest TFG es descriu el procés d'instal·lació de la tecnologia 4G LTE en la banda dels 1800 MHz des del replanteig de l'emplaçament fins al moment de l'anàlisi d'optimització de la xarxa, passant per l'elaboració dels diferents documents i càlculs a entregar al Ministeri per a la seua certificació.

Per a això, en primera instància s'explica el tipus de radiació electromagnètica emesa per una antena de telefonia mòbil, els possibles efectes que pot tindre per a la salut l'exposició prolongada a aquest tipus d'emissions.

Posteriorment s'introdueix un estudi de la normativa vigent a Espanya que regula la instal·lació de nous emplaçaments i les consideracions que s'han de tindre en compte per a això. Després d'això, es procedeix a l'anàlisi exhaustiva de l'emplaçament en el qual s'instala la nova tecnologia, es descriu la solució mes òptima i es realitzen els documents a entregar al Ministeri.

Finalment, es presenten els principals indicadors de rendiment del site i es procedeix a la seua anàlisi.

Índice general

1. Introducción y objetivos	10
1.1. Introducción	10
1.2. Objetivos	11
2. Metodología	12
2.1. Realización del proyecto	12
2.2. Distribución de tareas	12
2.3. Diagrama temporal	13
3. Emisiones Radioeléctricas	14
3.1. Espectro Radioeléctrico	14
3.2. Gestión del espectro radioeléctrico	16
3.3. Efectos sobre la salud	17
3.3.1. Organismos y comités científicos de investigación y regularización	17
3.3.2. Conclusiones de los informes publicados	18
3.3.3. Exposición a campos electromagnéticos: Seguridad y Control	19
4. Regulación y normativa en materia de emisiones radioeléctricas y certificación de estaciones base	21
4.1. Real Decreto 1066/2001	21
4.1.1. Niveles de referencia y decisión	22
4.2. Orden CTE/23/2002	24
4.2.1. Tipología de estaciones emisoras	24

4.2.2. Procedimiento de medida	25
4.3. Ley 32/2003	28
4.4. Distancias de protección y calculo del volumen de referencia	30
5. Toma de datos para replanteo	36
5.1. Previo a la toma de datos en el site	36
5.2. Toma de datos en el site	39
5.2.1. Sistema Radiante	40
5.2.2. Caseta de equipos	43
5.3. Medidas de campo para PTT	48
6. Solución propuesta	51
6.1. Solución a las incidencias	51
6.2. Consideraciones generales y criterios de diseño	55
6.3. Sistema Radiante propuesto.	56
6.4. Caseta equipos telecomunicaciones	58
6.5. Informe de PTT	58
6.5.1. Parte A. Datos genéricos	59
6.5.2. Parte B. Estudio de niveles	59
6.5.3. Parte C. Reportaje Fotográfico	60
6.5.4. Parte D. Justificaciones y certificados de calibración	60
6.5.5. Parte E. Otra Información	60
7. Evaluación de rendimiento del Site	61
7.1. Principales KPI's de rendimiento	61
7.1.1. Accesibilidad	62
7.1.2. Caída	62
7.1.3. Tráfico	62
7.1.4. Throughput	63

7.1.5. Huella	63
7.2. Rendimiento del EnodeB VALY0113L	63
8. Conclusiones y líneas futuras	67
8.1. Conclusiones	67
8.2. Líneas futuras	68
Bibliografía	69

Índice de figuras

3.1. Espectro radioeléctrico [Adaptado de: biofisica-medica2.com]	15
4.1. Niveles de referencia y niveles de decisión [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]	24
4.2. Diagrama de flujo del procedimiento de medidas	28
4.3. Paralelepípedo de referencia [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]	31
4.4. Paralelepípedo de referencia para antena omnidireccional [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]	31
4.5. Corte del diagrama de radiación con el plano horizontal	32
4.6. Corte del diagrama de radiación con el plano vertical	32
4.7. Conexiones antena quatribanda	34
4.8. Esquema volumen de referencia varias antenas	34
5.1. Ubicación emplazamiento	37
5.2. Tecnologías instaladas en el emplazamiento según infoantenas	37
5.3. Entorno del emplazamiento con radios de 100m y 50m	38
5.4. Ubicación de los puntos sensibles	39
5.5. Llave y bombín Locken	40
5.6. Caseta de equipos y sistema radiante sector 1	41
5.7. Sistema radiante sector 2 Y 3	41
5.8. Esquema sistema radiante sector	42
5.9. Hoja de características antena Kathrein k80010291v02	43
5.10. Interior caseta equipos telecomunicación	44

5.11. Filtro de radiofrecuencias	44
5.12. Unidad banda base	45
5.13. Bastidor 1	46
5.14. Bastidor 2	47
5.15. Armario BTS	48
5.16. Equipo medidor NARDA EMR-300	49
5.17. Ubicación puntos medidas	49
6.1. Hoja de cálculo de volumen para cada tecnología	52
6.2. Hoja de cálculo volumen compuesto	52
6.3. Hoja de cálculo volumen compuesto mediante hoja de características	52
6.4. Plano sector 1	53
6.5. Plano sector 3	54
6.6. Plano sector 1 modificado	55
6.7. Plano sector 3 modificado	55
6.8. Características RRU's	57
6.9. Elemento de control remoto externo	57
6.10. Formato tabla PPT	59
7.1. Perfil accesibilidad	64
7.2. Porcentaje de llamadas caídas	64
7.3. Trafico(Gbytes)	65
7.4. Throughput (Kbits/s)	65
7.5. Valores de Timing Advance	66

Índice de tablas

2.1. Diagrama temporal de tareas.	13
4.1. Restricciones básicas [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]	23
4.2. Niveles de referencia [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]	23
4.3. Niveles de referencia y decisión a la frecuencias más comunes [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]	24
4.4. Informe de medidas [Adaptado de: Orden CTE/23/2002]	28
5.1. Características sistema radiante	38
5.2. Tabla con los valores de las medidas de campo	50
6.1. Distancias del volumen de referencia	53

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1. Introducción

Desde hace mas de una década el creciente desarrollo de los terminales móviles, así como un mundo globalizado y siempre conectado, ha provocado que la telefonía móvil se haya convertido en una herramienta clave de la Sociedad de la información. La liberación del sector de las Telecomunicaciones en España se ha materializado en una gran competencia que ha hecho que los diferentes operadores de servicios de radiodifusión y telefonía móvil hayan tenido que hacer un despliegue masivo de infraestructura para poder ser capaces de dar soporte a las millones de personas conectadas a la red de forma simultanea y a servicios que cada vez buscan mayor velocidad y capacidad de transmisión de datos de forma inalámbrica.

A la par del creciente volumen de ventas de dispositivos, la aparición de nuevos servicios y despliegue de infraestructura de telecomunicaciones ha surgido una preocupación y miedo de forma generalizada sobre la peligrosidad del los campos electromagnéticos radiados tanto por las antenas de las estaciones de telefonía móvil como por los propios dispositivos móviles motivada por el desconocimiento, la información errónea emitida y la escasa fiabilidad de los estudios que se realizaban hace años.

Por ello numerosas organizaciones, entidades y científicos han trabajado de forma conjunta a lo largo de los años para realizar nuevos estudios mas fiables que probasen la peligrosidad o no de los campos electromagnéticos radiados por las estaciones de telefonía móvil. Basándose en estos estudios las autoridades e institutos de investigación han elaborado normativas de obligado cumplimiento y recomendaciones a fin de evitar cualquier lesión física que pueda ser provocada por las estaciones radioeléctricas.

A lo largo de este proyecto se hará mención a aquellos trabajos y estudios mas importantes realizados por numerosos científicos y las normativas que se han desarrollado en el marco nacional a tener en cuenta a la hora de realizar una instalación de una estación de telefonía móvil.

Por otro lado, y por el mismo motivo de mundo globalizado y conectado que mencio-

nábamos anteriormente en donde las personas buscan comunicarse de forma instantánea y en cualquier lugar y momento la red ha de estar configurada y balanceada perfectamente para dar un servicio de calidad y a la altura de las expectativas a las personas.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es describir el proceso de replanteo, instalación y certificación de la tecnología 4G LTE en banda de frecuencias de 1800 MHz en un emplazamiento compartido de Orange con Vodafone. Para ello sera fundamental revisar toda la normativa existente en España que regule los procesos de instalación y certificación de emplazamientos radioeléctricos con el fin de realizarlo acorde a ella de la forma mas eficiente y fiable posible.

Una vez revisada la normativa, sera de vital importancia analizar el entorno del site con el fin de identificar los puntos de máxima radiación, así como identificar los equipos y sistemas que dispone (sistema radiante, RRU¹, BBU², etc.). Partiendo de unos criterios de instalación propuestos por Orange empleando equipos Huawei hemos de ser capaces de proponer varias soluciones para finalmente escoger la mas adecuada, en términos de eficiencia, mimetización con el entorno y coste.

Además, se presentaran los principales indicadores de calidad de una celda con el fin de optimizar a la perfección la cantidad de recursos según las necesidades concretas de la zona en la que se instala.

Por ultimo, uno de los objetivos que se perseguían era el de profundizar en el área de las comunicaciones móviles mas allá de la asignatura impartida durante el grado, motivado por un proyecto de planificación de red realizado durante la misma.

¹Remote Radio Unit

²Base Band Unit

Capítulo 2

Metodología

2.1. Realización del proyecto

El desarrollo de este proyecto tiene 3 fases claramente diferenciadas. La primera corresponde a la búsqueda de información a cerca del proceso de certificación de instalaciones radioeléctricas en España, así como conocer que es lo necesario para llevar a cabo dicha certificación.

En una segunda fase, se ha de llevar a cabo la instalación de la nueva tecnología LTE en la banda de 1800 MHz desde el replanteo hasta la elección final de equipos para la solución final. Aquí hemos de desplazarnos al site. En concreto, se trata del site VALY0113L escogido para la instalación de una nueva tecnología por su ubicación, una zona de playa donde aumenta considerablemente el tráfico en la época estival.

Finalmente la tercera fase correspondería a un análisis del rendimiento del ENodeB empleando para ello los principales indicadores y unas recomendaciones finales de cara a una futura optimización del mismo.

2.2. Distribución de tareas

Así pues este proyecto se puede dividir en las siguientes tareas:

1. Búsqueda Bibliográfica. En esta tarea se realiza un búsqueda y estudio de información y normativas regulatorias en materia de instalaciones de telefonía móvil.
2. Búsqueda y preparación de información del site para replanteo. Aquí se solicita la información sobre el emplazamiento y se hace un estudio del entorno.
3. Replanteo del site. En esta tarea se ha llevado a cabo el replanteo del emplazamiento, lo cual conlleva desplazarse hasta el site y estudio del estado actual en términos de equipos y antenas.

4. Realización de medidas de campo. Se han llevado a cabo en esta tarea las medidas de campo electromagnético en las inmediaciones del site.
5. Subsanación de downtilt excesivos. En esta tarea se ha realizado un estudio del problema de tilt excesivos para las antenas que no cumplían la normativa.
6. Cálculos y planos para PTT. Para esta tarea ha sido necesario el cálculo de los volúmenes de referencia teniendo en cuenta la nueva tecnología implantada y realización de los planos de situación con el montaje final.
7. Preparación de la solución final. En esta tarea se ha llevado a cabo la elección de los equipos y elementos necesarios así como las modificaciones necesarias para poder instalar la nueva tecnología.
8. Análisis de rendimiento. Aquí, se ha llevado a cabo una evaluación del estado de los principales Kpis de rendimiento de cara a una posible optimización en el futuro.
9. Redacción de la memoria en formato LaTeX.

2.3. Diagrama temporal

El diagrama temporal donde se distribuyen las tareas mencionadas anteriormente es el siguiente:

Tarea	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Julio	Agosto
1	X	X				
2		X				
3			X			
4			X			
5			X			
6			X	X		
7				X		
8					X	
9				X	X	X

Tabla 2.1: Diagrama temporal de tareas.

Capítulo 3

Emisiones Radioeléctricas

3.1. Espectro Radioeléctrico

El espectro electromagnético es la agregación de todas las frecuencias posibles a las cuales existe radiación electromagnética.

Existen dos tipos de radiaciones electromagnéticas dependiendo principalmente de la cantidad de energía que sea capaz de transportar la señal y la frecuencia a la que esta oscile. Por tanto, sabiendo que la energía de una onda electromagnética depende de la frecuencia según $E = h \cdot f$, donde h es la constante de Planck que toma un valor de $6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$, conforme la frecuencia aumenta podemos distinguir entre emisiones de radiación ionizantes y emisiones de radiación no ionizantes, dependiendo de si son capaces de superar la energía mínima para liberar un electrón de un átomo.

- Ionizantes: Las ondas electromagnéticas ionizantes son aquellas que poseen energía suficiente como para producir ionización en la materia directa o indirectamente. El proceso de ionización tiene lugar cuando se produce una rotura de enlaces moleculares debido a que los electrones son arrancados de los átomos y moléculas, originando partículas con carga eléctrica (iones). En el espectro electromagnético se sitúan por encima de los 10^{14} Hz, entre los rayos ultravioleta y los rayos Gamma. Este tipo de emisiones son capaces de dar lugar a lesiones en los tejidos biológicos incluyendo efectos en el material genético y cuya exposición a estas tiene importantes consecuencias negativas sobre la salud si no se adoptan las medidas de protección adecuadas.
- No Ionizantes: Las ondas electromagnéticas de carácter no ionizante son aquellas que carecen de la capacidad de transmitir suficiente cantidad de energía a un átomo como para alterar su estructura, es decir, aquellas que no sobrepasan el umbral de energía necesaria para interactuar con la materia y por tanto no afectan a la estructura de las moléculas. Dentro de este tipo de radiaciones podemos diferenciar a 3 grandes grupos, dependiendo de la frecuencia de emisión:
 - Campos de frecuencia extremadamente baja: Se caracterizan por tener una ener-

gía muy débil y longitudes de onda largas. Un ejemplo de ello son los cables que constituyen los cables eléctricos.

- Radiofrecuencias: Pertenecen al rango de frecuencias comprendido entre los 9 kHz y los 2 GHz. Son ideales para aquellas aplicaciones que impliquen la transmisión por medios no guiados por sus propiedades de propagación.
- Infrarrojo. Visible. Ultravioleta: Esta zona del espectro va desde los 300 GHz hasta la parte baja de las emisiones de rayos ultravioletas y constituye el límite entre las radiaciones no ionizantes y las ionizantes.

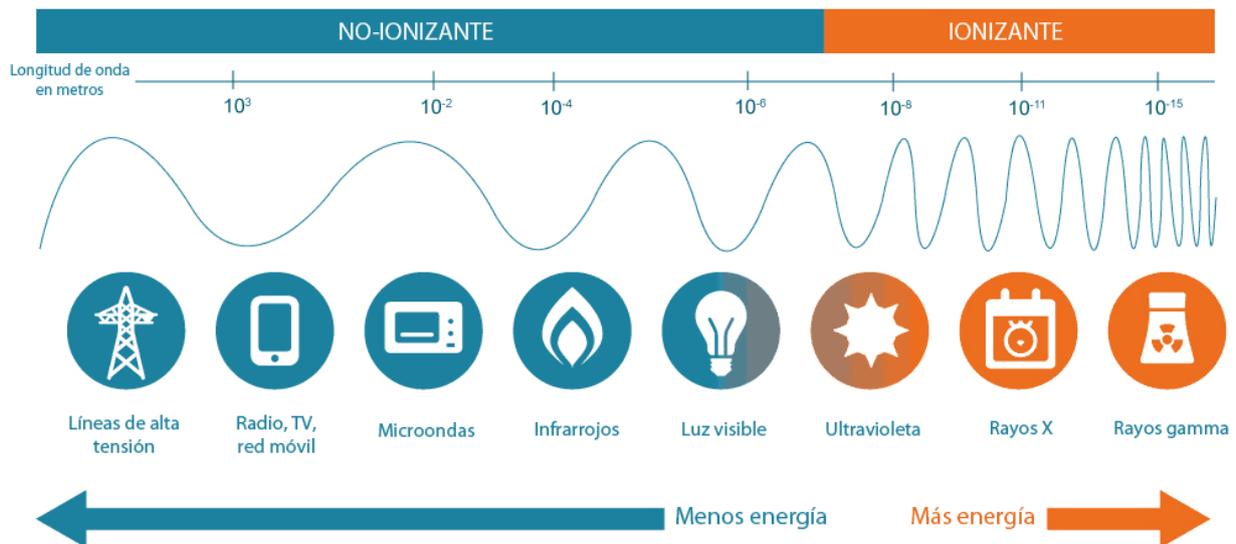


Figura 3.1: Espectro radioeléctrico [Adaptado de: biofisica-medica2.com]

La propagación de una onda a una determinada frecuencia presenta un comportamiento completamente distinto al que presentaría si se propagase a otra frecuencia distinta. Por este motivo el espectro electromagnético se fragmenta en bandas de frecuencia. Aquel conjunto de frecuencias del espectro electromagnético que presenta unas características idóneas para transmisión por medios no guiados, es decir para aplicaciones de radiocomunicación, se le denomina espectro radioeléctrico. Los sistemas de telefonía móvil se basan en la emisión de ondas radioeléctricas que se propagan a través del espacio libre transportando datos sin un soporte físico. Las ondas de radio están formadas por campos electromagnéticos, los cuales son una combinación de ondas de campo eléctrico y ondas de campo magnético que se desplazan simultáneamente. Los aspectos característicos de estas ondas electromagnéticas son los siguientes:

- Propagación en el vacío o en cualquier otro medio, es decir, no necesitan un medio específico para propagarse.
- Tridimensionales.
- Transversales, es decir, que la perturbación se produce de forma perpendicular a la dirección de propagación.

3.2. Gestión del espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado, escaso y que constituye la materia prima sobre la cual es posible desarrollar los servicios de las radiocomunicaciones. Esta parte del espectro electromagnético se divide en bandas de frecuencias, las cuales presentan unas características muy distintas dependiendo del tipo de servicio que se vaya requerir. Un ejemplo de ello es que en las frecuencias comprendidas entre 3 y 30 MHz la propagación se produce por reflexión de la onda en la ionosfera lo que las hace especialmente útiles para propagaciones a largas distancias, en cambio para frecuencias del orden de GHz las ondas tienen más dificultades para atravesar los objetos y por tanto se restringe cada vez más su aplicación a enlaces de visión directa y de escaso radio de cobertura.

En el caso de servicios de telefonía móvil se tendrá que conseguir un equilibrio entre capacidad y cobertura. Capacidad para que el operador pueda ofrecer un determinado servicio al mayor número de usuarios posibles y cobertura para minimizar el número de estaciones base a desplegar y los costes de la red. Con una frecuencia mayor el ancho de banda sobre el cual podremos transmitir será mayor y, por tanto, la capacidad del sistema. Sin embargo, hemos visto que conforme aumentamos la frecuencia el radio de cobertura disminuye. Por otro lado, una frecuencia excesivamente baja requeriría unas antenas demasiado grandes, las cuales tendrían un rendimiento demasiado bajo y harían que los terminales tuvieran que transmitir con mayor potencia suponiendo un elevado consumo de batería. El compromiso idóneo entre capacidad y cobertura en el espectro radioeléctrico se consigue cerca de la banda de los 900 MHz.

Por lo comentado anteriormente, los operadores de servicios de telefonía móvil están interesados en tener la mayor cantidad de espectro radioeléctrico licenciado en las bandas de frecuencias entorno a los 900 MHz, lo que ha llevado a una situación de escasez y de competencia por los recursos. Esto nos plantea el problema que supone el determinar quién y cómo se puede usar el espectro radioeléctrico.

El principal organismo regulador en cuanto a gestión del espectro se refiere es la unión internacional de Telecomunicaciones(UIT). Este es un organismo de las Naciones Unidas encargado de la coordinación global de la compartición y gestión del espectro radioeléctrico, garantizando la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro. La UIT-R es la parte de la Unión internacional de Telecomunicaciones que se encarga de regular a nivel mundial diversos aspectos del sector de las radiocomunicaciones, especialmente del espectro radioeléctrico.

En el marco de la Unión Europea nos encontramos varias entidades de gran importancia. Principalmente son el grupo político de espectro radioeléctrico y el comité de espectro radioeléctrico.

Finalmente, en el ámbito nacional la labor de establecer las normativas regulatorias y técnicas acerca del uso del espectro es competencia del Ministerio de Industria, Turismo y comercio, particularmente de la SETSI, que es la encargada de elaborar el documento donde

se recoge la asignación final del espectro radioeléctrico, el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. En este documento aparece reflejado como se distribuye el espectro radioeléctrico entre los diferentes servicios y especificando quien puede hacer uso o no de determinadas bandas del espectro.

En España, según el Cuadro Nacional de Atribución de frecuencias, las bandas de frecuencia asociadas a telefonía móvil abarcan un rango desde los 800 MHz hasta los 3500 MHz, siendo para cada tecnología las siguientes:

- GSM(Global System for Mobile): 900 MHz
- DCS(European Digital Communication System): 1800 MHz
- UMTS(Universal Digital Communication System): 900 MHz/2100 MHz
- LTE (Long Term Evolution): 800 MHz/1800 MHz/2600 MHz
- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): 3500 MHz

3.3. Efectos sobre la salud

3.3.1. Organismos y comités científicos de investigación y regularización

Durante los últimos años el sector de la telefonía móvil ha experimentado un gran salto evolutivo en la dirección de la provisión de servicios de acceso a la información, transmisión de datos, difusión de contenidos y en la persecución del internet de las cosas. A la par de este crecimiento, científicos, ingenieros y otros profesionales de la salud han realizado numerosos estudios, tanto experimentales como clínicos y epidemiológicos para determinar los efectos producidos por exposición a las emisiones electromagnéticas procedentes de teléfonos móviles y estaciones base de telefonía.

Algunos de los comités científicos más importantes que han llevado a cabo estudios para determinar los efectos de los campos radiados por los sistemas de telefonía son:

- **COMAR:** El comité sobre el hombre y la radiación, formado por un numeroso grupo de especialistas en temas de salud y seguridad de campos electromagnéticos.
- **ICNIRP:** La comisión internacional para la protección contra radiaciones no ionizantes es una comisión no gubernamental creada por la Asociación Internacional de Protección Radiológica en 1974 con el fin de asegurar la defensa a las radiaciones no ionizantes en favor de las personas y el medio ambiente.
- **OMS:** La Organización Mundial de la Salud es una agencia especial de las naciones unidas que tiene el fin de asegurar y mejorar la vida de las personas en materia de salud. Colabora activamente con otros organismos como la ICNIRP, la UIT y la Comisión Europea.

- **SCENIHR:** Es el comité científico de la unión europea sobre nuevos riesgos emergentes identificados en la salud.

En base a los estudios realizados por los organismos y comités expuestos anteriormente, otros organismos trabajan en el desarrollo de diferentes normativas y leyes que regulen los límites de exposición y sus métodos de medida. Algunas de estas entidades son:

- **AENOR:** Es la Asociación Española de Normalización y certificación, miembro del comité europeo de Normalización y del CENELEC.
- **CENELEC:** Es el comité Europeo de estandarización electrónica. Se trata del organismo que elabora los estándares y normativas en colaboración con la comisión Internacional Electrónica, y por ello muchos de los estándares y normativas que desarrollan tienen un ámbito global.
- **ETSI:** Se trata del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación cuyo ámbito es el del desarrollo de estándares de Telecomunicaciones dependiendo de las demandas del mercado. Entre los integrantes se encuentran representantes de las administraciones de los 59 países que la integran, de los operadores de redes, de los fabricantes y de diferentes entidades destinadas a la investigación.
- **IEE:** Es el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos dedicado a la normalización y desarrollo en áreas técnicas. Se trata de la mayor asociación internacional sin ánimo de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías y cuyo objetivo es promover la creatividad, el desarrollo y la integración y aplicar los avances en las tecnologías de la información en beneficio de la humanidad.

3.3.2. Conclusiones de los informes publicados

Actualmente, los trabajos y estudios que examinan en que medida los campos emitidos por las estaciones de telefonía móvil varían la composición molecular del cuerpo humano se fundamentan esencialmente en exámenes con altos valores de radiación valorando únicamente los efectos térmicos.

El parámetro empleado para medir la absorción de energía es la tasa de absorción específica (SAR) y viene dado por:

$$SAR = \frac{E^2 \cdot \sigma}{\rho} \quad (3.1)$$

donde σ representa la conductividad eléctrica del tejido y ρ es la densidad de la muestra (Kg/m^3).

Para que se produzcan efectos nocivos para la salud por calentamiento externo, este ha de ser igual o superior a la tasa metabólica. Para un ser humano la tasa metabólica es del orden de 1 W/Kg de masa corporal. Un valor de tasa de absorción específica de 1 W/Kg sería producido por un campo de aproximadamente 29 V/m. Según la normativa vigente el valor de

pico espacial de SAR en Estados Unidos y Canadá no puede superar los 1.6 W/Kg mientras que en Japón y Europa los límites SAR son algo mayores y no pueden superar los 2 W/Kg.

Tras los numerosos estudios clínicos y epidemiológicos realizados se ha llegado a la conclusión de que no existe ningún mecanismo biológico que muestre una relación entre la exposición a los campos radioeléctricos y el riesgo de padecer alguna enfermedad más allá de la hipersensibilidad a las emisiones radioeléctricas, que en los peores casos producirían dolores de cabeza tras una exposición muy prolongada a altos niveles de potencia. Además, se ha podido evidenciar como las radiaciones no ionizantes procedentes de las antenas de telefonía móvil no ocasionan ningún tipo de efectos negativos contra la salud dentro de los límites establecidos. Según se ha demostrado teniendo en cuenta los niveles de potencias de transmisión y las distancias de seguridad calculadas según los criterios de las recomendaciones no hay evidencia científica disponible que permita afirmar que las antenas de telefonía móvil y los terminales móviles impidan garantizar la protección sanitaria de los ciudadanos. A pesar de ello, actualmente no se puede realizar una correcta evaluación de la exposición con el fin de realizar estudios fiables, consistentes y comparables haciendo que la validez de los resultados sea discutida. Por ello, una gran cantidad de científicos considera que las conclusiones solo sugirieren el comportamiento pero no están lo suficientemente contrastados como para restringir la normativa.

Algunos de los informes y trabajos mas representativos en materia de normativa técnica realizados por diferentes instituciones son:

- **Guidelines for Limiting exposure to TimeVarying electric, Magnetic and electromagnetic Fields (up to 300 GHz):** En este documento realizado por la ICNIRP se encuentran algunas guías básicas de exposición frente a campos electromagnéticos basadas en estudios y análisis en donde los límites de campo se encuentran 50 veces por debajo de los niveles que podrían producir algún tipo de efecto en los tejidos.
- **IEEE Standard for Safety levels with Respect to Human Exposure to Radio-frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz:** En donde el IEEE establece los límites de exposición a campos electromagnéticos.
- **ITU-T K.52, orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos:** En esta normativa se define un procedimiento de cálculo y de evaluación para poder asegurar que las emisiones radioeléctricas estén por debajo de los límites establecidos por la ICNIRP.

3.3.3. Exposición a campos electromagnéticos: Seguridad y Control

Los estándares y normativas mencionados a lo largo de este capítulo establecen los límites para la exposición a los campos electromagnéticos basándose en los estudios realizados por numerosos expertos evaluando los posibles efectos biológicos que pudieran causar la exposición a los CEM¹ considerando aquellos niveles en los que se pueden apreciar dichos efectos. En todos

¹Campos electromagnéticos

los casos se propone un margen de seguridad muy alto con el fin de considerar los posibles efectos que pudiera tener la exposición a CEM en diferentes condiciones ambientales, en ciertos grupos de población con mayor sensibilidad térmica como niños y ancianos. Normalmente se definen dos tipos de límites:

- Exposición controlada u ocupacional: Aquellas personas que son conscientes de la radiación y pueden tomar medidas frente a ella.
- Exposición no controlada: Es la que afecta al público general, que no es consciente de su exposición a campos electromagnéticos y no puede ejercer medidas frente a ella.

Con el fin de evitar que aquellas personas que no son conscientes de la exposición a los CEM sufran cualquier tipo de daño, la administración pública establece una serie de límites y mecanismos de control e inspección que han de cumplir todos los operadores de servicios de telefonía móvil a la hora de la instalación y mantenimiento de nuevos emplazamientos, como veremos posteriormente en las normativas vigentes.

En estas normativas se establecen unos márgenes de seguridad que suelen ser 10 veces superiores para la exposición ocupacional y 50 veces superiores para la exposición no controlada. En dichas normativas se definen tanto las restricciones básicas, que son los niveles de campo electromagnético variable en el tiempo a los cuales los efectos térmicos comienzan a estar presentes en las personas y se miden empleando el parámetro SAR .

Capítulo 4

Regulación y normativa en materia de emisiones radioeléctricas y certificación de estaciones base

Como consecuencia de la liberalización del sector de las telecomunicaciones en España apareció un gran número de ofertas de servicios que derivó en la construcción de un gran número de infraestructuras radioeléctricas. Por ello, se hizo necesario el desarrollo de normativas que regulasen el despliegue y mantenimiento de estaciones de telefonía móvil.

La normativa en cuanto a emisiones radioeléctricas se refiere a nivel nacional se encuentra reflejada principalmente en el Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, en la orden CTE/23/2002 de 11 de enero y en la Ley 32/2003 de 3 de noviembre. Como complemento a las disposiciones descritas en las normativas estatales, algunas Comunidades Autónomas y Ayuntamientos se han animado a componer su propia regulación.

4.1. Real Decreto 1066/2001

El reglamento que dictamina las premisas de protección del dominio público radioeléctrico, las limitaciones en términos de emisiones radioeléctricas y las medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas se aprueba mediante el real decreto 1066/2001.

Las disposiciones generales de este real decreto se encuentran reflejadas dentro del capítulo 1 del Real Decreto. En este capítulo, se integran los artículos que hacen referencia al objeto y al ámbito de aplicación del reglamento. Centrándonos en el artículo 1, se establece que el foco de este reglamento se encuentra en establecer las premisas necesarias para la protección del dominio público radioeléctrico, los procesos de autorización, planificación e inspección de emplazamientos de telefonía móvil, con el fin de determinar que los niveles de campo eléctrico no superan los límites establecidos declarados en la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad. Por otro lado, en el artículo 2 se dispone que únicamente las ondas electromagnéticas,

cuya propagación se realiza a través de un medio no guiado, y que emanen de un emplazamiento destinado a ofrecer servicios de telefonía móvil, serán aquellas que se regularían por medio de este reglamento.

La protección del dominio público radioeléctrico se encuentra contemplada en el capítulo 2 del Real Decreto, dónde aparecen reflejados los artículos que hacen referencias a las limitaciones y servidumbres para la protección de determinadas instalaciones radioeléctricas, actualmente derogados.

En el artículo 7 se hace referencia a la evaluación sanitaria de los posibles riesgos por las emisiones radioeléctricas. Dicha evaluación se hace teniendo en cuenta los estudios previos realizados mundialmente en materia de emisiones radioeléctricas y salud citadas anteriormente. De forma conjunta, el Ministerio de Sanidad y las Comunidades Autónomas han desarrollado los mecanismos pertinentes para examinar las fuentes que puedan ocasionar radiaciones electromagnéticas en la población con el fin de controlar y/o reducir dicha exposición. Los artículos que tratan sobre las disposiciones relacionadas con la autorización de instalación de estaciones radioeléctricas se encuentran englobados en el capítulo 4 del Real Decreto. El artículo 8 habla de los requisitos, criterios de planificación e instalación de estaciones radioeléctricas. Se hace especial hincapié en que la instalación de estaciones de telefonía no implique poner en peligro el bienestar de las personas garantizando que no se rebasan en ningún caso los límites legales de exposición a emisiones radioeléctricas, teniendo los operadores que presentar un proyecto firmado por un técnico competente y autorizado declarando que en las zonas de permanencia habitual de personas no se superan los límites, y si fuera necesario restringir el acceso mediante el empleo de un vallado. En cual quiera caso siempre se buscará intentar minimizar los niveles de campo, especialmente en espacios considerados como sensibles. Por otro lado, en el artículo 9 se establecen los procesos de inspección y certificación de las instalaciones radioeléctricas, y las personas autorizadas para ello.

Por último, en el capítulo 5 de este Real Decreto se tratan otras disposiciones, especialmente la concerniente a la modificación de emplazamientos.

4.1.1. Niveles de referencia y decisión

Uno de los aspectos más importantes de este Real Decreto se encuentra reflejado en el anexo II del mismo. En él se establecen los límites de exposición. Se definen las restricciones básicas en función de la frecuencia del siguiente modo:

- Entre 0 y 1 Hz se establece un límite en términos de inducción magnética y de densidad de corriente, previniendo así los posibles efectos en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central.
- Entre 1 Hz y 10 MHz los límites hacen referencia a en la densidad de corriente para evitar problemas en el sistema nervioso.
- Entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas del parámetro de SAR con

el fin evitar el sobrecalentamiento de tejidos.

- Entre 10 GHz y 300 GHz los límites que se proporcionan hacen referencia a la densidad de potencia.

El principal objetivo de las restricciones básicas es establecer unos límites de obligado cumplimiento para no producir daños físicos en las personas. Lo expuesto anteriormente se encuentra reflejado en la TABLA 4.1.

Gama de frecuencia	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40					
>0-1 Hz		8				
1-4 Hz		8/f				
4-1.000Hz		2				
1.000 Hz-100 kHz		f/500				
100 kHz-10 MHz		f/500	0,08	2	4	
10 MHz-10 GHz			0,08	2	4	
10-300 GHz						10

Tabla 4.1: Restricciones básicas [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]

Por otro lado, los niveles de referencia se usan para ser igualados con los niveles obtenidos durante las medidas experimentales, de tal forma que cumpliendo los niveles de referencia cumplimos las restricciones básicas.

En la TABLA 4.2 podemos ver los niveles de referencia en función de la frecuencia y para las diferentes posibles unidades de medida, mientras que en la FIGURA 4.1 vemos la comparativa entre los niveles de referencia y los niveles de decisión, los cuales se sitúan 6 dB por debajo de los niveles de referencia en unidades logarítmicas.

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz		$3,2 \times 10^4$	4×10^4	
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	
3-150 kHz	87	5	6,25	
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabla 4.2: Niveles de referencia [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]

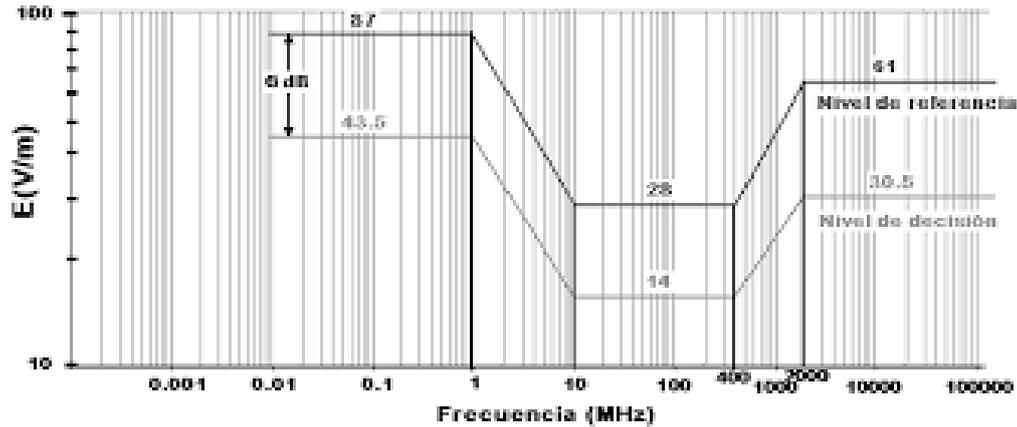


Figura 4.1: Niveles de referencia y niveles de decisión [Adaptado de: Real Decreto 1066/2001]

Si únicamente consideramos aquellas bandas de frecuencias en las que los operadores de telefonía móvil ofrecen la mayoría de sus servicios, los niveles de los valores de referencia y decisión a las frecuencias significativas de trabajo son los que se muestran en la TABLA 4.3 en unidades de campo y en unidades de densidad de potencia.

Servicio		Frecuencia significativa de trabajo	Valor de referencia		Valor de decisión	
			(V/m)	(W/m ²)	(V/m)	(W/m ²)
Radiodif.	FM	100 MHz.	28	2	14	0.5
Telefonía Móvil	GSM	900 MHz.	41.25	4.5	20.63	1.13
	DCS	1800 MHz.	58.34	9	29.17	2.25
	UMTS	2000 MHz.	61	10	30.5	2.5
LMDS	Banda inferior	3400 MHz.	61	10	30.5	2.5
	Banda superior	26000 MHz.	61	10	30.5	2.5

Tabla 4.3: Niveles de referencia y decisión a la frecuencias más comunes [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]

4.2. Orden CTE/23/2002

En esta orden se recogen los criterios y condiciones para la presentación de estudios y certificaciones por los operadores de telecomunicaciones.

4.2.1. Tipología de estaciones emisoras

Según esta orden, las centrales de telefonía móvil se clasifican en cinco tipos, dependiendo de la PIRE y de su ubicación:

- **ER1:** Estaciones ubicadas en suelo urbano con una ¹PIRE superior a 10 W.
- **ER2:** Estaciones ubicadas en suelo urbano con una PIRE inferior o igual a 10 W.
- **ER3:** Estaciones ubicadas en suelo no urbano con PIRE superior a 10 W en cuyo entorno puedan existir áreas de permanencia habitual de personas.
- **ER4:** Estaciones ubicadas en suelo no urbano con una PIRE inferior a 10 W en cuyo entorno existan áreas de permanencia habitual de personas.
- **ER5:** Estaciones rurales aisladas y en cuyo entorno no existan áreas de permanencia habitual de personas, independientemente de la PIRE.

4.2.2. Procedimiento de medida

En la orden CTE/23/2002 se describe el procedimiento de medidas de los niveles de campo obtenidos en diferentes puntos en un radio a 100 m del emplazamiento y se establecen los criterios que se deben de cumplir a la hora de realizar el estudio de niveles de exposición y su incorporación en el procedimiento de solicitud de autorización de instalación de estaciones radioeléctricas.

Por otro lado, se determina que información es necesaria incluir dependiendo de la tipología de la estación de tal forma que para las estaciones de tipo ER1 y ER3, se tendrá que incluir en el informe el calculo del paralelepípedo de referencia que representa el volumen donde la exposición es máxima y por tanto no puede irrumpir en zonas de permanencia habitual de personas. Para el caso de las estaciones de tipo ER1 y ER2 sera necesario realizar las medidas de campo existente en un entorno a 100 m y presentarlas en dicho informe cuando existan dentro de ese entorno puntos que puedan ser considerados como ²sensibles. Además, para las estaciones con tipología ER5, al no encontrarse en zonas de permanencia habitual de personas no serán necesarias la realización de medidas.

En los anexos de esta orden Ministerial se fija la información mínima que han de contener tanto los informes de certificación de estación en proyecto, como el informe de certificación anual de estaciones instaladas, que mas tarde veremos en la realización de nuestro proyecto y además se establece el procedimiento de realización de medidas de los niveles de emisión. En el procedimiento de medida se distinguen tres fases de medida y una previa a las medidas que dependerán del grado de precisión y de las características del proceso de medición:

Fase previa

En primer lugar, antes de comenzar las medidas de los niveles de emisión electromagnética en las inmediaciones de la estación de telefonía móvil se debe de realizar un estudio del entorno con el fin de asegurar que se ejecuten las mediciones en aquellos puntos expuestos la máxima

¹Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

²Parques públicos, Residencias de ancianos, Hospitales y Colegios

radiación, los que sean considerados como puntos sensibles y en los de permanecía habitual de personas. Por otro lado, se deberá de considerar si el punto de medida se encontraría en una zona de campo cercano o campo lejano dependiendo de la frecuencia de emisión del emplazamiento. Como criterio para determinar si el punto de medida se encuentra en una zona de campo lejano o de campo cercano se establece que:

- Si $d > 3\lambda$ --> Campo lejano.
- Si $d < 3\lambda$ --> Campo cercano.

Donde d es la distancia desde la antena hasta el punto de medida y λ es la longitud de onda de de la frecuencia de trabajo. En caso de que el punto de medida se encuentre en una zona de campo cercano tendríamos que medir las intensidades de campo eléctrico y magnético y comprarlos con los establecidos como referencia.

Otros aspectos a considerar previo a la realización de las medidas serán el tipo de servicio, las potencias con las que radian los sistemas, polarización, orientación y altura de las antenas, así como cualquier aspecto radioeléctrico que pudiera afectar en el resultado de las medidas. Además, se tendrá que realizar una puesta a cero del equipo entre medida y medida con el objetivo obtener unas mediciones correctas.

Fase 1

Los equipos de medición empleados para esta fase serán de banda ancha y con sondas isotrópicas, los cuales permiten definir de forma rápida un entorno radioeléctrico pero no son capaces de dar información acerca cada componente espectral.

En primer lugar, para el proceso de medida de Fase 1, se tendrá que hacer una primera inspección del entorno de la estación de telefonía móvil con el fin de localizar puntos sensibles o puntos de máxima exposición para posteriormente realizar mediciones en esos puntos, en caso de que la estación este situada en la azotea de un edificio los puntos de máxima radiación serán en la propia azotea, si esta es transitable se deberán de realizar el mayor numero de puntos de medida posibles en ella.

En segundo lugar, tendremos que realizar las medidas en aquellos puntos seleccionados anteriormente. Para la medida se utilizara un trípode para evitar que la presencia del técnico pueda afectar al resultado. Las medidas se tomara en muestras cada segundo durante 6 minutos y se obtendrá el valor promedio.

Una vez realizada la medida se obtendrá con ayuda de una brújula el azimut del punto de medida, la distancia desde la estación base al punto de medida con ayuda de un telémetro óptico o de Google Earth, y se anotará la hora de inicio de la medición. Los resultados se igualan con los niveles de referencia y si todas las medidas los niveles observados no superan los niveles de decisión se podrá considerar que se encuentra dentro de lo exigido por el Real Decreto 1066/2001.

Fase 2

Se realizarán medidas en Fase 2 únicamente cuando una medida realizada en la Fase 1 supere el valor del nivel de decisión a esa frecuencia concreta, siempre y cuando la frecuencia de emisión se encuentre entre los 9 kHz y los 3 GHz. En esta fase se utilizarán analizadores de espectro los cuales son más precisos pero también emplean más tiempo para realizar la medida, siempre y cuando las medidas se realicen en condiciones de campo cercano. Como objetivo principal de esta fase de medidas será el de distinguir las diferentes componentes espectrales que llegan al equipo medidor buscando para cada una de ellas el caso peor.

En este tipo de equipos la polarización y orientación es importante, por ello, el técnico que realice las medidas será el encargado de buscar aquellos puntos donde el nivel de exposición sea máximo. Durante la medición el técnico deberá de observar la variación de cada componente espectral al cambiar la orientación de la antena durante los 6 minutos que se está llevando a cabo la medida. Al final de la medida se obtendrán los valores medidos para cada componente espectral para poder ser comparado con el correspondiente valor de nivel de referencia.

Finalmente, se realizará el sumatorio de los niveles correspondientes de cada componente, estando en las mismas unidades, y si cumplen con las con los límites establecidos se podrá considerar el sistema adaptado a las exigencias del reglamento.

Fase 3

Se empleará esta fase cuando las medidas se realicen en condiciones de campo lejano, las frecuencias estén más allá de los límites establecidos por la fase 2 y se quiera buscar un grado de exactitud mayor que el conseguido con las fases anteriores, aunque también se tendrá un mayor grado de complejidad a la hora de realizar las medidas. Al igual que para las fases 1 y 2, los valores obtenidos se comparan con los niveles fijados en el Real Decreto 1066/2001 y la duración de las medidas será de 6 minutos.

Para esta fase también se tendrán que utilizar medidores específicos que se adapten a las bandas de frecuencias que se encuentren bajo análisis.

Finalmente, con objeto de que se tenga una mejor visualización del procedimiento de medidas en la figura 4.2 se muestra un diagrama de flujo de procedimiento a seguir a la hora de realizar las medidas de campo.

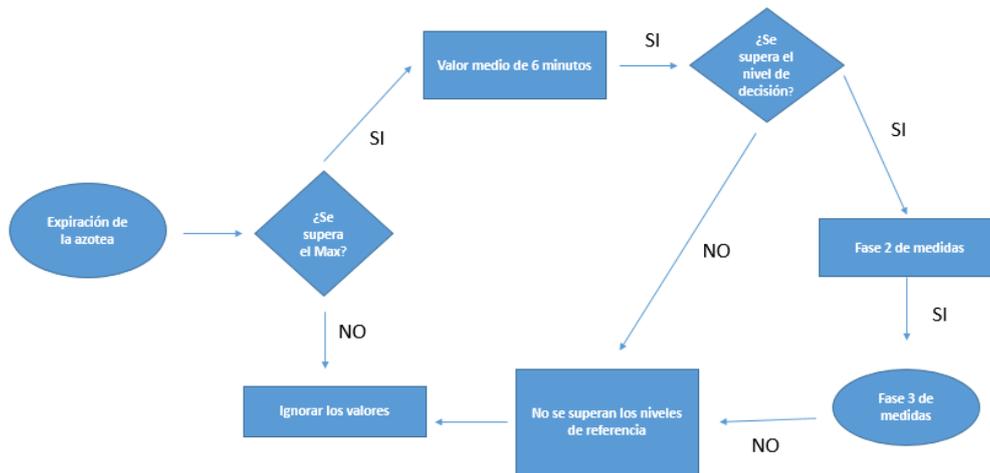


Figura 4.2: Diagrama de flujo del procedimiento de medidas

Informe de medidas

El informe de medidas que se ha de cumplimentar a la hora de la realización de las medidas de campo en las inmediaciones de un emplazamiento de telefonía móvil es como el representado en la tabla 4.4.

Equipo de medida utilizado.		Datos de las Mediciones.								
Marca:		Última de calibración:	Serie:	Código	Fecha	Técnico	Núm. total de mediciones: (*)	Estación:	realización:	responsable:
Modelo:										
Núm.										
Fecha										
Valor del umbral										
Antena										
Marca:										
Modelo:										
Longitud de cable (m):										
Localización del punto de medida respecto del soporte antenas.		Hora de inicio de cada medición	Nivel de referencia (W/m ²) (1)	Nivel de referencia (V/m) (2)	Nivel de decisión (W/m ²) (3)	Nivel de decisión (V/m) (4)	Valor medido promediado (5)	Valor calculado (6)	Diferencia (3)-(5) o (4)-(5) (7)	
Distancia (m) (8)	Acimut (º)									

Tabla 4.4: Informe de medidas [Adaptado de: Orden CTE/23/2002]

4.3. Ley 32/2003

La ley 32/2003 del 23 de noviembre General de Telecomunicaciones tiene como principal objetivo la regulación de los servicios de telecomunicaciones, en concreto, la explotación de las redes, la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas con el fin de fomentar la

competencia efectiva en los mercados de telecomunicaciones, promover la inversión de manera eficiente en infraestructura, garantizar el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y promover el desarrollo de la industria de productos y servicios de telecomunicaciones.

Integrado en el Capítulo 2 de esta ley, referente a los “Derechos de los operadores a la ocupación del dominio público, a ser beneficiarios en el procedimiento de expropiación forzosa al establecimiento a su favor de servidumbres y limitaciones a la propiedad” se encuentra el artículo 26 que junto con el artículo 30 se establecen los derechos de ocupación de dominio público y de ubicación compartida y uso de la propiedad pública o privada de tal forma que los operadores de servicios de telecomunicaciones podrán hacer uso del dominio público cuando sea necesario para el establecimiento de las redes de comunicaciones siempre y cuando exista la necesidad de hacerlo y se mantengan las condiciones de competencia efectiva en el sector. Además, cuando los operadores que tengan el derecho de ocupación del dominio público radioeléctrico por motivos de medioambiente, salud pública, seguridad pública u otros motivos no puedan ejercerla por separado, la Administración competente aprobara el empleo compartido del dominio público o propiedad privada donde se van a establecer las redes públicas de comunicaciones, estableciendo así un acuerdo entre los operadores implicados para el uso compartido de un mismo emplazamiento.

Dentro del capítulo 4, “Evaluación de la conformidad de equipos y aparatos”, encontramos el artículo 42 el cual trata acerca de las condiciones que deben de cumplir las instalaciones y los instaladores. En este se establece que los equipos de telecomunicaciones deberán ser instalados y mantenidos de acuerdo con los manuales proporcionados por el fabricante, además, la prestación a terceros de servicios de mantenimiento e instalación de dichos equipos se realizara en régimen de libre competencia y aquellas empresas dedicadas a estos trabajos deberán de presentar al registro de empresas instaladoras una declaración responsable sobre el cumplimiento de los requisitos relativos a la capacidad técnica y a la cualificación profesional para el ejercicio de la actividad.

El artículo 43, enmarcado dentro del capítulo 5, “Dominio público radioeléctrico”, establece que la gestión, planificación, administración y control del dominio público radioeléctrico únicamente es competencia del Estado, quien se encarga de la realización y aprobación de la documentación necesaria para su correcto uso y de un régimen sancionador en caso de que no se cumplan las condiciones que se establecen. La gestión del dominio público radioeléctrico aboga por imponer unas condiciones para su uso y que permita su disponibilidad y uso eficiente, con el fin de proteger la salud pública frente a los campos electromagnéticos, asegurara la calidad técnica del servicio y garantizar el uso eficiente del espectro entre otros.

El artículo 50, integrado dentro del capítulo 8, “Inspección y régimen sancionador”, establece los organismos existentes que realizan las funciones inspectoras y sancionadoras en materia de telecomunicaciones, que son; La agencia estatal de radiocomunicaciones, la comisión del mercado de las telecomunicaciones y el Ministerio de Ciencia y Tecnología. En este caso el encargado de la inspección de los servicios y redes de telecomunicaciones, así como de sus condiciones de prestación, de los equipos y de las instalaciones o emplazamientos de telecomunicaciones es el Ministerio de Ciencia y Tecnología. En este artículo también se establece que

los operadores están obligados a facilitarle cualquier tipo de información al personal encargado de la inspección con el objetivo de facilitar el proceso de inspección y de las labores que se hayan de realizar.

Por último, otro punto interesante a destacar de esta ley sería la disposición adicional duodécima, relacionada con el despliegue de infraestructuras de radiocomunicación. En esta se establece la creación de un organismo de cooperación con las comunidades autónomas con el objetivo de fomentar, de forma conjunta con las administraciones competentes, el despliegue de infraestructuras de radiocomunicación. De esta forma esta ley permite la colaboración entre distintas autonomías.

4.4. Distancias de protección y calculo del volumen de referencia

En la normativa vigente se define la distancia de protección como aquella distancia mínima que debe de existir a la fuente de radiación electromagnética que permitan asegurar el cumplimiento de los niveles de referencia. Por otro lado, se define el volumen de protección como aquel volumen de forma predefinida que encierra el volumen de radiación producido por el diagrama de la antena, en cuyo interior no se puede encontrar una zona de paso habitual de personas y donde se alcanzan los niveles máximos de emisión electromagnética. Para una antena directiva, el volumen de protección consiste en un paralelepípedo trazado a partir de la antena en la dirección de máxima radiación. En caso de que la antena fuese omnidireccional se propone como volumen de protección un cilindro siguiendo el esquema de la figura 4.4.

El cálculo del volumen de referencia para una antena directiva se realiza siguiendo un método fácilmente extrapolable al cálculo del volumen de referencia para una antena omnidireccional. El paralelepípedo de referencia está definido por los siguientes parámetros:

- Profundidad en la dirección de radiación: $Lm1$.
- Profundidad en la dirección opuesta: $Lm2$.
- Anchura: Lh .
- Altura hacia arriba: $Lv1$.
- Altura hacia abajo: $Lv2$.

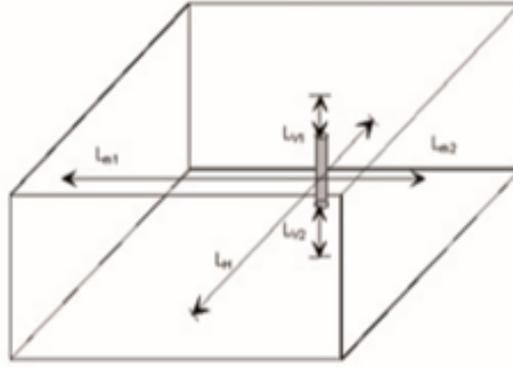


Figura 4.3: Paralelepípedo de referencia [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]

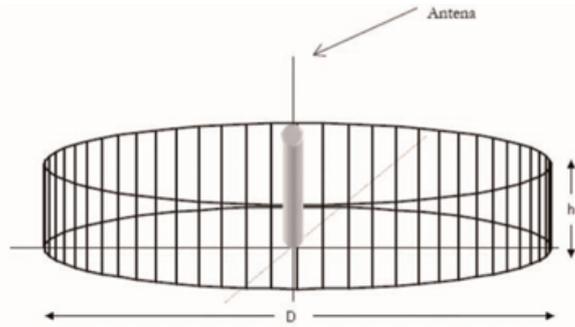


Figura 4.4: Paralelepípedo de referencia para antena omnidireccional [Adaptado de: Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación]

Existen dos métodos para el cálculo de los parámetros del volumen de referencia, dependiendo de si usamos para el cálculo los diagramas de radiación de la antena o si empleamos los datos facilitados por el fabricante en la hoja de características de la antena.

Empleando diagrama de radiación

Empleando los diagramas de radiación de la antena el cálculo de estos parámetros se realiza haciendo uso de las siguientes expresiones:

$$L_{M1} = D_{max} \quad (4.1)$$

$$L_{M2} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_A)} \cdot \cos(\theta_A) \quad (4.2)$$

$$L_H = 2 \cdot D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_H)} \cdot \cos(\theta_H) \quad (4.3)$$

$$L_{V1} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_{V1})} \cdot \cos(\theta_{V1}) \quad (4.4)$$

$$L_{V2} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_{V2})} \cdot \cos(\theta_{V2}) \quad (4.5)$$

donde $G(\theta)$ es la ganancia de potencia normalizada de la antena que podemos calcular partiendo del diagrama de radiación normalizado de la antena teniendo en cuenta los cortes con el plano

horizontal y con el plano vertical al igual que los ángulos necesarios para el cálculo como muestran las imágenes 1 y 2 respectivamente.

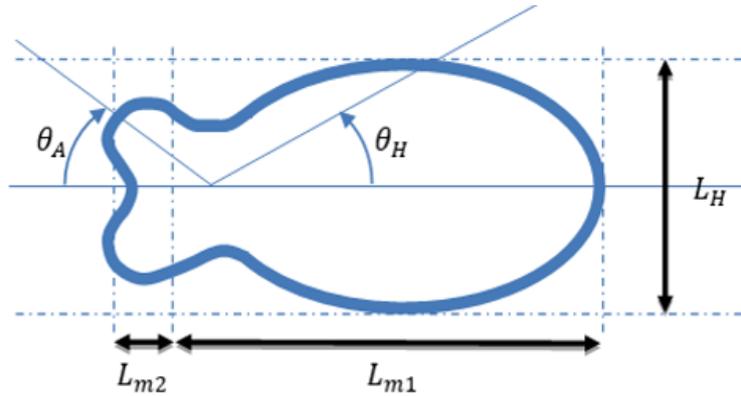


Figura 4.5: Corte del diagrama de radiación con el plano horizontal

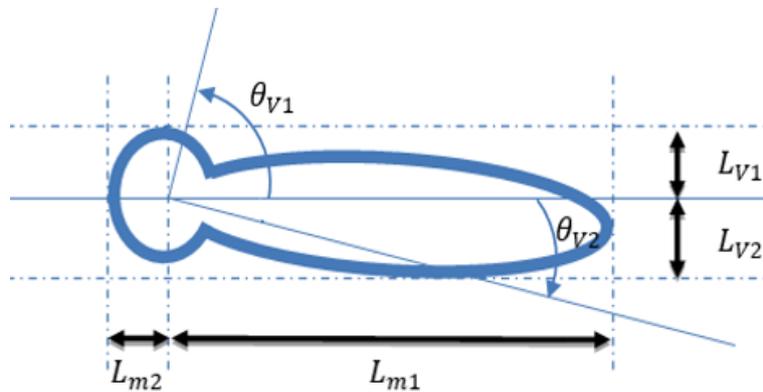


Figura 4.6: Corte del diagrama de radiación con el plano vertical

Por otro lado, D_{max} es la distancia de referencia, y en cuyo calculo se emplea la siguiente expresión:

$$D_{max} = \left[\frac{M \cdot PIRE}{4\pi \cdot S_{max}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.6)$$

donde la PIRE es la potencia isotrópica radiada equivalente del sistema en vatios, dada por:

$$PIRE = P_{max} \cdot G(\theta, \phi) \quad (4.7)$$

y S_{max} es la densidad de potencia permitida en W/m^2 a la frecuencia a la que emite la estación y M es un factor de corrección que determina cuando no se produce ningún tipo de reflexión del haz, $M=1$ en el caso de torres de telecomunicaciones, cuando se produce una reflexión parcial del haz emitido, $M=2.56$ en azoteas (caso típico), y para cuando se produce una reflexión total del haz, $M=4$ en ,por ejemplo, unidades móviles a ras de suelo.

Con todos los parámetros calculados podemos construir el volumen de referencia como podemos ver en la FIGURA 4.7.

En las expresiones anteriormente descritas se ha supuesto que la PIRE es lo suficientemente elevada como para que en la situación en D_{max} sea de campo lejano, ya que en caso contrario las características de los campos en situación de campo cercano son demasiado complejas.

Mientras que en la situación de campo lejano, donde ya se ha formado el frente de ondas que puede considerarse como plano, la densidad de potencia disminuye inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, en una situación de campo cercano la densidad de potencia disminuye inversamente proporcional con la distancia.

$$S = \frac{360^\circ}{\theta_{BW-H}} \cdot \frac{P_{in}}{2\pi DL} \quad (4.8)$$

donde P_{in} es la potencia de entrada a la antena, D es la distancia a la antena, θ_{BW-H} es la anchura a 3 dB del lóbulo principal de la antena en el plano horizontal y L es la altura del cilindro. Por ultimo, la D_{max} calculada para un punto que se encuentra en situación de campo cercano viene determinada por:

$$D_{max,campocercano} = \frac{360^\circ}{\theta_{BW-H}} \cdot \frac{P_{in}}{2\pi SL} \quad (4.9)$$

De forma general se establece como norma que independientemente de si se encuentra en una situación de campo cercano o campo lejano se tomara como distancia de protección aquella que sea mínima entre ambas.

Empleando hoja de características

Para este método de cálculo de las distancias que definen el volumen de referencia tendremos que conocer una serie de parámetros dados por los fabricantes en las hoja de características de cada antena. Estos parámetros son:

- G_i : Ganancia de la antena respecto de la isotrópica en la dirección de máxima radiación.
- θ_{BW-H} : Anchura del lóbulo principal a 3 dB en el plano horizontal.
- θ_{BW-V} : Anchura del lóbulo principal a 3 dB en el plano horizontal.
- L : Longitud de la antena.
- FB : Relación delante/atrás.

En este caso el cálculo de la distancia de protección no varia respecto al método anterior, por lo que tenemos que D_{max} viene dada por la ecuación 4.6 y las expresiones que permiten el cálculo de los parámetros que definen el volumen de referencia son:

$$L_{M1} = D_{max} \quad (4.10)$$

$$L_{M2} = D_{max} \cdot \sqrt{FB} \quad (4.11)$$

$$L_H = 2 * D_{max} \cdot \sqrt{G\left(\frac{\theta_{BW-H}}{2}\right)} \cdot \text{sen} \frac{\theta_{BW-H}}{2} \quad (4.12)$$

$$L_{V1} = L_{V2} = D_{max} \cdot \sqrt{G\left(\frac{\theta_{BW-V}}{2}\right)} \cdot \text{sen} \frac{\theta_{BW-V}}{2} \quad (4.13)$$

Volumen compuesto

Hasta el momento hemos visto dos métodos para el cálculo de los volúmenes de referencia para una única tecnología, sin embargo, en la realidad no se usa una antena para radiar una única tecnología, si no que lo mas habitual es encontrarnos con sistemas radiantes donde una antena es empleada para emitir a distintas frecuencias.

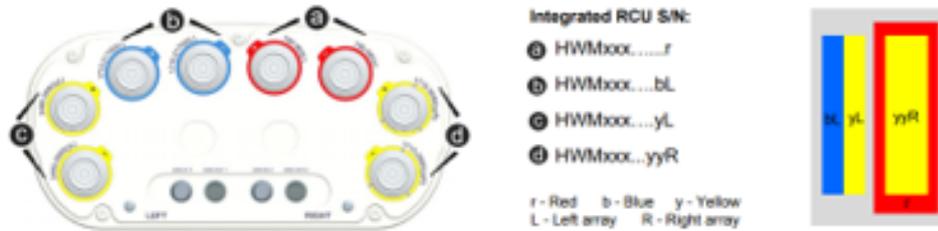


Figura 4.7: Conexiones antena quatribanda

Como se puede observar en la figura 4.7, el panel radiante de la antena esta dividido en secciones. Cada sección es alimentada por distintas unidades radio remotas (RRU) a fin de poder emitir con la misma antena en múltiples frecuencias y con múltiples portadoras.

Esto hace que en el cálculo del volumen de referencia se tenga que tener en cuenta el efecto producido por todas las tecnologías que están radiando en la misma antena e incluso por diferentes antenas en caso de que se encuentren a la misma altura, todas contenidas en el mismo plano horizontal y radiando en el mismo azimut, siguiendo el esquema de la figura 4.8.

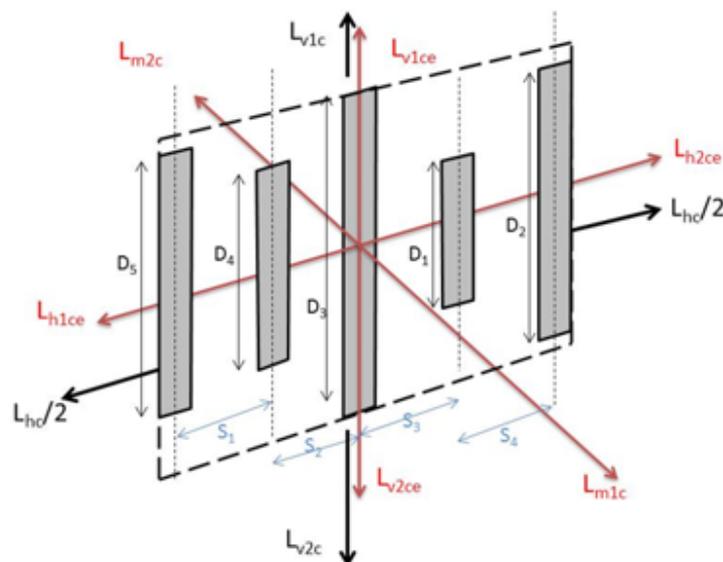


Figura 4.8: Esquema volumen de referencia varias antenas

Por tanto, a la hora de tener en cuenta en el volumen de referencia todas las tecnologías

radiadas en una misma dirección tendremos que aplicar la media geométrica de los valores obtenidos de forma individual para cada uno de los parámetros, como vemos a continuación:

$$L_{M1COMPUESTO} = \sqrt{L_{M1}^2(A_0) + L_{M1}^2(A_1) + L_{M1}^2(A_2) + L_{M1}^2(A_3) + L_{M1}^2(A_4)...} \quad (4.14)$$

$$L_{M12COMPUESTO} = \sqrt{L_{M2}^2(A_0) + L_{M2}^2(A_1) + L_{M2}^2(A_2) + L_{M2}^2(A_3) + L_{M2}^2(A_4)...} \quad (4.15)$$

$$L_{HCOMPUESTO} = \sqrt{L_H^2(A_0) + L_H^2(A_1) + L_H^2(A_2) + L_H^2(A_3) + L_H^2(A_4)...} \quad (4.16)$$

$$L_{V1COMPUESTO} = \sqrt{L_{V1}^2(A_0) + L_{V1}^2(A_1) + L_{V1}^2(A_2) + L_{V1}^2(A_3) + L_{V1}^2(A_4)...} \quad (4.17)$$

$$L_{V2COMPUESTO} = \sqrt{L_{V2}^2(A_0) + L_{V2}^2(A_1) + L_{V2}^2(A_2) + L_{V2}^2(A_3) + L_{V2}^2(A_4)...} \quad (4.18)$$

Capítulo 5

Toma de datos para replanteo

La modificación del sistema radiante de un site para el despliegue de una nueva tecnología, que en este caso sera 4G LTE en la banda de frecuencias de 1800Mhz se realiza a través de una serie de pasos que concluyen con la aceptación y certificación por parte del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, para la instalación de la modificación necesaria. El replanteo del emplazamiento consiste en definir los equipos que se deben instalar y trabajos que se han de realizar, partiendo del estado existente, con el fin de alcanzar el objetivo deseado de implantación de la nueva tecnología cumpliendo con unos requisitos de mínimo costo e impacto visual y máxima calidad.

5.1. Previo a la toma de datos en el site

Antes de realizar el replanteo de la estación de telefonía móvil se tendrán que tener perfectamente claros una serie de datos sobre el site. En este caso se trata de un emplazamiento ubicado en la azotea de un edificio que se encuentra en la Calle Gran Canaria, N°50, Valencia, con código de estación VALR0113A, en una latitud de $39^{\circ} 29' 03.3''N$,en una longitud de $00^{\circ} 19' 42.2''w$ y en una elevación de 4m entre el nivel del mar y el portal del edificio.



Figura 5.1: Ubicación emplazamiento

El operador, en este caso Orange, es el encargado de facilitar un plano de situación del emplazamiento, así como un plano detalle a escala en planta, en alzado y de los equipos en la configuración actual, lo que es conocido como CAP. Es fundamental conocer la disposición de equipos, antenas y sistemas mediante estos planos antes de desplazarse al propio emplazamiento con el fin de facilitar el trabajo y agilizar el proceso una vez estemos haciendo el replanteo. En este caso caso, la caseta de equipos de telecomunicaciones se encuentra en la azotea del edificio a una altura de 25m del suelo. El sistema radiante del site consta de 3 sectores radiando en los azimut de 20°, 150° y 270° para los sectores 1, 2 y 3 respectivamente, con las tecnologías de GSM, UMTS y LTE . En este caso no se especificaban las bandas de frecuencia configuradas para cada tecnología, pero en la Web del Ministerio de infoantenas se puede obtener esta información. Como se puede ver en la FIGURA 5.2, GSM esta configurada en banda de 900 MHz, UMTS lo hace en bandas de 900 Mhz y 2100 MHz con dos portadoras y LTE en la banda de los 2600 MHz.

ESTACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL		
LOCALIZACIÓN		
Código	Dirección	
ORANGE ESPAGNE, SAU - VALR0113A	CL GRAN CANARIA, 50. VALENCIA, VALENCIA/VALÈNCIA	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Operador	Referencia	Banda Asignada (MHz)
ORANGE ESPAGNE, SAU	V V -1000336	925.10 - 935.10
ORANGE ESPAGNE, SAU	V V -0900118	1900.00 - 1905.00; 2125.00 - 2140.00
ORANGE ESPAGNE, SAU	V V -1200717	2640.00 - 2660.00
ORANGE ESPAGNE, SAU	V V -1201252	925.10 - 935.10

Figura 5.2: Tecnologías instaladas en el emplazamiento según infoantenas

Según el plano de planta en cada sector dispone de dos antenas, una de ellas modelo KATHREIN 80010291V02 tribanda que se encarga de radiar las tecnologías de GSM y UMTS, mientras que la otra antena modelo KATHREIN 80010621 encargada de radiar LTE 2600. Otros datos de interés a tener en cuenta serian longitudes de cables, alturas de las antenas y equipos asociados y downtilts de las antenas, que se encuentran recogidos en la TABLA 5.1.

SECTOR	TECNOL.	TIPO ANTENA	DOWNTILT KIT	ALTURA BASE ANTENA			ORIENT.	TILTS		COAXIALES			CABLEADO RRU	
				CASETON	CUBIERTA	SUELO		ELEC.	MEC.	JUMPER 1/2" LONGITUD	FEEDERS TIPO	LONG.	F.O. UD	F.O. + VCC LONGITUD
1	BANDA 800 LTE OSP	HUAWEI ATR4518R12	-	2.00m	7.00m	29.00m	30°	2°	0°	2.00m	1/2"	20.00m	1	20.00m
	BANDA 900 GSM/UMTS OSP									5.00m	-	-	2	20.00m
	BANDA 1800 LTE OSP									-	1/2"	12.00m	1	20.00m
	BANDA 2100 UMTS OSP									-	1/2"	20.00m	1	20.00m
2	BANDA 800 LTE OSP	HUAWEI ATR4518R12	-	2.00m	7.00m	29.00m	190°	6°	0°	2.00m	1/2"	20.00m	1	20.00m
	BANDA 900 GSM/UMTS OSP									5.00m	-	-	2	20.00m
	BANDA 1800 LTE OSP									-	1/2"	12.00m	1	20.00m
	BANDA 2100 UMTS OSP									-	1/2"	20.00m	1	20.00m
3	BANDA 800 LTE OSP	KATHREIN 742215	-	2.45m	7.45m	29.45m	190°	2°	0°	2.00m	1/2"	20.00m	1	20.00m
	BANDA 900 GSM/UMTS OSP									5.00m	-	-	2	20.00m
	BANDA 1800 LTE OSP									-	1/2"	12.00m	1	20.00m
	BANDA 2100 UMTS OSP									-	1/2"	20.00m	1	20.00m

Tabla 5.1: Características sistema radiante

Por otro lado, se ha de conocer el entorno en un radio a 100 m con el objetivo de poder detectar posibles puntos sensibles y zonas de máxima radiación. Esto correspondería con la fase previa a las mediciones de campo. En este caso la azotea es transitable, por ello se han de realizar el máximo numero de medidas posible en ella, ya que sera la zona donde los niveles de campo electromagnético radiado serán mayores y se precisa conocer donde se podrán realizar medidas. En la FIGURA 5.3 se representa el entorno delimitado con las circunferencias de radio 100m y 50m, empleando la herramienta de Google Earth.



Figura 5.3: Entorno del emplazamiento con radios de 100m y 50m

La exploración de la zona se realiza mediante el empleo de la herramienta Google Earth, que permite delimitar el entorno con círculos de 100 m y 50 m para facilitarnos la tarea, además también se pueden incluir las direcciones de radiación de los sectores como se puede ver en la FIGURA 5.3. Tras una visualización exhaustiva del entorno se encuentran dos puntos sensibles dentro del radio de los 100 m, que corresponden a un parque público y a un centro de formación que puede considerarse como una escuela pública. Estos dos puntos han de ser obligatoriamente puntos de medida, con el fin de comprobar que se cumplen los límites de emisiones para estos puntos de acuerdo a como se mencionaba en la orden CTE/23/2002.



Figura 5.4: Ubicación de los puntos sensibles

En la FIGURA 5.4 podemos ver la ubicación de ambos puntos sensibles. El parque público se encuentra en la intersección de la calle Gran Canaria con la calle Arnau de Villanova, mientras que la dirección del centro de formación es la Calle Arnau de Vilanova S/N. Para el resto de puntos de medida se podrá establecer su ubicación de forma aproximada, siendo recomendable realizar el mayor número de medidas en la azotea, donde se tendrán los niveles de campo más altos y por ende más restrictivos, y el resto realizar al menos una medida por sector a pie de calle, además de los puntos sensibles anteriores.

5.2. Toma de datos en el site

Una vez se conocen todos los detalles posibles del emplazamiento, se está en disposición de desplazarse al propio emplazamiento para su correcto análisis in-situ y así poder obtener todos los datos necesarios para encontrar la solución más óptima y además realizar las medidas de campo en el entorno. Además de analizar el emplazamiento previamente al replanteo, se ha de solicitar acceso al emplazamiento al propietario del mismo, en este caso se trataba de Cellnex Telecom el cual es el propietario de la mayor parte de la infraestructura de telecomunicaciones

dedicada al servicio de telefonía móvil. Una vez se concede el acceso al site, únicamente hemos de cargar a una llave Locken, como la de la FIGURA 5.5, unos códigos a través de una interfaz situada en la misma puerta de la sede de Cellnex Telecom en Valencia. Una vez cargada la llave Locken se puede acceder al inmueble abriendo un bombín especial situado en el portal donde se guardan las llaves necesarias para acceder hasta la caseta de equipos de telecomunicaciones.



Figura 5.5: Llave y bombín Locken

5.2.1. Sistema Radiante

Un vez en la azotea del edificio, lo primero será inspeccionar el sistema radiante instalado y comprobar si concuerda con los datos que anteriormente nos proporcione el operador sobre el estado actual del emplazamiento. En primer lugar, se realiza una inspección visual con el fin de ver como está instalado. Como se puede ver en la FIGURA 5.6 el sistema radiante para el sector 1 se encuentra pintado en el color de la fachada y en ningún caso sobrepasa la altura máxima de la pared donde se instala. De la misma forma ocurre para los sectores 2 y 3. Esto es debido a que la comunidad de propietarios obliga a que se encuentre perfectamente mimetizado con la fachada para minimizar el impacto visual. Este será un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de presentar la solución final.



Figura 5.6: Caseta de equipos y sistema radiante sector 1



Figura 5.7: Sistema radiante sector 2 Y 3

En este paso es de vital importancia medir los downtilts o ángulos de inclinación hacia el suelo de las antenas en cada sector. Cuando se midieron dichos ángulos se obtuvieron unos valores radicalmente distintos a los que se indicaban en los planos del emplazamiento; Para el sector 1 se obtuvo 19° , para el sector 2 la inclinación fue de 12° y finalmente para el sector 3 el downtilt medido fue de 24° . Con estos valores de inclinación las antenas radian prácticamente hacia el suelo de la azotea y previsiblemente el volumen de protección estaría incidiendo completamente en una zona de permanencia habitual de personas como es la azotea transitable.

Estos valores tan desproporcionados de tilt negativo podrían deberse a que el mecanismo de ajuste del downtilt mecánico aflojado por el paso del tiempo. Otro aspecto importante a tener en cuenta del sistema radiante es la RRU (remote radio unit). En este emplazamiento, para las tecnologías que se radian en el estado anterior a la modificación serán necesarias tres RRU's por cada sector. La RRU modelo Huawei 3201 se emplea para la tecnología LTE 2600 radiada por la antena K80010621, la RRU modelo Huawei 3908v2 se emplea para la tecnología GSM/UMTS 900 y finalmente, la RRU modelo Huawei 3808 se destina a la tecnología UMTS 2100, estas dos últimas se radian en la antena K80010291v02. En el diagrama de la FIGURA 5.8 se puede observar el sistema radiante de forma más clara.

En este punto también es importante verificar si en las antenas instaladas están en uso todos los paneles disponibles. En este caso, la antena K80010291v02 es tribanda pero solo está radiando 2 tecnologías; GSM/UMTS 900 y UMTS 2100 por lo que aun resta un panel disponible que nos facilitaría la labor de la instalación de LTE 1800 sin tener la necesidad de sustituir ninguna de las antenas existentes. Como se puede observar en la FIGURA 5.9 el panel radiante de la antena se divide en 3 partes, estando libre el subpanel B2.

Se tendrá que verificar además que hay espacio disponible para la posible instalación de nuevas RRU's, si los sistemas de anclaje de las antenas están correctos y si en el rejiband donde se sitúan los cables queda espacio para instalar nuevos cables.

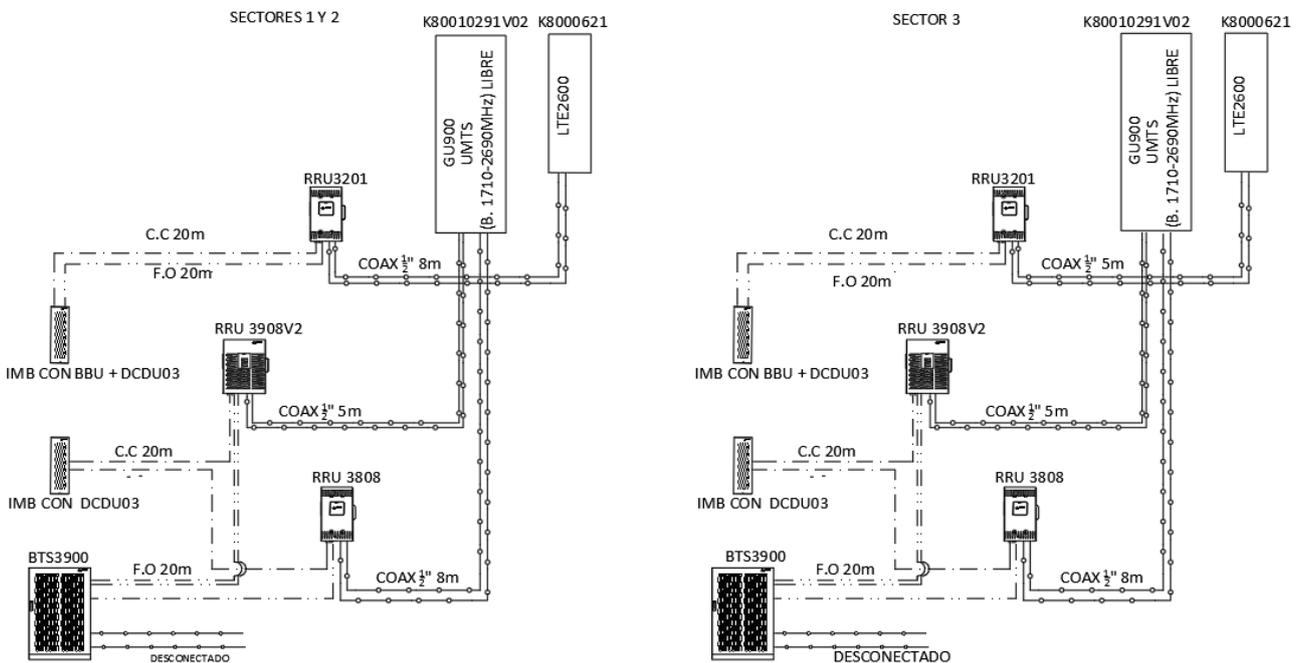


Figura 5.8: Esquema sistema radiante sector

Accessories
General Information

KATHREIN

Accessories (order separately if required)

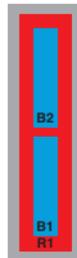
Type No.	Description	Remarks mm inches	Weight approx. kg lb	Units per antenna
731651	1 clamp	Mast diameter: 28 – 60 1.1 – 2.4	0.8 1.8	2
85010002	1 clamp	Mast diameter: 110 – 220 4.3 – 8.7	2.7 6.0	2
85010003	1 clamp	Mast diameter: 210 – 380 8.3 – 15.0	4.8 10.6	2
737978	1 downtilt kit	Downtilt angle: 0° – 11°	2.3 5.1	1

Accessories (included in the scope of supply)

738546	1 clamp	Mast diameter: 42 – 115 1.7 – 4.5	1.1 2.4	2
--------	---------	-------------------------------------	-----------	---

For downtilt mounting use the clamps for an appropriate mast diameter together with the downtilt kit. Wall mounting: No additional mounting kit needed.

Material:
Reflector screen: Weather-proof aluminum.
Fiberglass housing: It covers totally the internal antenna components. Fiberglass material guarantees optimum performance with regards to stability, stiffness, UV resistance and painting. The color of the radome is light grey.
All screws and nuts: Stainless steel or hot-dip galvanized steel.
Grounding: The metal parts of the antenna including the mounting and the inner conductors are DC grounded.



Correlation Table

Frequency range	Array	Connector
790 – 960 MHz	R1	1–2
1710 – 2180 MHz	B1	3–4
1710 – 2180 MHz	B2	5–6

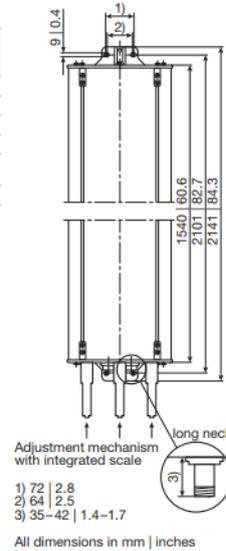


Figura 5.9: Hoja de características antenna Kathrein k80010291v02

5.2.2. Caseta de equipos

Una vez inspeccionado minuciosamente el sistema radiante del emplazamiento se debe de hacer lo mismo en la caseta de equipos de telecomunicaciones. Tras una inspección visual rápida, donde se ha de localizar el lugar de todos los equipos, tendremos que ir equipo por equipo revisando como están dispuestos e instalados.

Como se puede observar en la FIGURA 5.10, el estado del interior de la caseta de telecomunicaciones no es el deseable y por lo tanto, tras el replanteo se debe de realizar un informe donde se refleje con fotos el estado de la caseta y a la hora de que los técnicos realicen la modificación para albergar la tecnología LTE 1800 se procederá a reparar todos los daños.

Matizar que en este trabajo únicamente nos centraremos en el aquellos equipos estrictamente de telecomunicaciones dejando fuera todo lo relacionado con la alimentación de los equipos como podrían ser los equipos de fuerza, baterías, cuadros eléctricos, rectificadores, sistema de alarma, etc.



Figura 5.10: Interior caseta equipos telecomunicación

En primer lugar sera necesario realizar una descripción de los equipos y componentes de telecomunicaciones de la marca Huawei que nos vamos a encontrar en el interior de la caseta.

- BTS: Base Transceiver Station. Básicamente es una cabina donde se albergan otros equipos como BBU's y RFU's.
- DCDU: Es la encargada de dar alimentación a los equipos del sistema radiante como puede ser la BBU.
- RFU: Radio Filter Unit. Se encarga del filtrado de las radiofrecuencias, además de modular y demodular las señales banda base y el procesamiento de datos.



Figura 5.11: Filtro de radiofrecuencias

- BBU: Base Band Unit. Es el equipo encargado de procesar las señales en banda base y es el encargado de la comunicación entre la BTS y la BSC ¹. La ventaja que nos proporciona esta BBU es que permite una configuración completamente personalizada ya que esta basada en un diseño modular, de esta forma podemos aumentar la capacidad o instalar una nueva tecnología en un emplazamiento existente.



Figura 5.12: Unidad banda base

Dentro de la BBU, se encuentra lo que denominamos tarjetas controladoras que según la función que vayan a desempeñar tendrán una denominación y ubicación dentro de la BBU distinta.

- WMPT/UMPT: WCDMA MAIN PROCESSES AND TRANSMISSION UNIT. Se encarga de procesar las señales y gestionar los recursos, así como llevar a cabo tareas de gestión y configuración del equipo y monitorización y procesado de la señal para el sistema de 3G.
- GTMU: GSM TRANSMISSION AND MANAGEMENT UNIT FOR BBU: Se encarga de la transmisión y control de la BBU para el sistema de 2G.
- WBBP/UBBP: WCDMA BASE BAND PROCESS UNIT. Procesa las señales en banda base para los enlaces de subida y de bajada.
- LBBP: LTE BASE BAND PROCESS UNIT. Procesa las señales en banda base para los enlaces de subida y de bajada en el sistema LTE.
- UPEU: UNIVERSAL POWER AND ENVIROMENT INTERFACE UNIT. Su función es la de proporcionar alimentación a la BBU. Se sitúa a la derecha en la BBU.
- UEUI: UNIVERSAL ENVIROMENT INTERFACE UNIT. Funciona como una alarma, monitoriza los dispositivos y envía una señal de alarma cuando detectar error en alguno de ellos. Se sitúa a la derecha en la BBU.
- UBRI: UNIVERSAL BASEBAND RADIO INTERFACE BOARD. Facilita la convergencia, distribución y transmisión de diferentes tecnologías entre la BBU y las RRU's.
- FAN: Se sitúa a la izquierda en la BBU3900(modelo usado en este caso) y su función principal es la de controlar la velocidad de giro de los ventiladores para que sean capaces de disipar el calor de forma correcta y controlar el estado de los mismos.

¹Base station controler

En nuestro caso, se dispone de dos bastidores y un armario BTS 3900 donde se ubican todos los equipos.

En el primer bastidor, reflejado en la FIGURA 5.13, nos encontramos una DCDU-03B que alimenta a las RRU destinadas a la tecnología LTE2600. Además, contamos con una BBU 3900 donde se aloja una tarjeta LBBP en el Slot 3 de la BBU, encargada de procesar las señales en banda base para los enlaces de subida y bajada para la tecnología LTE 2600.



Figura 5.13: Bastidor 1

El segundo bastidor esta destinado únicamente a albergar una DCDU-03B que alimenta a las unidades radio remotas de las tecnologías GSM/UMTS 900 y UMTS 2100, quedando libre el resto del bastidor, preñdiéndose alojar dentro una nueva BBU si fuese necesario, como se puede ver en la FIGURA 5.14.



Figura 5.14: Bastidor 2

Y por último, encontramos un armario BTS 3900. En este se encuentran alojados 3 RFU's, que son capaces de soportar hasta un máximo de 6 portadoras por sector. Además, encontramos una BBU3900 que contiene una tarjeta WBBP para procesar los datos e información destinada a las tecnologías de UMTS y una tarjeta GMTU destinada al procesamiento de datos para GSM.

Una vez identificados todos los equipos y sistemas solo nos quedara comprobar el estado general de los mismos y verificar el estado del sistema de refrigeración de los equipos o "free cooling". Con toda esta información ya estamos en disposición de proponer una solución para la instalación de la tecnología LTE 1800.

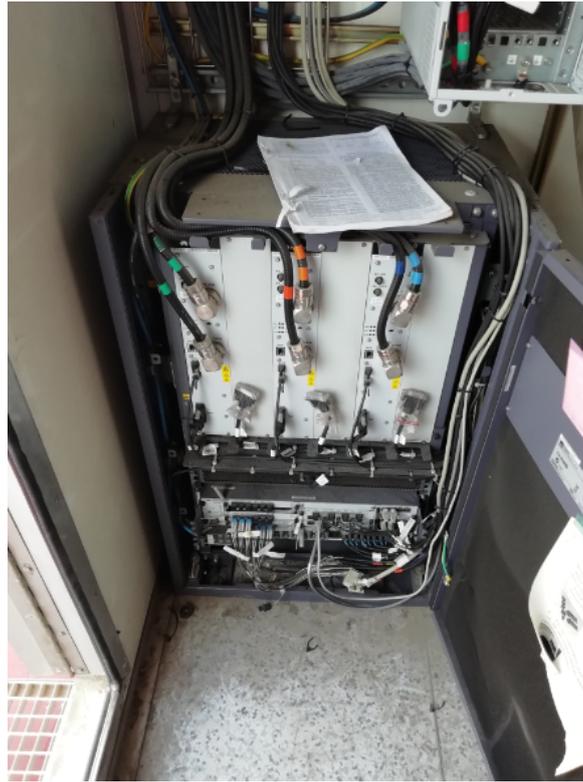


Figura 5.15: Armario BTS

5.3. Medidas de campo para PTT

Concluida la toma de datos en el emplazamiento tendremos que realizar las medidas de campo eléctrico en el entorno del mismo, de acuerdo con la fase 1 del procedimiento de medida, con el fin de poder certificar que se cumplen los niveles de decisión y de referencia, y se seguirán cumpliendo una vez instalada la nueva tecnología.

En primer lugar, tendremos que realizar una inspección visual al entorno para poder decidir el número y la ubicación de las medidas. Como mínimo tendremos que realizar 5 medidas con las medidas de los puntos sensibles a parte, teniendo en cuenta que se tendrán que realizar el máximo número de medidas posibles en la zona más restrictiva que es la azotea, especialmente en las direcciones de máxima radiación.

Las medidas de campo electromagnético se realizarán con un medidor marca NARDA y modelo EMR-300, como el de la FIGURA 5.16 correctamente calibrado y certificado para este tipo de mediciones. La sonda que instala este equipo puede medir frecuencias de entre 10 kHz y 60 GHz con una sensibilidad de 0.2 V/m. Para evitar interferir en el resultado de las medidas el equipo se instaló sobre un tripode de 2m de altura.



Figura 5.16: Equipo medidor NARDA EMR-300

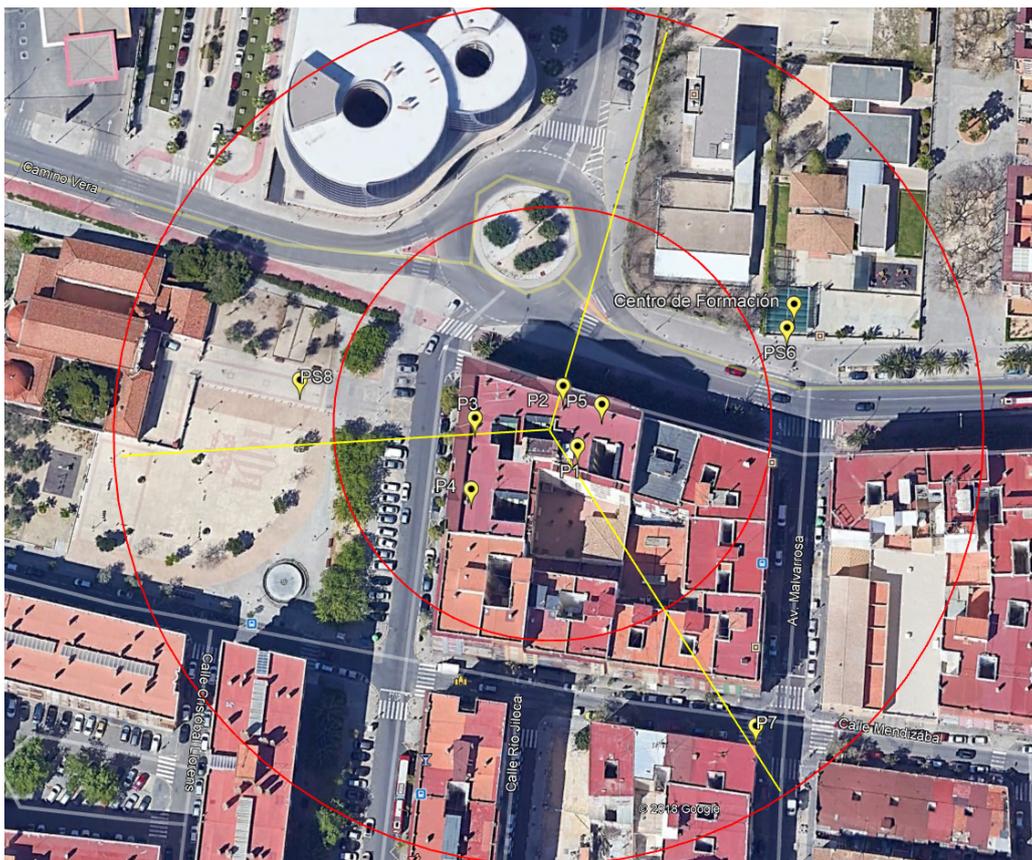


Figura 5.17: Ubicación puntos medidas

La ubicación de los puntos de medida se refleja en la FIGURA 5.17. En la azotea se realizaron 5 medidas de campo, 1 por sector y dos adicionales, mientras que en la calle se realizaron 3 medidas; dos de ellas se realizaron en los dos puntos sensibles mencionados anteriormente y otra se realizó en la dirección del sector 2 a unos 85m de la estación radiante.

En la tabla 5.2 se indica el resultado de las medidas de campo. Para comprobar si los resultados obtenidos cumplen con la normativa tendremos que comparar cada uno de ellos con el nivel de decisión de la banda 900 que corresponde con la tecnología mas restrictiva por tener el nivel de decisión mas bajo de todas las tecnologías que se instalan cuyo valor es 20.63 V/m. Por lo tanto, como ya suponíamos anteriormente viendo los valores de los downtilts, para los puntos de medida situados en la azotea y posicionados en las direcciones de máxima radiación, el volumen de referencia para los sectores 1 y 2 estaría incidiendo completamente sobre una zona de permanencia habitual de personas y de ahí que se obtuvieran esos valores tan elevados de campo, siendo para los puntos de medida 2 y 3 superiores a los 20.63 V/m especificados anteriormente. Tendremos que solucionar esta incidencia con el fin de poder certificar correctamente la instalación de la nueva tecnología.

Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.			Hora de inicio de cada medición	Valor medido promediado	¿Es punto sensible?
Punto de medida	Distancia (m)	Azimut (°)			
P1	11	146	16:19	15,91	NO
P2	7	34	16:27	21,29	NO
P3	17	267	16:38	23,59	NO
P4	25	227	16:45	6,28	NO
P5	12	85	16:52	7,58	NO
P6	58	75	17:11	0,69	SI
P7	85	150	17:19	1,11	NO
P8	60	280	17:35	0,65	SI

Tabla 5.2: Tabla con los valores de las medidas de campo

En nuestro caso decidimos no llevar a cabo la fase 2 del procedimiento de medida para aquellos puntos donde se supera el nivel de decisión ya que en la practica el ministerio suele ser muy estricto a la hora de certificar instalaciones donde se supere el nivel de decisión por lo que a la larga nos supondría un problema, en lugar de tratar de solucionar la incidencia.

Capítulo 6

Solución propuesta

Una vez se realiza la toma de datos en el emplazamiento se esta en disposición de realizar la propuesta de modificación para la implantación de la nueva tecnología LTE1800. Este replanteo se realiza para el operador Orange en colaboración con Huawei como suministrador de equipos, por ello todos los nuevos equipos que se tengan que instalar tendrán que ser de la marca Huawei y siguiendo los criterios de diseño e instalación impuestos por Huawei y Orange, pero siempre pudiéndolos adaptar a las condiciones y necesidades en cada caso.

6.1. Solución a las incidencias

En primer lugar y antes de proporcionar una solución para la instalación de LTE1800, se tendrán que hacer las modificaciones necesarias para evitar que se sobrepasen los límites de campo eléctrico establecidos por la normativa.

Para ello, previamente se ha de realizar un plano representativo de la situación actual para ver en que magnitud el volumen de referencia estaba incidiendo en la azotea que es una zona de permanencia habitual de personas por ser transitable.

Para el cálculo del volumen de referencia se han creado dos hojas de cálculo de Excel, una en la que se empleaba el método de los diagramas de radiación y otra en la que se empleaba el método de las hojas de características descritos en el apartado 2.5, con el fin de evaluar las diferencias que presentaban cada uno de los métodos y así poder emplear el más restrictivo.

Para el método en el que se emplean los diagramas de radiación el libro de Excel contiene una hoja de cálculo por cada tecnología y en ella se calcula el volumen de referencia para esa tecnología únicamente para posteriormente en otra hoja de cálculo se realizar los cálculos para el volumen compuesto empleando las formulas 2.1 hasta 2.5. La entrada de datos de la hoja de cálculo para cada tecnología se refleja en la FIGURA 6.1.

PARALELEPÍPEDO DE REFERENCIA						Convertor de unidades									
Entrada datos		Cálculos intermedios		Salida datos		Entrada		Salida							
M	2,56			Lm1 (m)	7,0760	P (dBm)	P (mW)	P (W)	P (dB)						
PIREmax (W)	1106,00			Lm2 (m)	0,1361	39,2	8317,638	8,32	9,20						
Long. ant (m)	2,00			Lh (m)	1,4594	dBW = dBm - 30									
Smax (W/m ²)	4,50	Dmax (m)	7,08	Lv1 (m)	0,8887										
θA (grad)	70,00	θA (rad)	1,22	Lv2 (m)	0,3886										
G(θA) (dB)	-25,00	G(θA) (lin)	0,00	M: es 4 si se considera la reflexión total de un rayo. es 2,56 si se consideran las condiciones de reflexión típicas. es 1 si no se considera ninguna reflexión											
θH (grad)	55,00	θH (rad)	0,96												
G(θH) (dB)	-18,00	G(θH) (lin)	0,02												
θV1 (grad)	30,00	θV1 (rad)	0,52												
G(θV1) (dB)	-12,00	G(θV1) (lin)	0,06												
θV2 (grad)	10,00	θV2 (rad)	0,17												
G(θV2) (dB)	-10,00	G(θV2) (lin)	0,10												
										Convertor de unidades					
Entrada		Salida													
P (W)	8,32	P (dB)	9,200							P (dBm)	39,2000	8318			

Figura 6.1: Hoja de cálculo de volumen para cada tecnología

=RAIZ((C4^2)+(D4^2)+(E4^2)+(F4^2)+(G4^2)+(H4^2)+(I4^2))									
		DCS	GSM	U900	U2100	LTE800	LTE1800	LTE2600	COMPUESTO
Lm1 (m)		4,7932	7,1108	5,0282	5,7224	7,1206	4,8017	5,5131	15,3531
Lm2 (m)		0,1653	0,1491	0,1054	0,1360	0,2755	0,1655	0,1901	0,4675
Lh (m)		2,0167	4,1334	2,9228	3,1107	3,9001	2,0203	2,3196	8,0028
Lv1 (m)		0,4267	0,5191	0,3671	0,2766	0,2738	0,4274	0,4908	1,0777
Lv2 (m)		0,3457	0,4322	0,3056	0,3069	0,5126	0,3463	0,3976	1,0172

Figura 6.2: Hoja de cálculo volumen compuesto

El libro de Excel que emplea el método de cálculo del volumen de referencia empleando la hoja de características de cada antena se realizó en una única hoja debido a su mayor simplicidad como se puede ver en la FIGURA6.3. Para este caso se ha representado que cada tecnología esta radiada por una antena diferente. En la última versión de este libro de excel se incluye un parámetro que permitiría establecer una separación entre antenas para poder definir las dos antenas que tendremos en el sistema radiante en cada uno de los sectores. En el caso de que la separación entre antenas sea nula querrá decir que se radia por la misma antena.

DATOS								PARALELEPÍPEDOS INDIVIDUALES						
Código (LOCNO)	N TRX	BW H	BW V	NL	FB	TAM_ANT	PIRE TOT	Smax	Paralelepipedo NOMINAL (m)					
									Lm1	Lm2	Lh	Lv1	Lv2	
ANTENA 1	1	65	9.3	-17.0	-25.0	2.10	1968	4.6	9.44	-0.53	7.25	1.33	-1.33	
ANTENA 2	1	65	9.3	-17.0	-25.0	2.10	2000	4.6	9.52	-0.54	7.31	1.34	-1.34	
ANTENA 3	1	60	8.7	-18.0	-25.0	2.10	2200	10	6.69	-0.38	4.80	0.84	-0.84	
ANTENA 4	1	64	9.0	-18.0	-25.0	2.10	4496	9	10.09	-0.57	7.65	1.27	-1.27	
ANTENA 5	1	60	5.7	-18.0	-25.0	1.45	4496	10	9.57	-0.54	6.86	1.20	-1.20	

Separación S1 (m)	0.0
Separación S2 (m)	0.0
Separación S3 (m)	0.0
Separación S4 (m)	0.2

Valores nominales del paralelepipedo compuesto (medidos desde los bordes del rectángulo que engloba las antenas)	
Lm1c	20,44
Lm2c	1,15
Lhc	15,32
Lv1c	2,71
Lv2c	-2,71

Figura 6.3: Hoja de cálculo volumen compuesto mediante hoja de características

Para el cálculo del volumen de referencia se supondrá que la tecnología LTE 1800 ya ha sido instalada para contemplar el caso peor.

Tras realizar el cálculo del volumen de referencia numerosas veces para distintos casos se observa que las diferencias entre un método de calculo y otro eran completamente despreciables, por lo cual el método empleado para realizar los cálculos finales seria el aquel método que emplea como entrada de datos los valores de la hoja de características por su mayor sencillez y porque en algunos casos no se disponía del diagrama de radiación de las antenas.

Finalmente, los parámetros del volumen de referencia teniendo en cuenta las tecnologías radiadas por las dos antenas mas la nueva a instalar, que en este caso es LTE en la banda de los 1800 MHz, son :

Lm1c	20.44
Lm2c	1.15
Lhc	15.32
Lv1c	2.71
Lv2c	-2.71

Tabla 6.1: Distancias del volumen de referencia

A continuación se ha de representar dicho volumen en un plano a escala del alzado de la azotea, empleando para ello la herramienta de diseño gráfico AutoCad, donde se visualice de forma clara donde se encuentra la antena y los limites de la azotea, así como la restricción de 2 m de altura mínima que han de existir medidos desde el suelo de la azotea con el fin de verificar si el volumen de referencia incide sobre la parte transitable y de permanecía habitual de personas.

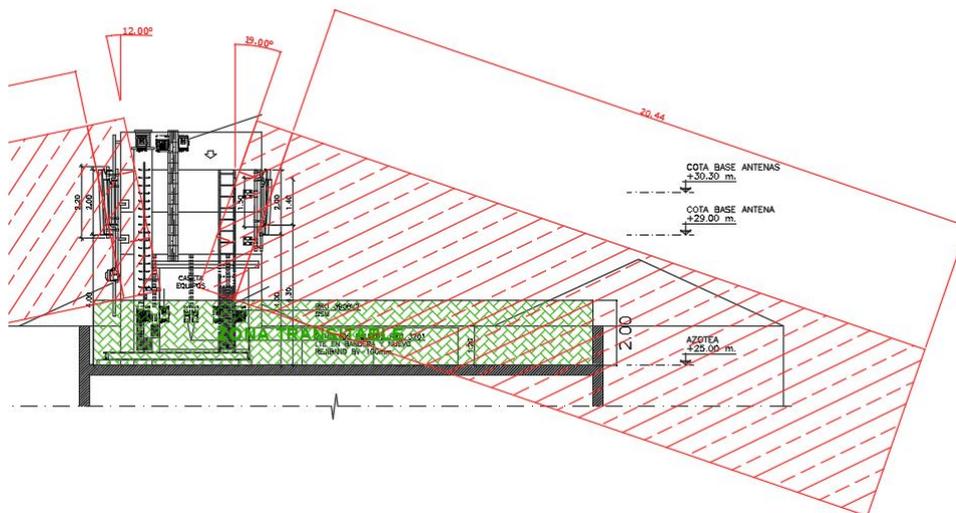


Figura 6.4: Plano sector 1

En la FIGURA 6.4, se ha representado la situación para el Sector 1, donde se había medido

un tilt negativo de 19° . Se puede observar perfectamente que para esa inclinación el volumen de referencia incide completamente en la Zona transitable delimitada por zona rayada en color verde.

Lo mismo sucede para el sector 3, que se representa en la FIGURA 6.5, donde de nuevo se aprecia que los 24° de tilt negativo hacen que prácticamente toda la potencia incida sobre la zona transitable e incluso sobre los pisos situados inmediatamente debajo de la azotea.

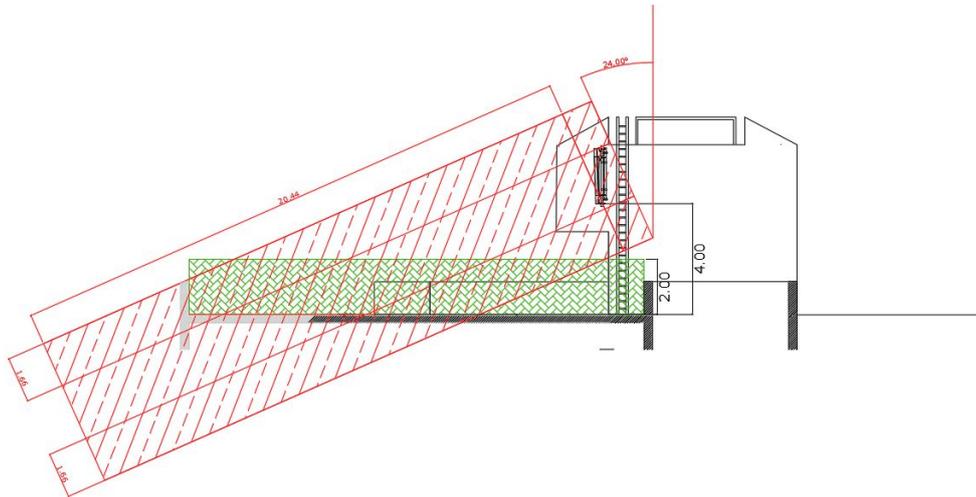


Figura 6.5: Plano sector 3

El sector 2 no presenta ningún tipo de problemática ya que la antena que emite en ese sector se encuentra en el borde de la azotea y radiando hacia un patio interior y por tanto no incide en ninguna zona transitable.

Para solucionar estas dos incidencias se han barajado varias soluciones como bajar la potencia con la que emiten las antenas cada tecnología, reducir el numero de portadoras por tecnología, elevar las antenas, etc. Sin embargo, la mejor solución es la de reducir el tilt negativo de las antenas hasta que se cumpliese la restricción, ya que cualquiera de la anteriores incurriría en problemas de capacidad para la celda perteneciente a la estación base o en problemas con la propiedad como elevar las antenas por encima de la altura máxima de la caseta de equipos de telecomunicaciones.

Así, la situación para los sectores 1 y 3 tras haber aplicado la solución propuesta es la que se representa en las figuras 6.6 y 6.7, quedando para el sector 1 un downtilt máximo de 6° y para el sector 3 un donwtilt máximo de 4° .

- El objetivo no es compactar antenas, sino equipar al site con las antenas que permitan acoger configuración target aprovechando las antenas existentes si no hay otro condicionante.
- Las RRU deben de ubicarse lo mas cerca posible de la antena y siempre permitiendo las condiciones para su mantenimiento.
- El uso de diplexores o elementos combinadores se considerara ultimo recurso y siempre bajo la aprobación de OSP.
- El elemento de RET ¹ ha de estar presente en todos los sistemas.
- Siempre que sea posible, se consideraran diseños 4T4R por defecto (la configuración 4T4R es de 4 transmisores 4 receptores para aumentar la velocidad de transmisión, es el principio de uso de MIMO).
- La prioridad para la integración del RET es para el equipo de 4G.

Las consideraciones técnicas y criterios de diseño a la hora de seleccionar los componentes a instalar se presentaran en los apartado siguientes.

6.3. Sistema Radiante propuesto.

Como habíamos visto anteriormente una de las dos antenas que constituye el sistema radiante de cada sector, concretamente la misma por la que se radia UMTS en la banda de 2100 MHz y 900 MHz, y GSM en banda de 900 MHz, se trata de una antena tribanda donde queda un panel libre en la banda entre los 1710 y los 2180 MHz ideal para ubicar la nueva tecnología a instalar permitiendo abaratar costes y facilitando el despliegue general en el emplazamiento.

Para radiar LTE en banda de 1800 MHz por el panel libre, se deben de instalar nuevas RRU en cada uno de los sectores que sean compatibles para la acción que se quiere llevar a cabo.

Para el escenario target que se tiene en este emplazamiento, Orange propone 2 modelos de RRU dentro del catalogo de Huawei, en función de si la premisa de 4T4T es posible de implementar o no. En nuestro caso, no teníamos la posibilidad de implementar un escenario 4T4R, ya que la antena principal disponía solamente de 3 bandas. Aun así, el modelo de RRU seleccionado fue la 5901w con 4 portadoras con un potencia de transmisión de 40 W cada una en configuración 2T2R, aprovechando que se tiene que instalar una nueva RRU dejando así preparado el site para una futura instalación de la tecnología 5G.

¹Remote Electrical Tilt

Banda	Modelo	TxRx	Potencia	IBW
U900	RRU5909 B8	2T2R	2x60w	35 MHz
L800	BBU5309w B20	2T2R	2x60w	30 MHz
L1800	RRU5905w B3	2T2R	2x80w	75 MHz
L1800	RRU5901w B3	4T4R	4x40w	75 MHz
L2100	RRU5909 B1	2T2R	2x60w	60 MHz

Figura 6.8: Características RRU's

Dichas RRU se han de instalar lo mas cerca posible de las antenas con el fin de tener las menores perdidas posibles en los cables. Lo ideal seria instalar las nuevas RRU's en bandera junto con las antenas, pero tal y como están diseñados los soportes de las antenas en este caso no es posible por lo que se tenderán que instalar junto al resto en la pared de la caseta para el sector 1 y 2 y en la parte interior de la parte superior del casetón. Además se tendrán que hacer las tiradas de cable coaxial que van desde la RRU hasta la antena de fibra óptica que van desde la RRU hasta las tarjetas controladoras.

Las perdidas entre la RRU y la antena se pueden calcular teniendo en cuenta que La longitud de cable de cable coaxial de 1/2" a instalar sera de 10 m entre la antena y la ubicación de la RRU y que se tendrá que poner un conector en cada punta del cable. La atenuación del cable coaxial es de 9.97 dB/100 m y la atenuación de cada conector es de 0.6 dB. Las perdidas del conjunto son de 1.12 dB. Por otro lado, al PIRE (potencia isotópica radiada equivalente) con la que radia la antena la tecnología de LTE1800 se puede calcular haciendo uso de la expresión 6.1.

$$PIRE(dBm) = P_t(dBm) - l_c + G_a(dB) \quad (6.1)$$

donde P_t es la potencia transmitida, l_c son las perdidas globales y G_a es la ganancia de la antena que en este caso es 15.8 dB. Siendo la potencia por portadora 40 W que son 46.02 dBm, la PIRE es de 62.85 dBm por cada portadora.

Por otro lado, Orange Spain hizo especial incapié en evitar tener que enviar técnicos a cada emplazamiento en un futuro cada vez que se necesitase modificar el tilt eléctrico de la antena para ajustar la huella, por ejemplo, por un sobrealcance. Por ello, se instalaron nuevas unidades de control remoto externo (RCU), como las que se ven en la figura x, ya que la propia antena no disponía de un elemento de RET interno.



Figura 6.9: Elemento de control remoto externo

6.4. Caseta equipos telecomunicaciones

En lo referente a los equipos ubicados dentro de la caseta de telecomunicaciones Orange, especifica que se han de sustituir las unidades de alimentación por un nuevo modelo DCDCU 12B para poder dar alimentación en un futuro a los equipos de 5G. Por ello, la primera acción ha realizar seria la de sustituir las dos DCDCU-03B por las nuevas DCDCU-12B.

Lo siguiente es reubicar la BBU que se encuentra en el armario BTS3900 hacia el segundo bastidor que alberga únicamente la DCDCU, de esta forma tendremos la alimentación y las tarjetas controladoras de GSM/UMTS en el mismo bastidor simplificando el cableado y el posterior mantenimiento.

Las nuevas RRU para LTE1800 se alimentaran desde la DCDCU instalada en el primer bastidor. Además, en la BBU que se encuentra en su interior se instalará la tarjeta controladora para dicha tecnología y se tendrá concentrada la alimentación y las tarjetas controladoras para LTE en el mismo bastidor.

La regla de diseño de orange establece que para la instalación de LTE1800 la tarjeta controladora a elegir es la nueva UBBPe4 que se instala en el Slot 0 de la BBU por estar libre. Cuyas características son:

- Celdas: 6
- Configuración antenas máximas: 6x20MHz 4T4R
- Usuarios conectados: 3600
- Thoughtput: 1200Mbps->Dl/ 600Mbps->Ul
- Conexiones Simultaneas BHCA: 432000

Además, de nuevo para poder albergar futuros equipos 5G se debería de sustituir la tarjeta UEUI por una nueva UPEUd por no ser compatible con los equipos Huawei para el despliegue de 5G.

Por otro lado, se deberá de adecuar el pasa-muros con nuevos tacos para F.O y coaxial y reacondicionar el freecoling a la nueva instalación.

6.5. Informe de PTT

Finalmente, para realizar la certificación radioeléctrica de la modificación aplicada sobre el site se tendrá que presentar un informe en formato PDF ante el ministerio visado por un ingeniero de telecomunicaciones autorizado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones, donde tendremos que incluir la información que se ha ido recogiendo y elaborando

a lo largo de este trabajo atendiendo a un formato específico fijado por el propio ministerio y cuya estructura es la siguiente:

6.5.1. Parte A. Datos genéricos

1. Código Estación/ Código Emplazamiento.
2. Visado(Si/No).
3. Operadores y tecnologías preexistentes que comparten el emplazamiento. En el siguiente formato:

OPERADOR	TECNOLOGIA/SERVICIO	BANDA FRECUENCIA

Características de la Antena				
Sistema/Sector	1	2	3	
Tipología de Antena	M-MIMO	M-MIMO	M-MIMO	

Figura 6.10: Formato tabla PPT

4. Plano de Cartografía Oficial de Situación de la Estación.
 - Plano de ubicación y del entorno (radio de 100m) incluyendo edificios colindantes. Cuando aplique según tecnología, indicar con un vector las direcciones de máxima radiación de cada sector de la estación proyectada. Identificación de los puntos sensibles para estaciones tipo ER1 y ER2.
 - Para estaciones ER5 incorporar un plano de acceso

6.5.2. Parte B. Estudio de niveles

1. Planos esquemáticos de los puntos de medida, y espacios sensibles en su caso, en un entorno de 100 m respecto de la estación ².
2. Descripción de la metodología utilizada para el cálculo del volumen de referencia para cada sector en estaciones ER1 y ER3. El volumen de referencia debe garantizar que

²Para todas las estaciones tipo ER1 y ER3 se deberán incluir al menos CINCO puntos de medida, los cuales deben ser identificados y representados sobre un plano que incluya la localización de la estación en un entorno de 100 m. Asimismo, se añadirán en su caso, los puntos sensibles en dicho entorno de 100 m para los que se deben aportar medidas. Según la Orden CTE 23/2002, los puntos de medida deberán ser los que se consideren más desfavorables según las direcciones de máximo nivel de emisión

en el exterior de dicho volumen no se superan los límites de exposición a las emisiones radioeléctricas ³.

3. Planos en planta y alzado, uno para cada sector, con representación donde sea necesario del volumen de referencia para las estaciones tipo ER1 y ER3, así como representación de los edificios cercanos al volumen de referencia identificando donde puede haber permanencia habitual de personas. Se deberá indicar la correspondiente propuesta de señalización en caso de antenas con PIRE >10 W y cuando sea necesario, propuesta de vallado.
4. Declaración Responsable de técnico competente para la firma de proyectos técnicos, respecto de los volúmenes de referencia calculados en el proyecto, según modelo publicado.

6.5.3. Parte C. Reportaje Fotográfico

1. Para todas las estaciones ER1 y ER3 se incluirán fotografías del emplazamiento.
2. En el caso de antenas directivas de estaciones que no tengan la tipología ER5, fotografías en las direcciones de máxima radiación desde la ubicación de la estación en proyecto. Para 5G, en línea directa de vista con la antena (por sector).
3. Fotografías de los puntos de medida e identificación de los puntos sensibles en su caso.

6.5.4. Parte D. Justificaciones y certificados de calibración

1. Descripción de las técnicas utilizadas para la minimización de los niveles de emisión.
2. Certificado de Calibración de los equipos de medida.

6.5.5. Parte E. Otra Información

1. Otra información de interés que se desee aportar (opcional), como por ejemplo las hojas de datos de las antenas.

³Límites de exposición a emisiones radioeléctricas establecidos en el anexo II del Reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas

Capítulo 7

Evaluación de rendimiento del Site

Una vez esta se instala la nueva tecnología es de vital importancia evaluar el rendimiento en términos de porcentaje de usuarios que se pueden conectar a las celdas, porcentaje de llamadas caídas, tráfico en la celda, capacidad y número de conexiones establecidas, así como la distancia media al site de los usuarios que se conectan a cada celda con el fin de evitar que se produzcan sobre alcances o que el tráfico no este balanceado hacia otras celdas del mismo site y se acabe congestionando esas celdas.

Para evaluar estos parámetros haremos uso de la herramienta de adquisición de datos empleada por Orange denominada Bussines Objects, la cual nos permite consultar cualquier tipo de información que Orange recopile de su red, ya sea para equipos de Huawei como Ericsson. Con el fin de evaluar el rendimiento, Orange recopila lo que denominaremos como contadores de red gracias a los equipos de los distintos fabricantes.

En base a estos parámetros, y ya que el emplazamiento usa equipos de Huawei, se pueden realizar diferentes acciones desde para mejorar el rendimiento de forma remota desde la aplicación M200, también propiedad de Huawei. Acciones que pueden ir desde modificar el downtilt eléctrico mediante el elemento RET, hasta variar la potencia de las portadoras según las necesidades.

7.1. Principales KPI's de rendimiento

Definimos como KPI's a una serie de formulas matemáticas construidas a partir de los contadores de red que Orange almacena y nos sirven de indicadores de rendimiento de cada una de las celdas. Así, los principales KPI's de rendimiento son:

- Accesibilidad: Mide la probabilidad que un usuario acceda a la red y solicite servicios en las condiciones operativas dadas.
- Caída: Mide la tasa de caída de las llamadas para los servicios de voz.
- Tráfico: Mide la cantidad de datos en el canal descendente/ascendente de la celda.

- Throughput: Mide el rendimiento promedio del enlace descendente del usuario en Kbit/s.
- Huella: Mide la distancia entre el usuario y el site para poder a ajustar la potencia de transmisión tanto para el enlace descendente como para el ascendente.

7.1.1. Accesibilidad

El KPI de accesibilidad viene dado por la siguiente formula:

$$\%Accessibility = \%ERABEstSuccess \cdot (\%RRCEstSuccess/100) \cdot (\%S1SR/100) \quad (7.1)$$

donde se encuentran involucrados varios KPI's

- %ERAB Est Success mide la tasa de éxito de configuración de canales para el enlace entre el usuario y la celda
- %RRC Est Success que evalúa la tasa de éxito de la configuración del RRC utilizando causas relacionadas con el servicio en una red celular o de radio.
- %S1 SR es la tasa de éxito de las configuraciones de conexiones de señalización a través de la interfaz S1.

7.1.2. Caída

El KPI de caída indica la tasa de caída para las llamadas de voz y se puede calcular en función de la proporción de canales de transmisión liberados de forma anormal respecto de los canales de transmisión liberados anormalmente mas los liberados de forma normal mas lo liberados por la realización de un HandOver.

$$\%Drop = (VoIPERABAbnormalRelease/VoIPERABRelease) \cdot 100\% \quad (7.2)$$

7.1.3. Tráfico

El tráfico se puede medir tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente, además en LTE existen contadores que nos permiten medir el tráfico en la capa PDCP¹ y en la capa MAC². En este caso mostraremos el KPI para el trafico en el enlace descendente para la capa PDCP, que viene dado por:

$$DLPDCPTraffic(Gbytes) = (LThrpBitsDl)/(8 \cdot 1024 \cdot 1024 \cdot 1024) \quad (7.3)$$

¹Packet Data Caonvergence Protocol

²Medium Access Control

7.1.4. Throughput

Al igual que el tráfico el Throughput se puede medir tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, además podemos medir el throughput para cada tipo de servicio. El Throughput para el enlace descendente considerando todos los tipos de servicios viene dado por:

$$\text{Throughput}(Kbit/s) = \text{UserDLLastTTITrafVol} / \text{UserDLLastTTITransTime} \quad (7.4)$$

y se calcula en función del volumen total del tráfico del enlace descendente, excepto por los datos programados en el último TTI antes de que el búfer del enlace descendente esté vacío y la duración de la transmisión de datos del enlace descendente, excepto el último TTI antes del enlace descendente el búfer está vacío.

7.1.5. Huella

Los contadores "L Ra Ta Ue Index[0-11]" indican a la celda la distancia a la que el equipo de usuario se está conectando para que pueda ajustar la potencia de transmisión hacia cada usuario con el fin de no malgastar recursos, por lo general a estos contadores se los denomina como contadores de Timing Advance. Estos contadores nos resultaran especialmente útiles para saber si se está produciendo o no un sobrealcance de alguna tecnología.

7.2. Rendimiento del ENodeB VALY0113L

En esta sección evaluaremos el rendimiento del ENodeB sobre el cual hemos realizado la implantación de la nueva tecnología empleando para ello los KPIS descritos anteriormente, que nos ayudaran a verificar si la nueva tecnología está funcionando acorde con lo diseñado. Una vez realizado este análisis se está preparado para realizar el cambio de alguno de los parámetros de ajuste de la celda en cuestión con el fin de mejorar el rendimiento global.

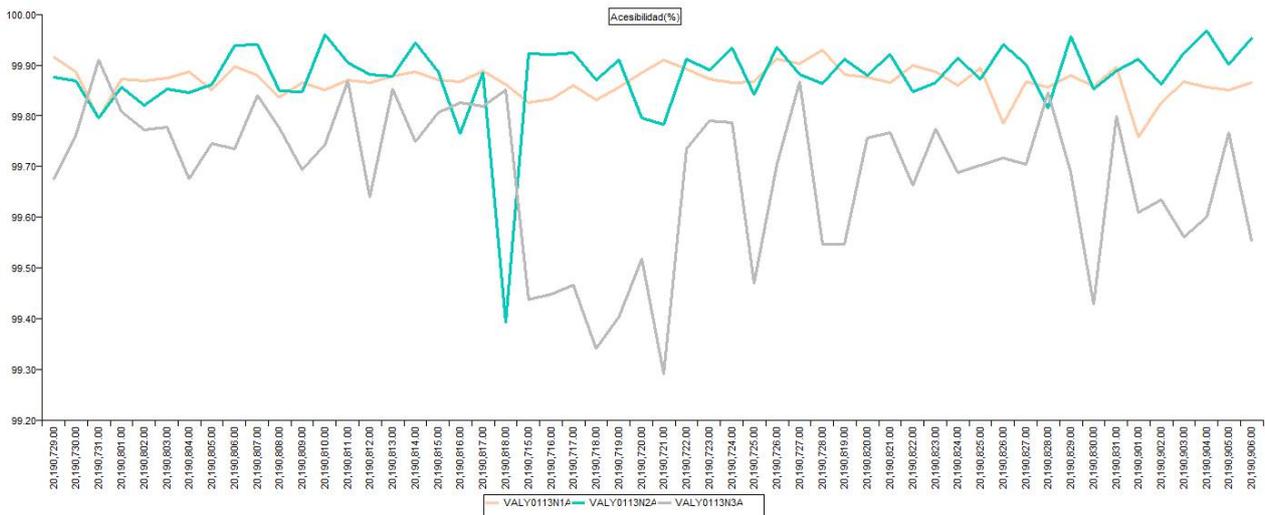


Figura 7.1: Perfil accesibilidad

En cuanto al perfil de accesibilidad representado en la gráfica de la FIGURA 7.1 podemos observar que para los 3 sectores se supera el 99% lo que significa una tasa de bloqueo muy baja, es decir, casi todos los usuarios que intentan conectarse finalmente lo hacen, sin embargo observamos que para el sector 1 y 2 el porcentaje de accesibilidad se encuentra mucho más próximo al 100% que para el sector 3 y eso es debido, como veremos más tarde, a que el sector 3 apunta hacia un parque con lo cual la señal llega mucho más lejos y los usuarios se conectan en media más lejos que en los otros dos sectores haciendo que usuarios que se encuentren al borde de cobertura traten de conectarse pero por la lejanía a la celda finalmente no consigan hacerlo.

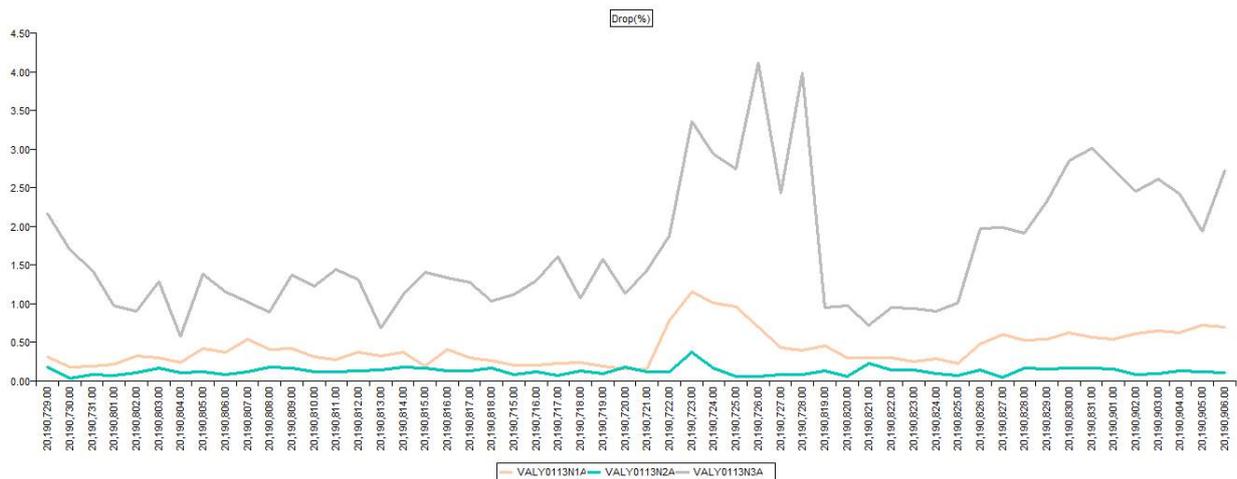


Figura 7.2: Porcentaje de llamadas caídas

Para el KPI de caídas, representado en la gráfica de la FIGURA 7.2, se observa un comportamiento radicalmente contrario a lo que veíamos en el perfil de accesibilidad como era de esperar. Para los sectores 1 y 2 % de caída de llamadas es muy bajo, en torno al 0.2%, mientras que el sector 3 se alcanza el 1.40%, aun así no llega a ser alarmante.

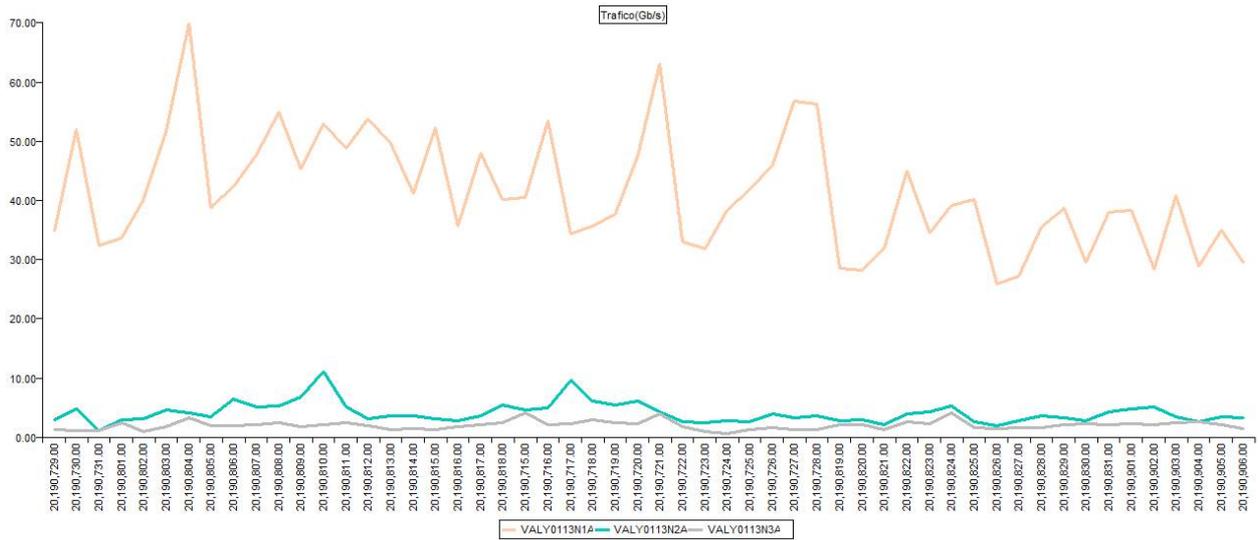


Figura 7.3: Trafico(Gbytes)

En lo respectivo al tráfico, lo mas destacable es la cantidad de trafico que cursa el sector 1 respecto al resto de sectores , indicativo de que los sectores no están completamente balanceados en trafico.

En cuanto al throughput, representado en la gráfica de la FIGURA 7.5, podemos observar que los niveles son realmente buenos incluso para el sector 1 donde el tráfico es mas alto, dónde los picos pronunciados hacia abajo corresponden con los picos ascendentes en el tráfico, ya que al tratarse de una zona de playa en meses de verano aumenta el tráfico los fines de semana.

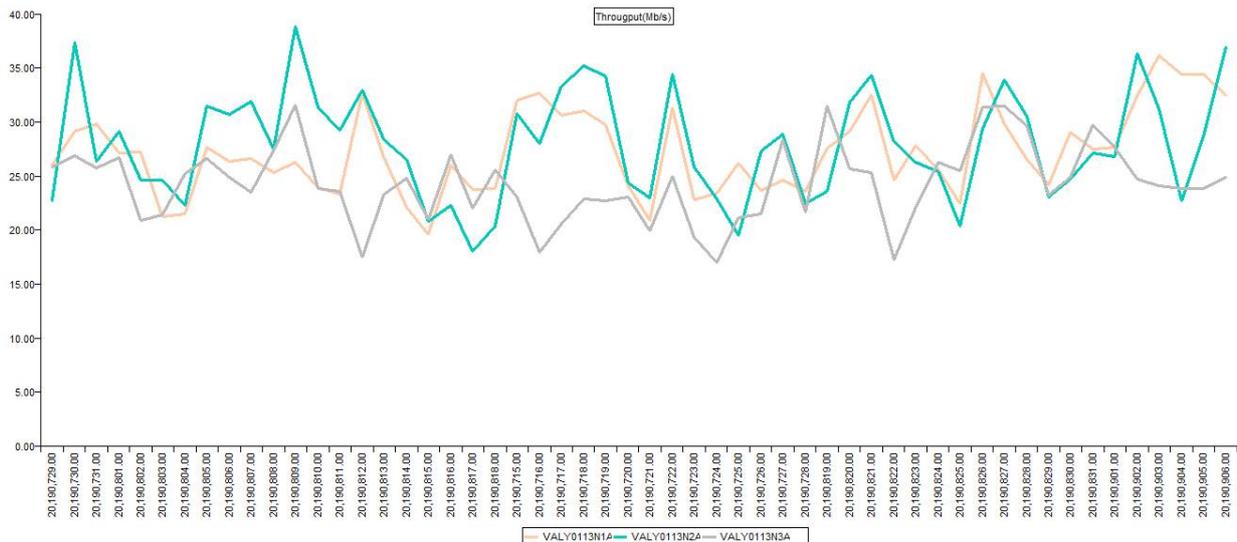


Figura 7.4: Throughput (Kbits/s)

Por ultimo, en cuanto al KPI que nos define la huella que cubre cada celda los valores obtenidos en un día son los que se muestran en la gráfica de la FIGURA 7.5

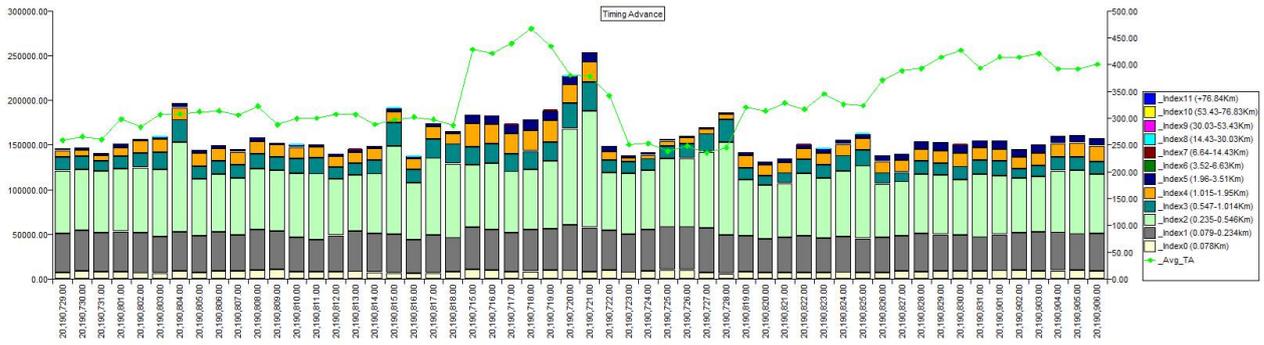


Figura 7.5: Valores de Timing Advance

Capítulo 8

Conclusiones y líneas futuras

8.1. Conclusiones

A lo largo de este TFG hemos explicado los tipos de radiaciones electromagnéticas y sus efectos sobre la salud, la legislación vigente en España que regula la instalación y certificación de instalaciones radioeléctricas para telefonía móvil, los pasos y decisiones que se han de tener en cuenta a la hora de presentar la solución óptima para la instalación de la tecnología LTE1800 en un emplazamiento real como es el VALY0113L y los principales indicadores de rendimiento.

En primera instancia se han explicado las diferentes emisiones electromagnéticas y se han presentado estudios acerca de las radiaciones radioeléctricas no ionizantes emitidas por las estaciones de telefonía móvil donde se demuestra que no existe relación alguna entre cualquier tipo de mecanismo biológico y la exposición a dichas emisiones mas allá de la hipersensibilidad electromagnética que en el peor de los casos provocaría dolores de cabeza.

Posteriormente se han mostrado las normativas a nivel nacional en materia de regulación de emisiones radioeléctricas y certificación de estaciones base, donde se han mostrado los rigurosos procesos y estrictas medidas de emisiones que se han de realizar para la certificación de la instalación de una estación base con el fin de velar por la salud y seguridad del ciudadano. Además, durante la realización de las medidas de campo se ha aprendido el manejo de los equipos de medida y el equipamiento necesario para ello.

Seguidamente, se ha realizado el replanteo de la estación base. En esta fase se ha podido ver en primera persona un emplazamiento de telecomunicaciones, desde el sistema radiante hasta los equipos y tarjetas controladoras para cada tecnología situados en la caseta de equipos. Se han podido ver y trabajar con los equipos que forman parte de la red de telecomunicaciones, estudiando los diferentes tipos para optimizar el resultado final, añadiendo un punto mas a la formación académica impartida en la escuela.

Finalmente, se han presentado y explicado los principales indicadores de rendimiento que se han de analizar para optimizar una celda. En este caso se ha visto que se han de analizar los Kpis de trafico, caídas, accesibilidad, throughput y timing advance donde se ha

podido aprender las principales herramientas que emplea Orange para monitorizar las celdas tanto de su propiedad como en compartición con Vodafone. Además, también se ha podido trabajar con la herramienta de gestión de los equipos de Huawei.

8.2. Líneas futuras

En este TFG se fija el punto de partida en el análisis de los kpis antes mencionados para un futuro estudio detallado del rendimiento del site para su optimización. Vemos una diferencia notable en el tráfico cursado por los sectores 2 y 3 respecto del sector 1, además de que se observa un des-balanceo entre el tráfico entre las celdas co-sector, donde idealmente se busca que los tres sectores y celdas co-sector cursen tráfico similares.

Por ello, en un estudio futuro se ha de realizar un estudio de ajuste de huella con el fin de balancear tráfico y así poder aumentar el throughput medio a nivel de usuario. Los valores de Timing Advance de la tecnología LTE1800 no son excesivamente altos con lo que un primer paso sería el estudio de la posibilidad de aplicar un up tilt de LTE1800 dejando el tráfico cercano a LTE2600.

Bibliografía

- Guía de radiaciones ionizantes y no ionizantes* (2006). Secretaria de salud laboral.
- Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields* (1998). INRC.
- IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency radiation* (2006). IEEE.
- ITu-T K.52, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos* (2018). ITu-T.
- Knave, Bengt (s.f.). “Radiaciones no Ionizantes”. En: cap. 49.
- Ley 32/2003, de 3 de Noviembre General de Telecomunicaciones* (2003). Jefatura del Estado.
- Martínez, Félix Pérez, Juan E. Page de la Vega y José Ignacio Alonso Montes (2001). *Informe sobre las Emisiones Electromagnéticas de los Sistemas de Telefonía Móvil y Acceso Fijo Inalámbrico*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones.
- Normas Básicas para la realización de proyectos técnicos de estaciones de radiodifusión* (2012). Secretaria del Estado de Telecomunicaciones para la Sociedad de la Información.
- Orden Ministerial CTE 23/2002, de 12 de Enero General de Telecomunicaciones* (2002). Jefatura del Estado.
- Ordóñez, Javier Luque (2003). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. ACTA.
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de Septiembre Reglamento sobre condiciones de uso, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de proyección sanitaria* (2001). Jefatura del Estado.
- Real Decreto 123/2017, de 24 de Febrero Reglamento sobre el uso del dominio publico radioeléctrico* (2017). Jefatura del Estado.
- Tobías, Irene Isabel Fernández, Noelia Miranda Santos y Mariano Molina García (2008). *Emisiones radioeléctricas: normativa, técnicas de medida y protocolo de certificación*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones.
- Vazquez, J.M. (2010). *Introducción a la Gestión del Espectro Radioeléctrico*.