



MINISTERIO DE
INDUSTRIA, TURISMO Y
COMERCIO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES
Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

INFORME SOBRE LA EXPOSICION
DEL PUBLICO EN GENERAL A LAS
EMISIONES RADIOELECTRICAS DE
ESTACIONES DE
RADIOCOMUNICACIÓN
AÑO 2005

MADRID, MAYO 2006

Capitan Haya, 41.
28071 MADRID
TLF.: 91 346 15 00
FAX: 91 346 28 18



INDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- ACTUACIONES DE INSPECCIÓN

2.1.- MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES

2.2.- AUDITORIA DE CERTIFICACIONES

3.- OTRAS ACTUACIONES

4.- ANEXOS:

1.-MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES

2.- AUDITORÍA DE CERTIFICACIONES

3.- PROCEDIMIENTO DE MEDIDA DE RADIACIONES



1.- INTRODUCCIÓN

El Artículo 9 del Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas establece que:

“Los servicios técnicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología (actualmente Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) elaborarán planes de inspección para comprobar la adaptación de las instalaciones a lo dispuesto en este Reglamento”.

“Con carácter anual el Ministerio de Ciencia y Tecnología, sobre la base de los resultados obtenidos en las citadas inspecciones y a las certificaciones presentadas por los operadores, elaborará y hará público un informe sobre la exposición a emisiones radioeléctricas”.

La finalidad de este informe es dar cumplimiento a dicha medida.

En este informe se exponen y analizan los resultados obtenidos en las inspecciones y actuaciones realizadas por los servicios de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, para la comprobación del estado de la planta radioeléctrica de los operadores de telecomunicaciones instalada en España y de las certificaciones realizadas por los técnicos competentes, en el pasado año 2005.



En abril de 2003 se elaboró el primer informe, con datos correspondientes al año 2002, sobre la adaptación de las instalaciones radioeléctricas a lo dispuesto en el Real Decreto 1066/2001, habiéndose constatado en el mismo que los niveles de intensidad de campo y densidad de potencia medidos por los servicios de Inspección de la Administración en los 3.818 lugares sensibles identificados, se encontraban muy por debajo de los valores de referencia establecidos en el citado Real Decreto. En el informe correspondiente al año 2003, confeccionado en abril de 2004, se concluye en relación con las zonas sensibles que también se cumplen con amplísimos márgenes los niveles de referencia establecidos por la normativa vigente, este mismo cumplimiento con amplísimos márgenes por debajo de los límites de referencia, se constata en los resultados de los datos analizados correspondientes a los años siguientes, hasta la fecha. Con lo que se puede afirmar que desde el inicio de la elaboración de estos informes, es una constante el cumplimiento con gran margen de seguridad de los límites de referencia establecidos.

Por otra parte, en relación con la auditoria de las certificaciones presentadas por los operadores, tanto en el informe realizado en abril de 2003, como en el informe de abril de 2004 y en el de mayo de 2005 se constató así mismo que dichas certificaciones fueron realizadas correctamente y permitieron comprobar que los niveles de exposición en el entorno de las estaciones, donde pueden permanecer habitualmente las personas, se encontraban por debajo de los límites establecidos, asimismo en este informe se expone el procedimiento de auditoria realizado y sus conclusiones que permiten reafirmar que: **“todas las mediciones llevadas a cabo en todo el territorio nacional, han arrojado valores de exposición radioeléctrica muy inferiores a los señalados en el Real Decreto 1066/2001, como límite de referencia, que garantiza la salud para las personas”**.



En el informe, además, se resumen las actuaciones realizadas por los servicios de inspección con objeto de dar respuesta a las solicitudes de información de otras Administraciones e Instituciones Públicas.

2.- ACTUACIONES DE INSPECCION

2.1.- MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES

2.1.1.- Identificación del universo y del tamaño de la muestra

Las primeras actuaciones realizadas dentro del Plan de Inspección del año 2005 se refieren a las actuaciones realizadas en las denominadas áreas sensibles. La experiencia acumulada y los resultados obtenidos de las campañas de medidas realizadas durante el desarrollo de las inspecciones llevadas a cabo los años anteriores sirven de base para la consideración de los lugares sensibles ya identificados con anterioridad y que se corresponden con un total de 3.818 áreas consideradas como tal.

Se debe poner de manifiesto que las nuevas instalaciones que han realizado los operadores, principalmente de estaciones base de telefonía móvil automática de la tercera generación UMTS, se han ubicado preferentemente junto a las ya existentes para las modalidades de GSM y DCS.1.800, por lo que no han aparecido nuevas estaciones situadas en el entorno de espacios sensibles que no estuvieran ya identificados en años anteriores.



Esto significa que el universo de espacios sensibles se mantienen en los 3.818 espacios sensibles reconocidos en años anteriores y a partir de este valor se define el tamaño muestral. Para ello, con una probabilidad del 97,5% de que el error cometido sea menor o igual que el 4%, con p igual a 0,95, el tamaño de la muestra a analizar alcanza el valor de 143.

No obstante, la muestra real tomada ha sido ligeramente mayor, con el fin de que al menos aparezca una estación base por provincia, con un total de 149 puntos sensibles comprobados con lo que la probabilidad de que el error cometido se menor al 4% es mayor al 97,5% de partida.

El total de 149 espacios sensibles medidos, se ubican en un entorno aproximado de 100 metros de radio de alguna estación base de telefonía móvil, y se concretan en 69 centros de enseñanza, 20 centros hospitalarios y 60 parques públicos. La distribución por provincias y Comunidades Autónomas de las medidas efectuadas y los resultados obtenidos, se muestra en Anexo I; así como la distribución, por centros de enseñanza, centros de salud y hospitalarios y parques públicos.

2.1.2.- Análisis de los niveles de exposición

Los funcionarios de los Servicios de Inspección de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información de las distintas provincias, son los que se han encargado directamente de las medidas de intensidad de campo ó de densidad de potencia. De acuerdo con lo establecido en la normativa la realización de las medidas se ha efectuado ateniéndose al protocolo establecido en la Orden Ministerial CTE/23/2002.



Los equipos de medida utilizados (medidores y sondas) responden a las características estándar de los equipos mayoritariamente utilizados para este tipo de trabajos tanto en España como en los países de nuestro entorno, estando todos ellos perfectamente calibrados.

Los niveles medios de exposición radioeléctrica, considerados a nivel autonómico, nos proporcionan unos resultados que oscilan entre el máximo de 3,354 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ en Canarias y el mínimo de 0,015 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ en Ceuta, **siendo la media a nivel nacional de 0,696 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$.**

A nivel provincial, los resultados medios oscilan entre el máximo de Tenerife, de 4,449 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ y el mínimo de 0,001 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ en la provincia de Cuenca.

Teniendo en cuenta que el nivel de referencia es de 450,000 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ para la frecuencia de 900 MHz, se puede apreciar que los resultados obtenidos están muy por debajo de los niveles de referencia.

2.1.3.- Resultados y conclusiones

A pesar de que se están desarrollando las redes de telefonía móvil de tercera generación, UMTS, y continúa creciendo la de las modalidades de GSM 900 y DCS 1800, para este despliegue se han utilizado ubicaciones ya existentes, no incrementándose por tanto el número de espacios sensibles en el entorno de éstas.



De las medidas realizadas en los 149 puntos sensibles, del total de los 3.818 identificados, y con la fiabilidad de la muestra que se ha indicado, se deduce que los resultados obtenidos siguen estando muy por debajo de los niveles de referencia establecidos en el RD 1066/01.

La conclusión que se desprende de los datos analizados y expuestos es, que en las zonas sensibles, los niveles de exposición a las radiaciones radioeléctricas, siguen cumpliendo con amplísimos márgenes los niveles de referencia que han sido establecidos por la normativa vigente, con lo que se constata la continuidad y permanencia de los bajísimos niveles que se obtienen de las mediciones.

2.2.- AUDITORIA DE CERTIFICACIONES ANUALES

2.2.1 Objeto de la auditoria

Dentro del Plan de inspección la segunda parte es la realización de una auditoria de las certificaciones presentadas por los operadores, fundamentalmente de telefonía móvil, cuyo objeto es el examen de los diferentes datos aportados en las mismas y la verificación de éstos “in situ”, para una muestra suficientemente representativa del conjunto global de las mismas.

Esta auditoria la realiza la Subdirección General de Control e Inspección, al objeto de verificar el cumplimiento por parte de los operadores de lo dispuesto en el artículo 9 del Real Decreto 1066/2001 y de la Orden CTE/23/2002 en relación con los controles anuales que se realizan a la planta radioeléctrica.



Se han analizado un total de 23.190 certificaciones proporcionadas por los operadores, que se refieren a:

- Cumplimiento de límites de emisión radioeléctrica en los emplazamientos en los que ha habido modificaciones (nueva estación o alteración de las características técnicas de alguna de ellas). Las nuevas estaciones se corresponden en su mayoría con la implantación y desarrollo de estaciones de la tercera generación de telefonía móvil, UMTS, sobre emplazamientos ya existentes.
- Cumplimiento de límites de emisión radioeléctrica en las estaciones radioeléctricas cuya potencia isotrópica radiada equivalente sea superior a 10 vatios, cuando las medidas realizadas en años anteriores, en el entorno en el que pudieran permanecer personas, alcancen el 25 por 100 de los niveles de potencia o el 50 por 100 de los niveles de intensidad de campo de referencia establecidos en el RD 1066/2001.
- Cumplimiento de límites de emisión radioeléctrica en las estaciones radioeléctricas cuya potencia isotrópica radiada equivalente sea inferior a 10 vatios, y cuando siendo superior a los 10 vatios las medidas realizadas en años anteriores, en el entorno en el que pudieran permanecer personas, no alcancen los valores del apartado anterior.
- Cumplimiento de límites de emisión radioeléctrica en las estaciones situadas en zonas consideradas sensibles.



2.2.2.- Determinación de la muestra

Para determinar la muestra correspondiente a las medidas de los niveles de exposición a este año se utilizó la técnica de muestreo aleatorio estratificado para una población conocida, considerando la probabilidad de que el error que se comete es menor ó igual al 3,5%, tenga un grado de fiabilidad del 97,5% y que la frecuencia esperada de que la certificación sea correcta es de 0,96, obtenida de trabajos anteriores. De estas consideraciones, resulta una muestra de 156 certificaciones.

Se tienen en cuenta además para el diseño de la muestra y elección de las ubicaciones los siguientes criterios:

- Número de certificaciones existentes en cada provincia.
- Número de estaciones que soportan y niveles de emisión generados.
- Ubicación geográfica de las estaciones.
- Niveles máximos de exposición radioeléctrica.
- Niveles de exposición radioeléctrica medios.
- Influencia de las estaciones nuevas atendiendo al entorno.
- Haber sido auditada el año anterior, lo que facilita información previa
Para hacer análisis comparativos.
- Verificación de las nuevas instalaciones conforme al proyecto técnico.

Aunque el tamaño de la muestra inicialmente requerida es de 156 certificaciones, para poder cumplir con la distribución geográfica y tener en cuenta los criterios arriba citados, se ha tomado finalmente una muestra de 184 certificaciones y se han realizado un total de 930 mediciones, para considerar al menos una estación base por provincia, sobre las que se analizaron los siguientes aspectos:

- Comprobaciones documentales
- Comprobación de los límites de radiación radioeléctrica



2.2.3.- Verificación documental

Se tuvieron en cuenta para las certificaciones de la muestra, la inclusión ó no de:

- Visado del documento por el Colegio profesional competente.
- Firma de la certificación por técnico competente.
- Adaptación de las certificaciones a los formularios exigidos por la OM /CTE/23/02.
- Concordancia de los datos expresados en los diferentes campos de los formularios.

En algún caso se ha constatado que el número de mediciones por estación base ha sido inferior a cinco como se había solicitado.

2.2.4.- Verificación de los niveles de exposición radioeléctrica.

En la totalidad de la muestra se realizaron mediciones de los niveles de exposición que se reflejan, para cada estación dentro de cada provincia, en el listado señalado en el cuadro “MEDIDAS DE EXPOSICIÓN RADIOELÉCTRICA DE LAS ESTACIONES BASE AUDITADAS EN 2005”, Anexo II.

El valor máximo medido es de 13,59 v/m (equivalente a 48,99 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$), en la provincia de Murcia, y el mínimo estaba por debajo del nivel umbral del equipo de medida utilizado, siendo el nivel de referencia de 1000 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ al ser una estación de UMTS, se aprecia que los niveles de emisiones medidos siguen estando muy por debajo de los valores de referencia.



Las medidas fueron llevadas a cabo por los servicios técnicos de cada Jefatura Provincial de Inspección de Telecomunicaciones de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, con arreglo a lo señalado en el Procedimiento de Medidas diseñado por esta Dirección General, que se acompaña en el Anexo III.

2.2.5 Resultado de la auditoria

A la vista de todo lo señalado anteriormente relativo a la auditoria de las estaciones base de telefonía móvil automática que se han indicado en la muestra de las certificaciones anuales correspondientes, presentadas por los operadores en el año 2005, ante la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- 1.- Las verificaciones documentales resultaron con una fiabilidad por encima del 99 %.
- 2.- La totalidad de las mediciones de campo, resultaron correctas.

3.- OTRAS ACTUACIONES

3.1.- Respuestas a solicitudes de información

Por los diferentes servicios de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, se ha procedido a dar respuesta a las consultas, reclamaciones, solicitudes de informes, certificaciones, etc., que se han presentado al Ministerio de Industria Turismo y Comercio, procedentes de diversas Instituciones, Administraciones y particulares, durante el año 2.005.



Se ha respondido a 90 escritos sobre quejas ó consultas procedentes de Ayuntamientos, Defensor del Pueblo, Juzgados, Preguntas Parlamentarias, etc., en relación con las emisiones de las estaciones radioeléctricas, principalmente referidas a clausura, legalidad, posibilidad de alejamiento de ciertas zonas y comprobación de niveles de emisión. Este número representa una disminución del 13,46 % respecto a este tipo de escritos contestados el año anterior.

Hay que destacar en este punto que la incidencia en la preocupación social manifestada en el año 2005, ha seguido disminuyendo con respecto al año anterior, con lo que la tendencia a la baja es continuada.

En relación con la demanda de información y para dar una respuesta ágil a la demanda de los ciudadanos, continua su funcionamiento el “Servicio de Información sobre instalaciones radioeléctricas y niveles de exposición”. Este servicio está disponible en la página web del Ministerio y es accesible a través de Internet. Se facilita información de la base de datos de estaciones radioeléctricas sobre características técnicas y medidas de los niveles de exposición a las emisiones de las estaciones base de telefonía móvil con potencia isotrópica radiada superior a 10 vatios en cuyo entorno pueden permanecer personas de forma habitual.

El servicio funciona con un localizador que mediante georreferenciación posiciona en un plano las estaciones que se sitúan en la proximidad del punto sobre el que se desea tener información. Además, facilita una serie de características de las estaciones y las medidas realizadas en su entorno, todo ello de acuerdo con las certificaciones presentadas por los operadores. A través de este servicio, son también accesibles informaciones sobre normativa nacional y comunitaria, enlaces de interés y un servicio para acceder a información adicional.

ANEXO I

MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES

COMUNIDAD AUTONOMA	CENTROS DE ENSEÑANZA	CENTROS HOSPITALARIOS	PARQUES PUBLICOS	TOTAL PUNTOS SENSIBLES	VALOR MEDIO ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	REFERENCIA ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
ANDALUCIA	6	2	16	24	0,846	450
ARAGON	3	0	0	3	0,095	450
ASTURIAS	1	0	3	4	1,149	450
BALEARES	0	0	1	1	0,071	450
CANARIAS	10	3	10	23	3,354	450
CATALUÑA	9	2	2	13	0,49	450
CEUTA	1	0	0	1	0,015	450
C. LEON	5	0	6	11	0,096	450
C. MANCHA	2	0	3	5	0,824	450
C. VALENC.	4	1	3	8	0,245	450
EXTREMADURA	1	0	1	2	0,605	450
GALICIA	6	3	0	9	1,252	450
RIOJA	0	0	1	1	0,086	450
MADRID	11	6	0	17	2,05	450
MELILLA	3	2	1	6	0,53	450
MURCIA	0	0	1	1	0,073	450
NAVARRA	0	1	0	1	0,119	450
P. VASCO	6	0	12	18	1,043	450
CANTABRIA	1	0	0	1	0,29	450
	69	20	60	149	0,696	450

ANEXO II

AUDITORIA DE CERTIFICACIONES

Valores Máximos de la Densidad de Potencia por CC.AA

Comunidades Autónomas	Valor Máximo medido en la CC.AA ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
ANDALUCIA	18,274
ARAGON	3,534
ASTURIAS	0,85
CANARIAS	7,507
CANTABRIA	1,115
CASTILLA LA MANCHA	31,342
CASTILLA LEON	23,688
CATALUÑA	5,86
CEUTA	0,138
COMUNIDAD VALENCIANA	5,54
EXTREMADURA	0,255
GALICIA	7,966
ILLES BALEARS	0,395
LA RIOJA	0,08
MADRID	10,033
MELILLA	0
MURCIA	48,99
NAVARRA	0,141
PAIS VASCO	2,277

ANEXO III

PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS DE RADIACIONES

*Procedimiento de medida de
radiaciones no ionizantes
(9 KHz – 300 GHz)*

**Area de Comprobación Técnica
de Emisiones Radioeléctricas**

Procedimiento de medida de radiaciones no ionizantes (9 KHz – 300 GHz)

1. Introducción

El presente procedimiento describe el método de medida de radiaciones no ionizantes en el margen de frecuencia entre 9 KHz y 300 GHz. El texto está basado en la orden ministerial publicada en el B.O.E. número 11 de Sábado 12 de enero de 2002, y en el borrador de la recomendación Europea (CEPT) sobre medidas de radiaciones no ionizantes. Los valores obtenidos se podrán comparar con los límites del RD 1066/2001 de 28 de Septiembre, con el objeto de validar emplazamientos. El objetivo de este procedimiento es el de comprobar si los emplazamientos bajo estudio cumplen con el RD 1066/2001. El procedimiento de medidas se divide en tres fases. Dependiendo de la exactitud y complejidad de la medida se utilizará una fase u otra. Antes de comenzar el proceso de medida es necesaria una fase previa con el objetivo de recopilar toda la información necesaria que pueda ayudar al técnico a la hora de realizar las medidas.

2. Definiciones

2.1. Intensidad de Campo eléctrico

La intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial \vec{E} que se expresa en voltios por metro (V/m).

2.2. Intensidad de Campo magnético

La intensidad de campo magnético es una magnitud vectorial \vec{H} que se expresa en amperios por metro (A/m).

2.3. Densidad de potencia

La densidad de potencia es una magnitud vectorial que indica la potencia por unidad de superficie en la dirección de propagación de la señal electromagnética. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2); se relaciona con los campos eléctricos y magnéticos a través de la siguiente relación:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

2.4. Niveles de referencia

Los niveles de referencia son los límites de exposición recogidos en el Anexo II del RD 1066/2001 de 28 de septiembre.

2.5. Niveles de decisión

Los niveles de decisión se sitúan $\`X$ dB' por debajo de los niveles de referencia. Permiten tener en cuenta los errores e incertidumbres de las medidas. En cada fase de medida se explican los niveles de decisión empleados, denominados nivel de decisión de **Fase 1** y nivel de decisión de **Fase 2**.

2.6. Regiones de campo radiado por una antena

Existen dos regiones, bien diferenciadas, alrededor de una antena cuando está radiando energía electromagnética.

- Campo cercano

Zona del espacio en la proximidad de la antena transmisora. En esta zona los campos eléctricos y magnéticos varían considerablemente alrededor de la antena. Su relación es bastante compleja, por lo que el cálculo directo entre componentes no es posible.

- Campo lejano

Región alejada de la antena donde la distribución angular de los campos es independiente de la distancia. El campo electromagnético radiado tiene un carácter de onda plana y los campos eléctricos y magnéticos son ortogonales entre sí, relacionándose de forma sencilla a través de la impedancia del medio:

$$\begin{array}{l} \bar{E} = \bar{H} \cdot Z_o \\ \bar{H} = \frac{\bar{E}}{Z_o} \end{array} \quad \left| \quad \text{Siendo } Z_o = 120\pi \Omega \approx 377\Omega \right.$$

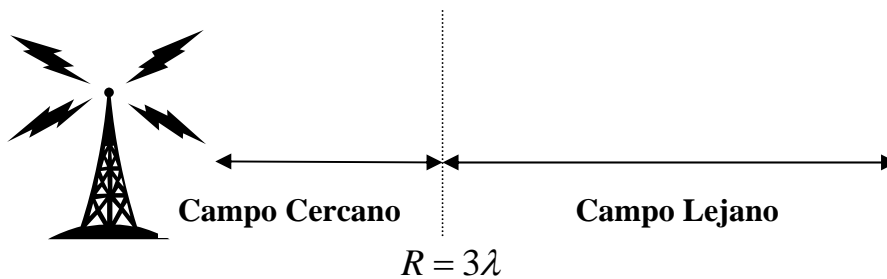
El límite (R) entre ambas regiones es función de la frecuencia. La energía electromagnética atraviesa de forma gradual el límite entre ambas regiones, siendo difícil definir un punto concreto del espacio. Desde el punto de vista práctico, a la hora de realizar las medidas, se realiza la siguiente aproximación:

- Si la zona a validar se encuentra a una distancia mayor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo lejano.

$$R > 3\lambda$$

- Si la zona a validar se encuentra a una distancia menor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo cercano.

$$R \leq 3\lambda$$



Ejemplo de cálculo del límite entre campo cercano y lejano:

A) Mástil radiante de onda media a la frecuencia de 1 MHz.

$$R > 3\lambda \quad \Rightarrow \quad R > 900\text{m.}$$

En la región de campo lejano sólo es necesario medir una de las componentes del campo electromagnético radiado. Si fuese necesario conocer la otra componente, se podría realizar con ayuda de las siguientes expresiones:

- $E = H \cdot Z_o$
- $H = \frac{E}{Z_o}$
- $S = E \cdot H = \frac{E^2}{Z_o} = H^2 \cdot Z_o$

En la región de campo cercano, es necesario medir cada una de las componentes del campo radiado, al no existir una relación sencilla entre ellas.

3. Fase previa a las mediciones

El objetivo es el de medir, en cada emplazamiento, los puntos de mayor exposición radioeléctrica. Para ello es útil realizar un estudio previo antes del proceso de medida. De esta forma será más fácil identificar dichos puntos.

Toda información previa que se pueda recopilar junto con su propia experiencia de medida, ayudará al técnico a determinar los puntos de mayor exposición radioeléctrica. Se realizará un estudio de los factores de entorno y de los factores radioeléctricos; estos son:

- Factores de entorno
 - Identificación de zonas accesibles para el público en general, próximas a centros emisores.
 - Existencia de lugares de residencia habitual en distancias cortas desde las antenas radiantes, particularmente en la dirección de máxima radiación de éstas.
 - Presencia de edificios u otros obstáculos, estimando de qué manera su presencia puede afectar al proceso de medida, fundamentalmente debido a reflexiones.
 - Otros factores relevantes como la presencia de escuelas, hospitales, parques públicos, etc, situados en lugares próximos a las estaciones radioeléctricas.
- Factores radioeléctricos
 - Identificar el tipo de servicio a evaluar, características generales de la señal radiada (transmisión continua o discontinua, polarización de la señal, potencia emitida, etc.). Altura, orientación, dimensiones y directividad de los sistemas radiantes. Para conocer muchos de los anteriores parámetros será necesaria la colaboración con el operador del sistema radioeléctrico.
 - Presencia de otras fuentes de señal radioeléctrica en las inmediaciones del entorno de medida y su posible aportación a la medida total en un emplazamiento determinado.
 - Todos los parámetros técnicos adicionales que, a juicio del técnico, pudiesen condicionar el resultado final de la medida.

Con toda la información anterior se puede tener una idea bastante aproximada de las zonas de mayor concentración, verificándolas en el posterior proceso de medida.

4. Fases de medida

El proceso de medida se ha dividido en tres fases, escogiendo la fase más adecuada tal como se explicará a continuación.

El equipo de medida empleado en cada fase estará calibrado y se usará dentro del periodo de calibración dado por el fabricante.

La idea es la de emplear una fase de medida sencilla y rápida (útil para validar la mayor parte de los emplazamientos y zonas a verificar) y pasar a otra fase de medida más compleja y exacta en aquellos emplazamientos que así lo precisen (los más complejos y menos numerosos). Las tres fases de medida se detallarán a continuación:

4.1. Fase 1ª de medida: vista rápida del entorno radioeléctrico

Esta fase se utilizará cuando se necesite el nivel total de radiación no ionizante en el emplazamiento bajo estudio. Como equipo de medida se utilizan sondas isotrópicas. Es el método menos preciso pero el más rápido de los tres, pudiendo ser utilizado en la mayoría de los emplazamientos.

No se debe aplicar cuando:

- El emplazamiento está en la zona de campo cercano.
- Se necesite conocer el nivel de radiación no ionizante por frecuencia.
- El valor dado por el equipo de medida excede del nivel de decisión de Fase1, necesitándose otro método de medida más preciso.
- No exista lectura en el equipo de medida, por ser el valor de radiación no ionizante existente más bajo que el umbral de sensibilidad del equipo, y necesitemos, por cualquier motivo justificado, dar el nivel de señal medido en el emplazamiento bajo estudio.

4.2. Fase 2ª de medida: Medida selectiva en frecuencia

Esta fase se empleará cuando se necesite conocer el nivel de radiación no ionizante por frecuencia que existe en el emplazamiento o cuando una vez empleada la fase1ª, el valor obtenido exceda del nivel de decisión de Fase1.

Para realizar las medidas se emplearán analizadores de espectro o receptores selectivos que cubran las bandas de frecuencia bajo estudio. Además será necesario el uso de antenas y cables calibrados. Este método de medida es más preciso que el anterior pero es más complejo y consume un mayor tiempo para obtener el valor final de la medida.

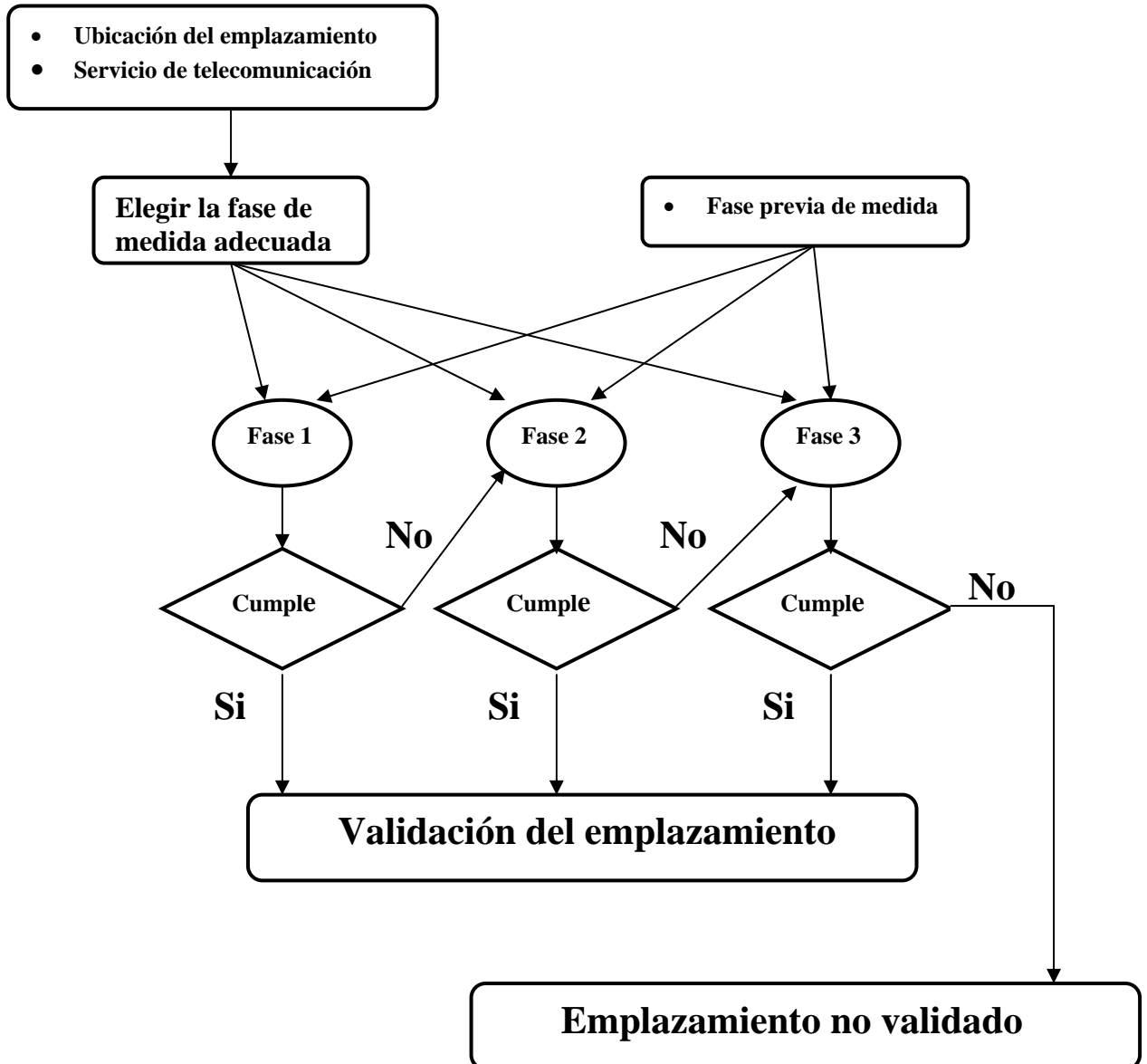
Este método no se debe emplear cuando:

- Se necesite medir en campo cercano.
- Se deban medir señales pulsantes (ej. Radar)
- Los valores obtenidos exceden del nivel de referencia.
- La tasa total de exposición excede de los límites expresados en el Anexo II del RD 1066/2001.

4.3. Fase 3ª de medida: Investigación detallada

Es la fase de medida más compleja proporcionando la mayor exactitud. Se aplica en aquellas situaciones donde las anteriores fases no se han podido emplear.

El proceso completo de medida se describe a continuación:



FASE 1ª: Vista rápida del entorno electromagnético

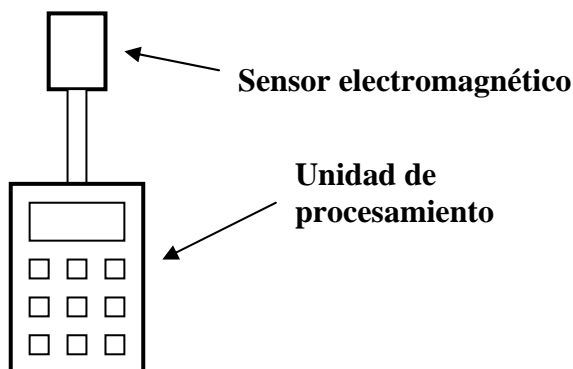
1. Introducción

Como ya se ha comentado este procedimiento es el menos preciso pero el más rápido para validar emplazamientos. Se obtendrá el nivel total de radiación electromagnética presente en el emplazamiento para su comparación con los niveles de decisión.

Los casos donde no se puede aplicar se han descrito previamente.

2. Equipos de medida

Se emplean medidores provistos de sondas isotrópicas. Este tipo de equipos están formados por un sensor electromagnético donde se capta la señal y por una unidad de visualización donde se procesan y se representan los datos obtenidos. Son equipos de gran ancho de banda e isotrópicos (permiten recibir todas las componentes electromagnéticas sin necesidad de girar el sensor).



Existen dos tipos de sensores:

- Sensores con termocopladores

Tienen poco rango dinámico (típico 30 dB) y responden bien ante grandes niveles de exposición electromagnética. Al ser dispositivos sensibles a la temperatura representan el nivel de campo electromagnético en función del calentamiento que produce. Hay que tener cuidado con las variaciones térmicas en los emplazamientos donde se realicen las medidas, calibrando el equipo para evitar lecturas falsas.

- Sensores con diodos

Obtienen el nivel de campo electromagnético rectificando la señal de alta frecuencia. Tienen el inconveniente de saturarse ante grandes niveles de señal, pero son más sensibles.

Los sensores son de campo E ó de campo H. Es decir, dependiendo de la componente de campo que se desea medir se debe elegir el tipo de sensor adecuado. La unidad de visualización, después de procesar los datos, nos presenta el nivel de campo E ó H (dependiendo de la sonda elegida) y además puede presentar el valor de densidad de potencia. Este último valor se calcula a partir de las componentes E ó H como ya se ha explicado y por lo tanto sólo es válido este cálculo en la zona de campo lejano radiado de la antena.

3. Procedimiento de medida

- 3.1. Elegir la sonda de medida más adecuada a la frecuencia bajo estudio. En ciertas situaciones es necesario utilizar más de una sonda ya que es habitual medir en un gran ancho de banda. En este caso los valores obtenidos para cada banda se utilizan para calcular el nivel total tal como se detalla a continuación:

$$\bullet E = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

$$\bullet H = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2}$$

Siendo n el número de sondas utilizadas para cubrir el margen de frecuencia total de estudio. El valor obtenido siempre será por exceso ya que evidentemente las bandas de sondas contiguas se solapan y las expresiones anteriores no excluyen este hecho.

Ejemplo

Si se trata de validar un emplazamiento donde existen estaciones de radiodifusión FM y estaciones de telefonía móvil DCS-1800, y se tienen dos sensores, por ej. uno entre 300 KHz y 300 MHz y el otro entre 300 MHz y 50 GHz

Se obtienen las siguientes medidas

$$E_{(300\text{KHz}-300\text{MHz})} = 3.24 \text{ v/m}$$

$$E_{(300\text{MHz}-50\text{GHz})} = 1.12 \text{ v/m}$$

$$E_T = \sqrt{(3.24)^2 + (1.12)^2} = 3.43 \text{ v/m}$$

Siendo 3.43v/m el nivel total de la medida

3.2. Calibración del equipo

Antes de comenzar el proceso de medida es necesario calibrar el equipo. Para ello, de acuerdo con las instrucciones del fabricante se procede a realizar la rutina de calibración (es importante recordar que las sonda Narda que tenemos necesitan por lo menos 15 minutos de adaptación a la temperatura ambiente de la zona a medir). Una vez realizada, si se introduce la sonda en una zona libre de campos electromagnéticos (ej, en su funda) el valor leído será nulo. Como ya se ha explicado, con los sensores térmicos hay que tener cuidado con las variaciones de temperatura (ejemplo al calibrar en el interior de un edificio, medir y luego pasar a medir al exterior). Si a juicio del técnico existen evidencias de que las lecturas que ofrece el equipo no son fiables, puede verificarse la condición de campo nulo como se explicó anteriormente y si fuera necesario volver a realizar la rutina de calibración.

- 3.3. Con el equipo calibrado, la información previamente recopilada del entorno y la propia experiencia del técnico, se trata de buscar el punto de mayor exposición electromagnética. Para ello, midiendo con el equipo en forma continua (visualizando el valor instantáneo de señal), se recorre el emplazamiento variando la altura de la sonda entre 1,1 m y 1,7 m (aproximadamente). Una vez identificados los puntos de máxima exposición, se realizará la medida en ellos, evitando que la presencia del técnico afecte al resultado (utilización de trípode y proceso de inicialización del equipo, según indicaciones del manual de uso). Se realizará una medida durante 6 minutos obteniendo el valor promediado en ese periodo de tiempo.

Este procedimiento sólo se aplica en campo lejano, por lo tanto el valor obtenido (E ó H) son fácilmente convertibles entre ellos, así como el cálculo del valor de densidad de potencia.

Los valores obtenidos se deben comparar con los niveles de decisión de Fase1. En esta fase los niveles de decisión se calculan restando 6 dB a los niveles de referencia dados en el Anexo II del RD 1066/2001 de 28 de Septiembre.

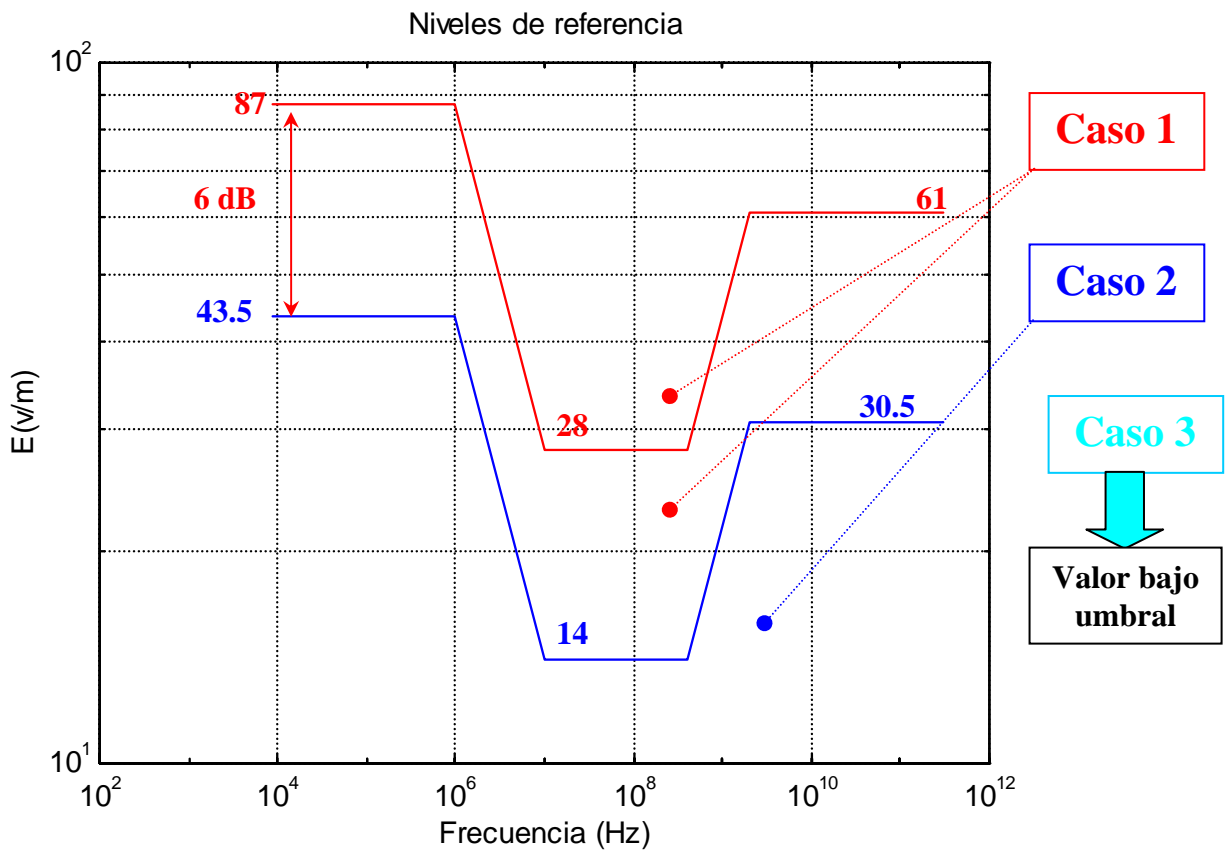
Si en la zona bajo estudio existe un emisor predominante (ej. GSM-900), el nivel de referencia elegido será en esta frecuencia. Si en la zona bajo estudio existen varios emisores y no es posible, a priori, identificar un emisor predominante (evidentemente se puede contar con la ayuda del analizador de espectros), ejemplo, una zona con radiodifusión sonora y TV, SMT, GSM-900, se tomará el nivel de referencia más bajo dentro del rango de frecuencia bajo estudio.

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

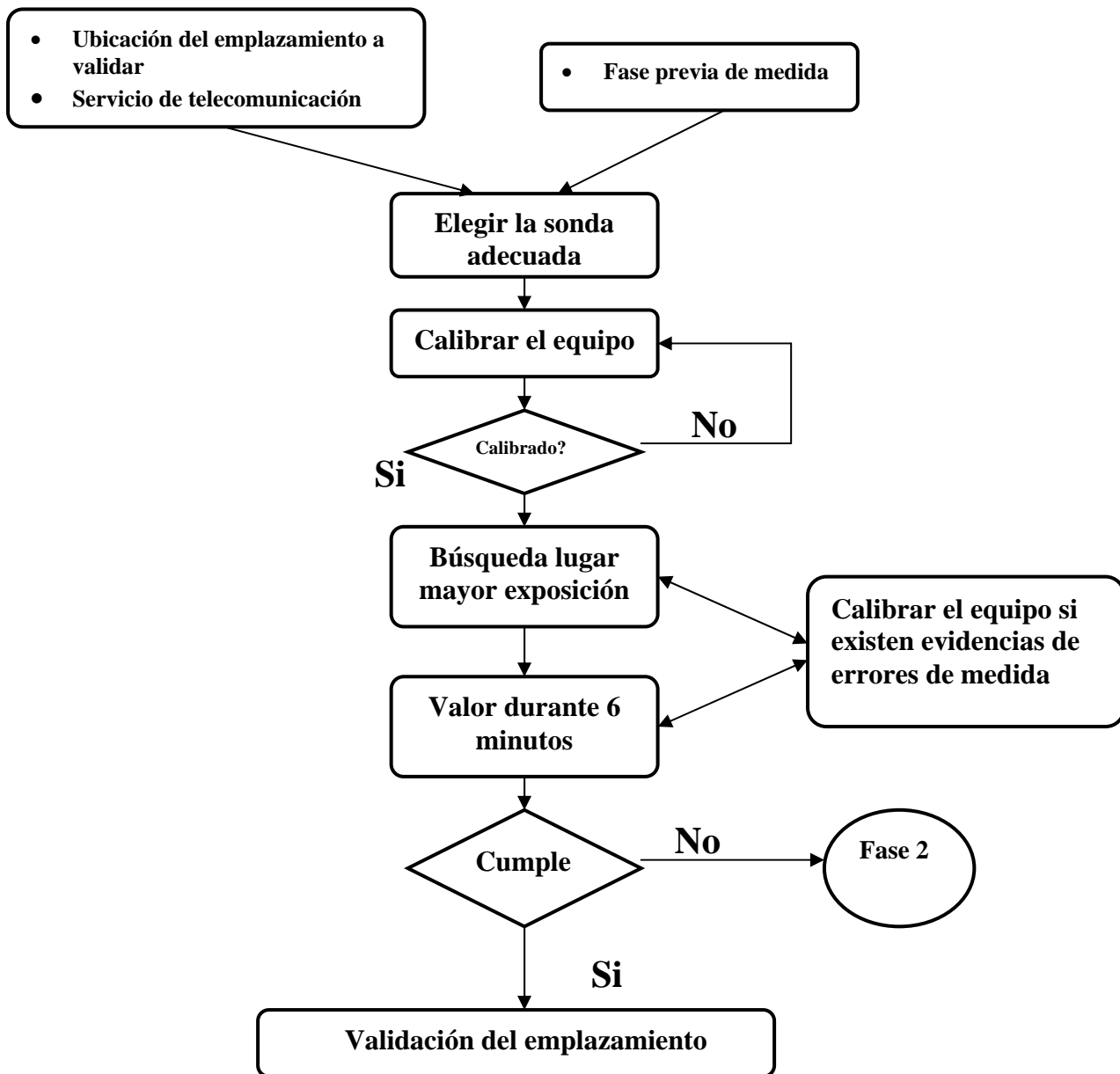
1. Si el nivel total de exposición electromagnética obtenido está por encima del nivel de decisión de Fase 1, el emplazamiento se debe validar por medio de una medida más precisa pasando a la fase 2ª.

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 2ª con diferente equipamiento.



Gráficamente, la fase 1º medida sería:



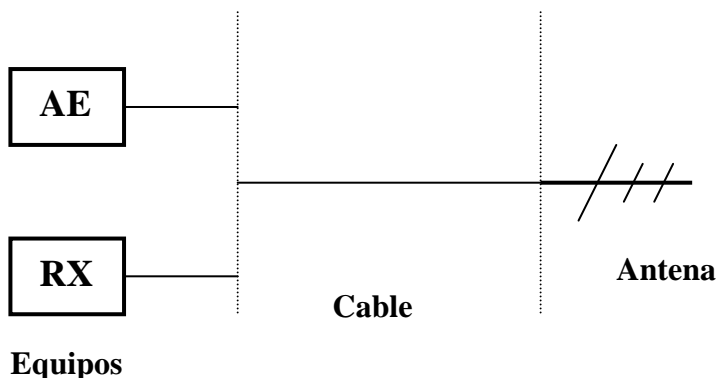
FASE 2ª : Medida selectiva en frecuencia

1. Introducción

Si se necesita conocer los niveles de exposición electromagnética por frecuencia o el nivel obtenido en la fase anterior supera el nivel de decisión de fase 1, se emplea la fase 2ª. Es más precisa que la anterior fase pero requiere mayor tiempo de adquisición. Sólo se aplica en emplazamientos situados en la región de campo lejano.

2. Equipos de medida

Se utilizan analizadores de espectro o receptores. Como equipos auxiliares se emplean antenas y cables cuyas características eléctricas deben ser conocidas: ganancia o factor de antena, impedancia, polarización, etc., para las antenas y la atenuación en el caso de los cables. La configuración de medida sería la siguiente:



3. Procedimiento de medida

Primeramente se debe configurar el equipo en función de la medida a realizar, esto es, el margen de frecuencia, ancho de banda, velocidad de barrido etc. Para ello el técnico deberá evaluar el tipo de señal radiada, potencia emitida, posición respecto de los sistemas radiantes, etc. Además se deben tener en cuenta las propias instrucciones del fabricante del equipo. A veces, dado el margen de banda a evaluar, no es posible hacerlo con una única antena, repitiéndose el proceso de medida para cada banda.

Una vez conectado el equipo de medida a la antena a través del cable, se deben identificar los puntos de medida, que serán donde se reciba mayor señal. Para ello se recurre como se explicó en la fase 1, a la información previamente recopilada y a la propia experiencia del técnico (o a la información obtenida en la fase 1, en el caso de haberse realizado previamente).

Cuando se han encontrado dichos puntos, se deben maximizar todas las componentes espectrales activando para ello la función de que disponga el equipo de medida(ej. MAX HOLD en el analizador de espectros). De esta forma se asegura la medida en el caso peor. Se busca el máximo de todas las componentes espectrales que aparecen moviendo la antena, en altura, orientación y polarización.

Una vez que todas las componentes espectrales se estabilicen, se deben tener sólo en cuenta aquellas que estén 40 dB por debajo de los niveles de referencia; a este valor se le denomina nivel de referencia de Fase 2. En cada nivel obtenido se debe calcular el nivel de campo eléctrico E con ayuda de la siguiente expresión, que en unidades logarítmicas es:

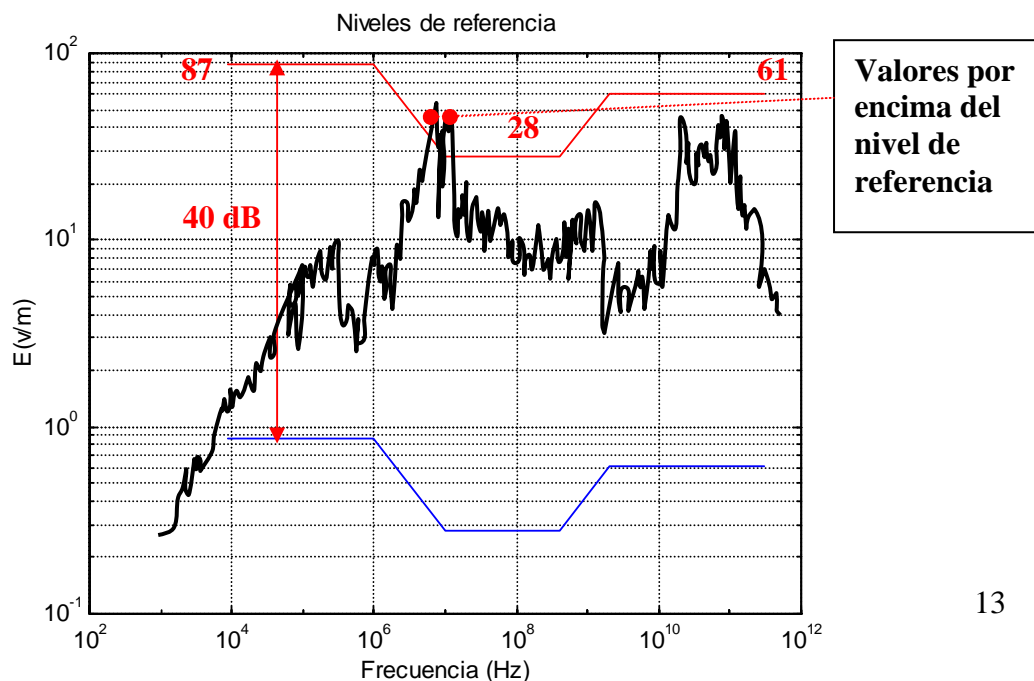
$$\bullet \text{ E dB(v/m)} = \text{N} + \text{FA} + \text{AT}$$

Siendo:

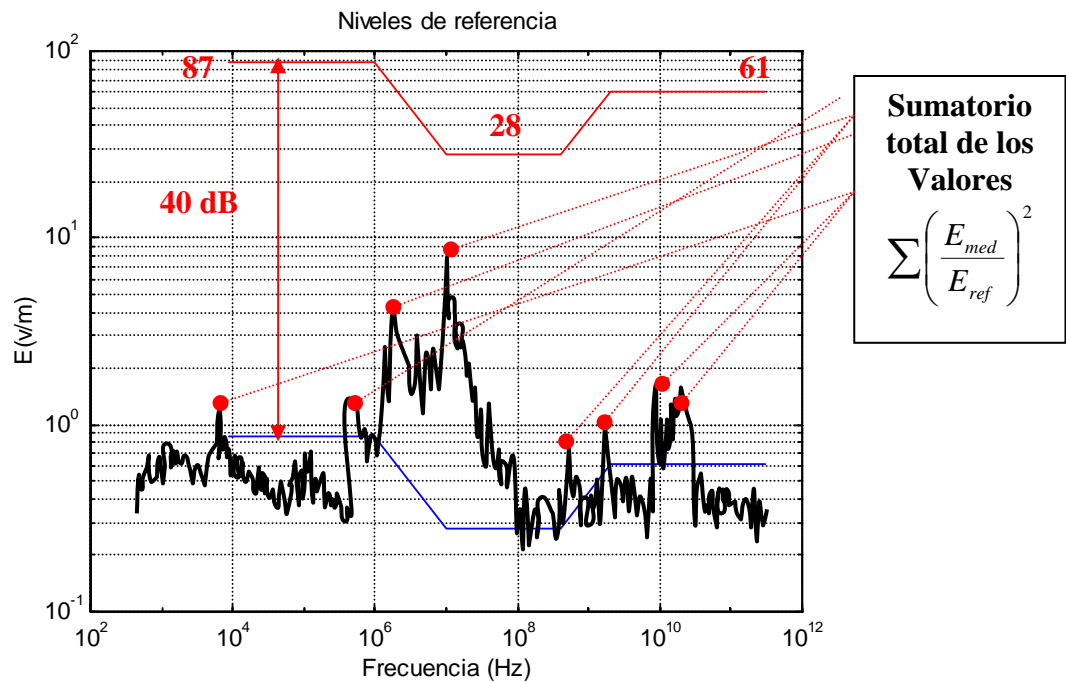
- **N** : Nivel leído en el receptor en (dBv), realizando las conversiones oportunas si fuera necesario.
- **FA** : Factor de antena.
- **AT**: Atenuación del cable.

Llegados a este punto nos podemos encontrar con tres casos.

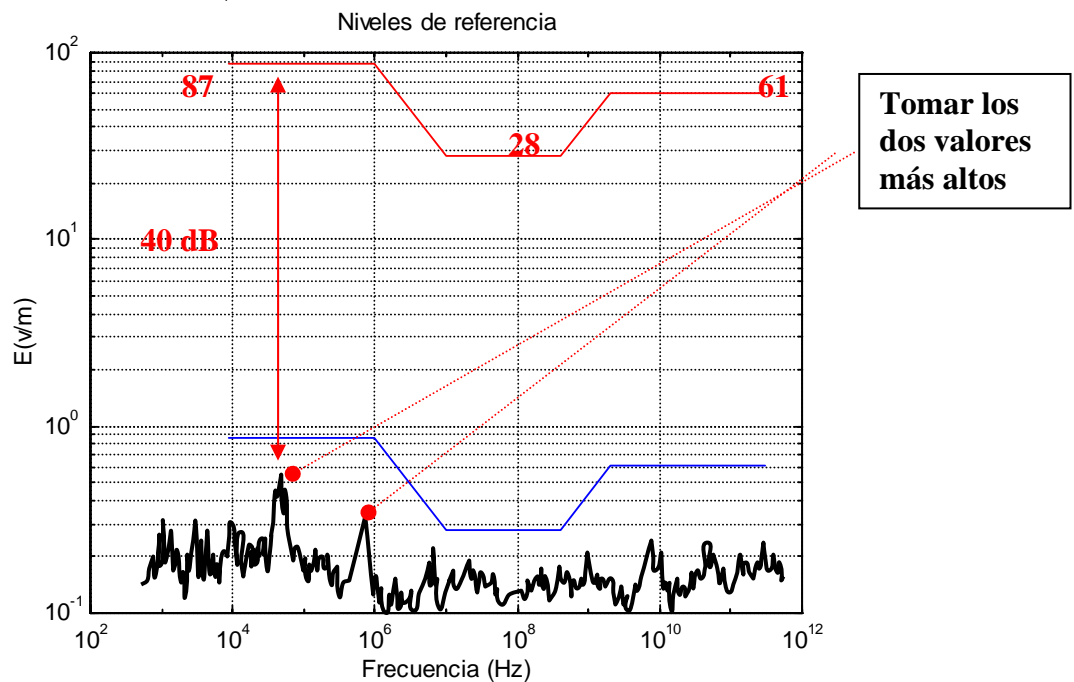
1. El nivel leído de una o varias componentes supera el nivel de referencia dado por el RD 1066/2001 en la frecuencia correspondiente. Se puede afirmar que el sistema radioeléctrico o la zona en estudio no se adapta a las exigencias del RD 1066/2001.



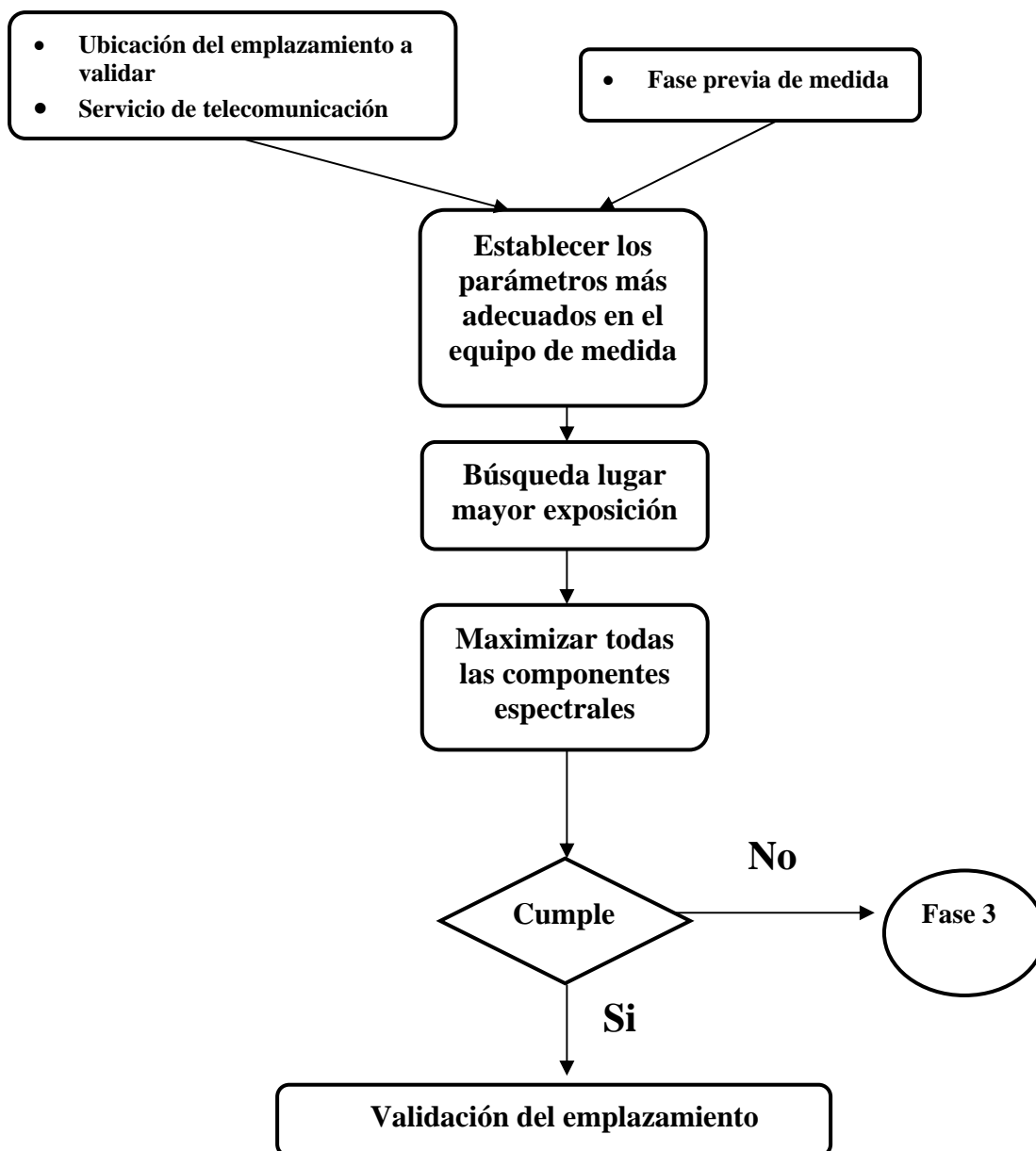
2. Todas las componentes espectrales están por debajo de los niveles de referencia. En este caso se debe asegurar el cumplimiento de exposición a fuentes con múltiples frecuencias tal como se expone en el Anexo II del RD 1066/2001. Se realiza el cálculo tal como se explica, y dependiendo del resultado, se valida o no el sistema radioeléctrico o la zona en estudio.



3. Todas las componentes espectrales están por debajo del nivel de decisión de Fase 2 (nivel de referencia menos 40dB). En este caso el emplazamiento o sistema radioeléctrico es válido. Se toman los dos niveles más elevados como resultado de la medida, sólo si es necesario dar una medida.



Gráficamente, el proceso sería el siguiente:



Como aclaración de la fase 2, supongamos que al realizar las medidas ninguna supera los niveles de referencia. Por lo que se toman aquellas que superen el nivel de decisión de Fase 2 obteniendo los siguientes valores :

Frecuencia (MHz)	Valor Medido (V/m)	Valor de referencia(V/m)
98	2.5	28
103	4.2	28
105	1.7	28
695	3.1	36.25
823	2.7	39.44
943.8	1.7	42.24
955	1.1	42.49
1862.8	0.8	59.34

Como se ha explicado, hay que calcular la tasa total de exposición para validar el emplazamiento, tal como se recoge en el Anexo II del RD 1066/2001. De esta forma se asegura que la suma acumulativa de las componentes espectrales cumple con la legislación. Para ello se realiza el siguiente cálculo:

$$S_T = \sum_i \left(\frac{E_{mi}}{E_{ri}} \right)^2$$

Siendo:

- S_T Tasa total de exposición
- E_{mi} Campo eléctrico medido
- E_{ri} Campo eléctrico referencia

El resultado anterior es de: $S_T = 0.048$ siendo menor que la unidad, por lo tanto se puede afirmar que el real decreto cumple con lo dispuesto en el RD 1066/2001.

FASE 3ª : Investigación detallada

1. Introducción

En esta fase se incluyen las medidas que por sus especiales características necesitan ser analizadas de manera singular, por ejemplo las medidas en campo cercano, señales pulsantes (radar), etc. Es el método más preciso pero requiere un mayor tiempo de medida. Si el valor obtenido en la fase 2ª es superior al nivel de referencia, se debe usar la fase 3ª, si se necesita una mayor exactitud de medida. La mayoría de los emplazamientos se podrán validar mediante la fase 1ª y 2ª, reservando la fase 3ª para situaciones especiales.

2. Equipos de medida

Los equipos de medida serán iguales a los utilizados en la fase 2ª y en algunos casos los de la fase 1ª. Todo lo dicho anteriormente respecto a ajustes y calibraciones iniciales, modos de operación, etc. es válido para esta fase.

3. Método de medida

Podemos encontrarnos con tres casos:

3.1. Campo cercano

En aquellos puntos cercanos al sistema radiante, donde no se cumple la condición de campo lejano, hay que medir las dos componentes de campo electromagnético (E y H) para validarlos. Se pueden usar analizadores de espectro, receptores o sondas de medida. Estas últimas presentan la ventaja de soportar niveles mucho mayores que los dos primeros equipos. En todo caso hay que tener la precaución de proteger los equipos de medida, ya que se esperan niveles altos de campos electromagnéticos. Una vez obtenidos los valores se deben comparar por separado con los niveles de referencia, ya que no es posible utilizar las expresiones vistas para el cálculo entre las componentes E, H y S. El emplazamiento se validará si los niveles obtenidos de E y H están por debajo de los niveles de referencia. El método de medida será análogo a los explicados anteriormente, pero con las debidas precauciones motivado por la presencia de elevados campos electromagnéticos. Por lo que las medidas serán más complejas y necesitarán mayor preparación.

3.2. Señales pulsantes (RADAR)

La medida de este tipo de señales es complicada, ya que típicamente son señales de muy alta frecuencia y con una duración muy corta (τ segundos).

El filtro del equipo debe dejar pasar la mayor parte de la energía del pulso. Para ello se toma como ancho de banda

$$\bullet B_w = \frac{4}{\tau} \text{ Hz}$$

Con la función 'Max hold' activa se miden varias rotaciones de la antena hasta que se establezca la señal. A continuación se obtiene el valor de pico que no deberá exceder:

$$\bullet E_{pico} < E_{referencia} \times 32$$
$$\bullet S_{pico} < S_{referencia} \times 1000$$

Con ayuda de las anteriores expresiones se validará el emplazamiento.

3.3 Si las anteriores fases han fallado

Se debe realizar una investigación más detallada sobre aquellas componentes espectrales que han superado el nivel de referencia. Para ello se tomarán medidas de las tres componentes ortogonales del campo electromagnético, usando a continuación las siguientes expresiones:

$$\bullet E_T = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}$$
$$\bullet H_T = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2}$$

Estos valores totales se compararán con los niveles de referencia con el objeto de validar el emplazamiento bajo estudio.

ANEXO1 Medidas de Sistemas de Telefonía móvil.

Introducción

En los sistemas de telefonía móvil, como ya se sabe, la potencia de la estación base es función del tráfico cursado. El tráfico a su vez es función de diversos parámetros como son la hora, día de la semana, ubicación de la estación, etc; en definitiva su naturaleza es aleatoria. Cada estación base tiene un transmisor (portadora) de control por sector, que emite continuamente, además de los transmisores (portadoras) aleatorios de tráfico en cada sector.

La mínima configuración que instalan los operadores de telefonía móvil es de un transmisor (una portadora) por sector, lógicamente en zonas rurales. Como cada portadora lleva multiplexado en el tiempo varios canales, unos se dedicarán a control y el resto a tráfico. Para validar estas estaciones o los emplazamientos cercanos a ellas se actuará tal como se ha explicado en las fases anteriores al tener la señal constantemente.

En zonas urbanas los operadores de telefonía móvil utilizan más de un transmisor (portadora) por sector. En estos casos sólo una de las portadoras por sector será de control y el resto de tráfico. La portadora de control siempre estará presente con la máxima potencia y las de tráfico aparecerán cuando existan voz o datos que transmitir hacia los abonados. Aquí la medida es más compleja, ya que evidentemente el valor medido es una función aleatoria. Además, las portadoras de tráfico no siempre transmiten a la máxima potencia y a veces incluso varían su frecuencia (si tienen activada la función Hopping) de acuerdo a algún algoritmo prefijado. Situaciones análogas se encuentran también en otros sistemas similares ej. Trunking.

Por lo tanto, es poco probable que, en el momento de efectuar la medida, todos los transmisores asignados a la estación base, estén radiando a la vez y con la máxima potencia.

Por lo tanto, una estación base estará formada por N transmisores:

- 1 canal de control (conocido como BCCH en GSM), siempre activo con la máxima potencia autorizada.
- (N-1) canales de tráfico, de naturaleza aleatoria.

Procedimiento de medida

Si se utiliza la **fase1**, con los medidores de radiación se obtiene un valor que, como ya se ha explicado, representará el nivel total de radiación presente, no pudiendo determinar cuantos canales de tráfico de la estación base están emitiendo. Se actuará de la misma forma que lo explicado en la Fase1, anotando el valor medido.

Si se utiliza la **fase2**, al tener maximizadas todas las componentes espectrales (con ayuda de la función Max-Hold), aparecerán en pantalla los canales de control y los de tráfico. Evidentemente existirán más canales ya que si tienen la opción Hopping activada estos nos aparecerán varias veces. Si se sigue el procedimiento dado por la fase 2 se tendrán en cuenta más canales de los que existen realmente. Validando un emplazamiento de acuerdo a lo explicado en la fase 2 se tendrá evidentemente siempre el caso peor, según lo visto anteriormente.

En fase 3, se puede realizar una medida más precisa. Con ayuda del analizador de espectros, o la información dada por el operador, se puede identificar la presencia del canal de control operativo de la estación base siempre activo, a la máxima potencia.

Se calcula el campo eléctrico radiado del canal de control, tal como se ha explicado anteriormente:

$$\bullet E_{Control}$$

Para tener en cuenta todos los efectos mencionados se realiza la siguiente extrapolación:

$$\bullet E_{Total} = E_{Control} \cdot \sqrt{N_{Tráfico}}$$

Siendo $N_{Tráfico}$ Número canales de tráfico

Ahora el nivel total calculado, se debe utilizar para validar el emplazamiento. Si la estación base tiene varios sectores, cada uno de ellos estará orientado de forma diferente y con un canal de control. Se repetirá el proceso anterior para cada sector de la estación base.

ANEXO2 Expresiones útiles de cálculo

A continuación se dan unas expresiones útiles para realizar cálculos de los niveles de radiación producidos por una estación radioeléctrica. Evidentemente los resultados serán aproximados, ya que no tienen en cuenta los múltiples efectos que tienen lugar en la propagación de una señal electromagnética, entorno de medida, características reales de los sistemas radiantes, etc. Pero nos darán una idea aproximada de los niveles esperados.

$$\bullet S(w/m^2) = \frac{PIRE(w)}{4\pi d^2(m)}$$

Siendo la PIRE el producto de la potencia del transmisor por la ganancia de la antena (referida a la isotrópica).

Para tener en cuenta las reflexiones en el suelo, que proporcionarán puntos con mayor o menor nivel (depende de la posición), la FCC americana propone multiplicar la expresión anterior por cuatro, para tener en cuenta el caso peor (un máximo de señal).

$$\bullet S(w/m^2) = \frac{PIRE(w)}{\pi d^2(m)}$$

Otras expresiones útiles para el campo eléctrico son:

$$\bullet E(v/m) = \frac{\sqrt{30 \cdot PRA(w)}}{d(m)}$$

Siendo la PRA el producto de la potencia del transmisor por la ganancia de la antena (referida al dipolo).

La relación entre la ganancia de una antena sobre el dipolo y sobre la antena isotrópica se muestra a continuación:

$$G_{isotropica}(dB) = G_{dipolo}(dB) + 2.15$$

Otras expresiones útiles para el campo eléctrico:

$$\bullet E(mV/m) = 173 \frac{\sqrt{PRA(Kw)}}{d(Km)}$$

$$\bullet E(dB/\mu V/m) = 74.8 + PRA(dBw) - 20 \log d(Km)$$

ANEXO3 Emplazamientos ante múltiples campos electromagnéticos

Como ejemplo, con ayuda de las anteriores expresiones, podemos realizar un sencillo cálculo de un emplazamiento con múltiples campos electromagnéticos. Con este ejemplo se pretende presentar el efecto de que la contribución total de los campos electromagnéticos es, fundamentalmente, debida a los transmisores cercanos y menor a los más alejados, aunque emitan con mucha más potencia.

Ej. Se trata de obtener el valor de campo electromagnético de un emplazamiento con los siguientes sistemas de telecomunicación:

1.- Sistema GSM-900 a 20 metros de distancia con una PRA de 200w (para este cálculo se considera como un solo transmisor, sin tener en cuenta la extrapolación de los canales aleatorios de tráfico) .

2.- Radiodifusión sonora en ondas métricas, frecuencia de trabajo de 89 MHz a 500 metros de distancia con una potencia de 2Kw.

3.- Radiodifusión sonora en ondas hectométricas, frecuencia de trabajo de 1 MHz a 1 Kilometro de distancia con una potencia de 5Kw.

Con ayuda de la siguiente expresión calculamos el valor de campo eléctrico en el emplazamiento bajo estudio:

$$\bullet E(v/m) = \frac{\sqrt{30 \cdot PRA(w)}}{d(m)}$$

Obteniendo el siguiente resultado:

- *GSM900* 3.9 v/m
- *FM(89 MHz)* 0.5 v/m
- *AM(1 MHz)* 0.4 v/m

Siendo el valor total en el emplazamiento:

$$\bullet E_T = \sqrt{\sum_i E_i^2} = \sqrt{(3.9)^2 + (0.5)^2 + (0.4)^2} = 3.95 \text{ v/m}$$

Como se puede comprobar la contribución total al campo electromagnético en el emplazamiento bajo estudio, se debe al sistema más próximo (GSM-900) a pesar que los otros radian mucha mayor potencia.

Nota: Este ejemplo de cálculo no tiene nada que ver con las expresiones dadas en la fase 2 para validar emplazamientos expuestos a múltiples señales radioeléctricas.