

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

**Evaluación de Niveles de Emisiones Radioeléctricas
Asociados a las Antenas de Telefonía Móvil, FM y TDT
con Múltiples Fuentes de Emisión en Entornos con Baja
Densidad de Población. Municipio de Murcia.**



AUTOR: Tomás Nicolás Pérez
DIRECTOR: Antonio Manuel Martínez González

Septiembre / 2012



Autor	Tomás Nicolás Pérez
E-mail del Autor	TomasNicolasP@gmail.com
Director	Antonio Manuel Martínez González
E-mail del Director	toni.martinez@upct.es
Título del PFC	Evaluación de niveles de emisiones radioeléctricas asociados a las antenas de telefonía móvil, FM y TDT con múltiples fuentes de emisión en entornos con baja densidad de población. Municipio de Murcia.
Descriptor	Creación de mapas en 3D del Municipio de Murcia, simulación y medida de emisiones radioeléctricas en entornos rurales, comparación de los distintos modelos de propagación empleados.
Resumen	<p>En este proyecto se han realizado los trabajos necesarios para la creación del mapa radioeléctrico en 3D del municipio de Murcia. Para llevarlo a cabo, se ha diseñado una base de datos con los edificios del municipio junto con la topografía del mismo.</p> <p>Se ha recabado toda la información necesaria sobre las estaciones radioeléctricas instaladas en el municipio (ubicación y características de emisión) y se ha medido en los puntos de máxima radiación, las emisiones radioeléctricas producidas por una estación ubicada en una zona semiurbana o rural.</p> <p>Posteriormente se ha simulado utilizando las técnicas más avanzadas en cuanto a modelos de propagación de campos se refiere, el entorno de la estación para posteriormente comparar los resultados obtenidos con las medidas realizadas ‘in situ’.</p> <p>Finalmente se determinará qué modelo de propagación produce unos resultados mas afines a las medidas obtenidas y dicho modelo se empleará para simulación del resto de estaciones que se encuentren en zonas semiurbanas o rurales, es decir, en entornos con baja densidad de población dentro del municipio.</p>
Titulación	Ingeniería de Telecomunicación
Intensificación	Sistemas y Redes de Telecomunicación
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Fecha de Presentación	Septiembre - 2012

Agradecimientos:

Hasta la culminación de este proyecto, el ciclo universitario ha ocupado gran parte de mi vida. Un ciclo largo en el que hubo momentos de gran esfuerzo y otros de gran disfrute. Momentos de superación personal, que dieron lugar al planteamiento de nuevas metas y que siempre me han enriquecido y formado como persona.

Me gustaría agradecer en primer lugar a Antonio Manuel Martínez González (mi director de proyecto) y a Álvaro Belda Sanchiz (mi tutor de prácticas en empresa) por toda la ayuda que me han ofrecido durante la realización de este proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional durante todos estos años, en especial a mis padres, que siempre han estado a mi lado sobre todo en los momentos difíciles, dándome todo el apoyo moral que estaba en su mano.

A todos los profesores que durante la carrera he conocido y me han dado la oportunidad de aprender de ellos.

A mis compañeros de universidad, personas maravillosas que la realización de esta carrera me ha permitido conocer y a las que tengo mucho aprecio.

A mis amigos de toda la vida, que nunca me han dado la espalda y siempre han comprendido los momentos de dificultad y esfuerzo.

A todos ellos, muchas gracias.

Índice de Contenidos:

1. Introducción	9
1.1 Planteamiento Inicial del Proyecto	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Fases del Proyecto	11
2. Emisiones Radioeléctricas y Normativa	13
2.1 Introducción	13
2.2 Tipos de Emisiones Radioeléctricas	13
2.3 Seguridad de las Emisiones Radioeléctricas	14
2.3.1 Límites de Exposición	15
2.4 Normativa Vigente	16
2.4.1 Real Decreto 1066/2001	17
➤ Restricciones básicas y niveles de referencia	17
➤ Exposición a fuentes con múltiples frecuencias	18
2.4.2 Orden CTE/23/2002	19
➤ Tipología de las estaciones radioeléctricas	19
➤ Autorización de estaciones radioeléctricas y certificación anual	19
➤ Procedimiento para la realización de medidas de niveles de emisión	20
2.4.3 Directiva 2004/40/CE	23
3. Análisis Previo a la Certificación de la Estación Base	25
3.1 Material Necesario para la Realización de Medidas Radioeléctricas	25
3.1.1 Medidas de Banda Ancha (Fase 1)	25
3.1.2 Medidas de Banda Estrecha (Fases 2 y 3)	27
3.2 Medidas para Obtener Niveles Correctos de Decisión	27
3.2.1 Niveles de Decisión	28
3.2.2 Consideraciones Prácticas	29
3.2.3 Criterios en los Niveles de Decisión	30
3.3 Volúmenes de Protección	32
3.3.1 Cálculo de Volúmenes de Referencia	32
4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base	36
4.1 Características Técnicas de la Estación	36
4.1.1 Datos del Emplazamiento	36
4.1.2 Características Radioeléctricas de la Estación	36
4.2 Descripción de los Instrumentos de Medida Utilizados	38
4.3 Calibración de los Instrumentos de Medida	40
4.4 Localización de los Puntos de Medida y Medidas Realizadas	42
4.4.1 Puntos de Medida con Visión Directa	43
4.4.2 Puntos de Medida con Visión Indirecta	44
4.5 Resultados Obtenidos	44
4.6 Conclusiones	46

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno	54
5.1 Introducción	54
5.2 Software Utilizado para la Simulación	54
5.2.1 <i>AutoCAD 2008</i>	54
5.2.2 <i>WinProp de "AWE Communications"</i>	55
5.3 Desarrollo de las Bases de Datos Necesarias para Simulación	56
5.3.1 <i>Base de Datos de los Edificios</i>	56
5.3.2 <i>Capa Topográfica</i>	58
5.3.3 <i>Ubicación de las Antenas y Elaboración de Casetas sobre Edificios</i>	61
5.3.4 <i>Vista Final de las Bases de Datos</i>	63
5.4 Métodos de Simulación Empleados	65
5.4.1 <i>Método COST 231 Walfisch-Ikegami Model</i>	65
5.4.2 <i>Método Urban Dominant Path Prediction Model (DPM)</i>	66
5.4.3 <i>Método 3D Urban Intelligent Ray Tracing (IRT)</i>	66
5.5 Simulaciones Realizadas con los Diferentes Métodos	68
5.5.1 <i>Simulaciones Realizadas Mediante COST 231</i>	71
5.5.2 <i>Simulaciones Realizadas Mediante DPM</i>	72
5.5.3 <i>Simulaciones Realizadas Mediante IRT</i>	73
5.6 Evaluación de los Diferentes Métodos Empleados	77
6. Conclusiones	80
6.1 Comentarios sobre los Resultados Obtenidos	82
7. Anexos	85
Anexo 1: Comisiones y Comités científicos	85
Anexo 2: Organismos de Normalización	86
Anexo 3: Normativa Técnica	87
Anexo 4: Tablas donde se recogen los valores de los distintos niveles de referencia dados por distintas organizaciones en función de la frecuencia del campo al que se está expuesto	89
Anexo 5: Informes de medidas según modelos facilitados en el anexo IV de la Orden CTE/23/2002	94
Anexo 6: Índice de Figuras	96
Anexo 7: Índice de Tablas	97
Referencias	99

1. Introducción

1.1 Planteamiento Inicial del Proyecto

El enorme crecimiento del número de instalaciones radioeléctricas experimentado en los últimos años, unido a las restricciones impuestas por la normativa nacional (RD 1066/2001) sobre los niveles permitidos en los espacios públicos, junto con la creciente preocupación de la ciudadanía sobre los posibles efectos en la salud que de la exposición a estos campos pudiera derivarse, ha hecho que cada vez más, sea necesario el uso de herramientas de predicción de la propagación para verificar el cumplimiento de la normativa.

En la actualidad las comunicaciones móviles se han hecho necesarias para la vida cotidiana. Es por ello que, para que se cumplan las condiciones adecuadas de comunicación, se hace necesario que exista una gran infraestructura, en la que se distribuyan por todo el territorio numerosas antenas de comunicación para cumplir los requisitos que impone el usuario.

Por consiguiente, pueden observarse numerosas instalaciones de telefonía móvil de diferentes operadores, para ofrecer cobertura con la mejor calidad posible y accediendo a la mayor parte del territorio. A pesar de que el usuario solicita tener cobertura en todo el territorio y de calidad, no le gusta disponer de una estación base cerca de su domicilio, ya que debido a su falta de conocimiento, piensa que puede ser dañino para su salud.

Es por ello que se pretende realizar la certificación de una estación base ya existente en entorno semiurbano o rural, para medir los niveles de emisión electromagnética que se recibe en diversos puntos del entorno a la antena, ya sean zonas sensibles o no. También se pretende simular la misma estación base con un potente software, utilizando los distintos métodos de propagación disponibles y comparar los resultados obtenidos en dicha simulación, con los medidos en la certificación.

En definitiva los trabajos realizados en este proyecto se enfocan a la creación de una aplicación pública con la que cualquier ciudadano pueda comprobar los niveles de radiación electromagnética que percibe en la zona donde reside y le permita conocer qué estaciones se encuentran a su alrededor, dentro del municipio de Murcia.

1.2 Objetivos

Los principales objetivos de este proyecto se enumeran a continuación:

➤ *Estudio de niveles de emisión electromagnética de una estación base.*

Para determinar los niveles de emisión electromagnética con la que emite una estación base, se han de realizar mediciones en las proximidades de dicha estación, para obtener los niveles que se perciben en cada una de las zonas, tanto de emisiones de FM, TDT como de telefonía móvil. Con las medidas obtenidas se procederá como si de una certificación de la estación base se tratase, para comprobar que los niveles de emisión se encuentran dentro de los límites establecidos por el Real Decreto 1066/2001 sobre los niveles permitidos en los espacios públicos.

➤ *Conocer los instrumentos de medida necesarios para realizar una certificación.*

Para realizar la certificación de una estación base se utilizan una serie de instrumentos específicos para tomar las medidas, en función de la fase de medidas en la que se esté trabajando. Es por ello que se pretende conocer el funcionamiento de los mismos así como los diferentes tipos existentes.

➤ *Simulación del entorno de la estación base mediante software.*

Se pretende conocer el funcionamiento de un potente software de simulación de emisiones radioeléctricas en entornos tridimensionales. Dicho software se denomina WinProp de la empresa “AWE Communications”. Para llevar a cabo esta tarea, se diseñará tridimensionalmente el entorno de la estación bajo estudio y conociendo los parámetros de emisión de dicha estación, se simulará, usando los distintos modelos de propagación disponibles en el software, los niveles de emisión en torno a la estación base. Una vez realizadas las simulaciones con cada uno de los métodos de propagación, se determinará cual es el método más apropiado a emplear en este tipo de entornos con baja densidad de población.

➤ *Sentar las bases para el correcto desarrollo de la aplicación de consulta.*

Una vez realizados todos los estudios y determinado el mejor método de propagación a utilizar en la simulación del entorno rural, se pasará a desarrollar una aplicación accesible para el ciudadano desde una página Web que permita comprobar los niveles de emisión electromagnética que provocan cada una de las estaciones base existentes dentro del municipio de Murcia.

1.3 Fases del Proyecto

El desarrollo de este proyecto consta de las siguientes fases:

1. Desarrollo de bases de datos (topográfica y edificios) que existen actualmente en el municipio de Murcia para que proporcionen, a la hora de simular, resultados lo más reales posibles. Para el desarrollo de estas bases de datos se ha tomado información proporcionada por el Ayuntamiento de Murcia y se han actualizado mediante el software de AutoCAD empleando imágenes aéreas del año 2009.
2. Localización y posicionamiento de todas las estaciones base sobre Google Earth, para conocer sus posiciones exactas en la base de datos de edificios creada. Se ha perfeccionado el diseño de los edificios en torno a las estaciones base para obtener posteriormente resultados más fiables en la simulación. También permiten al ciudadano localizarlas con facilidad comprobando dichas posiciones y su estado (si siguen en funcionamiento o están fuera de servicio) todo ello obtenido a partir de las certificaciones de las estaciones base facilitadas por los diferentes operadores.
3. Búsqueda y análisis de los diagramas de radiación de las diferentes antenas instaladas por los operadores en sus estaciones base, necesarias para simularlas mediante el software comentado anteriormente.
4. Toma de medidas “in situ” en la estación base a particularizar en el estudio. Desplazándose a la localización en la que se encuentra instalada la estación base con todo el equipo y material necesario para realizar las medidas necesarias.
5. Simulación de la estación base mediante el software ya comentado, WinProp. Utilizando las bases de datos obtenidas y procesadas en fases anteriores.
6. Comparación de los resultados obtenidos, comprobando cuál ha sido el mejor método de propagación en las condiciones bajo estudio, lo cual vendrá determinado al ser cotejados estos resultados con los obtenidos de manera in situ en la fase 4.
7. Reflexión sobre los resultados y obtención de conclusiones.

2. Emisiones Radioeléctricas y Normativa

2.1 Introducción

En la actualidad, una gran cantidad de dispositivos de uso cotidiano emplean la energía electromagnética como medio de comunicación, generándose una gran cantidad de emisiones radioeléctricas. Es el caso de los sistemas de telefonía móvil, que emplean las ondas electromagnéticas para transmitir datos sin necesidad de un soporte físico. Los campos electromagnéticos han existido siempre y llegan hasta las personas de formas diferentes. Sin embargo, el extraordinario crecimiento de la telefonía móvil ha encendido una alarma social entre la población, sobre los posibles efectos de estos campos electromagnéticos sobre la salud de las personas.

La liberalización del sector de las telecomunicaciones ha permitido la aparición de nuevos operadores que requieren la existencia de una red de estaciones base para hacer llegar sus servicios a los usuarios. La existencia de un número creciente de estas estaciones base da lugar a una legítima demanda de información por parte de los ciudadanos en cuanto a los posibles efectos de las emisiones radioeléctricas sobre la salud de las personas y las condiciones de funcionamiento que deben respetarse para evitar cualquier riesgo.

2.2 Tipos de Emisiones Radioeléctricas

Por emisión electromagnética se entiende el proceso de transmisión de energía electromagnética en forma de onda desde una fuente o transmisor. Las ondas electromagnéticas son variaciones de los campos eléctrico y magnético que se propagan por el aire atenuándose con la distancia. De hecho, la atenuación que experimentan las ondas electromagnéticas al propagarse por el espacio es tan elevada que a unos pocos metros de las antenas los niveles de emisión de las mismas son muy pequeños.

Las ondas electromagnéticas se diferencian principalmente por la energía que transporta la señal y en la frecuencia a la que ésta oscila, debiendo distinguir entre emisiones ionizantes y no-ionizantes:

- **Emisiones ionizantes:** Son aquellas con energía suficiente para producir la ionización de la materia, es decir, para arrancar un electrón de un átomo o molécula. Un ejemplo de éstas son los rayos ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma (producidos por un elemento radiactivo). Se localizan en la parte alta del espectro radioeléctrico. La exposición a este tipo de emisiones puede producir importantes daños en la salud.

- **Emisiones no ionizantes:** Son aquellas que no sobrepasan el umbral de energía necesaria para ionizar la materia y, por tanto, no afectan a la estructura de las moléculas. A este tipo pertenecen las emisiones producidas por las antenas de telefonía móvil y, en general, las utilizadas por los sistemas de radiocomunicación.

Algunos fenómenos electromagnéticos se pueden describir si la energía no se asocia a las ondas sino a partículas elementales (fotones). Los fotones asociados a ondas de frecuencias bajas tienen menos energía que los asociados a frecuencias mayores.

La ionización es un proceso mediante el cual los electrones son desplazados de los átomos y moléculas. Este proceso puede generar cambios moleculares capaces de dar lugar a lesiones en los tejidos biológicos incluyendo efectos en el material genético. Para que este proceso tenga lugar es necesaria la interacción con fotones de muy elevada energía

2. Emisiones Radioeléctricas y Normativa

como los rayos X y los rayos gamma. Sin embargo, la energía asociada a los fotones de frecuencias más bajas no es suficiente como para causar ionización de los átomos y moléculas.

Para que la ionización se produzca se requiere una frecuencia superior a 10^{16} Hz. Los sistemas de telecomunicaciones no generan emisiones ionizantes.

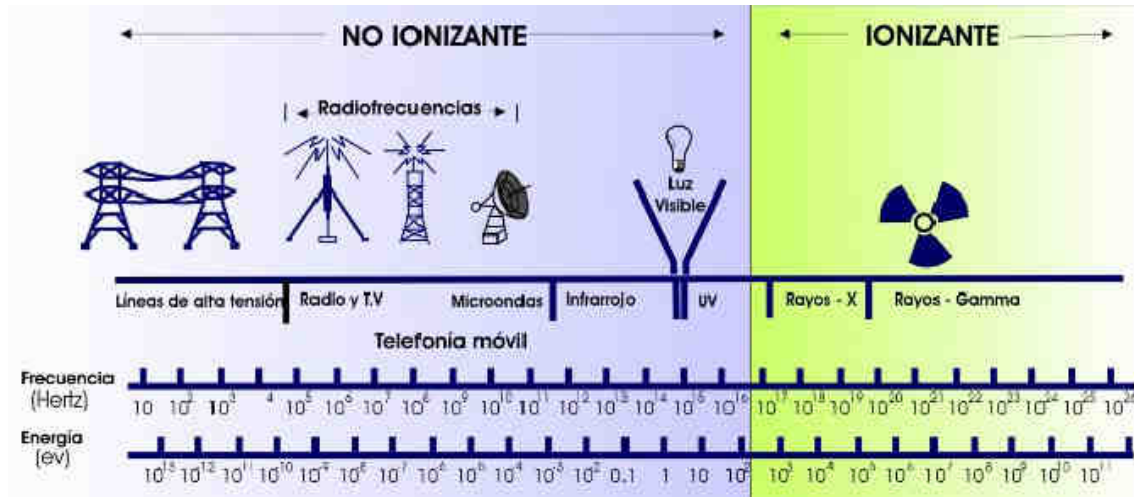


Figura 1: Espectro electromagnético indicando las distintas bandas de frecuencia y usos.

Las frecuencias utilizadas por la telefonía móvil se incluyen entre las llamadas microondas, abarcando entre los 900 y 2100 Mhz. La telefonía móvil en España emplea las siguientes bandas de frecuencias:

- GSM (*Global System for Mobile*): emplea tecnología digital y trabaja a la frecuencia de 900Mhz.
- DCS (*European Digital Communications System*): semejante a GSM pero opera a la frecuencia de 1800Mhz
- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*): opera en la banda de los 2100Mhz y pertenece a la tercera generación de comunicaciones móviles.

En los sistemas de comunicaciones móviles, las estaciones base emiten con la mínima potencia necesaria para evitar interferencias entre las distintas antenas y optimizar el consumo energético. Además el teléfono y la antena solo transmiten cuando hay conversación, suspendiéndose la comunicación en los periodos de silencio, con el objetivo de prolongar el tiempo de vida de las baterías de los terminales y optimizar recursos.

2.3 Seguridad de las Emisiones Radioeléctricas

Los efectos producidos por la exposición a las emisiones electromagnéticas han sido objeto de numerosos estudios durante los últimos años. Estos trabajos han sido realizados por las Administraciones Públicas, Organismos Internacionales Independientes y los propios Operadores y Fabricantes de equipos. Fruto de estos esfuerzos existen varias normativas, de carácter general y/o específico, que pueden ser utilizadas para que las autoridades competentes establezcan reglamentos de obligado cumplimiento para los operadores de los diversos servicios.

Las normativas actuales se basan, principalmente, en los estudios realizados con niveles altos de emisiones electromagnéticas, considerando únicamente los efectos

térmicos. Estos efectos pueden producirse a determinadas frecuencias, niveles de emisión y modulaciones.

El parámetro comúnmente más utilizado para medir los efectos térmicos producidos es la Tasa de Absorción Específica (TAE o SAR, por sus siglas en inglés, *Specific energy Absortion Rate*), que se define como la potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal.

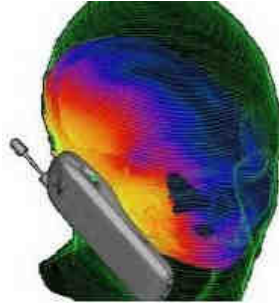


Figura 2: Tasa de absorción específica (SAR) efectos térmicos.

Para la valoración de los posibles efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud, los distintos comités científicos, formados por expertos reconocidos de distintas áreas y especialidades (ingeniería, medicina, física, etc.) han tenido en cuenta el conjunto de las más de 3000 investigaciones publicadas. A modo de resumen se puede decir que, en general, los efectos comprobados bajo exposición a campos electromagnéticos usados por las telecomunicaciones, están relacionados con la capacidad que tienen estas ondas de inducir corrientes eléctricas en los tejidos expuestos, lo que se traduce en una elevación de la temperatura interna del cuerpo. Si el incremento de la temperatura corporal no es severo, mayor a 1° C, la sangre circulante es capaz de disipar el exceso moderado del calor. Los efectos de la telefonía móvil son los mismos que los de cualquier fuente de calor, por ejemplo el sol o la calefacción.

Por lo tanto, en este momento, los estudios epidemiológicos existentes no aportan evidencias científicas de que existan riesgos para la salud provocados por radiofrecuencias y microondas, por lo que el cumplimiento de las restricciones básicas y los niveles de referencia establecidos en la normativa vigente se consideran suficientes para garantizar la protección sanitaria de los ciudadanos.

A partir de la relación entre la SAR y el nivel de densidad de potencia del campo electromagnético, las normativas fijan los límites de exposición a las emisiones radioeléctricas, utilizando unos factores de seguridad muy elevados sobre los niveles para los que aparecen los efectos biológicos señalados.

(Ver Anexo 1: Comisiones y Comités científicos)

(Ver Anexo 2: Organismos de Normalización)

(Ver Anexo 3: Normativa Técnica)

2.3.1 Límites de Exposición.

Los estándares que especifican límites para la exposición a los campos electromagnéticos han sido desarrollados por grupos de expertos que han evaluado y valorado numerosos estudios científicos sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos, identificando los niveles de exposición para los que se pueden observar estos efectos en las personas. Todas las recomendaciones incorporan un factor de

seguridad sobre estos valores para establecer los límites para la exposición a campos electromagnéticos con objeto de tener un margen de seguridad alto sobre los distintos aspectos que pueden influir, como las condiciones ambientales, la posible mayor sensibilidad térmica de ciertos grupos de población como ancianos, niños y enfermos, diferencias en la absorción de energía electromagnética por individuos de distintas tallas, etc.

La mayoría de los trabajos especifican dos tipos de límites, según el carácter de la exposición:

- **Exposición controlada u ocupacional:** los sujetos son conscientes de la exposición, pueden ejercer control sobre la misma y tomar las precauciones de seguridad necesarias.
- **Exposición no controlada:** es la exposición del **público en general**, que no es consciente de su exposición a campos electromagnéticos y no puede ejercer control sobre la misma.

Los factores de seguridad suelen ser de 10 veces para la exposición ocupacional y de 50 veces para la exposición del público en general. Asimismo, en las recomendaciones se definen dos tipos de restricciones:

- **Restricciones básicas:** son los niveles de exposición a los campos electromagnéticos para los que se pueden observar efectos térmicos en las personas. Se expresan en términos de la densidad de corriente en la cabeza y el tronco, y de la SAR media en todo el cuerpo y la SAR localizada (extremidades).
- **Niveles de referencia:** son los niveles, en términos de la intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia, utilizados para realizar las medidas experimentales y verificar que se cumplen las restricciones básicas.

El cumplimiento de los niveles de referencia asegura el cumplimiento de las restricciones básicas, pero lo contrario no es cierto: la superación de dichos niveles no implica que no se cumplan las restricciones básicas.

(Ver Anexo 4: Tablas donde se recogen los valores de los niveles de referencia dados por distintas organizaciones en función de la frecuencia del campo al que se está expuesto.) [1]

2.4 Normativa Vigente

A nivel nacional, la normativa en materia de emisiones radioeléctricas está contenida en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a las mismas. La Orden CTE/23/2002, de 11 de Enero por la que se establecen condiciones de presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones, como desarrollo de lo establecido en la Ley 23/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.

Asimismo, algunas Comunidades Autónomas y diversos Ayuntamientos han desarrollado normativas que complementan las disposiciones contenidas en la legislación estatal.

2.4.1 Real Decreto 1066/2001

El Real Decreto 1066/2001, de 28 de Septiembre ^[2], desarrolla el articulado de la Ley 11/1998, de 24 de Abril, General de Telecomunicaciones (posteriormente sustituida por la Ley 23/2003), regulando el despliegue de las instalaciones radioeléctricas y estableciendo unos criterios de protección de la salud pública.

A continuación, un breve resumen del contenido del Real Decreto 1066/2001:

- Capítulo 1: Presenta el objeto del Reglamento así como su ámbito de aplicación.
- Capítulo 2: Establece las limitaciones y servidumbres a la propiedad para la protección de instalaciones radioeléctricas de dominio público.
- Capítulo 3: Marca los límites de exposición para la protección sanitaria y evaluación de riesgos por emisiones radioeléctricas.
- Capítulo 4: Detalla los procedimientos de autorización e inspección de instalaciones radioeléctricas en relación con los límites de exposición.
- Capítulo 5: Se presentan otras disposiciones, tales como restricciones adicionales a los niveles de emisión, condiciones a los equipos y aparatos que forman las redes de comunicación y donde e establece el régimen sancionador.
- Anexo I: Se establecen las limitaciones y servidumbres de protección de determinadas instalaciones radioeléctricas.
- Anexo II: Se detallan los siguientes puntos:
 - Magnitudes físicas que se emplean en el contexto de las emisiones radioeléctrica
 - Restricciones básicas y niveles de referencia

Restricciones Básicas: Son restricciones a la exposición de los campos electromagnéticos basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas. Se utilizan en forma de tasa de absorción específica de energía SAR (W/Kg) y densidad de potencia S (W/m²). A efectos prácticos los valores definidos en las restricciones básicas no pueden ser comparados directamente con los resultados de las medidas realizadas en las estaciones por lo que se definen los niveles de referencia obtenidos a partir de las restricciones básicas.

Niveles de referencia: Sirven para ser comparados con los valores de las magnitudes medidas. Si se cumplen los niveles de referencia, se asegura la satisfacción de las restricciones básicas. Si por el contrario el valor medido sobrepasa el nivel de referencia, debe efectuarse una evaluación detallada para ver si los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas.

Público en general			
Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0-1Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	-
1-8Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	-
8-25Hz	10000	$4000/f$	-
0,025-0,8kHz	$250/f$	$4/f$	-
0,8-3kHz	$250/f$	5	-
3-150kHz	87	5	-
0,15-1MHz	87	$0,73/f$	-
1-10MHz	$87/f^{0,5}$	$0,73/f$	-
10-400MHz	28	0,073	2
400-2000MHz	$1,375 \cdot f^{0,5}$	$0,0037 \cdot f^{0,5}$	$f/200$
2-300GHz	61	0,16	10

Tabla 1: Niveles de referencia según RD 1066/2001, exposición público general. (f viene expresado en la misma unidad que la columna del margen de frecuencias).

La exposición ocupacional no está contemplada en el RD 1066/2001, sin embargo se adoptan las recomendaciones del ICNIRP [16] sobre exposición laboral a campos electromagnéticos. Para terminales móviles (exposición muy localizada) debe verificarse directamente si se cumple la restricción básica apropiada.

➤ Exposición a fuentes con múltiples frecuencias.

En el caso de exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias, para el cumplimiento de las restricciones básicas deben considerarse los siguientes criterios relativos a los niveles de referencia. En relación con los efectos térmicos (a partir de 100Khz) se deben aplicar las siguientes exigencias a los niveles de campo:

$$\sum_{i=100Khz}^{1Mhz} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1Mhz}^{300Ghz} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=100Khz}^{150Khz} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>150Khz}^{300Ghz} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1 \quad (2)$$

donde:

E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i.

$E_{L,i}$ es el nivel de referencia de campo eléctrico.

H_j es la densidad de campo magnético a la frecuencia j.

$H_{L,j}$ es el nivel de referencia de campo magnético.

$c=87/f^{1/2}$ (V/m) y $d=0.73/f$ (A/m), donde f está expresada en Mhz.

2.4.2 Orden CTE/23/2002

La Orden Ministerial CTE/23/2002, de 11 de Enero ^[3], desarrolla el Real Decreto 1066/2001, regulando las condiciones, contenido y formatos de los estudios y certificaciones a presentar por los operadores de servicios de radiocomunicaciones. Los puntos más significativos de la presente Orden se resumen a continuación:

➤ Tipología de las estaciones radioeléctricas.

Según la potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) y de la ubicación de las estaciones radioeléctricas se distinguen 5 tipos:

- **ER1:** Estaciones en suelo urbano con PIRE > 10 W. Macro Urbana.
- **ER2:** Estaciones en suelo urbano con PIRE < 10 W. Micro Urbana.
- **ER3:** Estaciones en suelo no urbano con PIRE > 10 W. En cuyo entorno existan áreas con presencia habitual de personas. Macro Rural.
- **ER4:** Estaciones en suelo no urbano con PIRE < 10 W. En cuyo entorno existan áreas con presencia habitual de personas. Micro Rural.
- **ER5:** estaciones rurales aisladas, es decir, situadas en suelo no urbano y en cuyo entorno no permanezcan habitualmente personas ^[4].

➤ Solicitud de autorización de estaciones radioeléctricas y certificación anual.

Los operadores que establezcan nuevas redes que den soporte a servicios de radiodifusión, deben presentar ante el MITYC, un proyecto técnico más detallado según el formato y estructura del Anexo I de la Orden CTE/23/2002 incluyendo:

- Características técnicas de la estación y planos del entorno donde se ubica. Si las estaciones son del tipo ER1 o ER3 se debe incluir en los planos el cálculo del volumen de referencia, de modo que en el exterior del volumen no se superen los niveles de referencia. Si el volumen de referencia incide sobre zonas con presencia habitual de personas se debe incluir el vallado que restrinja el acceso de personal no cualificado a la zona. Para las estaciones situadas en entornos urbanos ya sean del tipo ER1 o ER2 se deben incluir en los planos los espacios sensibles situados menos 100 metros tales como escuelas, hospitales, etc.
- Valores de los niveles de emisión radioeléctrica, en los puntos que se considere más desfavorables. Si la estación es del tipo ER5 solo será necesaria la medición de los niveles de exposición en el entorno de las estaciones, si el volumen de referencia incide en zonas con presencia habitual de personas.

En lo referente a la certificación anual, se deberá remitir al MITYC, durante primer trimestre de cada año natural, una certificación, según el formato y estructura del Anexo II de la Orden CTE/23/2002, emitida por técnico competente acreditando que se han respetado los límites de exposición establecidos durante el año anterior.

Para instalaciones radioeléctricas que compartan emplazamiento, se contempla la posibilidad de presentar proyectos conjuntos, tanto si son del mismo o de distintos operadores, siempre que se llegue a acuerdos para el intercambio de la información necesaria para la elaboración de los informes.

➤ Procedimiento para la realización de medidas de niveles de emisión.

Los informes de medidas solicitados en las certificaciones anteriormente citados, han de realizarse de acuerdo con los procedimientos descritos en el anexo IV de la Orden CTE/23/2002 donde sus fases se describen a continuación:

- **Fase previa a las mediciones:**

En esta fase se recopila toda la información de la estación radioeléctrica bajo estudio y su entorno, identificando las zonas más sensibles donde puedan permanecer habitualmente personas, especialmente en la/s dirección/es de máxima radiación.

Según la distancia entre el punto donde se realiza la medida y la antena radiante puede considerarse zona de “campo cercano” o de “campo lejano”.

$$\begin{aligned} \text{Si } f < 1\text{Ghz:} & \quad d > 3\lambda & \rightarrow \text{campo lejano} \\ \text{Si } f > 1\text{Ghz:} & \quad d > 2D^2/\lambda & \rightarrow \text{campo lejano} \end{aligned} \quad (4)$$

Siendo D la máxima dimensión de la antena.

Tecnología	Máxima dimensión de la antena (m)	Long de onda λ (m)	Límite campo lejano (m)
FM 100Mhz	-	3	9,00
TV 700Mhz	-	0,43	1,29
GSM 900Mhz	-	0,33	0,99
DCS 1,8Ghz	1	0,167	11,98
UMTS 2,1Ghz	1	0,143	13,99

Tabla 2: Límite campo lejano según tecnología.

Si el punto de medida estuviese en “campo cercano” sería necesario medir ambas intensidades de campo, E(V/m) y H(A/m), a fin de comparar con los valores establecidos, para cada caso.

Si por el contrario el punto de medida se encontrase en “campo lejano”, solo sería necesario medir una de las magnitudes de intensidad de campo, deduciéndose la otra por las expresiones:

$$|E| = |H| \times Z_0 \quad |H| = |E|/Z_0 \quad \text{Donde } Z_0 = 120\pi \Omega = 377\Omega. \quad (5)$$

Se comprobará el estado del equipo de medida realizando la puesta a 0, si este lo requiere.

- **Fase-1 de medida (vista rápida del ambiente radio eléctrico):**

Para esta fase se emplea un equipo de medida de banda ancha con sondas isotrópicas. Se realiza un recorrido en el entorno de la estación accesible al público tomando medidas instantáneas para identificar los puntos de máxima exposición. Una vez identificados se realizarán las medidas tomando muestras (una por segundo) durante 6 minutos y al concluir se almacenarán y anotarán los valores RMS obtenidos.

Los resultados obtenidos en el proceso de medida, deberán compararse con los “niveles de decisión”, que se establecen en 6dB por debajo de los niveles de referencia.

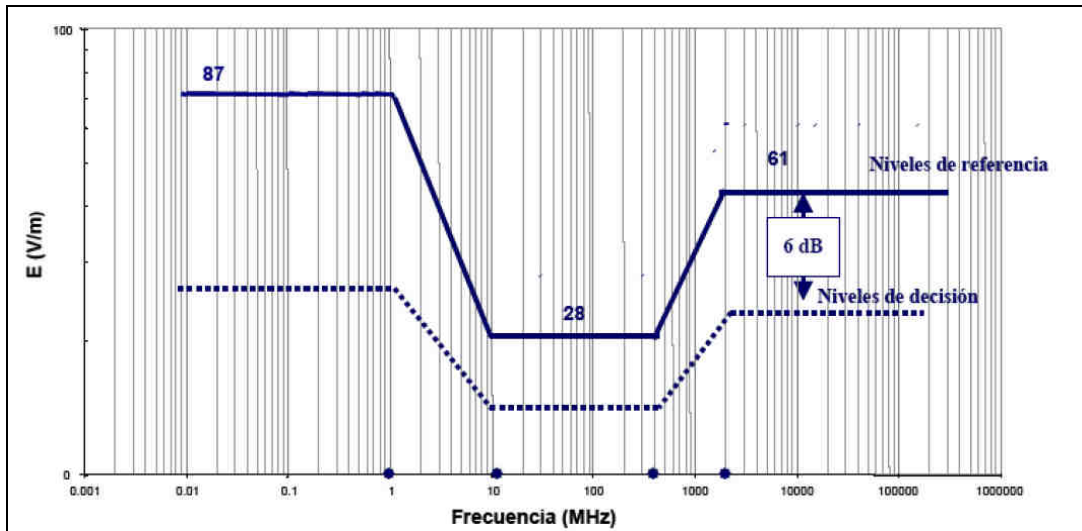


Figura 3: Niveles de referencia y decisión. Intensidad de campo eléctrico.

Donde para las frecuencias comúnmente empleadas en diferentes servicios:

Servicio	Sistema	f(MHz)	Nivel de referencia		Nivel de decisión	
			(V/m)	(W/m ²)	(V/m)	(W/m ²)
Radiodifusión	AM	0,5	87	--	43,5	--
		1,5	71,03	--	35,5	--
Radiodifusión	FM	100	28	2	14	0,5
TV Terrenal	UHF	470	29,8	2,35	14,9	0,59
		830	39,6	4,15	19,8	1,04
Telefonía móvil	TACS	450	29,2	2,25	14,6	0,56
Telefonía móvil	GSM	900	41,2	4,5	20,6	1,13
Telefonía móvil	DCS	1800	58,3	9	29,2	2,25
Telefonía móvil	UMTS	2000	61	10	30,5	2,5
Telefonía fija inalámbrica	LMDS	3500	61	10	30,5	2,5
		26000	61	10	30,5	2,5

Tabla 3: Niveles de referencia y decisión. Intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia para diferentes servicios.

Si para todos los puntos de medida los niveles obtenidos fuesen inferiores a los niveles de decisión, podrá considerarse, el sistema radioeléctrico o la zona en estudio, adaptado a las exigencias del RD 1066/2001, y en consecuencia no sería necesario realizar mediciones adicionales en fases posteriores.

Si por el contrario el nivel detectado en algún punto de medida excede el nivel de decisión deberá procederse a la realización las mediciones en Fase-2.

Si algún punto de medida se encuentra inmerso en la zona de campo cercano, deberá procederse a la realización de las mediciones en Fase-3.

- **Fase-2 de medida:**

En esta fase se realizan medidas selectivas en frecuencia, en banda estrecha, empleando para ello un analizador de espectro, una antena de características radioeléctricas definidas y un cable de atenuación conocida. Son medidas más precisas, pero requieren un mayor tiempo para realizar la medida.

Las medidas se realizarán en la banda de frecuencias comprendida entre 9Khz y 3Ghz y consistirán en determinar todas las componentes espectrales significativas (las que se superen el nivel de 40dB por debajo de los valores de referencia),

buscando para cada una de ellas el peor caso. Si las fuentes emisoras se encuentran operando fuera de este rango de frecuencias se empleará la Fase-3 de medida.

Si para cada punto de medida y considerando la suma de todas las componentes se cumplen los valores establecidos, se considerará que la estación está adaptada al RD 1066/2001.

Si por el contrario el nivel medido para alguna de las componentes a considerar excede el nivel de referencia se empleará la Fase-3 de medida.

- Fase-3 de medida:

En esta fase se ha de tener en cuenta cualquier otra fuente que por sus características requiera un análisis especial (p.e. emisiones pulsantes tipo radar). Es la fase de medida más compleja proporcionando la mayor exactitud. Se aplica en aquellas los siguientes casos:

- a) No sea posible realizar medidas en “campo lejano”.
- b) Las fuentes emisoras se encuentren operando fuera del rango de frecuencias de la Fase-2, es decir, señales de frecuencia inferior a 9Khz o superior a 3Ghz.
- c) Existan fuentes incapaces de cumplir con la Fase-1 y 2.

A continuación se muestra un diagrama de flujo a modo de resumen del procedimiento de medidas de niveles de emisión para la certificación de emisiones radioeléctricas.

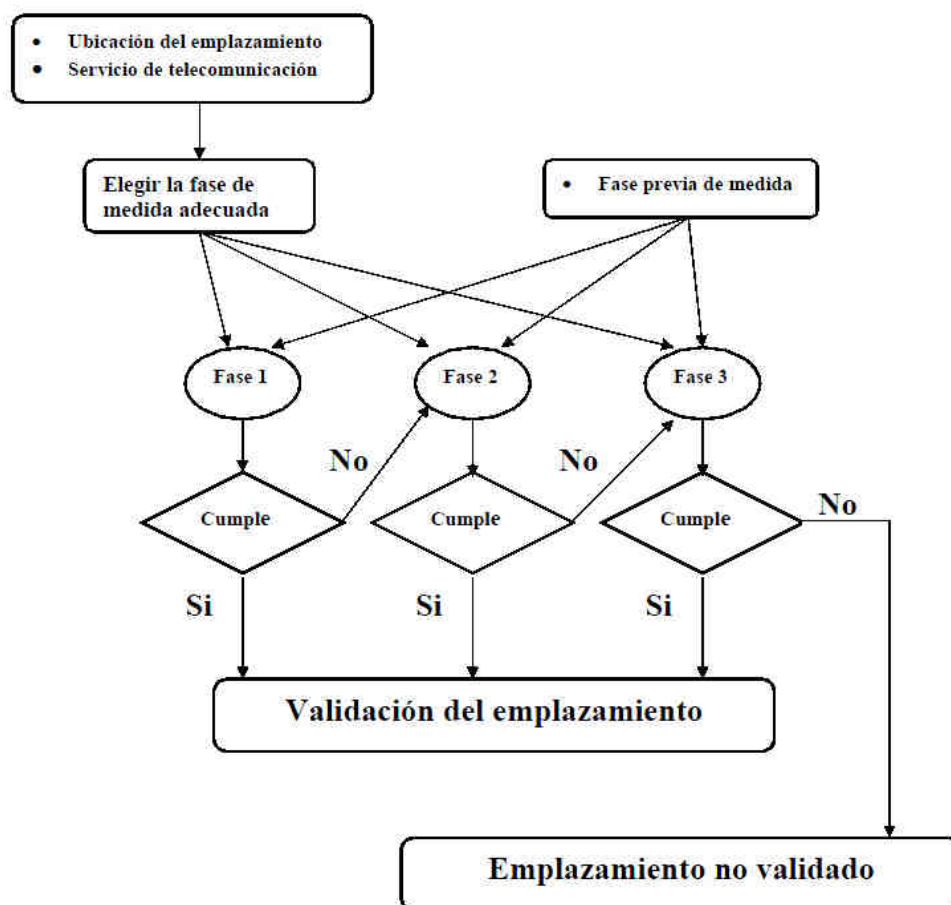


Figura 4: Procedimiento de fases de medida y decisión de validación del emplazamiento.

Para confeccionar los informes de medidas se siguen los modelos facilitados en el Anexo IV de la Orden CTE/23/2002. Existen 2 modelos. El Modelo 1 se emplea para las mediciones realizadas en Fase-1 y el Modelo 2 para Fase-2 y 3.

(Ver Anexo 5: Informes de medidas según modelos facilitados en el anexo IV de la Orden CTE/23/2002)

2.4.3 Directiva 2004/40/CE

Establece disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para su salud y seguridad derivados de la exposición a campos electromagnéticos (0Hz-300Ghz).^[5]

- Contempla los efectos negativos a corto plazo conocidos en el cuerpo humano producidos por la circulación de corrientes inducidas, por la absorción de energía y por las corrientes de contacto.
- No se abordan posibles efectos a largo plazo, incluidos los posibles efectos carcinógenos de la exposición a campos electromagnéticos por no existir pruebas concluyentes que establezcan una relación de causalidad.

Se establecen valores límite de exposición significativamente más elevados que las restricciones básicas y los niveles de referencia de la normativa para la protección de la salud del público en general.

3. Análisis Previo a la Certificación de la Estación Base

El reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, aprobado mediante el Real Decreto 1066/2001 dispone que los operadores que establezcan redes de radiodifusión elaborarán un estudio detallado, realizado por un técnico competente, que indique los niveles de exposición radioeléctrica en áreas cercanas a sus instalaciones emisoras, en las que puedan permanecer habitualmente personas.

Adicionalmente, el mencionado Reglamento dispone que los titulares de licencias de operadores móviles deban remitir al Ministerio de Ciencia y Tecnología, en el primer trimestre de cada año natural, una certificación que corrobore que se han respetado, durante el año anterior, los límites de exposición establecidos.

La orden CTE/23/2002, del 11 de enero, se realizó para establecer las condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. Tiene por objeto regular las condiciones, contenido y formatos de los estudios y certificaciones a los que se hace referencia en el Real Decreto 1066/2001.

3.1 Material Necesario para la Realización de Medias Radioeléctricas

Como se verá en el próximo punto, existen tres fases de medida diferentes, las cuales son consecutivas, con lo que se realizará la segunda o la tercera siempre que la primera no cumpla con la normativa.

Estas medidas se deben realizar con equipos diferentes que sean capaces de diferenciar bandas de frecuencia o realizar medidas teniendo en cuenta todo el espectro. De este modo se diferenciarán medidas de banda ancha y medidas de banda estrecha.

3.1.1 Medidas de Banda Ancha (Fase-1)

Estos equipos tendrán en cuenta la potencia radioeléctrica de todo el espectro. Para realizarlas se necesitará un medidor de campo junto con una sonda, todo ello soportado por un mástil de madera o cualquier otro material que no pueda influir en la medida.

Estos equipos de medida de Banda Ancha permiten realizar medidas precisas de campos electromagnéticos, de forma sencilla y bajo diferentes condiciones de trabajo. Se componen de una unidad de procesado de medidas, encargada de analizar y almacenar los valores obtenidos por la sonda, y de una sonda isotrópica, capaz de captar el valor del campo con independencia de la orientación, y que define la banda de frecuencias en la que se trabaja.

En la mayoría de los casos, los campos electromagnéticos son el resultado de los campos generados por diversas fuentes, de modo que para determinar de forma correcta el nivel de exposición de un punto, es necesario disponer de instrumentos capaces de medir con independencia de la orientación en la que se sitúen. La solución que aportan las sondas isotrópicas es incluir tres sensores orientados según los ejes X, Y, Z; y de estos obtener las medidas de las tres direcciones por separado. Los tres valores obtenidos se suman de forma cuadrática en la unidad de procesado. Además los equipos permiten el calibrado de los tres sensores de forma independiente, lo que supone alcanzar unas condiciones de linealidad

3. Análisis Previo a la Certificación de la Estación Base

que no se logran con la suma analógica convencional. Esto elimina la dependencia cuadrática característica de los sensores, y hace posible realizar medidas de campos con fuertes variaciones del nivel de intensidad sin necesidad de cambiar la sonda.

Los modelos de los equipos utilizados en las certificaciones reales realizadas en este PFC es el equipo de medida NARDA, modelo NBM550 ^[6], y la sonda, del mismo fabricante, modelo 12C ^[7].

Para este tipo de medida de Fase 1 se han utilizado los siguientes aparatos:

El NBM-500 de la serie NARDA es uno de los equipos de medición de radiaciones no ionizantes más preciso de los disponibles hoy en día en el mercado. Ofrece la más amplia cobertura de frecuencia de los campos eléctricos y magnéticos. Ambas sondas presentan una respuesta plana y superan las pruebas de las normas internacionales que están vigentes. Todas las sondas NBM tienen una memoria no volátil que contiene los parámetros del dispositivo y los datos de calibración. Las sondas se calibran de forma independiente del medidor. Cualquier sonda NBM se puede usar con cualquier medidor de la serie NBM-500 y sigue estando calibrado.



Figura 5. Equipo de banda ancha NARDA con sonda.

3.1.2 Medidas de Banda Estrecha (Fase-2 y 3)

Para las medidas de banda estrecha, existen diversos equipos, como pueden ser analizadores de espectro o receptores EMI. Todos ellos deberán estar conectados a una antena de gran directividad donde sus características radioeléctricas estén bien definidas (polarización, impedancia de entrada, ganancia y atenuación, etc.).

Los analizadores de espectro permiten realizar medidas en detalle caracterizando cada componente espectral. Este tipo de equipos tienen una mayor sensibilidad y son capaces de medir con gran precisión, pero necesitan de un mayor tiempo para realizar la medida.

Un receptor EMI es un tipo especial de analizador de espectro que consta de un preselector de frecuencia a la entrada. De esta forma, es posible adecuar el nivel de atenuación en cada punto de medida y no en banda ancha, como hacen los analizadores de espectro habituales.

Para este tipo de medida de Fase 2 y 3 se han utilizado los siguientes aparatos:

El analizador de espectro R&S®FSH3/6/18 Spectrum Analyzer [8] y la antena del fabricante PMM modelo “LP-02 Log-periodic antenna 0,2-3 GHz” [9].



Figura 6. Analizador de espectro R&S®FSH3 y antena del fabricante PMM modelo LP-02 Log- periodic.

3.2 Medidas para Obtener Correctos Niveles de Decisión

Como se ha explicado en apartados anteriores, se deben tener en cuenta diversas variables para realizar una certificación radioeléctrica. Una de ellas son los niveles de decisión que se deben tomar para decidir si un emplazamiento está dentro del Reglamento, ya que dependiendo de las tecnologías instaladas en el emplazamiento puede variar. Estos niveles de decisión son el parámetro más importante y el que determina si una estación radioeléctrica puede seguir en funcionamiento ya que no supera los límites legales.

Para realizar un buen estudio, se deberá tener información completa del emplazamiento donde se está realizando la certificación. Saber si en el mismo emplazamiento está dando servicio alguna otra tecnología, del mismo u otro operador, así como todos los datos de la nueva estación que se va a instalar (Tecnología, potencia de radiación, tipo de antena, orientaciones, downtilts, etc.).

3.2.1 Niveles de Decisión

Los niveles de decisión, llamados así porque deben marcar la pauta para saber cuándo deberá llevarse a cabo una medición de los niveles de emisión en fase-2 o 3, es decir, con indicación de las diferentes componentes espectrales dentro de una determinada banda de frecuencias, están establecidos con valores 6dB inferiores a los niveles de referencia señalados en el RD 1066/2001, en función de la frecuencia. ^[10]

Una vez obtenido el valor final de la medida, se pueden tener tres casos:

1. Si el nivel total de exposición electromagnética obtenido está por encima del nivel de decisión de Fase 1, el emplazamiento se debe validar por medio de una medida más precisa pasando a la fase-2.
2. Si el nivel total de exposición electromagnética obtenido está por debajo del nivel de decisión de fase-1, se puede considerar que el sistema radioeléctrico o la zona en estudio están adaptados a las exigencias del Reglamento.
3. Existen emplazamientos donde el nivel medido estará por debajo de la sensibilidad del equipo, en este caso, evidentemente, se puede validar el emplazamiento, pero si se necesita un nivel medido (por una causa bien justificada) se obtendrá mediante la fase-2 con diferente equipamiento de medida.

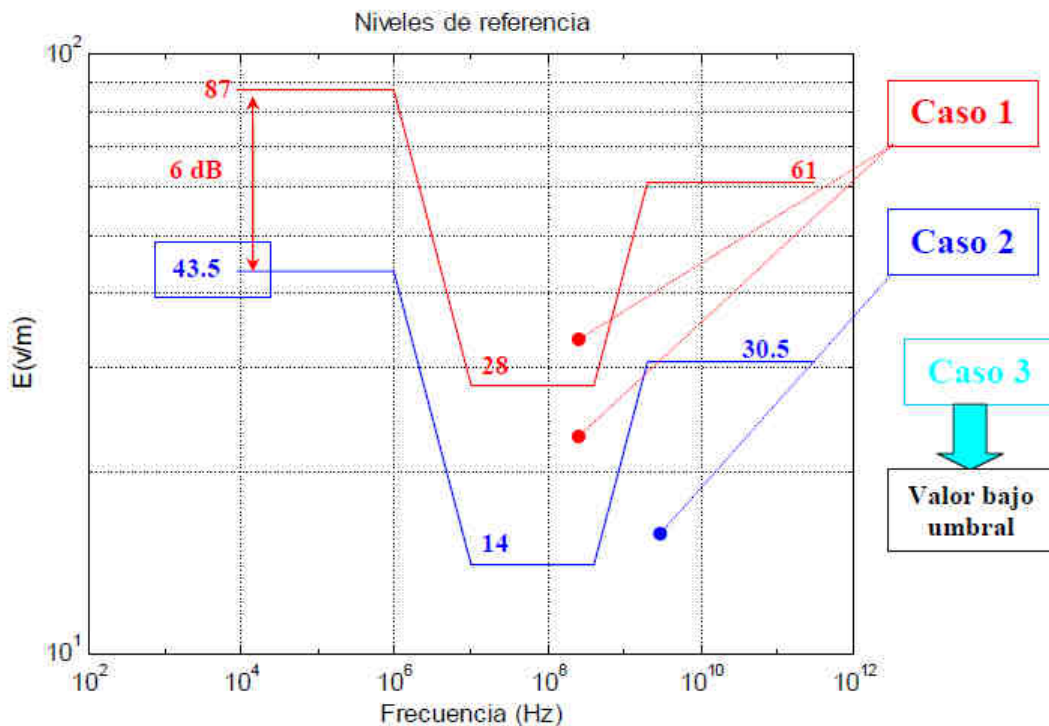


Figura 7. Niveles de decisión.

Si tomamos en consideración determinadas bandas de frecuencias en las que operan determinados servicios de radiocomunicaciones, dentro del espectro radioeléctrico completo, y asociando dentro de dichas bandas lo que pudiera denominarse “frecuencias significativas de trabajo” para los citados servicios (servicios de radiodifusión FM, servicios de telefonía móvil GSM, DCS UMTS, servicio punto multipunto LMDS, etc.), podríamos establecer los valores de referencia y por tanto los valores de decisión para las frecuencias según la *Tabla 6*:

Servicio		Frecuencia significativa de trabajo	Valor de referencia		Valor de decisión	
			(V/m)	(W/m ²)	(V/m)	(W/m ²)
Radiodifusión	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: Valores de decisión.

En la *Figura 7* se ha podido observar que la parte más restrictiva del espectro, en lo referente a niveles de referencia y a niveles de decisión corresponde a la banda de frecuencias 10 – 400 MHz, en la que están insertos servicios de radiodifusión (FM o TV) que, ocasionalmente, pueden radiar grandes potencias en el ambiente.

La polémica surge ante la distinta interpretación que pueda hacerse de la siguiente cuestión ¿Qué nivel de decisión debe ser tenido en cuenta cuando se hace una medida con una sonda que acumula emisiones en todo el espectro (banda ancha), para decidir si se deben realizar mediciones en fase-2, o no?

Desde un punto de vista puramente teórico, el análisis del ambiente radioeléctrico con mediciones de los niveles de emisiones por medio de sondas de amplio espectro en un determinado emplazamiento debería guiarse, en lo referente a los niveles de decisión, por los valores más restrictivos para dichos niveles en todo el espectro radioeléctrico, es decir, 14 (V/m) o 0.5 (W/m²) según las unidades en las que se esté midiendo. De manera que si se obtuvieran valores, en las medidas del referido ambiente radioeléctrico de un determinado emplazamiento, superiores a los señalados, se estaría obligado a realizar mediciones en fase-2.

Ahora bien, la aplicación estricta de este criterio pudiera conducir a la exigencia de realización de mediciones en fase-2, a operadores de estaciones de telefonía móvil o LMDS que operan en bandas de frecuencia con mucha menor restricción en cuanto a niveles de referencia que las bandas de radiodifusión, debiendo asumir las restricciones de estas últimas.

3.2.2 Consideraciones Prácticas

La experiencia acumulada en mediciones de niveles de emisiones radioeléctricas, particularmente en el campo de la telefonía móvil, muestra que, para estos servicios, se encuentran niveles extraordinariamente más bajos que los niveles de referencia que les corresponden por su frecuencia de trabajo.

Por ello, se introduce la contribución ponderada de las emisiones al conjunto global. Esto hace referencia a que cada estación radioeléctrica nueva que se instale, aportará su parte alícuota al ambiente global radioeléctrico ponderada sobre sus niveles de referencia correspondientes, según su frecuencia significativa de trabajo.

Por ejemplo, cuando una estación de telefonía móvil DCS nueva sea instalada, la práctica totalidad de sus componentes espectrales estarán alrededor de su frecuencia significativa de trabajo, 1800MHz, siendo estas componentes generalmente mucho menores que las de otros servicios, como pueden ser, los de radiodifusión.

En consecuencia las contribuciones alícuotas de los servicios de bandas de frecuencias elevadas, que tienen niveles de referencia menos restrictivos, son prácticamente insignificantes, frente a los servicios de radiodifusión para los que la mayor restricción de sus niveles de referencia les hace pesar mucho más en el denominado ambiente global radioeléctrico. ^[11]

3.2.3 Criterios en los Niveles de Decisión

Por todos estos motivos se han establecido unos criterios, que deben ser cumplidos por parte de los operadores y otros criterios a cumplir por parte de la administración, para controlar una buena medición de los niveles de radiación.

1. Criterios para cumplimiento por parte de los operadores

A la hora de confeccionar la certificación tipo A que acompañará a la solicitud de autorización de una nueva estación, y en todos los casos en los que deban reflejarse mediciones en fase-1, los niveles de decisión que deberán ser tenidos en cuenta, para decidir si han de ser realizadas mediciones en fase-2, serán los más restrictivos que correspondan a los diferentes servicios instalados en el emplazamiento de la nueva estación.

Si no existieran Servicios de radiocomunicaciones, los niveles de decisión que deberán ser tenidos en cuenta serán los más restrictivos que correspondan a los servicios que el operador va a instalar.

De igual modo, si los niveles de decisión correspondientes a los servicios que el operador va a instalar son menores que los más restrictivos que correspondan a los diferentes servicios instalados en el emplazamiento, serán estos primeros los que prevalecerán.

2. Criterios para cumplimiento por parte de la administración

Habida cuenta de la responsabilidad que tiene la administración para garantizar la no superación de los niveles de referencia en los niveles de emisiones en aquellos puntos en los que puedan permanecer habitualmente personas, cuando los servicios de inspección o de comprobación técnica de la DGTel y TI detecten niveles de emisiones, en medidas de fase-1, superiores a los más restrictivos (14 V/m o 0.5 W/m²), para cualquier emplazamiento independientemente del servicio de que se trate, se llevarán a cabo mediciones en fase-2, y se identificarán a la/s emisión/es causantes de estos valores, procediendo en cada caso, según corresponda, a los efectos de aplicación de régimen sancionador.

3. Elección del nivel de decisión

Para establecer los valores correspondientes, siguiendo el criterio de niveles de decisión, para cumplimiento de los operadores se necesita conocer, por un lado, el/los sistema/s para los que se presenta el estudio, y por otro, las antenas de este operador, u otros, presentes en el emplazamiento.

Conviene especificar que, en caso de que se use un mismo estudio radioeléctrico para la integración de varios sistemas simultáneamente, comúnmente conocido como proyecto conjunto, se usará el sistema más restrictivo de los que el operador integre en esa obra conjunta.

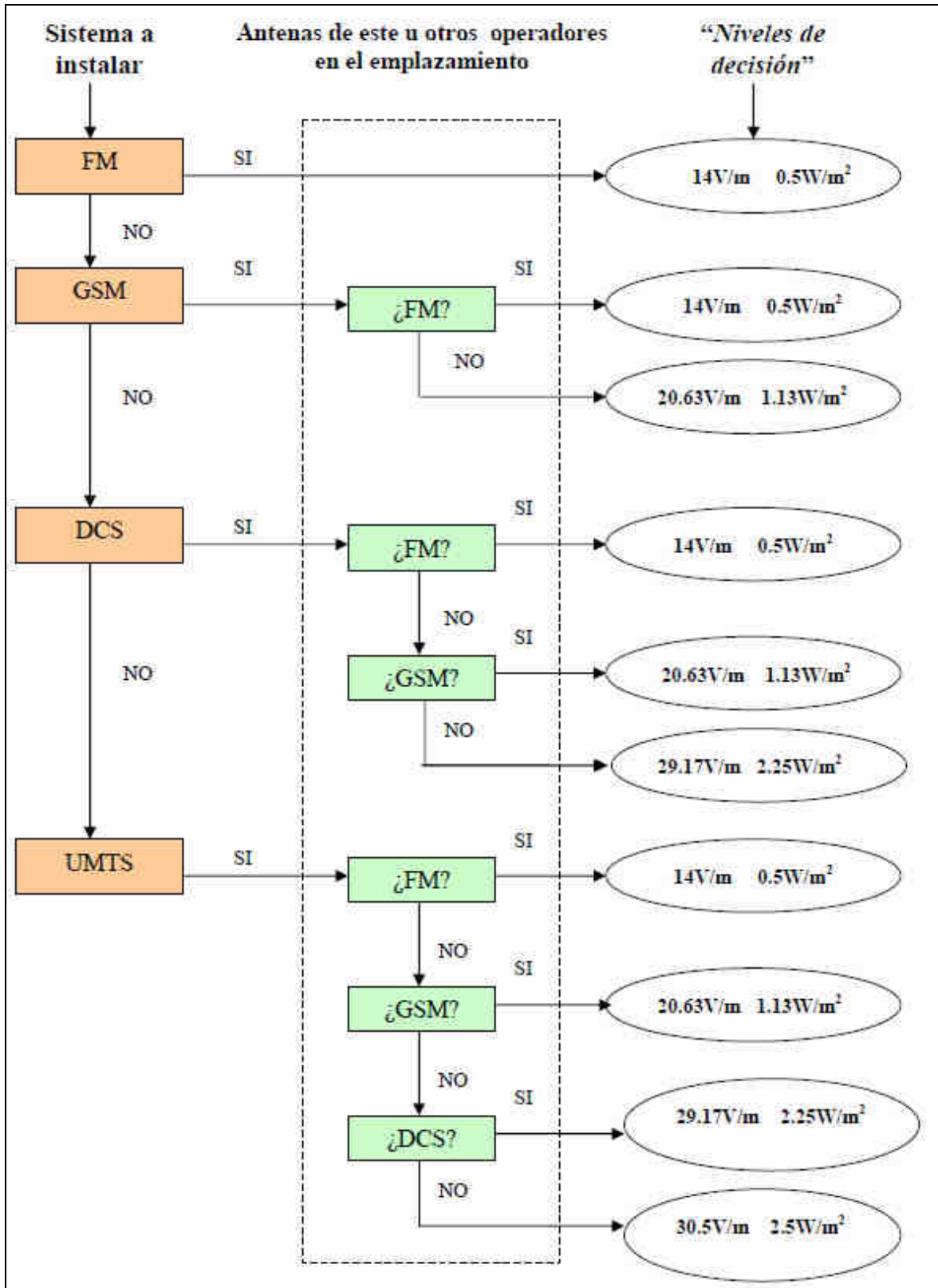


Figura 8. Elección del nivel de decisión según tecnología de la estación base.

3.3 Volúmenes de Protección

Para las estaciones tipo ER1 y ER3, se calculará un volumen de referencia en forma de paralelepípedo u otra figura geométrica adecuada, que tenga en cuenta los niveles de emisión radioeléctrica preexistentes en el entorno de la estación, aplicando, según sea el caso, las hipótesis de campo cercano o campo lejano, y con los factores de reflexión que resulten adecuados al emplazamiento, de manera que en el exterior al volumen no se superen los niveles de exposición contenidos en el anexo II del Reglamento que establece restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a las mismas. Dicho volumen se representará integrado en los planos de disposición de la estación.

En su caso, se mostrará la señalización y, si procede, el vallado que restrinja el acceso de personal no profesional a la zona comprendida dentro del volumen de referencia.

3.3.1 Cálculo de Volúmenes de Referencia

Para estos sistemas, una superficie de protección fácil de calcular es el paralelepípedo que contiene a la superficie límite. Para los sistemas que estamos considerando viene definido por las siguientes cantidades:

- Profundidad en la dirección de radiación: L_{m1}
- Profundidad en la dirección opuesta: L_{m2}
- Anchura: L_H
- Altura hacia arriba: L_{V1}
- Altura hacia abajo: L_{V2}

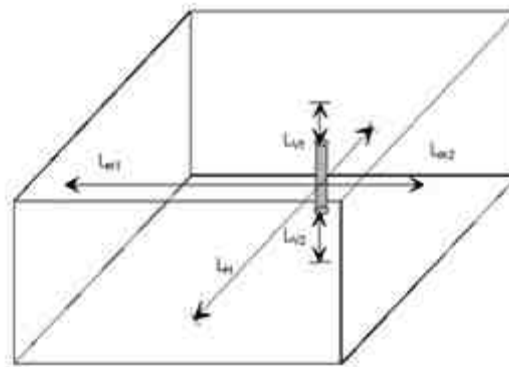


Figura 9. Paralelepípedo de referencia.

Su cálculo es inmediato a partir del diagrama de radiación de la antena. Para ello, se determinan, numérica o gráficamente, los ángulos, Θ_H , Θ_A , Θ_{V1} y Θ_{V2} en que la proyección sobre el eje del corte correspondiente del diagrama de radiación es máxima (Figuras 12 y 13). Las expresiones a utilizar son:

$$L_{m1} = D_{max} \quad (6)$$

$$L_{m2} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_A)} \cdot \cos(\theta_A) \quad (7)$$

$$L_H = 2 \cdot D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_H)} \cdot \cos(\theta_H) \quad (8)$$

$$L_{V1} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_{V1})} \cdot \cos(\theta_{V1}) \quad (9)$$

$$L_{V2} = D_{max} \cdot \sqrt{G(\theta_{V2})} \cdot \cos(\theta_{V2}) \quad (10)$$

Siendo D_{max} la distancia de referencia y $G(\theta)$ la ganancia de potencia de la antena normalizada.

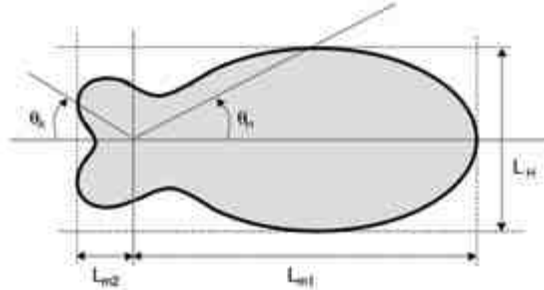


Figura 10. Corte plano horizontal.

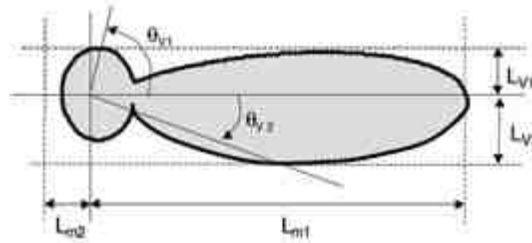


Figura 11. Corte plano vertical.

Hay que resaltar que este diagrama de radiación sobre el que se calcula el paralelepípedo debe estar normalizado a la ganancia máxima de la antena y ser un diagrama lineal, no en dB.

No obstante, puede utilizarse el diagrama de radiación en dB. Para las antenas examinadas, los errores cometidos no son significativos.

El cálculo de la distancia de referencia (D_{max}) se realiza mediante la siguiente expresión:

$$D_{max} = \left[\frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot S_{max}} \right]^{1/2} \quad (11)$$

Siendo S_{max} la densidad de potencia máxima permitida a la frecuencia de trabajo.

En el caso de que existan reflectores en el haz principal cerca de la antena, se puede utilizar una expresión más conservadora que considere las posibles reflexiones sobre el mismo:

$$D_{max} = \left[\frac{M \cdot PIRE}{4 \cdot \pi \cdot S_{max}} \right]^{1/2} \quad (12)$$

3. Análisis Previo a la Certificación de la Estación Base

Donde:

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.

PIRE: es el producto de P_{MAX} · $G(\theta, \Phi)$

P_{MAX} : es la potencia máxima de transmisión

$G(\theta, \Phi)$: es la ganancia de la antena.

S_{MAX} : es la densidad de potencia máxima permitida para las frecuencias de trabajo.

Nótese que las expresiones anteriores suponen que D_{max} es suficientemente elevado como para que se pueda suponer que se está en condiciones de campo lejano. Si la PIRE es baja puede ocurrir que el límite de exposición se alcance en un punto muy próximo a la antena, en el que aún no se haya formado el frente de ondas característico de dicha situación. En este caso puede definirse D_{max} por caracterización experimental o por estimaciones teóricas basadas en simulaciones electromagnéticas.

Una vez calculados los valores de los parámetros anteriores, las dimensiones del paralelepípedo se establecerán a partir de las dimensiones físicas de las antenas, tal como se muestra en la *Figura 12*.

De esta forma se garantiza que el paralelepípedo de referencia contiene a la antena.

El paralelepípedo se orientará según la máxima radiación de la antena en horizontal y teniendo en cuenta, en vertical, el downtilt con que se ha instalado como muestra la *Figura 13*.

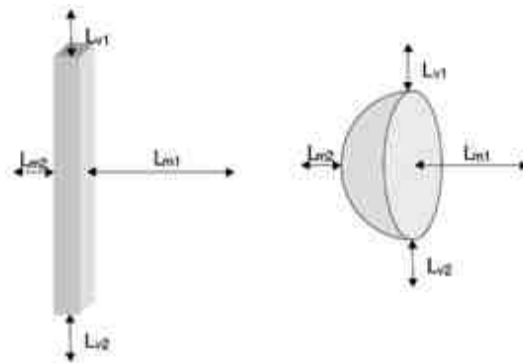


Figura 12. Dimensiones del paralelepípedo de referencia para dos antenas distintas.

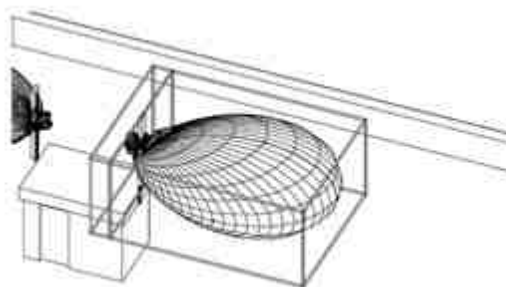


Figura 13. Situación del paralelepípedo de referencia.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Antes de proceder a la toma de medidas se debe estudiar el entorno para conocer cuales son los puntos de medida más adecuados. Hay que tener en cuenta la presencia de puntos sensibles, si los hay y si tienen visión directa con algún sector de la estación base.

En este capítulo se mostrará cuál es la manera adecuada de la toma de medidas de una estación base de telefonía móvil.

4.1 Características Técnicas de la Estación

Para comenzar a la toma de medidas se deben analizar las características técnicas de la estación base: Frecuencias de emisión GSM, DCS y UMTS, así como los datos del emplazamiento de la misma.

4.1.1 Datos del Emplazamiento

Los datos referentes al emplazamiento de la estación base bajo estudio vienen reflejados en la siguiente tabla, incluida en la certificación de instalación.

Tipo de Vía	Avenida
Calle	Av. de San Ginés
Nº Portal	137
Población	San Ginés
Término Municipal	MURCIA
Provincia	MURCIA
Latitud	37N5706,25
Longitud	01W1028,01
Cota del terreno sobre el nivel del mar	58
Se trata de un emplazamiento compartido	S

Tabla 5: Datos del emplazamiento.

4.1.2 Características Radioeléctricas de la Estación

Las especificaciones de las tecnologías instaladas en lo referente a emisión se especifican en la certificación, en las siguientes tablas. En cada tabla habrá tantas columnas como sectores se hayan instalado. Los datos que reflejan las siguientes tablas han sido obtenidos gracias a los datos facilitados por el operador de telecomunicaciones que opera dicha antena.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Código de provincia	30		
Código del emplazamiento	341		
Descripción del emplazamiento	MU/Prisión		
Sector de radiación	1/3	2/3	3/3
Orientación (grados)	0	120	240
Frecuencia de transmisión (Mhz)	940	940	940
Ganancia antena (dBd)	14,1	14,1	14,1
Apertura horizontal del Haz (grados)	65	65	65
Apertura vertical del Haz (grados)	7,8	7,8	7,8
Dw Mecánico (grados)	6	6	6
Dw Eléctrico (grados)	0	0	0
Nivel Lóbulo Secundario (dB)	14	14	14
Relación Delante Detras (dB)	25	25	25
Altura Antena (m)	5	5	5
Longitud Antena (m)	2,6	2,6	2,6
Ancho de banda por portadora (Khz)	200	200	200
Modulación	GMSK	GMSK	GMSK
Nº Antenas	1	1	1
Nº de Canales Instalados	2	2	2
PIRE por portadora (dBm)	52,25	52,25	52,25
PIRE Max Total (W)	335,76	335,76	335,76

Tabla 6: Especificaciones técnicas de la estación base para GSM.

Código de provincia	30		
Código del emplazamiento	341		
Descripción del emplazamiento	MU/Prisión		
Sector de radiación	1/3	2/3	3/3
Orientación (grados)	0	120	240
Frecuencia de transmisión (Mhz)	1815	1815	1815
Ganancia antena (dBd)	14,85	14,85	14,85
Apertura horizontal del Haz (grados)	65	65	65
Apertura vertical del Haz (grados)	9	9	9
Dw Mecánico (grados)	9	9	9
Dw Eléctrico (grados)	0	0	0
Nivel Lóbulo Secundario (dB)	15	15	15
Relación Delante Detrás (dB)	30	30	30
Altura Antena (m)	5	5	5
Longitud Antena (m)	1,94	1,94	1,94
Ancho de banda por portadora (Khz)	200	200	200
Modulación	GMSK	GMSK	GMSK
Nº Antenas	1	1	1
Nº de Canales Instalados	2	3	2
PIRE por portadora (dBm)	51,78	51,78	51,78
PIRE Max Total (W)	301,32	451,98	301,32

Tabla 7: Especificaciones técnicas de la estación base para DCS.

Código de provincia	30		
Código del emplazamiento	341		
Descripción del emplazamiento	MU/Prisión		
Sector de radiación	1/3	2/3	3/3
Orientación (grados)	0	120	240
Frecuencia de transmisión (Mhz)	2160	2160	2160
Ganancia antena (dBd)	15,4	15,4	15,4
Apertura horizontal del Haz (grados)	65	65	65
Apertura vertical del Haz (grados)	6,5	6,5	6,5
Dw Mecánico (grados)	0	0	0
Dw Eléctrico (grados)	4	4	6
Nivel Lóbulo Secundario (dB)	17	17	17
Relación Delante Detrás (dB)	30	30	30
Altura Antena (m)	4	4	4
Longitud Antena (m)	2,5	2,5	2,5
Ancho de banda por portadora (Khz)	5000	5000	5000
Modulación	QPSK	QPSK	QPSK
Nº Antenas	1	1	1
Nº de Canales Instalados	1	1	1
PIRE por portadora (dBm)	60,65	60,65	60,65
PIRE Max Total (W)	1161,45	1161,45	1161,45

Tabla 8: Especificaciones técnicas de la estación base para UMTS.

4.2 Descripción de los Instrumentos de Medida Utilizados

Como se ha explicado en el punto 3.1 del apartado 3, dependiendo de la fase de medida, se utilizan equipos para medidas de banda ancha o de banda estrecha.

- Medidas de banda ancha

Para las medidas de banda ancha, se han utilizado el medidor NARDA modelo NBM550, y la sonda, del mismo fabricante, modelo 12C. ^{[6][7]}

El NBM-500 de la serie NARDA es uno de los equipos de medición de radiaciones no ionizantes más preciso de los disponibles hoy en día en el mercado. Ofrece la más amplia cobertura de frecuencia de los campos eléctricos y magnéticos. Ambas sondas presentan una respuesta plana y superan las pruebas de las normas internacionales que están vigentes. Todas las sondas NBM tienen una memoria no volátil que contiene los parámetros del dispositivo y los datos de calibración. Las sondas se calibran de forma independiente del medidor. Cualquier sonda NBM se puede usar con cualquier medidor de la serie NBM-500 y sigue estando calibrado.



Figura 14. Medidor NARDA NBM 550 (izquierda) y Sonda (derecha).

- Medidas de banda estrecha

Para las medidas de banda estrecha se ha utilizado el analizador de espectro Rohde&Schwarz®FSH3 Spectrum Analyzer y la antena del fabricante PMM modelo “LP-02 Log-periodic antenna 0,2-3 GHz”. [8] [9]

El R&S®FSH3 es un analizador de espectro ideal por su rapidez, alta precisión y de coste contenido para visualización y captura de señales. Ofrece un gran número de funciones de medición y puede utilizarse para múltiples aplicaciones, desde la instalación o mantenimiento de una estación base, hasta la localización de un fallo in situ de cables de RF.



Figura 15. Analizador de espectro FSH3.

La PMM LP-02 es una antena log-periódica de la marca NARDA diseñada para medir emisiones radioeléctricas. Puede ser utilizada conjuntamente con cualquier receptor o analizador de espectro.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Esta antena está formada por numerosos dipolos en escala logarítmica de menor a mayor con distinta área efectiva y distinta longitud para captar un mayor rango de emisiones.



Figura 16. Antena Log-Periódica LP-02.

4.3 Calibración de los Instrumentos de Medida

Antes de comenzar a realizar las medidas, se realiza una breve calibración del analizador de espectro para su puesta a cero y evitar que introduzcan modificaciones en las señales recibidas y así obtener resultados más precisos. El proceso de calibración consiste en conectar un cable de apenas 15cm, cuyas pérdidas son despreciables, desde una toma de salida del analizador (la cual emite un pulso de señal realizando un barrido en frecuencia) a la toma de entrada, estableciendo así a 0 dB el valor recibido.

A continuación se calculan las pérdidas que introduce el cable de medida según la frecuencia a la que se estuviese trabajando. Para ello se conectó de igual manera el cable de medidas (cable conectado a la antena Receptora) que se había conectado el cable de puesta a cero. El valor percibido en el analizador constituía el valor de pérdidas que introduciría el cable en cualquiera de las mediciones.



Figura 17. Puesta a cero del analizador de espectro (izquierda) y cálculo de pérdidas del cable (derecha).

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Una vez obtenidas las pérdidas producidas por el cable, se obtuvieron los valores de pérdidas en aquellas frecuencias en las que vamos a capturar la señal de la estación base bajo estudio:

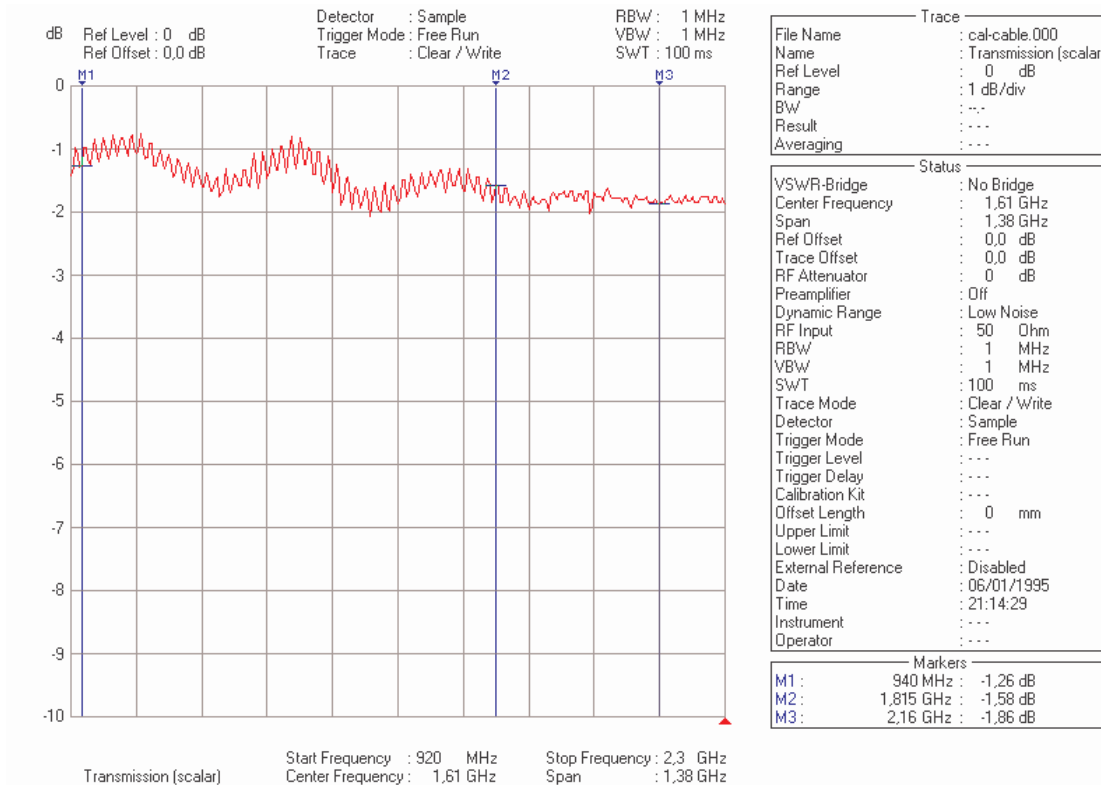


Figura 18. Pérdidas en el cable en función de la frecuencia.

En la *Tabla 11* se muestran los valores de la atenuación del cable para cada una de las frecuencias empleadas por las distintas tecnologías de la estación base:

Atenuación del cable (dB)	
GSM (940Mhz)	1,26
DCS (1815Mhz)	1,58
UMTS (2160Mhz)	1,86

Tabla 9. Atenuación producida en el cable.

Estos valores de pérdidas se deben tener en cuenta a la hora de determinar los valores de medida recibidos por la antena.

4.4 Localización de los Puntos de Medida y Medidas Realizadas

En este apartado se va a explicar cómo se han tomado las medidas. Como la estación base bajo estudio consta de tres sectores habrán tres medidas con visión directa para cada sector y otras tres con visión indirecta. Para determinar dentro de cada zona cuál es el punto de medida óptimo para realizar la medida, es decir, cuál es el punto donde se recibe un mayor nivel de campo electromagnético, se ha utilizado el instrumento de medida NARDA NBM 550.

En esta fase inicial de medida, primeramente se inspecciona toda el área para localizar los puntos de medida donde existe un mayor nivel de campo.



Figura 19. Localización de puntos de máximo nivel de campo.

Una vez localizados los puntos de máxima exposición siguiendo las instrucciones descritas en la fase-1 de medida se ha procedido a realizar las medidas de fase-2.



Figura 20. Puntos de medida del entorno.

Observando el mapa anterior de la Figura 20, los puntos de medida 1, 2 y 3 se corresponden con los puntos de visión directa correspondientes a cada uno de los sectores.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Mientras que el resto de puntos se corresponden a calles cercanas las cuales son interesantes obtener sus valores de nivel de campo para realizar nuestro estudio.

Para la toma de medidas, el analizador de espectro se ha configurado con los siguientes parámetros:

Frecuencia central: GSM 940 MHz; DCS 1815 MHz; UMTS 2160 MHz

Span: 40 MHz

Unidades de medida: dB μ V

4.4.1 Puntos de Medida con Visión Directa

En este apartado se puede ver la ubicación exacta de las medidas realizadas en cada uno de los puntos vistos en la *Figura 20*. En cada una de las ilustraciones se pueden ver, de izquierda a derecha, la medida en banda ancha (fase-1), la medida de banda estrecha (fase-2) en polarización horizontal y en polarización vertical.



Figura 21. PM1: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).



Figura 22. PM2: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).



Figura 23. PM3: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).

4.4.2 Puntos de Medida con Visión Indirecta

En este apartado se puede ver la realización de las distintas medidas en los puntos donde no existe visión directa con la estación base. En cada una de las ilustraciones, como en el caso anterior, se pueden ver de izquierda a derecha, la medida de banda ancha (fase-1), la medida de banda estrecha (fase-2) en polarización horizontal y en polarización vertical.



Figura 24. PM4: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).

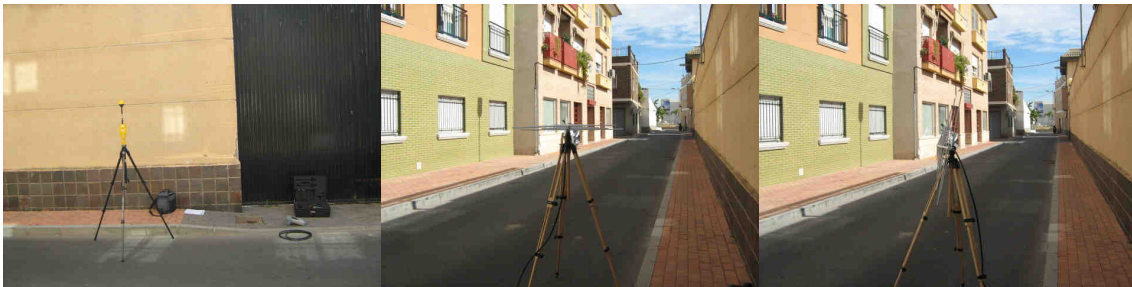


Figura 25. PM5: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).



Figura 26. PM6: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).

4.5 Resultados Obtenidos

Una vez realizadas todas las medidas se procede a explicar los resultados obtenidos. Para ver las diferentes gráficas obtenidas de cada una de las medidas se ha utilizado un software proporcionado por el fabricante del analizador de espectro. Dicho software de simulación permite visualizar los ficheros de manera idéntica que el propio analizador de espectro y también permite tomar valores de la misma mediante marcadores.

Las gráficas que se visualizan son las siguientes:

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

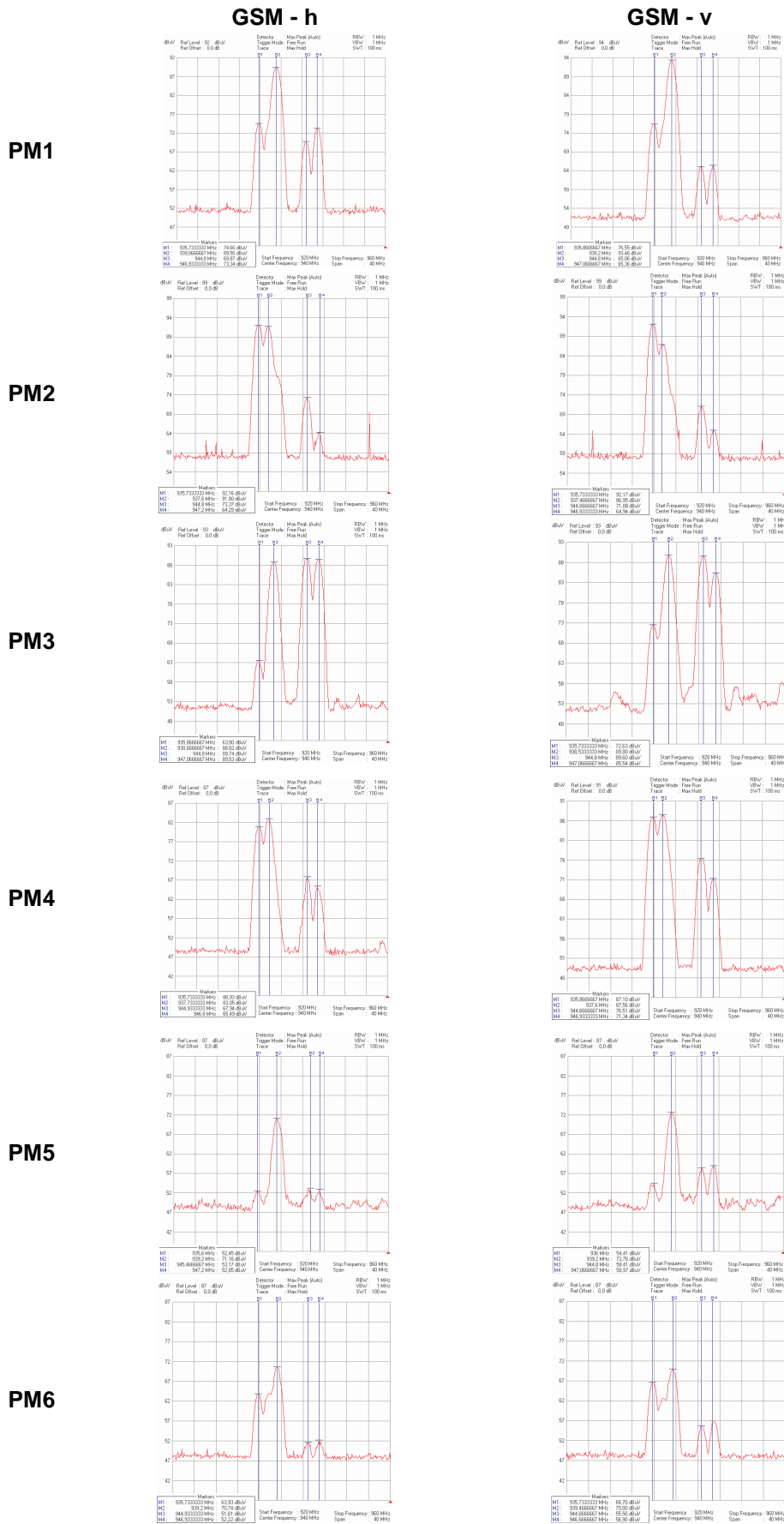


Figura 27. Espectros obtenidos para GSM en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

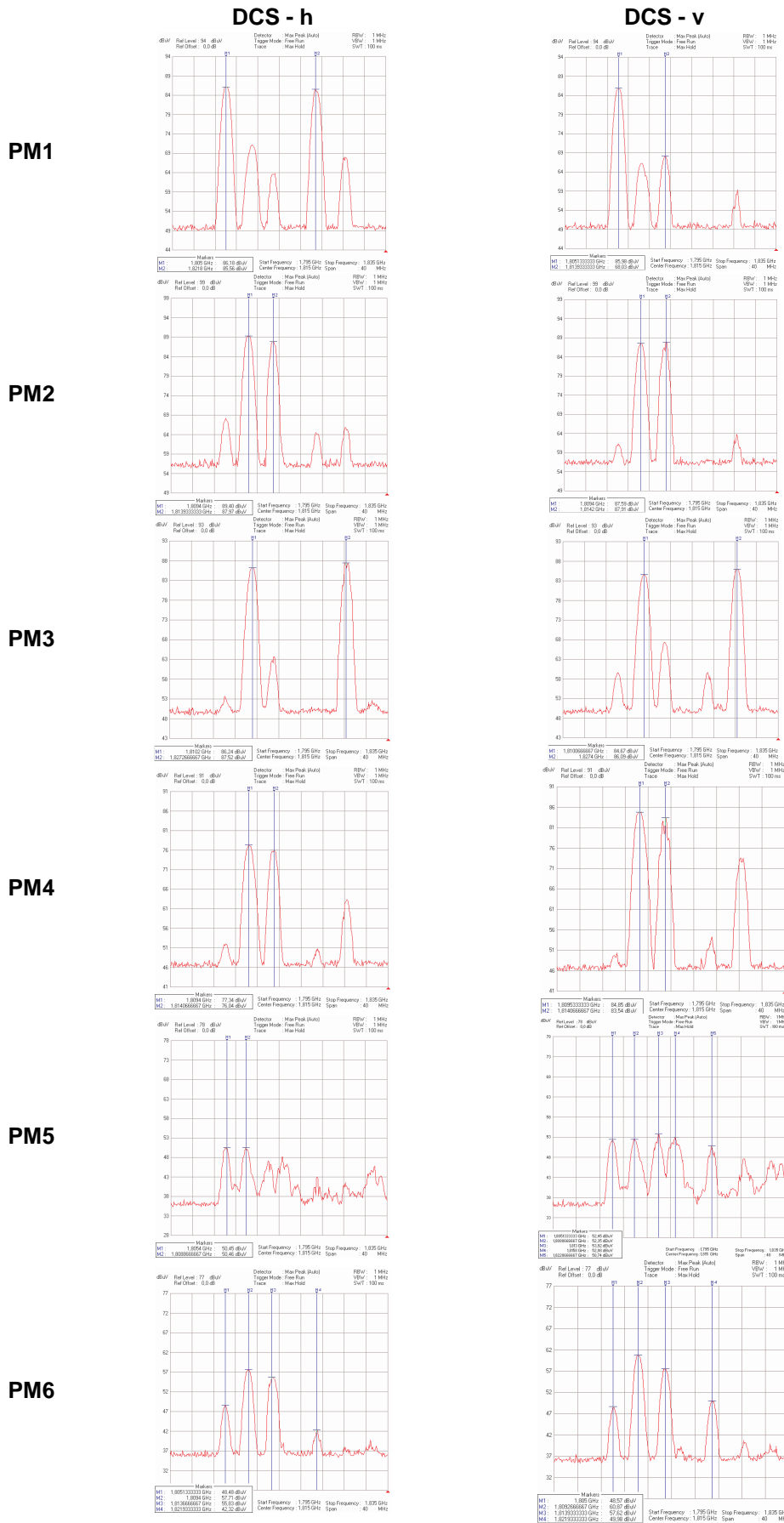


Figura 28. Espectros obtenidos para DCS en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

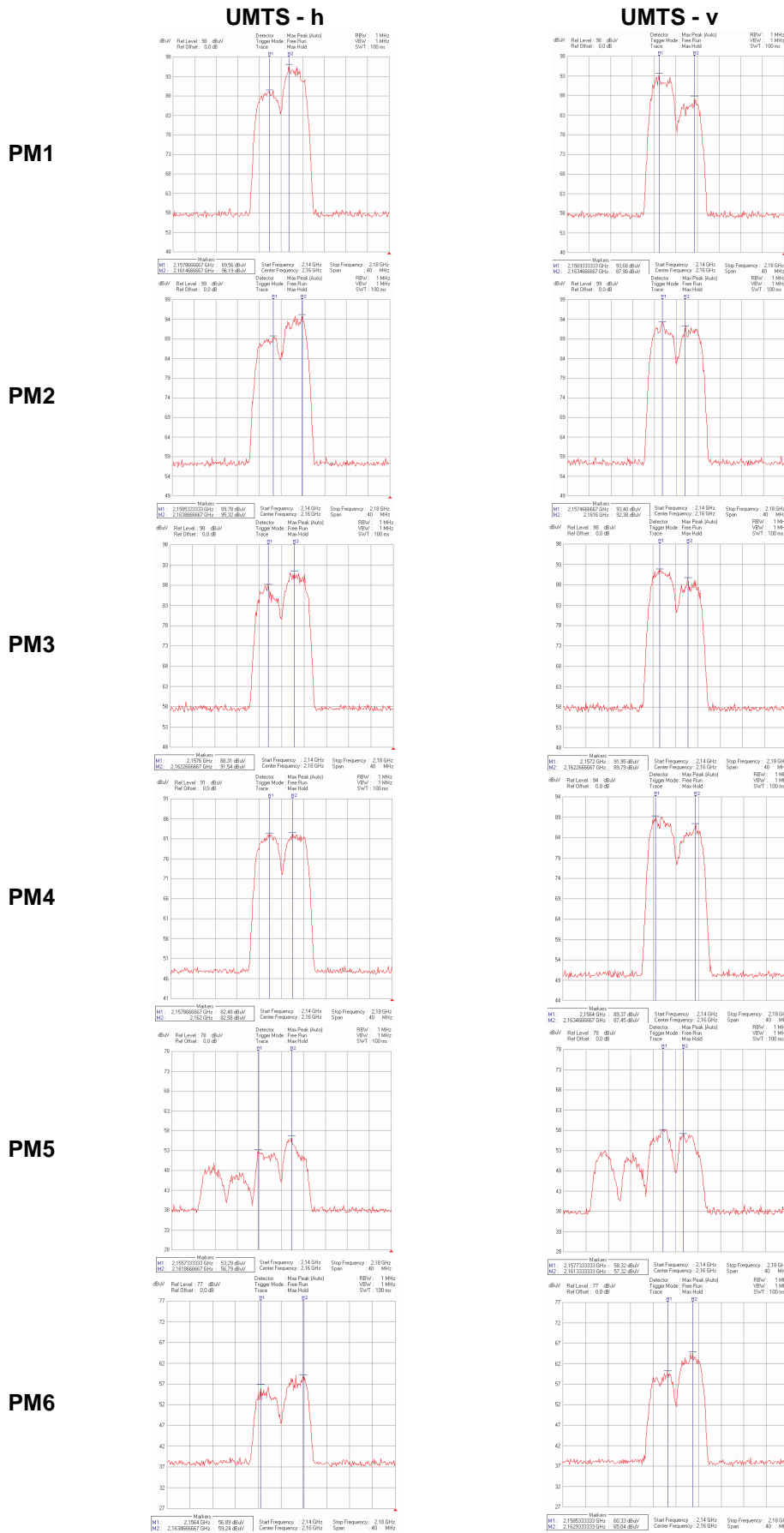


Figura 29. Espectros obtenidos para UMTS en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

De las gráficas anteriores se han obtenido todos los niveles de campo (máximos) en cada uno de los puntos de medida para cada polarización, en función de la tecnología empleada. Dichos resultados se representan en la siguiente tabla:

N (dBμV)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
GSM - h	89,50	92,16	89,74	83,05	71,16	70,74
GSM - v	93,46	92,17	89,80	87,56	72,76	70,00
DCS - h	86,18	89,40	87,52	77,34	50,46	57,71
DCS - v	85,98	87,91	86,09	84,85	53,92	60,87
UMTS - h	96,19	95,32	91,54	82,58	56,79	59,24
UMTS - v	93,68	93,40	91,95	89,37	58,32	65,04

Tabla 10. Niveles medidos de campo (dB μ V) para las distintas polarizaciones y tecnologías, en cada punto.

- Cálculo de la intensidad de campo en un punto

La intensidad de campo eléctrico E (dB μ V/m) en un punto es la suma del valor de la señal medida por el equipo medidor de campo, el factor de antena y la atenuación del cable, según se detalla en la fórmula que aparece a continuación:

$$E(\text{dB } \mu\text{V} / \text{m}) = N(\text{dB} \mu\text{V}) + FA(\text{dB}/\text{m}) + A(\text{dB}) \quad (13)$$

Dónde:

E (dB μ V/m): Intensidad de campo en el punto.

N (dB μ V): Valor de señal medida por el equipo medidor de campo.

FA (dB/m): Factor de Antena.

A (dB): Atenuación introducida por el cable.

En el caso de la antena utilizada para las mediciones, el factor de la antena viene determinada por el fabricante y depende de la frecuencia, según la tabla que se adjunta a continuación:

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

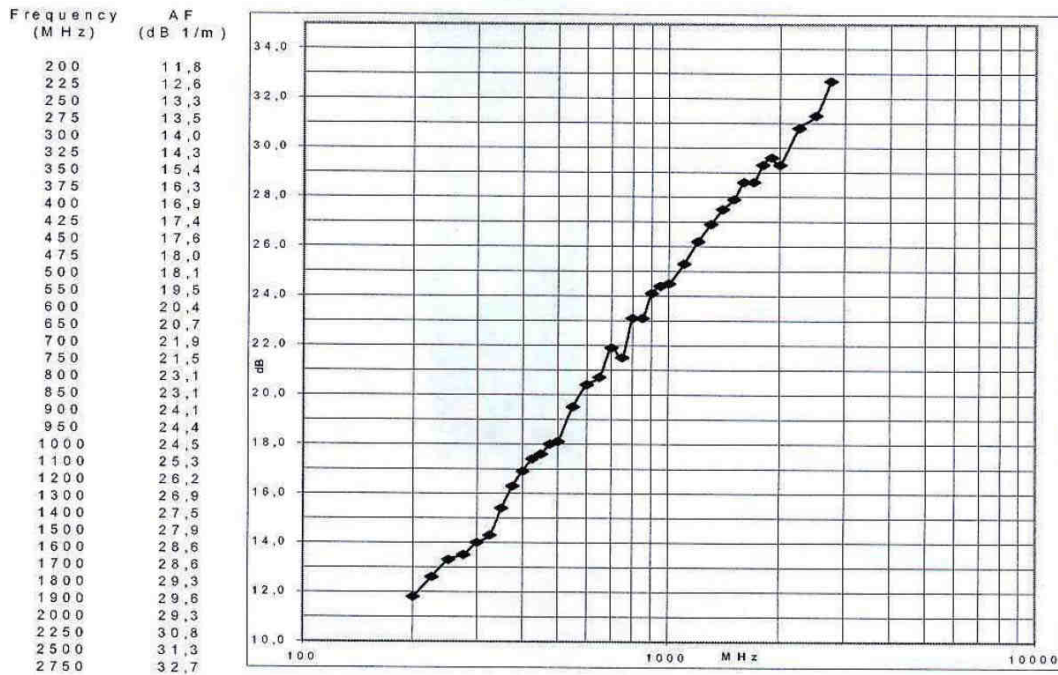


Figura 30. Factor de antena PMM LP-02.

Con los datos obtenidos, según la atenuación del cable de medidas así como el factor de antena leído de la tabla proporcionada por el fabricante se obtienen los siguientes valores:

	Factor de Antena FA (dB/m)	Atenuación del cable A (dB)
GSM (940Mhz)	24,5	1,26
DCS (1815Mhz)	29,5	1,58
UMTS 2.16 (Ghz)	30,8	1,86

Tabla 11. Factor de Antena y Pérdidas del cable.

E (dBμV/m) = N(dBμV) + FA(dB) + A(dB)						
E (dBμV/m)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
GSM - h	115,26	117,92	115,50	108,81	96,92	96,50
GSM - v	119,22	117,93	115,56	113,32	98,52	95,76
DCS - h	117,26	120,48	118,60	108,42	81,54	88,79
DCS - v	117,06	118,99	117,17	115,93	85,00	91,95
UMTS - h	128,85	127,98	124,20	115,24	89,45	91,90
UMTS - v	126,34	126,06	124,61	122,03	90,98	97,70

Tabla 12. Intensidad de campo E (dBμV/m) tras compensar el Factor de la Antena y las Pérdidas en el cable.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

$$E (V/m) = 10^{(E(dBV/m)/20)} = 10^{[(E(dB\mu V/m)-120)/20]}$$

E (V/m)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
GSM - h	0,579	0,787	0,596	0,276	0,070	0,067
GSM - v	0,914	0,788	0,600	0,463	0,084	0,061
DCS - h	0,729	1,057	0,851	0,264	0,012	0,028
DCS - v	0,713	0,890	0,722	0,626	0,018	0,040
UMTS - h	2,770	2,506	1,622	0,578	0,030	0,039
UMTS - v	2,075	2,009	1,700	1,263	0,035	0,077

Tabla 13. Intensidad de campo eléctrico E (V/m).

$$Et(V/m)=Eh(V/m)+Ev(V/m)$$

Et (V/m)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
GSM	1,494	1,575	1,195	0,739	0,154	0,128
DCS	1,442	1,947	1,573	0,890	0,030	0,067
UMTS	4,845	4,515	3,322	1,841	0,065	0,116

Tabla 14. Intensidad de campo total E (V/m) tras sumar las contribuciones de las polarizaciones vertical y horizontal en cada punto.

Por lo tanto la intensidad de campo eléctrico total medido en cada punto es:

$$Et (dB\mu V/m) = 20 \cdot \log_{10}(E(\mu V/m)) = 20 \cdot \log_{10}(E(V/m) \cdot 10^6)$$

Et (dBμV/m)	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
GSM	123,484	123,946	121,551	117,375	103,777	102,158
DCS	123,181	125,788	123,935	118,983	89,462	96,534
UMTS	133,706	133,094	130,428	125,303	96,269	101,296

Tabla 15. Intensidad de campo total Et (dBμV/m).

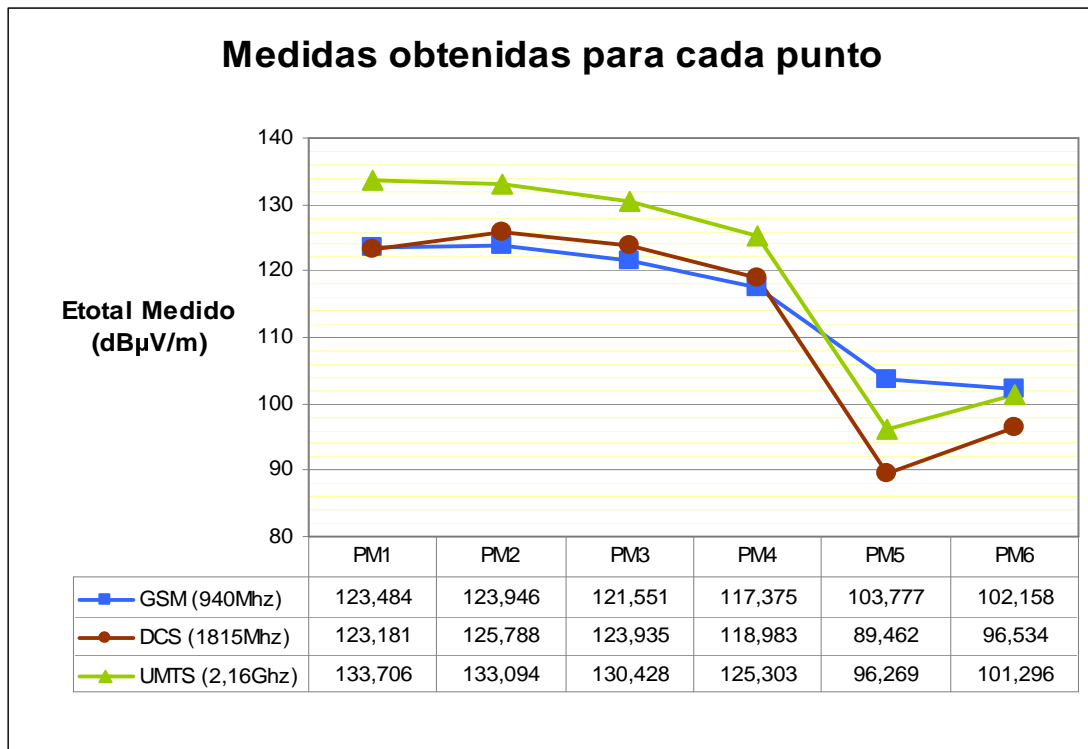


Figura 31. Niveles de campo obtenidos según la tecnología a partir de los valores medidos.

4. Medidas Reales Obtenidas en la Estación Base

Como se puede apreciar en la gráfica anterior (*Figura 31*), los cuatro primeros puntos de medida (PM1, PM2, PM3, PM4) tienen un nivel de campo sustancialmente mayor que los dos restantes (PM5 y PM6). Como los tres primeros puntos de medida (PM1, PM2, PM3) tienen visión directa con la antena, (cada uno en su respectivo sector, véase *Figura 32*) el incremento del nivel de campo medido puede explicarse por este hecho. El elevado nivel de campo recibido en el cuarto punto de medida (PM4), aun sin tener visión directa con la antena, puede explicarse debido a la gran altura del edificio anexo, provocando que los campos electromagnéticos se guíen por la calle en la que se encuentra la antena.

En los dos restantes puntos de medida (PM5 y PM6) debido a que no tienen visión directa con ninguno de los sectores de la antena (*Figura 32*) se puede apreciar un desvanecimiento del nivel de campo medido. Se hace patente sobre todo en el punto de medida (PM5) que debido a la gran altura del edificio que tiene en frente en la dirección de la antena, se produce una sombra respecto los niveles de campo explicando así el valor tan reducido obtenido.



Figura 32. Puntos de medida en el entorno de la estación base y sectores de radiación.

Por lo tanto la intensidad de campo eléctrico incidente en la antena receptora es el resultado de la contribución de ondas reflejadas y difractadas en los edificios y obstáculos del entorno.

4.6 Conclusiones

Tras la realización de las medidas sobre el entorno, se ha comprobado de primera mano cómo afectan las atenuaciones, reflexiones y difracciones que sufre una señal de telefonía móvil en un entorno semiurbano o rural.

Se ha analizado el método más adecuado para la realización de las medidas, ya sea la búsqueda del punto donde incide un mayor nivel de campo, como la de de puntos interesantes para el estudio.

Otro de los aspectos importantes, ha sido el aprendizaje del trabajo en equipo con el Ingeniero de campo ya que su labor ha sido muy efectiva en relación a las explicaciones de cómo se deben utilizar los aparatos de medida, de cómo se deben de tomar dichas medidas y cómo se deben elaborar los informes.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

5.1 Introducción

En esta parte del proyecto se explicará todo el procedimiento realizado para simular nuestra estación base bajo estudio.

- Inicialmente se darán unas nociones básicas sobre los programas empleados para realizar dicha simulación.
- Seguidamente se explicará como obtener las bases de datos de los edificios y de la topográfica necesarios para poder simular la estación en su entorno.
- A continuación se describirá el proceso seguido para realizar las simulaciones, así como los diferentes métodos empleados.
- Para terminar, una vez obtenidos los resultados con cada método de simulación, se compararán para concluir cuál es el método que a priori proporciona datos más adecuados y reales sobre nuestra estación base.

5.2 Software Utilizado Para la Simulación

5.2.1 *AutoCAD 2008*

El programa de diseño gráfico utilizado para gestionar y desarrollar las bases de datos necesarias para la obtención de simulaciones sobre el entorno ha sido el programa desarrollado por Autodesk llamado AutoCAD. Al igual que otros programas de diseño asistido por ordenador, gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de comandos.

Procesa imágenes de tipo vectorial, aunque admite incorporar archivos de tipo fotográfico o mapa de bits, donde se dibujan figuras básicas o primitivas (líneas, arcos, rectángulos, textos, etc.), y mediante herramientas de edición se crean gráficos más complejos. El programa permite organizar los objetos por medio de capas o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. El dibujo de objetos seriados se gestiona mediante el uso de bloques, posibilitando la definición y modificación única de múltiples objetos repetidos.

La extensión del archivo de AutoCAD es .dwg, aunque permite exportar en otros formatos (el más conocido es el .dxf). El formato.dxf permite compartir dibujos con otras plataformas de dibujo CAD, reservándose AutoCAD el formato.dwg para sí mismo. El formato .dxf puede editarse con un procesador de texto básico, por lo que se puede decir que es abierto. En cambio, el.dwg sólo podía ser editado con AutoCAD, si bien desde hace poco tiempo se ha liberado este formato con lo que muchos programas CAD distintos del AutoCAD lo incorporan, y permiten abrir y guardar en esta extensión, con lo cual lo del .dxf ha quedado relegado a necesidades específicas.

El formato .dwg ha sufrido cambios al evolucionar en el tiempo, lo que impide que versiones más recientes del programa puedan ser abiertas por versiones antiguas de AutoCAD u otros CADs que admitan ese formato. La última versión de AutoCAD hasta la fecha es el AutoCAD 2012, y tanto él como sus productos derivados (como AutoCAD Architecture o Autodesk Inventor) usan un nuevo formato no contemplado o trasladado al OpenDWG, y que sólo puede usar el formato hasta la versión 2000.

5.2.2 WinProp de “AWE Communications”

WinProp, es el conjunto de software principal de AWE Communications [12], siendo un software estándar en el dominio de la propagación vía radio y la planificación de redes inalámbricas.

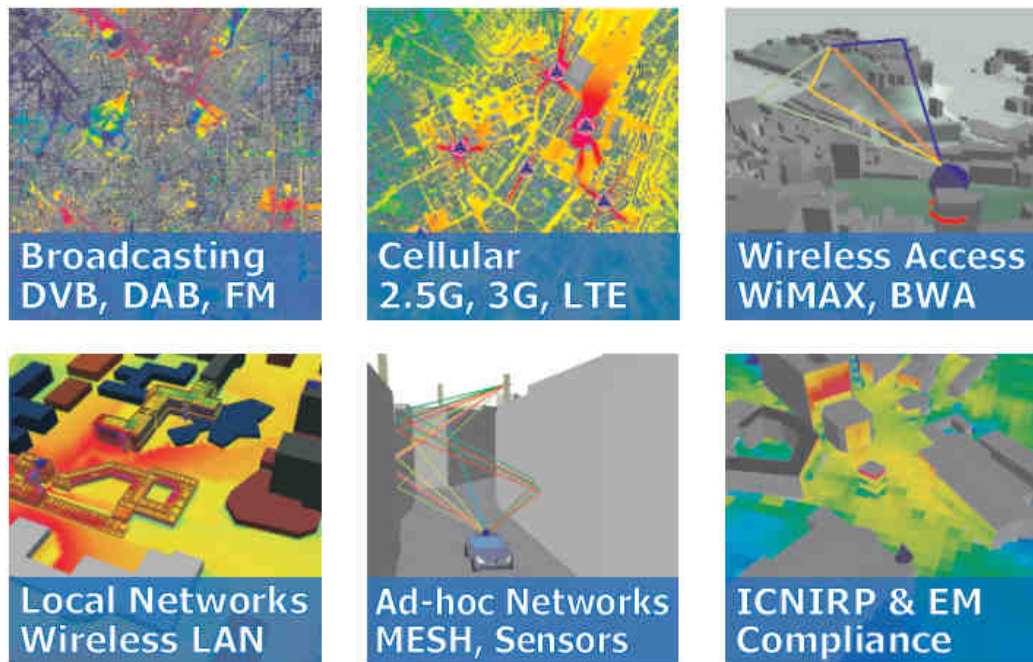


Figura 33. Aplicaciones e interfaces empleadas en WinProp.

- Cálculo y Simulación:

WinProp permite la planificación de la cobertura y capacidad, así como simulaciones de red (rendimiento de los algoritmos, el análisis de los retrasos, etc.)

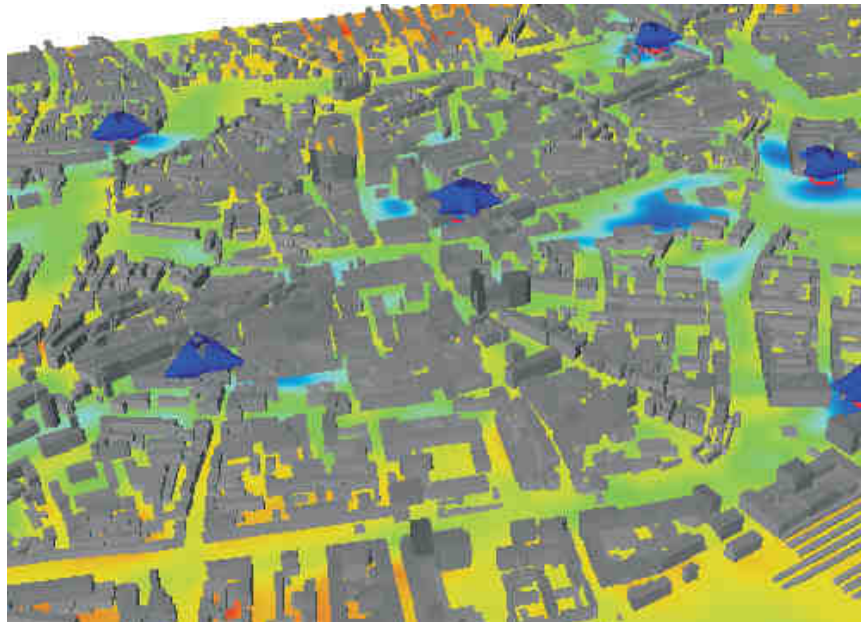


Figura 34. Simulación de un entorno urbano con múltiples estaciones base.

El usuario puede definir el tráfico (ubicación dependiente) para el circuito y para los servicios de conmutación de paquetes (incluyendo las distribuciones estadísticas, la movilidad, etc.)

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

▪ Cobertura

Se pueden definir diferentes modos de transmisión (ancho de banda, MCS, velocidad de datos, el objetivo SNR, el umbral de la señal, Potencia de Tx,...) y los mapas de cobertura (asignación de celdas, mejor servidor, actividad del sistema, calidad del canal, potencia en Rx en Downloading & Uploading, SNR,...) se calculan por separado para cada modo de transmisión.

▪ Capacidad

WinProp calcula la capacidad (rendimiento, tasas máximas de velocidades de datos, los retrasos de paquetes, calidad de servicio QoS, etc.) de los diferentes enlaces de radio y las celdas de la red basada en el análisis de la cobertura y los supuestos de tráfico. Las limitaciones de capacidad y la sobrecarga de las celdas pueden ser detectadas fácilmente y las redes pueden ser optimizadas para proporcionar alta capacidad y rendimiento.

Las mejoras de la capacidad debido a MIMO se modelan con precisión debido a sofisticados modelos de propagación deterministas.

Las distintas configuraciones de antenas (lineales, circulares,...) son posibles y su impacto en el canal de radio se determinará durante el análisis de la propagación lo que permite la planificación de la red.

5.3 Desarrollo de las Bases de Datos Necesarias para Simulación

5.3.1 Base de Datos de los Edificios

Para la elaboración de la base de datos de los edificios sobre los que se va a realizar el mapa radioeléctrico del municipio de Murcia, se han ido siguiendo unas pautas para posicionar, plantar en 2d sobre el plano e introducir la altura de los mismos.

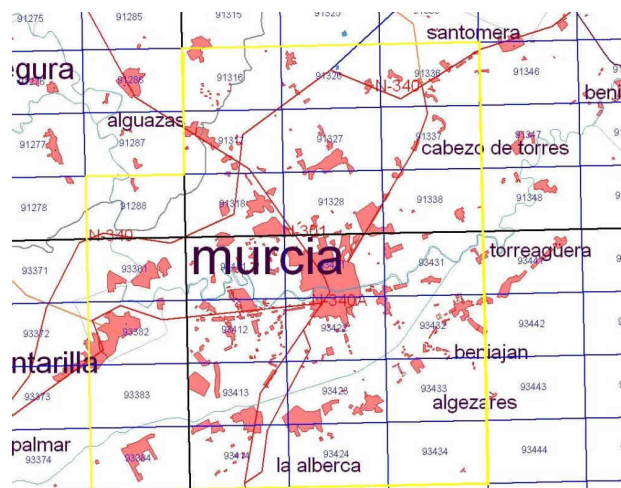


Figura 35. Porción del municipio de Murcia a digitalizar.

Para ello, en primer lugar, se han seleccionado páginas necesarias para albergar todo el municipio mediante los ficheros cartográficos proporcionados en la Web de Cartomur [13]. Una vez seleccionadas, se han ido editando una a una mediante la aplicación de AutoCAD. También se han ido actualizando a modo de obtener unos resultados más precisos en relación a las simulaciones.

Para actualizar el fichero digital en Autocad se han usado imágenes aéreas con fecha de 2009 del municipio de Murcia y se han incluido en el fichero gracias a la opción de imagen ráster de AutoCAD para poder así determinar qué era necesario actualizar.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

El procedimiento seguido para insertar imágenes raster se describe a continuación:

1. Selección de la imagen y se almacenamiento.
2. Desde AutoCAD, se hace click en **Insert → raster image** y escogemos la imagen a insertar.
3. Se sitúa la imagen ráster en la zona deseada y se la hace coincidir con los edificios.
4. Se actualizan los edificios que no aparezcan en la base de datos y se modifican los ya existentes en caso de modificaciones.

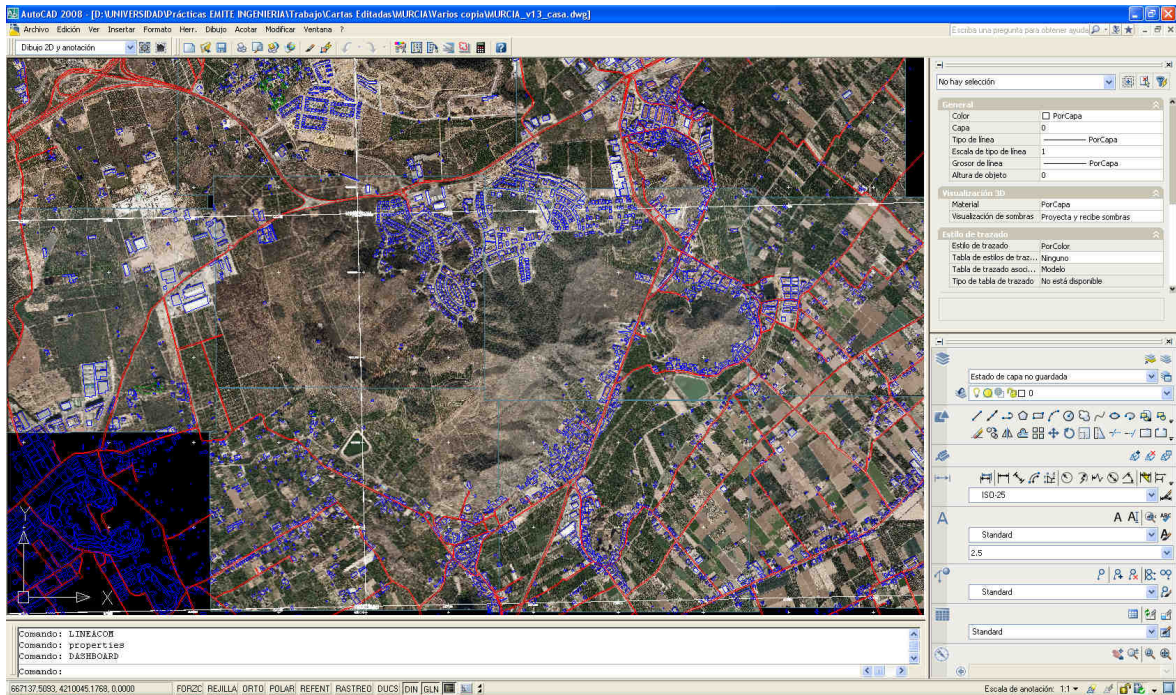


Figura 36. Empleo de imágenes raster en Autocad para actualizar los edificios.

Cuando se han terminado de editar los edificios que se encontraban en el plano, se le ha dado la altura correspondiente. Para ello se ha requerido a la aplicación de “Google Maps ©”, llamada “Street View”, con la que se han ido aproximando la altura de cada edificio editado.

Una vez editadas las cartas, al encontrarse estas compuestas por polilíneas 3D y el software encargado de realizar el render para obtener un diseño 3D del municipio sólo trabaja con polilíneas en 2D se han tenido que pasar todas las polilíneas contenidas en el fichero de AutoCAD a formato de polilínea 2D. Para este paso se ha hecho uso de una aplicación de AutoCAD llamada “p3p2”, la cual se encarga de calcular la altura media de los vértices de una polilínea 3D y convertirla en una polilínea 2D a dicha altura media calculada. Para cargar una aplicación en Autocad: **Herr. → Cargar Aplicación**

Una vez concluida la edición de los edificios, en la *figura 40* se puede apreciar el resultado final.

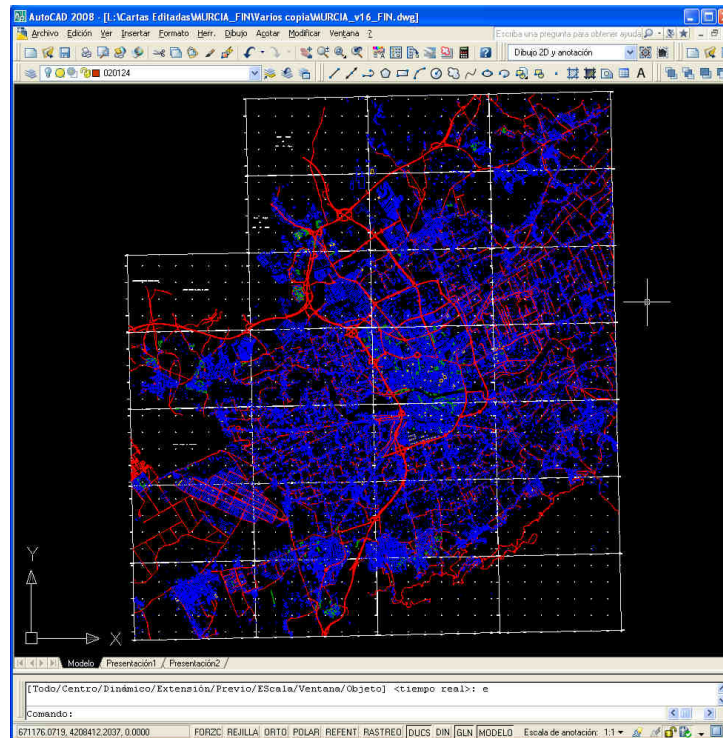


Figura 37. Fichero final con lo edificios actualizados en Autocad.

5.3.2 Capa Topográfica

En este apartado se detalla el procedimiento que se ha seguido para la elaboración del mallado que determinará la topografía del municipio, necesaria para la simulación. Como se ha explicado anteriormente este mallado no es más que una extensa matriz en la que viene determinada la altura (Z) del terreno en función de su posición en el espacio (X, Y).

Debido a que la altura de los edificios se encuentra en valor absoluto (altura sobre el nivel del mar), se debe saber la altura del terreno.

Para que no se genere un mallado erróneo, se han editado las polilíneas que determinan las curvas de nivel de manera que no se encuentren discontinuidades, ya que el software nos generaría un error.



Figura 38. Ejemplo de edición de las curvas de nivel.

Junto con las curvas de nivel utilizadas en formato AutoCAD se encuentran representados también los puntos de altura, que no son más que cotas en dicho punto. Estos puntos darán lugar a una generación del mallado mas preciso.

Para evitar las discontinuidades anteriormente mencionadas, se ha comprobado, sobre todo, la unión de cada una de las cartas de manera que cada curva de nivel se encontrara unida y así no producir error alguno en la edición del mallado.

- **Elaboración del mallado mediante MDT4:**

Debido a los datos que maneja la aplicación WinProp, se debe obtener un mallado que represente la topografía. Este mallado no es más que un fichero tipo matriz donde cada celda representa una posición 3D en el espacio.

Para la elaboración del mallado necesario donde se representa la topografía del municipio, se deben seguir unos pasos para que ésta se genere de forma adecuada.

1. Comprobación de las Curvas de Nivel:

Primero se debe comprobar mediante la aplicación de MDT4 sobre el software de AutoCAD, las Líneas de Rotura. Es decir se deben comprobar las curvas de nivel para que a la hora de que se genere el mallado no suceda ningún error.

Para acceder a esta aplicación se selecciona:

MDT4 → Líneas rotura → Verificar líneas



Figura 39. Comprobación de las curvas de nivel.

Una vez verificadas las líneas, en caso de existir errores, éstos se marcaran sobre el fichero .dwg con un círculo por lo que su reparación es sencilla.

2. Obtención de la superficie (*.sup):

El segundo paso es obtener la superficie, a partir de la cual se obtendrá el mallado. Para ello se deben convertir los puntos que determinan la altura, en entidades de dibujo, para que éstos se tengan en cuenta. Se procede de la siguiente forma:

MDT4 → Puntos → Convertir → Entidades de dibujo

Una vez convertidos los puntos, se va a crear la superficie de todo el territorio a considerar en el municipio. Para ello:

MDT4 → superficies → crear superficie

3. Creación de la malla (*.mll):

Una vez obtenida la superficie, se procede a crear el mallado que describe toda la topográfica del municipio. Para ello se debe seleccionar la siguiente opción de la aplicación de MDT4:

MDT4 → Mapas → Crear malla a partir de superficie



Figura 40. Creación de la malla de la topográfica.

En la casilla “Dimensión de Celda” se configura la resolución que tendrá dicho mallado. En nuestro caso debido a que se tienen dos topográficas, una para entorno urbano y otra para entorno rural, se configurará con dos resoluciones diferentes: 3 metros para entorno urbano y 15 metros para entorno rural.

Una vez finalizado este proceso se habrá creado un fichero de extensión “.mll” que contendrá el mallado de la topográfica.

4. Conversión de la base de datos topográfica (*.tdb):

Una vez se tiene el mallado, se debe obtener la base de datos compatible con la aplicación de ProMan y WallMan. Para ello primeramente se debe cambiar la extensión del fichero del mallado “.mll” por la extensión “.tda”.

Una vez cambiada la extensión el siguiente paso es realizar la conversión de la base de datos a fichero “.tdb”. Para esta conversión se abre la aplicación WallMan y se hace clic sobre: File → Convert topo database

Sobre la ventana que aparece de “Data Conversión”, se debe seleccionar el formato ASCII Line Format, y el Datum debe ser WGS84.

Las coordenadas deben ser UTM, y la zona debe ser la que corresponde a la Región de Murcia, cuyo valor es 30.

La resolución debe coincidir con la asignada en la creación del mallado; 3 metros para la topográfica urbana y 15 metros para la topográfica rural.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

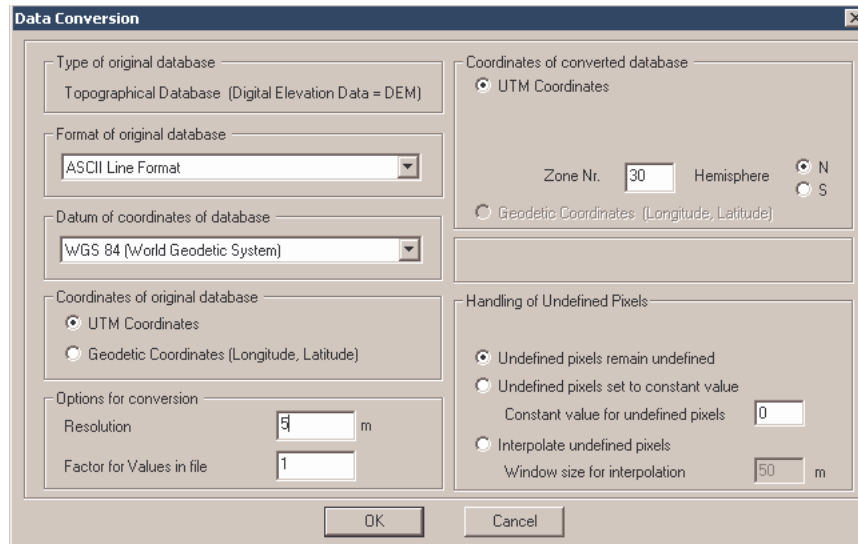


Figura 41. Conversión de la base de datos topográfica.

“Factor for values in file” debe quedar a “1”, ya que se trata de un factor de escalado que multiplica las altura por el número seleccionado. Podría servir, por ejemplo, para pasar de otras unidades a metros si fuera necesario.

La opción “interpolate undefined pixels” puede ser muy útil para cerrar zonas donde las curvas de nivel no llegan.

5.3.3 Ubicación de las Antenas y Elaboración de Casetas sobre Edificios

En primer lugar se ha procedido a la ubicación de las estaciones base de los distintos operadores sobre la aplicación de Google Earth. Una vez identificadas y situadas en el mapa, se han recreado en torno a las estaciones base, las casetas y torretas de forma detallada, ya que los edificios y obstáculos en las proximidades son muy importantes para que los resultados obtenidos tras las simulaciones se asemejen lo máximo posible a la realidad.

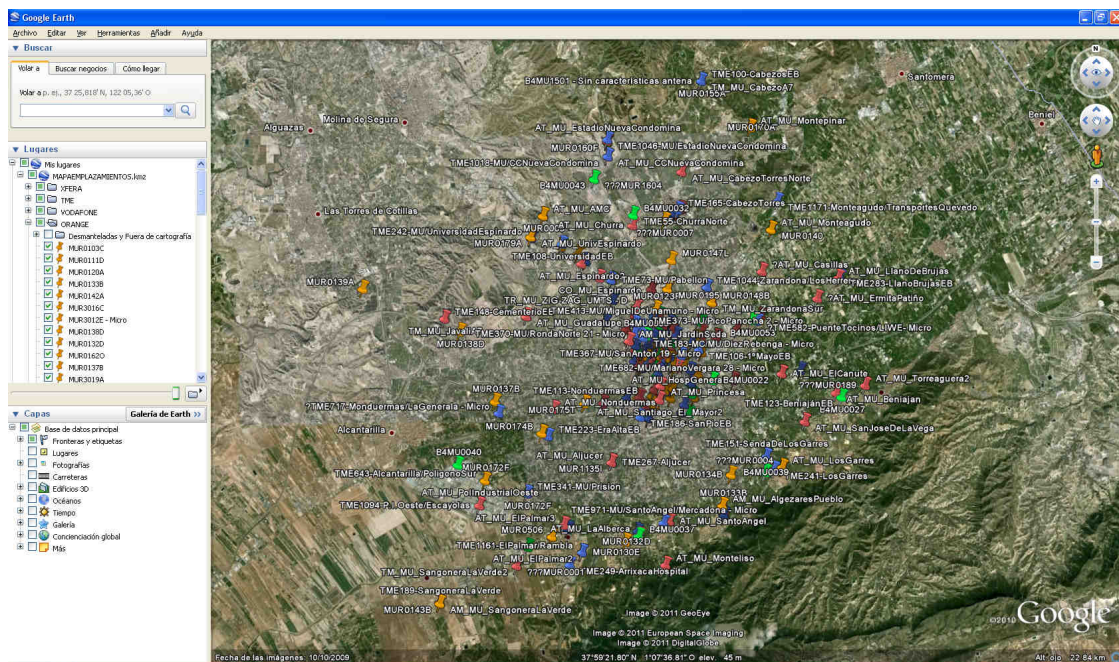


Figura 42. Posicionamiento de estaciones base y antenas dentro del municipio.

Se han ido editando las casetas y torretas en los diferentes edificios donde se emplazan todas y cada una de las estaciones base. En la siguiente imagen (*Figura 43*), puede apreciarse el emplazamiento de varias estaciones base, donde se han elaborado casetas y torres en el entorno de la ubicación de las mismas.

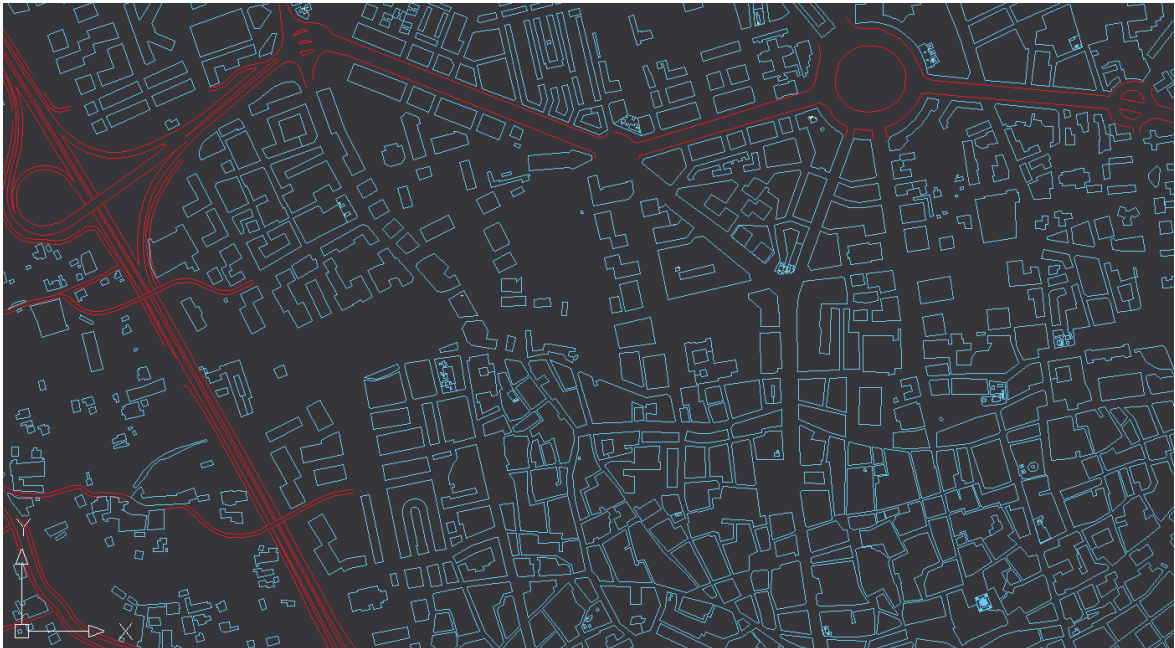


Figura 43. Desarrollo de torretas y casetas en el entorno de las estaciones base.

- **Conversión de la base de datos de los edificios:**

Una vez se ha terminado de editar el fichero en formato ACAD, añadiendo todas las torretas, casetas y patios. Se procede a convertir la base de datos de los edificios.

Para ello, en primer lugar se almacena el fichero de AutoCAD, en formato “.dxf” para su conversión mediante la aplicación desarrollada por ArcGis llamada ArcCatalog. Esta conversión realiza de la siguiente forma:

1. Se abre la aplicación ArcCatalog.
2. Mediante el explorador, se busca la localización donde se encuentra almacenado el fichero “.dxf”.
3. Se selecciona con el botón derecho el fichero y se pulsa sobre **Export → To Shapefile (multiple)**

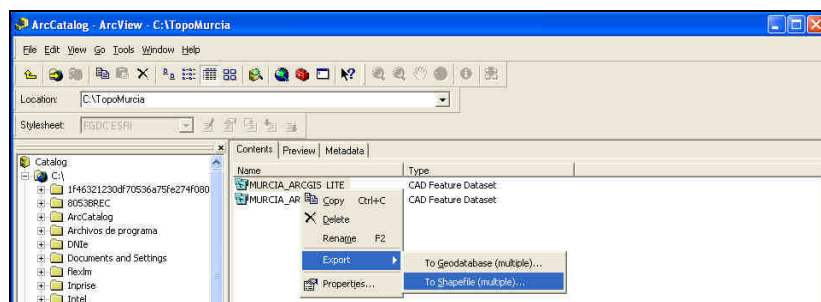


Figura 44. Conversión de la base de datos de los edificios con ArcCatalog.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

- Una vez que ha finalizado el proceso de conversión se obtiene el fichero “.shp” que contiene la información de la base de datos de los edificios a emplear en la aplicación WallMan.

5.3.4 Vista Final de las Bases de Datos

Se puede comprobar con la aplicación WallMan que la base de datos de los edificios se ha creado correctamente.

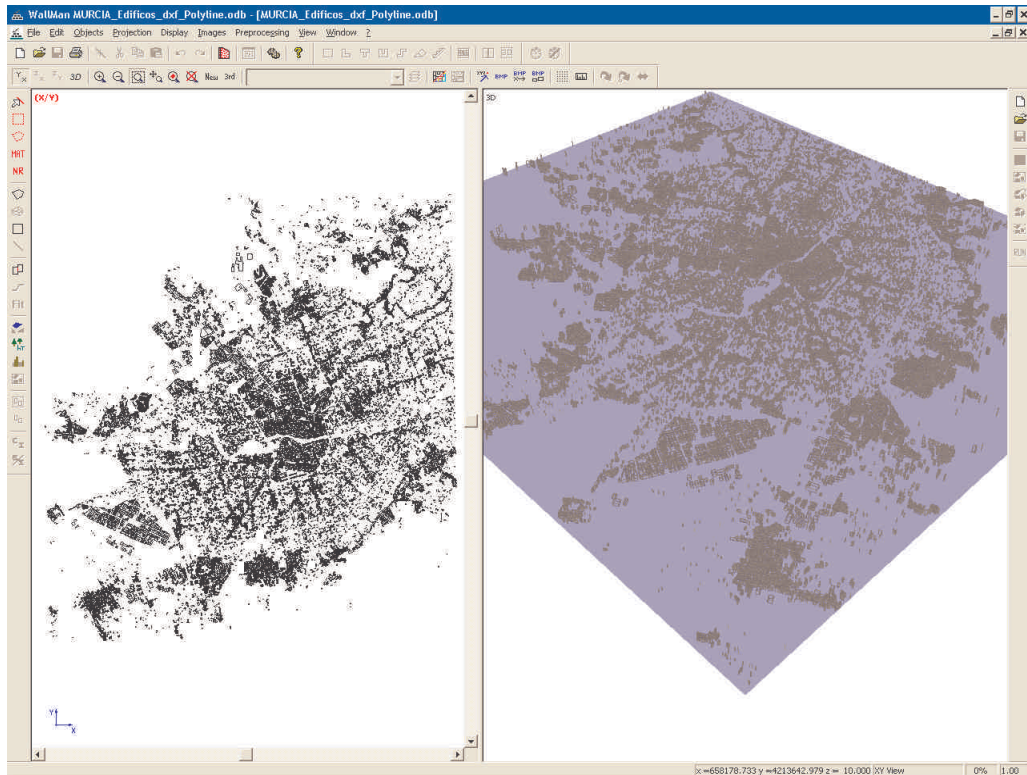


Figura 45. Vista final de los edificios con la aplicación WallMan.

Puede observarse con detalle el resultado de la representación de los patios y las gradas en la aplicación ProMan. Se muestran los estadios de fútbol, la plaza de toros y algún que otro patio.

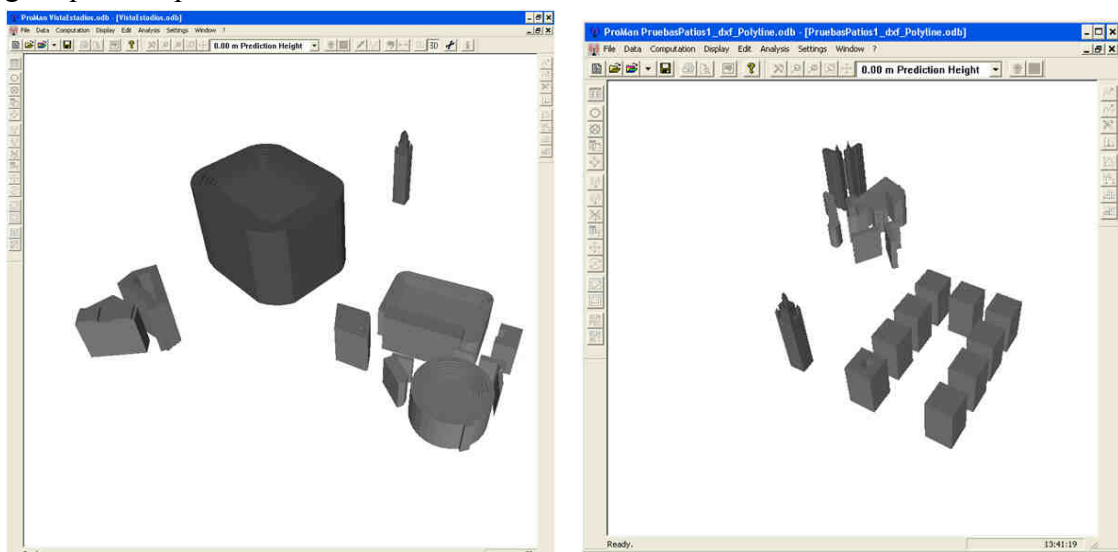


Figura 46. Detalle de representación de los edificios en ProMan.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

Por último, se puede visualizar el resultado final, cargando en Proman las bases de datos de los edificios y la topográfica creadas.

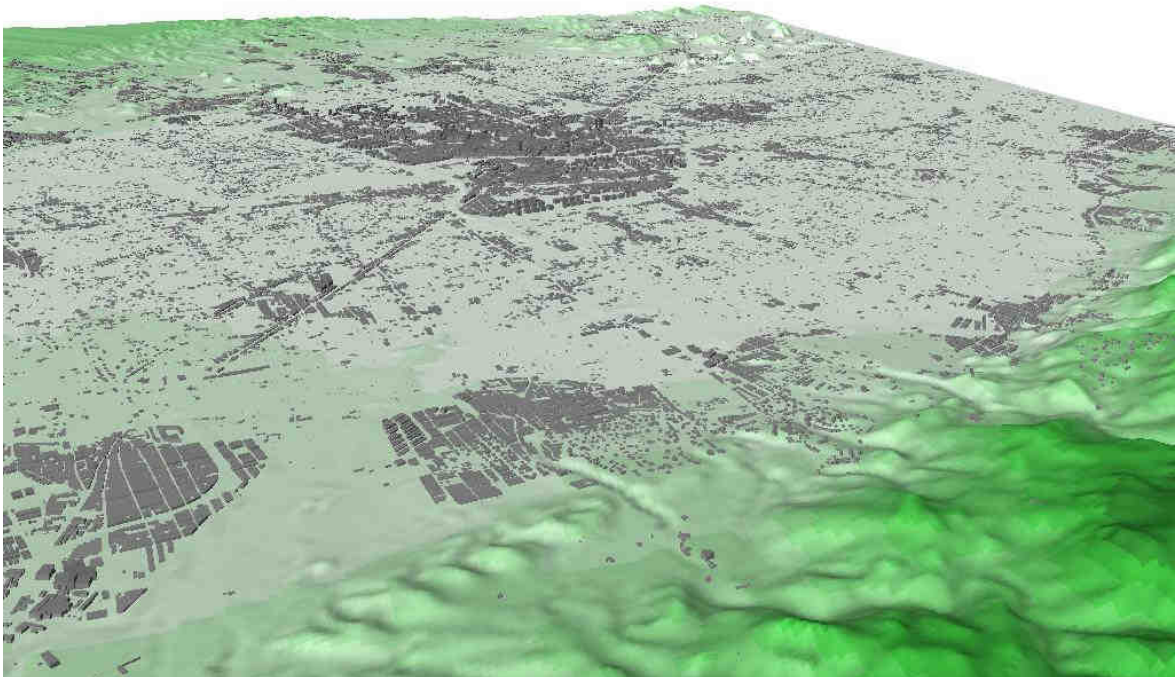


Figura 47. Vista general de edificios y topográfica en Proman.

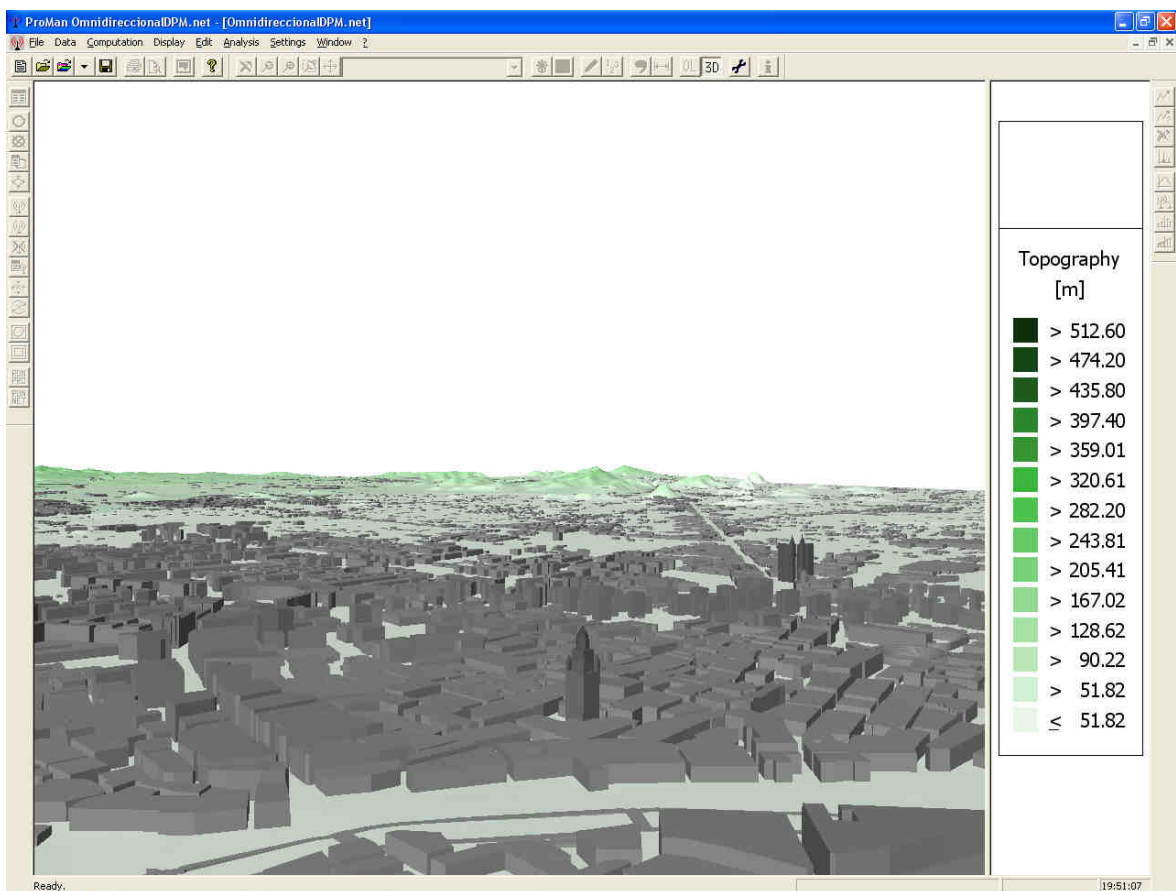


Figura 48. Detalle de representación de los edificios con la catedral de Murcia en el centro.

5.4 Métodos de Simulación Empleados

La propagación de ondas electromagnéticas en escenarios urbanos y semiurbanos está dominado por las múltiples reflexiones (que conduce a guías de onda delimitadas por los edificios ubicados en las calles) y también por las múltiples difracciones (producidas alrededor de las esquinas de los edificios o por los tejados).

En estos escenarios, se deben considerar las múltiples reflexiones y difracciones con el modelo de propagación para obtener una alta precisión. Los modelos empíricos basados en el rayo directo o en el plano vertical entre Tx y Rx, no predicen de manera adecuada las pérdidas de la ruta de acceso y las propiedades de banda ancha de los enlaces de radio urbano y semiurbano. WinProp ofrece rápidos y precisos modelos de propagación deterministas basados en bases de datos vectoriales 3D (edificios) y bases de datos topográficos píxel.

Los árboles y los parques con gran arbolado dan lugar a una alta atenuación de las ondas electromagnéticas. La vegetación debe considerarse en todos los modelos de propagación urbana o semiurbana para garantizar una alta precisión.

Como se ha comentado, la robustez del software de simulación, permite realizar las simulaciones empleando diferentes métodos, en función de la precisión que se quiera alcanzar. Entre los distintos métodos de simulación que se emplean en entornos urbanos y semiurbanos, se destacan los siguientes.

5.4.1 Método COST 231 Walfisch-Ikegami Model

Este modelo empírico es una combinación de los modelos de J. Walfisch y de F. Ikegami. Fue mejorada por los proyectos de COST 231. El modelo considera los edificios en el plano vertical entre el transmisor y el receptor. Anchos de calles, la altura de los edificios, así como las alturas de transmisor y receptor.

La precisión de este modelo empírico es bastante aceptable porque en entornos urbanos y semiurbanos, la propagación es dominante en el plano vertical, sobre los tejados (múltiples difracciones). Sobre todo si los transmisores se montan sobre los techos.

Sin embargo, los efectos de guía de onda producidos en las múltiples reflexiones en las calles (plano horizontal) no se tienen en cuenta. Por lo tanto, la exactitud del modelo COST 231 Walfisch-Ikegami es limitada porque se centra en las difracciones múltiples en el plano vertical.

Este es el método más rápido y por tanto menos preciso de los métodos de simulación ofrecidos en el software.

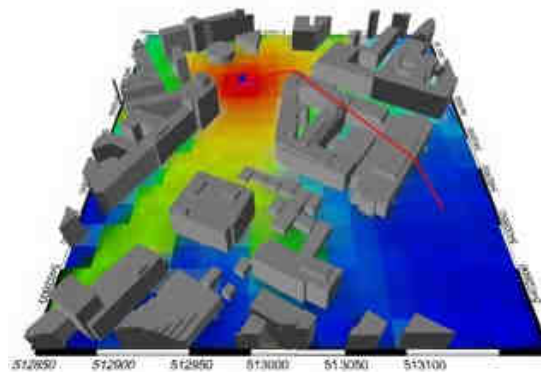


Figura 49. Predicción de la propagación según el modelo COST 231.

5.4.2 Método Urban Dominant Path Prediction Model (DPM)

Este método de simulación es más preciso que el anterior y sus resultados son muy aceptables. Si la ruta que se requiere para la predicción de la propagación son para áreas extensas (50... 400 km²), el modelo de predicción Urban Dominant Path (UDP o DPM) es la mejor elección. El modelo de simulación es muy rápido (las predicciones se procesan en unos segundos). La Interferencia con los transmisores de los suburbios se puede calcular, así como la penetración en los edificios (con la consideración de las paredes interiores).

- Efectos Guía-Onda

En DPM los efectos de guía-onda se tienen en cuenta. Estos efectos se producen, por ejemplo, en una larga calle rectilínea con altos edificios. El trasfondo físico de este efecto es el hecho de que los rayos propagados se reflejan en las paredes en la dirección de propagación. Estos efectos contribuyen a orientar la onda a través de calles cercanas: guía de ondas.

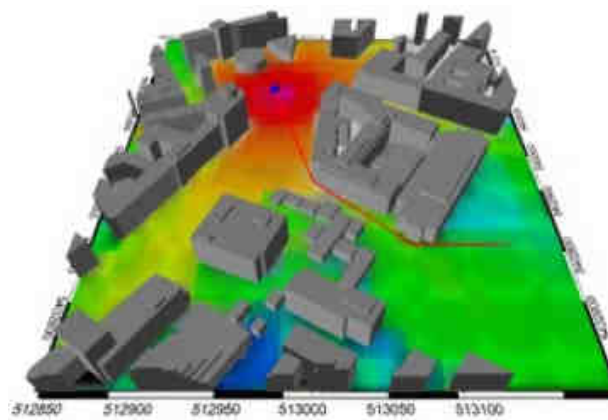


Figura 50. Predicción de la propagación según el modelo DPM.

5.4.3 Método 3D Urban Intelligent Ray Tracing (IRT)

Los modelos de propagación de rayos necesitan un elevado tiempo computacional para la realización de los cálculos. El método IRT 3D de WinProp requiere únicamente un preprocesado previo de los datos, referentes a edificios y capa topográfica, para la reconstrucción del entorno, lo que reduce el tiempo de cómputo de simulación para grandes áreas urbanas en unos pocos segundos.

Con el modelo 3D de alta precisión IRT y la caracterización del canal de propagación de banda ancha (respuesta al impulso, delay,...) se pueden predecir en escenarios urbanos y semiurbanos.

- Clases de Ruta

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes tipos de rayos (directo, reflejado y difractado). Además se pueden tener en cuenta la combinación de múltiples reflexiones y difracciones. Las pérdidas que en el trayecto se producen a lo largo de la propagación de estos rayos, dependen de la cantidad y del número de interacciones de este tipo. Por lo tanto tenemos diferentes clases de rayos, en función de las interacciones previstas en el trayecto. Al hacer la simulación, el tipo de rayos que deben considerarse durante la predicción, se definen utilizando las llamadas clases ruta o Path Class.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

Dentro de una clase específica se puede asumir una pérdida similar para la interacción de los rayos diferentes con el orden creciente de la clase de ruta. Además se puede definir para la predicción un máximo y un mínimo de casos de ruta de acceso.

Éste método de simulación dispone de diferentes clases o niveles de precisión, en función de las reflexiones y difracciones que el método tiene en cuenta a la hora de realizar los cálculos de cobertura:

- Class 1: Direct ray
- Class 2: Single deflection
- Class 3: Double reflection
- Class 4: Single diffraction
- Class 5: Triple reflection
- Class 6: Single reflection + Single diffraction
- Class 7: Double diffraction
- Class 8: Double reflection + Single diffraction
- Class 9: Four reflections
- Class 10: Five reflections
- Class 11: Six reflections

Cabe destacar que, conforme aumentamos la clase con la que calculamos la predicción de la propagación, es decir, conforme aumentamos la precisión, los tiempos de cálculo cada vez son más elevados.

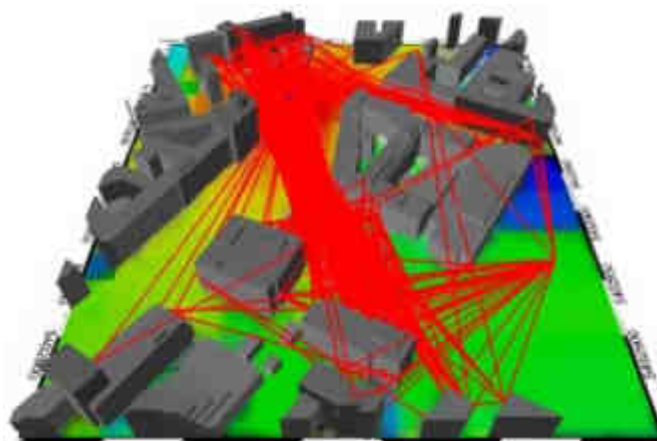


Figura 51. Predicción de la propagación según el modelo IRT.

5.5 Simulaciones Realizadas con los Diferentes Métodos

Una vez desarrolladas todas las bases de datos necesarias para hacer funcionar el software de simulación, se ha procedido a evaluar los diferentes métodos de predicción de la propagación. Las simulaciones se han realizado utilizando todos los modelos que el software nos permite emplear, para así comprobar cuál es el método más adecuado y preciso, cuando se comparen los resultados con los valores obtenidos mediante la toma de medidas reales.

En primer lugar se han ubicado los diferentes sectores de la estación base sobre el edificio en cuestión, en nuestro caso 3 sectores sobre un mismo mástil, y se ha determinado la altura a la que se encuentra la antena quedando de la siguiente manera:

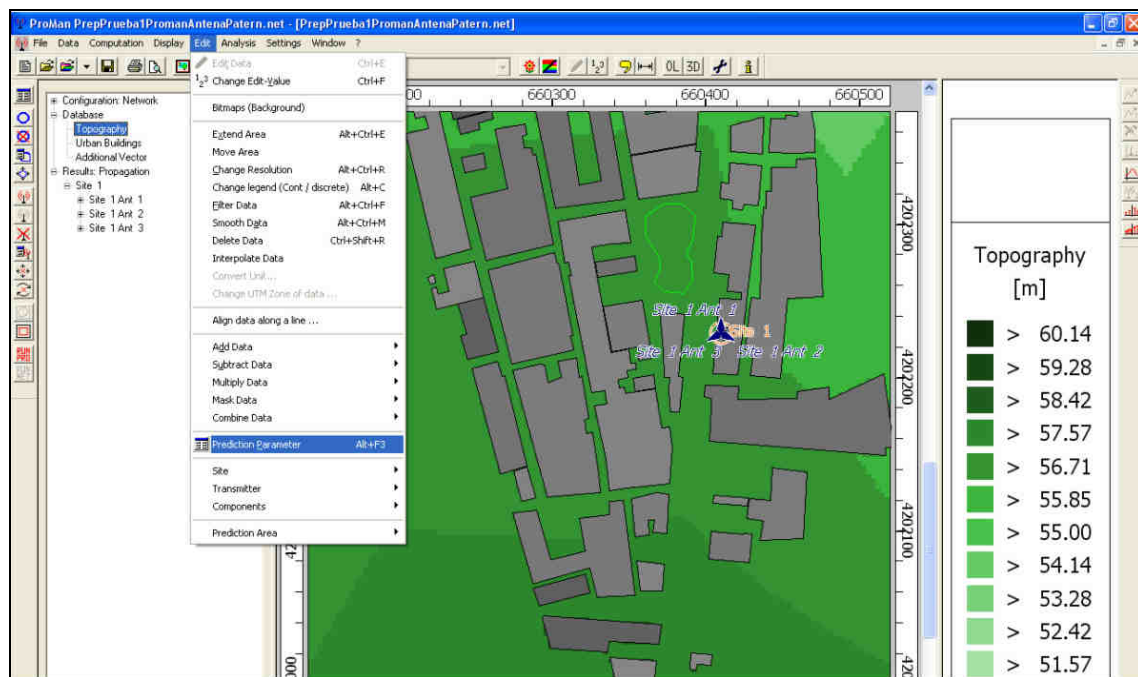


Figura 52. Posicionamiento de los sectores en la estación base.

Una vez situadas las antenas de cada sector en la azotea del edificio con su debida orientación, se han configurado en función de la frecuencia, potencia máxima de emisión e inclinación para cada una de las tecnologías empleadas. Se ha utilizado el patrón del diagrama de radiación de la antena proporcionado por el fabricante función de la frecuencia. Este fichero del patrón de antena no es más que un fichero de tipo matriz, en el cuál según el ángulo de radiación, se describe el nivel de potencia emitida por la antena. El diagrama de radiación la antena bajo estudio es el siguiente:

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

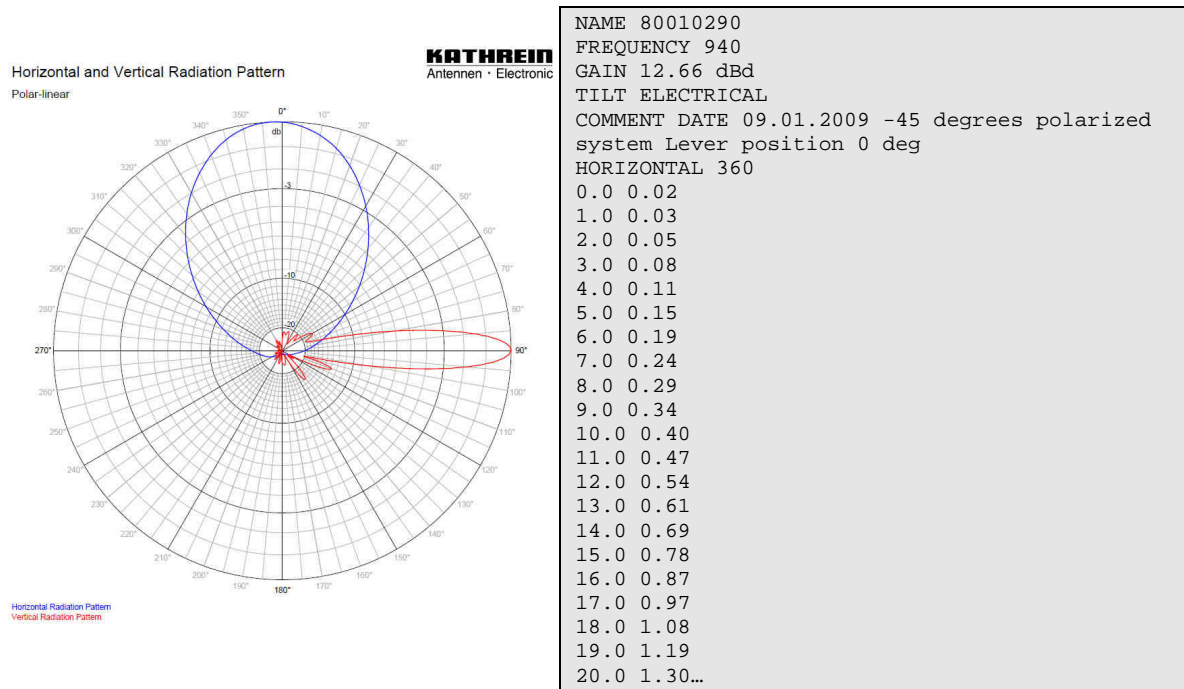


Figura 53. Diagrama de radiación (Izquierda) y fichero del patrón de antena (derecha).

Para visualizar el diagrama de radiación de la antena en 3D y su posterior uso en ProMan, se ha convertido el fichero del patrón de la antena “.msi” mediante AMan en “.apb”.

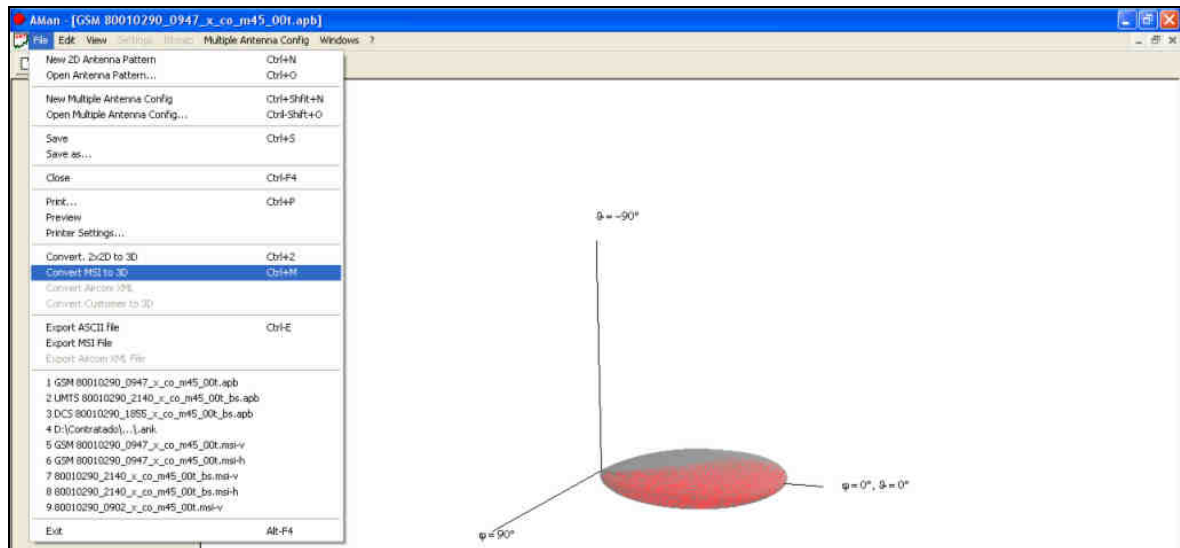


Figura 54. Diagrama de radiación de la antena en 3D en AMan.

Estos datos son los utilizados por ProMan a la hora de simular sobre el entorno. En este caso este patrón solo es adecuado para simular sobre la frecuencia de GSM (940 MHz) por lo que para simular sobre DCS o UMTS se utilizará otro patrón más adecuado.

5. Simulación de la Estación Base en el Entorno

Una vez realizadas todas las configuraciones necesarias para simular a cada una de las frecuencias (GSM, DCS o UMTS), se ha procedido a seleccionar el método con el que se va a simular. A continuación se explica el resultado conseguido por cada modelo y se evaluarán los resultados obtenidos.

Los resultados proporcionados por el software, para cada uno de los métodos de predicción de propagación, se muestran de la siguiente manera (*Figura 55*), a partir de los cuales se obtienen los valores simulados en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ en cada uno de los puntos donde se realizaron las medidas.

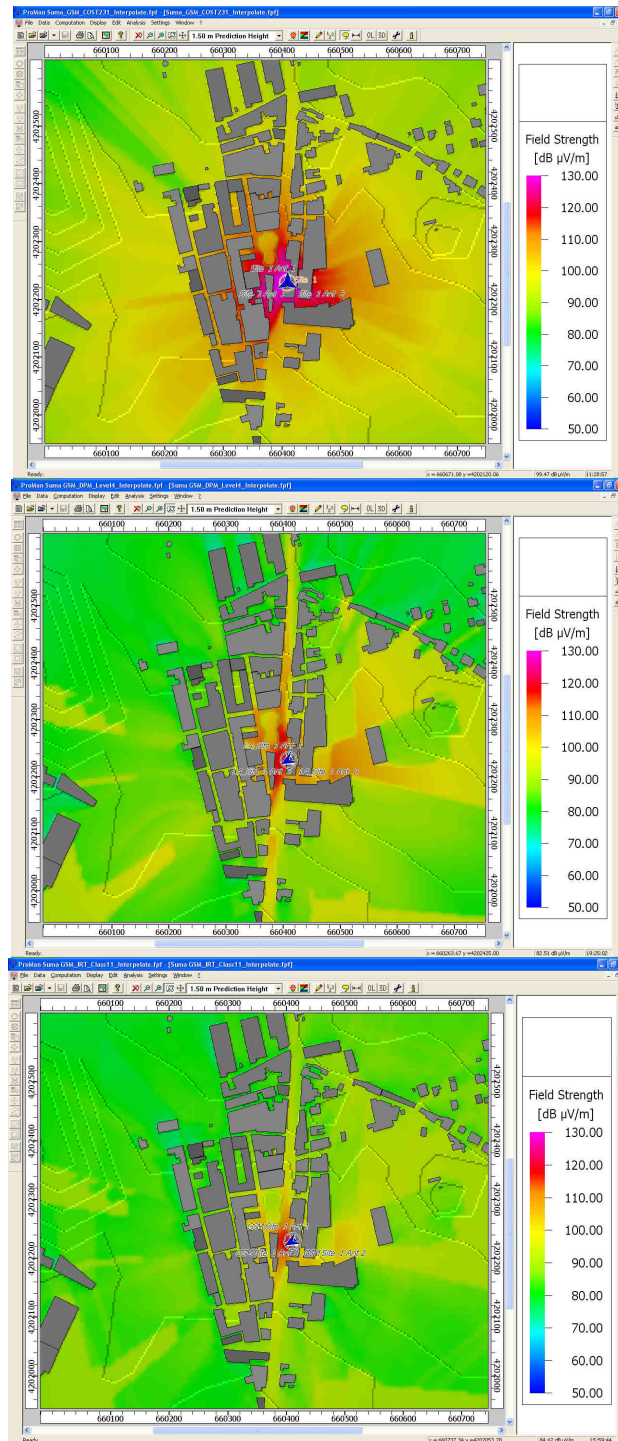


Figura 55. Resultados de las simulaciones. GSM con COST 231, DPM Y UMTS respectivamente.

5.5.1 Simulaciones Realizadas Mediante COST 231

El primer método utilizado para la simulación ha sido el COST 231. Como se sabía a priori, es el método más rápido en lo que a coste computacional se refiere, ya que se trata de un método empírico y no se tienen en cuenta todas las reflexiones ni difracciones existentes en el entorno. Los resultados producidos han sido los siguientes:

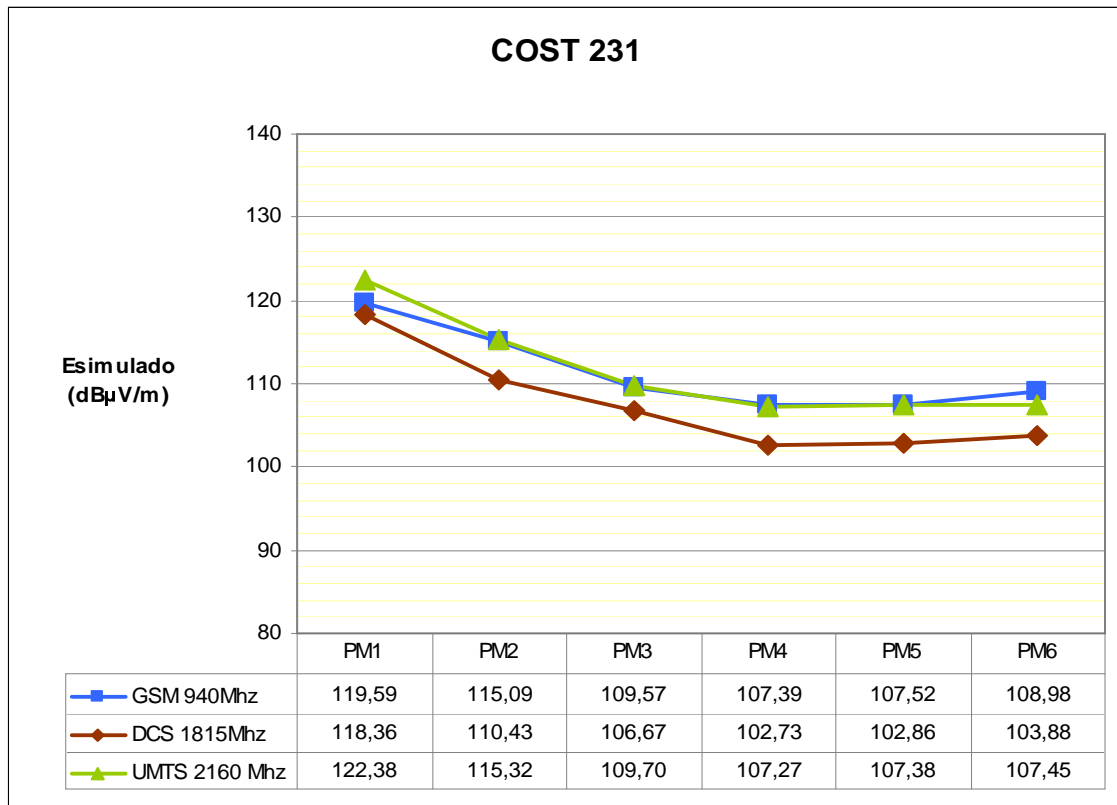


Tabla 16. Resultados obtenidos mediante COST231.

5.5.2 Simulaciones Realizadas Mediante DPM

Los resultados producidos tras simular en el entorno de la estación base mediante el método DPM (Dominant Path Model) han sido los siguientes:

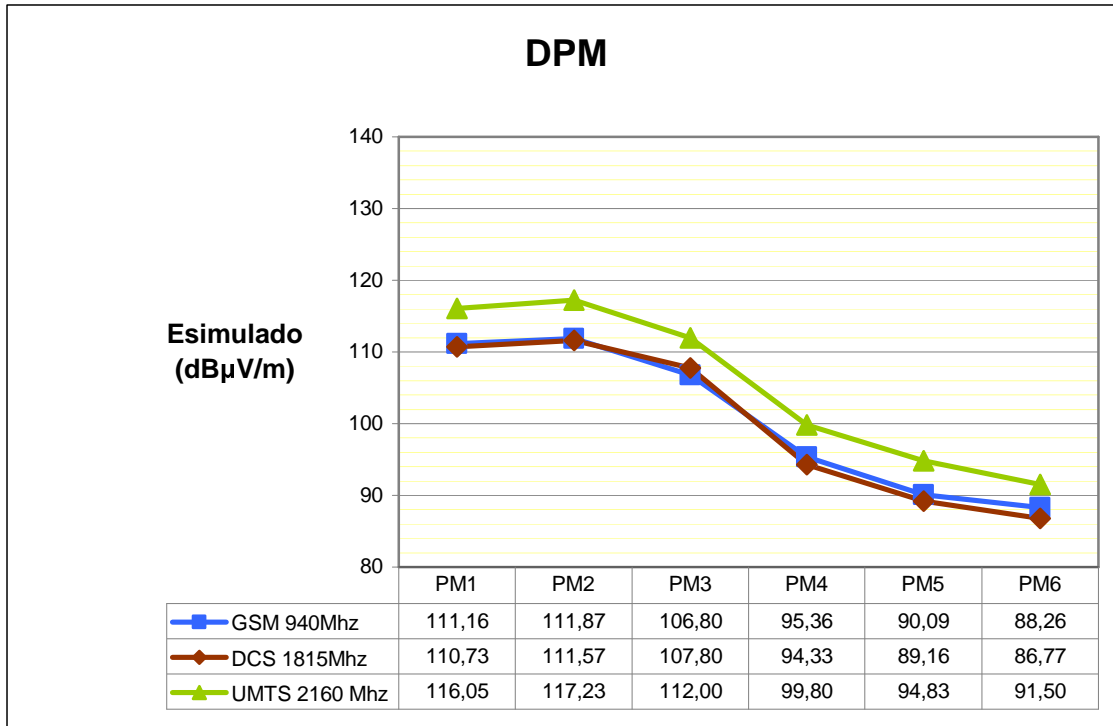


Tabla 17. Resultados obtenidos mediante DPM.

5.5.3 Simulaciones Realizadas Mediante IRT

Las simulaciones realizadas con el modelo IRT han sido más laboriosas y para una representación más clara se han dividido en tres gráficas en función de la frecuencia.

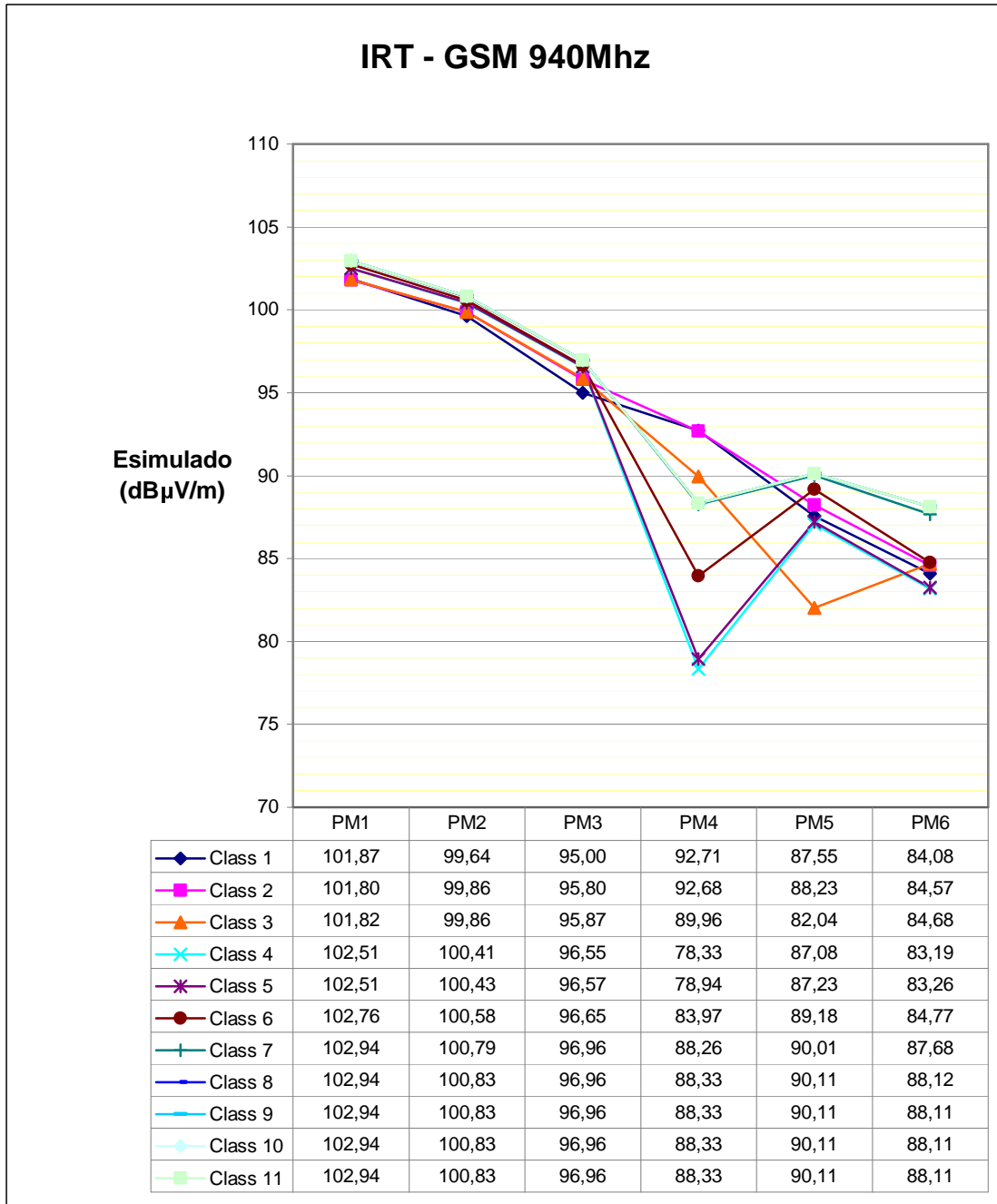


Tabla 18. Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia GSM.

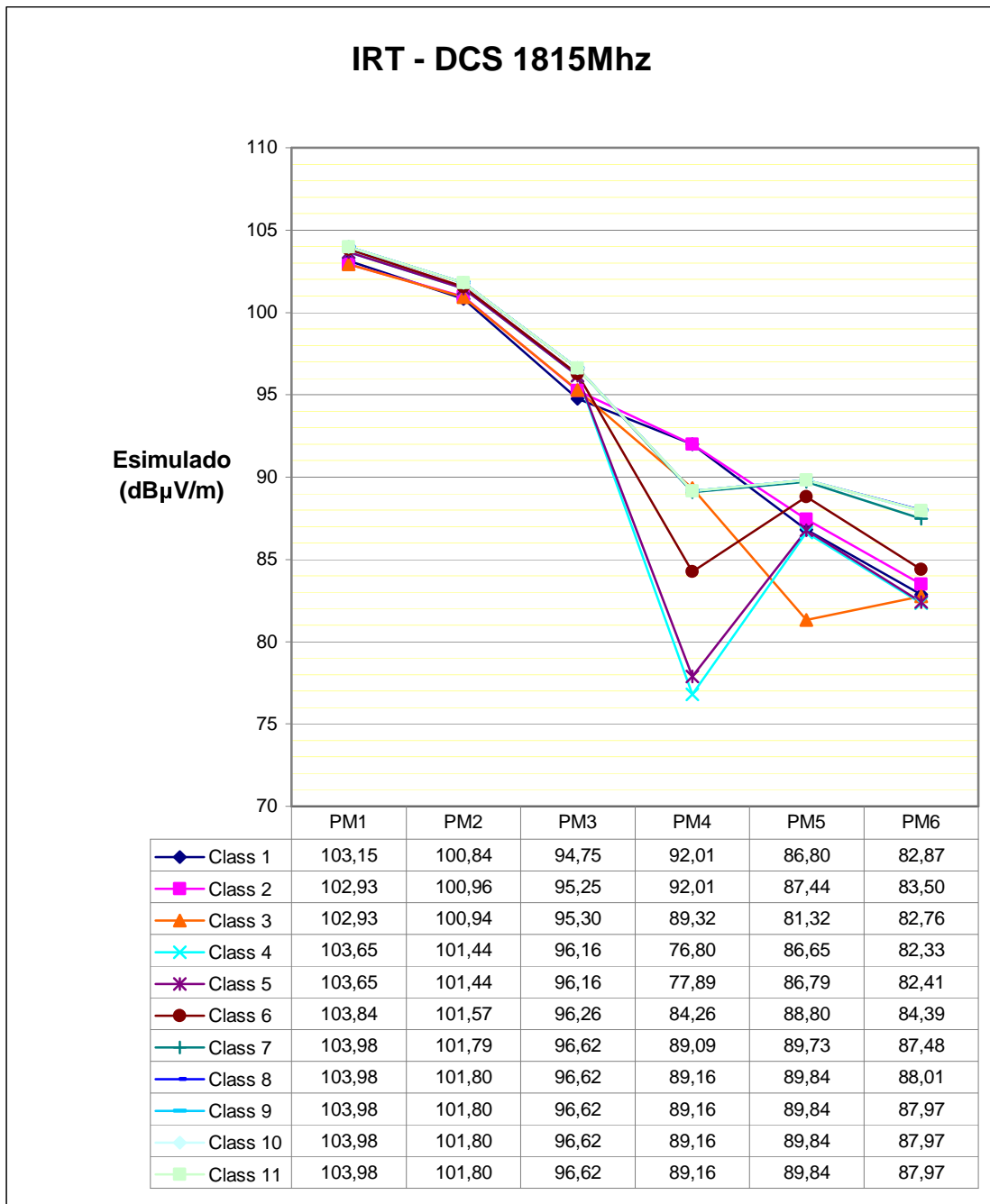


Tabla 19. Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia DCS.

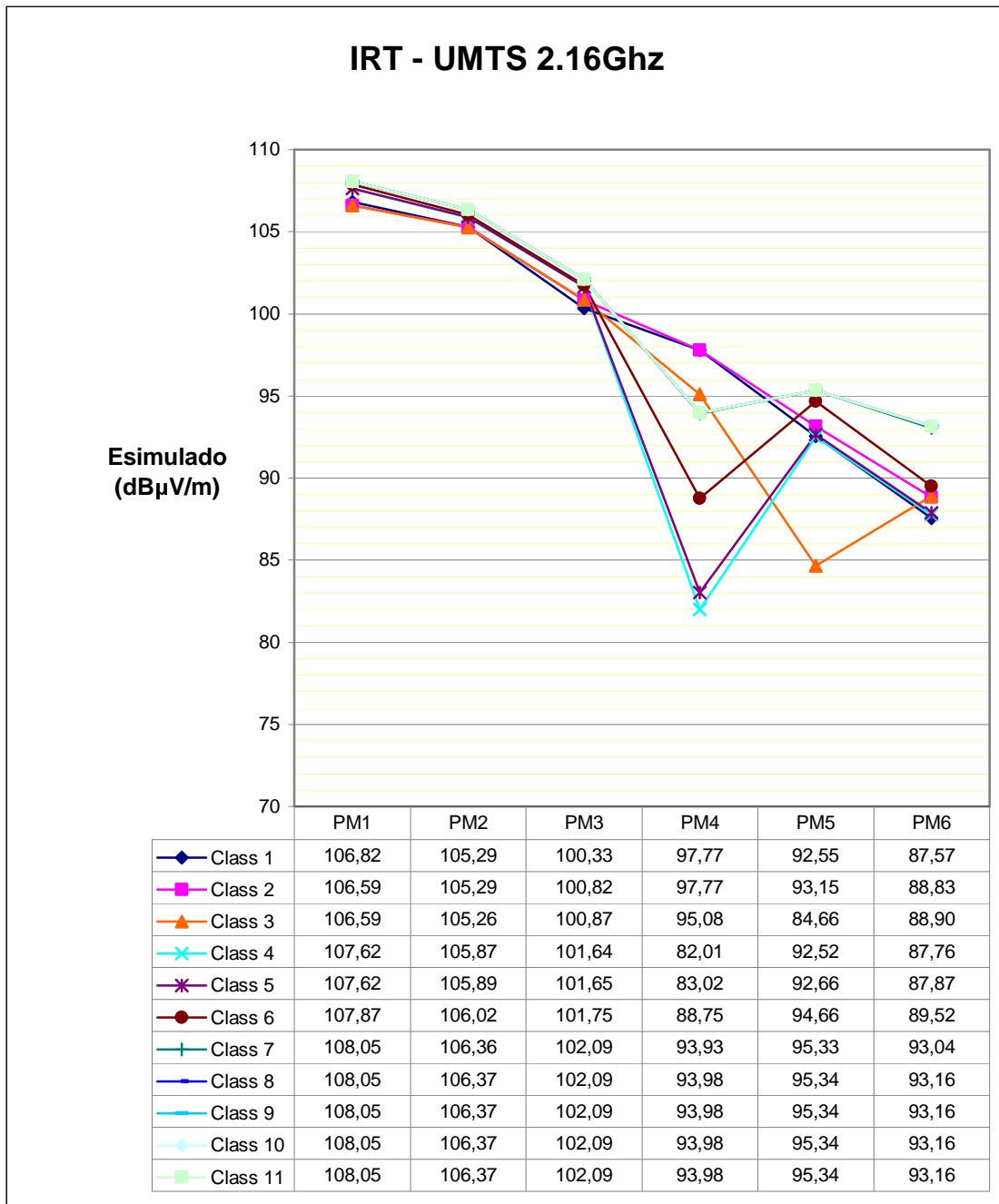


Tabla 20. Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia UMTS.

5.6 Evaluación de los Diferentes Métodos Empleados

En este apartado, se van a evaluar los niveles de exposición estimados que se reciben en cada uno de los puntos de medida que se han tomado, para cada una de las frecuencias de funcionamiento de la telefonía móvil (GSM, DCS y UMTS).

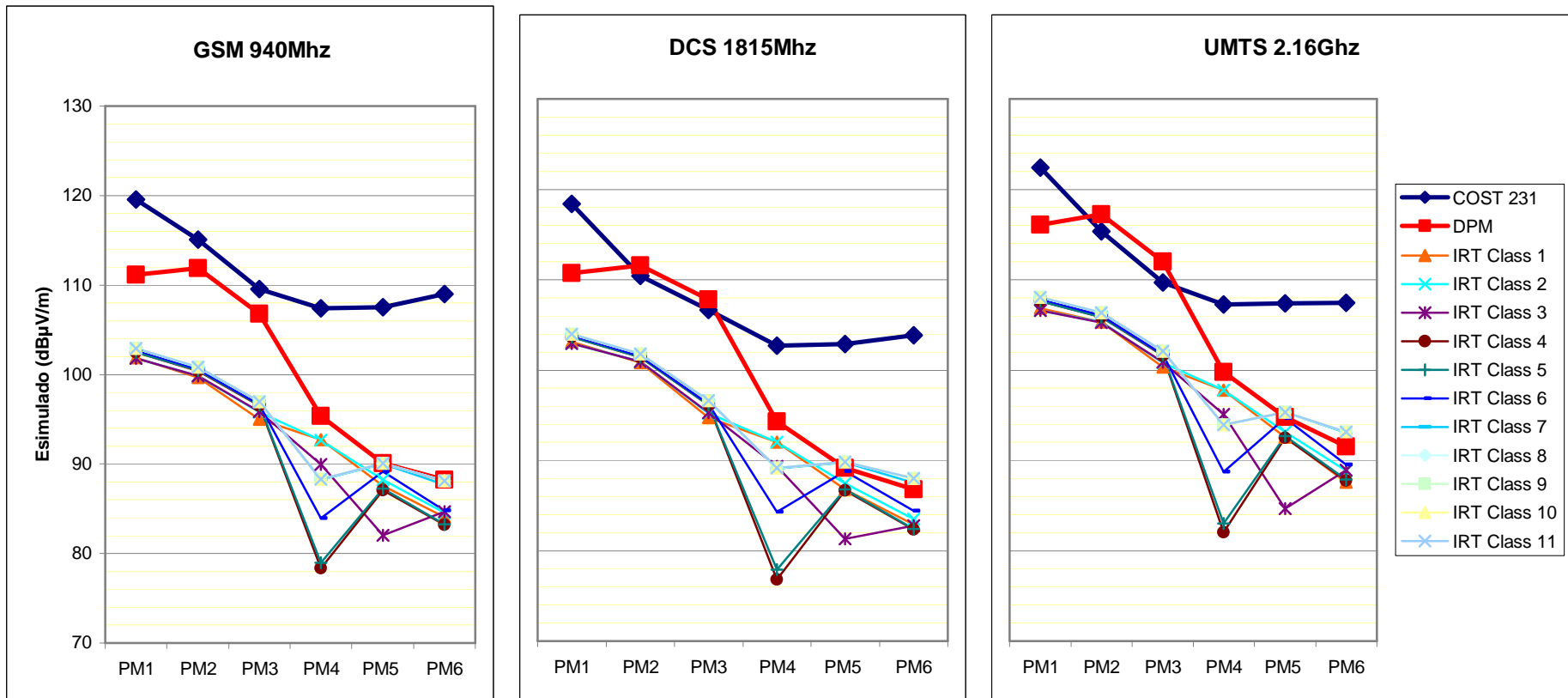


Figura 56. Resultados simulados para cada uno de los métodos de predicción según tecnología.

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores (*Figura 56*), el modelo de propagación que proporciona los valores más elevados, es el método empírico “COST 231”, sobre todo en los puntos sin visión directa. Esto es debido a que a la hora de realizar el cálculo de los niveles de campo, no se tienen en cuenta prácticamente ningún valor de reflexión ni de difracción. Por lo que las pérdidas son prácticamente nulas. Esto puede observarse en las estimaciones tan elevadas respecto a los otros modelos en las tres frecuencias; GSM, DCS y UMTS.

En relación al método DPM, como explica su definición de funcionamiento, los puntos de medida que tienen visión directa con respecto a la antena emisora presentan unas tasas más elevadas de nivel de campo respecto a los valores en los que no se dispone de visión directa. Esto es debido a que las reflexiones y difracciones no contribuyen de forma elevada y es el valor de campo directo el que más aporta sobre el resultado final. Este motivo es el que hace que los valores de los puntos de medida sin visión directa tengan un menor nivel de campo, incluso respecto a los obtenidos mediante el modelo IRT 3D con class superior a 7 y sobre todo en PM5 y PM6.

Observando ahora los resultados obtenidos mediante el método IRT, puede verse como a medida que se va incrementando el nivel de precisión (esto es, aumentando las reflexiones y difracciones que se tienen en cuenta en el momento de estimar los niveles decampo) los niveles en los distintos puntos de medida que no presentan visión directa con las antenas emisoras aumentan considerablemente debido a lo comentado anteriormente.

6. Conclusiones

Una vez completado todo el estudio de la estación base mediante la simulación y la toma de medidas, se procede a la comparación de los resultados obtenidos para concretar cuál es el método óptimo de simulación para así poder desarrollar la aplicación ya comentada en el capítulo 1.

Para cada una de las tecnologías, se han representado los resultados obtenidos mediante los modelos de propagación COST231, “Dominant Path Model” e “Intelligent Ray Tracing”, incluyendo también las medidas tomadas en el entorno de la estación base. Para una mayor comodidad a la hora de interpretar los datos, se ha representado un solo nivel de cada uno de los modelos de propagación excepto del IRT donde se han compactado las clases que presentan resultados afines como se comentará a continuación.

En el caso de DPM, cualquiera de los niveles de precisión proporcionaba resultados similares por lo que se ha escogido el DPM Level 4, ya que es el más semejante a los niveles obtenidos mediante las medidas realizadas.

Para el método de IRT, se han resumido y compactado los resultados que presentan valores similares. Por este hecho, se han representado el Class 1 y 2 de forma conjunta y de igual modo el Class 4 y 5. A partir del “Class 7” en adelante, también se han unificado, ya que el nivel de campo obtenido por los siguientes niveles producen resultados casi idénticos.

A continuación se van a comparar cada uno de los métodos, para ello se valorarán diferentes aspectos a la hora de seleccionar cual es el método más indicado. Esos aspectos son: Niveles de campo estimados, nivel de precisión, tiempo de cálculo computacional y proceso de simulación.

➤ Comparación de Resultados para las Distintas Tecnologías

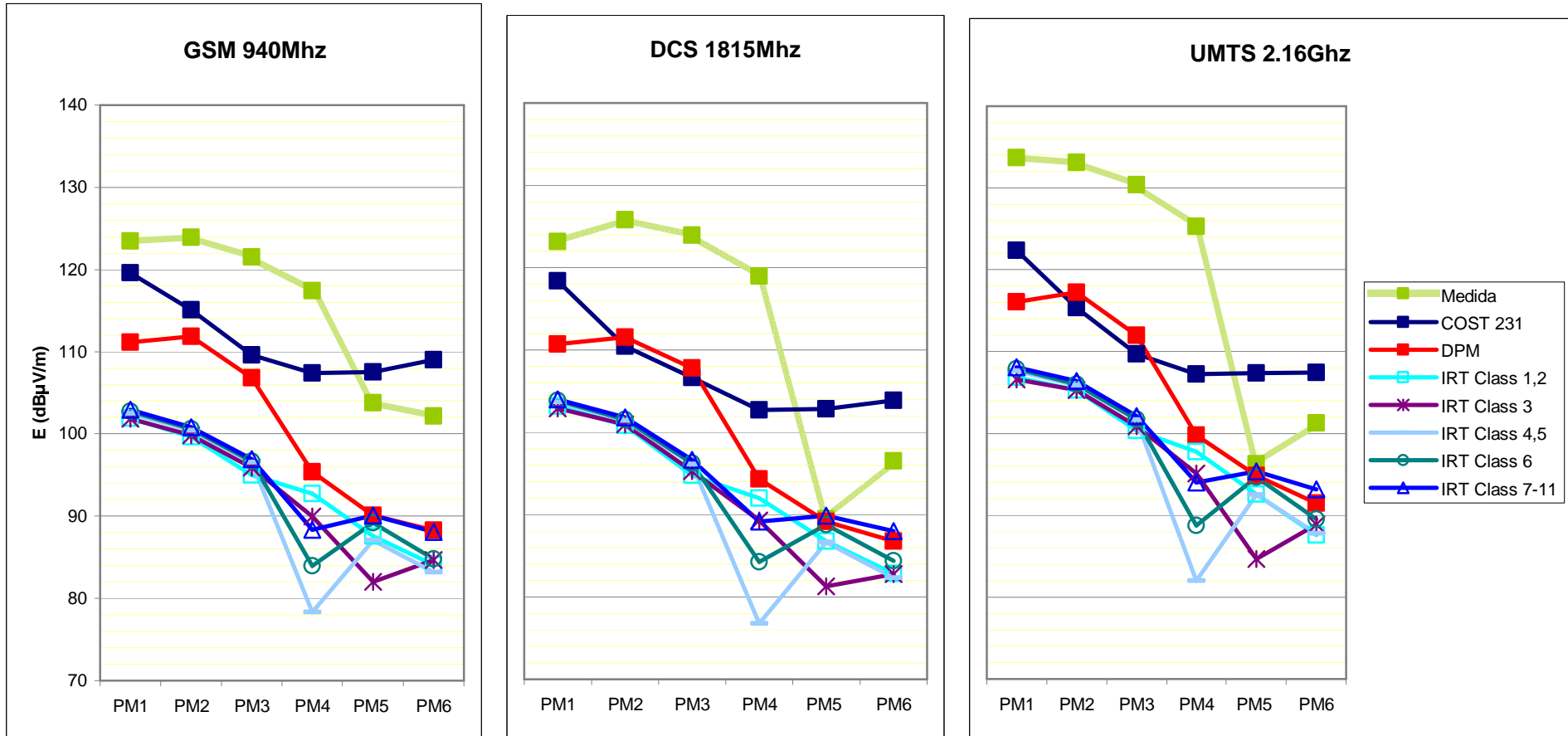


Figura 57. Comparación de los valores medidos con los simulados.

6.1 Comentarios sobre los Resultados Obtenidos

Para valorar cada uno de los métodos de simulación se van a comparar siguiendo las pautas descritas anteriormente.

En primer lugar, a pesar de las diferencias en dB puedan ser muy elevadas, se están evaluando niveles en micro voltios, por lo que los valores son muy pequeños y es por ello por lo que las diferencias en dB pueden parecer muy elevadas. Sin embargo, en voltios, las diferencias son muy pequeñas. Por ejemplo, en el PM1 se tiene:

Valor medido: $123,484 \text{ dB}\mu\text{V} \equiv 1493482,025 \mu\text{V/m} = 1,49 \text{ V/m}$

Mediante DPM: $111.16 \text{ dB}\mu\text{V} \equiv 361409.86 \mu\text{V/m} = 0,36 \text{ V/m}$

Nótese que el nivel de decisión para esta tecnología es de 20,63 V/m, quedando muy por debajo tanto el valor medido, como el simulado mediante el método DPM.

En segundo lugar, se puede apreciar que cada una de las gráficas de los modelos de simulación, presentan un aspecto similar a la curva de las medidas reales en cuanto forma se refiere, excepto el modelo COST231, que se descarta directamente ya que se trata de un método empírico y no es el más preciso. Además proporciona valores más elevados a las medidas en los puntos PM5 y PM6. También se puede ver como el modelo de propagación DPM, proporciona valores más afines en cuanto a la forma, para la totalidad de los puntos de medida. Se puede ver el incremento del nivel de campo obtenido en los puntos donde existe visión directa (PM1, PM2 y PM3). Esto era de esperar ya que por definición del método DPM, este es el método más adecuado, preciso y rápido de todos los modelos de propagación para este tipo de medidas.

Se puede apreciar que el valor medido en PM4 es bastante elevado aun sin tener visión directa con la antena. Esto es debido a la elevada altura de un edificio de reciente construcción en la calle donde se ha realizado dicha medida, provocando el efecto de guía de onda que no refleja claramente el modelo DPM. Por el mismo motivo pero en sentido contraproducente en el PM5 se presentan valores más bajos de los esperados sobre todo para las tecnologías DCS y UMTS. Un edificio de reciente construcción y elevada altura en la dirección del sector de la antena desde el punto de la medida provoca el desvanecimiento de la señal para estas frecuencias. Por lo tanto el efecto sombra que este edificio provoca sobre las tecnologías que trabajan a mayor frecuencia, se puede explicar por la relación directa existente entre la atenuación de las ondas electromagnéticas con la frecuencia. Para entender mejor lo expuesto en este párrafo resulta conveniente la consulta de la *figura 32* para ponerse en situación.

Prestando atención ahora a los resultados producidos por el modelo IRT se puede apreciar como en los puntos con visión directa se obtienen valores más pequeños que para el modelo DPM ya que este modelo de propagación si tiene en cuenta las pérdidas por difracción y reflexión de manera más precisa. También por este motivo se puede ver como en los puntos más alejados de la estación base (sin visión directa) el nivel de campo estimado no baja tanto como el DPM, incluso superándolos en los PM5 y PM6, sobre todo para DCS y UMTS.

En lo que a tiempo computacional se refiere, valorando la relación de precisión/tiempo computacional, el modelo elegido es el DPM ya que el tiempo empleado en el cálculo es del orden de 6 o 7 veces inferior al modelo IRT y presenta mejor estimación en los puntos con visión directa y no tan inferior en visión indirecta. También

destacar que debido al elevado número de estaciones base y antenas de telefonía móvil próximas entre sí, los puntos alejados de una estación se verán incrementados por otras antenas o estaciones más cercanas. Además existe otro inconveniente en el IRT en cuanto a cálculo computacional se refiere y es la necesidad de realizar un preprocesado del territorio.

Valorando todos los resultados obtenidos y estimaciones, se ha concluido que el modelo de propagación más adecuado para el desarrollo de la aplicación del mapa radioeléctrico es el modelo Dominant Path Model (DPM) por producir resultados precisos y reducir el coste computacional.

7. Anexos

Anexo 1. Comisiones y Comités científicos

Existen múltiples organismos y comisiones científicas, tanto nacionales como internacionales, que analizan el comportamiento del cuerpo humano ante la exposición a campos electromagnéticos, describiendo los efectos biológicos que se producen y los potenciales efectos sobre la salud.

Algunos de los comités científicos más reconocidos se enumeran a continuación.

- ARPANSA ^[14]

La “Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency” es una agencia gubernamental australiana cuyo objetivo es la protección de la salud y la seguridad de las personas y del entorno de los efectos de las emisiones radioeléctricas. La ARPANSA es responsable de regular todas las entidades relacionadas con actividades nucleares o de emisiones radioeléctricas del país y llevar a cabo políticas de protección de las mismas.

- COMAR ^[15]

El Comité sobre el Hombre y la Radiación (Committee on Man and Radiation) está constituido por un grupo de expertos en temas de salud y seguridad relacionados con los campos electromagnéticos. Es el Comité Técnico de la Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología del IEEE.

- ICNIRP ^[16]

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) es una comisión científica independiente, creada por la Asociación Internacional de Protección Radiológica en 1974 para mejorar la protección frente a las radiaciones no ionizantes en beneficio de las personas y del medio ambiente. La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida en materia de radiaciones no ionizantes por la Organización Mundial de la Salud y la Oficina Internacional del Trabajo.

- National Radiological Protection Board (NRPB) ^[17]

El Consejo Nacional para la Protección contra la Radiación es una organización independiente que informa al gobierno inglés sobre estándares de protección contra las radiaciones de las ondas electromagnéticas tanto ionizantes como no ionizantes.

- OMS ^[18]

La Organización Mundial de la Salud (OMS, o WHO por sus siglas en inglés) se fundó en el año 1948.

Es una agencia especial de las Naciones Unidas y está formada por 191 Estados. La OMS colabora activamente con otros organismos internacionales entre los que destaca la ICNIRP, la UIT y la Comisión Europea.

- The Royal Society of Canada ^[19]

Es el organismo más antiguo. Fue fundado en el año 1882. Está formado por destacados científicos y expertos canadienses, cuyo objetivo es promover el aprendizaje y la investigación en las ciencias sociales y naturales y en las humanidades.

- SCENIHR ^[20]

Es el Comité Científico de la Unión Europea sobre Nuevos Riesgos Emergentes identificados en la Salud. Sustituye al antiguo CSTEE (Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment). En materia de campos electromagnéticos tiene como actividades principales el seguimiento de la información científica disponible y la valoración de los nuevos riesgos.

Anexo 2. Organismos de Normalización

Numerosos organismos trabajan en la elaboración de normativas sobre los límites de exposición a los campos electromagnéticos y sobre diversos métodos de medida y evaluación de los mismos.

Muchos de los estudios realizados no llegan a ser normativas, sino que se quedan en recomendaciones, debido a que los organismos que las han realizado no tienen capacidad para exigir su cumplimiento. Sin embargo, entidades como el CENELEC a nivel europeo o la FCC en Estados Unidos desarrollan normativas de obligado cumplimiento.

Estos y otros organismos aparecen recogidos en los siguientes apartados.

- Australian Communications and Media Authority (ACMA) ^[21]

La Autoridad Australiana en Comunicaciones y Medios de Comunicación fue creada en julio de 2005 como resultado de la fusión de la Australian Broadcasting Authority y la Australian Communications Authority. La ACMA regula la radiodifusión, las radiocomunicaciones y las telecomunicaciones. También se encarga de los estándares sobre los contenidos de Internet. Asimismo, administra las leyes correspondientes a la protección de los usuarios tanto en salud como en privacidad del servicio.

- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) ^[22]

Es miembro del Comité Europeo de Normalización (CEN) y del CENELEC. Es la organización a través de la cual se canalizan los intereses y la participación de los agentes socioeconómicos de nuestro país en la normalización europea.

- American National Standard Institute (ANSI) ^[23]

El Instituto Nacional Americano de Estándares es una organización privada sin ánimo de lucro fundada en 1918 que administra y coordina la estandarización en Estados Unidos y la conformidad de su cumplimiento.

- European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) ^[24]

El Comité Europeo de Estandarización Electrotécnica se constituyó en 1973 como una organización sin ánimo de lucro. Ha sido reconocido por la Comisión Europea de Estandarización en su campo. Elabora estándares que se aplican en toda Europa, aunque la mayoría tienen ámbito internacional, ya que se desarrollan de forma conjunta con la International Electrotechnical Commission (IEC).

- European Telecommunications Standard Institute (ETSI)

El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones es una organización no lucrativa que se dedica a desarrollar estándares de Telecomunicaciones en función de las necesidades del mercado. Está formada por miembros de 59 países de todo el mundo y representa a la Administración, a los operadores de redes, a los proveedores de servicios, a los fabricantes, a distintas entidades dedicadas a la investigación y a los usuarios.

- Federal Communications Commission (FCC)

La Comisión Federal de las Comunicaciones es una agencia gubernamental independiente de los Estados Unidos. Se estableció en 1934, y se encarga de regular las comunicaciones por radio, televisión, cable y satélite. Está organizada en siete departamentos diferentes que establecen y desarrollan programas de regulación.

- International Electrotechnical Commission (IEC)

EL IEC es un organismo que genera estándares internacionales en todos los campos de la electrónica, el electromagnetismo, la electroacústica y las telecomunicaciones. La misión principal del IEC es promover la cooperación internacional para conseguir la estandarización a nivel mundial y asegurar la conformidad con dichos estándares.

- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos promueve los procesos de ingeniería mediante la creación, desarrollo, integración, compartición y aplicación del conocimiento de las tecnologías electrónicas y de la información para el beneficio de la humanidad.

Anexo 3. Normativa Técnica

En respuesta a la creciente preocupación social, numerosos grupos de expertos y organismos de sanidad de todo el mundo han publicado trabajos que analizan la interacción del cuerpo humano y los campos electromagnéticos, y los posibles efectos sobre la salud de la energía de radiofrecuencia.

En los siguientes párrafos se recoge una breve descripción de los trabajos más importantes llevados a cabo por distintas organizaciones en esta materia.

- A Local Government Official's Guide to Transmitting antenna RF Emission Safety: Rules Procedures, and Practical Guidance. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields ^[25]

En estos dos informes de la FCC se especifican los límites de exposición a los campos entre 300 kHz y 300 GHz, basándose en los límites establecidos por el National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Son de obligado cumplimiento en Estados Unidos.

- Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) ^[26]

Estas recomendaciones de la ICNIRP indican unas guías básicas de exposición a los campos electromagnéticos basadas en estudios y análisis científicos, escalando los límites de seguridad a un valor cincuenta veces por debajo de los valores de campo medidos a los que los efectos en los tejidos son observables.

- Estándares ANSI/IEEE

El estándar *C95.1-2005, IEEE Standard for Safety levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz* ^[27], establece los niveles máximos de exposición a los campos electromagnéticos, y otros estándares como el *C95.3-2002, IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz* ^[28] establecen métodos de medida y evaluación de los campos

electromagnéticos, así como el tipo de instrumentación a utilizar para realizar dichas medidas.

- CENELEC – Human Exposure to Electromagnetic Fields – High Frequency (10 kHz to 300 GHz) ^[29]

Establece los límites de exposición a los campos electromagnéticos hasta frecuencias de 300 GHz. Anuladas en el año 2000 por la CE.

- ITU-T K.52, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos ^[30]

Se establece un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones para asegurar que las emisiones radioeléctricas estén por debajo de los límites establecidos por la ICNIRP.

- Radiation Protection Standard – Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields – 3 kHz to 300 GHz ^[31]

Publicado en Mayo de 2002 por la ARPANSA (Australian Radiation Protection and Safety Agency), una entidad australiana que asesora sobre los posibles efectos sobre la salud y el medioambiente de las emisiones radioeléctricas, establece los límites de exposición a los campos electromagnéticos. Incluye además condiciones de protección del público en general y gestión del riesgo para exposición ocupacional, junto con información adicional de medida y cumplimiento de los niveles.

Anexo 4. Tablas donde se recogen los valores de los distintos niveles de referencia dados por distintas organizaciones en función de la frecuencia del campo al que se está expuesto

- ICNIRP

Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP. Exposición ocupacional.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0 – 1 Hz	--	$1,63 \cdot 10^5$	--
1 – 8 Hz	20000	$1,63 \cdot 10^6 / f^2$	--
8 – 25 Hz	20000	$2 \cdot 10^4 / f$	--
0,025 – 0,82 kHz	500/f	20/f	--
0,82 – 65 kHz	610	24,4	--
0,065 – 1 MHz	610	1,6/f	--
1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	--
10 – 400 MHz	61	0,16	10
400 – 2000 MHz	$3 \cdot f^{0,5}$	$0,008 \cdot f^{0,5}$	f/40
2 – 300 GHz	137	0,36	50

Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP. Exposición público general.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0 – 1 Hz	--	$3,2 \cdot 10^4$	--
1 – 8 Hz	10000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	--
8 – 25 Hz	10000	4000/f	--
0,025 – 0,8 kHz	250/f	4/f	--
0,8 – 3 kHz	250/f	5	--
3 – 150 kHz	87	5	--
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	--
1 – 10 MHz	$87 \cdot f^{0,5}$	0,73/f	--
10 – 400 MHz	28	0,073	2
400 – 2000 MHz	$1,375 \cdot f^{0,5}$	$0,0037 \cdot f^{0,5}$	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	10

Nota: La frecuencia f viene expresada en la misma unidad que la columna del margen de frecuencias.

7. Anexos

- ANSI/IEEE

Valores máximos permitidos establecidos por el ANSI/IEE. Exposición ocupacional.

Frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,1-1,0	1842	16,3/f _M	(9000, 100000/f _M ²)**
1,0-30	1842/f _M	16,3/f _M	(9000/f _M ² , 100000/f _M ²)
30 – 100	61,4	16,3/f _M	(10,10000/f _M ²)
100 – 300	61,4	0,163	10
300 – 3000	--	--	f _M /30
3000 – 30000	--	--	100
30000-300000	--	--	100

Valores máximos permitidos establecidos por el ANSI/IEE. Exposición público general.

Frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,1-1,34	614	16,3/ f _M	(1000, 100000/ f _M ²)**
1,34-3	823,8/ f _M	16,3/ f _M	(1800/ f _M ² , 100000/ f _M ²)
3-30	823,8/ f _M	16,3/ f _M	(1800/ f _M ² , 100000/ f _M ²)
30-100	27,5	158,3/ f _M ^{1,668}	(2,9400000/ f _M ^{3,338})
100-400	27,5	0,0729	2
400-2000	-	-	f _M /200
2000-5000	--	--	10
5000-30000	--	--	10
30000-100000	--	--	10
100000-300000	-	-	(90f _G -7000)/200

Nota: La frecuencia f_M viene expresada en Mhz y f_G en Ghz.

7. Anexos

- ARPANSA

Niveles de referencia establecidos por ARPANSA. Exposición ocupacional.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
100 kHz – 1 MHz	614	1,63/f	--
1 – 10 MHz	614/f	1,63/f	1000/ f ²
10 – 400 MHz	61,4	0,163	10
400 MHz – 2 GHz	3,07·f ^{0.5}	0,00814·f ^{0.5}	f/40
2 GHz – 300 GHz	137	0,364	50

Niveles de referencia establecidos por ARPANSA. Exposición público en general.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
100 kHz – 150 kHz	86,8	4,86	--
150 kHz – 1 MHz	86,8	0,729/f	--
1 – 10 MHz	86,8/f ^{0.5}	0,729/f	--
10 – 400 MHz	27,4	0,0729	2
400 MHz – 2 GHz	1,37·f ^{0.5}	0,00364·f ^{0.5}	f/200
2 – 300 GHz	61,4	0,163	10

Nota : f viene expresado en Mhz.

7. Anexos

- FCC

Niveles de referencia establecidos por FCC. Exposición ocupacional.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,3 – 3 MHz	614	1,63	1000
3 – 30 MHz	1842/f	4,89/f	9000/f ²
30 – 300 MHz	61,4	0,163	10
300 – 1500 MHz	--	--	f/30
1,5 – 100 GHz	--	--	50

Niveles de referencia establecidos por FCC. Exposición público en general.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,3 – 3 MHz	614	1,63	1000
3 – 30 MHz	824/f	2,19/f	1800/f ²
30 – 300 MHz	27,5	0,073	2
300 – 1500 MHz	--	--	f/150
1,5 – 100 GHz	--	--	10

Nota: La frecuencia f viene expresada en la misma unidad que la columna del margen de frecuencias.

7. Anexos

- Ministerio de salud de Canadá

Niveles de referencia establecidos por el ministerio de salud de Canadá. Exposición ocupacional.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,003 – 1 MHz	600	4,9	--
1 – 10 MHz	600/f	4,9/f	--
10 – 30 MHz	60	4,9/f	--
30 – 300 MHz	60	0,163	10
300 – 1500 MHz	3,54·f ^{0,5}	0,0094·f ^{0,5}	f/30
1,5 – 15 GHz	137	0,364	50
15 – 150 GHz	137	0,364	50
150 – 300 GHz	0,354·f ^{0,5}	9,4·10 ⁻⁴ ·f ^{0,5}	3,33·10 ⁻⁴ ·f

Niveles de referencia establecidos por el ministerio de salud de Canadá. Exposición público en general.

Frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (E) [V/m]	Intensidad de campo magnético (H) [A/m]	Densidad de potencia equivalente (S) [W/m ²]
0,003 – 1 MHz	280	2,19	--
1 – 10 MHz	280/f	2,19/f	--
10 – 30 MHz	28	2,19/f	--
30 – 300 MHz	28	0,073	2
300 – 1500 MHz	1,585·f ^{0,5}	0,0042·f ^{0,5}	f/150
1,5 – 15 GHz	61,4	0,163	10
15 – 150 GHz	61,4	0,163	10
150 – 300 GHz	0,158·f ^{0,5}	4,21·10 ⁻⁴ ·f ^{0,5}	6,67·10 ⁻⁵ ·f

Anexo 5. Informes de medidas según modelos facilitados en el Anexo IV de la Orden CTE/23/2002.

- Modelo 1

Aplicable a los estudios y las certificaciones de Estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-1.

<u>Equipo de medida utilizado.</u>			<u>Datos de las Mediciones.</u>						
Marca: Modelo: Nº Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección:			Código de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: Nº total de mediciones: (*):						
<u>Antena utilizada.</u>									
Marca: Modelo: Longitud de cable (m):									
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Nivel de referencia (W/m ²)	Nivel de referencia (V/m)	Nivel de decisión (W/m ²)	Nivel de decisión (V/m)	Valor medido promediado	Valor calculado	Diferencia. (3)-(5) o (4)-(5)
Distancia (m)	Acimut (º)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(8)									

Notas aclaratorias:

(1), (2) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.

(3), (4) Según se señala en el procedimiento para la realización de las medidas de emisión.

(5) En las unidades señaladas en (1) o en (2), si las mediciones estuviesen por debajo del umbral de detección del equipo. Señálese "< umbral". Para las estaciones proyectadas indíquese el nivel preexistente.

(6) Rellenar únicamente para el caso de estaciones de nueva instalación.

(7) Caso de resultar la diferencia negativa, deberán realizarse mediciones en FASE-2.

(*) (8) Rellénesse un registro por cada medición llevada a cabo. El nº de éstas no será inferior a cinco.

7. Anexos

- **Modelo 2**

Aplicable a las certificaciones de estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-2 o FASE-3.

<p><u>Equipo de medida utilizado.</u></p> <p>Marca: Modelo: Nº Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección:</p> <p><u>Antena utilizada.</u></p> <p>Marca: Modelo: Longitud de cable (m):</p>				<p><u>Datos de las Mediciones.</u></p> <p>Código de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: Nº total de mediciones: (*):</p>				
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Frecuencia Medida.	Nivel de referencia (V/m)	Nivel de referencia (A/m)	Valor medido (V/m)	Valor medido (A/m)	Supera el nivel 40 dB inferior al nivel de referencia. SI o NO (6)
Distancia (m)	Acimut (º)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
(8)								

Notas aclaratorias:

- (1) Indíquese la frecuencia del máximo de señal en la banda analizada.
- (2), (3) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.
- (4) En las mismas unidades señaladas en (2).
- (5) Sólo a rellenar en las mediciones de campo cercano.
- (6) Señálese SI o NO según proceda.
- (*) (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo.

Anexo 7. Índice de Figuras:

Figura 1: Espectro electromagnético indicando las distintas bandas de frecuencia y usos.....	14
Figura 2: Tasa de absorción específica (SAR) efectos térmicos.....	15
Figura 3: Niveles de referencia y decisión. Intensidad de campo eléctrico.....	21
Figura 4: Procedimiento de fases de medida y validación.....	22
Figura 5: Equipo de banda ancha NARDA con sonda.....	26
Figura 6: Analizador de espectro R&S®FSH3 y antena del fabricante PMM modelo LP-02 Log- periodic.....	27
Figura 7: Niveles de decisión.....	28
Figura 8: Elección del nivel de decisión según tecnología de la estación base.....	31
Figura 9: Paralelepípedo de referencia.....	32
Figura 10: Corte plano horizontal.....	33
Figura 11: Corte plano vertical.....	33
Figura 12: Dimensiones del paralelepípedo de referencia para dos antenas distintas.....	34
Figura 13: Situación del paralelepípedo de referencia.....	34
Figura 14: Medidor NARDA NBM 550 (izquierda) y Sonda (derecha).....	39
Figura 15: Analizador de espectro FSH3.....	39
Figura 16: Antena Log-Periódica LP-02.....	40
Figura 17: Puesta a cero del analizador de espectro (izquierda) y cálculo de pérdidas del cable (derecha).....	40
Figura 18: Pérdidas en el cable en función de la frecuencia.....	41
Figura 19: Localización de puntos de máximo nivel de campo.....	42
Figura 20: Puntos de medida del entorno.....	42
Figura 21: PM1: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	43
Figura 22: PM2: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	43
Figura 23: PM3: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	43
Figura 24: PM4: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	44
Figura 25: PM5: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	44
Figura 26: PM6: Banda Ancha (I) Pol Horizontal (C) Pol Vertical (D).....	44
Figura 27: Espectros obtenidos para GSM en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.....	45
Figura 28: Espectros obtenidos para DCS en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.....	46
Figura 29: Espectros obtenidos para UMTS en los diferentes puntos de medida y ambas polarizaciones.....	47
Figura 30: Factor de antena PMM LP-02.....	49
Figura 31: Niveles de campo obtenidos según la tecnología a partir de los valores medidos.....	50
Figura 32: Puntos de medida en el entorno de la estación base y sectores de radiación.....	51
Figura 33: Aplicaciones e interfaces empleadas en Winprop.....	55
Figura 34: Simulación de un entorno urbano con múltiples estaciones base.....	55
Figura 35: Porción del municipio de Murcia a digitalizar.....	56
Figura 36: Empleo de imágenes raster en Autocad para actualizar los edificios.....	57
Figura 37: Fichero final con los edificios actualizados en Autocad.....	58
Figura 38: Ejemplo de edición de las curvas de nivel.....	58
Figura 39: Comprobación de las curvas de nivel.....	59
Figura 40: Creación de la malla de la topográfica.....	60
Figura 41: Conversión de la base de datos topográfica.....	61
Figura 42: Posicionamiento de estaciones base y antenas dentro del municipio.....	61
Figura 43: Desarrollo de torretas y casetas en el entorno de las estaciones base.....	62
Figura 44: Conversión de la base de datos de los edificios con ArcCatalog.....	62
Figura 45: Vista final de los edificios con la aplicación WallMan.....	63
Figura 46: Detalle de la representación de los edificios en ProMan.....	63
Figura 47: Vista general de edificios y topográfica en ProMan.....	64
Figura 48: Detalle de representación de los edificios con la catedral de Murcia en el centro.....	64
Figura 49: Predicción de la propagación según el modelo COST 231.....	65
Figura 50: Predicción de la propagación según el modelo DPM.....	66
Figura 51: Predicción de la propagación según el modelo IRT.....	67
Figura 52: Posicionamiento de los sectores de la estación base.....	68
Figura 53: Diagrama de radiación (izquierda) y fichero del patrón de la antena (derecha).....	69
Figura 54: Diagrama de radiación de la antena en 3D en AMan.....	69
Figura 55: Resultados de las simulaciones. GSM con COST231, DPM Y UMTS respectivamente.....	70
Figura 56: Resultados simulados para cada uno de los métodos de predicción según tecnología.....	77
Figura 57: Comparación de los valores medidos con los simulados.....	81

Anexo 8. Índice de Tablas:

Tabla 1: Restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0Hz – 300Ghz) según RD 1066/2001 (f es la frecuencia en Hz).....	18
Tabla 2: Límite campo lejano según tecnología.....	20
Tabla 3: Niveles de referencia y decisión. Intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia para diferentes servicios.....	21
Tabla 4: Valores de decisión.....	29
Tabla 5: Datos del emplazamiento.....	36
Tabla 6: Especificaciones técnicas de la estación base para GSM.....	37
Tabla 7: Especificaciones técnicas de la estación base para DCS.....	37
Tabla 8: Especificaciones técnicas de la estación base para UMTS.....	38
Tabla 9: Atenuación producida en el cable.....	41
Tabla 10: Niveles medidos de campo (dB μ V) para las distintas polarizaciones y tecnologías en cada punto.....	48
Tabla 11: Factor de Antena y Pérdidas del cable.....	49
Tabla 12: Intensidad de campo E (dB μ V/m) tras compensar el Factor de la Antena y las Pérdidas en el cable.....	49
Tabla 13: Intensidad de campo eléctrico E (V/m).....	50
Tabla 14: Intensidad de campo total E (V/m) tras sumar las contribuciones de las polarizaciones vertical y horizontal en cada punto.....	50
Tabla 15: Intensidad de campo total Et (dB μ V/m).....	50
Tabla 16: Resultados obtenidos mediante COST 231).....	71
Tabla 17: Resultados obtenidos mediante DPM.....	72
Tabla 18: Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia GSM.....	73
Tabla 19: Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia DCS.....	74
Tabla 20: Resultados obtenidos mediante IRT para frecuencia UMTS.....	75

Referencias:

- [1] Irene Isabel Fernández Tobías, Noelia Miranda Santos, Mariano Molina García, José Ignacio Alonso Montes, Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnicas de medida y Protocolos de Certificación, Informe COIT, 2007, Volumen 1, pp 8-103.
- [2] Real Decreto 1066/2001, de 28 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- [3] Orcen CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.
- [4] Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información (SETSI), Normas básicas para la realización de proyectos técnicos de estaciones de radiodifusión (sonora y televisión), Noviembre 2010.
- [5] Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 24 de Abril de 2004 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos).
- [6] <http://www.narda-sts.us/> Aparato de medidas NARDA NBM-550
- [7] <http://www.narda-sts.us/> Sonda de medida banda ancha NARDA
- [8] <http://www2.rohde-schwarz.com/> Analizador de espectros ROHDE&SCHWARZ FSH3
- [9] <http://www.testequipmentconnection.com/> PMM LP-02 Log-Periodic Antenna
- [10] Ministerio de Industria Turismo y Comercio (MITYC), Informe sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación, 2009.
- [11] Ministerio de Industria Turismo y Comercio (MITYC), Recomendaciones para la elaboración y presentación de memorias técnicas de estaciones radioeléctricas en proyecto del sistema LMDS y similares, 2009, Volumen 3, pp 15-25.
- [12] <http://www.awe-communications.com/> Página Web Awe-Communications.
- [13] <http://www.cartomur.com/> Página Web Cartomur.
- [14] <http://www.arpansa.gov.au/pubs/eme/rfrep129.pdf> ARPANSA, Levels of Radiofrequency Radiation from GSM Mobile Telephone Base Stations. January 2000.
- [15] <http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/base.htm>, COMAR, Safety Issues Associated With Base Stations Used for Personal Wireless Communications. September 2000.
- [16] <http://www.icnirp.de/documents/statgdl.pdf> ICNIRP Guidelines on Limits to Exposure to Static Magnetic Fields. 2009.
- [17] National Radiological Protection Board (NRPB), Advice on Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz), Vol. 15, N° 2, 2004.
- [18] World Health Organization (WHO), Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences. June 2005.
- [19] The Royal Society of Canada, Review of the potential health risk of radiofrequency fields from wireless telecommunications devices. March 1999.
- [20] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. March 2007.
- [21] Australian Communications and Media Authority (ACMA), Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Radiation. October 2005.
- [22] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Equipos Y Métodos de Medida Relacionados con los Campos Electromagnéticos en el Entorno Humano. AEN/CTN 215.
- [23] American National Standard Institute (ANSI), Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetics Fields, 300 Khz to 100 Ghz. September 1982.
- [24] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), Standards for Occupational EMF Exposure. February 2007.
- [25] Federal Communications Commission (FCC), A Local Government Official's Guide to Transmitting antenna RF Emission Safety: Rules Procedures, and Practical Guidance. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. June 2000.

Referencias

- [26] www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). 1998.
- [27] C95.1-2005, IEEE Standard for Safety levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. Mayo 2006.
- [28] C95.3-2002, IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 Ghz. December 2002.
- [29] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), Human Exposure to Electromagnetic Fields, High Frequency (10 Khz to 300 Ghz), CENELEC Standard ENV 50166-2, January 1995.
- [30] http://catedra-coitt.euitt.upm.es/web_salud_medioamb/normativas Recomendación de la unión internacional de telecomunicaciones UIT-T K.52. Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Febrero 2000.
- [31] <http://www.arpansa.gov.au/pubs/rps/rps3.pdf> ARPANSA, Radiation Protection Standard – Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields – 3 kHz to 300 GHz. May 2002.